

Literatura

[1] ČSN 73 1201 -86 a: *Navrhování betonových konstrukcí*. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha, 1987.

[2] ČSN 73 1201 -94 - Změna 2: *Navrhování betonových konstrukcí*. Český normalizační institut, Praha, 1994, 20 s.

[3] Hájek J.: *Pretvorenia betónových koňtrukcií*. VEDA, Bratislava, 1994, 321 s.

[4] Procházka J., Tichý M. a kol.: *Navrhování betonových konstrukcí*. Komentář k ČSN 73 1201. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha, 1989, 240 s.

Prof. Ing. Ján Hájek, DrSc., Adámiho 4, 841 05 Bratislava, Slovenská republika,

Ing. Terézia Nürnberggerová, CSc., Ústav stavebníctva a architektúry SAV, Dúbravská cesta 9, 844 20 Bratislava, Slovenská republika

Objemové změny betonu a jejich účinky na konstrukci

Volumen Changes of Concrete and their Consequences for the Structure

Zdeněk Šmerda

Objemové změny mohou v betonových konstrukcích vést během celého života stavby ke vzniku vysokých tahových napětí a tedy i trhlin. Za nejvýznamnější lze považovat smršťování plastické a chemické, smršťování od vysychání a teplotní účinky od hydratačního tepla a od teploty vnější. Účinky některých těchto vlivů se dají vyřešit výpočtem, jiné však se musí vzít v úvahu v projekci a při přípravě směsi a při výrobě.

Because of shrinkage and changes of temperature high stresses and even cracks may occur in concrete during the service life of structure. The most important of these volumen changes are the plastic, chemical and hygral shrinkage together with the temperature caused by hydration and by the external effects. Consequences of some volumen changes can be evaluated by calculations in advance, nevertheless some of them must be taken into consideration in the course of designing, while preparing the concrete mixture and while concreting and curing.

V betonových průřezích vznikají velmi často trhliny, které v mírnějším případě mohou zasahovat jen blízko pod povrch (obr. 1), v horším mohou procházet velkou částí průřezu a někdy i prostupovat celou tloušťkou prvku (obr. 2). Pak již mohou velmi silně ovlivňovat parametry průřezu a posléze i celkové chování prvků a konstrukce. Ale i tam, kde trhliny zasahují jen povrchové oblasti jde vždy o poruchu, která může snižovat trvanlivost prvku.

Zdrojem trhlin jsou kromě účinků zatížení, příp. vynučených vnějších přetvoření i *objemové změny*, probíhající v betonu konstrukce od jejího vzniku, tj. už v době, kdy stavivo získává své deformační a pevnostní charakteristiky a ovšem i později, kdy je beton již vyzrálý. Nové trhliny se tedy mohou vytvářet a staré rozšiřovat během celého života konstrukce.

Pozornost, se kterou se setkávají v poslední době účinky objemových změn svědčí o tom, že se tato problematika dostává do popředí zájmu jak inženýrů v projekci, tak v technologii betonu a ve stavební výrobě. Je to nejen proto, že objemové změny mohou být zdrojem poruch, které iniciují degradaci prvku, vedou k postupnému snižování trvanlivosti konstrukce a později k náročným opravám, ale hlavně proto, že nyní stavebník stavbu sleduje daleko pozorněji již během její výstavby, není spokojen s případnými poruchami, nárokuje opravy a to nutí stavitele k důkladnějším projekčním a technologickým úvahám o tom, jak poruchám předcházet.

Ve statických řešeních se při hodnocení možných následků *objemových změn* vychází obvykle z toho, že beton je už alespoň

tak zralý, že se dají spolehlivě definovat jeho objemové změny a jeho pevnost a přetvárnost. To však pro ohodnocení možnosti vzniku trhlin v betonu nestačí, ale musí se respektovat i chování betonu v údobí, v němž beton teprve tuhne a tvrdne. V současné době se to bere v úvahu jen u tlustých konstrukcí (základových desek a opěr, masivních mostních trámů ap.), pro něž se musí navrhnout takový technologický postup betonování a ošetřování prvku, aby se omezil co nejvíce vliv hydratačního tepla na tvorbu trhlin. Teplota od hydratace není však jediným zdrojem vzniku trhlin a tak jen opatření, která z těchto řešení vyplývají nemusí zaručovat, že trhliny v betonu nebudou. Proto je namístě posoudit i jiné možné zdroje jejich vzniku. Je však třeba přiznat, že reálný odhad účinků všech objemových vlivů na tvorbu trhlin v betonu je v současné době velmi omezen, a to jak vzhledem ke složitosti samého problému objemových změn, tak k našim nynějším možnostem jejich kvantitativního a často i kvalitativního ocenění.

