

# Mjerna tehnika

Mašinstvo 4+1+3

# AKUSTIČKA MJERENJA

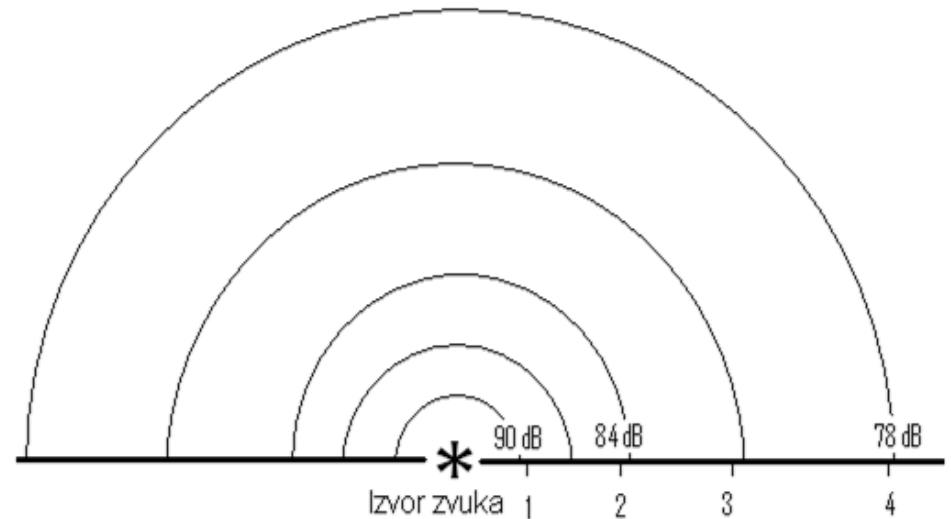
- Sa porastom stanovništva i prenaseljenošću gradova, brzim tempom industrijskog razvoja i stvaranjem velikih industrijskih centara, modernizacijom i automatizacijom životnih uslova i usluga, ljudi se iz dana u dan sve više suočavaju sa problemom buke.
- Prva saznanja i otkrića štetnog dejstva buke buke na čovjeka su starijeg datuma, ali tek poslije drugog svjetskog rata ovaj problem postaje aktuelan za društvo.
- Danas u svijetu, u uslovima brzog industrijskog razvoja, industrijska buka zauzima posebno mjesto i svojim štetnim dejstvom upozorava na organizovanu borbu protiv nje.
- Ta borba dobija vid naučne borbe i posljednjih godina postaje usmjerena na konkretne probleme.
- U mnogim zemljama, posebno industrijski razvijenim, u sastavu zavoda i instituta za zaštitu na radu, formiraju se grupe, odjeljenja, laboratorije koje imaju za cilj da toj borbi daju naučni karakter.

- Organizuju se naučne komisije, međunarodna savjetovanja i simpozijumi, gdje se na osnovu fizičkih veličina buke određuju zakonski propisi, pravila, i preporuke koje se odnose na uslove rada u industriji, stambenim prostorijama, školama, bolnicama – svugdje gdje se smatra da buka svojim dejstvom ugrožava čovjeka
- (organ čula sluha, nervni sistem i ljudski organizam uopšte).
- Fenomen buke zahtjeva naučne spoznaje i istraživanje iz oblasti akustike i mehaničkih oscilacija čije poznavanje je vrlo kompleksno
- Fenomen buke zahtjeva naučne spoznaje i istraživanje iz oblasti akustike i mehaničkih oscilacija čije poznavanje je vrlo kompleksno.
- Njeno efikasno otklanjanje traži ekipno angažovanje stručnjaka. Pored akustičara, fizičara, mašinskih i građevinskih stručnjaka ravnopravan udio u rješavanju ovih problema imaju i ljekari, sociolozi, psiholozi, službe zaštite na radu i dr.
- danas u svijetu, posebno u razvijenim industrijskim zemljama, u proučavanju buke postignuti veliki rezultati.
- Razrađeni su mnogi mjerni metodi i instrumenti za mjerenje i analizu, kao i metodi njenog efikasnog saniranja na nivou usvojenih propisa i normativa.

# Postavke o zvuku

- Buka je zvuk koji se javlja u čujnom području frekvencija od (20 ÷ 1000) Hz.
- Osim čujnog područja postoji infrazvuk frekvencije do 10 Hz i ultrazvuk frekvencije preko 1000 Hz.
- Za razmatranje u tehnici kada je u pitanju uticaj buke na čovjeka i stanje mašina i opreme bitan je čujni zvuk.
- Zvuk predstavlja promjenu akustičnog pritiska, napona ili brzine zvučnog talasa koji se širi kroz neku sredinu. Izvori zvuka su tijela koja vibriraju.
- Zvučni talasi koje emituju mašinski sistemi su sfernog oblika, slika

