

Jeho publikační činnost je velice rozsáhlá a obsahuje 11 knih, z toho 7 vydaných v zahraničí, a téměř 300 odborných článků, z nichž značná část byla publikována v zahraničních prestižních časopisech. Byl vyzván k řadě přednášek na významných univerzitách. Výsledky své práce přednášel na mnoha konferencích, symposiích a kongresech u nás i v zahraničí.

Vladimír Křístek se současně s vědeckovýzkumnou činností věnoval pedagogické práci. Kromě výuky teorie betonových konstrukcí na denním studiu byl školitelem mnoha aspirantů a doktorandů. Jeho vstřícná, přátelská a kolegiální povaha usnadňuje jeho žákům získat co nejvíce z jeho širokých a mimořádných znalostí. To je ještě umocněno jeho schopností srozumitelně vysvětlit i složité teoretické problémy, což nebývá častým jevem u osobností jeho úrovně.

Profesor Křístek je stále plně zapojen do vědecké a výzkumné práce. Odborníkům z výzkumných, projektových i prováděcích organizací ve stavebnictví poskytuje konzultace v širokém spektru od ocelových tenkostěnných konstrukcí až po materiálové vlastnosti betonových (kompozitních) materiálů. Jeho schopnosti a zkušenosti byly důvodem k jeho jmenování do již zmíněných institucí rozhodujících o směrech rozvoje vědy a vzdělání.

Výsledky dlouholeté činnosti profesora Křístka sloužily nejen k významnému posunu hranice poznání ve vědeckých problémech, ale našly uplatnění i v praxi, a ovlivnily tak významně rozvoj oboru a směry vývoje a vzdělávání. Vladimír Křístek se stal výraznou vědeckou osobností, která významně zasáhla do vývoje nových konstrukcí. Vychoval řadu mladších vědeckých pracovníků, kteří našli uplatnění v různých oblastech stavebnictví.

Do dalších let přeje profesor Ing. Vladimíru Křístkoví, DrSc. jeho dosavadní elán ve vědecké, konzultační i pedagogické činnosti, pevné zdraví a mnoho dalších let plodné a úspěšné práce.

Jan L. Vítek

## Účinky smršťování v příčlích patrového rámu

*Shrinkage Effects on Beams in Multistory Frames*

Vladimír Meloun

Při postupné výstavbě patrových betonových konstrukcí vznikají v důsledku smršťování a dotvarování betonu v nosných prvcích dodatečná namáhání, jejichž velikost může být z hlediska dimenzování konstrukce významná. V příspěvku se uvádí přibližný způsob výpočtu namáhání konstrukce od smršťování vodorovných prvků, vycházející z teorie stárnutí. Tento způsob umožňuje statikovi poměrně rychlé určení hodnot dodatečných namáhání, s nimiž by měl při dimenzování konstrukce počítat. Výsledky výpočtu ho případně upozorní na možné nepříznivé vlastnosti navrhovaného konstrukčního řešení. Příspěvek je doplněn jednoduchým příkladem.

*In the course of building concrete structures the additional strains arising due to concrete shrinkage in load bearing elements. The magnitude of these strains may be significant from the point of view of designing the structure. The approximate way of calculation of the strain of horizontal elements due to shrinkage based on the rate of creep theory is presented in the paper. This way of calculation enables to determine relatively fast the values of additional strains which should be taken into account. The results of calculation can draw attention to possible eventual lack of designed structure. The simple example is added.*

Na provedených betonových konstrukcích se mnohdy objevují – v kratším či delším časovém odstupu od data výroby – poruchy (trhliny či deformace nadměrné z hlediska provozního, vzhledového) způsobené dlouhodobě narůstajícími účinky vynucených přetvoření od smršťování a dotvarování betonu. Vý-

znamný je tento jev zejména u postupně stavěných (po patrech betonovaných) patrových rámu. Vznikající dodatečná namáhání se přitom na mnoha místech konstrukce nepříznivě sčítají s účinky přímých zatížení, popř. i s účinky teplotních objemových změn. Ve svislém směru působí negativně rozdílné zkrácení svislých nosných prvků od smršťování a od krátkodobého i dlouhodobého stlačení při zatížení (vlivy rozdílných průřezových rozměrů, stupňů vyztužení, napětí v průřezech, polohy prvku v půdorysu objektu), ve vodorovném směru pak především smršťování betonu ve vodorovných nosných prvcích (příčlích rámu, stropních deskách). Výsledky podrobného výpočtu zmíněných účinků na mnohopatrovém rámu uvedené např. v publikaci [1] názorně ukazují, že v každém případě je nutno s nimi počítat jak při návrhu konstrukčního systému, tak při dimenzování prvků.

