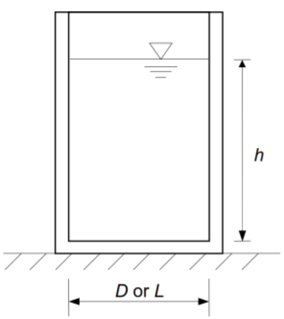
14. előadás
Tornyok rezgései, csillapítás, TMD

Mélyépítési műtárgyak

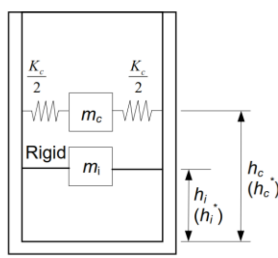
Dr. Hunyadi Mátyás
BME – Hidak és Szerkezetek Tanszék
2016.

Rezgő víztömeg

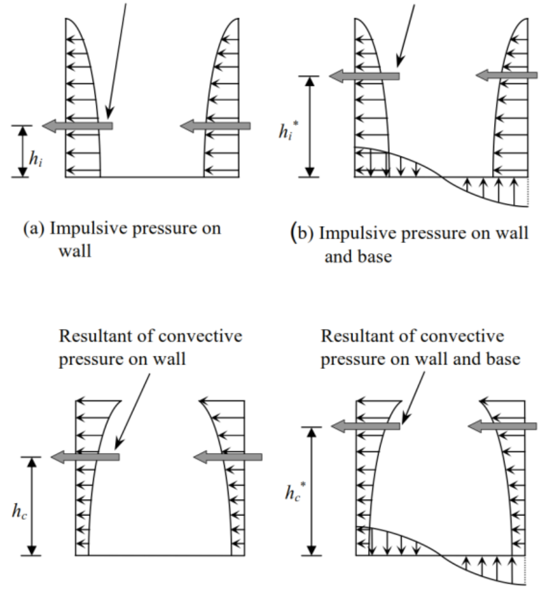
- Konvektív (mozgó) és impulzív (együttmozgó) víztömeg