- Zvučni talas



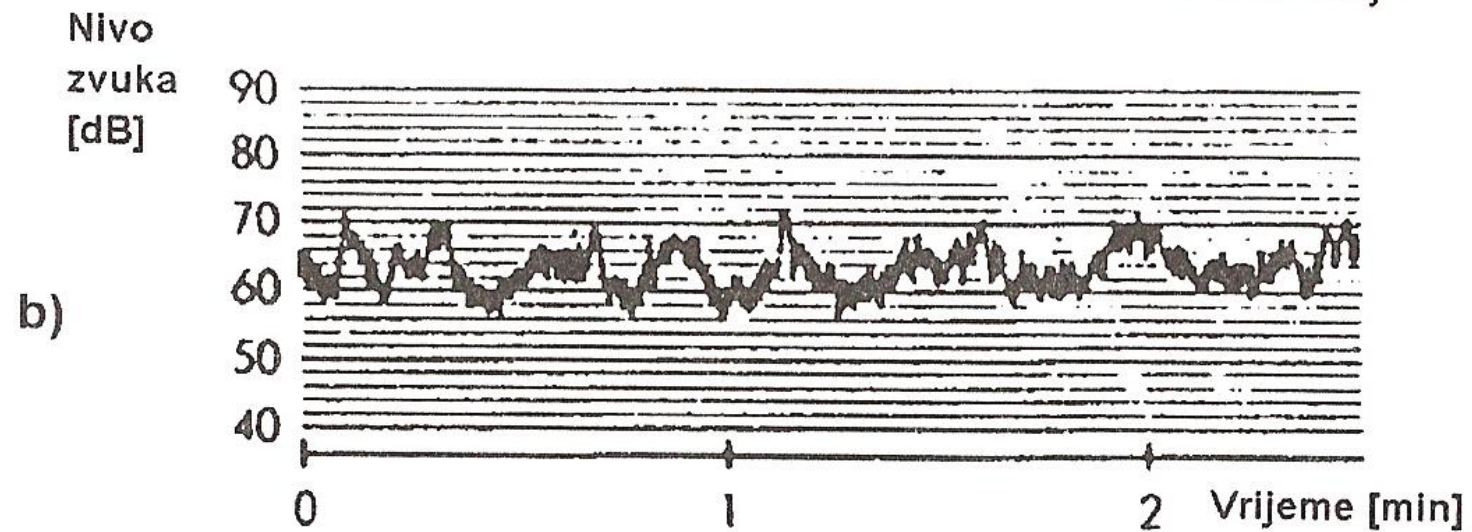
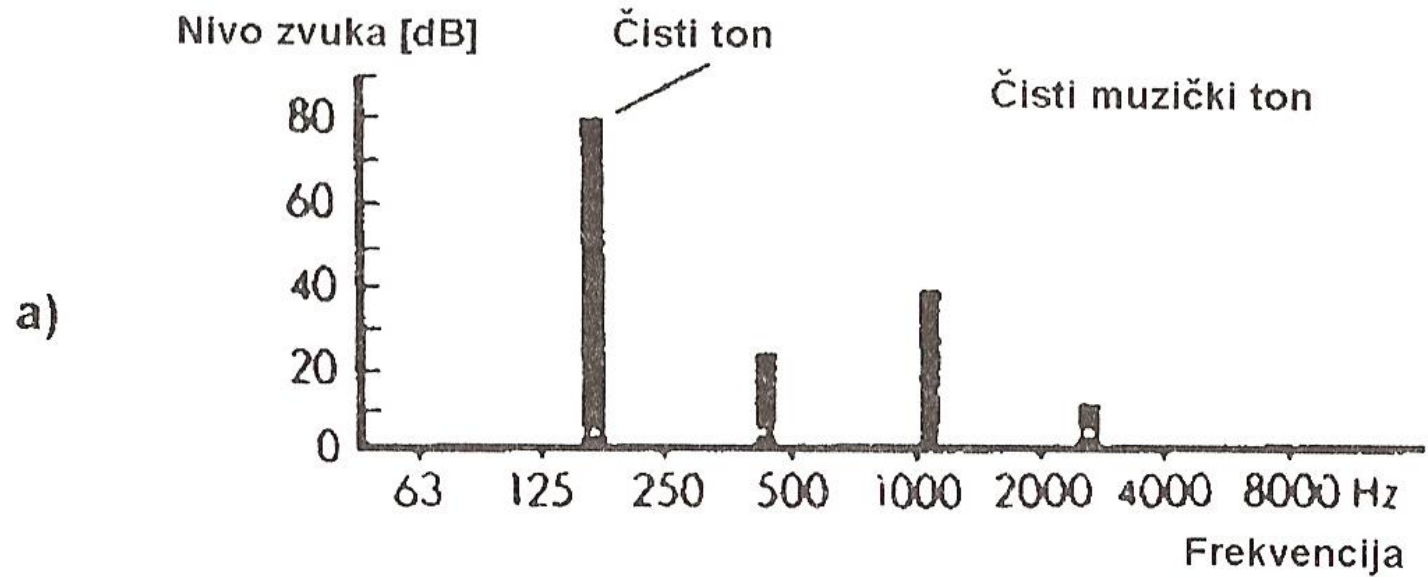
- **Amplituda zvučnog talasa**
- Ljudi su osjetljivi na jako širok opseg amplituda.
- **Tamo gdje su visoke amplitude je prag bola, a na strani gdje su niske amplitude zvuka je prag čujnosti, što predstavlja jedva čujni zvuk pri potpunoj tišini.**
- Jedinica za zvučni pritisak je pascal, Pa. Paskal je pritisak od jednog njutna po kvadratnom metru.
- **Energija ili snaga talasa je proporcionalna kvadratu amplitude** .Da bi se izrazio širok opseg amplituda koristi se logaritamska skala.Uvodi se jedinica decibel ,dB kojom se određuje nivo zvuka preko omjera u logaritamskoj skali.
- **Frekvencija**
- Frekvencija zvučnog talasa izražava se u hercima, Hz. Raspon frekvencija koje daju visinu tona kod ljudi iznosi 20 do 20000 Hz.
- Raspodjela akustične energije kao funkcije frekvencije zove se spektar zvuka .
- U zraku se zvučni talas širi brzinom od 340 m/s. U tečnostima i kroz čvrsta tijela brzina zvuka je veća.
- Normalni govor ima približno 70 dB, a zvukovi od 140 dB izazivaju bol u ušima.