Účinky popsanych jevů působících ve svislém a vodorovném směru lze počítat odděleně a hodnoty namáhání sečítat (pokud se při výpočtu neuvažuje vliv vzniku trhlin na tuhosti prvků a průběh smršťování).

V tomto příspěvku se uvádí možný způsob přibližného výpočtu namáhání patrové rámové konstrukce od vynucených přetvoření způsobených při postupné výstavbě smršťováním betonu ve vodorovných nosných prvcích.

I když např. Příloha 6 ČSN 73 1201 [2] obsahuje pokyny pro bezpečné délky dilatačních celků, jejichž dodržení by mělo zabránit vzniku nadměrných účinků smršťování vodorovných prvků, existují v praxi případy, kdy je početní posouzení konstrukce z tohoto hlediska potřebné. Je tomu tak zejména teh-

dy, jsou-li svislými nosnými prvky velmi tuhé sloupy popř. stěnové prvky, nebo když se z provozních či konstrukčních důvodů překračují doporučené maximální délky dilatačních celků.

Navrhovaný způsob výpočtu je poměrně jednoduchý a jeho výsledky poskytnou staticové podklady alespoň pro základní rozhodování o uspořádání a dimenzování konstrukce (při změnách řešení lze výpočet operativně opakovat). Jeho přibližnost je dána především tím, že je založen na méně výstižné teorii stárnutí (viz [3]) a z této teorie vycházejících ustanovení článku 2.1.6 ČSN 73 1201 [2]. Výpočet účinků smršťování a dotvarování podle tohoto článku se v normě označuje jako „zjednodušený“ a jeho použití je omezeno požadavkem na splnění řady podmínek. V běžných případech lze považovat tyto podmínky pro potřeby přibližného výpočtu za splněné. Ve výpočtu se dále zanedbává vliv stupně vyztužení prvků a vzniku trhlin na velikost smršťování a na ohybové či osově tuhosti prvků. Vlivy prostředí se uvažují zjednodušeně podle tab. 3 z ČSN 73 1201 [2].

Je třeba připomenout, že výpočet se provádí obvykle v době, kdy stejně není jednoznačně známo, jaké budou během výstavby i provozu skutečné podmínky, které průběh a velikost smršťování a dotvarování ovlivní.

## Postup výpočtu

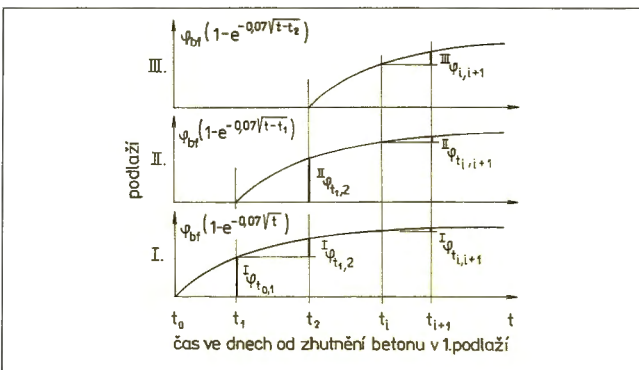
Navržený postup je založen na výsledku řešení diferenciální rovnice pro výpočet účinku smršťování betonu (s respektováním vlivu dotvarování) ve staticky neurčité konstrukci.

Průběh smršťování a dotvarování v čase se podle aplikované teorie řídí stejnou závislostí. V čl. 2.1.6 ČSN 73 1201 [2] je určen součinitelem  $\beta_t$ , kterým se násobí základní hodnota poměrného délkového zkrácení od smršťování  $\varepsilon_{bsf}$  i základní hodnota součinitele dotvarování  $\varphi_{bf}$ .

$$\beta_t = 1 - e^{-0,07\sqrt{t-t_0}}$$

kde  $t$  je stáří betonu ve dnech měřené od okamžiku ztuhnutí betonové směsi.

