

Laboratorium teledetekcji

Sensory akustyczne

ppłk dr inż. Mateusz Pasternak

22 683 76 67

mpasternak@wat.edu.pl

<http://strony.aster.pl/mpasternak/>

czujnik (sensor)

def.

Czujnikiem akustycznym nazywa się układ fizyczny, w którym pod wpływem oddziaływań akustycznych ze strony obiektu badanego zachodzą zjawiska dające się wykorzystać jako źródła informacji o tym obiekcie

Podstawowe parametry

impedancja wyjściowa

min. wartość impedancji obciążenia

charakterystyka częstotliwościowa

czułość

min. odstęp poziomu sygnału od szumu

zakres dynamiczny

wrażliwość na pola zakłócające

minimalne długości fal częstotliwość Debye'a metody generacji i detekcji

gazy $3,4 \cdot 10^{-10}$ m
 ciecze $1,5 \cdot 10^{-9}$ m
 ciała stałe $5 \cdot 10^{-9}$ m

przetworniki piezoelektryczne,
 elektrostrykcyjne

$$f_{\max} = v \sqrt[3]{\frac{3N}{4\pi V}}$$

N/V – liczba atomów na jednostkę objętości

gazy $3,4 \cdot 10^{-7}$ m
 ciecze $1,5 \cdot 10^{-6}$ m
 ciała stałe $5 \cdot 10^{-6}$ m

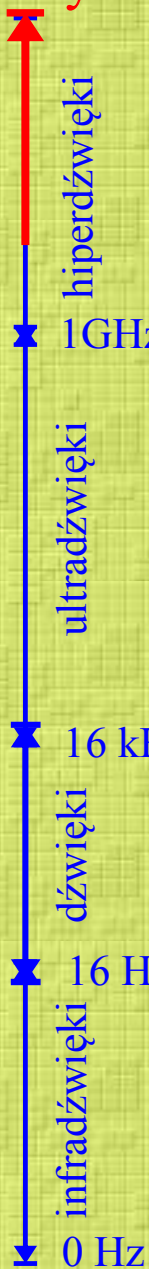
głośniki, piszczałki, lasery, przetworniki termiczne piezoelektryczne, elektrostrykcyjne mikrofony

gazy $2 \cdot 10^{-2}$ m
 ciecze 0,1 m
 ciała stałe 0,3 m

głośniki, układy mechaniczne mikrofony

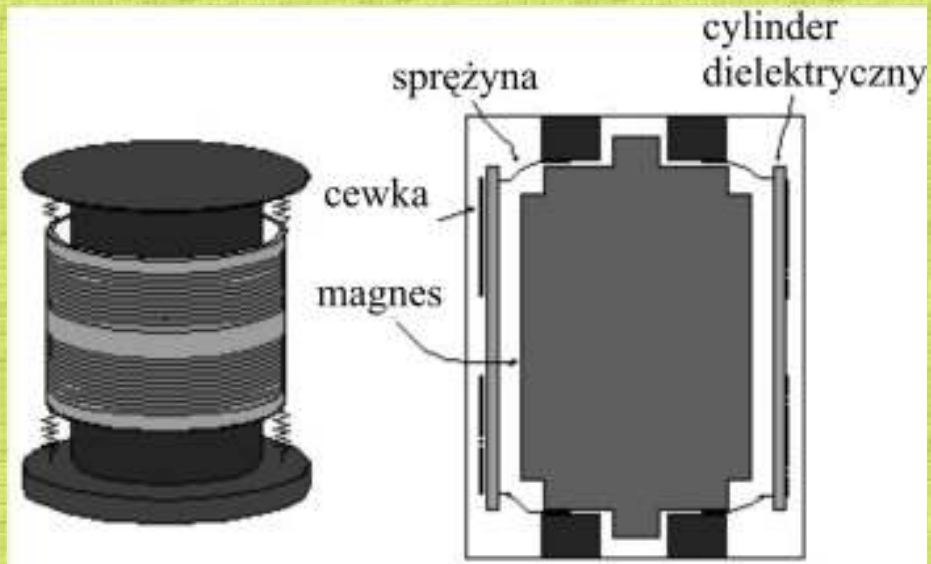
gazy 20 m
 ciecze 100 m
 ciała stałe 300 m

detonacje układy mechaniczne sejsmometry



Widmo dźwięku

Częstotliwości najniższe - sejsmometria



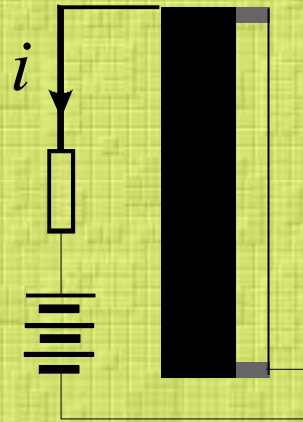
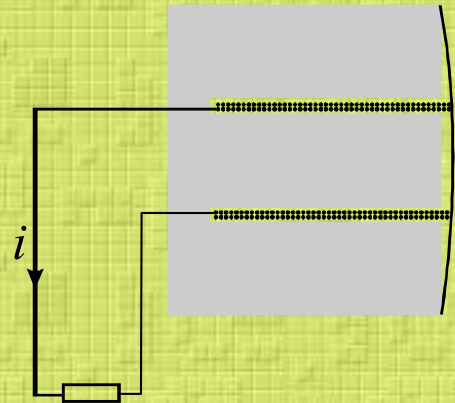
metody pomiaru

- mechaniczne
- elektromechaniczne
- optoelektroniczne
- akustoelektroniczne

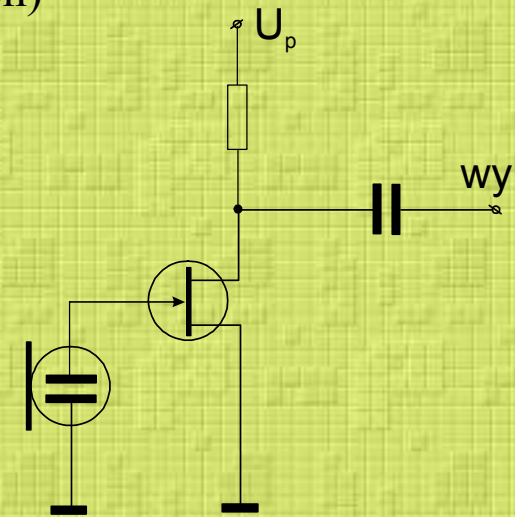


MIKROFONY – detekcja częstotliwości słyszalnych (akustycznych)

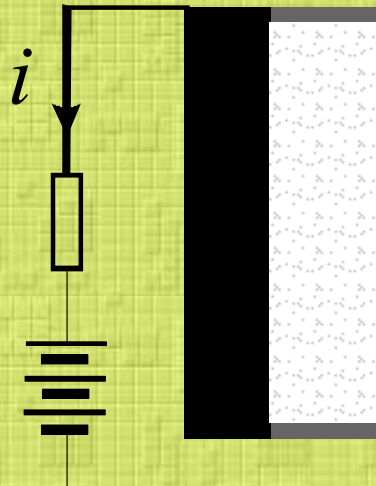
magnetoelektryczny



pojemnościowy
elektretowy

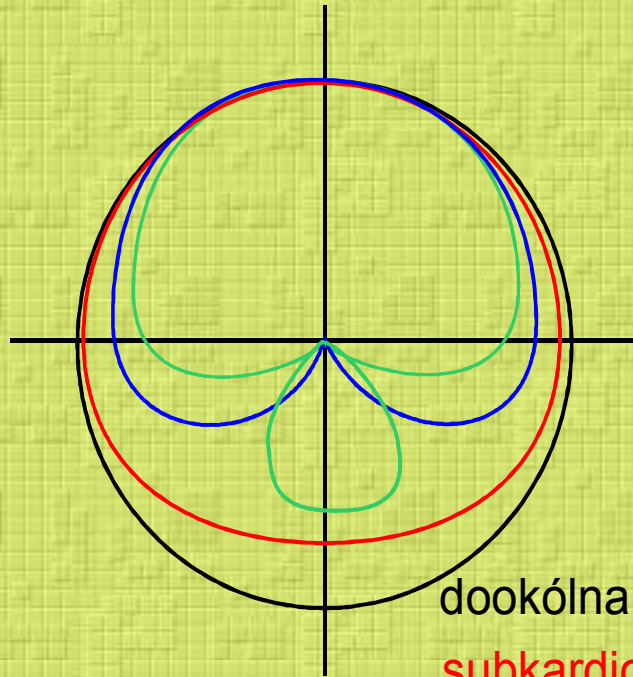


węglowy



wartości orientacyjne	czułość [mV/ μ bar]	pasmo [kHz]	impedancja [M Ω]	poziom zniekształceń	równomierność charakterystyki
węglowe	1 – 50	0,2 - 3	0,001	wysoki	mała
pojemnościowe	0,5 – 10	0,01 - 20	100	b. Niski	\pm 3dB
elektretowe	0,5 – 10	0,01 - 20	1000	b. niski	\pm 3dB
piezoelektryczne	0,2 – 2	> 20	1000	niski	duża
magnetoelektryczne	0,05 – 1	0,03 - 15	0,0001	niski	do 20 dB

