

Odprýsknutí betonu vystaveného požáru

Spalling of Concrete Exposed to Fire

Josef Nebeský, Bohumír Voves

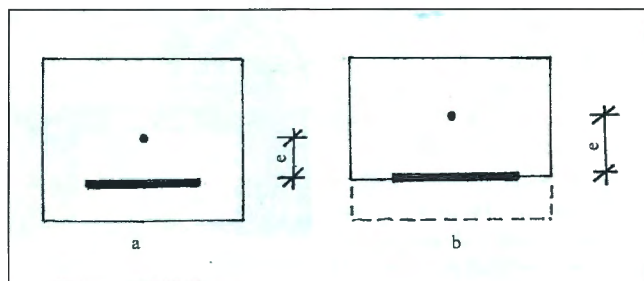
Odprýsknutí betonu vystaveného požáru ohrožuje nosnost betonové konstrukce, protože zmenšuje její průřez a zbavuje výztuž krycího betonu. Hlavní příčinou odprýsknutí bývá současné působení napětí vyvolaného ohřevem a napětí způsobených zatížením a předpětím.

The spalling of concrete exposed to fire endangers the carrying capacity of concrete structures because this can cause a reduction of the cross-section and remove the concrete cover of the reinforcement. The main reason for spalling is the interaction of stresses caused by a heating process, by loading and by prestress.

Výskyt odprýsknutí betonu na povrchu betonové konstrukce vystaveném požáru může být hlavním činitelem ohrožení její nosné funkce. Odprýsknutí se projevuje záhy (často do dvaceti minut) po vzniku požáru a to náhle jako exploze. U sloupů a tyčových konstrukcí odprýskává beton v rozích průřezu, u ohýbaných prvků v plochách při spodním povrchu a u štíhlých konstrukcí ve stěnách. Náchylnost k odprýsknutí roste s hutností, pevností a tedy i křehkostí betonu.

Odprýsknutí betonu ovlivňuje nosnou funkci postižené konstrukce ze dvou důvodů, jednak způsobí ohřátí obnažené výztuže a jednak zmenší průřez betonu. Výztuž je po odprýsknutí zbavena krycí vrstvy a vystavena přímému působení požáru. Tím se zmenší její mez pružnosti, pevnost a modul pružnosti a obnažená výztuž se nápadně protahuje. Odprýskne-li beton u ohýbaných prvků a sloupů, zmenší se jejich schopnost vzdorovat ohybu a tlaku. Odprýskne-li beton ve stěně trámu, zmenší se jeho smyková únosnost. Není-li takto postižená konstrukce schopna přenášet působící silové účinky, náhle se zřítí současně s odprýsknutím.

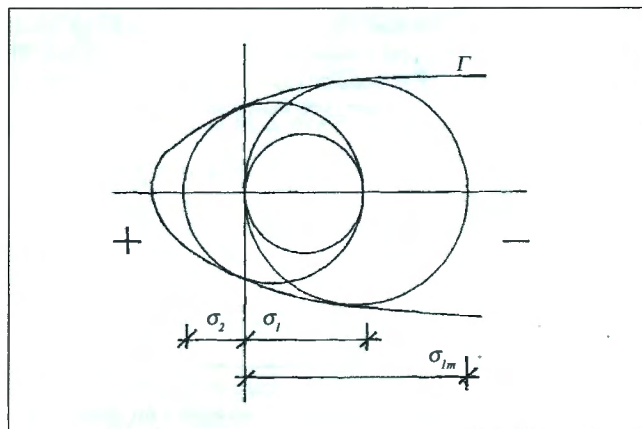
To se stalo např. u nezatížené desky z předpjatého betonu podrobené zkoušce požární odolnosti (obr. 1). Po ohřevu trvajícím 20 minut náhle odprýskla vrstva betonu kryjící výztuž. Po odprýsknutí se zmenšila plocha průřezu a zvětšila se výstřednost předpínací síly. Současně s odprýsknutím deska vyskočila, aby se nato ihned propadla do pece.