Objemové změny a jejich závislost na stáří betonu

Během života konstrukce působí na beton vlivy (migrace vody, chemické pochody při tuhnutí a tvrdnutí, hydratační teplo, vlhkost a teplota prostředí), jejichž účinkem se beton přetváří. Nejsou-li pole přetvoření, která jsou jimi vyvolána rovinná, nemůže se jim deformace průřezů zcela přizpůsobit a vnitřní vazby pak vedou k tomu, že v prvku vznikne vlastní napjatost. K ní ovšem přistupují od stejných objemových účinků ještě další napětí, která jsou způsobena vazbami vnějšími, např. odporem bednění a přilehlých konstrukcí. Je také přirozené, že při komplexním zkoumání napjatosti a možnosti výskytu trhlin průřezu v konstrukci se musí vzít v úvahu i účinky vnějších zatížení.

Během *raného věku* betonu, kdy betonová směs teprve tuhne a tvrdne, má největší podíl na tvorbě trhlin nejprve plastické a chemické smršťování, teplota od vývinu hydratačního tepla a později i smršťování od vysychání. Pole těchto změn jsou výrazně zakřivená (např. pole vlhkosti V , na němž závisí smršťování od vysychání a pole teplot T_{hydr} od hydratace mohou mít v deskovém prvku tvar podle obr. 3 a obr. 4) a i když je původ těchto objemových změn převážně vnitřní, má na ně vliv i teplota a vlhkost prostředí.

V této době beton získává svoje pevnostní a přetvárné vlastnosti, a ty mají od místa k místu různé hodnoty, neboť závisejí na stavu místa v průřezu, tj. na zralosti betonu. V průřezu působí vlastní napětí σ_{sh} a σ_T s tvarem polí např. podle obr. 5.



Obr. 1 – Povrchové trhliny od plastického smršťování a od sedání / Surface cracks caused by plastic shrinkage and by the settlement



Obr. 2 – Šikmé trhliny ve sloupové stěně od smršťování betonu velmi tlusté stropní desky / Inclined cracks in concrete wall caused by shrinkage of a very thick flat slab

Později, tj. v době, kdy je beton již z části anebo téměř plně vyzrálý se pevnostní a přetvárné vlastnosti rozdělují v průřezu již značně rovnoměrně. Vliv hydratačního tepla z předchozího údobí už odezněl (obr. 3), teplota prvku je tedy téměř konstantní a odpovídá teplotě prostředí, ale pole vlhkosti může zůstat (podle toho, jak je prvek tlustý) ještě dlouho výrazně zakřivené (obr. 4). Je vidět, že v tomto údobí ovlivňuje deformaci betonu prvku převážně již jen vnější prostředí změnami teplot a vlhkosti.

Problém odhadu nebezpečí vzniku trhlin nespočívá v současné době ani tak v možnostech výpočetních metod a výpočetní techniky, jako v nedostatku informací o objemových změnách během celého funkčního života konstrukce, o mechanismu každé z nich a o jejich vzájemném působení. Jde tedy o problém úrovně současných znalostí a názorů na objemové změny, na níz závislejší vstupní údaje, potřebné pro výpočet. Pro demonstraci současného stavu poznání je účelné rozdělit funkční život betonu v konstrukci do tří údobí.

