

# Feszültségmérési lehetőségek az üvegben

**Dr. NEHME Kinga**

Egyetemi docens,  
Debreceni Egyetem Műszaki Kar,  
Építőmérnöki Tanszék,  
[kpankhardt@yahoo.com](mailto:kpankhardt@yahoo.com)

# Feszültségmérési lehetőségek

- **Feszültségmérés célja:**
  - Pl. gyártás közbeni-, beépítéskori-, üzemeltetési **állapotok** figyelemmel kísérése,
  - Az üveg **kihasználtsági fokának** ellenőrzése,
  - **Tartósságra** következtetés levonása.
- **Szerepe:**
  - Különösen fontos ahol az üveg **teherhordó szerepet** tölt be;
  - Koncentrált **feszültséggyűjtő helyek** lehetnek az üvegben (pl. furatlyukak, pontonkénti rögzítés, alakos üvegek)
  - Különleges, **nagyméretű üvegezések** esetén.
- **Típusa:**
  - **Terhelés nélküli állapotban** való vizsgálatok (pl. Hibahelyek kimutatása, tartóssági kérdések)
  - **Terhelés alatti vizsgálatok** (pl. Teherhordó üvegek, helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok, tartóssági kérdések)
- **Diagnosztikai vizsgálatok:**
  - Roncsolásmentes (pl. fotóoptikai vizsgálatok)
  - Roncsolásos (terhelés tönkremenetelig, alakváltozások rögzítése) .

# Roncsolásmentes módszerek

- Terhelés nélküli vizsgálatok

## Fotóoptikai vizsgálatok

- Gyorskeresés (Szükséges: Polarizált fény és polarizátor fólia);
- Üveg fajtájának meghatározása Float-HSG-ESG;
- Hibahelyek kimutatása pl. NiS;
- Alakos üvegek feszültséggyűjtő helyeinek keresése.

- Terhelés alatti vizsgálatok

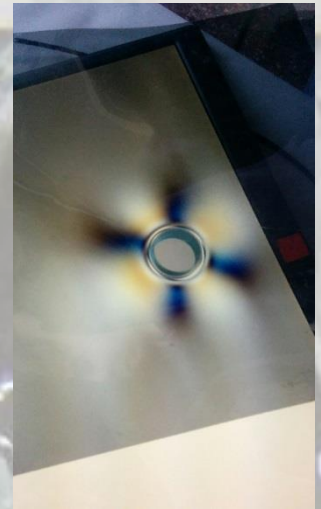
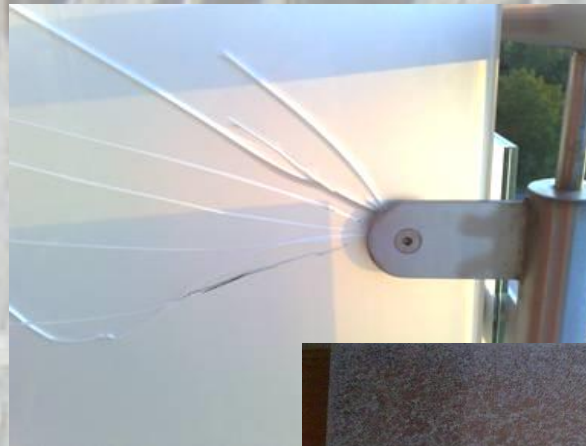
## Feszültség diagnosztika

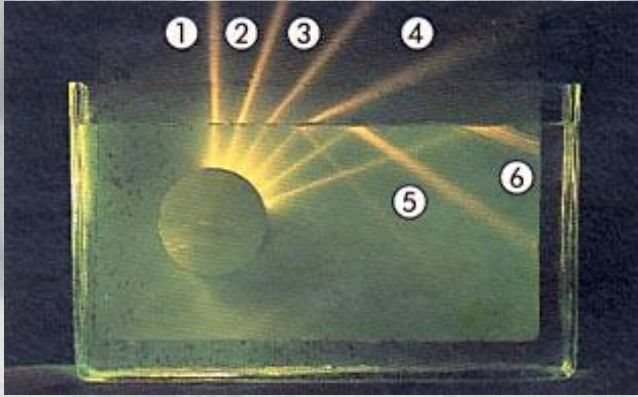
- Terhelő ill. mérőberendezéshez integrált fotóoptika;
- Nyúlásmérő bélyeges mérések;
- *Integrált száloptikai szenzorokkal ellátott üvegek (viszonylag új módszer, elmúlt 10 év fejlesztései).*

# Kvalitatív fotóoptika

Fotóoptika alkalmazása minőségellenőrzési célokból:

