



ZVUK I OKOLIŠ

6. INTENZITET I SNAGA

doc.dr.sc. Kristian Jambrošić

Literatura, izvori slika

- **Brüel & Kjær online Library:**
<http://www.bksv.com/Library.aspx>
- **Microflown Technologies:**
<http://www.microflown.com/>
- **Gfai Tech**
<http://www.acoustic-camera.de/>

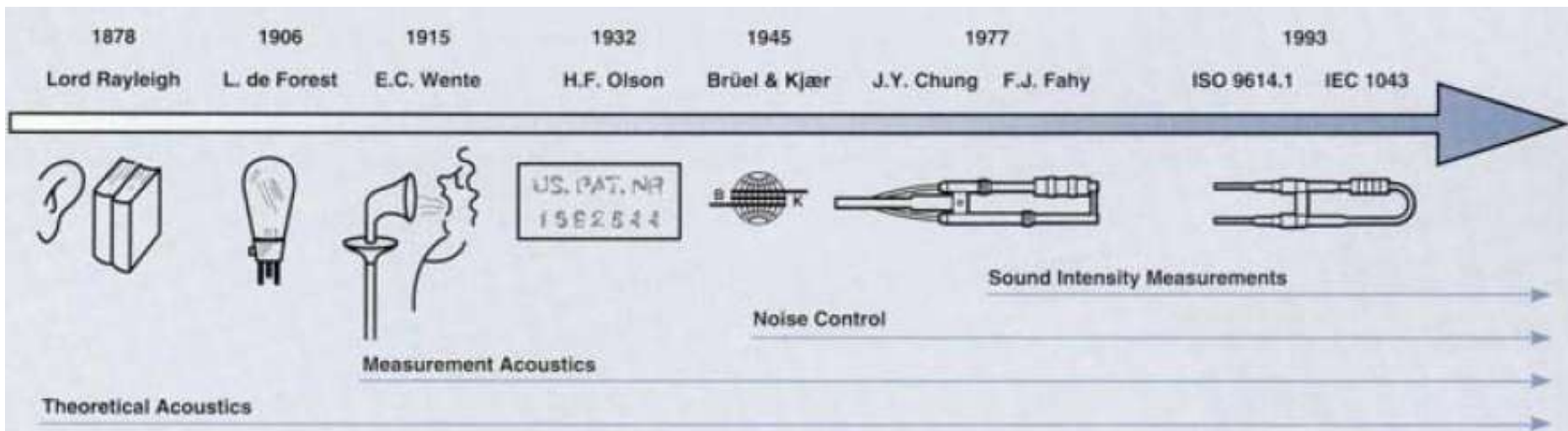
6.1 Razvoj mjerenja intenziteta

3

ZIO 6. Intenzitet i snaga

3.5.2009 20:06

- koncepcija poznata još od objavljivanja teoretskih osnova akustike
- problem mjerenja riješen tek s izradom kvalitetnih, uparenih mikrofona

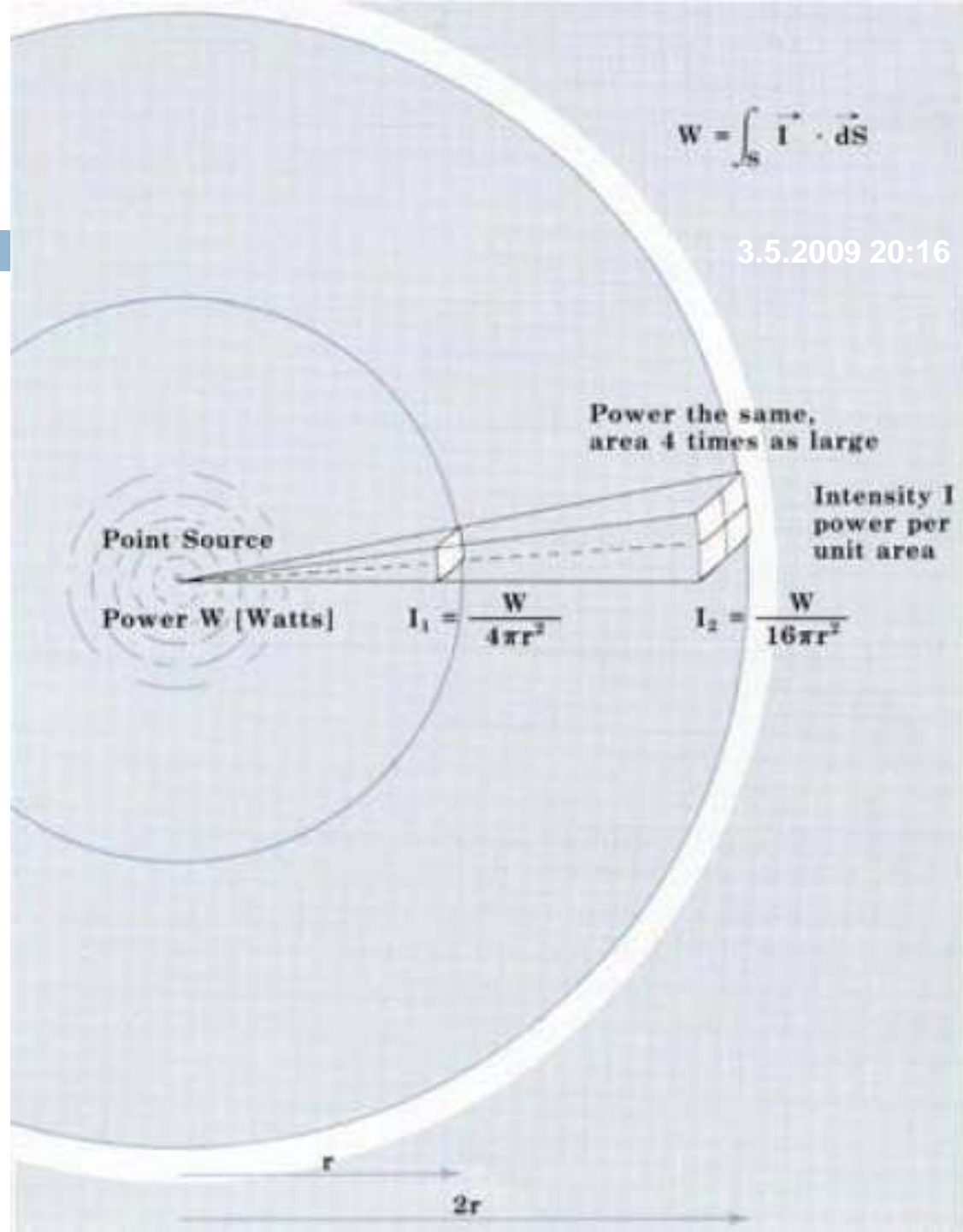


6.1 Intenzitet

4

ZIO 6. Intenzitet i snaga

- Odnos zvučne snage i zvučnog intenziteta



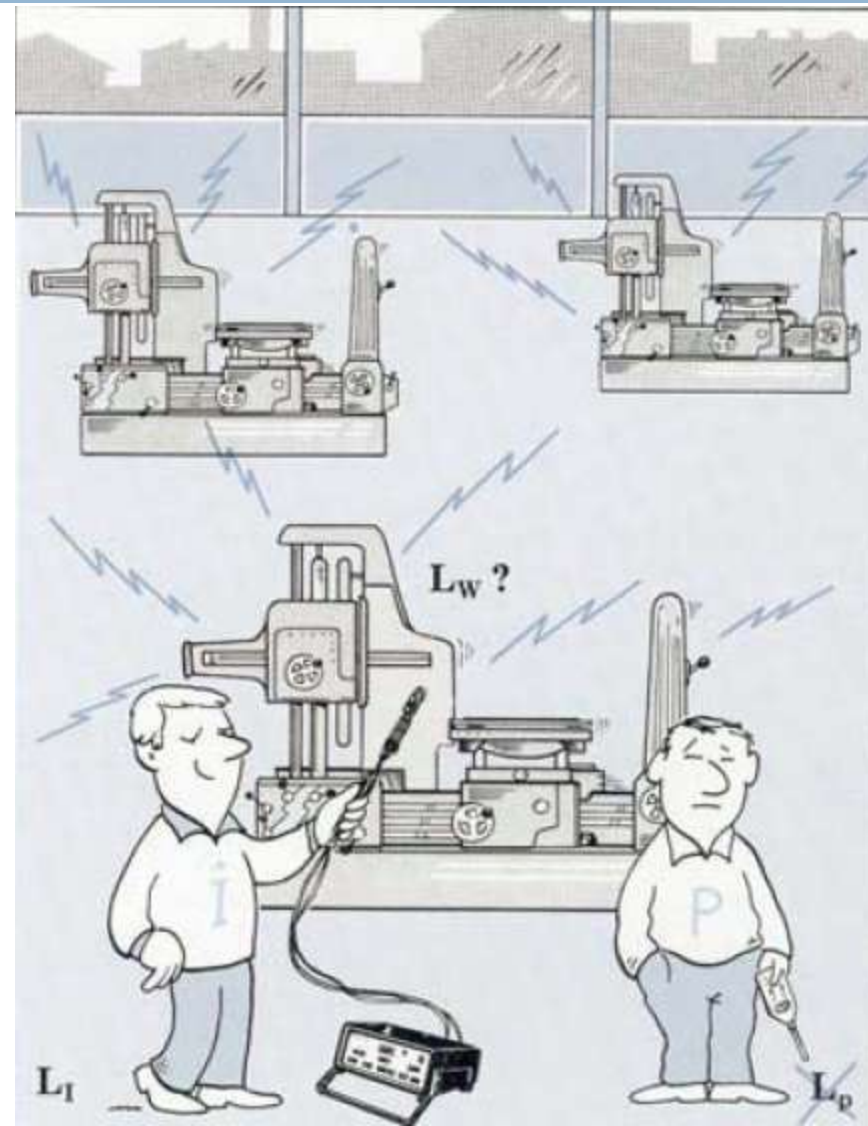
6.1.1 Zašto mjerimo intenzitet

5

ZIO 6. Intenzitet i snaga

3.5.2009 20:06

- u difuznom zvučnom polju se iz tlaka ne može odrediti doprinos pojedinih izvora
- zvučni intenzitet: smjer i amplituda
- omogućuje lociranje izvora zvuka
- omogućuje određivanje usmjerenosti izvora

