

Dilatace - souvislost délky budovy a její napjatosti od objemových změn - ustanovení postupně vydávaných ČSN - výsledky výzkumu.

Důvody dilatování dlouhých budov

Vnější prostředí, v některých případech i vnitřní, způsobuje tendence k objemovým změnám konstrukce budovy, nebo k přerozdělení vnitřních sil. Jde o změny teploty, vlhkosti nebo o rozdělení kontaktního napětí v základové spáře, které neodpovídá rozdělení zatížení na základovou spáru shora.

Jsou-li jednotlivé prvky konstrukčního systému vystaveny různým tendencím k objemovým změnám, vznikají ve vazbách mezi těmito prvky, právě tak jako ve vazbách mezi prvky založenými v místech s různými kontaktními napětími, smykové redistribuční síly. Různost tendencí k objemovým změnám jednotlivých prvků a nerovnoměrnost rozdělení kontaktního napětí vzrůstají s délkou budovy. Odtud pramení důvody pro omezování volné délky budovy jejím rozdělováním na kratší dilatační celky. Nejsou tím však postihovány rozhodující souvislosti - nejde přece o objemové změny a jejich tendence, jde o síly, o napjatost. Jinými slovy: Jestliže krácení budovy zmenšuje rozdíly tendencí k objemovým změnám, nemusí zároveň vést ke změnám smykových sil a ke zmenšení celkové napjatosti konstrukčního systému.

K osvětlení těchto souvislostí a tím také ke zdůvodnění významu dilatací u dlouhých budov je nutný kvantitativní rozbor, vycházející z výstižně definovaných vnějších účinků a výstižného výpočtového modelu vícepodlažní budovy.

Vývoj názorů na souvislost délky budovy a její napjatosti od objemových změn

Dilatační spára se vždy jevila jako účinné konstrukční opatření čelící nepřiměřené napjatosti budovy od účinků objemových změn. Stanovit napjatost budovy od těchto účinků je obtížná úloha. Komplikace je již ve kvantifikaci účinků a dále ve vyjádření konstrukce budovy správným výpočtovým modelem a konečně ve zvládnutí aparátu, který by umožnil kvantifikovat mnohokrát staticky neurčitou konstrukci budovy. Proto konstruktér při představě vyčíslvat napjatost hledal vždy cestu jak úlohu obejít. Časem převládá názor, že naše normy tuto cestu poskytují. Napomáhaly k tomu neurčité formulace v předpisech, které po celou dobu používání železobetonu u nás zůstávají v podstatě nezměněné. Lze to pozorovat na srovnání příslušných článků postupně vydávaných norem.

- ČSN 73 2001 Projektování betonových staveb. Norma z roku 1955 vyjadřuje vztah mezi délkou dilatačního pole a napjatostí v článku 160 takto: "Ve statickém výpočtu obyčejných pozemních netřeba dbát vlivu teploty, čelí-li se jeho účinkům rozdělovacími /dilatačními/ spárami, jejichž vzdálenost nepřekročí u staveb montovaných ze železobetonových prvků 60 m." Norma tedy dovozovala upustit od posouzení při jistém zkrácení budovy a jednoznačně se vyjadřovala ksouvislosti délky a napjatosti. Článek 26 nebyl shledáván jako odporující článku 160, neboť se snažil distancovat od panelových budov /samozřejmě staticky neurčitých/. Článek zní: "Vlivu teploty musí být dbáno u staticky neurčitých konstrukcí /obloukových, rámových apod./ o jednom nebo více polích, je-li rozpětí některého pole větší než 10 m." Tyto rozpory a hlavně rozpaky se postupně přenášely od novějších norem a ty se s nimi až dosud nemohly vyrovnat.

- ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí. Norma platila od roku 1967. Převzala do určité míry formulace normy předešlé, nebyla však již tak jednoznačná v úlevách a názorech na souvislost délky a napjatosti. V čl. 162 uvádí: "U konstrukcí z prostého nebo železového betonu není zpravidla třeba provádět výpočet vlivu teploty a smrštění betonu, jestliže vzdálenosti dilatačních spár nepřevyšují maximální vzdálenosti podle tabulky U staticky neurčitých konstrukcí se musí vždy přihlížet k vlivům teploty a smrštění a podle potřeby je uvažovat ve výpočtu." Norma se tedy v názoru na souvislost délky a napjatosti ztotožňuje s normou předešlou, avšak možnost úlevy výrazem "zpravidla" zpochybňuje.