Podstawowe rodzaje charakterystyk

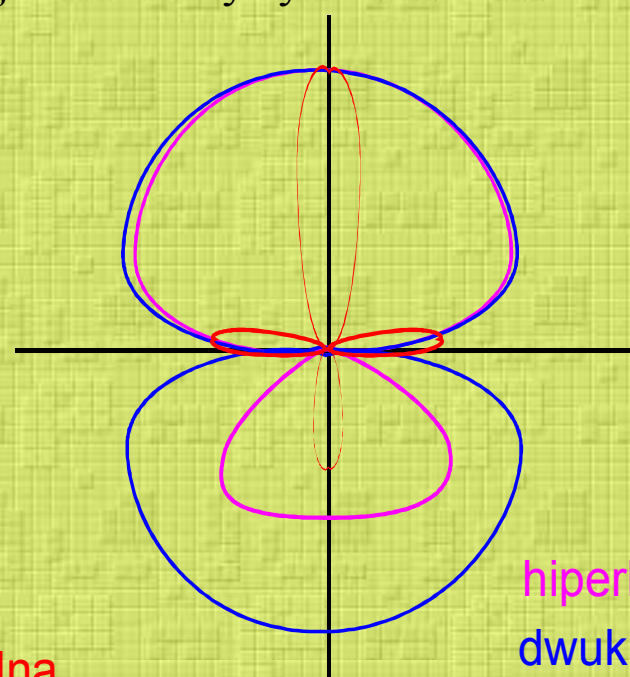


dookólna

subkardioidalna

kardioidalna

superkardioidalna

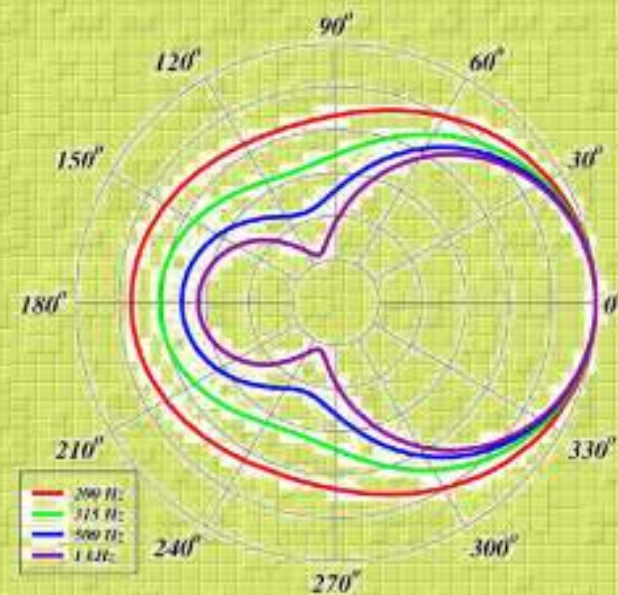


hiperkardioidalna

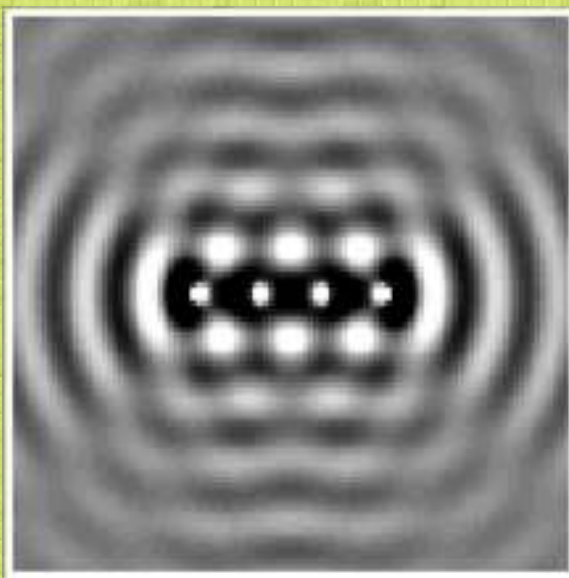
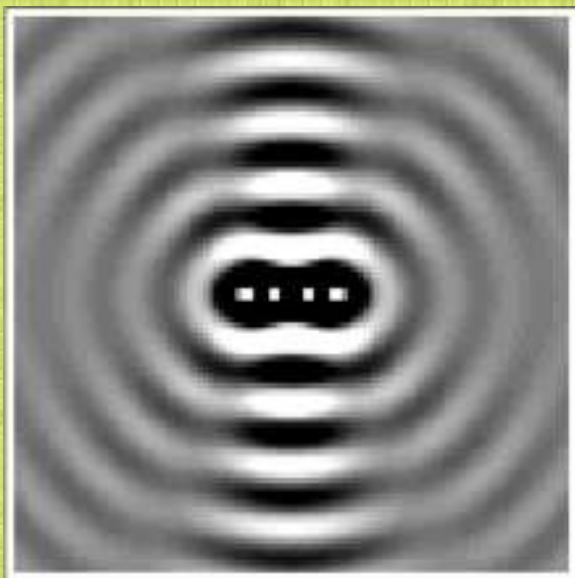
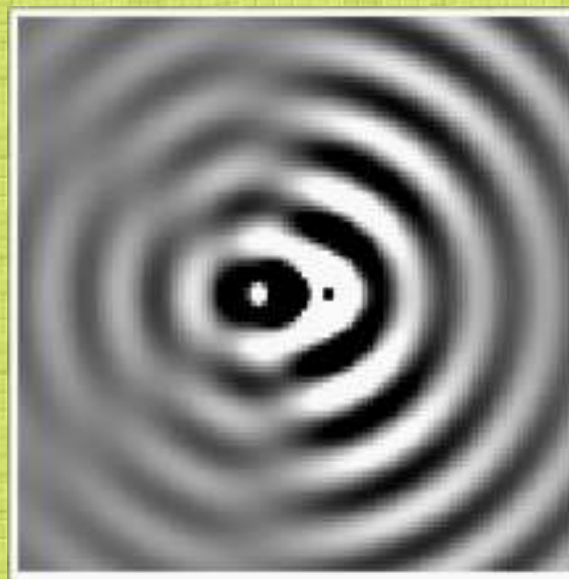
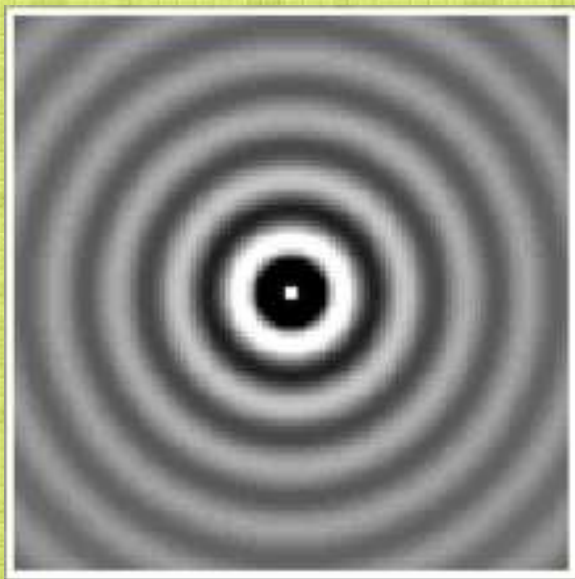
dwukierunkowa

