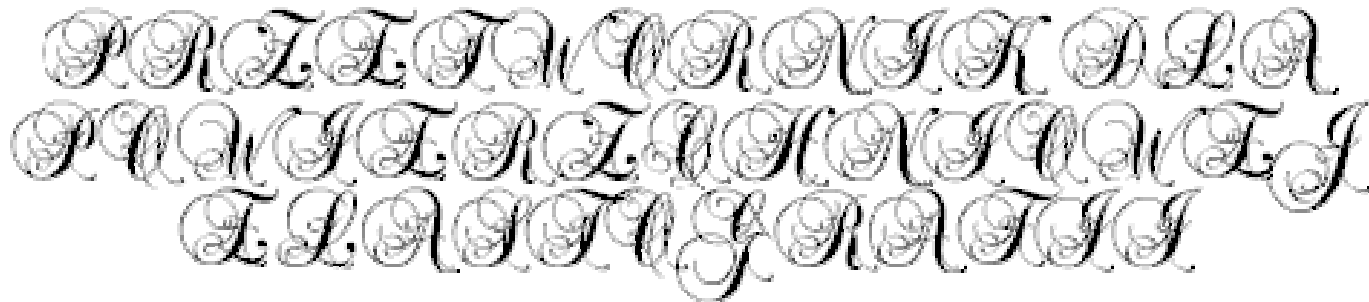


Zakład Ultradźwięków



**Interdigitated Interdigital
Transducer for Surface Elastometry**

E. Danicki & Co.

<http://www.ippt.gov.pl/~edanicki/iidt4se.pdf>

Powierzchniowa elastografia

cf. poprzednie Seminarium prof. Nowickiego o elastografii narządów wewnętrznych – **obiektów objętościowych**.

Elastografia powierzchniowa dotyczy obiektów „cienkich”

np. skóry lub oka, które w literaturze bada się

- albo za pomocą fal powierzchniowych (prędkość fali zależy od obu stałych Lamé', z których μ trudno wyznaczyć a $\lambda+2\mu$ wyznacza się z prędkości fal podł.)
- albo za pomocą „pipetki” porównując odkształcenie powierzchni pod wpływem ciśnienia z obliczeniami.

Tu zajmiemy się pierwszą metodą, ale na nowy sposób.

(przegląd literatury – na następnej stronie)

Literatura (*dość arbitralny wybór*)

- G. A. Timofeeva et al., Investigation and Comparative Characteristic of Factors Determining Human Skin Elasticity, DOI: 10.1134/S0006350908010119
- W. J. Dupps, et al., Surface Wave Elastometry of the Cornea in Porcine and Human Donor Eyes, J Refract Surg. 23, 66–75 (2007)
- R. Sanders, Torsional Elasticity of Human Skin in vivo, Pflugers Arch. 342, 255-260 (1973)
- P.G. Agache et al., Mechanical Properties of Young's Modulus of Human Skin in vivo, Arch. Dermatol. 269, 221-232 (1980)
- S. Diridollou et al., Skin ageing: changes of physical properties of human skin in vivo, Int. J. Cosmet. Sci., 23, 353-362 (2001)
- P.M.A. Arejas et al., Experimental and Finite Element Analysis of Human Skin Elasticity, ASME 2003 Int. Mech. Eng. Congr., IMECE2003-41204 pp. 303-304
- E. Szymanski et al., Skin imaging with high frequency ultrasound – preliminary results, Europ. J. Ultras., 12, 9-16 (2000)
- M. Takeo et al., Development of a Novel Probe for Local Elasticity Measurement of Soft Biological Tissues with a Laser Displacement Meter and Its Application to Human Skin Elasticity Measurement, Nippon Kikai Gakkai Joho, Chino, Seimitsu Kiki Bumon Koenkai Koen Ronbunshu, 2000, 194-195 (2000)
- L. Chen, et al., A Hybrid Displacement Estimation Method for Ultrasonic Elasticity Imaging, IEEE Trans. UFFC-57, 866-882, (2010)
- Li S, Mohan KD, Sanders WW, Oldenburg AL: Toward soft-tissue elastography using digital holography to monitor surface acoustic waves. J Biomed Opt; 2011 Nov;16 (11):116005
- M. Białas, B.B. Guzina, *On the viscoelastic characterization of thin tissues via surface wave sensing*, Int. J. Sol. Str., **48**,14-15, 2209-2217, 2011