- ČSN 73 2001 Projektování betonových konstrukcí. Norma pro konstrukce navrhované podle stupně bezpečnosti z roku 1970 se ke sledované otázce vyjadřuje podobně jako norma předchozí.

- Směrnice pro navrhování nosné konstrukce panelových budov byly schváleny v roce 1971 jako objektivní publikace. Protože byly založeny na důkladném rozboru zkušeností, získaných s panelovými budovami za 15 let používání v panelové výstavbě, celkem správně uvádějí v čl. 4. 11.: "Maximální vzdálenost dilatačních spár se uvažuje podle ČSN 73 1201. Dodržení této vzdálenosti nezabavuje projektanta nutnosti posouzení vlivu teplotních změn na konstrukci budovy /viz čl.

5. 7./ V čl. 5. 7. potom: " . . . čl. 162 ČSN 73 1201 tedy neplatí pro panelové budovy. Účinek objemových změn na nosnou konstrukci není třeba posuzovat pouze tehdy, jestliže je konstrukčními opatřeními a stavebním postupem zajištěno, že tyto účinky nemají vliv ani na bezpečnost, ani na použitelnost konstrukce." Přes určité nejasnosti /např. komentář na str. 42 aj./ znamenala tato formulace v době vydání Směrnic značný pokrok a tvořila dobrý podklad pro další upřesňování při revizi ČSN.

Především v tom, že upustila od dřívějších názorů, zakotvených v ČSN, že zmenšování dilatačních úseků je i u panelových budov rozhodujícím konstrukčním opatřením k redukci napjatosti od objemových změn.

ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí. Byla schválena v roce 1986. V čl. 3. 2. 3. 1. uvádí: "Vliv objemových změn na konstrukce a prvky se vyšetřuje ve všech případech, kdy objemové změny mohou nepříznivě ovlivnit spolehlivost konstrukce Rozsah vyšetřování vlivu objemových změn betonu ve výpočtu závisí na povaze objektu". Ke vztahu mezi vzdáleností dilatačních spár a napjatostí se uvádí ve čl. 3. 2. 3. 5. : "Rozměry dilatačního celku nesmí být větší než maximální rozměry, při nichž v dilatačním celku nevznikají nepříznivé stavy napjatosti". Přes řadu nejasností v otázce vyšetřování napjatosti od objemových změn je možno konstatovat, že v této poslední normě se nepočítá s úlevami v důsledku provedení dilatačních spár v předepsaných vzdálenostech. Velmi nadějný je v tomto smyslu článek 3. 2. 3. 6. : "Rozměry dilatačních celků betonových nosných konstrukcí, popřípadě betonových nenosných součástí stavebního objektu a také šířky dilatačních spár se určují výpočtem." Tento správný předpis je však zpochybněn článkem následujícím, který vychází z neodůvodněného názoru, že není zatím dostatečně propracován nástroj, který by umožňoval kvantifikaci problému: U běžných budov se dovoluje při stanovení dilatačních celků postupovat podle PŘÍLOHY 6".

Názory na souvislost délky a napjatosti se tedy vyvíjejí, potřebného pokroku však dosud nebylo dosaženo. V předpisech pro stavby ze železového betonu [1] z roku 1931 jsou formulace, na kterých za 60 let prudkých změn v konstruování nebylo mnoho změněno. V čl. 4 se praví: "Vliv teploty. Při obyčejných pozemních stavbách vydaných jen přirozeným proměňáním teploty ovzduší netřeba dbát těchto změn ve výpočtu. Škodlivému jejich účinku budiž čeleno tím, že se upraví ve vzdálenostech 30 - 40 m dilatační spáry U rámových a obloukových konstrukcí o velkém rozpětí, jakož i u inženýrských staveb vůbec, musí se vlivu teploty dbát, mohou-li jím vzniknouti napětí atd."

