



Korszerű üvegszerkezetek építészeti, anyagtani és tartószerkezeti ismeretei mérnököknek

Dr. Horváth László
egyetemi docens



Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
Hidak és Szerkezetek Tanszék

Tartalom

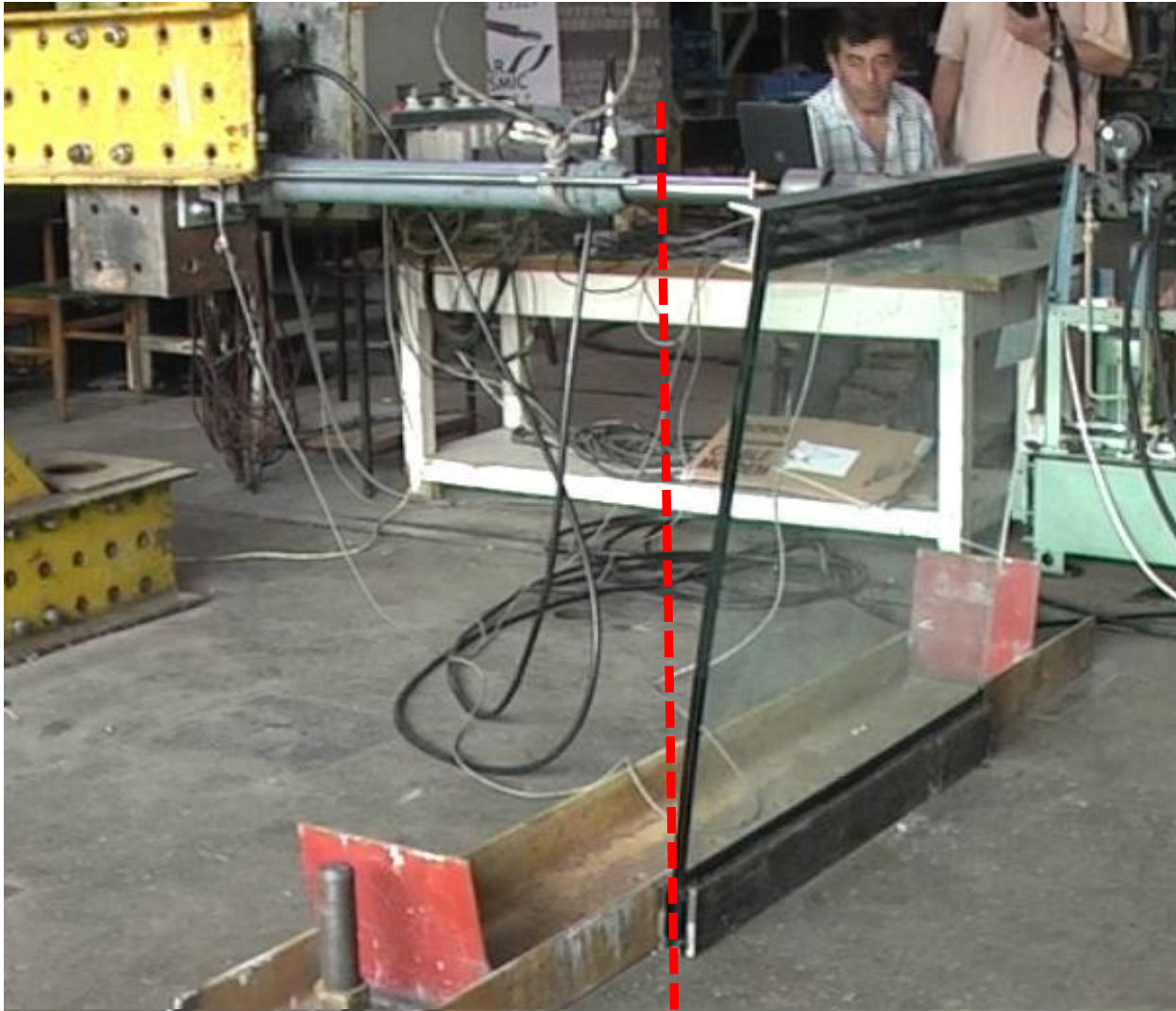
- Üveg mechanikai tulajdonságai, számításba vehető jellemzők
- Szabályzatok, méretezés alapelvei
- Terhek, hatások – általában
- Különböző üvegszerkezetek méretezési sajátosságai
 - Éleik mentén megtámasztott síküvegek méretezése
 - Kizuhanást gátló üvegezések
 - Éleik mentén terhelt üveg tartószerkezetek
 - Járható üvegszerkezetek kialakítása, méretezése
 - Pontmegfogások

Üvegből készült tartószerkezetek



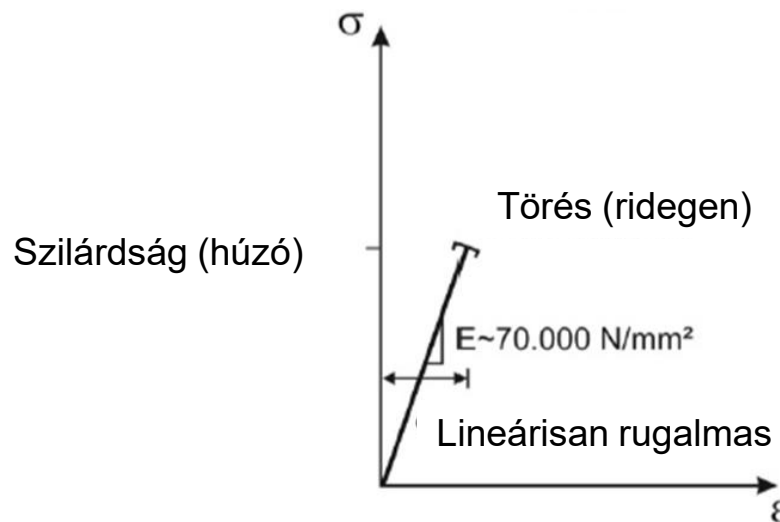
3/94

Üveg tulajdonságai



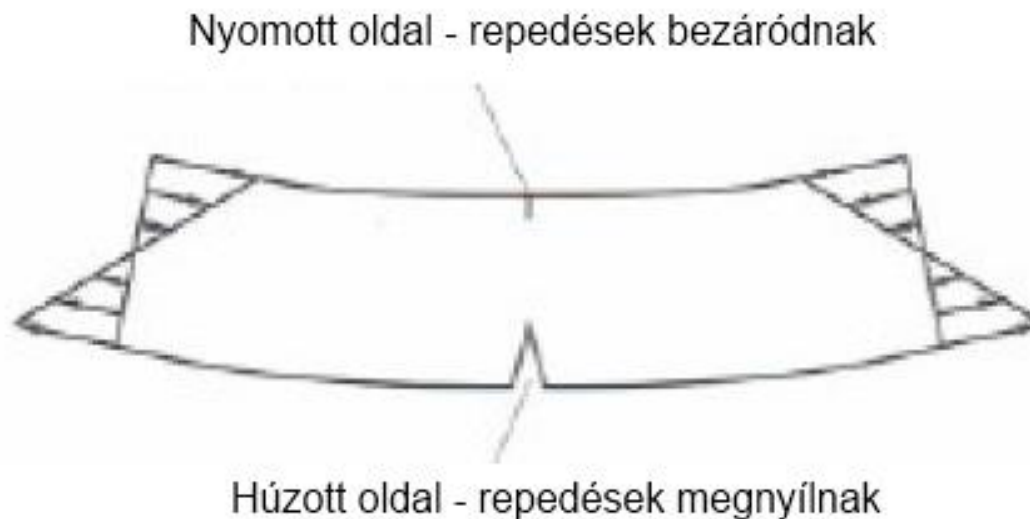
Üveg tulajdonságai

- Önmagában rendkívül rideg
 - Karcolás-érzékeny, ütés-érzékeny
 - Előjelzés nélkül törik
 - Nem képes képlékeny alakváltozásokra, nem építi le a feszültségcsúcsokat – lyukak körül – pontmegfogás!
- Lineárisan rugalmasan viselkedik a törésig



Üveg törési folyamata

- Mindkét oldalon mikrorepedések
- Hajlításból húzott oldal – nyomott oldal
- Húzott oldalon a mikrorepedésekből – repedés lesz
- Repedésmegnyílás, keresztmetszetcsökkenés, törés



Üvegek fajtái

megnevezés	angol megnevezés	német megnevezés
úsztatott (float) üveg	float glass, annealed glass ANG	Floatglas
hőkezelt üveg (előfeszített üveg)	heat strenghtened glass HSG	teilvergespanntes Glas TVG
edzett üveg, (biztonsági üveg)	fully tempered glass FTG thermally toughened glass TTG	Einscheibensicher- heitsglass ESG

Speciális üvegfajták

- Kémiai úton kezelt (előfeszített) üveg ChVG
- Tesztelt edzett üveg ESG-H (Heat-Soak teszt a nikkelszulfid ellen)

Üvegfajták tulajdonságai

Úsztatott üveg

- Hajlító-húzó szilárdsága alacsony
- Ütésre csak az ütés környezetében törik
- Viszonylag nagy darabokra

úsztatott



törésképek

Edzett és hőkezelt üvegek

- Hőkezeléssel felületi nyomófeszültséget visznek be - húzási teherbírása nagyobb
- Apró darabokra törik
- Hőkezelés után SEMMILYEN megmunkálás (fúrás, vágás) nem lehetséges !!!

Hőkezelt
TVG



Edzett
ESG



94

Többrétegű (laminált, VSG) üvegek

- Üveglemezek, közöttük lamináló anyag (PVB, EVA fóliák vagy műgyanta)
- Kedvezőbb viselkedés, nagyobb teherbírás az együttdolgozás révén
- DE: együttdolgozásukat a
 - Lamináló réteg nyírószilárdsága
 - Üveg és lamináló rétegek méretviszonyai
 - Hőmérséklet
 - Terhelési sebesség jelentősen befolyásolják!
- Együttdolgozás figyelembevehetőségét a szabályzatok korlátozzák.

Többrétegű (laminált, VSG) üvegek:

- Méretezéshez visszavezetjük monolit (egyrétegű) üvegre



- Vagy alakváltozások, vagy feszültségek egyenértékűsége alapján
- Többféle képlet (Wölfel-Benissou, EET)
- Számos kutatás tárgya

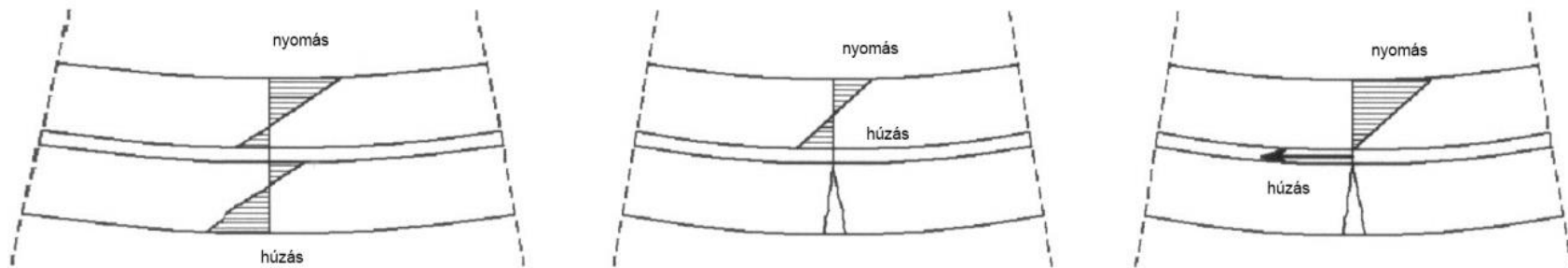
Törés utáni viselkedés, maradó teherbírás



11/94

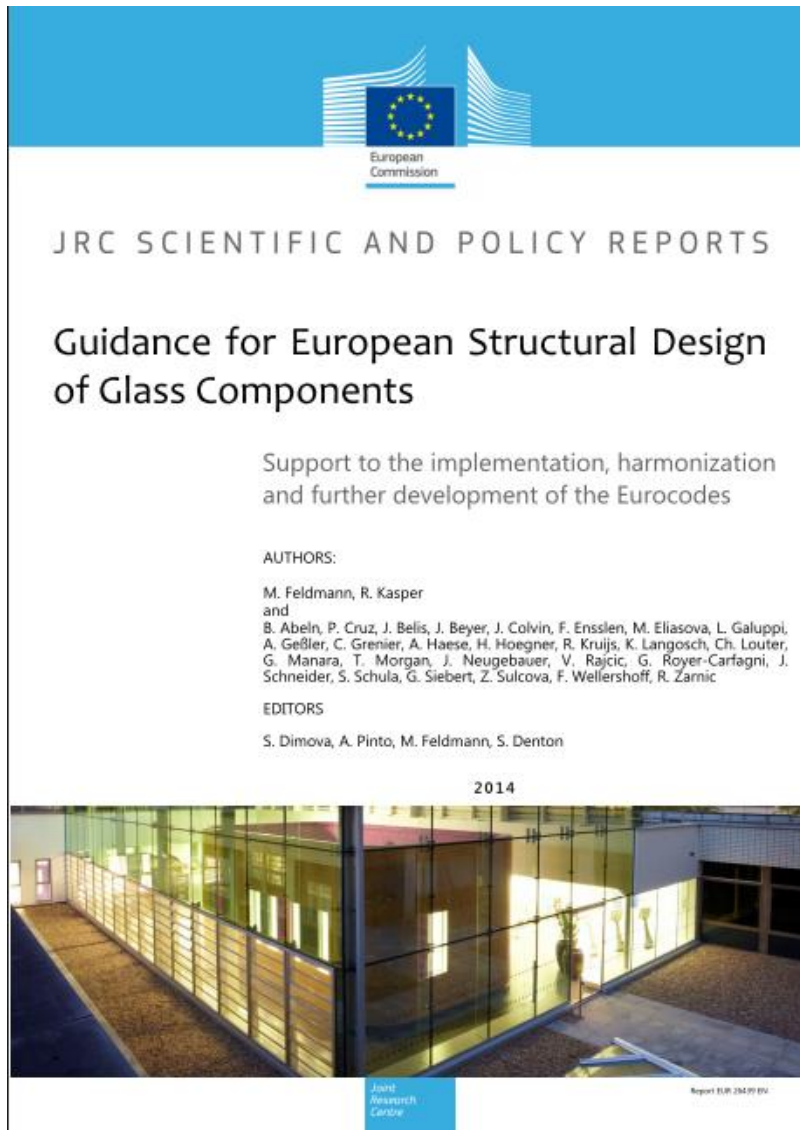
Törés utáni viselkedés, maradó teherbírás

- Egyrétegű üvegeknél a töréskép alapján értékelve
- A legkedvezőtlenebb az edzett üveg – **fejfeletti üvegezésnél nem lehet alsó rétegben!**
- Rétegezt üveg kedvezőbb az egyrétegűnél



- Megkövetelt időt a hatóságokkal egyeztetve írják elő
- Igazolása kísérleti úton történik

Teherbírásra méretezés :Eurocode – a jövő !



