

MERENJE I OCENA BUKE

- ⊕ Buku kao fenomen karakterišu:
 - nivo buke,
 - frekvencijski sadržaj – *promene u funkciji frekvencije*,
 - vremenska zavisnost – *promene u funkciji vremena*.
- ⊕ Određuju se merenjem karakterističnih veličina buke u amplitudnom i frekvencijskom domenu.
- ⊕ Potpune i tačne informacije neophodne su za:
 - sprovođenje osnovnih procedura upravljanja bukom,
 - ocenu stanja nivoa buke,
 - procenu štetnog dejstva buke na čoveka.

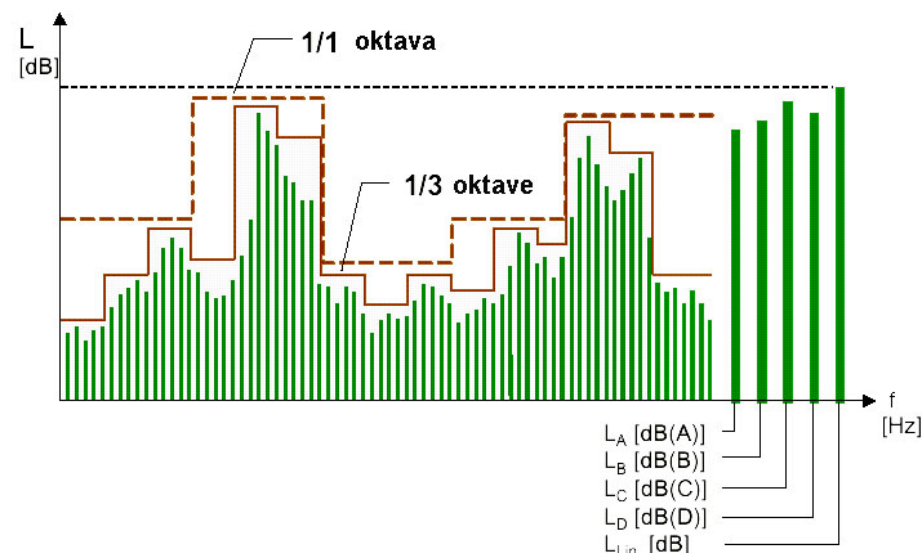
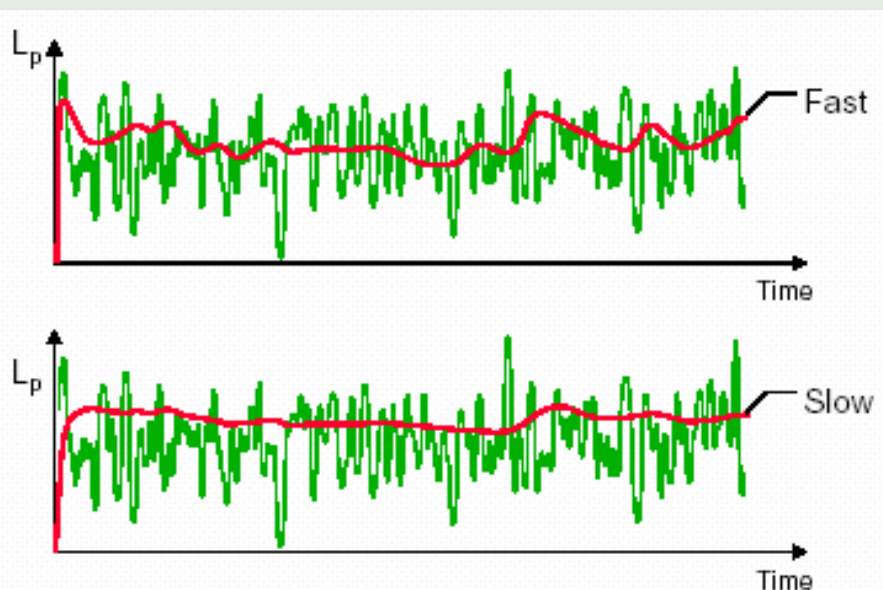


- ⊕ Od karakteristika buke zavisi izbor:
- odgovarajuće merne procedure,
 - mernog parametra,
 - merne opreme.



⊕ Tip buke određuje:

- frekvencijski spektar buke,
- vremenska zavisnost buke.



⊕ **Prema vremenskom toku**, razlikuju se sledeće vrste buke:

- **nepromenljiva** (ujednačena) buka,
- **promenljiva buka**,
 - ★ kontinualno promenljiva buka,
 - ★ isprekidana buka,
 - ★ impulsna buka
 - ★ izolovani impulsi buke
 - ★ kvazi-impulsna buka



⊕ **Prema izgledu frekvencijskog spektra:**

- širokopojasna buka,
- uskopojasna buka
- diskretan ton (tonalna buka).

⊕ **Nepromenljiva (ujednačena) buka** - buka sa malim kolebanjima nivoa (do 5dB kod dinamike pokazivanja SLOW).

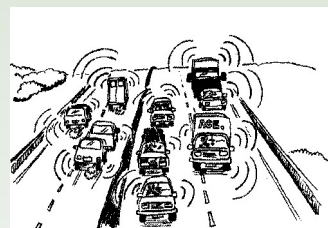
$$L_{AS\max} - L_{AS\min} \leq 5\text{dB(A)}$$



Za određivanje nivoa buke dovoljno je merenje A-nivoa buke koje traje nekoliko minuta.

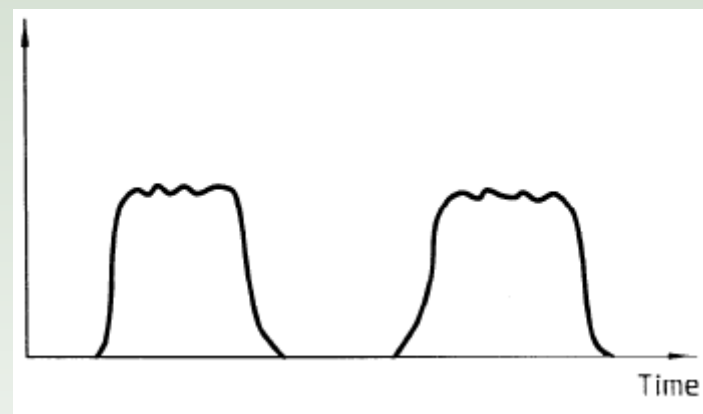
⊕ **Kontinualno promenljiva buka** - buka sa većim kolebanjima nivoa (**više od 5dB** kod dinamike pokazivanja SLOW).

$$L_{AS\max} - L_{AS\min} > 5\text{dB(A)}$$



Za određivanje nivoa buke potrebno je merenje ekvivalentnog nivoa buke u dužem vremenskom intervalu.

⊕ **Isprekidana buka** – buka izvora koji radi u ciklusima, gde nivo buke veoma brzo raste i opada na nivo osnovne buke, nekoliko puta u toku vremena posmatranja. Vreme u kome je nivo ujednačen i različit od nivoa osnovne buke je reda 1s i više.



$$L_{eq} = 10 \log \sum_i 10^{0.1 L_{AEi}} - 10 \log \frac{T}{T_0}, T_0 = 1s$$

Za određivanje nivoa buke potrebno je merenje SEL-a za svaki ciklus rada izvora.

⊕ **Impulsna buka** - buka kod koje se pojavljuje jedan ili više brzo rastućih impulsa čije je trajanje manje od 1s.

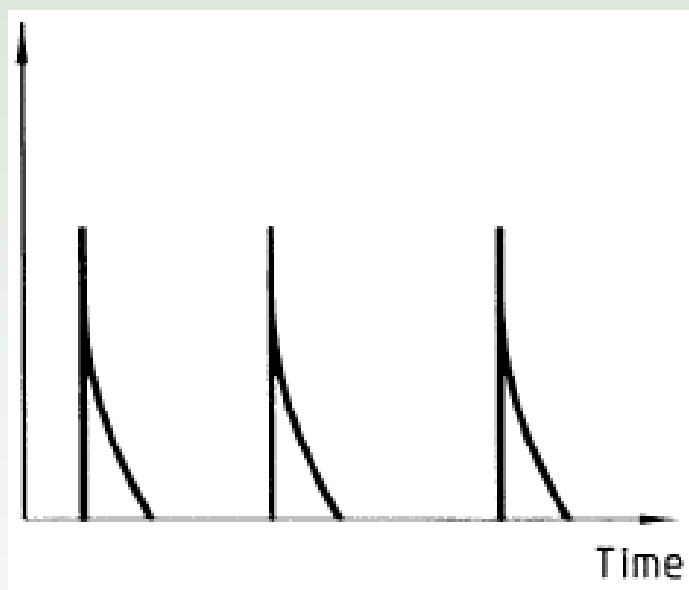


$$L_{eq} = L_{AE} + 10 \log n - 10 \log \frac{T}{T_0}, T_0 = 1s$$

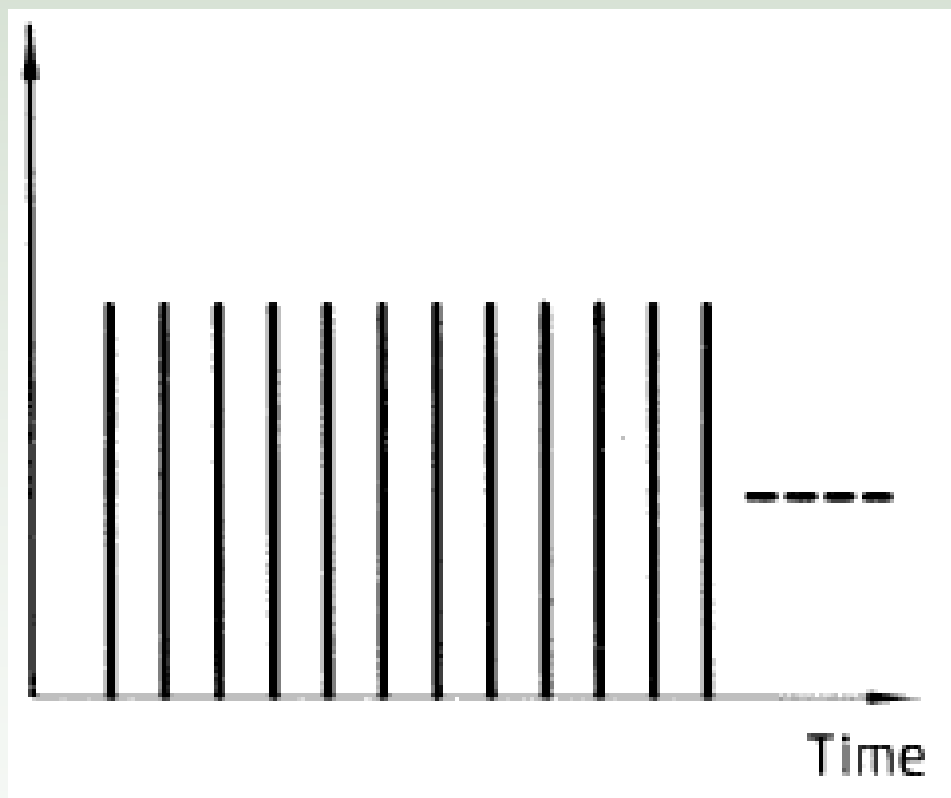
Impulsivnost buke se određuje na osnovu razlike merenja nivoa buke sa različitim vremenskim karakteristikama instrumenta.

$$\star L_{A_{\max}} - L_{AF_{\max}}$$

- ⊕ **Izolovani impulsi buke** – buka čiji se nivo jedanput ili više puta kratkotrajno jasno podiže (**najmanje 10dB** kod dinamike pokazivanja FAST) iznad osnovnog nivoa. Interval između pojedinačnih impulsa je veći od 0.2s.

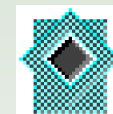
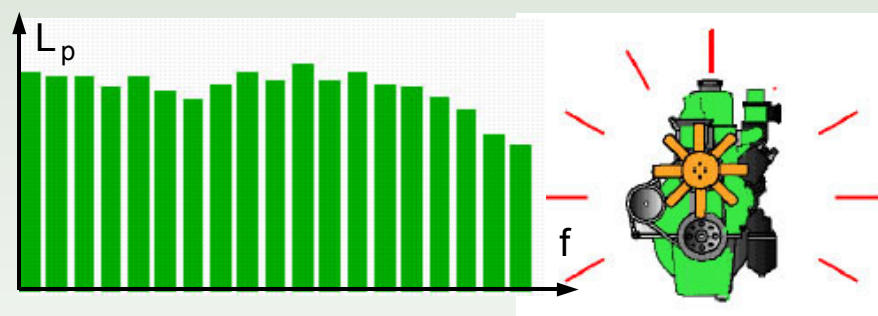


- ⊕ **Kvazi-impulsna buka** – Niz impulsa buke slične amplitude sa intervalima između impulsa kraćim od 0.2s.



- ⊕ **Širokopolasna buka** - buka sa približno ravnomernom raspodelom zvučne energije u širem frekvencijskom opsegu (više susednih oktava). Spektar je u opštem slučaju ravan i kontinualan iako može odstupati od ravnog spektra.

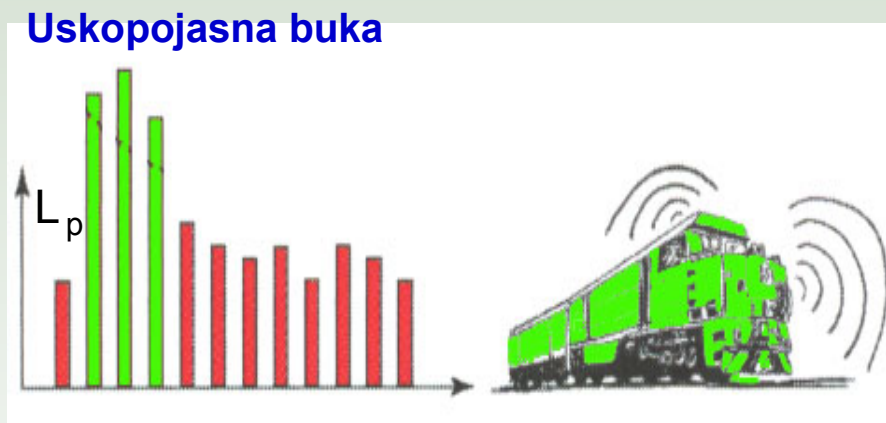
Širokopolasna buka



Moving acoustics

Za određivanje nivoa buke dovoljno je izvršiti frekvencijsku analizu primenom oktavnih filtra.

- ⊕ **Uskopojasna buka** - buka čija je zvučna energija sadržana u užem frekvencijskom opsegu (jedna oktava ili manji broj terci);

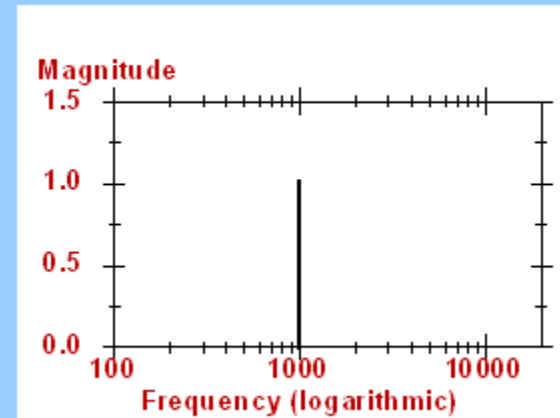
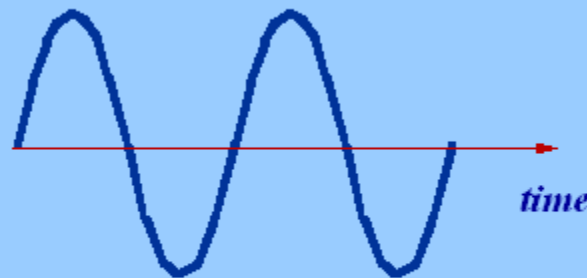


Moving acoustics

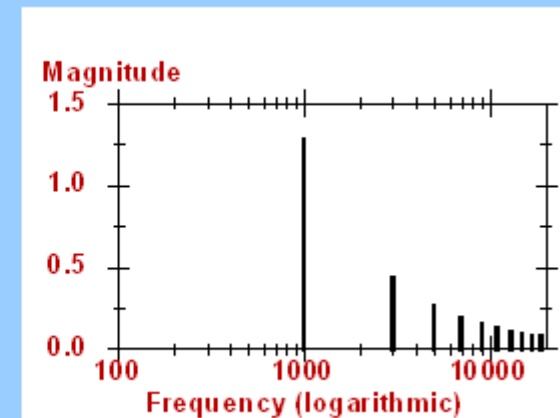
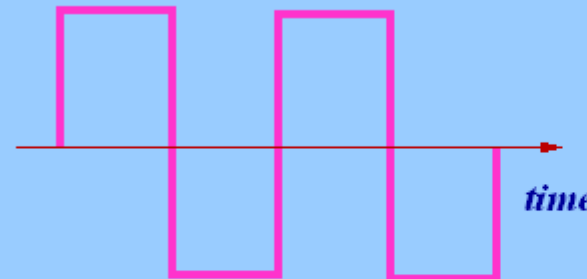
Za određivanje nivoa buke potrebno je izvršiti frekvencijsku analizu primenom terčnih filtra

⊖ **Diskretan ton** - Periodična promena zvučnog pritiska koja daje subjektivni osećaj visine tona.

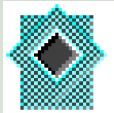
★ čista sinusna promena
- čist ton



★ nesinusoidalna promena
pikovi na osnovnoj
frekvenciji i
harmonicima

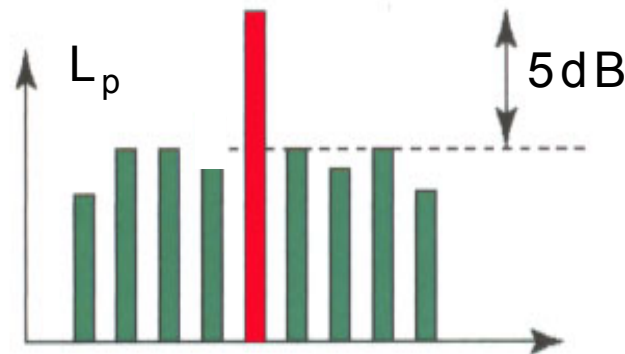


★ **Tonalna buka** - buka koja sadrži veći deo zvučne energije na diskretnim frekvencijama.



Moving acoustics

Tonalna buka



- Za određivanje nivoa buke potrebno je izvršiti frekvencijsku analizu primenom filtra sa užim propusnim opsegom od jedne terce.

1. Tip buke - vremenski tok
2. Tip buke - frekvencijski spektar



- ⊕ Merni instrumenti se mogu podeliti u tri velike grupe:
- analogni,
 - digitalni,
 - zasnovani na softverskom rešenju.