Obr. 1 – Průřez desky a – před odprýsknutím, b – po odprýsknutí / Cross-section of a plate a – before spalling, b – after spalling

Za příčinu odprýsknutí se považuje přemáhání betonu vyvolané současným působením přetlaku páry, vnitřního pnutí, vynuceného přetvoření, zatížení a předpětí. Přetlak páry roste s odporem kladeným její migrací z ohřívaného povrchu do oblastí chladnějších, s rychlostí ohřevu, s vlhkostí a s hutností betonu. Přetlak bývá největší při teplotě kolem 110 °C. Vnitřní

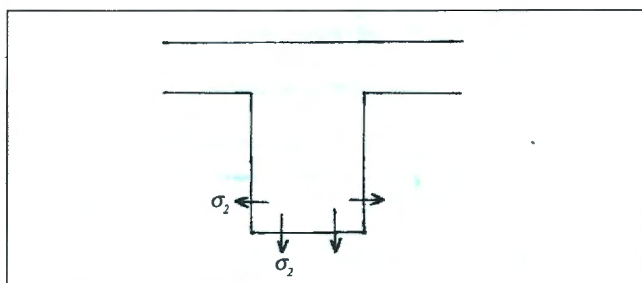
pnutí je způsobeno tím, že rozdělení teploty po průřezu ohřívané konstrukce není rovinné. Vynucené přetvoření je vyvoláno ohřátím konstrukce, které podepření nedovoluje volně se přetvářet. Přetlak páry, vnitřní pnutí a vynucené přetvoření nebývají obvykle samy příčinou odprýsknutí. K tomu dochází, když je napjatostí jimi vyvozenou oslabena schopnost konstrukce přenášet napětí, pro které je určena. Tak sloupy resp. předpjaté panely jsou určeny pro přenos podélného normálového napětí σ_1 vyvozeného zatížením resp. předpětím, přičemž je σ_1 menší než pevnost betonu σ_{lm} (obr. 2).



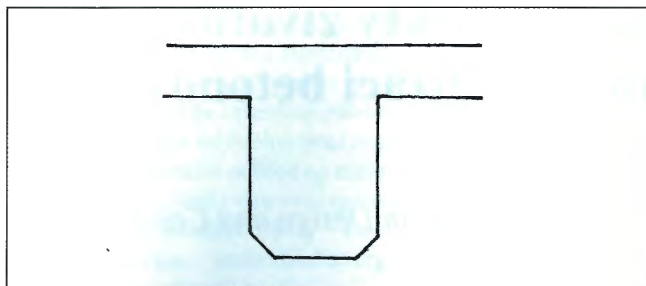
Obr. 2 – Napjatost při odprýsknutí betonu / Stresses by concrete spalling

Příčné normálové napětí v tahu σ_2 , vyvolané přetlakem páry a vnitřním pnutím, způsobí porušení betonu podle Mohrovy teorie, pokud nabude takové hodnoty, že se kružnice opsaná nad průměrem $(\sigma_1 + \sigma_2)$ dotkne křivky Γ . Z toho je zřejmé, že odprýsknutím jsou více ohroženy sloupy, které jsou při požáru zatíženy plným provozním zatížením, a předpjaté panely, které jsou při požáru zatíženy pouze stálým zatížením (napětí v tlaku od předpětí je totiž zmenšováno zatížením).

K odprýsknutí dochází u běžných konstrukcí na počátku rozvinutého požáru do dvaceti minut, u tenkých konstrukcí nebo konstrukcí s náhlou změnou šířky průřezu i dřívě. Požár obvykle působí na spodní povrch desky a na trámy i z boků. K odprýsknutí proto dochází častěji u trámů než u desek. Odprýsknutí se často projevuje na rozích průřezu trámů a sloupů, kde napětí σ_2 působí ve dvou směrech (obr. 3), a u tenkých částí průřezu (např. stěn), které jsou napojeny na masivnější části (např. příruby).



