

# MODERNÍ METODA NÁVRHU PRŮMYSLOVÝCH PODLAH Z DRÁTKOBETONU ■ MODERN DESIGN METHOD OF FIBRECONCRETE INDUSTRIAL FLOORS

Lukáš Vráblík, Jan Loško, Vladimír Křístek, Jaromír Jaroš

Článek popisuje moderní metodu návrhu průmyslových podlah z drátkobetonu s využitím materiálového modelu založeného na zpřesněné metodě inverzní analýzy. ■ The article describes a modern design method of fibre-concrete floors with usage of material models based on simplified method of the inverse analysis.

Nejrozšířenějším příkladem využití vláknobetonu v současné době jsou zřejmě podlahové a základové desky. Při návrhu těchto konstrukcí uložených v naprosté většině přímo na upraveném pružném podloží se často vychází z postupů založených na principech lineární mechaniky. Používané teorie (ve většině vycházející z teorie návrhů betonových vozovek) často opomíjejí množství faktorů tak typických pro vláknobeton – vznik a rozvoj trhlinek, změnu tuhostních poměrů mezi deskou a podkladem při ohybovém změkčení desky, časový vývoj přetvárných charakteristik desky nebo vliv stárí betonu při aplikaci zatížení.

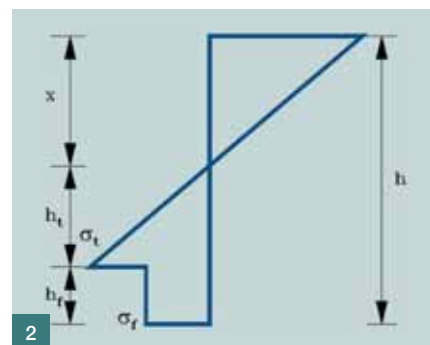
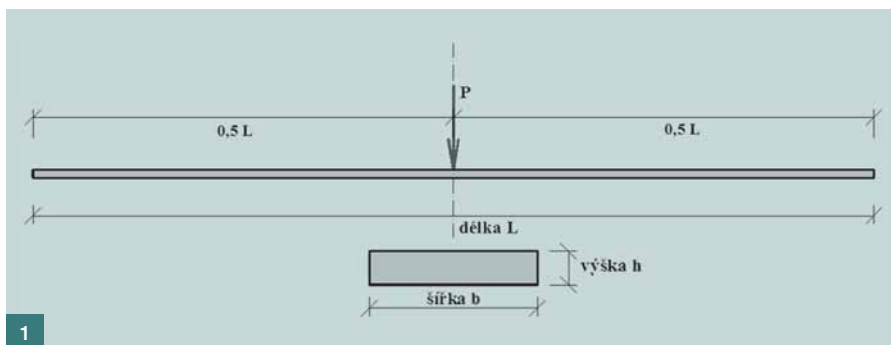
Z důvodu zohlednění co největšího počtu ovlivňujících faktorů na návrh desky byla snaha vyvinout metodu opírající se o výstižné materiálové modely založené jak na předpokladu

lineárního chování materiálu (tzn. do vzniku prvních trhlin), tak na modelu nelineárního rozdělení napětí po výšce průřezu již s trhlinami.

## METODA ŘEŠENÍ

Předmětem studie stojící na počátku návrhu vývoje metody byla analýza chování drátkobetonové desky na pružném poddajném podloží (uvažován deskový pruh šířky  $b$  a tloušťky  $h$  – obr. 1.)

Pro řešení zadané úlohy bylo využito metody konečných prvků nosníkového typu na poddajném podloží charakterizovaném Winklerovým pružným podkladem. Model materiálově nelineárního chování drátkobetonové desky vychází z experimentálně zjištěné závislosti mezi průhybem a zatížením měřeným na standardních zkušebních trácích. Pro experimentálně stanovenou závislost mezi křivostí průhybové čáry střední části nosníku a zde působícím ohybovým momentem (pracovní diagram průřezu) byl odvozen analytický postup [1] vycházející z nejjednoduššího vyjádření vztahu mezi přetvořením  $\varepsilon$  a napětím  $\sigma$ , kdy v tažené oblasti průřezu, kde je překročeno přetvoření  $\sigma_f$ , se předpokládá konstantní rozložení napětí  $\sigma_f$  (obr. 2).



