

ACÉLHIDAK

elméleti és kísérleti vizsgálata

Dunai László egyetemi tanár

Joó Attila László egyetemi tanársegéd

Vigh László Gergely egyetemi adjunktus

BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

Hídszerkezet

- új típusú hidak és szerkezeti részletek
- új szerkezeti anyagok és gyártástechnológia
- innovatív szereléstechnológia



Szerkezeti viselkedés



Analízis és méretezés

Vizsgálati módszer – kísérlet

Kísérleti analízis

- szerkezeti részlet vizsgálat – **prototípus kísérlet**
- modell ellenőrzés – **verifikációs kísérlet**
- méretezési eljárás alkalmazhatóság – **validációs kísérlet**
- teherbírás és merevség – **tervezési kísérlet**



numerikus analízis + méretezés

Vizsgálati módszer – elmélet

Numerikus analízis

- pontosított numerikus modell – **végeselemes modell**
- VEM modell ↔ kísérlet – **ellenőrzés**
- végeselemes szimuláció – **pontosított méretezési eljárások**
- virtuális kísérletek – **kísérlet alapú méretezés**



méretezés

Alkalmazási példák

Dunaújvárosi Duna-híd

- ívstabilitás méretezési eljárásának ellenőrzése
- lokális és globális stabilitási vizsgálatok

M0 Északi Duna-híd

- stabilitási és szilárdsági ellenőrzések
- pályaszerkezet fáradásvizsgálata

Modellkísérlet



Modellkísérlet célja

ÍVSTABILITÁS ↔ **méretezési eljárás**

síkban (N,M)

síkra merőlegesen (N)

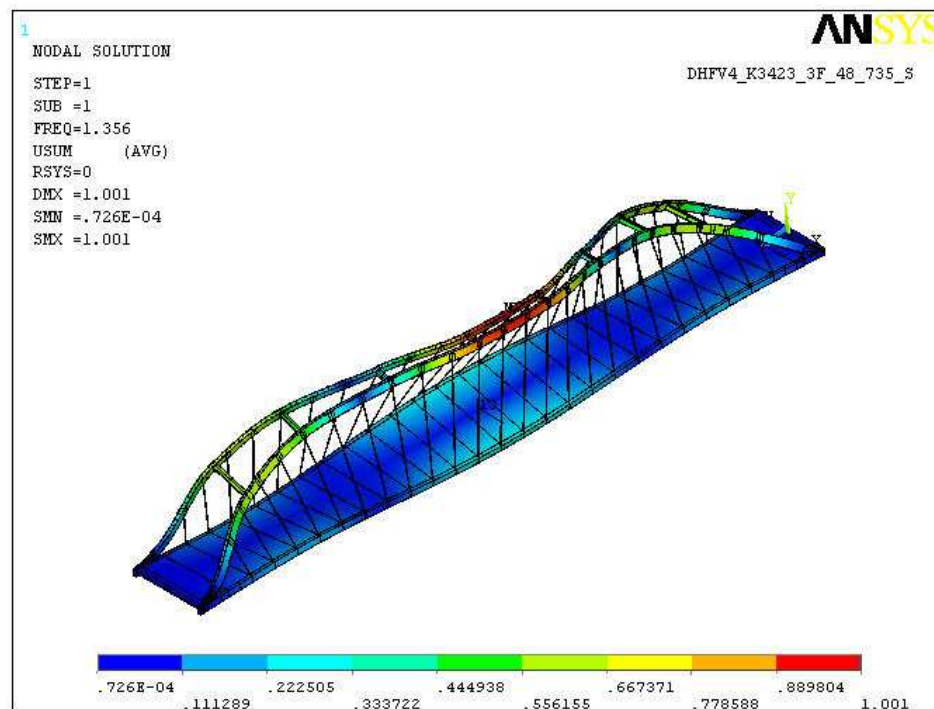


ellenőrzés, pontosítás

VEM modell

Modelltervezés

Modell, felületszerkezeti modell, $M = \sim 1:34$



Stabilitásvizsgálat

Kritikus teherszorító: 1.356

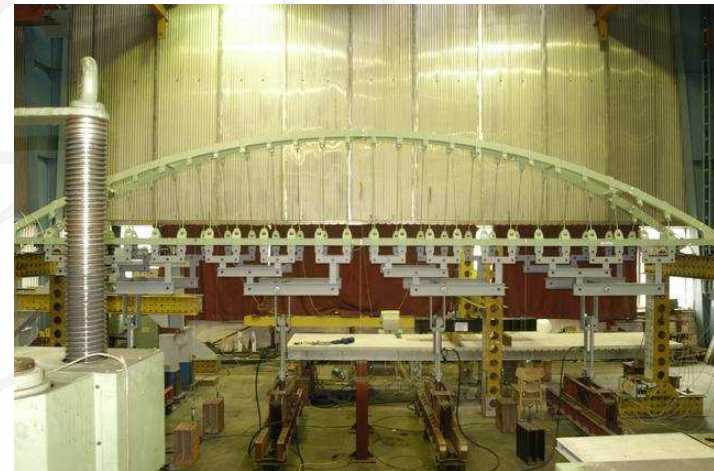
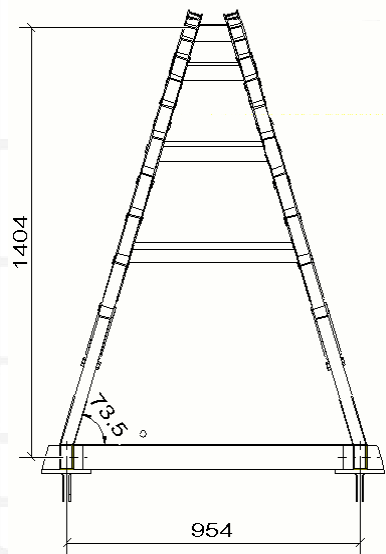
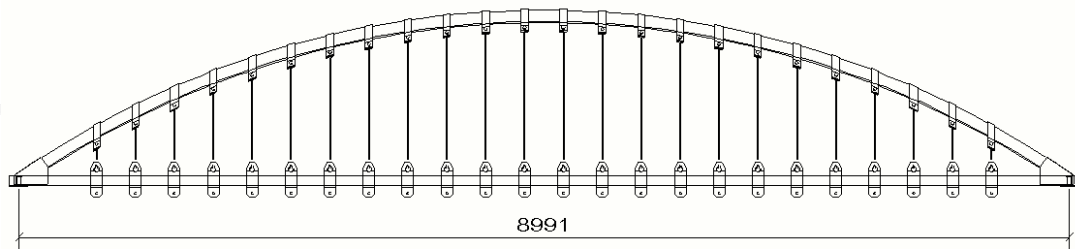
Karcsúság: 74.80

