

ZAVÁDĚNÍ EN 1992-1-1: „NAVRHOVÁNÍ BETONOVÝCH KONSTRUKCÍ“ DO PRAXE – DESKOVÉ KONSTRUKCE NOSNÉ VE DVOU SMĚRECH

INTRODUCTION OF EN 1992-1-1 "DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES" TO PRACTICE – TWO WAY SLABS

JAROSLAV PROCHÁZKA

Příspěvek, který je pokračováním částí uveřejněných v předchozích číslech časopisu, je věnován problematice navrhování deskových konstrukcí působících ve dvou směrech – deskám s poli po obvodě podepřenými, popř. deskám lokálně podepřenými.

This paper, following the introductory parts published in the previous numbers of this journal, is devoted to design of two way slabs – slab with panels supported on the periphery and flat slabs.

Článek pojednává o betonových deskových konstrukcích nosných ve dvou směrech, tj. deskách podepřených takovým způsobem, který umožňuje přetvoření desky ve dvou navzájem kolmých směrech (průhybová plocha má dvojí křivost); pro dimenzování těchto desek jsou rozhodující účinky zatížení v obou těchto směrech. Za tyto desky lze považovat i rovinné nosné konstrukce vylehčené otvory, kazetami, lehkými vložkami apod., pokud toto vylehčení je takové, že lze předpokládat rovinné působení konstrukce. Podle EN 1992 –1-1 [1] kazetové desky lze považovat za rovinné konstrukce, pokud jsou splněny následující požadavky:

- vzdálenost žebor nepřesahuje 1500 mm,
- výška žebra pod deskou nesmí být větší než čtyřnásobek jeho šířky,
- tloušťka desky je rovna nejméně 1/10 světlé vzdálenosti mezi žebry, nejméně však 50 mm (tloušťka desky může být snížena na 40 mm, pokud jsou mezi žebry trvale zabudované vložky).

Desky působící ve dvou směrech mohou být desky s poli podepřenými po obvodě trámy, nebo stěnami (křížem vyztužené desky) a desky lokálně podepřené s podporujícími prvky, které lze považovat za lokální. Lokálně podporující prvky mohou být bez viditelných hlavic (bezhlíbové desky), popř. s viditelnými hlavicemi (hlíbové desky). Deska může být v oblasti podporujícího prvku opatřena zesilující deskou.

Dále uvedená doporučení přihlížejí k ustanovením uváděným v EN 1992 – 1-1 [1], umožňujícím vyšetřovat ohybové momenty těchto desek v mezních stavech únosnosti z využitím plasticity. Sestavy zatížení a jeho hodnoty je třeba uvažovat s přihlédnutím k ČSN EN 1990[2], ČSN EN 1991-1-1[3] a dalším navazujícím evropským normám v oblasti zatížení. V mezních stavech únosnosti musí být tyto desky vyšetřeny též na protláčení, jak je uvedeno v lit. [6].

DESKY KŘÍŽEM VYZTUŽENÉ

Za tyto desky obvykle považujeme stropní deskové konstrukce s poli podporovanými po obvodě trámy nebo stěnami. Požadavkem pro návrh těchto desek je, aby poměr delší a kratší strany deskového pole nebyl větší než 2, neboť při větší hodnotě tohoto poměru převažuje působení desky ve směru kratšího rozpětí.

Uvažujeme-li desková pole pravouhelníkového tvaru podepřená po celém obvodu tak, že je zabráněno nadzvedání rohů, můžeme při jejich rovnoměrném zatížení stanovit návrhové hodnoty momentů a posouvajících sil pomocí součinitelů uvedených v Tab. 1 a 2 (viz lit. [4]). Tyto součinitele byly stanoveny za předpokladu plastického chování konstrukce (s využitím teorie lomových čar).

Plastické vyšetřování desek bez přímé kontroly plastické kapacity se podle [1] připouští, pokud jsou splněny následující podmínky:

- průřezová plocha tahové výztuže je omezena tak, že ve všech průřezích musí platit
 $x / d \leq 0,25$ u betonů pevnostní třídy $\leq C 50/60$,
 $x / d \leq 0,15$ u betonů pevnostní třídy $\geq C 55/67$,
 kde x je vzdálenost neutrální osy od tláčeného okraje průřezu desky, d je účinná tloušťka desky;

- výztužná ocel musí mít třídu tažnosti B (vysokou) nebo C (velmi vysokou – pro oblasti se seismickými účinky);
- hodnota poměru momentů ve střední podpoře a v poli musí ležet v rozmezí 0,5 až 2.