V postupně stavěné konstrukci probíhá smršťování i dotvarování betonu v jednotlivých patrech s časovým posunem (obr. 1).



Obr. 1 – Průběh křivek  $\varphi_{bf}$ ,  $\beta$  v čase a hodnot  $\varphi$  v jednotlivých postupně stavěných podlažích / The course of the curves  $\varphi_{bf}$ ,  $\beta$  in the time and the value  $\varphi$  in successively built structure

Pro hodnotu libovolné statické veličiny  $X(M, N, T)$  v  $N$ -tém podlaží konstrukce na konci časového intervalu  $(t_i, t_{i+1})$  pak platí vztah:

$${}^N X_{t_{i+1}} = {}^N X_{t_i, r} + \Delta_{t_i, i+1} {}^N X, \quad (1)$$

kde  ${}^N X_{t_i, r}$  je hodnota veličiny  ${}^N X$  způsobená vynuceným přetvořením od smršťování betonu do okamžiku  $t_i$ , zmenšená během časového intervalu  $(t_i, t_{i+1})$  relaxací (vlivem dotvarování betonu) podle vztahu

$${}^N X_{t_i, r} = {}^N X_{t_i} e^{-N\varphi_{t_i, i+1}}, \quad (2)$$

$\Delta_{t_i, i+1} {}^N X$  namáhání vznikající v prvcích  $N$ -tého podlaží rámu v důsledku smršťování příčlí, probíhajícího v časovém intervalu  $(t_i, t_{i+1})$ . Vypočte se řešením dosud vybetonované části rámu zatížené v jednotlivých podlažích  $N$  poměrným zkrácením příčlí o hodnotu

$${}^N \varepsilon_{t_i, i+1} = \frac{\varepsilon_{bsf}}{\varphi_{bf}} N \varphi_{t_i, i+1}. \quad (3)$$

Do tohoto výpočtu se zavádějí tuhosti prvků (ohybové, osově, smykové) redukované vynásobením součinitelem:

$${}^N \chi_{t_i, i+1} = \frac{1 - e^{-N\varphi_{t_i, i+1}}}{N\varphi_{t_i, i+1}} \quad (4)$$

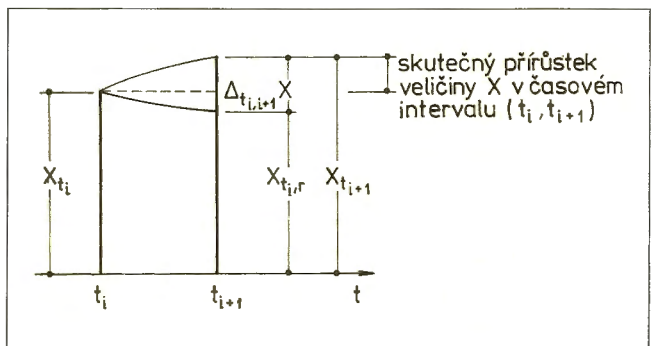
tím se respektuje vliv dotvarování betonu na růst veličiny  $\Delta X$  během časového intervalu  $(t_i, t_{i+1})$ .

Ve vztazích (1) až (4) je  ${}^N X_t$  hodnota veličiny  $X(M, N, T)$  na prvku v  $N$ -tém podlaží, způsobená vynucenou deformací od smršťování do okamžiku  $t_i$ ,  $N\varphi_{t_i}$  součinitel dotvarování v  $N$ -tém podlaží v časovém intervalu  $(t_i, t_{i+1})$  – obr. 1, podle vztahu

$$N\varphi_{t_i, i+1} = \varphi_{bf} ({}^N \beta_{t_{i+1}} - {}^N \beta_{t_i}). \quad (5)$$

Na obr. 2 je graficky znázorněn průběh veličiny  $X$ , a  $\Delta X$  během časového intervalu  $(t_i, t_{i+1})$ .

