

Obnašanje armirano betonskih konstrukcij v požaru

Armirano betonske konstrukcij so negorljive in k požaru ne prispevajo, vendar je njihova nosilnost v požaru povsem drugačna kot pri normalnih temperaturah. Pri močnejših požarih lahko pride do eksplozijskega odpadanja betona in celo porušitve konstrukcije.

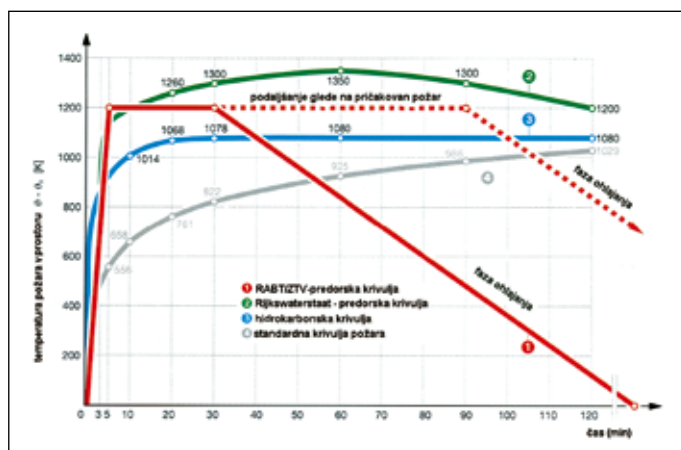
Leon Pajek, Promat d.o.o.

Menjuje, da je beton neomejeno požarno odporen, je precej razširjeno. Vendar ni povsem tako. V prispevku bi rad prikazal:

- različne vrste požarov, ki različno obremenjujejo armirano betonske konstrukcije,
- potek dviga temperature s časom (požar celuloze, požar ogljikovodikov, požar v predoru),
- kaj se dogaja v betonu ob teh temperaturah tako na površini kot v globini konstrukcije,
- dvig temperature in procese v notranjosti armirano betonske konstrukcije,
- razpadanje betona in padec trdnosti,
- vpliv vlage na obnašanje AB konstrukcije in poškodbe, ki nastanejo ob prehitrem segrevanju,
- požarno odpornost standardnih armirano betonskih konstrukcij in možnostiboljšanja požarne odpornosti.

Različne vrste požarnih obremenitev AB konstrukcij

Lastnosti materialov se spreminjajo s povišanjem temperature. Vendar pa do porušitve konstrukcije ne pride samo zaradi povišane temperature. Zelo pomemben faktor je tudi čas, v katerem je ta temperatura dosežena. Povezava teh dveh parametrov je predvsem



Požarne krivulje

odvisna od vrste goriva (požara) in od prostora, kjer do požara pride. Kot posledico teh dejstev so različne nacionalne in mednarodne ustanove definirale različne požarne krivulje. Najpomembnejše krivulje, ki so v uporabi za preskušanje obnašanja armiranobetonskih konstrukcij, so:

Standardna požarna krivulja je simulacija naravnega požara v stavbah. Po 30 minutah se temperatura zviša za 822 °C. Krivulja se uporablja v večini testnih metod po svetu, kot so DIN 4102, BS 476, AS 1530, ASTM. Upoštevata jo tudi evropski standard SIST EN 1363-1.

Hidrokarbonska požarna krivulja ponazarja požar ogljikovodikov (motornege bencina, nafte). Porast temperature po 30 minutah je 1078 °C.

RABT krivulja je nastala v Nemčiji kot rezultat številnih preskusov, kot so bili preskusi Eureka projekta. Temperatura naraste v prvih petih minutah

na 1200 °C. Požar naj ne bi trajal dlje kot 30 minut. Seveda pa se glede na pričakovan požar lahko podaljša. Pomemben del te krivulje oz. postopka preskušanja je tudi faza ohlajevanja. V tej fazi pride zelo pogosto do porušitve konstrukcije kot posledica ponovnega krčenja materiala.

