



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Vliv ochlazování prosklených konstrukcí vodou na vlastní požární odolnost

Seminární práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Integrální bezpečnost staveb
Vedoucí práce: plk. Ing. Zdeněk Hošek
Katedra pozemních staveb – K124

Bc. Petra Peláková

Obsah

Seznam použitých zkratk	3
1. Úvod	4
1.1 Cíle seminární práce	4
1.2 Struktura.....	4
2. Druhy požárních skel a jejich chování	6
2.1 Tepelně tvrzené (kalené) sklo	6
2.2 Pokovené sklo	7
2.3 Skla s intumescentním gelem	8
2.4 Skla s gelem na bázi vody.....	8
2.5 Drátosklo.....	9
2.6 Tvrzené borosilikátové sklo	9
2.7 Ekonomické hledisko, požární odolnost.....	9
3. Tepelné vlastnosti skla	11
3.1 Tepelná odolnost skel	11
3.1.1 Odolnost proti náhlým změnám teploty.....	11
3.1.2 Délková a objemová teplotní roztažnost.....	13
3.2 Tepelný šok.....	14
4. Stabilní hasicí zařízení SHZ	17
4.1 Možnosti provedení zkrápěcího zařízení	18
5. Ochlazování konstrukcí	20
5.1 Zásady navrhování zkrápěcích zařízení a vodních clon	21
5.1.1 Zkrápěcí zařízení	22
5.1.2 Vodní clony	23
5.2 Zásobování zkrápěcího zařízení vodou.....	26
6. Použití zkrápění v praxi	26
6.1 Modelování v programech	28
7. Závěr	30
Seznam literatury	31

Seznam použitých zkratek

EPS	Elektrická požární signalizace
SHZ	Stabilní hasicí zařízení
E	Kritérium požární odolnosti – celistvost
W	Kritérium požární odolnosti – izolační schopnost, mezní hustota tepelného toku neohřívané strany
I	Kritérium požární odolnosti – izolační schopnost, mezní teploty na neohřívaném povrchu.
R	Kritérium požární odolnosti – únosnost

1. Úvod

Dnešní požadavky nejen architektů, ale i stavebníků a investorů směřují k tomu, aby byl objekt co nejvíce doplňován skleněnými výplněmi. Tyto požadavky tkví v tom, aby lidé byli spojeni co nejvíce s přírodou a svým přirozeným okolím. Proto se objekty doplňují stále častěji prosklenými plochami nejen po obvodu objektu, ale také i uvnitř objektu. Uvnitř objektu se osazují skleněné výplně především kvůli maximálnímu prosvětlení prostoru denním světlem a kvůli oddělení prostoru skleněnými příčkami. Sklo se taktéž využívá jako dekorativní prvek. Osazují se i v místě požárně dělicí konstrukce a díky těmto požadavkům se postupem času stále více využívá stabilní hasicí zařízení v oblasti požární bezpečnosti staveb pro zvýšení požární odolnosti nejen skleněných konstrukcí.

V místě hranic požárních úseků se požaduje, aby konstrukce byly požárně odolné po určitou dobu a aby splnily požadavky jako je celistvost (E), izolační schopnost (I), případně schopnost omezení hustoty tepelného toku neohřívané strany (W) a požadovaná únosnost (R). S různými materiály se může dosáhnout požadovaných hodnot lehce a levně – například beton. Beton má už i v malých tloušťkách několika minutovou požární odolnost. Ale se skleněnými konstrukcemi se dostáváme do oblasti požárních skel, která jsou velice drahá a taktéž jsou některá rozměrově omezena. Finančně si můžeme ulehčit tím, že pokud je v objektu navrženo stabilní hasicí zařízení, využije se požární sklo s menší požární odolností (levnější) nebo tepelně tvrzené sklo bez deklarované požární odolnosti. Zkrápěním těchto skel s využitím stabilního hasicího zařízení se může zvyšovat jejich vlastní požární odolnost.

1.1 Cíle seminární práce

Cílem této práce je informovat o možnostech zkrápění skel plnicích funkci požárně dělicí konstrukce a o zvyšování jejich požární odolnosti. Taktéž je cílem seznámit se základními druhy požárních skel a dále o tepelných vlastnostech skel. Na toto navazuje obeznámení se způsobem ochlazování těchto skel a jejich principem.

1.2 Struktura

Kapitola 1 – „Úvod“ obsahuje úvodní slovo a uvedení do problematiky.

Kapitola 2 – „Druhy požárních skel a jejich chování“ obsahuje popis požárních skel a popis jejich druhů.

Kapitola 3 – „Tepelné vlastnosti skla“ obsahuje vysvětlení tepelných vlastností skla jako je objemová a teplotní roztažnost, tepelný šok a odolnost proti náhlým změnám teplot.

Kapitola 4 – „Stabilní hasicí zařízení“ obsahuje informace o stabilním hasicím zařízení vhodném především pro zkrápění (ochlazování) skel.

Kapitola 5 – „Ochlazování konstrukcí“ obsahuje popis a princip ochlazování skel a

způsob zvyšování jejich požární odolnosti v místě požárně dělících konstrukcí.

Kapitola 6 – „Použití zkrápění v praxi“ obsahuje popis použití ochlazování konstrukcí v obchodním centru pochůzná prosklené plochy.

Kapitola „Závěr“ – obsahuje závěrečné slovo a shrnutí problematiky ochlazování skleněných výplní.

2. Druhy požárních skel a jejich chování

Požární skla jsou odolná proti účinkům požáru a jejich požární odolnost závisí zejména na jejich tloušťce, ale také vlastnostech skla, gelů, dále na provedení a osazení skla. Osazují se převážně do interiéru objektu, jelikož venkovní teploty a UV záření negativně ovlivňují vlastnosti skla. Vysoké teploty a UV záření by mohlo ovlivnit nejen vlastnosti skel, ale i vrstev, které zajišťují požární odolnost (gely). V případě nutnosti osazení požárního skla po obvodě se volí speciální úpravy skla, které navíc výplně chrání proti těmto nežádoucím vlivům, případně se použije jiný materiál. Žádná skla se sama o sobě nedají klasifikovat jako požárně odolná, ale musí být vyzkoušena jako výrobek (osazené v rámu apod.) podle příslušných platných norem (Obr. 1). Požární skla se dělí na [1]:

- *Tvrzené sklo – pokovené*
- *S intumescentním gelem*
- *S gelem na bázi vody*
- *Drátosklo*
- *Tvrzené borosilikátové sklo*

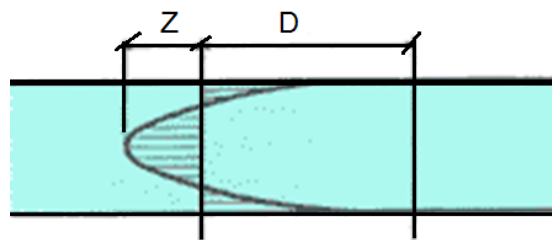


Obr. 1 Požární zkoušky skel jako celého výrobku [2]

2.1 Tepelně tvrzené (kalené) sklo

Tepelně tvrzené sklo je charakteristické svým rozložením tlaků při výrobě. Technologie výroby spočívá v tom, že se do klasického skla vyráběného float procesem (zvláštní způsob tvarování skla, kdy proud skla vjíždí do komory s roztaveným cínem, na které se rovnoměrně roztéká a získává rovnoměrnou tloušťku a hladkou plochu) vnáší nové rozložení předpětí.

Pokud začnu popisovat proces od začátku, tak před vlastním kalením (tvrzením) se musí zabrousit hrany, dále se sklo umyje a osuší. Následně putuje do kalící pece po válečkách, kde je ohřáté na 600 °C – 700 °C a následně se prudce ochladí na 70 °C. Tímto se vnáší předpětí do skla: sklo se na povrchu rychle zchladí a uvnitř je stále teplé. Uvnitř skla tedy vzniká tažné pnutí, zatímco na povrchu vzniká tlakové napětí [2].



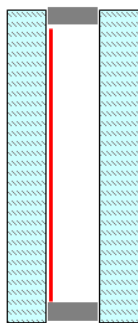
Obr. 2 Rozložení napětí po tloušťce tvrzeného skla [1]

Takovouto změnou získává sklo i nové vlastnosti. Je odolnější proti nárazům, zvýší se jeho ohybová pevnost a odolá teplotám přibližně 150 °C [1]. Při rozbití skla vznikají malé neostře střeby a využívá se tedy i tam, kde je požadována bezpečnost.

Výrobci tepelně tvrzeného skla nabízí toto sklo pouze jako bezpečnostní a někteří jako sklo s požární odolností. Například firma AGC na svých internetových stránkách uvádí toto sklo jako protipožární. Firma Saint-Gobain glass solutions cz, s.r.o. pod značkou skel Verotech uvádí tepelně tvrzená skla v obou variantách. Pro toto zařazení je třeba vyhovět požárním požadavkům a mít certifikaci o odolnosti skla.

