

Hidak aerodinamikai instabilitása

Hunyadi Mátyás
tanársegéd

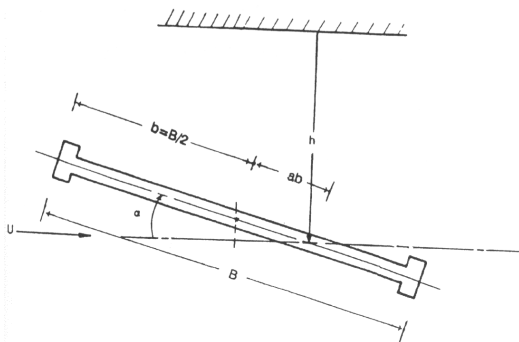
Témavezető:
Dr. Hegedűs István
egyetemi tanár

Aerodinamikai instabilitások

- Táncolás – kábelek
- Divergencia – hidaknál nem jellemző
- Belebegés – merevítőtartó
Tacoma Narrows Bridge, 1940 nov. 7.
kb. 70 km/h szélsébség



A belebegés, flutter



Jelenség közelítése:

- Egy keresztmetszet
- Merev keresztmetszet
- Két szabadságfok
 - h : függőleges mozgás
 - α : csavarási elfordulás

$$m\ddot{h} + c_h\dot{h} + k_h h = L_h$$

L_h : függőleges aerodinamikus erő

$$S\ddot{\alpha} + c_\alpha\dot{\alpha} + k_\alpha \alpha = M_\alpha$$

M_α : csavarási aerodinamikus nyomaték

Instabilitás bekövetkeztekor:

- ω_{crit} mozgásfrekvencia $h = h_0 e^{i\omega_{crit}t}$

$$\alpha = \alpha_0 e^{i\omega_{crit}t}$$

- U_{crit} kritikus szélesség

Aerodinamikus erők

Feltételezés: $h = h_0 e^{i\omega t}$ → frekvenciatér
 $\alpha = \alpha_0 e^{i\omega t}$

$$L_h = \frac{1}{2} \rho U^2 B \left(KH_1^*(K) \frac{\dot{h}}{U} + KH_2^*(K) \frac{B\dot{\alpha}}{U} + K^2 H_3^*(K) \alpha + K^2 H_4^* \frac{h}{B} \right)$$

$$M_\alpha = \frac{1}{2} \rho U^2 B^2 \left(KA_1^*(K) \frac{\dot{h}}{U} + KA_2^*(K) \frac{B\dot{\alpha}}{U} + K^2 A_3^*(K) \alpha + K^2 A_4^* \frac{h}{B} \right)$$

aerodinamikus
csillapítás

aerodinamikus
merevség

H_1^*, \dots, A_1^* : aeroelasztikus derivatívumok szélcsatorna vizsgálatnál
(Scanlan derivatívumok)

$K = \frac{B\omega}{U}$: redukált frekvencia $U_{red} = \frac{1}{K} = \frac{U}{B\omega}$: redukált sebesség

Instabilitás, algoritmus

Adott szélesség mellett a mozgásegyenlet megoldása

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{h} + c_h\dot{h} + k_h h &= L_h \\ S\ddot{\alpha} + c_\alpha\dot{\alpha} + k_\alpha \alpha &= M_\alpha \\ h &= h_0 e^{i\omega t} \\ \alpha &= \alpha_0 e^{i\omega t} \end{aligned} \right\}$$