- NINCS érvényes Eurocode
- Előkészítő kutatás kiadványa 2014
- Összehasonlítja a létező nemzeti előírásokat
- Ajánlásokat fogalmaz meg az EN számára
- Ingyenesen letölthető

Méretezés – korszerű, számítással

- Nincs EC, tehát nemzeti előírások vannak
- Német szabványok:
 - DIN 18008-1:2010 Fogalmak és általános szabályok
 - DIN 18008-2:2010 Vonalmentén megtámasztott üvegezés (TRLV)
 - DIN 18008-3:2013 Pontmegfogású üvegezések (TRPV)
 - DIN 18008-4:2013 Kizuhanás elleni üvegezések (TRAV)
 - DIN 18008-5:2013 Járható üvegfelületek
 - További kötetek előkészületben
- Hasonló osztrák szabványok is kiadásra kerültek

Magyar előírás



- „Üvegszerkezetek tervezése Műszaki Szabályzat és mintapéldák”
- nem szabvány, MMK (továbbiakban TSZ-ként hivatkozom rá)
- Az előző oldalon felsorolt szabályzatokból került összeállításra 2012-ben
- Méretezési elvek
- táblázatok
- Nagyon sok konstrukciós szabályt tartalmaz!

Terhek és hatások - általában

- Az Eurocode 1 alapján (MSZ EN 1991- sorozat)
- Önsúly és állandó terhek
- Hasznos terhek – járható felületeken
- Meteorológiai terhek
 - Hó és szélterhek
 - Hőmérsékletváltozás
 - Hőszigetelő üvegezésnél klimatikus terhek
- Rendkívüli és speciális terhek
 - Ütközési terhek – szaladó ember, rázuhanó tárgy
 - Maradó teherbírás (fejfeletti üvegezések, járható felületek)
 - Földrengés, tűzhatás

Méretezési alapelvek

- Terhek és kombinálásuk módja – általában EC teherkombinációk ULS és SLS
- Terhek és intenzitásuk - szerkezettípusonként eltérő speciális hatásokat kell tekintetbe venni
- Szerkezeti analízis (igénybevételek és alakváltozások számítása) rugalmas elven,
 - egyszerűbb esetekben táblázattal, kézzel
 - általában vége-selemes modellen
- Teherbírasi méretezésnél cél a feszültségek megállapítása, húzó (fő)feszültségek ellenőrzése
- Alakváltozási ellenőrzés mindig kell!

Üveg mechanikai tulajdonságai

- Rugalmassági modulus $70\,000$ ($60\,000$) MPa
(zárójelben a boroszilikát üveg)
- Poisson-tényező $0,23$ ($0,20$)
- Hőtágulási együttható $9 \cdot 10^{-6}$ $1/K$ ($6 \cdot 10^{-6}$)
- Nyomószilárdsága $500-800$ MPa
- Húzószilárdsága
 - Elméleti értéke mint nyomószilárdságé
 - DE ennél nagyságrendekkel kisebb a valós érték!
 - Függ az üvegfajtától
 - A teherbírást alapvetően ez befolyásolja

Üveg ellenállásának megállapítása

- A terheket tartósságuk szerint besoroljuk
- Tervezési (határ) feszültséget ezek szerint csökkentjük
- TSZ és DIN 18008 ezt az elvet követi

Hatás	hatás osztályozása időtartamtól függően
állandó terhek	tartós
szélterhek	rövid
hóterhek	közepes
Klimatikus hatások	
- magasságkülönbség hatása ΔH	tartós (állandó tehernek tekintendő!)
- hőmérsékletkülönbség hatása ΔT	közepes
- légnyomás változása Δp_{met}	közepes

Üveg méretezéshez használható szilárdsági értékek

	felületi nyomófeszültség átlagértéke [MPa]	hajlító- húzószilárdság karakterisztikus értéke [MPa]	gyártási vastagság [mm]
úsztatott üveg	-	45	2 – 20 mm
hőkezelt üveg	35 – 55	70	4 – 12 mm
edzett üveg	100 – 150	120	4 – 19 mm

DE:

- Gyártói adatszolgáltatásra tekintettel kell lenni!
- Felületi megmunkálás csökkentheti ezeket az értékeket! (pl. emailírozás)

20/94

Ellenállás számítása – tervezési feszültség R_d

	hőkezelés nélküli üveg	hőkezelt és edzett üveg
ellenállás R_d	$R_d = \frac{k_{mod} * k_c * f_k}{\gamma_M}$	$R_d = \frac{k_c \cdot f_k}{\gamma_M}$
szerkezeti tényező	$k_c = 1,0^*$	$k_c = 1,0$
biztonsági tényező	$\gamma_M = 1,8$	$\gamma_M = 1,5$
a terhelés időtartamától függő tényező	$k_{mod,tartós} = 0,25$ $k_{mod,közepes} = 0,40$ $k_{mod,rövid} = 0,70$	A repedés nem növekszik, ezért nincs!

* $k_c = 1,8$ hőkezelés nélküli üvegek vonalmenti megtámasztással

Vonalszerűen megtámasztott üvegek méretezése

- Sík üvegtáblák
- Leggyakoribb: ablakok, üvegfalak, tetők
- Elrendezés az irányhoz mért hajlás alapján
 - Vízszintes üvegezés: hajlás $< 10^\circ$ (DIN); 15° (TSZ)
 - Függőleges üvegezés: hajlás $> 10^\circ$ (DIN); 15° (TSZ)
- Alakváltozások korlátozása:
 - Alátámasztó szerkezetek max. $l/200$
 - Üvegtáblák általában max $l/100$;
 - de függőleges üvegezéseknél nincs korlátozás, ha a terhelés után is marad legalább 5 mm üveg-felfekvés

Terhek és hatások

- Az Eurocode 1 alapján (MSZ EN 1991- sorozat)
- Önsúly ($\rho=25 \text{ kN/m}^3$) és állandó terhek
- Hasznos terhek – vízszintes üvegezésnél tisztító személyzet (hóteherrel nem egyidejű)

Terhek és hatások

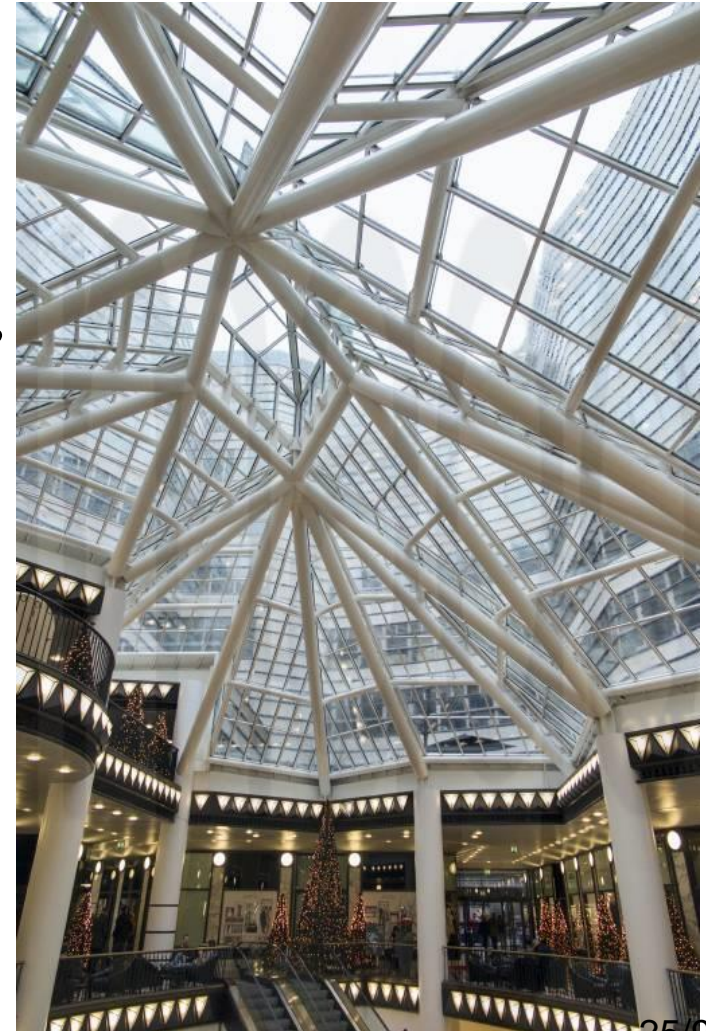
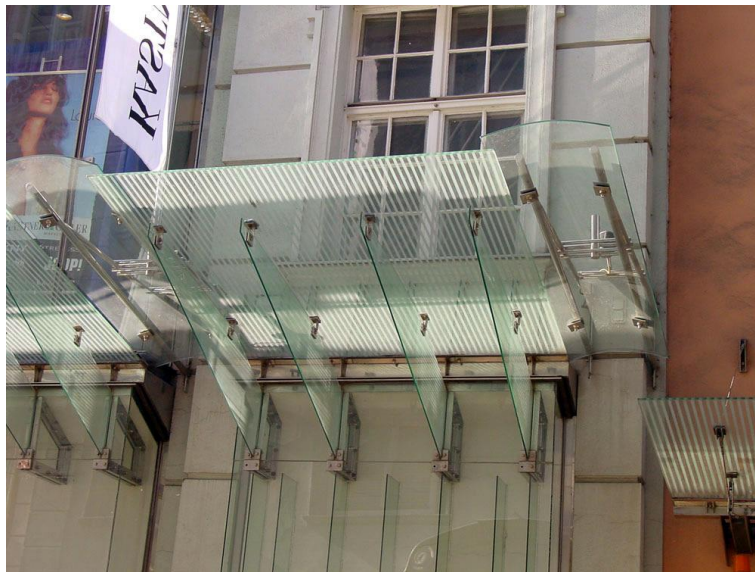
- Meteorológiai terhek
 - Hó
 - csak vízszintes üvegezésnél,
 - de: hófelhalmozódás, szomszédos tetőfelületről lecsúszó hó !



24/94

Terhek és hatások

- Meteorológiai terhek
 - Hó
 - Szélterhek
 - Figyelemmel a szélszívásra, aláfújásra, emelő hatásra
 - függőleges üvegezésre ez a mértékadó



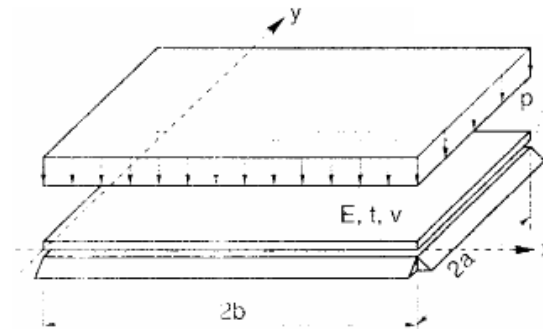
25/94

Terhek és hatások

- Meteorológiai terhek
 - Hó
 - Szélterhek
 - Hőmérsékletváltozás (hőmozgást tegyük lehetővé)
 - Hőszigetelő üvegezésnél klimatikus terhek
- Rendkívüli állapotok
 - Rendkívüli hóteher vízszintes üvegezésnél
 - Maradó teherbírás fejeletti üvegezésnél
 - Hőszigetelő vízszintes üvegezésnél a felső üvegréteg betörött

Vonalszerűen megtámasztott üvegek méretezése

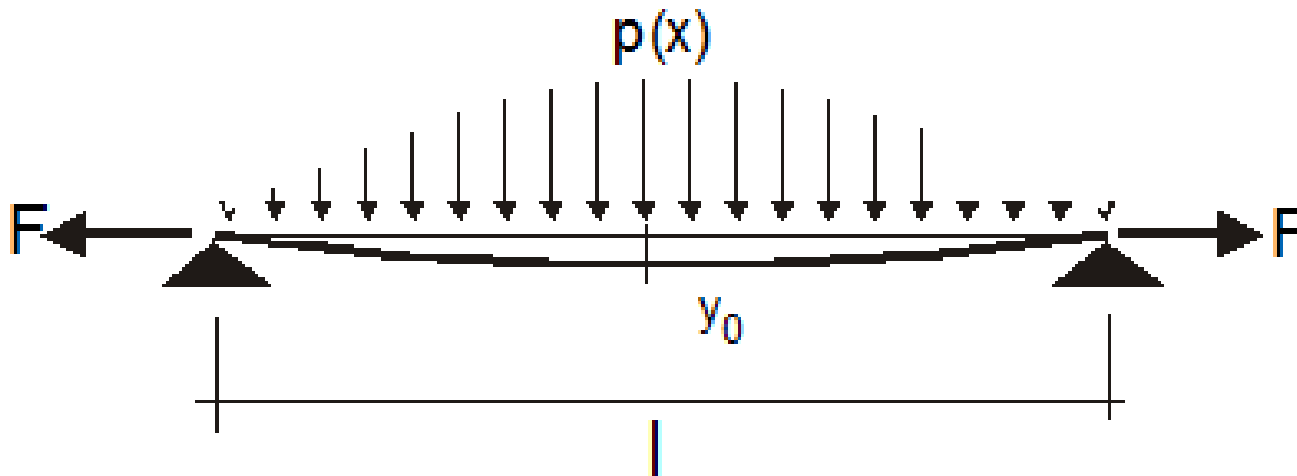
- Saját síkjukra merőlegesen terhelt lemezek
- Éleik mentén megtámasztva, általában 4 ritkábban 2 élen
- Rugalmas lemezelmélet
- Lineáris számítás



- „Bevált megoldások” a szabályzatokban, méretezés nélkül alkalmazhatóak
- Táblázatokkal: csak négyszögletű geometriára
- Végeselemes analízis tetszőleges geometriára alkalmas, de időigényesebb