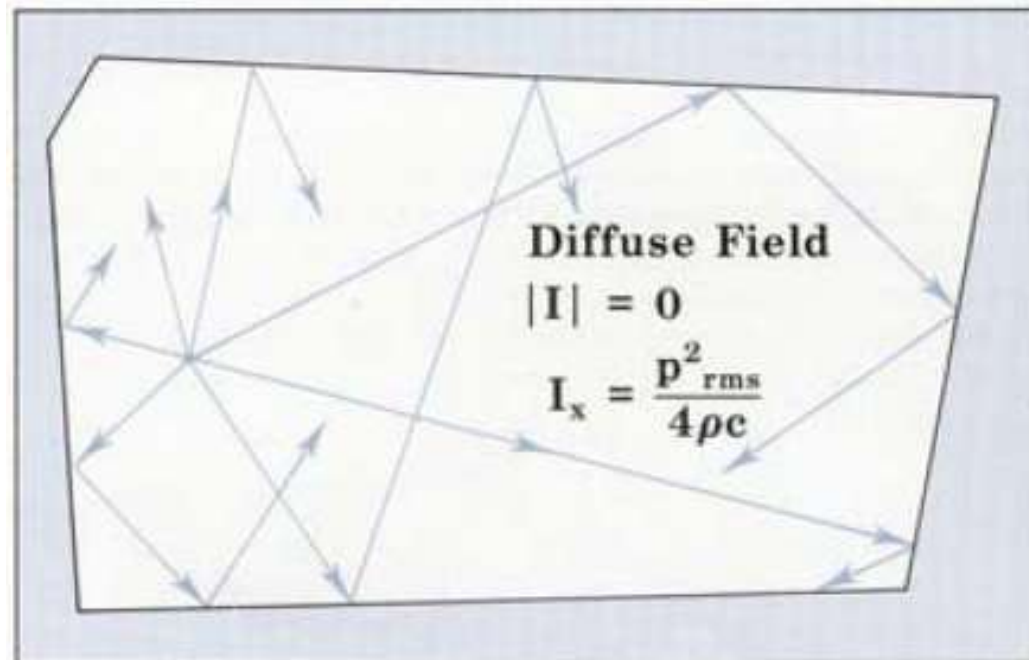
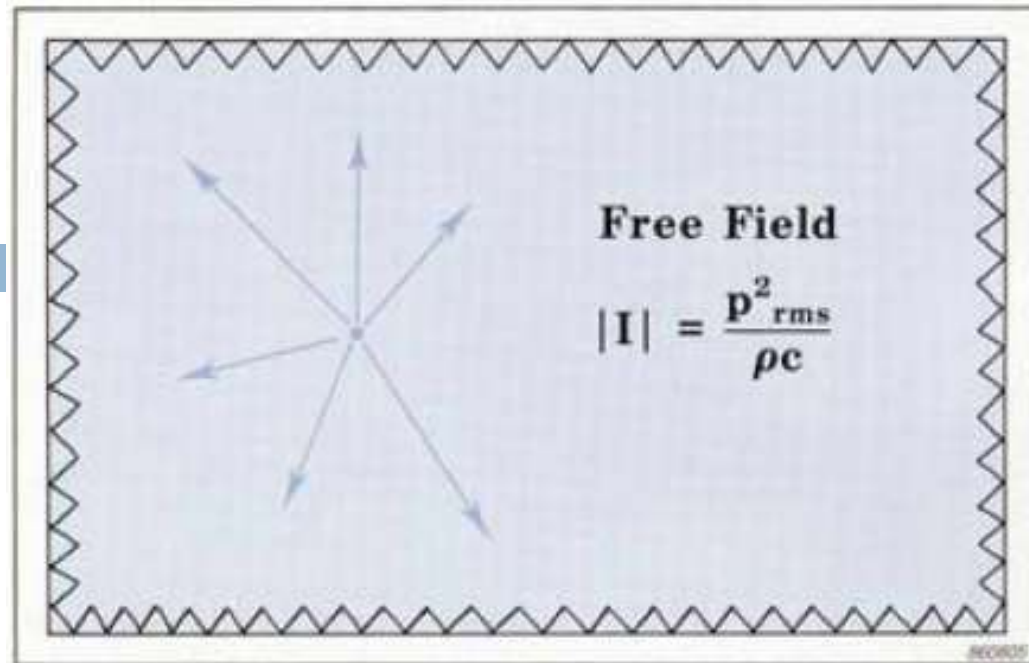


6.1 Intenzitet

6

ZIO 6. Intenzitet i snaga

- Utjecaj vrste zvučnog polja na ukupni zvučni intenzitet i intenzitet u jednoj osi

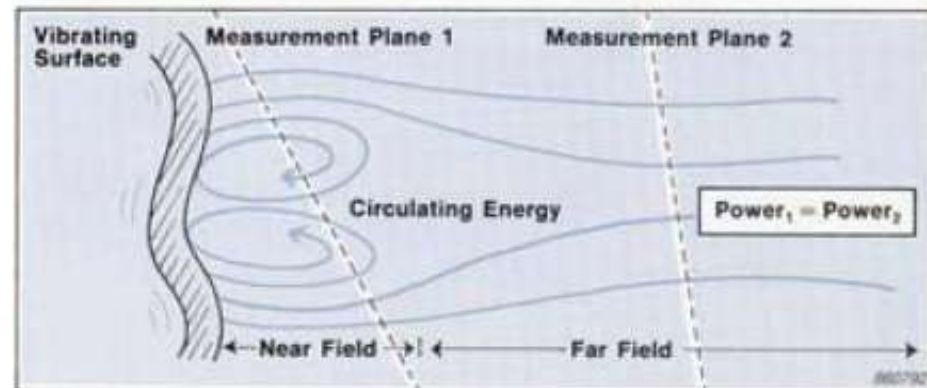
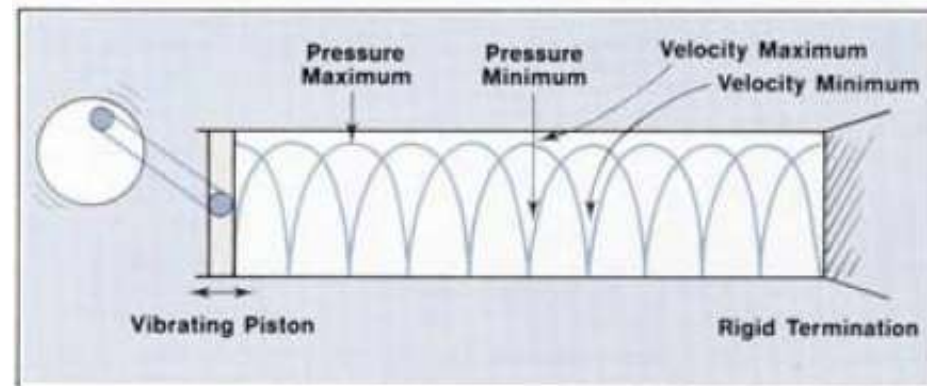
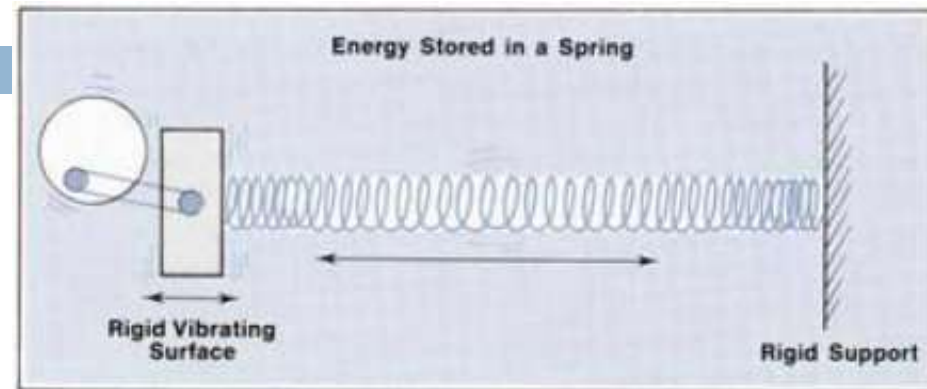


6.1.2 Aktivna i reaktivna zvučna polja

7

ZIO 6. Intenzitet i snaga

- određuje se prema protoku energije
- intenzitet je nula ako nema protoka (reaktivno)
- stoji val – ukupni intenzitet je nula



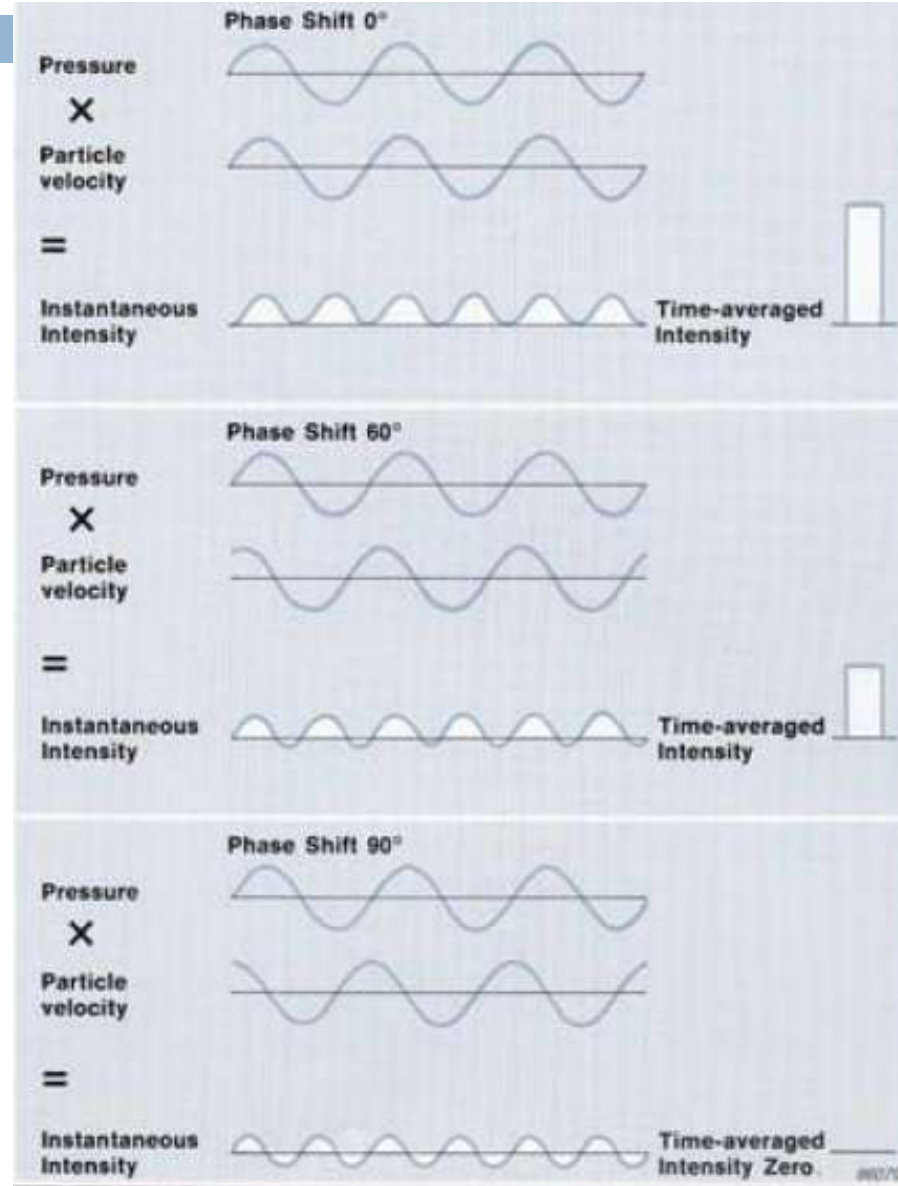
6.1.3 Ovisnost intenziteta o faznom kutu između tlaka i brzine

8

ZIO 6. Intenzitet i snaga

- u difuznom polju se faza između tlaka i brzine mijenja slučajno, pa je ukupni intenzitet nula

$$I = pv = \frac{F}{S} \frac{x}{t} = \frac{W}{St} = \frac{P}{S}$$



6.1.4 Kako mjeriti zvučni intenzitet?

- tlak se lako mjeri mikrofonom
- teško je mjeriti brzinu čestica, pa se upotrebljava Eulerova jednačba za fluide (gradijent tlaka koji ubrzava fluid gustoće ρ)
- iz toga se može izračunati brzina čestica

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}$$
$$\mathbf{a} = \frac{\mathbf{F}}{m}$$
$$\mathbf{v} = \int \frac{\mathbf{F}}{m} dt$$

$$\mathbf{a} = -\frac{1}{\rho} \text{grad } p$$

In one direction

$$\frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r}$$
$$u = -\int \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} dt$$