2.2 Pokovené sklo

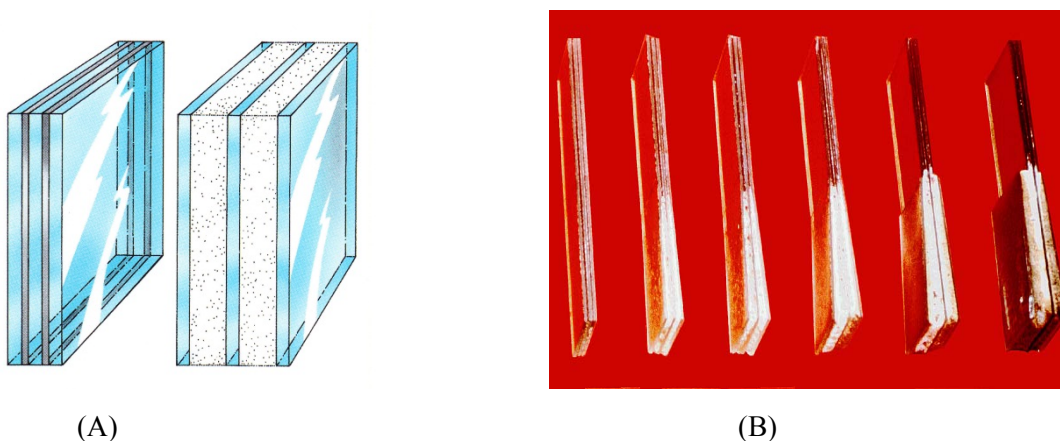
Pokovené sklo se používá jako vrstvené, tepelně izolační či s ochranou proti slunci [4]. Pro tento druh požárních skel se používají nejen skla tvrzená. Sklo obsahuje z vnitřní strany fólii, která se dává mezi skla a je nízkoemisivní tj. odrážející tepelné záření. Výroba spočívá v tom, že se kovové povlaky aplikují vakuovým magnetronovým rozprašováním na plavené sklo. Toto pokovení obsahuje vrstvy stříbra a oxidu cínu [4]. Pokovení taktéž poskytuje zvýšenou tepelnou izolaci odrazem dlouhovlnného infračerveného tepelného záření zpět do budovy, čímž značně snižují tepelné ztráty a chrání před UV zářením [5]. Výrobce vždy specifikuje, na jakou stranu se aplikuje fólie (směr do interiéru či exteriéru). Každý požadavek na sklo mění i vlastnosti pokovené vrstvy a tloušťku jednotlivých tabulí. Jeho požární odolnost dosahuje EW 30 – EW 60 [2].



Obr. 3 Pokovené dvojsklo [1]

2.3 Skla s intumescentním gelem

Vrstvená skla, která se skládají z borosilikátových skel, mají mezi sebou navíc tvrdý intumescentní gel na bázi pryskyřic. Gel mezi skly musí být po obvodě uzavřen tmelem a tento tmel chráněn a utěsněn izolační páskou před okolními vlivy. Při vyšších teplotách gel začne napěňovat a vytvoří neprůhlednou vrstvu. Do určité teploty – podle vlastností gelu – je proces vratný, tzn. zpěnění se může proměnit opět v průhledný gel. Tato skla by měla být chráněná proti UV záření kvůli gelu nejlépe folií, která brání prostupu UV záření [1]. Taktéž by kvůli napěnění měla být osazena do správného rámu tak, aby umožňoval pohyb skla. Jeho požární odolnost dosahuje EW 30 – 50, EI 30 – 120 [2].



Obr. 4 Sklo s gelem na bázi pryskyřic: (A) Složení vrstveného skla; (B) Chování gelu při požáru; [2]

2.4 Skla s gelem na bázi vody

Tepelně tvrzená skla jsou taktéž vrstvená jako skla s intumescentním tvrdým gelem. Mezi skly je čirý rosolovitý gel, který je na bázi vody a reaguje na vyšší teploty svým bobtnáním. Tento gel je po obvodě uzavřen zátkou, aby nevytekl. Taktéž je chráněn proti vlhkosti, která negativně ovlivňuje chování gelu. Proto se tato skla vyrábí na míru a nelze je řezat. Dále je nutné dbát na transport skel, protože při špatném manipulování by se mohl gel odlepit od skel. Tento defekt má vliv pouze na estetiku, ale nikoliv na požární odolnost. S narůstající tloušťkou skla se požární odolnost zvyšuje.

Toto sklo funguje při požáru tak, že na straně požáru tabule gel začne reagovat a bobtnat a při větších teplotách sklo začne praskat. Nakonec vytvoří neprůhlednou vrstvu stejně jako skla s intumescentním gelem a tak zajišťuje i psychickou obranu, díky níž lidé nevidí požár. Pokud je sklo a gel ve více vrstvách, vždy vrstvy odpadávají postupně a reagují další vrstvy gelu. Tato skla jsou použitelná od 20°C do 50°C, aby nezačal gel bobtnat ovlivňovat vlastnosti gelu [1]. Jeho požární odolnost dosahuje EW 30 – 60, EI 30 – 120 [2].



Obr. 5 Skladba tepelně tvrzeného skla s vrstvou gelu a jeho chování při požáru [1], [2]

2.5 Drátosklo

Drátosklo je sklo, které obsahuje drátěnou výztuž. Původně bylo jako bezpečnostní: kousky skla se neměly uvolnit (střepy drží pohromadě výztuž) a rozsypat (zranit člověka). Toto sklo vykazuje třetinovou pevnost oproti klasickým sklům z důvodu, že je drátěná výztuž vložena mezi dvěma klasickými skly. Pevnost ovlivňují hlavně rohy skla, stav povrchu skla a vnější vlivy, jako je vlhkost (koroze výztuže) apod. Porušuje se často křehkým lomem, ale sklo je drženo právě drátěnou výztuží. Jeho požární odolnost je E 30 – E 90 [2].

2.6 Tvrzené borosilikátové sklo

O tomto typu skla není mnoho informací, proto se tedy zmíním o skle okrajově pro přehled. Používá se hlavně v chemickém odvětví, kde je potřeba skla odolného proti vysokým teplotám.

Toto sklo je chemicky a požárně odolné. Obsahuje větší podíl oxidu boritého a oxidu hlinitého. Přidáním oxidu hlinitého se zajišťuje větší pevnost a zpracovatelnost skla [1]. Jeho požární odolnost je E 30 – E 120, EW 30 – EW 60 [2].

2.7 Ekonomické hledisko, požární odolnost

Pro představu je v následující tabulce uvedeno ekonomické hledisko požárních skel vůči klasickému sklu (tepelně tvrzenému bez požární certifikace) v Kč/m². Zde je názorně vidět, jak tepelně tvrzené sklo je levnější oproti požárním sklům. Tedy pokud je v objektu instalováno stabilní hasicí zařízení, je lepší zkrátit levnější sklo, a zvýšit tím jeho požární odolnost na požadovanou. Tyto ceny ale neobsahují všechny složky pro zabudování skla (rám, samotné práce apod.). Po konzultaci s Ing. Martinem Pospíšilem, Ph.D, který pracuje v oblasti požární prevence, jsem se dozvěděla, že u požárního skla se nedostaneme pod 25 000 Kč/m². Nesehnala jsem orientační cenu za to, kolik stojí rozšíření větve stabilního hasicího zařízení (SHZ), ověřit průtok, tlak apod. a případně provést opatření (přidat

čerpadlo, zvětšit zásobu vody tak, aby zásoba vydržela např. 60 minut apod.).

