



# Síklapokból álló üvegoszlopok laboratóriumi vizsgálata

Előadó:           Jakab András, doktorandusz  
                      BME, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

                      Nehme Kinga, Nehme Salem Georges

Szilikátipari Tudományos Egyesület

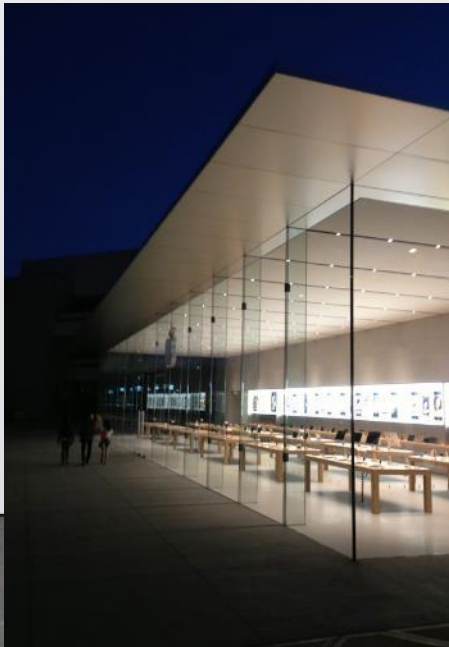
Üvegipari Szakmai Konferencia

2016. november 15.



# Célkitűzések

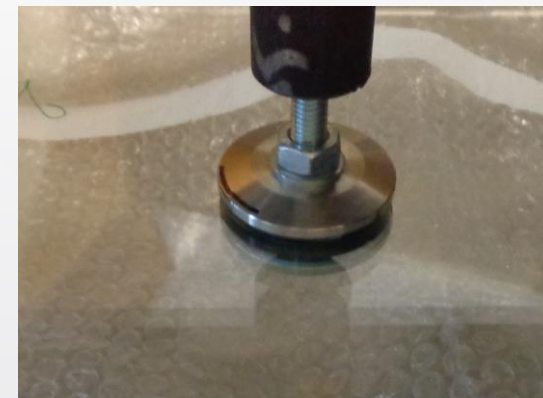
- Tervezési szabványok hiánya
- Szerkezeti hierarchia
- Üvegoszlopok viselkedésének megértése
- Tervezési szempontok, biztonság



Apple Stanford Mall,  
Palo Alto, USA  
([www.eocengineers.com](http://www.eocengineers.com) 2016.04.12.)



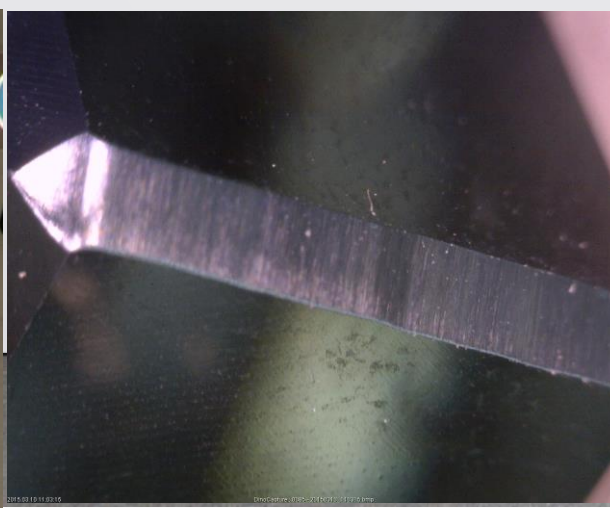
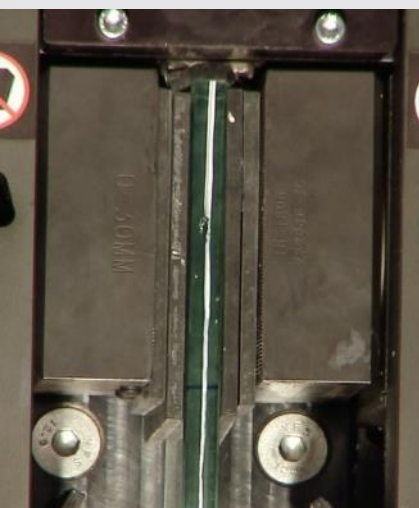
- Üveg kezdeti imperfekciók
- Üveg hibák (élmegmunkálás)
- Beépítési pontatlanság
- Rugalmas ágyazóanyag
- Bizonytalanság kezelése a számításban
- Pontmegfogás és furatok
- Hőerősítés hatásának kezelése ( $E_{\text{Float}} = E_{\text{HSG}} \approx 70000 \text{ MPa}$ )



Polírozott él

Nagyítás 200 ×

Csiszolt él



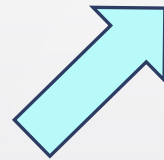
# Kísérleti paraméterek és kísérleti elrendezés

