

SPOJE NOSNÝCH KONSTRUKCÍ ZE SKLA

Ing. Martina Eliášová, CSc.
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

České vysoké učení technické
v Praze



OBSAH

- **Úvod**
šroubované x lepené spoje skleněných konstrukcí
- **Příklady šroubovaných spojů**
nosníky ze skla, výztužná žebra fasád
- **Typologie a technologie**
střížné x třecí spoje
- **Chování spoje při zatížení**
- **Experimentální výzkum**
- **Koncept návrhu střížného spoje**
- **Závěr**



Příklady šroubovaných spojů konstrukcí ze skla

Spoj skleněných nosníků s ocelovými příložkami



Allied Irish Banks, Bank centre, Dublin

Architekt: RKD Architects

Fasáda: Gartner Steel and Glass, Germany

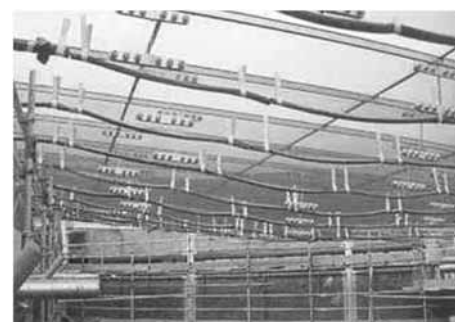
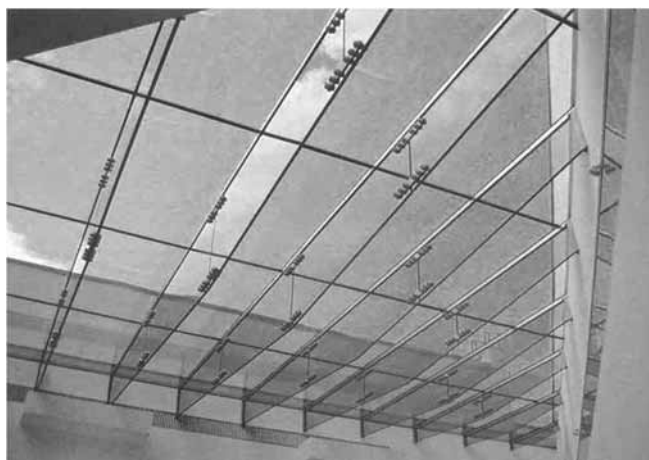
Konstrukce: Specialist Glazing, Curtain Wall,
Steel- and Glass roof

Dokončení: 2008



Příklady šroubovaných spojů konstrukcí ze skla

Spoj skleněných nosníků s ocelovými příložkami



Skleněná střecha university v Glasgow, 2002

- třecí spoj
- mezivrstva nahrazena hliníkovou fólií
- předepnuté šrouby M20
- speciální třecí vrstvy mezi příložkou a sklem



Příklady šroubovaných spojů konstrukcí ze skla

Spoj vertikálních skleněných výztužných nosníků



River City - Danube house, Praha



Příklady šroubovaných spojů konstrukcí ze skla

Spoj vertikálních skleněných výztužných nosníků



Trump Tower, Chicago (SOM Architects, 2008)