**VLASTNOSTI DESKY:**

Základní vlastnosti desky:

- tloušťka desky:  mm
- deska se spárami:
- velikost dilatačních celků:  m X  m
- typ použitých spár:

Doplňující vlastnosti desky:

- ✓ hloubka zapuštění kotvě:  mm
- tl. desky pod kotvě:  mm

Poznámka:

v 1.1-2009

Obr. 1 Řešený výsek desky ■ Fig. 1 Analysed fibre concrete deck part

Obr. 2 Rozložení napětí po výšce průřezu ■ Fig. 2 Stress distribution over the section height

Obr. 3 Výpočetní program a), b) ■ Fig. 3 Computational program screens a), b)

**MATERIÁL:**

Beton:

- třída betonu:   $f_{ck}/f_{ctk,med} 12 / 15$  [MPa]
- modul pružnosti  $E_{cm}$ :  GPa
- pevnost betonu v tlaku  $f_{cm}$ :  MPa
- pevnost betonu v tahu  $f_{ctm}$ :  MPa
- max. tlakové pletvoření  $\varepsilon_{c,max}$ :   $\times 10^{-6}$
- tahové pletvoření  $\varepsilon_{st}$ :   $\times 10^{-6}$
- max. tahové pletvoření  $\varepsilon_{st,max}$ :   $\times 10^{-6}$

PRACOVNÍ DIAGRAM VLÁKNOBETONU

Výztuž - vlákna:

- typ vláken:
- dávkování vláken:   $\text{kg/m}^2$

v 1.1-2009

3b

Velikost ohybového momentu přenášeného průřezem je tak vyjádřena jako funkce okamžité křivosti  $k$  a parametru  $p$  nezávislého na křivosti, vyjadřujícího poměr mezi napětím  $\sigma_f$  a  $\sigma_t$ . Vstupní parametry  $b$ ,  $h$ ,  $\sigma_t$ ,  $\epsilon_t$  jsou pro konkrétní řešený případ zadány a jejich velikosti se tudíž pro tento případ nemění. Analytické vyjádření ohybového momentu umožňuje nejen snadné vyčíslování jeho hodnot, ale vytváří i představu o povaze jevu, vývoji přetváření a únosnosti vláknobetonových prvků a umožňuje vytvoření názoru na význam a roli jednotlivých parametrů a na citlivost na jejich změny.

Odvozené analytické vyjádření pracovního diagramu průřezu je použito v nelineárním výpočtu metodou přímé iterace, tj. postupným přibližováním k náhradní sečnové tuhosti jednotlivých konečných prvků odpovídající příslušné úrovni jejich namáhání. Výpočet poskytne pro zadané zatížení a parametr pružného podkladu hodnoty vnitřních sil deskového výseku a hodnoty průhybů. Stanovit lze též mezní únosnost řešené soustavy.

### APLIKACE METODY PRO NÁVRH PRŮMYSLOVÝCH PODLAH Z DRÁTKOBETONU

V případě matematického zápisu řešení problému desek na pružném poddajném podkladu nelze předpokládat širší využití výše uvedených metod v praxi. Proto byla snaha vyvinout ve spolupráci mezi Fakultou stavební ČVUT a odbornou firmou uživatelsky nenáročný program použitelný pro běžného uživatele.

Základem je prostředí MS Excel. Koncepte aplikace je vedena směrem k možnosti variabilního návrhu desek podle konkrétních charakteristik ať už od výrobce (použití vláken, volba technologie), nebo od požadavku zákazníka (požadované zatížení, jiné konstrukční požadavky nebo pojezd vozidel).

