

# 6. Speciální druhy skel

## Pro oblast stavebnictví:

- Vodní skla.
- Pěnové sklo.
- Bezpečnostní skla (tvrzené, vrstvené, drátosklo).
- Tepelně izolační skla (dvojskla, trojskla,...)

# 6.1. Vodní sklo

- **Koloidní roztok křemičitanu alkalického kovu (Na, K, Li) s obsahem sušiny 30 – 45 %hm. (Na), 30 – 40 % (K) a 20 – 30 % (Li).**
- **pojivo (žáromateriály, nátěrové hmoty, slévárenské formy, pro briketování, tabletování, granulování),**
- **ztekucovadlo v keramickém průmyslu,**
- **výroba pigmentů, zeolitů, úprava vody (detergent - prací prostředky),**
- **Konzervace vajec...**

## 6.1.1 Základní vlastnosti vodních skel

- **Modul:** poměr mezi obsahem SiO<sub>2</sub> a Na<sub>2</sub>O (molární nebo hmotnostní).
- **Hustota:** ve stupních Baumé (°Bé) – voda 0 °Bé, 98% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 66 Bé

$$[\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}] = \frac{144,3 \cdot 1000}{144,3 - \text{Bé}}$$

Druh vodního skla	Hustota (kg/m <sup>3</sup> )	Molární poměr SiO <sub>2</sub> /Na <sub>2</sub> O	Obsah Na <sub>2</sub> O (%)	Obsah SiO <sub>2</sub> (%)	Sušina (% Na <sub>2</sub> O + % SiO <sub>2</sub> )
36° – 38° Bé	1328 - 1352	3,2 – 3,5	7,9 - 8,2	24,5 – 27,8	32,4 – 36,0
38° – 40° Bé	1353 – 1378	3,2 – 3,5	8,2 – 8,6	25,4 – 29,2	33,6 – 37,8
40° – 42° Bé	1380 – 1409	3,2 – 3,5	8,8 – 9,2	27,3 – 31,2	36,1 – 40,4
44° – 46° Bé	1435 – 1467	2,6 – 2,8	11,7 – 12,2	29,5 – 33,1	41,2 – 45,3
48° – 50° Bé	1494 – 1525	2,2 – 2,4	13,2 – 14,2	28,1 – 33,0	41,3 – 47,2
50° – 52° Bé	1525 – 1557	2,3 – 2,5	13,5 – 14,5	30,1 – 35,1	43,6 – 49,6
52° – 55° Bé	1558 - 1610	1,8 – 2,3	15,5 – 16,4	27,0 – 36,5	42,5 – 52,9
VS 2,0	1490 – 1540	1,9 – 2,1	-	-	39,7 – 45,5
VS 1,6	1560 - 1570	1,55 – 1,75	-	-	44-46

## 6.1.2. Technologie výroby Na-vodních skel

- v Evropě kolem 500 000 tun ročně (draselná 21 000 tun, lithná 1000 tun).
- Může být základní surovinou pro výrobu K a Li-vodních skel

Dvě alternativní technologie výroby:

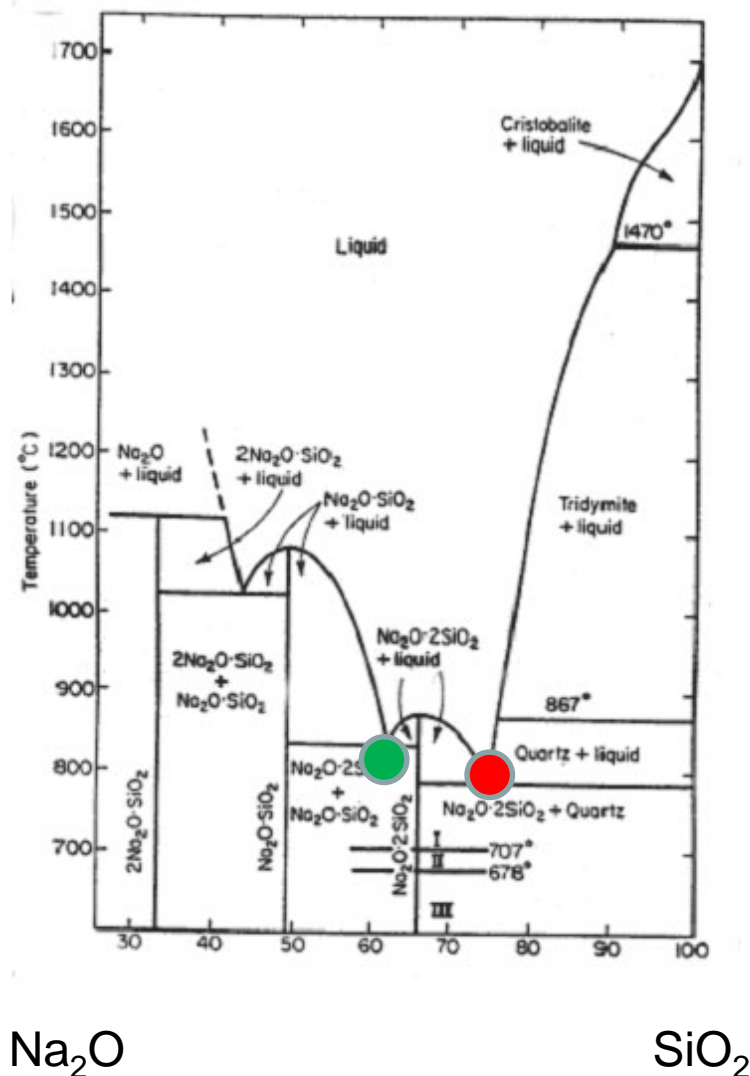
1. Rozvaření sodnokřemičité frity
2. Hydrotermální metoda



## 6.1.2.1 Sodnokřemičitá frita

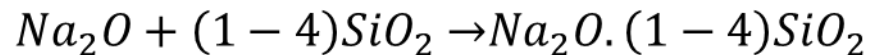
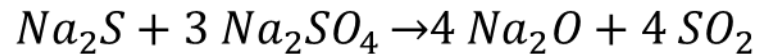
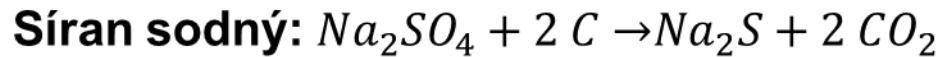
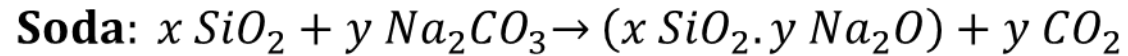
- Utavená a rychle zchlazená sklovina (PKS = pevný křemičitan sodný)
- PKS 2,0 (alkalická frita)
- PKS 3,2 (neutrální frita)

