klesají – proto postačuje u mnohopodlažních budov počítat uvedené účinky pouze na části konstrukce do přibližně čtyř podlaží. Rychlost výstavby v běžných případech nemá podstatný vliv na velikost namáhání od vynucených přetvoření posuzovaných v tomto článku. Existuje patrně více možných úprav tohoto výpočtu, založených na teorii stárnutí. Předností způsobu navrženého v článku je možnost respektování rozdílného vlivu dotvarování v jednotlivých časových intervalech na tuhosti prvků při výpočtu rámu.

Článek byl vypracován v rámci řešení grantu 103/96/1023 „Metody predikce a omezení nepříznivých projevů objemových změn".

Literatura

[1] **Křístek V., Vítek J. L.:** Postupná výstavba výškových budov - účinky dotvarování a smršťování betonu, *Sborník z Betonářských dnů*, Pardubice 1994, IV, str. 23-35.

[2] **ČSN 73 1201:** Navrhování betonových konstrukcí, Praha, 1986

[3] **Šmerda Z., Křístek V.:** *Dotvarování a smršťování betonových prvků a konstrukcí*, SNTL Praha, 1978

Doc. Ing. Vladimír Meloun, CSc., Klímova 14, 616 00 Brno

Napětí v průřezu nosníku během tvrdnutí betonu

Stresses in Cross Section of a Beam during Hardening of Concrete

Ladislav Mejzlík, Zdeněk Šmerda

Během krátkého údobí po uložení a zpracování betonové směsi mohou v povrchových vrstvách vzniknout tahová napětí a na povrchu betonu se mohou objevit trhliny. V tomto článku se pokoušíme vypočíst napětí v průřezu, a to od účinků teploty, která v betonu vzniká od hydratace cementu, od atmosferických změn teploty, od slunečního záření i od záření z povrchu betonu a vlivu smršťování a dotvarování betonu. Ve výpočtu počítáme také s vlivem teploty na mechanické vlastnosti betonu. Účinek všech uvedených vlivů je řešen pro různé tvary průřezu a pro rám s dokonale i částečně upnutými konci.

Within a short period after placing of concrete, tensions in the surface layers can occur and crack may create. In this paper we try calculate the above mentioned stresses taking into account effects due to temperature in concrete by cement hydration, by atmospheric changes, by solar and outgoing radiation of concrete surface and due to development of shrinkage and creep for the case of a beam fixed partly at the ends with different sections and temperature of environment the influence of hydration heat on the development of mechanical properties of concrete is taken into account.

Na površích betonových konstrukcí se mohou někdy v období krátce po vybetonování objevovat trhliny. Pomineme-li technologické chyby (např. nekvalitní písek či cement), pak vzniklé trhliny mohou být způsobeny napětími vyvozenými teplotním spádem mezi povrchem a vnitřkem betonu a smršťováním betonu, které při povrchu probíhá rychleji než uvnitř betonu.

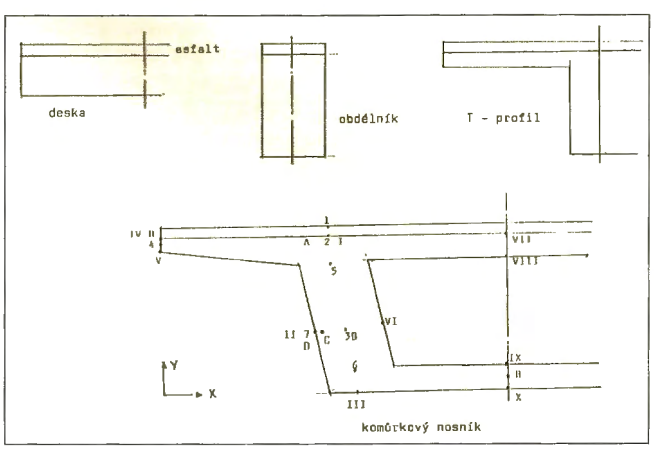
Ve svém příspěvku se budeme zabývat výpočtem časově a místně proměnné teploty, smršťováním, napjatosti a možného porušení průřezů betonových trámů zřejmých z *obr. 1.* Trámy mohou být na koncích volné nebo částečně nebo dokonale upnuté (vůči posunu ve směru osy Z a pootočení okolo os X i Y).