kierunkowa

Zależność charakterystyki od częstotliwości

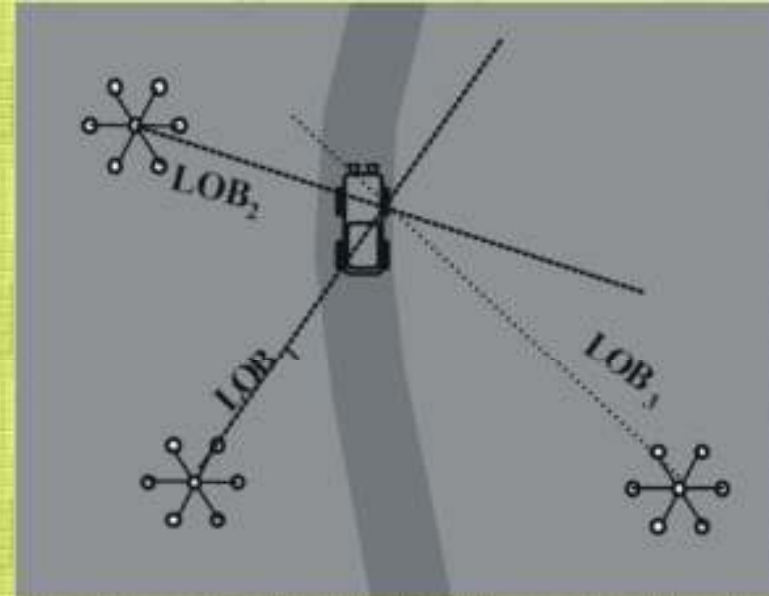


Szyki detektorów

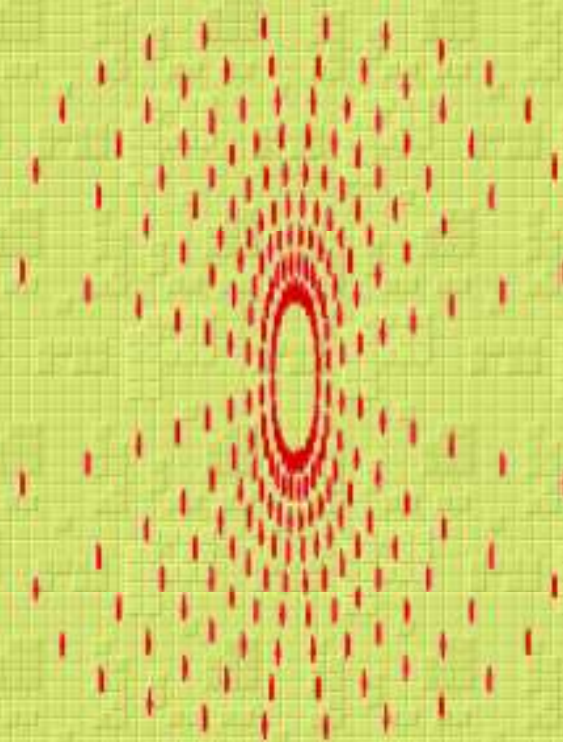


Przykłady zastosowań szyków detektorów

Wykrywanie i rozpoznawanie pojazdów



Wykrywanie i rozpoznawanie samolotów



ULTRADŹWIĘKI

Metody generacji i detekcji ultradźwięków

nieodwracalne

- termiczne
- optyczne

odwracalne

- elektrostatyczne pojemnościowe
- piezoelektryczne
- elektrostrykcyjne

- elektromagnetyczne

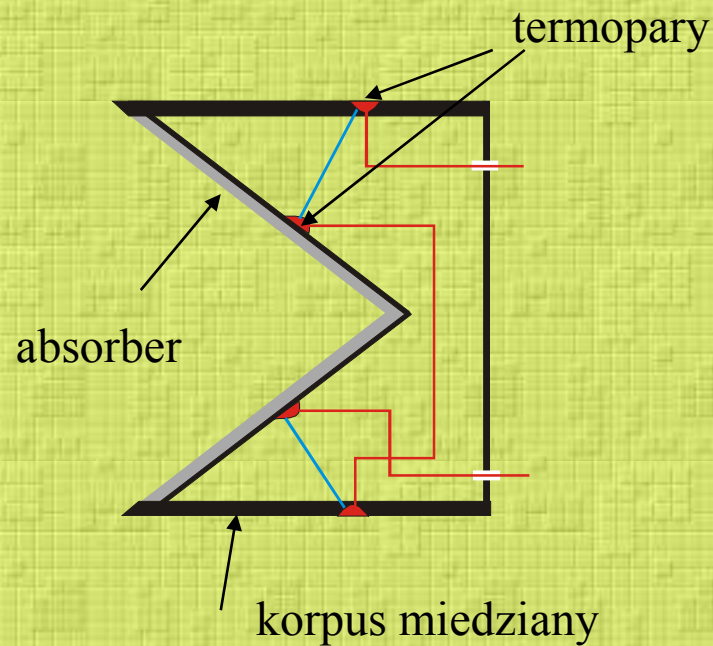
- magnetoelektryczne

- magnetyczne

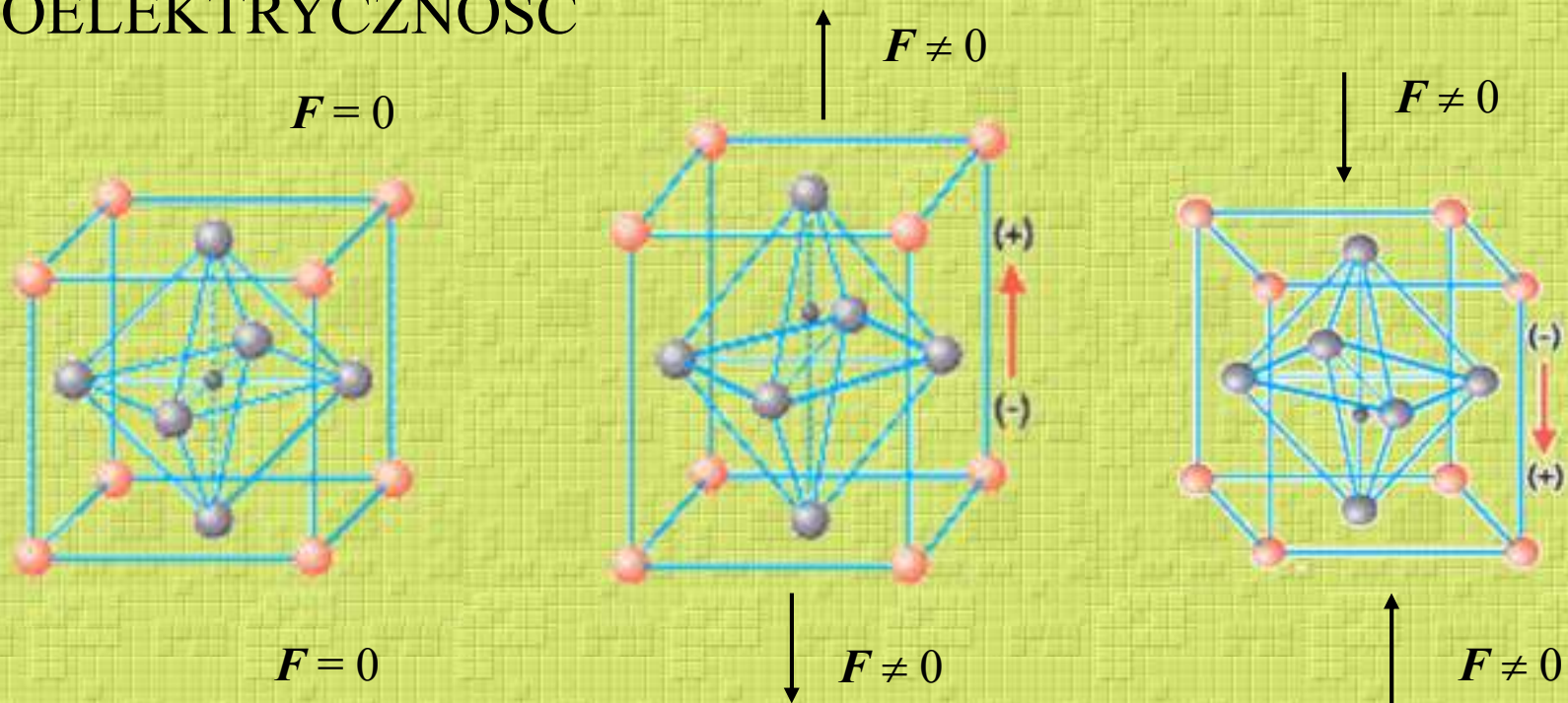
piezomagnetyczne

magnetostrykcyjne

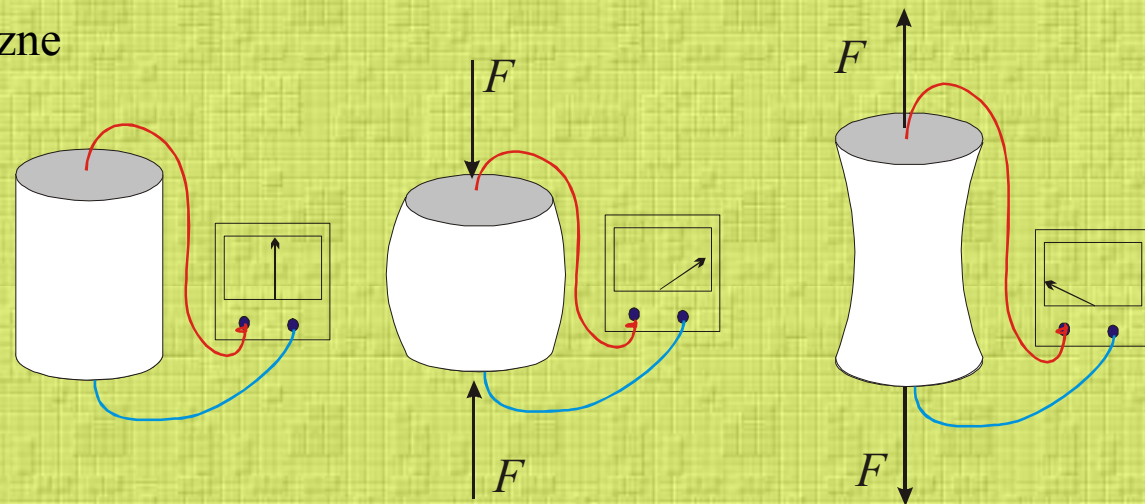
z indukcją prądów wirowych



PIEZOELEKTRYCZNOŚĆ



Proste zjawisko piezoelektryczne



Zachodzi też zjawiska odwrotne!

Wielkości opisujące piezoelektryk

SiO₂ LiNbO₃ LiTaO₃ BaTiO₃ SrTiO₃ Pb(ZrTi)O₃ KNbO₃ KNaC₄H₄O₆·4H₂O

moduł piezoelektryczny d $\varepsilon = d \cdot \mathbf{E}$

dla kwarcu $d = 2,3 \cdot 10^{-12}$ [C/N]

dla PZT $d = 375 \cdot 10^{-12}$ [C/N]

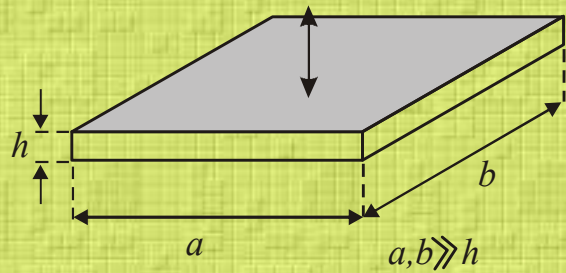
współczynnik sprzężenia elektromechanicznego

$$k = \sqrt{\frac{E_{uzyskana}}{E_{wložona}}}$$

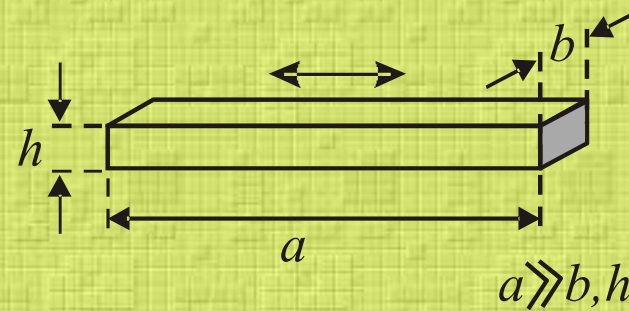
dla kwarcu $k = 0,01$

Przykładowe sposoby drgań płytek piezoelektrycznych (Kazis)