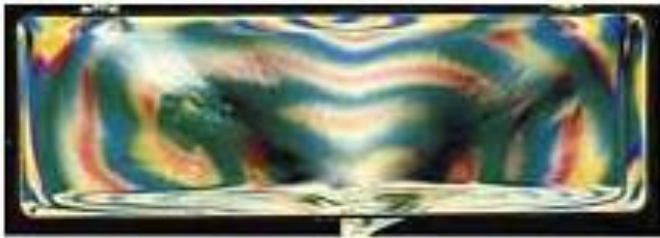
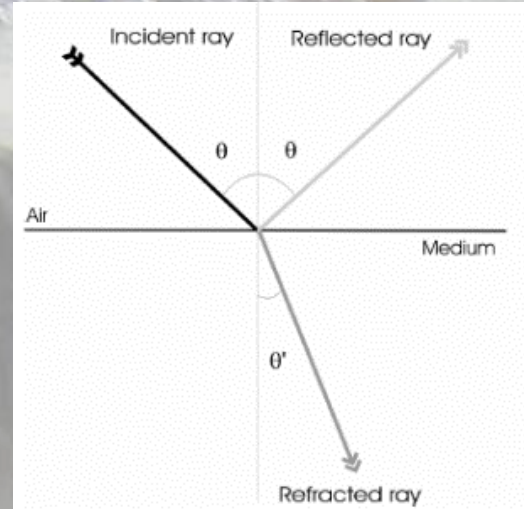
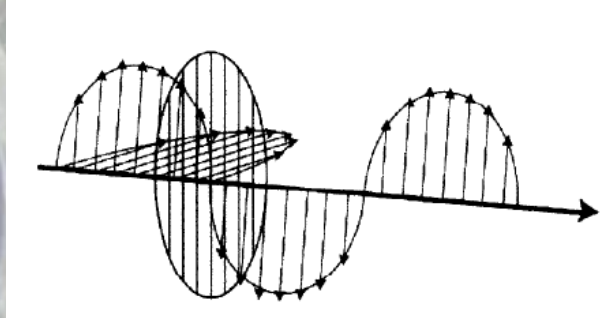
- Beépített üvegek típusának kvalitatív ellenőrzése;
- Eltérő sajátfeszültségi tartományok az üveg hőerősítési eljárását követően (leopárd foltok kimutatása -> üvegben lévő **anizotrópia**)
- Élmegmunkálásból származó esetleges hibák keresése;
- Nem megfelelő üvegek alkalmazásának kiküszöbölése.



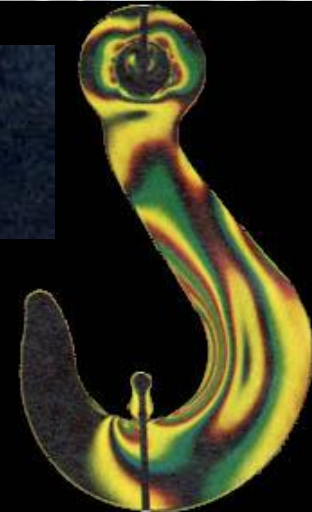


## A fény kettős törés:

Ha keresztezett polárszűrők közé kettősen törő anyagot (pl. egy plexilapot) helyezünk, és fehér fényel megvilágítjuk, színes interferenciaképet kapunk.

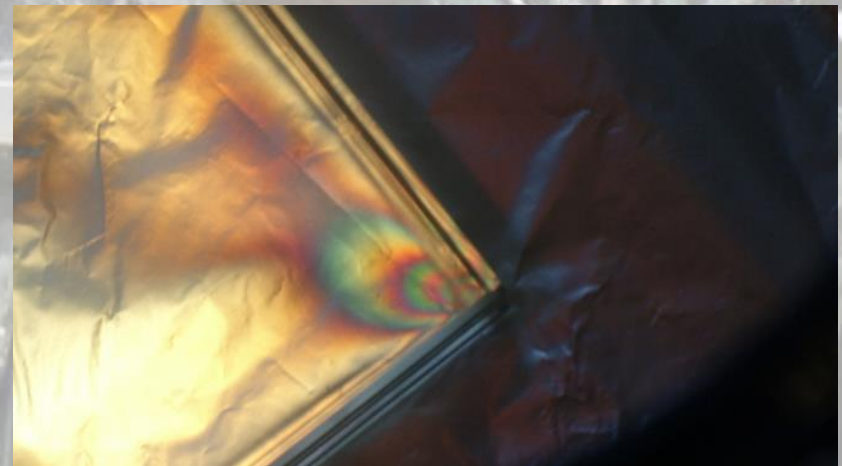


Cold flow produces non-homogenous material and weak spots.



## Az üvegben lévő feszültség függ:

- Az üveg típusától, alakjától, korától stb.;
- Az erő fajtájától (koncentrált, megoszló), nagyságától, időtartamától, terhelési sebességétől
- A megfogás/megtámasztás típusától
  - Pl. pontmegfogók számától, helyzetétől
    - kialakított lyuk méretétől, fajtájától, minőségétől
- Teherátadó anyag tulajdonságaitól, stb.