Relatív karcsúság: 0.804

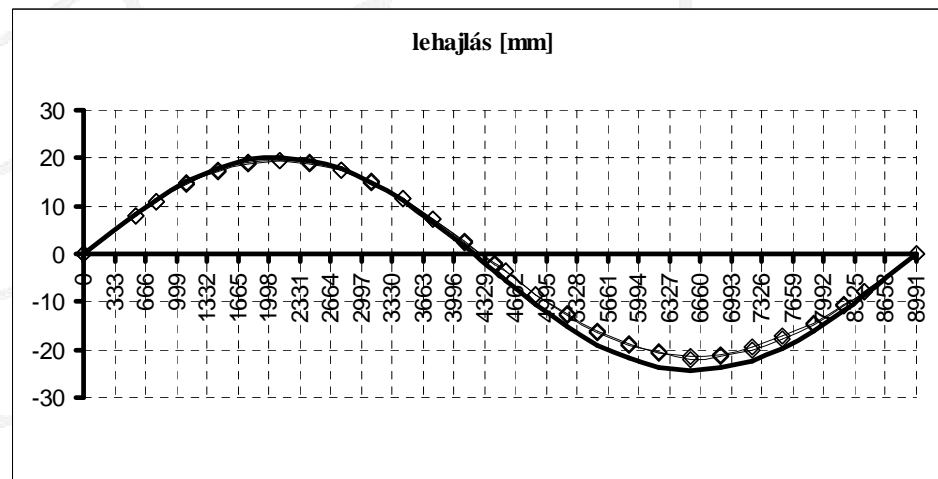
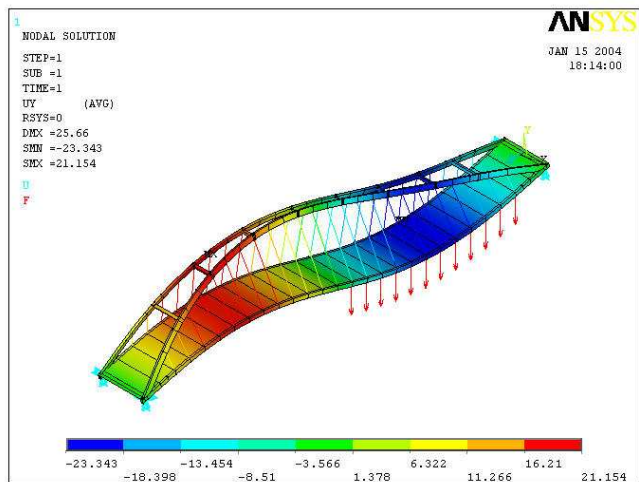
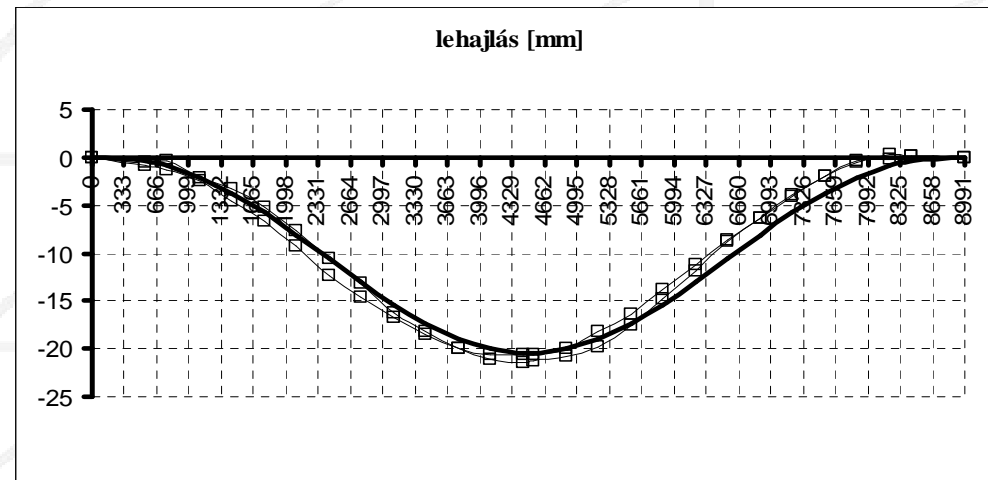
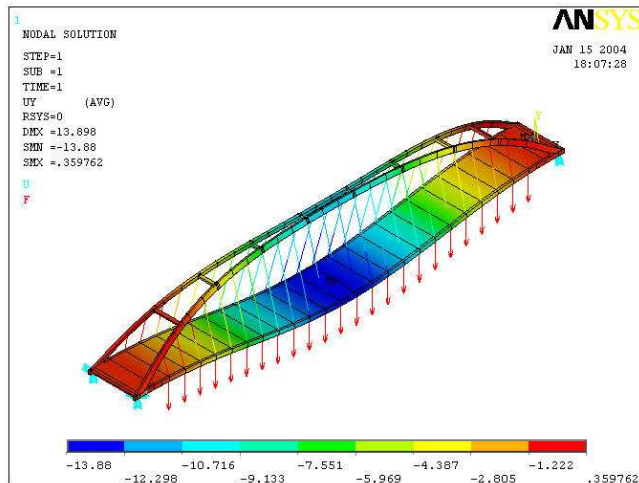