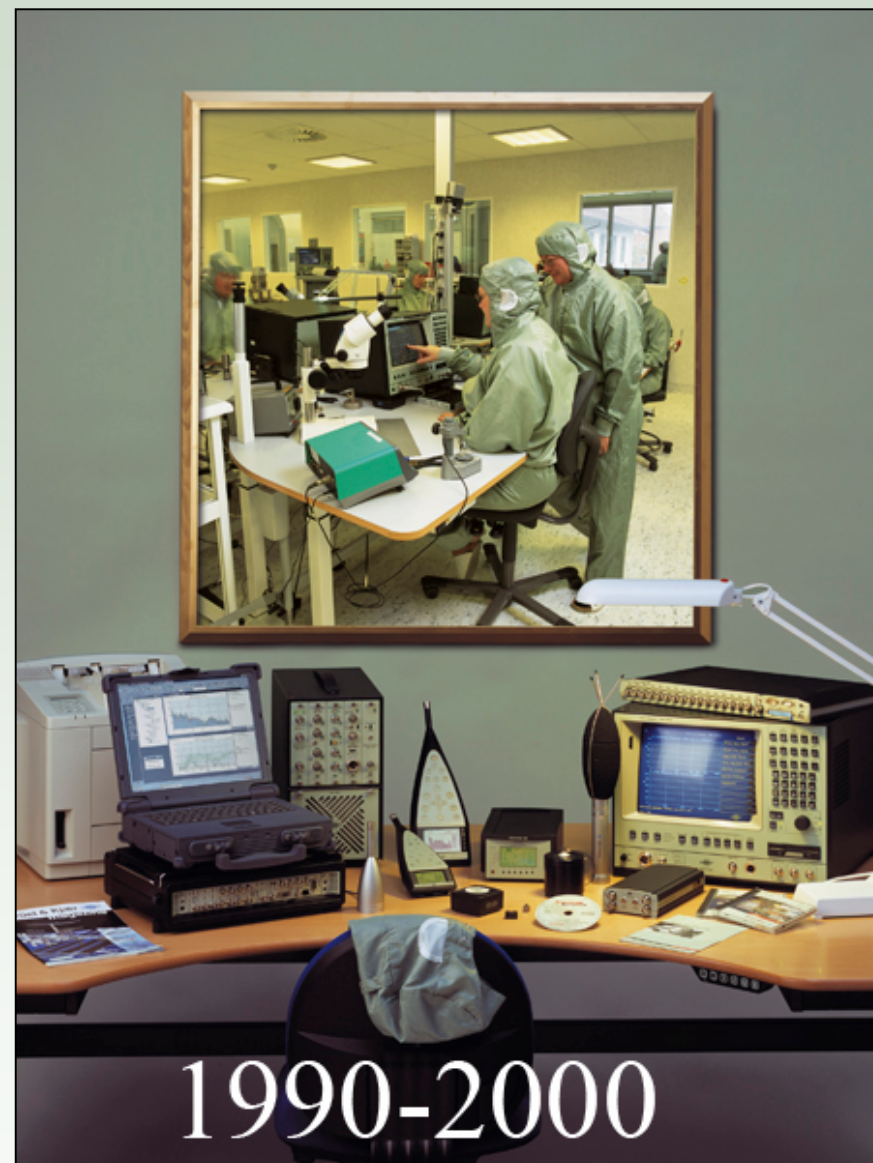


1940-1960

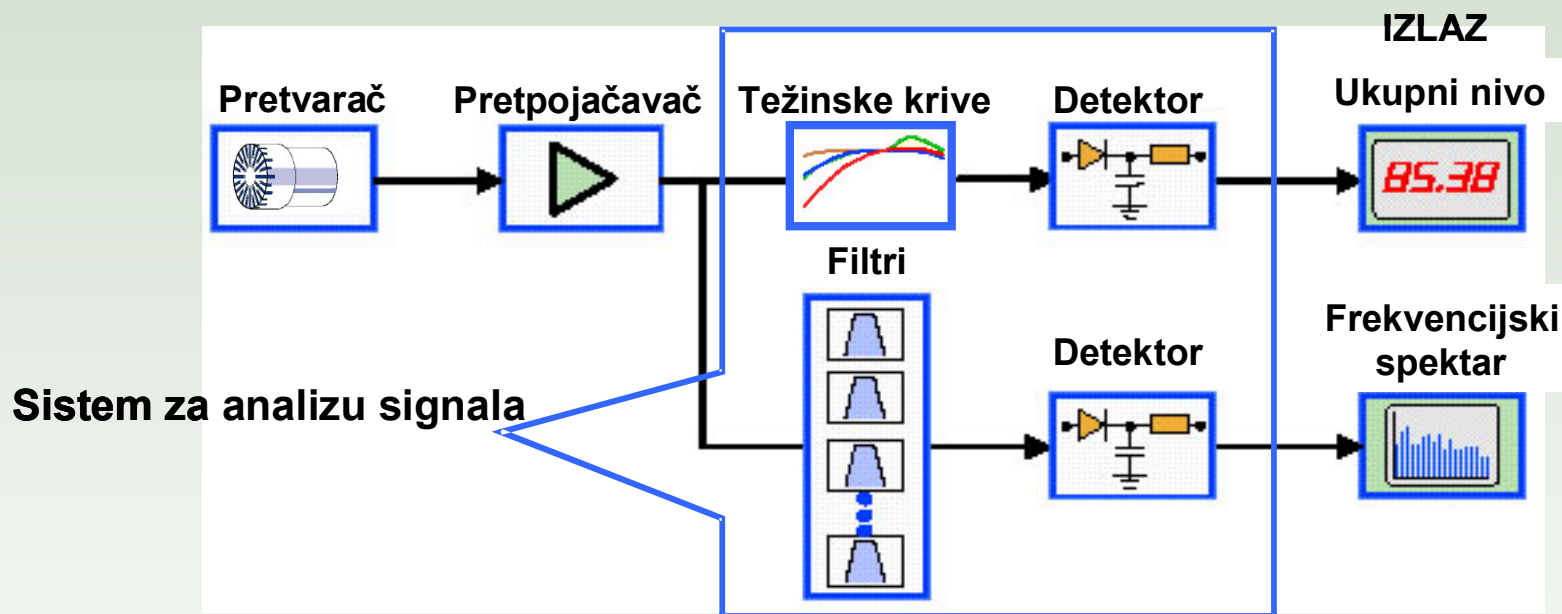


1960-1980





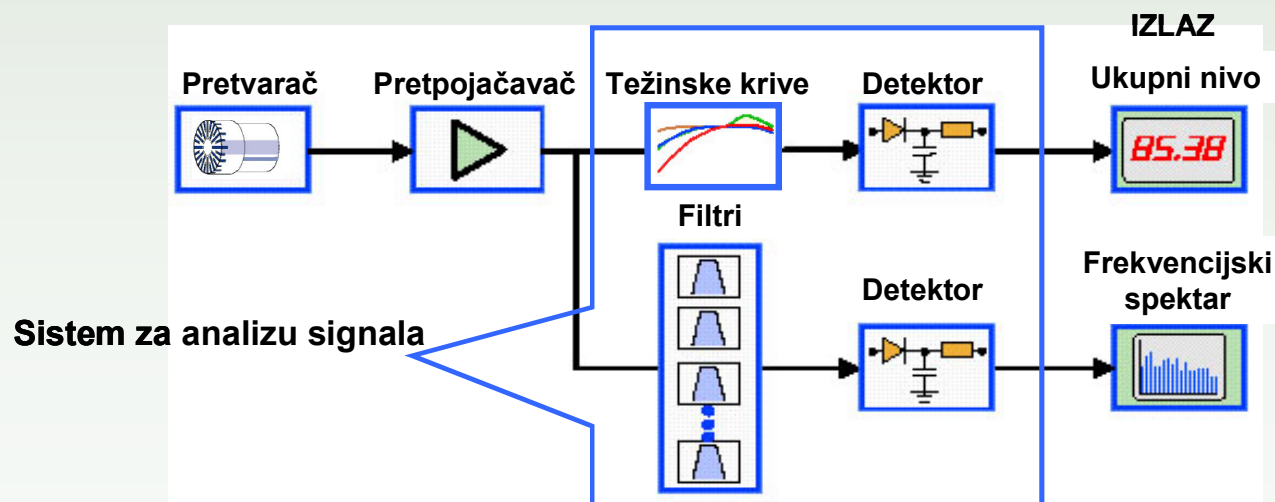
⊕ Opšta struktura mernih instrumenata:



Merni lanac je pouzdan koliko i njegova najslabija karika.

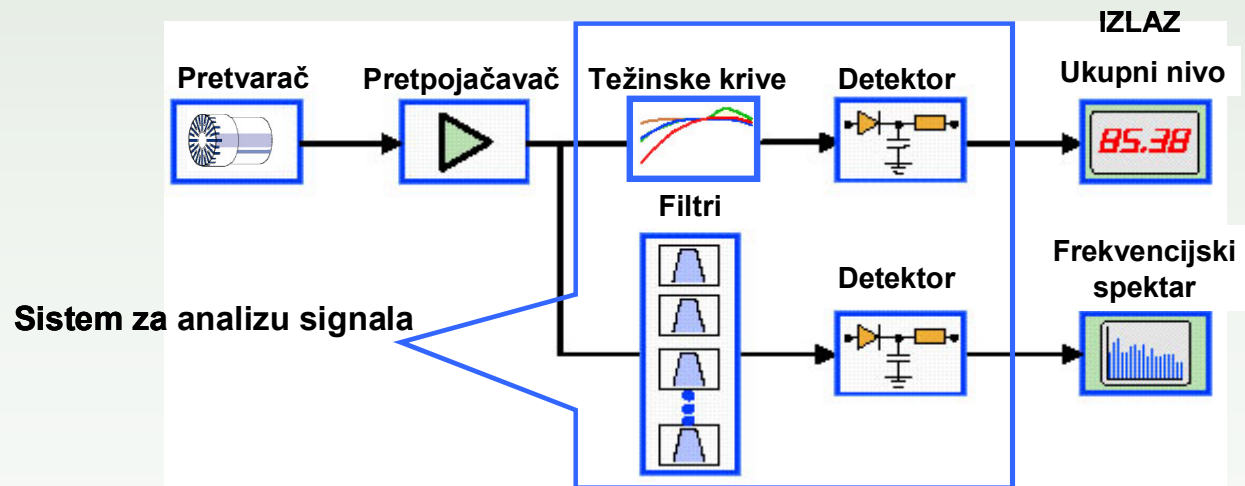
⊕ Osnovne karike mernog lanca su:

- **Pretvarač** - pretvara zvučne oscilacije u električni signal.
- **Pretpojačavač** - pojačava električni signal na izlazu pretvarača.
- **Težinske krive** - ponderišu signal u frekvencijskom domenu (A, B, C, D ili Lin-Z).

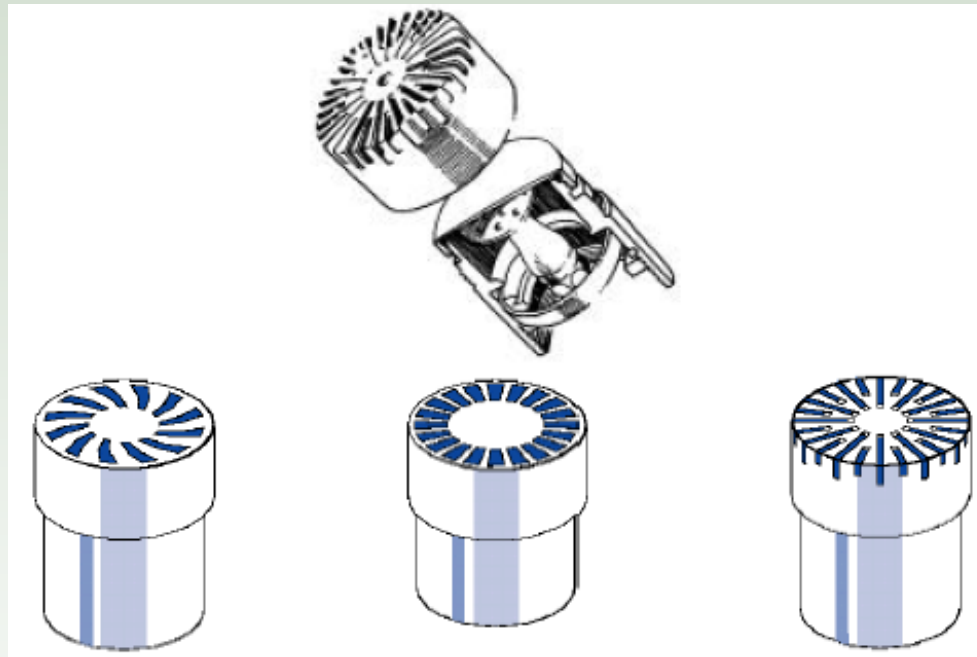


⊕ Osnovne karike mernog lanca su:

- **Filtri** - analiza signala u frekvencijskom domenu
- **Detektor** - određivanje energetski srednje vrednosti signala.
- Rezultat merenja i analize buke - displej instrumenta ili neki drugi izlazni uređaj



- ⊕ Najznačajnija karika – **pretvarač**.
- ⊕ Izbor pretvarača u mnogome određuje preciznost merenja.



- ⊕ **Kondenzatorski mikrofoni** se najčešće koristi zbog svojih stabilnih i pouzdanih karakteristika u širokom frekvencijskom području

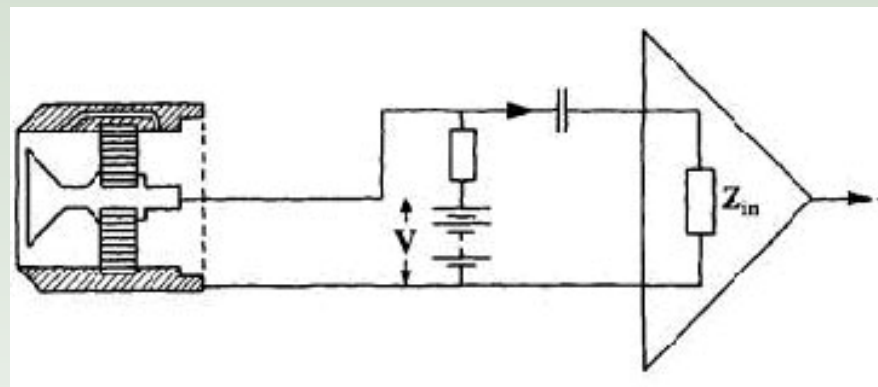
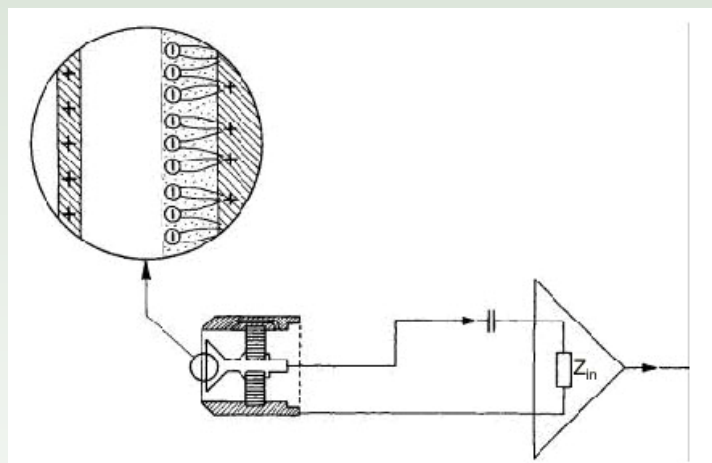
⊕ Konstrukcija:

- zaštitna rešetka,
- tanka metalna membrana,
- nepokretna konusna ploča i
- izlazni vod.



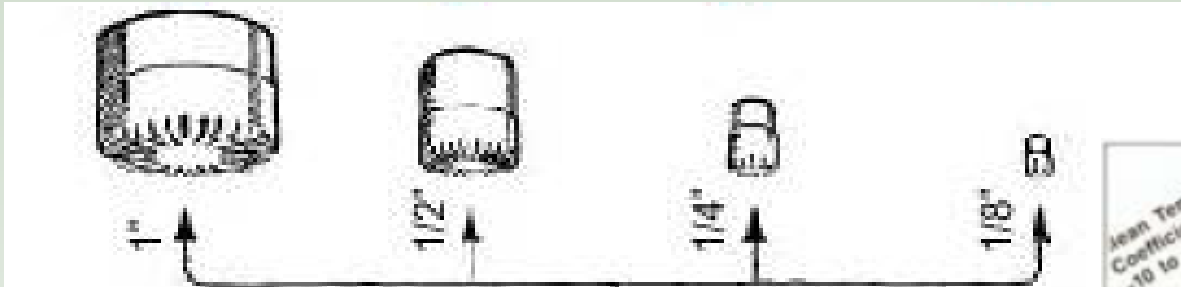
- ⊕ Membrana i nepokretna ploča čine kondenzator sa vazduhom kao dielektrikom.
- ⊕ Izlazni vod omogućuje prenos signala na pretpojačavač.
- ⊕ Membrana je od spoljnjih oštećenja zaštićena zaštitnom rešetkom.

- **Polarizovani kondenzatorski mikrofoni** – naelektrisanje se obezbeđuje dodatnim jednosmernim naponom za polarizaciju (obično 200V).



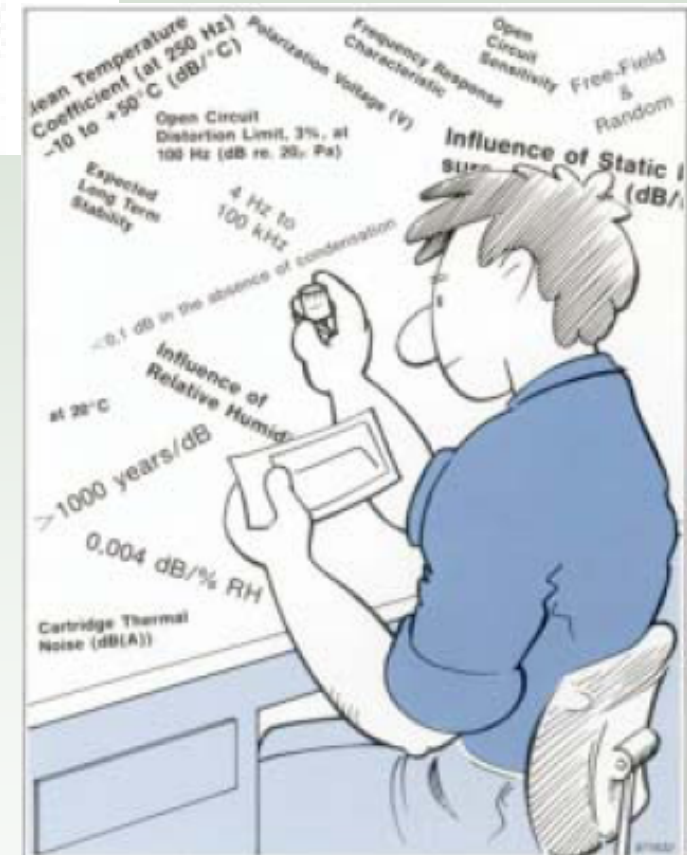
- **Unapred polarizovani kondenzatorski mikrofoni** – konstantno naelektrisanje se smešta na nepokretnu ploču pri proizvodnji mikrofona.

⊕ Različite veličine: 1", 1/2", 1/4" i 1/8" za različite namene.