RWS (Rijkwaterstaat) krivulja temelji na domnevi 300 MW požara v omejenem prostoru, na primer v predoru. Krivulja je nastala na Nizozemskem in je bila tudi mednarodno dobro sprejeta. Od letos jo predvideva

Vrsta požara	Čas (min)	Temperatura na površini(°C)	Temperatura v globini 25 mm (°C)
Standardi požar	0	20	20
	30	760	280
	60	900	420
	90	980	560
	120	1010	635
Požar ogljikovodikov	0	20	20
	30	1080	400
Požar v predoru (RWS-krivulja)	0	20	20
	30	1280	240

Tabela 1: Povišanja temperatur na površini in v notranjosti betonske konstrukcije

tudi NFPA. Porast temperature po 30 minutah znaša 1300 °C.

AB in posledice povišanje temperature

Kaj se dogaja na površini in v notranjosti armirano betonske konstrukcije ob povišanju temperature?

Termomehanski procesi v betonu povzročijo tri načine poškodbe konstrukcije:

- **Napetosti kot posledica različnih temperatur konstrukcije**

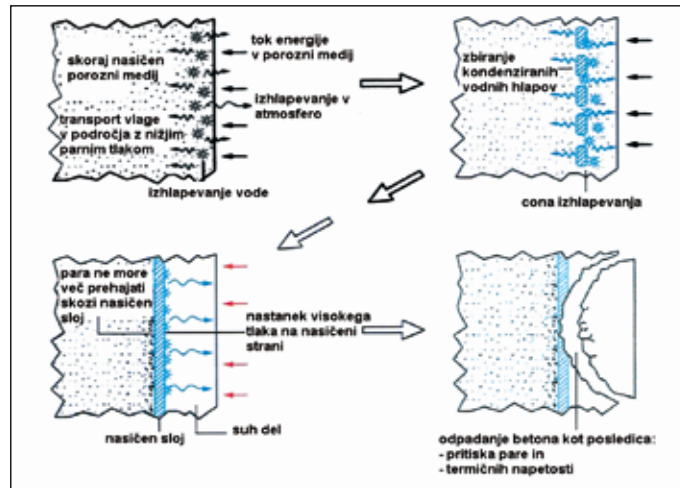
Zaradi različnih termičnih raztezanj, ki so posledica različnih temperatur konstrukcije, pride v požaru ob povišanih temperaturah do tlačnih in nateznih obremenitev. Ko je ta sila višja od trdnosti betona, nastanejo v konstrukciji razpoke. Posebno nevarne so razlike v temperaturi površine in notranjosti, kar pripelje do razpok v notranjosti betonske konstrukcije. Zaradi sorazmerno slabe prevodnosti in vsebnosti vode, ki za izhlapevanje porablja energijo in s tem hladi notranjost konstrukcije, so te razlike še večje. Navedene so v tabeli 1:

• Napetosti kot posledica različnih temperaturnih koeficientov dolžinskega raztezka

Razlike v razteznostnih koeficientih sestavnih delov betonske konstrukcije povzročijo dodatne napetosti v betonski konstrukciji. Sestavni deli betonske konstrukcije imajo različne temperaturne koeficiente dolžinskega raztezka. Dodatki imajo koeficiente od $5.10^{-6}/K$ pa do $12.10^{-6}/K$, medtem ko se cement zaradi sušenja in dehidracije krči s koeficientom od $\alpha T = 8.10^{-6}/K$ pa do $\alpha T = 23.10^{-6}/K$. Na velikost koeficienta vpliva vlažnost konstrukcije pred požarom.

• Napetosti kot posledica spremembe sestave dodatkov zaradi povišanja temperature

Pri povišanih temperaturah oddajajo nekateri sestavni deli betona vezano vodo. Pri nekaterih elementih prihaja do spremembe kristalne strukture (npr. pri granitu ali kremenu). Pri apnencu prihaja celo do kemičnih razpadov kalcijevega karbonata v kalcijev oksid in ogljikov dioksid. Nad $1200\text{ }^\circ\text{C}$ prihaja že do taljenja nekaterih sestavin. Ob taljenju sproščajo nekatere sestavine (npr. nekatere vrste bazalta) pline, ki povzročajo celo napihovanje. Vsi ti procesi zelo negativno vplivajo na trdnost betonske konstrukcije.

