

OMEZUJÍCÍ POŽADAVEK ■ RESTRAINING ORDER

Jim Martin

Autor v článku popisuje celkový přístup k návrhu a realizaci dlouhé rámové konstrukce budovy z pohledového betonu bez dilatačních spár. ■ The author outlines the approach taken for the design of a long, exposed reinforced concrete frame building with no movement joints.

The City of Westminster College je vysoká škola univerzitního typu s širokým záběrem vyučovaných předmětů v západním Londýně. Návrh nového kampusu, který nahradil původní objekt z 60. let minulého století, zpracoval dánský architekt Schmidt Hammer Lassen. Na realizaci 120 m dlouhé a sedm pater vysoké budovy z pohledového betonu byly kladeny velmi vysoké estetické požadavky.

INŽENÝRSKÉ OTAZNÍKY

Klíčovým úkolem projektu nosné konstrukce bylo vyřešení dilatačních úseků betonových stropních desek, protože půdorys jednotlivých podlaží je velmi nepravidelný a bylo obtížné určit spojitou dilatační spáru přes celou budovu. Proto již v prvních fázích návrhu konstrukce objektu musel statik vymyslet vhodné uspořádání nosných prvků, aby architekt mohl dále rozmyslet o prostorovém uspořádání budovy a přitom bylo jisté, že výsledná konstrukce bude schopná přenášet tahová napětí od smrštění betonu bez vzniku širokých trhlin.

Budova je dlouhá 120 m a má čtyři tuhá betonová konstrukční jádra, která výrazně omezují možnost smršťování betonových stropních desek od vysychání.

Pro řešení prostorového uspořádání doporučoval statik už v raných fázích projektu architektovi umístit tuhá jádra co nejbližší k sobě, aby se tak co nejvíce snížila tahová napětí v tvrdnoucím betonu. Dále byly desky navrženy poměrně silné, 300 mm na rozpětí 7,8 m, a byla snížena třída betonu na C28/35 z obvykle používaných C32/40, aby se



1

snížilo hydratační teplo, a tím i objemové změny od teplotního namáhání mladého betonu.

Větší tloušťka desky způsobila vyšší počáteční teplotní spád, a tím vzrůst rizika vzniku a otvírání se trhlinek od objemových změn způsobených nerovnoměrným teplotním namáháním, ale proporcionálně i snížení smršťování od vysychání, které ovlivňuje dlouhodobé smršťování. Ukázalo se tak, že právě dlouhodobé projevy objemových změn betonu jsou určující pro návrh nosné konstrukce a výsledná silnější deska umožnila efektivnější návrh výztuže.

VNITŘNÍ SÍLY

Deska musí vzdorovat silám, zvláště tahům, přenášeným do ní z šikmých sloupů na obou koncích budovy (obr. 2).

Stropní desky byly analyzovány pomocí programového systému na bázi MKP. Svislá jádra byla modelována jako liniové podpory s plně omezeným svislým pohybem a vodorovným omezením pomocí pružin, které simulovaly možný horizontální pohyb jádra.

Časné smrštění od poklesu teploty bylo vypočteno dle postupu popsaného v [1] stejně jako dlouhodobé přetvoření od smrštění a obě byla později použita na MKP modelu jako zatížení teplotou.

Výsledky této analýzy umožnily, po předchozím porozumění rozdělení tahových napětí v desce, zprůměrovat napětí po průřezu společně s rozdělením ohybových momentů a navrhnout přídatnou výztuž do míst koncentrovaného napětí, přestože v nich často byly ohybové momenty nízké.

Kroky statického projektu:

- návrh na ohybové momenty dle kritérií mezního stavu porušení (ULS)
- kontrola šířky trhlin pouze od namáhání ohybem
- kontrola napětí od počátečních objemových změn vyvolaných změnami teploty vzhledem k výztuži navržené na zatížení ohybem dle kritérií mezního stavu porušení (ULS), návrh přídatné výztuže v místech, kde původní nestačí
- kontrola dlouhodobých přetvoření od smršťování v kombinaci s ohybovým namáháním na MKP modelu a zvýšení vyztužení v místech, kde je potřeba.

Je zřejmé, že se jedná o hrubě zjednodušený popis řešení velmi komplikované úlohy, které umožnilo metodický přístup a nejrychlejší postup v celém projektu, aniž by byl příliš konzervativní.

Možná šířka trhlin byla určena s pomocí [1] a odsouhlasena architektem. Obecně, je-li podhled možno sledovat z odstupu cca 2 m, bylo i architektem odsouhlaseno, že trhlina do šířky 0,2 mm je přijatelná (obr. 5). Tam, kde je podhled výše, byly limity pro šířku trhlin měkčí, aby návrh mohl být efektivní.