Szerkezet

Hídmodell

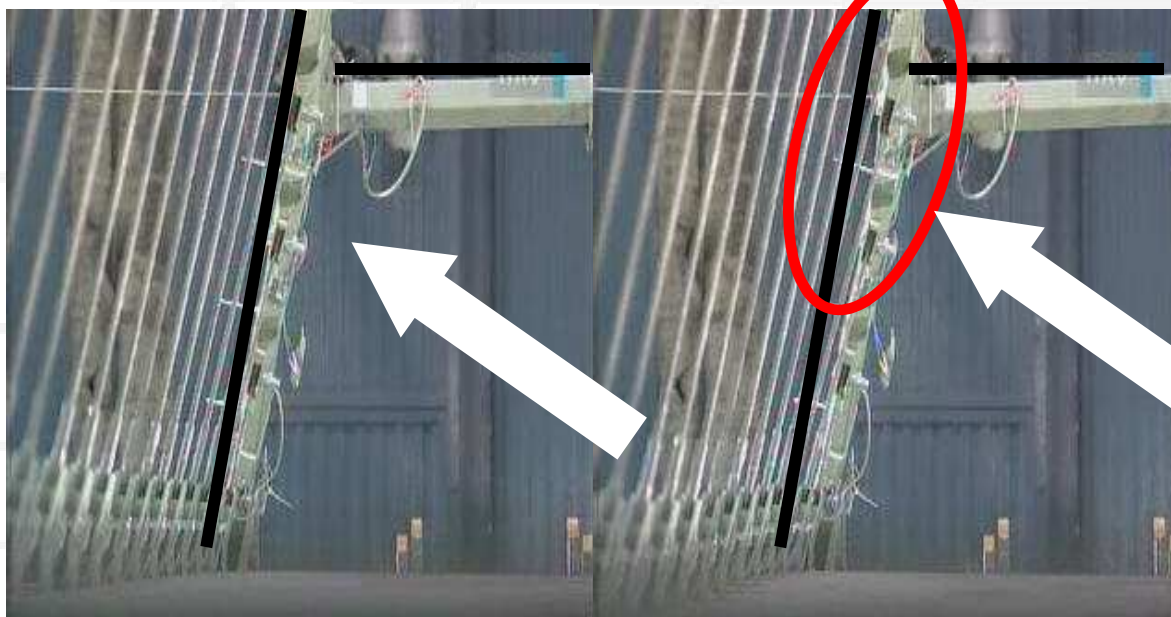


Rugalmas vizsgálatok



Teherbírás – totális teher

Teher: 320 kN



Síkra merőleges kihajlás



Teherbírás – féloldalas teher

Teher: 110 kN

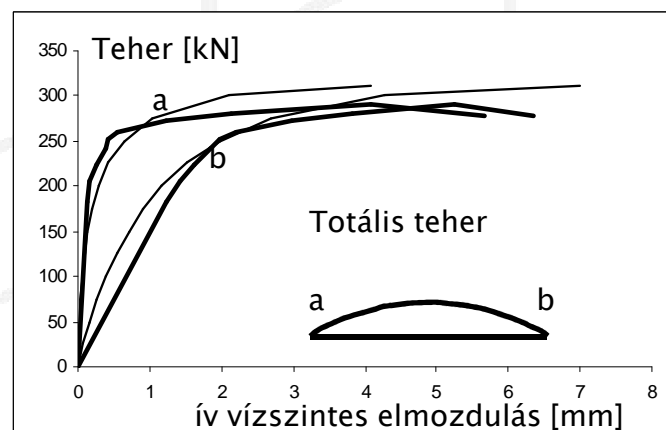
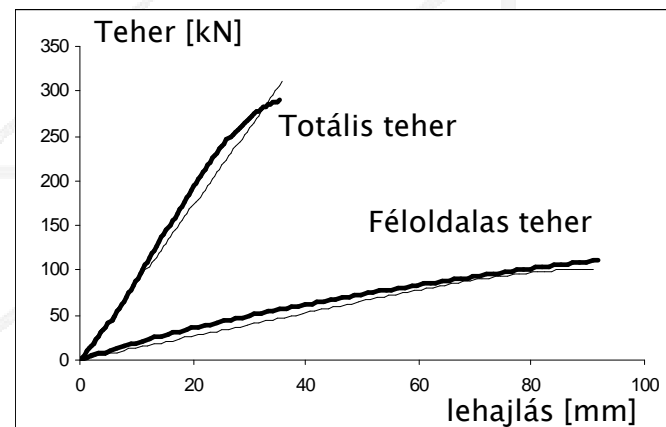
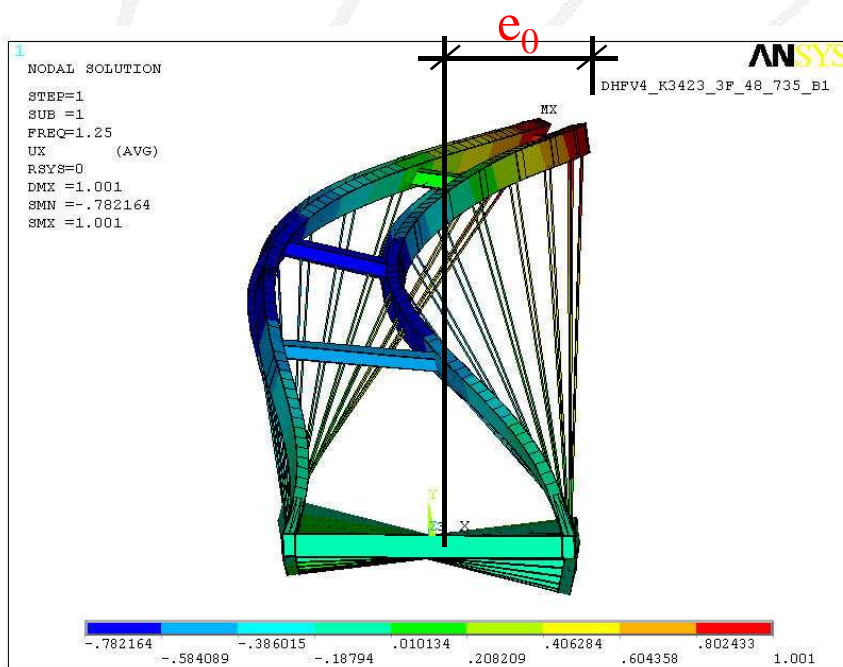


Síkbeli kihajlás

Numerikus modell ellenőrzés

anyagi és geometriai nemlinearitás

imperfekció: $e_0 = 2 \text{ mm}$



Méretezési eljárások

Magyar szabvány:

MSZ

$$\frac{N}{N_e} + \psi_y \frac{M_y}{M_{e,y}} + \psi_z \frac{M_z}{M_{e,z}} \leq 1$$

$$\frac{N}{N_{ke,z}} \leq 1$$

Japán szabvány:

JSHB

$$\frac{N}{N_{ke,z}} + \psi_y \frac{M_y}{M_{e,y}} + \psi_z \frac{M_z}{M_{e,z}} \leq 1$$

Eurocode 3:

EC3

$$\frac{N}{N_{ke,y}} + k_{yy} \frac{M_y}{M_{e,y}} + k_{yz} \frac{M_z}{M_{e,z}} \leq 1$$

$$\frac{N}{N_{ke,z}} + k_{zy} \frac{M_y}{M_{e,y}} + k_{zz} \frac{M_z}{M_{e,z}} \leq 1$$

Helyettesítő imperfekciók

Eurocode 3 – Part 1.1:

$$e_{0,d} = \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) \frac{M_{Rk}}{N_{Rk}} \frac{1 - \chi \bar{\lambda}^2}{\gamma_{M1} (1 - \chi \bar{\lambda}^2)}$$

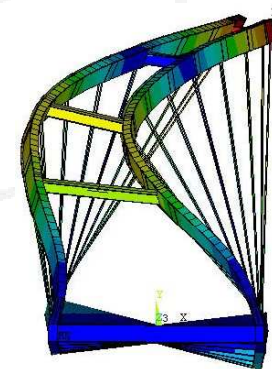
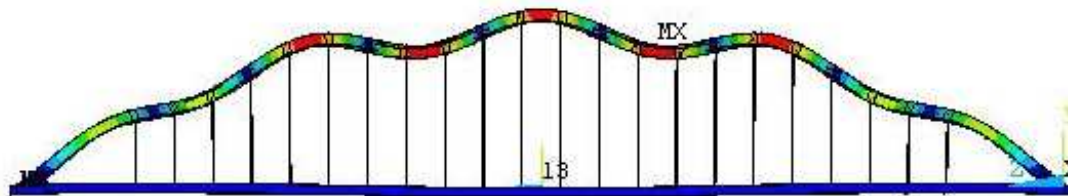
$$\eta_{init} = \frac{e_{0,d}}{\bar{\lambda}^2} \frac{N_{Rk}}{EI \eta''_{cr,max}} \eta_{cr}$$

Eurocode 3 – Part 2:

(Design of bridges)

$$\eta_{0,z} = \frac{l}{500}$$

$$\eta_{0,y} = \frac{l}{250}$$



3.44 mm	17.30 mm
17.98 mm	35.96 mm

Biztonsági szintek

Interakciós képletek

	Totális teher	Féloldalas teher
MSZ	2.25	3.06
JSHB	3.07	3.28
EC3	2.20	1.87

Geometriailag nemlineáris analízis

	Totális teher	Féloldalas teher
EC3 – lineáris	2.20	1.87
EC3 – imp. 1	1.45	1.84
EC3 – imp. 2	2.29	2.15