(a) Tank



(b) Spring mass model

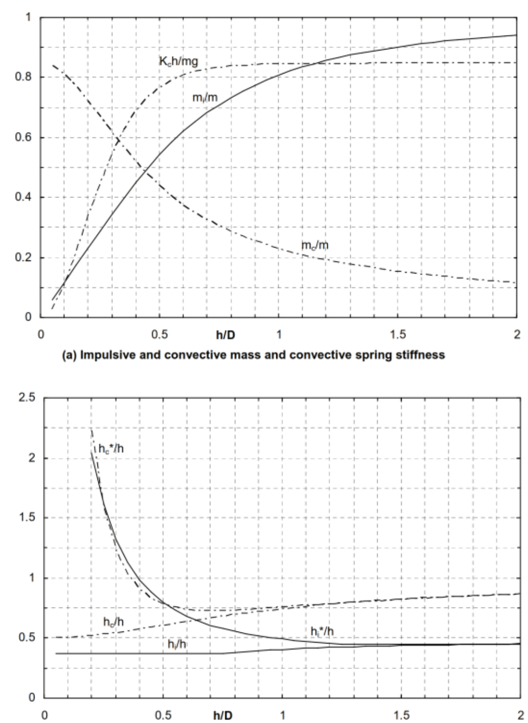


(a) Impulsive pressure on wall

(b) Impulsive pressure on wall and base

(c) Convective pressure on wall

(d) Convective pressure on wall and base



(a) Impulsive and convective mass and convective spring stiffness

(b) Heights of impulsive and convective masses

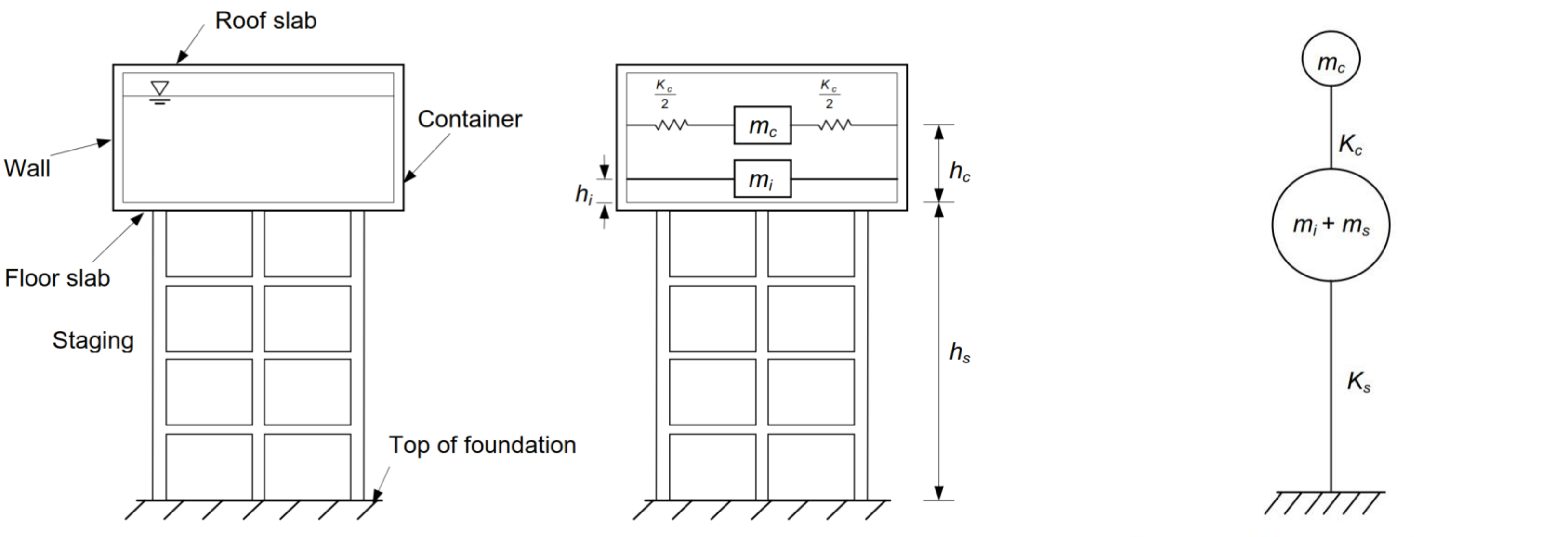
Figure 2 – Parameters of the spring mass model for circular tank

Hengertartálynál:

$$T_i = C_i \frac{h\sqrt{\rho}}{\sqrt{t/D}\sqrt{E}}$$

IITK-GSDMA Guidelines for seismic design of liquid storage tanks

Rezgő víztömeg

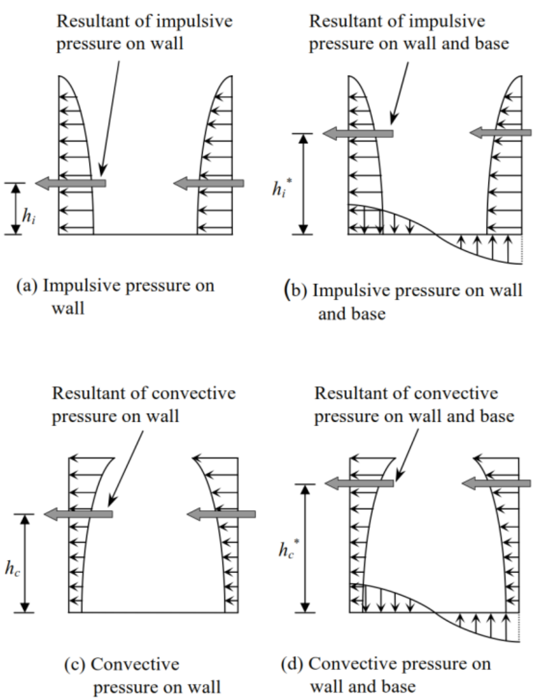


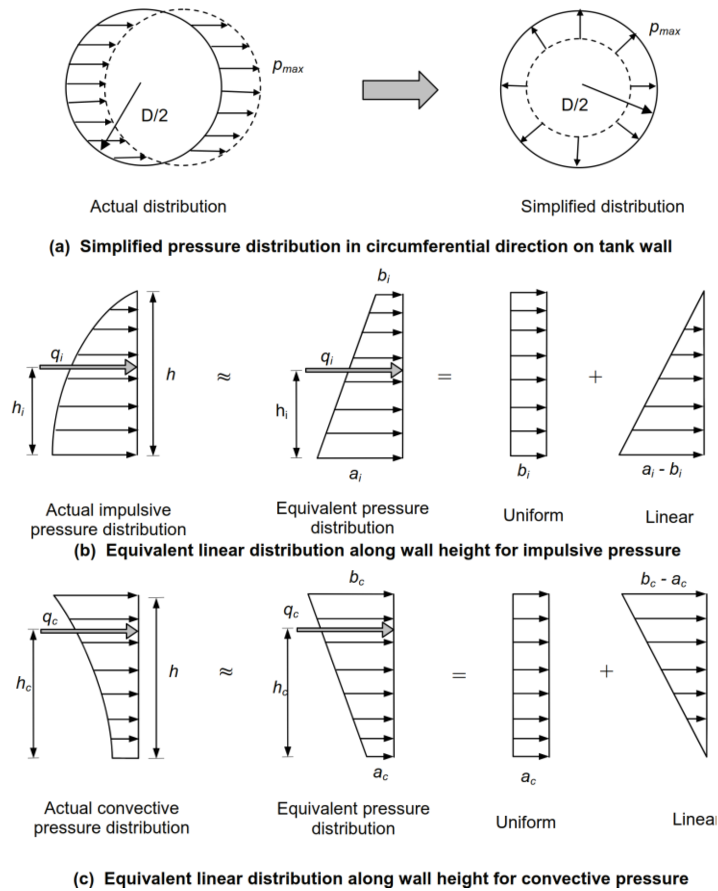
(a) **Elevated tank** (b) **Spring mass model** (c) **Two mass idealization of elevated tank**

Hengertartálynál:

$$T_i = C_i \frac{h\sqrt{\rho}}{\sqrt{t/D}\sqrt{E}} \qquad T_c = 2\pi\sqrt{\frac{m_c}{K_c}}$$

Rezgő víztömeg nyomásai





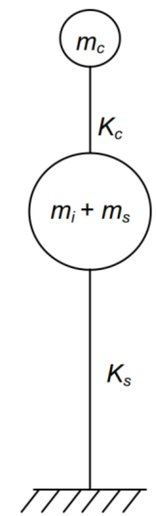
Összegzési képletek

Southwell: merevség növekedés

- $f^2 = \frac{1}{4\pi^2}\frac{k}{m}$
- merevség összegzése
  $$k = k_1 + k_2$$
- $f^2 = f_1^2 + f_2^2$

