

Vynucené smršťování betonu - zkoušky a měření přetvoření - nové poznatky - nehomogenita betonu

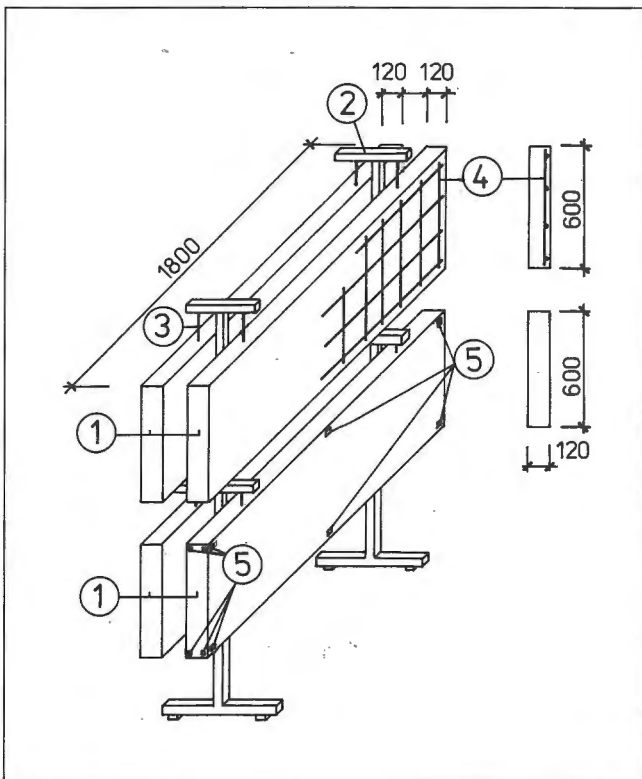
Ťahové napätia, ktoré z rôznych príčin vznikajú v betóne pri jeho zmršťovaní, sú vo svojej podstate parazitné, nežiadúce, ovplyvňujú kvalitatívne charakteristiky nosného železobetónového prvku v negatívnom zmysle (zníženie momentu pri vzniku trhlin, zväčšenie širok trhlín a pod.). Je preto vítané, ak pri posudzovaní prvku máme dostatočne spoľahlivé údaje o týchto napätiach.

Zmršťovanie betónu aj napriek tomu, že sa mu z hľadiska výskumu venovala v minulosti značná pozornosť, v normatívnych predpisoch sa prakticky nezohľadňovalo. Kde to bolo nutné, obmedzilo sa definovanie tohto vplyvu iba na ekvivalentný vplyv zmeny teploty.

V súčasne platných predpisoch, tiež i v ČSN [5], sa účinky zmršťovania betónu pri navrhovaní a posudzovaní železobetónových konštrukcií uvažujú hlavne z hľadiska ich vplyvu na stav napätia pri výpočte medze trhlín a z hľadiska výpočtu pretvorenia, t.j. krivosti alebo osového skrátenia.

Metodika skúšok

Predmetom skúšok boli vystužené a nevystužené dosky s nominálnymi rozmermi 1800x600x120 mm. Ako vystužný materiál boli použité KARI siete s priemernými prútvami $d_s = 8$ mm v oboch sme-



Obr. 1 - Schéma usporiadania vzoriek dosiek (1 - vzorky dosiek, 2 - stojany, 3 - závesné prípravky, 4 - KARI sieť 8/150 - 8/150, 1650.450, 5 - merané miesta pretvorenia)

roch a s okami 150x150 mm. Výstuž bola umiestená iba pri jednom povrchu a ploche výstuže v pozdĺžnom smere $A_{st} = 2,1 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ odpovedá stupeň vystuženia $\mu_{st} = 0,00297$. Zabezpečenie polohy výstuže sa previedlo dištančnými telieskami s krytím 10 mm. Vystužené i nevystužené dosky boli umiestené v tom istom prostredí s teplotou $t_t = 20^\circ\text{C}$ a relatívnou vlhkosťou vzduchu $\psi = 0,53$, a lišili sa iba prirodzeným rozptylom materialových charakteristík.