Návrhové hodnoty působících ohybových momentů se stanoví ze vztahů

$$m_{Edx} = \beta_{sx} f_d l_x^2, \quad (1)$$

$$m_{Edy} = \beta_{sy} f_d l_y^2, \quad (2)$$

kde m_{Edx} resp. m_{Edy} jsou návrhové hodnoty ohybových momentů vztažených na 1 m šířky desky ve středních třech čtvrtinách šířky desky ve směru x , resp. y ; β_{sx} resp. β_{sy} jsou součinitele v Tab. 1; f_d je návrhové zatížení v mezních stavech únosnosti, $f_d = \gamma_c g_k + \gamma_Q q_k$; l_x je kratší rozpětí deskového pole.

Maximální hodnoty návrhových posouvajících sil se stanoví ze vztahů

$$v_{Edx} = \beta_{vx} f_d l_x, \quad (3)$$

$$v_{Edy} = \beta_{vy} f_d l_y, \quad (4)$$

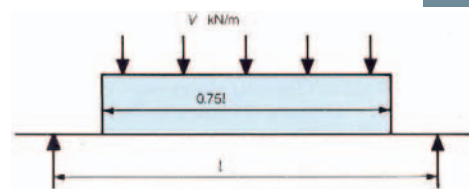
kde v_{Edx} resp. v_{Edy} jsou návrhové hodnoty posouvajících sil vztažených na 1 m šířky desky podél podpory rovnoběžné se směrem x , resp. y .

Zatížení přenášené na trámy může být stanoveno za předpokladu, že maximální hodnoty návrhových posouvajících sil, stanovené podle vztahů (3) a (4), působí na středních třech čtvrtinách délky podpory, jak je uvedeno na obr. 1.

Ohybové momenty stanovené podle vztahů (1) a (2) jsou přiměřené, pokud zatížení v přilehlých polích je přibližně stejné jako ve vyšetřovaném poli. Pokud toto není splněno, je třeba tyto momenty přiměřeně upravit. Lze použít následující postup:

- Pomocí koeficientů uvedených v Tab. 1

Obr. 1 Rozdělení zatížení na průvlaky podporující křížem vyztuženou desku
Fig. 1 Distribution of load on a girder supporting a two-way spanning slab



Typ pole a uvažované momenty	Součinitele β_{sy} pro kratší rozpětí								Součinitele β_{sy} pro všechny hodnoty poměru l_y/l_x
	Hodnoty l_y/l_x								
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,75	2,00	
Vnitřní pole									
Záporný moment u spojitého okraje	0,031	0,037	0,042	0,046	0,050	0,053	0,059	0,063	0,032
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,024	0,028	0,032	0,035	0,037	0,040	0,044	0,048	0,024
Pole na jednom kratším okraji nespojitě									
Záporný moment u spojitého okraje	0,039	0,044	0,048	0,052	0,055	0,058	0,063	0,067	0,037
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,029	0,033	0,036	0,039	0,041	0,043	0,047	0,050	0,028
Pole na jednom delším okraji nespojitě									
Záporný moment u spojitého okraje	0,039	0,049	0,056	0,062	0,068	0,073	0,082	0,089	0,037
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,030	0,036	0,042	0,047	0,051	0,055	0,062	0,067	0,028
Pole se dvěma přilehlými nespojitými okraji									
Záporný moment u spojitého okraje	0,047	0,056	0,063	0,069	0,074	0,078	0,087	0,093	0,045
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,036	0,042	0,047	0,051	0,055	0,059	0,065	0,070	0,034
Pole se dvěma kratšími nespojitými okraji									
Záporný moment u spojitého okraje	0,046	0,050	0,054	0,057	0,060	0,062	0,087	0,070	-
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,034	0,038	0,040	0,043	0,045	0,047	0,050	0,053	0,034
Pole se dvěma delšími nespojitými okraji									
Záporný moment u spojitého okraje	-	-	-	-	-	-	-	-	0,045
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,034	0,046	0,056	0,065	0,072	0,078	0,091	0,100	0,034
Pole s jedním delším spojitým okrajem									
Záporný moment u spojitého okraje	0,057	0,065	0,071	0,076	0,081	0,084	0,092	0,098	-
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,043	0,048	0,053	0,057	0,060	0,063	0,069	0,074	0,044
Pole s jedním kratším spojitým okrajem									
Záporný moment u spojitého okraje	-	-	-	-	-	-	-	-	0,058
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,042	0,054	0,063	0,071	0,078	0,084	0,096	0,105	0,044
Pole se čtyřmi nespojitými okraji									
Kladný moment uprostřed rozpětí	0,055	0,065	0,074	0,081	0,087	0,092	0,103	0,111	0,056

