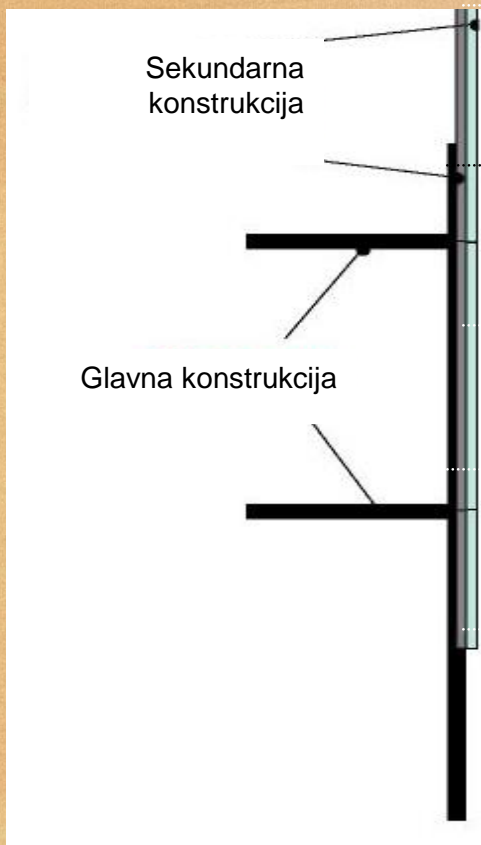




**Proračun staklenih panela i aluminijskih stupova**

# Staklo



gustoća

$$\rho = 2\,500 \text{ kg/m}^3$$

modul elastičnosti

$$E = 70\,000 \text{ MPa}$$

Poisson koeficijent

$$\mu = 0,22$$

homogen, izotropan materijal

velika tlačna čvrstoća, loše ponašanje u vlaku

# Svojstva stakla

**Specifična masa:  $2,5 \text{ g/cm}^3$**

Služi nam za izračunavanje težine određenog stakla.

**1.Modul elastičnosti: cca.  $70\ 000 \text{ N/mm}^2$**

Sposobnost stakla da se nakon deformacije ponovo vrati u prvobitni oblik.

Modul elastičnosti stakla približno je jednak kao i kod aluminija.

**2.Tlačna čvrstoća:  $700 - 1000 \text{ N/mm}^2$**

Tlačna čvrstoća stakla nije povezana sa opterećenjima koja nastaju uslijed vjetra ili snijega, to su vlačna opterećenja.

**3.Vlačna čvrstoća:  $30 \text{ N/mm}^2$**

Vlačna čvrstoća je navažnija veličina za dimenzioniranje stakla. Različiti utjecaji npr. pritisak vjetra ili snijega na staklo dovode do povećanja opterećenja na savijanje koje uzrokuje povećanje vlačnog naprezanja stakla, pa se time povećava i opasnost od pucanja stakla. Vlačnu čvrstoću stakla možemo povećati termičkim prednaprežanjem na  $50 \text{ N/mm}^2$ .

**4.U-koeficijent za jednostruko float staklo:  $5,8 \text{ W/m}^2$**

Toplinska izolacija stakla, manji U označava bolju izolaciju.

**5.Koeficijent temperaturnog širenja stakla:  $9 \times 10^{-6}$**

Sličan je koeficijentu temperaturnog širenja čelika i betona.

**6.Optička svojstva stakla**

Obično silikatno staklo dobro propušta svjetlost odn. zračenja iz vidljivog dijela spektra. Praktično ne propušta UV zračenje (valne dužine ispod  $380 \text{ nm}$ ) i infracrveno zračenje (iznad  $760 \text{ nm}$ ).

# Vrste stakla

- Float staklo
- Kada kažemo “float staklo”, zapravo mislimo na obično ravno, najčešće potpuno prozirno staklo.
- Float postupak: tečno staklo se razlije i pluta (float = plutati) po rastaljenom kalaju te se kao i svaka tečnost razlije i postaje idealno ravna, proizvodeći kontinuiranu traku stakla visoke kvalitete.
- Rasprostranjenost, arhitektura