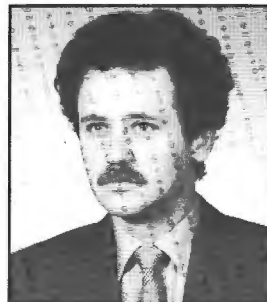
Zisťovanie kockovej pevnosti sme uskutočnili na kockách o hrane 150 mm, kde pre čas $t = 28$ dní bola kocková pevnosť betónu $R_{bk} = 43,08$ MPa. Pre pevnosť betónu v ťahu za ohybu pre ten istý čas $t = 28$ dní bola $R_{bt} = 2,23$ MPa, a hodnota modulu pružnosti $E_b = 34,34$ GPa pričom tieto charakteristiky sme zisťovali na hranoloch s rozmermi 100x100x400 mm.

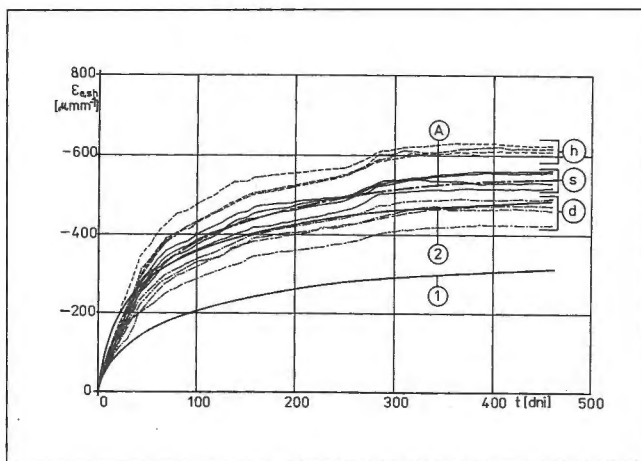
Berúc ohľad na značný počet vzoriek dosiek (prehľad o celkových počtoch a označeniach podáva tabuľka č.1 v článku [1]). Výsledky uvádzané v tomto príspevku sa týkajú iba časti vzoriek, o celkovom počte 10 ks vystužených bez trhlín s označením ZB a 4 vzoriek dosiek nevystužených s označením - ZN) a z toho vyplývajúce požiadavky na priestor, zvolila sa zvislá poloha, pri ktorej v strednicovej rovine pôsobí vlastná tiaž, vzniknutým ohybovým momentom vzdoruje vysoký priezrez, a tiež vďaka polohe závesných ok vznikajú vo vzorke malé napätia (radovo 0,1 MPa) preto vplyv vlastnej tiaže je možné pri vyhodnocovaní zanedbať, prejaví sa iba čistý vplyv zmršťovania, pozri obr. 1.

Meranie pretvorenia sa realizovalo pomocou oceľového príložného rámu, ktorý bol vybavený úchylkomermi na priame meranie priehybu a nalepenými terčikmi, ktoré tvorili jeden koniec merných základní sledovaných príložným deformetrom. Druhý koniec merných základní u nevystužených, resp. vystužených vzoriek bol na dvoch krajných povrchoch vlákien betónu, resp. na dvoch pozdĺžnych prútvach výstuže.

Výsledky a získané nové poznatky

Je známe, že akákoľvek nehomogenita materiálu po hrúbke dosky spôsobuje *nerovnaké skracovanie vlákien*. V našom prípade sa pri experimentálnom programe potvrdil tento významný vplyv nehomogenity betónu na nerovnaké skracovanie vlákien pri oboch povrchoch dosky. Tento vplyv nehomogenity betónu na časový vývoj pomerných pretvoření vlákien pri oboch povrchoch nevystužených dosiek je znázornený na obr. 2. V našom prípade sme mali betónovú zmes mäkkú 5° VeBe. Zhutňovanie sa robilo pomerným vibrátorom, čo bolo príčinou určitého rozvrstvenia betónu pri oboch povrchoch dosky a teda i rozdielného zmršťovania. Na obr. 2 tenké čiarkované prerušované čiary patriace do skupiny "h" predstavujú časový vývoj pomerných pretvoření horných vlákien a tenké bodkočiarkované čiary patriace do skupiny "d" - dolných vlákien. Skupina tenkých plných čiar "s" predstavuje časový vývoj pomerných pretvoření strednice jednotlivých dosiek od zmršťovania. Tieto namerané hodnoty pomerných pretvoření strednice sme vyhodnocovali metódou najmenších švorcov odchýliek a tak sme získali čiaru "A".