6.1.5 Izračun zvučnog intenziteta

10

ZIO 6. Intenzitet i snaga

3.5.2009 20:06

- gradijent tlaka se računa kao razlika tlaka dva fazno i amplitudno ujednačena mikrofona
- za izračun se može koristiti i FFT analiza (računanje križnog spektra)

Frequency Domain Formulation for FFT Analyzers

$$I = -\frac{1}{\rho\omega\Delta r} \text{Im } G_{AB}$$

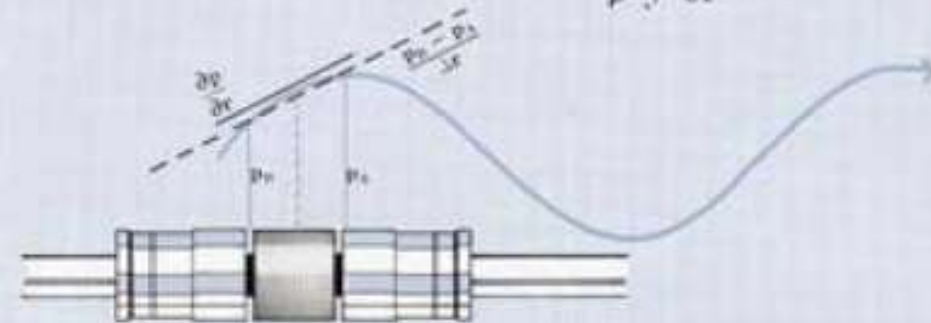
ω is the angular frequency

$\text{Im } G_{AB}$ is the imaginary part of the cross spectrum

Time Domain Formulation

From Euler

$$u = -\frac{1}{\rho} \int \frac{\partial p}{\partial r} dt$$



The Finite Difference Approximation

$$u = -\frac{1}{\rho} \int \frac{p_B - p_A}{\Delta r} dt$$

Average pressure

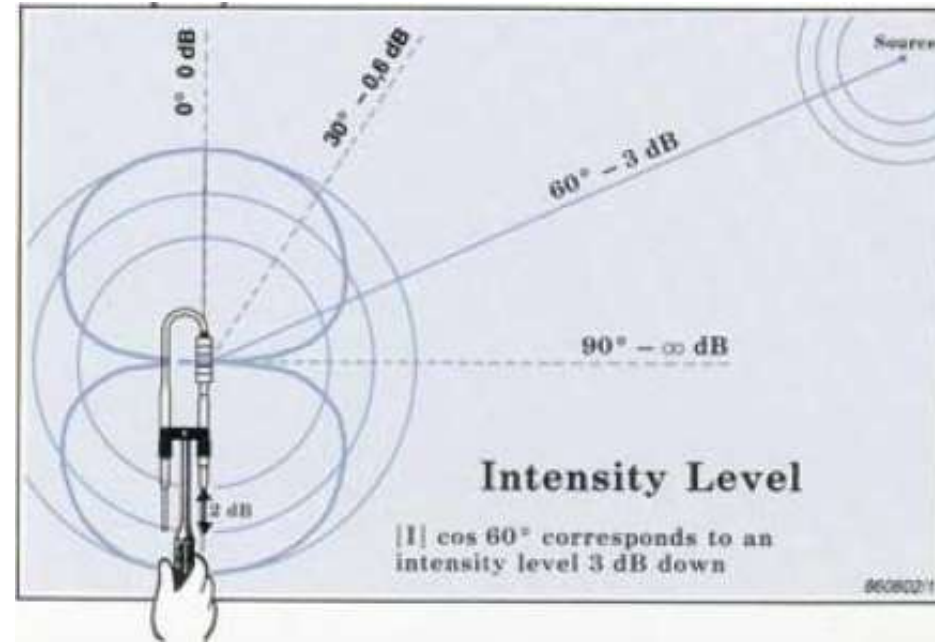
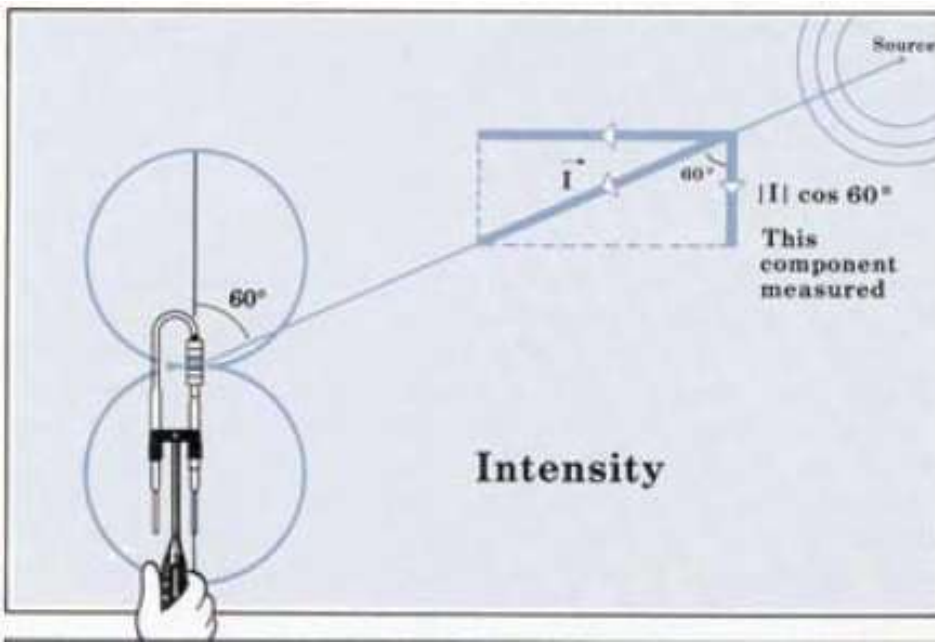
$$p = \frac{p_A + p_B}{2}$$

$$I = \overline{p \cdot u}$$

$$I = -\frac{p_A + p_B}{2\rho\Delta r} \int (p_B - p_A) dt$$

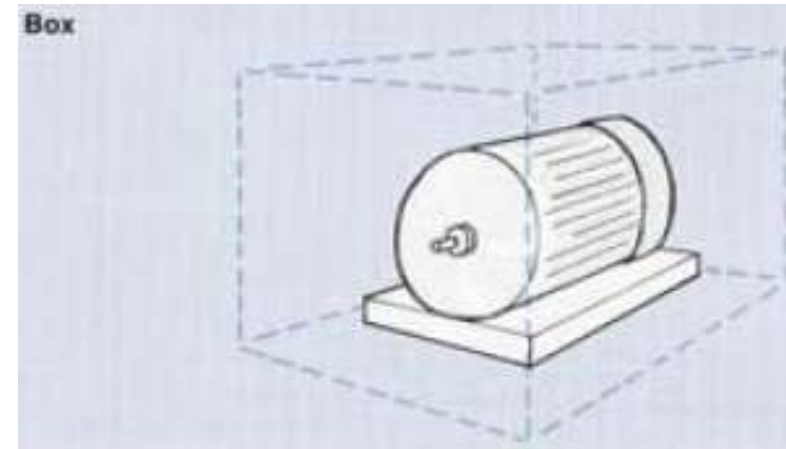
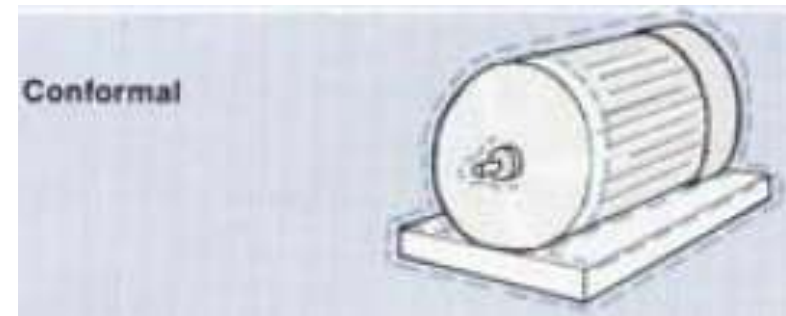
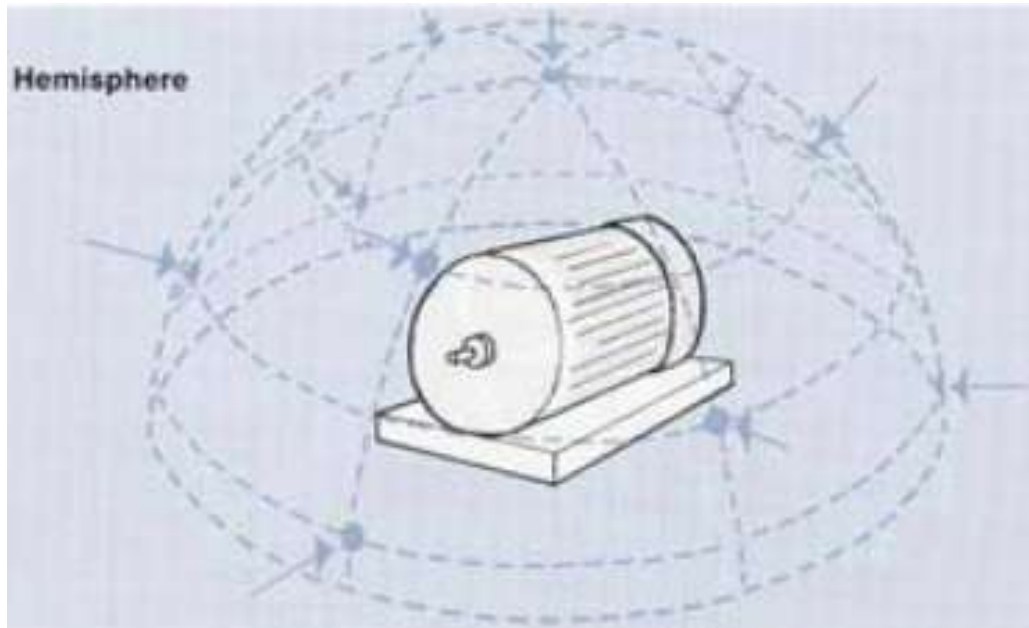
6.2 Intenzitetna sonda

- mikrofonske kapsule su montirane jedna prema drugoj s čvrstim odstožnikom (6, 12 ili 50 mm)
- 1/2" kapsule (NF) i 1/4" kapsule (VF)
- osmičaste usmjerne karakteristike



6.2.1 Površine mjerenja intenziteta

- npr. na polukugli se uzima 10 mjernih točaka, a ako zvučni intenzitet varira, treba uzeti više točaka
- svakoj mjernoj vrijednosti se pridružuje pripadajuća površina