Insufficient  
Temper

Heat  
Strengthened

Fully  
Tempered



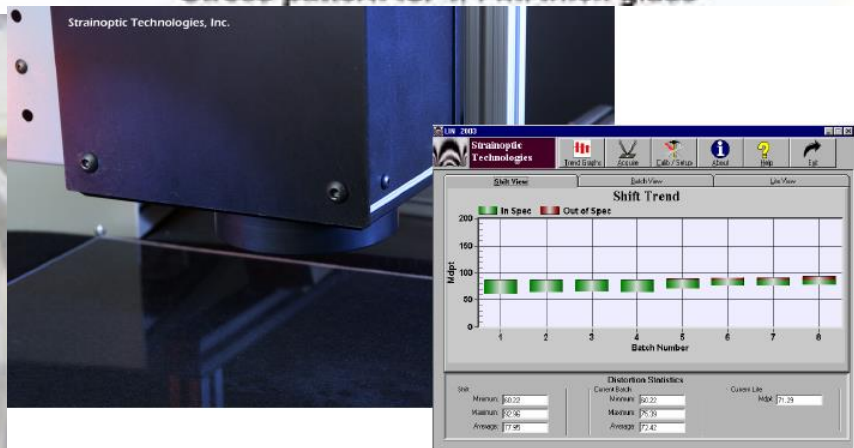
Stress pattern for 1/4 in. thick glass

Fotóoptika alkalmazása  
minőségellenőrzési célokból:  
- pl. Strainoptics fejlesztései