Tab. 1. Přehled orientačních cen požárních skel [6], [7], [8]

Typ skla	Obchodní název Verotech Saint - Gobain Solutions CZ	Tloušťka [mm]	Požární odolnost	Orientační CZK/ m²
<i>Tepelně tvrzené bezpečnostní sklo</i>	<i>SGG SECURIT HST</i>	<i>6</i>	<i>Bez deklarace, vydrží až 200°C</i>	<i>1 400</i>
<i>Tepelně tvrzené bezpečnostní sklo</i>	<i>SGG SECURIT HST</i>	<i>12</i>	<i>Bez deklarace, vydrží až 200°C</i>	<i>3 100</i>
<i>Leštěné drátosklo</i>		<i>6</i>		<i>2 700</i>
<i>Speciálně tvrzené protipožární- bezpečnostní sklo</i>	<i>SGG PYROSWISS</i>	<i>6</i>	<i>E30 / EW15</i>	<i>3 675</i>
<i>Speciálně tvrzené sklo s kovovým povlakem</i>	<i>SGG VETROFLAM</i>	<i>6</i>	<i>EW 30</i>	<i>5 025</i>
<i>Sklo s gelem na bázi vody</i>	<i>SGG CONTRAFLAM LITE 30</i>	<i>13</i>	<i>EW 30 / EI 15</i>	<i>5 625</i>
<i>Sklo s gelem na bázi vody</i>	<i>SGG SWISSFLAM LITE</i>	<i>14</i>	<i>EW30 / EI 15</i>	<i>5 700</i>
<i>Sklo s gelem na bázi vody</i>	<i>SGG CONTRAFLAM 30</i>	<i>16</i>	<i>EI 30</i>	<i>7 335</i>
<i>Sklo s gelem na bázi vody</i>	<i>SGG SWISSFLAM 30</i>	<i>17</i>	<i>EI 30</i>	<i>7 485</i>
	Obchodní název SCHOTT			
<i>Borosilikátové sklo</i>	<i>PYRAN S</i>	<i>6</i>	<i>E 30 – E 120</i>	<i>nezjištěno</i>
<i>Sklo s gelem na bázi pryskyřic</i>	<i>PYROBEL 8</i>	<i>8</i>	<i>EI 30</i>	<i>nezjištěno</i>

3. Tepelné vlastnosti skla

Pro chování skla jsou nejdůležitější tepelné a mechanické vlastnosti skla. Do tepelných vlastností skla lze zařadit hlavně délkovou a objemovou roztažnost, dále odolnost proti náhlým změnám teploty, odolnost proti rázu, měrné teplo, tepelnou vodivost, povrchové napětí, krystalizaci apod. Všechny tyto vlastnosti se projevují už ve fázi tavení až po fázi používání [9].

3.1 Tepelná odolnost skel

Tepelná odolnost závisí na vlastnostech materiálu [9]:

- součiniteli teplotní roztažnosti α [K^{-1}], který je pro sklo přibližně $9 \cdot 10^{-6}$ [10],
- pevnosti v tahu σ [Pa],
- modulu pružnosti v tahu E [Pa],
- Poissonově konstantě μ [-], která je pro sklo přibližně 0,22 [11]
- homogenitou skleněného výrobku, neporušeností jeho povrchu, tloušťkou stěny a rozměry výrobku, vychlazením atd.

Nejvýznamnější je už zmiňovaný součinitel teplotní roztažnosti α [K^{-1}], protože čím je jeho hodnota nižší, tím je odolnější. Na tomto základě spočívá to, že v chladnějších částech vzniká tah a v teplejších tlak.

3.1.1 Odolnost proti náhlým změnám teploty

Odolnost proti náhlým změnám teploty nejen při požáru dokládá vztah pro prudce ochlazené sklo [9]:

$$\Delta t = \frac{\sigma(1-\mu)}{\alpha \cdot E} \quad (1)$$

kde: Δt – největší rozdíl teplot, o který je možno zahřátý výrobek ochladit, popř. vychladlý výrobek zahřát, aniž by prasklo [$^{\circ}\text{C}$]

Odolnost proti náhlým změnám teploty roste s tvrzením dle vztahu:

$$\Delta P = \frac{P_{tv}}{P_o} = \frac{\alpha \cdot E}{10^2(1-\mu)} \cdot (t - 20) \quad (2)$$

kde: P_{tv} – pevnost tvrzeného skla,

P_o – pevnost chlazeného skla (kontrolované a řízené pozvolné chladnutí skla tak, aby se odstranilo pnutí),

ΔP – podíl pevnosti skla tvrzeného a chlazeného

Pokud je skleněná deska vystavena trvalým teplotám tak, že oba její povrchy jsou udržovány na rozdílných hodnotách t_1 (vyšší) a t_2 (nižší), dochází mezi oběma povrchy k lineárnímu teplotnímu spádu. Povrchy jsou při tom pod stálým namáháním opačného znaménka (teplejší povrch je pod tlakem, chladnější pod tahem).

- Napětí v tlaku

$$\sigma_1 = \frac{-\alpha \cdot E(t_1 - t_2)}{2(1 - \mu)} \quad (3)$$

- Napětí v tahu:

$$\sigma_2 = \frac{+\alpha \cdot E(t_1 - t_2)}{2(1 - \mu)} \quad (4)$$

Potom pro rozdíl teplot platí:

$$\Delta t = \frac{P \cdot 2(1 - \mu)}{\alpha \cdot E} \quad (5)$$

kde: σ_1 – napětí na teplejším povrchu [Pa],

σ_2 – napětí na chladnějším povrchu [Pa],

α – součinitel lineární délkové teplotní roztažnosti skla [K^{-1}]

E – Youngův modul pružnosti v tahu [Pa],

μ – Poissonova konstanta [-],

P – přípustná pevnost skla v tahu [Pa]

Při zahřívání případně ochlazování stejnou rychlostí, kdy se ve skleněné desce ustálí pravidelně rozložené vnitřní napětí, je možné toto napětí vypočítat podle vztahu:

$$\sigma = \frac{1}{3} \cdot \frac{E \cdot \alpha}{a \cdot (1 - \mu)} \cdot v \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad (6)$$

kde: σ – napětí na povrchu [Pa],

μ – Poissonova konstanta,

α – součinitel délkové teplotní roztažnosti [K^{-1}],

E – Youngův modul pružnosti v tahu [Pa]

a – teplotní vodivost [$m^2 \cdot s^{-1}$],

v – rychlost zahřívání nebo ochlazování [$K \cdot s^{-1}$],

d – tloušťka skla [m]

Pokud se dosadí do předchozího vztahu střední hodnota pro pevnost v tahu, pro modul

pružnosti a člen $(1 - \mu)$ se zanedbá, pak max. rozdíl teplot Δt vztahující se k tloušťce desky 1 mm je roven přibližně:

$$\Delta t = \frac{10000}{\alpha \cdot 10^7} \quad (7)$$

3.1.2 Délková a objemová teplotní roztažnost

Zvyšuje-li se teplota, zvětšují se rozměry konstrukcí a těles. Díky těmto vlastnostem musíme v praxi nechávat u různých konstrukcí vůle, aby se mohly pohybovat. Při těchto roztažnostech se totiž mění rozměry konstrukcí a při nedostatečném prostoru pro pohyb by mohly některé konstrukce popraskat, případně zničit ty okolní. Proto i např.: lana musí mít prověs kvůli okolním podmínkám, které je ovlivňují.

Délková teplotní roztažnost je charakteristická součinitelem teplotní roztažnosti. Délkovou roztažností pevného tělesa rozumíme změny jeho délky způsobené změnami teploty a je dána vztahem [10]:

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_o \cdot \Delta t} \quad (8)$$

kde: l_o – délka měřeného vzorku při referenční teplotě t_o

Δl – prodloužení měřeného vzorku při změně teploty Δt

Dále se s teplotou se mění i ostatní dva rozměry tělesa a tudíž i jeho objem. Tento jev nazýváme teplotní objemová roztažnost. Ta je dána vztahem [10]:

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_o \cdot \Delta t} \quad (9)$$

kde: V_o – objem měřeného vzorku při referenční teplotě t_o

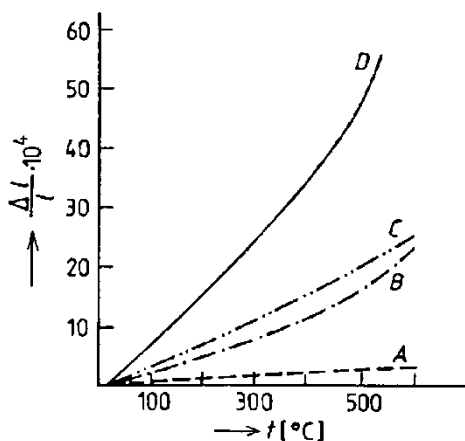
ΔV – prodloužení měřeného vzorku při změně teploty Δt

Obecně pro pevné látky platí a tedy i pro skla, že β vzhledem k nízké teplotě a anizotropní struktuře je délková teplotní roztažnost tři krát větší než objemová roztažnost ($\beta \approx 3 \alpha$).

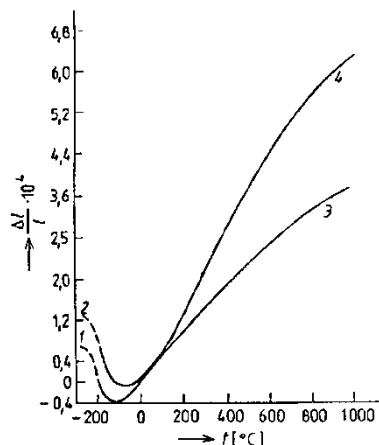
Pokud se podíváme do podkladu [9], tak nám říká:

„Délková teplotní roztažnost souvisí s vnitřní strukturou skla, především s vazbou Si – O. Např. u velmi čistého křemenného skla jsou tyto vazby tak pevné, že jeho délková teplotní roztažnost je nejmenší z běžných typů technických skel. Jeho teplotní roztažnost však závisí na fiktivní teplotě, tj. sklo zahřáté na definovanou teplotu a rychle ochlazené (sklo nestabilizované).“

Níže je uveden příklad srovnání teplotní roztažnosti pro různá skla [9].