VYLOUČENÍ RIZIK

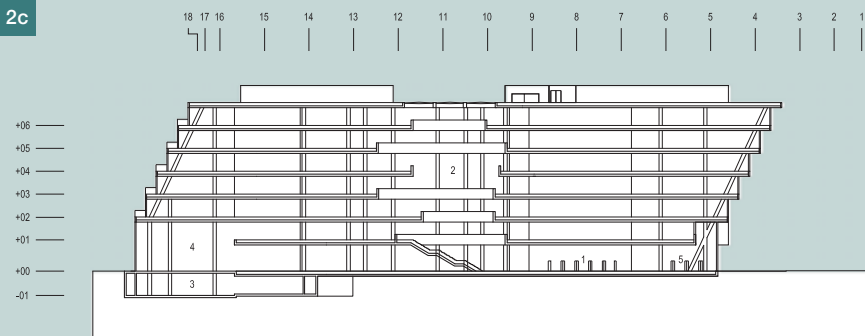
Během návrhu výztuže betonových stropních desek byla věnována velká pozornost vytvoření postupných přechodů mezi jednotlivými poli s různou intenzitou vyztužení, protože náhlé změny mohou podporovat vznik koncentrací tahových napětí od smršťování. Pro posouzení rozdělení tahových sil



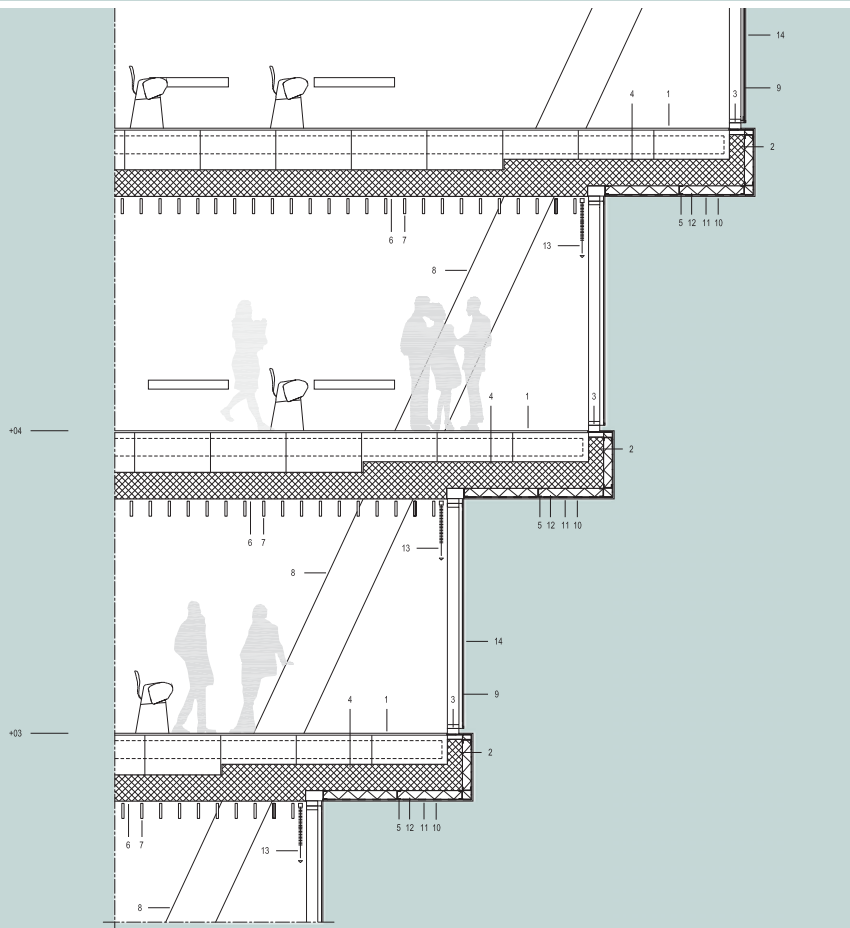
2a



2b



2d



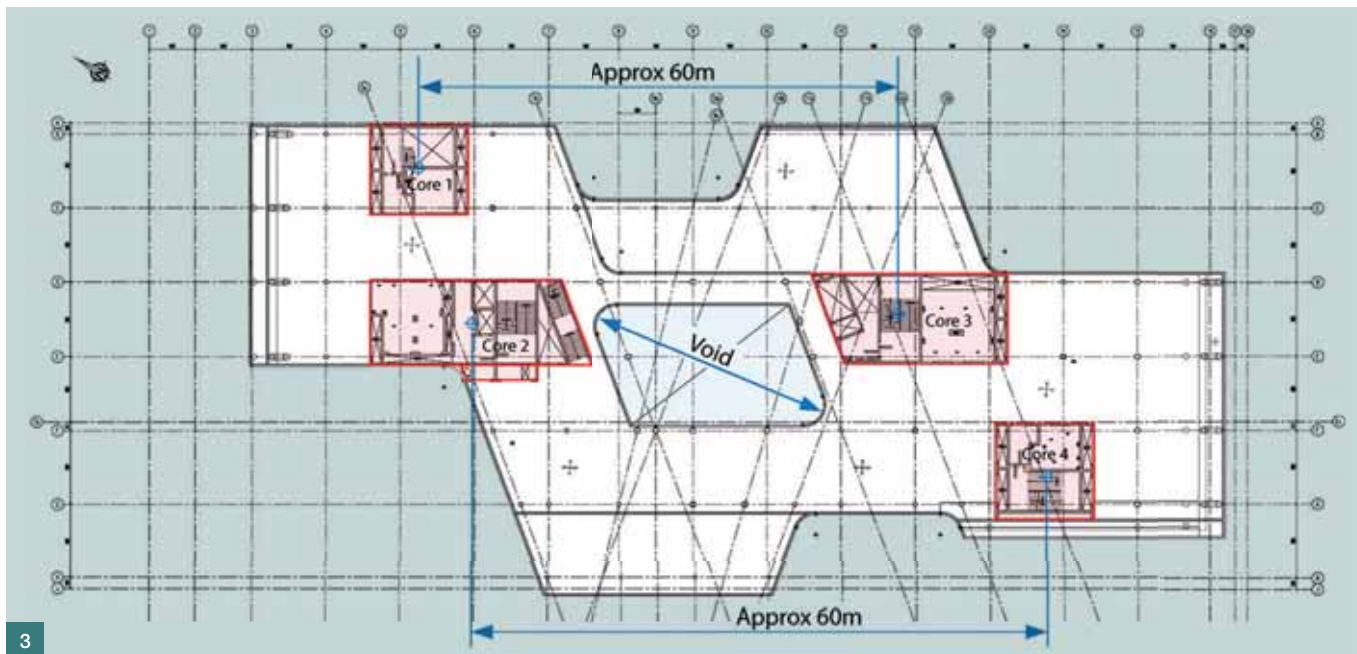
Obr. 1 Atrium v budově City of Westminster College ■ Fig. 1 City of Westminster College, atrium

Obr. 2 Šikmá západní fasáda, a), b) pohledy na dokončenou budovu, c) schematický podélný řez nosnou konstrukcí budovy, d) detail řezu konstrukcí šikmé fasády ■ Fig. 2 Sloped western facade, a), b) views of the finished building, c) longitudinal section of the building structure, d) detail of the section of the sloped facade structure

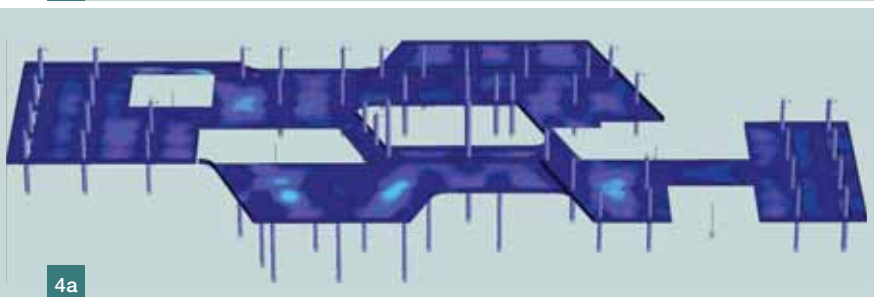
v okolí vertikálních jader byla opět použita MKP analýza numerického modelu stropní desky. Projektant tak získal jistotu, že spojení desky se stěnou jádra je opravdu navrženo tak, aby v místě spojení nevznikla trhlinka.

Statik ve spolupráci s technolozem navrhnul pro stropní desky použití betonu C28/35 s 50% obsahem mleté granulované strusky (GGBS) v pojivu, protože tak může být dosaženo významného snížení počátečního smrštění v důsledku objemových změn způsobených teplotním zatížením od probíhající hydratace, a tím je sníženo nebezpečí vzniku jemných trhlin v mladém betonu s nízkou tahovou pevností. Vysoký obsah mleté strusky v pojivu má rovněž další výhody: estetické – beton je světlejší a trvanlivostní – pojivo lépe odolává působení znečištěného městského prostředí. Nižší výsledná pevnost betonu stropních desek nebyla nejdůležitějším faktorem při návrhu betonové směsi, z tohoto pohledu byla důležitější betonáž vertikálních jader.