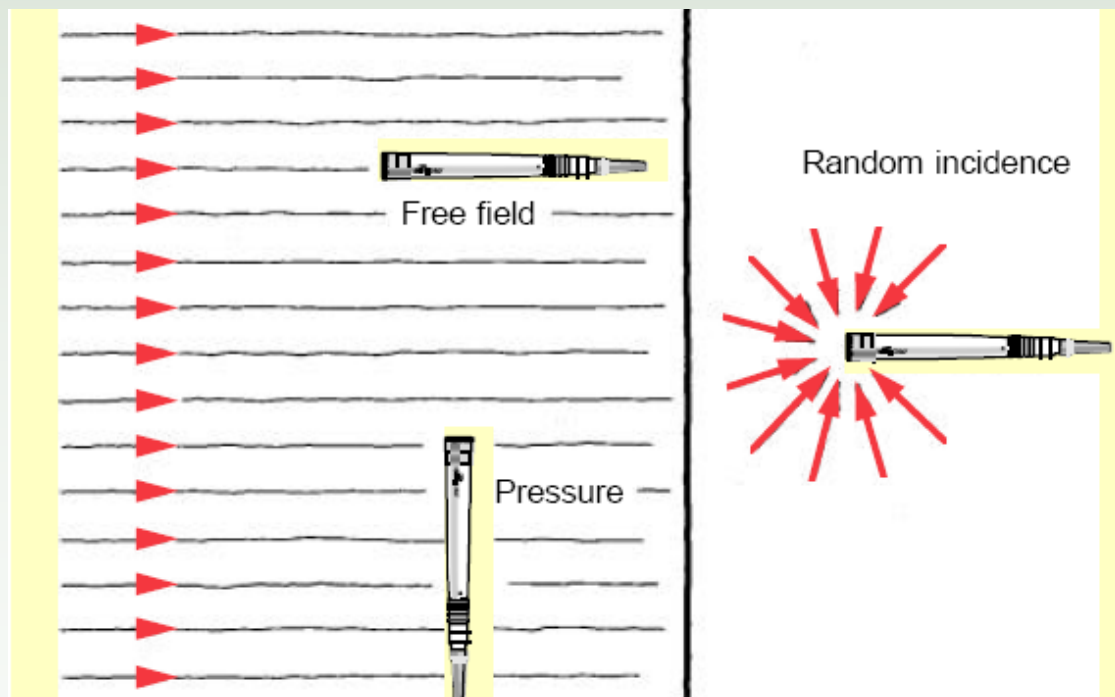
⊕ Karakteristike mikrofona:

- osetljivost,
- frekvencijski opseg primene,
- dinamički opseg primene,
- karakteristika usmerenosti



⊕ Mikrofon se mogu podeliti na:

- "free field" mikrofone
- "random incidence" mikrofone
- "pressure" mikrofone



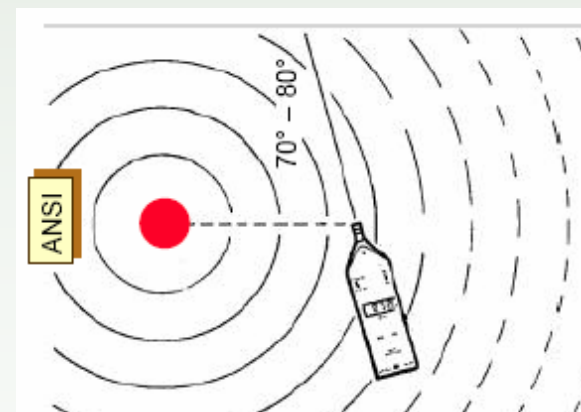


- ⊕ Merenje buke na otvorenom prostoru (može se koristiti i u zatvorenom prostoru ako su refleksije male).



"random incidence" mikrofone

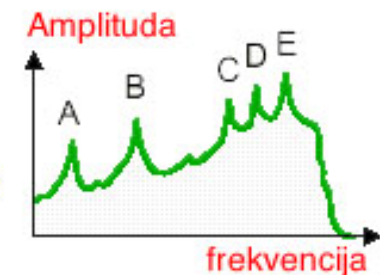
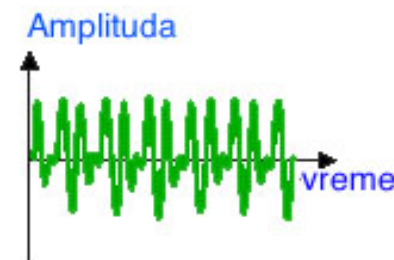
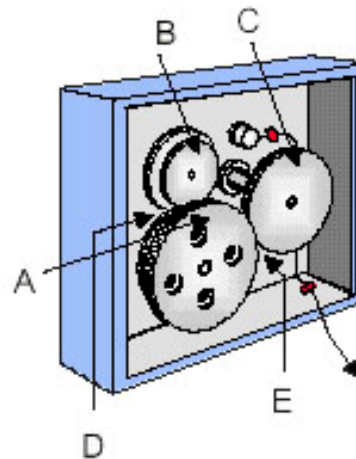
- ⊕ Merenje u zatvorenom prostoru.
- ⊕ Merenje na otvorenom prostoru kada zvučno polje generiše više zvučnih izvora,



1. Osnovne karike mernog lanca
2. Princip rada kondenzatorskog mikrofona
3. Tip mikrofona - polarizovani i unapred polarizovani
4. Tip mikrofona - slobodno i difuzno polje

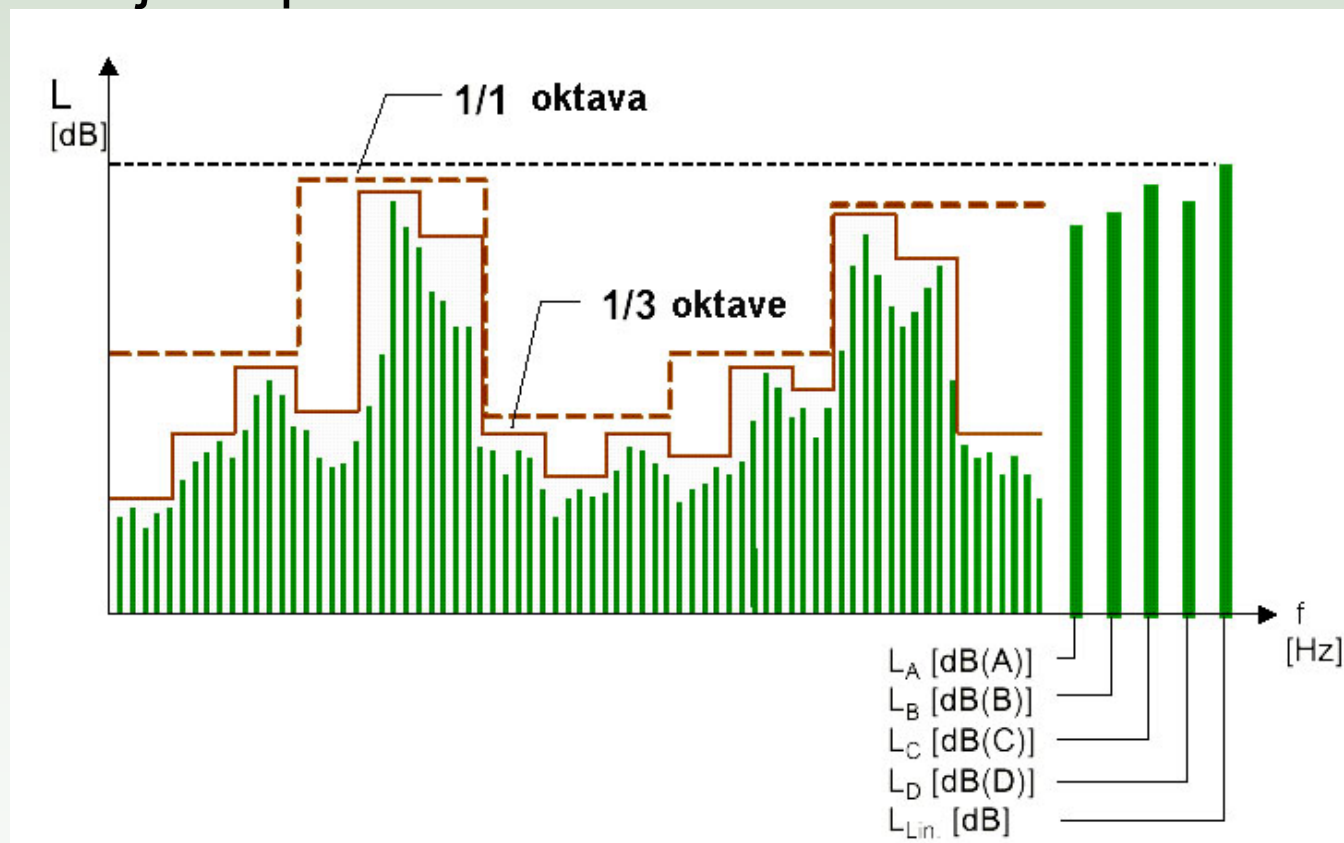


- ⊕ **Ukupni nivo buke** - informacija o ukupno generisanoj energiji izvora buke.
- ⊕ Taj podatak nije dovoljno indikativan za:
 - definisanje načina generisanja buke i
 - prepoznavanje elementa složene strukture izvora, koji generiše najveći deo energije.

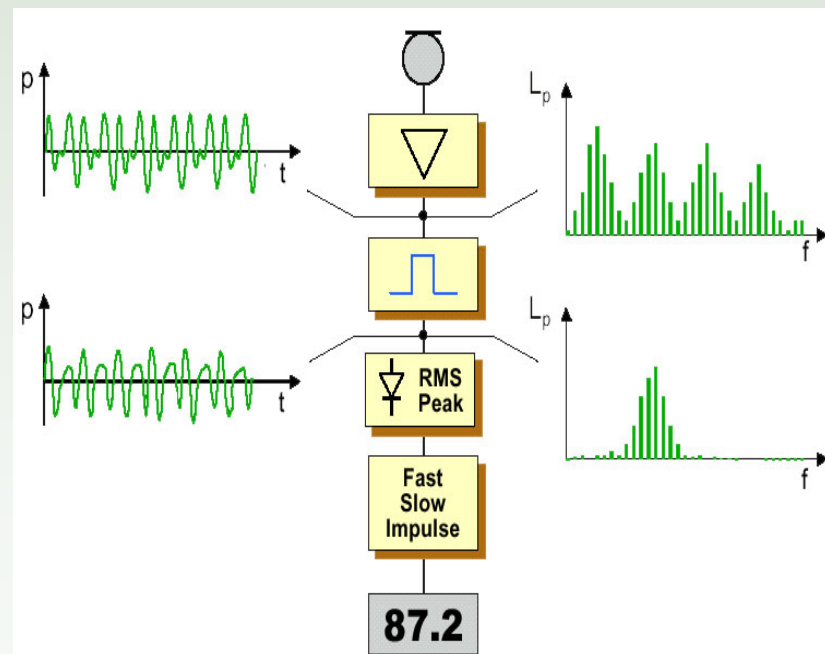


⊕ **Frekvencijska analiza nivoa buke** - nivo komponenti složenog signala na različitim frekvencijama.

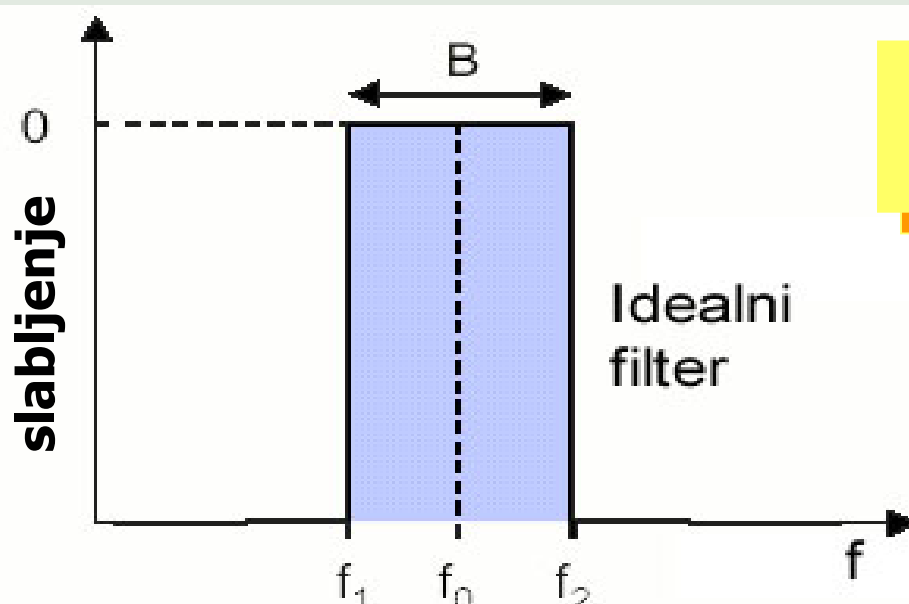
⊕ **Rezultat** - frekvencijski spektar.



- ⌀ Za frekvencijsku analizu nivoa buke uglavnom se koristi pojasna frekvencijska analiza:
- propuštanje električnog signala kroz filtre
 - filter propušta samo deo signala što zavisi od propusnog opsega i centralne frekvencije filtra,
 - rezultat - ukupna energija buke u propusnom opsegu filtra.

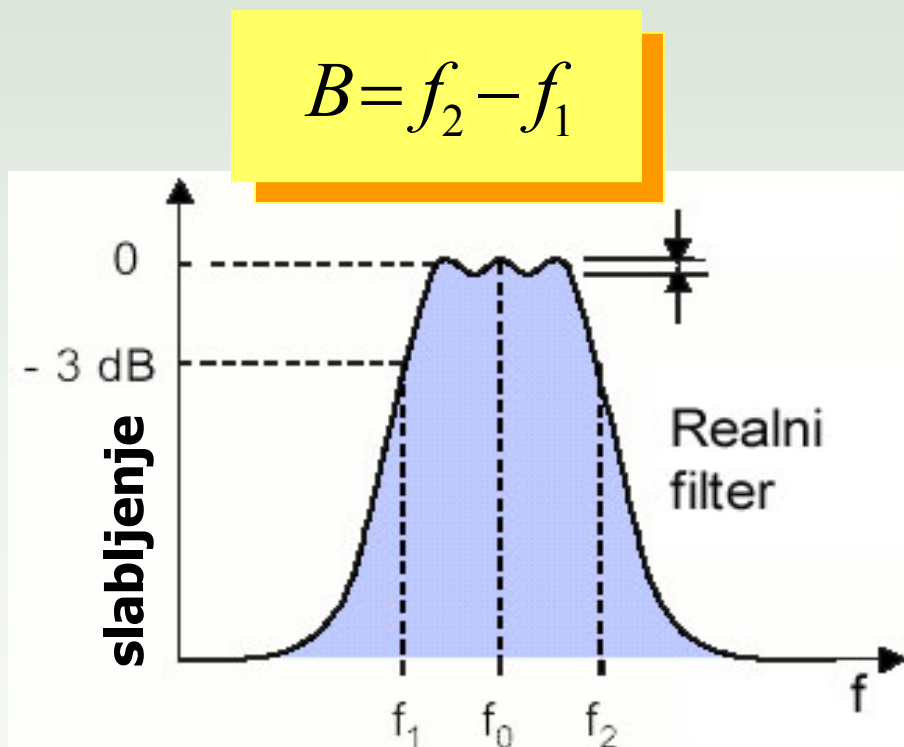


- ⊕ Propušta bez slabljenja deo signala unutar propusnog opsega filtra.
- ⊕ Van propusnog opsega komponente se potuno oslabljuju.
- ⊕ Propusni opseg - razlika gornje granične frekvencije, f_2 , i donje granične frekvencije propusnog opsega, f_1 :



$$B = f_2 - f_1$$

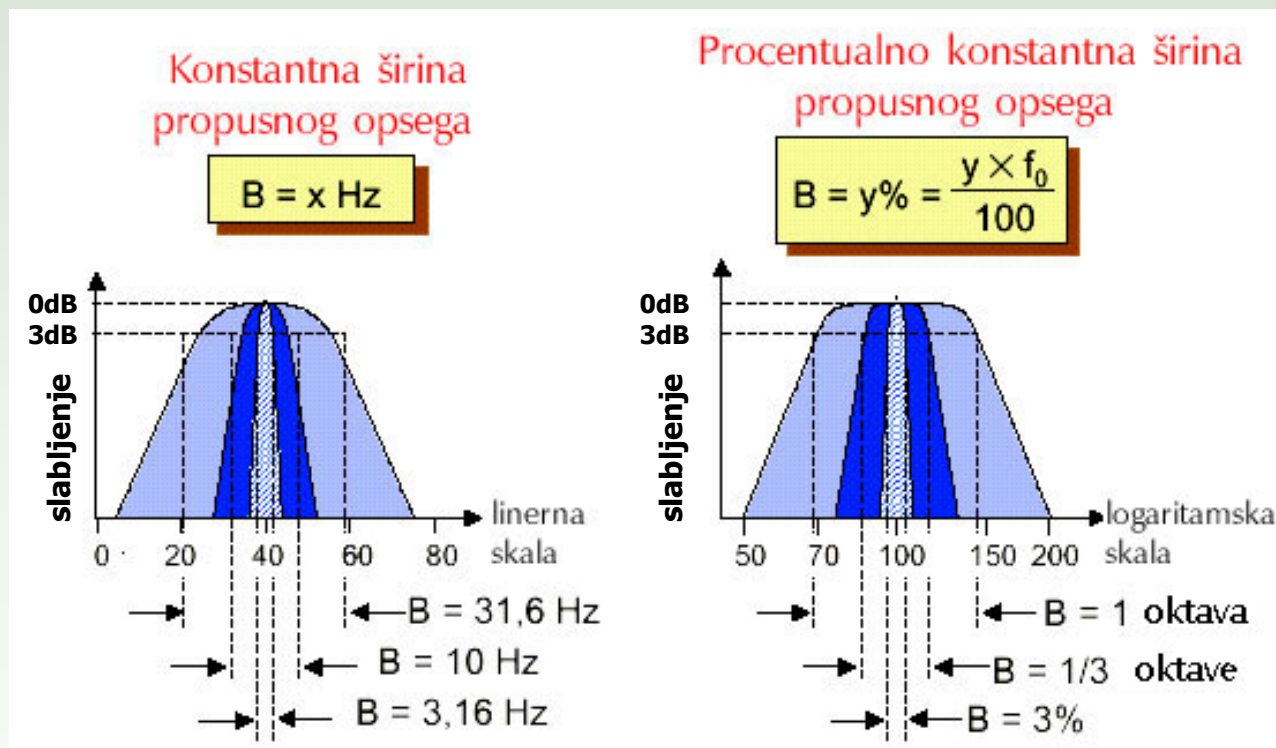
- ⊕ U propusnom opsegu nema ravnu karakteristiku već je ona talasasta.
- ⊕ Propušta i frekvencije van propusnog opsega, ali su amplitude tih komponenti dosta oslabljenje





Dva tipa pojasnih filtara:

- filtri sa konstantnom širinom propusnog opsega,
- filtri sa procentualno konstantnom širinom propusnog opsega (CPB).