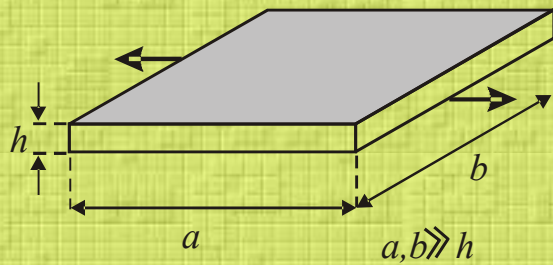
drgania grubościowe podłużne



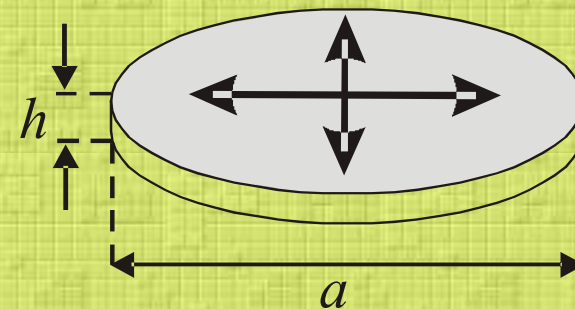
drgania wzdluzne



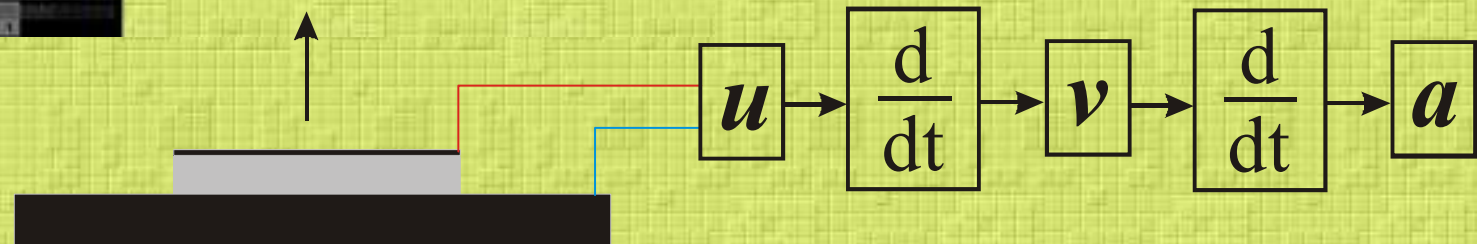
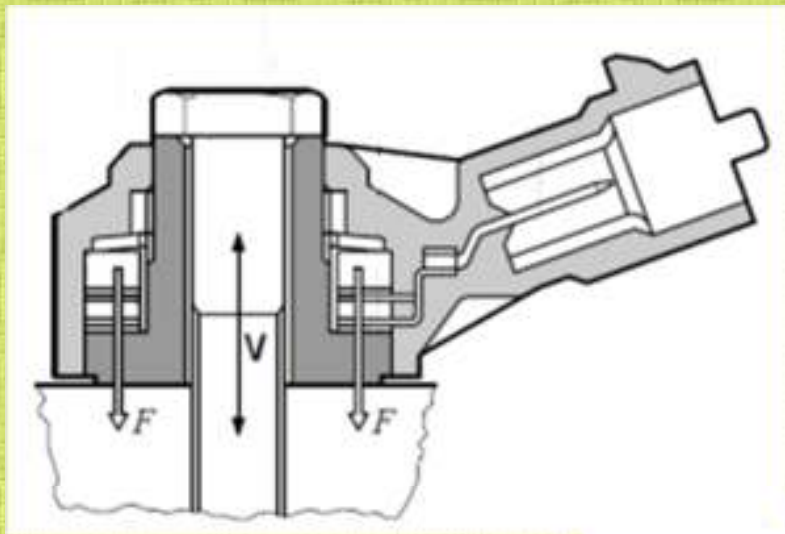
drgania scinajace



drgania radialne

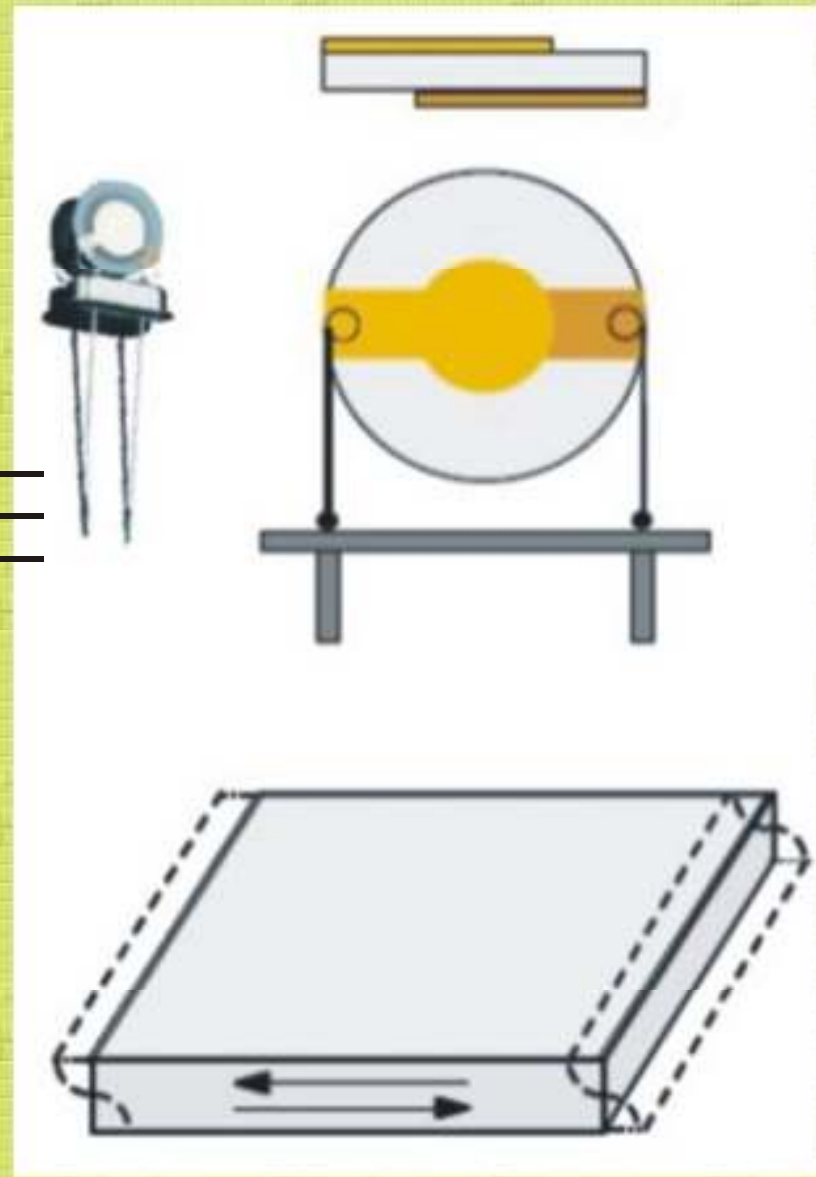
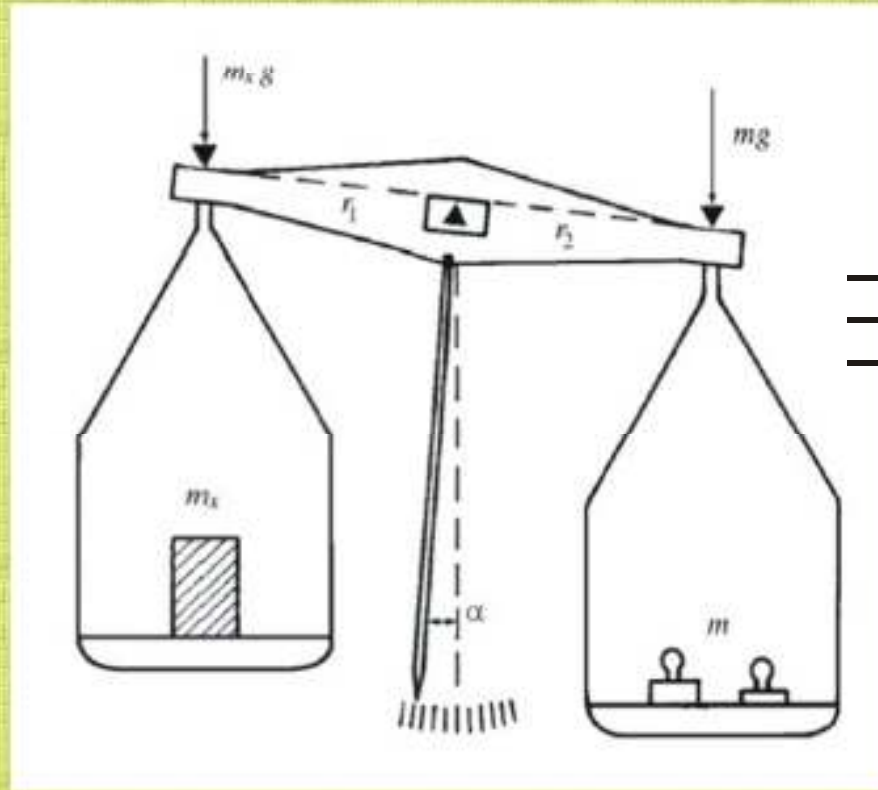


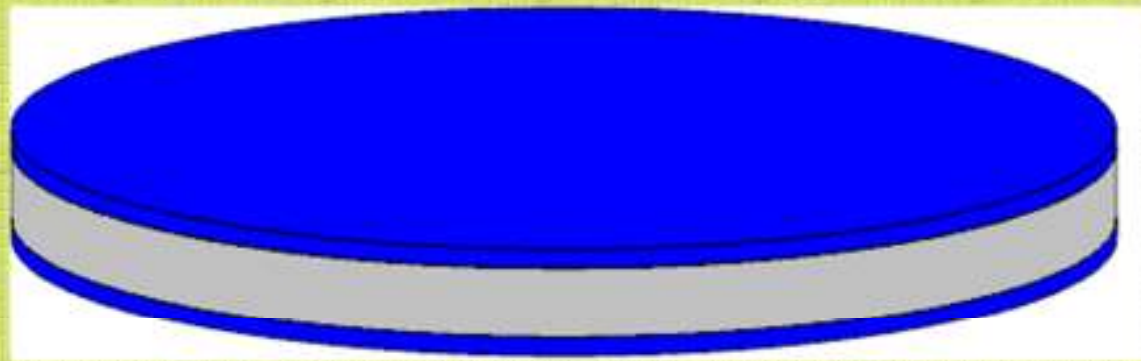
Czujniki wielkości mechanicznych



Czujniki gazu

QCM



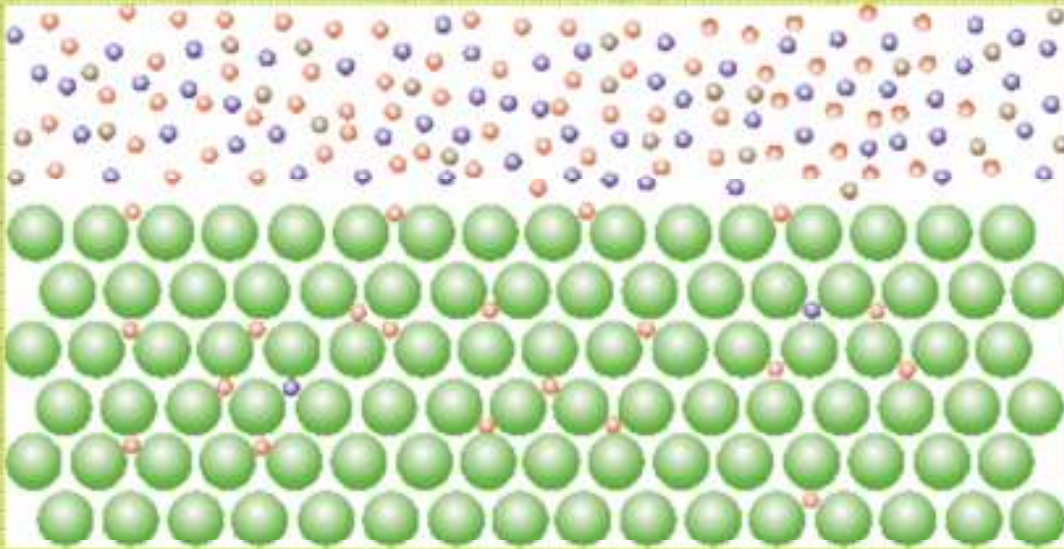


Stosunek koncentracji par w fazie stałej do koncentracji w fazie gazowej jest stały

