

PRŮHYBY ŽELEZOBETONOVÝCH DESEK ■ DEFLECTIONS OF REINFORCED CONCRETE SLABS

Miloš Zich, Zdeněk Bažant

Během projekční, posudkové a znalecké činnosti je možné se často setkat se stropními konstrukcemi z monolitického železobetonu, které se po realizaci nechovaly tak, jak se od nich očekávalo; zejména docházelo k nadměrným průhybům. V článku jsou uvedeny některé poznatky a příklady, spojené s problémy statického projektování, posuzování vodorovných konstrukcí a s chováním na nich stojících příček, dveří, kovových rámců, sklobetonů apod. ■ During the design, consultancy and expert activities it is possible to meet reinforced concrete floor structures, which are excessively deflected after its construction. Some examples of structures are presented in this paper, which are associated with structural design of slabs and related problems of partition walls, doors, metal frames, glass concrete elements, installations etc., supported by these horizontal structures.

PŘÍKLADY PROBLEMATICKÝCH STROPNÍCH KONSTRUKCÍ

Železobetonové monolitické stropní desky jsou u bytové, občanské, průmyslové a jiné výstavby navrhovány již desítky let. Jsou prováděny konstrukce různých typů: jednosměrně pnuté, křížem vyztužené, liniově podepřené, bodově podepřené s rovným podhledem, případně se skrytými či viditelnými hlavicemi. Jejich použití je účelné pro běžné rozpětí okolo 5 až 7 m, výjimečně až cca 9 m [1]. Pro vyšší rozpětí se navrhují desky vylehčené (např. různými tvarovkami, kazetami apod.), případně desky předpjaté. Přestože pro navrhování železobetonových desek i jejich provádění existuje celá řada předpisů a norem, projevuje se u některých konstrukcí i po několika letech řada závad. V následujících třech příkladech jsou uvedeny objekty, které autoři posuzovali v rámci znalecké činnosti a u nichž se problémy s průhyby projeví následnými poruchami příček a stěn na nich uložených.

Lázeňský bytový dům

Dům byl dostavěn před cca třemi léty (2007) a od té doby je v provozu. Jedná se o dvoupodlažní objekt, kde v 1. PP jsou umístěny garáže bez dělicích stěn a v 1. NP se nalézají byty s členitou dispozicí. Objekt byl proveden jako železobetonový monolitický rámový skelet s křížem vyztuženými deskami tloušťky 220 mm s rovným podhledem mezi příčlemi rozměrů 400 x 550 mm; rozpětí stropů je až 7,5 m. Svislé nosné konstrukce jsou tvořeny železobetonovými vnitřními sloupy a obvodovým zdívem z keramických tvarovek, vnitřní zdívo je pak u mezipodlažních stěn řešeno z důvodu zvukové neprůzvučnosti z vápenopískových bloků.

Již v letech 2008 až 2009 byly v 1. NP zjištěny:

- vodorovné trhliny v pásu vápenopiskového zdíva tloušťky 250 mm nade dveřmi v podélné stěně mezi chodbou a byty, která spočívá přímo na stropní desce (obr. 1),
- obdobně uvnitř bytů v příčkách a dělicích zdech byly nalezeny mohutné praskliny.

Přes všechny hlavní trhliny byly provedeny sádrové kontrolní desky, které se všechny poměrně rychle porušily (obr. 2). Trhliny, mající šíři 2,5 až 3 mm, sledující ložné spáry vápenopiskového zdíva a místo od místa přecházející stupňovitě (podle bloků zdíva) dolů, se od provedení kontrolních sádrových desek dále rozevřely. Oddělené části zdíva vytvořily klenby mezi

jednotlivými nosnými rámy stavby. Trhliny byly výrazně ovlivněny vstupními dveřmi do jednotlivých bytů (u nich končí).

Další trhliny byly zjištěny u mezipodlažních stěn z vápenopiskových cihel, neuložených na průvlacích stropní konstrukce. Podobné trhliny se vyskytly i ve zdivu dělicích příček v přilehlých bytech. Je třeba poznamenat, že u příčných stropních průvlaků nad 1. PP byly na jejich bocích ve středu rozpětí viditelné kolmé pravidelné trhliny šíře 0,2 až 0,3 mm, naznačující mírný průhyb těchto prvků.

Bytové domy

Jedná se o šest konstrukčně stejných bytových domů, postavených v letech 2003 až 2004.