Širina propusnog opsega definisana je određenim procentom centralne frekvencije:

Propusni opseg filtra širine $y\%$ određen je kao:

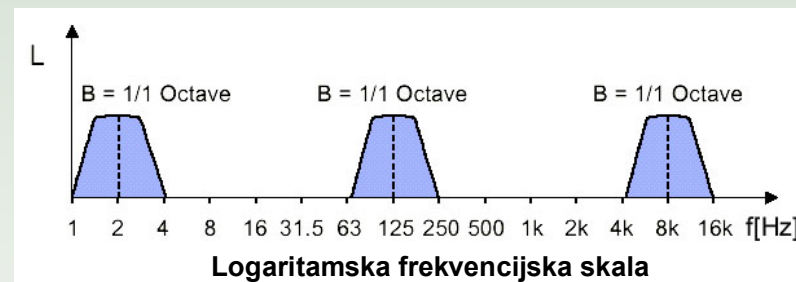
$$B = y\% = \frac{y\% \cdot f_0}{100}$$

Širina propusnog opsega se povećava sa povećanjem centralne frekvencije, f_0 .

Centralna frekvencija – geometrijska sredina:

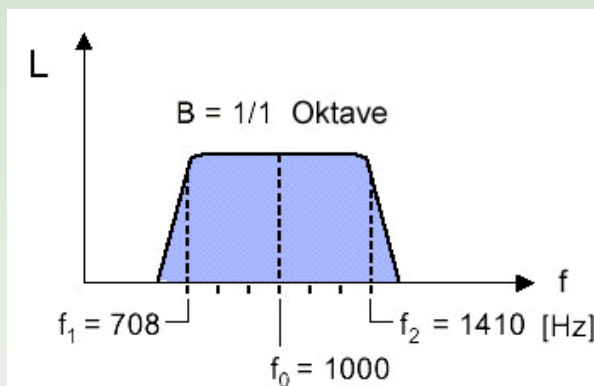
$$f_0 = \sqrt{f_1 f_2}$$

Za merenje buke uglavnom se koriste CPB filtri a rezultati prikazuju na logaritamskoj frekvencijskoj skali.



⊕ Za frekvencijsku analizu buke najčešće se koriste CPB filtri čija je širina jednaka:

- širini oktave, ili
- terce (1/3 oktave).



1/1 OKTAVE

$$f_2 = 2 \times f_1$$

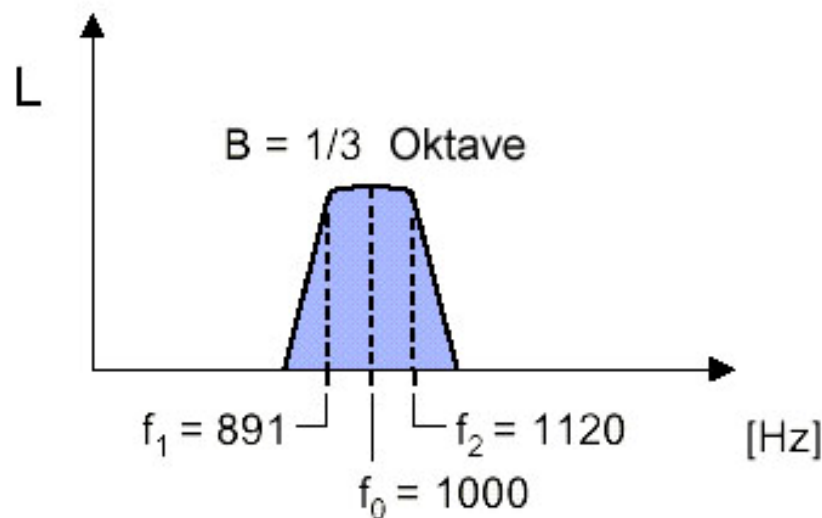
$$B = 0.7 \times f_0 \approx 70\%$$

⊕ Oktavni filter je pojasni filter sa najširim propusnim opsegom:

- širina - 70% centralne frekvencije.
- gornja granična frekvencija dvostruko veća od donje granične frekvencije filtra.

⊕ Tercni filter je pojasni filter:

- širina - 1/3 širine propusnog opsega oktavnog filtra, ili
- 23% centralne frekvencije
- gornja granična frekvencija je 1.26 puta veća od donje.

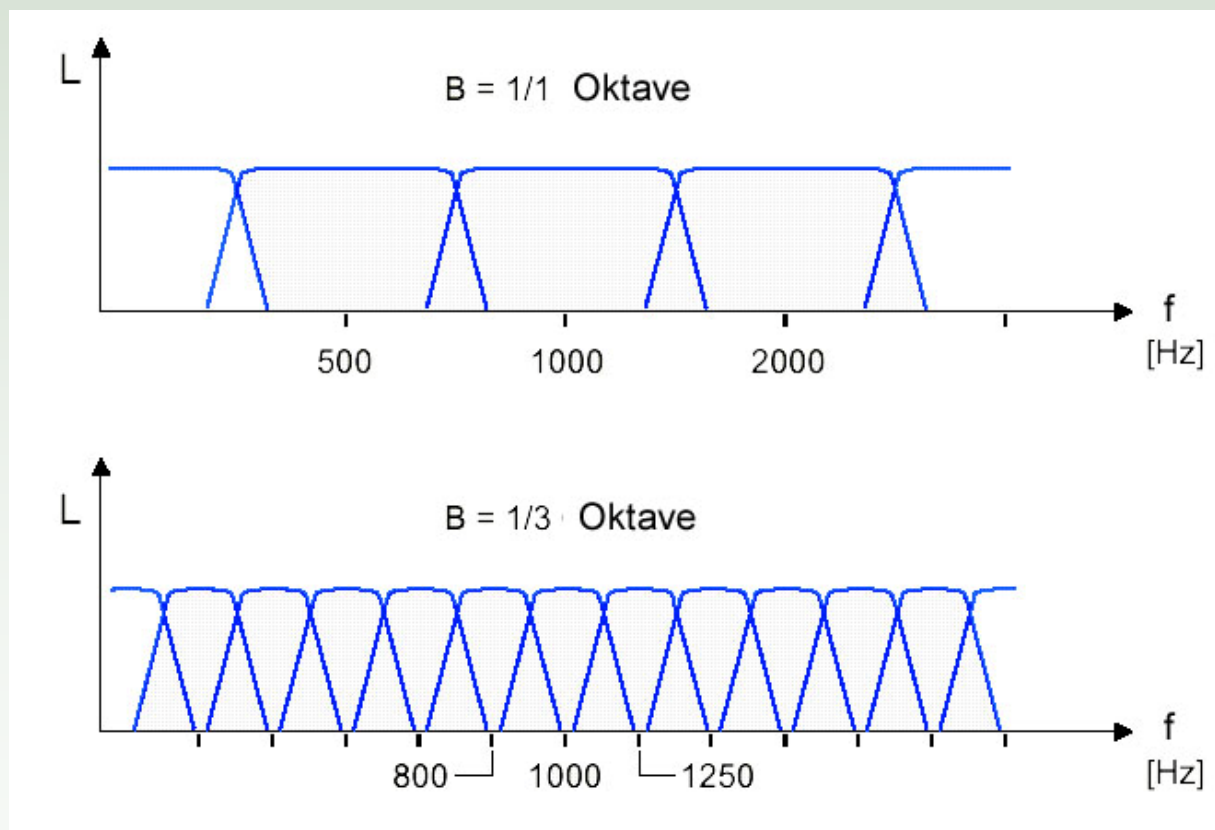


1/3 OKTAVE

$$f_2 = \sqrt[3]{2} \times f_1 = 1.25 \times f_1$$

$$B = 0.23 \times f_0 \approx 23\%$$

- ⊕ Tri susedna terčna filtra = jedan oktavni filter.
- ⊕ Centralna frekvencija oktavnog filtra = centralnoj frekvenciji središnje terce.



Standardizovane oktave i terce

n	TERCNI-FILTRI			OKTAVNI-FILTRI		
	f_d [Hz]	f_g [Hz]	f_0 [Hz]	f_d [Hz]	f_g [Hz]	f_0 [Hz]
1	22.4	28	25	22.4	45	31.5
2	28	35.5	31.5			
3	35.5	45	40			
4	45	56	50	45	90	63
5	56	71	63			
6	71	90	80			
7	90	112	100	90	180	125
8	112	140	125			
9	140	180	160			
10	180	224	200	180	355	250
11	224	280	250			
12	280	355	315			
13	355	450	400	355	710	500
14	450	560	500			
15	560	710	630			
16	710	900	800	710	1400	1000
17	900	1120	1000			
18	1120	1400	1250			
19	1400	1800	1600	1400	2800	2000
20	1800	2240	2000			
21	2240	2800	2500			
22	2800	3550	3150	2800	5600	4000
23	3550	4500	4000			
24	4500	5600	5000			
25	5600	7100	6300	5600	11200	8000
26	7100	9000	8000			
27	9000	11200	10000			
28	11200	14000	12500	11200	22400	16000
29	14000	18000	16000			
30	18000	22400	20000			



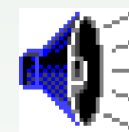
Moving acoustics.exe

OKTAVNA ANALIZA

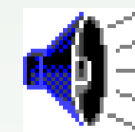
63,125,250,500,1k,2k,4k,8k Hz



Muzika

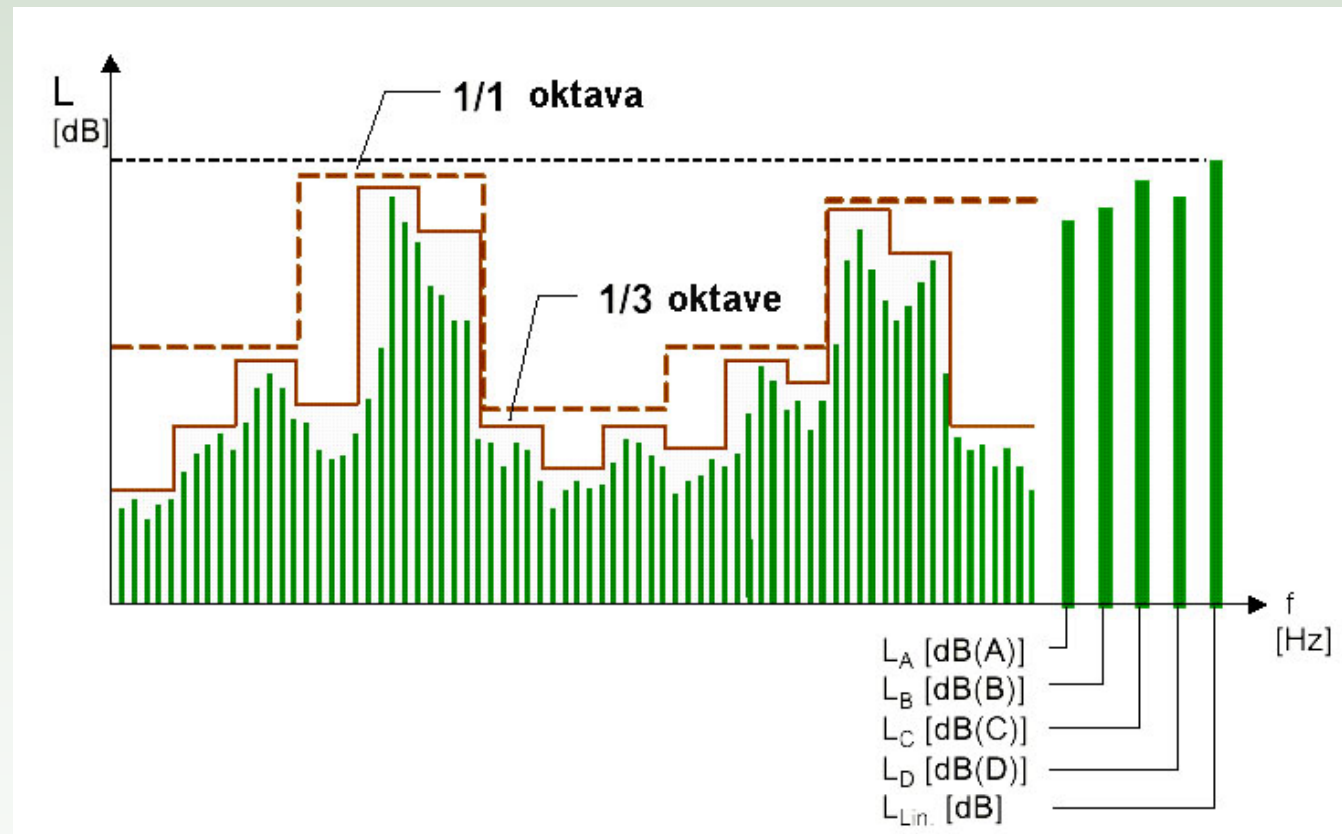


Kompresor

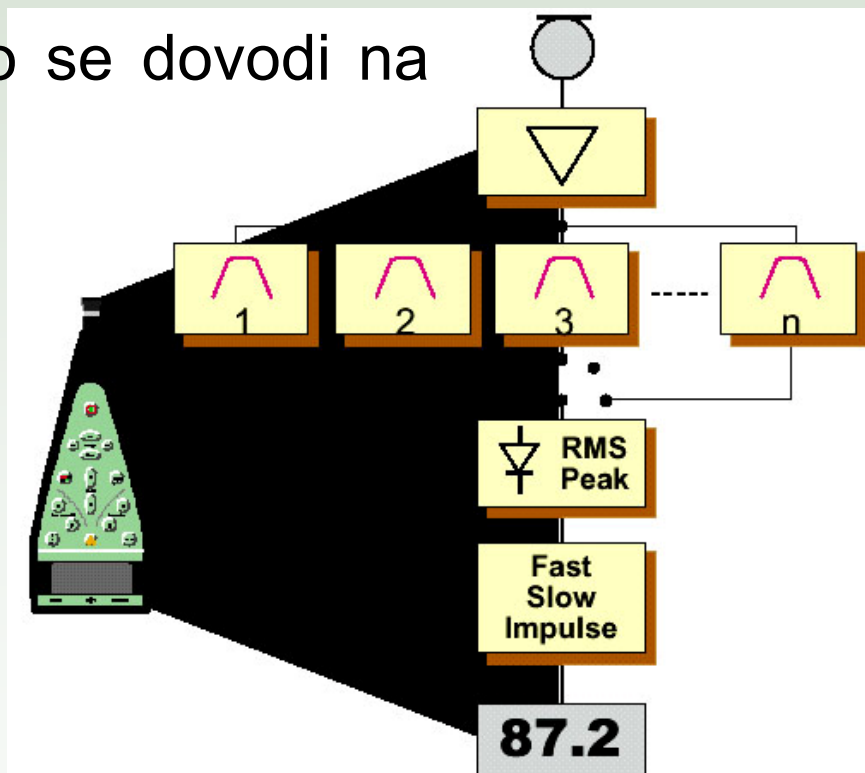


Vodeni noz

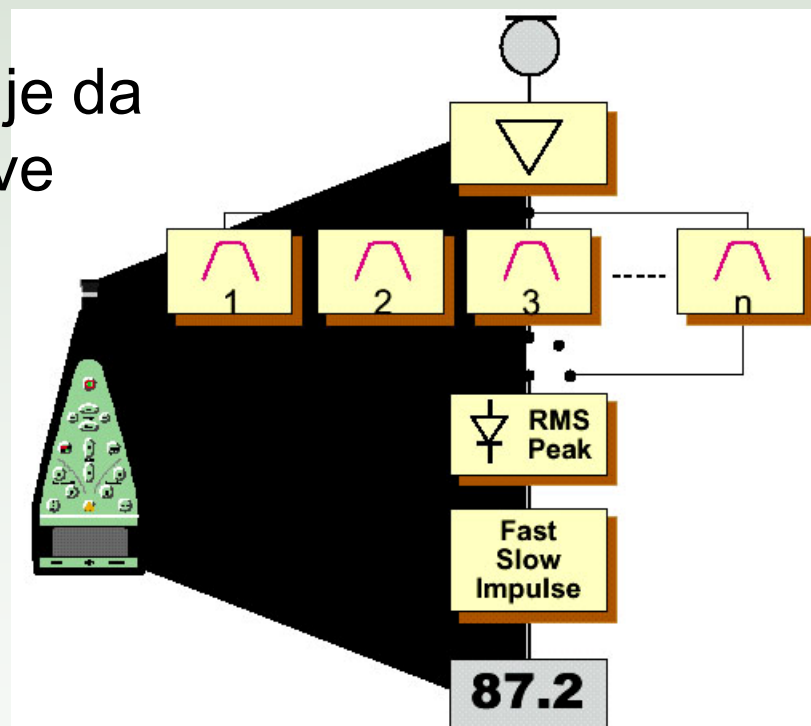
- ⊕ Oktavni (tercni) spektar.
- ⊕ Rezultat - energetska suma svih komponentu u okviru oktave (terce).



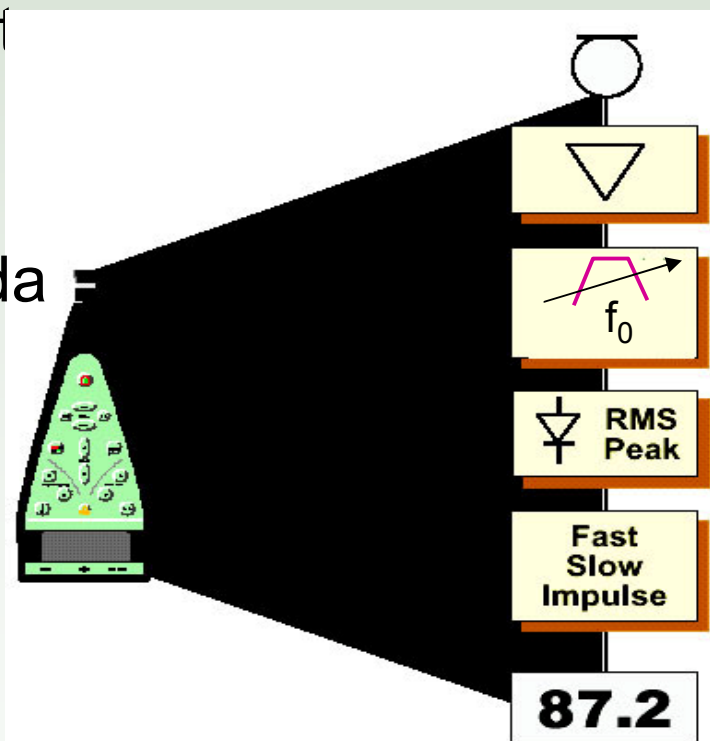
- ⊕ Sukcesivno propuštanje signala kroz skup filtra različitih fiksnih centralnih frekvencija.
- ⊕ Centralne frekvencije su projektovane tako da svi filtri zajedno pokrivaju ceo frekvencijski.
- ⊕ Signal iz pretvarača paralelno se dovodi na ulaz svih filtra
- ⊕ Detektor signala se sukcesivno povezuje na izlaze različitih filtra uglavnom ručnim menjanjem aktivnog filtra.



