

INTERAKČNÍ DIAGRAM PRO PROSTÝ BETON PODLE ČSN EN 1992-1-1

INTERACTION DIAGRAM FOR PLAIN CONCRETE ACCORDING TO ČSN EN 1992-1-1

SERIÁL
EN 1992

MICHAL SEDLÁČEK, JIŘÍ KRÁTKÝ

Článek je věnován návrhu konstrukcí z prostého betonu.

This paper is devoted to the design structures of plain concrete.

Od prosince 2006 začala v České republice platit nová betonářská norma ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby [1]. Norma stanovuje kromě jiného také základní vztahy pro navrhování a posuzování konstrukcí z prostého betonu. Cílem článku je seznámit čtenáře se základními vztahy pro posuzování průřezu z prostého betonu na kombinaci ohybového momentu a normálové síly podle mezního stavu únosnosti (MSÚ).

CHOVÁNÍ KONSTRUKCÍ Z PROSTÉHO BETONU PŘI MSÚ

K porušení konstrukcí z prostého betonu může dojít dvěma způsoby:

- rozdrčením tlačенého betonu při normálové síle působící:
 - dostředně nebo mimostředně, ale v jádru průřezu, zpravidla bez vzniku trhliny od ohybu v betonovém průřezu (obr. 1a),

- mimostředně mimo jádro průřezu, ale uvnitř celého obvodu průřezu, přičemž lze připustit vznik ohybové trhliny i její neomezené otevírání (obr. 1b),

- vznikem trhliny při normálové síle působící mimo obvod průřezu, přičemž únosnost průřezu je závislá na pevnosti betonu v tahu za ohybu a trhlina nesmí vzniknout při MSÚ, který je současně i mezním stavem vzniku trhliny (MSVT), aby v kritickém průřezu mohla nastat rovnováha vnitřních sil (obr. 2).

Poněvadž při prvním způsobu výpočtu lze předpokládat, že v tlačené oblasti betonového průřezu dojde ke zplastizování betonu, je možné pro stanovení únosnosti konstrukce použít plasticitní výpočet. Při druhém způsobu výpočtu rozhoduje o únosnosti konstrukce pevnost betonu v tahu za ohybu a s ohledem na malou hodnotu pevnosti f_{ctd} je výstižně uvažovat pružnostní výpočet.

Oba uvedené způsoby výpočtu pro konstrukce z prostého betonu lze použít podle [1] pro konstrukce převážně tlačené (např. klenby stropů, tunelů a mostů). Je ovšem potřeba posoudit také podmínky stability konstrukce.

Teoretické vztahy a předpoklady pro chování prvků z prostého betonu jsou podrobně uvedeny např. v [2] a [3].

V tomto příspěvku se zaměříme na praktické využití těchto teoretických poznatků, tzn. na posouzení únosnosti mimostředně tlačných obdélníkových prvků z prostého betonu pomocí interakčního diagramu pro ohybový moment a normálovou sílu.

SESTROJENÍ INTERAKČNÍHO DIAGRAMU PRO SOUMĚRNÝ PRŮZEC

Návrhová pevnost betonu v dostředném tlaku f_{cd}

$$f_{cd} = \alpha_{cc,pl} \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

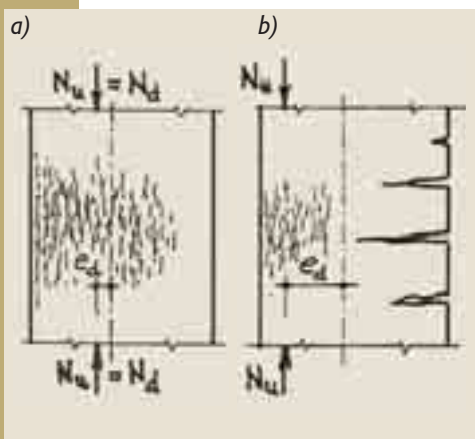
kde $\alpha_{cc,pl}$ je redukční součinitel přihlízející k menší duktilitě zplastizovaného tlačného prostého betonu. Při mezním poměrném stlačení betonu $\epsilon_{cu} = 3,5 ‰$ doporučuje [1] volit hodnotu $\alpha_{cc,pl} = 0,8$. Podle Národní přílohy v ČR platí stejná doporučená hodnota. f_{ck} je charakteristická hodnota pevnosti betonu v dostředném tlaku a γ_c je součinitel spolehlivosti betonu.