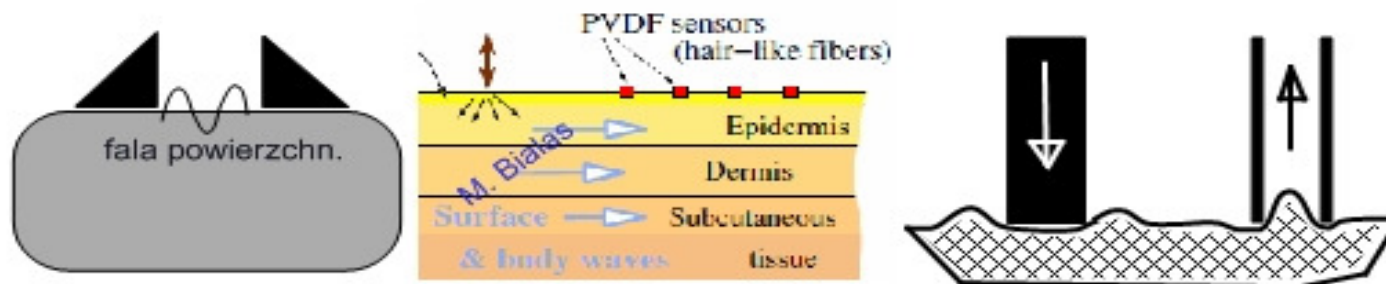
Stosowane metody szkicowo

- Fale powierzchniowe

Zasada: prędkość fali pow. Dla ośr. o dużym wsp. Poissona jest zbliżona do fali poprzecz. $\sqrt{\mu/\rho}$

- Statyczne pomiary

- np. „wciskanie stempla”
- albo wciąganie do pipetki



Trudność: duże tłumienie + krótka droga propagacji = mała dokładn.;

Mierzą też optycznie [hologr.-Mohan]

:

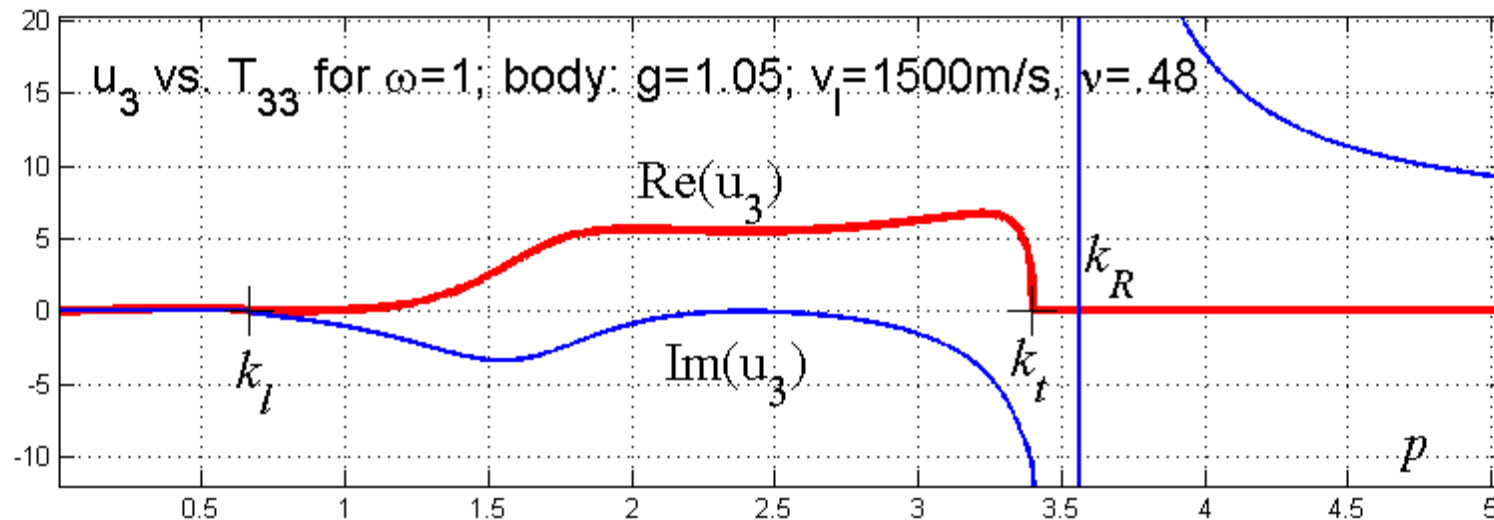
- - mierząc odkształcenie i porównując z obliczonym – na zasadzie zgodności wyników ustala się stałe Lamé' ciała.