4

## Kísérleti állandók:

- $\text{NaSiO}_2$  anyagú float eljárással
- 1 rtg EVA fólia;  $v=0,38$  mm
- **80-as Shore A** keménységű gumilemez
- Befogás hossza: **95 mm**
- Normál szobahőmérséklet
- Polírozott élék

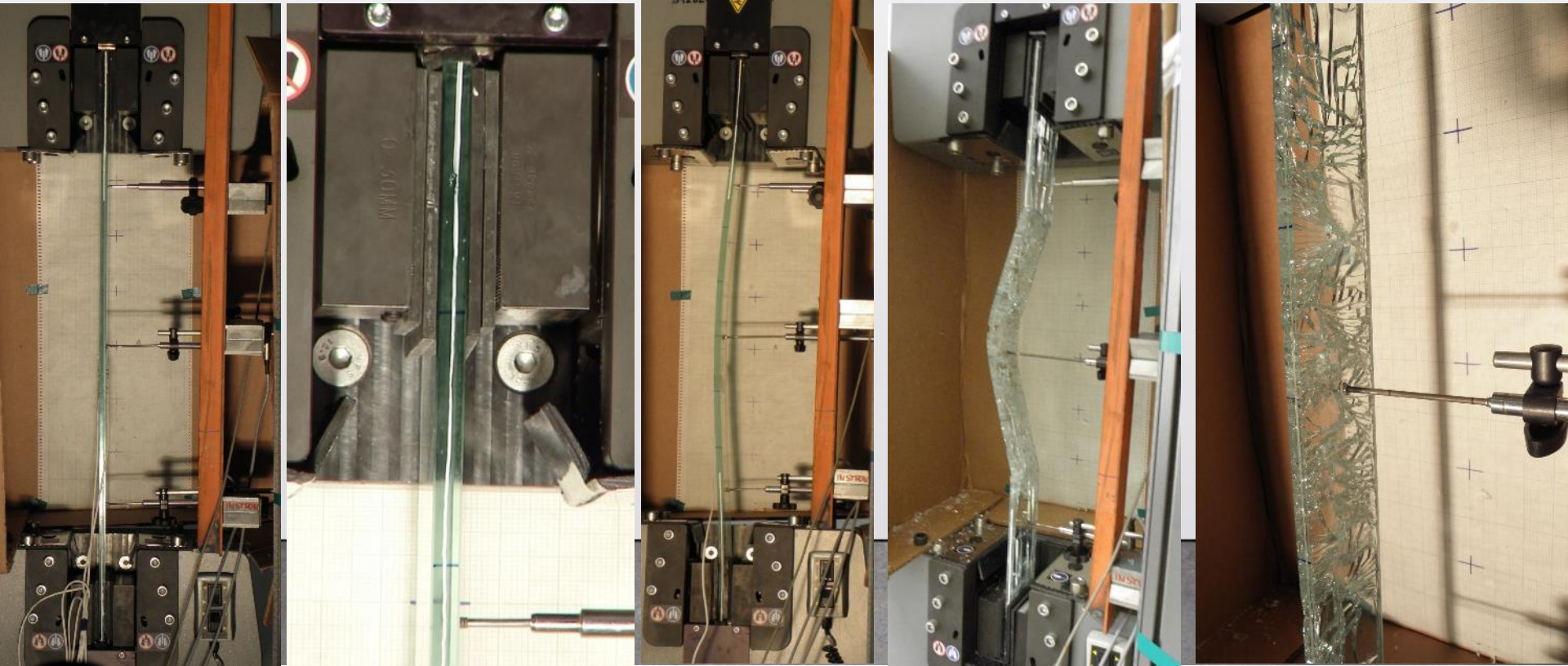
**300 < kísérlet**

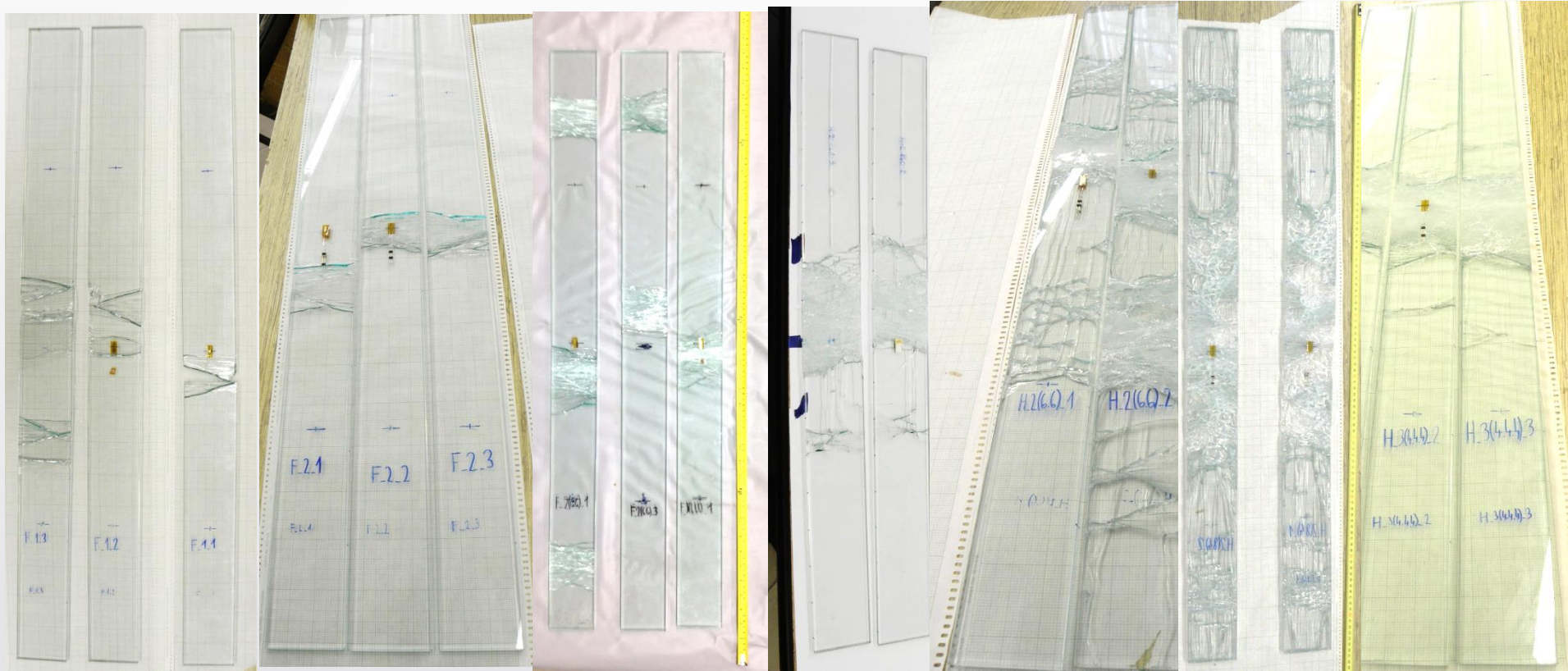


**~250 próbatest**

## Kísérleti változók:

- Üveg rétegek száma:
  - Egyrétegű: **8, 12, 19 mm**
  - Kétrétegű: **4.4, 6.6, 8.8, 10.10, 8.4 mm**
  - Háromrétegű: **4.4.4 mm**
- Terhelési sebesség: **1 és 0,5 mm/min**
- Üveg utólagos hőkezelése: **Float, TVG**