# Pojam buke

- Postoje razne definicije buke.
- **Po jednoj, buka je skup zvukova koji izazivaju nelagodnost, neprijatnost.** Postoji mišljenje prema kome svaka zvučna pojava (šum, galama, lupa, govor i sl.) koja ometa rad i odmor predstavlja buku.
- Da bi neki zvuk nazvali bukom on mora da bude dovoljno jak, da se izdvaja od ostalih zvukova i dobro čuje. S obzirom da je buka zvuk različite jačine, i da zavisi od uslova i okolnosti u kojima se javlja i djeluje.
- **Pri ocjenjivanju da li neki zvuk ima karakter buke ili ne, mora se ustanoviti dozvoljeni intenzitet, nivo ili jačina buke i ustanoviti da li pri tome ima ometanja odnosno izazivanje nelagodnosti i neprijatnosti u datom slučaju.**
- Prilikom rada mašine i uređaji proizvode buku. Zavisno od nivoa, buka može biti neiritirajuća, ali često je, kada pređe određeni nivo, štetna za fizičko i psihičko zdravlje ljudi.
- U fizičkom smislu povećani nivo buke utiče na oštećenje sluha, mada su psihička i fizička oštećenja usljed djelovanja buke individualna.
- Pojava buke je često uzrok poremećaja u radu tehničkih sistema.
- **Normalni nivo buke koji ljudski organizam podnosi je (65 ÷ 70) dB.** Na tom nivou se može raspoznati govor u komunikaciji i to na udaljenosti do 1,5 m, a tačna granica između normalnog i iritirajućeg nivoa buke teško se može odrediti.

- **Buka je neželjeni zvuk i sadrži tonove različitih frekvencija.**
- Čisti ton prikazan je na slici 9.2, čija je mjera frekvencija, a nivo, nivo zvuka.
- **Direktna buka određena je intenzitetom izvora buke i udaljenenošću od izvora.**
- **Indirektna buka zavisi od koeficijentata refleksije poda, stropa ili zida.**
- **Amplituda zvučnog talasa (ralika u odnosu na zračni pritisak) određuje koliko će se glasno čuti buka.**
- **Frekvencija određuje visinu zvuka tj koliko brzo će se mijenjati zvučni pritisak.**
- Osim nivoa, frekvencija je važna karakteristika buke.
- **Buka više frekvencije je opasnija od buke niže frekvencije pošto dijelovi mašina koji imaju više frekvencije brže vibriraju.**
- Buka iz više različitih izvora proizvodi zvuk koji je višeg nivoa nego bilo koji iz pojedinačnog izvora. Tako npr.
- Ako dva izvora proizvode zvuk istog nivoa ukupan nivo zvuka je za 3 dB viši nego svaki pojedinačni. Ili,
- ako deset zvučnih izvora proizvodi buku ukupna buka je 10 dB višeg nivoa nego bilo koja pojedinačna

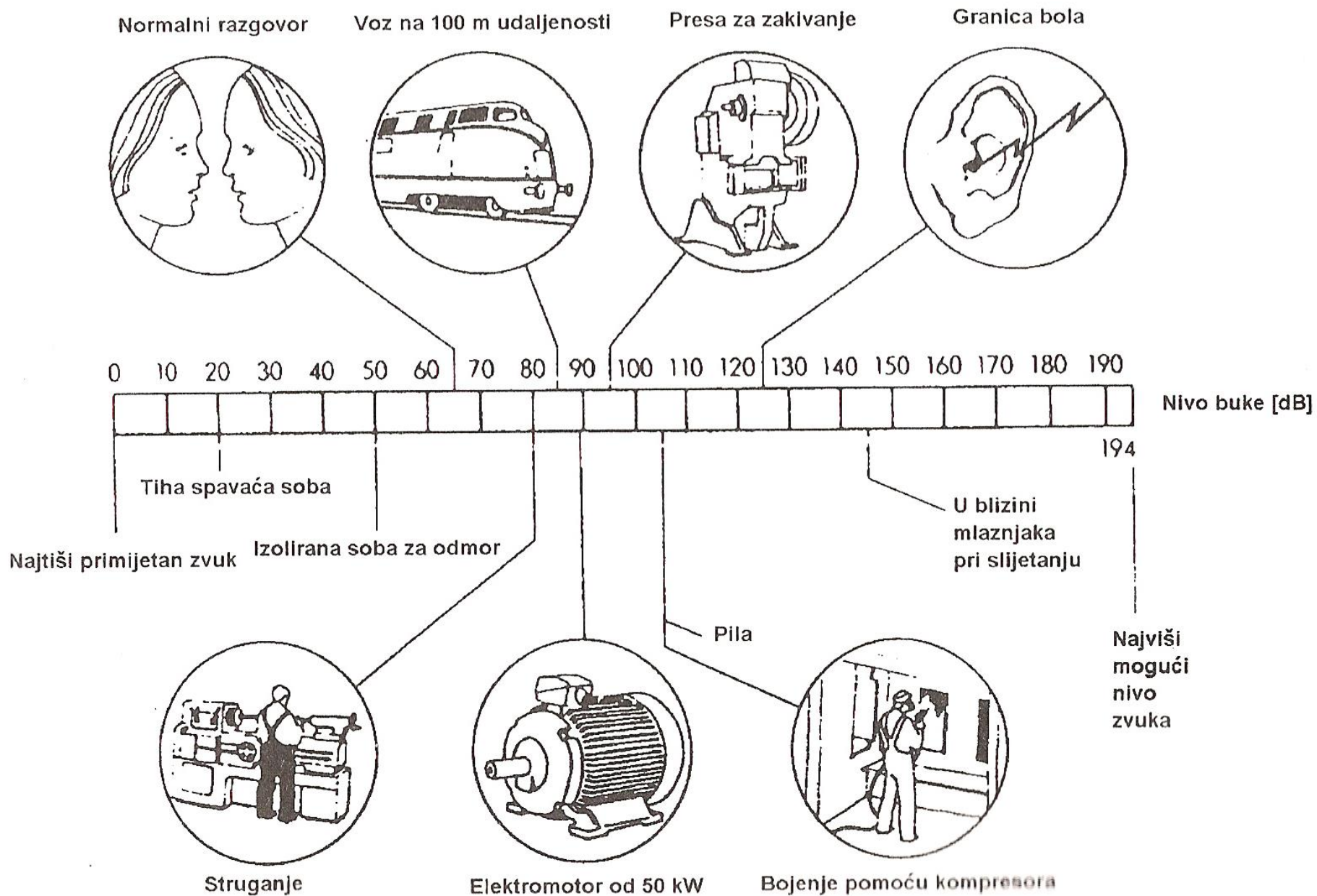
Slika 9.2. Dijagrami nivoa zvuka u zavisnosti od:  
a) frekvencije, b) vremena