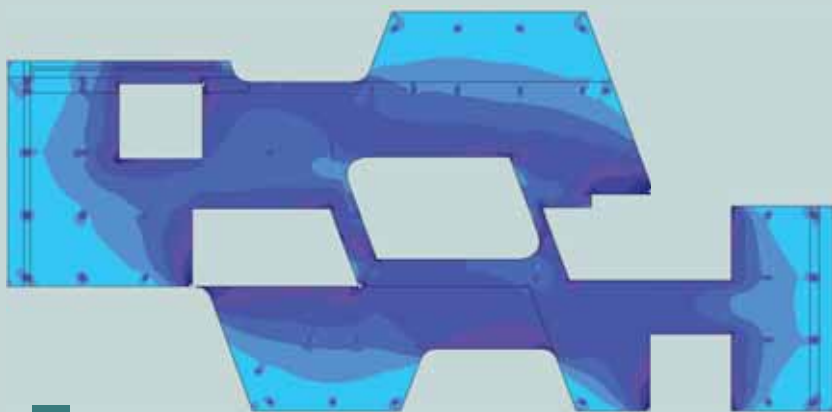
Během výběrového řízení na dodavatele stavby byl záměr projektanta s jednotlivými subdodavateli detail-



3

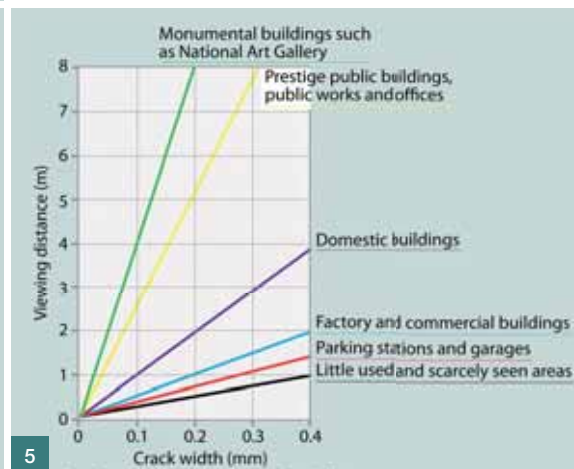


4a



4b

Architektonický návrh	Schmidt Hammer Lassen Architects, Dánsko
Statický projekt	Buro Happold, Velká Británie
Hlavní dodavatel	McLaren Construction Ltd, Velká Británie
Mezinárodní soutěž	2006
Realizace	2008 až 2010
Dokončení stavby a zahájení výuky	leden 2011



5

ně probírá tak, aby porozuměli, čeho mají během procesu výstavby dosáhnout. V každém podlaží byl připraven plán míst, odkud byl beton vypouštěn z hadice a do jaké vzdálenosti měl být z každého místa rozprostřen (obr. 6) tak, aby tyto plochy byly rovnoměrné, čerstvý beton obtékal co nejméně překážek, nevznikala slabá místa a výsledná plocha uloženého betonu byla co nejstejnomořnější, jak na povrchu, tak i uvnitř betonu – rozložení kameniva všech frakcí. Vnitřní síly tak mohou být v konstrukci rovnoměrně přenášeny a nevznikají místa s vysokou koncentrací napětí.