- Névleges szélessége: **80, 100, 120 mm**
- Névleges magasságai: **1000, 920, 840 mm**
- Befogási merevség és a próbatest dőlési szöge





**Float 8;**                      4.4;                      6.6; **Hőkezelt 4.4;**                      6.6;                      8.4;                      4.4.4

- Repedéseloszlás és sűrűség függ a vastagságtól és a hőkezeléستől
- Repedés az inflexiós pontoknál és a legnagyobb görbületeknél ( $G=1/R$ ) alakul ki, itt lesz a legnagyobb az alakváltozás.

# Terhelési viselkedés



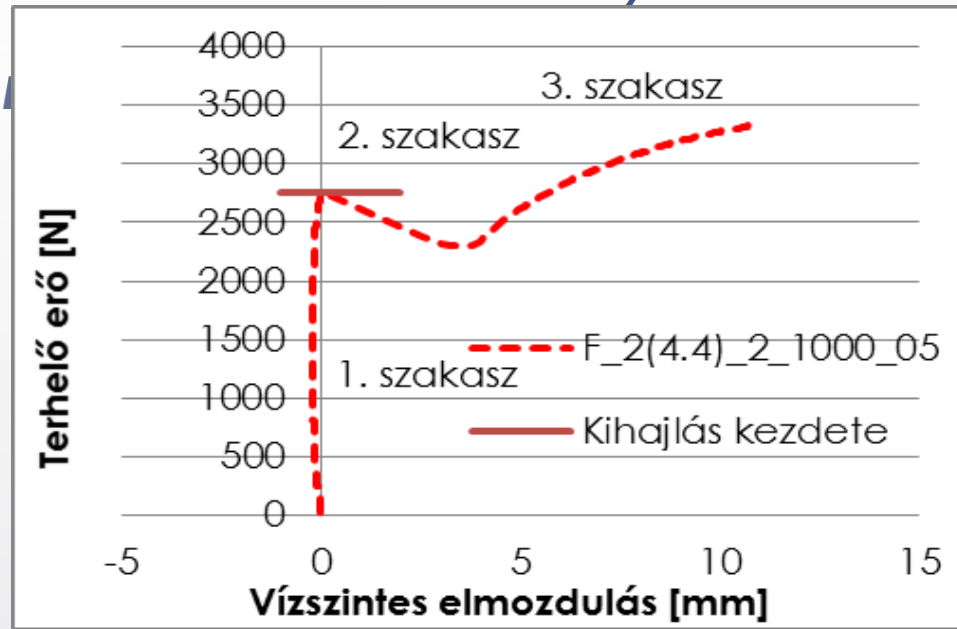
## Szakaszok:

1. Első stabil szakasz
2. Instabil szakasz (határpontos stabilitásvesztés, indifferens állapot)
3. Második stabil szakasz

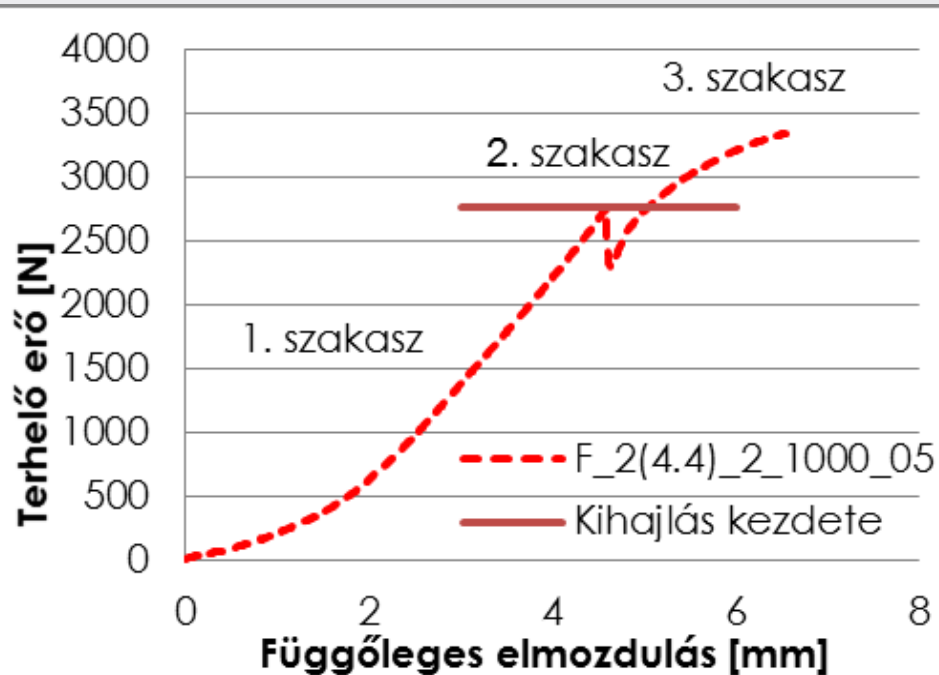
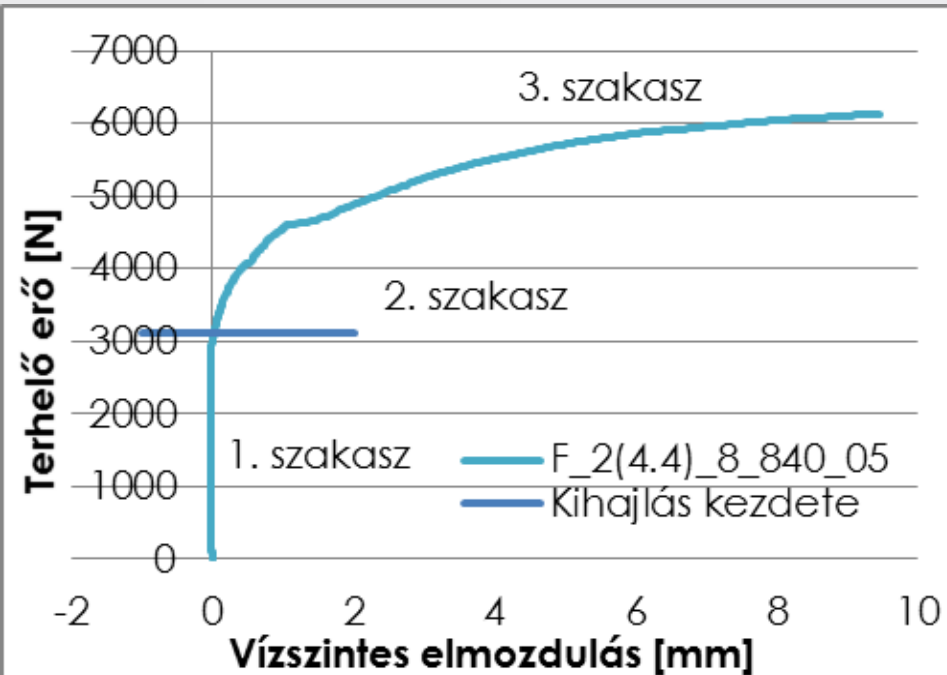
HHÁ (SLS), THÁ (ULS)

2. csoport

1. csoport



3. csoport





Üveggyártás



Hőerősítés



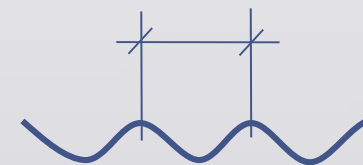
Torzulás maximális értéke az EN 1863-1 szabvány szerint.