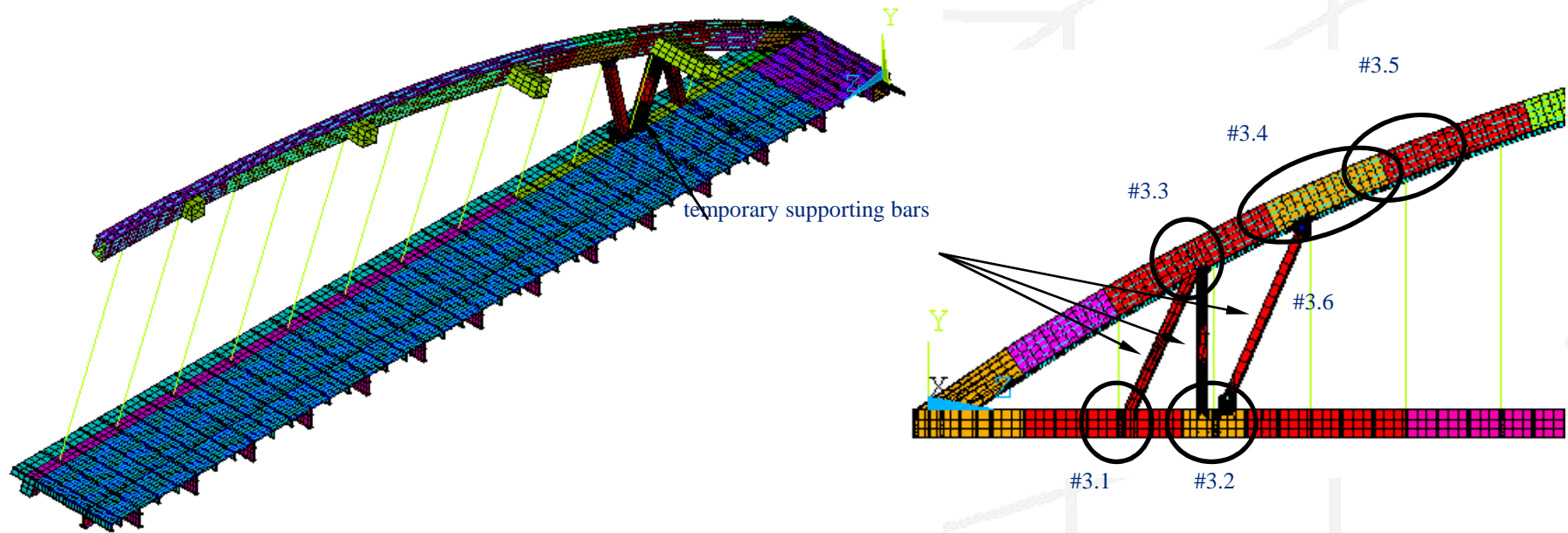
Stabilitási vizsgálatok – globális



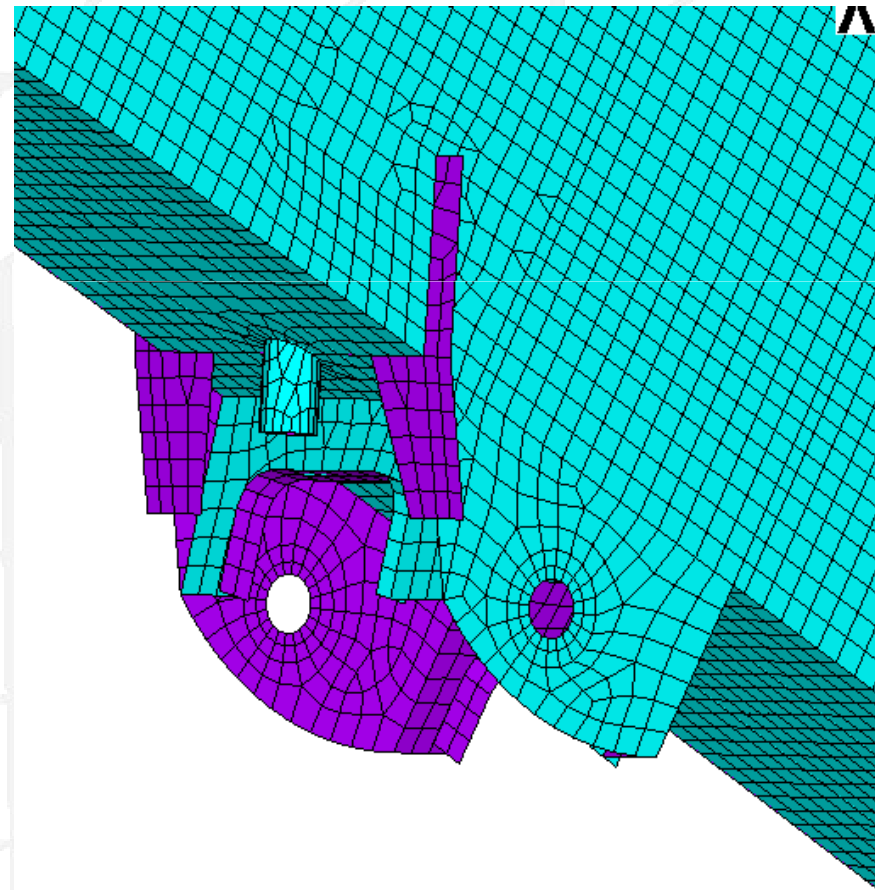
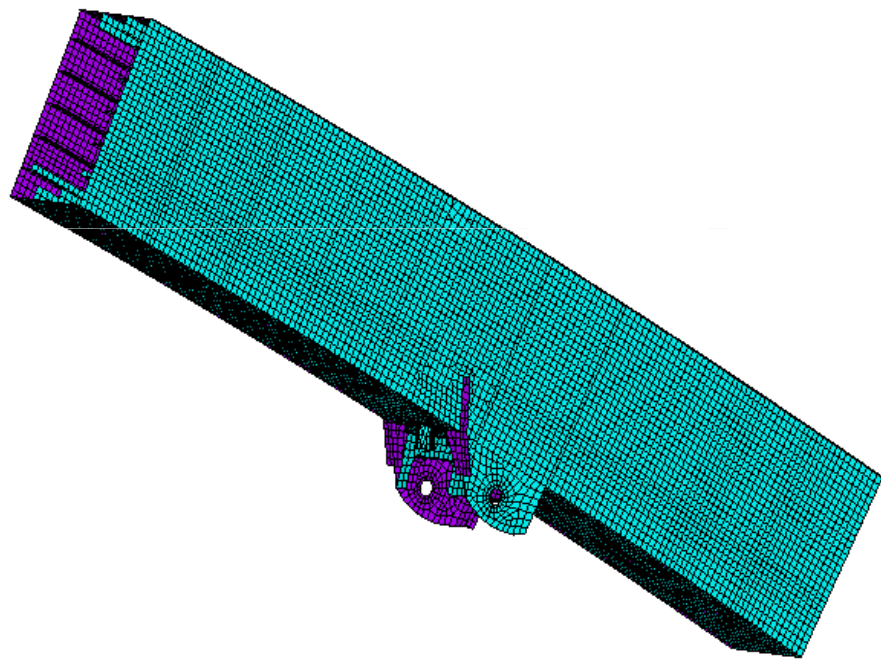
Stabilitási vizsgálatok – lokális



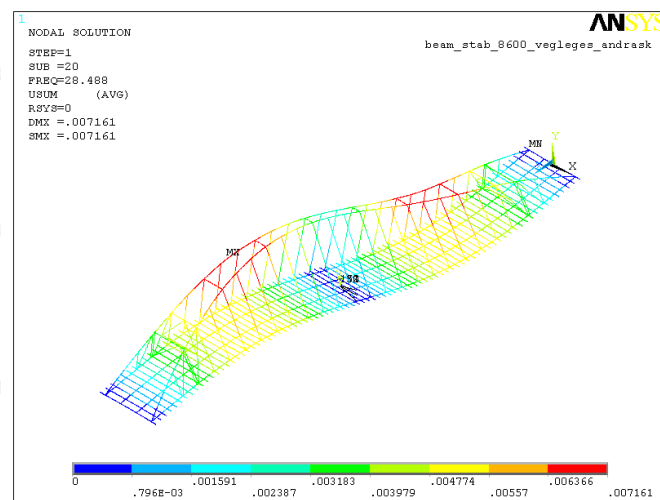
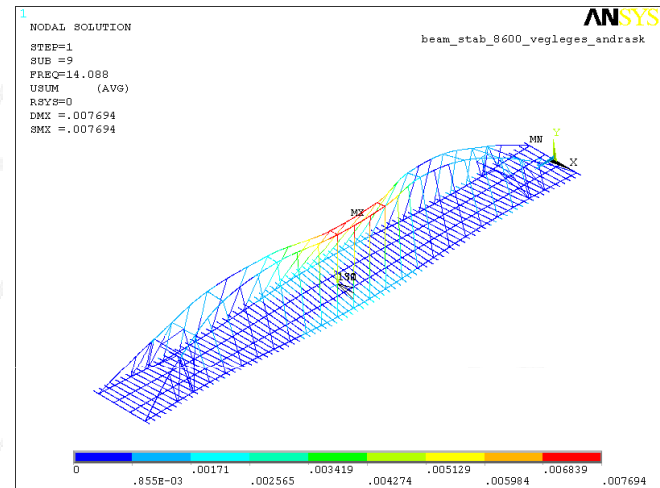
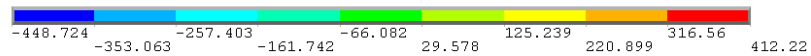
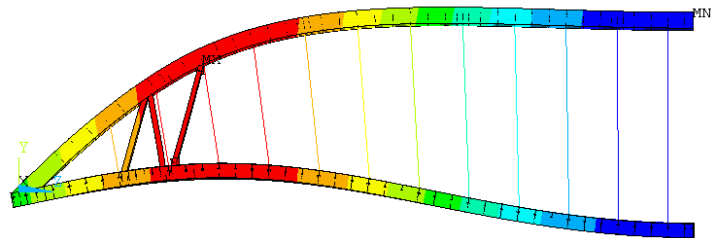
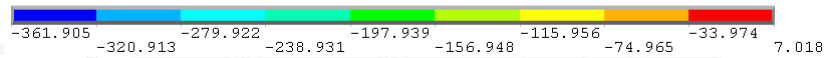
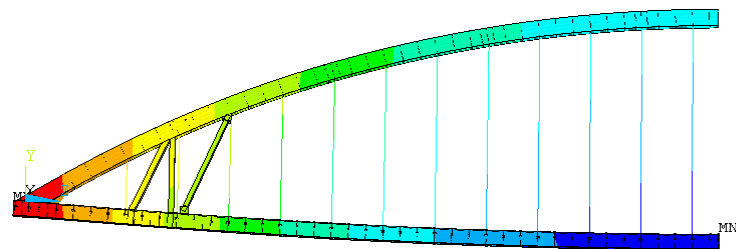
Globális VEM modell