Trochę teorii półprzestrz. sprężyst.

- Obciążając powierz. jednorodn. podłoża spręż. rozłożonym ciśnieniem (napręż. Normal. do pow T), obl. przem. norm. u_3 ;

$$T_{33}e^{j(\omega t - px)} \Rightarrow u_3e^{j(\omega t - px)}$$

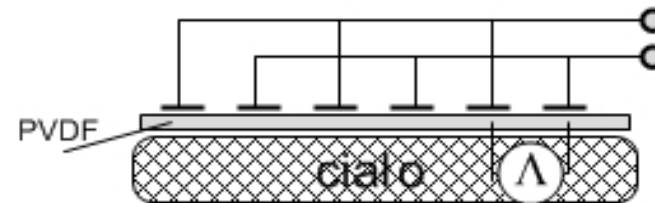
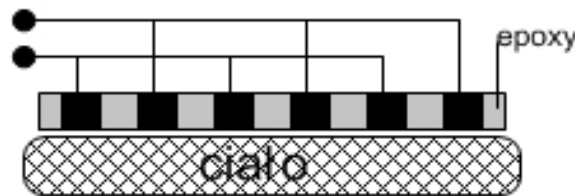
- zależnym od l. fal. p (dla danej częst. ω) jak na wykresie
- (por. <http://www.ippt.gov.pl/~edanicki/danickibook.pdf>):



- gdzie $k_{l,t,R}$ są liczb. falow. fali podł., poprz. i f. powierzchni.

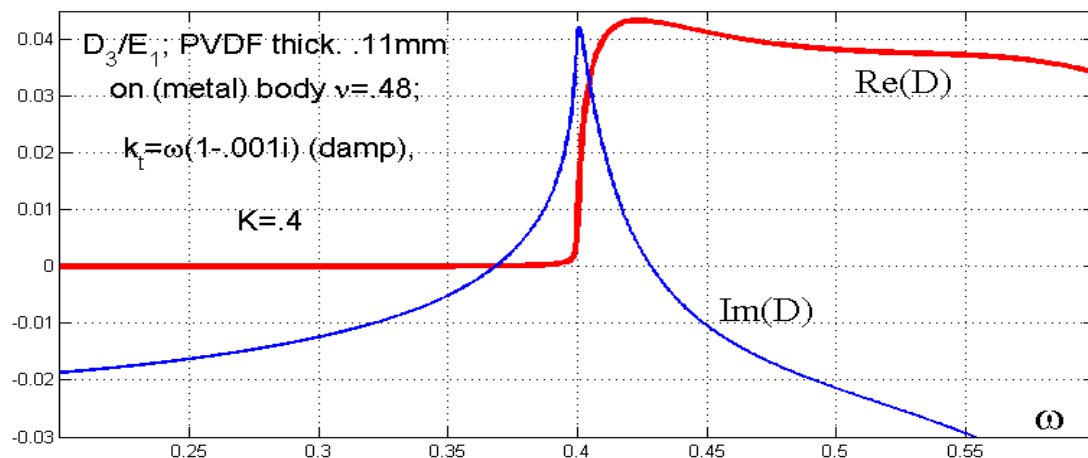
Jak przyłożyć takie zm. rozłoż. ciśnienie?

- 1) sugestia – przetworn. kompozytowy – za dużo tu wbudow. tłumienia??
- 2) tu zastosuj. warstw. PVDF = zrobimy prosty sztyk bez zbęd. tłum.:



- Gdybyśmy przyjęli, że
- tak wzb. ciśn. jest sin.
- o okresie 2Λ , to pow. ind. el.. w fun. częstotl.