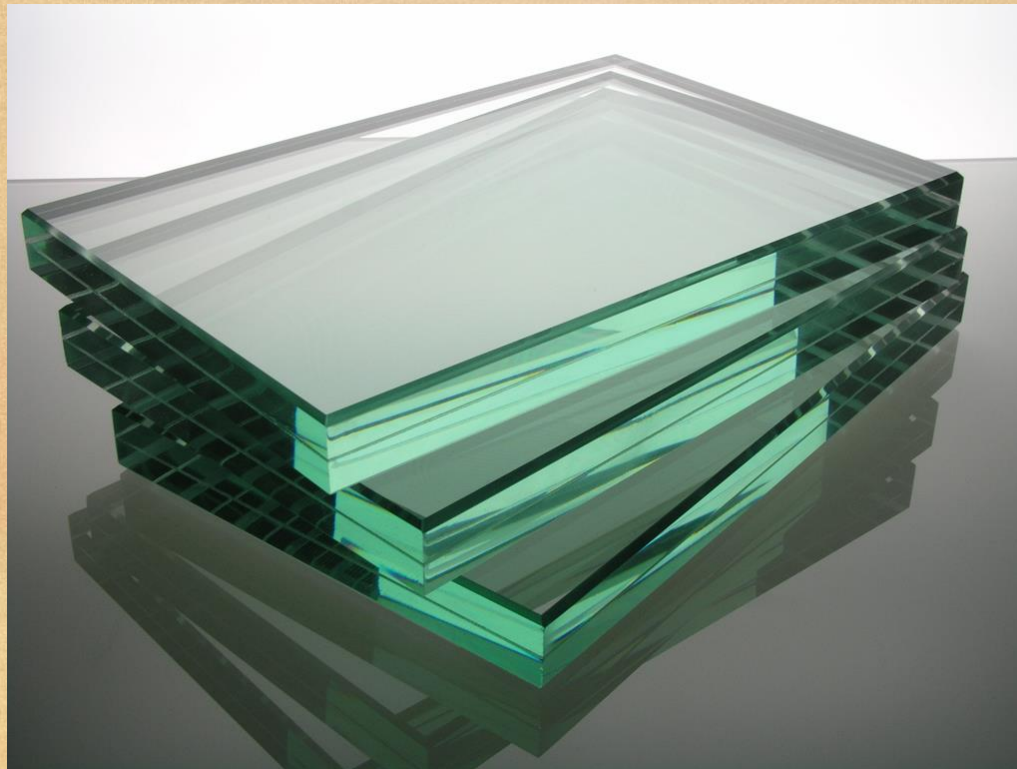
# IZO staklo

- Nekad su se u prozore i vrata ugrađivala jednostruka stakla. Danas se svi prozori i vrata (osim sobnih) izrađuju sa izo-staklom.
- Dvije ili više staklenih ploha, koje su međusobno podijeljene sa jednim ili više hermetički zatvorenih međuprostora. Međuprostor između staklenih ploha može biti ispunjen zrakom ili nekim od inertnih plinova ako želimo postići bolju toplinsku izolaciju.
- **Najbitniji faktori kod izrade i ugradnje stolarije?**
- 70% površine otvora i upravo je to površina na kojoj dolazi do najvećih gubitaka energije.
- LOW-E u kompoziciji izo-stakla.
- Nisko emisijska stakla karakterizira posebno selektivan sloj molekula oksida postavljenih na površinu stakla koji reflektira samo toplinsko zračenje. Kroz stakla niske emisije gubi se manje topline jer se energija vraća u prostor iz kojega potiče. Kombinacijom nisko emisijskih (LOW-E) stakala i upotrebom inertnih plinova u kompoziciji izo-stakla dobivamo vrhunske performanse. Takvo staklo ne samo da utječe na smanjenje troškova grijanja već je indirektno uključeno u zaštitu okoline smanjenjem ukupnih potrebnih količina energije i samim time i smanjenje emisije štetnih plinova u atmosferu.



# Laminirano staklo

- Sigurnosno laminirano staklo (VSG) predstavlja odličan izbor za sigurnosno ostakljivanje. Ovo staklo sastavljeno je od dvije ili više ploča stakla međusobno povezanih jednom ili više PVB (polivinilbutiral) folija velike čvrstoće na kidanje. Ova folija može biti bezbojna ili u boji, s poboljšanom zvučnom zaštitom te ima visok stepen UV zaštite.
- U usporedbi sa sigurnosnim kaljenim staklom, sigurnosno laminirano staklo se u slučaju loma ne raspadne u sitne dijelove, što omogućava daljnje pružanje zaštite nakon loma.
- Opasnost od razbijanja oštrim predmetima, od provale i vatrenog oružja → laminirano staklo.



# Kaljeno staklo

- Sigurnosno kaljeno staklo dobivamo zagrijavanjem stakla sve do granice plastičnosti na približno 600°C, poslije čega se naglo hladi zrakom. Ovim procesom staklo dobiva visoku mehaničku i termičku otpornost. Kod loma rasipa se u mala zrnca sa tupim ivicama i tako štiti od povreda. Tako obrađeno staklo ne može se više modificirati (npr. bušiti, brusiti ili rezati).
- Primjena ovog stakla je u ostakljivanju vanjskih i unutrašnjih stijenja objekata (fasade), zaštitnih ograda, vrata, terasa, balkona, zimskih vrtova, telefonskih govornica, tuš kabina, brodova kao i u izradi izolacijskog stakla.
- Pored sigurnosnog kaljenog stakla postoji i sigurnosno, ali djelomično kaljeno staklo (TVG), koje je prema mehaničkim i termičkim svojstvima između float i sigurnosno-kaljenog stakla. Također, i kod ovog sigurnosnog stakla u slučaju loma stvara se mreža, ali većih komadića stakla sa zaobljenim rubovima, te se ni ono ne može dodatno obrađivati.
- Manja sigurnost

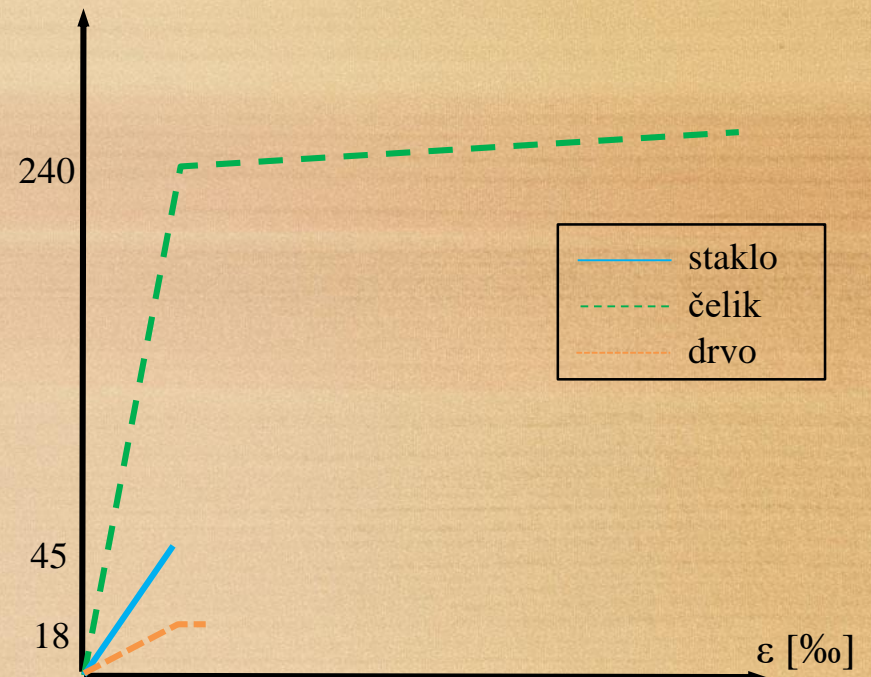
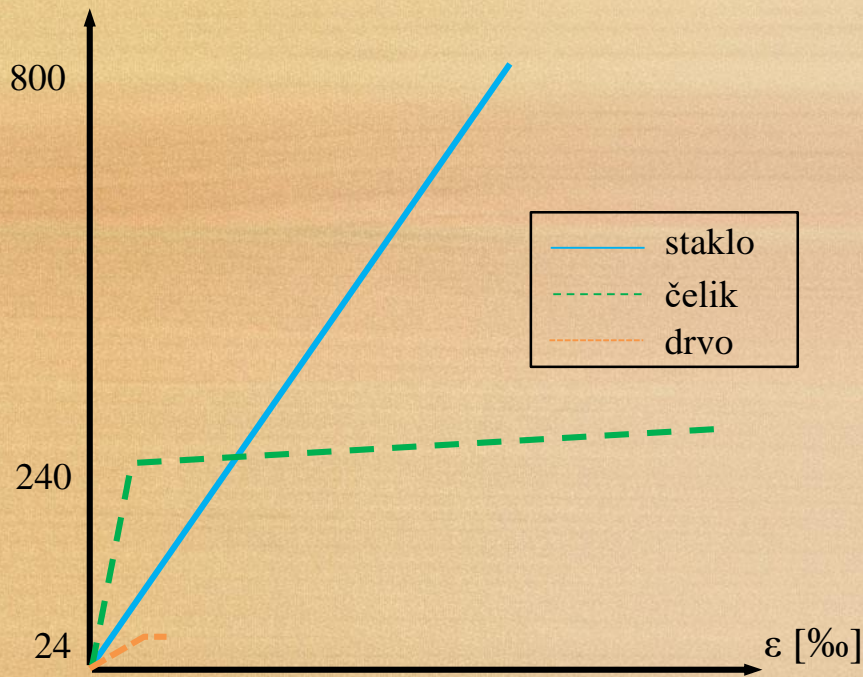