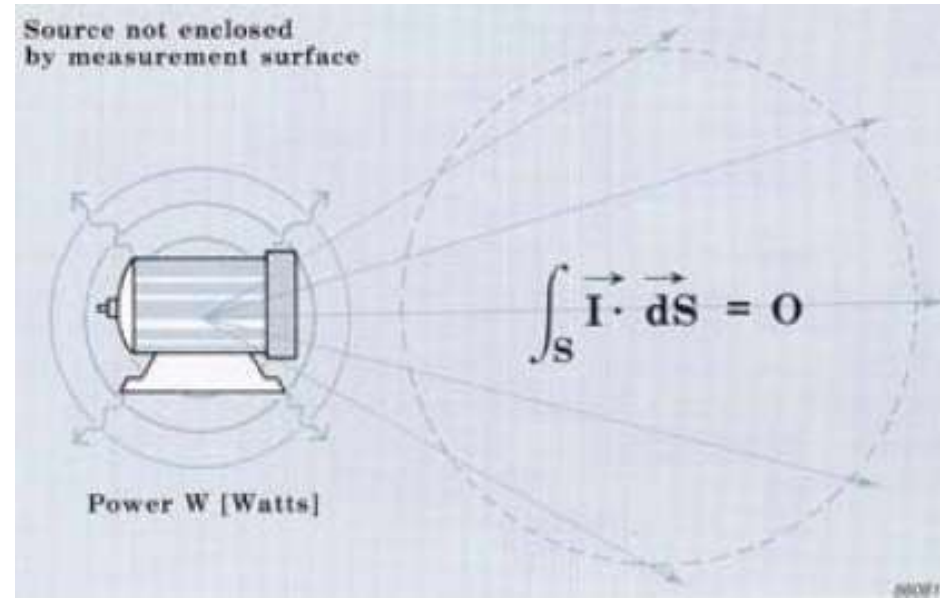
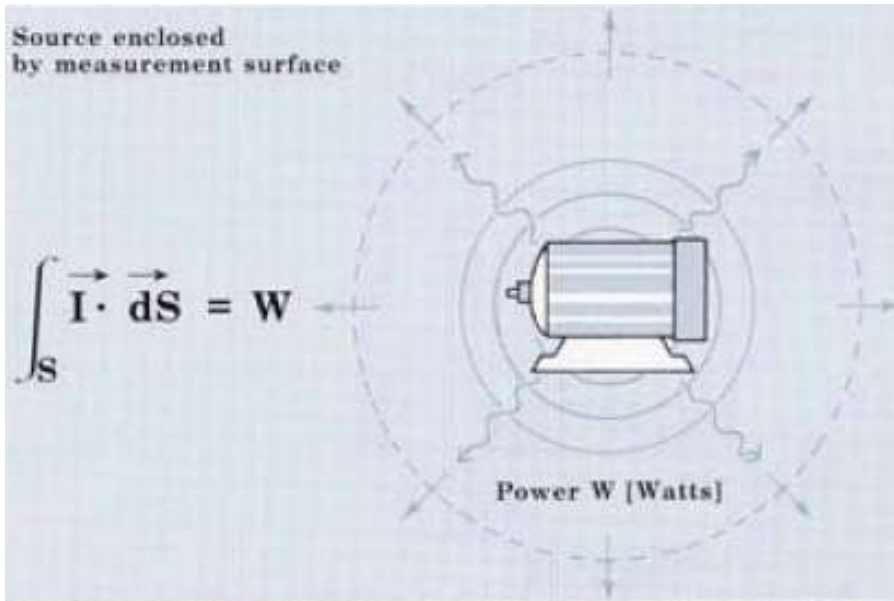
6.2.2 Utjecaj pozadinske buke

13

ZIO 6. Intenzitet i snaga

3.5.2009 20:06

- ako je buka stacionarna, uopće ne doprinosi mjerenju
- intenzitet koji se mjeri iz stalnog protoka energije po zatvorenoj krivulji iznosi nula