Návrhová pevnost betonu v dostředném tahu f_{ctd}

$$f_{ctd} = \alpha_{cc,pl} \frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c}$$

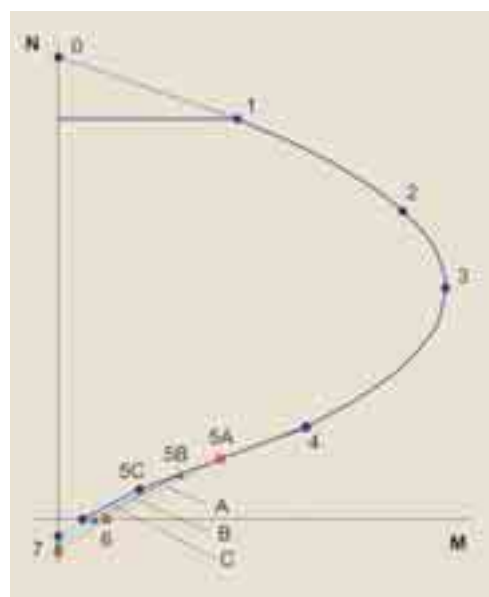
Obr. 1 Tlakové porušení prvku z prostého betonu [3]

Fig. 1 Failure of the plain concrete section [3]



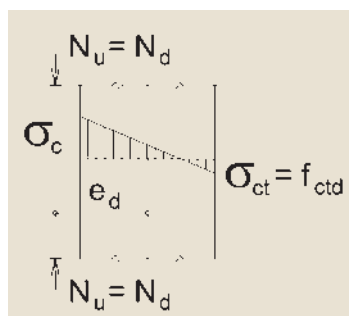
Obr. 3 Interakční diagram pro obdélníkový průřez z prostého betonu

Fig. 3 Interaction diagram for rectangular cross-section of plain concrete



Obr. 2 Mezní stav vzniku trhlin je současně MSÚ

Fig. 2 SLS of cracking is actually ULS



kde $\alpha_{ct,pl}$ je redukční součinitel duktility zplastizovaného taženého betonu při vzniku trhliny. Tento součinitel se podle Národní přílohy (NP) uvažuje následovně:

- $\alpha_{ct,pl} = 0,8$ při splnění dvou podmínek (obr. 3, přímká A):
 - výstižné stanovení nepřímých návrhových zatížení od objemových změn betonové konstrukce
 - zaručení charakteristické pevnosti betonu v tahu $f_{ctk, 0,05}$ průkazními zkouškami použitého betonu
- $\alpha_{ct,pl} = 0,6$ při splnění aspoň jedné z předešlých dvou podmínek (obr. 3, přímká B)
- $\alpha_{ct,pl} = 0,4$ pokud není splněna ani jedna uvedená podmínka (obr. 3, přímká C).

$f_{ctk, 0,05}$ je charakteristická hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu a γ_c součinitel spolehlivosti betonu.

Bod 0 – Teoretický dostředný tlak

Při plastickém výpočtu průřezu, u kterého lze zanedbat možnost jeho vybočení, můžeme určit normálovou sílu při MSÚ ze vztahu

$$N_{Rd0} = bh f_{cd} \quad (1)$$

kde b je šířka průřezu, h výška průřezu a moment únosnosti:

$$M_{Rd0} = 0, \quad (2)$$

Takto vypočítaná únosnost dostředně tlačného prvku se však prakticky nedá uvažovat, neboť [1] zavádí do výpočtu alespoň tzv. minimální výstřednost.