V dalším textu uvádíme pouze hlavní zásady a předpoklady vytvořeného algoritmu a programového systému a s ohledem na omezený rozsah příspěvku neuvádíme příslušné relace a rovnice a ani seznam literatury, čítající stovky titulů.

Předpoklady nutné pro řešení problému

Příčný řez

Předpokládáme, že celý průřez (*obr. 1*) je zhotoven z betonu stejné kvality. Na bocích je po jistou dobu opatřen bedněním a spodní povrchy desek a žeber jsou dočasně podepřeny bedněními jiných vlastností než na bocích. Horní povrch průřezu může být chráněn izolací dokonalou proti úniku vlhkosti a částečnou proti pronikání tepla. Za určitou dobu však může být horní povrch zakryt vrstvou z jiné látky, např. asfaltem. Tato vrstva ovšem ovlivní teplotní režim, ne však napjatost betonu. Do výpočtu se může také vzít vliv měkké výztuže, která zmenší zkrácení trámu, ne však samo smrštění betonu. Kromě změn teploty a vlhkosti není průřez zatížen.



Obr. 1 – Tvary průřezů trámu / *Shapes of cross sections of a beam*

Teplota okolního prostředí

Časový průběh teploty okolního prostředí zadáváme dvěma způsoby a to buď (a) polygonálním průběhem teplot, anebo (b) sinusovitým kolísáním průměrné denní teploty ovzduší a jeho doplněním sinusovitým kolísáním teploty ovzduší v průběhu dne. Takto zadaný průběh může být ještě deformován studenými nebo teplými vlnami.

Účinky slunečního záření během dne a vyzařování tepla z povrchu betonu se respektují ekvivalentní změnou teploty ovzduší. Plná energie slunečního záření může být v závislosti na čase libovolně deformována.

Vlhkost okolního prostředí

Předpokládáme konstantní relativní vlhkost ovzduší. Ve sku-

tečnosti však relativní vlhkost kolísá v průběhu dne, nicméně vlivem velmi nízké difuze vlhkosti v betonu tyto změny zasáhnou jen do hloubky málo milimetrů pod povrchem.

Teplota betonu

Předpokládáme, že teplo v průřezu proudí pouze v rovině XY. Teplota betonu v různých místech průřezu a v různém čase závisí na počáteční teplotě směsi, na proudění tepla přes nechráněné nebo částečně izolované povrchy a na hydratačním teple cementu.

Pohyb tepla se řídí rovnicí pro difuzi teploty a v ní se předpokládá konstantní koeficient difuze teploty, neboť analýzami teplot naměřených na konstrukcích se zjistilo, že lze nalézt takový konstantní koeficient difuze teploty, že rozdíly mezi vypočtenou a naměřenou teplotou jsou zcela přijatelné.

Je třeba poznamenat, že hydratační teplo cementu, které je při řešení jedním ze stěžejních parametrů, je dáno jeho mineralogickým složením, a rychlost jeho vývinu závisí také na teplotě prostředí (prostřednictvím tzv. teplotní funkce).

Modul pružnosti, Poissonovo číslo a pevnost betonu

Tyto vlastnosti vážeme na stupeň hydratace (0 až 1) cementu. Pokud je stupeň hydratace menší než jistá hodnota (např. 0,15), pak beton považujeme za amorfní látku s nulovými pevnostmi a Poissonovo číslo je blízké hodnotě 0,5.

O modulu pružnosti v tlaku a tahu předpokládáme, že je stejný, závisí na stupni hydratace cementu a také (v daném směru) na normálovém napětí a to takto: až do napětí 0,6 okamžité pevnosti v tlaku (0,9 pevnosti v tahu) je konstantní, potom klesá parabolicky a v tahu přímkově k nule.