Příklady šroubovaných spojů konstrukcí ze skla

Spoj vertikálních skleněných výztužných nosníků



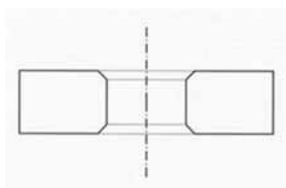
Museum of history – Luxembourg

výztužné žebro: výška - 12 m, tloušťka – 19 mm

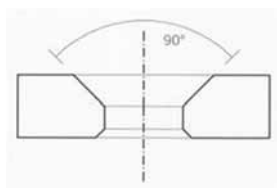


Typologie a technologie

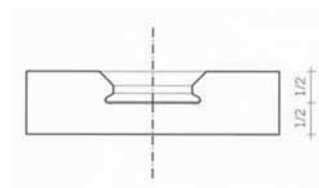
Otvory pro šroubové spoje



cylindrický otvor

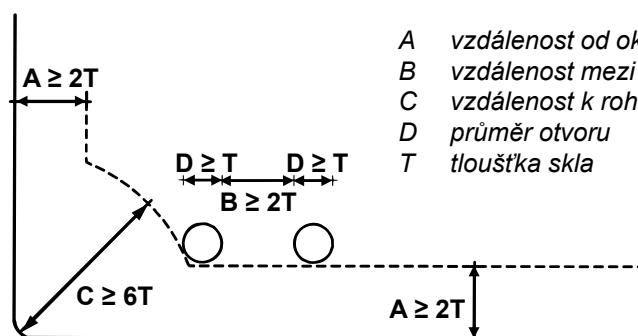


kónický otvor



otvor pro zápusťný šroub

- bez univerzálních pravidel pro rozteče šroubů a návrh průměrů
- průměr otvoru roven minimálně tloušťce skla, vhodnější dvojnásobek tloušťky



A vzdálenost od okraje
B vzdálenost mezi otvory (od hrany otvoru ke hraně otvoru)
C vzdálenost k rohu skleněného panelu distance to corner
D průměr otvoru
T tloušťka skla

doporučené vzdálenosti mezi otvory a hranami skleněného panelu



Typologie a technologie

Šroubovaný spoj namáhaný stříhem s ocelovými příložkami

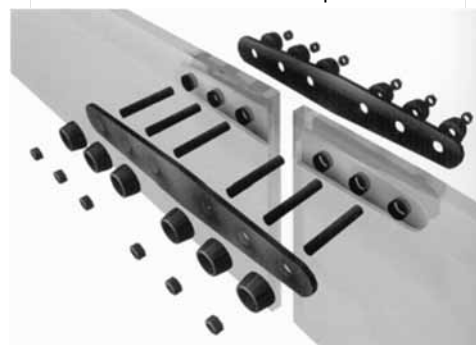
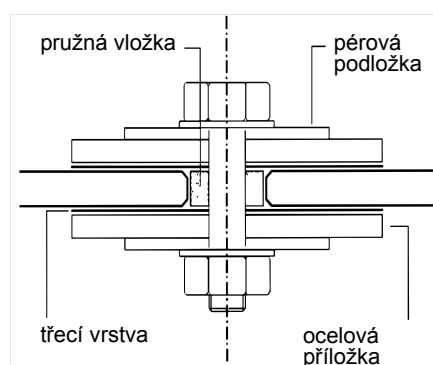
- koncentrace napětí v okolí otvoru pro šroub → nutnost použít pevnostně upravovaná skla (tepelně tvrzené, zpevněné)
- maximální napětí při porušení závisí na počtu a průměru šroubů
- maximální únosnost jednoho šroubu okolo 30kN
- zatížení přenášeno v rovině skla kontaktem mezi vložkou z vhodného materiálu a povrchem hrany otvoru, která je otláčována šroubem
- použití jednostranných příložek nevhodné vzhledem k excentricitě působícího zatížení
- významný vliv kvality opracování hran, včetně otvoru



Typologie a technologie

Třecí šroubovaný spoj s ocelovými příložkami

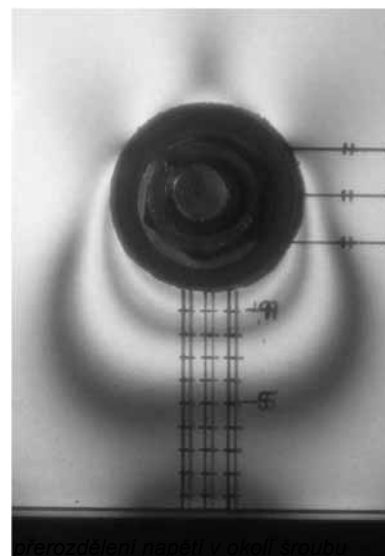
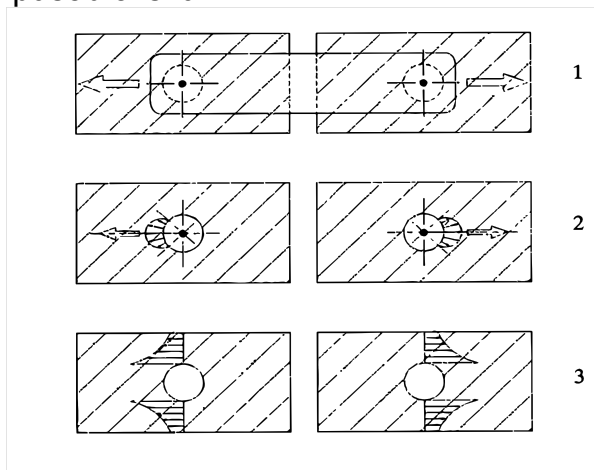
- obvykle dvojstřížný spoj
- smyk přenášen třením mezi jednotlivými plochami spoje
- velikost napětí, kterou třecí spoj může přenést závisí na součiniteli tření a utahovací síle
- speciální třecí vrstvy → větší únosnost oproti spojům namáhaným stříhem
- obvykle se používá pouze pro monolitické sklo → dotvarování PVB fólie v případě
- vrstvené sklo – PVB fólie může být v místě ocelových příložek, kde se přenáší zatížení, nahrazena tužším materiálem, např. hliník