Kardosság **3.0 mm/m**

Színuszosság **0.3 mm**



Távolság a görgők között



# Hullámosság mérés



- Wenzel LH 108 3D koordinátamérő berendezés
- RPS (Reference Point System) + bestfit
- Kardosság, szinuszoság, csavart kezdeti imperfekció

## Eredmények

- Filc vastagság ~ 0,007 mm

## Kardosság:

- Egyrétegű float és pvb ~ 0,0-0,1 mm
- Két- és háromréteg ~ 0,0-0,3 mm
- Edzett ~ 0,0-0,6 mm

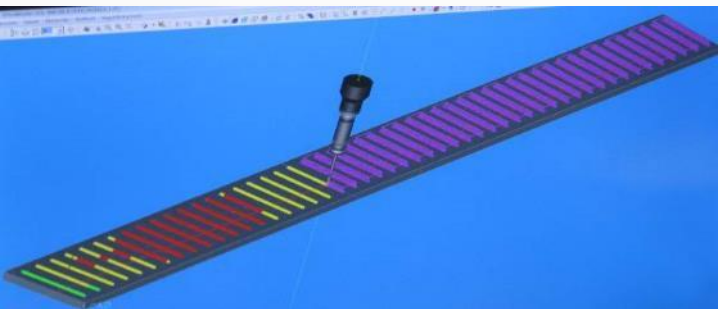
## Színuszosság (max. érték a kis mélységek közül):

- Laminált PVB ~ 0,001 mm
- Float egyrétegű ~ 0,01 mm
- Float kétrétegű ~ 0,03 mm
- Edzett egyrétegű ~ 0,03 mm
- Edzett laminált ~ 0,09 mm