Domy mají přibližně čtvercový půdorys 21,1 x 19,8 m, s pěti nadzemními obytnými podlažními a jedním podzemním podlažím, sloužícím pro garážování osobních aut. Dispozičně je v horních podlažích vytvořen vnitřní komunikační prostor (schodiště, chodby, výtahy), byty jsou umístěny po obvodu stavby. Konstrukčně se jedná o stěnový nosný systém



(betonové a zděné stěny) s železobetonovými křížem vyztuženými stropními deskami na rozpětí 4,7 až 6 m. Střecha je lehká, tvořená dřevěnými příhradovými vazníky.

Stropní deska nad 1. PP byla navržena jako monolitická v tloušťce 220 mm, ostatní podlaží mají desku silnou 200 mm. Část půdorysu desky (mimo komunikační prostor ve středu půdorysu) vytvoří filigránové stropní panely tloušťky 60 mm, spřažené s monolitickou částí tloušťky 140 mm. Strop nad 4. NP je atypická deska, celá monolitická, s obrácenými průvlaky (rošty) pro vynesení ustupujícího 5. NP a střechy. Vytváří se tak prostor pro terasy.

Obvodové i vnitřní stěny 1. PP byly provedeny do bednicích betonových tvarovek tloušťky 400 (250) mm, zalitých betonem, vnitřní nosné stěny 1. až 4. NP byly vyzděny z keramických cihel AKU tloušťky 250 mm. Všemi podlažími probíhají čtyři vnitřní železobetonové sloupy průřezu 250 x 400 mm, umístěné v nosných stěnách, které leží nad sebou. Některé ze stěn tloušťky 250 mm neprobíhají až do 1. PP (tj. nejsou umístěny nad nosnými stěnami 1. PP); jedná se zejména o mezibytové stěny (příčky) a dále o stěny u vstupů do všech bytů. Tyto těžké stěny jsou uloženy na stropních deskách jednotlivých podlaží. Obvodové zdivo 5. NP zatěžuje stropní desku nad 4. NP.



Obr. 1 Charakteristické trhliny ve stěně z vápenopiskových bloků u lázeňského bytového domu ■ Fig. 1 Characteristic cracks in the wall made of lime-sand units used in a bath and residential house

Obr. 2 Vodorovné nade dveřní trhliny, porušený sádrový terčík u lázeňského bytového domu ■ Fig. 2 Horizontal cracks above the door, disrupted plaster plate in a bath and residential house

Obr. 3 Vodorovná trhlina u vstupu do bytů u bytového domu ■ Fig. 3 Horizontal crack close to entrance to the flat in the residential house

Obr. 4 Typická trhlina v sádrové příčce u přístavby pavilonu nemocnice ■ Fig. 4 Typical crack in the thin plaster wall in the hospital

U všech šesti objektů byly ve stejném rozsahu zjištěny obdobné poruchy:

- Ve stěnách ve schodištovém vnitřním prostoru, kolmých na vjezd do garáží, případně v mezibytových stěnách provedených z AKU cihel, se vyskytují trhliny. Trhliny se nacházejí v 1. až 4. NP, jsou dobře viditelné, obvykle vycházejí od rohů zárubní dveří (obr. 3), rozvaděčů apod. (tj. z oslabených míst). Při prohlídce bylo patrné, že nedávno byly tyto trhliny běžným malířským způsobem sanovány (vyplnění akrylátovým tmelem, případně překrytí textilií – perlínkou). Přesto se objevily znovu, nicméně již v menším rozsahu, po opravách byla naměřená šíře cca 0,2 až 0,4 mm. Z charakteru trhlín ve stěnách je zřejmé, že se v příčkách vytvořily kvaziklenby, vyvolané průhyby stropních desek.

- Další trhliny se vyskytují v pórobetonových příčkách (v koupelnách a sociálních zařízeních). Obvykle se jedná o příčky přiléhající k mezibytové stěně, rovnoběžné s vjezdem do garáže. Vesměs jde o šikmé a vodorovné trhliny, přitom na několika místech se vyskytují i vodorovné trhliny mezi stropní deskou a příčkami. Příčky byly ke stropní desce dotěsněny pružnou hmotou, která se deformací desek stlačila a omítka popraskala. Opět i zde je vidět, že trhliny byly nedávno opravovány, přesto se opět objevily.