Chování střížného spoje při zatížení

Napětí v okolí otvoru pro šroub

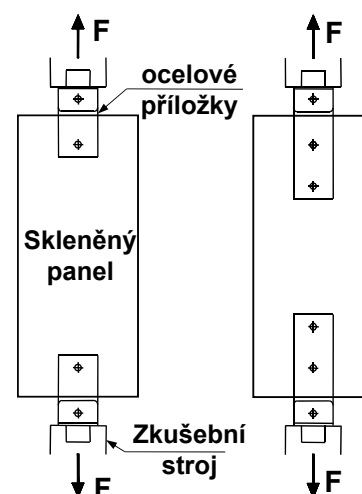
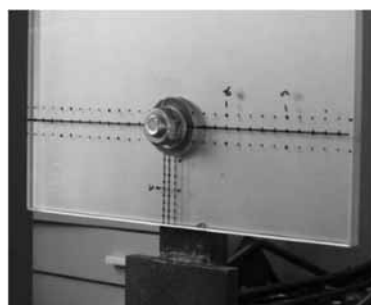
1. šroubovaný spoj s příložkami
2. tlakové napětí ve skle od otláčení ve směru působící síly
3. tahové napětí ve skle ve směru kolmo na působící sílu



namáhaného smykem

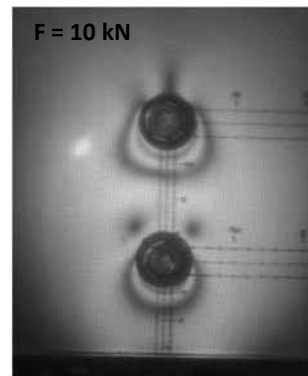
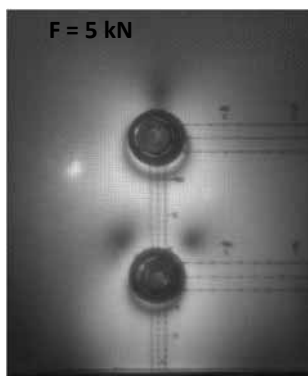
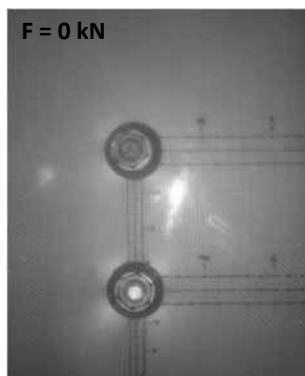
Experimentální výzkum

Použití fotoelasticimetrické metody – FSv ČVUT v Praze

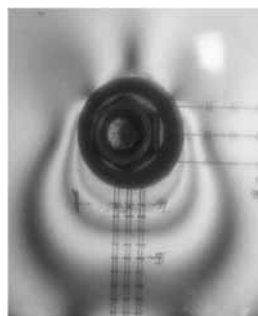
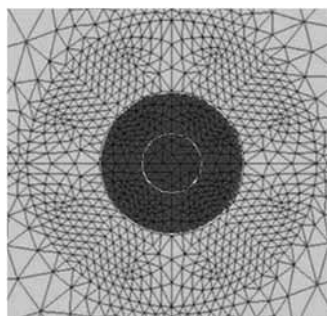
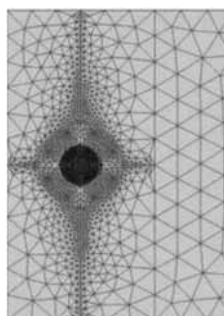