Pozn: S ohledem na časově a místně proměnnou teplotu betonu je průřez v každém čase nehomogenní a při napětích v některých místech vyšších než 0,6 (0,9) okamžité pevnosti se stává v oněch místech ortotropní.

Porušení betonu

S ohledem na málo informací podmiňujících úspěšné použití lomové energie jsme porušení betonu podmínili dosažením okamžité pevnosti betonu v tahu či tlaku. Po dosažení pevnosti v tahu předpokládáme, že vznikne trhlina, kterou idealizujeme poklesem modulu v příslušném směru k nepatrné hodnotě, a že zde nadále nemůže působit žádné napětí, byť by zde později nastaly změny napětí směrem do tlaku. Takový předpoklad ovšem neodpovídá plně realitě, neboť i v místě, které bylo porušeno předchozí trhlinou může beton přenášet později jisté tlaky. Poissonova čísla v takovém případě klesají k nule. Po dosažení pevnosti v tlaku nemůže vzniknout v daném místě větší tlakové napětí, modul klesá k nepatrné hodnotě a Poissonovo číslo stoupá k 0,5.

Smršťování betonu

Ke smršťování betonu dojde v důsledku úbytku vlhkosti betonu a to jednak únikem vlhkosti do okolního prostředí a jednak chemickým vázáním části záměsné vody při hydrataci cementu. V literatuře najdeme mnoho relací ohledně časového nárůstu průměrného smršťování betonových těles.

Propočetli jsme řadu případů podle návodů uvedených v těchto pramenech: Eurokód CEB-FIP 1990, americká komise ACI-209, Bažantův model BX3, česká, americká, německá, francouzská, britská norma a podle údajů z ruské literatury. Výsledky – pokud jde o konečné smršťování – se vzájemně liší o více než 200 % a pokud jde o časový nárůst – je shoda ještě mnohem horší. Ze zřejmých skutečností (např. že koeficient difuze vlhkosti – zpětně zjištěný z výpočtu smršťování průřezů různých velikostí – by měl být pro daný beton konstantní, anebo že poločas smršťování – tj. doba, kdy se smršťování rovná polovině smršťování konečného – by měl růst se čtvercem charakteristického rozměru průřezu) lze usuzovat, že výstižné jsou modely CEB-FIP a Bažantův BX3.

Poznamenejme ještě, že vliv měkké výztuže na smršťování trámu je obsažen ve francouzské a britské normě.

Lze předpokládat, že mezi změnou vlhkosti a změnou smršťování existuje přímá úměrnost a také, že pohyb vlhkosti se řídí rovnicí difuze. Pro obdélníkový průřez lze pak jednak vypočíst časový průběh průměrného smršťování podle některého z dříve zmíněných pramenů, jednak lze zkusmo hledat takový konstantní koeficient difuze smršťování exaktním řešením rovnice difuze, který odpovídá časovému průběhu podle uvedených pramenů. Ten pak umožní řešit časově a místně proměnné smršťování v průřezu, z rovnice, která se podobá rovnici pro řešení teplotního, příp. vlhkostního pole.

Také chemické vázání vody hydratací cementu vyvodí jeho smršťování nazývané autogenní, avšak množství takto vázané vody nevyvodí stejné smršťování jako stejné množství vody uniknuvší do okolního prostředí.

Pozn.: Autogenní smršťování vyvodí podle údajů různých autorů zejména minerály C_3A, C_4AF a struska; minerály C_2S a C_3S pouze v nepatrné míře.