Tab. 1 Součinitele pro stanovení ohybových momentů rovnoměrně zatížených pravoúhelníkových deskových polí podepřených po obvodě, stanovených za předpokladu zabránění nadzvedání rohů – podle [4]

Tab. 1 Součinitele pro stanovení návrhových ohybových momentů rovnoměrně zatížených pravoúhelníkových deskových polí podepřených po obvodě, stanovených za předpokladu zabránění nadzvedání rohů – podle [4]

stanovíme podporové ohybové momenty pro všechna pole ležící v jednom směru. Hodnoty těchto momentů považujeme za momenty v dokonalém vetknutí a použitím metody rozdělování momentů upravíme jejich hodnoty v závislosti na poměrných tuhostech polí.

- Za předpokladu, že obrazec průběhu momentů v poli má tvar parabolický, upravíme s přihlédnutím ke stanoveným upraveným momentům v podporách moment v poli. Úpravu provedeme za předpokladu, že celkový moment v poli M_{tot} stanovený ze vztahu (5), zůstává stejný před i po úpravě momentů.

$$M_{tot} = (M_{Edl} + M_{Edr}) / 2 + M_c \quad (5)$$

kde M_{Edl} resp. M_{Edr} jsou podporové momenty v levém, resp. pravém konci pole, M_c je moment ve středu rozpětí.

Uvedený postup, pokud je třeba, se provede v obou směrech, jak je znázorněno na obr. 2.

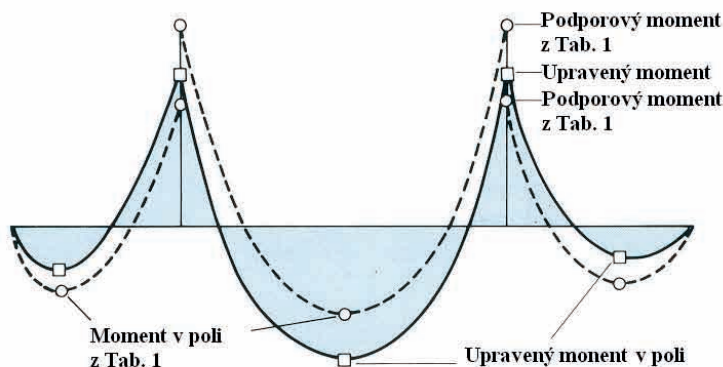
Pro zachycení deskových kroutících momentů působících v rozích polí, je třeba navrhnout následující výztuž zachy-

cující účinky kroucení při zabránění nadzvedání rohů pole (viz obr. 3):

- Rohová výztuž musí být provedena v každém rohu pole, kde se stýkají dva prostě podepřené okraje deskového pole. Tato výztuž se umístí při horním i dolním okraji; v každé této vrstvě se pruty umístí rovnoběžně s okraji desky,