$$\omega_{crit} = \omega_{crit,R} + i\delta$$

$$\delta > 0$$

stabil

$$\delta = 0$$

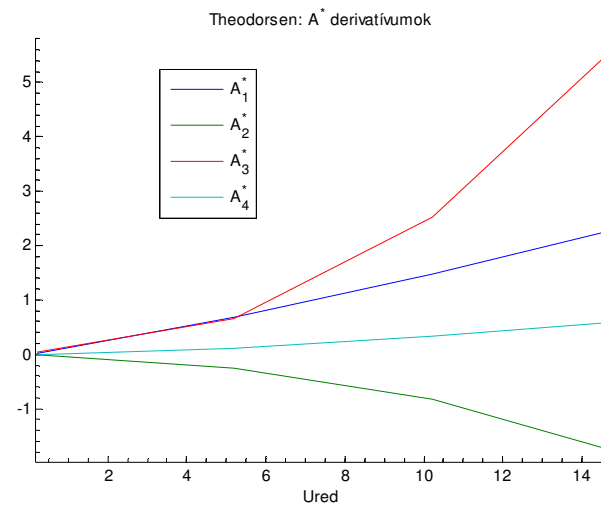
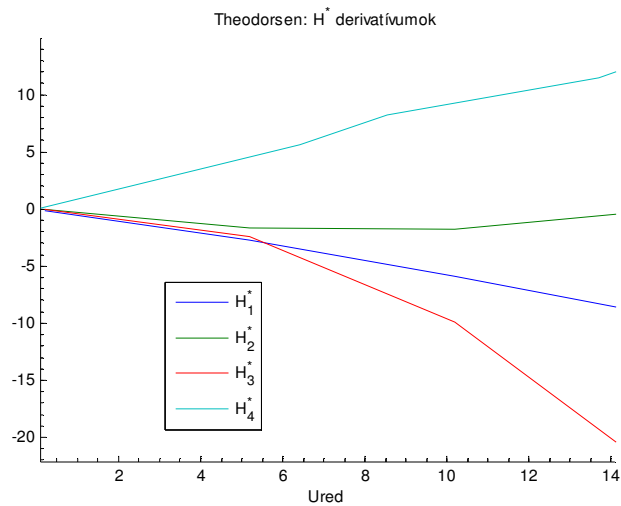
instabilitási
pont