$$K = \frac{C_s}{C_v}$$

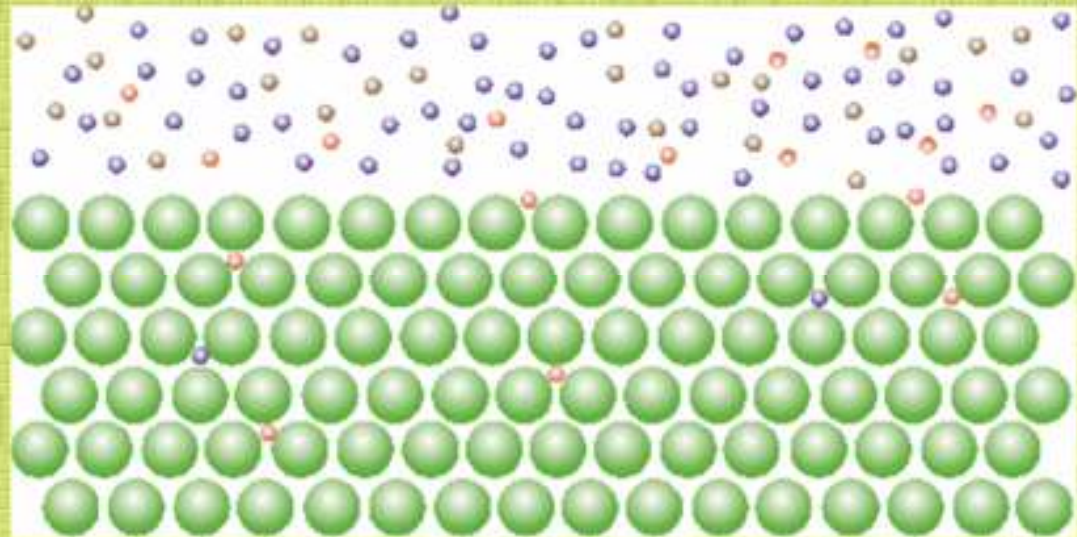
$$\log K = c + rR_2 + s\pi_2^H + a \sum \alpha_2^H + b \sum \beta_2^H + l \log L^{16}$$

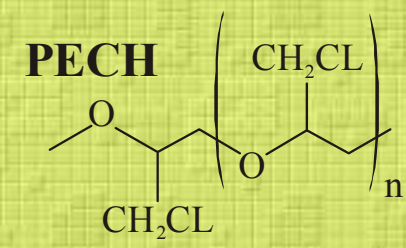
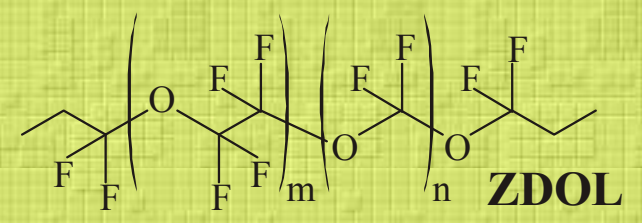
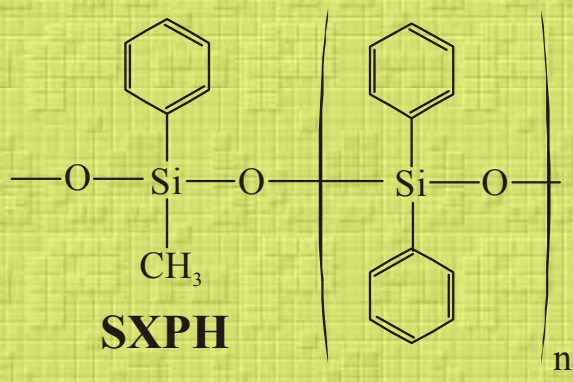
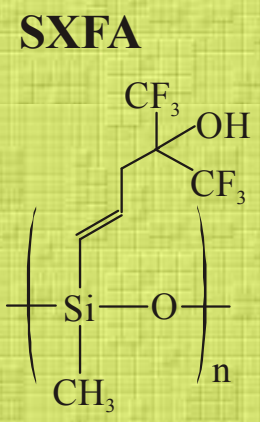
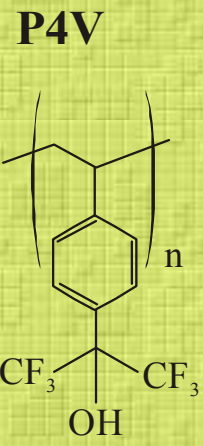
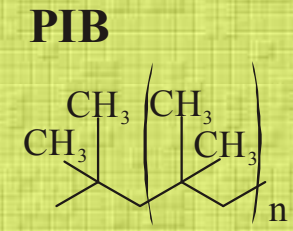
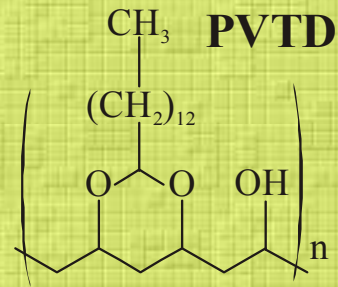
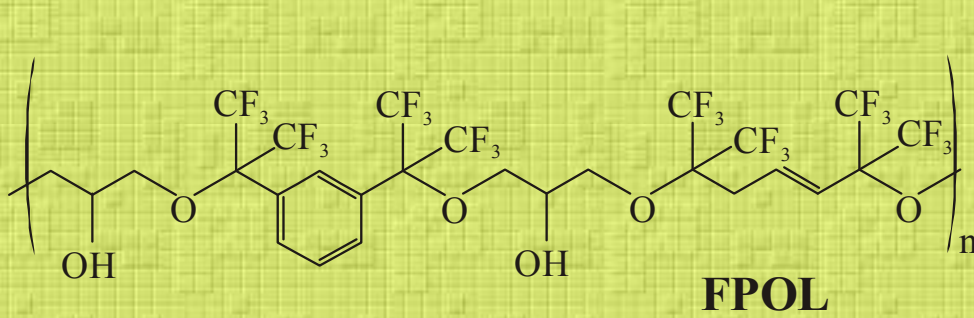
$K = \text{const}$



wysokie stężenie cząstek w otoczeniu
duża liczba cząstek wchłoniętych
duża masa warstwy chemoczułej

niższe stężenie cząstek w otoczeniu
niższa liczba cząstek wchłoniętych
niższa masa warstwy chemoczułej





Wzór Sauerbraya

$$\Delta f = -\frac{2nf_0^2 \Delta m}{A\sqrt{\rho_k \mu_k}}$$

f_0 częstotliwość podstawowa nieobciążonego rezonatora,

n numer owertonu,

Δm - zmiana masy warstwy chemoczułej spowodowana sorpcją cząstek

A - powierzchnia rezonatora

ρ_k - gęstość kwarcu

μ_k - moduł ścinania dla kwarcu.