Parametr	PKS 2,0	PKS 3,2
Molární poměr	2,1-2,3	3,2-3,5
Obsah SiO <sub>2</sub> [%hm.]	68	76
Obsah Na <sub>2</sub> O [%hm.]	31	23
Nerozp. zbytek [%hmot.]	Max. 0,4	max. 0,4
Ztráta sušením [%hmot.]	Max. 0,1	Max. 0,1



## 6.1.2.1 Sodnokřemičitá fritá

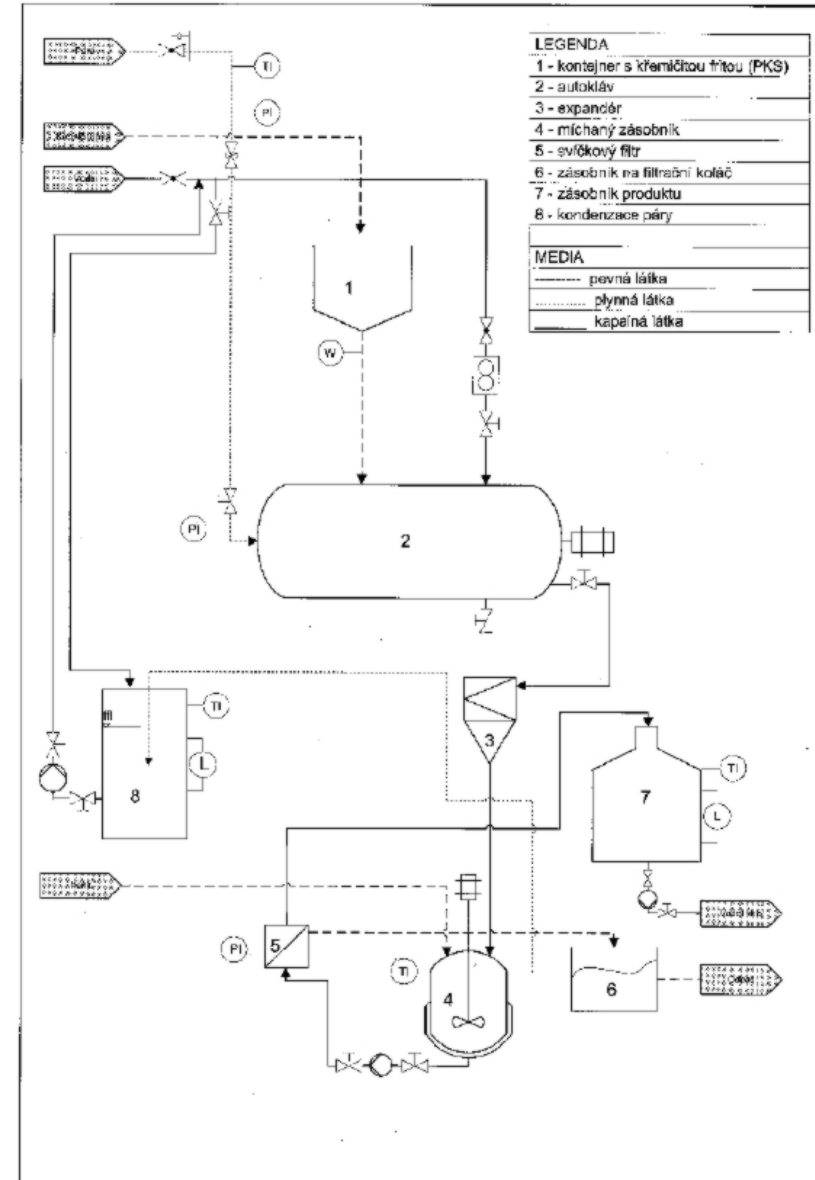
- Sklářský písek + soda (variantně síran sodný nebo chlorid sodný → koroze vyzdívky ( $\text{SO}_2$ , resp.  $\text{HCl}$ ) a horší rozpustnost frity díky 1 – 2 % %hm.  $\text{SO}_4^{2-}$ )



- Tavení v kontinuální příčně plamenné vanové peci (1300 – 1400 °C) → výtok 1120 °C,
- Měrná spotřeba tepla cca 6100 kJ.kg<sup>-1</sup>,
- Výkon 2,5 t.m<sup>-2</sup>.den<sup>-1</sup>
- Výtok na vodou chlazený skluz + skrápění vodou.

# 6.1.2.1. Rozvaření sodnokřemičité frity (způsob výroby VS tavením)

- Za normálních podmínek PKS nerozpustný → zvýšení teploty a tlaku.
- Autokláv: vodní pára 0,6 MPa, 3 – 4 hodiny.
- Rozvaření PKS 2,0 a 3,2 – mísení vzniklých vodních skel.
- Modul pod 2,0 – úprava NaOH (modul 1,6 pro tukový průmysl).



## 6.1.2.2. Hydrotermální postup

- Křemičitý písek + NaOH (30-50 %) – v autoklávu (tlak vodní páry 1 – 2 MPa).
- Modul 2,0 až 2,6 - pro zvýšení nutno použít zdroj SiO<sub>2</sub> s vyšším měrným povrchem (křemelina).
- Možné využití odpadů (z výroby křemíku, odprachy z ferrosilitin, sklářské odpady)



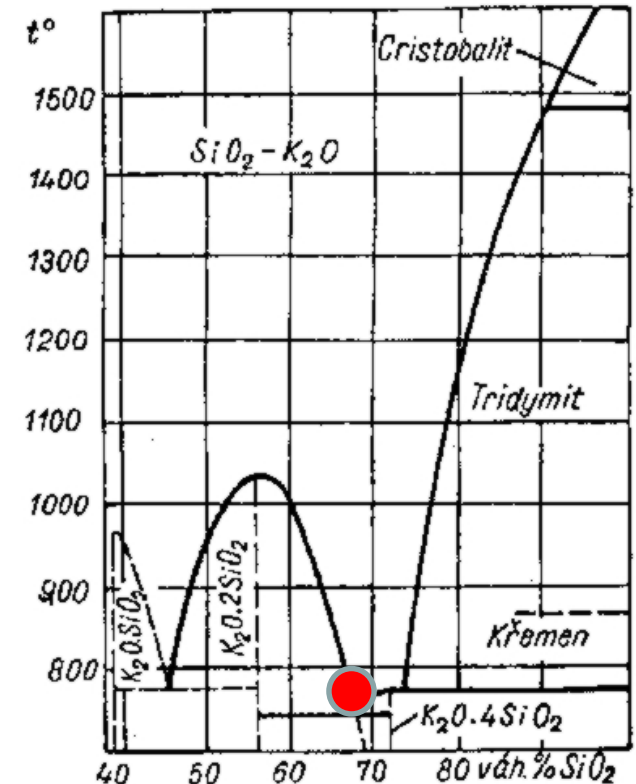
## 6.1.3. Technologie výroby K-vodních skel

- Pojivo nátěrových hmot, žáromateriálů, tmelů, výroba svařovacích elektrod).
- Obdobný postup jako Na-vodní sklo,
- Běžnější je zpracování draselnokřemičité frity