- rozměry zkušebního tělesa 680 x 300 x 12 mm, plavené sklo
- vložka z tvrdého plastu mezi sklem a šrouby M16, jakosti 8.8
- fotoelasticimetrická metoda → ocelové příložky z jedné strany

Experimentální výzkum



Porovnání numerického modelu s experimentem



Koncept návrhu střížného spoje

Vztah pro výpočet napětí

$$\sigma_{\varphi, \max, d} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot \left(1,2 + 2,2 \frac{K_m}{b_m} \right) \cdot \frac{P_d}{d_0 \cdot t} \leq \sigma_d$$

P_d návrhová hodnota v posuzovaném otvoru skleněného panelu

d_0 průměr otvoru

t tloušťka skla (jedna vrstva v případě vrstveného skla)

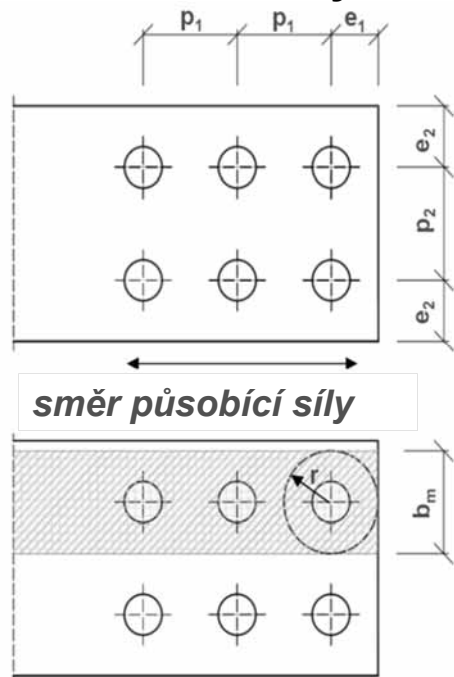
k_i součinitelé návrhových a výrobních parametrů

b_m efektivní šířka skleněného panelů odpovídající průměru otvoru d_0

K_m součinitel zohledňující rozdělení zatížení v místě šroubu

Koncept návrhu střížného spoje

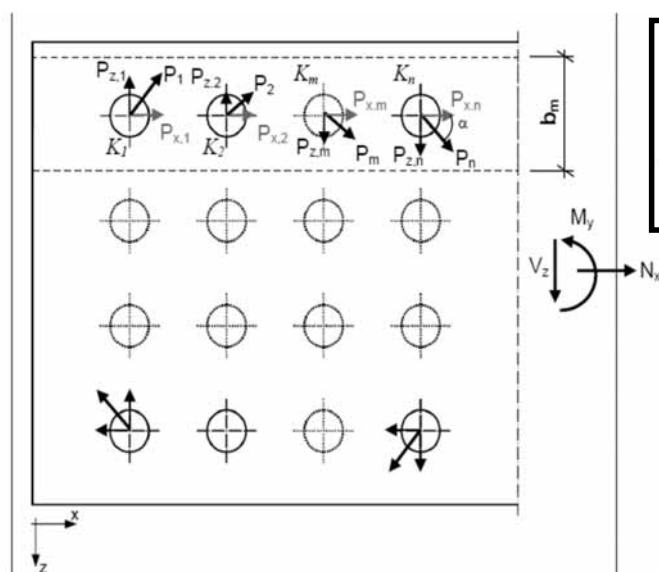
Definice efektivní šířky skleněného panelu b_m