Obr. 2 Postup úpravy momentů v přilehlých polích

Fig. 2 Procedure for adjusting moments in adjacent spans



Typ pole a uvažované momenty	Součinitele β_{vx} pro všechny hodnoty poměru l_y/l_x								Součinitele β_{vy} pro hodnoty l_y/l_x
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,75	2,00	
Vnitřní pole									
Spojité okraj	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,33
Pole na jednom kratším okraji nespojitě									
Spojité okraj	0,36	0,39	0,42	0,44	0,45	0,47	0,50	0,52	0,36
Nespojitý okraj	-	-	-	-	-	-	-	-	0,24
Pole na jednom delším okraji nespojitě									
Spojité okraj	0,36	0,40	0,44	0,47	0,49	0,51	0,55	0,59	0,36
Nespojitý okraj	0,24	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38	-
Pole se dvěma přilehlými nespojitými okraji									
Spojité okraj	0,40	0,44	0,47	0,50	0,52	0,54	0,57	0,60	0,40
Nespojitý okraj	0,26	0,29	0,31	0,33	0,34	0,35	0,38	0,40	0,26
Pole se dvěma kratšími nespojitými okraji									
Spojité okraj	0,40	0,43	0,45	0,47	0,48	0,49	0,52	0,54	-
Nespojitý okraj	-	-	-	-	-	-	-	-	0,26
Pole se dvěma delšími nespojitými okraji									
Spojité okraj	-	-	-	-	-	-	-	-	0,40
Nespojitý okraj	0,26	0,30	0,33	0,36	0,38	0,40	0,44	0,47	-
Pole s jedním delším spojitým okrajem									
Spojité okraj	0,45	0,48	0,51	0,53	0,55	0,57	0,60	0,63	-
Nespojitý okraj	0,30	0,32	0,34	0,35	0,36	0,37	0,39	0,41	0,29
Pole s jedním kratším spojitým okrajem									
Spojité okraj	-	-	-	-	-	-	-	-	0,45
Nespojitý okraj	0,29	0,33	0,36	0,38	0,40	0,42	0,45	0,48	0,30
Pole se čtyřmi nespojitými okraji									
Nespojitý okraj	0,33	0,36	0,39	0,41	0,43	0,45	0,48	0,50	0,33

příčměž tyto pruty musí zasahovat od okraje minimálně na vzdálenost rovnou pětině kratšího rozpětí. Plocha výztuže v každém směru musí být rovna nejméně třem čtvrtinám plochy výztuže stanovené pro přenesení maximálního momentu v deskovém poli.

- Rohová výztuž musí být provedena v každém rohu pole, kde se stýká prostě podepřený a spojitý okraj deskového pole. Tato výztuž se uloží kolmo k prostě podepřenému okraji, a to při obou površích desky. Pruty musí zasahovat od okraje minimálně na vzdálenost rovnou pětině kratšího rozpětí. Plocha výztuže u každého povrchu musí být

Tab. 2 Součinitele pro stanovení smykových sil rovnoměrně zatížených pravoúhelníkových deskových polí podepřených po obvodě, stanovených za předpokladu zabránění nadzvedání rohů – podle [4]

Tab. 2 Součinitele pro stanovení návrhových smykových sil rovnoměrně zatížených pravoúhelníkových deskových polí podepřených po obvodě, stanovených za předpokladu zabránění nadzvedání rohů – podle [4]

rovna nejméně třem osminám plochy výztuže stanovené pro přenesení maximálního momentu v deskovém poli (polovina výztuže uvedené v předchozím odstavci).

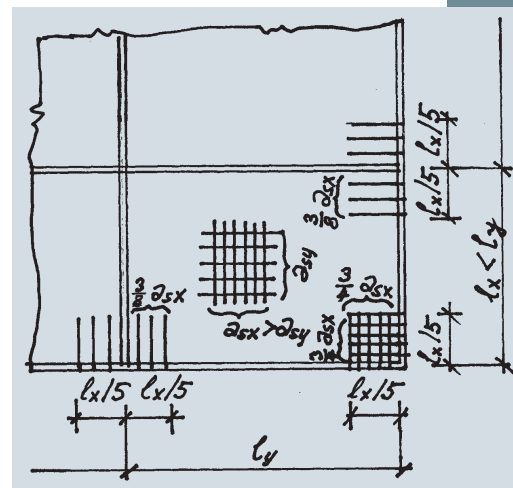
- Rohovou výztuž není třeba provádět v rohu pole, kde se stýkají dva spojitě okraje deskového pole.