Obr. 6 Délková teplotní roztažnost křemenného skla v porovnání s technickými skly:
A – křemenné sklo,
B – boritokřemičité sklo Pyrex,
C – boritokřemičité sklo pro zátav,
D – sodnovápenaté sklo



Obr. 7 Délková teplotní roztažnost čirého křemenného skla v závislosti na fiktivní teplotě:
1,3 – fiktivní teplota 1000 °C,
2 – fiktivní teplota 1720 °C,
4 – fiktivní teplota 1530 °C

Teplotní roztažnost, tedy závislost skla je obvykle vyjadřována tzv. křivkou teplotní roztažnosti. Co se týče tepelně tvrzeného skla, tak jeho křivka se liší svým průběhem od klasicky vychlazeného skla. Tepelně vytvrzené sklo má nižší hustotu než vychlazené běžným způsobem a tedy má větší vzdálenost strukturálních částic. Se zvyšováním teploty dochází ke strukturálním změnám skla a stabilizaci struktury. Sklo lze považovat za vychlazené a křivky jsou stále přibližně rovnoběžné [9].

3.2 Tepelný šok

Hlavním důvodem praskání skel při požáru je tzv. tepelný šok. Tepelný šok může nastat i za běžných podmínek při svitu slunce. Tepelný šok spočívá v tom, že dochází k nerovnoměrnému ohřívání skla, případně následné prudké ochlazení (déšť). Průběh teplot po ohřátí a následného zchlazení skla je uvedeno na Obr. 8. Díky tomu se na nejvíce ohřátých místech vytváří tlakové napětí a v ostatních chladnějších místech vzniká tahové napětí. Díky tahovým napětím, dochází k praskání, protože sklo je proti tahovým namáháním málo odolné. Sklo je vždy několikrát za svou životnost vystavováno tahovým napětím, ale pokud překročí tzv. modul pevnosti v tahu (19,3–28,4 MPa), praskne hlavně podél hran skla [12]. Toto porušení je charakterizováno jako lom a je kolmý na hranu skla.

Rozmezí teplot, které jsou na mezi porušení lze jednoduše zjistit ze vztahu [12]:

$$\Delta T = \frac{\sigma}{\alpha \cdot E} \quad (10)$$

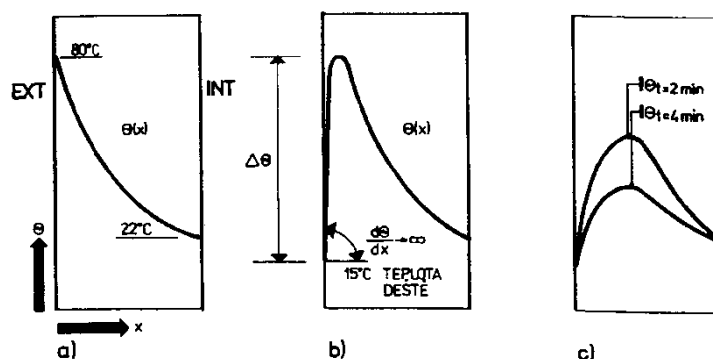
kde: σ – maximální dovolené napětí v tahu [Pa]

E – Youngův modul pružnosti [Pa]

α – koeficient délkové roztažnosti [-].

Tab. 2 Míra rizika prasknutí skla podle teplot v oblasti zasklení skla [12]

Rozdíl (změna) teplot ΔT	Riziko prasknutí
$< 28 \text{ }^\circ\text{C}$	Zanedbatelné
$28 - 32 \text{ }^\circ\text{C}$	Nízké
$32 - 38 \text{ }^\circ\text{C}$	Střední
$> 38 \text{ }^\circ\text{C}$	Vysoké



Obr. 8 Rozložení teploty (θ) po tloušťce skla (x): a) zahřátí povrchu skla (sluneční záření); b) prudké ochlazení povrchu skla (děšť); c) vyrovnávání teplot [1]

Faktory, které ovlivňují tepelný šok, jsou v našem případě hlavně teploty, ale dále záleží rozhodně na kvalitě opracování hran skla, na typu skla, uložení skla, tvaru skla a také interiérových parametrech [12] jako jsou:

- mezera mezi žaluzií a zasklením – min. 50 mm, typ žaluzií – barva, pohyblivost, poloha apod.,
- bezpečná vzdálenost otopného tělesa – min. 200 mm,
- umístění klimatizační jednotky – ochlazování části zasklení,
- přesahy ostění, nadpraží,
- vzdálenost tmavých těles,
- polepy různými fóliemi.

Se všemi těmito parametry lze přesněji vypočítat míra rizika podle vztahu [12]:

$$\Delta T = (\Delta T_1 + F_1) \cdot F_2 \cdot F_3 \quad (11)$$

kde: ΔT_1 - základní rozdíl teplot v ploše skla [$^\circ\text{C}$]

F_1 - vliv žaluzií <3;8> [$^\circ\text{C}$]

F_2 - vliv druhu zasklení <0,5;1> [-]

F_3 - vliv druhu stínění {1,2; 1,5} [-]

Dále ΔT_1 dostaneme ze vztahu:

$$T_1 = \frac{I_{\max} \cdot \alpha_e}{h_e + h_i} + \frac{\Delta t \cdot h_e}{h_e + h_i} \quad (12)$$

kde: I_{\max} – max. intenzita slunečního záření [W/m^2]

α_e – činitel pohlcení přímého slunečního záření [%]

h_e – součinitel přestupu tepla na exteriérové straně [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

h_i – součinitel přestupu tepla na interiérové straně [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

Δt – rozdíl teplot v interiéru a v exteriéru, který se spočítá následovně:

$$\Delta t = t_i - t_e \quad (13)$$

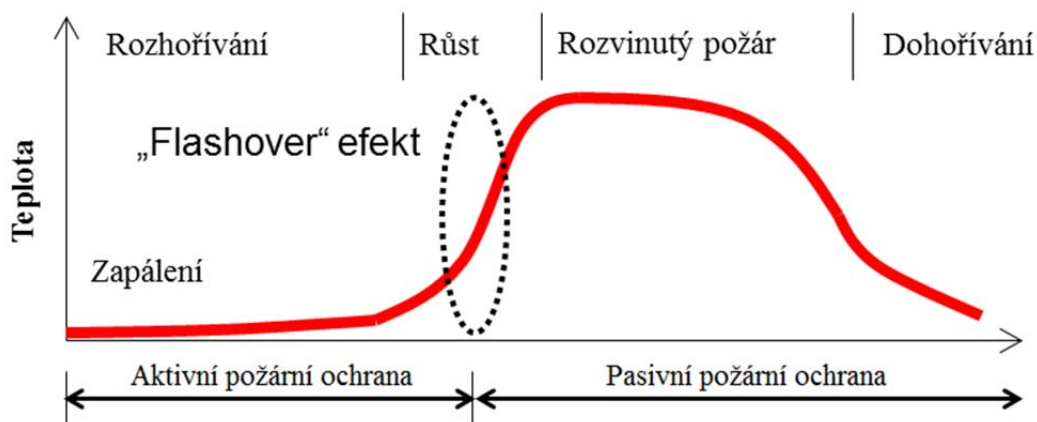
Předchozí výpočet je uveden pro jednoduché zasklení. Výpočet tepelného šoku izolačních dvojskel je složitější a vyžaduje podrobnější studii.

4. Stabilní hasicí zařízení SHZ

Ochrana budov z požárního hlediska se dělí na pasivní a aktivní ochranu (Obr. 9). Aktivní ochrana je důležitá v počátku požáru, než dojde k celkovému vzplanutí. Po celkovém vzplanutí už spoléháme na pasivní ochranu, tj. záleží na samotných konstrukcích a jejich požární odolnosti. Stabilní hasicí zařízení se používá jako aktivní požární ochrana a je to jeden z druhů požárně bezpečnostního zařízení. Stabilní hasicí zařízení může být jak samočinné (nejčastěji ovládané EPS), tak i ruční za daných okolností. Stabilní hasicí zařízení se rozděluje do kategorií následovně [13]:

- **Vodní**
 - *Sprinklerové hasicí zařízení* – samočinné stabilní hasicí zařízení,
 - *Sprejové hasicí zařízení* (drenčerové nebo záplavové),
 - *Mlhové hasicí zařízení* (MHZ),
 - *Sprejové hasicí zařízení* (RHZ).
- **Jiné**
 - *Pěnové hasicí zařízení* (FHZ),
 - *Plynové hasicí zařízení* (GHZ),
 - *Práškové hasicí zařízení* (WHZ),
 - *Aerosolové hasicí zařízení* (AHZ),
 - *Doplňkové hasicí zařízení* (DHZ),
 - *Polostabilní hasicí zařízení*.