- *Nie ma rezon.*
- *f. powierzchni.*
- *bo warstwa*
- *zaburz. pow.*



Do rzeczy – z teorii przetw. międzypalcz. (IDT)

- prąd i -tego paska J_i zależy od potencjału V_l paska l -tego::

$$J_i = j\omega 2\epsilon w V_l \int_0^K \frac{\alpha_m P_{-m-r/K}}{(-1)^m \alpha_m P_{-m-r/K}} e^{-jr(i-l)\Lambda} \sin \pi \frac{r}{K} dr / K$$

- gdzie współcz. α wyzn się z odpow. równ. ...IV(32) ...*/

- **Dalej rozważymy** **periodyczny układ el.**, gdzie

suma po nieskończonej liczb.
potencj. pasków ($V_l = \pm V$) $\sum_l V_l e^{jrl\Lambda}$

- przyjmuje postać „szpilek” w dyskr. wartościach $r_n = nK/N$
- gdzie N jest liczbą pasków w strukturalnym okresie rozkł. potencj.

$$V_l = \sum_{n=0}^{N-1} v_n e^{-jr_n l \Lambda}, \quad J_i = \sum_n v_n R(r_n) e^{-jr_n l \Lambda}, \quad \text{V(66-68)}$$

$R(r_n)$ jest określone wyraż. podcałkowym IV(32)

- */ ref.: <http://www.ippt.gov.pl/~edanicki/danickibook.pdf>

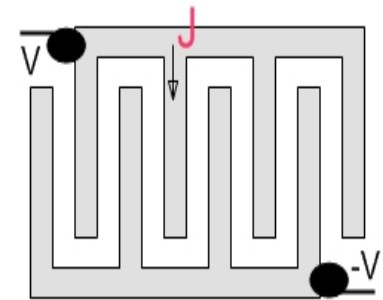
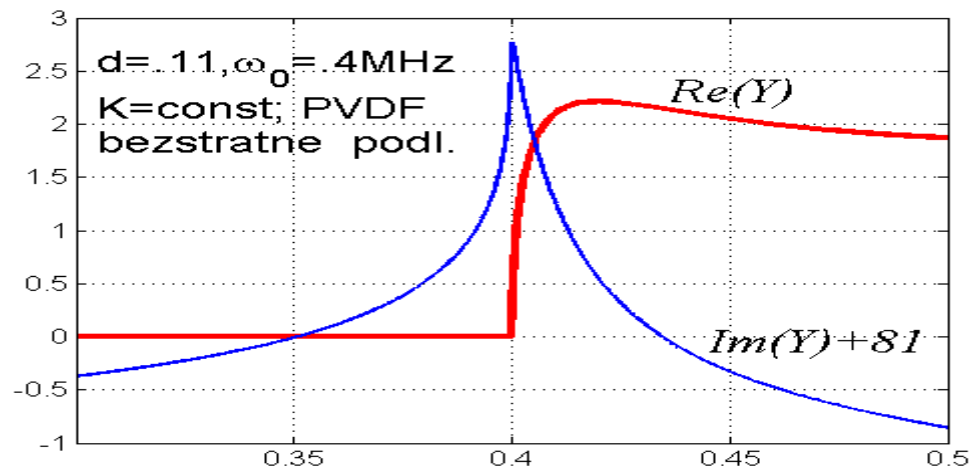
Najprostszy układ: 2 elektrody w okresie:

- $r_n = [0, K/2]$ oraz: $V_0 = 1, V_1 = -1 \dots$

$$V_l = v_0 e^{-j0l\Lambda} + v_1 e^{-jl\Lambda K/2} \Rightarrow v_0 = 1; v_1 = 1,$$