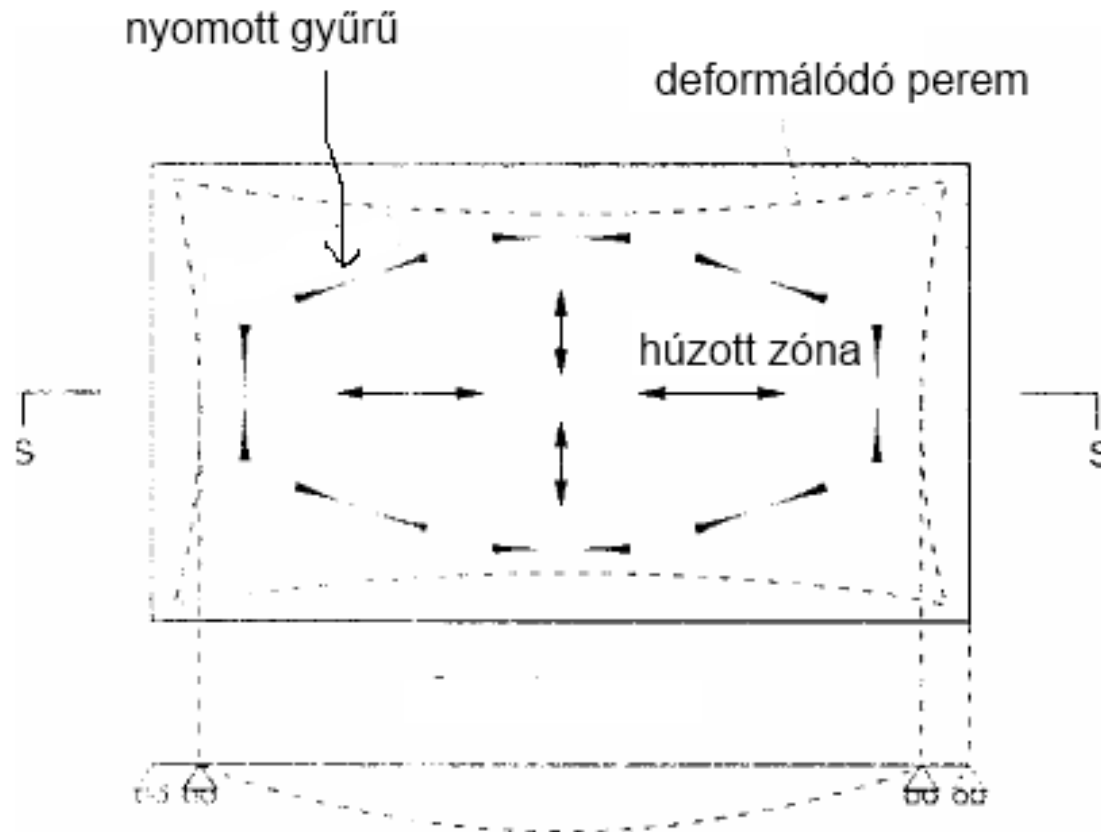
Vonalszerűen megtámasztott üvegek méretezése

- A valóságban nagyok az alakváltozások, a lemeztvastagságot meghaladó mértékűek – geometriai nemlinearitás
- Nagy alakváltozások \rightarrow membránhatás



Vonalszerűen megtámasztott üvegek méretezése

- Erőjáték átalakul



Vonalszerűen megtámasztott üvegek méretezése

- Lemez + membránhatás számításba vételével: kisebb feszültségek és alakváltozások
- A legnagyobb feszültségek sem a legnagyobb lehajlásoknál alakulnak ki
- Számítása
 - Közelítésképpen erre alkalmas táblázatokkal
 - Végeselemes modellen, imperfekt másodrendű számítással

Vonalszerűen megtámasztott üvegek méretezése

- Egyrétegű üvegezéskor – max. húzó főfeszültség és alakváltozás ellenőrzése
- Többrétegű, laminált üvegeknel: együttdolgozás számításba vehetősége nagyon vitatott!
- Konzervatív: egyáltalán nem : DIN 18008.
- Mérsékelt megközelítés:
 - Teherbírási határállapotban együttdolgozás nélkül
 - Használhatósági határállapotban az együttdolgozás hatását figyelembe vehetjük -> visszavezetjük egyrétegű lemezre
- Progresszív: korlátozott figyelembevétel mind teherbírási mind használhatósági állapotban – ÖNORM 134/94

Vonalszerűen megtámasztott üvegek méretezése

TSZ együttműködés figyelembe vétele laminált üvegnél:

- Csak függőleges (kitöltő) üvegezéseknél vehető figyelembe
- Csak korlátozásokkal
- Mind teherbírási, mind használhatósági állapotban
- Ütésszerű terhelésre teljes együttműködés (tömör lemezként számítható)

Hőszigetelő üvegezések

Hőszigetelő üvegezés:
két üvegréteg,
közötte kitöltő gáz



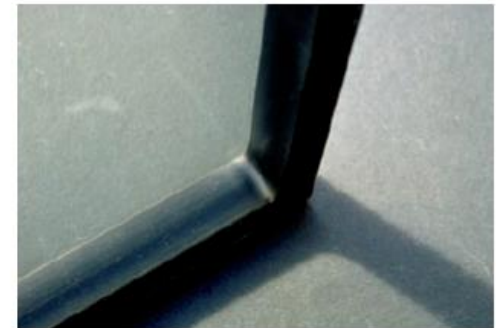
15



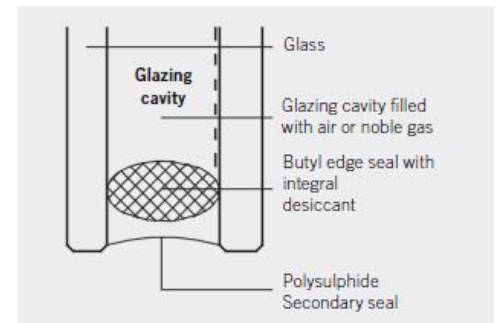
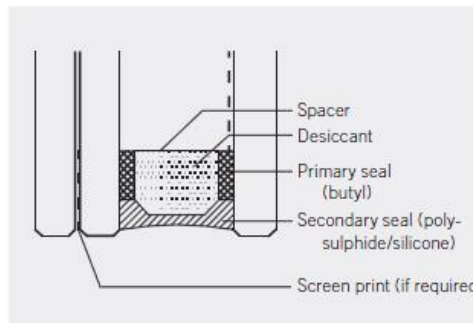
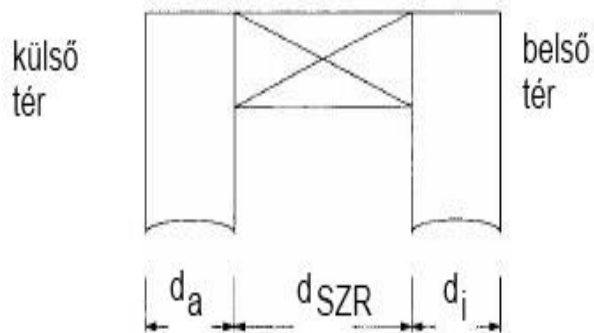
18



16



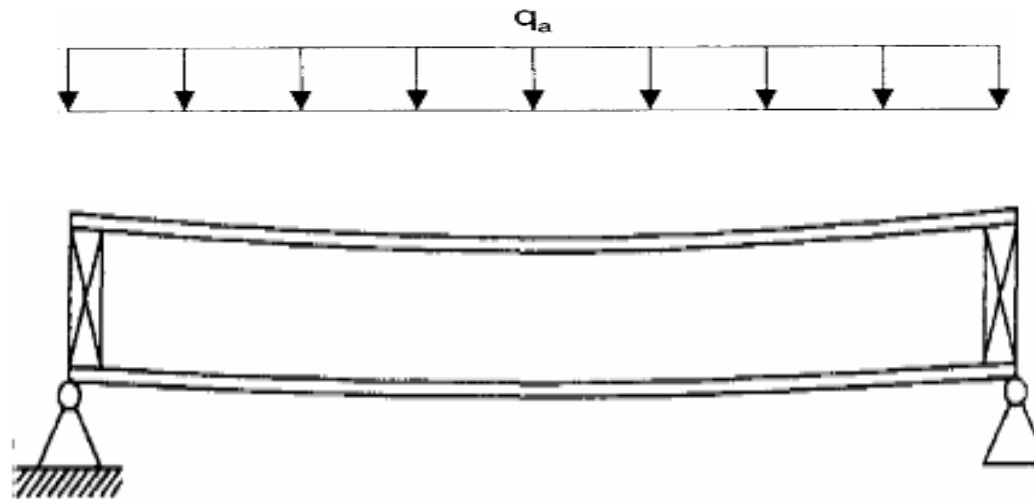
19



33/94

Hőszigetelő üvegek méretezési specialitásai

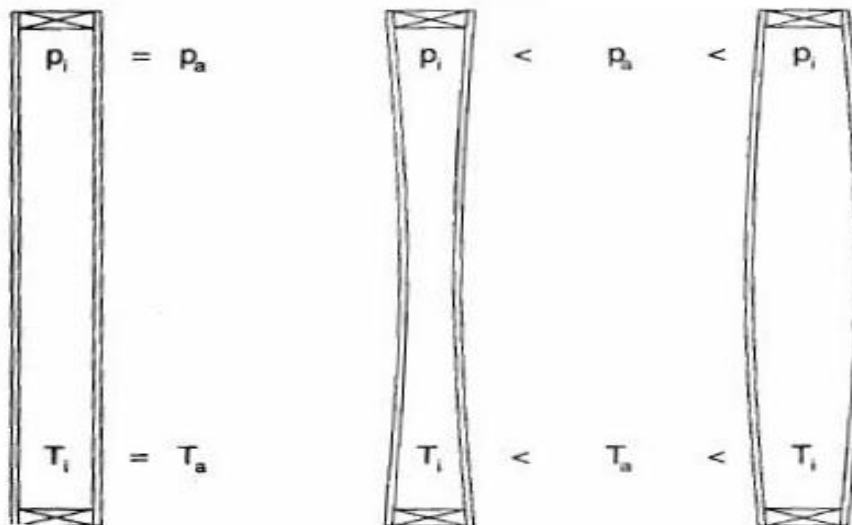
1. Speciális viselkedés hó- és szélteherre: a csak egy oldalról terhelt hőszigetelő üvegnél a másik tábla is terhet kap – a külső rétegre kedvező teherelosztó hatás



Hőszigetelő üvegek méretezése

2., Speciális teher: nyomásváltozás a közbezárt gáz térfogat-változásának következtében, aminek okai:

- Hőmérsékletváltozás
- Magasságkülönbség a gyártási és beépítési hely között
- Külső légnyomás változása



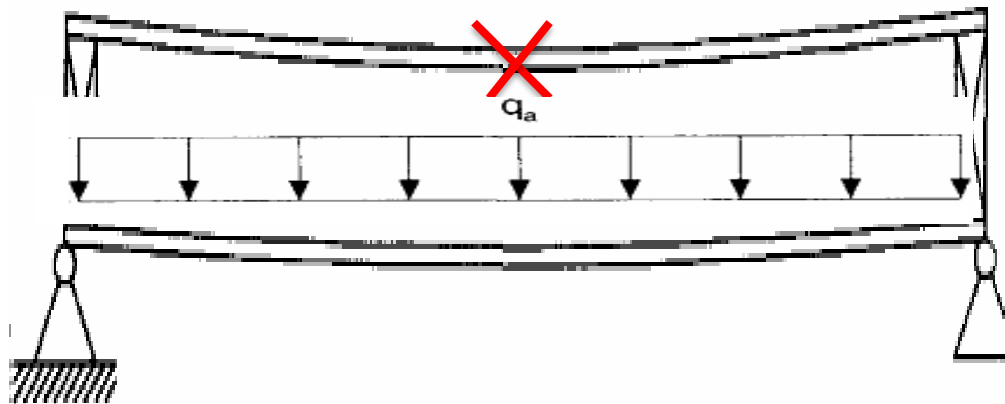
Hőszigetelő üvegek méretezése

- Az előző hatásokból számítható izochor nyomást a határoló üveglemezek hajlékonysága lecsökkenti
- Nagyméretű üvegtábláknál ezért várhatóan nem mértékadó
- Kisméretűeknél viszont veszélyes, tehát számolni kell vele
- Részletes számítási metódus:
 - TSZ
 - vagy Feldmeier, F.: Klimabelastung und Lastverteilung bei Mehrscheibenisoliervglas. Stahlbau 75 (2006) 6 szám, 467–478 oldal

Hőszigetelő üvegek méretezése

3., Rendkívüli állapot vizsgálata:

vízszintes üvegezésnél a felső üvegréteg betörött, csak az alsó viseli a terhet (maradó teherbírás követelménye)



Vonalmentén megtámasztott egyszerű és hőszigetelő üvegek méretezése

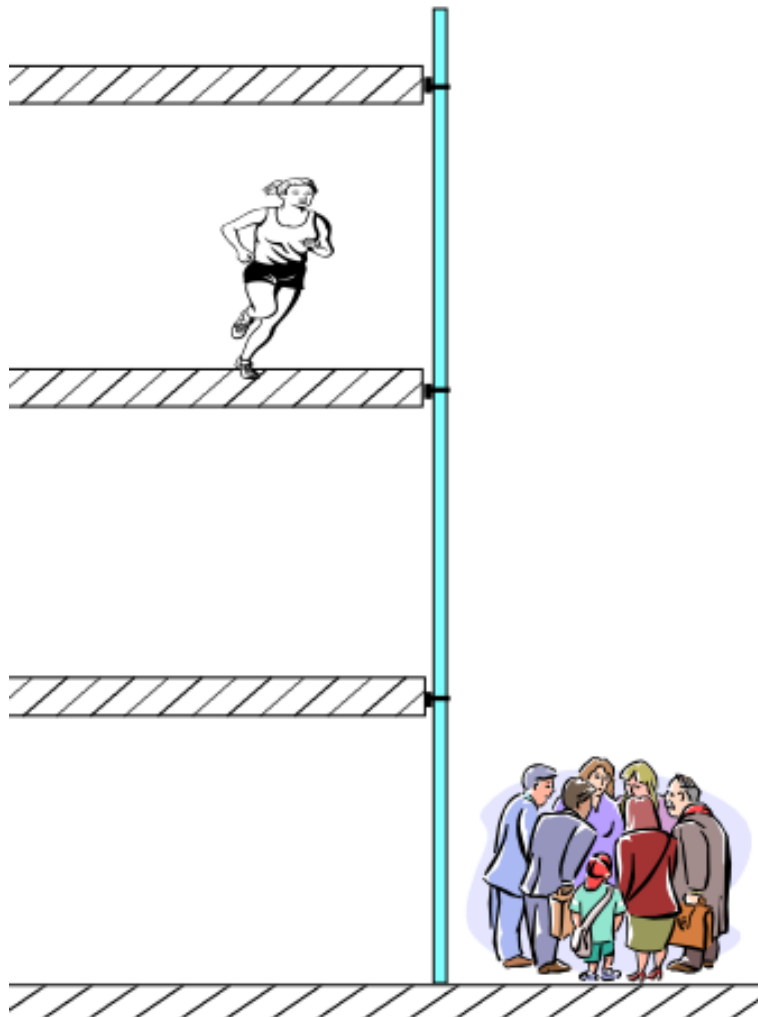
- Az elhangzottak figyelembevételével számítás készíthető
- Függőleges üvegezéseknél:
a leggyakoribb méretű kitöltő üvegezésekre (hőszigetelőre is) táblázatok készültek (pl. TSZ-ben); ellenőrző számítás nélkül az alkalmazhatósági feltételek mellett beépíthetők
- Számos konstrukciós előírás betartandó (lásd TSZ)
 - Pl: Fejfeletti üvegezés többrétegű laminált üvegezés kell legyen, az alsó rétegben nem lehet edzett üveg!

