

Vliv ohřátí na vlastnosti betonu

Heating Influence on Concrete Properties

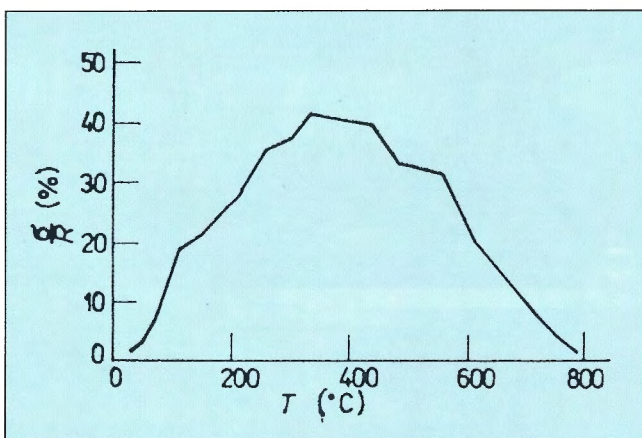
Bohumír Voves

Článek pojednává o změnách mechanických vlastností betonu při vyšší teplotě. Výsledky zkoušek popisují pevnost v tlaku a pracovní diagram betonu, který byl zatížen v ohřátém stavu a také ve vychlazeném stavu po ohřátí. Prokázána znalost pevnosti a deformačních vlastností betonu usnadní určit chování a nosnost konstrukce při a po požáru.

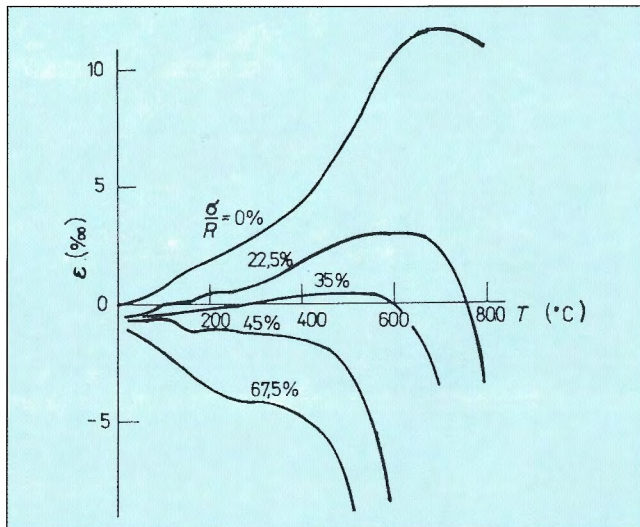
This paper outlines changes of concrete mechanical properties under elevated temperature. Test results show compressive strength and stress-strain relationship of concrete loaded in heated state and also in cooled state after heating. Qualifield knowledge of the strength and deformation properties of the concrete enables to predict its structural behaviour and load-bearing capacity during and after fire.

Při ohřátí probíhají v betonu fyzikální a chemické jevy, které ovlivňují jeho mechanické vlastnosti. Převažující význam mají dále popisované jevy: Z cementového kamene se při ohřátí na 100 °C odpařuje volná voda a za teplot nad 110 °C se vypuzuje fyzikálně vázaná voda a narušuje se jeho krystalová kostra. Při vyšších teplotách ztrácejí hydratované částice cementu chemicky vázanou vodu a zmenšují svůj objem (např. trikalciumpulminát při 330 °C). Objem křemenného kameniva se zvětšuje, a to zejména při ohřátí na 573 °C, kdy se mění jeho modifikace. V důsledku rozdílu objemových změn cementového kamene a kameniva dochází v betonu k vnitřnímu pnutí. Kromě toho v betonu vzniká přetlak, protože volnému úniku páry z ohřátého betonu brání difúzní odpor. Přetlak se zvětšuje s rychlostí ohřevu, s vlhkostí a s hutností betonu. Vnitřní pnutí a přetlak vedou ke zmenšení pevnosti a modulu přetvárnosti betonu, kterým se vyjadřuje i zvětšení dotvarování betonu vlivem ohřevu. Při ohřívání se projevuje teplotní roztažnost betonu, i když je zmenšována jeho rostoucím smršťováním.

Souhrnné působení vlivu teplotního prodloužení a zmenšení modulu přetvárnosti při ohřevu je možné naznačit na dvou případech zkoušek jednoose namáhaného betonu při rostoucí teplotě: U betonového prvku [1], který byl před ohřátím v nenapjatém



Obr. 1 – Napětí betonu σ vyjádřené násobkem jeho pevnosti R za rostoucí teploty T neposuvně upnutého prvku [1] / Concrete stress σ given in % of strength R at ambient temperature T for specimen under a fully restrained axial deformation [1]



Obr. 2 – Přetvoření betonu ϵ při stálém napětí v tlaku σ vyjádřeném násobkem jeho pevnosti R za rostoucí teploty T [1] / Concrete strain ϵ for specimen under constant compressive stress σ given in % of the strength R at ambient temperature T

stavu neposuvně upnut a který byl poté ohříván, rostlo s postupujícím ohříváním napětí σ do teploty $T = 400$ °C, aby se při pokračujícím ohřevu napjatost zmenšovala pro převažující vliv úbytku modulu přetvárnosti betonu (obr. 1). Betonový prvek [1] se při rostoucí teplotě T prodlužoval pro teplotní roztažnost (obr. 2). U prvku vystaveného stálému napětí v tlaku σ (odpovídajícímu dovolenému namáhání betonu) a rostoucí teplotě T převládala zpočátku teplotní roztažnost a beton se prodlužoval, aby se při větší teplotě zkracoval pro výrazné zmenšení modulu přetvárnosti. Prvek vystavený většímu napětí se i při nízké teplotě zkracoval.