$$J_i = R(0+)v_0 + R(K/2)v_1 e^{-ji\pi}, l, i = 0, 1.$$

- Mierzymy prąd, czyli admitancję struktury



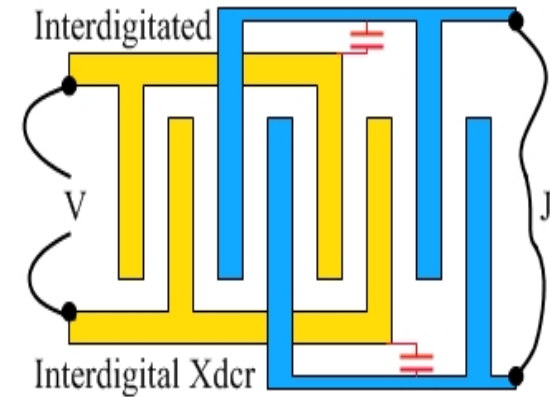
- Co nie jest zbyt praktyczne (duża pojemn., rezyst. fałsz.)

IIDT – rozdziel. elektrod generac. od detekcyjn.

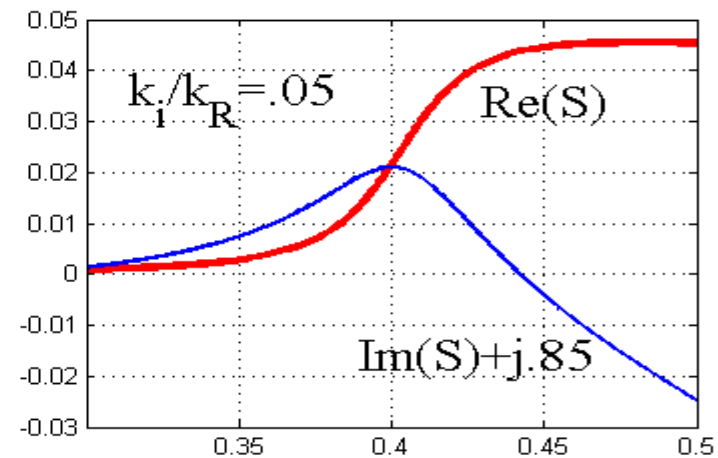
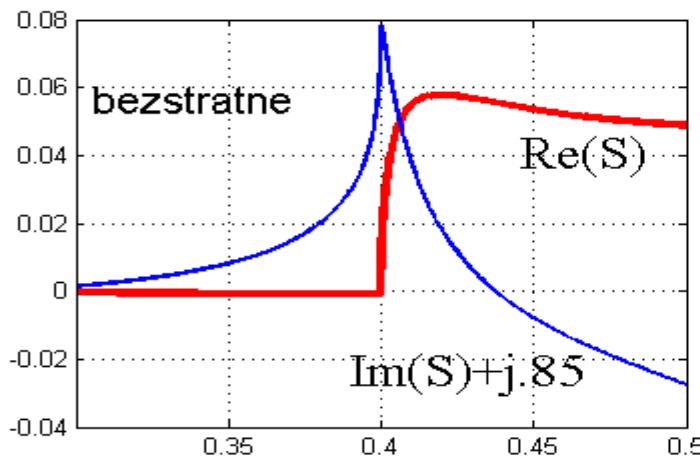
Meirion Lewis, 1982 IEEE Ultras. Symp. Proc., 12—17

$$V_0 = V/2, V_1 = -V/2, V_2 = V_3 = 0 \Rightarrow v_{0,1,2,3}$$

$$r_n = nK/4, n = 0, 1, 2, 3$$



Co po analogicznych oblicz. daje: $J(\omega) \big|_{\Lambda=const.}$



Mając częstotl. odcięcia fali poprz. (tu: 04.MHz) i $\Lambda \rightarrow$ oblicz. $k_t \rightarrow \mu$

Aproksymacja krzywych pomiarowych

- Z dośw. (Fig.V.5) postulujemy, że ($\bar{\omega} = \omega/\omega_0$)

β – skala,
 C_0 -poj.stat.

$$S = \beta \frac{j\alpha\bar{\omega}}{\alpha\bar{\omega} + \sqrt{K^2 - (\bar{\omega}k)^2}} + jC_0$$