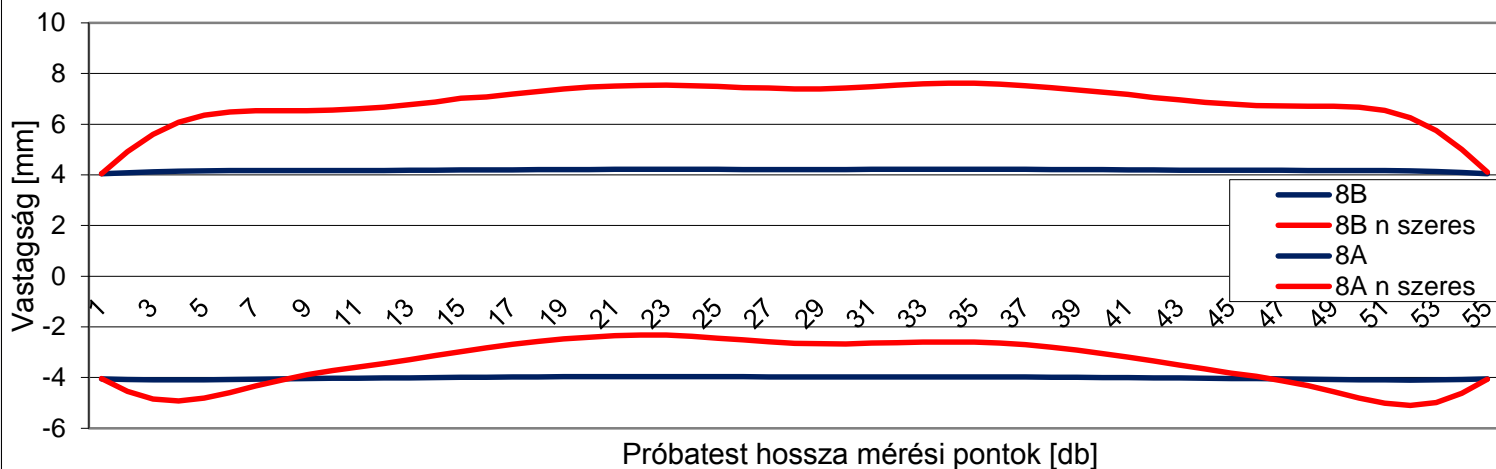
# Mérési eredmények

9

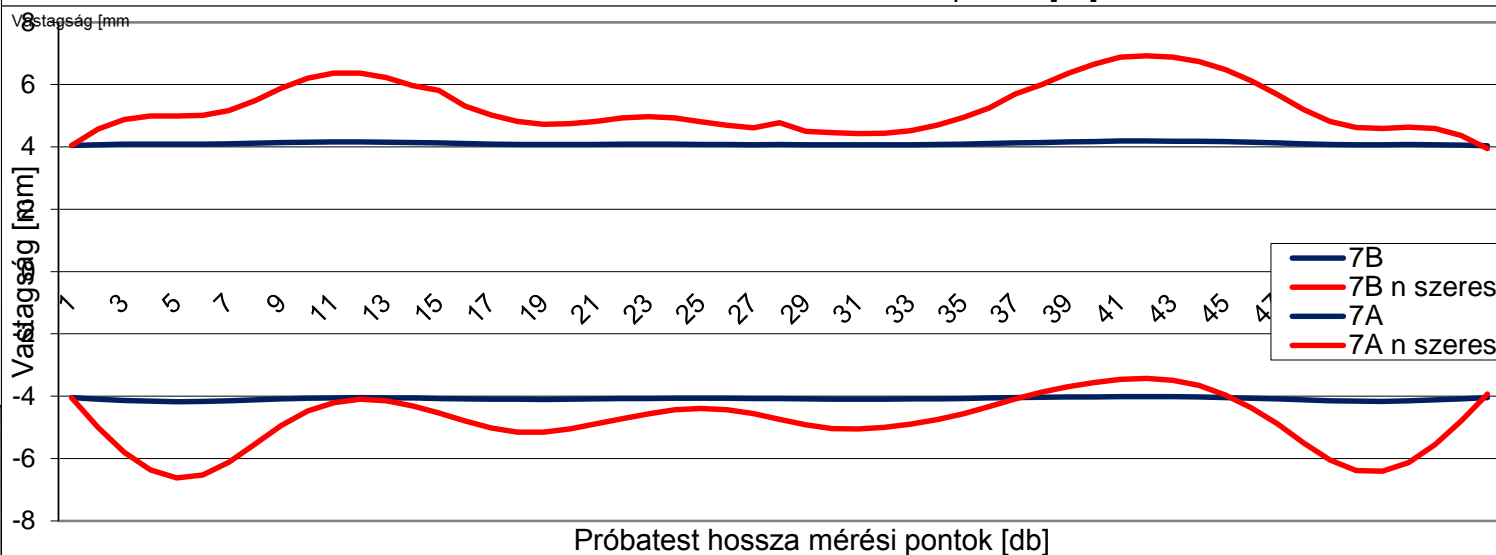


- 20×ra nagyított float és hőkezelt üveg mért felülete
- Prognosztizálható kihajlási irányok a terhelés folyamán
- Szinuszoság, kardosság meghatározhatóvá válik
- $n \times N_{cr}$   $n=1, 2, 3... ?$

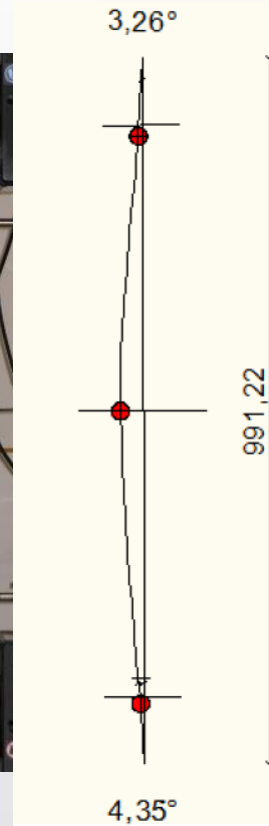
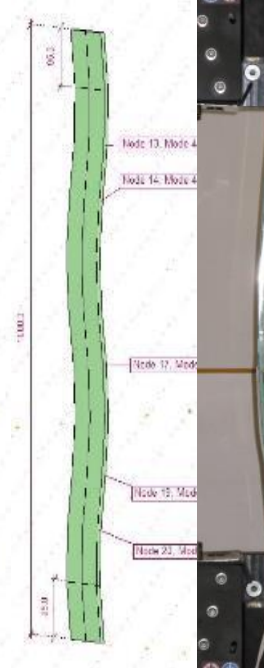
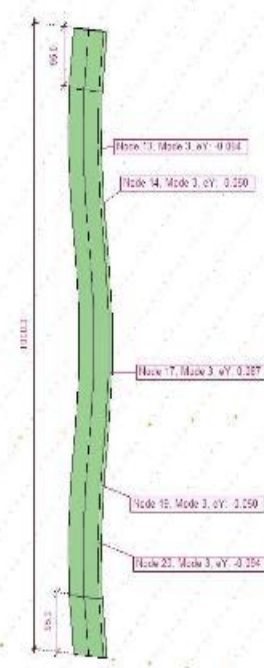
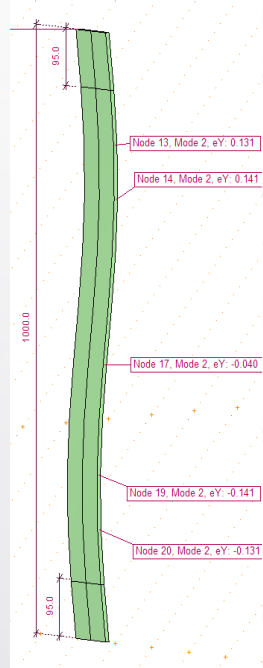
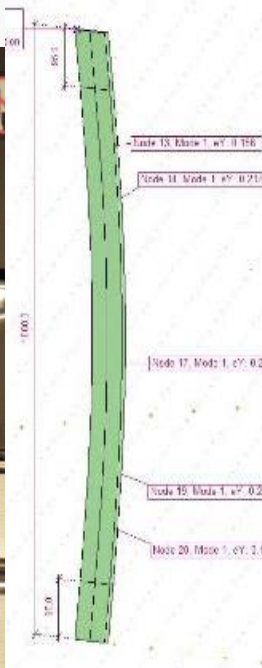
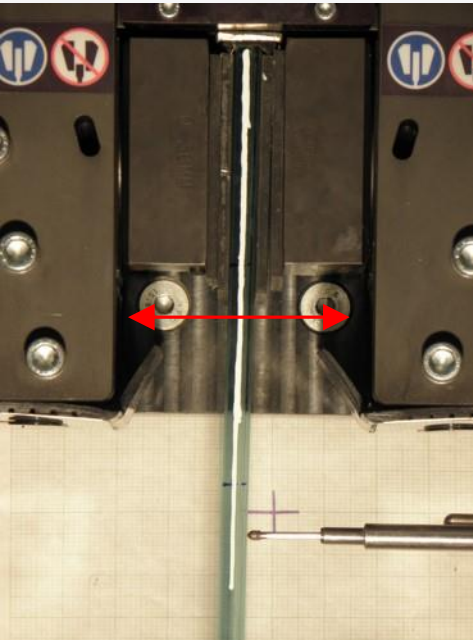
• Float