Bod 1 – Vliv geometrické imperfekce

Požadované minimální výstřednosti jsou dány následujícími vztahy:

$$e_{d,min} = \frac{h}{30} \quad (3)$$

$$e_{d,min} = 20 \text{ mm} \quad (4)$$

Tato výstřednost pokrývá účinky geometrických imperfekcí a do výpočtu uvažujeme větší z obou hodnot.

Pokud je průřez mimostředně tlačný a je připuštěn vznik trhlin s jejich otevřením, lze jeho únosnost určit obecně podle plasticitního výpočtu ze vztahu

$$N_{Rd1} = f_{cd} bh \left(1 - \frac{2e_d}{h} \right) \quad (5)$$

$$M_{Rd1} = N_{Rd1} e_d \quad (6)$$

Tento vztah platí s teoretickým omezením návrhové výstřednosti

$$e \leq e_d \leq \frac{h}{2} \quad (7)$$

Po dosažení do vztahů (5) a (6) větší z hodnot $e_{d,min}$ podle vztahů (3) a (4) dostáváme souřadnice bodu 1.

Bod 2 – Hranice jádra průřezu

Pokud hodnota výstřednosti normálové síly e_d bude mít hodnotu $e_d = h/6$ a celý průřez při pružném chování bude namáhan tlakem, potom se při MSÚ po zplastizování účinné tlačné oblasti objeví trhlinka a budou opět platit plasticitní vztahy (5) a (6) pro $e_d = h/6$, tj.

$$N_{Rd2} = f_{cd} bh \left(1 - \frac{2 \cdot \frac{h}{6}}{h} \right) \quad (8)$$

$$M_{Rd2} = N_{Rd2} \frac{h}{6} \quad (9)$$

Bod 3 – Maximální hodnota ohybového momentu únosnosti při mimostředném tlaku

Maximální hodnotu momentu únosnosti při MSÚ lze dosáhnout při $e_d = h/4$.

$$N_{Rd3} = f_{cd} bh \left(1 - \frac{2 \cdot \frac{h}{4}}{h} \right) \quad (10)$$

$$M_{Rd3} = N_{Rd3} \frac{h}{4} \quad (11)$$

Bod 4 – Mezní výstřednost z hlediska přípustného otevření trhliny

Pro připuštěnou délku trhliny $(h - x) = 0,75 h$ je v [2] odvozena mezní výstřednost $e_{d,lim} = 0,4 h$. Souřadnice bodu 4 jsou pak dány vztahem

$$N_{Rd4} = f_{cd} bh \left(1 - \frac{2 \cdot 0,4h}{h} \right) \quad (12)$$

$$M_{Rd4} = N_{Rd4} 0,4h \quad (13)$$

Od bodu 4 do počátku souřadnic omezuje plasticitou únosnost průřezu přímká vyjadřující poměr $M_{Rd} / N_{Rd} = 0,4 h$. Prakticky její platnost skončí nejpозději v bodě 5C (obr. 3).

Bod 5 – Hranice pružnostního a plasticitního výpočtu

Hraniční bod 5 musí ležet na přímce při-

puštěné mezní výstřednosti (např. $e_{d,lim} = 0,4 h$). Při větších výstřednostech již nelze zajistit rovnováhu vnějších a vnitřních sil v kritickém průřezu jinak než pružnostním výpočtem, při využití návrhové pevnosti betonu v tahu za ohybu $f_{ctd,fl}$ podle vztahu:

$$f_{ctd,fl} = \alpha_h f_{ctd}, \quad (14)$$

kde α_h je součinitel tloušťky průřezu (h je nutno dosadit v mm)

$$\alpha_h = \left(1,6 - \frac{h}{1000} \right) \geq 1,0. \quad (15)$$

Pro $e_d > e_{d,lim} = 0,4 h$ platí tedy pružnostní výpočet vyjadřující lineárně pružné chování prvku z prostého betonu.