- Obdobné trhliny se vyskytují ve stěnách a příčkách po celém půdorysu 5. NP.

Lze konstatovat, že většina poruch se soustřeďuje na oblast okolo mezibytových stěn (rovnoběžných s vjezdem do garáže) – tedy do stěn, které jsou uloženy na desce 1. PP a jejichž zatížení se nepřenáší přímo až na základy. Poruchy jsou nejen neestetické, ale je omezena i funkčnost vstupních dveří do jednotlivých bytů (nejdou zavírat).

Přístavba pavilonu v nemocnici

Objekt o třech nadzemních a jednom podzemním podlaží byl postaven v roce 1999. Nosné konstrukce jsou tvořeny bodově podepřenými železobetonovými deskami tloušťky 200 mm



s rovným podhledem. Desky jsou uloženy na sloupech 400 x 400 mm, rozmístěných v osnově (6 + 6,4 + 6,4 + 6) x (6 + 6 + 6 + 7,2) m. Kromě drobných nástaveb nad střechou jsou svislé nosné konstrukce ve všech podlažích stejné a umístěné nad sebou. V objektu byly užity příčky tloušťky 80 mm a výšky 3,6 m ze sádrových bloků; některé z nich byly v 1. NP v oblasti rentgenů vyzděny ze sádrových bloků 2 x 60 mm s mezerou tloušťky 40 mm, vyplněnou barytem.

Po cca deseti letech provozu budovy bylo nezbytné provést podrobný pasport velkého množství trhlín v příčkách. Bylo konstatováno:

- Trhliny se vyskytují ve všech podlažích a na všech příčkách a v celém půdorysu stavby.
- Nejširší a nejdelší trhliny byly nalezeny v 1. NP a 2. NP v místě s největším rozpětím stropní desky.

Umístění a směr trhlín v příčkách nasvědčují nadměrným průhybům všech stropních desek. Šířky trhlín se pohybují od vlasové šíře až po trhliny velice výrazné, otevřené až 3 mm (obr. 4). Masivní trhliny se vyskytují na styku deformovaného obráceného stropního průvlaku 2. NP a nosného zdiva 3. NP (obr. 5). Poruchy působí neesteticky, ale objevují se i problémy se zavíráním dveří, s deformacemi rámu otvorů apod. (obr. 6). Uživatel objektu nechával opakovaně zapravovat trhliny malířskými metodami, avšak neúspěšně a trhliny se v příčkách objevují znovu a znovu.



Příčiny poruch

Uvedené příklady stropních desek vykazují obdobné příčiny vzniku trhlin v příčkách, které bylo možno shrnout do následujících bodů:

- U prvních dvou objektů se jedná o nevhodný konstrukční systém objektu v kombinaci rozdílným dispozičním uspořádáním 1. PP a dalších podlaží. Jsou použity těžké mezi-bytové zděné příčky, které byly uloženy na měkkých stropních deskách, které se prohýbají. Konstrukční systém měl zohlednit použití těžkých stěn, např. vložením tuhých průvlaků pod tyto stěny, případně použitím železobetonových stěn nebo stropních desek s výrazně větší tloušťkou.
- Těžké mezi-bytové zděné příčky se ve skutečnosti nechovají jako nenosné a vlivem deformací stropní desky se z nich stávají stěny „nosné“. Zatížení z horních podlaží se tak postupně sečítá a vnáší do nejspodnější desky, která se nutně prohne více, než bylo původně uvažováno.
- U prvního objektu se navíc projevila chyba postupu výstavby, kdy mezi-bytové příčky v 1. NP byly zděny dříve než strop nad nimi; jsou tedy nosné pro desku nad 1. NP (tj. pro střechu). Tak se tedy zatížení ze střechy (včetně zatížení sněhem) přenáší do desky nad 1. PP (nad garážemi), která se prohнула. Při každém spadu sněhu se tedy deformuje nejen horní stropní deska, ale i deska o podlaží níže.
- Stropní desky všech objektů se prohuly a zděné stěny a příčky nebyly schopny průhyb přenést a vytvořily se v nich trhliny.
- Pochybení ve statickém výpočtu, zejména nedimenzování desek na mezní stav průhybu. U žádného z objektů nebylo ve statickém výpočtu provedeno posouzení mezního stavu průhybů, případně šířky trhlin podle tehdy platných norem. Ve statickém výpočtu nebyl často uveden ani pružný průhyb jednotlivých prvků.
- Ze statického výpočtu nebylo ani u jednoho objektu zřejmé, jak bylo uvažováno zatížení příčkami, tj. jakou objemovou tíhu příček projekt předpokládal. V průběhu výstavby navíc u všech objektů došlo ke změnám materiálů příček a stěn a k dalším dispozičním změnám, a tak bylo velmi obtížné ověřit, zda předpokládané zatížení příčkami bylo ve skutečnosti dodrženo. Plošná hodnota zatížení příček byla v projektech často jen stroze a relativně nedostatečně odhadována. Přitom mělo být zatížení těžkými příčkami jednoznačně ve výpočtu uvažováno jako liniové.
- Všechny stropní desky byly v řadě míst dimenzovány na mezní stav únosnosti ohybovým momentem bez výraznějších rezerv, tj. velmi úsporně.
- U prvního objektu byl použit způsob vyztužování desky s ohyby výztuže umístěnými ve čtvrtinách rozpětí a s pře-