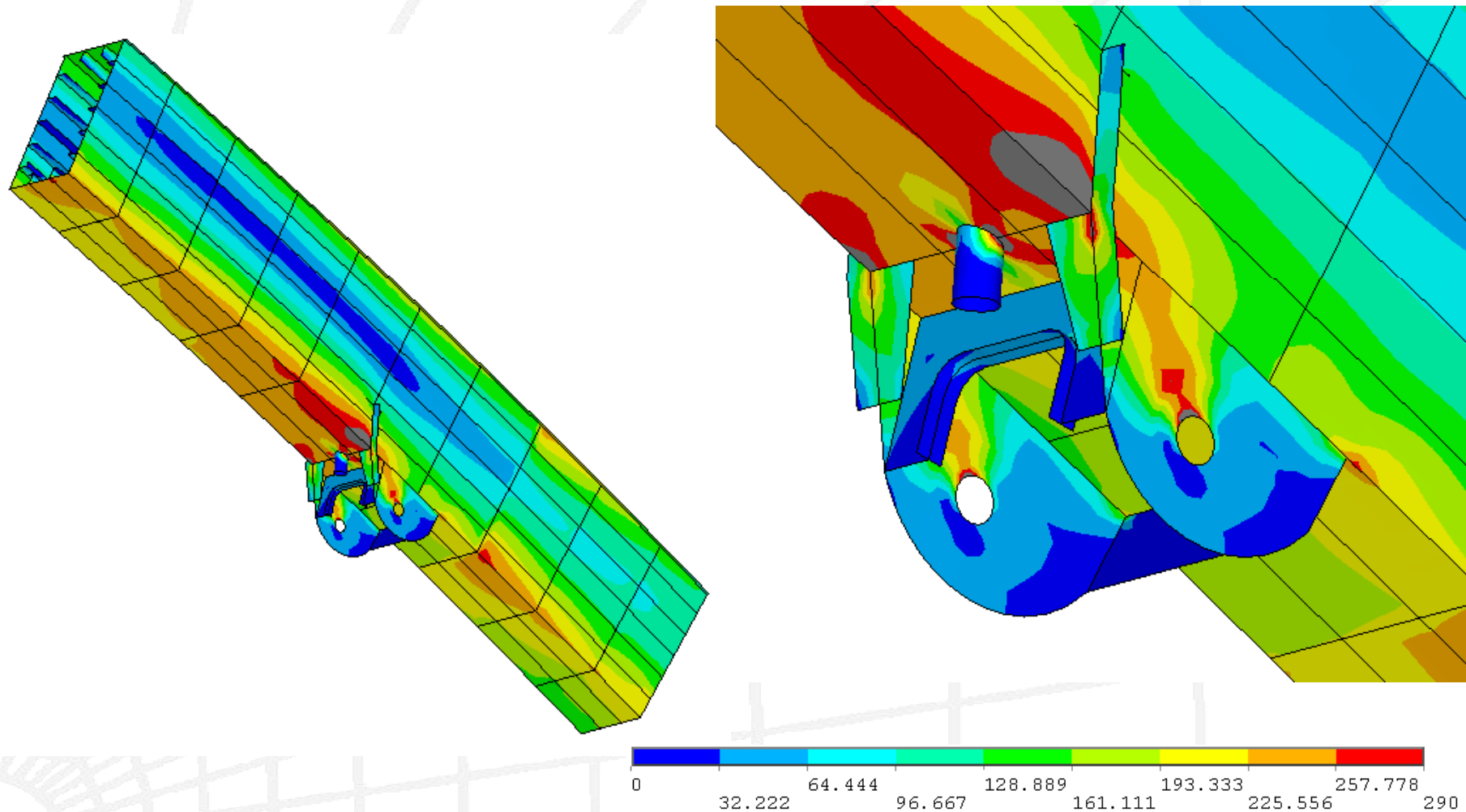
Lokális VEM modell



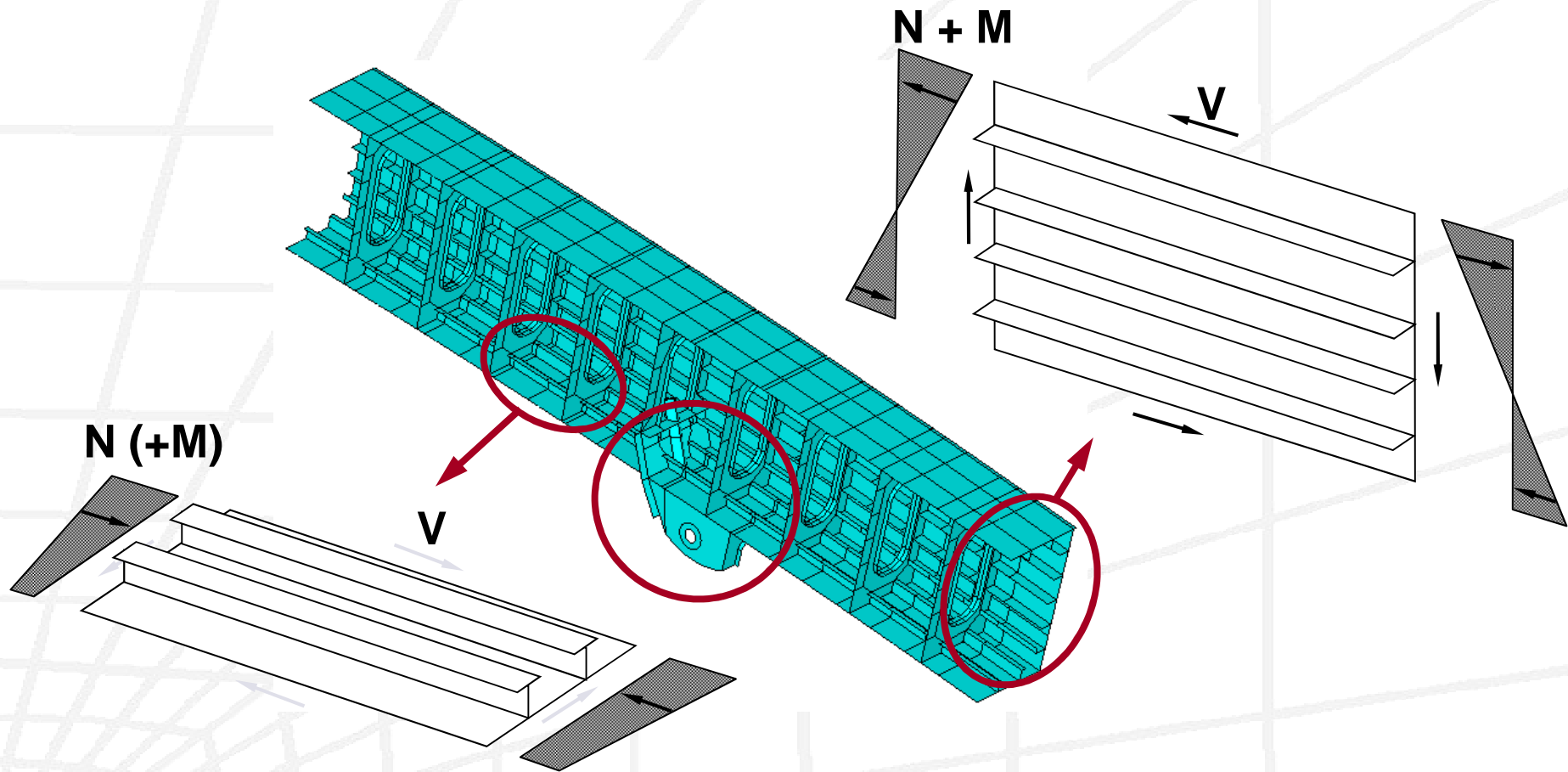
Globális analízis



Lokális analízis – feszültségeloszlás



Merevített lemezmezők



Méretezési módszer

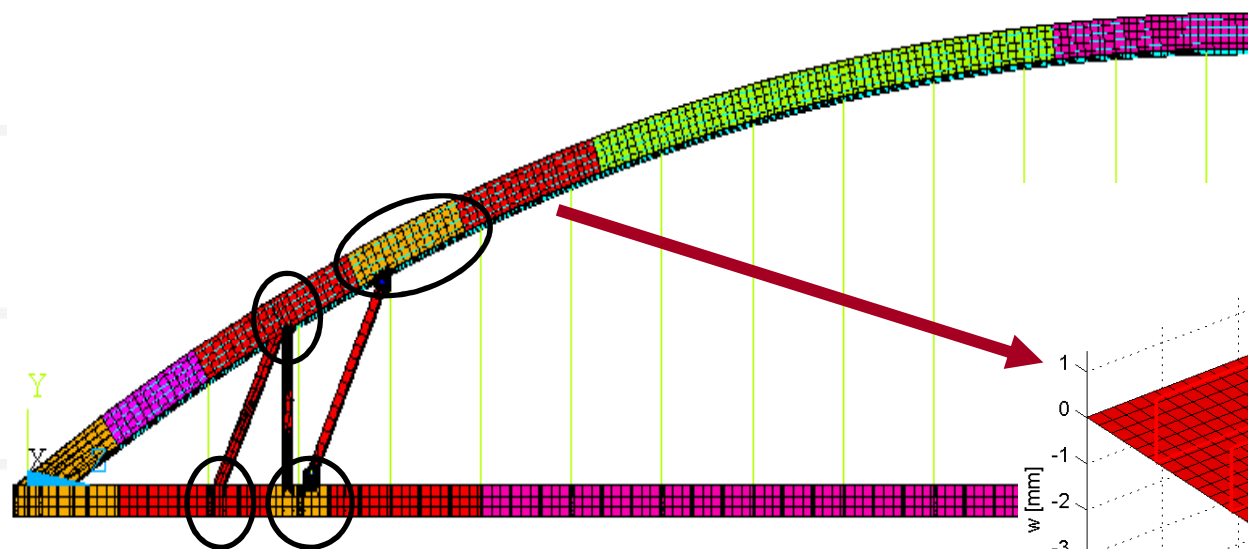
MSZ

- helyettesítő nyomott rúd
- ortotróp lemez
