

K výpočtu základových konstrukcí

Břetislav Teplý, Alois Materna, Zbyněk Keršner

Modely podloží – nelineární chování – železobetonové nosníky a rošty – tuhost železobetonových konstrukcí – redistribuce vnitřních sil – náhodná proměnlivost – pravděpodobnostní dimenzování – spolehlivostní analýza – programové vybavení

Tímto příspěvkem volně navazujeme na článek J. Bradáče [1], kde byly diskutovány – kromě dalších problémů – stále živé otázky vyvstávající při statickém řešení základových konstrukcí: výstižnost výpočetního modelu podloží v interakci s konstrukcí a tuhost betonových konstrukcí v interakčních modelech. Protože tato témata považujeme za velmi aktuální a protože jsme se jimi již v minulosti zabývali (viz např. [2], [3]), dovolujeme si připojit několik poznámek.

Hodnocení modelů podloží

V [1] jsou shrnuty problémy, na které naráží projektant při své činnosti v této oblasti a jsou tam též hodnoceny modely podloží (tzv. zjednodušené rozdělení kontaktních napětí, Winklerův model, Pasternakův, příp. víceparametrický model, model pružného poloprostoru).

K tomu lze doplnit, že "bezpečnost" či "hospodárnost" použití tohoto modelu je obtížné jednoduše hodnotit. Kromě kritérií uvedených v odst. 4 a 5 v [1] je to ovlivněno také druhem zeminy (např. Winklerův model lépe vystihuje chování základů na nekohezních zeminách než na kohezních), dále započtením jejího nelineárního chování, jejího dotvarování (faktor času) a také tuhostními poměry a uspořádáním základové konstrukce i horní stavby. Rozhodnutí o vhodnosti či nevhodnosti modelu jen srovnáním výsledků výpočtu jedné konstrukce těmito modely nemůže být dostatečně obecné.

Nelineární chování podloží při řešení železobetonových základových nosníků a roštů lze poměrně jednoduše uplatnit např. tak, jak to bylo použito pro Winklerův model (viz [2]) s ideálně pružno-plastickým diagramem. Později pak v práci [4] bylo řešení rozšířeno na obecně bilineární závislost s využitím Winklerova a Pasternakova modelu podloží. Vzhledem k vývoji výpočetní techniky však již dnes nejsou tyto programy provozovány; bylo by ale možné tam užitémi postupy výstižnost současných prostředků zlepšit.

K výstižnosti modelů pro navrhování a posuzování konstrukcí je obecně ještě nutno dodat, že drtivá většina jevů, pochodů a vlivů působících v různých stadiích trvání konstrukce má více či méně náhodnou povahu [5].

Tato skutečnost by měla být výpočetním modelem také reflektována; vede to k *pravděpodobnostnímu dimenzování* [6]. To je v současných normových předpisech částečně respektováno prostřednictvím metody mezních stavů. Také fyzikálně-mechanické vlastnosti základového podloží mohou podléhat značné náhodné proměnlivosti (co do půdorysu polohy, tak i co do hloubky). V ČSN 73 1001 [7] jsou normované hodnoty pevnostních charakteristik stanoveny jako střední hodnoty náhodných výběrů, tj. není zde předepsána statistická záruka způsobem podobným, jako pro vlastnosti konstrukčních materiálů, kde normové pevnosti jsou dány jako kvantil (obvykle pětiprocentní) příslušného rozdělení pravděpodobností. Vliv náhodných odchylek je uplatněn pomocí součinitele základové půdy γ_m , který je předepsán ve čl. 92 [7] (i když v [8] je popsán způsob, jak lze výstižněji získat γ_m na základě statistického rozboru). Pro mezní stavy použitelnosti se zavádí $\gamma_m = 1,0$, tj. náhodné chování zde není zohledněno vůbec. To se týká i přetvárných charakteristik základových půd, které se ovšem

mohou uplatnit i při posuzování mezních stavů únosnosti. Důvodem pro tuto současnou normovou úpravu byl zřejmě nedostatek dat potřebných pro kvalifikovaný statistický rozbor – viz [9], str. 88. Bylo by vhodné tuto situaci zlepšit – jisté kroky v tomto směru jsou již dnes konány, viz např. [10]. V probíhající grantovém projektu je mimo jiné vytvářen regionální informační systém vlastností základových půd a bylo by vhodné zařadit do něj též jejich statistické charakteristiky.