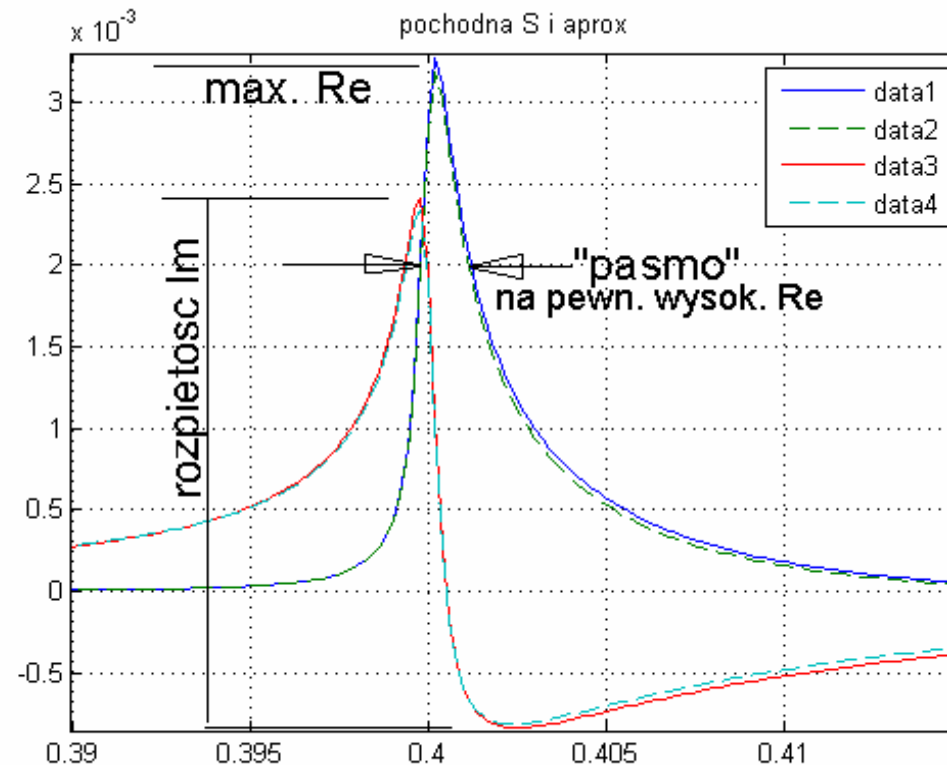
- Ważne param.:

$$\alpha, k = k_t - jk_I$$

(α jest Real, $k_t \sim K$)

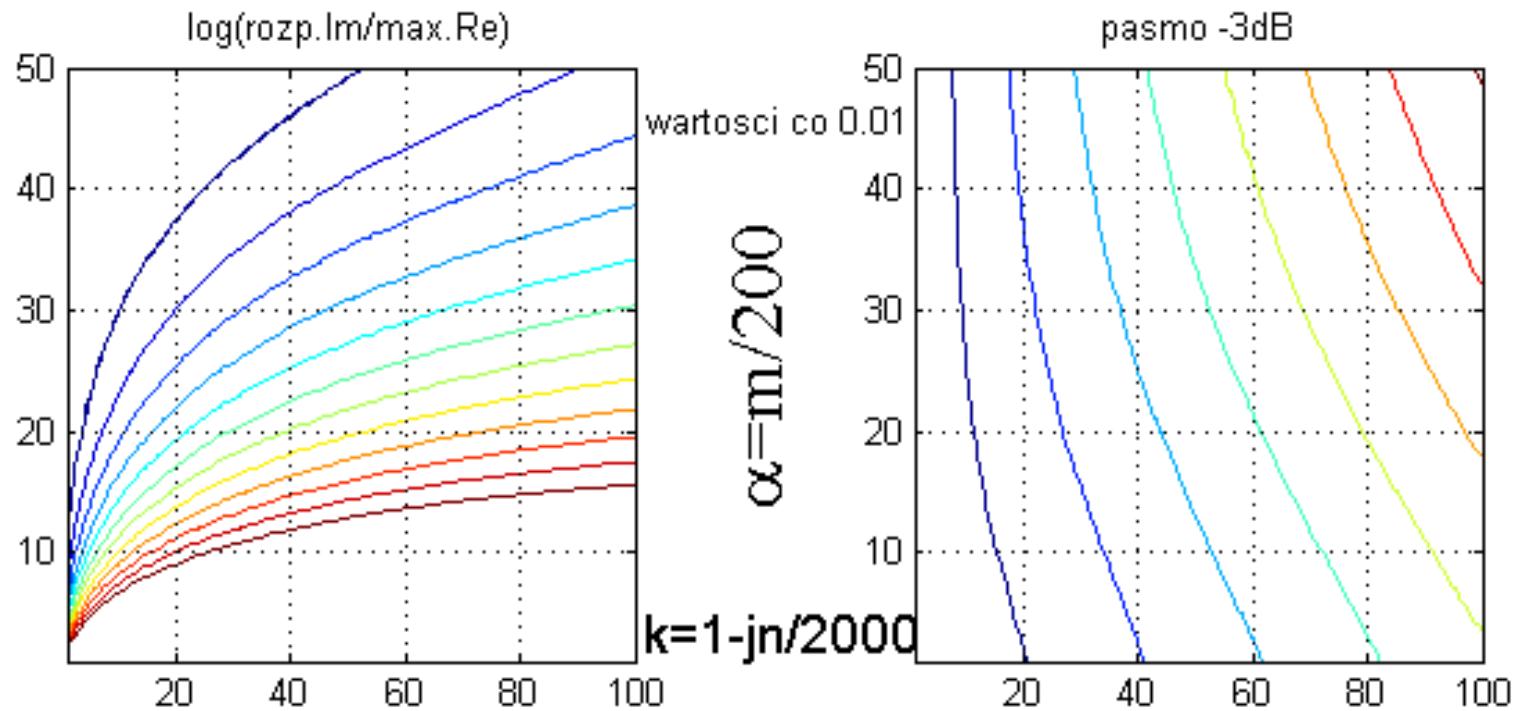
- Konkurs dla ZU
- mając $S(\bar{\omega})$ jak
- znaleźć param?