- numerikus instabilitási analízis

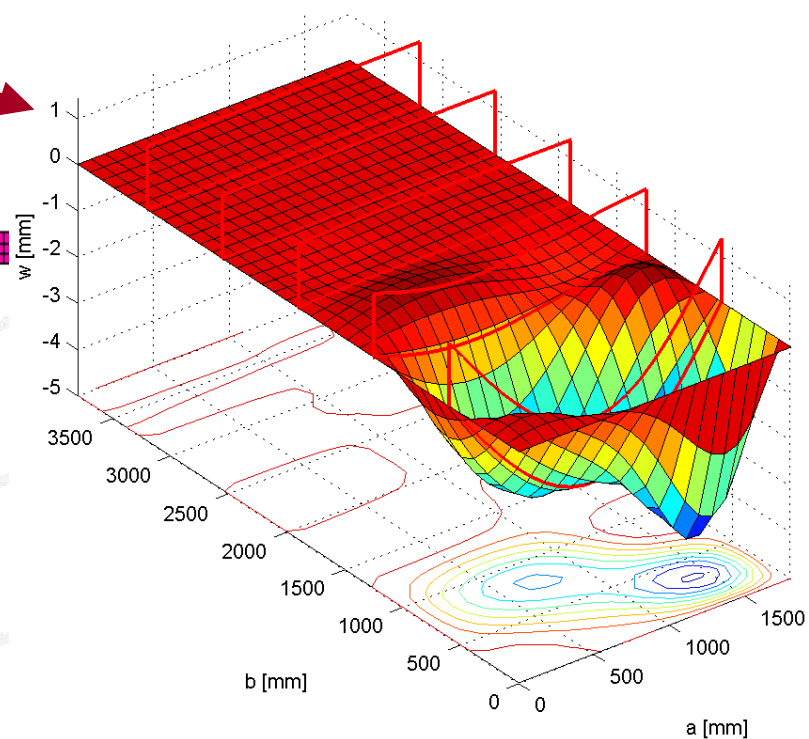
Eurocode 3

- lemezhorpadás + rúdkihajlás
- végelelemes szimuláció

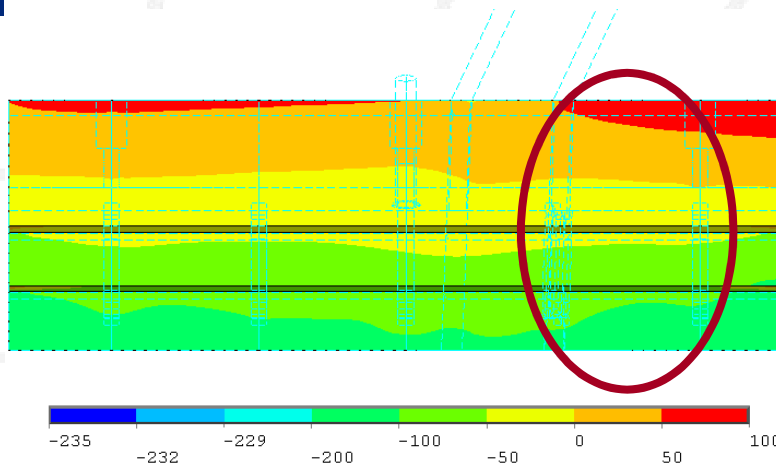
Tipikus lemezmező



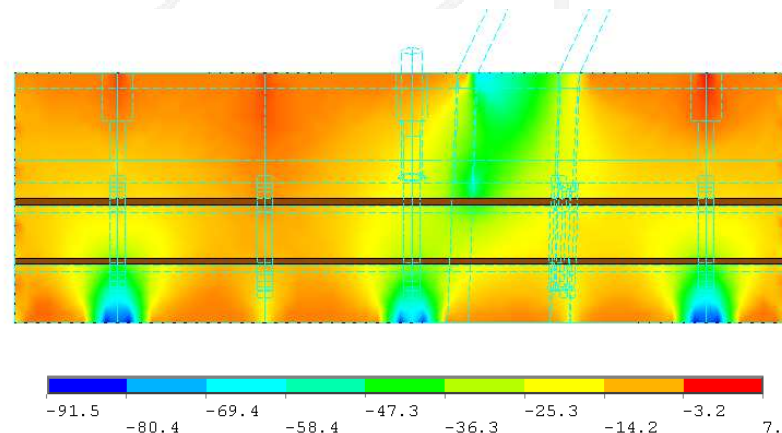
$k_{red} = 203.69, \lambda_{red} = 35.194$