PSV-100 provides a color chart used for interpretation of stress patterns

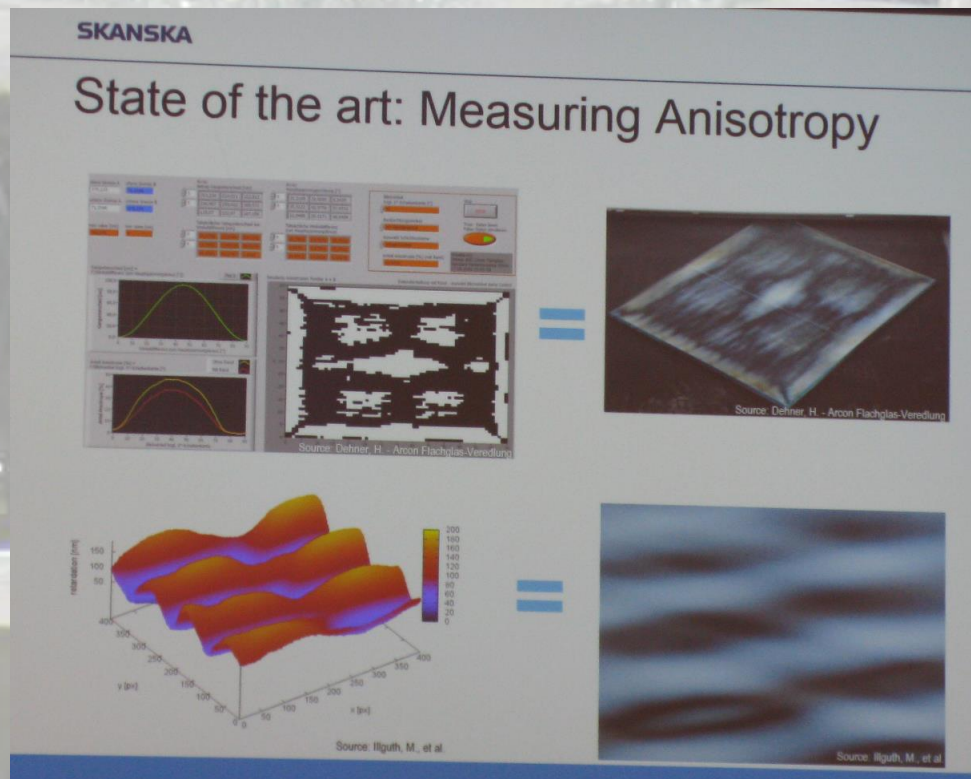
## Anizotrópia



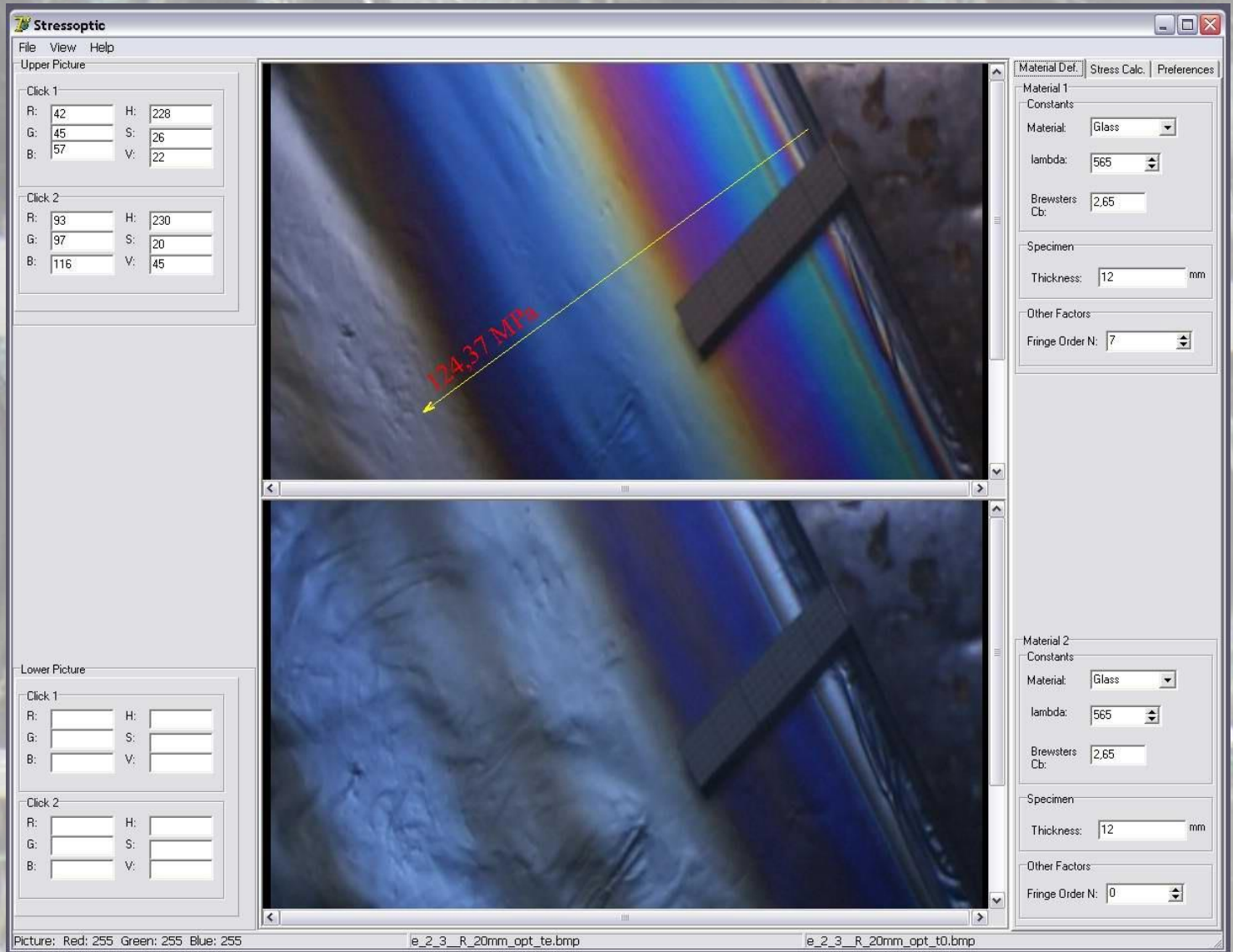
Uniform heat treating



Non-uniform heat treating



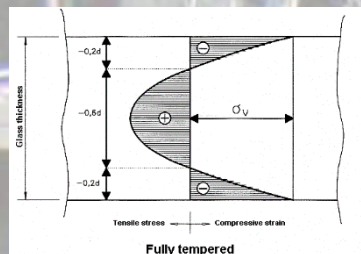
GPD 2015- S. Pasetto, Skanska UK



# Üveg szilárdsága

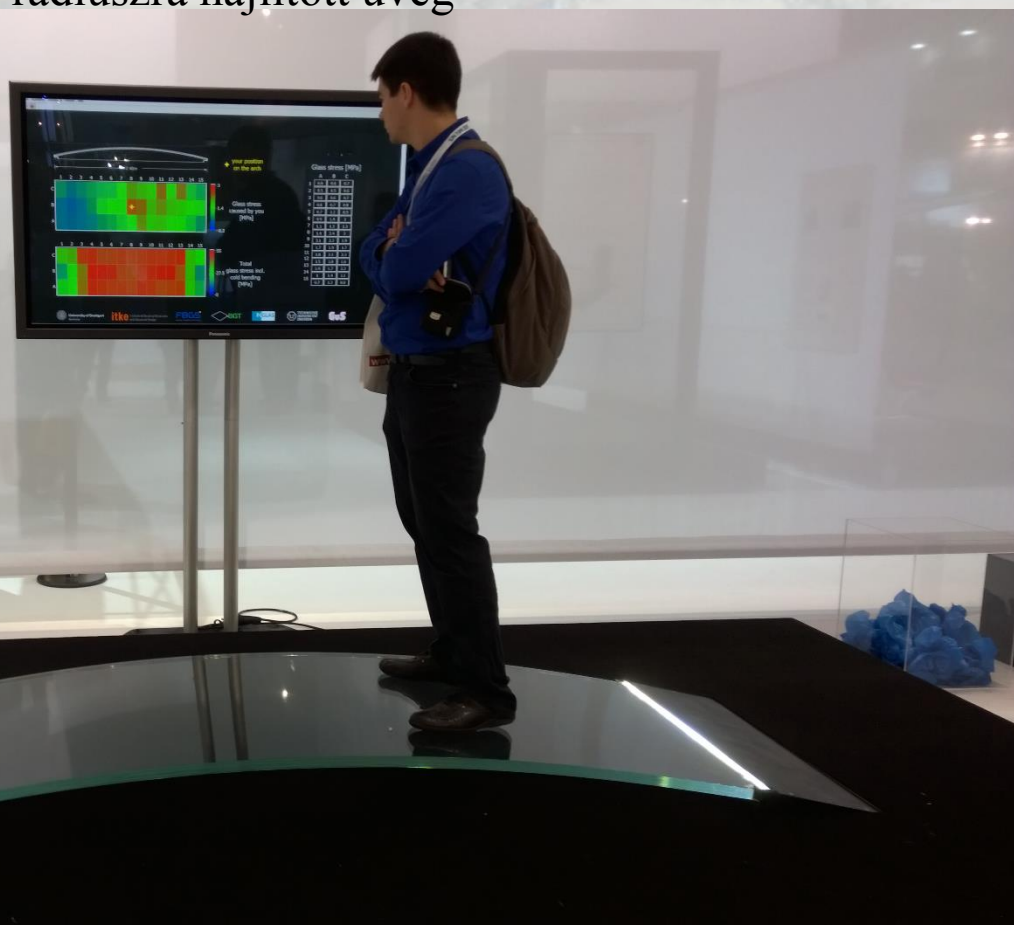
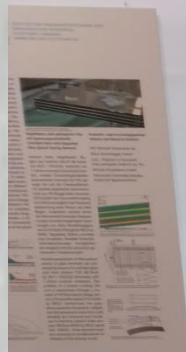
- Elméleti szilárdsága az SiO<sub>4</sub> tetraédernek: 10.000 MPa
- Az üveg elméleti húzószilárdsága: 7.000 MPa
- Float üveg 5%-os karakterisztikus húzó szilárdsága: 45 MPa