V lit. 1 je též citován nejstarší článek, týkající se našeho problému. Jde o § 4 č. 14 a 15 Výnosu ministerstva veřejných prací z 15. 6. 1911, kde je uvedeno: "Kolisání teploty, způsobující napětí budtež uvažována Aby se umožnily délkové změny nosných konstrukcí, způsobené kolísáním teploty, nepřihlíží-li se k těmto změnám při výpočtu napětí a jde-li o větší délky, budtež uspořádány dilatační spáry ve vzdálenostech nejvýše 20 m"

Výsledky výzkumu

Skutečnost, že se problém dlouho neřešil teoreticky a ponechával se nejasný stav, lze patrně vysvětlit tím, že přísné omezení délky budovy nevedlo u převážné většiny budov k poruchám.

Potřeba analyzovat problém se projevila velmi naléhavě při zavádění montovaných stěnových konstrukčních systémů vícepodlažních budov do hromadné výstavby. Objevovaly se trhliny ve stycích panelů v krajních sekcích mezi nejvyššími stropními tabulemi a podélnými stěnami. Pozoruhodný byl fakt, že porušení horních koncových částí těchto budov se vyskytovalo jak u delších tak i velmi krátkých budov.

Autor se skupinou spolupracovníků z ČVUT tento problém analyzoval v několika studiích a znaleckých posudcích a řešení publikoval v [2] na str. 347 až 353. Zpracoval výpočtový model, který umožnil kvantifikovat souvislosti mezi délkou budovy a její napjatostí s přihlédnutím k rozhodujícímu faktoru: tuhosti budovy. Výpočty prokázaly, že snaha odstranit poruchy zmenšením volných délek panelových budov je velmi sporná.

Výpočtový model, navržený na straně 347 [2], idealizoval kon-

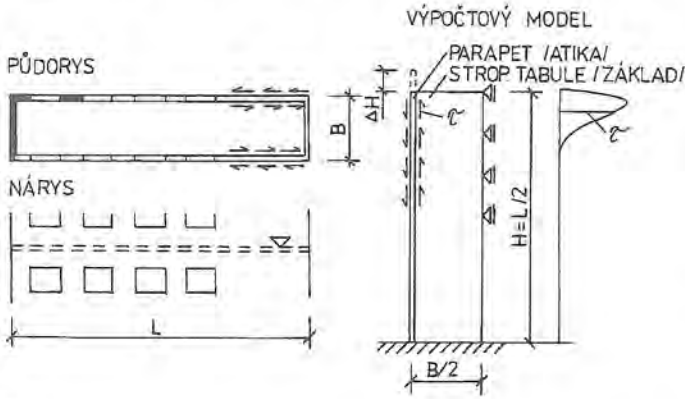


Prof. Ing. Václav Rojčík, DrSc

strukční systém budovy jako soustavu vodorovných prvků s různou tendencí k dilataci, které jsou vzájemně vázány spojovacím prostředím. To různosti dilatace brání.

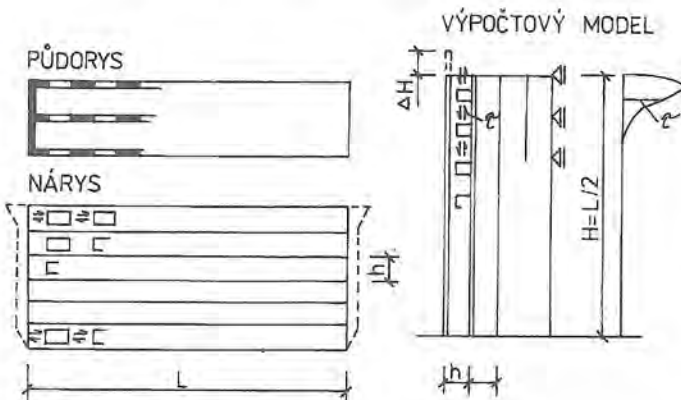
Jde zásadně o tendence jednotlivých prvků systému k různým objemovým změnám od účinku změny teploty vnějšího nebo vnitřního prostředí. V důsledku vzájemného vázání prvků dochází potom ve vazbách, a tím i v prvcích, k doplňkové napjatosti, neboť vazby brání stejné dilataci. Změnami teploty prvků se rozumí přírůstky k teplotě montážní, při které byly prvky svázány do konstrukčního systému budovy. Kvalitativně shodně se projevuje a zavádí do výpočtu napjatosti účinek smrštění betonu.