• Hőkezelt (Edzett)



# Csomóponti merevség hatása 10



A csomóponti merevség hatása a kihajlási csoportok szerint

Csoport	Részlegesen csuklós (63 db)	Változás	Részlegesen merev (130 db)
1. Csoport	<b>25 %</b>	Csökkent	<b>7 %</b>
2. Csoport	<b>57 %</b>	Nőtt	<b>79 %</b>
3. Csoport	<b>18 %</b>	Stagnált	<b>14 %</b>

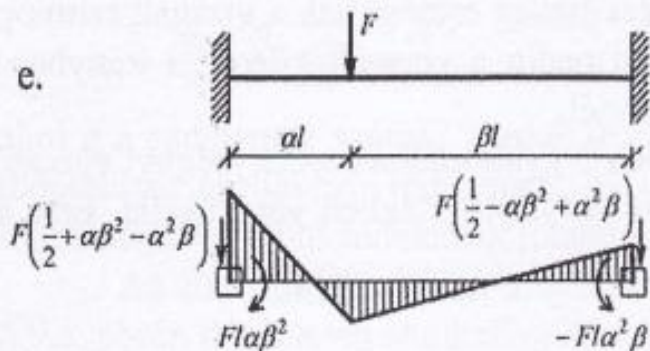


# Befogási tényező közelítése

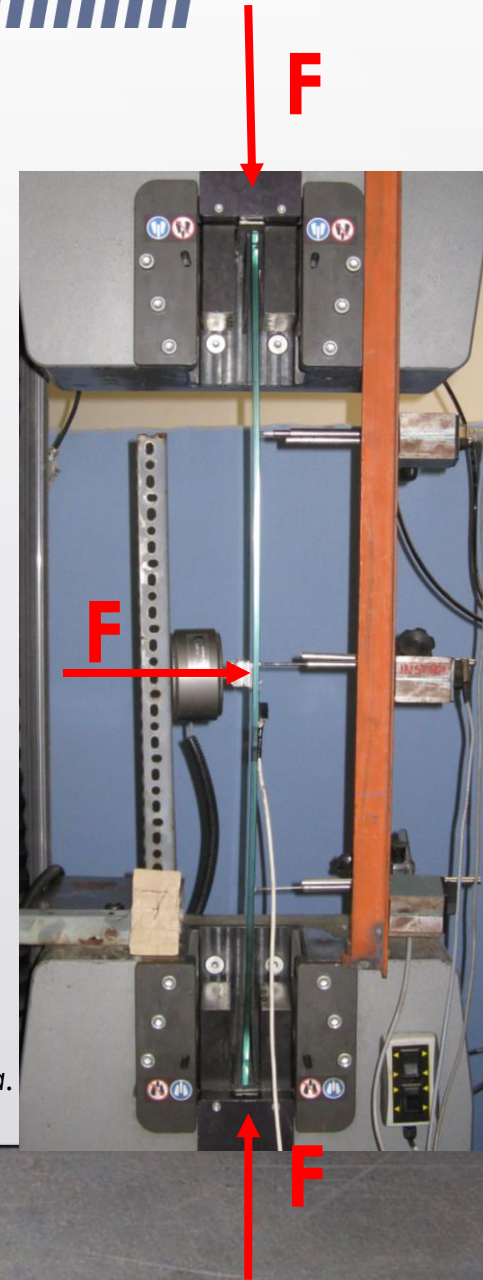
A kísérleti elrendezések:

- Nyomott oszlop – Euler differenciál megoldása
- Hajlított gerenda– Rugalmas vonal differenciál egyenlete

Kísérleti eredmények összehasonlítása a differenciál egyenletek és VEM eredményekkel csuklós és befogott állapot vizsgálatai.