Dunkerley: hajlékonyság

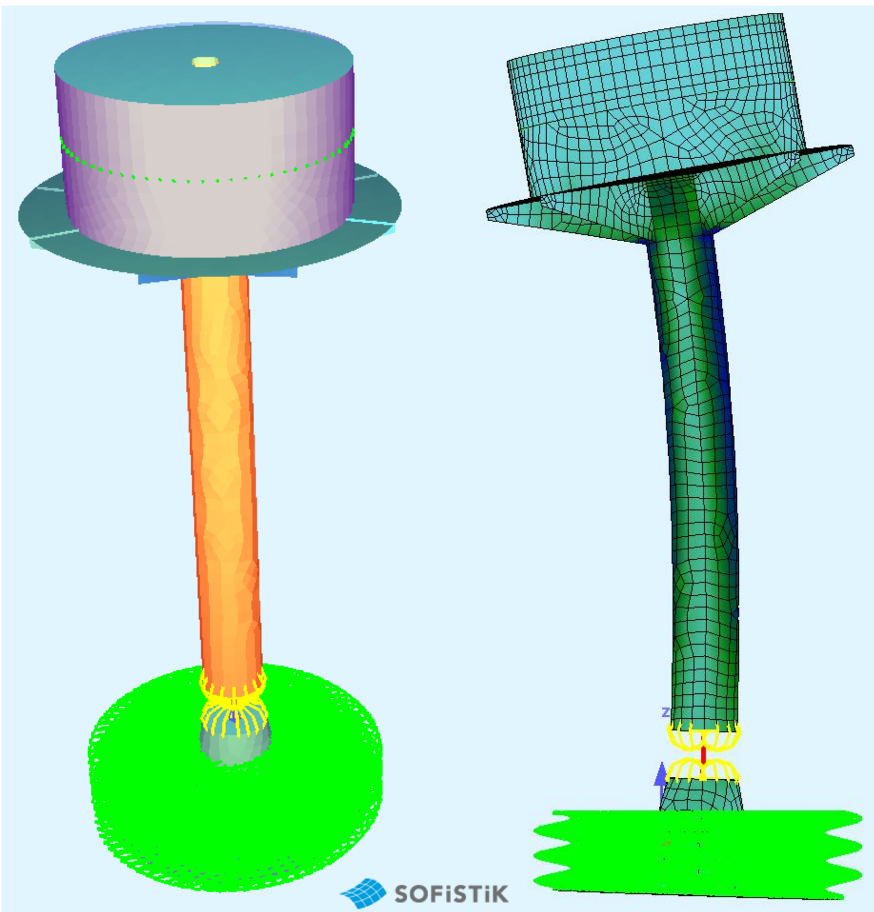
- $T^2 = \frac{1}{f^2} = 4\pi\frac{m}{k}$
- „Lágyság" összegzése
  $$m = m_1 + m_2$$
- $T^2 = T_1^2 + T_2^2$
- $\frac{1}{f^2} = \frac{1}{f_1^2} + \frac{1}{f_2^2}$