Případy, kdy může dojít u prvků k různosti objemových změn účinkem změny teploty a smrštění betonu, mohou být rozděleny do následujících skupin:



Obr. 1

a/ Fasádní prvky a stropní tabule - obr. 1. Na obrázku je uveden případ budovy, jejíž dilatační úsek je dlouhý L a jejíž obvodový plášť zvětšuje objem více než stropní tabule. Ve styku mezi stropní tabulí a obvodovým pláštěm vznikají smykové síly, které namáhají tento styk smykem a stropní tabulí resp. fasádní parapety normálovou silou tahovou, resp. tlakovou. V pravé části obrázku je načrtnut výpočtový model, který by mohl sloužit ke kvantifikaci vztahu $\tau = f/L$;

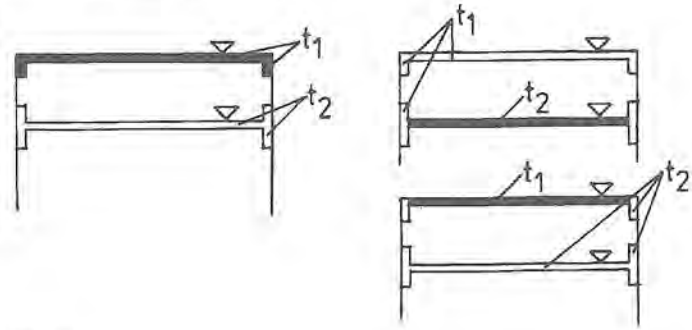


Obr. 2

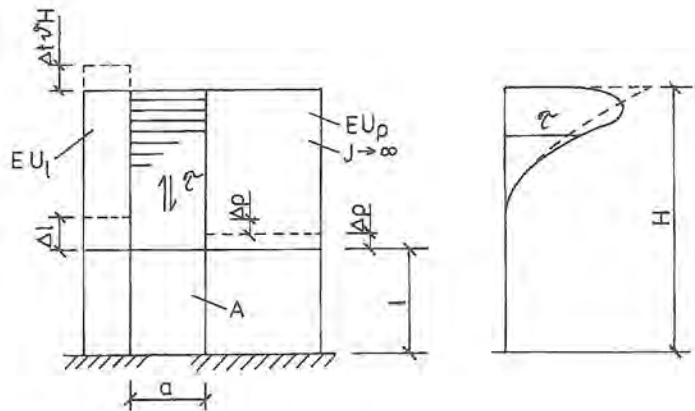
b/ střešní tabule - stropní tabule /obr. 2/. Na obrázku je uveden případ budovy, jejíž dilatační úsek je dlouhý L a jejíž střešní tabule zvětšuje objem více než ostatní stropní tabule. V meziokenních pilířích obvodového pláště a v mezi dveřních pilířích vnitřní podélné stěny nejvyššího podlaží vznikají smykové síly, které tyto prvky namáhají ohybem a smykem a střešní tabulí, resp. stropní tabulí normálovou silou tahovou, resp. tlakovou. Obdobné síly vznikají při ochlazení všech stropních tabulí vůči základové desce. V pravé části obrázku je načrtnut výpočtový model, který by mohl sloužit ke kvantifikaci vztahu $\tau = f/L$. Z hlediska zavádění Δt se úloha rozpadá na dvě:

- b1/ jestliže při různosti teploty střešní /základu/ a teploty stropů se nelíší teplota příslušných oblastí fasády od teploty stropů; potom se tyto části fasády /parapety ap./ zahrnou do průřezů stropních tabulí /obr. 3 vlevo/ a mezi fasádou a stropem nevzniká podstatná napjatost;
- b2/ jestliže při různosti teploty střešní /základu/ a teploty stropů se teplota fasády blíží teplotě střešní /obr. 3 vpravo nahoře/ nebo teplotě stropu /obr. 3 vpravo dole/; další smykové síly potom vzniknou ve stycích mezi fasádou a stropem nebo mezi fasádou a střešou; naopak

původní napjatost v podélných stěnách nejvyššího /nejnižšího/ podlaží, o které se jednalo ad b/, klesne; proto je nejnepříznivější případ b1/, případy b2/ jsou řešeny ad a/.