Leesés, kizuhanás ellen védő üvegszerkezetek

- Függőleges üvegezések speciális esete
- Korlátok, mellvédek
- Teljes falfelületű függőleges üvegezések



Kizuhanás elleni üvegezés funkciói



- Önsúly és szélterhek felvétele
- Rátámaszkodó személyek terhe
- Nekifutó személy védelme kizuhanása ellen
- Alattuk levő személyek védelme lezuhanó személyek és üvegtörmelék ellen

Terhek és ellenőrzés módja

- Statikus terhek: önsúly, szél, vízszintes korlátterhek
 - Méretezés számítással
- Nekifutó személy – ütésszerű terhet jelent
 - Kísérleti vizsgálat (lendített teherrel)
 - „már bizonyított kialakítás” (méretek, rétegek) használata
 - Ellenőrzés számítással (FEM, ???)
- Használhatósági határállapot
 - Alakváltozás $< L/75$
 - Nem okozhat kárt más szerkezeti elemekben
- Konstruktív előírások betartása

Ütésszerű terhelés ellenőrzése

Kísérlet lendített teherrel („Po



30 kg



Ütésszerű terhelés ellenőrzése

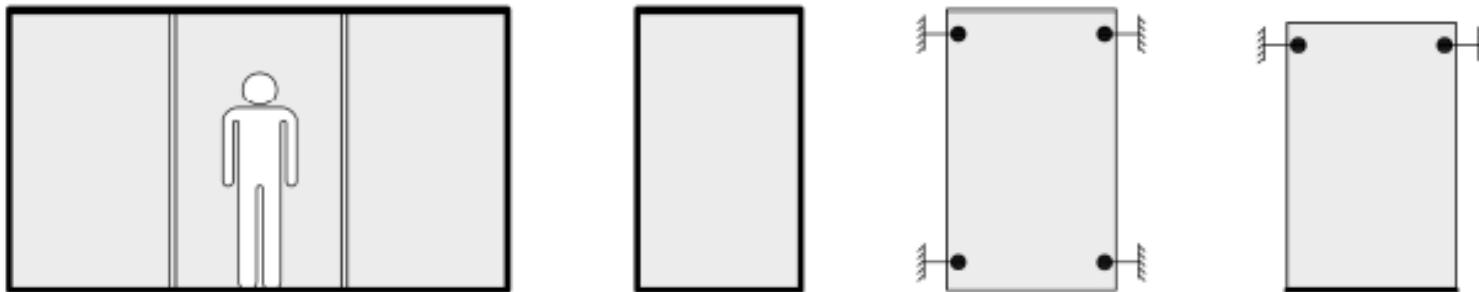
- „már bizonyított kialakítás”
 - Van vizsgálati bizonylata
 - TSZ, DIN vagy TRAV táblázataiban szerepel

Tabelle B.2 — Punktförmig gelagerte Verglasungen mit nachgewiesener Stoßsicherheit

Kat.	Glasaufbau VSG	Abstand benachbarter Punkthalter in x-Richtung mm max.	Abstand benachbarter Punkthalter in y-Richtung mm max.
A	2 × 10 mm TVG	1 200	1 600
	2 × 8 mm ESG	1 200	1 600
	2 × 10 mm ESG	1 600	1 800
	2 × 10 mm ESG	800	2 000
C	2 × 6 mm TVG	1 200	700
	2 × 8 mm TVG	1 600	800
	2 × 6 mm ESG	1 200	700
	2 × 8 mm ESG	1 600	800

Kizuhanás elleni üvegezések típusai

- A kategória: függőleges üvegezések, amelyeknek fel kell venniük a horizontális terheket is – nincs önállóan teherviselő korlát előttük



- Ragasztott üveget kell alkalmazni
- Az ütközésnek kitett felületen csak hőkezelt vagy edzett üvegréteg lehet

Kizuhanás elleni üvegezések típusai

- B
e

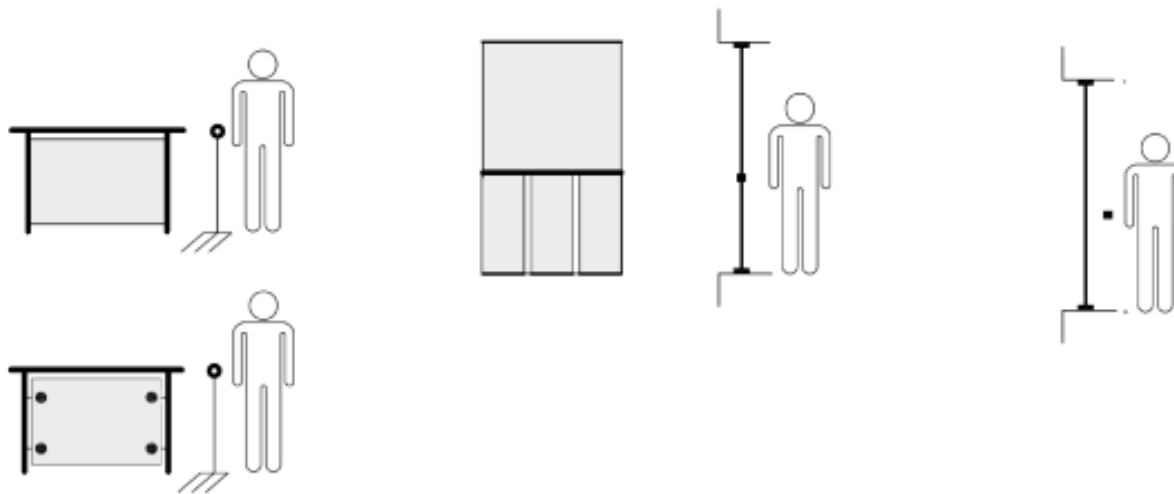
- C

- E
h
(



Kizuhanás elleni üvegezések típusai

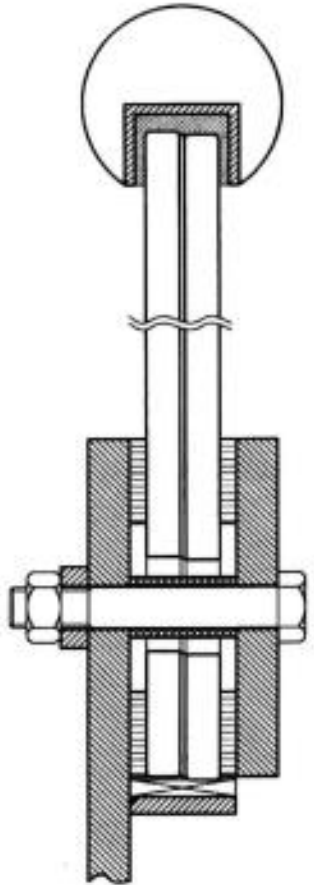
- **C** kategória: függőleges üvegezések, amelyek nincsenek kitéve a horizontális terheknek – önállóan teherviselő korlát van előttük



- Ragasztott üveget kell alkalmazni
- Négy éle mentén megtámasztott lehet egyrétegű edzett is

Mellvédék konstrukciós előírásai

- Üvegbefogás felül min. 15 mm, alul min. 100 mm
- Felső élen fémkorlát vagy élvédő alkalmazása
- Fém és üveg között rugalmas kitöltés
- Alsó befogás min. 12 mm acéllemezből
- A befogásban rugalmas ágyazás az üvegnek
- Átfúrt rögzítésnél műanyag hüvely a csavar körül



Kizuhanás elleni üvegezések:

- Statikai ellenőrzés önsúly- szél – és korlát terhekre
- Különleges követelmény az ütésszerű teher viselése
- A többi teherre vonatkozó statikai ellenőrzést a pendulum-teszt nem helyettesíti!
- Általában laminált üvegezést kell alkalmazni
- Ahonnét ütés érheti, az edzett vagy hőkezelt üvegből
- Szabad élek védelméről gondoskodni kell

Elsődleges üveg tartószerkezetek tervezése: gerendák, bordák, falak és merevítők (saját síkjukban terhelt elemek)



[Apple Store
NY Fifth Avenue]

Követelmények:

Elsődleges tartószerkezeti elemek.

Követelmény:

Tartósság, erőteljesség, ellenálló képesség (robosztusság) a károsodások következményeinek minimalizálására

- Teherbírási tartalékok a keresztmetszetekben – többrétegű üvegek használata, teherbírás (maradó teherbírás) egy üvegréteg törése esetén is.

Robusztusság

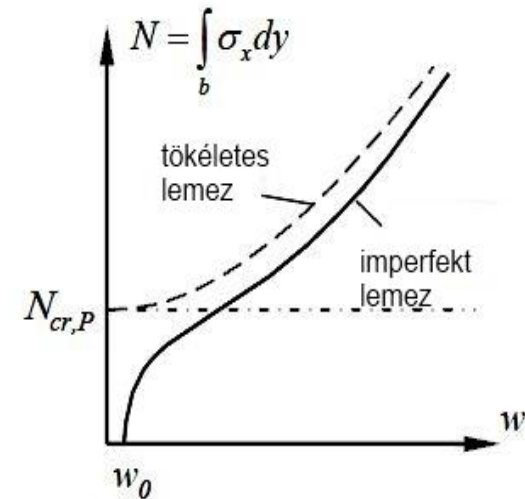
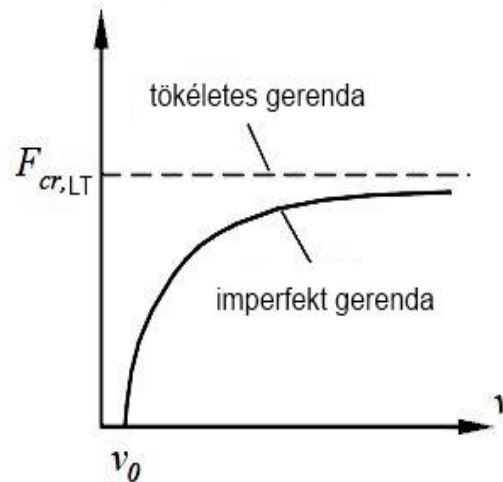
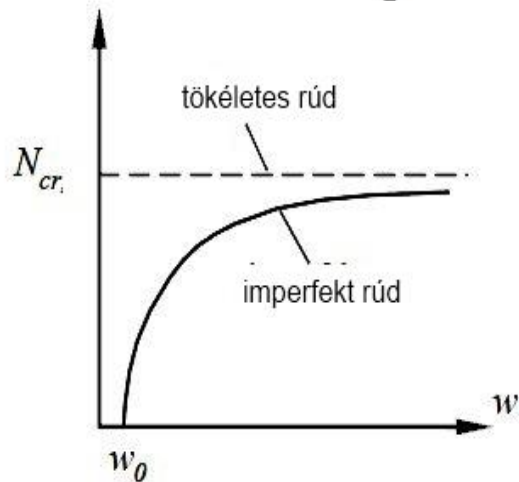
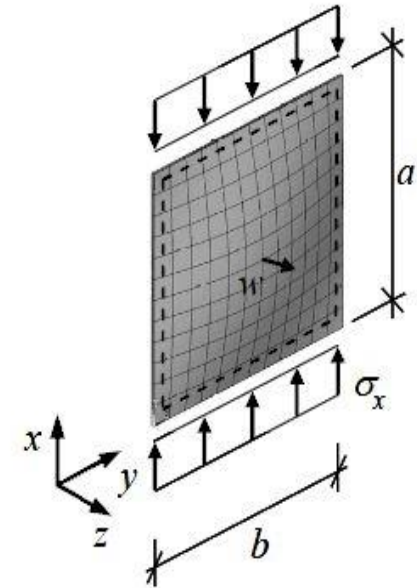
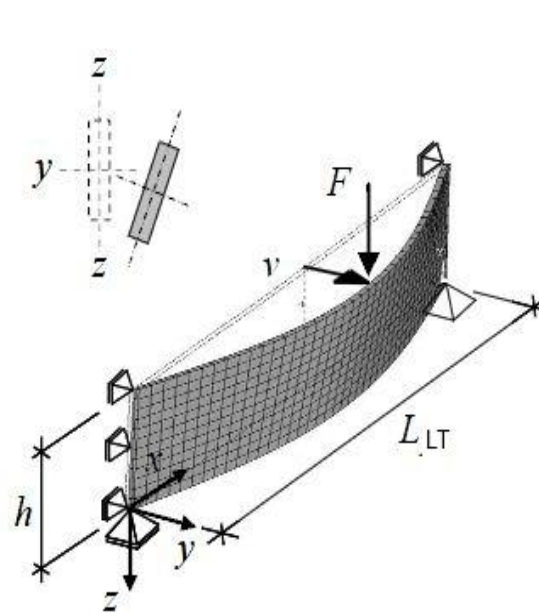
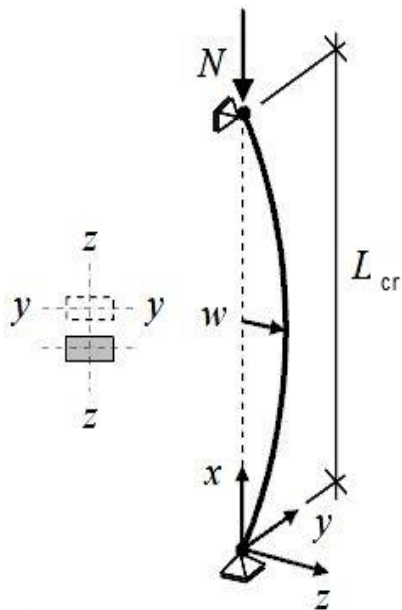
- Felületet érő ütések elleni védelem: többrétegű üvegek, a külső üvegrétegek csak védik a belső teherviselő üvegeket.
- Élek védelme: a teherviselő rétegek hozzáférhető élét védeni kell ütés ellen.
- Üveg és fém közvetlen érintkezésének elkerülése, feszültségcsúcsok csökkentése (megfogások, támaszok, erőbevezetések környezete).

Elsősorban **nem méretezési**, hanem **konstrukciós** kérdés!

Üveg tartószerkezet szilárdsági méretezése

- Lehetőség szerint egyszerű statikai vázzal alakítsuk ki (kéttámaszú tartó)
- Terhelés a saját síkjukban – nemcsak szilárdsági, hanem stabilitási tönkremenetel lehetősége is fennáll
- A stabilitási tönkremenetelt igyekezzünk megtámasztásokkal meggátolni (kifordulás, síkra merőleges kihajlás)
- Lemezszerű elemek – kis falvastagság – homogén anyag – az acélhoz hasonlóan kezelhető
- Méretezésére a TSZ nem ad javaslatokat

Stabilitási jelenségek



Stabilitási jelenségek vizsgálata

Specialitások az üveg anyag miatt

- A **húzott oldal megy tönkre** (míg acél, fa, vasbeton esetén a nyomott a kritikus!)
- Gyártási toleranciák -> a megengedett legkisebb mérettel számoljunk a névleges vastagság helyett
- Imperfekció: kezdeti görbeség; okozója a hőkezelés
 - > mértéke gyártófüggő
 - Öntött üveg $L/2500$
 - Edzett vagy hőkezelt üveg $L/300 - L/400$
 - Rétegelt üveg -> milyen volt az egyrétegű lemez
- Rétegelt üvegeknél: együttműködés kétséges!