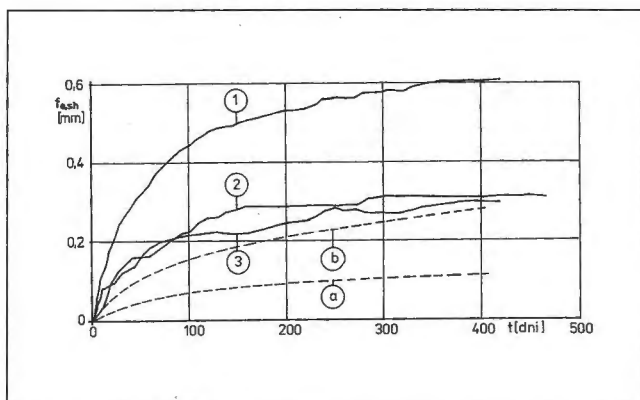




Obr. 2 - Časový vývoj pomerných pretvorení strednice a vlákien pri obidvoch povrchoch nevystužených vzoriek od zmrašťovania betónu (A - aproximovaná závislosť; h - horné vlákna dosky; d - dolné vlákna dosky; s - strednica dosky; 1 a 2 - priebehy podľa ČSN [5] pre zjednodušený resppektíve presnejší spôsob výpočtu)

Konečná hodnota zmrašťovania zisťovaná priamo na vzorkách je väčšia, než je predpokladaná v normatívnych predpisoch, alebo doporučeníach. Napríklad v našich vzorkách v priebehu 460 dní bolo dosiahnuté pomerné pretvorenie $\varepsilon_{bs} = -0,53\%$. pri vodnom súčiniteli $w/c = 0,531$ a priemernej relatívnej vlhkosti $\psi = 0,53$. Konečná hodnota pomerného pretvorenia od zmrašťovania podľa ČSN 73 1201 pre zjednodušený spôsob výpočtu je $\varepsilon_{bsf} = -0,33\%$. a pre presnejší spôsob výpočtu $\varepsilon_{bsf} = -0,53\%$. Z našich meraní extrapolovaná konečná hodnota pomerného pretvorenia od zmrašťovania podľa závislosti "A" z obr. 2 je $\varepsilon_{bsf} = -0,63\%$.

Ukázalo sa, že naše ďalšie merania v plnej miere potvrdili názory uvedené v článku [1] o významnom vplyve nehomogenity betónu na priechyby pri zmrašťovaní. Nezhľadnenie tohto vplyvu pri výpočte priechybov od zmrašťovania dochádza k značným rozdielom vo výsledkoch medzi teoreticky a experimentálne zistenými priechybmi, ako je to zdokumentované na obr. 3.



Obr. 3 - Časový vývoj priechybov uprostred dĺžky dosiek vynútených zmrašťovaním betónu (1 - vystužené dosky bez trhlín; 2 - nevystužené dosky; 3 - čistý vplyv výstuže; a respktíve b - priebehy podľa ČSN [5] pre zjednodušený a presnejší spôsob výpočtu)

Je známe, že akákoľvek nehomogenita materiálu po hrúbke prvku spôsobuje nerovnaké skraccovanie vlákien pri zmrašťovaní a z toho vyplývajúcu zmenu tvaru krivosti, respktíve priechybu. Tento jav sme pozorovali na vzorkách s označením ZN - vzorky nevystužené. Maximálnu priechybovú poradnicu v strede dĺžky vzorky sme merali na štyroch vzorkách a výsledná priemerná závislosť $f_{e,sh} \times t$ (závislosť priechybu od času) je zobrazená na obr. 3 ako čiara "2".