Pro zvyšování požární odolnosti skleněných konstrukcí se používá právě stabilní hasicí zařízení a to přesně sprinklerové hasicí zařízení a sprejové hasicí zařízení – drenčerové.



Obr. 9 Znárodnění průběhu požáru [14]

4.1 Možnosti provedení zkrápěcího zařízení

V dnešní době je stále málo informací o zvyšování požární odolnosti skel zkrápěním, ačkoliv se toto řešení stále více realizuje. Podle nalezených informací musí být všechna zařízení spuštěna samočinně a s předstihem, aby nedošlo k navýšení teplot na konstrukci dříve, než bude ochlazováno. Mohlo by to způsobit už zmiňovaný tepelný šok.

Pro ochlazování skla vodou lze tohoto dosáhnout dvěma způsoby použití určitého zkrápěcího zařízení [15]:

- ***Použitím uzavřených hlavice vybavených vlastní tepelnou pojistkou, tedy s uzavřenými hlaviciemi (sprinklerové hasicí zařízení):***

Jedná se o hlavice vybavené tepelnou pojistkou, která je tvořena buď tavnou pojistkou, nebo skleněnou baňkou, v které je kapalina a v případě zvýšené teploty praská. Otevírací teplota by měla být (podobně jako u sprinklerových hasicích zařízení) cca o 30 °C vyšší než je předpokládaná nejvyšší teplota v prostoru, kde se zařízení nachází. Otevírací teplota bývá nejčastěji 68 °C. V případě požáru se otevrou jen ty hlavice, u nichž došlo ke zvýšení okolní teploty nad hodnotu teploty, při které se hlavice otevírá. Voda v potrubním systému je pod stálým tlakem a po otevření tepelné pojistky začne okamžitý výstřik ochlazovací vody na danou konstrukci.



Obr. 10 Aktivace sprinkleru [16]

- ***Použitím otevřených hlavice (sprejové hasicí zařízení – drenčerové):***

V tomto případě se použijí otevřené hlavice. Zařízení pracuje rovněž automaticky. Rozváděcí potrubí je prázdné a tudíž bez tlaku. Na přívodu vody se instaluje vhodný uzávěr (např. elektromagnetický ventil), který je ovládán signálem od čidla EPS. V případě signálu požáru se tento ventil otevře a voda začne proudit do všech zkrápěcích hlavice. V tomto případě však norma předepisuje navíc možnost otevřít ventil rovněž ručně (nezávisle na případném výpadku dodávky elektrického proudu, poruchy EPS nebo poruchy elektromagnetického ventilu).



Obr. 11 Drenčery [16]

Co se týče obecně průtoku vody tryskou Q , průtok závisí zejména na K faktoru trysky a tlaku před tryskou. Průtok vody clonovou tryskou se stanoví podle vztahu [17]:

$$Q = K \cdot \sqrt{p} \quad (14)$$

kde: Q - průtok vody [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$],

p - tlak před vstupem do trysky [MPa],

K - K faktor [$\text{l} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{MPa}^{-1/2}$].

Průtok trysky se běžně se vyjadřuje K faktorem, který udává průtok vody tryskou při tlaku 0,1 MPa v $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$. Obecně na průměru trysky d_T je závislý K faktor a je dán vztahem:

$$K = \mu \cdot \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2}{p}} \quad (15)$$

kde: M - výtokový součinitel [-],

d_T - průměr trysky [mm],

p - tlak [bar]

Tento K faktor pohybuje v rozmezí 7 až 120 a odvíjí se od velikosti trysek. Pracovní tlak bývá v rozmezí 0,15 MPa až 0,6 MPa. Maximální pracovní tlak dosahuje až 1,5 MPa [17].

5. Ochlazování konstrukcí

Mezi časté metody zvyšování požární odolnosti jsou obklady, speciální nátěry a nástřiky, ale také ochlazování konstrukcí. Nejpriznivější variantou ochlazování stavebních konstrukcí ze skla se jeví ochlazování pomocí vody.

Nejčastěji se zkrápí tepelně tvrzené sklo s různými typy zkrápěcího zařízení. Běžná skla praskají už při rozdílu 40°C, jelikož vznikají velká napětí ve skle a praskají vlivem teplotního šoku. Proto se ochlazují požární skla, která nejsou tolik náchylná na praskání tepelným šokem a zvyšuje se tak jejich požární odolnost. Ve světě toto ochlazování není sjednoceno a také neexistuje přesná metodika zkoušení těchto konstrukcí.

Ochlazování vodou je založeno na odebrání tepla z těchto konstrukcí. Pro odebrání tepla se musí zvolit vhodné medium tak, aby odebírané teplo bylo větší nebo rovno teplu přijímanému do konstrukce.

Množství tepla, které je absorbované stavební konstrukcí, lze zjistit z rovnice energetické rovnováhy mezi uvolněným a spotřebovaným teplem. V kterémkoliv okamžiku požáru pak platí [18]:

$$Q_c = Q_{sal} + Q_{odv} + Q_{konst} + Q_{ohr} \text{ [kW]} \quad (16)$$

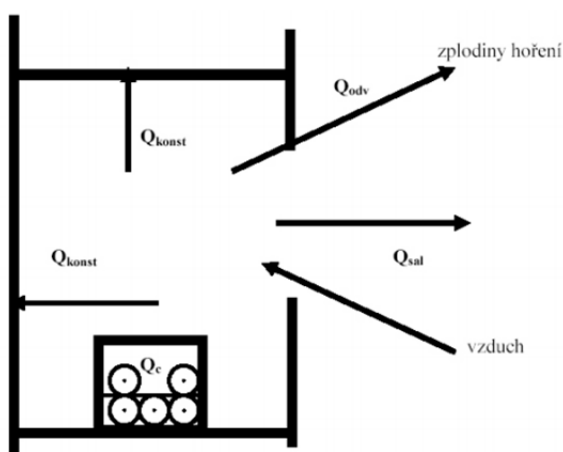
kde: Q_c – celkové uvolněné teplo [kW],

Q_{sal} – množství tepla vysálaného vně hořícího objektu [kW],

Q^{odv} – množství tepla odvedeného zplodinami hoření [kW],

Q_{konst} – množství tepla přestupující do lemujících konstrukcí [kW],

Q_{ohr} – množství tepla potřebného na ohřev prostoru a hořlavého materiálu [kW].



Obr. 12 Odvod tepla a spalin při požáru [18]

5.1 Zásady navrhování zkrápěcích zařízení a vodních clon

Pokud se opřeme o české normy, zásady navrhování pro Českou republiku tvoří příloha A [19], která je uvedena pouze jako informativní nikoli normativní. Tyto zásady z této normy jsou popsány v kapitole 5.1.1 a 5.1.2 Skrápěcí zařízení a vodní clony musí být v souladu [20], [21] a [22].

Tyto další normy nám říkají, že pokud chceme použít SSHZ (samočinné stabilní hasicí zařízení) či SHZ, případně doplňkové stabilní hasicí zařízení (DHZ) na požární stěny, obvodové stěny a požární uzávěry v těchto stěnách, musí se experimentálně nebo výpočtem prokázat jejich ekvivalentní účinnost, na kterou jsou navrženy. Pokud tedy ekvivalentní dobu prokážu, tak podle [20] se má za to, že se splnily podmínky v [22] jako jsou:

- Osoby nejsou ohroženy, pokud hustota tepelného toku není vyšší jak 10 kW/m^2 po dobu 5 sekund v místě, kde unikají osoby (měří se v ose únikového pruhu). Pokud jsou vystaveny více jak 5 sekund, musí se tepelný tok, kterému mohou být osoby vystaveny dopočítat.
- Ve sledovaném čase se požár nerozšíří, je-li hustota tepelného toku v místě 1 m od povrchu požárně dělící konstrukce menší než 15 kW/m^2 . V tomto pásmu nesmí být zařízení, které mají bod vznícení menší než 300 °C a případně výrobky s třídou reakce na oheň C – F.

Obvodové stěny se u hustoty tepelného toku vyšší než 15 kW/m^2 se považují za požárně otevřenou plochu.

Normy nám dále určují, kde mohou a nemohou být tato zařízení použita. Mohou být použita:

- Jako náhrada u prostupů technologického a technického zařízení konstrukcemi, kde jsou požární požadavky.
- Jako náhrada požárně dělících konstrukcí, které z provozních důvodů nelze uzavřít. Otvor musí být do výšky 4 m a musí mít plochu do 25 m^2 v požárních úsecích s výškovou polohou do 45 m.
- Za určitých podmínek mohou být i otvory větší než 25 m^2 , více viz [22].