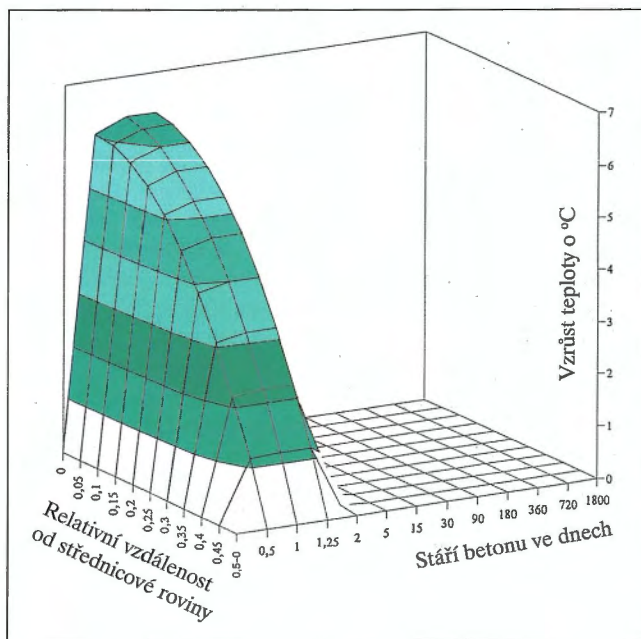
◆ *První* - od uložení a zhutnění směsi po počátek tvrdnutí betonu.

◆ *Druhé* - od počátku tvrdnutí betonu po získání jeho „plné“ zralosti. (Zralost betonu se zde vyjadřuje stupněm hydratace, tj. poměrem množství uvolněného hydratačního tepla k jeho množství celkovému.) V jeho *první části*, tj. přibližně do dosažení maxima hydratačního tepla se přetvárné vlastnosti betonu a jeho pevnosti rozdělují v průřezu velmi nerovnoměrně, ve *druhé* se stabilizují a jsou již téměř konstantní. V celém tomto druhém údobí nejsou pole teplot ani smršťování rovinná.

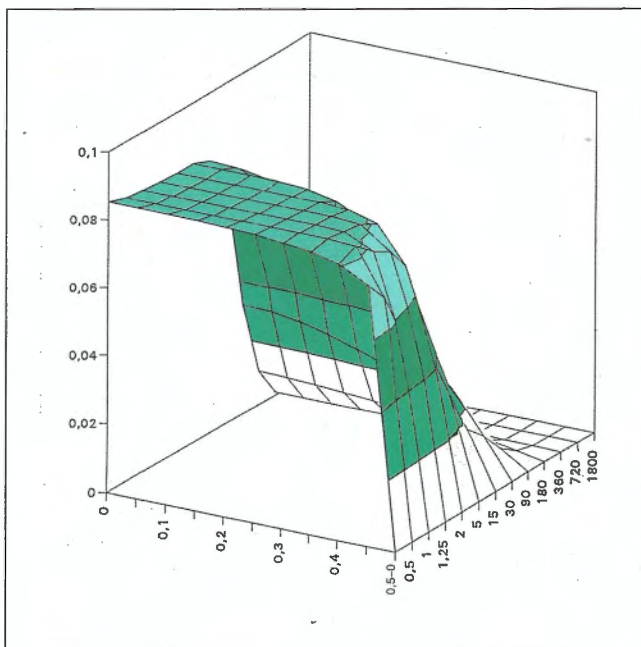
◆ *Třetí* - od doby, kdy se beton může plně zatížit. V něm reaguje již téměř jen na změny vlhkosti a na teplotu prostředí, což ovšem znamená, že pole teplot a vlhkosti jsou zakřivená i v tomto údobí.

Meze jednotlivých údobí se nedají přesně vymezit. Jsou pro jednotlivé jevy a betony různé a závislejší (hlavně v prvním a druhém údobí) především na rychlosti vyzrávání betonu.

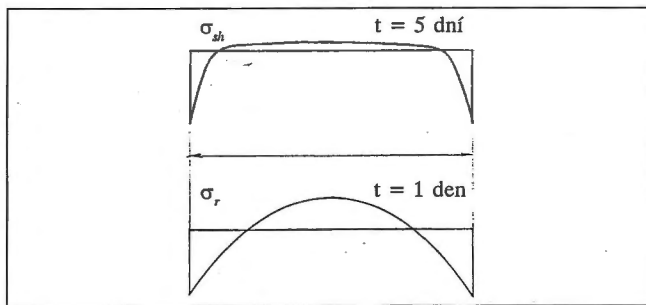
Za hlavní zdroje, jejichž změny se podílejí a vedou ke komplikacím a k nejistotám při určování stavu napjatosti a vzniku trhlin v betonu během všech tří údobí lze považovat *plastické smršťování, hydratační teplo, autogenní smršťování, smršťování od změny vlhkosti* (tj. od vysychání) *okolí, teplotu prostředí a změny přetvárnosti a pevnosti betonu*. Téměř všechny jsou více či méně závislé na místě a na teplotě v průřezu, a to je dále vyznačeno (pokud jde o velmi výraznou závislost) písmeny *x* a *y* a *T*. Všechny uvedené veličiny jsou ovšem i funkcí času *t*.