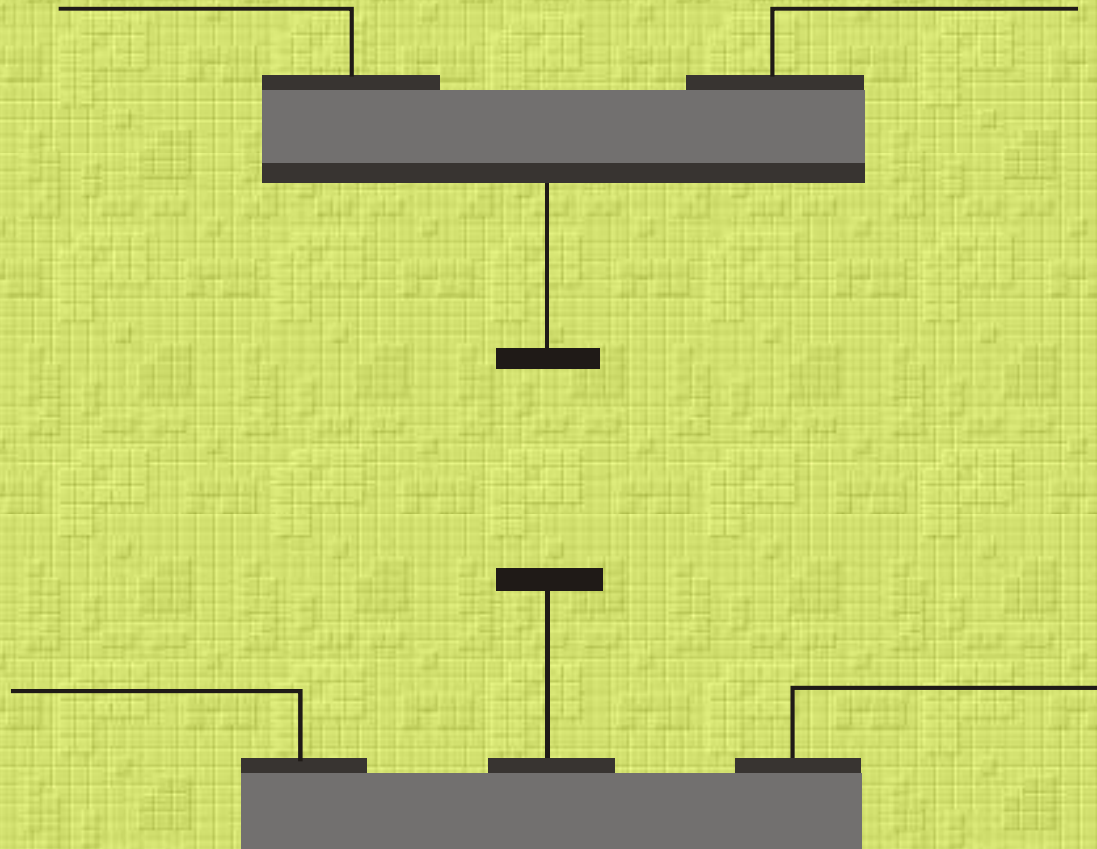
poprawka Kanazawy

$$\Delta f = -f_0^{2/3} \sqrt{\frac{\rho_c \eta_c}{\pi \rho_k \mu_k}}$$

ρ_c gęstość cieczy

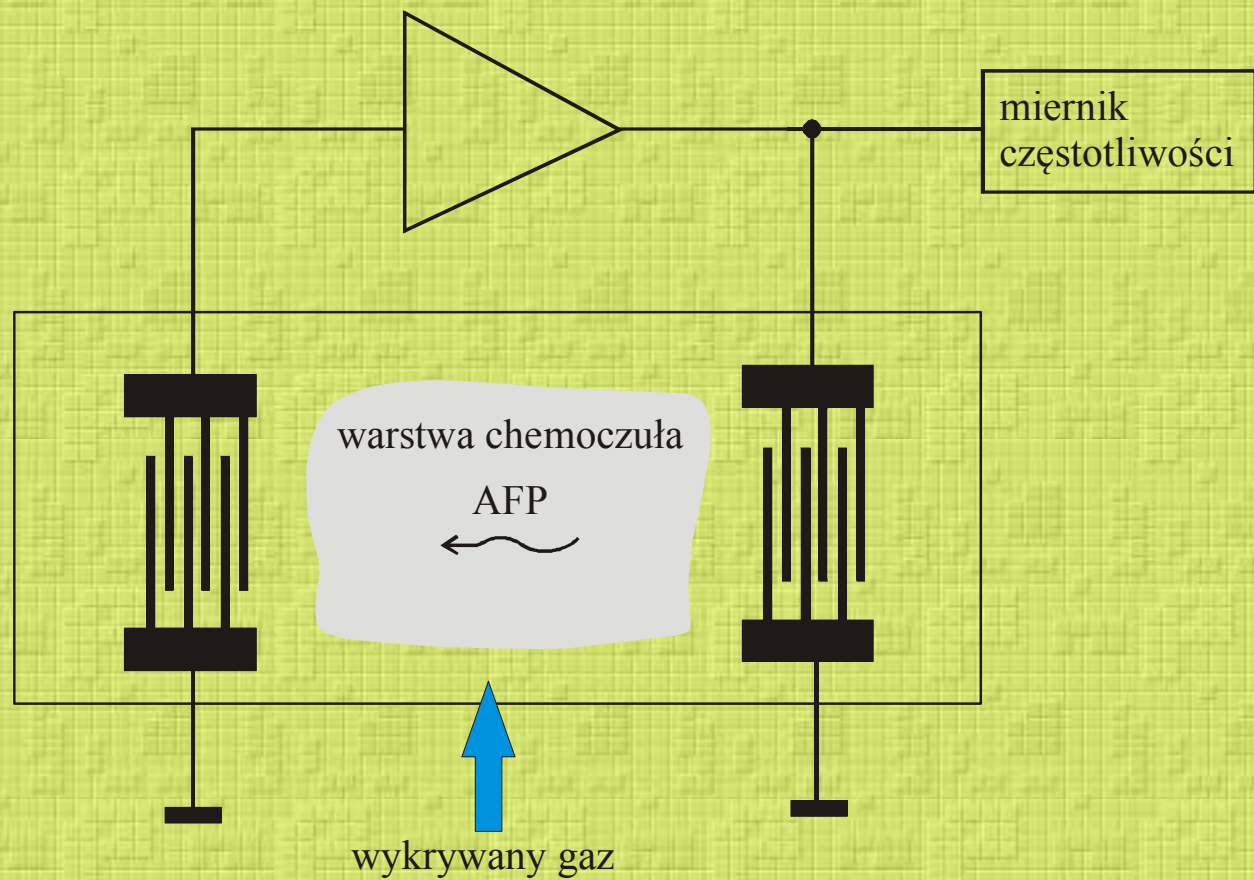
η_c lepkość cieczy

Ewolucja – przetwornik fal objętościowych => przetwornik fal powierzchniowych (IDT)



przetwornik IDT - międzypalczasty

Zasada działania czujnika gazu z AFP



Wzór Aulda

$$\frac{\Delta v_R}{v_R} = -\frac{v_R h}{4P_R} \left[\rho |v_{Ry}|^2 + \left(\rho - \frac{4\mu}{v_R^2} \frac{\lambda + \mu}{\lambda + 2\mu} \right) |v_{Rz}|^2 \right]_{y=0}$$

h - grubość warstwy

ρ - gęstość warstwy

λ i μ stałe Lamé dla warstwy

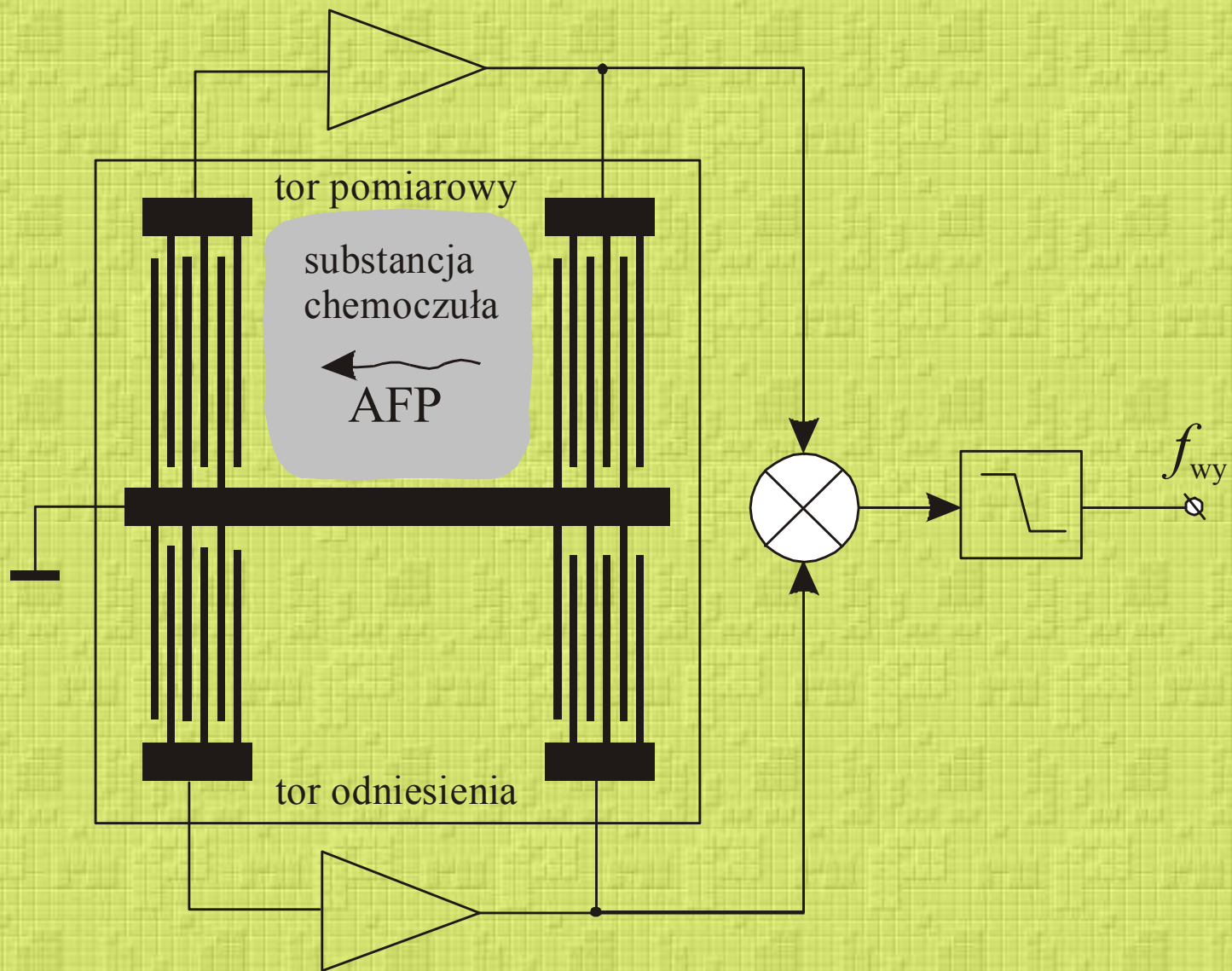
P_R gęstość mocy fali Rayleigha,

v_R prędkość fali Rayleigha

(składowa poprzeczna = 0).