Obr. 3 – Napětí σ_2 v rohu průřezu / Stress σ_2 at the corner of cross-section



Obr. 4 – Zkosení rohu průřezu / Arrangement of the cross-section corner

Napjatost od předpětí a zatížení i vlhkost betonu bývají určeny užíváním konstrukce. Pak nezbyvá než nebezpečí odprýsknutí omezit zajištěním konstrukčních opatření. Napjatost od vynuceného přetvoření se omezí tím, že se nebrání volnému přetváření konstrukce. Vnitřní pnutí se zmenší navrhováním průřezů, jejichž části nemají tloušťky značně rozdílné, rohy průřezu se opatřují zkosením (obr. 4), tenké stěny se vyztužují sítěmi, dbá se na to, aby konstrukce byly opatřeny konstrukční výztuží apod. U běžných konstrukcí, u nichž se neuvažuje vystavení vysokým teplotám a u nichž se nepředpokládá další užívání po požáru, postačí konstrukční výztuž požadovaná v předpisech pro navrhování konstrukcí. To ostatně odpovídá požadavku nezvyšování spotřeby výztuže a ceny staveb. Ale u konstrukcí, které mají být vystaveny vysokým teplotám a mají odolávat přiměřenému působení požáru, aniž by došlo k odprýsknutí, je vhodné zabraňovat odprýsknutí betonu zvětšením počtu vložek konstrukční výztuže. Například je vhodné tenké stěny opatřit sítěmi z drátu ϕ 5 mm s oky do 100 mm a v rozích průřezu osadit trmínky ϕ E 5 vzdálené do 100 mm.

Pro zjištění vlivu vlhkosti na odprýsknutí byly provedeny zkoušky krychlí z betonu vlhkého 0,75 %, 2,0 % a 7,5 % vystavených náhlému ohřátí od $T = 100$ °C do 600 °C. Po ohřátí nad $T = 450$ °C byla na krychlích zjištěna mozaiková síť vlasových trhlin. I po ohřátí na $T = 600$ °C nestačil přetlak páry vyvodit takovou napjatost, aby beton odprýskl.

Na ohříváním povrchu konstrukcí někdy dochází k drobným odprýsknutím betonu ve tvaru kráterů sahajících do hloubky až 5 mm. To je vyvoláno fyzikálními a chemickými jevy, které vedou ke změně objemu křemenného nebo i vápencového kameniva. Drobná odprýsknutí nenarušují nosnou funkci konstrukce, ale nepříznivě ovlivňují její vzhled.

V příspěvku jsou prezentovány výsledky řešení grantu GAČR 103/98/1475.

Ing. Josef Nebeský, CSc., Stavební fakulta ČVUT,
Thákurova 7, 166 29 Praha 6,

Prof. Ing. Bohumír Voves, DrSc., Pod Fialkou 7,
150 00 Praha 5

Kdyby byl celý národ z kvádrů Liapor, bylo by všechno v suchu.




Prefadily z Liaporu se osvědčily jako výborné technické řešení velkých i malých staveb. Jsou lehké, dobře opracovatelné a snadno manipulovatelné. Tvarová rozmanitost dílů, kterou lze z Liaporbetonu vyrobit, je velice bohatá. Díky tomu lze z prefadilů z Liaporu stavět originálně, přesně podle přání zákazníka. Může tak být zachována architektonická bohatost jako u klasických zděných staveb, přičemž rychlost montáže je výrazně větší!

A navíc: zvuková izolace až o 5 dB vyšší než u srovnatelných hmot. Tepelný odpor již od $2 \text{ m}^2 \text{ KW}^{-1}$. Pevnost betonu od 2 do 45 MPa. Objemová hmotnost již od 700 kg/m^3 . Navíc je Liapor ekologický, naprosto čistý materiál. V domech z něho postavených se bydlí zdravě a příjemně. V případě Vašeho zájmu Vám nabízíme servis, který, mimo jiné, zahrnuje návrh, dopravu a odborné poradenství.


Základ dobrých staveb

LIAS Vintřův, Lehký stavební materiál, k. s., 357 44 Vintřův, tel.: 0168/66 61 65,
fax: 0168/66 58 08, e-mail: liapor@mbox.vol.cz

Žádám o podrobnější informace o stavebních materiálech Liapor. 

Jméno _____ Zaměstnání _____

Adresa _____

PSČ _____ Město _____ Fax _____

Vyplněný kupon zašlete na adresu: LIAS Vintřův, LSM, k. s., 357 44 Vintřův

Beton a zdivo