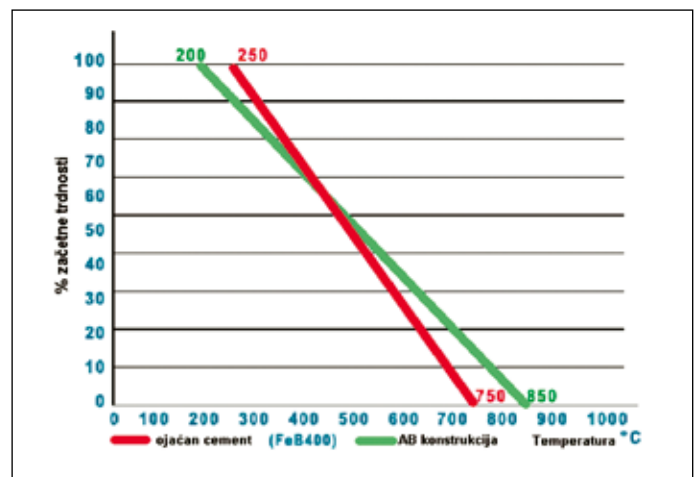


Shematski prikaz nastanka eksplozijskega odpadanja delov betonske konstrukcije

ne fizično in kemično vezana voda, ki se nahaja v betonu, izhlapevati. Molekule vodne pare se gibljejo v smeri nižjega parnega tlaka, torej tudi v notranjost betonske konstrukcije. V notranjosti zaradi nižje temperature kondenzirajo. S tem se količina vode v notranjosti konstrukcije poveča. Prej ali slej pride v notranjosti do zapolnitve por betona z vodo. S tem je nadaljnja pot vodne pare v notranjost konstrukcije preprečena. Ob nadaljevanju dovoda energije narašča pritisk vodne pare do te stopnje, da je vsota sil vseh parcialnih tlakov (vode, zraka in sproščenih plinov) in napetosti kot posledica termomehanskih procesov višja kot tr-

- nateznih sil v betonskem elementu,
- mineralne in kemične sestave betona,
- položaja armature,
- oblike elementa.

Ob neugodni kombinaciji teh dejavnikov je začetek eksplozijskega odpadanja že pri temperaturi ca. $150\text{ }^\circ\text{C}$, ki je dosežena po 10-15 minutah. Proces se ponavlja in nadaljuje. Do porušitve konstrukcij navadno pride, ko armatura ni več zaščitena in njena temperatura preseže kritično temperaturo, ki je odvisna od vrste



Izguba trdnosti armirano betonske konstrukcije s povišanjem temperature



Po požaru; odpadanje betona tudi do 40 cm globoko

Temperaturno območje (°C)	Sprememba
30 - 120	Izhlapevanje proste in fizikalno vezane vode
100 - 300	Začetek dehidracije
250 - 600	Oddajanje kemično vezane vode
450 - 550	Razpad portlandita $\text{Ca(OH)}_2 \Rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$
573	$\text{SiO}_2 \alpha \Rightarrow \beta$ (samo pri kvarcu)
600 - 700	Začetek razpada CSH vezi; nastanek $\beta - \text{C}_2\text{S}$
600 - 900	$\text{CaCO}_3 \Rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ (samo pri apnencu)
1200 - 1300	Začetek taljenja
≥ 1400	Beton je talina

Tabela 2: Spremembe v betonu ob povišanju temperature

Termohidravlični procesi zaradi opisanih napetosti povzročijo eksplozijsko odpadanja betona. Glavni povzročitelj tega je voda oz. vodna para.