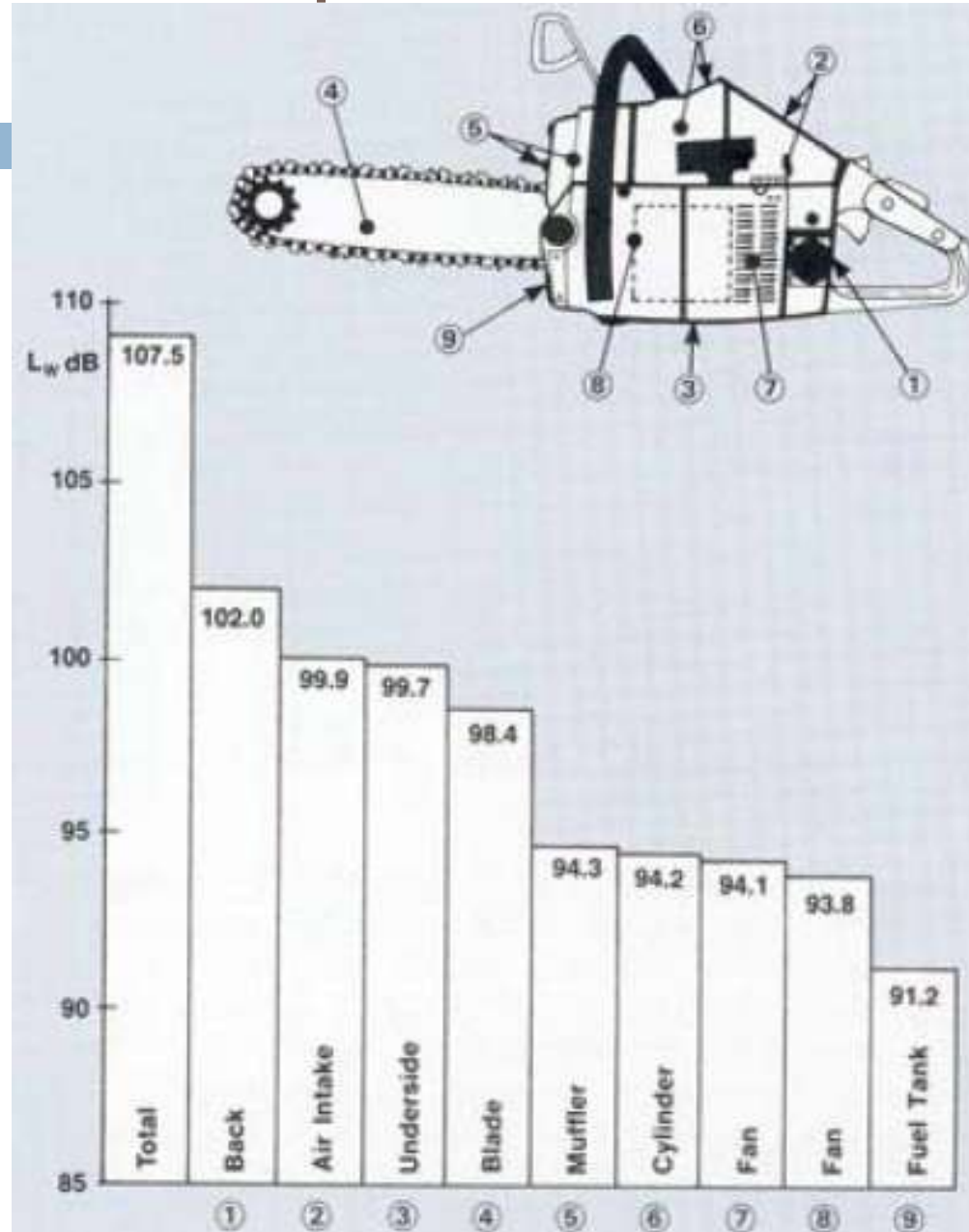


6.2.3 Utjecaj pojedinih dijelova sustava na ukupnu buku

14

ZIO 6. Intenzitet i snaga

□ primjer motorne pile



6.2.4 Plošna analiza zvučnog intenziteta

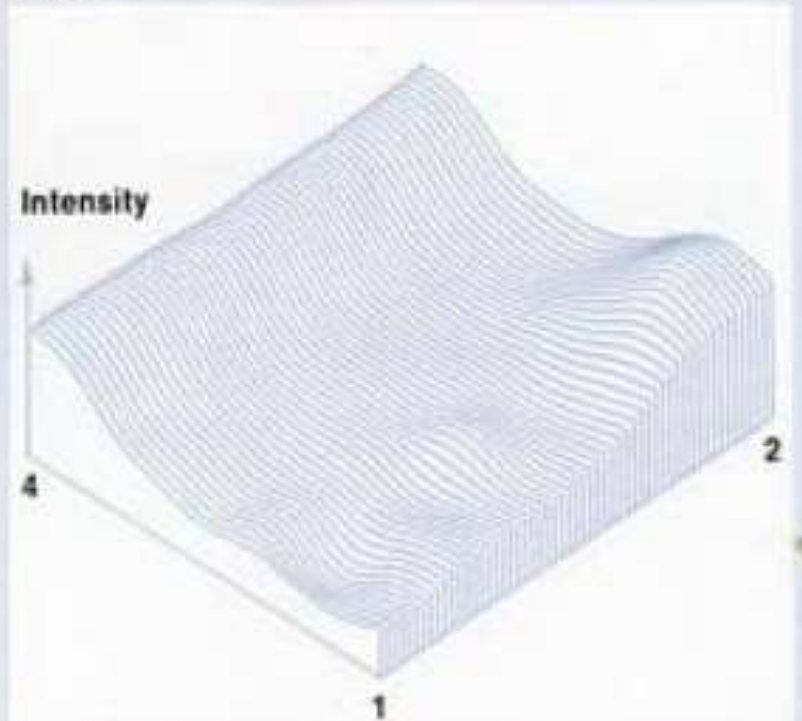
15

ZIO 6. Intenzitet i snaga

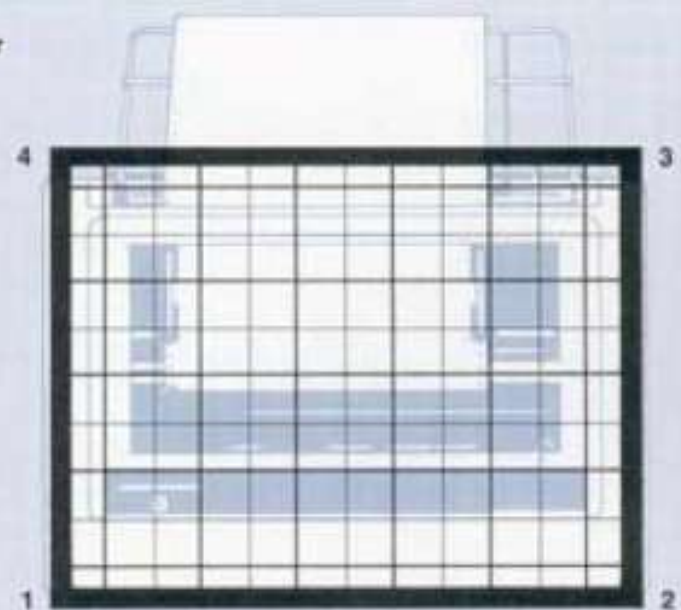
3.5.2009 20:06

- primjer matričnog printera

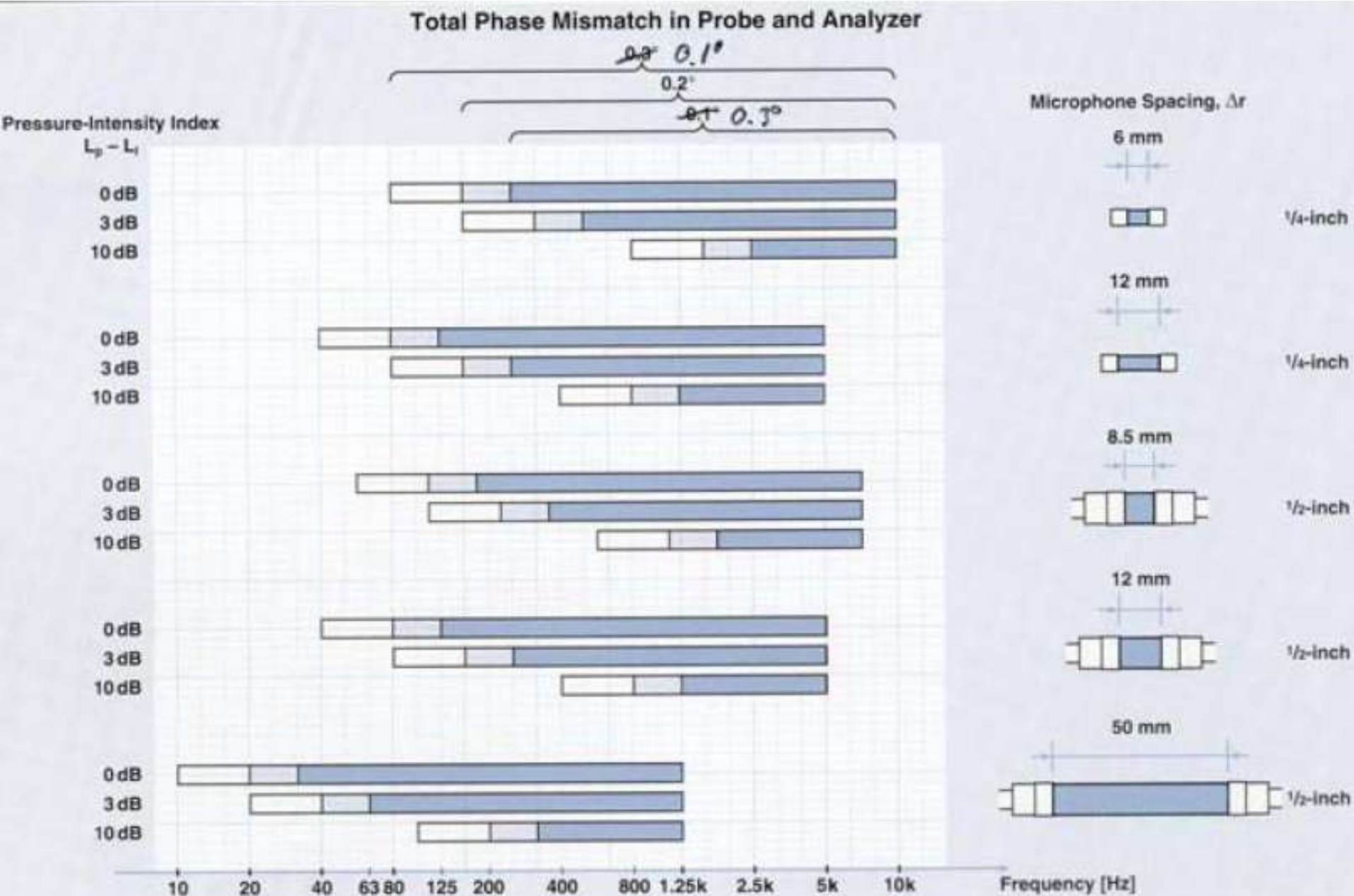
3-D Plot of Printer



Line Printer



6.2.5 Utjecaj faznih razlika na točnost mjerenja



Frequency Ranges for a measurement accuracy of 1dB as a function of Pressure-Intensity Index, Microphone Spacing and Phase Mismatch

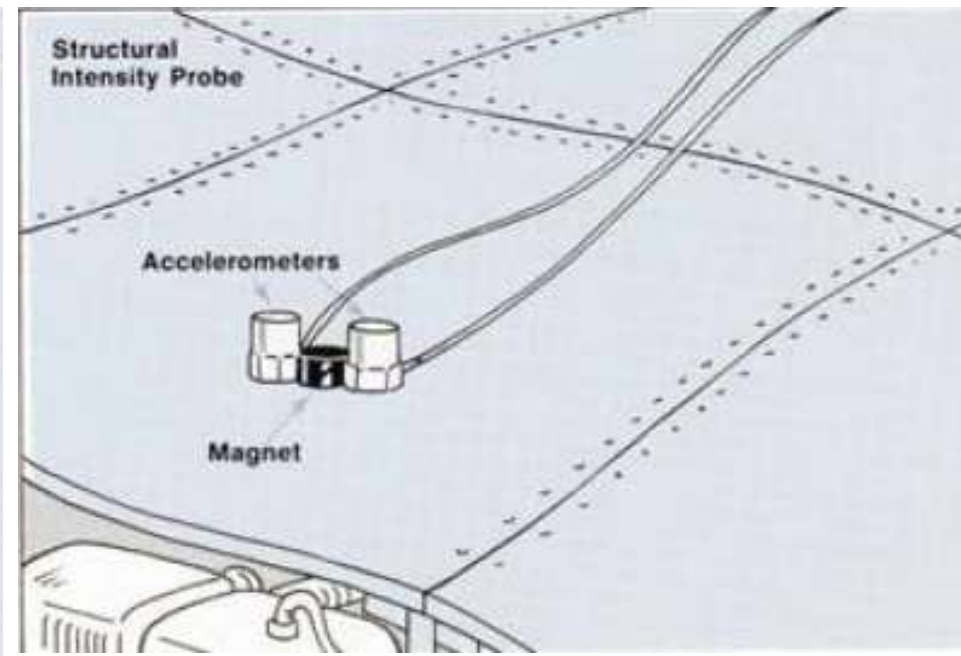
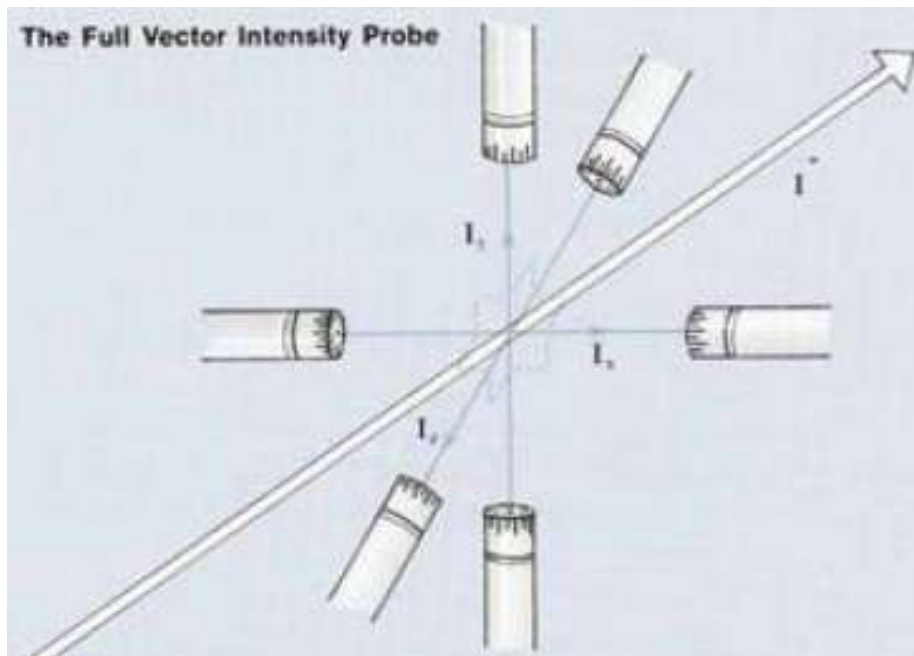
6.2.6 Druge primjene

17

ZIO 6. Intenzitet i snaga

3.5.2009 20:06

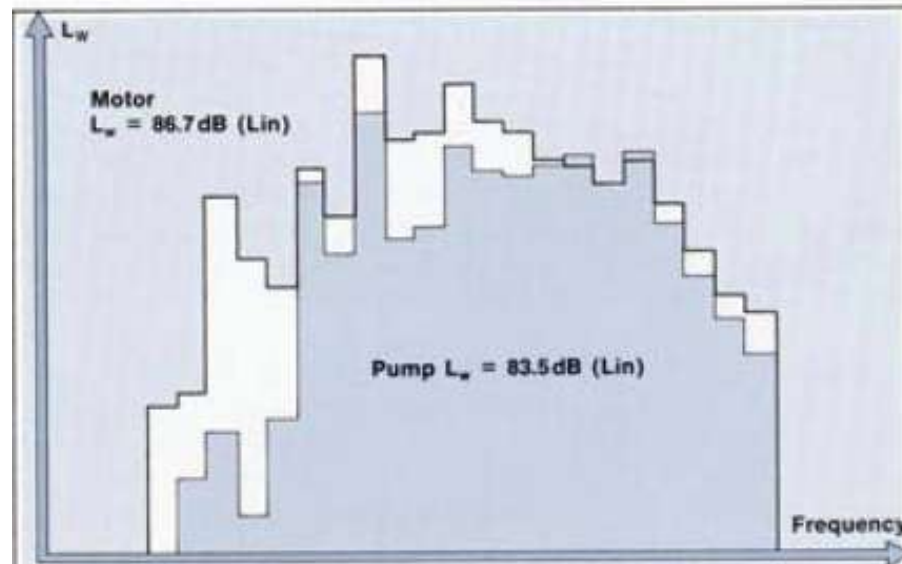
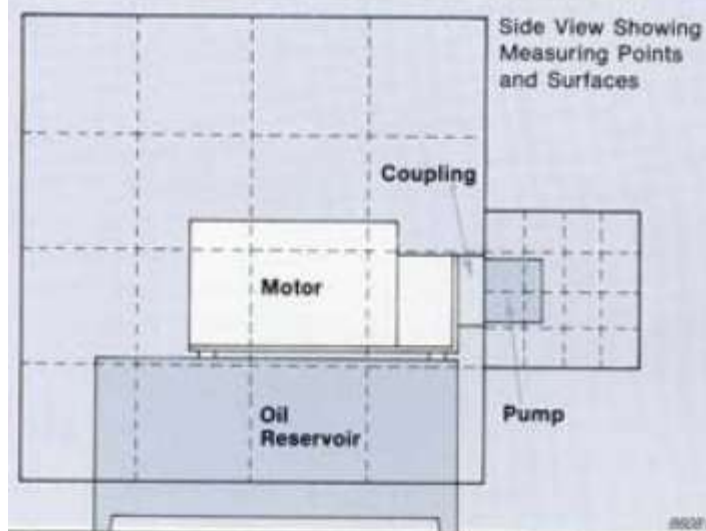
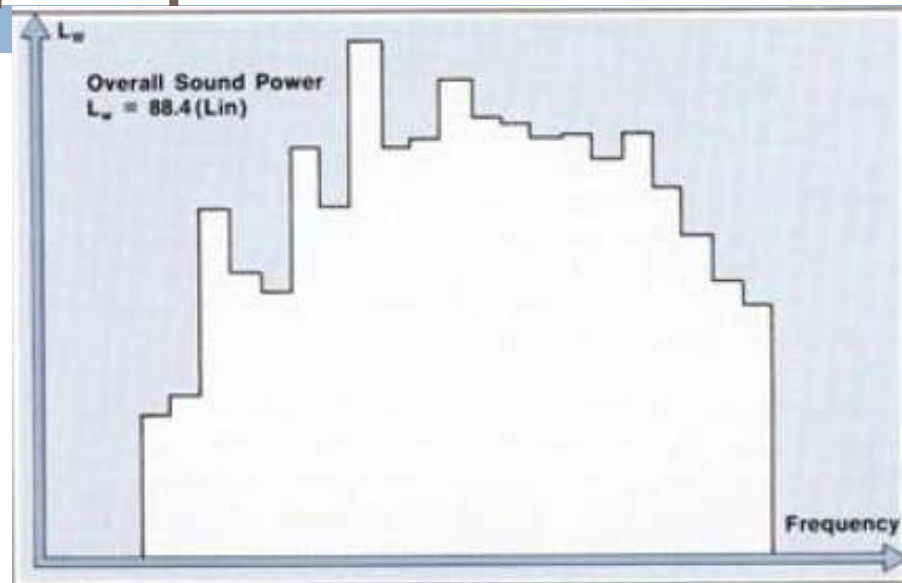
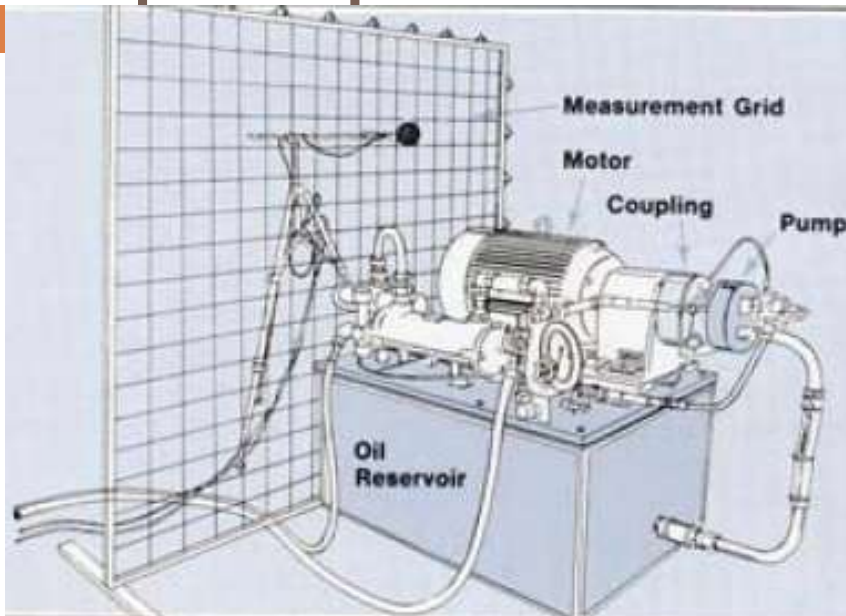
- mjerenje intenziteta u 3 osi i strukturni intenzitet