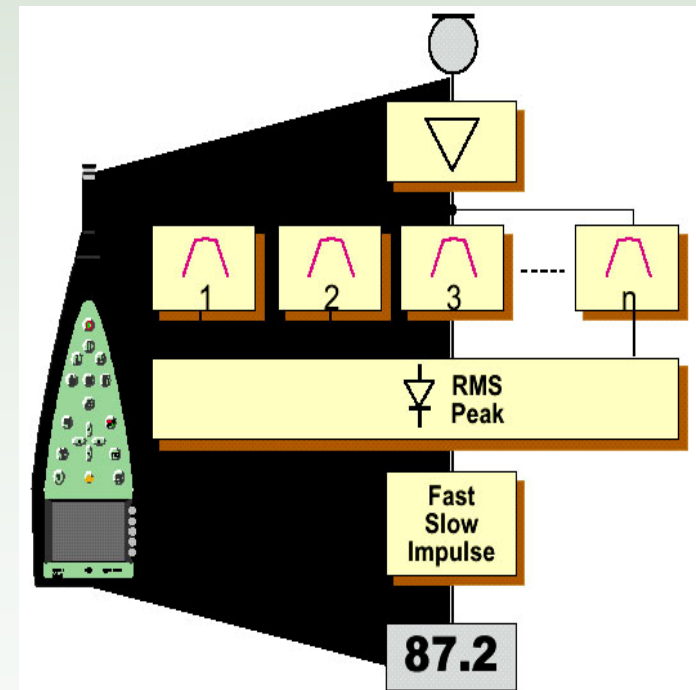
- ⊕ Rezultat analize - komponenta spektra na odgovarajućoj centralnoj frekvenciji filtra.
- ⊕ U jednom trenutku samo jedan filter aktivan - analiza traje dugo.
- ⊕ Za preciznu analizu neophodno je da buka odgovara tipu nepromenljive buke.
- ⊕ Nije moguće sprovesti analizu u realnom vremenu



- ⊕ Koristi se jedan filter čija se centralna frekvencija menja.
- ⊕ Promenom centralne frekvencije prekriva se ceo frekvencijski opseg.
- ⊕ Rezultat analize je kontinualni spektar.
- ⊕ Analiza traje dugo.
- ⊕ Za preciznu analizu neophodno je da buka odgovara tipu nepromenljive buke.
- ⊕ Ne omogućava analizu u realnom vremenu.



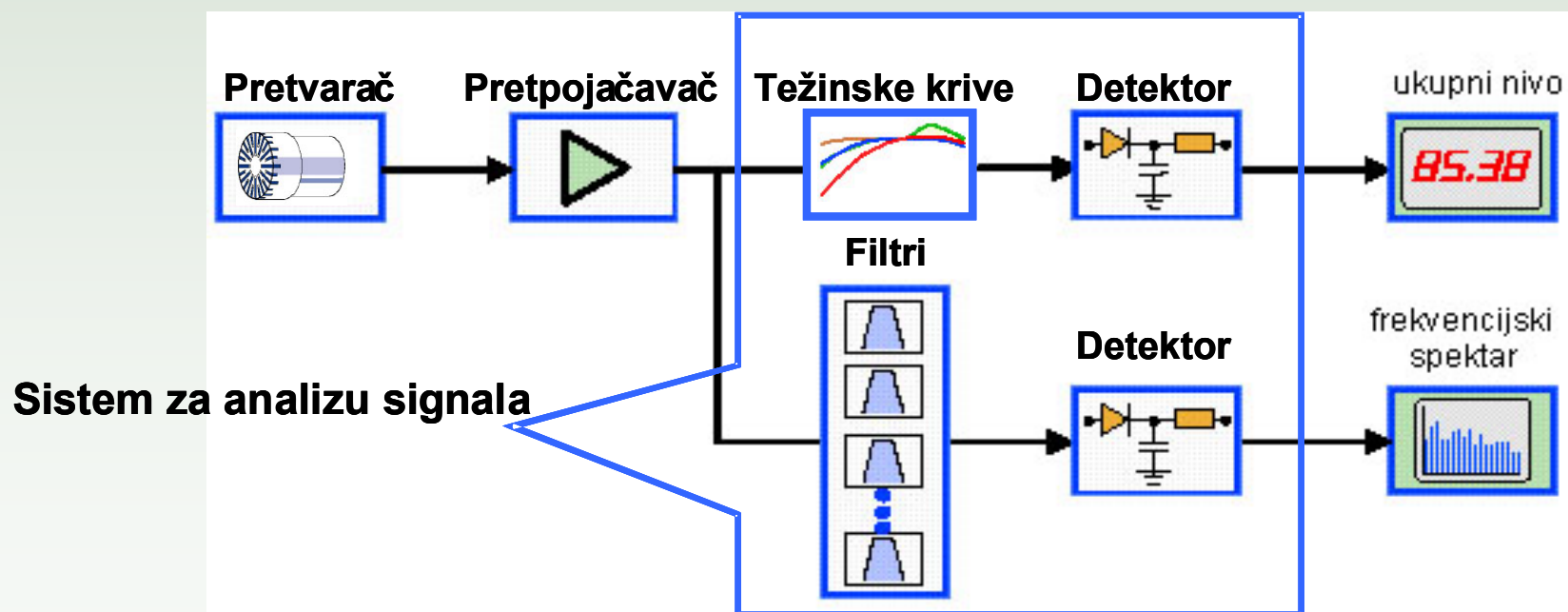
- ⊕ Koristi se grupa filtara različitih centralnih frekvencija.
- ⊕ Zajedno prekrivaju ceo frekvencijski opseg.
- ⊕ Signal iz pretvarača istovremeno se propušta kroz sve filtre
- ⊕ Paralelna analiza je veoma brza.
- ⊕ Nije neophodno da signal bude stacionaran u vremenu.
- ⊕ Rezultat analize je frekvencijski spektar dobijen analizom istog segmenta signala na svim centralnim frekvencijama filtra.
- ⊕ Analiza se vrši u realnom vremenu.



1. Pojasna analiza
2. Idealni filter
3. Realni filter
4. CPB filteri
5. Oktavni filteri
6. Tercni filteri
7. Tipovi frekvencijske analize



- Signal na izlazu filtra ili sekcije težinskih krivih je vremenski promenljiv signal, i kao takav vodi se na ulaz detektora signala.
- Dovodi se do **detektora signala** - poslednja kariku pre izlaznog sistema za prikaz rezultata.



- ⊕ Konvertovanje vremenski promenljivog signal u signal čije će vremenske promene biti sporije i koje se mogu pratiti na ekranu instrumenta.
- ⊕ Rezultat primene detektora
 - logaritamska vrednost RMS (očitavanje u decibelima).
- ⊕ RMS signal na izlazu detektora je takođe vremenski promenljiva veličina.

⊕ **Efektivna vrednost zvučnog pritiska** je srazmerna kvadratu zvučnog pritiska (energiji zvučnog signala).

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

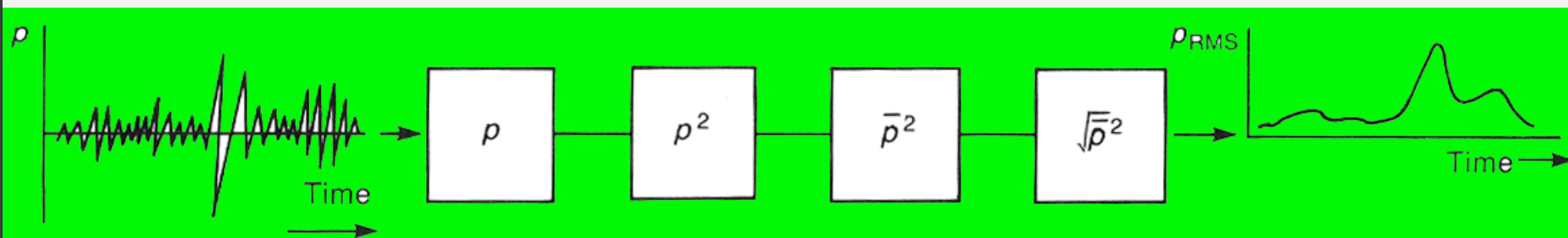
- p_{rms} – efektivna vrednost zvučnog pritiska,
- $p(t)$ – trenutna vrednost zvučnog pritiska
- T – vremenski interval usrednjavanja signala



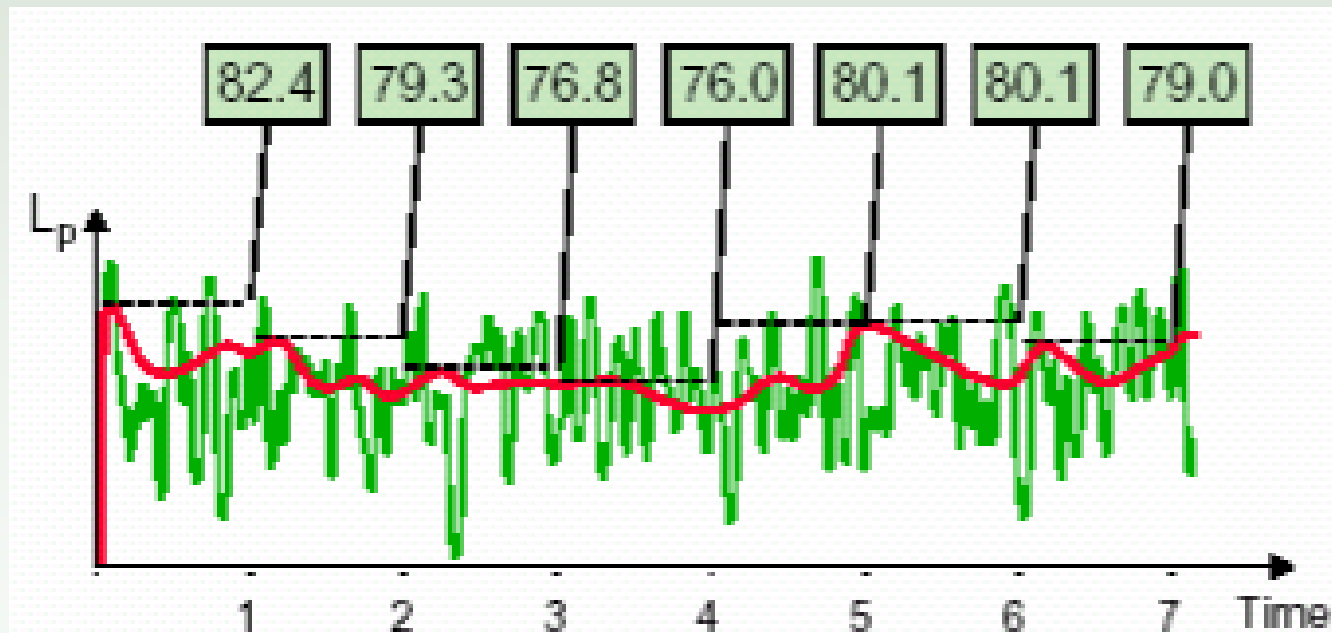
U detektoru signala vrši se:

$$p_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p^2(t) dt}$$

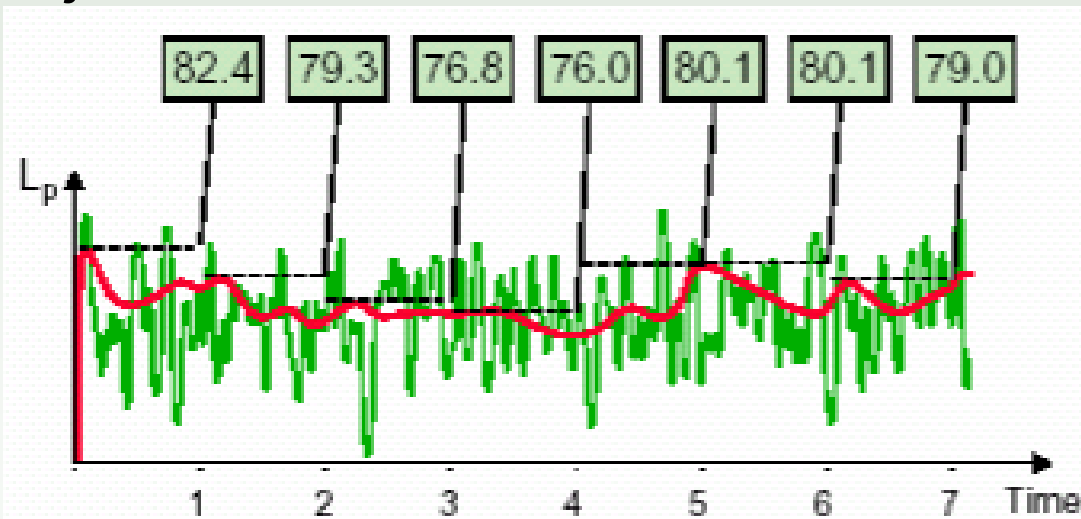
- kvadriranje trenutne vrednosti signala - trenutna snaga signala,
- integracija u definisanom vremenu usrednjavanja - srednja vrednost,
- kvadratni koren srednje vrednosti,
- izlazna vrednost se može konvertovati u dB vrednost.



- ⊕ Efektivna vrednost zvučnog pritiska je takođe vremenski promenljiva veličina – crvena linija na dijagramu.
- ⊕ Promene su manje.
- ⊕ Brzina promene zavisi od izabrane vremenske ponderacione (težinske) krive.

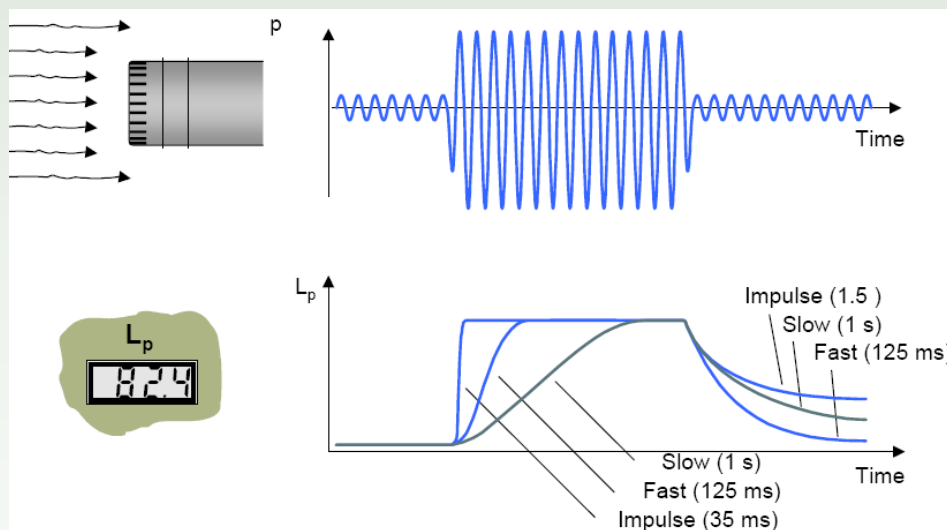


- ⊕ Težinska kriva određuje vreme odziva (reakcije) detektora na signal koji se dovodi na ulaz detektora.
- ⊕ Vreme odziva treba da bude:
 - dovoljno dugo, kako bi izmerena vrednost bila što približnija teorijskoj vrednosti energije signala,
 - dovoljno kratko, kako bi dobili uvid u vremenske promene zvučnog polja.



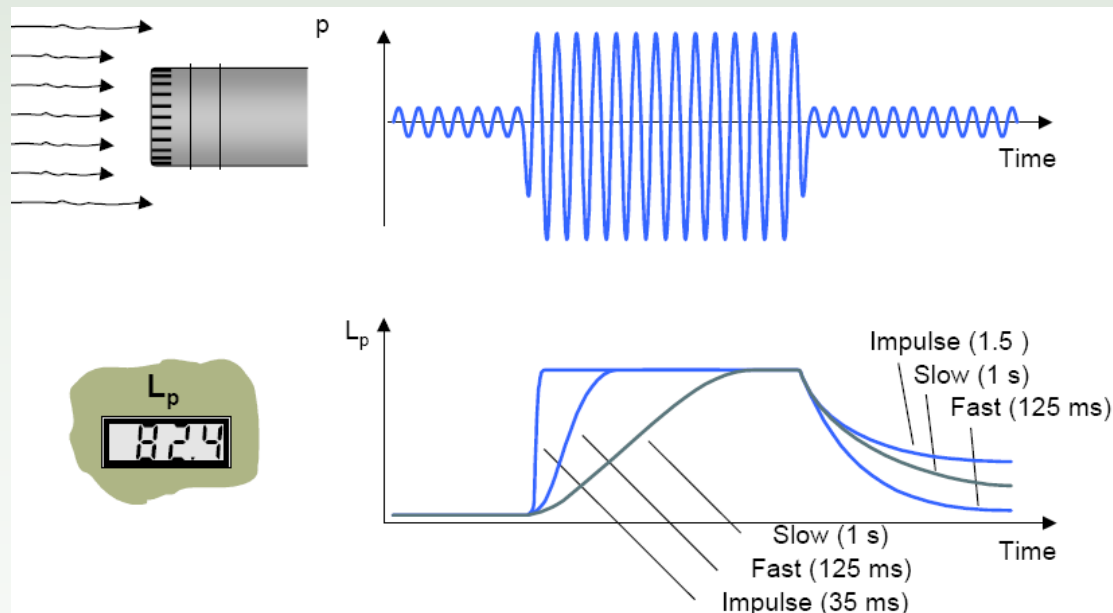
⌀ Vremenske konstante reakcije

- **slow** karakteristika, $\tau=1\text{s}$
- **fast** karakteristika, $\tau=125\text{ms}$
- **impulse** karakteristika, $\tau=35\text{ms}$

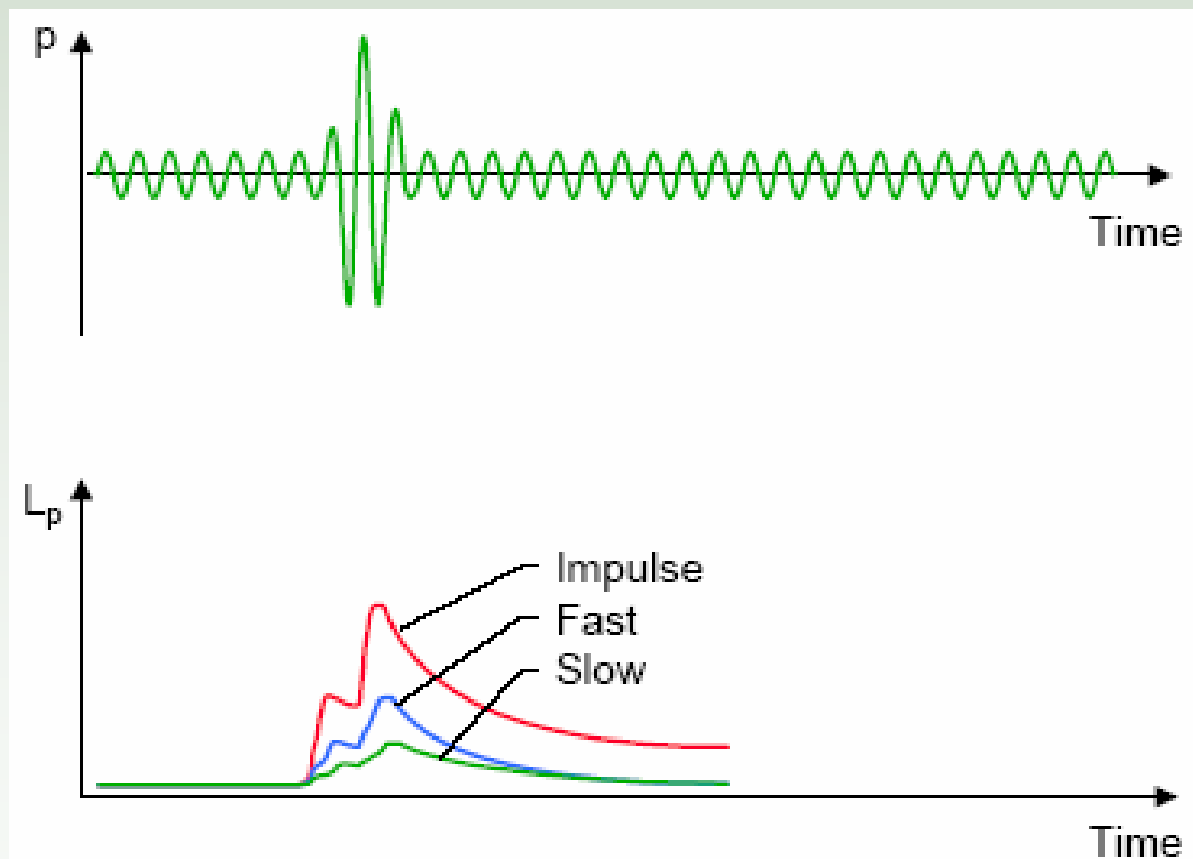


- ⊕ Ako zvučni signal traje dovoljno dugo sve tri krive daju istu vrednost nakon nekog vremena.
- ⊕ Najbrže reaguje detektor sa impulsnom krivom.
 - Najsporije se prazni sadržaj detektora - ne može odmah da reaguje na sledeći zvučni događaj.