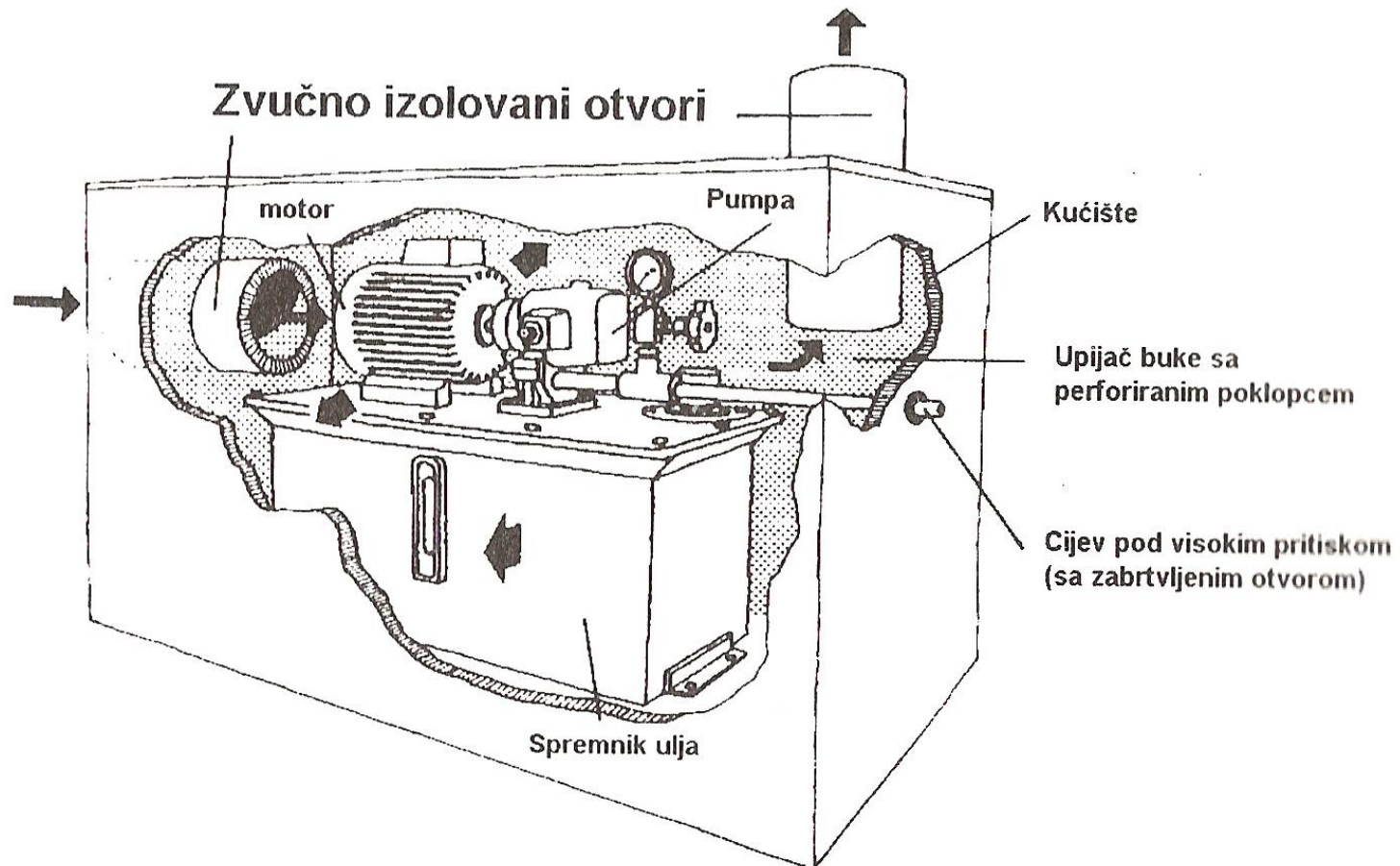


# Izvori buke

- Glavni izvori **buke** su **mašine i oprema**.
- Do pojave buke na mašinama može doći iz različitih razloga i to kako na novim tako i na onim koje su duže vrijeme u upotrebi. To su npr.
- Ispuštanje zračne struje kroz ventile, pumpe, elektromotori, bučne mlaznice za komprimiran zrak, transmisije itd. Na slici 9.3. prikazani su neki izvori buke i nivoi u dB.
- Buka može nastati i prilikom transporta materijala i gotovih proizvoda korištenjem kotrljača, ali i povremeno usljed udara u procesu utovara u kontejnere ili dijelove transportnog sistema
- Ovi problemi mogu se prevazići zavisno od svakog konkretnog slučaja i to: minimumom ispuštanja zračne struje kroz ventile, promjenom pumpe u hidrauličnom sistemu, regulacijom rada ventilatora, instaliranjem motora i transmisije koji mirnije rade, montiranjem prigušnica na hidraulične linije itd.
- U procesu transporta kotrljače se zbog bučnog rada mogu zamjeniti nekim drugim načinom transporta. Ukoliko sve to nije moguće i ako buka ne utiče na tehničko stanje sistema, odnosno ako nije posljedica poremećaja u radu mašina i postrojenja, može se vršiti ograđivanje zvučnim izolatorima, slika 9.4.








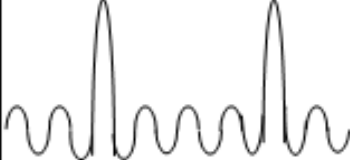
# Izolovanje zvučnog izvora



# Karakteristike i klasifikacija buke

- Prema izvorima koji proizvode buku i prema, vremnu trajanja, buka može biti:
  - konstantno kontinuirana,
  - konstantna i isprekidana,
  - periodično promjenljiva buka,
  - neperiodično promjenljiva i
  - impulsna.
- Zavisno od toga kakva je buka vrši se i odgovarajuće mjerenje. **Oblik akustičnog talasa koji se dobije mjerenjem, određuje uzrok koji dovodi do pojave buke.** To je važno za održavanje i planiranje održavanja rotirajućih dijelova. U tabeli 9.1. dat je pregled i veza karakteristika buke, izvora buke i mjerenje.
- Karakteristike buke klasificirane su prema načinu na koji se mijenjaju u vremenu date u tabeli 9.1.
- Konstantna buka zadržava istu vrijednost za duže vrijeme ili je konstantna po intenzitetu u jednom periodu. Konstantna buka može da se prekida i ponavlja.
- Promjenljiva buka tačno se mijenja i ima neku prosječnu vrijednost koja se označava sa  $L$ .