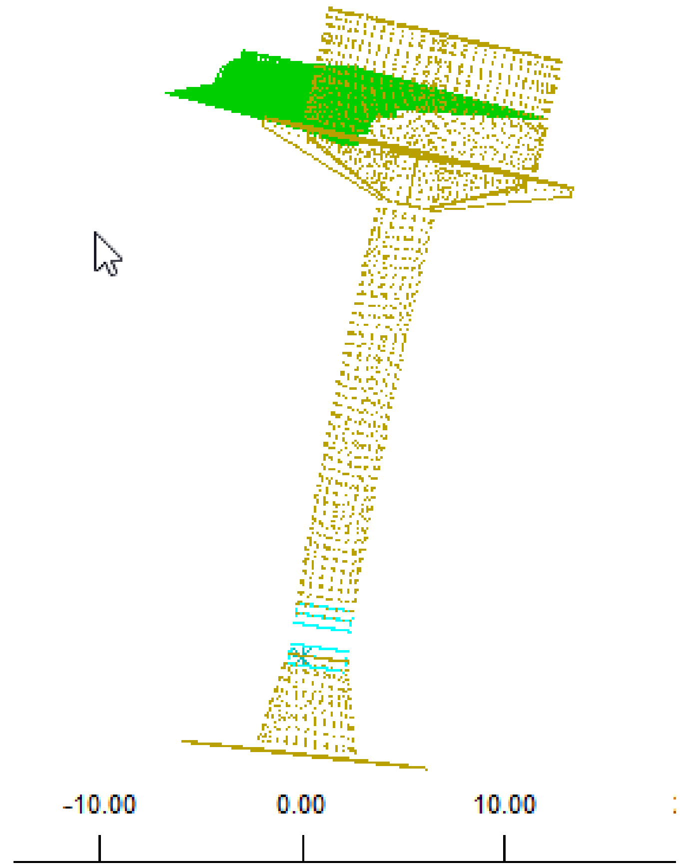


- → kihajlásnál Föppl-Papkovics összegzés

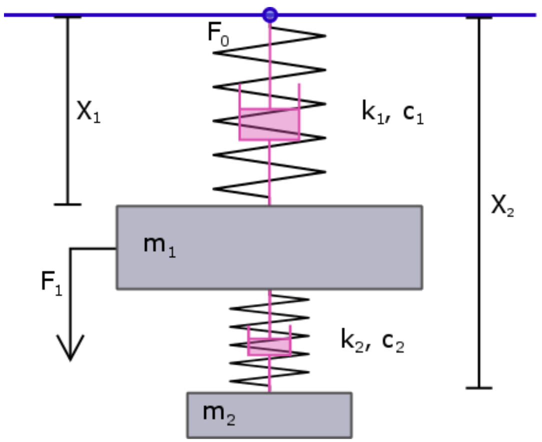
Konkrét szerkezeti rendszerhez a sajátfrekvenciát a szakirodalomból vehetjük ki.