- ⊕ Sadržaj detektora sa fast krivom se najbrže prazni - najbolje prati brze promene pritiska.

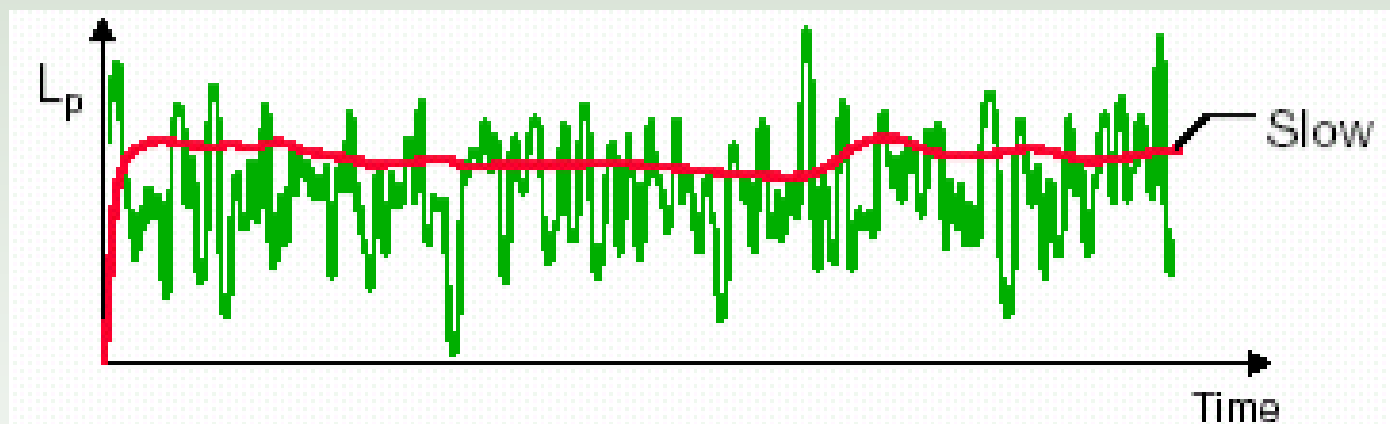


- ⊕ Ako zvučni signal traje veoma kratko impulsna kriva daje najpribližniji opis, odnosno najbolje prati promene zvučnog pritiska.



⊕ Merenje *slow* karakteristikom:

- maskira kratkotrajne impulsne pojave u signalu
- olakšava očitavanje RMS vrednosti,
- promene na displeju su sporije i mogu da se prate.

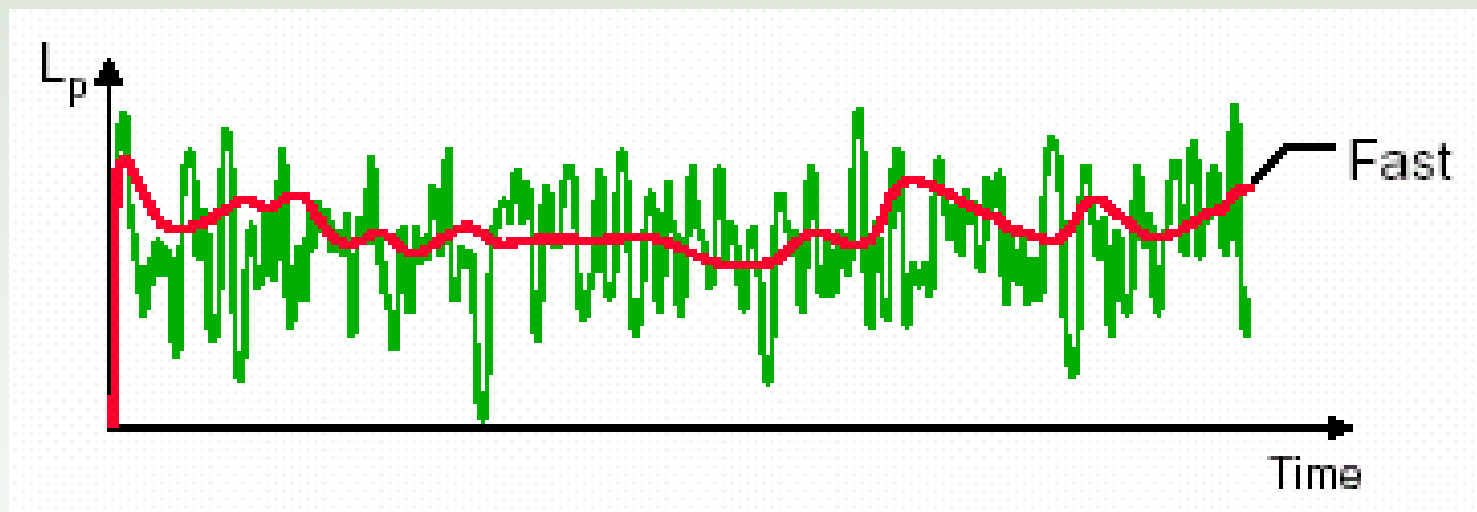


⊕ Primenjuje kada su promene nivoa buke brze i veće od 4dB, što onemogućava praćenje i procenu RMS vrednosti.

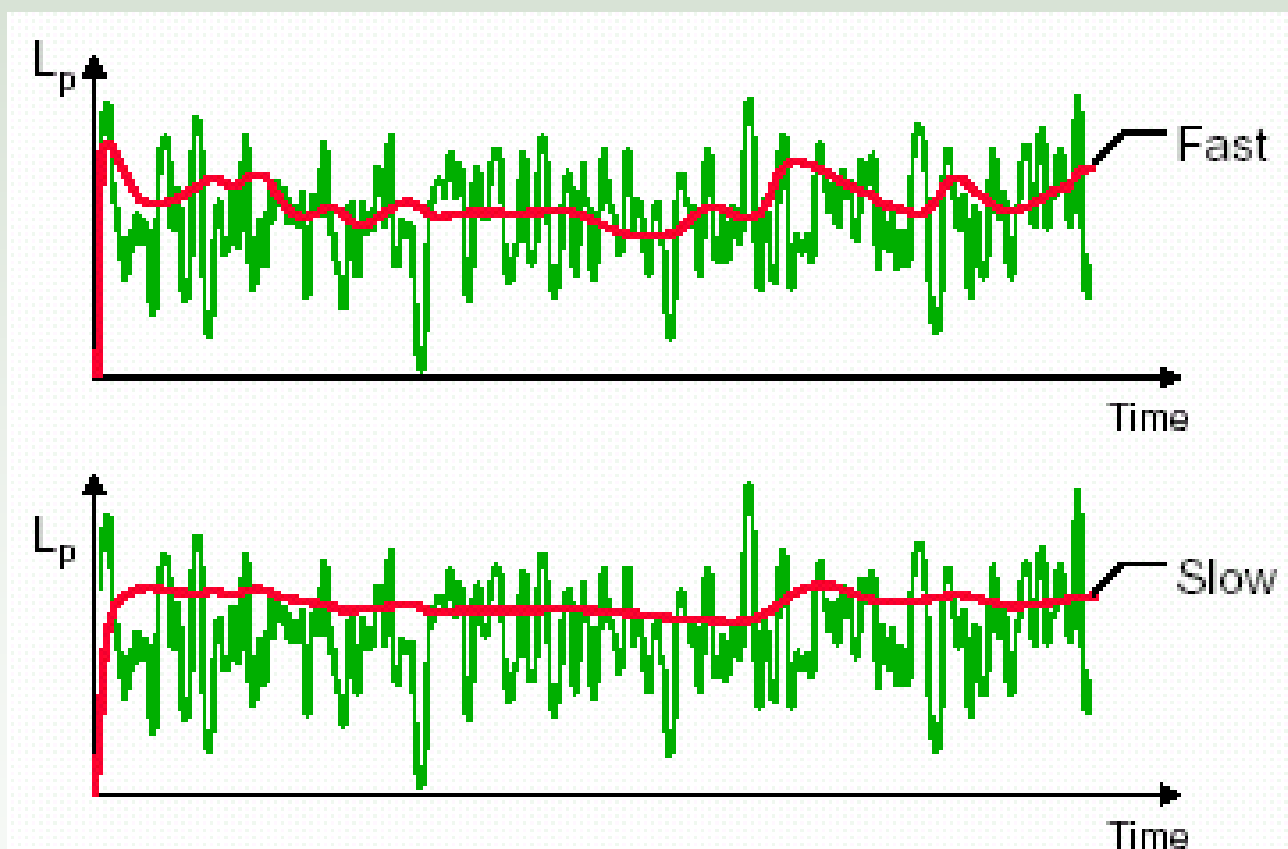
⊖ Nedostatak: ne prati dobro trenutne promene zvučnog pritiska.

⊕ Merenje *fast* karakteristikom:

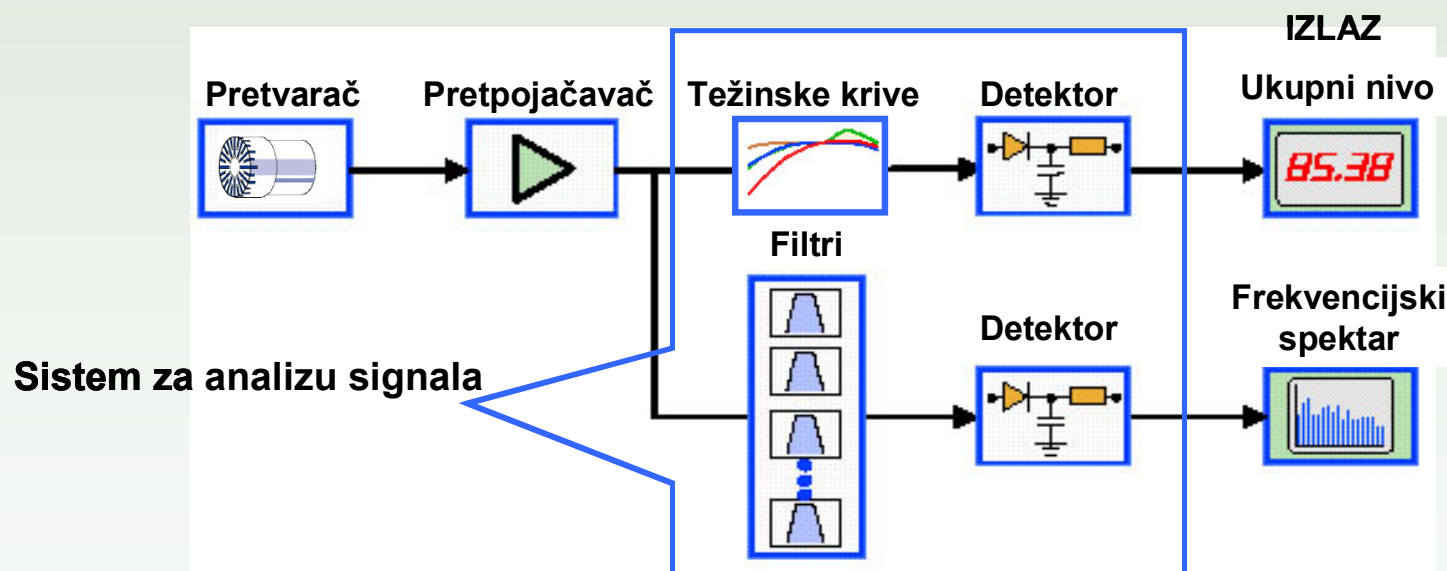
- omogućava praćenje relativno brzih promena signala,
- otežava praćenje promena na displeju instrumenta .



- ⊕ Uglavnom se primenjuje **fast** karakteristika, ali ako se signal suviše brzo menja i onemogućava jasno očitavanje i praćenje promena, tada se može koristiti i **slow** karakteristika



- ⊕ Pre svakog merenja neophodno je izvršiti kalibraciju mikrofona i instrumenta zajedno.
- ⊕ Kalibracijom se:
 - proverava funkcija mernog sistema od mikrofona do sistema za indikaciju
 - obezbeđuje pouzdanost i preciznost merenja.



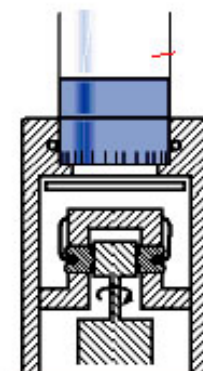
- ⊕ Za terenska merenja primenjuje se metod kalibracije pomoću kalibrisanih izvora zvuka.
- ⊕ Kalibrisani izvor zvuka na definisanoj frekvenciji generiše zvučno polje definisanog nivoa.
- ⊕ Dva tipa kalibrisanih izvora zvuka:
 - pistonfon, model 4220 (ili 4228),
 - kalibrator zvuka, model 4230.



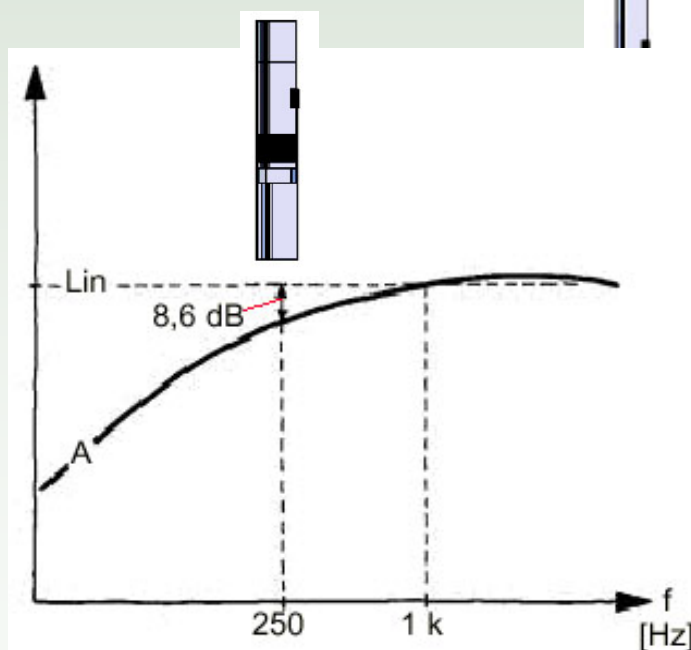
- ⊕ **Pistonfon** proizvodi nivo od 124dB na frekvenciji od 250Hz, sa tačnošću od $\pm 0.2\text{dB}$.
- ⊕ Kalibracija je zavisna od primenjene težinske krive.
- ⊕ Ako se pri kalibraciji koristi A-težinska kriva instrument treba da pokaže:

$$124\text{dB} - 8.6\text{dB} = 115.4\text{dB(A)}$$

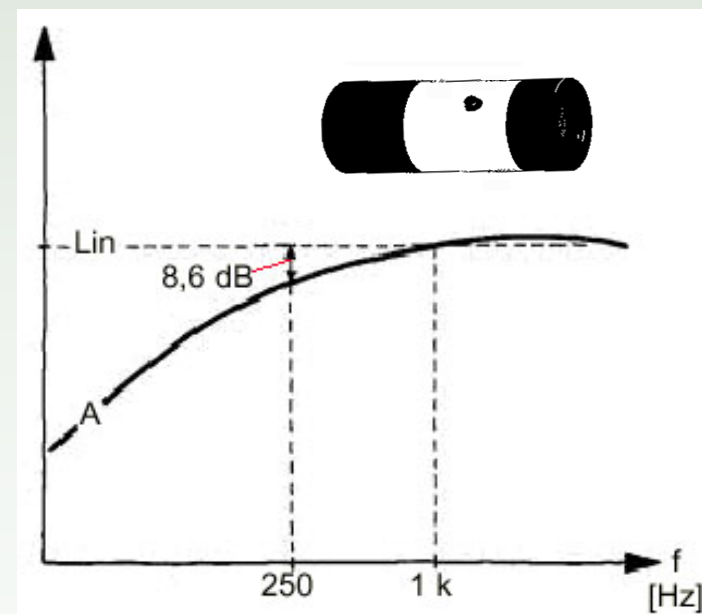
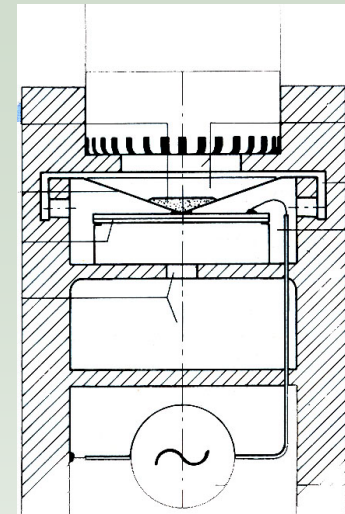
jer je 8.6dB slabljenje A-težinske krive na 250Hz.



f = 250 Hz
L = 124 ± Δ L [dB]



- ⊕ **Kalibrator zvuka** proizvodi nivo od 94dB na frekvenciji od 1000Hz, sa tačnošću od $\pm 0.25\text{dB}$,
- ⊕ Kalibracija je nezavisna od primenjene težinske krive.