- Stopsol – Transparentno reflektirajuće staklo
- Parsol (apsorpcijsko) staklo
- Pjeskareno staklo





# Staklo



Lamelirano sigurnosno staklo – 45 N/mm<sup>2</sup>

Toplinski ojačano lamelirano sigurnosno staklo – 70 N/mm<sup>2</sup>

Kaljeno lamelirano sigurnosno staklo (sa PVB) – 70 N/mm<sup>2</sup>



# Računska otpornost panela

Čimbenici koji utječu na otpornost panela

Trajanje opterećenja

Površina presjeka  
naprezana na vlak

Stanje površine stakla

Temperatura

# Otpornost stakla (kaljeno staklo)

$$f_{g;d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot k_{\text{sp}} \cdot f_{g;k}}{\gamma_{M,A}}$$

$f_{g,k}$  karakt. otpornost na savijanje (45 MPa)

$\gamma_{M,A}$  parcijalni faktor za staklo (tablica 2)

$k_{\text{sp}}$  faktor utjecaja površine

$k_{\text{mod}}$  faktor trajanja opterećenja

# Otpornost panela (kemijski ili toplinski ojačana stakla)

$$f_{g;d} = \frac{k_{mod} \cdot k_{sp} \cdot f_{g;k}}{\gamma_{M,A}} + \frac{k_v (f_{b;k} - f_{g;k})}{\gamma_{M,v}}$$

$f_{g,k}$  karakt. otpornost na savijanje (45 MPa)

$\gamma_{M,v}$  parcijalni faktor za površinsko prenaprezanje

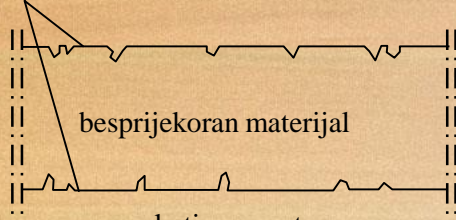
$k_v$  faktor ojačanja

$f_{b,k}$  - karakteristična otpornost na savijanje ojačanog stakla

# Kaljeno staklo

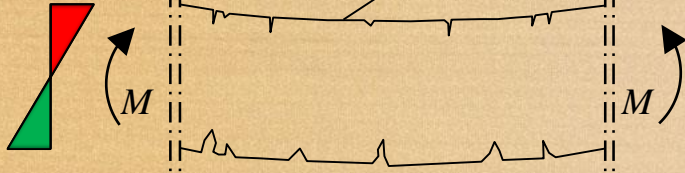
## OBIČNO STAKLO

otvorene pukotine (površinska oštećenja)

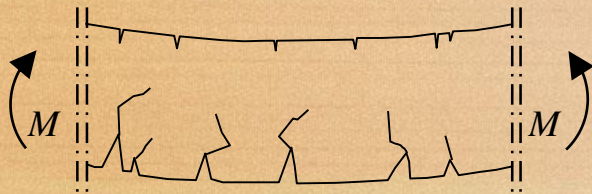


besprijekoran materijal

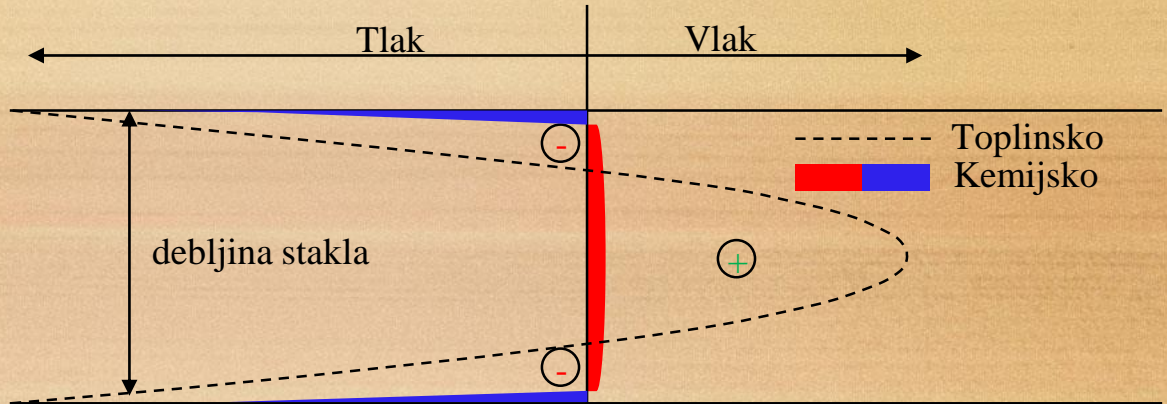
pukotine su zatvorene  
tlačnim naprezanjem