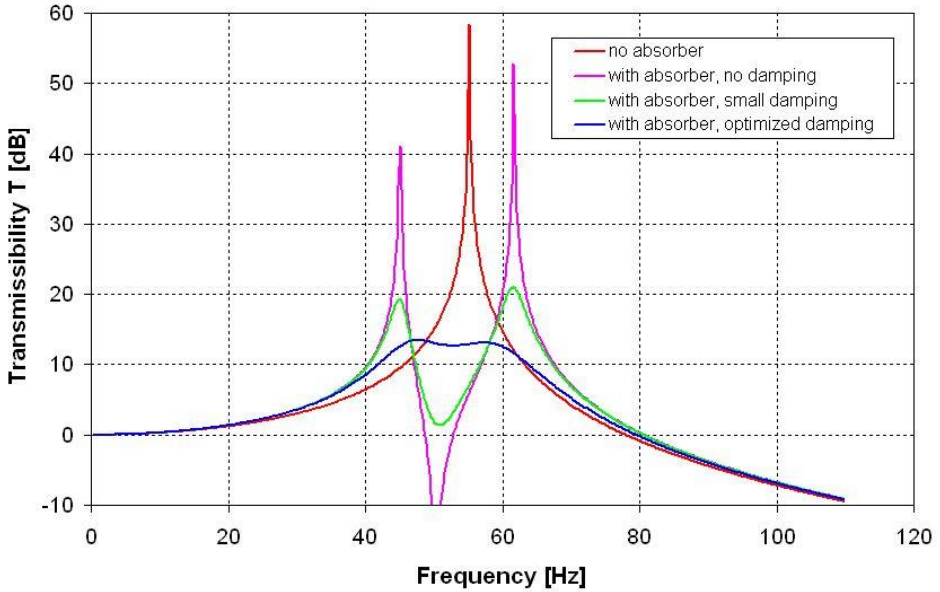
Víztorony





Tömeghangolt csillapítás - TMD



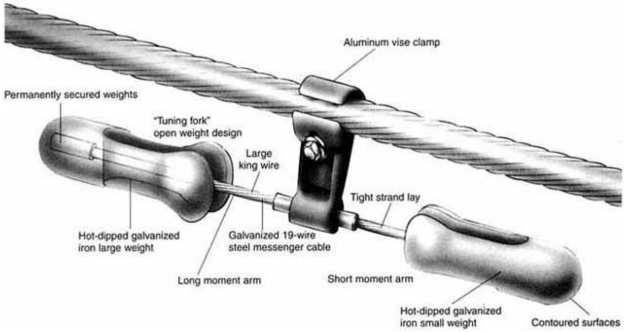


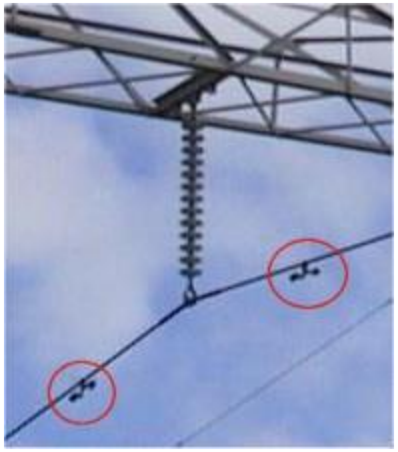
Tömeghangolt csillapítás - TMD

Tömeghangolt csillapítás - TMD

Táncolás

- Kábelek táncolása és csillapításuk





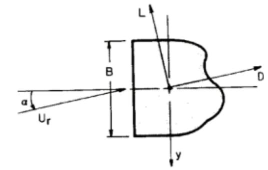
Táncolás

- Aerodinamikai instabilitás
- Körszelvénynél nem fordul elő
- Eső + szél (rain + wind)
- Ferdekábeles hidaknál
- Erőtényezőkből meghatározható

Forces in local coords

$$D(\alpha) = qBC_D(\alpha)$$

$$L(\alpha) = qBC_L(\alpha)$$



Forces on fixed obstacle

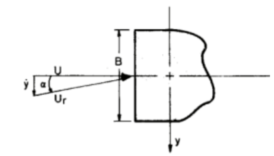
Lift force in global coords

$$F_y(\alpha) = qB\underbrace{\left(-C_D(\alpha)\sin\alpha - C_L(\alpha)\cos\alpha\right)}_{C_{F_y}(\alpha)}$$

Motion of the structure

$$U_r = \sqrt{U^2 + \dot{y}^2}$$

$$\alpha = arctan\frac{\dot{y}}{U} \approx \frac{\dot{y}}{U}$$



Moving obstacle

Linerization

$$F_y(\alpha) \approx \frac{\partial F_y}{\partial \alpha}\Big|_{\alpha=0}\alpha$$

Eq. of motion

$$m\ddot{y} + 2\zeta m\omega_0\dot{y} + m\omega_0^2 y = -qB\underbrace{\left(\frac{\mathrm{d}C_L}{\mathrm{d}\alpha} + C_D\right)\Big|_{\alpha=0}}_{\text{ae.dyn. damping}}\frac{\dot{y}}{U}$$

Total damping

$$2\zeta m\omega_0 + \frac{1}{2}\rho UB\left(\frac{\mathrm{d}C_L}{\mathrm{d}\alpha} + C_D\right)\Big|_{\alpha=0} = d$$

$$d \text{ total damping} \begin{cases} > 0 & \text{stability} \\ < 0 & \text{instability} \end{cases}$$

If $\zeta = 0$ (no str. damping) $\rightarrow$den Hartog criterion

$$\boxed{\left(\frac{\mathrm{d}C_L}{\mathrm{d}\alpha} + C_D\right)\Big|_{\alpha=0} < 0}$$