$$b_m = 2r = \min(2e_1, 2e_2, p_2)$$

Koncept návrhu střížného spoje

Součinitel K_m zohledňující rozdělení zatížení v místě šroubu

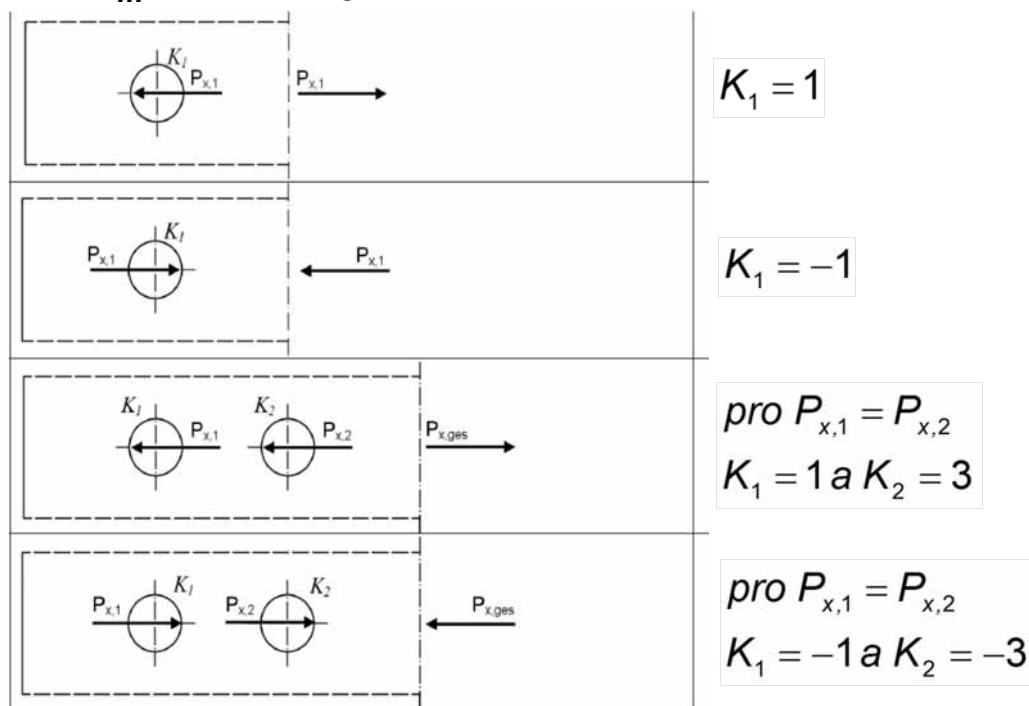


$$K_m = \cos \alpha - 2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^m P_{x,i}}{|P_m|}$$

kde $\cos \alpha = \frac{P_{x,m}}{|P_m|}$

Koncept návrhu střížného spoje

Součinitel K_m zohledňující rozdělení zatížení v místě šroubu

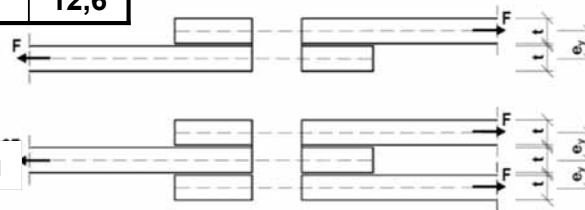


Koncept návrhu střížného spoje

Součinitelé návrhových a výrobních parametrů

Součinitel k_1 nerovnoměrně rozděleného zatížení

e_y	[mm]	0	10	15	20	30	45
k_1	[-]	1,0	3,5	4,8	6,1	8,7	12,6



Součinitel k_2 zohledňující malou účinnou šířku

b_m	$b_m \geq 5d_0$	$3d_0 \leq b_m < 5d_0$
k_2	1,0	1,1

vztah pro výpočet napětí není použitelný, pokud $b_m < 3d_0$

Součinitel k_3 zohledňující malé vzdálenosti šroubu od okraje $e_1=e_2$

$e_1=e_2$	$1,5d_0$	$2,5d_0$	$3,5d_0$	$> 3,5d_0$
k_3	1,21	1,09	1,03	1,0

pro $e_1 \neq e_2$ je $k_3=1,0$

Koncept návrhu střížného spoje

Součinitelé návrhových a výrobních parametrů

Součinitel k_4 zohledňující malé rozteče šroubů p_1

p_1	$3d_0$	$5d_0$	$7d_0$	$9d_0$	$> 9d_0$
k_4	1,23	1,10	1,06	1,04	1,0

Součinitel k_5 zohledňující nerovnost hrany u vrstvených skel

Druh skla	vrstvené	monolitické
k_5	0,60	1,00

maximální nerovnost hrany v případě dvouvrstvého skla nesmí překročit 50% tloušťky vložky

Závěr

- Návrhové postupy pro předběžné výpočty
- Ověření pomocí numerických modelů - MKP
- Dodatečné ověření pomocí experimentů



Děkuji za pozornost

Ing. Martina Eliášová, CSc.

České vysoké učení technické
v Praze