Obr. 5 Trhlina ve stěně v místě obráceného stropního průvlaku ■
Fig. 5 Crack in the wall in the location of reversed floor girder

Obr. 6 Trhliny u dveřních zárubní ■ Fig. 6 Cracks at the doorframe

vedením této výztuže k hornímu povrchu. Tento způsob vyztužení je zcela nevhodný a již zastaralý, na řadě míst totiž nebyly v blízkosti podpor splněny normami dané minimální vzdálenosti nosné výztuže v deskách (dle ČSN 73 1201 rovné 2h, nejvýše 400 mm).

- Desky nebyly v místech, kde není staticky nutná výztuž, opatřeny alespoň minimální konstrukční výztuží (např. kari sítí) pro zachycení smršťování betonu. To mělo za následek zvětšení průhybů.
- Po provedení přepočtu všech stropních desek bylo konstatováno, že jejich vypočtený průhyb, včetně průhybu zohledňujícího vznik trhlin a dotvarování betonu, se pohyboval v hodnotě cca 1/200 až 1/250 rozpětí.
- Spodní líc stropních desek byl často zakryt dodatečnými podhledy, tepelnými izolacemi a omítkami. Po jejich odkrytí se zjistilo, že (až na případ druhého objektu) desky nevykazovaly výrazné viditelné trhliny. U druhého objektu se ale našly v suterénní desce trhliny v místě koncentrace zatížení.
- Při pokusech změřit průhyb desek bylo konstatováno, že viditelné průhyby byly relativně malé, často těžko měřitelné. Při srovnání s vypočtenými průhyby bylo obtížné stanovitelné, nakolik průhybu brání jednotlivé příčky, a též nebyl znám výchozí stav bednění stropní desky. O celkovém průhybu desek bylo tedy často možno jen spekulovat.
- Ani jeden objekt nevykazoval problémy se založením.

OBECNÉ POZNÁMKY K NÁVRHŮM STROPNÍCH MONOLITICKÝCH DESEK

Z hlediska statického řešení lze na základě předchozích příkladů a vlastní projekční činnosti formulovat několik podmínek k projektování desek tak, aby byl výsledek jejich návrhu pozitivní.

Zejména je nutné poznamenat, že stropní deska by měla být uspořádána ze statického hlediska účelně. Je vhodné omezit zvláštní tvary konstrukcí, které se sice dají staticky zvládnout, nicméně statický návrh nadměrně znesnadňují a náklady na jejich realizaci bývají vysoké.

Vždy je možné říci, že vzhled a dispozice stavby se dají při troše dobré vůle změnit tak, aby statické schéma stropní desky bylo jednoduché a její následné chování bylo přijatelné. Nelze např. pochválit nerozumné ukládání podporových konstrukcí přímo na ohybově měkké stropní desky v různých podlažích různě nad sebe. Jde totiž o to, aby deska spoleh-

livě a staticky jasně přenášela nejen vlastní hmotnost a proměnné zatížení, ale i hmotnost konstrukcí na ní ležících až na základy a do podlaží stavby. Komplikované uspořádání stavby a jejich stropů se může během času projevit nadměrnými deformacemi nebo i poruchami stavby.