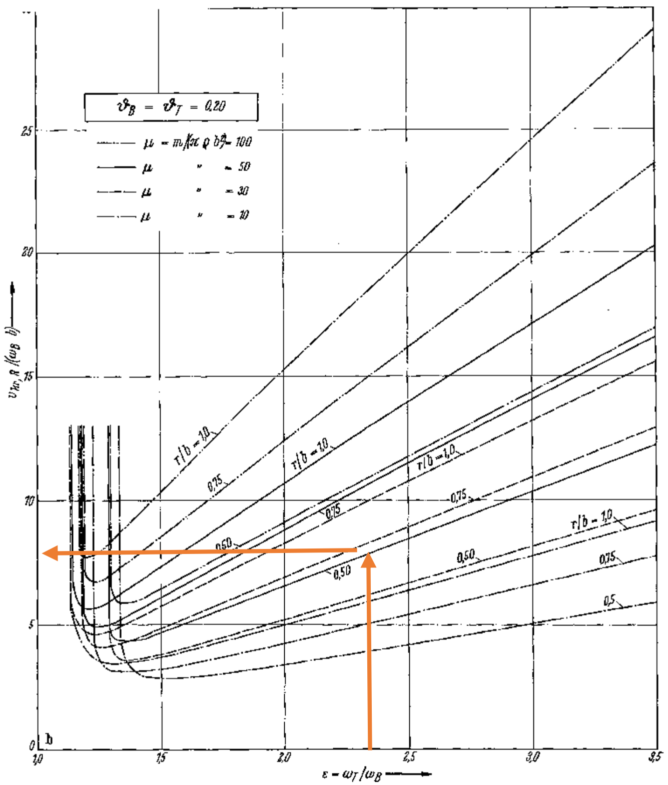
Belebegés

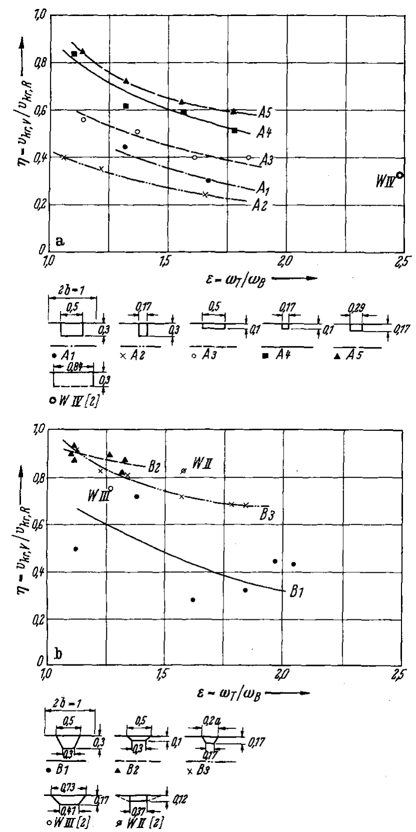
- Aeroelasztikus instabilitás
- Öngerjesztett (self feeding) jelenség
- Tacoma Narrows Bridge – 1941
- Az aerodinamikai csillapítás felemészti a szerkezeti csillapítás: teljes csillapítás negatívvá válik → kritikus szélsebesség meghatározása
- Memória-effektus: a jelenség „emlékszik” a korábbi mozgásokra → nemlineáris számítás

Ez itt nem belebegés! Hanem örvényleválás.

Belebegés

- Egyszerűsítés: Klöppel and Thiele diagramjai → kritikus szélsebesség meghatározása



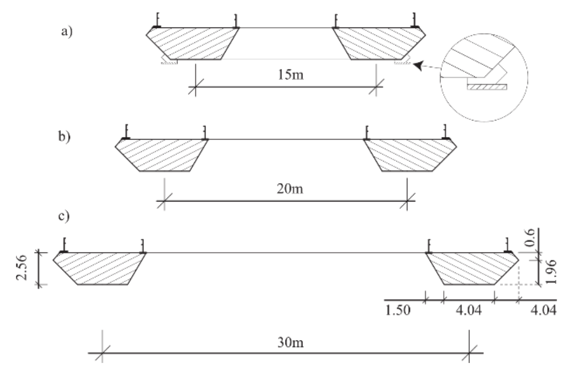


v_{krit}
kritikus szélsebesség

Védekezés

- Geometria módosítása → v_{krit} növelése
- Szélterelő alkalmazása

- Szétválasztott pályalemez



- + egyéb megoldás

Köszönöm a figyelmet

(vizsga)