Parametr	Draselnokřemičitá frita
Molární poměr	3,3 – 3,5
Váhový poměr	2,1 – 2,2

### PKD – Societé Francaise Hoechst

Molární poměr	3,29	3,53	4,04
Hmotnostní poměr	2,1	2,25	2,58
Obsah SiO <sub>2</sub> [%hm.]	67,5	68,5	71,4
Obsah K <sub>2</sub> O [%hm.]	32,0	30,5	27,7
Obsah Al [%hm.]	Max. 0,15		



## 6.1.3. Technologie výroby K-vodních skel

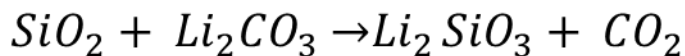
1. Rozvařování draselnokřemičité frity – stejné rotační autoklávy jako u Na-vodních skel x nižší tlak (do 0,4 MPa).
2. Popsán i hydrotermální způsob reakce křemičitého písku a KOH.
3. Využití iontoměničů – ze sodného vodního skla → dealkalizací na katexové koloně v H<sup>+</sup> cyklu sol oxidu křemičitého + KOH

## 6.1.4. Technologie výroby Li-vodných skel

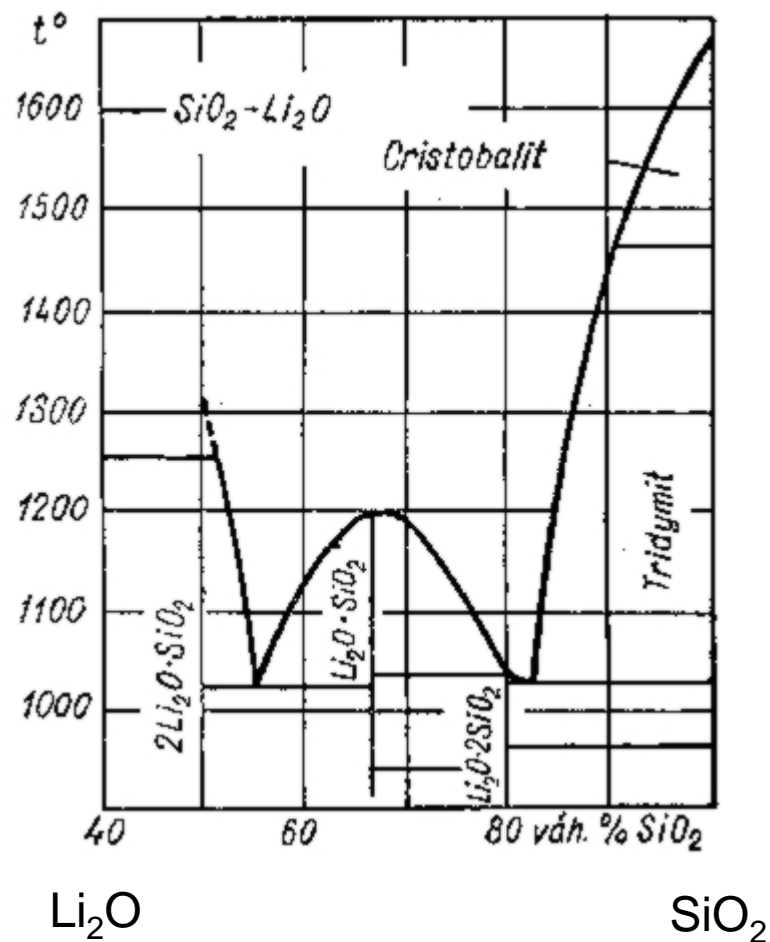
- Nátěrové hmoty pro těžkou antikorozi ochranu se Zn-prachem, restaurování památek (zpevnění kamene), výroba svařovacích elektrod.
- Výroba přes taveninu neexistuje,
  1. Amorfnní  $\text{SiO}_2$  +  $\text{LiOH}$  (***přímá syntéza v kapalném prostředí***)  
*nebo*
  2. ***Výroba z vodního skla sodného*** ( $m = 3,2$ ) – dealkalizace na sol oxidu křemičitého +  $\text{LiOH}$  (1 mol  $\text{Li}_2\text{O}$  : 3-25 mol  $\text{SiO}_2$ ) při zvýšené teplotě do  $60\text{ }^\circ\text{C}$  → roztok křemičitanu lithného s obsahem 10 – 26 %hm.  $\text{SiO}_2$  a 0,2 – 4,4 %hm.  $\text{Li}_2\text{O}$ .  
*nebo*

## 6.1.4. Technologie výroby Li-vodních skel

3. **Výroba práškového metasilikátu lithného** při 700 °C při inertní atmosféře CO<sub>2</sub> nebo vakuu:



4. **Li-Na-vodní skla** s obsahem 15 – 25 %hm. SiO<sub>2</sub> 1-1,5 %hm. Na<sub>2</sub>O, 1,5 – 2,0 % Li<sub>2</sub>O



## 6.1.5 Pevné křemičitany alkalických kovů

- Sušená vodní skla (Susil).
- Metakřemičitan sodný a draselný.
- Vysušování koloidních roztoků – pevný roztok nebo krystalizace,
- Dobrá rozpustnost ve vodě, nízký modul (m kolem 1)
- Bezvodý, pentahydrát, nonahydrát (nízká teplota tání 47,8 °C)

Amorfní hydratované křemičitany	Susil 2020	Susil 3018	Susil 2220K	Susil 2420K
Obsah SiO <sub>2</sub> [%hm.]	54	63	49	50
Obsah Na <sub>2</sub> O (K <sub>2</sub> O) [%hm.]	29	19	34	32
Sypná hmotnost [g/l]	600-750	600-700	1000	1000
Velikost částic [mm]	45	45	30	30
Rozpustnost [min] 3g/l při 25 °C	Do 10	180	Do 10	Do 10

## 6.1.6 Vytvrzování křemičitých pojiv

- Anorganická: soli slabých zásad a silných kyselin (fosforečnany hlinité)
- Organické:  $\text{CO}_2$ , estery kyseliny octové, glycerol acetáty..