- Impulsna buka traje vrlo kratko, manje od jedne sekunde.



<b>0 5 10 15 20 [dB]</b>	<b>Karakteristike</b>	<b>Izvori buke</b>	<b>Mjerenje</b>
Male promjene 	Konstantna kontinuirana buka	Pumpe, elektromotori, reduktori, konvejeri	Direktno očitavanje mjerene vrijednosti
Isprekidana buka 	Konstantna ali isprekidana buka	Zračni kompresori, automatske mašine za vrijeme radnog ciklusa	Nivo buke u dB
Velike promjene 	Periodično promjenljiva buka	Masovna proizvodnja, struganje površina	Veličina buke u dB ili zvučni pritisak
Velike nepravilne promjene 	Promjenljiva neperiodična buka	Manuelni rad, struganje, brušenje	Zvučni pritisak, statistička analiza
Slični impulsi 	Ponovljeni impulsi	Automatske prese, pneumatske bušilice	Zvučni pritisak i veličina "pikova"
Pojedinačni impulsi 	Pojedinačni impulsi	Udarni čekići i prese	Zvučni pritisak i veličina "pikova"

# Ciljevi mjerenja buke

- **Mjerenje buke je aktivnost bez koje se ne može planirati zaštita od buke kao ni formiranje baze u odnosu** na koju će se prosuđivati o buci.
- Na osnovu mjerenja može se doći do pokazatelja valjanosti konstrukcije kada se radi o prototipu proizvoda ili stepenu eksploatacione očuvanosti same mašine ili njenih dijelova.
- Eksperimentalni parametri daju informaciju o geometrijskoj tačnosti, kvalitetu montaže i kompletnog dinamičkog stanja mašine.
- **Cilj mjerenja akustičnih parametara svodi se na:**
  - identifikaciju zvučnih izvora (izvora buke) koji imaju dominantan značaj,
  - dobivanje baze za kontrolu mjerenja buke koja se može primjeniti na mašine i opremu i
  - utvrđivanje nivoa buke i njegovo poređenje sa dozvoljenim vrijednostima za rad mašina i boravak zaposlenih u tom okruženju.
- U tabeli 9.2 dati su nivoi buke za različita područja. Vrijednosti su poželjne i treba ih ostvariti i održavati na postojećem nivou

Okolina	Maksimalni nivo buke
Područje tolerantno na buku	80 dB
Poslovno područje	70 dB
Opće uredsko okruženje	60 dB
Tiho uredsko okruženje	50 dB



- **Standardi za instrumente, metode za mjerenje buke**

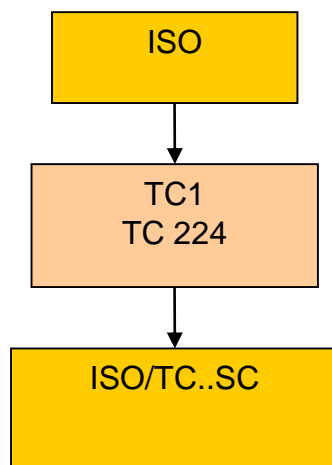
- Mjerni instrumenti i metode koje se primjenjuju za mjerenje buke moraju biti u skladu sa standardima.