Vliv náhodného rozptylu koeficientu ložnosti na chování základového nosníku byl na ilustrativním příkladu ukázán v [11] a [12]. Metody *spolehlivostní analýzy* i odpovídající software jsou dnes již k dispozici, nenalézají však zatím v praxi uplatnění. Brání tomu nedostatečné povědomí projektantů o této problematice a hlavně to, že není snadné získat potřebné statistické údaje o vlastnostech podloží dané lokality. Nepochybně by byl užitečný vznik a snadná dostupnost databáze takových údajů pro nejčastěji se vyskytující typy zemín.

Přitom čl. 1.1.4 ČSN 73 0031 [13] dovoluje navrhnout konstrukce s použitím přesnějších pravděpodobnostních metod (pomocí pravděpodobnosti poruchy nebo tzv. indexu spolehlivosti). Normový rámec pro přesnější metody je tedy vytvořen již od roku 1988.

Spolehlivostní analýza ale nemusí být jen nástrojem dimenzování. Může poskytnout ještě další informace; např. ve formě statistické analýzy lze odhadnout hodnoty statistických parametrů únosnosti i konstrukce. *Citlivostní analýza* zase umožní odhadnout dominantnost jednotlivých vstupních veličin, a získat tak podklady pro další výpočty, případně i pro provádění stavby.

Vliv tuhosti železobetonových konstrukcí

Uspořádání a tuhost horní stavby i základové konstrukce má významný vliv při řešení úloh interakce, tj. též při výpočtu vnitřních sil v horní stavbě a základové konstrukci. Jde o náročnou, obecně nelineární úlohu, jejíž řešení lze dnes získat s prakticky přijatelnou pracností interaktivním postupem popsáným např. v [14].

Další problém (který též může souviset s právě naznačenou úlohou) je dán známou okolností, že u ohýbaných železobetonových prvků (a těmi jsou i základové nosníky, rošty a desky) dochází ke značnému *poklesu tuhosti* v úsecích, kde ohybové momenty dosahují hodnot momentů na mezi vzniku trhlin. To je situace běžná již při provozním zatížení a jejím důsledkem je redistribuce vnitřních sil. U konstrukcí na diskretních podporách (stropní nosníky, stropní desky apod.) nejsou tyto změny obvykle příliš významné (cca 10 až 20%) a snížení tuhosti je nutno respektovat jen při výpočtech přetvoření. U konstrukcí spočívajících spojitě na podloží však může být *přerozdělení vnitřních sil* značné. Snížení tuhosti totiž vede k tomu, že konstrukce má tendenci více se deformovat, mění se rozdělení kontaktních napětí a výrazně se tím ovlivní silové působení na konstrukci. Nerespektování této skutečnosti má za následek nevhodný návrh výtzuže (nebo i celé konstrukce), protože "celkové" ohybové namáhání obvykle výrazně klesá (ve srovnání s výsledky výpočtu nerespektujícího změny tuhosti).

Jak bylo ukázáno v [1], projektant se s tím může vypořádat iterativním způsobem, kdy postupně přizpůsobuje návrh výtzuže "redistribuovaným" momentům. Je to však způsob, který se nám zdá být nepohodlný, neodpovídající současným tendencím osvobodit projektanta od manuální práce.

Již v roce 1975 byly v [2] ukázány možnosti programů pro nelineární řešení nosníků, roštů a desek, které pomocí přírůstkové metody respektovaly vliv snižování tuhosti v souladu s tehdejší ČSN 73 1201. Změna výztuže tam ale také byla prováděna "ručně". V [2] je též uveden příklad takto řešené základové desky; v rozhodujících místech bylo možno snížit procento vyztužení v důsledku respektování změn tuhosti z původní hodnoty 0,64% na 0,50%.