Konstrukce se počítá opakovaně, s postupně přibývajícím počtem podlaží, s časovými intervaly ohraničenými „okamžiky“ betonáže jednotlivých podlaží. V každém intervalu se mění redukované tuhosti prvků – viz. vztah (4). Na začátku prvního časového intervalu v  $N$ -tém podlaží mají veličiny  ${}^N X$  nulovou



Obr. 2 – Hodnoty veličin  $X_t$  a  $\Delta X$  v časovém intervalu  $(t_i, t_{i+1})$  / The values of the quantities  $X_t$  and  $\Delta X$  in the time interval  $(t_i, t_{i+1})$

hodnotu. Konečné hodnoty těchto veličin se získají tak, že poslední časové intervaly končí dosažením základních hodnot  $\varepsilon_{bsf}$ ,  $\varphi_{bf}$ .

Hodnoty veličin  $X$  je ovšem možno stanovit i v libovolných dalších okamžicích  $t$ . Některé z těchto veličin dosahují nejvyšší hodnoty brzy po vybetonování a postupně klesají (obr. 4.3).

U konstrukcí s velmi tuhými sloupy, popř. stěnovými podporami souosými s uvažovaným směrem smršťování je třeba při výpočtu rámu počítat s redukcí poměrného zkrácení příčlí odporem podporových prvků a počítat pak ovšem nejen s jejich ohybem, ale i zkosením. Vznik trhlin v příčlích železobetonového rámu snižuje jejich tuhost. Skutečné hodnoty namáhání od uvažovaných účinků jsou pak menší, než podle výpočtu, který s tím nepočítá.

## Upozornění:

Protože relaxace probíhá v každém podlaží jinak (různě starý beton), vznikají u hodnot  $X_r$  ve styčnicích momentové nerovnováhy. Těmito momenty je pak nutno příslušné styčníky zatížit při výpočtu hodnot  $\Delta X$  na dané staticky neurčité soustavě.

## Ukázka postupu řešení

Počítají se konečné hodnoty ohybových momentů v třípodlažním rámu s podlažími betonovanými po 30 dnech, pro  $\varepsilon_{bsf} = 0,33 \times 10^{-3}$ ,  $\varphi_{bf} = 3,8$ . Vztahy (1), (2) psané obecně pro statickou veličinu  $X$  platí pro výpočet  $M$ .

### 1. Časové intervaly, součinitele $\varphi$

$$t_0 = 0 \text{ dní}, t_1 = 30 \text{ dní}, t_2 = 60 \text{ dní}, t_3 = \infty$$
$$\text{intervaly: } (0,30), (30,60), (60,\infty)$$

Výpočet všech potřebných hodnot  $\varphi$  podle vztahu (5) – viz obr. 1, tj.  ${}^I\varphi_{0,30}$ ,  ${}^I\varphi_{30,60}$ , ... až  ${}^{III}\varphi_{60,\infty}$ , např.:

$${}^I\varphi_{0,30} = \varphi_{bf}({}^I\beta_{30} - {}^I\beta_0) = 3,8 (0,318 - 0) = 1,208$$

$${}^I\varphi_{30,60} = 3,8 (0,419 - 0,318) = 0,384$$

$${}^{II}\varphi_{30,60} = 3,8 (0,318 - 0) = 1,208$$

$${}^{II}\varphi_{60,\infty} = 3,8 (1 - 0,318) = 2,592$$

### 2. Výpočet momentů

Časový interval  $(t_0, t_1)$  – vybetonováno I. podlaží

Protože  ${}^I M_o = 0$ , je podle vztahu (2) i  ${}^I M_{o,r} = 0$ .

Hodnoty momentů  $\Delta_{0,30} {}^I M$  se vypočtou řešením rámu I. podlaží s tuhostmi prvků redukoványi vynásobením součinitelem  ${}^I\chi_{0,30}$  pro zatížení poměrným zkrácením příčle  ${}^I\varepsilon_{0,30}$ .

$$\text{Podle (3)} \quad {}^I\varepsilon_{0,30} = \frac{\varepsilon_{bsf} - {}^I\varphi_{0,30}}{\varphi_{bf}} = \frac{-0,33 \cdot 10^{-3}}{3,8} \cdot 1,208 = -0,105 \cdot 10^{-3}$$

$$\text{Podle (4)} \quad {}^I\chi_{0,30} = \frac{1 - e^{-\varphi_{0,30}}}{{}^I\varphi_{0,30}} = \frac{1 - e^{-1,208}}{1,208} = 0,580$$