# Pozn. Metody hodnocení vodních skel

## 1. Stanovení oxidu sodného:

- Naváží se cca 2 g vzorku s přesností na 0,001 g.
- Vzorek se horkou destil. vodou spláchne do kádinky na 800 ml + několik kapek methylčerveně a titruje se roztokem HCl (0,5 mol/l) do červenofialového zbarvení (spotřeba ***a***):

$$\%hm. Na_2O = (a \cdot f_1) \cdot 0,775$$

$f_1$  ... faktor odměrného roztoku  $c(\text{HCl}) = 0,5 \text{ mol/l}$

# Pozn. Metody hodnocení vodních skel

## 2. Stanovení oxidu křemičitého:

- Do roztoku po stanovení  $\text{Na}_2\text{O}$  100 ml 5% roztoku fluoridu sodného – titrace roztokem  $c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol/l}$  do červeného zbarvení (spotřeba ***b***) – zmizení žluté:

$$\%hm. \text{SiO}_2 = ((b \cdot f_1) - \text{slepý pokus}) \cdot 0,75$$

$f_2$  ... faktor odměrného roztoku  $c(\text{HCl}) = 1 \text{ mol/l}$



## 6.3 Pěnové sklo

- Z recyklovaného skla (nevhodné frakce lahvového skla pro sklářský kmen).
- Jemné pomletí skla + nadouvadlo – výpal v rolnové peci do 1000 °C



Vlastnost	Jednotka	rozpětí hodnot
objemová hmotnost	kg·m <sup>-3</sup>	<b>120 - 175</b>
pevnost v tlaku	MPa	<b>0,7 - 1,6</b>
pevnost v ohybu	MPa	0,3 - 0,6
modul pružnosti	MPa	800 - 1500
součinitel délkové teplotní roztažnosti	K <sup>-1</sup>	8,3·10 <sup>-6</sup> - 9,0·10 <sup>-6</sup>
měrná tepelná kapacita	kJ·kg <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	0,84
měrná tepelná vodivost při 0 °C	W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	0,038 - 0,049
měrná tepelná vodivost při 10 °C	W·m <sup>-1</sup> ·K <sup>-1</sup>	<b>0,040 - 0,050</b>
faktor difuzního odporu	-	∞
maximální teploty použití	°C	- 260 až + 430
hořlavost (podle ČN 73 0823)	stupeň hořlavosti	A



# Virtuální exkurze – Refaglass Vintířov







# Virtuální exkurze – A-glass

- <https://www.youtube.com/watch?v=oaZhgi9xRY>

## 6.4. Bezpečnostní skla

- Drátové sklo (drátosklo).
- Tepelně tvrzená (kalená) skla.
- Vrstvená skla.



# 6.4.1 Drátosklo (drátěné sklo)

- Sklo s drátěnou vložkou – po rozbití drží pohromadě (bezpečnostní sklo i z hlediska požáru),
- ČSN EN 572-6:2012 – Sklo ve stavebnictví – Základní výrobky ze sodnovápenatokřemičitého skla – Část 6: Vzorované sklo s drátěnou vložkou.
- Složitá technologie výroby – časté vady (bublinky, nesymetričnost a koroze drátu).
- Cca 0,75 kg drátěná vložka na 1 m<sup>2</sup>

Složení skla	Síla prvku	Součinitel tepelné propustnosti $U_g$ podle EN673	Světelný činitel propustnosti světla	Součinitel propustnosti celkové energie slunečního záření podle EN410	Reflexe	Index vzduchové neprůzvučnosti	Spektrum - hodnoty přizpůsobení
	[mm]	[W/m <sup>2</sup> K]	LT % (±2)	g-Wert % (±2)	LR % (±2)	Rw [dB]	C;Ctr
6 čiré	6	5,7	89	84	8	31	(-2,-3)



## 6.4.2 Bezpečnostní skla - tepelně tvrzené sklo

- Tepelné tvrzení (kalení) plochých sodnovápenatokřemičitých skel v kalicí peci (600 – 700 °C – blízko teploty měknutí).

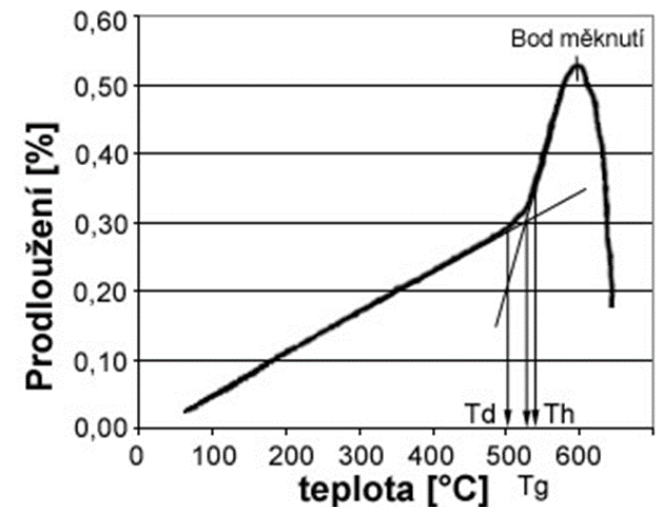


[Kalicí pec](http://www.infoglass.cz/polflam-nejmodernejsi-kalici-pec/)

<http://www.infoglass.cz/polflam-nejmodernejsi-kalici-pec/>

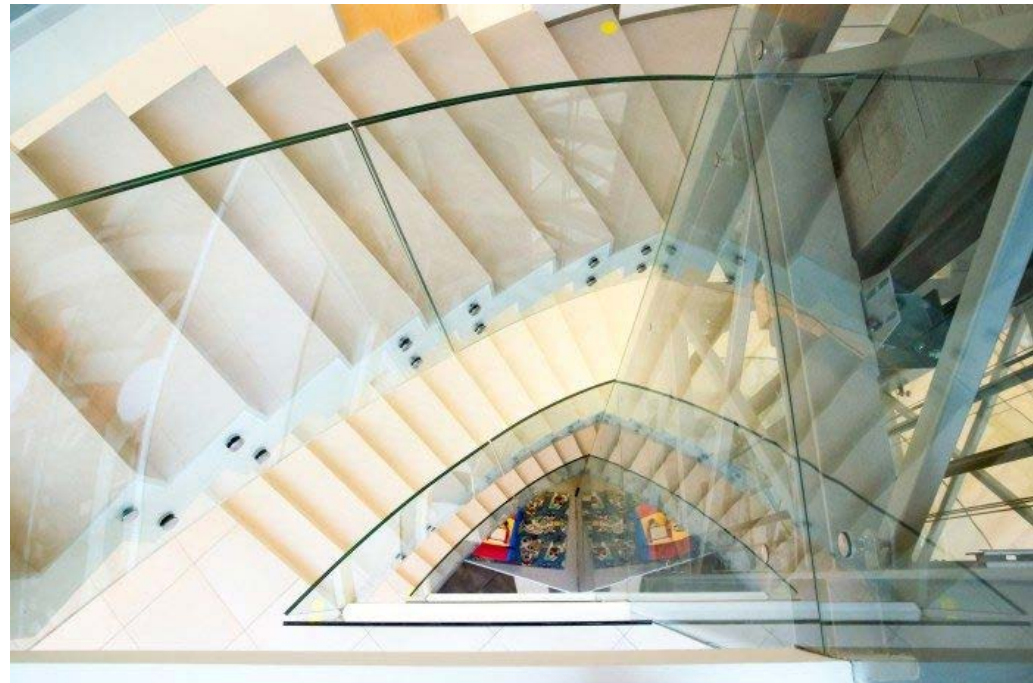
Toughening of glass:

<https://www.youtube.com/watch?v=IZUX0HyKwhs>



## 6.4.2 Bezpečnostní skla – tepelně tvrzené sklo

- Rychlé ochlazení vyhřátého skla → ochlazený povrch (smršťování) x zahřáté jádro (rozpínání) → na povrchu tlakové napětí, tahové napětí uvnitř
- Nárůst ohybové pevnosti cca. 3x (120 MPa), lepší OZT (skokový nárůst teploty až 200 °C x běžné 30 °C), 5x vyšší odolnost proti bočnímu nárazu (kyvadlová zkouška)



Crash test bezpečnostních skel:

<https://www.youtube.com/watch?v=tcfCie9J4Xs>

<https://www.youtube.com/watch?v=Jo9zZGCu00k>



## 6.4.2 Bezpečnostní skla – tepelně tvrzené sklo

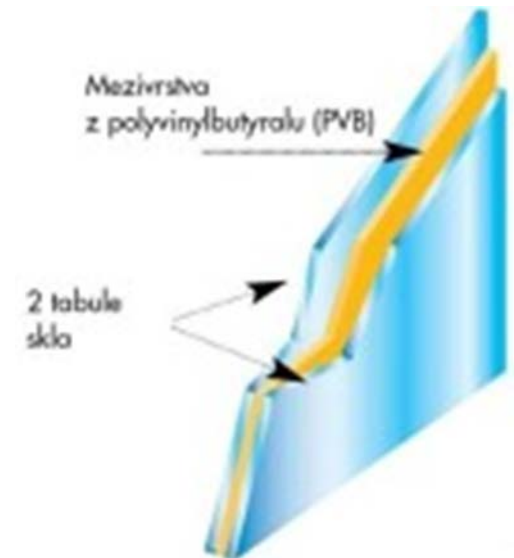
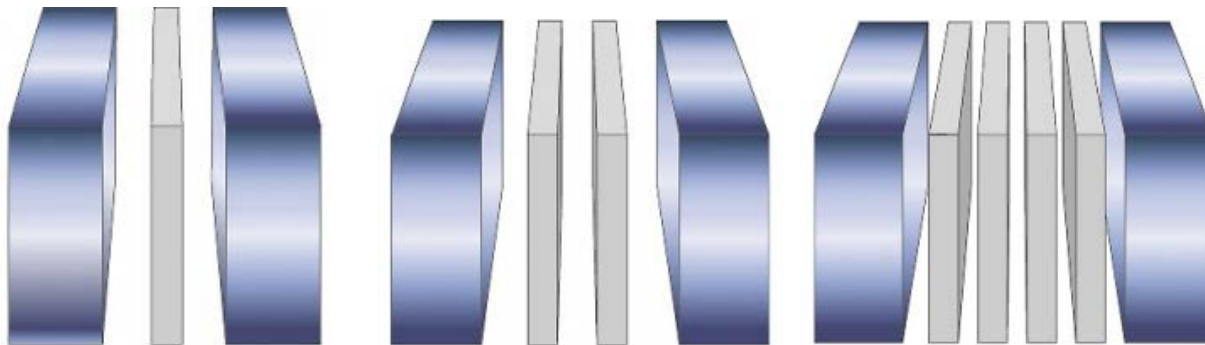
- Porušení – malé úlomky s neostrými hranami
- Okamžitá ztráta pevnosti po porušení.
- Možnost bodového kotvení skla.
- Nemožnost dalšího opracování (řezání, vrtání, broušení,...)
- Tloušťky skel 3 – 19 mm, poměr stran max. 1:20



## 6.4.3 Bezpečnostní skla – vrstvené sklo

- ČSN EN ISO 12543.
- 2 a více skleněných tabulí (float, tepelně nebo chemicky tvrzené a jejich kombinace) + polyvinyl-butyral (PVB), etylen-vinyl-acetát (EVA) nebo termoplastický polyuretan (TPU), nalévané pryskyřice (GH),...
- PVB tl. 0,38 mm.
- Značení např. 33.2, 66.1; 88.4 ...

(tloušťka tabulí skla.pocet fólií)



## 6.4.4 Zkoušení bezpečnostních skel

### ČSN EN 12 600: Sklo ve stavebnictví - Kyvadlová zkouška – Metoda zkoušení nárazem a klasifikace pro ploché sklo

- třídy **1(B)1** – 33.2, 44.2, 55.1, **2(B)2** – 33.1, 44.1, **3(B)3**

- test simuluje náraz lidského těla do skla.
- Bezpečnostní sklo  $\Leftrightarrow$  min. třída 3B3 podle ČSN EN 12600.
- Vzorek 1938 x 876 mm.
- Výška pádu: 1-1200 mm, 2-450 mm, 3-190 mm.

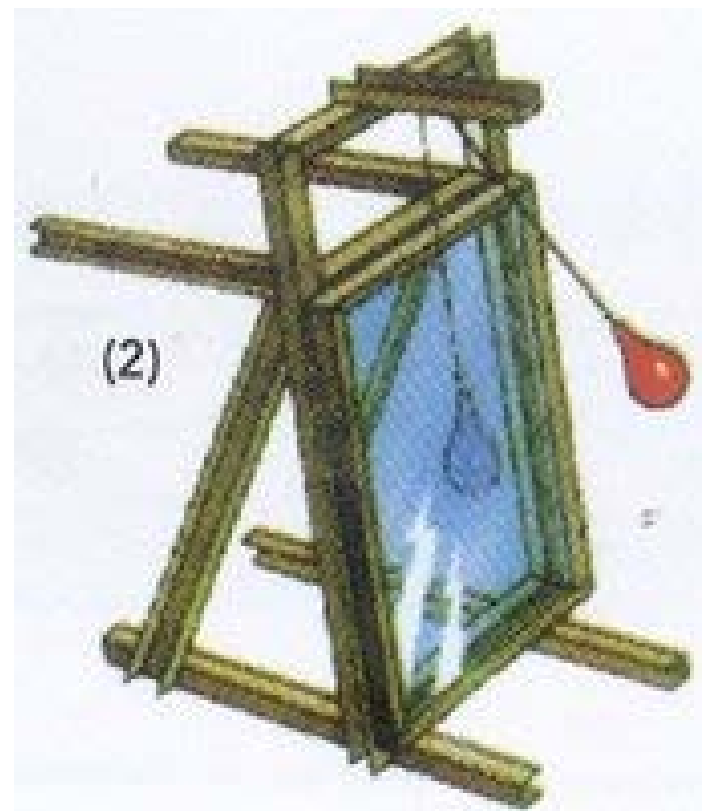
#### X(A-B-C)Y

X...nejvyšší výška pádu (1-2-3)

A-B-C...charakter lomu (A-pro chlazené sklo, B-pro vrstvené sklo, C-pro tvrzené sklo)