Nyomott üveg rúd kihajlási méretezése csökkentő tényezős eljárással

- Feldmann, Langosch: gyakorlati tervezési módszert javasolnak
- [Buckling resistance and buckling curves of pane-like glass columns with monolithic sections of heat strengthened and tempered glass. Challenging glass Conference 2010]
- **Egyrétegű**, edzett (ESG) vagy hőkezelt (VSG) üvegre
- Számítás lépései mint acéltervezéskor
- Viszonyított karcsúság

$$\bar{\lambda}_t = \sqrt{\frac{A \cdot f_{u,t}}{N_{cr}}}$$

Nyomott üveg rúd kihajlási méretezése

- eltérő kihajlási görbéket javasolnak edzett és hőkezelt üvegek esetére

$$\chi_t^* = \frac{1}{\phi^* + \sqrt{\phi^{*2} - \bar{\lambda}_t^2}} \quad \text{ha} \quad \bar{\lambda}_t \geq \begin{cases} 0,89 (= \bar{\lambda}_{t,0}) & \text{hőkezelt üveg} \\ 0,92 (= \bar{\lambda}_{t,0}) & \text{edzett} \\ & \text{üveg} \end{cases}$$

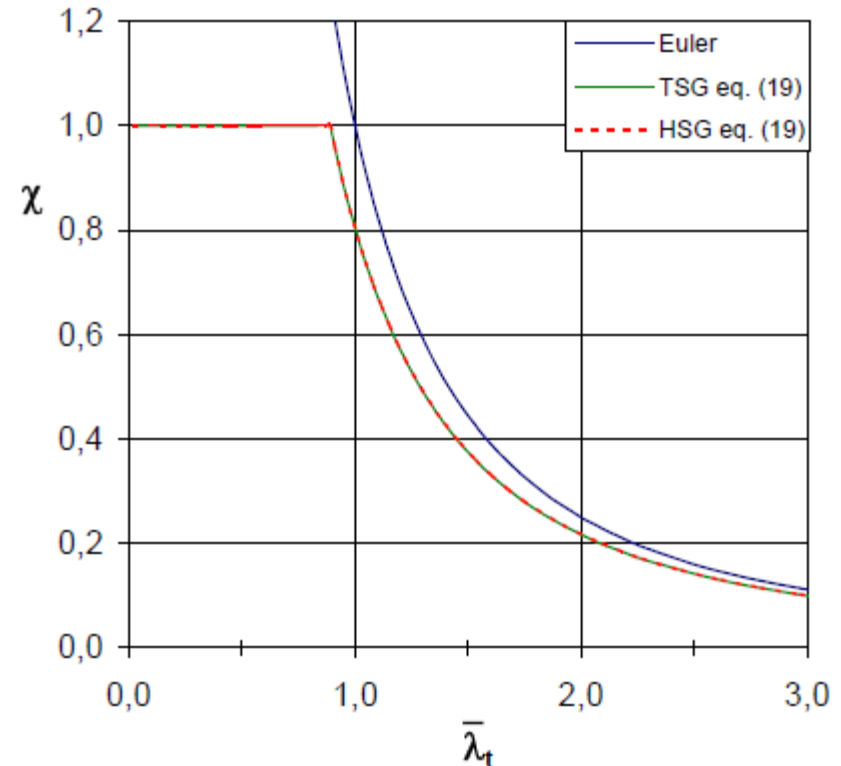
$$\text{és} \quad \phi^* = \frac{1}{2} \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_t - \bar{\lambda}_{t,0}) + \bar{\lambda}_t^2) \quad \begin{array}{l} \alpha = 0,430 \text{ TVG} \\ \alpha = 0,329 \text{ ESG} \end{array}$$

$$\text{és} \quad \chi_t^* = 1,0 \quad \text{ha} \quad \bar{\lambda}_t < \begin{cases} 0,89 (= \bar{\lambda}_{t,0}) & \text{hőkezelt üveg TVG} \\ 0,92 (= \bar{\lambda}_{t,0}) & \text{edzett üveg ESG} \end{cases}$$

Nyomott üveg rúd kihajlási méretezése

Ezután ellenőrzés: úgy
mint pl. acélnál

$$N_{Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_{u,t}}{\gamma_M} \quad \text{ahol} \quad \gamma_M = 1,4$$



Üveg gerendák kifordulása

- Általában „penge” gerendák (nincsenek övek)
- EI_z , I_{cs} elhanyagolhatóan kicsi, I_ω is alacsony
- M_{cr} számítása pl. „acélos” formulával

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot EI_z}{(k \cdot L)^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot L)^2 \cdot GI_t}{\pi^2 \cdot EI_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

- Karcsúság $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{u,t}}{M_{cr}}} \rightarrow \chi_{LT} = \dots$
- Melyik kihajlási görbét? **Sok cikk készült...**
- Egyszerű javaslat: EC3 „c” görbe és $\gamma_M = 1,5$

Jó gyakorlat: megtámasztani a nyomott élt!

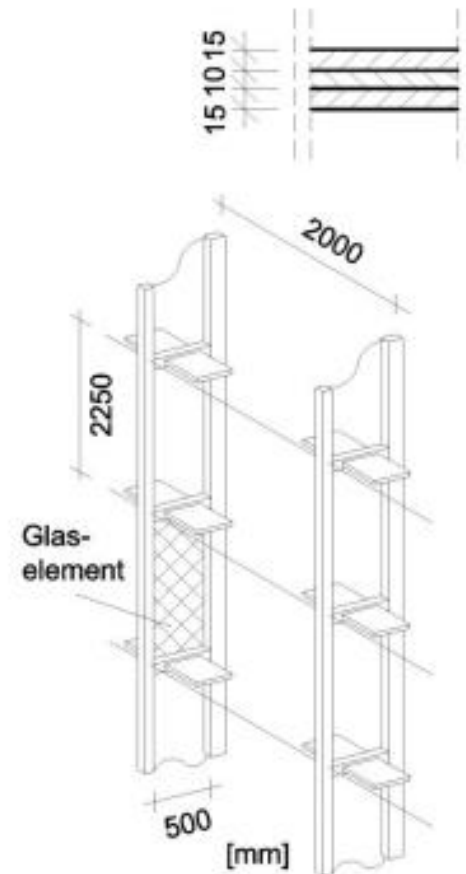
Rétegelt üveg kihajlása, kifordulása

- Visszavezetjük egyrétegűre - effektív vastagság számítása
- DE: így elhanyagoljuk a viszkoelasztikus tulajdonságokat!

Együttdolgoztatás csak szabályzatok alapján, néhány alapelv:

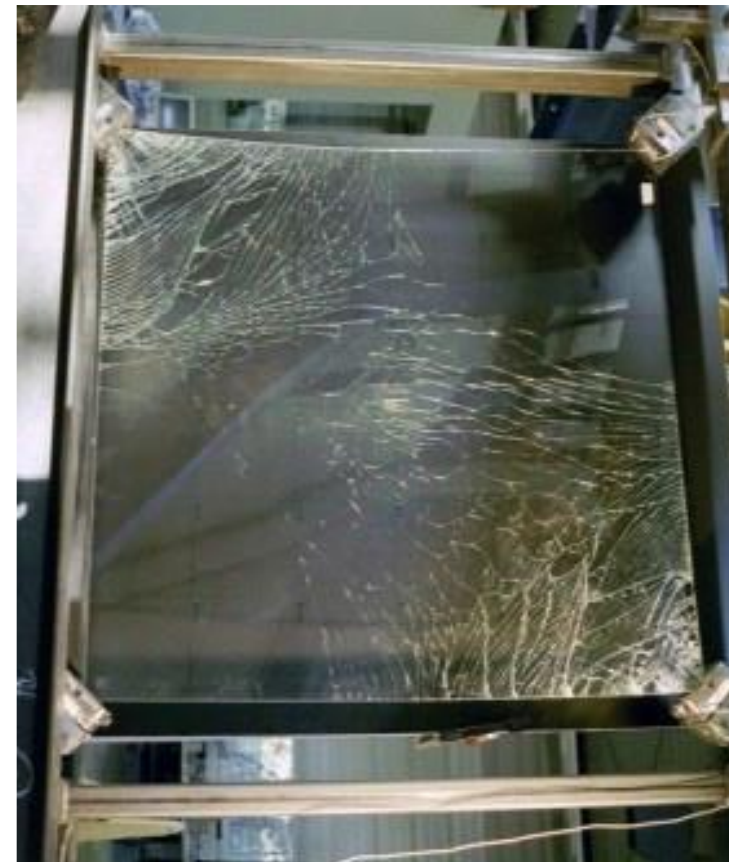
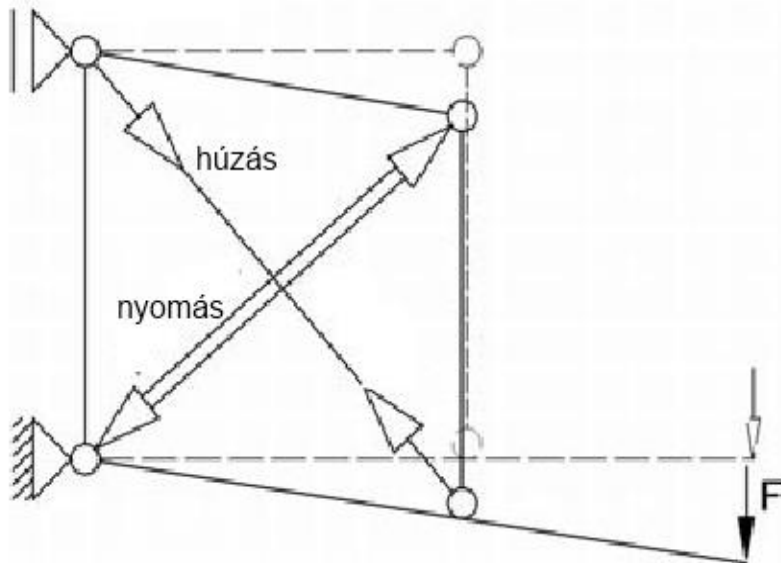
- Csak rövid idejű terhekre (pl: szélhatás vagy ütésszerű terhelés) számítsuk együttdolgozóan (t_{eff})
- Tartós teherre független üvegtáblákként ($G_{\text{pvb}} = 0$) kezeljük
- Magas hőmérsékleten együttdolgozás nélkül

Üveg merevítés – nyírt panel



Kitöltő panel tönkremenetele

- Végző tönkremenetel:



61/94

Üveg gerendák

Max $L=15$ m

Gerendatáv $1,5$ m

2x19 mm hőkezelt
üvegből,
egy is elég lenne

Extra hőteher
 3 kN/m²



62/94

Üveg gerendák

Illesztés: súrlódó kötéssel!

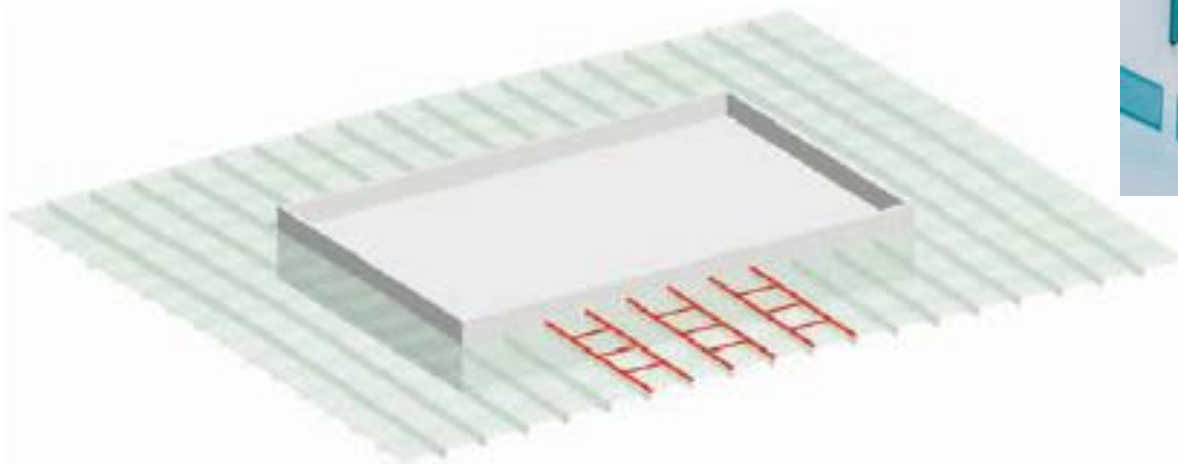
elemhossz 3,9 m

Gerenda magasság
változó, max. 1,3 m

Felső él acél elemmel
peremezve, kapcsolva a
tetőpanelhez - kifordulás
ellen folyamatosan
támaszt



Üveg gerendák – Drezda, egyetemi menza



Üveg gerendák – Drezda, egyetemi menza



Gerendatáv 1,45x1,45 m

Főtartó 5,75 m hosszú

Magasság 350 mm

4x12 mm ESG-H
üvegből, csak a két
belső vették számításba

Tető: 2x12 mm edzett
közötte 16 mm argon

Üveg gerendák – Drezda, egyetemi menza



66/94

Üvegpavilon, ragasztott kapcsolatokkal



67/94

Üvegpavilon, ragasztott kapcsolatokkal



68/94

Síkjukban terhelt üveg elemek méretezése

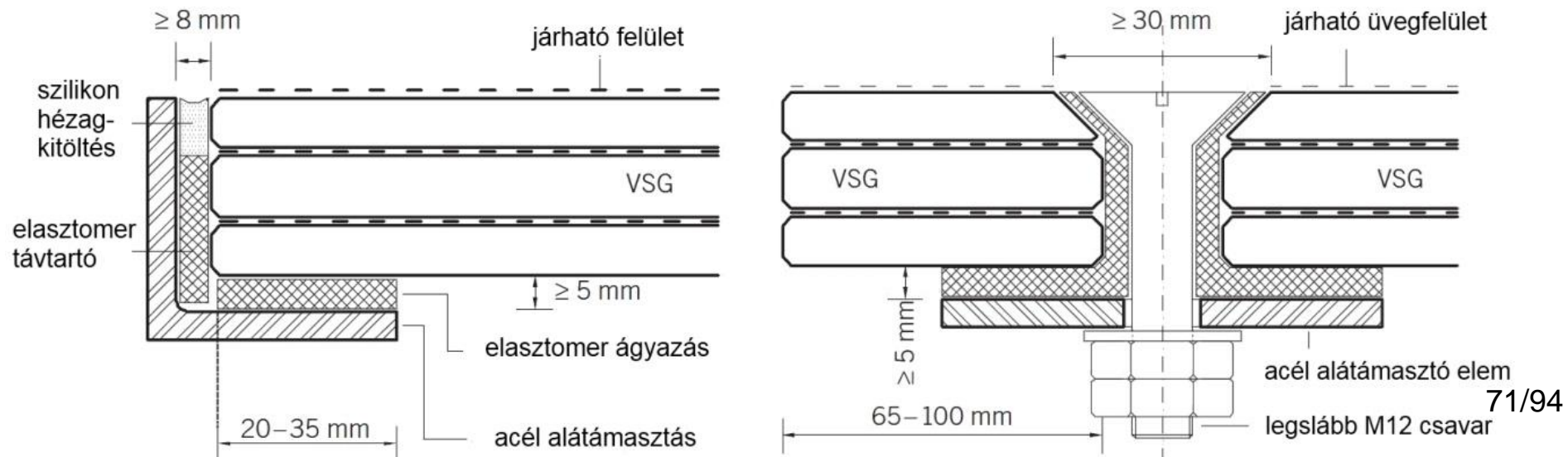
- Üveg gerendák, bordák mindig többrétegű, ragasztott üvegből készüljenek
- Külső rétegek nem teherhordóak, csak védelemre
- Szabad lemezperemet védeni kell!
- Előnyös, ha konstrukciósan meggátoljuk a stabilitásvesztést
- Méretezés: egyrétegű üvegek kihajlására, kifordulására csökkentő tényezős eljárás létezik
- Végeselemes számítással (imperfekt modell, geometriai nemlinearitás figyelembe vétele) bonyolultabb kialakítás, kihajlás, kifordulás is kezelhető