- ⊕ Mikrofon se smešta u otvor na kalibratoru.
- ⊕ Kalibrator se uključuje.
- ⊕ Podešava se očitavanje na indikatoru instrumenta u skladu sa:
 - nivoom i frekvencijom kalibracionog signala
 - primenjenom težinskom krivom.
- ⊕ Kalibracija se sprovodi pre i posle izvršenih merenja nivoa buke.



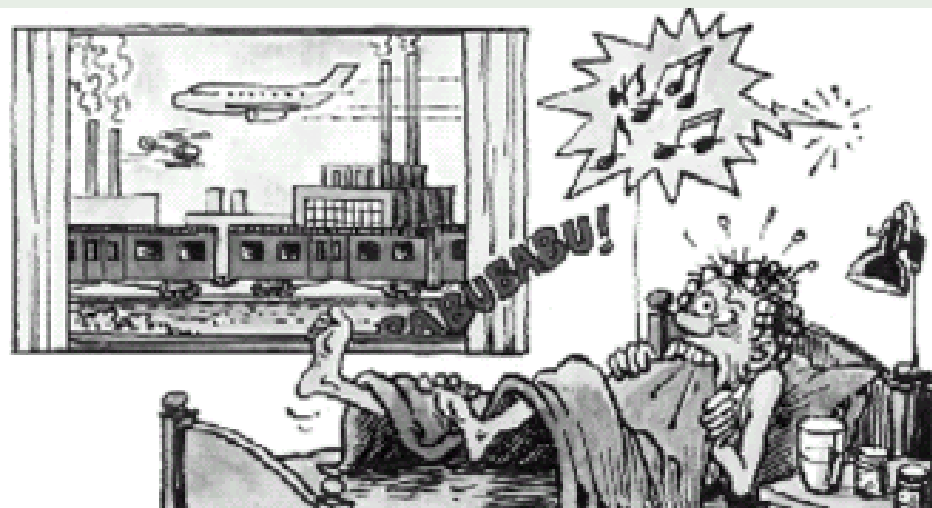
1. Efektivna vrednost ' RMS
2. Detektor signala
3. Vremenske težinske krive
4. Fast-Slow
5. Kalibracija mernog lanca



Osnovni principi ocene buke

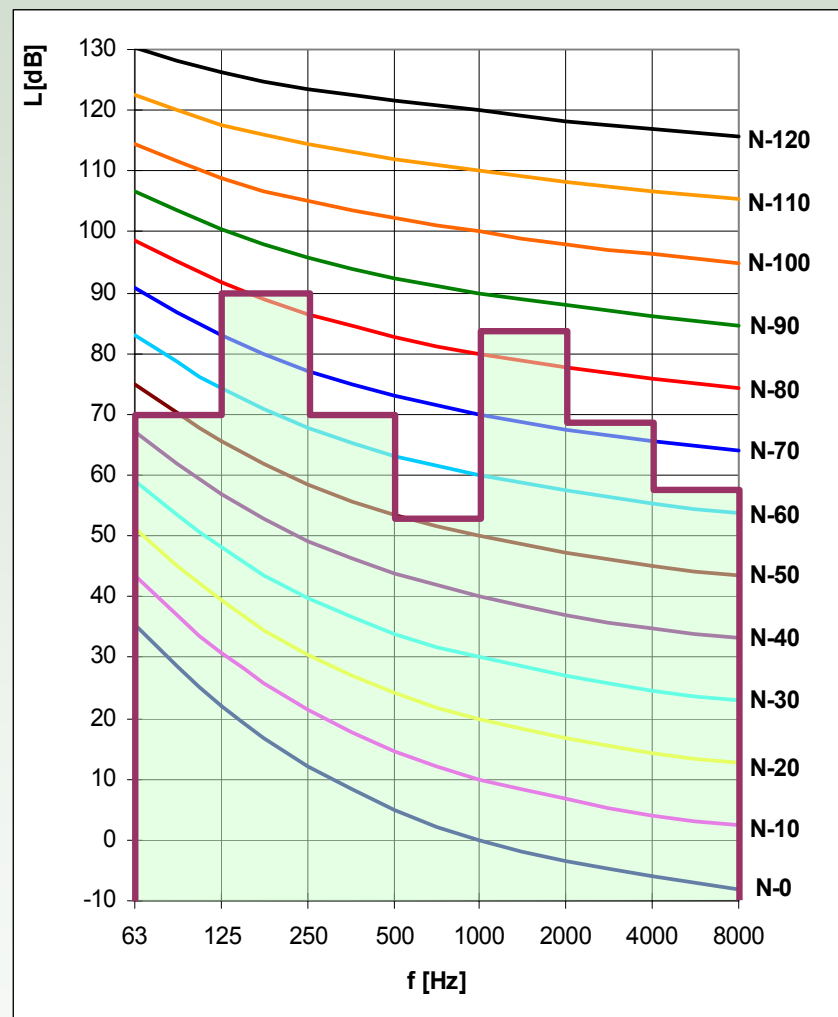
- Primenom svih raspoloživih mera za redukciju nivoa buke (izolacija, apsorpcija, ...), u određenoj prostoriji se nivo buke može svesti ispod praga čujnosti.
- Iz ekonomskih razloga, a i zbog činjenice da u prostoriji samo prisustvo ljudi stvara određenu buku, u praksi se uglavnom nivo buke svodi na prihvatljive nivoe buke za određene ljudske aktivnosti.
- Prihvatljivi nivo buke je u suštini subjektivna kategorija. Postoje više pokušaja da se pojam prihvatljivog nivoa buke objektivizira definisanjem kriterijuma koji bi omogućavali objektivnu ocenu buke i njenih efekata na osnovu objektivnih merila.

- U cilju određivanja prihvatljivih nivoa buke definišu se **kriterijumi za ocenu buke** poređenjem sa dozvoljenim vrednostima nivoa buke u zavisnosti od namene prostorija (ili otvorenog prostora) i vrste aktivnosti koja se u njima odvija.
- Kriterijumi za ocenu nivoa buke mogu definisati dozvoljene nivoe buke u obliku:
 - ⊕ **frekvencijskog spektra buke**,
obično po oktavama, i
 - ⊕ **ukupnog nivoa buke**,
obično u dB(A)

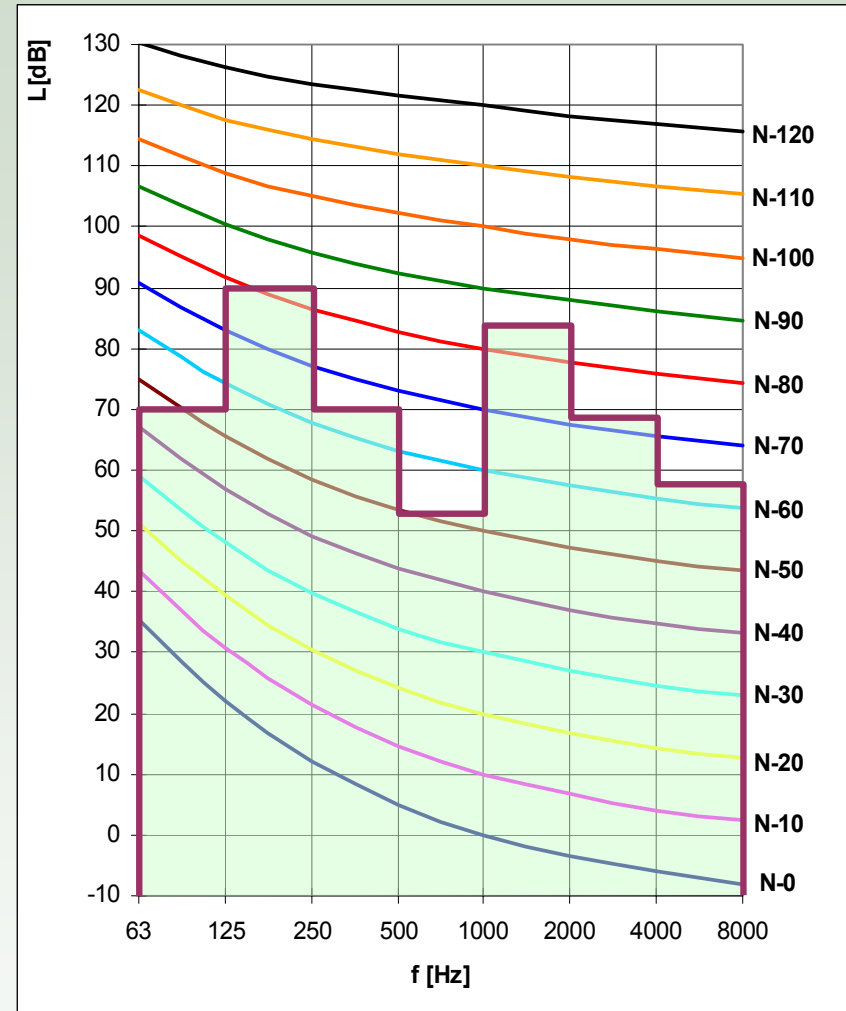


- Obzirom da nivo smetnji buke zavisi od spektralnog sadržaja (čoveku više smetaju visoke od niskih frekvencija), definišu se kriterijumi za ocenu buke na osnovu frekvencijskog spektra.
- Frekvencijski spektar buke, obično dat po oktavama, upoređuje se sa normativnim krivama buke (N-krive) koje definišu dozvoljene nivoe buke.

Nivo buke ni u jednoj oktavi ne sme da pređe nivo definisan normativnom krivom.



- ▶ Stalno opadajući tok krivih ukazuje na činjenicu da više frekvencije imaju štetnije dejstvo na čoveka, pa su i dozvoljene vrednosti manje.
- ▶ Krive se mogu shvatiti i kao krive jednako podnošljivih nivoa buke.
- ▶ Oznaka krive odgovara dozvoljenoj vrednosti na 1000Hz.



- Na frekvencijama različitim od 1000Hz mogu se odrediti dozvoljene vrednosti nivoa buke na osnovu oznake normativne krive (N) i frekvencijski zavisnih koeficijenata datih u tabeli.

$$L(f) = a(f) + b(f)N$$

<i>f</i> [Hz]	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
<i>a</i> [dB]	35.5	22.0	12.0	4.8	0	-3.5	-6.1	-8.0
<i>b</i> [dB]	0.790	0.870	0.930	0.974	1.000	1.015	1.025	1.030

- Ako se ne raspolaže spektrom buke, već ukupnim nivoom buke, za dozvoljeni nivo se uzima nivo koji je za 5dB veći od nominalne vrednosti krive. Važi i obrnuto:

Nominalna vrednost normativne krive je za 5dB manja od dozvoljenog A-ukupnog nivoa buke.

Ako je dozvoljeni ukupni nivo buke **60dB(A)**, za ocenu spektralnog sadržaja buke treba uzeti normativnu krivu **N-55**.

Dozvoljeni ukupni nivo buke je za 5dB veći od nominalne vrednosti normativne N-krive.

Dozvoljeni nivo buke za čitaonice (**N-40**) ima vrednost **45dB(A)**.

1. Ocena buke - prihvatljivi nivoi buke
2. N-krive





ISO 1999:1990 – Determination of occupational exposure and estimation of noise-induced hearing impairment



ISO 9612:1997 – Guidelines for the measurement and assessment of exposure to noise in a working environment

⊕ nivo izloženosti buci normalizovan na osmočasovno radno vreme

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log \frac{T_e}{T_0}$$

- ★ L_{Aeq,T_e} - ekvivalentni nivo buke za T_e
- ★ T_e – efektivno trajanje izloženosti buci
- ★ T_0 – referentno trajanje radnog dana (=8h)

- ⊕ Prosečni nivo izloženosti buci u toku nedelje ukoliko je izloženost buci radnim danima različita

$$\bar{L}_{EX,8h} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{0.1(L_{EX,8h})_i}$$

- ★ $(L_{EX,8h})_i$ – nivo izloženosti buci za i-ti dan

- ⊕ Merodavni nivo buke (Rating level)

$$L_r = L_{EX,8h} + K_T + K_I$$

- ★ K_T – Korekcija za tonalni karakter buke

- ★ K_I – Korekcija za impulsni karakter buke

- ⊕ ISO 1999 i ISO 9612 ne definišu vrednost korekcija već se upućuje na ISO 1996 i nacionalne propise

PRAVILNIK O MERAMA I NORMATIVIMA ZAŠTITE NA RADU OD BUKE U RADNIM PROSTORIJAMA

("Sl. list SFRJ", br. 21/92)

⊕ svakodnevna izloženosti buci

$$L_{EP,d} = L_{Aeq,T_e} + 10 \log \frac{T_e}{T_0}$$

- ★ L_{Aeq,T_e} - ekvivalentni nivo buke za T_e
- ★ T_e – efektivno trajanje izloženosti buci
- ★ T_0 – referentno trajanje radnog dana (=8h)

- ⊕ Prosečni nedeljna vrednost izloženosti buci u toku nedelje ukoliko je izloženost buci radnim danima različita

$$L_{EP,n} = 10 \log \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 10^{0.1(L_{EP,d})_i}$$

- ★ $(L_{EP,d})_i$ – nivo izloženosti buci za i-ti dan

- ⊕ Merodavni nivo buke

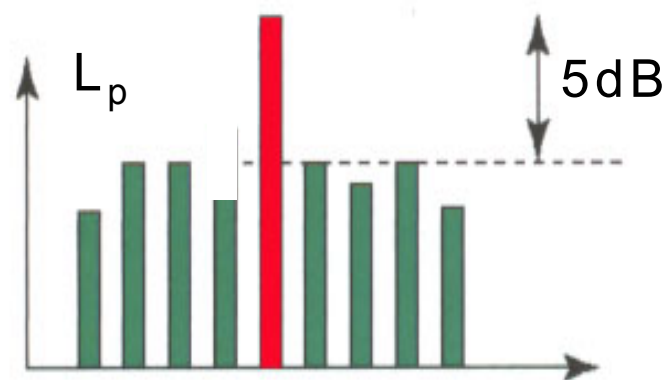
$$L_m = L_{EX,8h} + K_T + K_I$$

- ★ K_T – Korekcija za tonalni karakter buke
- ★ K_I – Korekcija za impulsni karakter buke

- ⇒ Ocena tonalnog karaktera buke K_T
- ★ Na osnovu tercnog frekvencijskog spektra ocenjuje se tonalni karakter buke i dodaje korekcija izmerenom nivou buke ako je buke tonalna.

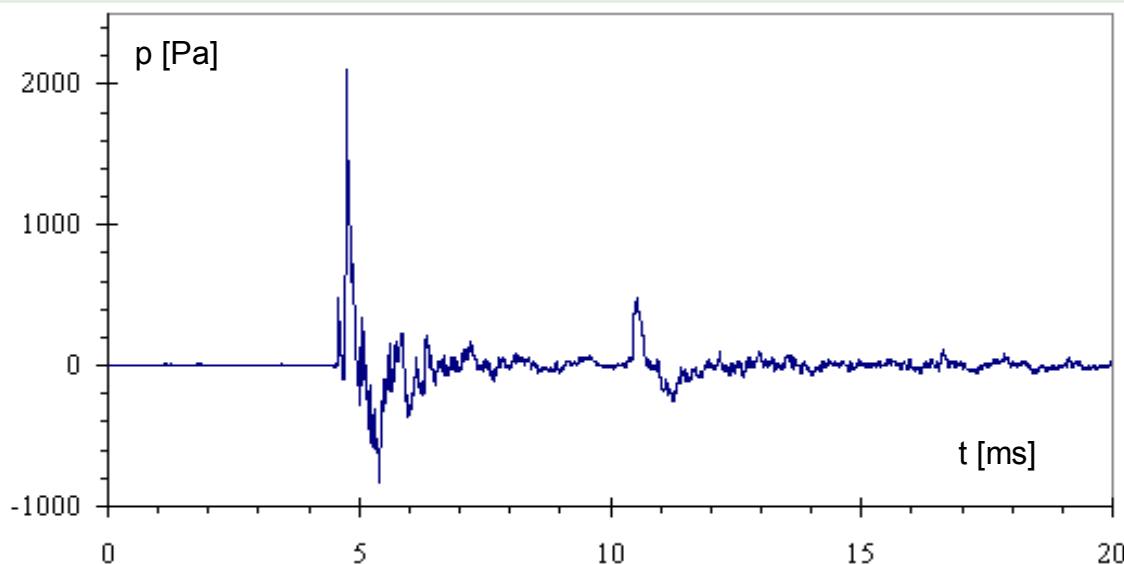
$$K_T = + 5\text{dB(A)}$$

Tonalna buka



⇒ Ocena impulsnog karaktera buke K_1

- ⊕ Ako su rezultati merenja dobijeni primenom impulsnog merača nivoa zvuka ne treba ih korigovati.
- ⊕ Ako su rezultati merenja dobijeni primenom preciznog merača nivoa zvuka sa “fast” odzivom treba ih korigovati



$$K_1 = 5\text{dB(A)}$$

1. ISO indikatori buke
2. Indikatori buke - pravilnik
3. Korekcije



EUROPEAN PARLIAMENT



Direktiva 2003/10/EC

Izloženost radnika riziku od dejstva buke 6 februar 2003.

Tip vrednosti	$L_{EX,8h}$	p_{peak}	L_{peak}
Limit value	87 dB(A)	200Pa	140dB(C)
Upper action value	85 dB(A)	140Pa	137dB(C)
Lower action value	80dB(A)	112Pa	135dB(C)

- Granična vrednost – *Limit value***; kojoj radnik sme biti izložen uz primenu ličnih zaštitinih sredstava. Ako je buka iznad granične vrednosti poslodavac mora preduzeti dodatne mere da se nivo buke smanji.

► Direktiva Evropskog parlamenta i vlade 2003/10/EC

Tip vrednosti	$L_{EX,8h}$	p_{peak}	L_{peak}
Limit value	87 dB(A)	200Pa	140dB(C)
Upper action value	85 dB(A)	140Pa	137dB(C)
Lower action value	80dB(A)	112Pa	135dB(C)

✚ **Gornja akciona vrednost** – vrednost buke kada je radnik obavezan da koristi lična zaštitna sredstva.

✚ **Donja akciona vrednost** – vrednost buke kada je poslodavac obavezan da radniku stavi na raspolaganje lična zaštitna sredstva.