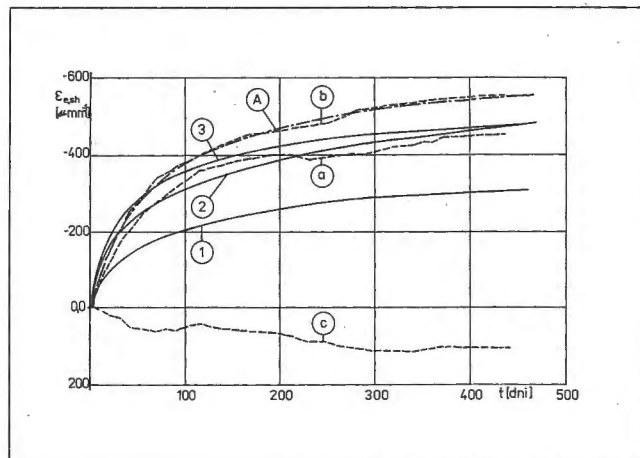
Konečnú hodnotu priechybu sme získali extrapolovaním z vyrovnaných meraných hodnôt časového vývoja priechybov vzoriek ZN metódou najmenších štvorcov odchýliek. Hodnota takto stanoveného priechybu bola rovná $f_{e,sh} = 0,36$ mm pre naše vzorky dosiek. Napríklad pre rozpon 6 m (pri zohľadnení vplyvu rozpätia na priechyb pri kruhovej priechybovej čiare) by to činilo $4,23$ mm ($f = 0,36 \cdot (6,0/1,75)^2 = 4,23$ mm). Pri porovnaní s medznou hodnotou podľa [5] pre tento rozpon $(1/200) \cdot 6000 = 30$ mm je to 14,11 %, čo je už významný vplyv.

Z výsledkov experimentu vyplýva veľmi cenný poznatok, že najmä pri použití betónov so zvýšeným obsahom zámesovej vody, kedy pri zhutňovaní prvku majú väčšie zrná kameniva snahu klesať ku dnu debnenia a jemné časti (tiež cementové mlieko) stúpať k povrchu, vznikajú vrstvy s rozdielnym zložením po hrúbke prvku, ktoré zapríčiňujú nerovnomerné skraccovanie vlákien pri povrchoch, a teda spôsobujú skrivenie prvku dosahujúce nezanedbateľné hodnoty. Tento poznatok má význam pri vyhodnocovaní dlhodobých skúšok železobetónových prvkov, kde pri zanedbaní podielu tohoto javu na výsledný priechyb by mohlo dochádzať k chybným interpretáciám výsledkov.

Prítomnosť nesymetricky uložených výstuže v betónovom prvku ovplyvňuje jednak osové skrácenie a jednak skrivenie prvku. Na obr. 3 je vykreslená čiara "1" vyjadrujúca priebeh priechybov v strede dĺžky dosky na vzorkách vystužených bez trhlín. Porovnanie časového vývoja priechybov uprostred dĺžky dosky pri vystužených vzorkách bez trhlín (čiara "1") a pri nevystužených (čiara "2") nám umožňuje získať čistý vplyv výstuže na priechyb (čiara "3").

Z obrázka vidieť, že pri prvkoch s nízkym stupňom vystuženia je vplyv výstuže rovnako veľký ako vplyv nehomogenity betónu po hrúbke dosky. Znamená to, že keby sme nemali merania nevystužených prvkov, mohlo by sa stať že by sme prisúdili celý priechyb vplyvu výstuže, ktorý by nám vyšiel dvakrát väčší, aký je v skutočnosti.

Z porovnania výsledkov vypočítaných priechybov zobrazených na obr. 3 podľa ČSN [5] pre bežné prostredie čiara "a" (uvažovaná je konečná hodnota zmrašťovania $\varepsilon_{bsf} = -0,33\%$. a konečná hodnota súčiniteľa dotvarovania $\phi_{bf} = 3,8$) s čiarami "b", ktorá predstavuje vypočítaný priechyb z konkrétnych materiálových charakteristík a pomerného pretvorenia strednice zobrazeného ako čiara "A" na obr. 2 vyplýva, že existuje medzi nimi značný rozdiel.



Obr. 4 - Časový vývoj pomerných pretvorení strednice vynútených zmrašťovaním betónu (a - vystužené dosky bez trhlín; b - nevystužené dosky; c - čistý vplyv výstuže; A - aproximovaná závislosť z obr. 2; 1 resp. 2 - podľa ČSN [5] pre zjednodušený resppektíve presnejší spôsob výpočtu; 3 - podľa ČSN [5] pre presnejší spôsob výpočtu s uvažovaním pomerného pretvorenia ε_{bs} z experimentu)

Poukazujeme na to, že nami *namerané priehyby sú prakticky dvakrát väčšie než teoreticky vypočítané*. Rozdiel medzi nimi je teda značný.