Program pro takové *nelineární řešení nosníků* byl později zlepšen aplikací metody řízeného nárůstu zatížení, započtením vlivu do tvarování betonu (tj. vlivu dlouhodobého zatížení [15], vlivu teploty, vlivu smykových tuhostí a vlivu historie zatěžování jednotlivých polí [4]). Tento postup byl aplikován také na řešení vodorovně zatížených železobetonových pilot [16] a [17].

Ukázalo se, že výše zmíněný iterativní postup je možno automatizovat s cílem návrhu *optimální výztuže* (optimální ve smyslu plného využití výztuže ve všech konečných prvcích, na které je nosník při výpočtu pomocí MKP rozdělen). Pro rošty to bylo publikováno v [18], program již dnes ale není v provozu. V uživatelsky přátelské podobě v úpravě pro železobetonové nosníky (se všemi zlepšeními uvedenými výše) je program k dispozici na počítačích třídy PC na Ústavu stavební mechaniky Stavební fakulty VUT v Brně. Jeho stručný popis a ukázkou způsobu řešení lze nalézt v [19], kde je též uveden ilustrativní příklad návrhu podélné nosné výztuže základového nosníku. Tímto programem byl též dimenzován základový nosník (s uvažováním Winklerova modelu) již dříve řešený v [2]. Ukázalo se, že podélné výztuže v rozhodujícím průřezu může být o 60% méně, než při lineárním výpočtu pomocí zjednodušeného rozdělení kontaktních napětí, resp. o 35% méně, než při lineárním řešení nosníku na Winklerově podloží.

Závěr

Tento článek diskutuje některé aspekty výpočtů základových konstrukcí a informuje čtenáře také o některých pracích publikovaných před deseti až dvaceti lety. V té době vyvinutý software nemohl být běžně využíván, a proto ani nebyl udržován a rozvíjen. Dnes se zdá být situace jiná, práce na PC je pro většinu projektantů běžná a výše diskutované problémy se mohou dostat do jiného úhlu pohledu. Svědčí o tom ostatně i článek [1].

Autoři také upozorňují na nový trend – tzv. spolehlivostní analýzu, která se stane (podle jejich názoru) užitečným nástrojem inženýrského rozhodování.

Literatura

- [1] Bradáč J.: Interakční modely velkoplošných základů. *Beton a zdivo*, 1993/1–2, s. 60–63.
- [2] Teplý B., Materna A.: Řešení železobetonových prutových a deskových konstrukcí s ohledem na vznik trhlin. *Sborník semináře*

"Použití nelineární mechaniky v inženýrské praxi", ČVTS Ostrava, 1973, s. 80–107.

- [3] Teplý B., Materna A., Šmiřák S.: Využití metody konečných prvků při výpočtu železobetonových konstrukcí se zřetelem na vznik trhlin. *Sborník semináře "Metoda konečných prvků ve stavebnictví"*, ČVTS Ostrava, 1973, s. 138–174.

- [4] Teplý B., Keršner Z.: Automatizace statického řešení železobetonového nosníku v návaznosti na revizi ČSN 73 1201. *Stavební výzkum*, 1985/2, s. 18–22.

- [5] Teplý B.: Spolehlivostní analýza – možnosti její aplikace. *Stavební obzor*, 1994/6, s. 178–182.

- [6] Tichý M.: *Pravděpodobnostní optimalizace dimenzování stavebních konstrukcí*. Praha, Academia, 1988, 133 s.

- [7] ČSN 73 1001 *Základová půda pod plošnými základy*, 1987.

- [8] Štěpánek Z.: Mezní stavy v zakládání staveb. *Sborník 7. Geodetického sympozia*, Brno, 1987, s. 40–51.

- [9] Tichý M., Dobr J.: *Mezní stavy stavebních konstrukcí. Komentář k ČSN 73 0031*, ÚNM Praha, 1980.