$$\rightarrow U_{crit}$$

$$\delta < 0$$

instabil

Scanlan derivatívumok, Theodorsen megoldása

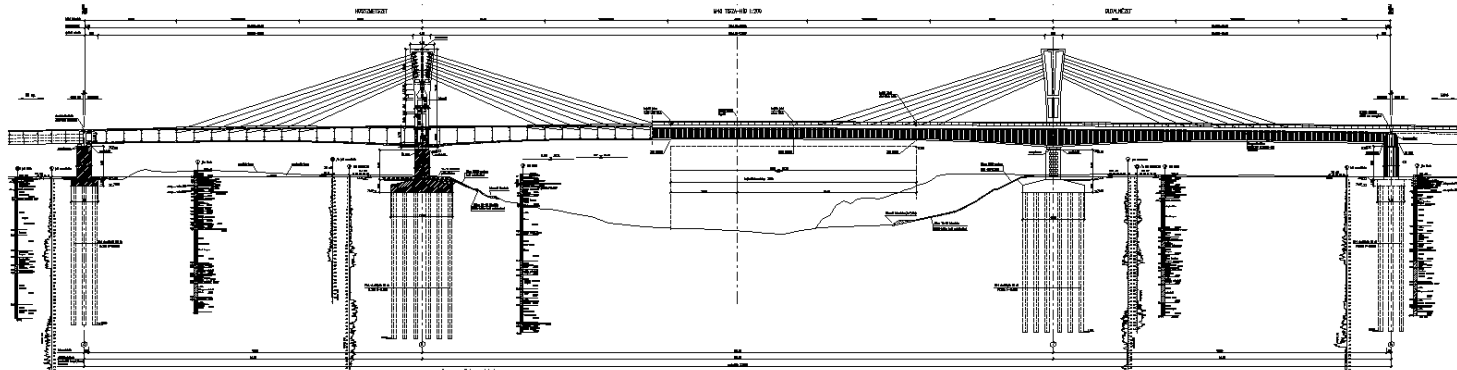


Theodorsen: elméleti megoldás vékony,
sima lemezre

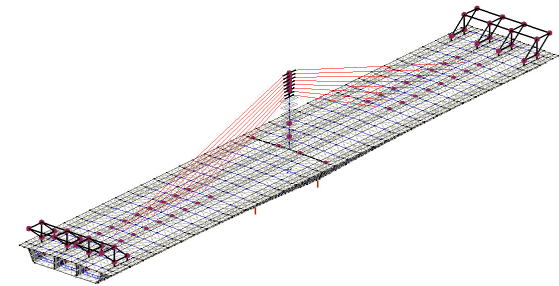


Más esetben: szélcsatorna vizsgálat

M43 ap. Tisza-híd

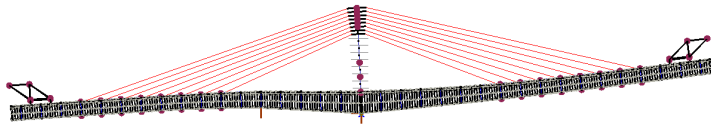


Támaszközök: 96,30 + 180,00 + 96,30 m

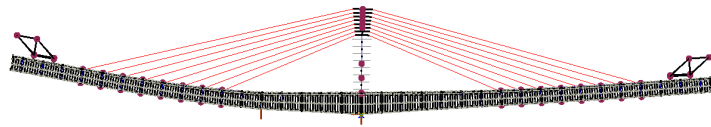


Kritikus állapot: szerelés közben, maximális kinyúlás

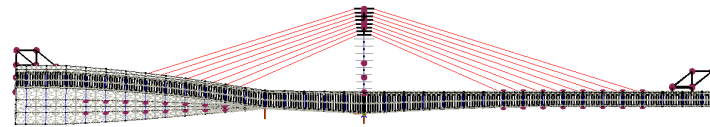
Rezgésalakok



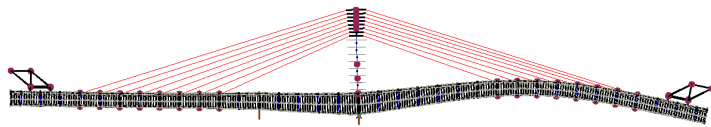
$n_1=0,55$ Hz



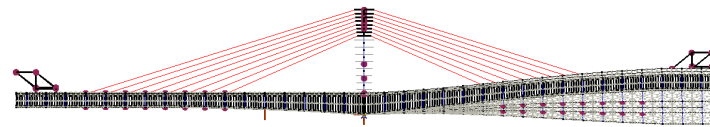
$n_2=0,78$ Hz



$n_7=2,47$ Hz

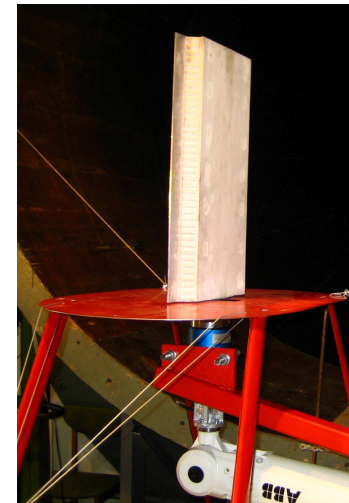
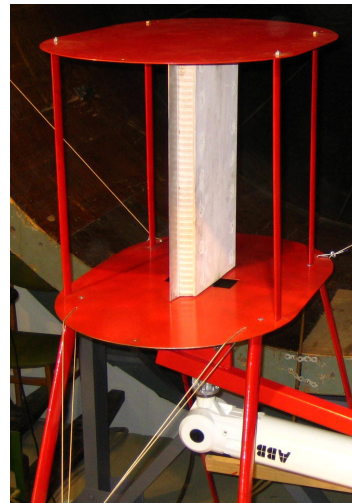
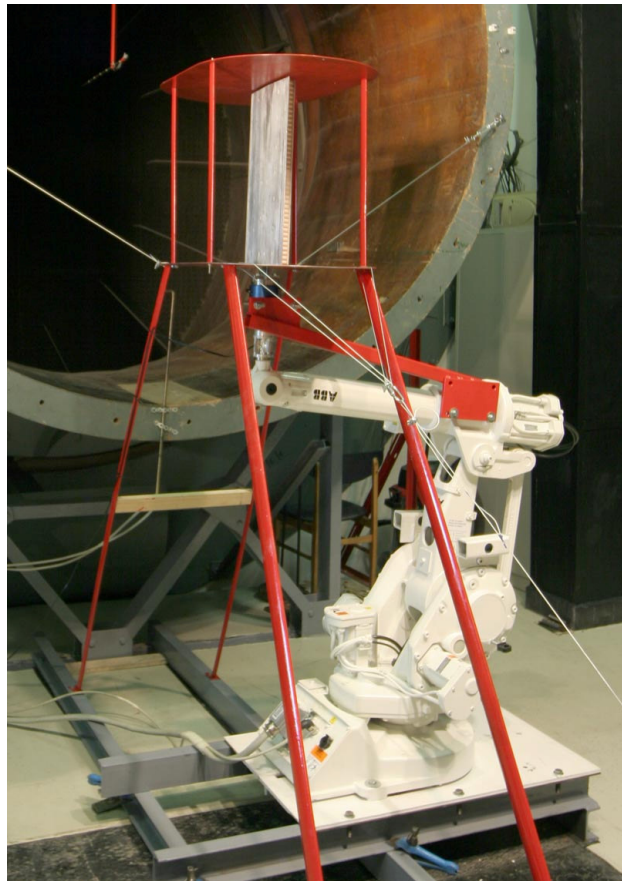