Dotvarování

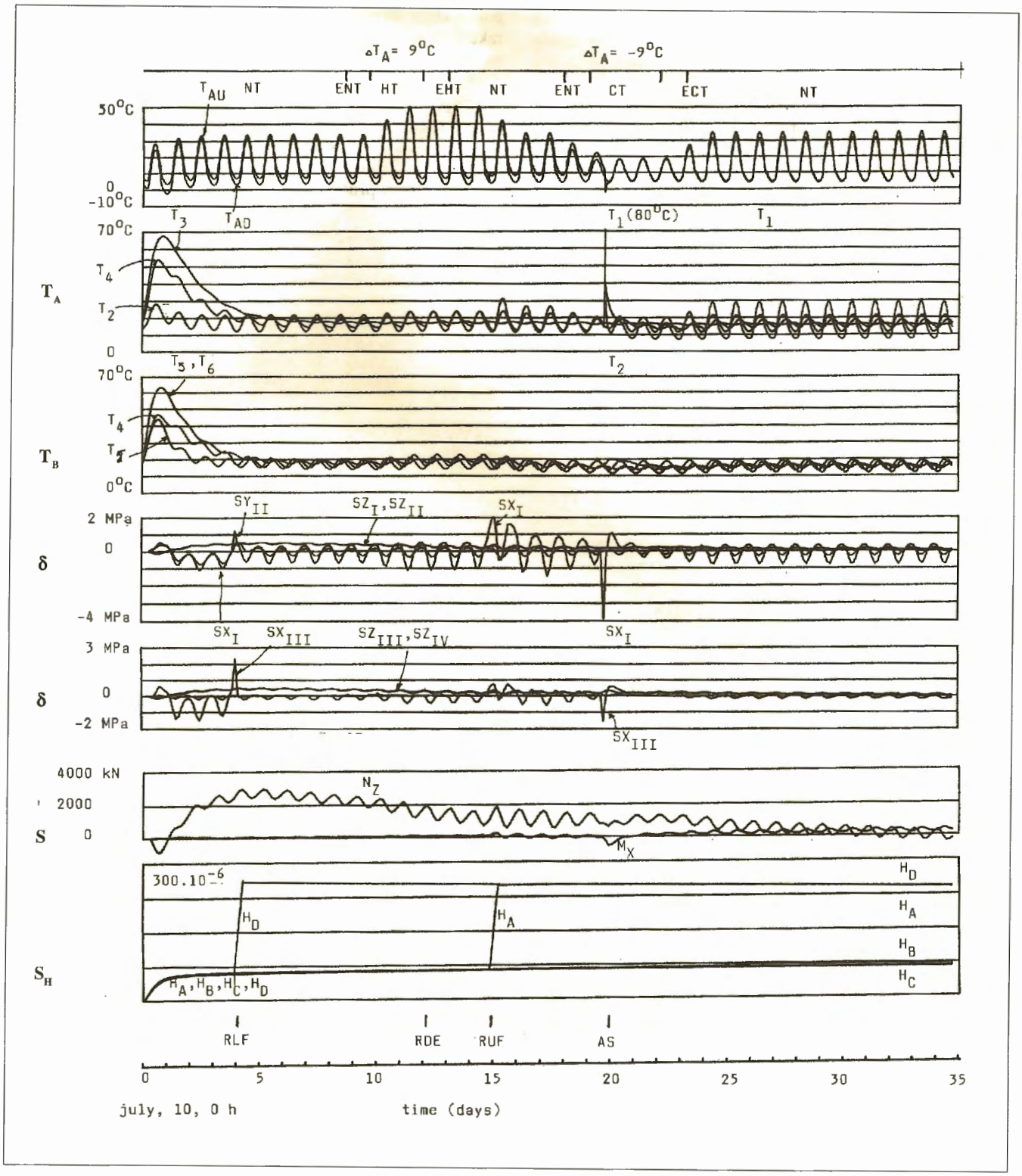
Dotvarování betonu je popsáno mnoha autory. Propočetli jsme řadu případů podle údajů ze stejných pramenů jako u smršťování a rozdíly mezi výsledky výpočtů – pokud jde o konečné dotvarování jako násobek okamžité (pružné) deformace – nejsou tak výrazné jako při srovnávání smršťování. K zásadním rozdílům však dospějeme, jestliže srovnáváme časový nárůst dotvarování. Ten by měl být funkcí stáří t' betonu v okamžiku zatížení a stáří t v době, kdy dotvarování hledáme, to však respektuje pouze Bažantův model BX3 a německá norma. Ostatní prameny uvádějí, že narůstání dotvarování je závislé pouze na rozdílu $t - t'$, což znamená, že např. poloviční hodnota konečného dotvarování se dosáhne za stejnou dobu i když beton zatížíme např. ve stáří 3 nebo 100 dní; konečné dotvarování je ovšem pro různé t různé. To znamená, že i relaxační funkce, vypočtené z funkcí dotvarování, závisí rovněž buď jak na t i t' anebo pouze na $t - t'$. Tento druhý případ je z hlediska usnadnění výpočtu časově a místně proměnného napětí od teplotních změn a dotvarování velmi výhodný.