Obr. 3 – Pole teploty v deskovém prvku / Field of temperature in the slab element



Obr. 4 – Pole vlhkosti v deskovém prvku / Field of moisture in the slab element



Obr. 5 – Průběh vlastních napětí od smršťování a od teploty od hydratace / Intrinsic stresses caused by shrinkage and by hydration temperature

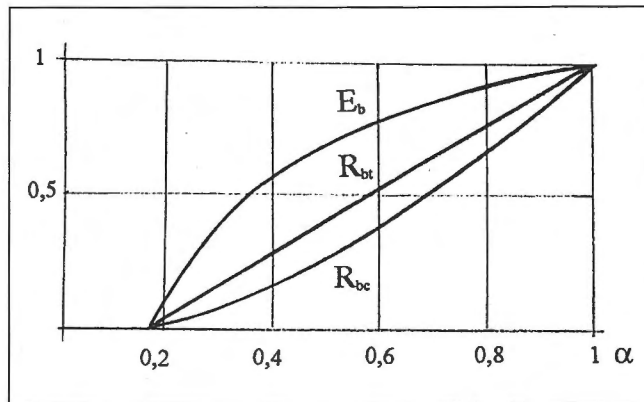
V prvním údobí je hlavní příčinou trhlin plastické smršťování.

Plastické smršťování $\epsilon_{pl}(x, y, T)$ je způsobeno přesunem vody uvnitř průřezu a jejím rychlým odpařováním z povrchu čerstvé betonové směsi a je největší u nekrytého povrchu prvku a malé uvnitř průřezu. Jiným důsledkem pohybu vody ve zpracované betonové směsi je její sedání, které může být v různých místech různé a potom dále přispívá ke zvýraznění trhlin od ϵ_{pl} , anebo je i samo způsobuje. Trhliny od plastického smršťování (obr. 1), mohou být 50 mm, ale i 100 mm hluboké, mají různou délku a směr a spolu se sedáním se zvýrazňují v místech krytí výztuže. Jsou širší na povrchu desek než trámů a různá intenzita sedání směsi přispívá k tomu, že jsou širší tam, kde se náhle mění tloušťka konstrukce. Objevují se obvykle brzy po ztuhnutí směsi (po 20 minutách, ale také až za několik hodin), zdánlivě jsou velmi úzké, ale po odbroušení povrchu betonu mohou být až 2 mm široké. Názory [2], na příčiny vzniku trhlin od plastického smršťování se shodují v tom, že o nich rozhoduje betonová směs, její ukládání, zpracování a ošetřování.

Ve druhém údobí je to již souhrn několika jevů a i důsledek změn vlastností betonu, které se na vzniku trhlin podílejí současně.

Pevnost betonu $R_b(x, y, T)$ a modul přetvárnosti $E_b(x, y, T)$ v tomto údobí závisejí nejen na čase, ale i na místě v průřezu. Je to důsledek toho, že únikem tepla od hydratace do prostředí je teplota betonu uvnitř průřezu značně vyšší než na okrajích (obr. 3) a beton v něm tedy nedozrává stejně rychle (jednotlivá místa mají různý stupeň α hydratace). R_b ani E_b nemají proto v průřezu ve stejném čase stejnou hodnotu, ale jsou obvykle vyšší uvnitř průřezu než ve vrstvách ležících blíže k povrchu. Protože beton povrchových vrstev zůstává v plastickém stavu déle než beton ležící hlouběji, jsou i tahová napětí od objemových změn v povrchových vrstvách menší než ta, která by vycházela z řešení s průměrným modulem přetvárnosti. Je však třeba dodat, že tento příznivý stav do jisté míry snižuje nárůst tahové pevnosti betonu, který je ve srovnání s nárůstem modulu přetvárnosti pomalejší (obr. 6). Dosavadní poznatky o hodnotách a rozvoji E_b a R_b jsou, zejména pokud jde o první část tohoto údobí, značně neúplné a tedy ani vstupy pro řešení napjatosti nejsou natolik spolehlivé, aby se výsledky mohly považovat za zcela výstižné. S tím se musí při řešení napjatosti počítat.