Vodní clony nemohou být použity tam, kde jsou konstrukce součástí chráněné únikové cesty včetně uzávěrů těchto cest. Dále to jsou konstrukce evakuačního výtahu, konstrukce částečně únikových cest, které nahrazují chráněnou únikovou cestu a nakonec konstrukce v jednopodlažních objektech.

Ochlazování vodou konstrukcí se provádí zejména zkrápěcím zařízením. Vodní clony nahrazují spíše celý požární uzávěr v místech, kde není žádná požární odolnost, ačkoliv je požadována viz kapitola 5.1.2. Podle [19] jsou vodní clony taktéž používány pro zkrápění.

Nedující dvě kapitoly obsahují výtah z normy [19].

5.1.1 Zkrápěcí zařízení

Jak už bylo zmíněno, zkrápěcí umožňuje zvyšování požární odolnosti konstrukcí odebíráním tepla dodávanou vodou na povrch, snižuje hustotu tepelného toku z povrchu ohřáté konstrukce, případně snižuje hustotu tepelného toku dopadajícího z ložiska požáru na povrch chráněné konstrukce.

Pokud se navrhuje zkrápěcí zařízení, musí se spouštět samočinně a dodávat tříštěnou vodu na konstrukci a *lze použít* pouze na konstrukce s požární odolností **nejméně E 15 DPI**, která nesmí ztratit svoji celistvost a musí být schopna bránit sdílení tepla prouděním při dopadu vody. Nelze tedy zkrápět skla s nulovou požární odolností – k tomu slouží vodní clony.

Zařízení se zpravidla instaluje na odvrácenou stranu od případného požáru a dimenzováno tak, aby minimálně potlačilo sálavou složku tepla.

Při určení intenzity se vychází z předpokladu, že se vytvoří vodní film na celém povrchu ochlazovaného skla. Intenzita dodávané vody lze spočítat jednoduše emperickým výpočtem, případně podrobným, kde se individuálně posoudí sdílení tepla hodnocenou konstrukcí a vliv vodního filmu. Emperická rovnice pro zkrápěcí zařízení Q_z :

$$Q_z = 0,04 \cdot (R/15)^{0,5} \cdot S_z \quad [l/s] \quad (17)$$

kde R – hodnota požadované požární odolnosti konstrukce v minutách

S_z – plocha zkrápěné konstrukce v m^2

V případě instalování zkrápěcího zařízení na straně případného požáru, musí být výsledná hodnota z emperické rovnice přenásobena součinitelem 1,25.

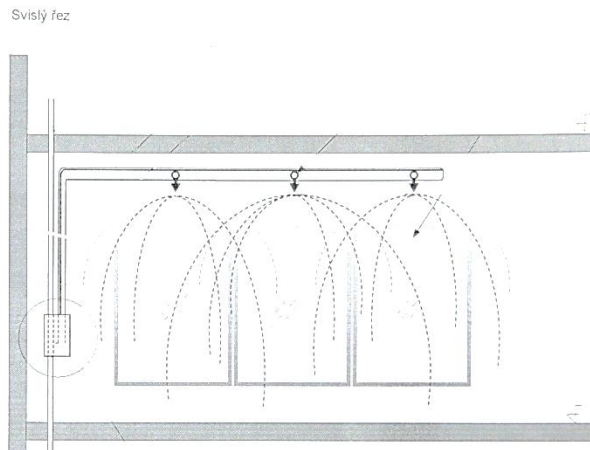
Při realizačních podmínkách by se měla věnovat pozornost následujícím zásadám:

- Sprchové hlavice se musí spouštět samočinně, a pokud je zkrápěcí zařízení opatřeno otevřenými výstřikovými hlavicemi, musí být samočinná i dodávka vody do těchto hubic (mohou ale umožňovat i ruční spuštění)
- Hubice – hlavice – musí vytvořit na zkrápěné konstrukci vodní film a jejich výstřikové diagramy se musí překrývat (*Obr. 13*). Výška konstrukce, která je zkrápěná jednou řadou hlavic, by neměla překročit 5 m.

Zde bych chtěla podotknout, že tedy smí být vyšší než 5 m, ale musí se dbát na to, aby byla dostatečná intenzita zkrápění. Je také možné udělat zkrápění ve dvou vrstvách, ale musí se zajistit, aby se hlavice vzájemně neochlazovaly a nedošlo ke zpožděnému otevření hlavic.

- Všechny části zařízení musí být certifikovány.
- Rozvody musí být z nehořlavých výrobků.
- Na přívodním potrubí musí být osazen uzávěr vody.

- V místě instalovaných hlavíc nebo hubic nesmí být tlak menší než 0,2 MPa.
- Činnost zařízení musí vydržet po celou dobu požadované odolnosti zkrápěné konstrukce.
- Konstrukce má být upevněna v rámu z nehořlavých výrobků.
- Venkovní zavodněná zařízení musí být chráněná před mrazem.
- V místě zkrápěcího zařízení může být umístěn v podlaze odtok vody.
- Kontola a údržba se provádí minimálně 1 x za rok.



Obr. 13 Překrývání výstřikových diagramů u zkrápěcího zařízení [19]

5.1.2 Vodní clony

Vodní clony nahrazují požárně dělící konstrukci tam, kde nelze z provozních důvodů toto místo jinak uzavřít. Taktéž i vodní clony vychází z předpokladu samočinného spuštění a dodávání tříštěné vody ve fázi rozvoje i ve fázi plně rozvinutého požáru do vymezené části. **Tyto části mohou být vertikální, ale i horizontální, ale hlavně tam, kde není žádná výplň nebo taková, jejíž požární odolnost je menší než E 15** (běžné tabulové sklo, polykarbonát apod.). Vodní clony brání sálavým složkám tepla volným otvorem a snižuje teplotu zplodin hoření, které prostupují otvorem. Vliv na průtok plynů je ale jen omezující a často musí být doplněny požárním odvětráním zplodin hoření.

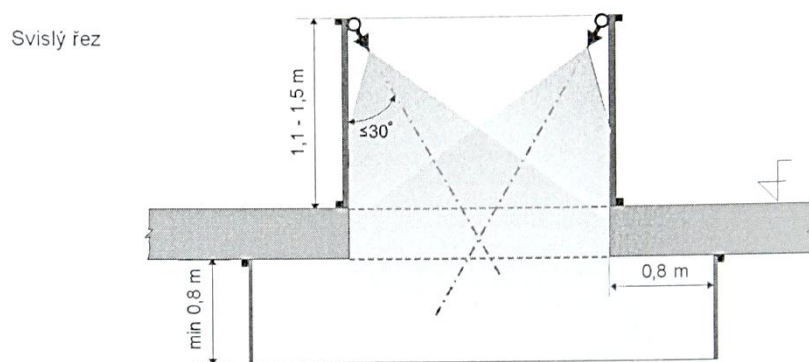
Vodní clony jsou náročnější na dodávku vody a jejich účinnost je ovlivněna velikostí kapek tříštěné vody resp. tlakem vody.

U vodních clon se požaduje samočinné spuštění a také současné zavodnění všech hubic, otevřených koncovek. Zavodnění se provádí pomocí EPS nebo detekčního sprinkleru.

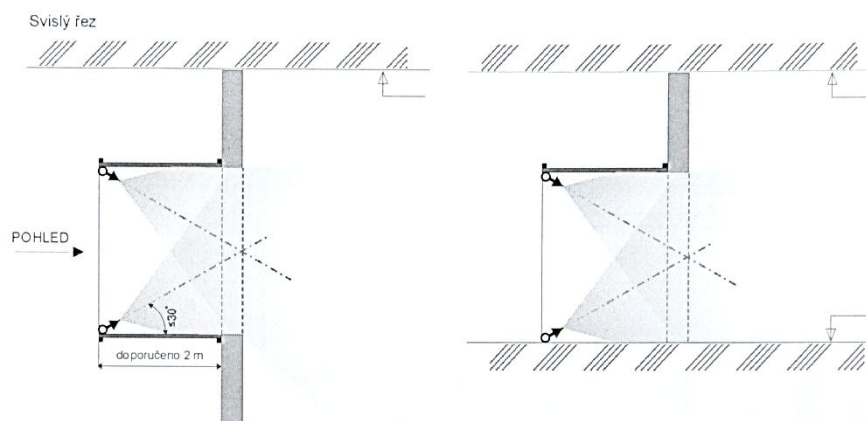
Realizační podmínky pro vodní clony jsou:

- Veškeré zařízení musí být certifikováno.
- Výstřikové diagramy se při návrhu musí překrývat a nesmí vzniknout prázdné místo (Obr. 14).