pukotine su otvorene i povećavaju se



lom



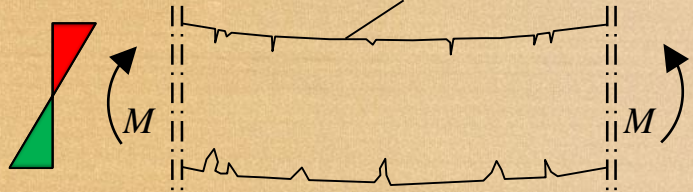
# Kaljeno staklo

## OBIČNO STAKLO

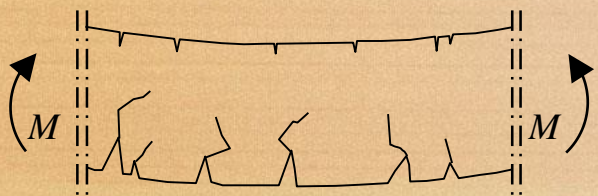
otvorene pukotine (površinska oštećenja)

besprijekoran materijal

pukotine su zatvorene  
tlačnim naprežanjem



pukotine su otvorene i povećavaju se



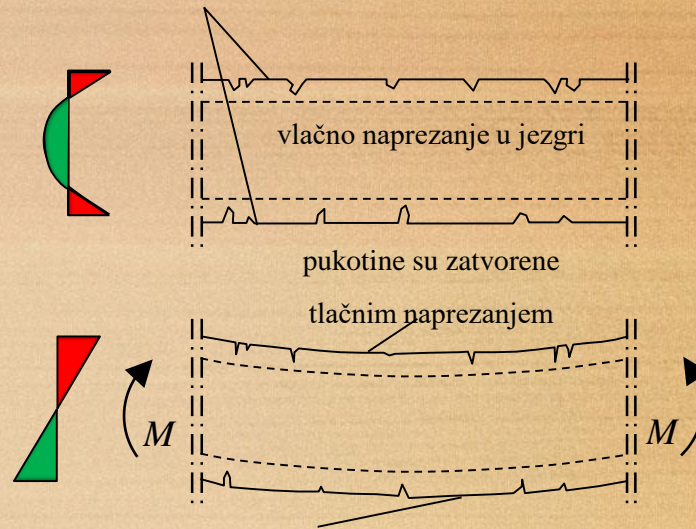
lom

## KALJENO STAKLO

zaostala tlačna naprežanja sprečavaju otvaranje pukotina

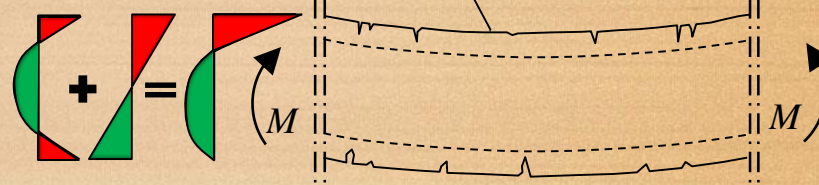
vlačno naprežanje u jezgri

pukotine su zatvorene



zaostala naprežanja sprečavaju otvaranja pukotina

velika tlačna napetost, nema pucanja



nema vlačnog naprežanja na površini

# Parcijalni faktori

	Granično stanje nosivosti	Granično stanje uporabivosti
Kaljeno staklo <sup>(1)</sup>		
Površinski prednapregnuto		

Tip elementa koji se proračunava	$\gamma_Q$	$\gamma_G$	
		Povoljni	Nepovoljni
Glavna konstrukcija	Vidi Eurokodove	Vidi Eurokodove	Vidi Eurokodove
Sekundarna konst.	1,3	1,0	1,2

Bilješke:  
 (1) Konstrukcija pokrivena Eurokodom  
 (2) Nestrukturni elementi nisu pokriveni Eurokodom

		Osnovna konstrukcija <sup>(1)</sup>	Sekundarna konstrukcija <sup>(1)</sup>	Nenosivi panel <sup>(2)</sup>
Vjetar	$\Psi_0$	vidi Eurokod	0,6	0,6
	$\Psi_1$	vidi Eurokod	0,9	0,8
	$\Psi_2$	vidi Eurokod	0,2	0,2
Snijeg	$\Psi_0$	vidi Eurokod	0,6	0,6
	$\Psi_1$	vidi Eurokod	1,0	1,0
	$\Psi_2$	vidi Eurokod	0,2	0,2

# $k_{sp}$ – koeficijent utjecaja površine

Vrsta stakla	Faktor utjecaja površine $k_{sp}$
Plutajuće staklo	1,0
Savijenastaklena ploča	1,0
Emajlirano plutajuće staklo ili emajlirana Savijena staklena ploča	(1,0)
Modelirano staklo	0,75
Emajlirano modelirano staklo	(0,75)
Polirano žičano staklo	0,75
Modelirano žičano staklo	0,6
Bilješka 1. Ove vrste stakla nisu generalno dostupne kao kaljena stakla, ali su vrijednosti $k_{sp}$ također potrebne u formulama za prednapeta stakla.	



$$k_{mod} = 0,663t^{-\frac{1}{16}}$$

Djelovanje	Duljina trajanja	$k_{mod}$
Trenutna opterećenja	5 sekundi	1,00
Vjetar	10 minuta (gomilano preko 50 godina)	0,74
Snijeg	6 tjedana	0,43
Vlastita težina konstrukcije	50 godina	0,29
Dnevne temperaturne varijacije	11 sati	0,57
Godišnje temperaturne varijacije	6 mjeseci	0,39
Varijacija barometarskog tlaka	4 dana	0,50

# Čvrstoća na savijanje

Stakleni materijal po proizvodu (bilo kojeg sastava)	Vrijednosti karakteristične čvrstoće savijanja $f_{b,k}$ prednapetog stakla		
	termički ojačano sigurnosno staklo i termički ojačano sigurnosno staklo	toplinski ojačano staklo	kemijski ojačano staklo
kaljeno staklo ili vučeno staklo	120 N/mm <sup>2</sup>	70 N/mm <sup>2</sup>	150 N/mm <sup>2</sup>
staklo s uzorkom	90 N/mm <sup>2</sup>	55 N/mm <sup>2</sup>	150 N/mm <sup>2</sup>
emajlirano kaljeno staklo ili vučeno staklo	75 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>	
emajlirano staklo s uzorkom	75 N/mm <sup>2</sup>	45 N/mm <sup>2</sup>	