Obr. 3



Obr. 4

Ke kvantifikaci vztahu $\tau = f/L$ se použije univerzální výpočtový model uvedený na obr. 4. Spojovací prostředím vytvářejí buď stropní tabule /případ a/ nebo mezi dveřní a meziokenní pilířky /případ b1//. Pro smykový tok ve spojovacím prostředí platí - podle [2]

$$\tau = -\Delta t \cdot \nu \frac{E U_s \lambda}{c h \lambda H} s h \lambda z$$

kde tuhostní součinitel

$$\lambda = \sqrt{\frac{12}{h U_s} \sum \frac{1}{\frac{a_k}{I_k} + \frac{36 a_k}{U_s}}}$$

Sumace se vztahuje na všechny vazby rozmístěné na délkovém úseku půdorysu budovy h,

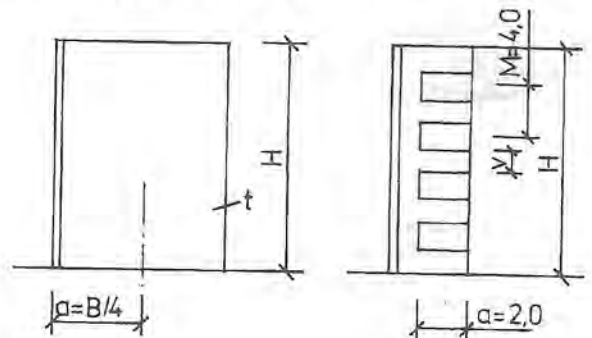
U_s je obsah průřezové plochy střešní tabule,

a_k je světlost k-té vazby,

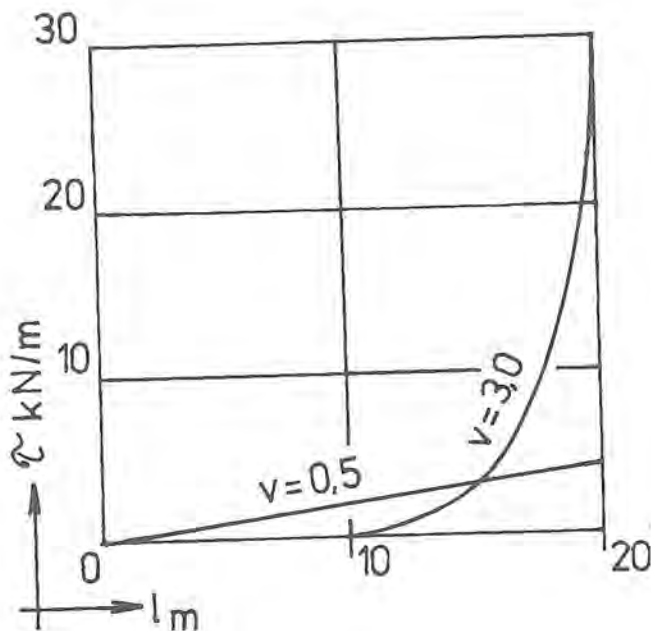
I_k, U_k je moment setrvačnosti resp. obsah průřezové plochy k-té vazby,

E je modul pružnosti betonu.

Jak patrně, závisí průběh t na tuhostním součiniteli λ . V případě, že spojovací prostředím tvoří stropní tabule /obr. 5 vlevo/ je tento součinitel při hloubce budovy 12 m a parapetu 0,15 x 1,2 m² kolem $\lambda \sim 0,3$, v případě, že je spojovací prostředím tvořeno mezi dveřními pilířky /obr. 5 vpravo/ při $v = 0,5$ m je $\lambda \sim 0,02$ a při $v = 3,0$ m je $\lambda \sim 0,13$.