Pri obremenitvi površine s povišano temperaturo prič-

dnost betona. V tem trenutku odpade del konstrukcije, kar je na videz podobno eksploziji betona.

Kdaj bo začetek eksplozijskega odpadanja, je odvisno še od več dejavnikov:

- vrste požara oz. hitrosti segrevanja,
- temperature betona,
- količine vlage v betonu (vsaj 2%),
- trdnosti betona,
- količine por in njihove povprečne velikosti,

jekla, in navadno ne presega $500\text{ }^\circ\text{C}$.

Požarna odpornost standardiziranih AB konstrukcij

Pri suhih in primerno projektiranih armirano beton-



Po požaru v garaži v Zupančičevi jami; posledice požara enega osebnega avtomobila

skih konstrukcijah ob krajših požarih z manjšo količino goriva navadno res ne pride do porušitve. Veliko konstrukcij je bilo že tolikokrat preskušanih, da bi bilo ponovno preskušanje nesmiselno. Natančno opisane in zbrane so v standardu SIST EN 1992-1. Poudariti pa je treba, da ta standard velja za požarno obremenitev s standardnim požarom po SIST EN ISO 834 in vsebnost vlage samo do 3 utežne % in torej v primeru betonskih konstrukcij v predorih ni uporabna. V predorih je požarno odpornost armirano betonskih konstrukcij potrebno dokazovati s preskusi po RWS ali RABT krivulji odvisnosti temperature od časa. Po standardu SIST EN 1992-1 je potrebno upoštevati

- oddaljenosti med armaturo in s požarom obremenjene površine,
- dimenzij oz. debeline armirano betonskega elementa,
- površine elementa, ki je obremenjena s požarom,
- samih statičnih obremenitev elementa.

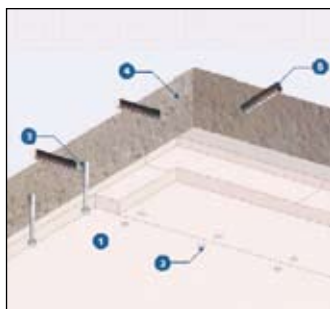
Ščitenje armiranobetonskih konstrukcij pred požarom

Tako, kot je veliko težav s ščitenjem armiranobetonskih konstrukcij pred vplivi po-

žara, je na voljo tudi veliko rešitev. Če ne pričakujemo velikega požara in je prostor suh (beton nima več kot 3 odstotke vlage), je brez dvoma najenostavneje upoštevati Evrokod 1992. Če je sistem pravilno izveden, do porušitve ne more priti. Čas trajanja požarne odpornosti je omejen. Seveda tudi v tem primeru lahko uporabimo določene zaščitne ukrepe, ki zmanjšajo stroške sanacije in izpada uporabe objekta.



Predor pod Elbo v Hamburgu je eden izmed mnogih, ki so zaščiteni s Promatect T ploščami



Različni načini pritrdjevanja plošč Promatecta T v armiranobetonsko konstrukcijo



Požarni preskus v naravnem merilu je pokazal, da bi prišlo do porušitve betonske plošče, armirane z jekleno pločevino (sistem HI Bond) in dodatno armaturo, prej kot v 90 minutah, če stropna plošča ne bi bila dodatno požarno zaščiten. V ozadju lepo vidna armatura stene, ki je po požaru ostala popolnoma nezaščiten zaradi eksplozijskega odpadanja betona (foto Milan Hajduković).

Težave pa se pojavijo takoj, ko imamo povečano količino vlage v betonu. Najbolj tipičen primer so predori. Ena od možnosti je dodajanje polipropilenskih vlaken v mešanico betona. Navadno zadošča že količina okrog 2 kg za 1 m³ betona. Ta vlakna se pod vplivom povišanja temperature stalijo, omogočajo prehod

vodne pare in preprečujejo eksplozijsko odpadanje. Vendar pa je po požaru sanacija konstrukcije precej zamudna in draga. Dodaten problem pa se je pokazal pri izvedbi. Medtem ko so bili preskusi opravljeni z v laboratoriju pripravljenimi mešanicami uspešni, pa se pojavi problem natančnosti vmešavanja in razporeditve vlaken v praksi na gradbišču.