Y...nejvyšší výška pádu, při které vzorek nebyl porušen

<https://www.youtube.com/watch?v=TJMVfjmvXRg>



## 6.4.4 Zkoušení bezpečnostních skel

**ČSN EN 356: Sklo ve stavebnictví – Bezpečnostní zasklení – Zkoušení a klasifikace odolnosti proti ručně vedenému útoku:**

### **a) Pádová zkouška:**

- třídy **P1A** – 33.2, **P2A** – 33.2, 44.2, **P3A** – 33.4, **P4A** – 33.4, 44.4, **P5A** – 44.6

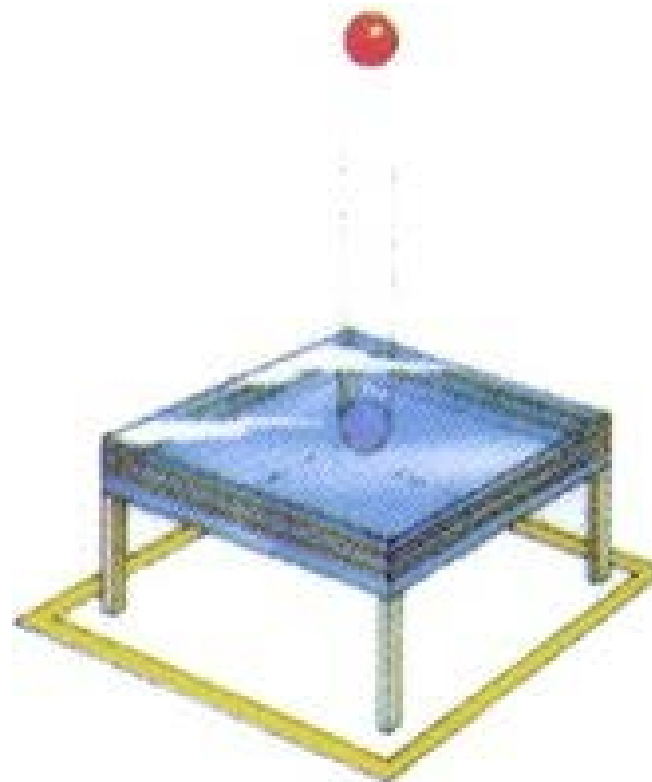
test simuluje náraz tvrdého předmětu do vrstveného skla a určuje odolnost skla proti rozbití

Nárazové těleso: ocelová koule  $\varnothing$  100 mm (4,11 kg, 60 – 65 HRC).

Výšky pádu:

P1A – 1500 mm ...

... P5A – 9000 mm



## 6.4.4 Zkoušení bezpečnostních skel

**ČSN EN 356: Sklo ve stavebnictví – Bezpečnostní zasklení  
– Zkoušení a klasifikace odolnosti proti ručně vedenému  
útku:**

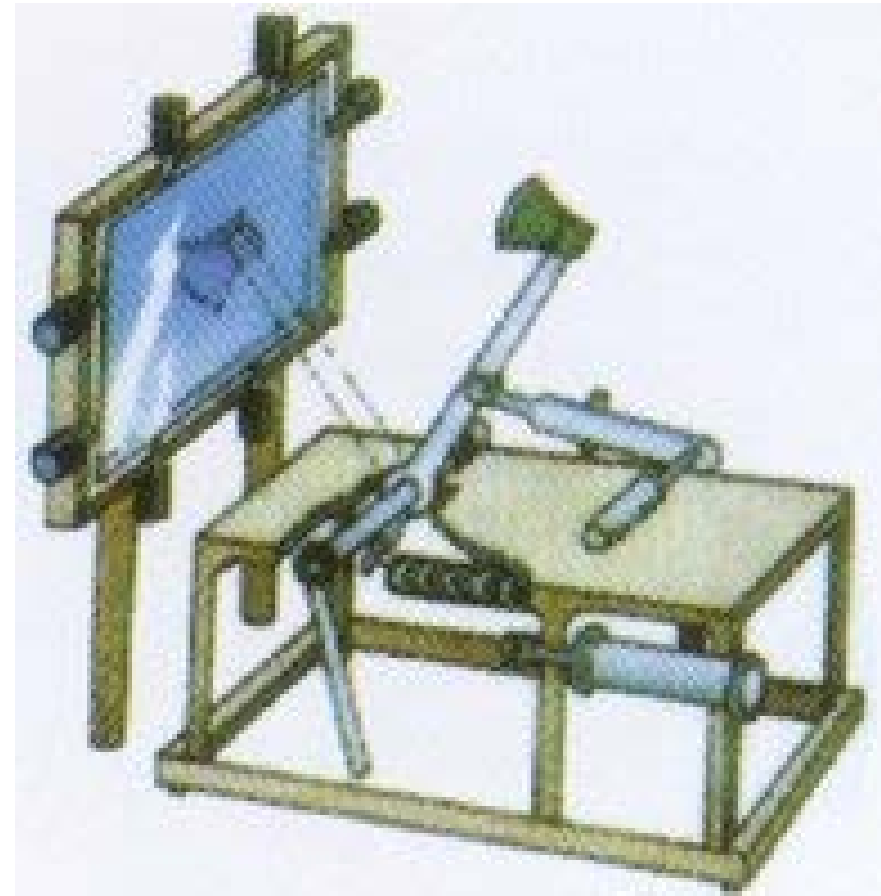
### **b) Zkouška sekerou**

- třídy **P6B, P7B, P8B**

- zkouška určí počet identických úderů sekerou potřebných k vytvoření otvoru o rozměrech 40x40 cm.

P6B – 30 – 50 úderů ...