Járható üvegfelületek - födémek, tetők, üveghidak

- **Járható** üvegfelületek – közönség számára nyitott területen, szigorú követelmények (födémek, hidak, lépcsők)
- **Korlátozottan járható** üvegfelületek – csak tisztítás vagy karbantartás (pl. üvegtetők), enyhébb követelmények
- Tulajdonképpen síkjukra merőlegesen terhelt lemezek, azaz méretezés elve azonos az élei mentén megtámasztott kitöltő üvegezéssel
- Specialitások elsősorban az ütésszerű terhek

Járható üvegfelületek kialakítása

- Minimum 3 rétegű ragasztott üveg
- Felső réteg (járófelület) min. 10 mm edzett vagy hőkezelt üveglemezből, csúszásmentesítve
- Alsó réteg min. 12 mm hőkezelt vagy úsztatott
- Alátámasztás vonalmenti 4 vagy 2 él mentén



Járható üvegfelületek

- Méretezési terhek
 - Önsúly
 - Hasznos teher – megoszló teher födém típus szerint EC1-1-ből (általában embertömeg 5 kN/m^2)
 - Vagy 1 koncentrált teher 10×10 (5×5) cm felületen, $1,5 \text{ kN}$ vagy 2 kN az előző intenzitásától függően (ez is mértékadó lehet!)
 - Szabad térben hó és szél
 - Támaszmozgás, hőmérsékletváltozás, külpontosságok....

Járható üvegfelületek

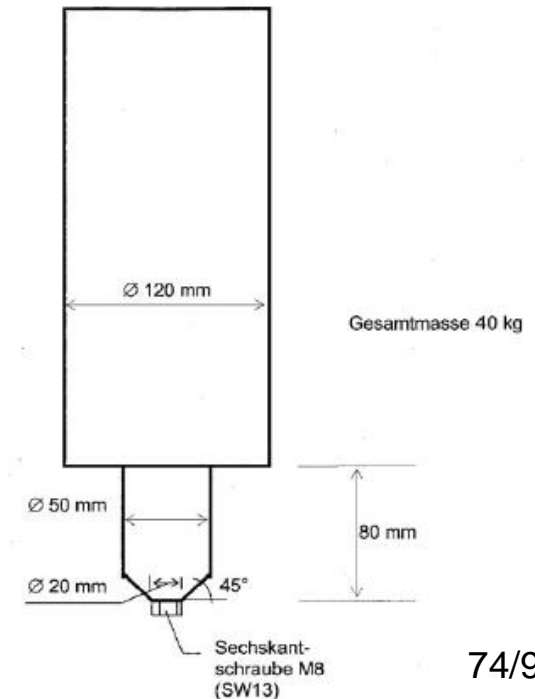
Méretezés

- teherbírási és használhatósági határállapotban:
 - a rétegek együttdolgozása nélkül
 - Minden réteg intakt, terhet visel
 - Lehajlási határ = támaszköz /200
- Rendkívüli állapotként ellenőrizendő:
 - A legfelső réteg eltörött, nem teherviselő
- Ütésszerű terhelések: elesés, tárgyak elejtése, vandalizmus – kísérleti úton
- Törés utáni teherbírás – kísérlettel

Ütési terhekkel szembeni ellenállás



Járható felületnél:
„éles ütés”



74/94

Hasznos teher fele + 80 cm-ről ejtő súly

Ütési terhekkel szembeni ellenállás



Golyó +
homokzsák
(„tompá ütés”)

Törés utáni teherbírás

- Ejtőkísérlet után teljesen összetörik a táblát, majd 30 percig még nem szabad szétesnie



Üveghíd, Kanada

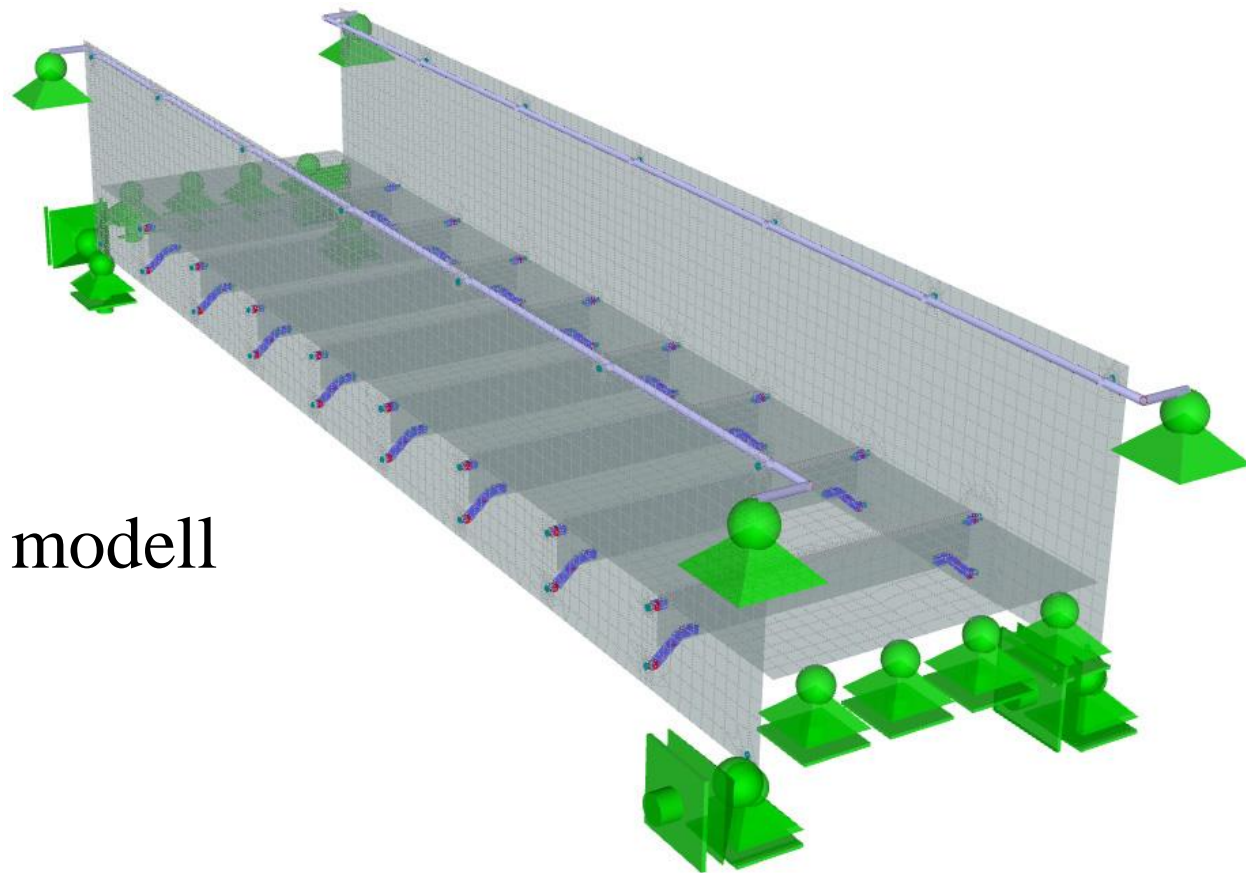
9 m fesztáv, kéttámaszú híd



77/94

Üveghíd, Kanada

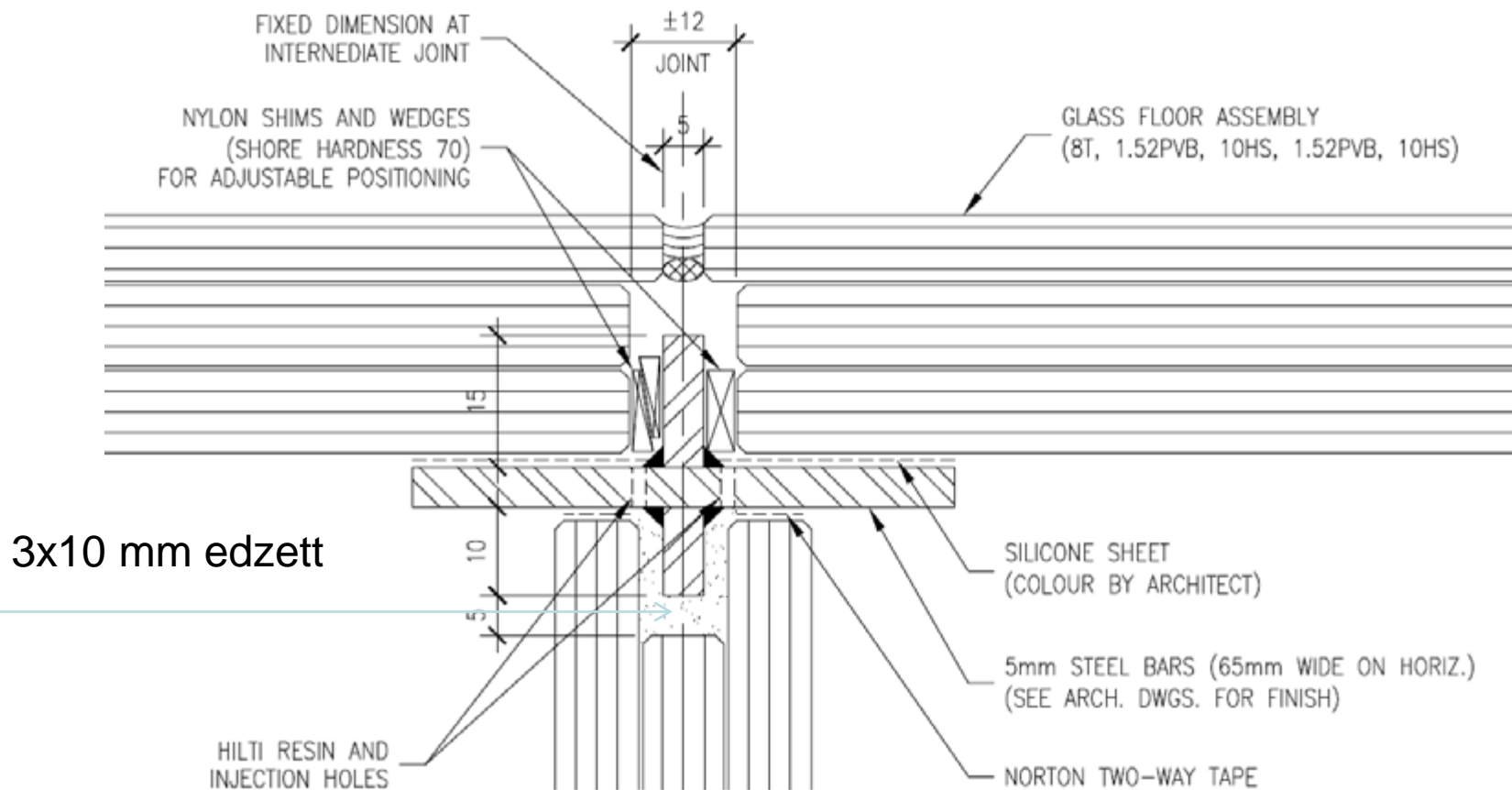
Főtartók az oldallemezek, kifordulás ellen a korlátrúd támasztja meg



Végeselemes modell

Üveghíd, Kanada

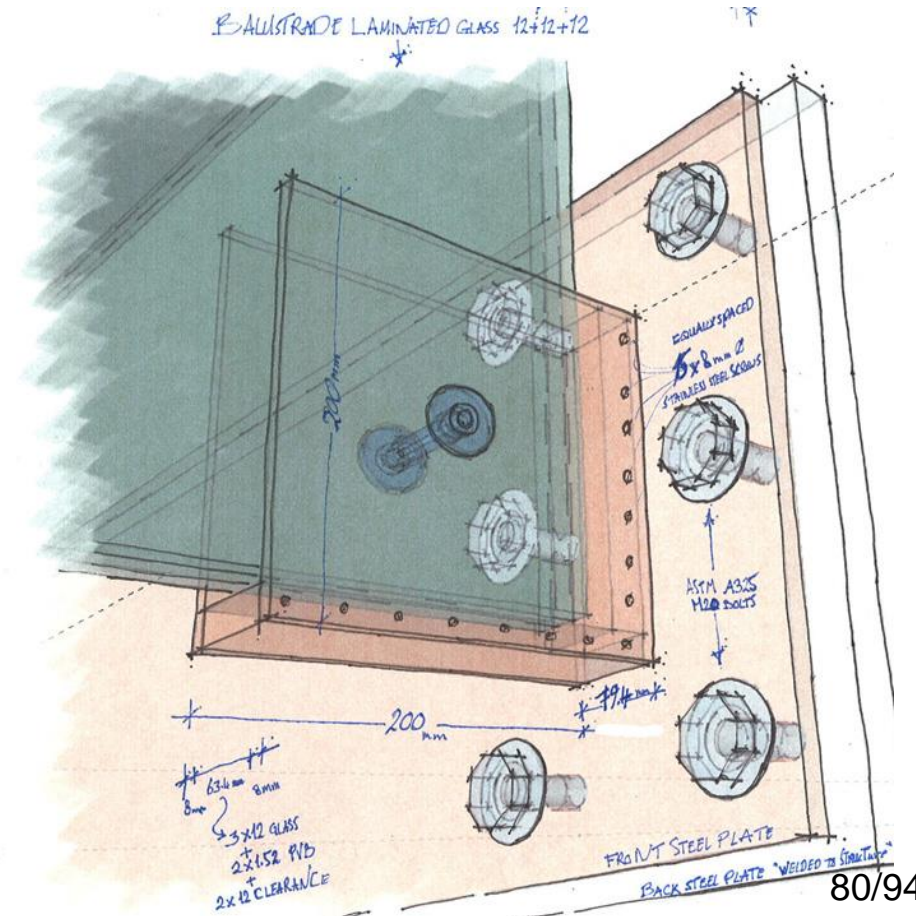
Csomópontok – fém és üveg nem érintkezhet sehol!