DESKY LOKÁLNĚ PODEPŘENÉ

Desky lokálně podporované mohou být vyšetřovány za použití osvědčených metod, jako je metoda sítí (kde deska je idealizována sestavou vzájemně spojených diskretních prvků), metodou konečných prvků, metodou lomových čar nebo

náhradními nosníky, popř. rámy. Při vyšetřování je třeba použít vhodných geome-

Obr. 3 Torzní výztuž v rozích desky
Fig. 3 Torsion reinforcement at a corner of the slab

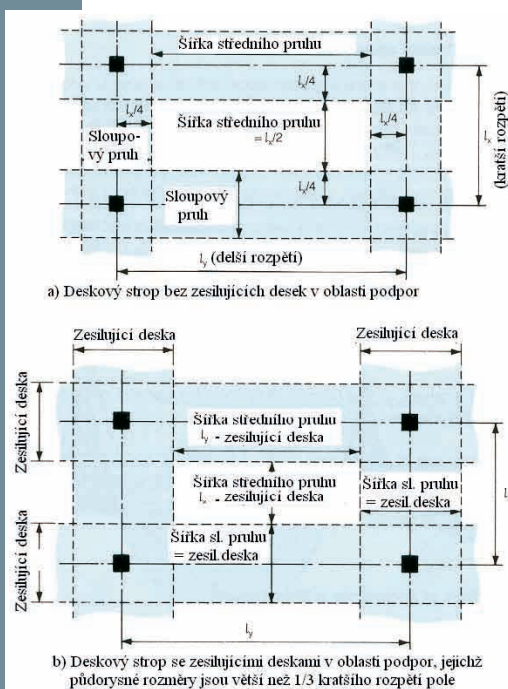


Tab. 3 Zjednodušené rozdělení ohybových momentů u desky lokálně podepřené

Tab. 3 Zjednodušené rozdělení ohybových momentů u desky lokálně podepřené

	Zápomné momenty [%]	Kladné momenty [%]
Sloupový pruh	60 až 80	50 až 70
Střední pruh	40 až 20	50 až 30

Celkový záporný moment přenesený sloupovým i středním pruhem musí vždy v součtu dávat 100 %, obdobně toto platí pro kladný moment.



Obr. 4 Rozdělení desky lokálně podepřené na sloupové a střední pruhy
Fig. 4 Division of flat slabs in column and middle strips

1990[2] a velikosti zatížení uvedených v normách ČSN EN 1991[3].
V Příloze I normy EN 1992-1-1 jsou uvedena následující doporučení.

METODA NÁHRADNÍCH RÁMŮ

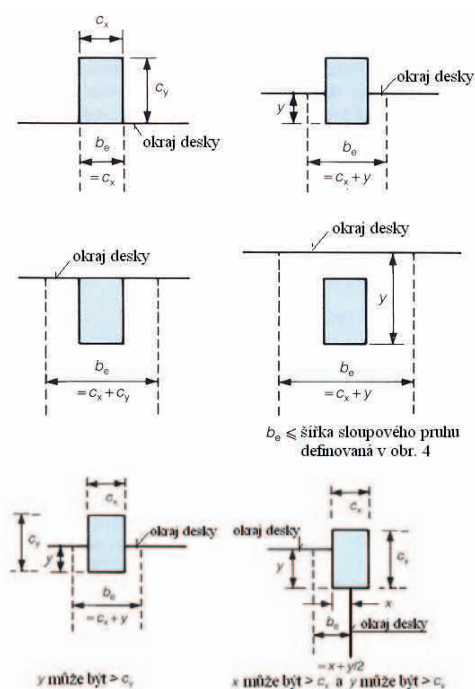
Metodu lze použít pro vyšetřování deskových konstrukcí lokálně podepřených s pravoúhelníkovými deskovými poli. Konstrukce se rozdělí na podélné a příčné rámy sestávající ze sloupů a přilehlých částí desek ohraničených střednicemi přilehlých polí. Tuhosti prvků mohou být stanoveny při uvažování příčných průřezů prvků. Pro svislé zatížení mohou být tuhosti stanoveny při uvažování celé šířky polí. Pro vodorovné zatížení se použije 40 % těchto hodnot, aby byla vyjádřena vzrůstající poddajnost ve styčných sloupu a desky těchto deskových konstrukcí ve srovnání s rámovými konstrukcemi, kde jsou sloupy spojeny s průvlaky. Při vyšetřování se uvažuje celkové zatížení v každém směru.