⇒ współautorstwo



Zależność $\left(\frac{\text{rozp. Im}}{\text{max Re}}, \text{ pasmo} \right)$ od param.

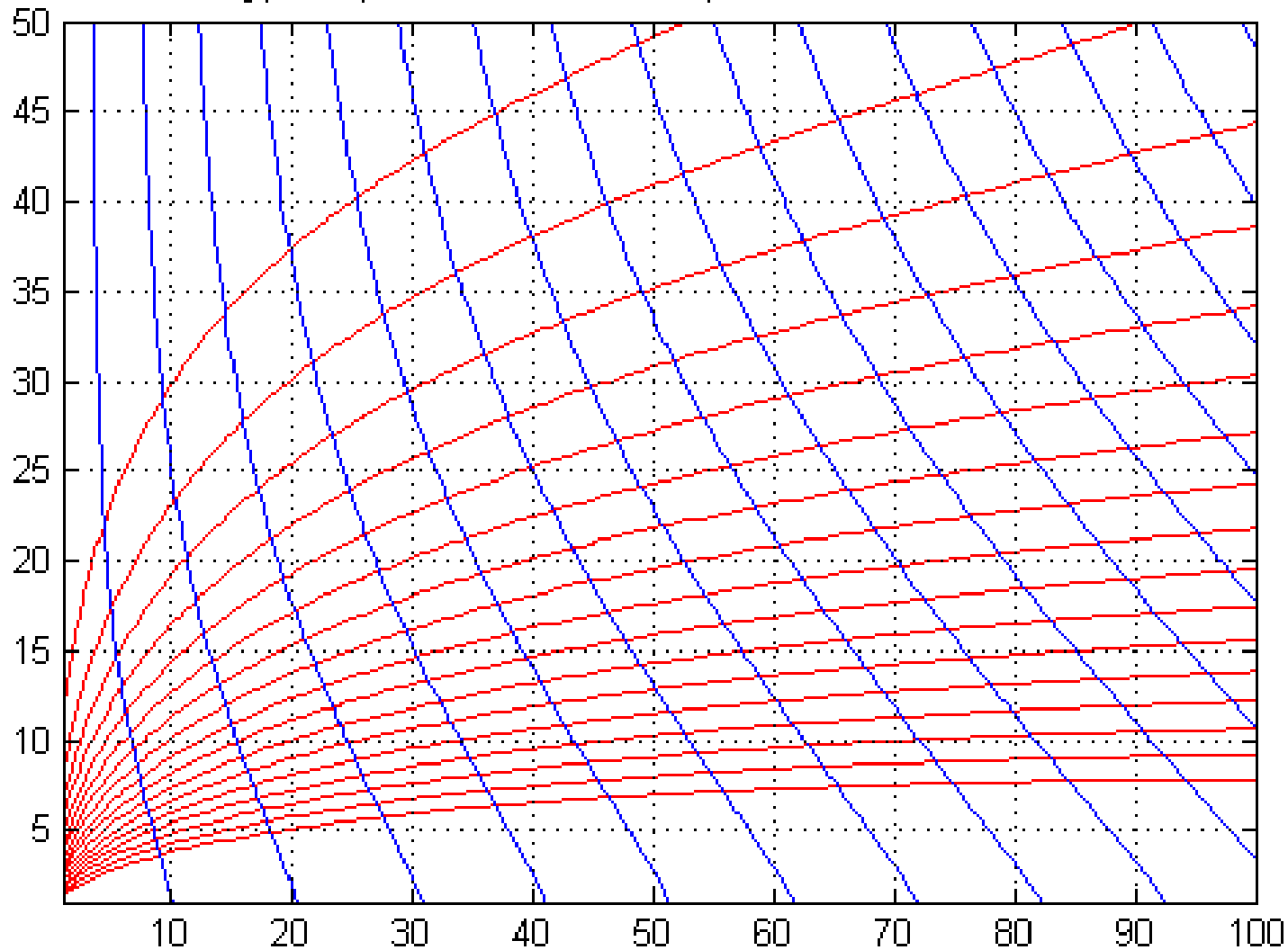
(zakład., że ω_0 jest wyzn., a to nie środ. pasma)