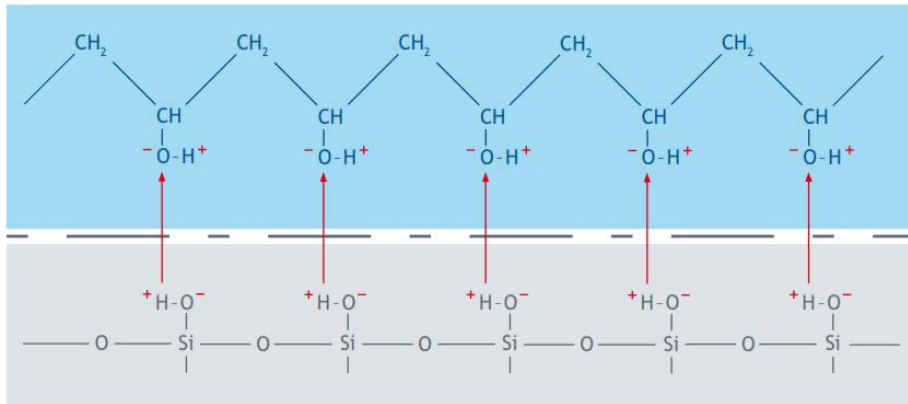
P8B – více než 70 úderů





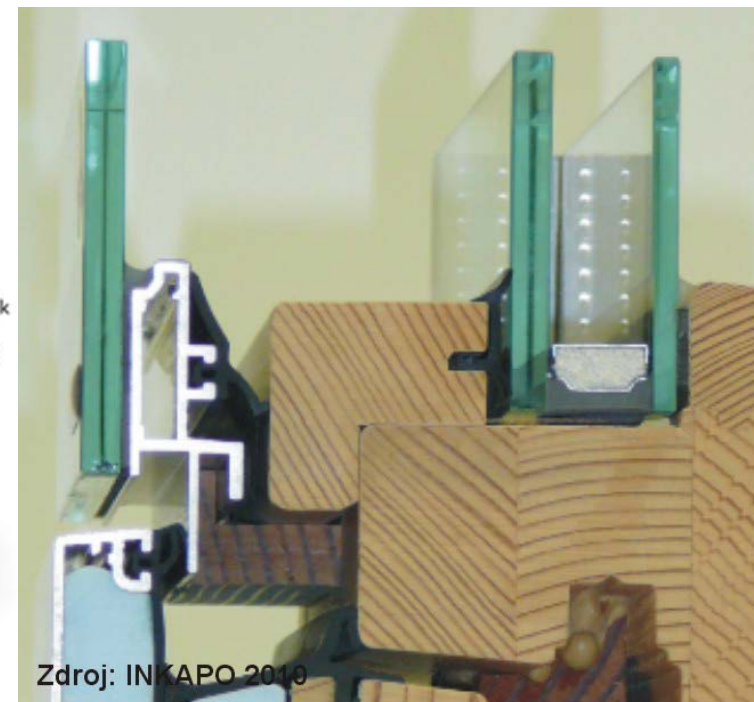
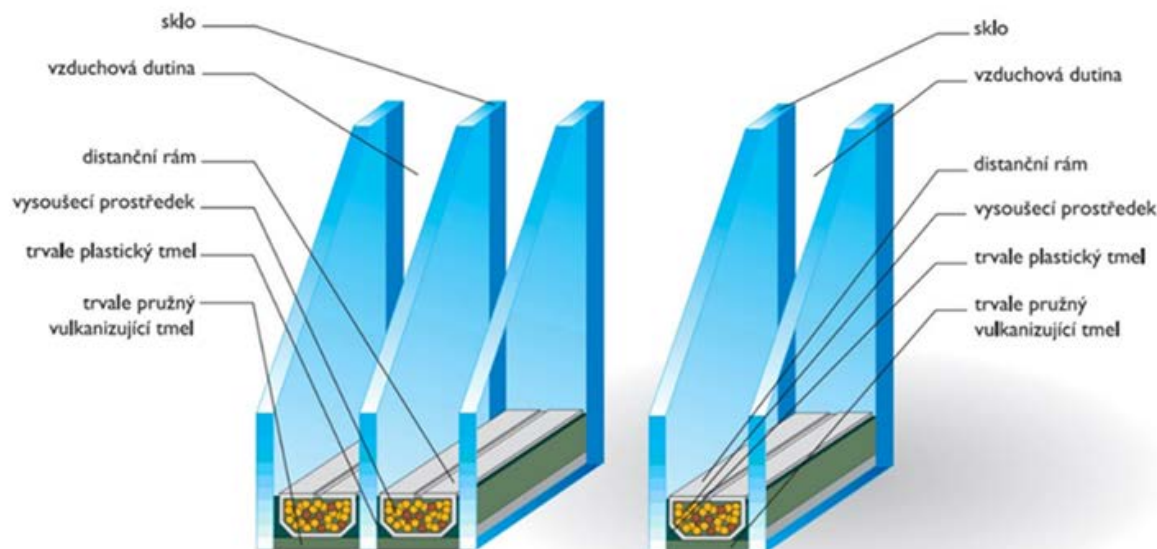
## 6.4.5 Vady vrstvených skel - delaminace

- nejčastěji se vyskytuje na okrajích tabulí skla nebo ojediněle na samotné ploše skla.
- Ztráta optické kvality nebo zabarvené skvrny.
- Vznik za vyšších teplot ve vlhku.



## 6.5. Tepelně izolační skla

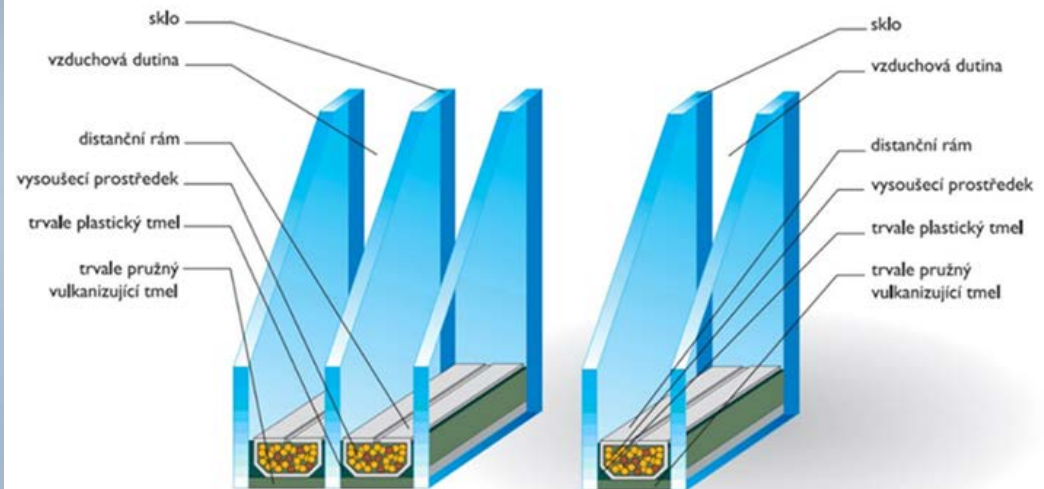
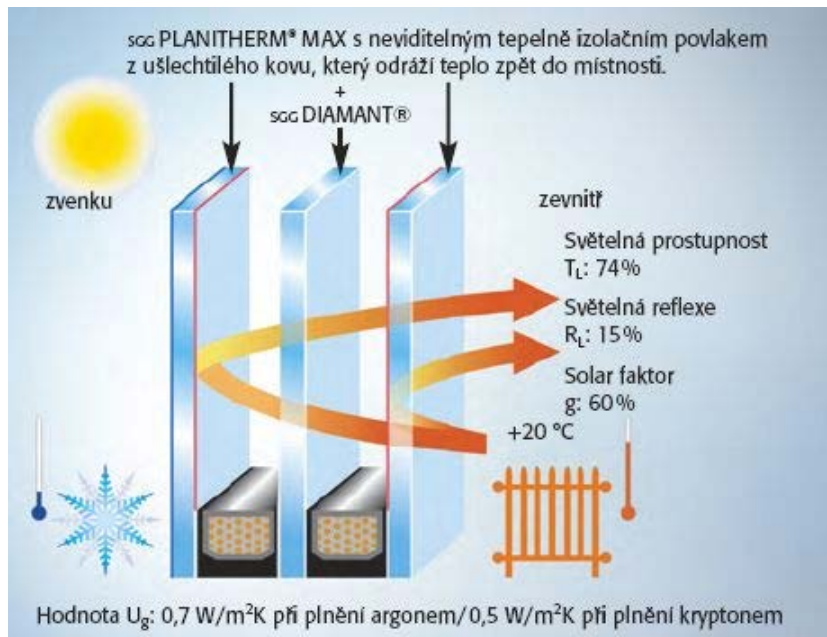
- Sklo – velmi dobré vedení tepla ( $\lambda \approx 1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) → dvojskla, trojskla,... + argon (krypton).
- Součinitel prostupu tepla  $U_g$  [ $\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ ].
- meziskelní příčky:  $+U_g$  o 0,1 až 0,3  $\text{W/m}^2\text{K}$ .
- Vliv obsahu železa ve skle – více Fe → sklo lépe pohlcuje sluneční záření (méně tepla do interiéru, více se ohřívá)