Autogenní (chemické) smršťování $\epsilon_{sh,aut}(x, y, T)$. Dochází k němu tím, že objem složek betonu je po chemické reakci menší (viz např. [3]), na jeho velikost má však vliv i následné vnitřní vysychání (selfdesiccation) betonu. Výsledky laboratorních prací se shodují v tom, že rychlost nárůstu autogenního smršťování silně závisí na teplotě, na druhu cementu a na vodním součiniteli a upozorňují na to, že s objemovými změnami, které způsobuje teplota od hydratace betonu se musí jeho účinky počítat. Podrobnější sledování dále ukazují, že jde o objemovou změnu, která se v různých časových fázích pro-



Obr. 6 – Závislost modulu přetvárnosti E_b a pevnosti v tahu R_{bt} a v tlaku R_{bc} na stupni α zralosti betonu / Dependence of modulus of deformation E_b , strength in tension R_{bt} and in compression R_{bc} on maturity degree α of concrete

jevuje nejen smršťováním, ale i nabýváním, ale s tím, že jeho finálním efektem je smršťování, jehož největší část $\epsilon_{sh,aut}$ proběhne do přibližně 10 dnů. Podklady pro početní řešení ϵ_{aut} doposud chybějí, již nyní je však dokázáno, že napětí od autogenního smršťování se musí vyšetřovat odděleně od teplotních a od hydratace. Přesto, že je nesporné, že velikost ϵ_{aut} bude možno v budoucnu řešit početně, dá se prozatím jeho účinkům čelit jen zásahy při výrobě a provádění.

Teplota $T_{hydr}(x, y)$ od hydratace (obr. 3) se v průřezu nerozděluje rovnoměrně, ale je vyšší uvnitř než na okrajích, kde reaguje na teplotu povrchu prvku. Postupy pro početní řešení jak pole teplot, tak i napětí jsou k dispozici a zavede-li se přitom do výpočtu i změna modulu přetvárnosti, mohou být výsledky dobrým podkladem pro návrh technologických opatření ke zmírnění rizika vzniku trhlin [4].

Ale, jak již bylo uvedeno, vzhledem k proměnnosti $E_b(x, y, T)$ a také k nejasnostem v autogenním smršťování, je třeba mít na paměti, že vypočtená napjatost se může od skutečné odlišovat a tedy také z toho odvozené možné poškození betonu trhlínkami nemusí plně odpovídat skutečnosti.

Dotvarování betonu $J(T, t, t')$. Jeho průběh a velikost závisí v tomto údobí kromě na čase t a na čase t' , v němž počalo působit zatížení i na teplotě T a závisí tedy i na místě v průřezu. S tím je třeba počítat i při úvahách o relaxaci napětí od dotvarování.

Smršťování $\epsilon_{sh}(x, y, T)$ od vysychání nabyvá na významu spíše až v druhé části tohoto údobí. Jeho pole a velikost závisí hlavně na vlhkostním poli prvku (obr. 4), na jeho rozměrech a na vlhkosti prostředí. Pokud se účinky ϵ_{sh} řeší početně, je třeba mít na mysli nejen to, že vypočtená pole vlhkosti neodpovídají nikdy zcela skutečnosti, ale že výrazy pro převod vlhkosti na smršťování se pohybují ve velkých rozmezech. Výsledky výpočtu vlastních napětí (např. v [5]) mají potom spíše orientační charakter. V řešeních pro projekční praxi se s vlastní napjatostí od smršťování nepočítá a určují se jen jeho účinky na napětí, která vznikají působením vnějších vazeb, tj. okolních konstrukcí, neumožňujících volné přetvořování prvku. O smršťování se přitom předpokládá, že se v průřezu mění lineárně, ale obvykle se považuje za konstantní. Početní postupy pro taková řešení jsou k dispozici. Z toho, co bylo uvedeno, je však zřejmé, že reálná napjatost průřezu může být jiná.