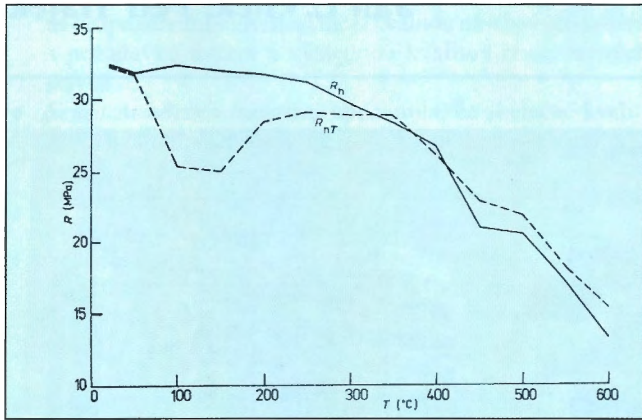
Pro ujasnění vlivu ohřátí na základní mechanické vlastnosti byly zatěžovány betonové hranoly rozměrů 70,7 × 70,7 × 200 mm staré 6 měsíců ve stavu ohřátém na teplotu $T = 50$ až 600 °C a také ve vychlazeném stavu po ohřátí na tytéž teploty. Pro porovnání se provedly souběžně zkoušky i při teplotě $T = 20$ °C. Beton vyrobený z portlandského cementu, štěrkopísku a hrubého žulového kameniva vykazoval v době zkoušky objemovou hmotnost 2276 kg.m⁻³, krychelnou pevnost 35,16 MPa a vlhkost 3,0%.

Při zkoušce ohřátého betonu se hranol uložený v pisce, která doplňovala zkušební stroj, ohřívá při teplotě plynule rostoucí o 12 °C min⁻¹ na požadovanou teplotu, udržovanou po 10 minut, a ihned poté byl podroben zkoušce tlakem. Při zkoušce vychlazeného betonu se hranol ohřívá v pisce na požadovanou teplotu, která se udržovala po 10 minut, a poté se nechal pozvolna vychladnout na teplotu 20 °C, aby se týden po ohřátí podrobil zkoušce tlakem. Zkoušky tlakem probíhaly na zkušebním stroji Instron. Hranoly se zatěžovaly ve stupních s odlehčováním na každém stupni. Poté se zatěžovaly při stále rychlosti posuvu při tlačných částí stroje.

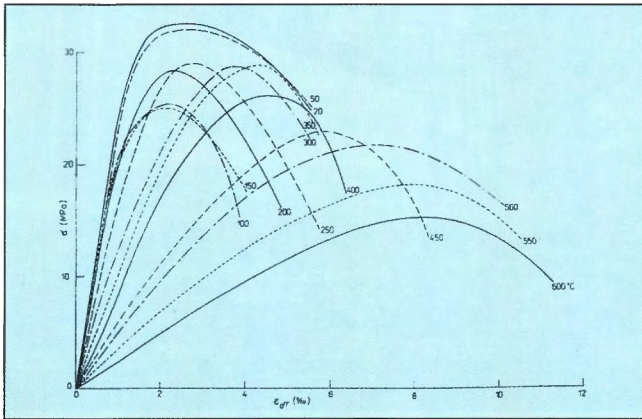
Zkouškami se zjistily hranolové pevnosti R_h , pracovní diagramy $s \times e$, sečnové moduly pružnosti E_e a přetvárnosti E_d a mezní stlačení e_m (obr. 3 až 7). Vlastnosti vychlazeného betonu

se dále značí bez doplňkového indexu a vlastnosti ohřátého betonu s doplňkovým indexem T .

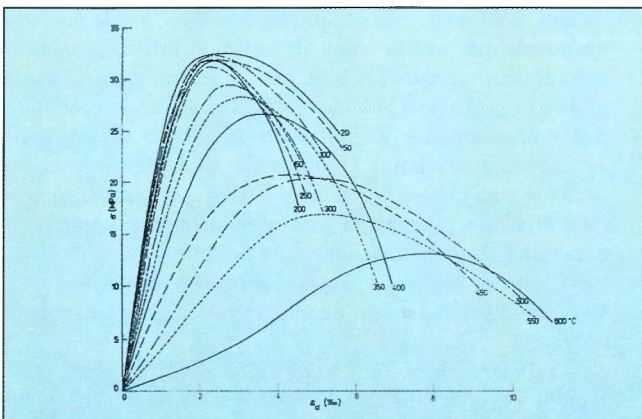
Ohřátí ovlivňuje sledované vlastnosti betonu v ohřátém i vychladlém stavu. S rostoucí teplotou T se hranolové pevnosti (obr. 3) a moduly (obr. 6) zmenšují, pracovní diagramy zplošťují (obr. 4 a 5) a mezni stlačení (obr. 7) se zvětšují.