$n_6=2,33$ Hz



$n_8=2,80$ Hz

Szélcsatorna vizsgálat



- 1:100 lépték
- Erőltetett 2 szf-ú mozgás
- Végtelen és félvégtelen kialakítás
- -6° , 0° , $+6^\circ$ megfújás
- Közel lamináris áramlás
- Tehetetlenségi erők – szélerők szétválasztása



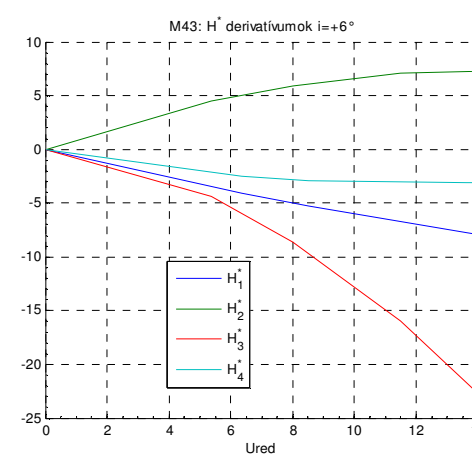
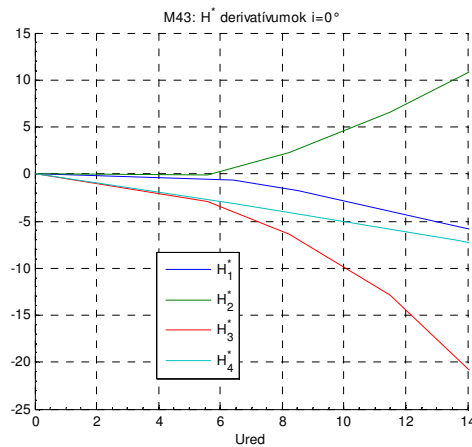
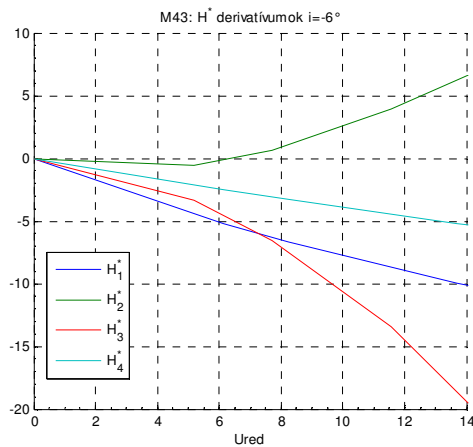
Scanlan derivatívumok