79/94

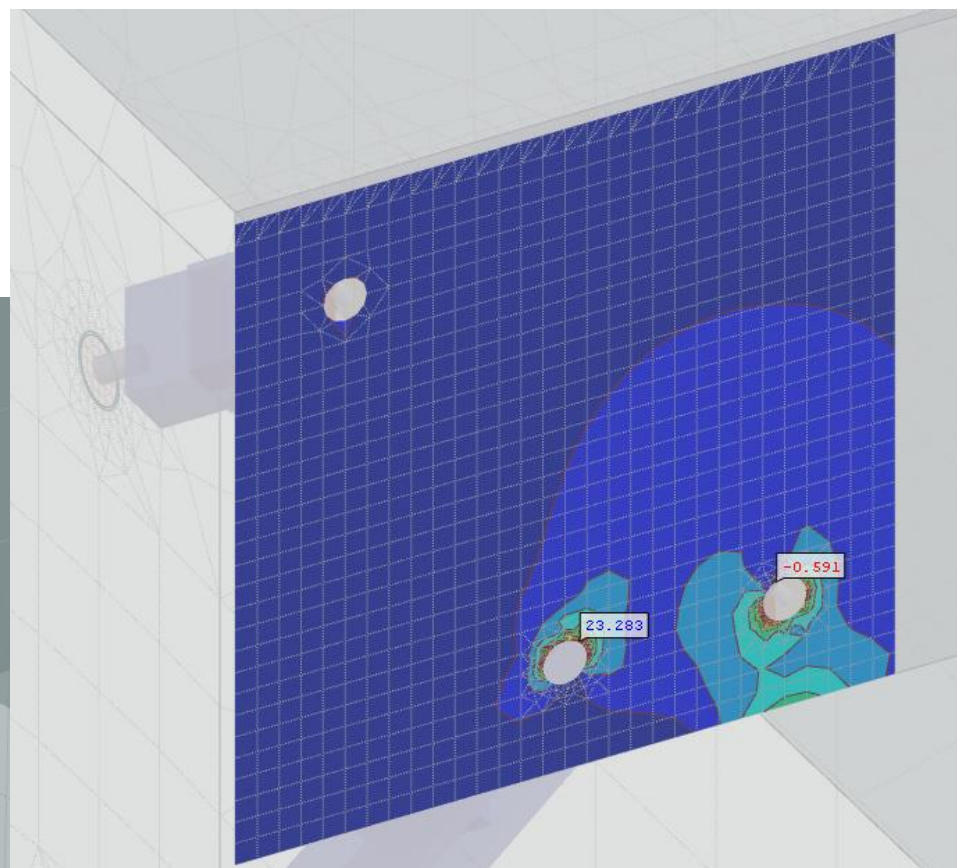
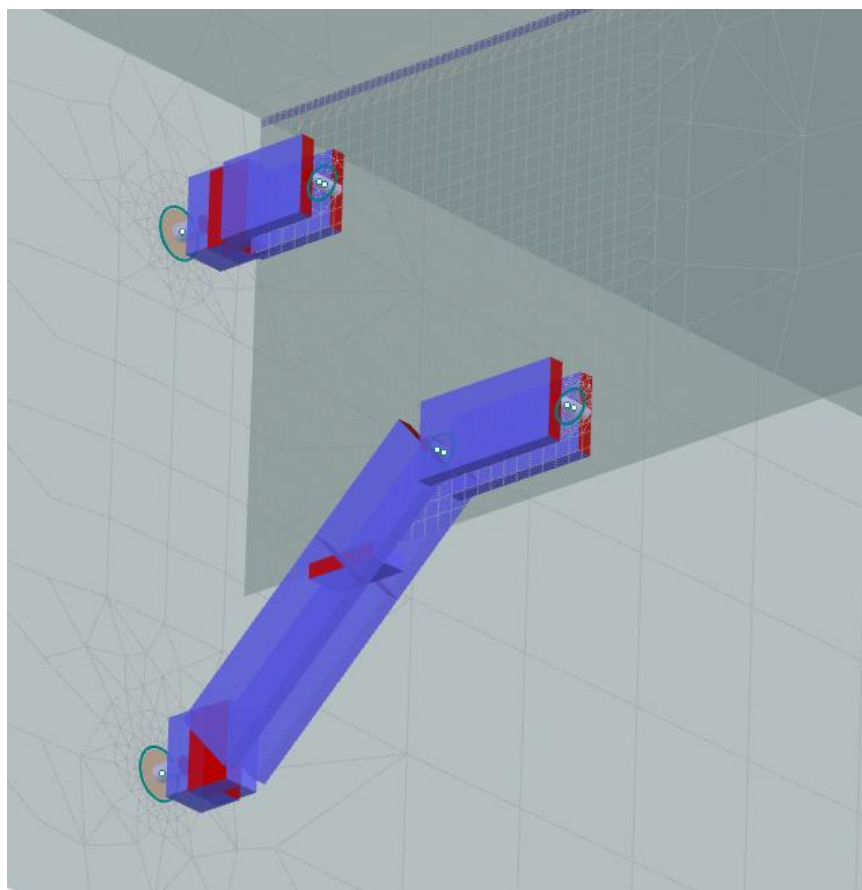
Üveghíd, Kanada

Csomópontok – erőátadás acél elemekkel



Üveghíd, Kanada

csomópontok

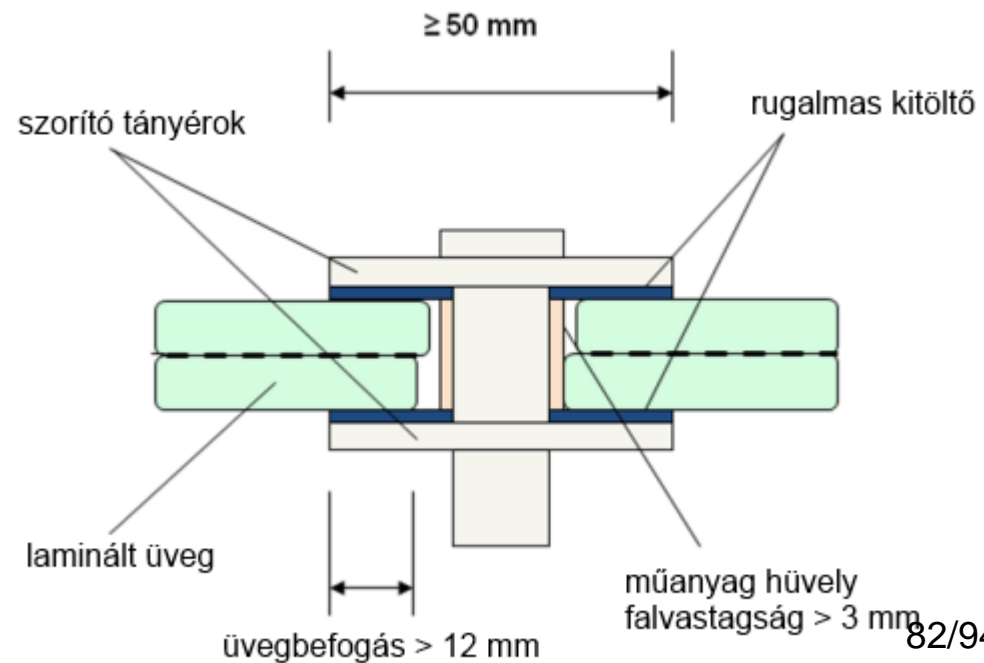


Numerikus analízis, pont
környéki
csúcsfeszültségek!

81/94

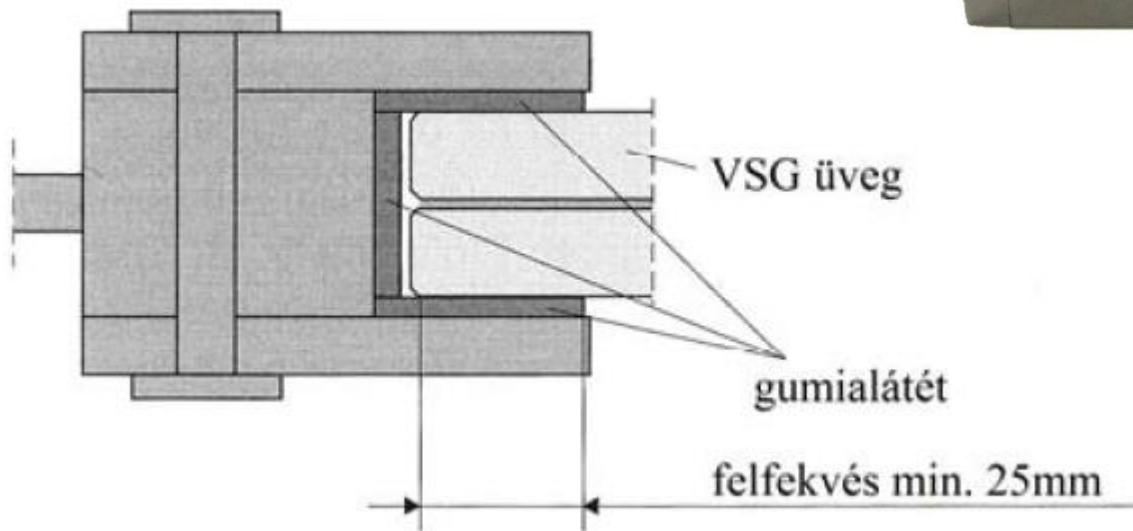
Pontmegfogások alaptípusai

Tányérmegfogás – átfűrt üvegtáblák



Pontmegfogások alaptípusai

Perem rögzítés – az
üveg peremét szorítja

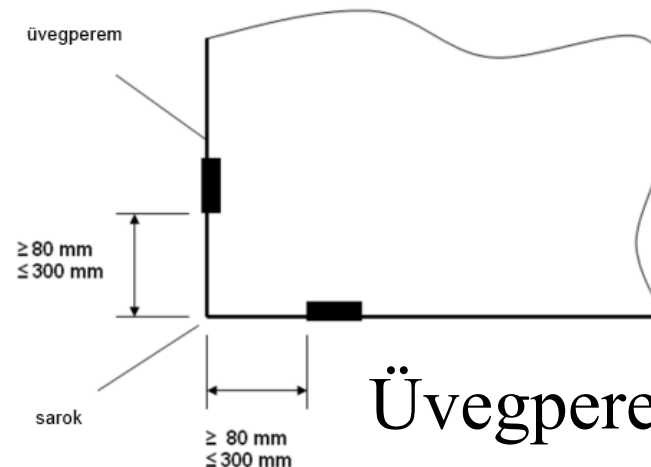
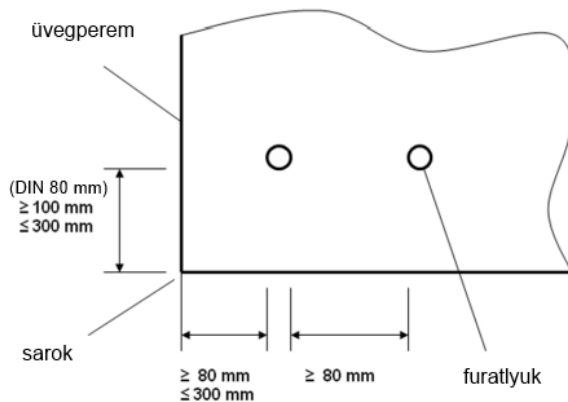
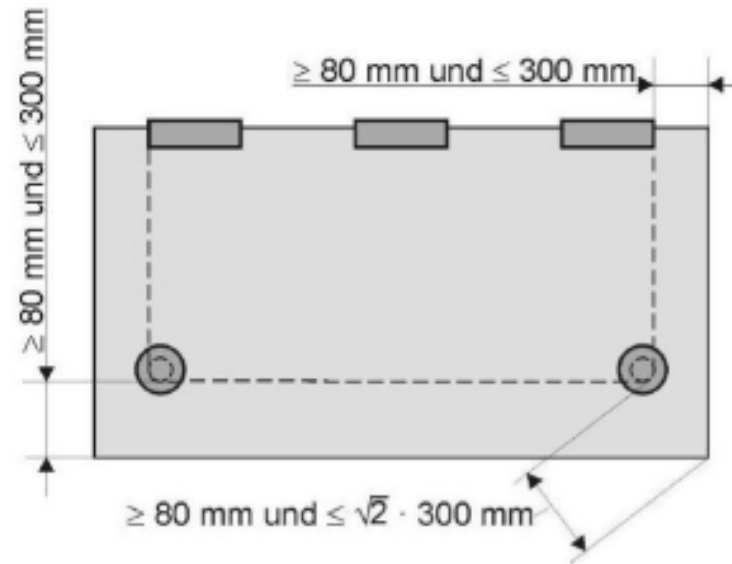
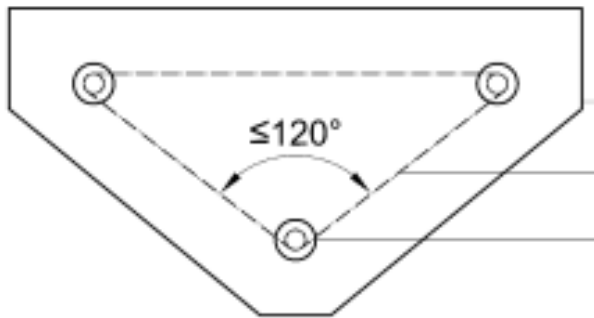


Tervezési előírások

- Műszaki Szabályzat TSZ
- Alapvetően konstrukciós szabályokat ad, kevés útmutatás a számításhoz (leginkább a DIN segít)
- Pontmegfogásos kizuhanásgátló üvegezésnél eléje teherviselő korlát kell!
- Pontmegfogások elrendezése, helyzete szintén szabályzott