- **Standardi uključuju:**

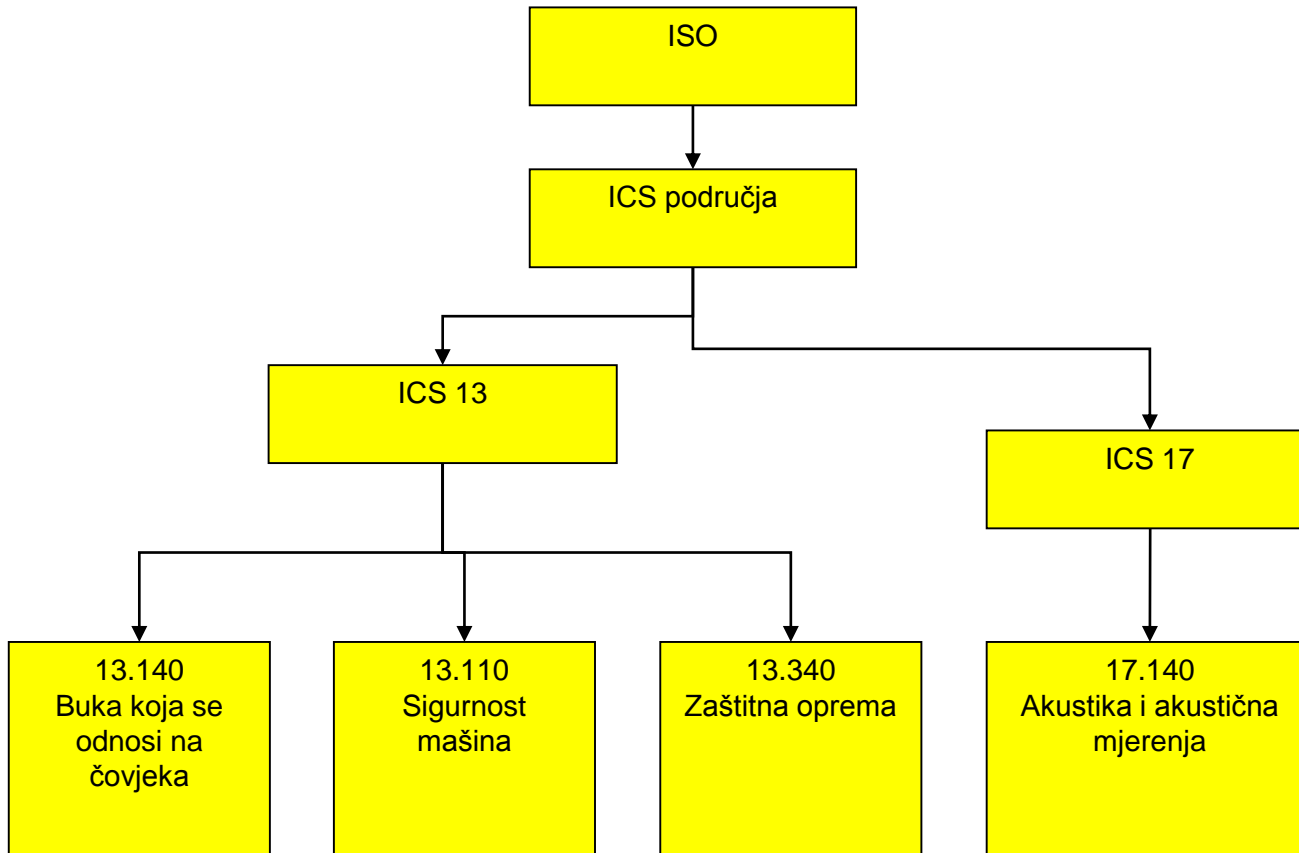
- uslove za mjerne instrumente,
- mjerne metode za mjerenje buke za različite tipove mašina i mjerne metode koje definiraju uticaj buke na čovjeka
- procjenu buke i štetnih efekata.

- **Standardi za mjerenje buke**

- Najvažniji standardi u o području mjerenja buke obuhvaćani su standardima
- IEC (International Electrotechnical Commission) i
- ISO (International Organization for Standardization),
- pri čemu je IEC nadležan u području konstrukcije instrumenata, a ISO u području mjerne tehnike, eksperimentalnih uslova, mjernih parametara i njihovih granica te rezultata mjerenja.



TC-tehnički komitet  
SC-podkomitet  
ISO/TC43/SC1-buka  
ISC-međunarodna klasifikacija





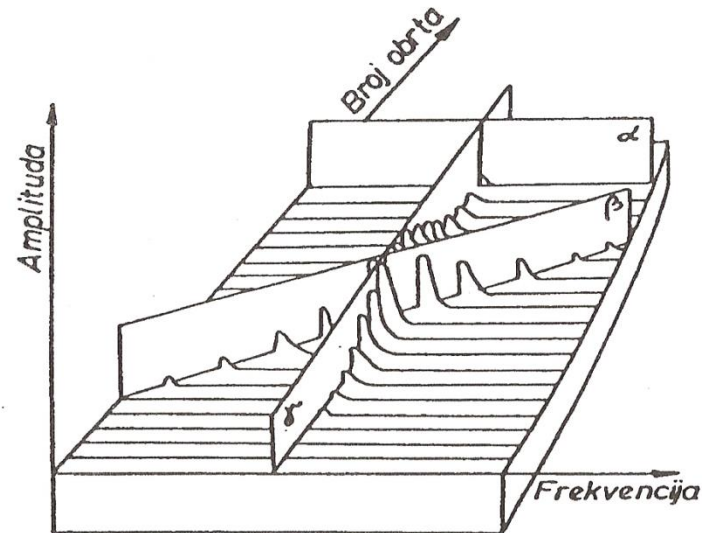
## • **Standardi u području mjerenja buke**