-6°

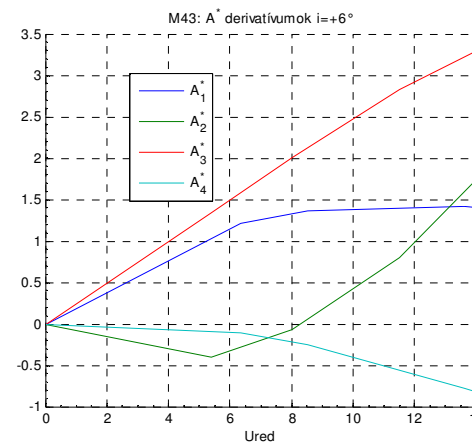
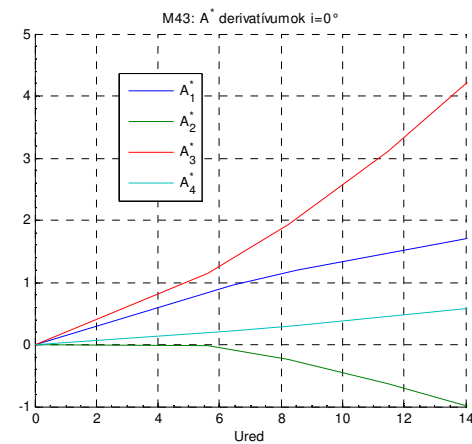
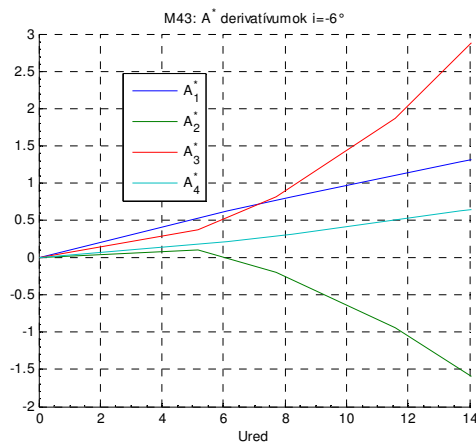
0°