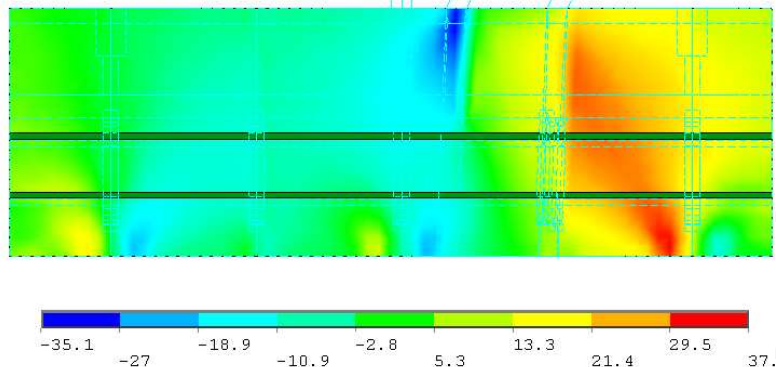
Összetett terhelésű lemezmező



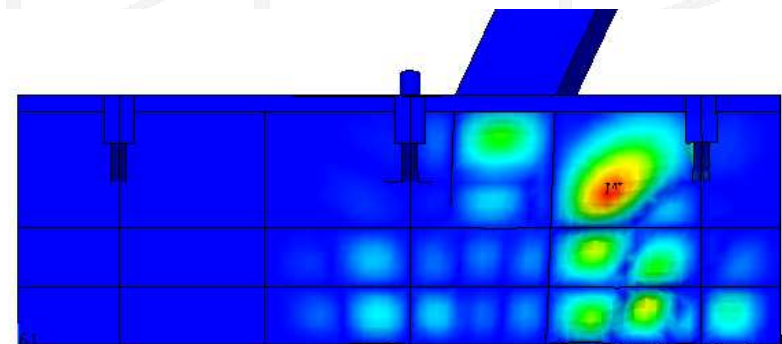
axial stresses [MPa]



vertical stresses [MPa]



shear stresses [MPa]



buckling shape

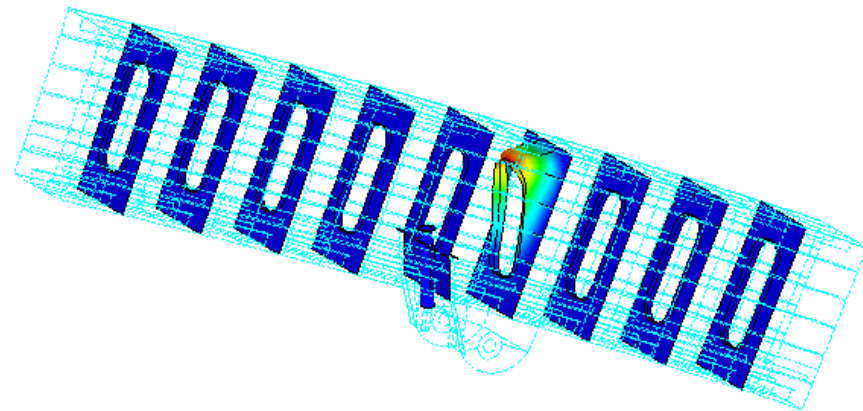
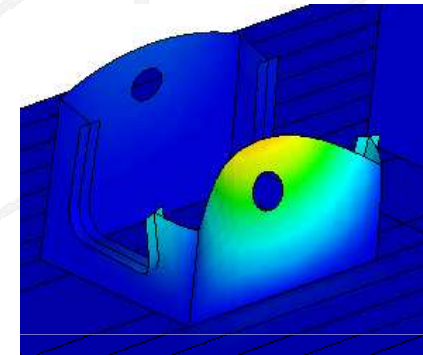
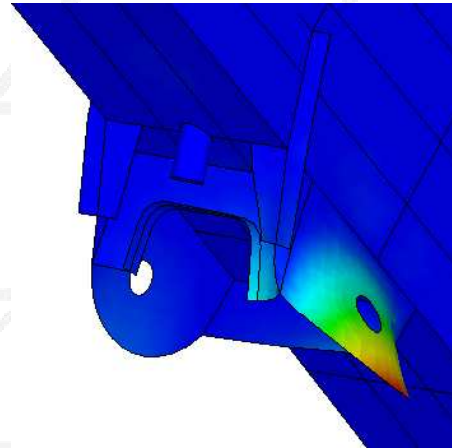
Szabálytalan alakú lemezmező

$$\sigma_{red,cr} = \alpha_{cr} \sigma_{red,max}$$

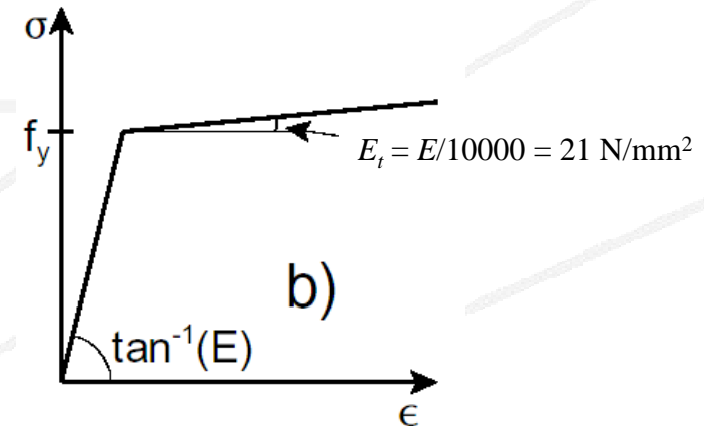
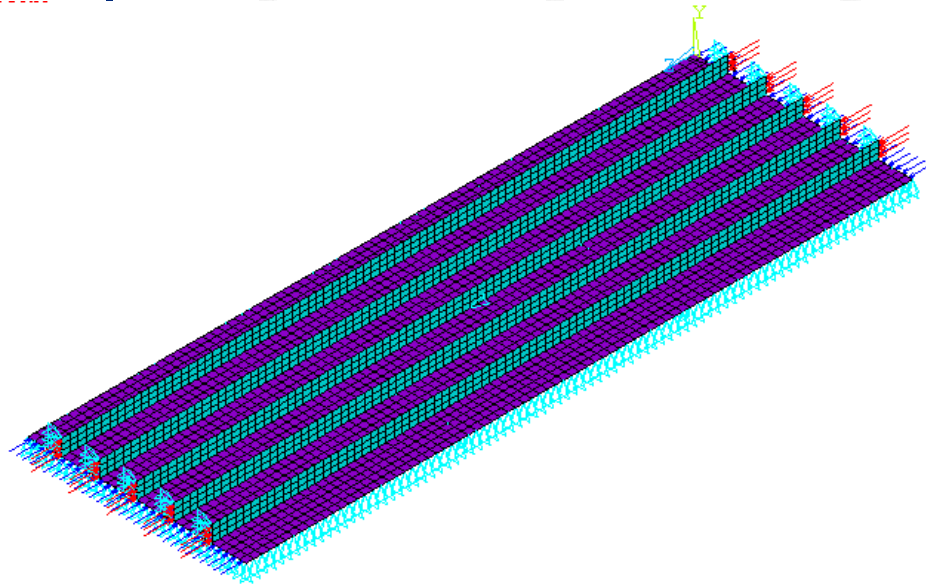
$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{red,cr}}}$$