Účinky od vnější teploty vyvozují sice v průřezích vlastní napětí, jejichž velikost se dá spolehlivě určit z teplotního pole, přesto však se s nimi v projekční praxi počítá jen za zvláštních okolností (např. při působení vysokých teplot, u některých mostních konstrukcí aj.). Obvykle se uvažují pouze účinky vnějších vazeb a počítá se se zjednodušeným (lineárním) průběhem teplot.

Třetí údobí začíná časem, kdy se může prvek již zatížit (při normálním ošetřování po přibližně 30 dnech) a beton má již vlastnosti, které se u něj předpokládaly při návrhu konstrukce. Modul přetvárnosti a pevnosti betonu se s narůstajícím časem sice ještě dále mírně zvyšují, ale v průřezu se již považují za konstantní. Smršťování ϵ_{sh} od vysychání se mění jen ve vztahu k prostředí, jeho pole v průřezu však zůstává zakřivené. Spolu se smršťováním ϵ_{sh} druhého údobí mohou být jeho účinky velmi nepříjemné (obr. 2). Stejně jako v druhé části druhého údobí, tak se ani ve třetím s vlastní napjatostí v praktických případech nepočítá.

Teplota betonu průřezu se mění podle teploty prostředí a její pole se tím mění v průřezu i v čase. Protože přepočtení teploty na přetvoření je znám, dají se účinky teplotních změn v tomto údobí dobře početně prokázat. V praxi se však většinou postupuje stejně, jak bylo uvedeno v případě druhého údobí.

Současné možnosti obrany proti účinkům objemových změn

Z toho, co bylo uvedeno, vyplývá, že u některých objemových změn se dá úspěšně předpovědět vznik trhlin *početně* a tedy navrhnout i účinná opatření, která zmírní riziko tvorby trhlin. Jindy to ale není možné a obrana proti nim závisí jen na *konstrukčních a technologických* zásadách.

Nejrealističtější se dají jejich účinky vystihnout *ve třetím údobí*. Vlastnosti betonu jsou již relativně stálé, vlivy prostředí, tj. vlhkost a teplota se dají objektivně hodnotit a dají se definovat i vnější vazby. K dispozici jsou *výpočetní* postupy pro řešení účinků smršťování i vnější teploty a mohlo by se tedy zdát, že výsledky budou spolehlivě odrážet skutečnost. Přesto je třeba vzít v úvahu, že výrazy pro výpočet *smršťování a dotvarování* tak, jak je uvádějí normy, nepodávají informace o jejich změnách v průřezu a nelze je tedy využít pro výpočet vlastní napjatosti. Ta však i v tomto údobí může ovlivňovat tahová napětí v povrchových vrstvách betonu a zvyšovat nebezpečí vzniku trhlin. Přesto, že toto nebezpečí není velké, je třeba učinit vždy konstrukční opatření, která se uvádějí v některých předpisech (např. v [7]), a to jako přímá doporučení pro návrh a vyztužování prvků, na které působí objemové změny. Úspěšně, tj. přiléhavěji vzhledem k realitě se dá vyřešit vlastní napjatost v průřezu od účinků *vnější teploty*, vyšetří-li se tvar a hodnoty teplotního pole, neboť převod teplot na přetvoření je v tomto údobí znám (např. v [7] a [8]).

Daleko složitější je situace *ve druhém údobí*. Účinky *hydratačního tepla* se sice dají vyřešit *početně* a navrhnout technologická opatření proti vzniku trhlin, ale i tak trvá jisté riziko vzhledem k nejistotám, týkajících se modulu přetvárnosti betonu a jeho pevnosti. Nicméně z výpočtů a zkoušek vyplývají některé zásady, podle nichž se musí *velmi tlusté konstrukce* betonovat po vrstvách, *teplota čerstvé směsi* má být co nejnižší (směs je třeba i chladit), *kamenné příměsi* mají mít nízký součinitel tepelné roztažnosti a drsný povrch, při betonování *v chladném počasí* se musí *ochránit povrch betonu* před únikem tepla přikrytím (hlavně v první a na počátku druhé části tohoto údobí) a musí se *snížit co nejvíce odpor přilehlých konstrukcí* (tj. i bednění) proti volnému průběhu přetvoření. O zmírnění účinků *smršťování* naproti tomu ve zvýšené míře rozhoduje dodržení již uvedených pravidel [7] a ovlivňují je úspěšně i konstrukční opatření (např. vytváření smršťovacích koridorů, vyztužování povrchových vrstev sítěmi apod.). Podstatnou měrou se kromě toho přitom podílí i *složení betonové směsi*. Prokazuje se totiž, že použití cementů s vysokými nárůsty hydratačního tepla zvyšuje ϵ_{aut} a má-li betonová směs vodní součinitel menší než 0,4, pak je vnitřní vysoušení směsi velmi výrazné a i ϵ_{aut} je velké. To by mělo vést ke zdrženlivosti při snižování vodního součinitele.