Proizvodni proces	Faktor ojačanja $k_v$
Horizontalno ojačanje	1,0
Vertikalno ojačanje	0,6

# Proračun staklenog panela - GSN

Krajnje granično stanje

$$F_d = \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\sigma_{\max} \leq f_{g;d}$$

Maksimalno vlačno naprezanje iznosi:

$$\sigma_{\max} = k_1 \cdot \frac{A}{h^2} \cdot F_d \quad k_1 \quad \text{tablica 9. iz priručnika}$$

# $k_1$

$$p^* = \left( \frac{A}{4 \cdot h^2} \right)^2 \cdot \frac{F_d}{E}$$

$\lambda = a/b$	$p^*$										
	0	1	2	3	5	10	20	50	100	200	300
1,0	0.268	0.261	0.244	0.223	0.190	0.152	0.135	0.130	0.129	0.128	0.128
0,9	0.287	0.278	0.258	0.234	0.197	0.155	0.137	0.131	0.130	0.129	0.129
0,8	0.304	0.295	0.273	0.247	0.205	0.159	0.138	0.131	0.130	0.130	0.130
0,7	0.314	0.306	0.285	0.261	0.218	0.165	0.140	0.130	0.129	0.129	0.129
0,6	0.314	0.309	0.294	0.274	0.235	0.176	0.143	0.129	0.127	0.126	0.126
0,5	0.300	0.298	0.290	0.279	0.253	0.197	0.151	0.128	0.124	0.123	0.122
0,4	0.268	0.268	0.266	0.262	0.252	0.221	0.171	0.129	0.119	0.116	0.116
0,3	0.217	0.217	0.217	0.216	0.215	0.208	0.189	0.141	0.116	0.107	0.105
0,2	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.148	0.140	0.123	0.100	0.091
0,1	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.074	0.073

$h_2$

## Granično stanje uporabivosti – iz analize opterećenja

$$F_d = G + \psi_1 \cdot Q_{k,1} + \sum_i \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$w_{\max} \leq w_d$$

Maksimalni progib iznosi:

$$w_{\max} = k_4 \cdot \frac{A^2}{h^3} \cdot \frac{F_d}{E}$$

$k_4$  tablica 10. iz priručnika

$w_d = 1/100$  l manja dimenzija panela

# Primjer nosivog stakla



# Primjer nosivog stakla



# Aluminij

- Proces proizvodnje aluminija i aluminijских legura

RUDE BOKSITA	ALUMINIJ ILI ALUMINIJEV OKSID		PRIMARNI ALUMINIJ	LEGURE ALUMINIJA	RECIKLAŽA
Vađenje	Usitnjavanje i elektrolitička redukcija		Ingot	Lijevanje/ekstrudiranje/ valjanje	
					
<p>Oko 4-5 tona boksita obrađuje se u 2 tone aluminija od kojih se može proizvesti oko 1 tone aluminija.</p> <p>Oko 90% svjetskih zaliha boksita nalazi se u tropskim i subtropskim područjima, a 73% ih ima u samo pet zemalja: Gvineja, Brazil, Jamajka, Australija i Indija.</p>	<p>Boksit se nalazi u posebnim mlinovima gdje se miješa s malom količinom vode. Ovaj proces proizvodi gustu smjesu koja se skuplja u posebnim spremnicima i grije se parom radi uklanjanja većine silicija prisutnog u boksitima. Ruda se puni u autoklave i tretira vapno-kaustičnom soda.</p>	<p>Aluminijev oksid se pojavljuje kao rezultirajuća suspenzija, a aditivi se smjeste na dno kao crveno blato. Aluminij se ulijeva u specijalne redukcijske ćelije s kriolitom rastaljenim na 950 °C. Potom se smjesi induciraju električne struje koje razbijaju vezu između aluminija i atoma kisika što dovodi do taloženja tekućeg aluminijuma na dnu redukcijske ćelije.</p>	<p>Primarni aluminij baca se u ingot i isporučuje se kupcima ili se koristi u proizvodnji aluminijских legura za različite svrhe.</p> <p>Najmanji aluminijски ingoti, teže između 6 i 22,5 kg. Kupac ponovno rastapa tako isporučen aluminij, dodaje sve potrebne komponente, a zatim ih preoblikuju.</p>	<p>Proces u kojemu je aluminij oblikovan u traženi oblik. Primjenjuju se u građevinarstvu, prehrambenoj industriji, kriogenoj tehnici, za izradu posuda pod tlakom u vojnoj tehnici, bijeloj tehnici, te za izradu ambalaže.</p>	<p>Za razliku od željeza, aluminij je otporan na koroziju tako da se može opet rastaliti i ponovno upotrijebiti beskonačan broj puta. Dodatna je prednost što recikliranje aluminija zahtjeva samo 5% energije potrebne za izradu iste količine primarnog aluminija.</p>