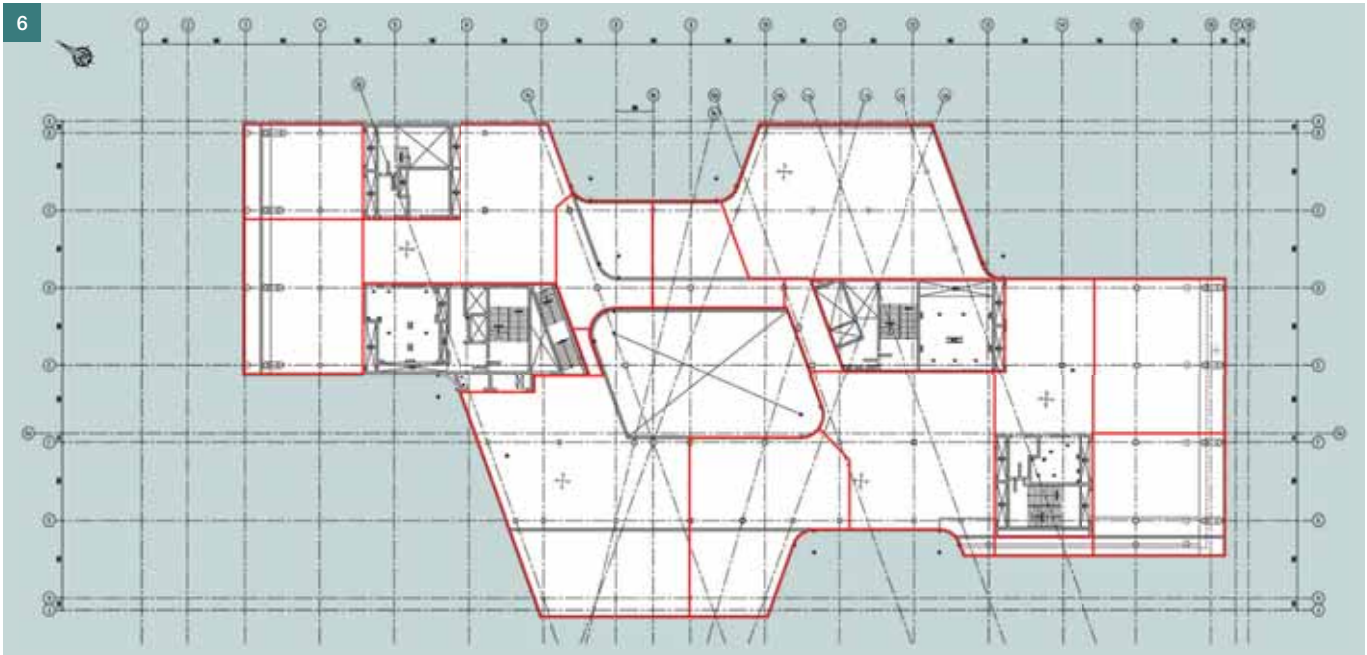
ZÁVĚR

Zvolený pečlivý přístup k návrhu i realizaci byl úspěšný a na pohledu stropů v okolí ztužujících jader se po odbednění nenašly žádné trhliny. Několik trhlín se rozvěřilo ve směru kolmém k omezení, ze záznamu o betonáži bylo vysledováno, že dané místo bylo betonováno v den s velmi vysokou teplotou vzduchu.

Pokud vezmeme v úvahu, že projekt zasáhl i do postupu výstavby, mohla by se zdát vysoká úroveň vyztužení, která měla zabránit jen vzniku trhlín od smrštění způsobeného objemovými změnami vyvolanými změnami tep-

loty betonu během časně hydratace, jako neekonomická a určité komentáře v tomto směru byly i ze strany subdodavatelů k zvýšeným požadavkům na ošetřování betonu v částech, kde byl beton ukládán během horkých letních dnů.

Na vzhledu dokončené konstrukce se však potvrdilo, že je možné realizovat betonové stropní desky s vysokým stupněm omezení smršťování betonu bez dilatačních spár a přesto splnit tvrdé limity projektu na šířku rozvěření trhlín v místech pohledově exponovaných a dosáhnout tak vysoké estetické hodnoty výsledné konstrukce.



Obr. 3 Půdorys 2. NP, raná fáze projektu ■ Fig. 3 Early sketch
 Obr. 4 a) MKP model konstrukce, b) rozdělení napětí, detail
 ■ Fig. 4 a) Finite element model, b) temperature plot, detail
 Obr. 5 Přípustné viditelné trhliny ■ Fig. 5 Visible crack width
 Obr. 6 Rozdělení plochy podlaží na betonážní úseky, 6. NP ■
 Fig. 6 Fifth-floor pour joint layout
 Obr. 7 Průhledy do členitého vnitřního prostoru budovy, a), b)
 ■ Fig. 7 Look through dissected interior of the building, a), b)



Klíčem k dosažení úspěchu je věnovat pečlivou pozornost i tzv. druhořadým účinkům už od časných fází projektu až po konečnou fázi realizace.

Redakce děkuje časopisu Concrete za souhlas s otištěním českého překladu článku. Článek Jima Martina „Restraining order“ vyšel v časopise Concrete, March 2012, str. 49-51.

Figure credit: Fig. 1, 2 a 7 SHL/Adam Mork

Jim Martin
 Buro Happold

Technický a zkušební ústav stavební Praha, s.p.
 jedna z největších zkušebních a certifikačních organizací v České republice slaví 60 let od svého založení.

Pro vaši důvěryhodnost.

TZÚS Praha, s.p.
 Prosecká 811/76a, 190 00 Praha-Prosek
info@tzus.cz, www.tzus.eu