Ohybové momenty  ${}^I M_{30}$  na konci intervalu mají pak podle vztahu (1) hodnoty

$${}^I M_{30} = \Delta_{0,30} {}^I M$$

b) Časový interval  $(t_1, t_2)$  – vybetonováno I. a II. podlaží.  
Relaxace momentů  ${}^I M_{30}$  v I. podlaží podle vztahu (2):

$${}^I M_{30,r} = {}^I M_{30} e^{-\varphi_{0,30}} = {}^I M_{30} e^{-0,384} = 0,680 {}^I M_{30}$$

Výpočet momentů  $\Delta_{30,60} {}^I M$  a  $\Delta_{30,60} {}^{II} M$  v I. a II. podlaží řešením dvoupodlažního rámu s tuhostmi prvků redukoványi v jednotlivých podlažích součiniteli  ${}^I\chi_{30,60}$  a  ${}^{II}\chi_{30,60}$  pro zatížení poměrným zkrácením příčlí  ${}^I\varepsilon_{30,60}$  a  ${}^{II}\varepsilon_{30,60}$ .

Na konci intervalu mají momenty podle vztahu (1) hodnoty:

$$\text{v I. podlaží } {}^I M_{60} = {}^I M_{30,r} + \Delta_{30,60} {}^I M$$

$$\text{ve II. podlaží } {}^{II} M_{60} = \Delta_{30,60} {}^{II} M$$

c) Časový interval  $(t_2, t_3)$  – vybetonována všechna tři podlaží  
Relaxace momentů v I. a II. podlaží, tj.  ${}^I M_{60}$  a  ${}^{II} M_{60}$  na momenty  ${}^I M_{60,r}$  a  ${}^{II} M_{60,r}$  podle vztahu (2), např.:

$${}^I M_{60,r} = {}^I M_{60} e^{-\varphi_{60,\infty}} = {}^I M_{60} e^{-1,592} = 0,203 {}^I M_{60}$$

Richtungsweisend

im Bauwesen

Když má být **Vaše**  
**stavba**  
více než **nástavbou**



pak je třeba využít inovativní profesní nástroje. Nová technologie RIB kresli+počítá, jako ucelené a průchodné softwarové řešení pro stavební inženýry a konstruktéry, představuje zásadní kvalitativní skok. Získáte tak více času, snížíte náklady a omezíte riziko vzniku chyb. V systému ZEICON® spojujete jednoduše Vaše výkresy tvaru s výpočtem TRIMAS® a na základě zde vedených posudků pak přímo vytváříte výkresy výztuže. Namísto rutinní práce tedy pracujete racionálně a hospodárně. A tak získáváte rozhodující konkurenční výhody. Více se dozvíte u:

RIB stavební software s.r.o.  
U strže 150/1  
14000 Praha 4  
Telefon: 02 / 90002322  
90013059  
90011138  
Telefax: 02 / 6920126  
E-Mail: ribcz@bohem-net.cz

Výpočet momentů  $\Delta_{60,\infty} M$  řešením třípodlažního rámu s tuhostmi prvků redukovanými vynásobením součinitelem  $^I\chi_{60,\infty}$ ,  $^{II}\chi_{60,\infty}$  a  $^{III}\chi_{60,\infty}$  pro zatížení poměrným zkrácením příčlí  $^I\varepsilon_{60,\infty}$ ,  $^{II}\varepsilon_{60,\infty}$  a  $^{III}\varepsilon_c$  v jednotlivých podlažích a v každém styčnicku I. podlaží součtem zde působících momentů  $M_{60,r}$  (pro eliminaci momentové nerovnováhy, která ve styčnicích vznikla v důsledku rozdílně probíhající relaxace momentů  $^I M_{60}$  a  $^{II} M_{60}$ ).