Obecně se připouští lineární vztah mezi napětími a dotvarováním (a tedy možnost superpozice) pouze pro napětí o velikosti do 40 % okamžité pevnosti. Pro napětí vyšší narůstá dotvarování neúměrně, avšak relace různých pramenů se omezují většinou na napětí asi do 80 % pevnosti.

Ve svém programu (pro nedostatek informací a kvůli snadnější algoritmizaci) připouštíme možnost superpozice dotvarování až po mez pevnosti, přičemž pro napětí vyšší než 40 % okamžité pevnosti dotvarování upravujeme podle údajů z literatury a extrapolujeme je až k mezi pevnosti. Připouštíme dále, že relaxační funkce je závislá pouze na rozdílu $t - t'$ a dále předpokládáme, že velikost a rychlost dotvarování není závislá na teplotě prostředí. Jde tedy o značná zjednodušení, utěšujeme se však skutečností, že v minulosti jsme takto vypočetli napjatost řady konstrukcí na JE Temelín a že výsledky odpovídaly skutečnosti (některé řešené konstrukce nevykázaly trhliny a jiné ano, což bylo v souladu s výpočty).

Metoda výpočtu

Teplotu betonu a jeho smrštění zjišťujeme metodou sítí a používáme explicitní síťová schémata. Výpočty posunů a napětí zjišťujeme metodou konečných prvků při užití izoparametrických prvků o 4 vrcholech. Z výpočtů vyplývá, že krok by měl být v každém případě menší než 10 minut.



Obr. 2 – Průběhy teplot a smršťování a napětí / *Courses of temperature shrinkage and stresses*

Příklad

Zde uvádíme některé výsledky výpočtu napětí, teploty, smrštění a deformací v komůrkovém průřezu podle *obr. 1.*

Rozměry: tloušťka žebra 65 cm, výška žebra mezi deskami 190 cm, tloušťka spodní desky 26 cm, tloušťka horní desky 18 až 24 cm, vyložení desky vlevo 250 cm, rozpětí střední desky 500 cm, tloušťka asfaltu 12 cm, stupeň upnutí nosníku na koncích 0,1.

Průměrná roční teplota ovzduší 10 °C, poloviční amplituda denního kolísání teploty ovzduší 12 °C, denní úhrn slunečního záření 180 kJ.den^{-1}.m^{-2}. Emisivity: beton 0,88, asfalt 0,65, ovzduší 0,82 nebo 0,94 pro případ jasného nebo oblačného počasí, povrch země 0,99, bednění 0,7. Emisivita absolutně černého povrchu: 5,77.10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}

Betonáž proběhne 10. července, počáteční teplota betonové směsi 10 °C, počáteční teplota asfaltu 80 °C.

Koeficienty teplotní difuze ($m^2.den^{-1}$): beton 0,06, asfalt 0,04. Koeficienty přestupu ($kJ.m^{-2}.den^{-1}.K^{-1}$), pro nechráněný povrch a v závorce pro povrch chráněný bedněním nebo izolací: horní povrch: 1 520 (300), boční povrchy: 1 300 (700), spodní povrchy: 1 175 (700), komůrka: 1 000 (1 000).