Podobne krzywe: geom. analit.: pęk krzywych – zależnie od param.
 pransform. się jedne w drugie – **potrzebny aprox. opis pęku**

Jak z tego skorzystać

log(Im/Re): czerw.wart.co .01 i pasmo: nieb.wart.co .005

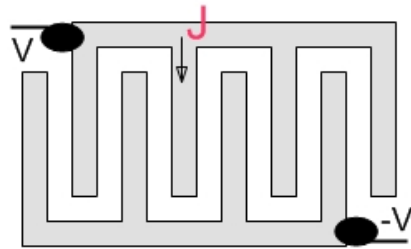
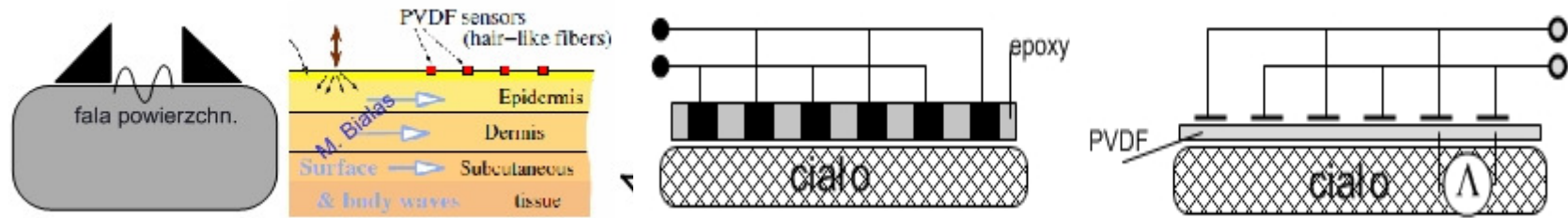


Podsumowanie

- 1) zaproponowano „czysto-akustyczny” pomiar stałej Lamé μ poprzez pośredni pomiar liczby falowej fali poprzecznej k_t ,
- 2) do wykorzystania w elastometrii ośr. biolog. o dużej stał. Poissona ν i tłumieniu
- 3) do rozwiązania pozostają szczegóły pomiarowe (oblicz.) i technologiczne
- 4) oraz ... weryfik. eksperymentalna ...

O przetworniku i technologii PVDF

- porówn. rozwiązania falowo-powierzchn.:



- modyfik. układu - łatwiejsza realiz.