Druga težava se pojavi, ko ugotovimo, da obstoječi objekti nimajo ustrezne požarne odpornosti, pa naj bo to zaradi premajhnih dimenzij ali premajhnih odmikov armature od površine.

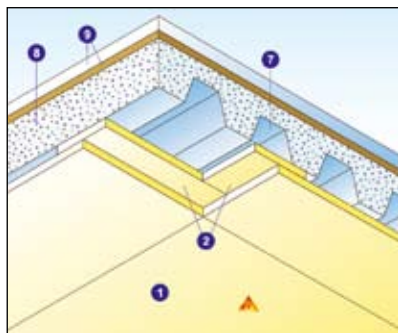
Ena od možnosti so dodatni požarni ometi, ki pa so se sčasoma pokazali kot zelo problematični glede oprijema na konstrukcijo. Predvsem je ta problem izrazil na starih karboniziranih površinah betona. Ta problem je možno reševati z dodatnim sidranjem in armiranjem ometa ali pranjem obstoječe površine s tlakom 2500 barov (s tem odstranimo vsaj 2 mm karboniziranega sloja betona), vendar sta rešitvi zamudni in dragi.

Trenutno je najprimernejša rešitev za oba problema

oblačenje armiranobetonske konstrukcije s ploščami. Najprimernejše so plošče kalcijevega silikata, ki so odporne proti temperaturi do 1350 °C in neobčutljive na vlago in zmrzal.

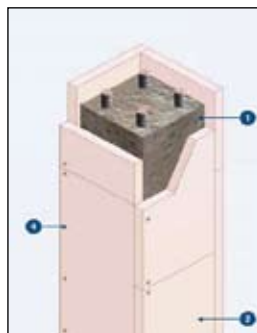
Ščitenje s ploščami iz kalcijevega silikata

Načini za izboljšanje požarne odpornosti obstoječe konstrukcije so prav tako različni. Eden izmed najzanesljivejših in dokazano učinkovitih je oblačenje obstoječih armiranobetonskih konstrukcij s ploščami iz kalcijevega silikata. Glavne prednosti so neobčutljivost na vlago in zelo tanke obloge. Že z 9 mm ploščo je možno izboljšati požarno odpornost armiranobetonske konstrukcije iz EI 60 na EI



Načini ščitenja armiranobetonskih stebrov ali nosilcev in sten ali plošč.

120. Ker ima vsaka konstrukcija svoje posebnosti, ki vplivajo na požarno odpornost elementa kot celote, je treba upoštevati dosedanje rezultate požarnih preskusov. Če pa je sistem tako specifičen, da bi napačna ocena lahko pripeljala do porušitve sistema prej kot je predvideno in zahtevano, je treba opraviti nove



požarne preskuse in z njimi dokazati požarno odpornost obstoječe ali dodatno zaščitene konstrukcije.

Zaključek

V primeru vlažnih (nad 3 %) ali armirano betonskih konstrukcij, ki nimajo zadostnega pokritja armature z betonom ali pa ko pričakujemo močnej-

ši požar, je potrebno poseči po dodatni zaščiti s preskušeni zaščitnimi materiali.

Požar je zelo kompleksen pojem in tako tudi deluje. Na kratko je skoraj nemogoče opisati vse parametre, na katere je potrebno ob projektiranju konstrukcije z vidika požarne varnosti paziti. Armirano betonske konstrukcij so res negorljive in k požaru res ne prispevajo, vendar pa je njihova nosilnost v požaru povsem drugačna kot pri normalnih temperaturah. Če sem bralcu tega članka vzbudil dvom v neomejeno požarno odpornost armirano betonskih konstrukcij, je ta članek dosegel svoj cilj. Točne ocene in izračune pa raje prepustite strokovnjakom na požarnem področju.