- [10] Šamalíková M.: *Regionální informační systém o základových půdách*. Dílčí zpráva o řešení grantového projektu GA ČR103/93 /0187.

- [11] Teplý B., Materna A., Keršner Z., Novák D.: Statistická analýza základových nosníků. *Sborník konference NUMEG'87*, Štrbské Pleso, 1987, s. 27–31.

- [12] Novák D., Teplý B.: Statistical Analysis of Random Behaviour of RC Beams. *Knižnice odborných a vědeckých spisů VUT v Brně*, A–52, 1991, s. 127–136.

- [13] ČSN 73 0031 *Spolehlivost stavebních konstrukcí a základových půd – základní ustanovení pro výpočet*, 1988.

- [14] Kolář V.: *FEM–Z. Teoretický manuál k programům pro výpočty základů a zemních těles*, FEM Consulting, Brno, 1993.

- [15] Teplý B.: Výpočet účinku dlouhodobého působení zatížení na železobetonové nosníky a rošty. *Pozemní stavby*, 1976/8, s. 367–368.

- [16] Teplý B., Frydrych O., Sovák P.: Automatizace statických výpočtů ohybově namáhaných pilot. *Pozemní stavby*, 1978/2, s. 457–458.

- [17] Teplý B.: K problému statického řešení vodorovně namáhaných pilot a šachtových pilířů. *Inženýrské stavby*, 1979/1.

- [18] Teplý B.: Optimization of Longitudinal Reinforcement of Floor and Foundation RC Beams and Grids. *Stavebnický časopis*, 1976/5, s. 407–414.

- [19] Novák D., Trávníček J.: Optimalizovaný návrh podélné výztuže železobetonových nosníků. *Stavební výzkum*, 1991/2, s. 1–4.

Doc. Ing. Břetislav Teplý, CSc., vedoucí Ústavu stavební mechaniky FAST VUT v Brně, Veveří 95, 662 37 Brno, tel. 05–7261360

Doc. Ing. Alois Materna, CSc., děkan FAST VUT v Brně, Veveří 95, 662 37 Brno, tel. 05–7261101

Ing. Zbyněk Keršner, CSc., odborný asistent Ústavu stavební mechaniky FAST VUT v Brně, Veveří 95, 662 37 Brno, tel. 05–7261367

O betonu a zdivu v českých časopisech

STAVEBNÍ OBZOR – Letošní květnové číslo přináší zajímavé příspěvky o obytných kaskádách v Olomouci (J. Vrba), o rekonstrukci haly z betonu s hlinitanovým cementem (Č. Dobeš, K. Jerie, V. Křístek a F. Trčka), o spolehlivostní analýze pevnosti betonu (Z. Keršner a D. Novák) a o revidované ČSN 73 6207 (B. Voves). Rekonstrukcí poškozené cihelné klenby se zabývají v čísle 6 Z. Bill a V. Žďára.

TUNEL – Tento již tradiční časopis a.s. Metrostav zveřejňuje běžné články o betonových konstrukcích tunelových ostění v různých aplikacích. Většina z textů může být podnětná i v jiných oblastech betonového stavitelství. Upozorňujeme zejména na zajímavé informace o stříkaném drátkobetonu (č. 1994/3, J. Barták) a v témže čísle o sanacích podzemních staveb (P. Lebr).

STAVITEL – Francouzskými železobetonovými bazény firmy "Desjoyaux" se zabývá P. Čeček v č. 1994/9; tamtéž najdeme stat o prolypropylenových vláknech do betonu (J. Dohnálek) a o nejvyšší budově v Amsterdamu (železobetonové jádro o výšce 135 m). V říjnovém čísle je pak zajímavý zejména článek o protihlukových sklocementových bariérách. Upozorňujeme na pravidelné dvouměsíční cenové informace a také na přehled českých technických norem, který Stavitel zveřejňuje.

Náš výběr článků je víceméně náhodný a rozhodně není úplný. Budeme potěšeni, jestliže nás upozorníte na zajímavé statě jinde publikované.

Redakce