Üveg típus	Karakterisztikus húzó-hajító szilárdság $f_k$ (MPa)	Tervezési szilárdság (hajlító)		Tényező $K = \frac{f_{ui}}{f_{uv}}$
		Rövid idejű terhekre $f_{ui}$ (MPa)	Tartós terhekre $f_{uv}$ (MPa)	
ESG	120	50	50	1
HSG	70	35	20	1,75
FLOAT	45	20	10	2



# Integrált száloptikai szenzorokkal ellátott hidegen hajlított üveg

2.4 m hosszú 0.8 m széles és 5 m-es rádiuszra hajlított üveg



BGT Bischoff Glastechnik AG, Bretten  
FBGS Technologies GmbH, Jena  
GuS – Präzision in Kunststoff, Glas und  
Optik GmbH & Co. KG, Lübbecke  
INGLAS Produktions GmbH,  
Friedrichshafen  
Technische Universität Dresden

# Roncsolásos módszerek

- Terhelés alatti vizsgálatok: tönkremenetelig terhelt üvegek
  - Laboratóriumi mérések;
  - Helyszíni próbaterhelések.

## Feszültség diagnosztika

- Fotóoptika + Nyúlásmérő bélyeges mérések;
- *Integrált száloptikai szenzorokkal ellátott üvegek.*

# Alakváltások mérése

- Elmozdulások mérése
- Felület síkbeli alakváltásai (nyúlások, összenyomódások)
  - NYÚLÁSMÉRŐ BÉLYEGEK



# Üvegipari fejlesztések

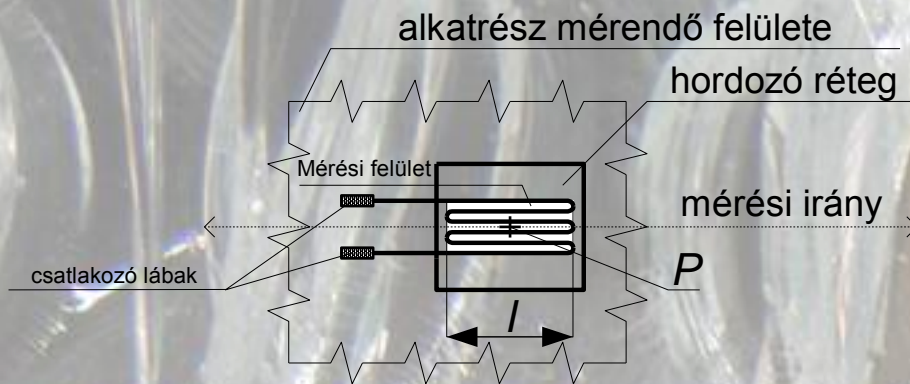


2016.11.16.



- A nyúlásmérésnél mind az x, mind az y irányokban tudjuk mérni a nyúlásokat
- A Hooke-törvény ismeretében ebből számítani lehet a feszültségeket.
- A feszültségi és az alakváltozási főirányok egybeesnek. Ha ezeket ismerjük, akkor ebben az irányban célszerű a nyúlásokat mérni  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ .
- A főfeszültségi értéket ezekből a nyúlásokból számoljuk a következőképpen (ld. Hooke-törvény):

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) \quad \sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2} (\nu\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \quad \sigma_3 = 0$$



- **Egy irányban mérő bélyegek;**
- **Több irányban mérő ún. rozetta bélyeggel.**

A bélyeg villamos vezetőjének ellenállása:

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad [\Omega]$$

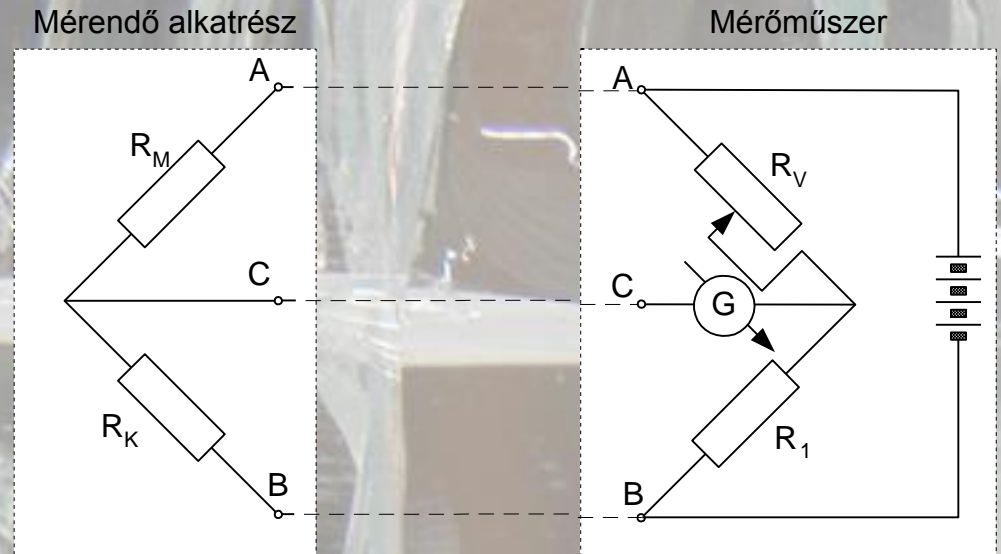
ahol  $l$  a vezető hossza [m]-ben,  $A$  a vezető keresztmetszete [ $\text{mm}^2$ ]-ben,  
 $\rho$  a vezető fajlagos ellenállása  $\left[ \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \right]$  mértékegységben.

$\Delta R$  Wheatston-híd bekötés kompenzációval

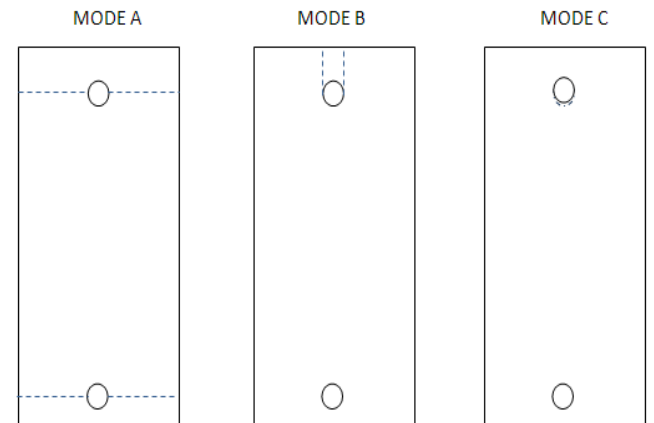
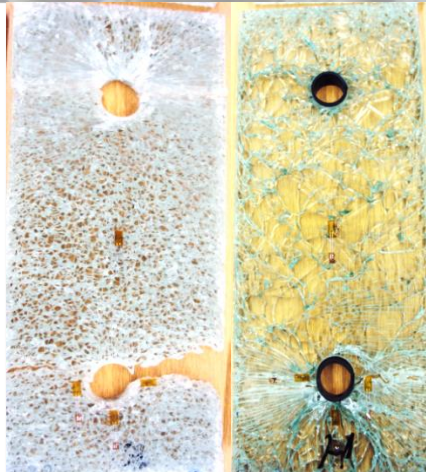
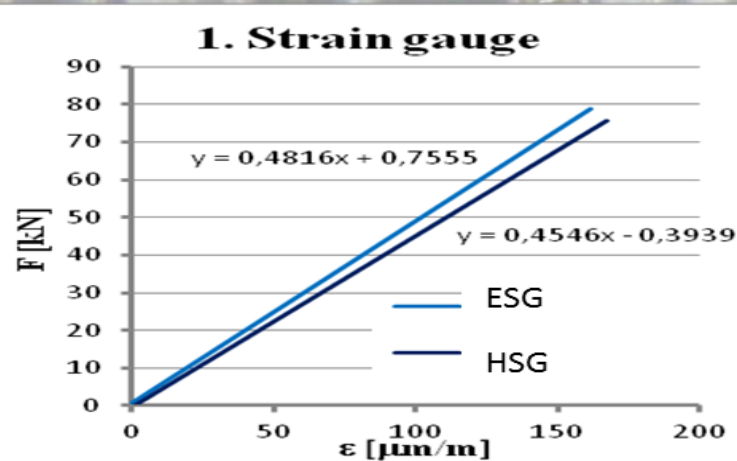
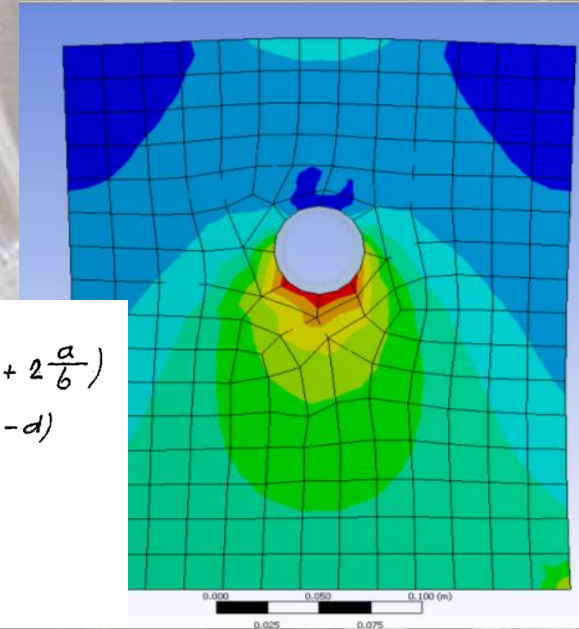
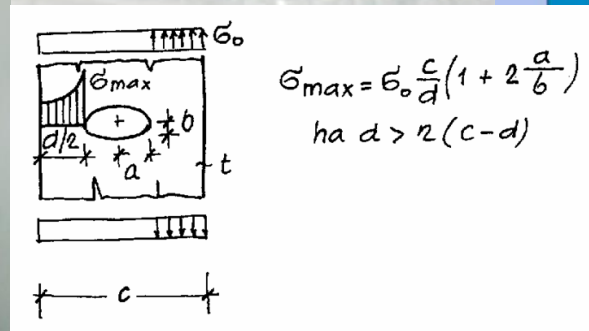
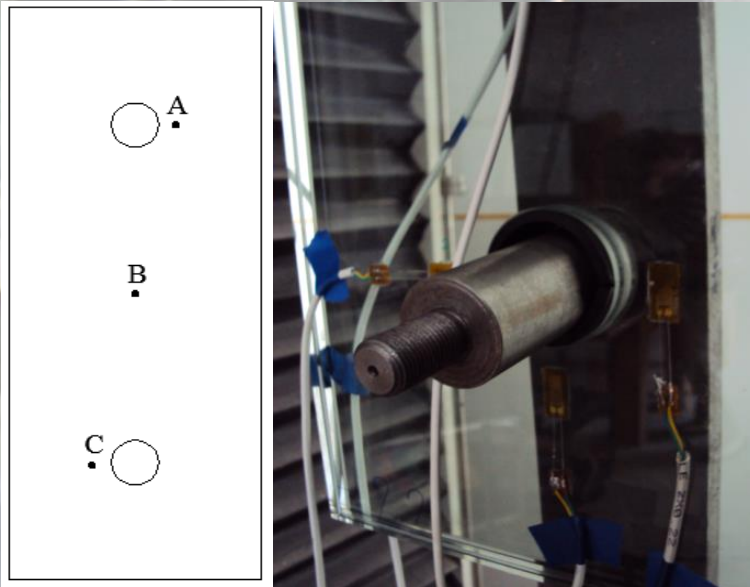
$$\frac{\Delta R}{R} = k_o \varepsilon$$