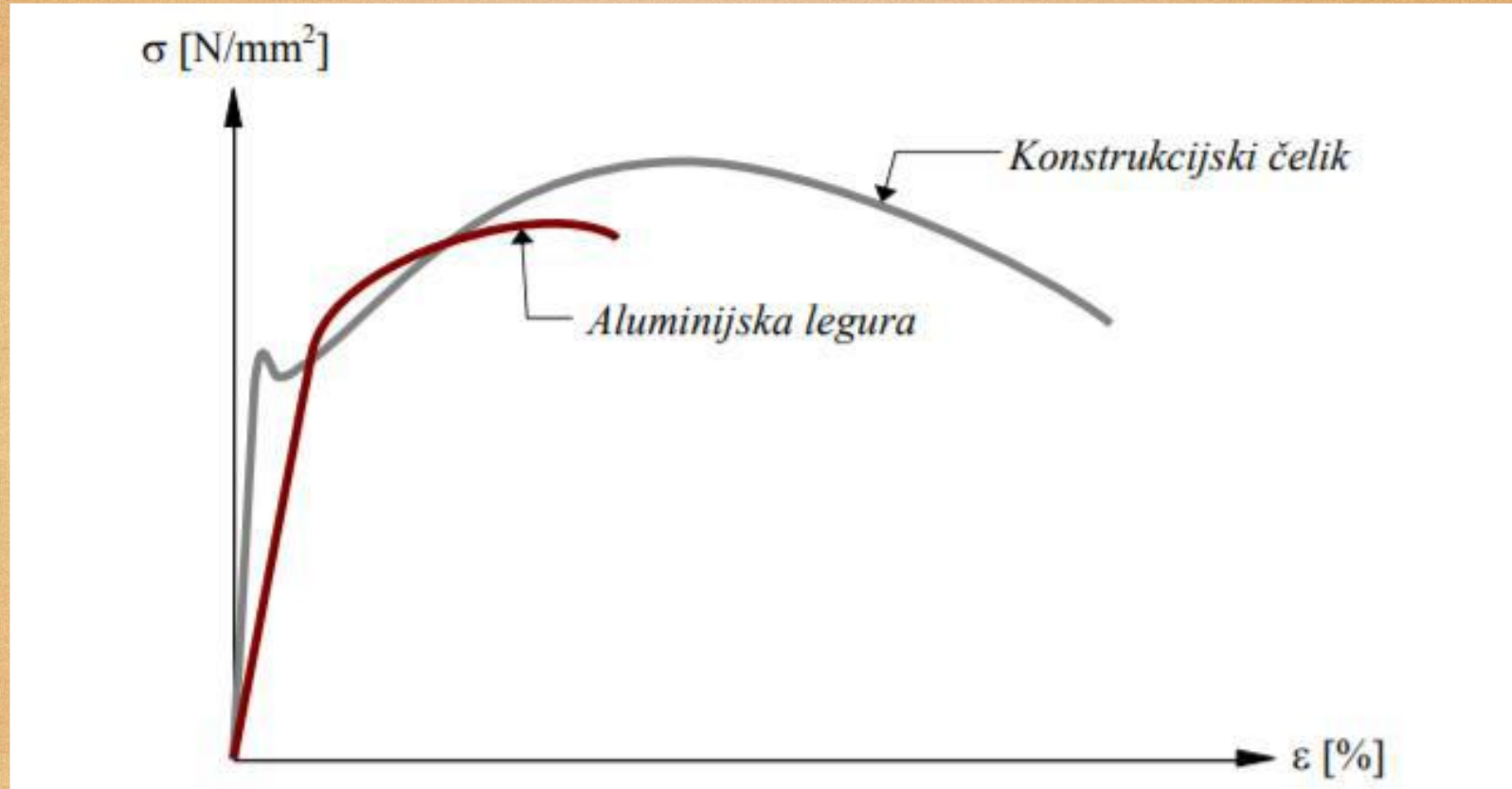
- Primjena?



# Svojstva materijala

<b>FIZIKALNA SVOJSTVA</b>	
Gustoća pri 20°C	2700 kg/m <sup>3</sup>
<b>MEHANIČKA SVOJSTVA</b>	
Modul elastičnosti	70 000 N/mm <sup>2</sup>
Modul posmika	27 000 N/mm <sup>2</sup>
Poissonov koeficijent	0,3
Dobra mehanička svojstva (uključujući žilavost) pri niskim temperaturama (Slika 9.)	
<b>TOPLINSKA SVOJSTVA</b>	
Toplinsko izduljenje	$23 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
Specifični toplinski koeficijent	~920 J/kg°C
Toplinska provodljivost (Slika 7.)	240 W/m°C
Talište	660 °C
<b>ELEKTROKEMIJSKA SVOJSTVA</b>	
dobra otpornost na koroziju	
<b>FIZIKALNO-KEMIJSKA SVOJSTVA (ZAVARLJIVOST)</b>	
Veliki koeficijent toplinskog istezanja uzrokuje veća stezanja i deformacije pri hlađenju, pa je moguća pojava pukotina zbog jakog stezanja.	
Pri zagrijavanju se ne mijenja boja kao kod čelika, pa se ne može procijeniti temperatura na temelju boje pri zagrijavanju do tališta, što pričinjava poteškoće kod zavarivanja i lemljenja.	
Skлонost vrućim, a u manjoj mjeri i hladnim pukotinama, ovisi o kemijskom sastavu i uvjetima zavarivanja.	
Jaka električna vodljivost. Zahtijeva velike jakost struje i kratko vrijeme elektrootpornog zavarivanja.	

# Radni dijagram



# Čvrstoća

U nastavku suprikazane su karakteristične vrijednosti čvrstoća legura pri sobnoj temperaturi, njihove granice popuštanja i linije izvijanja. Granica popuštanja određuje se kao tehnička granica popuštanja kod koje zaostale deformacije nakon rasterećenja iznose 0,2%. Oznaka HAZ odnosi se na varene elemente kod kojih se mora uzeti u obzir redukcija čvrstoće u blizini varova. Kako je aluminij osjetljiv na toplinu, do redukcije čvrstoće dolazi i povišenjem temperature uzrokovana izvrednim djelovanjem požara.

$$f_{0,\theta} = k_{0,\theta} * f_0$$

$f_0$  – karakteristične vrijednosti čvrstoće

Aluminium alloy temperature °C							
20	100	150	200	250	300	350	550
1,00	0,90	0,75	0,50	0,23	0,11	0,06	0

## Oznake poluproizvoda

EP	istisnut profil	FO	Otkivci
EP/H	istisnut šuplji profil	DT	vučena cijev
EP/O	istisnut otvoren profil	PL	Ploča
ER/B	istisnuta šipka	SH	lim
ET	istisnuta cijev	ST	trake