- Neki od standarda koji se odnose na područje buke koja djeluje na ljude 13.140 su:
- ISO 226:2003- Akustika Normalni nivo glasnosti
- ISO 1996-1:2003 Akustika - Opis mjerenja okolišne buke
- ISO 389-1:1994 Akustika - referentna nula za audiometrijsku opremu - prvi i drugi dio
- ISO 389-3:1994 Akustika - referentna nula za kalibraciju audiometrijske opreme, treći dio.
- U grupi standarda 13 340 koji se odnose na zaštitnu opremu od buke su:
- ISO 4869-1:1990 Akustika-yaštitnici za uši, subjektivne metode za mjerenje pojačanja zvuka
- ISO/TR 48969-4:1998 Akustika zaštitnici za uši dio4.
- U grupi 13.110 koji odnosi se na sigurnost mašina spadaju standardi:
- ISO/TR 12100-1:1992 Sigurnost mašina,osnovni koncepti,osnovni principi dizajna,prvi dio, osnove

- ISO 14121:1999 Sigurnost mašina, sigurnost principi ocjene rizika
- ISO 15534-3:2000 Ergonometrijski dizajn za sigurnost opreme.
- U grupu standarda 17.140 koji se odnose na akustiku i akustična mjerenja spadaju
- 17.140.01- opće odredbe o mjerenju buke u koje spadaju standardi
- ISO 16:1975 Standardni mjerač frekvencija
- ISO 266:1997 Poželjne frekvencije
- ISO 532:1975 Metode računanja glasnosti
- ISO 1683:1983 Preferirani referentni nivoi buke
- ISO 3740:2000 Određivanje snage zvučnog izvora
- ISO 6926:1999 Zahtjevi za karakteristikama i kalibracija referentnih zvučnih izvora
- 17.140.20 - buka koju proizvode mašine i oprema

# Uticaji na mjerenje buke

- Postupak mjerenja buke mašina i uređaja odnosi se na definisanje frekvencija koje dolaze od zvučnih izvora, a mjeri se ukupni zvučni nivo i frekventni spektar.
- Na snimljeni spektar najviše utiču:
- tehnološke nesavršenosti rotirajućih elemenata od čega buku najviše proizvode: ležajevi, rotori, zupčanici, turbinska kola itd.,
- postojanje prinudne sile sa pobudnom frekvencom koja je jednaka ili bliska nekoj od sopstvenih frekvenci mašina (noseća struktura, poklopci, vratila, zupčanici itd.)
- Sa promjenom broja obrtaja u spektru po frekventnoj osi pomjeraju se vrhovi koji odgovaraju rotirajućim pobudama, a vrhovi koji odgovaraju sopstvenim frekvencama mijenjaju se po veličini. To se vidi iz Campbellovog trodimenzionalnog dijagrama,