Obr. 3 – Hranolové pevnosti betonu ohřátého R_{hT} a vychladlého R_h / Compressive strength of heated concrete R_{hT} and of cooled concrete after heating R_h



Obr. 4 – Pracovní diagramy ohřátého betonu / Stress-strain relationship of heated concrete



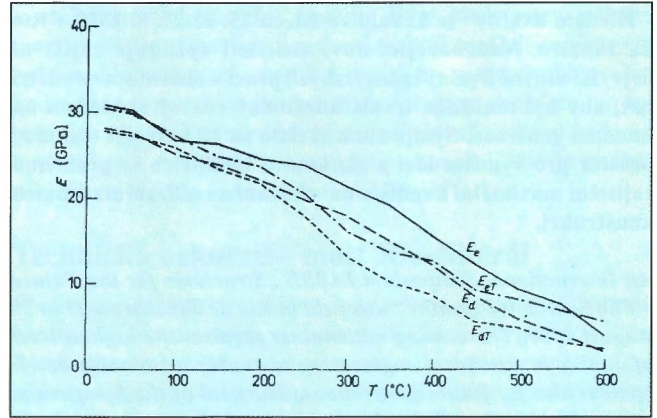
Obr. 5 – Pracovní diagramy vychladlého betonu / Stress-strain relationship of cooled concrete after heating

Nápadné zmenšení R_{hT} v rozmezí $T=100$ až 250 °C (obr. 3) bylo způsobeno vnitřním pnutím a přetlakem páry při poměrně rychlém ohřevu, kdy hutný beton bránil úniku páry z ohřívajícího betonu. Po vychladnutí tyto jevy pominuly a R_h je větší než R_{hT} (obr. 4). Při $T > 250$ °C se projevuje vliv dehydratace cemen-

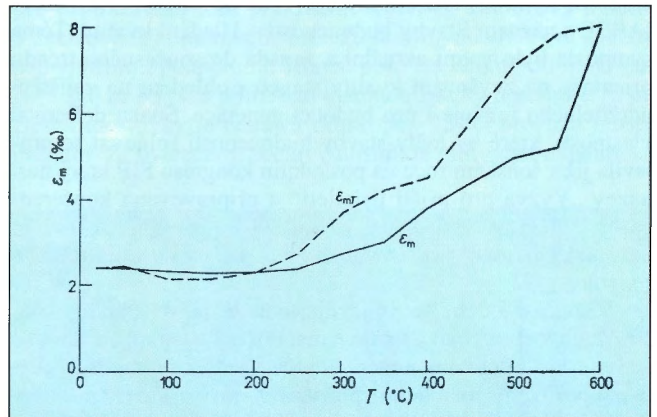
tového kamene a R_h , R_{hT} nápadně klesá. Při $T > 450$ °C oxid vápenatý ve vychladlém betonu reaguje s vodou za zvětšování objemu takže $R_{hT} > R_h$.

Pro $T > 450$ °C se pracovní diagram vychladlého betonu (obr. 5) stává vypuklým při pohledu zdola, což bylo způsobeno tím, že se mikrotrhliny vzniklé při ohřátí během zatěžování uzavírají, takže roste tuhost průřezu hranolu.

Moduly E_{eT} , E_{dT} ohřátého betonu jsou menší než E_e , E_d vychladlého betonu (obr. 6), takže ohřátý beton může snášet větší přetvoření než beton vychladlý. Tomu nasvědčuje i mezni stlačení $\epsilon_{mT} > \epsilon_m$ (obr. 7).



Obr. 6 – Moduly pružnosti E_{eT} , E_e a přetvárnosti E_{dT} , E_d betonu pro napětí $\sigma = 10$ MPa / Modulus of elasticity E_{eT} , E_e and of plasticity E_{dT} , E_d for stress $\sigma = 10$ MPa



Obr. 7 – Mezni stlačení betonu ϵ_{mT} , ϵ_m / Concrete ultimate strain ϵ_{mT} , ϵ_m

Na povrchu hranolů vychladlých z teploty $T > 450$ °C byla patrná mozaiková síť vlasových trhlin. Odprýsknutí betonu se nezjistilo. Uvedené výsledky zkoušek přispějí k objasnění vlivu ohřátí na vlastnosti ohřátého i vychladlého betonu a tím i k posouzení konstrukcí, které jsou nebo byly postiženy požárem nebo vysokými teplotami.

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

Literatura:

[1] FIP/CEB Report on methods of assessment of the fire resistance of concrete structural members, FIP, 1978

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