6.2.7 Intenzitet: 1. primjer

Mjerenje motora + pumpe

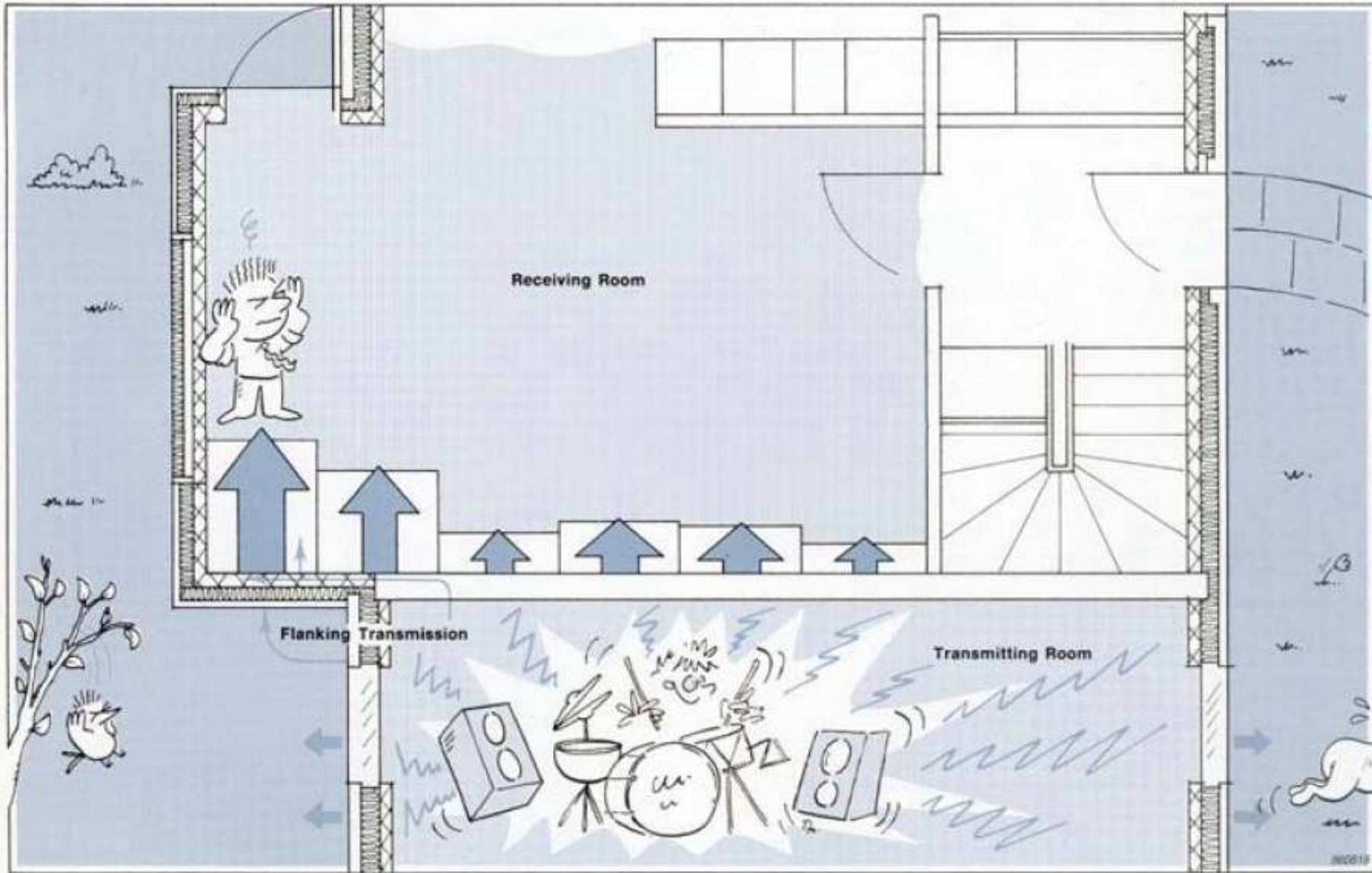
18



6.2.7 Intenzitet:2. primjer

Zvučna izolacija poda od buke

19



6.2.8 Mjerna ograničenja: Ograničenje VF

20

ZIO 6. Intenzitet i snaga

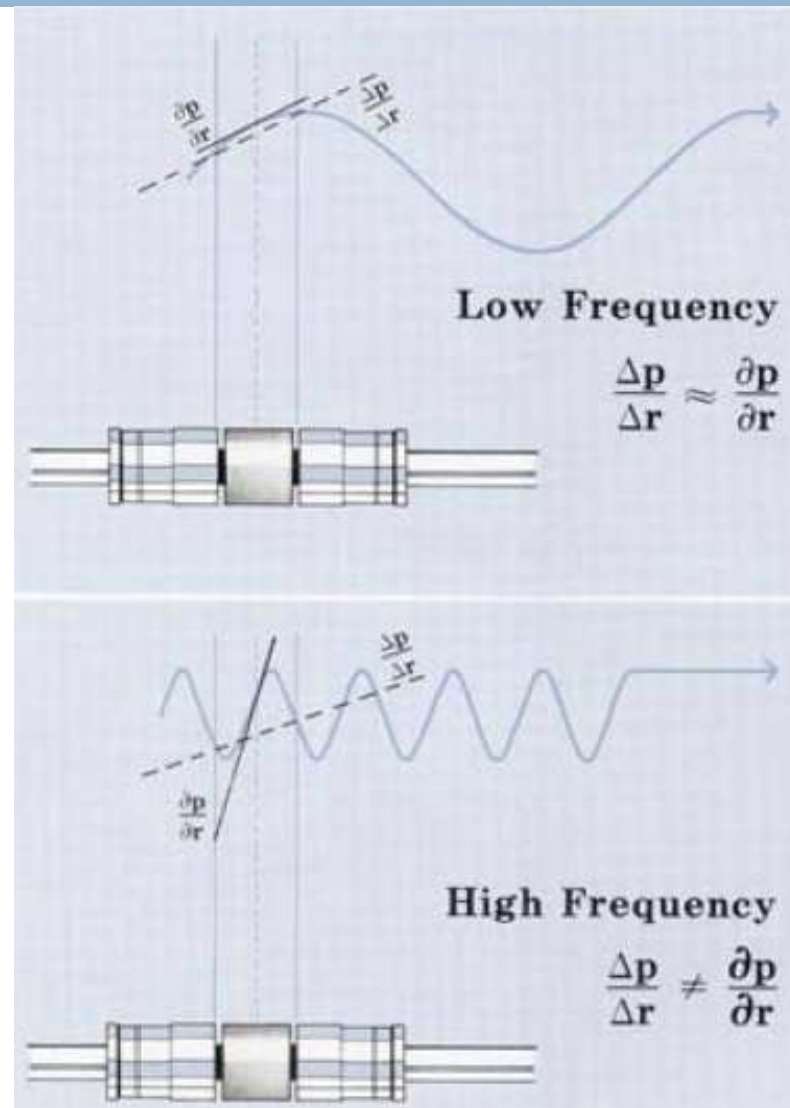
3.5.2009 20:06

- za dobivanje točke krivulje gradijenta tlaka (i uz očekivanu grešku 1 dB), valna duljina treba biti barem šest puta veća od razmaka, odnosno:

50mm: up to 1.25kHz

12mm: up to 5 kHz

6mm: up to 10kHz



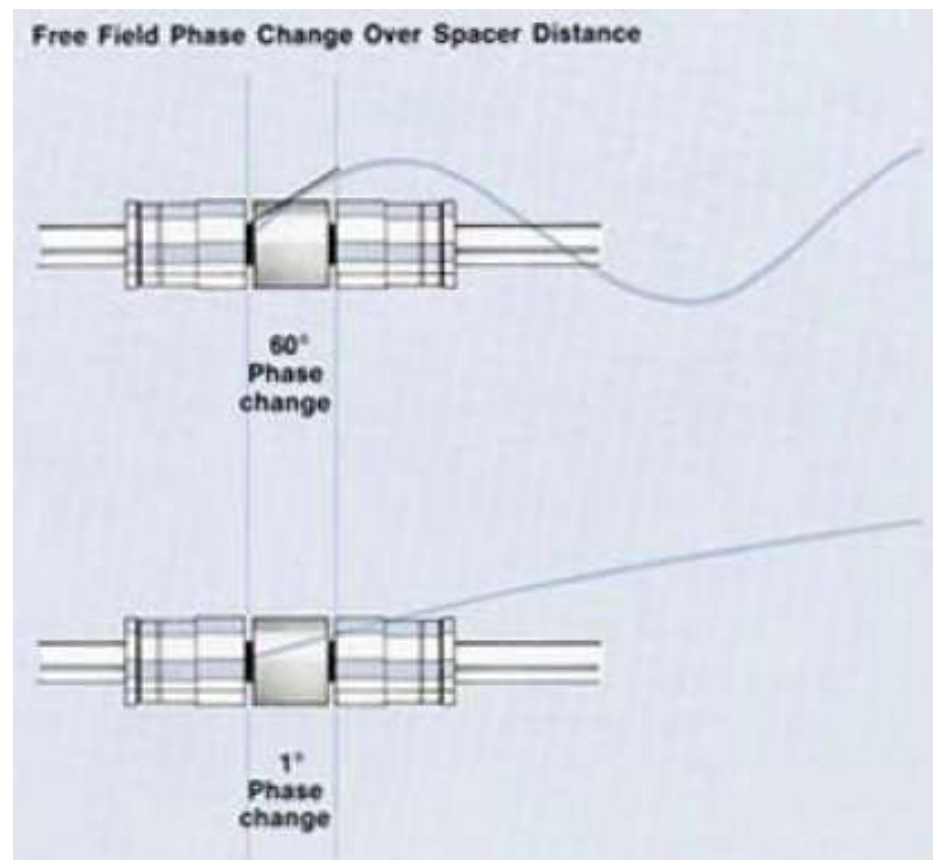
6.2.8 Mjerna ograničenja: Ograničenje NF