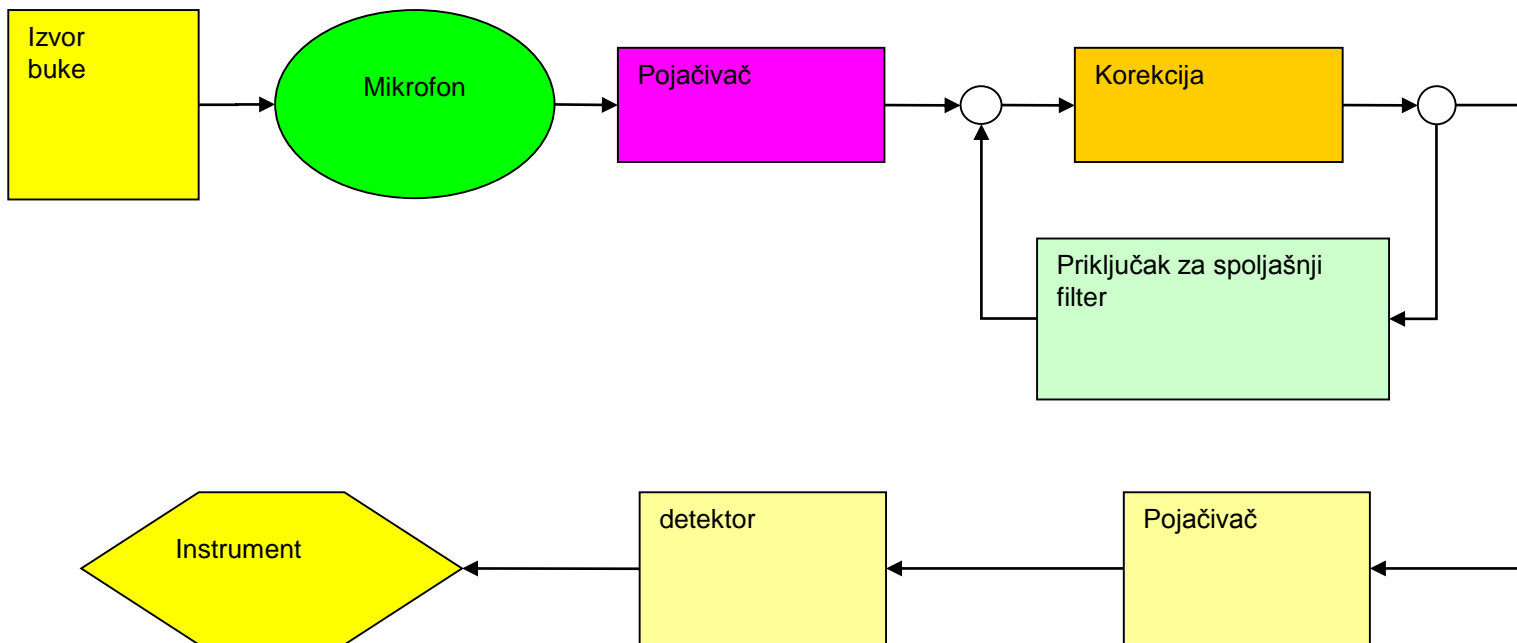
# Instrumenti za mjerenje buke

- **Instrumenti za mjerenje buke vrše pretvaranje zvuka u neku drugu energiju.**
- Pomoću mikrofona i pretvarača zvuk, se detektuje i pretvara u električni signal. Najčešće se koriste instrumenti za mjerenje buke koji rade sa ugrađenim:
  - **elektrostatičkim,**
  - **elektrodinamičkim,**
  - **piezoelektričnim i**
  - **magnetostrikcionim pretvaračem.**
- Različiti instrumenti za mjerenje buke imaju mogućnost statističke ili frekventne analize primljenog signala,
- a mogu dalje vršiti računanje izmjerenih vrijednosti u željeni oblik ili odgovarajuće jedinice, sve zavisno od problema koji se analizira.
- Najjednostavniji instrumenti su dozimetri za mjerenje buke u toku radnog dana.

- Međutim u industriji nivo buke je promjenljiv i složen pa se koriste i složeniji uređaji kao što su analizatori nivoa buke i analizatori intenziteta buke. Prvi mogu da vrše statističku analizu buke u toku vremena, a drugi daju informaciju o veličini buke po jedinici površine u datoj poziciji.
- Uređaji za sofisticirana mjerenja u laboratorijskim i pogonskim uslovima daju frekventni spektar u vidu Campbellovog dijagrama
- Na alatnim i drugim mašinama snimanje ukupnog nivoa buke i frekventnog spektra vrši se na različitim mjernim mjestima i za različite snage sa različitom udaljenošću mikrofona. Na osnovu frekvencije buke određuje se izvor buke i metod za kontrolu buke.
- Analizom podataka dobivenih mjerenjem može se doći do informacije o izvorima buke, a s tim u vezi i preduzeti mjere za njihovo smanjenje ili potpuno uklanjanje.
- Od mjerača nivoa buke-zvuka se zahtijeva da mjeri zvuk različitog nivoa, spektra i oblika zvučnih talasa u različitim uslovima distribucije izvora zvuka i refleksije na granicama zvučnog polja.
- Na alatnim i drugim mašinama snimanje ukupnog nivoa buke i frekventnog spektra vrši se na različitim mjernim mjestima i za različite snage sa različitom udaljenošću mikrofona.
- Na osnovu frekvencije buke određuje se izvor buke i metod za kontrolu buke.
- Analizom podataka dobivenih mjerenjem može se doći do informacije o izvorima buke, a s tim u vezi i preduzeti mjere za njihovo smanjenje ili potpuno uklanjanje.
- Od mjerača nivoa buke-zvuka se zahtijeva da mjeri zvuk različitog nivoa, spektra i oblika zvučnih talasa u različitim uslovima distribucije izvora zvuka i refleksije na granicama zvučnog polja.

# Tipovi (metara) mjerača nivoa zvuka prema tačnosti mjerenja

- Mjerači nivoa zvuka prema IEC 651-1979 i IEC 804-1985 , svrstavaju se u četiri grupe:
- **Tip 0, laboratorijski referentni standardi** namijenjeni za kalibraciju drugih metara, mjerača nivoa zvuka.
- **Tip 1, precizni metri mjerači** nivoa zvuka za opću namjenu ,općenito na terenu gdje se traže precizna mjerenja.
- **Tip 2, mjerači opće namjene** za upotrebu na terenu i za snimanje podataka nivoa buke za dalju analizu frekvencija.
- **Tip 3, istraživački mjerač zvuka** koji služi za određivanje uslova okoline po pitanju buke.
- **Prema složenosti mjerači buke se dijele na:**
  - Najjednostavnije mjerače buke ili dozimetre koji se koriste za mjerenje buke
  - Analizatore nivoa buke koji se koriste u dijagnostičke svrhe



## Mjerenje buke

-mjerenje buke okoline

$$L_{eq,T} = 10 \cdot \log \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt$$

gdje je  
 $p_0$  – referentni zvučni tlak,  $p_0 = 20 \mu Pa$ ;  
 $p(t)$  – vremenski promjenljiv zvučni tlak;  
 $T$  – interval mjerenja.

# Kako radi sistem za mjerenje buke

- Mjerač buke, čija je shema dana na slici 9.8, je mjerno sredstvo koje reagira na zvuk slično kao čovjekovo uho i daje objektivna reproduktivna mjerenja zvučnog nivoa.
- Zvučni signal se pretvara u električni signal pomoću mikrofona visokog kvaliteta. Signal je slab pa se mora pojačati da bi se očitao na instrumentu.
- Poslije prvog pojačanja signal prolazi kroz korektivni filter. Poslije daljeg pojačanja signal je toliko jak da da otklon na instrumentu.
- Efektivna vrijednost signala je određena u detektoru efektivne vrijednosti. Očitana vrijednost je nivo zvuka u dB. Signal zvuka može se dobiti sa izlaznog utikača i vodi na vanjske instrumente kao što su magnetofoni, dozimetri buke ili pisači.
- Efektivna vrijednost, RMS, je specijalan oblik matematičke srednje vrijednosti. Važna je jer direktno zavisi od energije zvučnog signala.
- Detektor vršne vrijednosti može da se ugradi ako se želi određivanje vršnih vrijednosti impulsnih signala.

# Vrste mjerača buke

- dozimetar