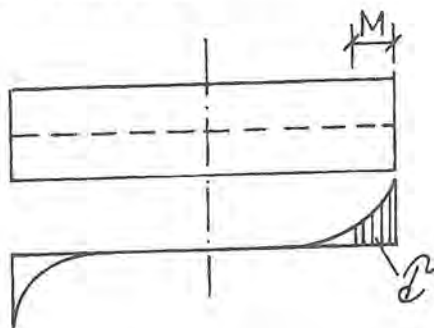


Obr. 5



Obr. 6

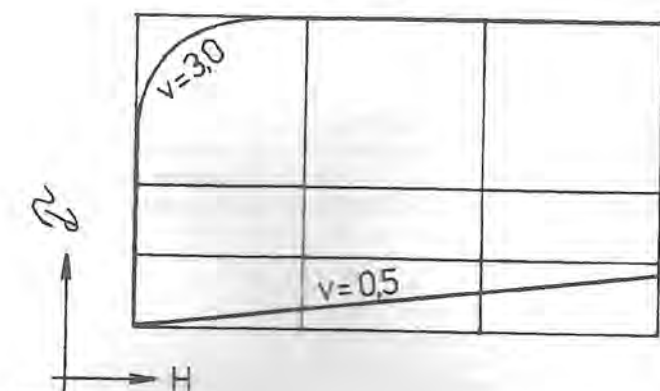
Na obr. 6 jsou uvedeny průběhy τ po délce budovy dlouhé 40 m při $\Delta t \cdot \bar{\sigma} \cdot E \cdot U_s = 240$. Jak se dalo očekávat, vzrůstá toto napětí s tuhostí spojovacího prostředí. Co je však z hlediska dané otázky rozhodující, je charakter průběhu τ po délce budovy. Při měkkém spojení $v = 0,5$ m/ je průběh přibližně lineární, při tuhém spojení $v = 3,0$ m/ stoupá prudce smyk v oblasti volného konce.



Obr. 7

Nejlépe si význam tohoto faktu uvědomíme při srovnání napjatosti koncových pilířků u štítu budovy - obr. 7. Smyková síla χ , namáhající koncové prvky, odpovídá vyšrafované ploše na obr. 7. Je to vlastně nejdůležitější ukazatel napjatosti budovy. Při vzdálenosti pilířků M vychází

$$\chi = -\Delta t \cdot vEU_s \left(1 - \frac{ch\lambda(H-M)}{ch\lambda H} \right)$$



Obr. 8

Na obr. 8 je uvedena závislost χ a H , tedy hledaný vztah $\tau = f/L$ při měkkém a tuhém spojení. Je konečně naprosto zřejmé, že při měkkém spojení napjatost stoupá přibližně lineárně s délkou budovy a při tuhém spojení napjatost není na délce budovy závislá. Zjištěná souvislost se dá vysvětlit tím, že při tuhém spojení vycházejí síly χ tak velké, že nedo-

volí realizovat deformaci $\Delta t \cdot \bar{\sigma} \cdot H$, tj. vracejí střešní tabuli do původní polohy. Při n -krát delší budově /a n -krát větší deformaci/ postačí tatáž síla χ vrátit střešní tabuli do původní polohy /dráha síly χ je n -krát delší/.

Odezva v praxi

V předchozí odstavci uvedené návrhy a závěry nenašly začátkem 70 tých let uplatnění v praxi. Až v roce 1984 se objevil návrh FMTIR na podstatné zvětšení délky dilatačních celků u obytných panelových budov. Návrh sledoval úsporu materiálu a snížení pracnosti nahrazením dvou dilatačních stěn jednou stěnou společnou. Návrh se setkal s námitkami. Námitky vycházely ze stanoviska, že by uplatnění návrhu znemožnilo využívat úlev plynoucích z dodržování vžitě zásady, podle níž má být vzdálenost dilatačních spár nejvíce 60 m. Návrh vycházel ze závěrů [2] a z úvahy, že podrobné posouzení prokáže možnost podstatného zvětšení délky budovy. Tedy zvětšení do té míry, aby doplňková napjatost nepřesáhla technicky a ekonomicky únosnou mez. To bude v případě, že celkové namáhání nevyčerpá únosnost prvků a vazeb stavební soustavy nebo že nevyčerpá zvýšenou únosnost, přičemž zvýšení je dosaženo běžnými úpravami.