21

ZIO 6. Intenzitet i snaga

3.5.2009 20:06

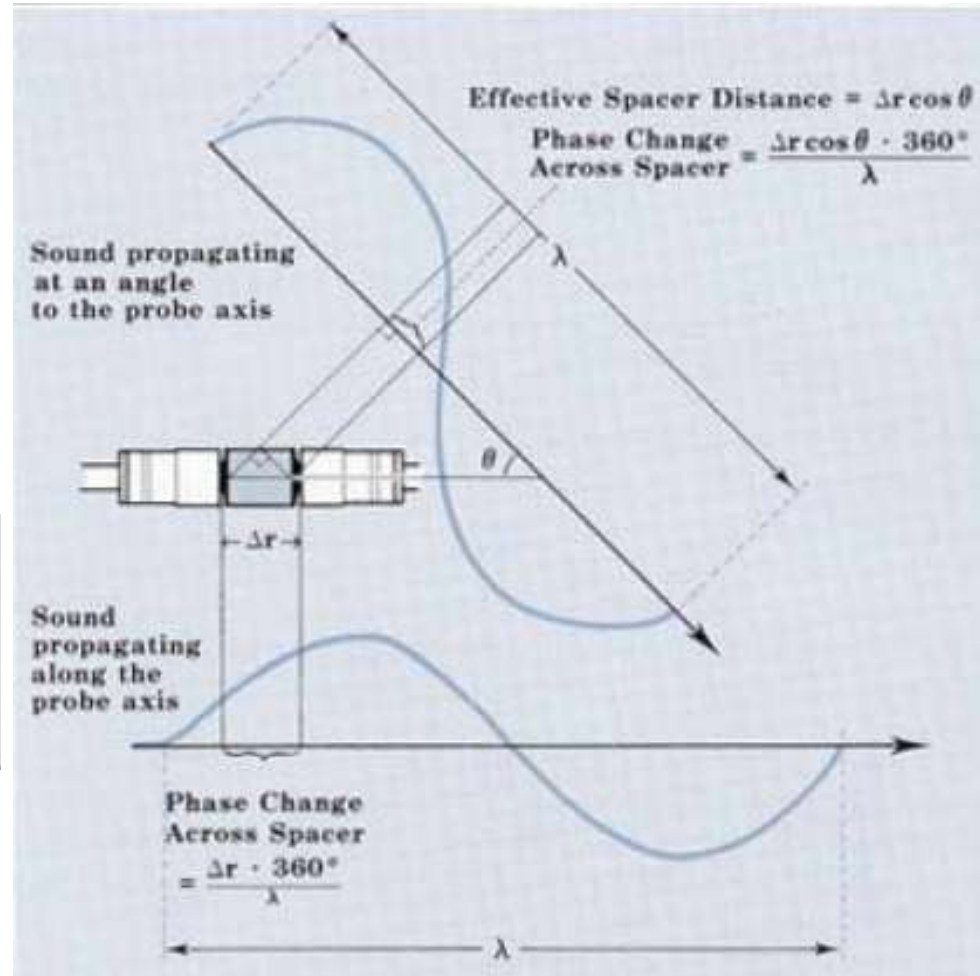
- za dobivanje točnosti od 1 dB, fazna promjena između dva mikrofona treba biti barem pet puta veća od fazne greške mikrofona
- fazna greška kod dobrih mikrofona iznosi oko $\pm 0,3^\circ$



6.2.9 Tlak-intenzitet indeks i faza

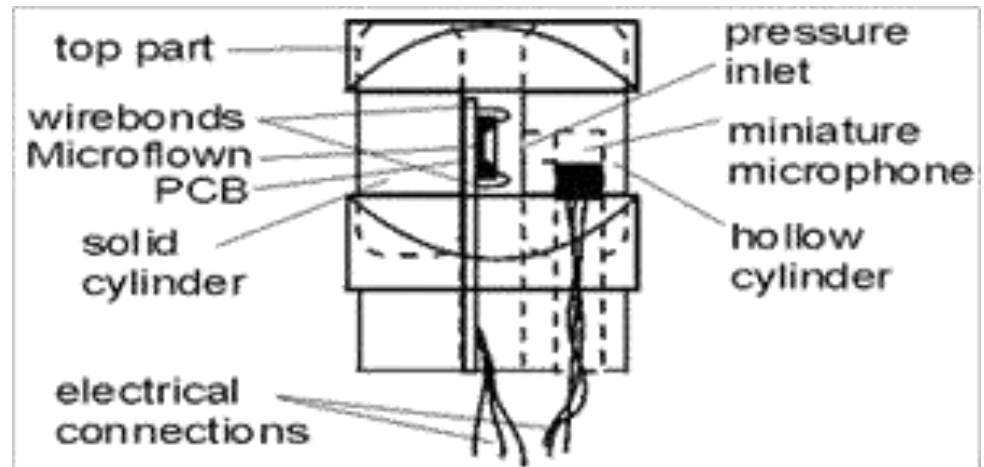
- veći kut upada – manja fazna razlika među mikrofonima – veća potencijalna greška

$10 \log_{10} \left(\frac{pc}{400} \right) = 10 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{\Delta r} \cdot \frac{\phi}{360^\circ} \right) + L_p - L_1$
 $L_p - L_1$ is the measured pressure-intensity index
 ϕ is the phase change over the spacer distance Δr
 $10 \log_{10} \left(\frac{pc}{400} \right)$ is a small correction term usually negligible.



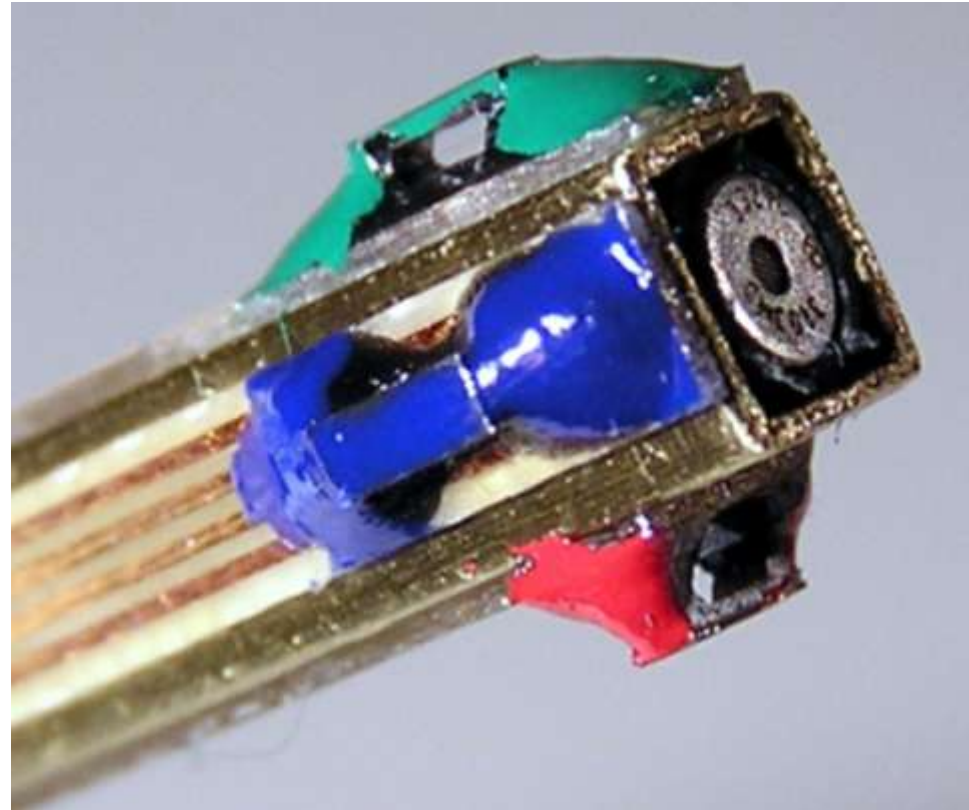
6.3 Microflow Technologies (1996)

- posebna tehnologija izravnog mjerenja brzine čestica zvuka – prednosti pred intenzitetnom sondom (frekvencijski raspon, potrebna fazna točnost uparenih mikrofona)



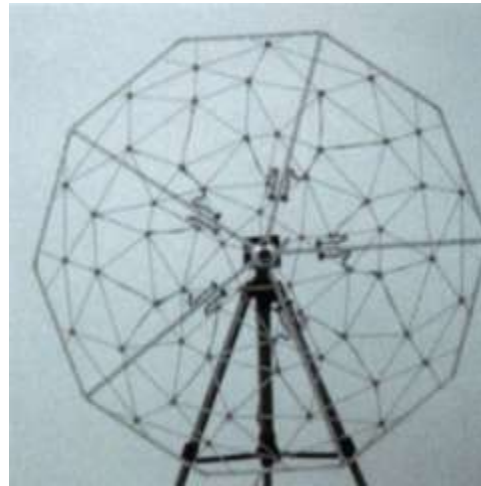
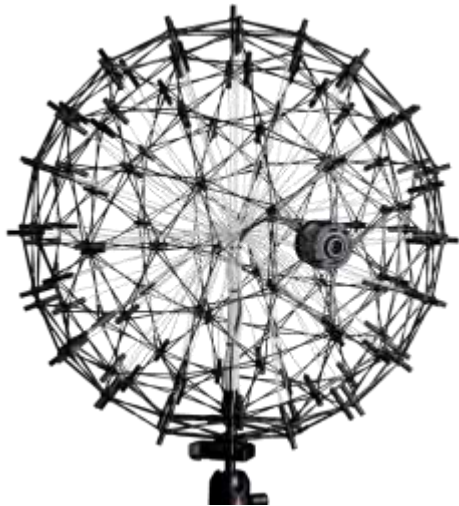
6.3 Microflow Technologies (1996)

- mjerac brzine – osmičasta karakteristika
- za intenzitet treba i mikrofoni (tlak) i mjerac brzine (3 osi):