PRAVILNIK O MERAMA I NORMATIVIMA ZAŠTITE NA RADU OD BUKE U RADNIM PROSTORIJAMA

("Sl. list SFRJ", br. 21/92)

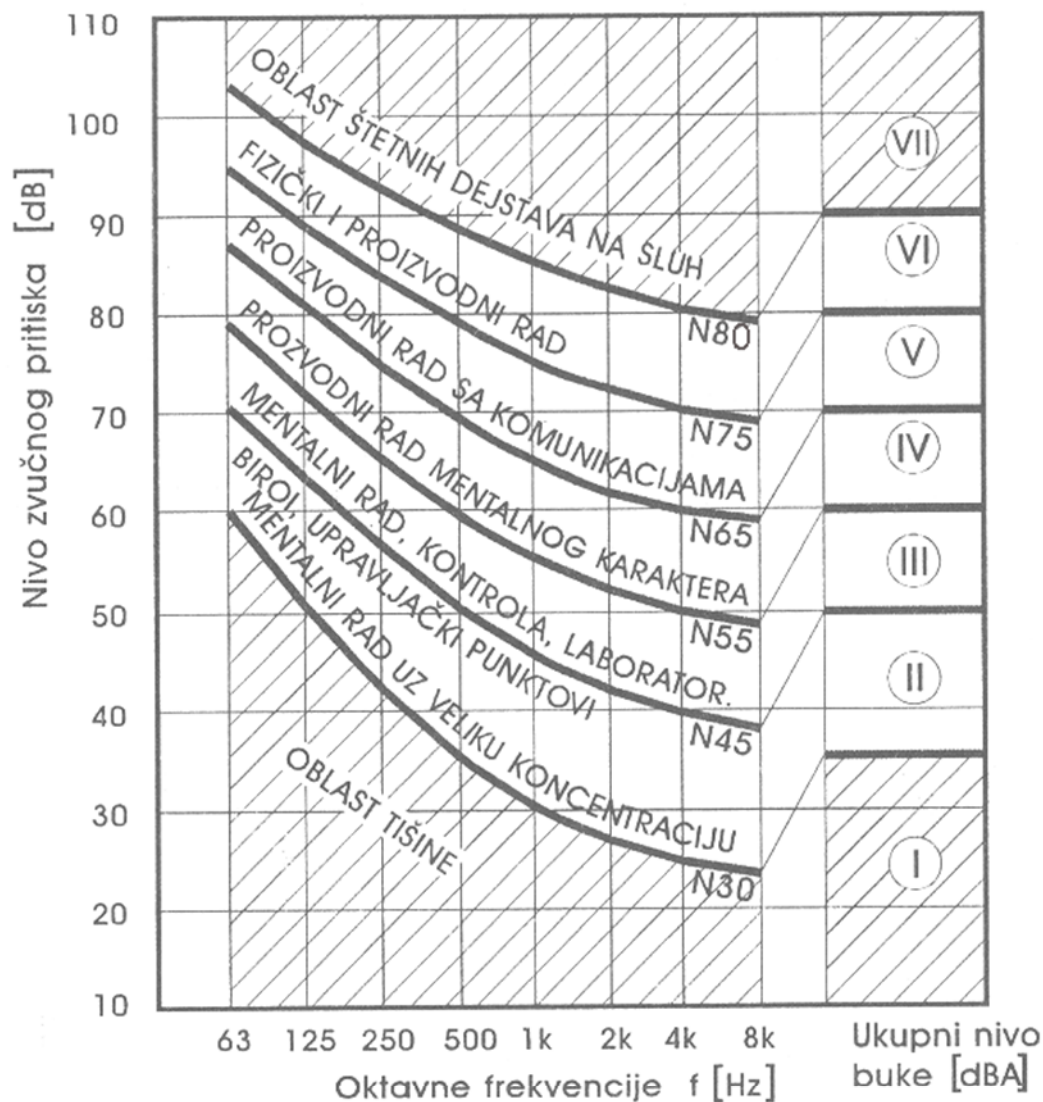
- ⊕ za neometanje raznih vrsta delatnosti
- ⊖ za neometanje neposrednog sporazumevanja govorom
- ⊕ za neometanje posrednog sporazumevanja sredstvima komunikacije
- ⊕ za neometanje primanje zvučnih signala – nivo mora biti za 10dBA niži od nivoa zvučnog signala
- ⊕ za zaštitu sluha od štećenja – 85dBA ili ako se vrši oktavna analiza N-80
- ⊕ za dopušteno vreme izlaganja buci

Dopušteni nivoi buke s obzirom na vrstu delatnosti

R.br.	VRSTA DELATNOSTI	Dopušteni nivo buke na radnom mestu u dB(A)		
		a	b	c
1.	Fizički rad bez zahteva za mentalnim naprezanjem i zapažanjem okoline sluhom.	85	85	80
2.	Fizički rad usmeren na tačnost i koncentraciju; povremeno praćenje i kontrola okoline sluhom; upravljanje transportnim sredstvima.	80	75	70
3.	Rad koji se obavlja pod čestim govornim komandama i akustičkim signalima. Rad koji zahteva stalno praćenje okoline sluhom. Rad pretežno mentalnog karaktera, ali rutinski.	75	70	60
4.	Rad pretežno mentalnog karaktera koji zahteva koncentraciju, ali rutinski.	70	65	55
5.	Mentalni rad usmeren na kontrolu rada grupe ljudi koja obavlja pretežno fizički rad. Rad koji zahteva koncentraciju ili neposredno komuniciranje govorom i telefonom.	-	60	50
6.	Mentalni rad usmeren na kontrolu rada grupe ljudi koja obavlja pretežno mentalni rad. Rad koji zahteva koncentraciju, neposredno komuniciranje govorom i telefonom. Rad isključivo vezan za razgovore preko komunikacionih sredstava (telefona i sl.).	-	55	45
7.	Mentalni rad koji zahteva veliku koncentraciju, isključivo iz okoline, preciznu psihomotoriku ili komuniciranje sa grupom ljudi.	-	-	40
8.	Mentalni rad, kao izrada koncepcija, rad vezan za veliku odgovornost, komuniciranje radi dogovora sa grupom ljudi.	-	-	35

Izvori buke:

- a** - buka koju pravi oruđe za rad ili uređaj kojim radnik radi ili ga opslužuje
- b** - buka koju pravi oruđe za rad ili uređaj kojim radnik ne radi ili ga ne opslužuje
- c** - buka koju stvaraju neproizvodni izvori (uređaji za ventilaciju ili klimatizaciju, susedna organizacija, ulični saobraćaj i sl.)



Dopušteni nivoi buke s obzirom na mogućnost sporazumevanja govorom

dB (A)	Udaljenost u metrima	
	Normalan govor	Glasan govor
45	7	14
50	4	8
55	2.2	4.5
60	1.3	2.5
65	0.7	1.4
70	0.4	0.8
75	0.22	0.45
80	0.13	0.25
85	0.07	0.14
90	-	0.08

Dopušteni nivoi buke s obzirom na mogućnost posrednog sporazumevanja sredstvima komunikacije

Kriterijum u dB (A)	Mogućnost sporazumevanja telefonom i dr.
55	zadovoljavajuća
65	malo otežana
70	teška
iznad 75	nezadovoljavajuća

Dopušteni nivoi buke s obzirom na trajanje buke

Dnevno izlaganje u časovima	Nivo buke u dB (A)
8	85
6	87
4	90
3	92
2	95
1 1/2	97
1	100
1/2	105
1/4	110
1/8	115

$$t_d = \frac{8}{2^{\frac{L_m - L_{doz}}{5}}}$$

Dopušteni nivoi impulsne ili udarne buke

Dnevno buke u dBA	Dozvoljeni broj impulsa ili udara u toku dana
140	100
130	1000

- ▶ Štetno delovanje buke ocenjuje se na osnovu punog radnog vremena i u skladu sa normativima dopuštenih nivoa buke.
- ▶ Štetnost delovanja buke ocenjuje se upoređivanjem dopuštenog nivoa buke na određenom radnom mestu ili u određenoj radnoj prostoriji sa merodavnim nivoom buke izraženim u dB(A).

- ▶ Na radnom mestu koje je izloženo kombinovanom uticaju **više štetnih delovanja buke**, dopušteni nivo buke se određuje posebno za svako nepovoljno delovanje buke koje se javlja na takvom radnom mestu.

Za dopušteni nivo buke na takvom radnom mestu uzima se nivo buke s **najnižom** dopuštenom vrednošću.

Na radnom mestu na kome se merenjem i ocenjivanjem utvrdi da buka prelazi dopušteni nivo, potrebno je uraditi **oktavnu analizu buke**.

- Za ocenjivanje štetnosti delovanja buke na osnovu oktavne analize koriste se vrednosti odgovarajuće N-krive prema vrsti delatnosti na datom radnom mestu.
- Vrednost N-krive koju treba koristiti mora da bude manja za 5 od dopuštenog nivoa buke na datom radnom mestu.

➤ Ako je nivo buke veći od 85dB(A) poslodavac je u obavezi da radniku stavi na raspolaganju lična zaštitna sredstva - **AKCIONA VREDNOST**.

➤ Ako je nivo buke veći od 90dB(A) radnik je obavezan da koristi lična zaštitna sredstva - **GRANIČNA VREDNOST**.

1. Dozvoljene vrednosti - direktiva
2. Dozvoljene vrednosti - pravilnik
3. Dozvoljena vrednost - oštećenje sluha
4. Akciona i granična vrednost buke





EUROPEAN PARLIAMENT

END

Direktiva 2002/49/EC

Ocena i menadžment bukom u životnoj sredini

25 jun 2002.

Environmental Noise Directive

Ključni elementi:

- Određivanje izloženosti buci kroz **mapiranje buke**
- Izrada akcionih planova
- Dostupnost informacija o buci u životnoj sredini

INDIKATORI ZA MAPIRANJE BUKE

EVROPSKA UNIJA

Dva osnovna indikatora: L_{den} i L_{night}
Dva dopunska indikatora: L_{day} i $L_{evening}$

$$L_{den} = 10 \log \frac{1}{24} (12 \cdot 10^{0.1 L_{day}} + 4 \cdot 10^{0.1(L_{evening} + 5)} + 8 \cdot 10^{0.1(L_{night} + 10)})$$

L_{day} [dB(A)] – ekvivalentni nivo buke u dnevnom periodu (07:00-19:00)
korigovan za tonalni i impulsni karakter buke

$L_{evening}$ [dB(A)] – ekvivalentni nivo buke u večerenjem periodu (19:00-23:00)
korigovan za tonalni i impulsni karakter buke

L_{night} [dB(A)] – ekvivalentni nivo buke u noćnom periodu (23:00-07:00)
korigovan za tonalni i impulsni karakter buke

Korekcija za period odmora +5dB a za večernji period +10dB.

Kao referentni vremenski intervali (periodi) u kojima se vrši ocenjivanje buke uglavnom se koriste **dnevni i noćni period**, a neke zemlje uvode i treći - **period odmora** u cilju efikasnije zaštite populacije u ovom periodu.

Korekcija za određene periode dana se uvodi da bi se populacija zaštitila za vreme odmora i spavanja.

	dan	odmor	noć
Austrija	(6-22)8h	-	(22-6)0.5h
Belgija	1h	1h	1h
Danska	(7-18)8h	(18-22)1h	(22-7)0.5h
Francuska	(7-20)o.t.	(6-7;20-22)o.t.	(22-6)o.t
Nemačka	(6-22)16h	-	(22-6)0.1h
UK	(7-23)	-	(23-7)
Italija	(6-22)16h	-	(22-6)8h
Holandija	(7-19)12h	(19-23)4h	(23-7)8h
Švedska	(7-18)	(18-22)	(22-7)
ISO	-	-	-
Srbija	(6-22)		(22-6)



ISO 1996-1:2003, ISO 1996-2:2007

Description, measurement and assesment of environmental noise

SRPS U.J6.205:1992 – Merenje buke u životnoj sredini

INDIKATORI ZA OCENU STANJA BUKE

Merodavni nivo buke je mera izloženosti buci korigovana za faktore koji su opšte poznati kao faktori koji pojačavaju negativne efekte buke.

Koristi se za upoređivanje izmerenih vrednosti sa graničnim dozvoljenim vrednostima buke i definiše se kao:

$$L_r = L_{Aeq} + K_I + K_T + K_t$$

↑ korekcija za trajanje buke
↑ korekcija za tonalni karakter buke (3-6dB)
↑ korekcija za impulsni karakter buke (+5dB)
↑ izmereni A-ekvivalentni nivo buke
↑ merodavni nivo buke

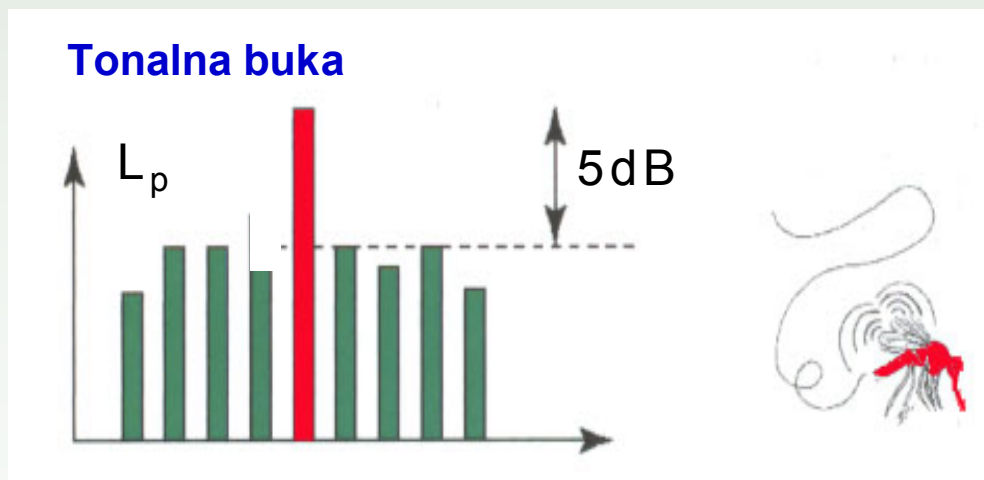
$$K_t = 10 \log \frac{t}{T}$$

✚ t – trajanje ocenjivane buke

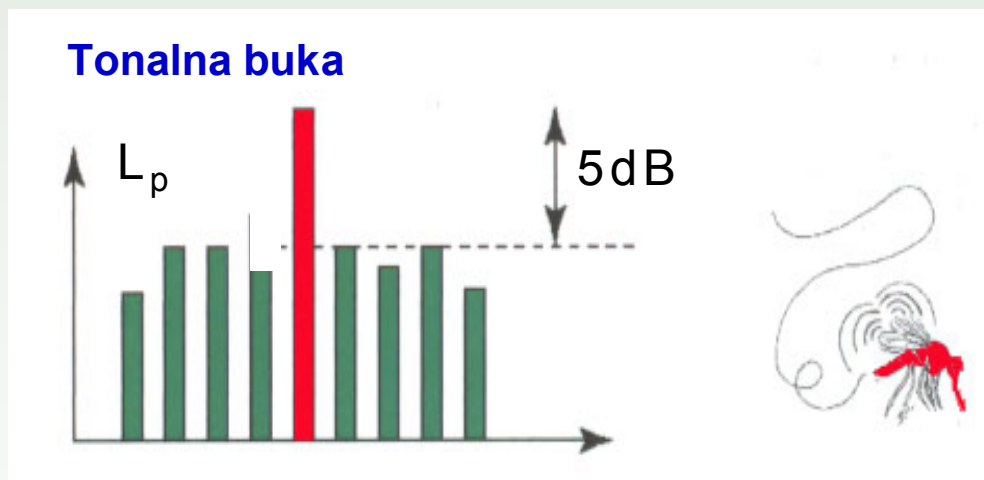
✚ T – referentni vremenski interval
(16h za dnevni period, 8h za noćni period)

⇒ Ocena tonalnog karaktera buke K_T

- ★ Kada se tonska komponenta jasno čuje i njeno postojanje se može dokazati tercnom analizom, tj. kada nivo jedne terce nadvisuje susedne za 5dB ili više **U BILO KOM FREKVENCIJSKOM OPSEGU**, dodatak za istaknuti ton je 6dB.
- ★ Kada se istaknuti ton čuje ali gornji kriterijum za tercu nije ispunjen, dodatak za istaknuti ton je 3dB.



- ISO 1996-1_2007
- ⇩
- ★ Ocena tonalnog karaktera buke - približan metod
- ★ U opsegu od 25 do 125 Hz buka je tonalna kada nivo jedne terce nadvisuje susedne za 15dB.
 - ★ U opsegu od 160 do 400 Hz buka je tonalna kada nivo jedne terce nadvisuje susedne za 8dB.
 - ★ U opsegu od 500 do 10 kHz buka je tonalna kada nivo jedne terce nadvisuje susedne za 5dB.



- Kao opšte priznate vrednosti za ocenu ukupnog nivoa buke koriste se dozvoljene vrednosti:

Tip vrednosti	Dnevni period	Noćni period
Black spots	65 dB(A)	55 dB(A)
Gray area	55 dB(A)	45 dB(A)

- ▶ U mnogim zemljama se definišu dozvoljene vrednosti za svaku grupu izvora i zonu određene namene. U Srbiji se koriste opšte vrednosti dozvoljenih nivoa buke za sve tipove izvora buke u životnoj sredini. efinisane za otvoreni prostor i boravišne prostorije zasebno.
- ▶ Definišu se posebne dozvoljene vrednosti za otvoreni prostor i boravišne prostorije.

SRPS U.J6.205:2007 / otvoreni prostor

Zona	NAMENA PROSTORA	Najviši dozvoljeni nivo spoljne buke L_{Aeq} [dB(A)]	
		Dan	Noć
1.	Područja za odmor i rekreaciju, bolničke zone i oporavilišta, kulturno-istorijski lokaliteti, veliki parkovi	50	40
2.	Turistička područja, mala i seoska naselja, kampovi i školske zone	50	45
3.	Čisto stambena područja	55	45
4.	Poslovno-stambena područja, trgovačko-stambena područja i dečja igrališta	60	50
5.	Gradski centar, zanatska, trgovačka, administrativno-upravna zona sa stanovima, zone duž autoputeva, magistralnih i gradskih saobraćajnica	65	55
6.	Industrijska, skladišna i servisna područja i transportni terminali bez stambenih zgrada	Na granici ove zone buka ne sme prelaziti dozvoljene nivoe u zoni sa kojom se graniči	

Pravilnik o dozvoljenim nivoima buke u životnoj sredini - zatvoreni prostor

R.b.	SREDINA U KOJOJ ČOVEK BORAVI	Dozvoljeni nivo buke [dB(A)]	
		Dan	Noć
1.	U STAMBENOJ ZGRADI (BORAVIŠNE PROSTORIJE) PRI ZATVORENIM PROZORIMA		
	a) iz izvora buke u zgradi	35	30
	b) iz izvora buke izvan zgrade	40	35
2.	U JAVNIM I DRUGIM OBJEKTIMA PRI ZATVORENIM PROZORIMA		
2.1	Bolnice, klinike, domovi zdravlja i sl., i u njima:		
	a) bolesničke sobe	35	30
	b) ordinacije	40	40
	c) operacioni blok bez medicinskih uređaja i opreme	35	35
2.2	Prostorije u objektima za odmor dece i učenika i spavaće sobe domova za boravak starih lica i penzionera:		
	a) iz izvora buke u zgradi	35	30
	b) iz izvora buke izvan zgrade	40	35
2.3	Prostorije za vaspitno-obrazovni rad (učionice, slušaonice, kabineti i sl.), bioskopske dvorane i čitaonice u bibliotekama	40	40
2.4	Pozorišne i koncertne dvorane	30	30
2.5	Hotelske sobe		
	a) iz izvora buke u zgradi	35	30
	b) iz izvora buke izvan zgrade	40	35

1. Indikatori za mapiranje buke
2. Indikatori za ocenu buke
3. Korekcija za tonalnu buku
4. Black spots vrednosti
5. Dozvoljene vrednosti - otvoreni prostor
6. Dozvoljene vrednosti - boravišne prostorije