Přitom je třeba vzít v úvahu, že každý objekt by měl být uspořádán tak, aby ho bylo možné v budoucnosti použít i k jiným účelům. Za několik let nemusí být stavba s určitým vybavením vůbec zapotřebí, nebo ji bude třeba pro jiný provoz zcela rekonstruovat.

Na základě dlouholetých zkušeností lze pro projektování a provádění železobetonových stropních desek doporučit několik zásad:

- V návrhu desky je nejdůležitější určení vnějších tvarů, umístění podpor, typu statického působení a z toho zejména vyplývající volba tloušťky desky, která má rozhodující vliv na její celkové chování. Je třeba si uvědomit, že ohybová tuhost desky se mění s třetí mocninou tloušťky. Například jen prosté zvýšení desky z 200 na 220 mm má za následek zvýšení tuhosti průřezu o 33 %, a to v konečném důsledku znamená menší průhyby desky.
- Tvary konstrukcí by měly být uvažovány rozumně. Navrhovat by se měly pokud možno desky rovinných nebo přímkových povrchů, tj. takové, které se dobře bední. Pak se i snadno do bednění ukládá výztuž.
- Hlavní nosný systém by měl být (pokud je to možné) ve všech podlažích stejný. Je třeba se vyvarovat přenosu zatížení z horních podlaží přímo do desek mimo vlastní podpory. Pokud je to přesto nutné, je třeba výrazně zvýšit tuhost této desky, případně navrhnout v desce zesilující průvlaky apod.
- Stropní desky a jejich podporové konstrukce je třeba vhodně dilatovat. Dilatování se provádí ve vztahu k délce objektu a jeho výškovému uspořádání. Dilatační spára má probíhat shora dolů celým objektem. Použití vloženého pole v desce místo dilatace bývá zdrojem problémů a nelze ho doporučit.
- Pokud není použita dilatace, je třeba stavbu řešit na účinky smršťování betonu – ty bývají značné. I v místech, kde není staticky nutná žádná výztuž, je třeba věnovat pozornost návrhu alespoň minimální výztuže na účinky smršťování. Stává se, že se v těchto místech vytvoří těsně po betonáži řada smršťovacích trhlinek, které se po odbednění desky mohou sice uzavřít, ale za cenu zvýšeného průhybu.
- Účinky smršťování desek mohou mít značný vliv na dimenzování podporujících sloupů, a to zejména ve spodních suterénních podlažích, kde jsou sloupy tužší.
- Je třeba se vyvarovat nakupení otvorů v nevhodných místech, zejména v okolí lokálních podpor. To pak znesnadňuje dimenzování desky na protlačení.
- Pro omezení viditelného průhybu lze navrhovat u stropních desek nadvýšení spodního líce. Obvykle se jedná o liniové nadvýšení bednění. Je třeba si ale uvědomit, že nadvýšení neeliminuje celkový průhyb, a tedy není možné tak snížit vliv průhybů na deformace přiček, uložených na desce. Provedení nadvýšení bednění se po několika letech provozu stavby (např. při dodatečných posudcích) jen velmi těžko prokazuje, neboť obvykle o něm neexistují záznamy. Při návrhu nadvýšení je třeba vždy trvat na důsledném geodetickém zaměření bednění a zápisu o provedeném nadvýšení.
- V dnešní době výpočetní techniky nečiní statická analýza desek zásadní potíže, neboť vytvoření deskových modelů je již běžné.

NOVÝ ŘEDITEL KLOKNEROVA ÚSTAVU ČVUT V PRAZE



Do funkce nového ředitele Kloknerova ústavu ČVUT v Praze byl od 1. října 2010 jmenován Doc. Ing. Jiří Kolísko, Ph.D. Jiří Kolísko absolvoval fakultu stavební ČVUT v Praze Obor konstrukce a doprava v roce 1989. Ve stejném roce nastoupil do Kloknerova ústavu ČVUT, kde působí dodnes. V posledních několika letech zde zastával pozici vedoucího Experimentálního oddělení Kloknerova ústavu a Akreditované laboratoře Kloknerova ústavu č. 1061. Předmětem jeho odborných aktivit je experimentální ověřování mechanicko-fyzikálních vlastností konstrukcí a materiálů, diagnostika staveb, technologie betonu, sanace betonu a sanace vlhkého zdiva. V uvedených oblastech se intenzivně věnuje vědecké, expertní i pedagogické činnosti. Své zkušenosti předává studentům na Fakultě stavební ČVUT v Praze i odborné veřejnosti na seminářích, konferencích i formou publikací.