$+6^\circ$

L_h^*



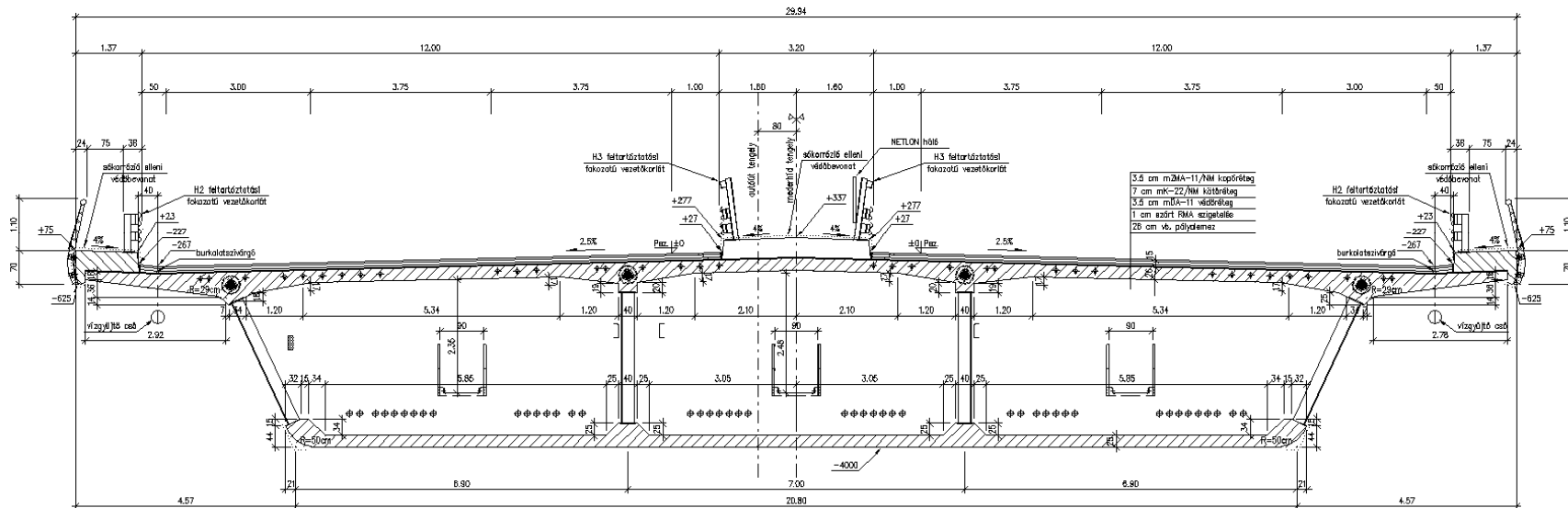
M_α



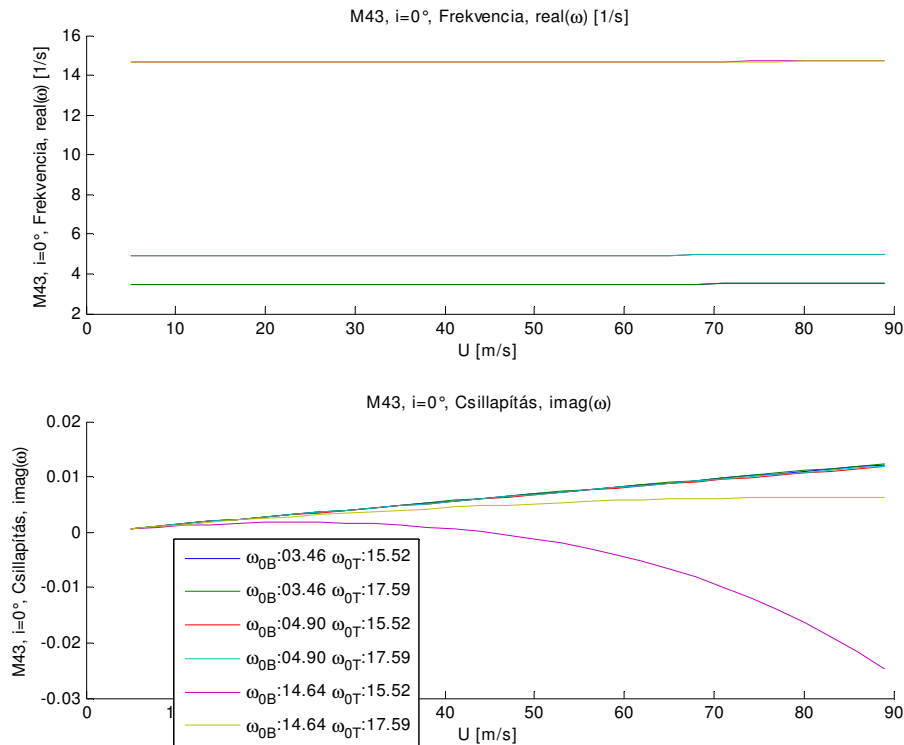
Számítás végrehajtása

- Sajátérték-feladat megoldása Dr. Kovács Imre algoritmus alapján
 - Tömeg $m=44$ t/m
 - Poláris tömeg $S=2536$ tm²/m
 - Szerkezeti csillapítás $\delta_s=0,04$
 - Teljes szélesség $B=29,94$ m