Autor byl pověřen návrh posoudit a zdůvodnit jeho oprávněnost. Provedl to ve znaleckém posudku [3]. Ten sledoval několik cílů a to:

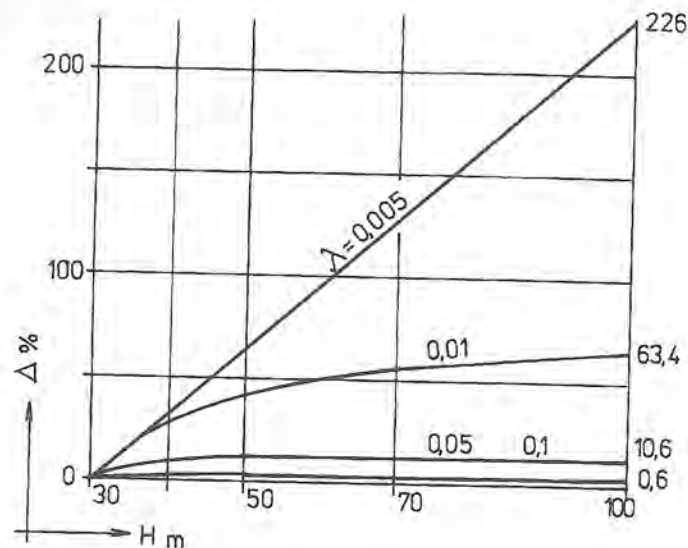
- ukázat, že posouzení běžné panelové budovy na účinek objemových změn zpravidla prokáže možnost podstatného zvětšení vzdáleností dilatačních spár oproti používané vzdálenosti do cca 40 m;
- objasnit, že mezi účinky, které by si u panelových budov vyžádaly menší vzdálenost dilatačních spár, patří spíše účinek nerovnoměrného sedání, kde o nutnosti posouzení nejsou v projektové praxi pochyby, že však i z tohoto hlediska bude možno návrh uplatnit ve značné šíři;
- objasnit, že dodržení vzdáleností dilatačních spár podle čl. 162 ČSN 73 1201 nezabavuje povinnosti projektanta posoudit napjatost panelové budovy od účinků změn teploty a smrštění betonu;
- navrhnout, jak posoudit napjatost panelové budovy od objemových změn.

První a poslední cíl byl metodicky splněn studií, která prokázala míru zvýšení napjatosti budovy při zvětšování vzdáleností dilatačních spár nad hodnotu uváděnou ČSN 73 1201 v čl. 162. Přitom se předpokládalo, že napjatost při této základní vzdálenosti je zkoumanou stavební soustavou bezpečně přenesena.

Obrovské pracnosti stanovení potřebných parametrů a četným nejasnostem, které se daly očekávat při prezentaci závěrů, se práce vyhnula soustředěním na průkaz změny napjatosti při změně délky dilatačního úseku posuzované budovy, přičemž všechny ostatní parametry zůstaly zachovány.

Při aplikaci vztahů pro τ a χ uvedených vpředu vychází míra zvýšení napjatosti budovy při zvětšení vzdáleností dilatačních spár nad hodnotu $H = 30$ m v procentech

$$\Delta\% = 100 \left(1 - \frac{1 - \frac{ch\lambda(30-M)}{ch\lambda 30}}{1 - \frac{ch\lambda(H-M)}{ch\lambda H}} \right)$$



Obr. 9

Na obr. 9 je pro $\lambda = 0,005, 0,01, 0,05$ a $0,1$ při $M = 4,0$ m tato míra zvýšení napjatosti vykreslena. Jestliže tedy $\lambda < 0,01$ může napjatost stoupnout na více než dvojnásobek, je-li $\lambda \geq 0,05$ nepřesáhne zvýšení 10% a je-li $\lambda \geq 0,1$ nepřesáhne zvýšení 1%.