Alloy EN-AW	Product form	Temper	Thick-ness $t$ mm 1) 3)	$f_o$ 1)	$f_u$ 1)	$A$ 5) 2)	$f_{o,haz}$ 4)	$f_{u,haz}$ 4)	HAZ-factor 4)		BC 6)	$n_p$ 7)
				N/mm <sup>2</sup>		%	N/mm <sup>2</sup>		$\rho_{o,haz}$	$\rho_{u,haz}$		
5083	ET, EP, ER/B	O / H111, F, H112	$t \leq 200$	110	270	12	110	270	1	1	B	5
	DT	H12/22/32	$t \leq 10$	200	280	6	135	270	0,68	0,96	B	14
		H14/24/34	$t \leq 5$	235	300	4			0,57	0,90	A	18
6060	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8	50	80	0,42	0,50	B	17
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8			0,50	0,57	B	14
	ET, EP, ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8	60	100	0,43	0,59	A	24
	DT		$t \leq 20$	160	215	12			0,38	0,47	A	16
	EP, ET, ER/B	T64	$t \leq 15$	120	180	12	60	100	0,50	0,56	A	12
	EP, ET, ER/B	T66	$t \leq 3$	160	215	8	65	110	0,41	0,51	A	16
EP	$3 < t \leq 25$		150	195	8	0,43			0,56	A	18	
6061	EP, ET, ER/B, DT	T4	$t < 25$	110	180	50	95	150	0,86	0,83	B	8
	EP, ET, ER/B, DT	T6	$t \leq 20$	240	260	8	115	175	0,48	0,67	A	55
6063	EP, ET, ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8	60	100	0,46	0,57	B	16
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	7			0,55	0,63	B	13
	EP, ET, ER/B	T6	$t \leq 25$	160	195	8	65	110	0,41	0,56	A	24
	DT		$t \leq 20$	190	220	10			0,34	0,50	A	31
	EP, ET, ER/B	T66	$t \leq 10$	200	245	8	75	130	0,38	0,53	A	22
	EP		$10 < t \leq 25$	180	225	8			0,42	0,58	A	21
DT	$t \leq 20$		195	230	10	0,38			0,57	A	28	
6005A	EP/O, ER/B	T6	$t \leq 5$	225	270	8	115	165	0,51	0,61	A	25
			$5 < t \leq 10$	215	260	8			0,53	0,63	A	24
			$10 < t \leq 25$	200	250	8			0,58	0,66	A	20
	EP/H, ET	T6	$t \leq 5$	215	255	8	115	165	0,53	0,65	A	26
			$5 < t \leq 10$	200	250	8			0,58	0,66	A	20

# Proizvodnja aluminija

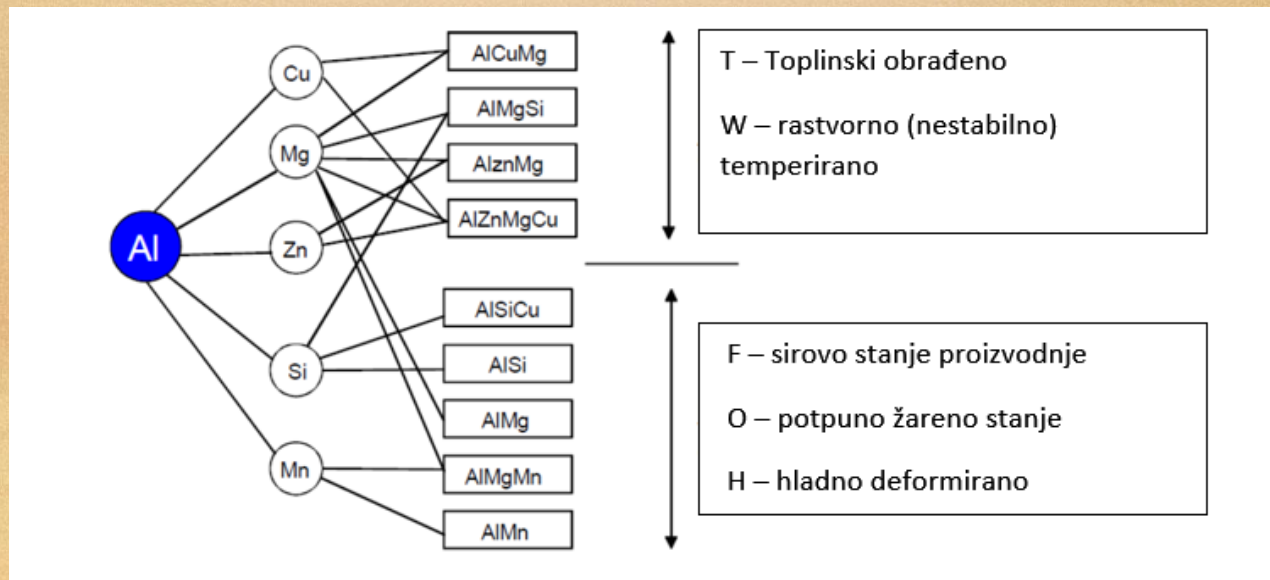


# Primjer



# Aluminijske legure

- Čvrstoća aluminija kao materijala se može povisiti na više načina:
  - 1.) hladnom deformacijom,
  - 2.) legiranjem,
  - 3.) 3. toplinskom obradom,
  - 4.) 4. kombinacijom.
- 
- U inženjerskoj praksi najvećim dijelom se koriste valjani i prešani (ekstrudirani) proizvodi, zatim lijevani. Mehanička svojstva se mogu značajno povećati legirajućim elementima tvoreći tako legure aluminija. Osnovna podjela:
  - 1.) Sa strukturnim očvršćavanjem tzv. "kaljive legure": Al Cu Mg, Al Mg Si, Al Mg Si, Al Zn Mg, Al Li Cu Zr, Al Li Cu Mg Zr
  - 2.) Bez strukturnog očvršćavanja tzv. "nekaljive legure": Al Mn, Al Mg Mn, AlMg.