Rögzítők elrendezése

Üvegtáblán



Üvegperemen

Méretezés

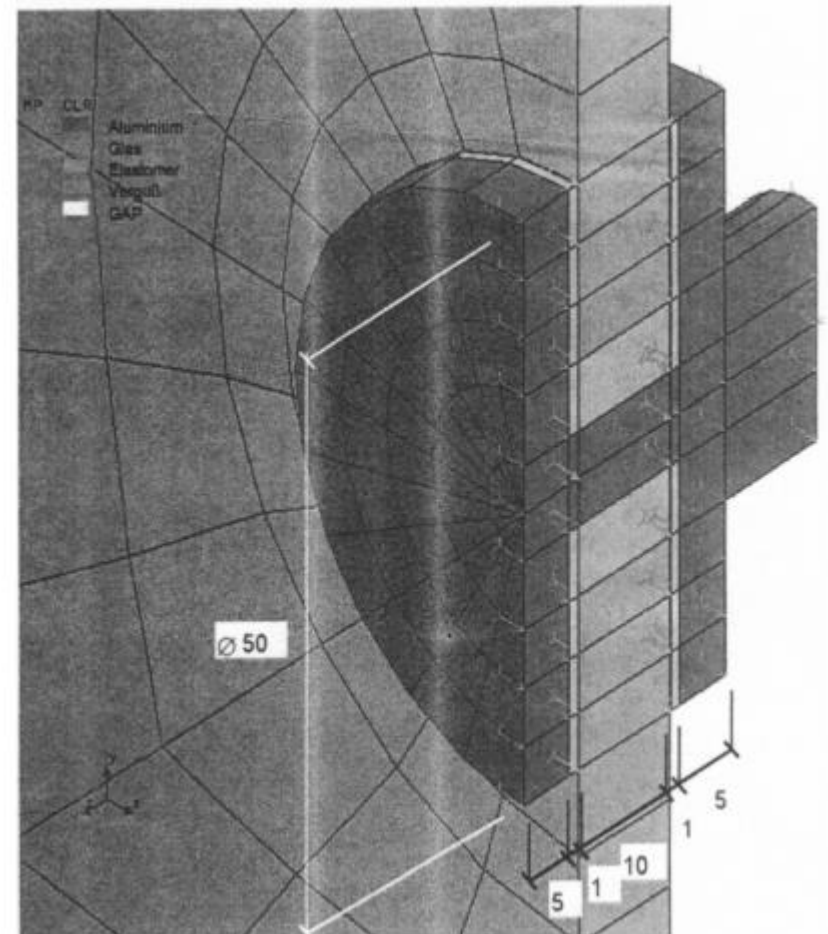
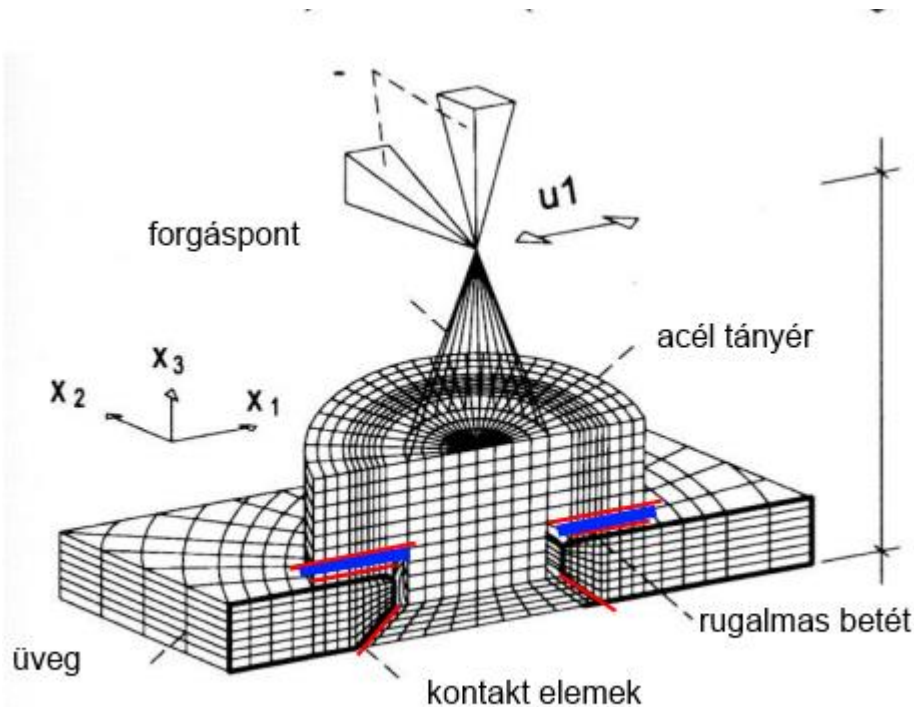
- Erőtani számítás a statikus terhelésre
 - Önsúly, szélteher, hóteher, hőmérsékletváltozás (javasolt -20°C és $+80^{\circ}\text{C}$), esetleg klimatikus terhek
 - Számítás lehetőségei:
 - közelítő „kézi” számítás (DIN) korlátozott feltételekkel
 - Általában: végeselemes modellen kell!
- Maradó teherbírás igazolása
 - Kísérleti úton
 - Vagy: előírásokban rögzített „bevált” rétegek és méretek

Végeselemes modellezés elvei

- Megtámasztások figyelembevétele
 - Erőátadás módja
 - Rugalmas megtámasztások modellezése
 - Feszültségcsúcsok!
- Modellezés pontossága
 - Megtámasztásoknál sűríteni
 - Térfogatelemek használata
 - Különböző anyagok
- Modell verifikálása

Megtámasztások

Mozgáslehetőségek és erőátadás – kontakt elemek



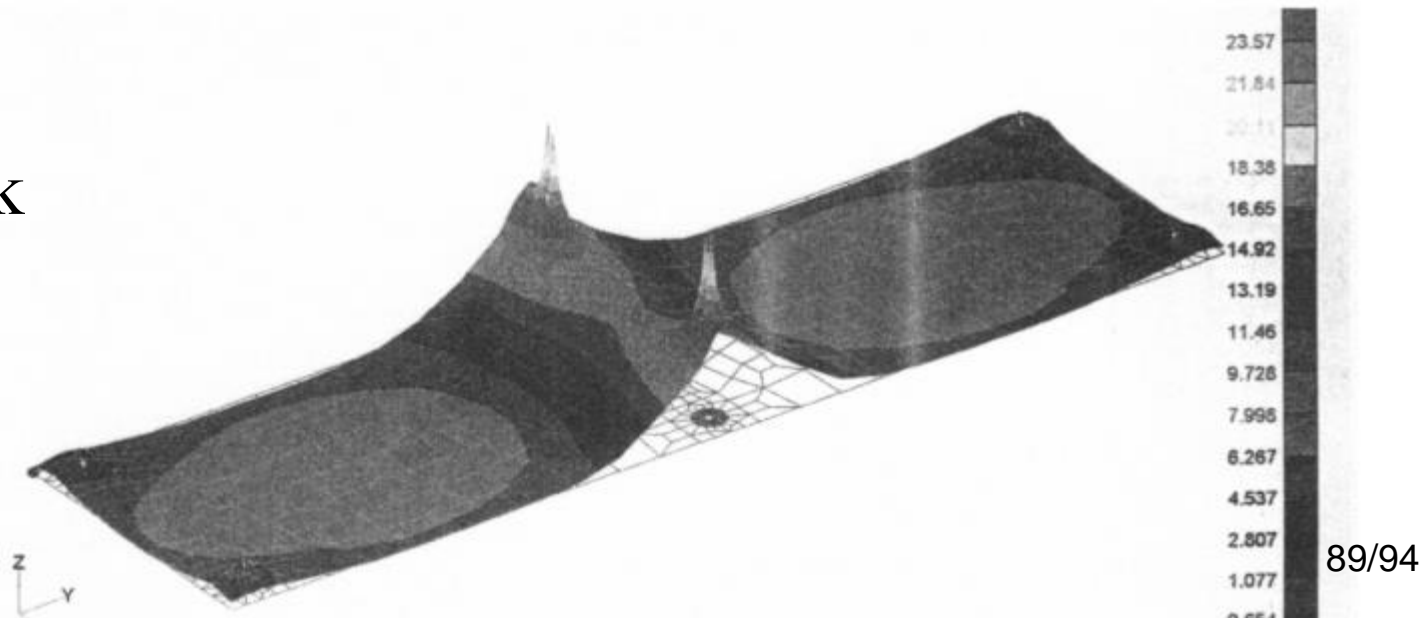
88/94

Elemek, feszültségcsúcsok és pontosság

- héjelemek

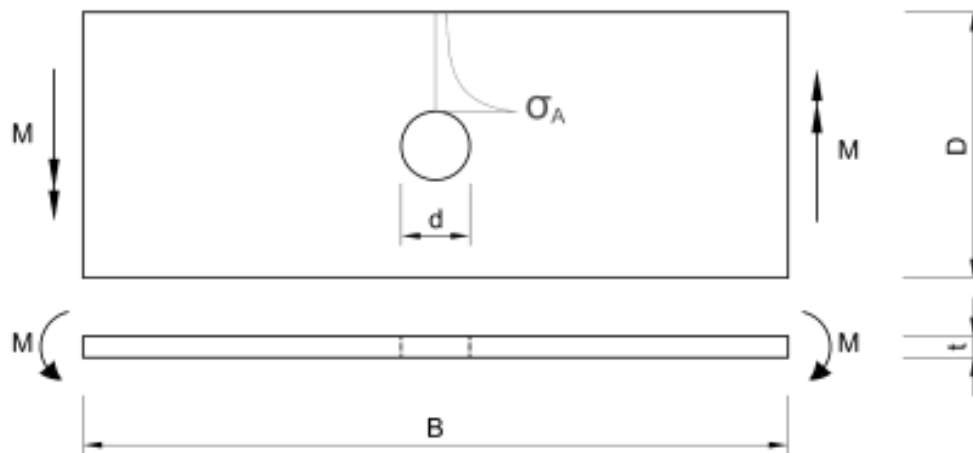


- testelemek



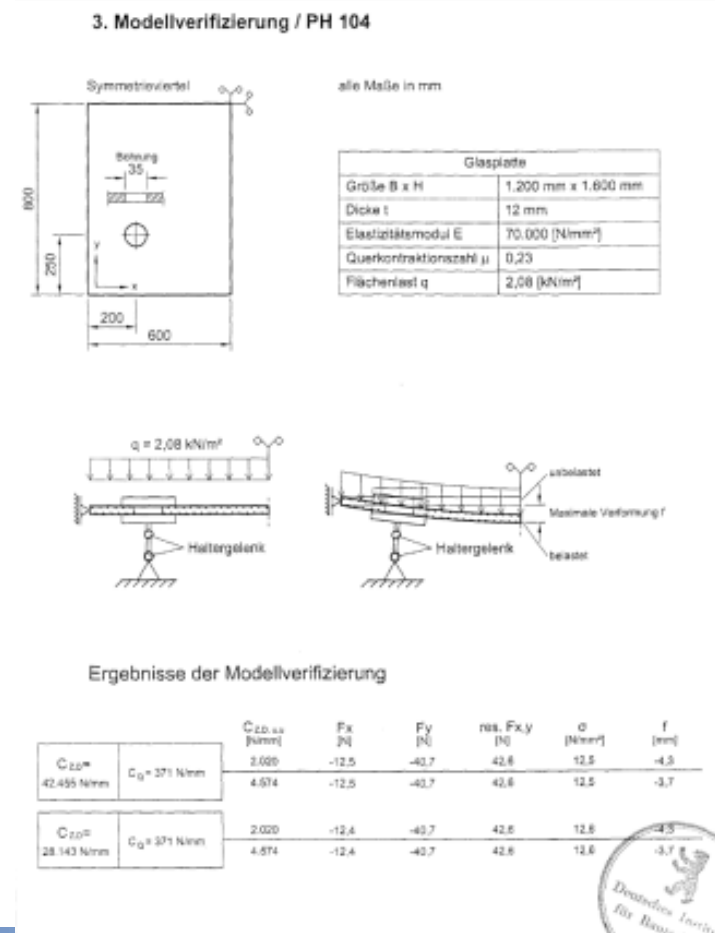
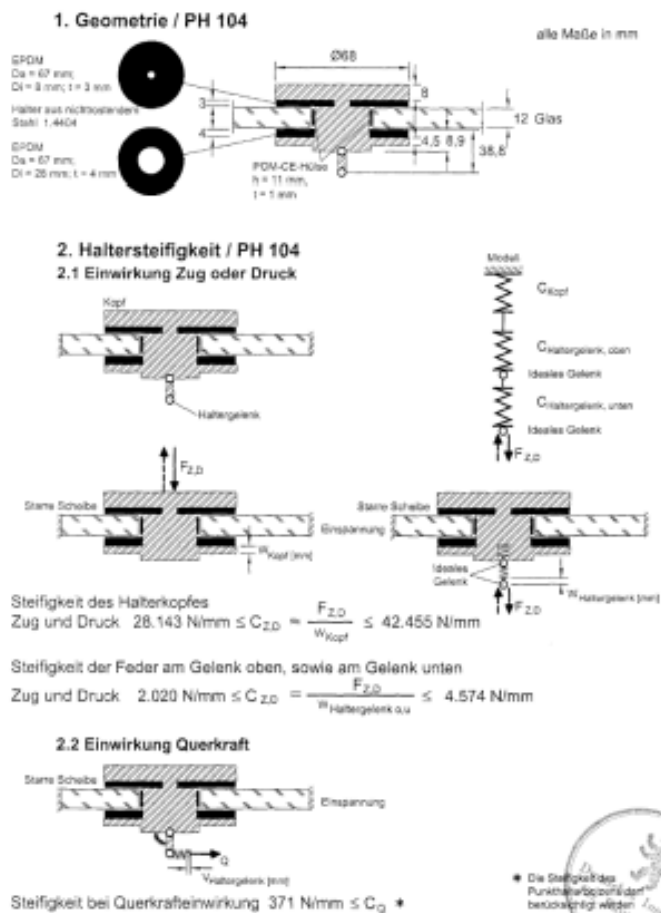
Modell verifikálás

- DIN mintapéldát mutat eredményekkel



Modell verifikálás

Gyártók adatszolgáltatása, pl. német alkalmazási engedély-dokumentum „Zulassungsbrief” adatokkal



Pontmegfogásos üvegezés méretezése

- Végeselemes modellezést kíván
- Testelemek használata erősen ajánlott
- Megtámasztás környezetének modellezése – bonyolult, kontakt elemeket kell alkalmazni
- Modell verifikálás számítás előtt - kritikus!
- Korlátok, mellvédek üvegezésénél lehetőleg gyártó által engedélyezett rendszert alkalmazzunk, ahol méretezés nem szükséges.

Összefoglalás

- Számos konstrukciós előírást kell követni, betartani
- Kitöltő üvegezéseknél lehetőleg „bevált megoldást” alkalmazzunk
- Szilárdsági méretezés a legnagyobb húzófeszültségekre
- Stabilitásvizsgálatok nem teljesen kidolgozottak, célszerű konstrukciósan meggátolni a stabilitásvesztést
- Számos speciális követelmény igazolása csak kísérleti úton lehetséges
- Bonyolultabb megoldásnál a végelelemes modellezés nyújt csak megoldást.

Köszönöm a figyelmet!