Obdobných rozhraní je využito např. i pro zadání vlastností podloží (včetně možnosti použití PS desky do podkladových vrstev) či charakteristiky zatížení (základní druhy zatížení uvedené v TR34 – Concrete industrial ground floors a možné doplnění o konkrétní specifické zatížení definované objednatel).

Kompletní záznam vstupních parametrů včetně identifikace projektu a výpočtu je na závěr aplikace exportován do záznamu přímo použitelného pro koncového uživatele. Podrobné informace o vytvořeném programu a matematických postupech jsou k dispozici na pracovišti autorů.

### ZÁVĚR

Odvozená moderní metoda nelineárního výpočtu drátkobetonových desek na poddajném podkladu nejenže mnohem výstižněji modeluje skutečné chování podlahových desek, než dovolují beznadějně zastaralé lineární přístupy (rozšiřuje možnosti jejich návrhu), ale zejména umožňuje dosáhnout značných ekonomických přínosů využitím redistribuce namáhání v nelineárně působících soustavách. Parametrickými studiemi se prokázalo, že vypočtené namáhání desky je při uvážení nelineárního chování o cca. 30 % nižší oproti výsledkům klasického konzervativního řešení předpokládajícího lineární režim; tzn. že o tuto hodnotu – oproti výsledku lineárního výpočtu – vzrůstá i skutečná využitelná únosnost desky. Tento velmi pozitivní efekt nelineárního výpočtu je důsledkem respektování zvýšení poddajnosti vláknobetonové desky v režimech vyššího namáhání, promítajícího se do zvýšení průhybů, což mobilizuje poddajný podklad k nárůstu a k příznivějšímu rozložení jím vyvolaných reak-

### Literatura:

- [1] *Vráblík L., Krístek V.*: Vláknobeton – přibližná metoda inverzní analýzy, *Beton TKS*, 6/2004
- [2] *Foglar M., Štemberk P., Kohoutková A.*: Historie únavy a přehled problematiky v oblasti betonových a drátkobetonových konstrukcí, *Proc. of 3rd inter. Conf. Fibre Concrete 2005*, VŠB – TU Ostrava 2005, pp. 17–22

cí nadlehčujících desku. Velmi vysoký ekonomický přínos odvozeného výstižného nelineárního výpočtu je zřejmý.

Uvedené poznatky byly získány v rámci řešení grantového projektu GAČR 103/091788 podporovaného Grantovou agenturou ČR.

Ing. Lukáš Vráblík, Ph.D.  
e-mail: lukas.vrablik@fsv.cvut.cz



Ing. Jan Loško  
e-mail: jan.losko@fsv.cvut.cz

Prof. Ing. Vladimír Krístek, DrSc.  
e-mail: vladimir.kristek@fsv.cvut.cz



všichni: Katedra betonových a zděných konstrukcí  
Fakulta stavební ČVUT v Praze, Tháškova 7, 166 29 Praha 6  
<http://concrete.fsv.cvut.cz>

Ing. Jaromír Jaroš  
Tritreg Třinec, s. r. o., Frýdecká 390, 739 61 Třinec  
tel.: 558 343 131, fax: 558 343 159  
e-mail: jaros@tritreg.cz, www.tritreg.cz



Text článku byl posouzen odborným lektorem.

## RSTAB

Program pro výpočet rovinných i prostorových prutových konstrukcí

## RFEM

Program pro výpočet konstrukcí metodou konečných prvků

**Navrhování podle nových evropských norem**

Demoverze zdarma ke stažení

www.dlupal.cz

- Řada přídatných modulů
- Rozsáhlá knihovna profilů
- Snadné intuitivní ovládání
- 6 500 zákazníků ve světě
- Nová verze v českém jazyce
- Zákaznické služby v Praze

Statika, která Vás bude bavit ...

Ing. Software Dlubal s.r.o.  
Anglická 28, 120 00 Praha 2  
Tel.: +420 222 518 568  
Fax: +420 222 519 218  
E-mail: info@dlupal.cz