- **T – Toplinski obrađeno: Primjenjuje se za precipitacijski očvršćivane legure tipa 2000, 6000 i 7000 (sa ili bez postupka deformiranja). Iza slova T dolazi jedan ili više brojeva koji označuju kombinaciju postupaka**

T1 - hlađeno nakon toplog deformiranja i prirodno dozrijevano

T2 - hlađeno nakon toplog deformiranja, hladno deformirano i prirodno dozrijevano

T3 - rastvorno temperirano, hladno deformirano i prirodno dozrijevano

T4 - rastvorno temperirano i prirodno dozrijevano T5 - hlađeno nakon toplog deformiranja i umjetno dozrijevano

T6 - rastvorno temperirano i umjetno dozrijevano

T7 - rastvorno temperirano i umjetno prezrilo

T8 - rastvorno temperirano, hladno deformirano i umjetno dozrijevano

T9 - rastvorno temperirano

# Mehanička svojstva i nazivlje aluminijskih legura

Legura	Serija	Tip	Internacionale oznake	Raspon mehaničkih karakteristika (MPa)						
				0	100	200	300	400	500	600
Toplinski Neočvrstive legure	1000	Al	1050A 1070A 1100 1200 1080							
	3000	Al-Mn	3003 3004 3005 3105							
	5000	Al-Mg	5086 5083 5056A 5456 5052 5005 5454 5754 5254 5182							
Toplinski očvrstive legure	2000	Al-Cu Al-Cu-Mg	2011 2030 2017A 2618A 2024 (2124) 2014 (2214) 2219							
	6000	Al-Si-Mg	6005A 6060 6061 6082 6081 6106 6351							
		Al-Zn-Mg	7020 7021 7039							
	7000	Al-Zn-Mg-Cu	7049A 7175 7075 7475 7010 7150 7050							



# Proračun aluminijskih elemenata opterećenih na tlak

$$N_{Ed} = \sum \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Prilikom proračuna elemenata potrebno je provesti klasifikaciju poprečnog presjeka
- Klasifikacija poprečnog presjeka se vrši pomoću parametra vitkosti  $\beta$

$$\beta \leq \beta_1$$

Klasa 1

$$\beta_1 < \beta \leq \beta_2$$

Klasa 2

$$\beta_2 < \beta \leq \beta_3$$

Klasa 3

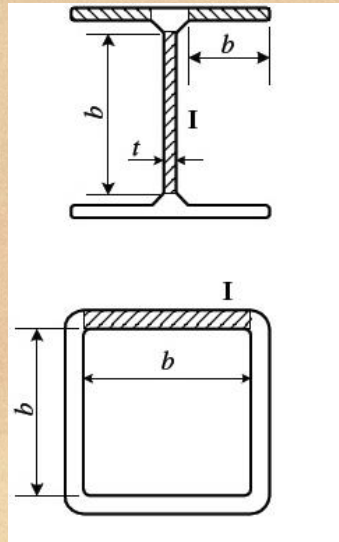
$$\beta > \beta_3$$

Klasa 4

$$\beta = \frac{b}{t}$$

# Proračun - klasifikacija

Klasifikacija materijala prema $\varepsilon = \sqrt{250/f_0}$ , $f_0$ u $\text{mm}^2$	Unutrašnji dio			Vanjski dio		
	$\beta_1/\varepsilon$	$\beta_2/\varepsilon$	$\beta_3/\varepsilon$	$\beta_1/\varepsilon$	$\beta_2/\varepsilon$	$\beta_2/\varepsilon$
Klasa A bez zavarenih spojeva	11	16	22	3	4,5	6
Klasa A sa zavarenim spojevima	9	13	18	2,5	4	5
Klasa B bez zavarenih spojeva	13	16,5	18	3,5	4,5	5
Klasa B sa zavarenim spojevima	10	13,5	15	3	3,5	4



# Klasifikacija- klasa 4

- veličine poprečnog presjeka se umanjuju i radi se efektivni poprečni presjek, faktor umanjenja je

$$\rho_c = 1,0 \quad \text{if } \beta \leq \beta_3$$
$$\rho_c = \frac{C_1}{\frac{\beta}{\varepsilon}} - \frac{C_2}{\left(\frac{\beta}{\varepsilon}\right)^2} \quad \text{If } \beta > \beta_3$$

Klasifikacija materijala prema	Unutrašnji dio		Vanjski dio	
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
Klasa A bez zavarenih spojeva	32	220	10	24
Klasa A sa zavarenim spojevima	29	198	9	20
Klasa B bez zavarenih spojeva	29	198	9	20
Klasa B sa zavarenim spojevima	25	150	8	16

$$t_{eff} = \rho_c \cdot t$$

# Ilacna otpornost elementa (bez dokaza izvijanja)

$$N_{Ed} \leq N_{c.Rd}$$

$$N_{c.Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_o}{\gamma_{M1}}$$

- $A_{eff}$  efektivna površina poprečnog presjeka
- $f_o$  granica proporcionalnosti (*0,2 proof strength*), očitati iz tablice 11.

# Tlačna otpornost elementa (s dokazom izvijanja)

$$N_{Ed} \leq N_{b.Rd}$$

- Zavareni stup

$$N_{b.Rd} = \frac{\kappa \cdot \chi \cdot A_{eff} \cdot f_o}{\gamma_{M1}}$$

- $N_{b.Rd}$  otpornost poprečnog presjeka na izvijanje
- $\chi$  redukcijski faktor izvijanja
- $\kappa$  faktor oslabljenja uslijed zavarivanja
- $A_{eff}$  efektivna površina poprečnog presjeka

# Faktor redukcije

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\phi = 0.5 \cdot (1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_o}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_o}{A \cdot E}}$$

Material buckling class	$\alpha$	$\bar{\lambda}_0$
Class A	0,20	0,10
Class B	0,32	0,00

- $L_{cr}$  duljina izvijanja (ovisno o pridržanjima)
- $i$  radijus elipse tromosti

# Stakleni stup



# Stakleni stup – tlak bez dokaza stabilnosti

- Početna imperfekcija L/300

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{N}{W} \cdot \left( \frac{w_o}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \right) \quad N_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

$$\sigma < \sigma_{c.d}$$

$$N_{Ed} \leq N_{c.Rd} = \frac{\sigma_{c.d} \cdot A}{\gamma_k}$$

$$\sigma_{c.d} = 500 \text{ N/mm}^2 \quad \gamma_k = 1,8$$



# Tlak s dokazom stabilnosti

$$N_{Ed} \leq N_{c.Rd} = \frac{\chi_k \cdot \sigma_{p,t} \cdot A}{\gamma_k}$$

- maksimalno dopušteno (proračunsko) vlačno naprezanje u staklu

$$\sigma_{p,t} = f_{g,d}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_{p,t}}}} = \sqrt{\frac{\sigma_{p,t}}{\sigma_{cr}}}$$

# Koeficijent izvijanja

$$\bar{\lambda} = 0.5$$

Za relativnu vitkost dobivamo koeficijent izvijanja koji je veći od 1 te zaključujemo da izvijanje nije mjerodavno u ovom slučaju