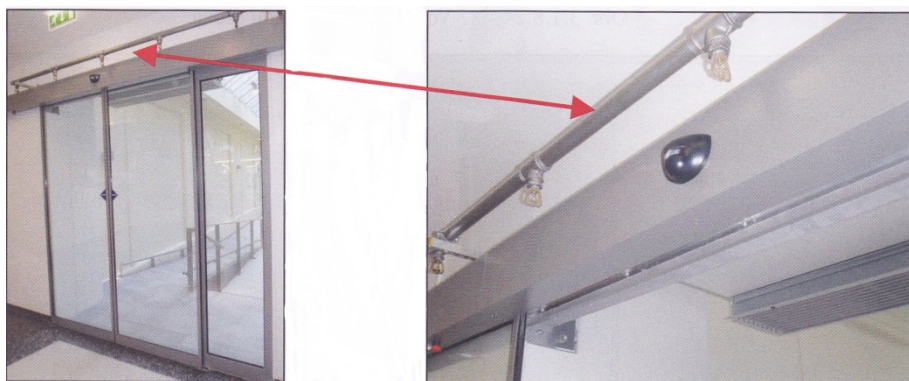
- Všechny rozvody stejně jako u sprinklerů musí být z nehořlavých hmot.
- Přívodní potrubí musí mít ruční uzávěr vody
- V místech osazení hubic nesmí být menší tlak než 0,4 MPa.
- Doba činnosti vodních clon musí být po celou dobu požární odolnosti, která je stanovena pro požárně dělicí konstrukci
- Údržba a kontrola clon má být minimálně 1 x za rok.
- V místě clon může být v podlaze umístěn odtok pro vodu.



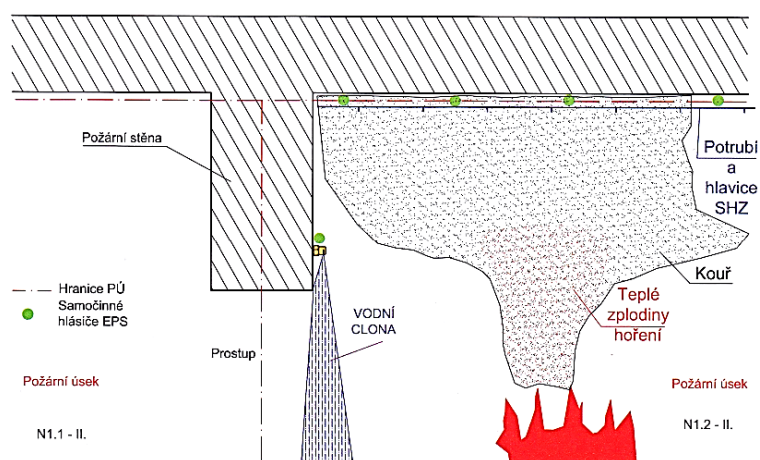
Obr. 14 Svislý řez, překryvání výstřikových diagramů u vodních clon [19]



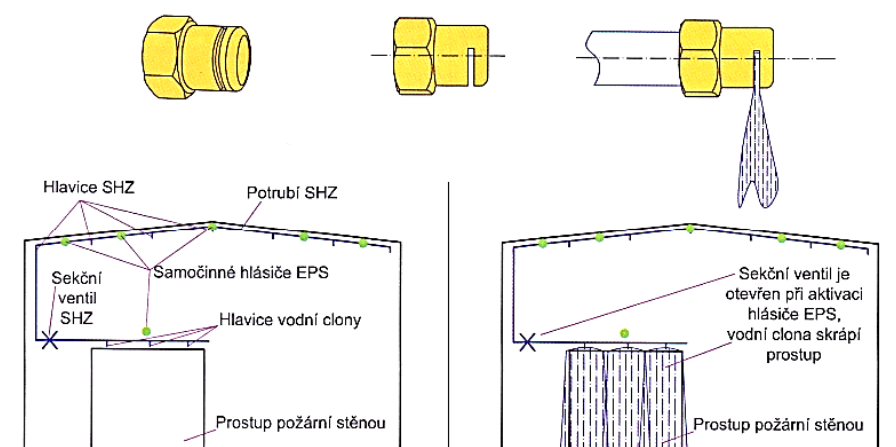
Obr. 15 Pohled, překryvání výstřikových diagramů u vodních clon [19]



Obr. 16: Vodní clona, která zkrápěním zvyšuje požární odolnost proskleného požárního uzávěru [13]



Obr. 17: Funkce vodní clony při požáru [13]



Obr. 18: Ochrana prostupu v požární stěně [13]

5.2 Zásobování zkrápěcího zařízení vodou

Zkrápěcí zařízení může být napojeno na běžný rozvod zásobování požární vodou (společně s hadicovými systémy) většinou bez požadavků na dodatečný zdroj tlaku a zásobní nádrž [15]. Taktéž může být napojeno na sprinklerové hasicí zařízení. V případě napojení na zásobování požární vodou musí být zvýšen celkový přítok vody o množství vody pro zkrápěcí zařízení. V případě napojení na sprinklerové zařízení je nutno zvýšit výkon sprinklerového čerpadla o množství vody pro zkrápěcí zařízení a objem zásobní nádrže sprinklerového zařízení o množství vody pro zkrápěcí zařízení vynásobené dobou činnosti tohoto zařízení [19].

Potřebný tlak na přívodu vody získáme hydraulickým výpočtem.

6. Použití zkrápění v praxi

V časopise Stavebnictví [18] je uveden příklad použití zkrápění pochůzných ploch v obchodním centru ve středu města Žiliny – OC Mirage, kde autorem je stavební fyzik Ing. Miroslav Sázovský a spoluautor pan Ing. Martin Bebčák. Tento článek je velice přehledně napsaný. Jsou zde uvedeny obecné požadavky na pochůzných plochy, podrobnější popis modelování a výpočtu statické části, ale hlavně podmínky z požárního hlediska a jak se taková plocha řešila z hlediska ochlazování konstrukcí.

Bezpodmínečně nutnou podmínkou je už zmiňované včasné detekování požáru a následně zkrápění ještě než vyšší teploty nepříznivě zasáhnou sklo. Tedy logická návaznost požárně bezpečnostních zařízení je nejdůležitější požadavek v této problematice. Tímto se eliminuje na minimum možnost prasknutí skla vlivem tepelného šoku, který by mohl lehce nastat u klasických sprinklerů. Je tedy nutno především zajistit rovnoměrné dodávky vody na celou plochu prosklení, včetně podpůrných a nosných konstrukcí. Na toto téma jsem si dovolila citovat části článku.

„Při návrhu vlastního zkrápění byly prováděny detailní hydraulické výpočty potrubních sítí a požadavků na čerpadla a zásobu vody s tím, že je uvažováno se součinností jak zkrápěcího zařízení, tak i sprinklerových hlavici stabilního hasicího zařízení.“

„Pro vodorovnou prosklenou konstrukci (pochůzná skla) byly použity trysky MV 25, výrobce TYCO Building Service Product s následujícími parametry: Křfaktor = 38,2 a minimálním tlakem na hydraulicky nejnepříznivější hlavici 2 bary. Pro zkrápění pochůzného skla bylo použito na celou plochu zasklení (cca 100 m²) 38 ks drenčkových trysek MV 25, které jsou umístěny pod zkrápěnou konstrukcí a vytváří vodní mlhu s tím, že při výpočtu byla uvažována jako kritická teplota 60 °C (teplota změny mechanických vlastností meziskelných folií jednotlivých vrstev skla). Pro udržení teploty prostoru pod prosklenou konstrukcí je tedy uvažováno s dostačující dodávkou cca 410 l/minutu vody na celou plochu prosklené konstrukce (což představuje cca 20 % z celkové dodávky vody na tuto konstrukci dodávané 38 ks otevřených trysek MV 25 při tlaku 2 bary, tzn. 2050 l/min).“

Pro návrh zařízení pro ochlazování stavebních konstrukcí z uvedené rovnice energetické rovnováhy zajímá hodnota Q_{konst} jak vyplývá ze vzorce (16). Jedná se o hodnotu, která udává, jaké množství tepla přestupuje do lemuujících konstrukcí za jednotku času. Podmínka pro ochlazování podle článku tímto způsobem:

„Množství odvedeného tepla musí být větší nebo rovno množství tepla naabsorbovaného konstrukcí:

$$Q_o \geq Q_{konst} [kW] \quad (18)$$

Hodnotu Q_{konst} lze spočítat podle následujícího vztahu:

$$Q_{konst} = S_k \cdot a \cdot (T_g - T_k) [kW] \quad (19)$$

kde: S_k – povrchová plocha ohraničující konstrukci [m²],

T_g – pravděpodobná teplota plynů v hořícím prostoru (teplotní normová křivka) [°C],

T_k – povrchová teplota ohraničující konstrukci [°C],

T_o – počáteční teplota [°C],

Q_{odv} – teplo odvedené [kW].

Q_{odv} – hodnota, která udává množství tepla za určitou časovou jednotku, jež je potřeba odvést z dané stavební konstrukce tak, aby měla požadovanou požární odolnost.