Řešení u tužších svislých prvků tedy není v provádění dilatačních spár, ale především ve snížení Δt /větší tepelná izolace, dvouplášťová střecha ap./ . Význam zásady, že budovy třeba dělit na kratší úseky dilatačními spárami, lze ocenit pouze v případě, že dojde k porušení konstrukce budovy a volné dilataci. Potom posuvy stropních tabulí dosahují hodnot $\Delta t \cdot \frac{1}{2} \cdot L/2$ a jsou tedy lineárně závislé na délce dilatačního úseku L .

Závěrem posudku [3] bylo proto konstatováno:

Význam dilatačních spár je závislý na tuhosti budovy v podélném směru. Tuhost lze vyjádřit součinitelem λ . Protože tento součinitel vychází u všech našich stavebních soustav větší než 0,05 nepřekročí zvýšení napjatosti od objemových změn 10%. Protože u řady soustav vychází součinitel kolem 0,1 lze počítat u těchto soustav se zvýšením napjatosti kolem 1%.

Rozbor dále prokázal:

- že posouzení běžné panelové budovy na účinek objemových změn zpravidla povede k podstatnému zvětšení vzdálenosti dilatačních spár oproti používané vzdálenosti do cca 40 m;
- že případné zvýšení napjatosti z hlediska nerovnoměrného sedání bude i u velmi dlouhého dilatačního celku v přijatelných mezích;
- že souvislost mezi napjatostí a délkou panelové budovy je nevýznamná;
- že kvantifikace vztahu objemové změny - napjatost je nutná a proveditelná i prostředky, které má k dispozici projektant; k řešení by samozřejmě přispělo, kdyby výzkum věnoval větší pozornost interakci budovy a vnějšího prostředí, tj. zatížení od změn teploty, vlhkosti atd.

Návrh na podstatné zvětšení délky dilatačních celků u obytných panelových budov je oprávněný, reálný a jeho prosazení v praxi přinese značné úspory, zjednodušení procesu výstavby a přispěje k technické-

mu pokroku.

Iniciativa FMTIR v roce 1984 vedla k rozsáhlé diskuzi v projektových ústavech a dodavatelských organizacích. Výsledkem bylo rozhodnutí zpracovat studii s úkolem:

- konkrétně odůvodnit návrh na zvětšení vzdálenosti dilatačních spár, který přinese úspory investičních nákladů,
- průzkum stávajících objektů,
- návrhy konstrukčních úprav při prodlužování dilatačních celků a metodika experimentálního ověřování.

Pracovní tým ČVUT se ujal řešení tohoto úkolu, jehož objednatel byl STP České Budějovice [4]. Provedl výzkum řady objektů, který potvrdil v tomto článku uvedené názory. Navržená konkrétní opatření nebyla však dále projednávána. Řešení zůstalo na mrtvém bodě.

Současný stav

Při přísném posuzování jsou naše předpisy v pořádku.

Přijímá-li se však vžitý názor, že budovu lze řešit podle čl. 3. 2. 3. 7. platné normy, nebo čl. 26 ČSN 73 2001, jeví se řešení této otázky velmi chmurné. Uváží-li se dále závěr čl. 26: "Vlivu teploty musí být dbáno u stácky neurčitých konstrukcí " ukazuje se, co bude ještě třeba udělat k tomu, aby z našeho navrhování odešly předsudky o náročnosti některých konstrukcí a jednoduchosti pozemních staveb.

Odkazy:

- [1] Kovář A.: Teorie železobetonu, nakl. Šolc a Šimáček, Praha 1931
- [2] Rojík V. a kol.: Panelové objekty, SNTL Praha 1974
- [3] Rojík V.: Potvrzení a zdůvodnění oprávněnosti návrhu na podstatné zvětšení délky dilatačních celků u obytných panelových budov, znalecký posudek pro ČKVTIR, Praha 1984
- [4] Problematika vzdálenosti dilatačních spár, FS ČVUT pro STP České Budějovice, 1986

KONTAKTNÍ ADRESY

Doc. Ing. Jiří Bradáč, CSc.

Ing. Radim Čajka

Ústav betonových a zděných konstrukcí FAST VUT

Údolní 53

662 42 Brno

tel/fax: 43 21 21 06

Prof. Ing. Václav Rojík, DrSc

SF ČVUT Praha