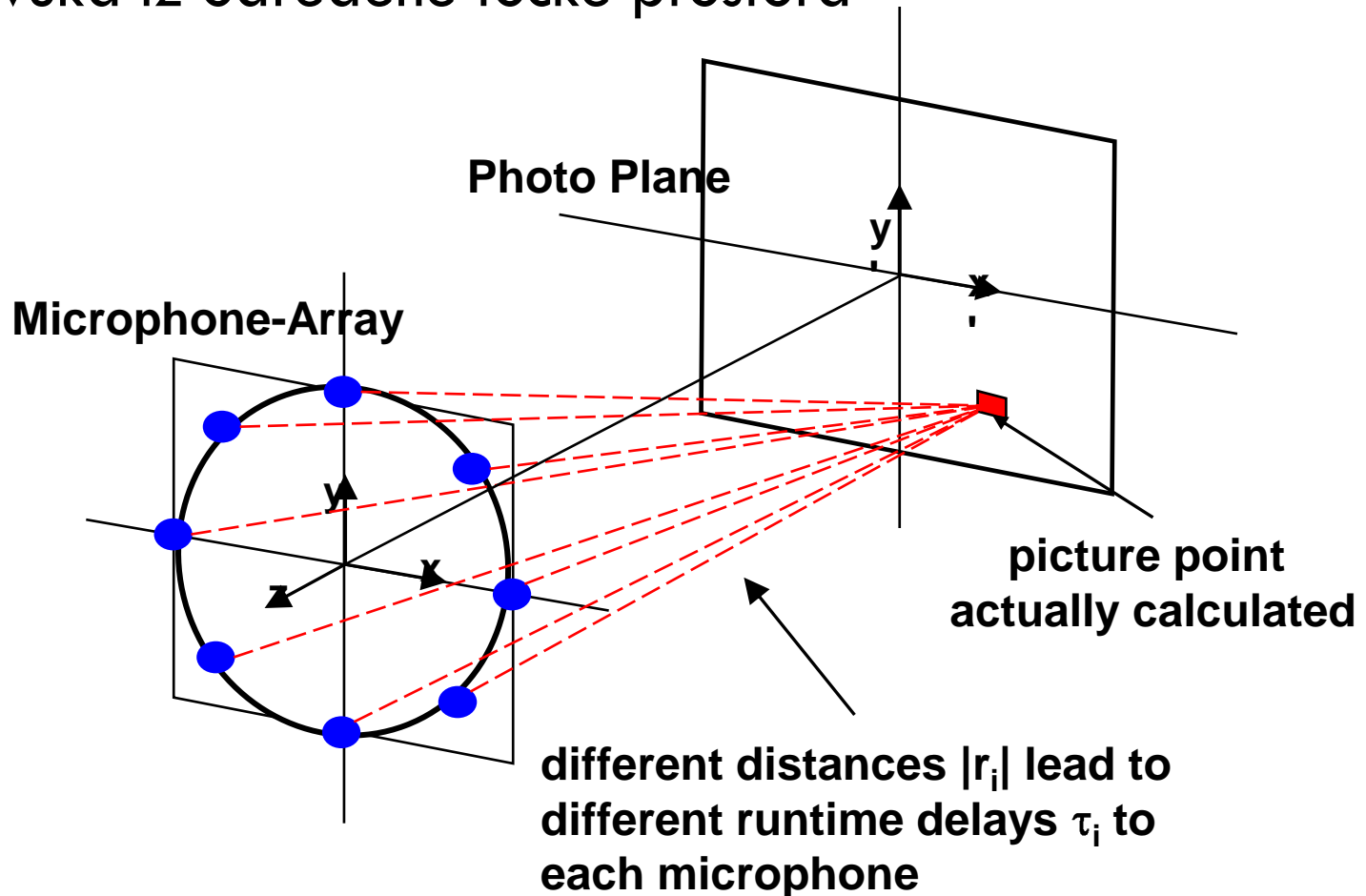
6.4 Akustička kamera

- upotreba mikrofonskih nizova za 2D i 3D slike zvučnog polja



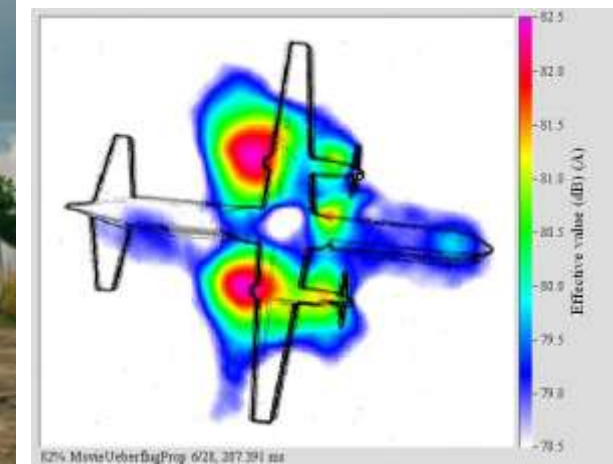
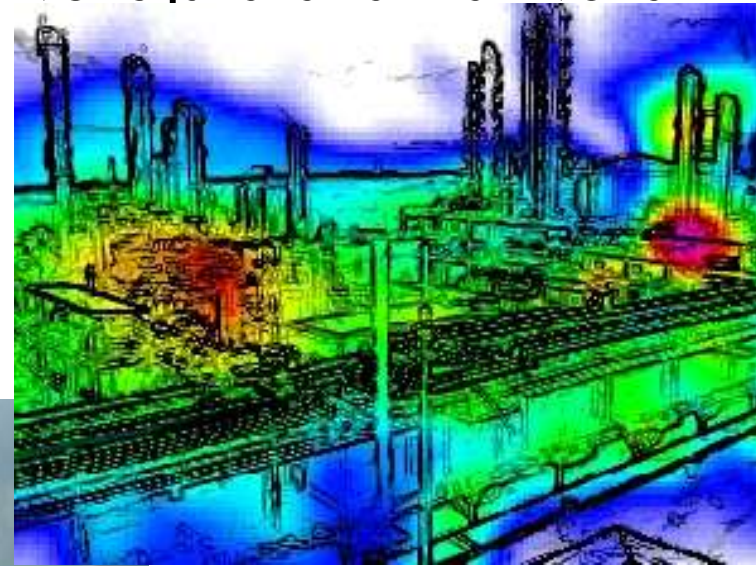
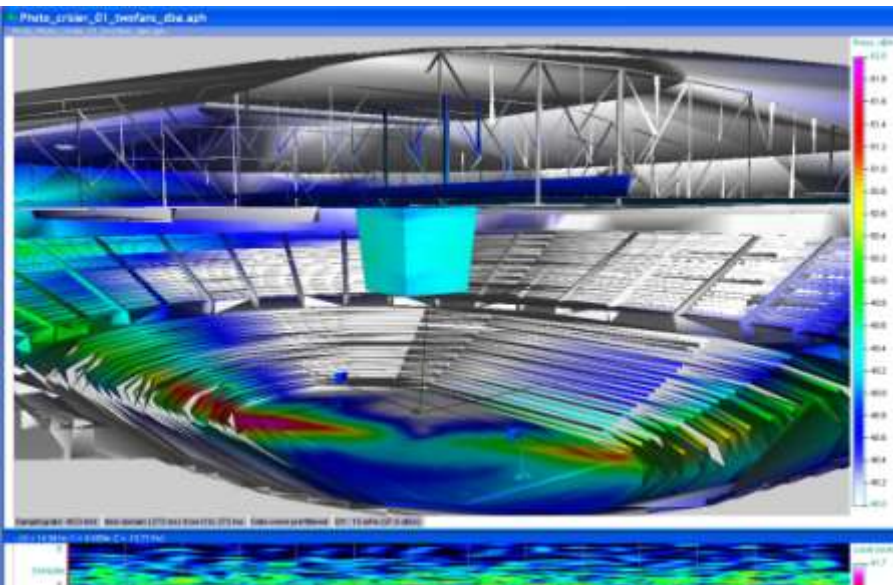
6.4 Akustička kamera

- analiza signala svih mikrofona radi određivanja razine zvuka iz određene točke prostora



6.4 Akustička kamera

- moguća potpuna kalibracija i frekvencijska analiza zvuka



6.5 Zvučna snaga

- univerzalna mjera za zvuk
- upotrebljava se za:
 - ▣ apsolutnu usporedbu različitih proizvoda
 - ▣ predviđanje razine zvučnog tlaka u svakom okolišu
 - ▣ određivanje mjesta s velikom razinom tlaka
- mjerenje u:
 - ▣ slobodnom zvučnom polju
 - ▣ difuznom zvučnom polju
 - ▣ pomoću intenziteta zvuka
- EU direktiva 2000/14/EC nalaže da teški strojevi za rad vani trebaju imati definiranu zv. snagu



6.5.1 Računanje zvučne snaga

$$W = \int_S I dS \quad \text{uz } S = \text{kugla} \quad I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

$$W = \sum_i I_i S_i \quad \text{po segmentima } i$$

$$\text{uz } I = \frac{p_{\text{rms}}^2}{\rho c} \quad W = \frac{1}{\rho c} \sum_i p_i^2 S_i$$

$$L_W = 10 \log \sum_i S_i 10^{L_{pi}/10} - 10 \log K \quad K = \frac{\rho c}{400} \approx 0$$

$$L_{WA} = \log \sum_i S_i 10^{L_{p,A_i}/10}$$

uz $S = S_i$, L_p prosječno razina zv. tlaka na S :

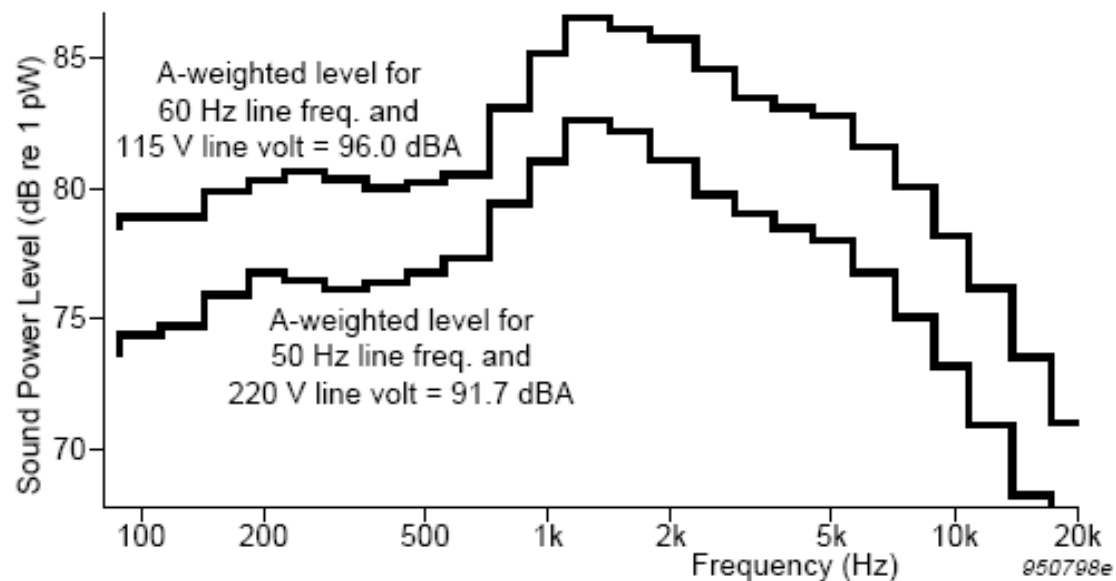
$$L_W = L_p + 10 \log \frac{S}{S_0}$$

6.5.1 Računanje zvučne snaga

- te se jednađbe koriste za određivanje zvučne snage u slobodnom polju
 - ▣ posljednja jednađba je korisna ako izvori nisu jako usmjereni, inače se treba mjeriti po segmentima
 - ▣ u difuznom zvučnom polju postoje dvije metode: metoda usporedbe i izravna metoda; u obje metode se mjeri razina zvučnog tlaka i iz nje se određuje zvučna snaga

6.5.1 Računanje zvučne snaga

- Metoda usporedbe:
 - ▣ mjeri se razlika u zvučnom tlaku između izvora poznate zvučne snage i mjenog izvora



6.5.1 Računanje zvučne snaga

□ Izravna metoda:

- mjeri se zvučni tlak, ali potrebno je poznavati i vrijeme odjeka prostorije i njenu geometriju

$$L_W = L_p - 10 \log \frac{T}{T_0} + 10 \log \frac{V}{V_0} + 10 \log \left(1 + \frac{S\lambda}{8V} \right) - 10 \log \frac{B}{1000} - 14 \text{ dB re } 10^{-12} \text{ Watt}$$

- L_p prosječna razina zvučnog tlaka, T vrijeme odjeka (po frek. pojasu), V volumen prostorije, S oplošje svih rubnih površina, λ valna duljina centralne frekvencije oktavnog/tercnog pojasa, B tlak u mbar, T_0 1 s, V_0 1 m³