KOMPLEXNÍ POŽÁRNÍ OCHRANA A BEZPEČNOST S VYUŽITÍM BETONU



Z dílny The European Concrete Platform, která na evropské úrovni zastřešuje výrobce prefabrikátů (BIBM), cementu (CEMBUREAU), přísad (EFCA), transportbetonu (ERMCO) a kameniva (UEPG), se k nám dostává překlad příručky: „Comprehensive fire protection and safety with concrete“. Publikace je určena pro „projektanty, orgány státní správy, investory, požární úřady, pojišťovací společnosti a širokou veřejnost. Je zde ukázáno, jaké může být využití betonu pro zajištění komplexní požární ochrany, zahrnující ochranu životů, majetku a životního prostředí“.

Tuto a řadu dalších publikací můžete nalézt v různých jazycích na www.europeanconcrete.eu a českou verzi na webových stránkách časopisu www.betontks.cz.

Z obsahu uvádíme názvy hlavních kapitol: Beton poskytuje komplexní požární ochranu, Chování betonu v ohni, Požární bezpečnostní návrh s využitím betonu, Ochrana lidí, Ochrana majetku a obchodu, Beton a požární bezpečnostní inženýrství a Výhody přidané hodnoty betonu.

Michal Števíla

- Také vytvoření prostorových lineárních modelů celých budov je již v projekční praxi časté. Prostorový model by ale měl být vždy jen doplňkem k podrobnějším deskovým modelům. U prostorového modelu je dělení sítě konečných prvků často méně podrobné, model neobsahuje všechny otvory, má méně zatěžovacích stavů od nahodilého zatížení apod. Používá se spíše pro zohlednění prostorové tuhosti budovy, k analýze ztužujících jader, výpočtu reakcí na základy, výpočtů účinků od větru, dynamických účinků apod. Pro samotné dimenzování desek nemusí být vždy vhodný, zejména z důvodu vzniku tuhých rámových rohů mezi stěnami a deskami. Vždy je na projektantovi, aby uvážil vliv tohoto spojení v závislosti na typu podpory (železobetonová stěna, zdivo).
- Prostorové modely také obvykle nezohledňují smršťování a postupnou výstavbu objektu. Vznikem trhlin v železobetonových konstrukcích navíc dochází k přerozdělení vnitřních sil v deskách i stěnách. Proto se obecně doporučuje desky uvažovat bezpečně v uložení na liniových podporách jako kloubové. Dojde tím k zmenšení výztuže v rámovém rohu stěna – deska a k zvětšení výztuže desky v poli.

OMEZENÍ PRŮHYBŮ DLE EN 1992-1-1

Předchozí tři příklady desek byly dimenzovány dle původní normy ČSN 73 1201 a při zpracovávání posudků těchto staveb bylo na ně nutno tak nahlížet. V současné době ale u nás platí nové evropské normy [2]. Proti předcházející normě má však euronorma mírně odlišný náhled na provedení posouzení. Zamezilo by použití nové normy zvýšeným průhybům uvedených desek?

V nové normě se uvádí, že deformace prvku nebo konstrukce nesmí nepříznivě ovlivnit jejich řádnou funkčnost nebo vzhled. Příslušné mezní hodnoty průhybu se mají stanovit s přihlédnutím k povaze konstrukce, její povrchové úpravě, příčkám, pevnému vybavení a funkci konstrukce. Deformace nemají překročit hodnoty, kterým mohou být vystaveny jiné prvky napojené na konstrukci, jako jsou příčky, zasklení, obklady, technická zařízení budov nebo povrchové úpravy. V některých případech lze požadovat omezení deformace pro zajištění správné funkce strojního zařízení nebo přístrojů nesených konstrukcí, popř. aby se zabránilo tvoření prohlubní na plochých střechách.

Mezní hodnoty průhybů jsou v normě odvozeny z ISO 4356 a mají obecně zajistit vyhovující funkčnost pozemních staveb, a to např. u obytných, administrativních a veřejných budov nebo továren. Je však třeba se přesvědčit, že mezní hodnoty jsou vhodné pro konkrétní uvažované konstrukce, přitom ale zde nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky. Další údaje o průhybech a mezních hodnotách lze získat z ISO 4356.