Na konci posledního intervalu, tj. po ukončení smršťování, mají momenty konečné hodnoty:

$$\text{v I. podlaží } ^I M_{\infty} = ^I M_{60,r} + \Delta_{60,\infty} ^I M$$

$$\text{ve II. podlaží } ^{II} M_{\infty} = ^{II} M_{60,r} + \Delta_{60,\infty} ^{II} M$$

$$\text{ve III. podlaží } ^{III} M_{\infty} = \Delta_{60,\infty} ^{III} M.$$

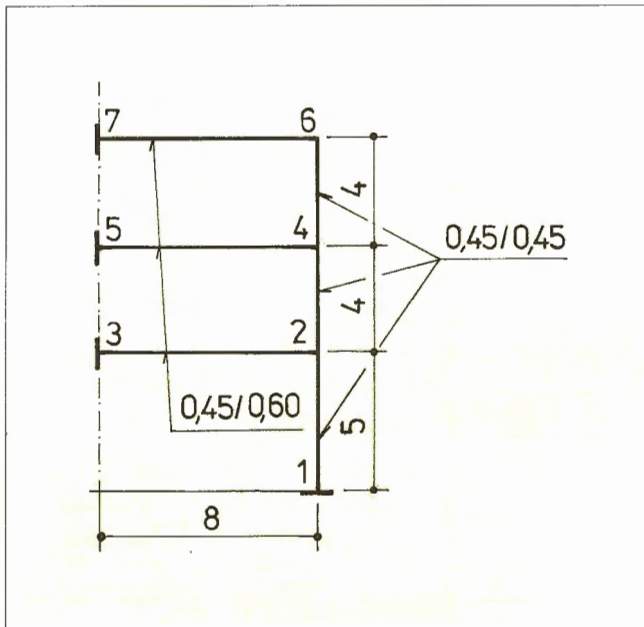
Pozn.: Zatížení styčnicků součtem momentů je nutno zavádět při výpočtu rámu vyšších než jedno podlaží ve všech časových intervalech následujících po prvním intervalu druhého podlaží.

### Příklad, vliv rychlosti výstavby

Na velmi jednoduché konstrukci třípodlažního rámu podle obr. 3 byly uvedenou metodou vypočteny konečné hodnoty ohybových momentů způsobených při postupné výstavbě vynucenými deformacemi od smršťování betonu příčlí.

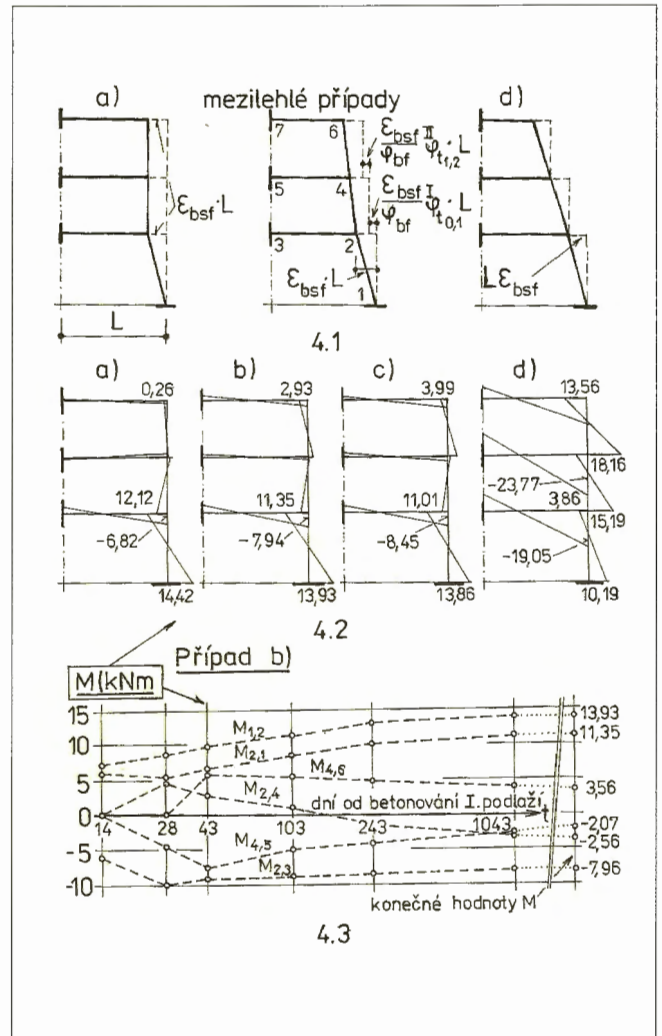
Uvažovalo se tzv. běžné prostředí podle ČSN 73 1201 [2] ( $\varepsilon_{bsf} = -0,33 \cdot 10^{-3}$ ,  $\varphi_{bf} = 3,8$ ) a beton s modulem pružnosti  $E_b = 30\,000$  MPa. Podpory v 1. podlaží jsou vetknuty neposuvně do základu. Zanedbal se vliv vyztužení a případného vzniku trhlin na smršťování, dotvarování a na tuhosti prvků.