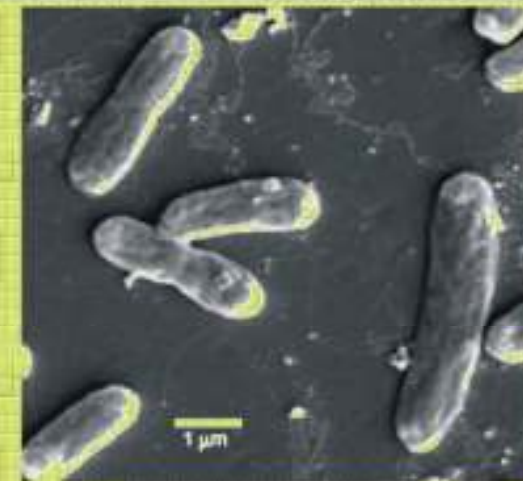
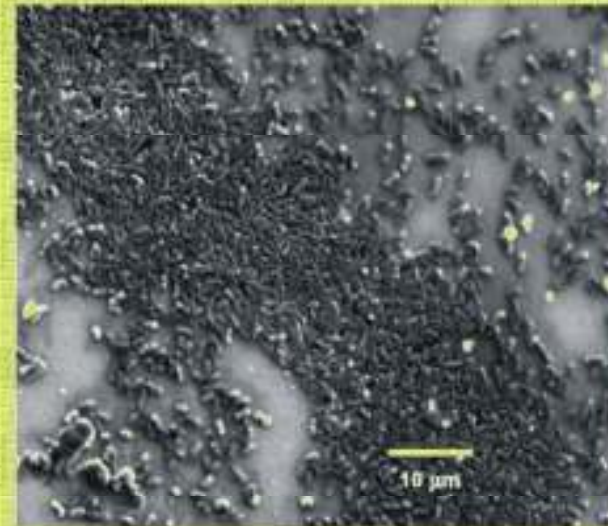
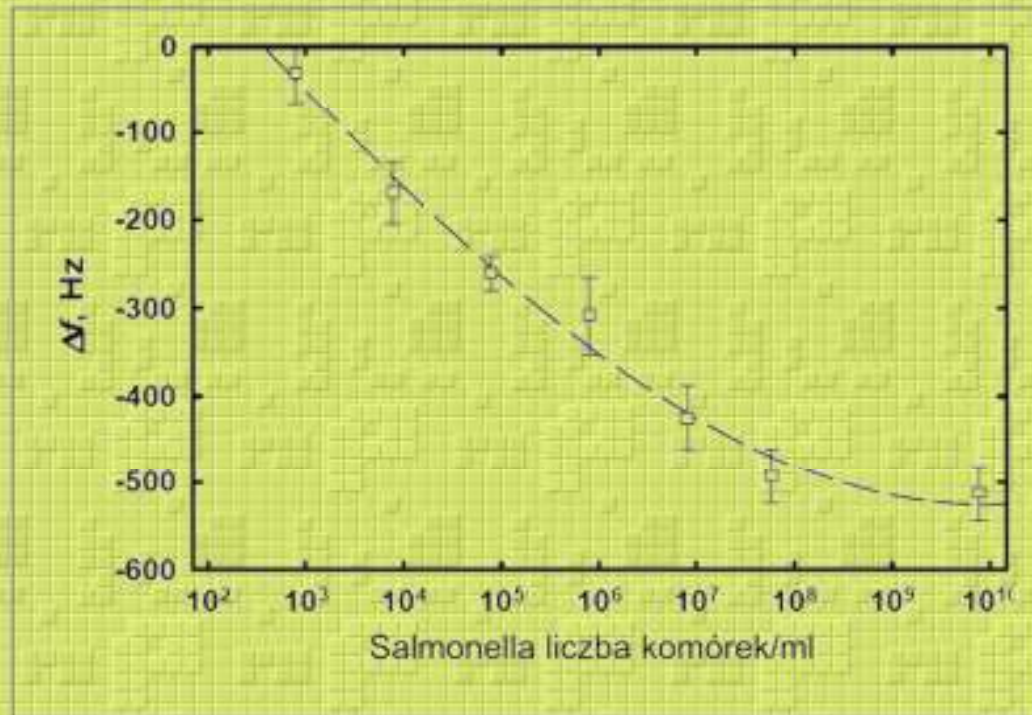
Wzór mój

$$\tilde{v}_f = \frac{2\omega\tau x_R}{i + 2\omega\tau} = \frac{4\omega^2\tau^2 x_R}{4\omega^2\tau^2 + 1} - i \frac{2\omega\tau x_R}{4\omega^2\tau^2 + 1}$$



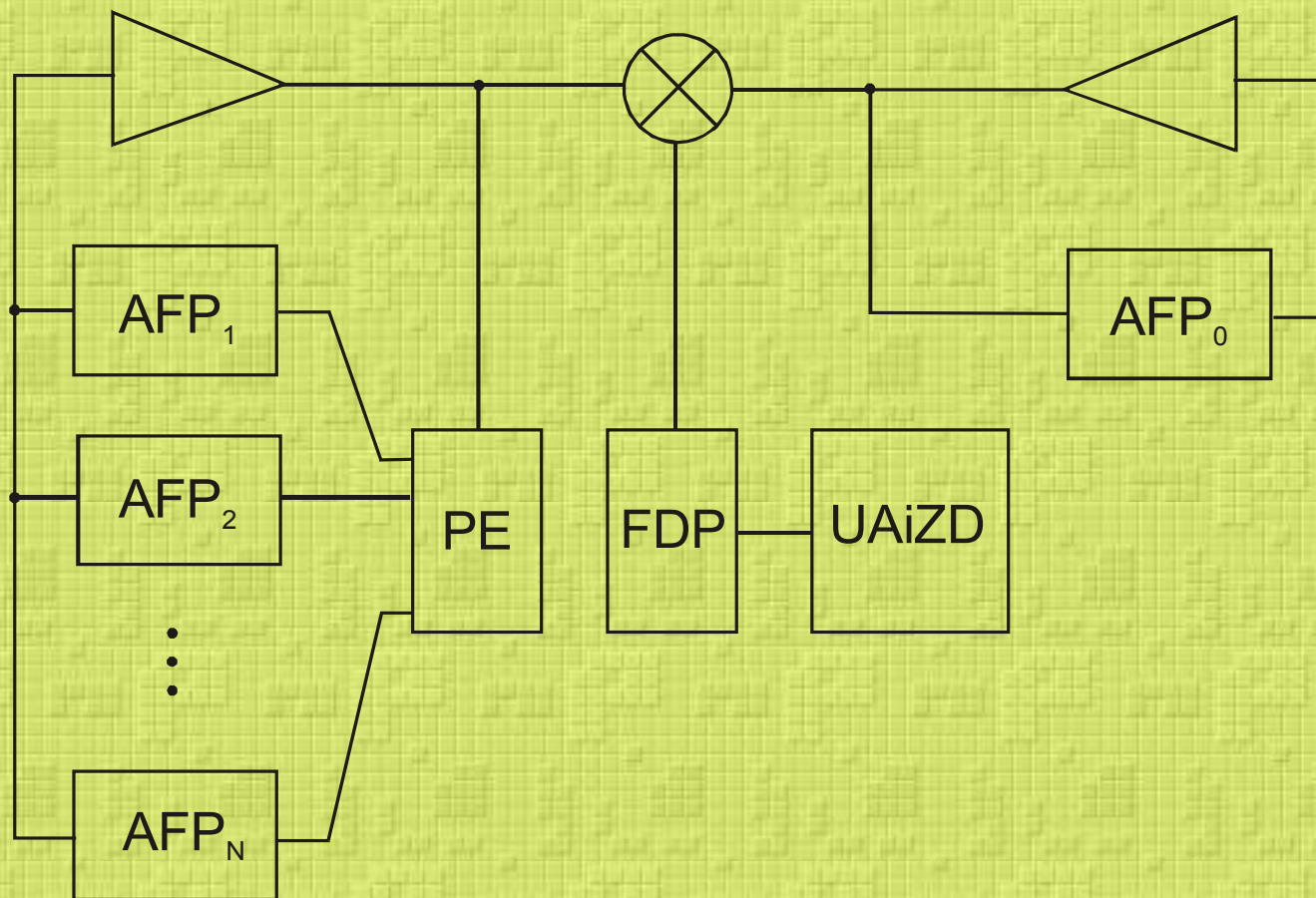
analit	poziom detekcji [ppb]	
	powietrze	woda
Chloroform	45	0.65
<i>Cis</i> 1,2 Dichloroethene	47	1.7
Benzene	42	0.96
Carbon Tetrachloride	130	16.49
Trichloroethylene	6.3	0.40
Toluene	11	0.15
Tetrachloroethylene	5.7	0.57
Ethylbenzene	2.7	0.07
<i>O</i> - Xylene	2.5	0.11
1,1,2,2 Tetrachloroethane	3.6	0.56

Możliwa jest także detekcja zakażeń



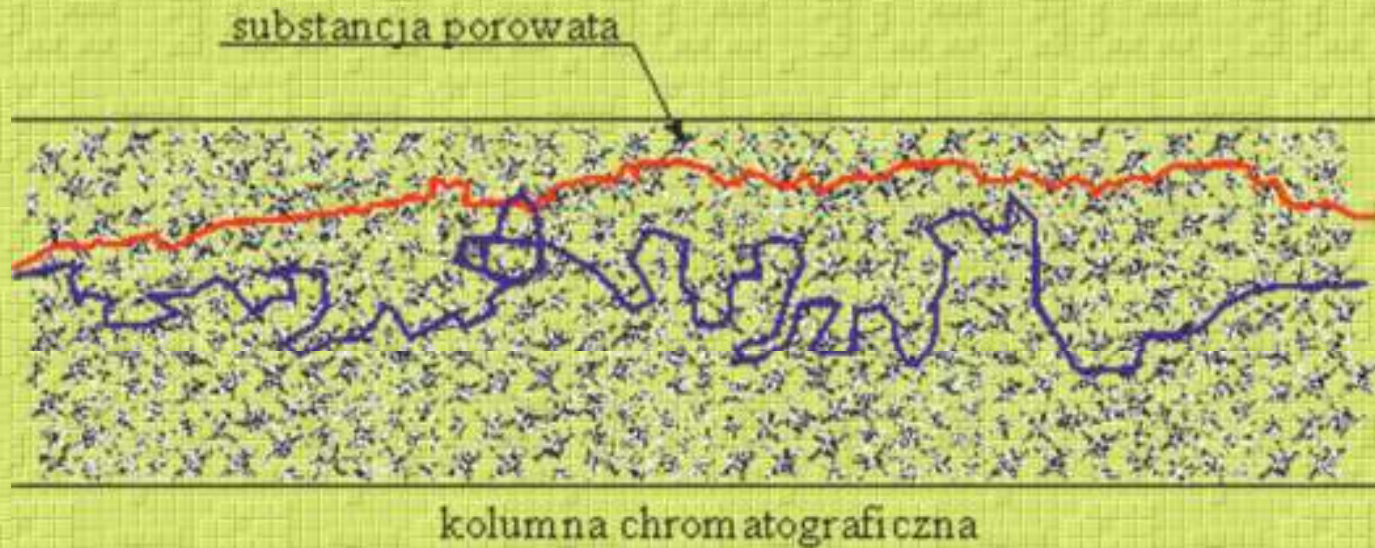
Elektroniczne nosy

E-nos

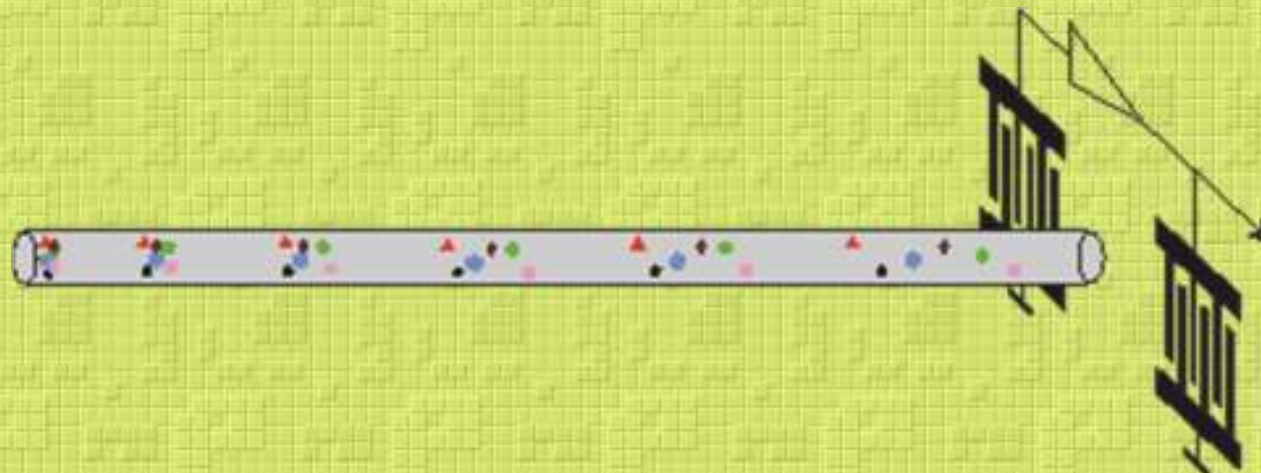


Warstwy chemoczułe reagują na obecność konkretnych gazów lub wielkości równania LSER – cechy gazów