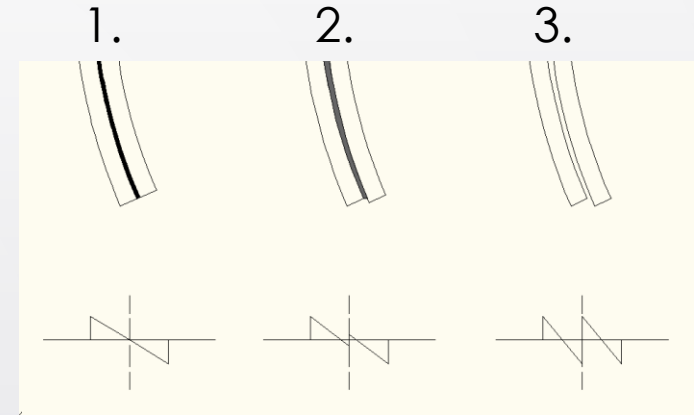
Kurutzné Dr. Kovács M. 2003. Tartók Statikája.  
BME Építőmérnöki Kara, Budapest





Feszültség eloszlás:

1. Maximális határérték ( $N_{cr.U}$ )
2. Valós viselkedés ( $N_{cr}$ )
3. Minimális határérték ( $N_{cr.L}$ )



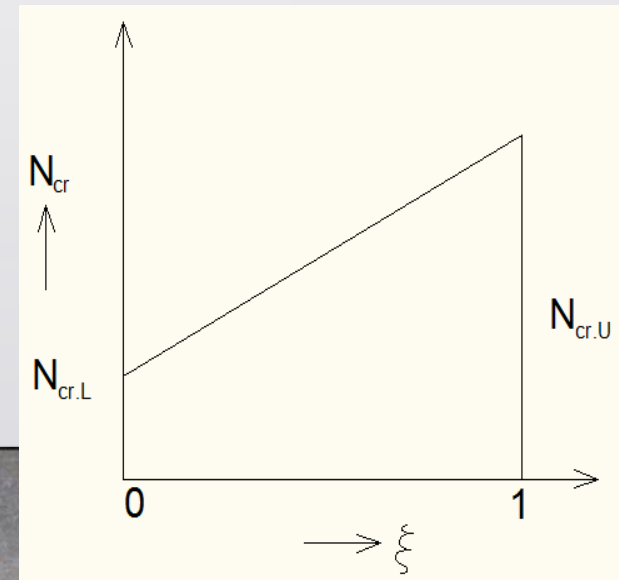
Johann Blauwendraad (2007, Heron)

Számítási metódus

$$N_{cr} := (1 - \xi) \cdot N_{cr.L} + \xi \cdot N_{cr.U}$$

$$\xi = \frac{f_1 + f_2}{f_1 + f_f + f_2}$$

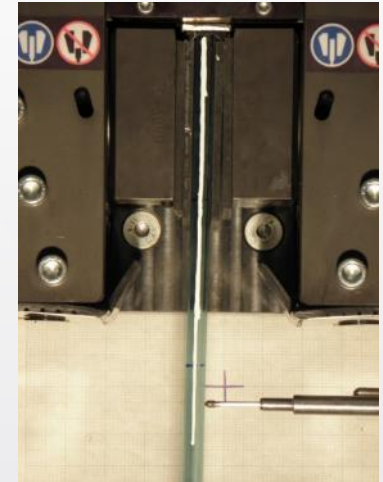
f – réteg hajlékonyság





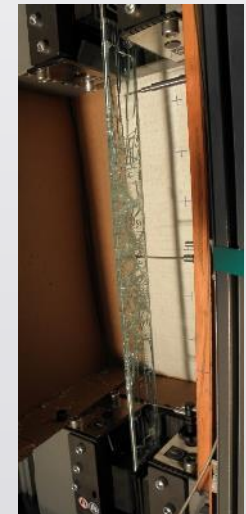
## Megállapítások

- Stabilitási viselkedés összetett problémakör.
- Kihajlást befolyásoló tényezők: beépítési pontosság (ferdeség), kezdeti alak (hullámosság, hőerősítési eljárás), befogási merevség.
- Kihajlási csoportoknak nincs hatása a törőerőre.
- Törőerőt befolyásoló tényezők: hőerősítés, hajlítási merevség, élmegmunkálás, hibák.



## Kitekintés

- Számítási eljárások vizsgálata
- Modell üvegek  Végeselemes analízis





# Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

[jakab.andras@epito.bme.hu](mailto:jakab.andras@epito.bme.hu)



*Glass path, China, Hunan province, Tianmen mountain*  
<http://toochee.postr.hu/uveg-osveny-a-melyseg-felett> (20150309)