Výpočet byl proveden pro ilustraci vlivu rychlosti výstavby pro dva extrémní teoretické (neskutečné) případy, kdy se buď celá konstrukce vybetonuje najednou – případ a), nebo se každé vyšší podlaží betonuje až po ukončení smršťování v podlaží



Obr. 3 – Schema konstrukce řešené v příkladu (výsledky viz. obr. 4.2, 4.3) / The diagram of structure analysed in the example (Fig. 4.2, 4.3)

nižším – případ d). Dále pak dva reálné případy s postupným betonováním podlaží po 14 dnech – případ b) a po 30 dnech – případ c).



Obr. 4 – Schéma konečného přetvoření rámu (4.1) a hodnoty ohybových momentů (4.2) pro případy: betonováno celé najednou (a), postupně po 14 dnech (b), po 30 dnech (c), po ukončení smršťování v nižším patře (d). Vývoj v čase hodnot vybraných ohybových momentů v případě b) (4.3) / The diagram of final deformation of frame (4.1) and the values of bending moments (4.2) for the cases: the frame concreted at once (a), successively after two weeks (b), after 30 days (c), after ending the shrinkage in the lower storey (d). The development of values of bending moments for the case b) (4.3)

Srovnání výsledků je patrné na obr. 4, kde je schematicky naznačeno i konečné přetvoření rámu. Na tomtéž obrázku je lomnými čarami vyznačen i časový vývoj hodnot vybraných ohybových momentů z případu b). Hodnoty normálových i smykových sil v příčlích a stojkách se vypočtou z ohybových momentů.

### Závěr

Výsledky výpočtu podle navrženého postupu lze využít při rozhodování o uspořádání nosné konstrukce i při dimenzování prvků v kombinacích s účinky přímých zatížení, teplotních objemových změn a případných rozdílných zkrácení svislých nosných prvků (u vícepodlažních budov). Ukazuje se, že některé z ohybových momentů po dosažení jisté maximální hodnoty v blízkém čase po vybetonování později až do ukončení smršťování klesají. Některé dokonce mění znaménko (obr. 4, 3). Ohybové momenty dosahují v běžných případech největších hodnot v dolním podlaží a směrem nahoru poměrně rychle

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 vypočítat 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.

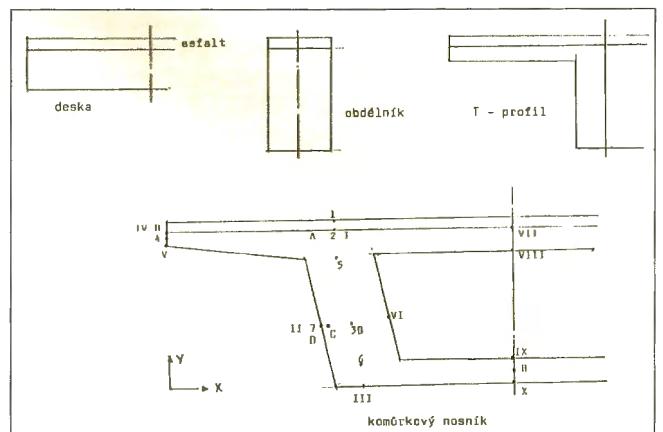
Ve svém příspěvku se budeme zabývat výpočtem časové a místně proměnné teploty, smršťováním, napjatostí a možného porušení průřezů betonových trámů zřejmých z obr. 1. Trámy mohou být na koncích volné nebo částečně nebo dokonale upnuté (vůči posunu ve směru osy Z a pootočení okolo os X i Y).

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



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

stejně 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 trámy, ne však samo smrštění betonu. Kromě změn teploty a vlhkosti není průřez zatížen.

### 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-