Zdroj: IN KAPO 2010

# 6.5.1 Tepelně izolační skla - konstrukce

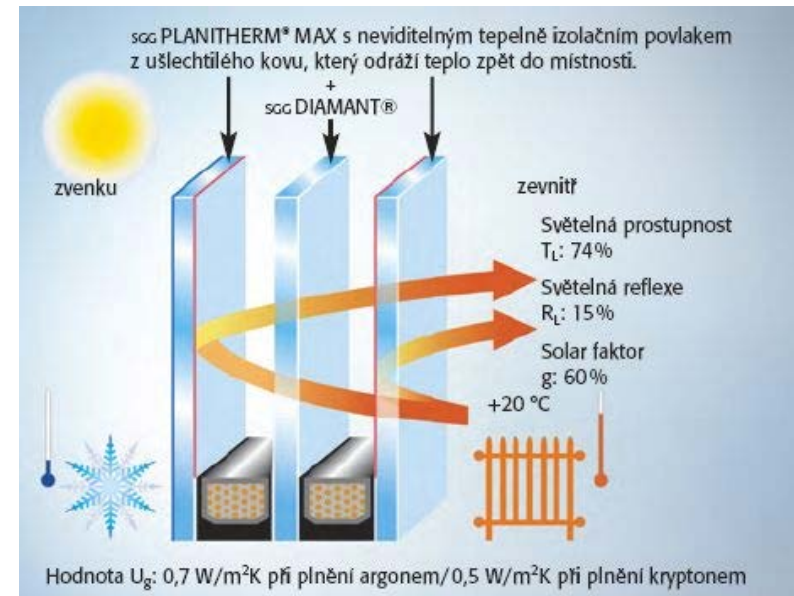
- Sklo – 4 až 6 mm (označení 4-16-4 nebo 4-16-44.2 ... označení z interiéru do exteriéru).
- Argon nebo krypton (lepší tepelně izolační vlastnosti, tenčí vrstva).
- Argon:  $17,72 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ , Krypton:  $9,43 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Vzduch:  $24 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$





# 6.5.1 Tepelně izolační skla - konstrukce

- Sklo – 4 až 6 mm (označení 4-16-4 nebo 4-16-44.2 ... označení z interiéru do exteriéru).



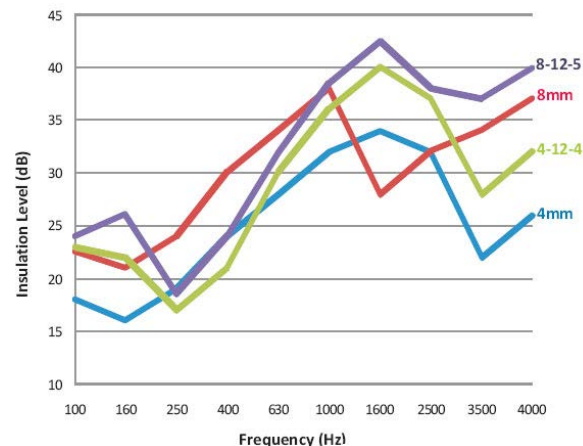
Koeficient prostupu tepla	tloušťka skla	složení skla
$U_g = 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	40 mm	PLU 4mm - 14 - PL 4mm - 14 - PLU 4mm + plyn Argon
$U_g = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$	40 mm	PLUONE 4mm - 14 - PL 4mm - 14 - PLUONE 4mm + plyn Krypton

# 6.6.1 Tepelně izolační skla - protihluková

- využití vrstveného skla.

## STRATOPHONE

	Světelné vlastnosti		Energetické vlastnosti				Protihluková izolace	Bezpečnost			Tloušťka mm	Hmotnost kg/m <sup>2</sup>
	LT	LR	EA	SF	SC	U <sub>g</sub>	R <sub>w</sub> (C, C <sub>w</sub> )	Náraz	Vloupání	Sředy		
	%	%	%	%		W/(m <sup>2</sup> ·K)	dB	EN 12600	EN 360	EN 1063		
33.1	89	8	17	80	0,92	5,7	35 (-1; -3)	2B2	NPD	NPD	6	15
44.1	88	8	20	78	0,90	5,6	37 (0; -2)	2B2	NPD	NPD	9	21
55.1	87	8	23	76	0,87	5,6	38 (-1; -3)	1B1	NPD	NPD	10	26
66.1	86	8	25	74	0,85	5,5	40 (-1; -3)	1B1	NPD	NPD	12	31
33.2	89	8	19	79	0,91	5,6	36 (0; -3)	1B1	P1A-P2A	NPD	7	16
44.2	89	8	21	77	0,89	5,6	37 (0; -2)	1B1	P1A-P2A	NPD	9	21
55.2	87	8	24	75	0,86	5,5	39 (-1; -3)	1B1	P1A-P2A	NPD	11	26
66.2	86	8	27	73	0,84	5,4	40 (-1; -3)	1B1	P1A-P2A	NPD	13	31
88.2	84	8	32	70	0,80	5,3	41 (-1; -3)	1B1	P1A-P2A	NPD	17	41
33.4	89	8	21	78	0,90	5,5	NPD	1B1	P3A-P4A	NPD	8	17
44.4	88	8	23	76	0,87	5,5	NPD	1B1	P3A-P4A	NPD	10	22



# Vlastnosti skleněných tabulí

## Video animace z řady PRESS GLASS EDU:

- <https://youtu.be/PX0P4-A6IG4> ([propustnost světla](https://youtu.be/PX0P4-A6IG4))
- <https://youtu.be/zBvfTvK-Pq8> (akustická izolační schopnost)
- <https://youtu.be/cxNqPq7sNZs> (prostup tepla)
- <https://youtu.be/OPHTSDSJ0gM> (propustnost sluneční energie)