Potřebné množství odvedeného tepla Q_{odv} lze teoreticky vypočítat následovně:

$$Q_{odv} = Q_1 + Q_2 + Q_3 [kW] \quad (20)$$

$$Q_{odv} = c_{ochlaz} \cdot m (T_{var} - T_1) + L_{ochlaz} \cdot m + c_{konst} \cdot m (T_{mez} - T_o) [kW] \quad (19)$$

kde: Q_1 – množství tepla spotřebovaného k ohřátí ochlazovacího média na teplotu varu,

Q_2 – množství tepla spotřebovaného ke změně skupenství,

Q_3 – množství tepla, které je konstrukce schopna naakumulovat dříve, než nastanou mezní stavy.

$$Q_3 = c_{konst} \cdot m (T_{mez} - T_1) [kW] \quad (21)$$

kde: c_{konst} – měrná tepelná kapacita stavební konstrukce [Jkg/K],

m – hmotnost [kg],

T_{mez} – teplota, při níž nastávají mezní stavy [°C],

T_k – počáteční teplota konstrukce [°C].“

Další kapitolou je Ochlazování kapalinou (vodou). Obsahuje výpočet potřebného a skutečného množství ochlazovacího média.

„Jako nejpříznivější variantu ochlazování konstrukce se jeví její ochlazování pomocí vody.

Z množství tepla Q_{odv} lze teoreticky vypočíst potřebné množství ochlazovacího média

mochlaz.

$$Q_{odv} = m_{ochlaz} \cdot c_{ochlaz} \cdot (T_2 - T_1) [kW] \quad (22)$$

=> množství látky potřebné pro odvedení daného množství tepla m_{ochlaz} :

kde: m_{ochlaz} – množství teoretické [kg], jelikož skutečné množství m_{skut} je závislé na několika parametrech, obsažených v součiniteli ztrát dodávky – k (%).

Skutečné množství ochlazovacího média bude dáno:

$$m_{skut} = m_{ochlaz} \cdot k [\%] \cdot [kg] \quad (23)$$

kde: m_{skut} – skutečné množství ochlazovacího média [kg],

m_{ochlaz} – potřebné množství ochlazovacího média [kg].

k (%) – součinitel ztrát dodávky. Součinitel ztrát dodávky je závislý na tom, zda se jedná o prvek plošný nebo prutový. Dále záleží na poloze stavební konstrukce (vodorovná, svislá, šikmá).“

Každý návrh zkrápění skleněných výplní je specifický. Je nutné vycházet z individuálních požadavků na konkrétní skla. Je nutno dodržovat přísné požadavky na skladby skel, uložení skel, provedení nosných podpor prosklených konstrukcí apod.

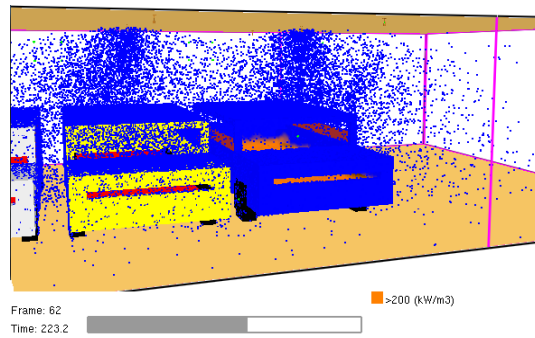


Obr. 19 Fotografie centra s pochůznou skleněnou plochou v obchodním centru ve středu města Žiliny – OC Mirage [18]

6.1 Modelování v programech

V rozvíjející se počítačové technice a software umožňuje modelování různých problematik v oboru požární bezpečnost staveb. Jedna z nich je právě modelování požáru s použitím sprinklerů. Některé ze software jsou:

- FDS – Fire dynamics simulator
- Hydratec Fire Sprinkler Software
- AutoSPRINK
- 3D Fire Design apod.



Obr. 20 Ukázka modelu sprinklerů v programu FDS [16]

7. Závěr

V oblasti požárních skel se vyskytuje mnoho zajímavých řešení. Nejen k ochlazování v části požární bezpečnosti se používají tepelně tvrzená skla, která se uvádí i jako bezpečnostní. V praxi se používají taktéž požární skla, jako jsou skla s intumescentním gelem na bázi pryskyřic, na bázi vody a taktéž se používá za určitých podmínek drátosklo.

Všeobecně u skel při požáru rozhodují tepelné parametry jako je například teplotní a objemová roztažnost. Na tomto závisí i uložení skel po obvodě, opracování hran a v neposlední řadě celkové zpracování a osazení skla. To vše ohrožuje náchylnost na popraskání skel tepelným šokem. Vše by mělo být v souladu s předpisy a podle návodu výrobce.

Kvůli ekonomickému hledisku se osazují skla s menší požární odolností do míst, kde je potřeba splnit požadavky na požárně dělící konstrukce. Sami o sobě by samozřejmě nevystačila a proto, abychom nemuseli dávat skla s větší odolností, tloušťkou a cenou, můžeme využít už instalované SHZ pro ochlazování levnějších skel. Zkrápění skel se neprovádí klasickými sprinklery s baňkou, protože jsou zde větší požadavky na včasné zahájení ochlazování, aby sklo nebylo zasaženo vysokými teplotami. Proto se ochlazování provádí drenčeroým zařízením.

Ekonomické hledisko je ale na každém investorovi. Každý investor je v jiné finanční situaci a má jiné priority v požární ochraně.

Seznam literatury

- [1] **Václav Kupilík.** *Sklo z požárního hlediska - přednáška.* Praha, 2012.
- [2] **AGC.** *Glass and fire protection - prezentace.* 2008.
- [3] infoGlass, sklo ve stavebnictví. [Online] 1 2012. <http://www.infoglass.cz>.
- [4] Alflaglass, sklenářství. <http://www.alfaglass.cz>. [Online]
- [5] **Sait Gobain, Glass.** Návod k použití, Část 1: Nízkoemisivní pokovené sklo. 2007.
- [6] **Pavel Nečas, SAINT-GOBAIN GLASS SOLUTIONS CZ, s.r.o.** Konzultace po emailu, telefonu.
- [7] Verotech Saint-Gobain. [Online] http://countries.vetrotech.com/cz/Downlo_1564.asp.
- [8] Schott, glass made of ideas. [Online] <http://www.schott.com/czechia/czech/index.html>.
- [9] **Václav Kupilík, FSv ČVUT v Praze.** *Tepelné vlastnosti skla.* 2006.
- [10] **D.Halliday, R.Resnick, J. Walker.** *Fyzika, část 2: Mechanika - Termodynamika.* místo neznámé : VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, PROMETEUS.
- [11] **Václav Kupilík, FSv ČVUT v Praze.** *Mechanické vlastnosti skla.* 2006.
- [12] *iMateriály.* **Miroslav Sázovský.** Článek Multifunkční zasklení 6 – Tepelný šok. [Online] 2008. <http://www.imaterialy.cz/Materialy/Multifunkcni-zaskleni-6-Tepelny-sok.html>.
- [13] **Václav Kratochvíl, Šárka Navarová, Michal Kratochvíl.** *Požárně bezpečnostní zařízení na stavbách, stručná encyklopedie pro jednotky PO, požární prevenci a odbornou veřejnost.* Ostrava : Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2011.
- [14] **Pokorný, Marek.** Akademie zateplování, přednáška. Kontaktní zateplovací systémy (KZS). Praha : autor neznámý, 04/2012.
- [15] **Miloš Maximovič.** *Konzultace po e-mailu.*
- [16] Fire Sprinkler System Supplier, Exporter, STAR FIRE SYSTEMS PRIVATE LIMITED , Pune, India. <http://www.tradeindia.com/fp436838/Fire-Sprinkler-System.html> [Online]
- [17] **Zdeněk Hošek.** *Odborná studie na téma disertační práce: Zvýšení požární odolnosti stavebních konstrukcí zkrápění vodou.* Praha, 2012.
- [18] Časopis stavebnictví. **Miroslav Sázovský, Petr Bebčák.** Článek: Požadavky na požárně odolné pochůzná plochy ze skla [Online] 3/2011. http://www.casopisstavebnictvi.cz/online/dokumenty/pdf/stavebnictvi_2011_03.pdf.
- [19] ČSN 73 0873 –Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou. (2003/06).
- [20] ČSN 73 0802 – Požární bezpečnost staveb - Nevýrobní objekty. (2009/05).
- [21] ČSN 730804 – Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty. Praha : ÚNMZ, (02/2010).

[22] ČSN 73 0810 – Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení. (04/2009) + změna Z1 (2012/05).

[23] **Saint Gobain, Glass.** Návod k použití, Část 2: Nízkoemisivní pokovené sklo, verze pro tvrzení. 2007.