$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \phi_b \cdot \sigma_e$$

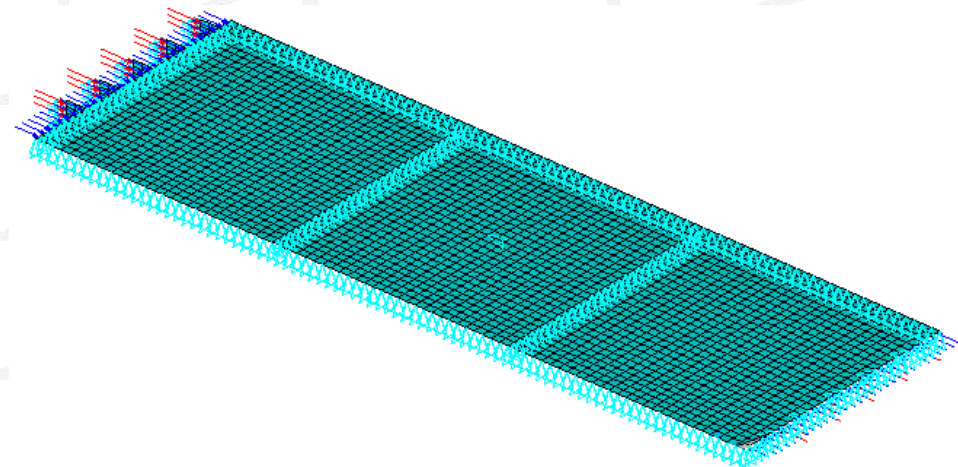


Nemlineáris numerikus modell

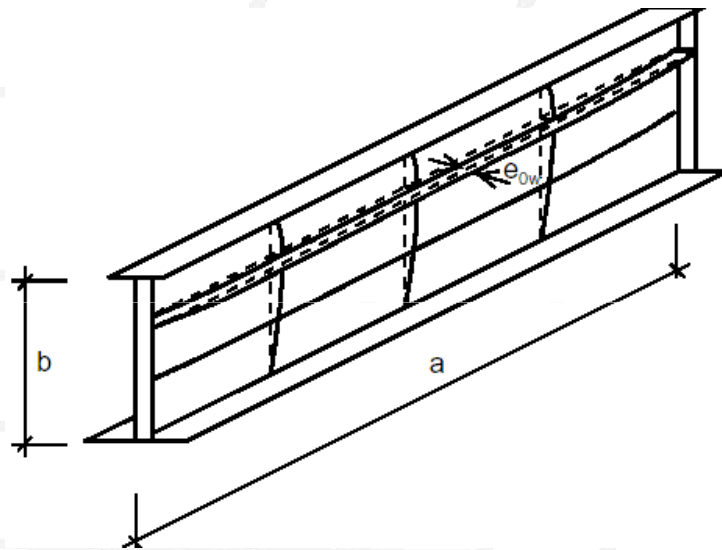


Case Nr.	t_p [mm]	b [m]	a [m]	stiffener
1	40	2	4.56	2 x 280-22
2	30	3.8	4.56	5 x 280-22
3	50	2	2.125	2 x T270-150-22
4	20	3.8	3.9	5 x 280-22
5	16	3.8	3.86	5 x 280-22
6	20	2	3.86	2 x 280-22

t_p – plate thickness; b – plate width; a – plate length between transverse stiffeners or diaphragms

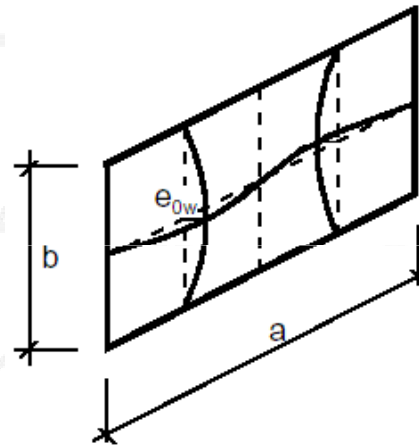


Merevített lemez imperfekciói



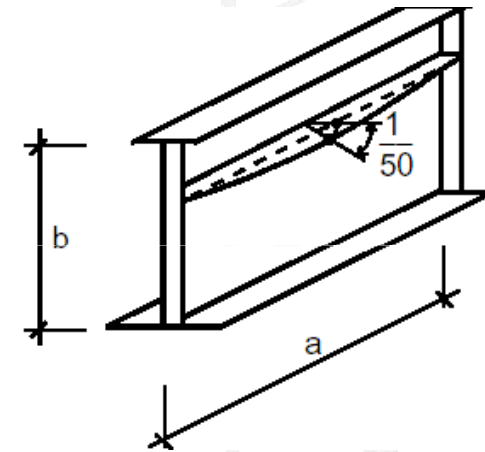
$$e_{0w} = \min(a/400, b/400)$$

a) global imperfection of stiffener



$$e_{0w} = \min(a/400, b/400)$$

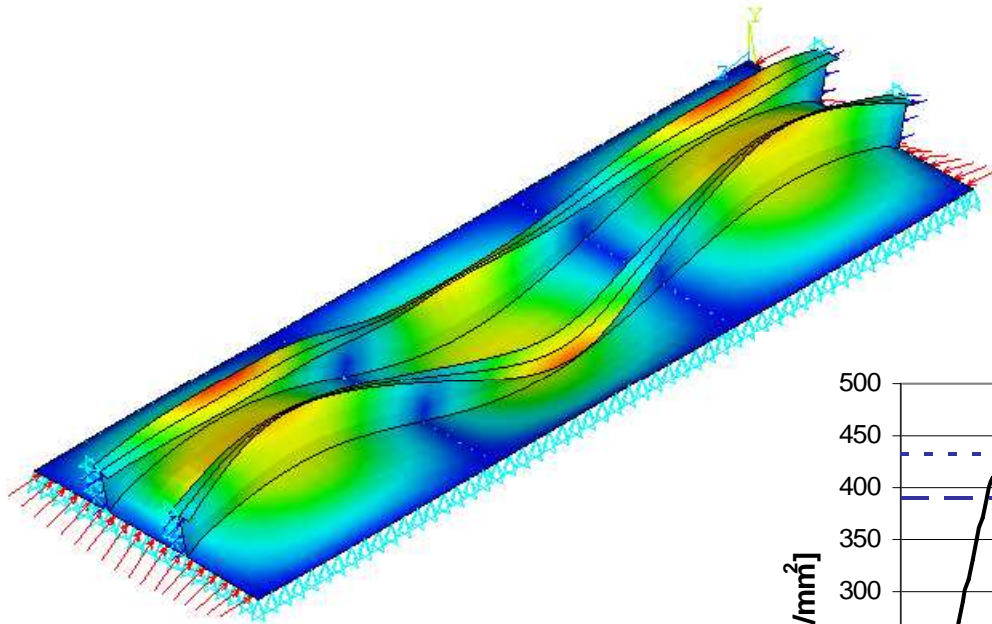
b) imperfection of subpanel



$$\phi_0 = 1/50$$

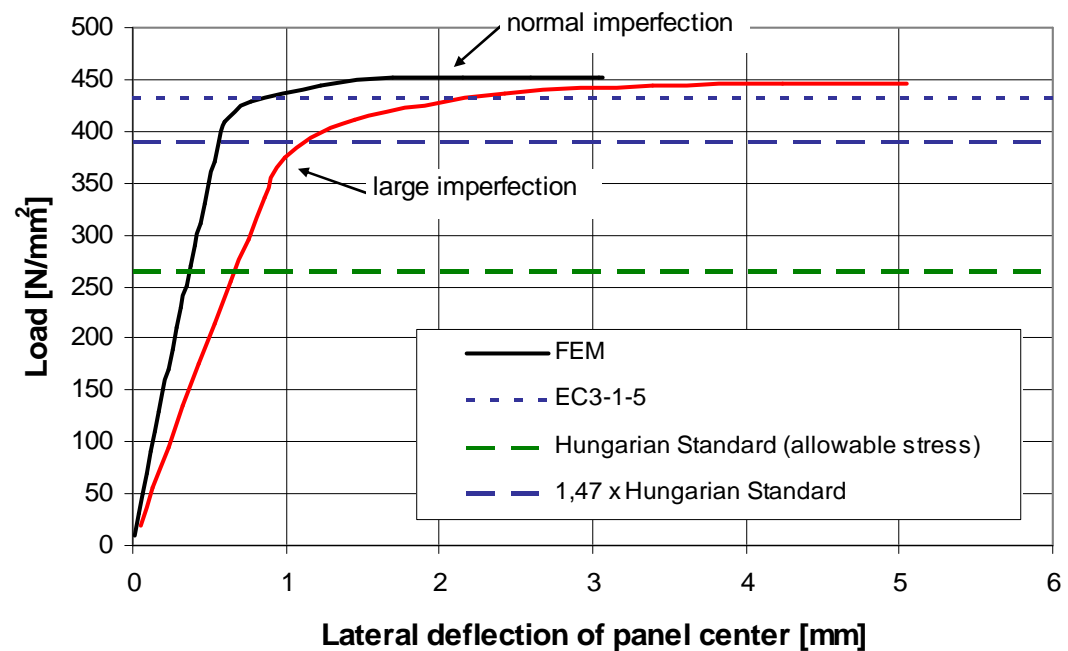
c) local imperfection of stiffener

VEM szimuláció – virtuális kísérlet



$a = 2.125 \text{ m}; b = 2 \text{ m}; t_p = 50 \text{ mm}$

2 x T270-150-22



Összefoglalás

Ívstabilitás

- méretezési eljárások biztonsága
- alternatív, pontosabb módszerek

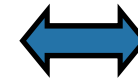
Lemezhorpadás

- MSZ és EC3 módszerek elemzése
- pontosított eljárások alkalmazása

Szerkezeti viselkedés



Analízis



Méretezés