10^8 násobný koeficient difuze smršťování ($m^2.den^{-1}$): 304. Konečné smršťování: 300.10^{-6}, autogenní smršťování (obsažené v konečném smršťování): 70.10^{-6}. Doba, za kterou povrch betonu vyschne na rovnovážnou vlhkost je 0,8 dne, relativní vlhkost ovzduší je 70 %.

Modul pružnosti betonu 28 dní starého je 40,5 GPa, pevnost v tlaku téhož betonu 50 MPa, v tahu 3,6 MPa, stupeň hydratace, před jehož dosažením je beton amorfní 0,19.

Na *obr. 2* jsou uvedeny některé výsledky výpočtů. Spodní stupnice udává kalendářní čas (ve dnech) uplynuvší od počátku procesu 10. července (0 hod.). RLF označuje okamžik odstranění bočního bednění, které do té doby ovlivňuje únik tepla a zamezuje únik vlhkosti, RDE okamžik odstranění spodního bednění, RUF okamžik odstranění izolace horního povrchu (účinek podobný jako u RLF) a AS položení asfaltu.

V horní části *obr. 2* jsou uvedeny údaje o teplotě vzduchu a slunečním záření: NT znamená „normální" průběh teploty vzduchu, HT označuje teplou vlnu, kdy se k průběhu NT připočítává postupně až 9 °C, CT označuje studenou vlnu, kdy se od NT odečítá až 9 °C. (ENT, EHT, ECT označují konec „normálního" průběhu teploty vzduchu, konec teplé a studené vlny).

T_{AU} je průběh fiktivní teploty ovzduší (zahrnující i účinky radiace) na horním povrchu průřezu a T_{AD} na spodním a bočních průřezech (na površích v komůrce se radiace neuplatní).

Na průbězích T_A a T_B značí teploty betonu v bodech 1, 2, ... podle *obr. 1.*

σ jsou napětí σ_x (SX), σ_y (SY), σ_z (SZ) v bodech I, II, ... označených podle *obr. 1* a to ve vzdálenosti 20 mm od líců.

S je normálová síla N_z a ohybový moment M_x v průřezu, vyvozený teplotními změnami a smrštěním (při stupni upnutí $w = 0{,}1$ na koncích průřezu).

S_H značí nárůst smrštění betonu v bodech A, B, ... podle *obr. 1.* Nárůst v období času 0 až RLF (odstranění bednění) je způsoben výhradně autogenním smrštěním. Rychlý nárůst po časových údajích RLF, resp. RUF je způsoben vyschnutím povrchu po odstranění izolace. Téměř nulový nárůst smrštění v bodech B a C v období po RLF je způsoben nízkou difuzí smrštění: podle CEB-FIP je poločas smrštění betonu v žebru 565 dní, podle modelu BX3

2 519 dní, proti němuž je sledovaný čas 35 dní příliš krátký.

Míra nehomogenity betonu je v prvních dnech po vybetonování značná: např. v době 1,4 dne je efektivní stáří betonu 2,1 dne (u líců) až 5,5 dne (ve středu žebra). Zvýšení DT_h teploty od hydratace je 60 a 73 °C (hydratační teplo ovšem průběžně z průřezu uniká) a modulu pružnosti 25 a 35 GPa.

Téměř na celém obvodu průřezu dojde k dosažení pevnosti betonu v tahu, avšak pouze do hloubky 5 až 20 mm. Stane se tak v čase po odstranění bednění, kdy se v krátké době sčítají tři nepříznivé vlivy: pokles teploty povrchu betou, jeho rychlé vyschnutí (na rovnovážnou vlhkost) a pokles teploty ovzduší. Jen samotné vysýchání povrchů je zde ekvivalentní poklesu teploty betonu asi o 23 °C.