Pružnostní výpočet určí souřadnice bodů 5 (A až C) ze vztahů:

$$N_{Rd5} = \alpha_h f_{ctd} \frac{1}{6} bh \left(\frac{0,4h}{\frac{h}{6}} - 1 \right) \quad (16)$$

$$M_{Rd5} = N_{Rd5} 0,4h \quad (17)$$

v závislosti na hodnotě zvolené návrhové pevnosti betonu v dostředném tahu f_{ctd} při uvažování redukčního součinitele dotvarování $\alpha_{ct,pl}$ (obr. 3).

Bod 6 – Prostý ohyb

Při lineárně pružném chování prostého betonu lze únosnost obdélníkového průřezu namáhaného čistým ohybovým momentem vyjádřit jednoduše vztahy:

$$N_{Rd6} = 0 \quad (18)$$

$$M_{Rd6} = \alpha_h f_{ctd} \frac{1}{6} bh^2 \quad (19)$$

Bod 7 – Prostý dostředný tah

Pokud se výjimečně u konstrukcí z prostého betonu uvažuje návrhová únosnost s přihlédnutím k tahovým normálovým silám, lze využít i souřadnic bodu 7 pro dostředný tah, které jsou dány následujícími vztahy pro pevnost betonu v dostředném tahu f_{ctd} (bez součinitele α_h):

$$N_{Rd7} = bh f_{ctd} \quad (20)$$

$$M_{Rd7} = 0 \quad (21)$$

Dokončení článku na str. 61

huje na průhyby osvětlovacího stožáru v provozním stavu.

V normě byla přijata některá zjednodušení. Jsou to zejména:

- výpočty jsou použitelné pro kruhové a pravidelné osmiúhelníkové průřezy;
- počet jednotlivých dílčích součinitelů byl redukován na minimum;
- dílčí součinitele pro posouzení mezního stavu použitelnosti mají hodnotu rovnou jedné.

V této normě je již uvedeno, že platí i pro stožáry vyrobené z polymerních kompozitů vyztužených plasty.

Norma zahrnuje požadavky na funkční vlastnosti při vodorovném zatížení způsobeném větrem a jsou v ní provedeny odkazy na předběžné evropské normy ENV 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1 a na ENV 1999-1-1 Navrhování konstrukcí z hliníkových slitin. Ačkoli se norma odvolává na tyto dva eurokódy, nejsou použité značky s nimi zcela ve shodě. Stejně jako všechny předchozí části EN 40, bude nezbytné v dohledné době i tuto část revidovat a navázat na definitivní evropské normy EN.

ČSN EN 40-4:2006 Osvětlovací stožáry – Část 4: Požadavky na osvětlovací stožáry ze železobetonu a předpjatého betonu stanoví požadavky pro osvětlovací stožáry ze železobetonu a předpjatého betonu. Platí pro dřívkové stožáry nepřesahující výšku 20 m včetně dřívkového svítidla a pro stožáry s výložníkem nepřesahující výšku 18 m přípojného bodu svítidla. Dále stanoví funkční vlastnosti, vztahující se k základním požadavkům na odolnost vůči vodorovnému zatížení větrem, zjišťované podle EN 40-3 a funkční vlastnosti při nárazu vozidla (pasivní bezpečnost), pro splnění základního požadavku č. 4 Bezpeč-

nost při užívání, zjišťované podle odpovídajících zkušebních metod, uvedených v této evropské normě nebo dostupné v jednotlivých evropských normách.

Jsou uvedeny odkazy na EN 13369:2004 Společná ustanovení pro betonové prefabrikáty a na příslušné požadavky v EN 206-1:2004 Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Odkazy na EN 13369:2004 u předpjatých betonových výrobků zajišťují homogenitu a zamezují opakování stejných požadavků.

Norma obsahuje tzv. harmonizační přílohu ZA *Ustanovení evropské normy, která se týkají základních požadavků nebo jiných ustanovení směrnice EU o stavebních výrobcích*. V této příloze jsou definovány metody aplikace značení CE u výrobků navržených podle příslušných Eurokódů (za normálních okolností EN 1992-1-1 a EN 1992-1-2). Tam, kde jsou pro mechanická namáhání a/nebo požární odolnost návrhové předpisy jiné než v Eurokódech (např. z důvodu nemožnosti aplikace podmínek Eurokódů v místě určení výrobku), jsou podmínky pro značení CE popsány v harmonizační příloze ZA.