Vzhled a obecná použitelnost konstrukce mohou být dle EN 1992-1-1 ohroženy, pokud vypočtený průhyb nosníku, desky nebo konzoly při kvazistálém zatížení překročí hodnotu 1/250 rozpětí; průhyb se stanoví ve vztahu k podporám. Tomu by příklady staveb z úvodu článku vyhověly, přesto se u nich problémy vyskytly. Pro kompenzaci celého průhybu nebo jeho části lze použít nadvýšení, avšak nadvýšení bednění nemá celkově překročit hodnotu 1/250 rozpětí.

Průhyby, které mohou poškodit přilehlé části konstrukcí, mají být omezeny. Obvykle vyhovující mezní hodnota průhybu po zabudování prvku od kvazistálé kombinace zatížení je dle EN 1992-1-1 1/500 rozpětí. Tomuto kritériu již předchozí příklady staveb jednoznačně nevyhovují. V závislosti na citlivosti na porušení přilehlých částí se ale musí uvažovat i jiná

menší omezení. Limitní průhyb musí být stanoven na základě analýzy interakce se souvisejícími zabudovanými konstrukcemi, a může tak být výrazně menší než 1/500 rozpětí.

Mezní stav přetvoření může být ověřován buď omezením poměru rozpětí/výška podle [2] odstavce 7.4.2, nebo porovnáním vypočteného průhybu s mezní hodnotou podle [2] odstavce 7.4.3. Normová ustanovení dávají horní mez průhybu, jejich skutečná hodnota by měla být menší. Pokud je splněno kritérium norem, je vysoká pravděpodobnost, že reálný průhyb nebude nadměrný.

Skutečné deformace se mohou lišit od vypočtených hodnot zvláště v případech, kdy hodnoty působících momentů se blíží k hodnotám momentů při vzniku trhlin. Tyto rozdíly budou záviset na rozptýlu materiálových vlastností, na podmínkách prostředí, na historii zatěžování, na omezení přetvoření v podporách, na základových podmínkách atd.

ZÁVĚR

Článek s příklady porušených příček upozorňuje na nutnost dimenzování železobetonových stropních konstrukcí na mezní stav průhybu, které u stropních desek bývají často relativně malé. Přesto je třeba důsledně zohledňovat možnost vzniku trhlin a reologické jevy v betonu. Ani mezní hodnota 1/500 rozpětí, doporučovaná v EN 1992-1-1, nemusí totiž být dostačující. V řadě případů je třeba použít kritérium ještě přísnější – až 1/1 000 rozpětí.

Je třeba si uvědomit, že pro nevyhovující deformace stropních desek je velice obtížné dodatečně zajistit nápravu. Seriozní opatření (např. předeptnutí kabely, vložení ocelových sloupků a rámu, spojené s nutností jejich aktivace) jsou velmi nákladná a vyžadují uzavření provozu, vystěhování nájemníků na dobu několika měsíců apod. Navíc existují komplikace s řadou rozvodů inženýrských sítí, vzduchotechniky apod.

V podstatě lze konstatovat, že s deskou poddimenzovanou na průhyb se u využívaného objektu reálně nedá udělat téměř nic. Lze jen provádět běžné malířské práce a předpokládat, že po několika letech dojde k ustálení průhybů a tedy i k ustálení rozvoje trhlin v příčkách a stěnách. Bohužel po tuto dobu jsou uživatelé staveb obtěžováni esteticky nepřijemnými trhlinami.

Uvedené výsledky byly získány za finanční podpory z prostředků státního rozpočtu prostřednictvím MPO ČR v rámci projektu FI-IM5/128 „Progresivní konstrukce z vysokohodnotného betonu“ a za finančního příspěví MŠMT ČR, projekt 1M0579, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS.

Ing. Miloš Zich, Ph.D.

tel.: 541 147 860, e-mail: zich.m@fce.vutbr.cz



Doc. Ing. Zdeněk Bažant, CSc.

tel.: 541 147 862, e-mail: bazant.m@fce.vutbr.cz

oba: Ústav betonových a zděných konstrukcí VUT v Brně
Veveří 95, 662 37 Brno

Literatura:

- [1] Zich M., Bažant Z.: Plošné konstrukce, nádrže a zásobníky, ISBN 978-80-7204-693-5, Akademické nakladatelství Cerm, 2010
- [2] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby, Český normalizační institut, prosinec 2006, oprava 1 07.09 a změna Z1 03.10.