Závěry

Na výpočty, o nichž stručně referuje příspěvek, je nutno pohlížet jako na pokus číselně popsat jevy, ke kterým dochází v průřezu nosníku. Podklady z různých renomovaných pramenů se často liší o více než 100 % (a někdy i o více než 500 %). Význam našich výpočtů spočívá podle našeho názoru v tom, že umožní srovnat účinky možných opatření (např. snížení počáteční teploty směsi, prodloužení ochrany povrchů apod.)

K omezení vzniku trhlin lze užít všeobecně známá opatření (snížení vodního součinitele, vytvoření kvalitního betonu s malým množstvím cementu apod.). Z výpočtů pak vyplývá, že beton by měl být pokud možno co nejdéle chráněn proti úniku tepla a vystaven okolnímu prostředí až do doby, kdy bude mít dostatečnou pevnost. Totéž avšak v daleko vyšší míře se týká ochrany povrchů před náhlým vyschnutím. Kdyby bylo možné zařídit, aby vysýchání povrchů probíhalo plynule po dobu např. 7 dní, pak by napětí od takového vysýchání bylo asi 1/4 napětí při rychlém vyschnutí.

Pozn.: Tento příspěvek byl zpracován v rámci řešení grantu 103/96/1 024 „Metody predikce a omezení nepříznivých projevů objemových změn".

Prof. Ing. Dr. Ladislav Mejzlík, DrSc., *Gorkého 60, 602 00 Brno*
Prof. Ing. Dr. Zdeněk Šmerda,CSc., *Cihlářská 30, 602 00 Brno*

Informace a jednadvacáté století

Fenomén informací a informatiky se stává stále aktuálnějším problémem moderní společnosti. Informace a vše, co s nimi souvisí, bývá označováno za "čtvrtý sektor" ekonomiky (vedle zemědělství, průmyslu a služeb). Řada zahraničních studií dospěla již v 80. letech k závěru, že po fázi společnosti agrární, průmyslové a spotřební bude následovat společnost informační. Předpovídají, že do konce tohoto století předá energie jako primární průmyslový zdroj štafetu přenosu informací.

Informatika jako nový vědní obor vznikla v padesátých letech našeho století jako důsledek vědeckotechnické revoluce a kybernetiky. Zahrnuje tři základní okruhy problémů: informační teorie, informační technologie a informační funkce a služby. Zjednodušeně lze říci, že informace chápeme jako vyhodnocené soubory dat, která jsou užitečná ve vztahu ke skrytým nebo projeveným potřebám uživatelů.

Informační aktivity přinášejí ve vyspělých zemích již dnes větší zisky než výroba hmotných statků. Počet pracovníků, kteří se věnují činnostem spojeným se získáváním informací, roste rychleji než zaměstnanost v jiných oborech. V letech 1989 – 1993 vzrostl obrat ve světovém informačním podnikání z 20 na 26 mld. dolarů. Počet uživatelů dialogových informačních služeb se zvýšil ze 3 na 5 miliónů. Ve standardním tržním prostředí věnují firmy na informační činnost cca 2 % ze svých celkových nákladů.

Nejstarší formou zpracování informací byly knihovny, knihovní fondy a knihovnické zpracování dokumentů. Bibliografické báze dat v oblasti knihovnictví, vydavatelství a středisek vědeckotechnických informací vznikaly sice nejdříve, dnes však tvoří ve světovém měřítku pouze asi 10 % všech produkovaných bází dat. Mnohem větší část – 90 % - představují faktografické databáze. Obsahují informace o firmách a podnikání, výrobcích a jejich vlastnostech, marketingové informace aj.

Futurolog a sociolog Alvin Taffer napsal v r. 1990 ve své knize ***Posun moci****: "Rozhodující ekonomickou a politickou moc získává ta společnost či skupiny v průmyslu, která dokáže kontrolovat tok informací od zákazníka k výrobci. Informační sítě byly původně vytvořeny jako technické a administrativní nástroje, stále více se však ukazuje že to jsou nástroje strategické pro ochranu starých či získávání nových trhů a že*