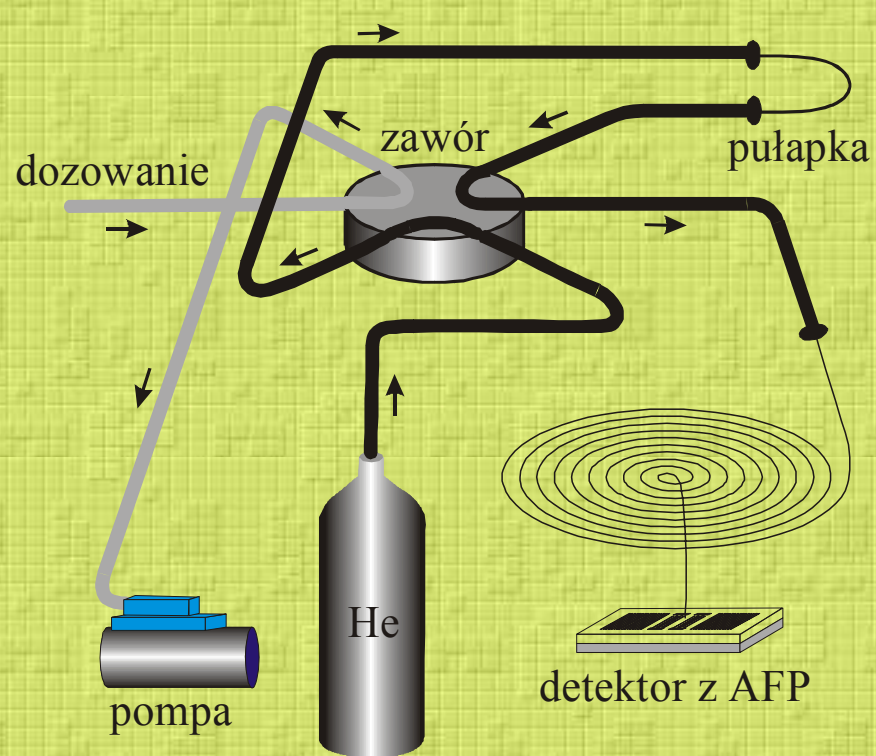
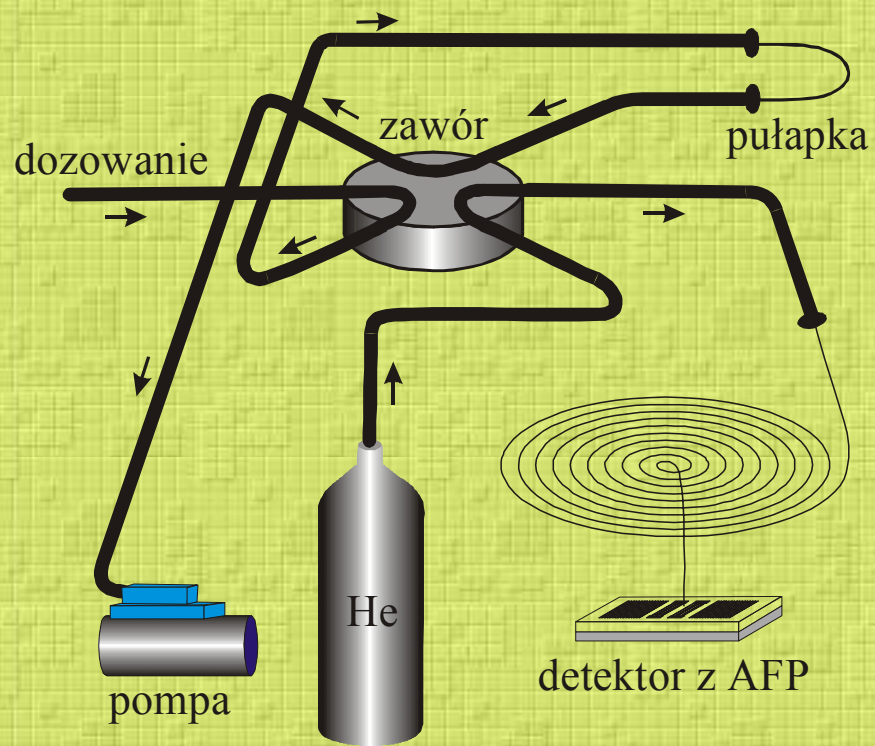
Zastosowanie chromatografii gazowej

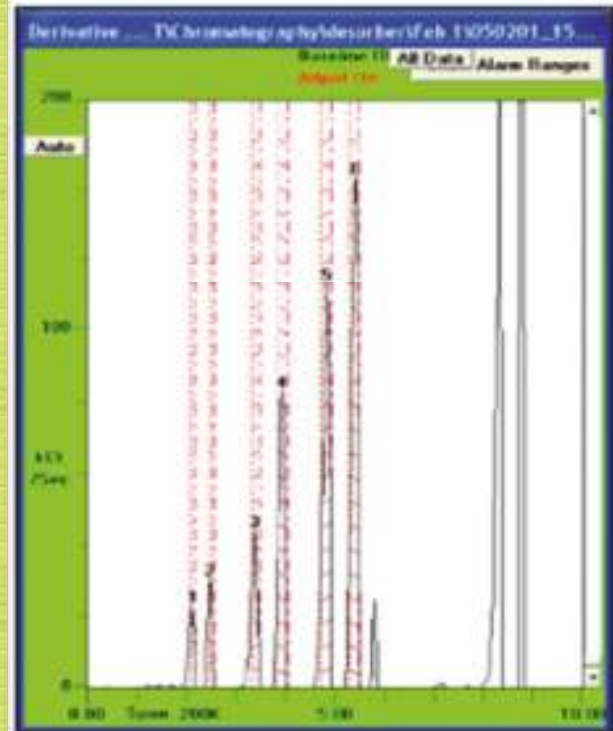
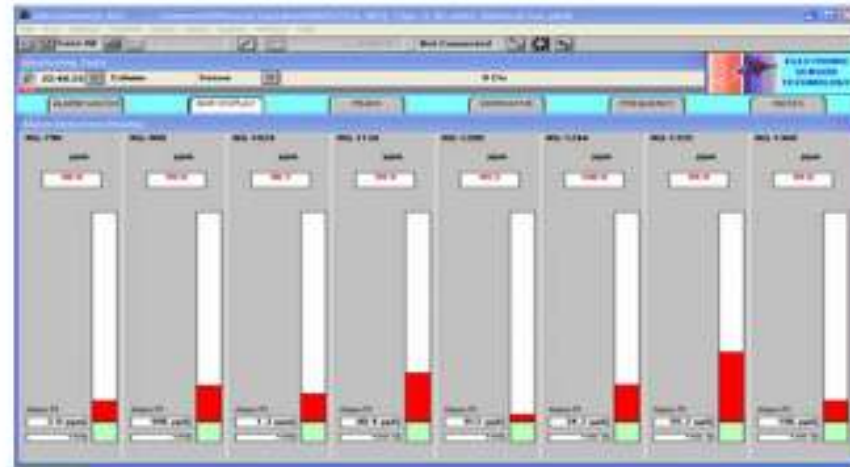
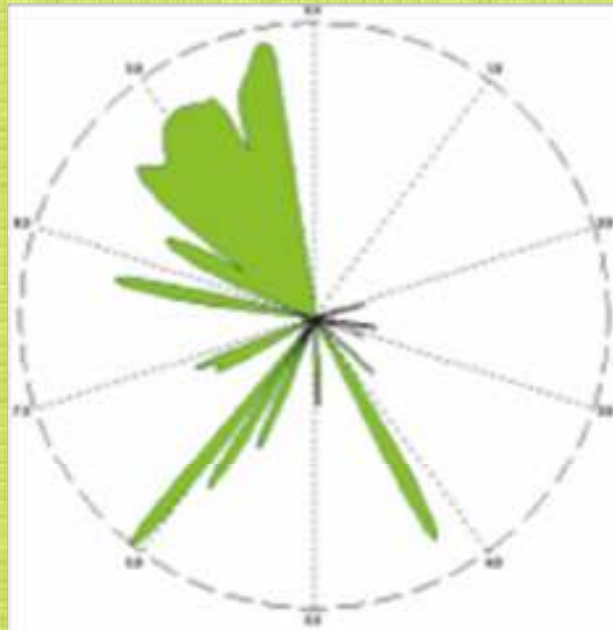


- droga cząstki większej od przeciętnych rozmiarów porów
- droga cząstki mniejszej od przeciętnych rozmiarów porów



Z-nos





Peaks

Cts ppm All Al

Range Sum: 0 Tag Sum: 0

Peak	RT	Amount	Substar
1	2.091	2,760 Cts	benzene
2	2.460	3,254 Cts	tce
3	3.362	6,154 Cts	toluene
4	3.916	11,717 Cts	pce
5	4.838	18,343 Cts	ethylbenzene
6	5.412	21,218 Cts	o-xylene
7	17.938	748 Cts	system

	Direct 10 Second	15 Second Prec.	Sensitivity Gain
Benzene	103	2760	26.8
TCE	99	3254	32.9
Toluene	199	6154	30.9
PCE	316	11717	37.1
Ethylbenzene	465	18343	39.4
o-Xylene	620	21218	34.2