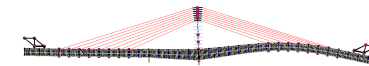
Általános keresztmetszet M 1:50



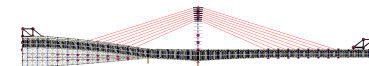
Eredmények



0° megfújás esetén



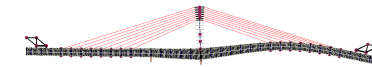
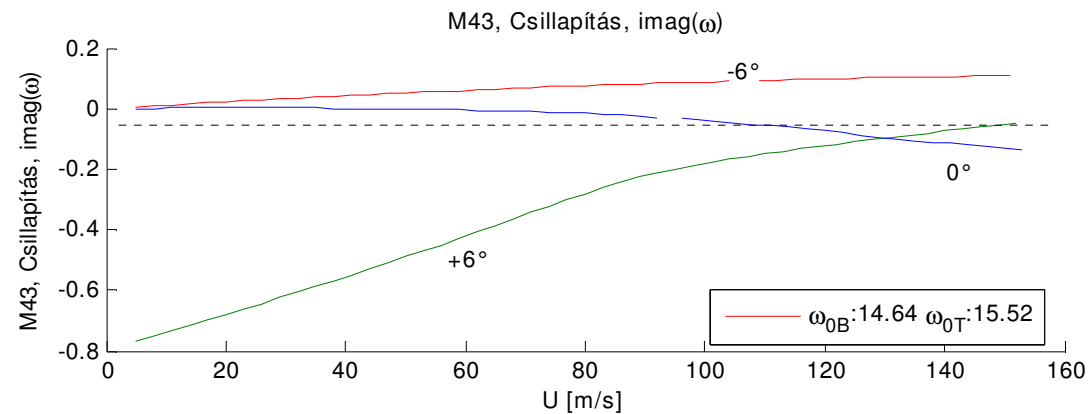
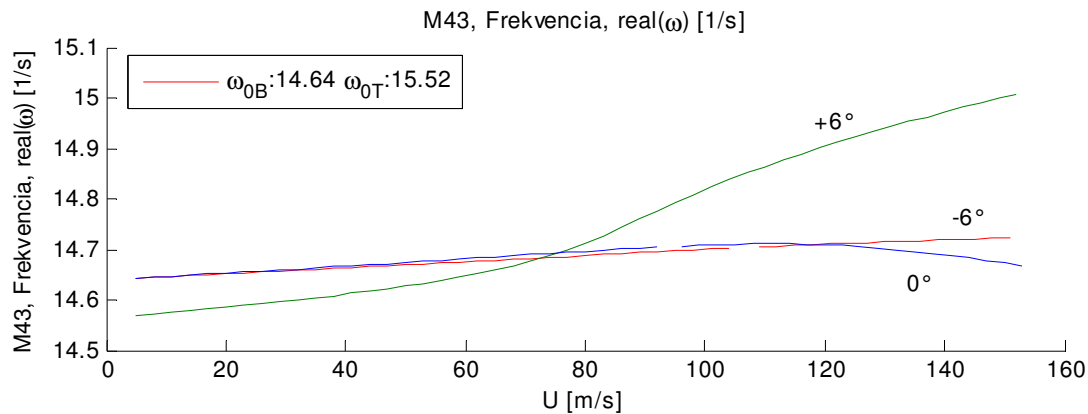
$n_6=2,33$ Hz $\omega_6=14,64$ 1/s



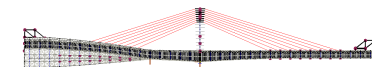
$n_7=2,47$ Hz $\omega_7=15,52$ 1/s

Vizsgálat következtetése: nincs belebegési hajlam előforduló szélsősebesség mellett

Eredmények



$n_6=2,33$ Hz $\omega_6=14,64$ 1/s



$n_7=2,47$ Hz $\omega_7=15,52$ 1/s

- -6° : nincs instabilitás
- 0° : $U_{crit}=100,7$ m/s
- $+6^\circ$: elejétől instabilitás, mérési - feldolgozási hibára vezethető vissza

Ellenőrzés

Közelítő ellenőrzések 1 szf-ú rendszeren.