Celkové záporné a kladné ohybové momenty, stanovené řešením rámové deskové konstrukce se rozdělí po šířce desky. Při vyšetřování konstrukce za předpokladu pružného působení se záporné momenty soustřeďují ke středním sloupům.

trických a materiálových údajů. Pro stanovení vnitřních sil těchto konstrukcí lze použít při stanovení silových účinků zatížení metod podrobně popsaných v ČSN 73 1204 [5], avšak při uvažování součinitelů zatížení uvedených v ČSN EN

Obr. 5. Definice účinné šířky b_e pro různé typické případy okrajových a rohových sloupů

Fig. 5 Definition of effective breadth b_e for various typical cases of edge and corner columns



Desková pole v každém směru se rozdělí na sloupové a střední pruhy (obr. 4), kterým přidělíme ohybové momenty, jak je uvedeno v Tab. 3.

Doporučuje se volit rozdělení záporného momentu ve sloupovém pruhu 75 % a ve středním pruhu 25 %, rozdělení kladného momentu ve sloupovém pruhu 60 % a ve středním pruhu 40 %.

U deskových konstrukcí se zesilujícími deskami v oblasti lokálních podpor, jejichž šířka je větší než je 1/3 kratšího rozpětí pole, uvažuje se sloupový pruh o šířce rovné zesilující desce. Šířka středního pruhu je pak podle toho upravena. Pokud šířka zesilující desky je menší než 1/3 kratšího rozpětí pole, při stanovení šířky sloupového pruhu se jí nedbá.

Pokud u stropní konstrukce nejsou okrajové trámy dimenzované na účinek kroucení, pak moment přenášený do okrajového nebo rohového sloupu musí být omezen na moment únosnosti obdélníkového průřezu, který je roven $0,17 b_e d^2 f_{ck}$, kde b_e je definováno na obr. 5. V tomto případě je třeba příslušně upravit kladný moment v poli.

Nepravidelné uspořádání sloupů

Při nepravidelném uspořádání sloupů, kde nelze použít metodu náhradních rámmů, lze užít metodu sítí nebo jinou metodu založenou na předpokladu pružného chování konstrukce. V těchto případech bude postačující následující zjednodušený postup:

- Vyšetříme desku na plné zatížení $\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$ ve všech polích.
 - Vyšetřené momenty uprostřed rozpětí a nad sloupy zvětšíme, aby byl vystižen účinek vystřídání zatížení v polích. Tohoto může být dosaženo zatížením kritického pole (nebo polí) plným zatížením $\gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k$ a zbývající části desky zatížením $\gamma_G G_k$. Kde může být významná změna stálého zatížení v polích, uvažuje se $\gamma_G = 1$ v polích nezátížených nahodilým zatížením.
 - Obdobným způsobem lze použít působení tohoto zatížení u dalších kritických polí a podpor.
- Je třeba respektovat omezení týkající se přenosu momentů do okrajových a rohových sloupů.

Literatura:

- [1] prEN 1992-1-1: 2001 Navrhování betonových konstrukcí. Část 1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (Fin. Draft 12/2003)
- [2] ČSN 1990 Zásady navrhování (04/2002), v ČR vydán 03/2004
- [3] ČSN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Obecná zatížení – Část 1-1: Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení budov (04/2002), v ČR vydán 03/2004
- [4] Concise EUROCODE for the design of concrete buildings, BCA, 7/1993
- [5] ČSN 73 1204 Navrhování betonových konstrukcí působících ve dvou směrech, 1986
- [6] Procházka J., Krátký J.: Zavádění EN 1992-1-1 „Navrhování betonových konstrukcí“ do praxe – Mezní stavy porušení smykem, kroucením, protlačení; Beton TKS roč. 3, 2003, č. 4, s. 46–51, ISSN 1213-3116

Prof. Ing. Jaroslav Procházka, ČSČ.
Katedra beton. konstrukcí a mostů FSv ČVUT
Thákurova 7, 166 29 Praha 6
e-mail: proch@beton.fsv.cvut.cz