Tyto normy byly vydány jako poslední z řady norem EN 40 a je v nich definován anglický termín „product family“ (česky „soubor výrobků“) jako skupina osvětlovacích stožárů pro účely zkoušek a/nebo výpočtů, na které může výrobce prokázat, že výsledky pro určitou vlastnost kteréhokoli výrobku jsou reprezentativní pro všechny osvětlovací stožáry v příslušném souboru. Z hlediska určité vlastnosti může být výrobek zařazen do různých souborů výrobků.

Evropská norma EN 40 pro osvětlovací stožáry z oceli vyšla v ČR dvakrát. Poprvé v srpnu 2001 jako **ČSN EN 40-5:2001**

Osvětlovací stožáry – Část 5: Specifikace pro ocelové osvětlovací stožáry a podruhé jako ČSN EN 40-5:2002 Osvětlovací stožáry – Část 5: Požadavky na ocelové osvětlovací stožáry. Platná je pouze druhá norma z roku 2002, která má harmonizační přílohu ZA. Podobně pro hliníkové osvětlovací stožáry platí pouze **ČSN EN 40-6:2002 – Osvětlovací stožáry – Část 6: Požadavky na osvětlovací stožáry z hliníkových slitin**.

Součástí řady norem ČSN EN 40 je také **ČSN EN 40-7:2003 Osvětlovací stožáry – Část 7: požadavky na osvětlovací stožáry z polymerních kompozitů vyztužených vlákny**.

Všechny výrobové normy, tedy normy požadavků na osvětlovací stožáry z betonu, oceli, hliníkových slitin a polymerních kompozitů vyztužených vlákny, mají podobnou strukturu. Obsahují zejména požadavky na materiál, na geometrické vlastnosti a rozměry, postup návrhu a ověření, požadavky na konstrukční uspořádání, zajištění ochrany proti nárazu, způsob označování a značení štítkem, požadavky na technickou dokumentaci a kontrolu shody. Všechny platné výrobové normy ČSN EN 40-4 až ČSN EN 40-7 mají harmonizační přílohu ZA.

Pokud výrobce bude chtít osvětlovací stožáry prodávat na evropském trhu, musí zajistit jejich shodu s řadou norem ČSN EN 40.

Ing. Marie Studničková, CSc.
Kloknerův ústav ČVUT v Praze
Šolínova 7, 168 00 Praha 6
tel.: 224 353 503
e-mail: studnic@klok.cvut.cz

Dokončení článku ze str. 59

ZAVĚR

Vzhledem k rychle rostoucí ceně betonářské oceli, časové náročnosti a vysoké pracnosti při jejím ukládání se dá předpokládat, že projektanti budou stále více nuceni zvažovat alternativní návrh nosných konstrukcí z prostého betonu. Jako exemplární příklady tohoto trendu v oblasti inženýrských staveb mohou posloužit tunely Libouchec a Nové Spojení.

Ing. Michal Sedláček

KO – KA, s. r. o.
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
tel.: 731 412 556, fax: 233 320 329
e-mail: sedlacek@ko-ka.cz
www.ko-ka.cz

Doc. Ing. Jiří Krátký, CSc.
Fakulta stavební ČVUT v Praze
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
tel.: 224 354 677, fax: 233 335 797
e-mail: jiri.kratky@fsv.cvut.cz
www.fsv.cvut.cz

Literatura:

- [1] ČSN EN 1992-1-1, Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, ČNI 2006
- [2] Procházka J., Štěpánek P., Kohoutková A., Krátký J., Vašková J.: Navrhování betonových konstrukcí 1 – Prvky z prostého a železobetonu, ČBS Servis 2006
- [3] Kalousek J.: Nosné konstrukce I – Betonové konstrukce, ČVUT 2001