- $\alpha=0$, csak függőleges eltolódás

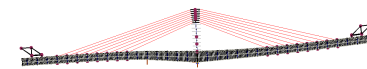
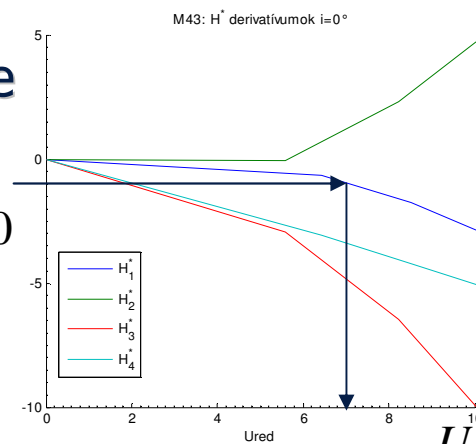
$$m\ddot{h} + c_h\dot{h} + k_h h = \frac{1}{2} \rho U^2 B \left(\underbrace{KH_1^*(K) \frac{\dot{h}}{U} + KH_2^*(K) \frac{B\dot{\alpha}}{U}}_{\text{aerodinamikus csillapítás}} + \underbrace{K^2 H_3^*(K) \alpha + K^2 H_4^* \frac{h}{B}}_{\text{aerodinamikus merevség}} \right)$$

aerodinamikus
csillapítás

aerodinamikus
merevség

instabilitás =
látszólagos
csillapítás eltűnése

$$-\frac{\delta_s}{2\pi} \frac{4m}{\rho B^2} = H_1^*(U_{red}) = -1,0$$



$$n_1 = 0,55 \text{ Hz} \quad \omega_1 = 3,46 \text{ 1/s}$$

$$U_{red} = 7,07 \rightarrow U_{crit} = U_{red} \omega B = 732 \text{ m/s}$$

Ellenőrzés

Közelítő ellenőrzések 1 szf-ú rendszeren.

- $h=0$, csak csavarás

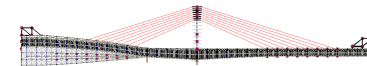
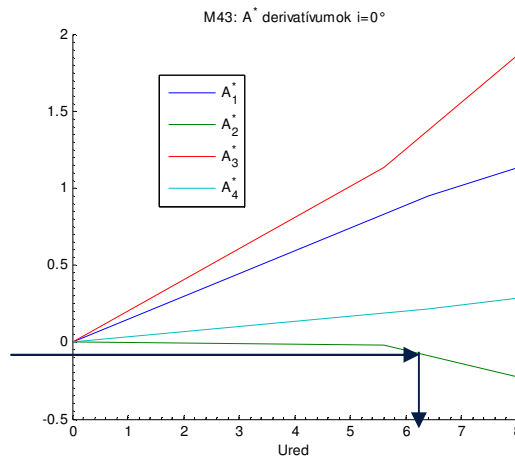
$$S\ddot{\alpha} + c_{\alpha}\dot{\alpha} + k_{\alpha}\alpha = \frac{1}{2}\rho U^2 B^2 \left(\underbrace{KA_1^*(K)\frac{\dot{h}}{U} + KA_2^*(K)\frac{B\dot{\alpha}}{U}}_{\text{aerodinamikus csillapítás}} + \underbrace{K^2 A_3^*(K)\alpha + K^2 A_4^*\frac{h}{B}}_{\text{aerodinamikus merevség}} \right)$$

aerodinamikus csillapítás

aerodinamikus merevség

instabilitás =
látszólagos csillapítás eltűnése

$$-\frac{\delta_s}{2\pi} \frac{4S}{\rho B^4} = A_2^*(U_{red}) = -0,0643$$



$$n_7 = 2,47 \text{ Hz} \quad \omega_7 = 15,52 \text{ 1/s}$$

$$U_{red} = 6,13 \quad \rightarrow \quad U_{crit} = U_{red} \omega B = 2848 \text{ m/s}$$

A jövő szele ...

Továbbfejlesztési lehetőségek:

- Teljes szerkezet vizsgálata, illesztés véges elemes módszerbe
- Mozgásegyenlet megoldása frekvenciatérben teljes szerkezetre. Előny: szellőkések figyelembevételének lehetősége

Köszönöm a figyelmüké