V *prvním údobí* (a i první části údobí druhého) vznikají v betonu trhliny, jejichž příčinou nejsou napětí, ale na jejichž tvorbě se podílí jen kvalita betonové směsi a její zpracování a ošetřování. *Početně* se zde nedá nic prokazovat a trhlínám se nedá zabránit ani konstrukčními opatřeními (např. vložení sítě k povrchu), ani dělením konstrukce na menší celky. Hlavní role zde připadá *technologii výroby* a riziko trhlin se dá snížit jen dodržением zásad, jejichž podstata je známa a týká se složení betonové směsi, jejího zpracování a ošetřování. *Směs* musí mít takové složení, aby byla dobře zpracovatelná po celou dobu, která je pro zpracování nutná, tj. nemá mít malé množství vody a použitý plastifikátor má mít velkou účinnost a dlouhou dobou působení. Rychlá ztráta zpracovatelnosti vede k větší četnosti trhlin. Klesne-li vodní součinitel pod 0,4, vznikají trhliny i v době, kdy je směs ještě velmi plastická, zatímco směsi s vyšším vodním součinitelem jsou proti nim odolnější. Doporučuje se i předvlhčení cementu a účinné promíchání směsi. Trvá-li *transport betonové směsi* delší dobu, mají být otáčky bubny jen velmi nízké (vysoké vedou ke zvyšování teploty směsi tím, že se jednotlivé součásti třou o sebe) a teprve před ukládáním se mají přibližně na 3 min. zvýšit. Betonují-li se *masivnější konstrukce* po vrstvách, měla by horní vrstva mít tloušťku 250 mm až 300 mm a jakmile směs po zvibrovaní ztratí zpracovatelnost, musí se ihned povrch betonu nejprve jen skrápět vodou (mlžit) a teprve později kropit. S *ošetřováním* betonové směsi proti rychlé ztrátě vody a rychlému vysoušení povrchu se tedy musí začít okamžitě po jejím zpracování.

Závěr

Závěrem lze tedy říci, že trhliny v betonu konstrukce od objemových změn je třeba chápat jako výsledek složitějšího projekčního a výrobního procesu a že snížení pravděpodobnosti jejich vzniku závisí na tom, jak reálně jsme schopni pochopit a odhadnout průběh tohoto procesu během celého funkčního života konstrukce. Podaří-li se to, pak beton nemusí mít trhliny, jak se to ukázalo na několika stavbách, kde se k návrhu a k realizaci přistupovalo s tím, že prevence trhlin není otázkou jen *početních řešení*, ale ve stejné míře také *záležitostí projekce a technologie výroby*.

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

Literatura

- [1] *Thermal Cracking in Concrete at Early Age*, Proc. of the Int. RILEM Symposium, München, Oct. 10-12, 1994.
- [2] **Kompen R.**, *High performance concrete: Field observations of cracking tendency at early age* (v [1], str. 449-456).
- [3] **Shöppel K., Springenschmid R.**: *The Effect of Thermal Deformation, Chemical Shrinkage and Swelling on Restraint Stresses in Concrete at Early Ages* (v [1], str. 213-220).
- [4] **Šmerda Z., Šmerda J.**: *Snížení rizika vzniku povrchových trhlin v masivních betonových prvcích*, Sborník z Betonářských dnů, Pardubice 1995, I-2, str. 22-27.
- [5] **Šmerda J., Šmerda Z.**: *Objemové změny masivních betonových konstrukcí, Beton a zdivo*, 1994/1, str. 20-23.
- [6] **Šmerda Z., Křístek V.L.**: *Creep and Shrinkage of Concrete Elements and Structures*, Elsevir, Amsterdam 1988.
- [7] **Eurocode 2: Navrhování betonových konstrukcí**, Procon Praha, 1992.
- [8] **ČSN 73 1201: Navrhování betonových konstrukcí**, Praha, 1986.