Vysvetlenie týchto nezrovnalostí podáva hore referovaný vplyv nehomogenity betónu. Pri nezohľadnení tohoto vplyvu vo výpočte môže dochádzať k určitým nezrovnalostiam, a preto nedochádza k zhode výsledkov teoretických s experimentálnymi ani v našom prípade.

Prítomnosť výstuže v betóne ovplyvňuje pretvorenia od zmršťovania. Jednou z oblastí je i *osové skrátenie prvku*. Veľkosť toho vplyvu primárne závisí od stupňa vystuženia. V našom prípade ide o nízky stupeň vystuženia, takmer na hranici minimálneho stupňa vystuženia. Výsledky z nášho pozorovania sú znázornené na obr. 4. Porovnanie časového vývoja pomerných skrátení strednice od zmršťovania uprostred dĺžky dosky pri vystužených doskách bez trhlín (čiara "a") a pri nevystužených (čiara "b") nám umožňuje získať čistý vplyv výstuže na pomerné pretvorenia strednice prvku (čiara "c"). Kvôli ilustráciám sú na tom obrázku znázornené aj časové priebehy pomerného skrátenia strednice podľa normy ČSN [5], kde čiara "1", "2" sú pre zjednodušený výpočet pre suché a bežné prostredie, čiara "3" podľa spresneného výpočtu a čiara "A" predstavuje aproximovanú závislosť z obrázku č. 2. Vypočítané normatívne priebehy "1", "2" a "3" poukazujú na podhodnotenie uvažovania vplyvu voľného zmršťovania (pomerného skrátenia strednice prvkov nevystužených).

Záver

Aktuálnosť problematiky napätí a pretvorení vynútených zmršťovaním betónu je v súčasnosti značná. Pri dnešnej filozófií navrho-

vania železobetónových prvkov tieto vynútené pretvorenia od zmršťovania betónu už nie sú zanedbateľné, a je potrebné ich pri navrhovaní a posudzovaní prvkov uvažovať.

Pozornosť je nutné venovať týmto vplyvom predovšetkým pri dlhodobých pozorovaniach pretvorení, zvlášť pri ohybovo menej tuhých prvkoch, ako sú napríklad dosky, kde sa významnou mierou môžu podieľať na celkovej hodnote pretvorení. Ich uvaženie je nevyhnutné, aby nedochádzalo k prípadným chybným interpretáciám výsledkov.

Literatúra

- [1] Fecko, L.: Sledovanie pretvorení železobetónových dosiek od zmršťovania, *Stavebnícky časopis* 34, 1986, č.8, str. 615-630.
- [2] Hobbs, D. W.: Shrinkage induced curvature of reinforced concrete members. Development Report 4, *Cement and Concrete Association*, November 1979.
- [3] Ullickij, I. I.: *Teorija i rasčot železobetonnych steržnevnych konstrukcij s učotom dlitelnych procesov*. Budivel'nik, Kijev 1967.
- [5] ČSN 73 1201 - 86 *Navrhovanie betónových konštrukcií*.
- [6] Priganc, S.: Stav pretvorenia a trhlín železobetónových prvkov po odľahčení, *Stavebnícky časopis*, 38, 1990, č. 8, s. 575-581.

Ing. Sergej Priganc, CSc., *Stavebná fakulta Technickej univerzity v Košiciach, Vysokoškolská 4, 042 00 Košice*

NOVÉ POZNATKY V OBLASTI NAVRHOVÁNÍ NOSNÝCH KONSTRUKCÍ A EUROKÓDY

dvousemestrové nástavbové studium dálkovou formou

pořádá

Fakulta stavební ČVUT v Praze

V tomto studiu se seznámíte s rychlými a efektivními způsoby výpočtu a návrhu konstrukcí z nejrůznějších materiálů (beton, ocel, dřevo, spřažená ocel - beton, beton - beton, zdivo), získáte nové poznatky v oblasti stavební mechaniky a spolehlivosti při navrhování.

Výuka bude zahájena 3. října 1994
a bude probíhat vždy jednou měsíčně ve třech po sobě jdoucích dnech.
Vložené je 9 000 Kč.

Bližší informace a objednávka závazné přihlášky
na tel. 02/ 332 4627, 332 4633, 332 3740 nebo 311 7362.