ahol  $k_o$  a bélyeg nyúlási tényezője, és  $k_o$  értéke 2 és 2,1 között szokott lenni.

A nyúlásmérő bélyeg villamos ellenállása acélok, üvegek méréséhez általában  $R=120 \quad \Omega$  nagyságú. A mérési hossz ( $l$  jelöli) a mérési céltól függően 0,3-100 mm; szokványos feladatoknál 1-3-5-7-10 mm értékűek.



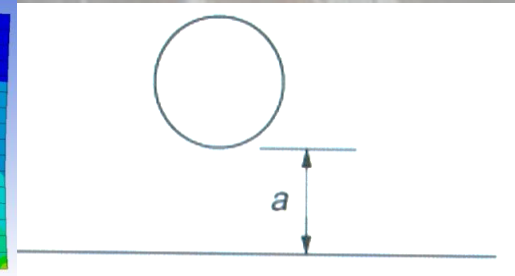
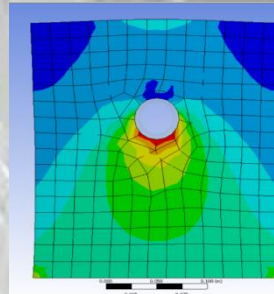
# Nyúlásmérő bélyegek alkalmazása - Furatlyukak környezetének alakváltozásai



# Furatlyukak elhelyezésének szabályai

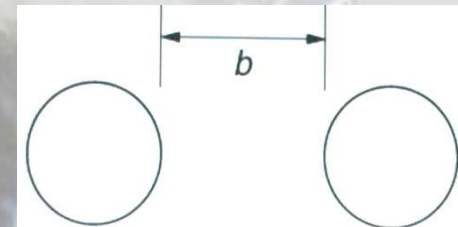
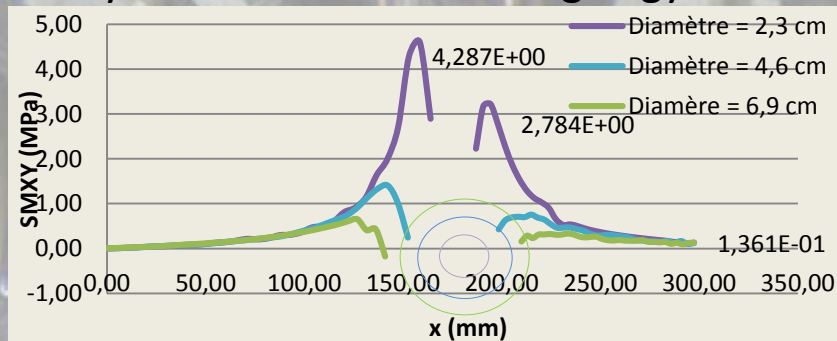
## MSZ EN 12150-1:2000 szerint

minimális távolsága az üveg élétől:

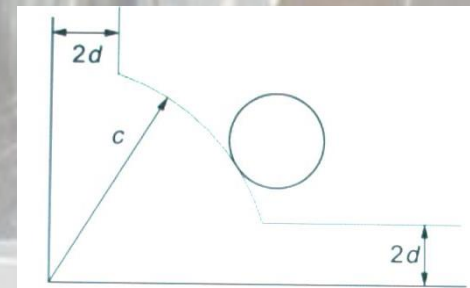


$$a \geq 2d$$

furatlyukak minimális távolsága egymástól:



$$b > 2d$$

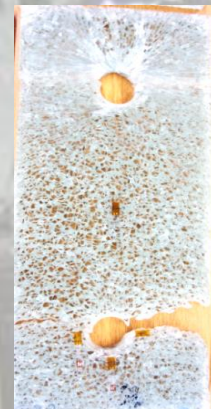


$$c \geq 6d$$

furatlyukak minimális távolsága a sarkoktól:

furatlyuk mérettűrése  $20 < d \leq 100$  mm esetén:  $\pm 2$  mm (MSZ EN 12150-1:2000)

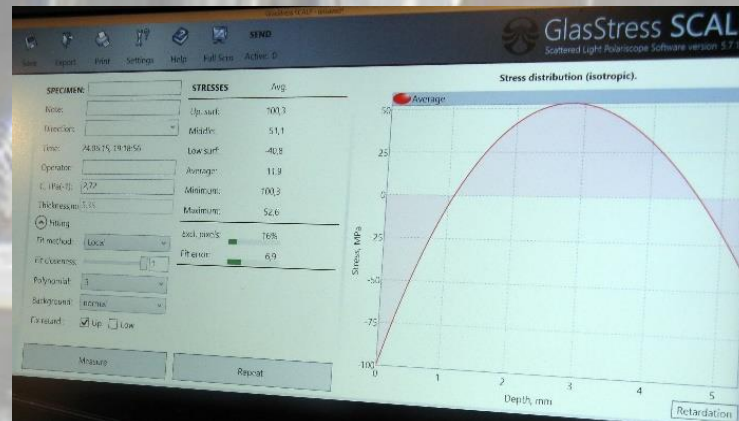
*Megjegyzés: a korábbi TRPV és TRAV német irányelv az MSZ EN 12150-1:2000 szabványhoz képest szigorúbban rendelkezik.*



# Emlékeztető: Mérőeszközök bemutatója a GPD 2015-nél Feszültségmérés az üvegben



- Softeco finn cég - az Ayrox nevű belga céggel közösen pl. lézertény segítségével az üveg feszültségi trajektóriáinak kimutatására alkalmas eszközt és elemző programot mutattak be.
- GlasStress Kft. észtországi cég Polariscope AP mérőműszerét öblösüvegek feszültségmérésére fejlesztette.



*Üvegek vastagság menti feszültség eloszlásának mérésére alkalmas SCALP-04 készülék és software*

# Referenciák

- ❑ <https://mobile.gpd.fi/>
- ❑ **Jakab, Andras – Nehme, Kinga– Nehme, Salem Georges: Beszámoló a finnországi GPD2015 nemzetközi üveg konferenciáról**, Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 67, No. 3 (2015), 102–109. p.  
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2015.17>
- ❑ **Nehme, K. – Jakab, A. – Nehme, S. G. (2015): Impact behaviour of glass balustrades.** *Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings* ISBN: 978-9525836-03-5, pp. 350-355.
- ❑ **Jakab, A. – Nehme, K. – Nehme, S. G. (2015): Laboratory Experiments of Centrally Loaded Glass Columns.** *Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings* ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 117-121.
- ❑ **Jakab, Andras – Nehme, Kinga – Molnár, Peter – Nehme, Salem Georges: Beszámoló a 2014. évi düsseldorfi Glasstec kiállításról**, Építőanyag – Journal of Silicate Based and Composite Materials, Vol. 66, No. 4 (2014), 131–135. p.  
<http://dx.doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2014.24>
- ❑ **Teixidor C.: Free form glass braced structures.** *Laverstoke Mill glasshouses*, Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 101-103.
- ❑ **Sastré H.: Welding of thermoplastic interlayer - wider and combined interlayer** Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 156-162.
- ❑ **Pasetto, S.: Anisotropy as a defect in U.K. architectural float heat-treated glass** Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 402-405.
- ❑ **Mognato, E. - Schiavonato, M. - Pittoni, M.: Chemically Strengthened Glass: correlation between Surface Compression, Potassium Profile, Mechanical Strength and production parameters**, Glass Performance Days 2015 Conference Proceedings ISBN: 978-9525836-03-5 pp. 411-415.



**JAKAB András**

BME

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

*PhD hallgató*

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

06 20 587 17 58



Köszönjük a  
megtisztelő  
figyelmet!

**Dr. NEHME Kinga Ph.D.**  
(szül.: Pankhardt Kinga)

Debreceni Egyetem

Műszaki Kar, Építőmérnöki tanszék

*egyetemi docens*

kpankhardt@yahoo.com

STRUKTÚRA KFT.

06 30 444 88 75