Prof. Ing. Dr. Zdeněk Šmerda, CSc, Cihlářská 30, 602 00 Brno

Zesílení monolitické kruhové střešní desky

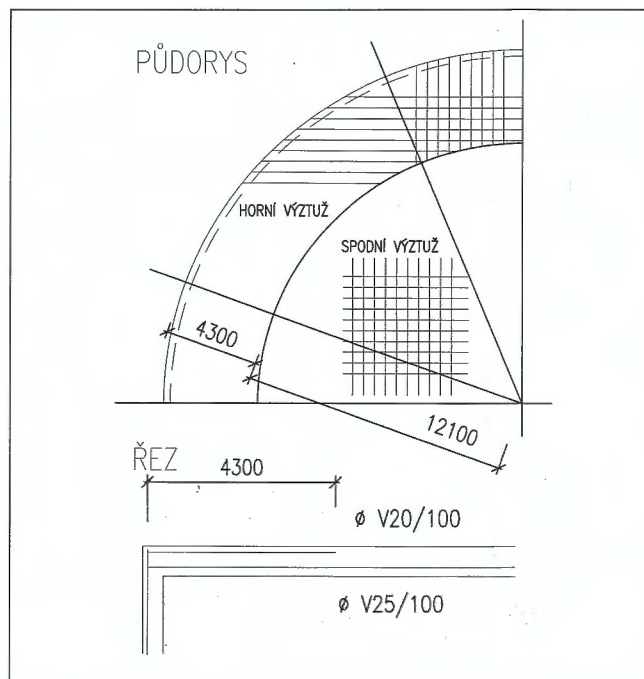
Strengthening of Reinforced Concrete Roof Slab

Petr Štěpánek, Jaroslav Vácha

Železobetonová kruhová střešní deska o rozpětí 32,4 m a tloušťce 0,5 m vykazovala při odbedňování průhyb 260 mm. Odbedňování bylo zastaveno. Konstrukce musela být zesílena. Sanace byla provedena pomocí prostorového železobetonového věšadla. Věšadlo bylo rovněž využito jako nosná konstrukce dřevěného zastřešení. Teoreticky navržený postup opravy bylo nutno korigovat vzhledem k postupu sanačních prací (vzhledem k chování konstrukce při realizaci sanace).

Reinforced concrete circular roof slab of 32,4 m in diameter and 0,5 m of thickness showed deflection 260 mm during form removal. Removal of the form was stopped. It was necessary to strengthen the structure. Spatial reinforced hanger was used for remedy. The hanger was also used as the load-bearing structure of wooden roof. Theoretical design was necessary to revise with regard to the process of the reconstruction work (behaviour of the structure during realisation).

Při výstavbě potravinářského závodu byla navržena monolitická válcová stavba s kruhovou podstavou, ke které je připojena obdélníková komunikační a technologická zóna. Světlost kruhové části objektu je 32,0 m, železobetonové stěny jsou tloušťky 0,4 m a tloušťka stropní desky 0,5 m. Výška objektu je 15,0 metrů. V části obvodu betonové stěny pod stropem je stěna přerušena otvory, mezi kterými jsou tři subtilní pilíře. V této části je kruhová deska napojena na stropní desku přílehlé obdélníkové budovy. Pro výrobu byl použit beton B30, vyztužený ocelí 10 425. Výztuž stropu byla u spodního líce desky pravoúhlá \emptyset V25 po 100 mm, horní líc desky byl vyztužen dvěma navzájem kolmými osnovami výztuže – \emptyset V20 po 100 mm v mezikruží o šířce 4,3 m v oblasti styku desky se stěnou (obr. 1).



Obr. 1 – Schéma uspořádání výztuže ve střešní desce / *Layout of roof slab reinforcement*

Obr. 2 – Celkový pohled na prostorové věšadlo / *General view on spatial hanger*

