

VLÁKNOBETON - PŘIBLIŽNÁ METODA INVERZNÍ ANALÝZY

FIBRE REINFORCED CONCRETE - APPROXIMATE METHOD OF INVERSION ANALYSIS

LUKÁŠ VRÁBLÍK,
VLADIMÍR KRÍSTEK

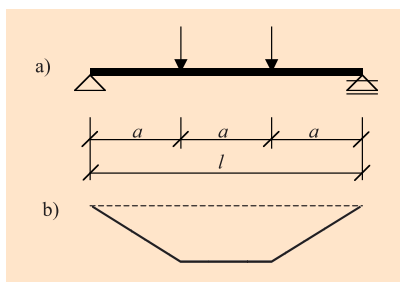
Je prezentována analytická metoda pro získání materiálových parametrů drátkobetonu založená na zjednodušeném předpokladu rozložení normálových napětí po průřezu. Výsledky jsou vyjádřeny v uzavřené formě pomocí jednoduchých vzorců. Snahou je získat optimální složení drátkobetonu a charakteristiky vláken při zachování ekonomických požadavků. Zpracován je výpočetní program, který je volně k dispozici.

A simple analytical method intended as an effective design tool for identification of material parameters of fibre reinforced concrete is presented. The method is based on simplified distribution of normal stresses over the cross section depth and allows the determination of material parameters from simple calculations. The results are available in the form of analytical function or formulas, allowing easily varying individual input parameters to assess affects of input parameters and to perform parametric and optimising studies. The intention is to reach the optimal composition of fibre reinforced concrete (particularly the amount and characteristics of fibres).

Betonové konstrukce s rozptýlenou výztuží mohou mít dosti složité konstrukční uspořádání (desky, typicky na deformovatelném podkladu, stěny a prostorové útva-

Obr. 1 Schéma zatěžovací zkoušky v tahu za ohybu, a) uspořádání břemen, b) průběh ohybových momentů

Fig. 1 The bending test set-up, a) arrangement of loads, b) bending moment diagram



ry složené z nich). Pro jejich statickou analýzu je proto třeba použít přiměřené výpočetní modely a postupy (většinou založené na metodě konečných prvků). U vláknobetonových konstrukcí je obvykle významnější posouzení jejich celkového působení, vývoj a redistribuce tuhostí (včetně relací s tuhostmi podloží), deformační kapacita, namáhání celých „průřezů“ konstrukčních prvků, než situace v okolí lokalizované trhliny, která ve skutečnosti obvykle vznikne jinde, než udává výpočet.

Současná úroveň programového vybavení umožňuje získání výstižného popisu namáhání, přetvoření i průběhu porušování relativně velmi složitých konstrukčních systémů betonových konstrukcí. Aby však tyto predikce odpovídaly skutečnosti, vyžadují výpočetní nástroje použití reálných vztahů mezi přetvořením ε a napětím σ . Tyto závislosti však v případě betonových prvků nelze získat přímo zkouškou v axiálním uspořádání.

V případě vláknobetonu jednou z klasických zkoušek pro stanovení základních materiálových charakteristik betonu (počítaje hodnotou počátečního modulu pružnosti až po inverzní analýzu pro určení celého pracovního diagramu materiálu) je zkouška trámů zatížených příčnými břemeny. Standardní uspořádání této zkoušky je ukázáno na obr. 1a – prostý nosník je zatížen dvěma silami F ve třetinách rozpětí. Ohybové momenty (obr. 1b) mají ve střední třetině rozpětí konstantní velikost, posouvající síly vznikají jen v krajních třetinách.

Výsledkem takovéto zkoušky je však jen získání závislosti mezi průhybem z a pů-

sobící silou $F(z)$ (obr. 2), nikoliv však konstitutivní vztahy materiálu typu pracovního diagramu, použitelné pro výpočty skutečných konstrukcí.

Nosník se v průběhu zkoušky postupně deformuje. Nejprve je celý v režimu, pro který lze přijmout lineární idealizaci. V dalším průběhu zkoušky je dosaženo stavu, kdy právě v celém rozsahu střední části je tento režim změněn, krajní části ale zůstávají v režimu lineární pružnosti (obr. 1b). Změna tohoto režimu ve střední třetině rozpětí dovoluje pokračovat v ohýbání této části, doprovázené však poklesem zatížení (obr. 2). Proto jsou krajní části odlehčovány, a tudíž lze o nich přibližně předpokládat, že i nadále zůstávají v režimu lineární pružnosti.

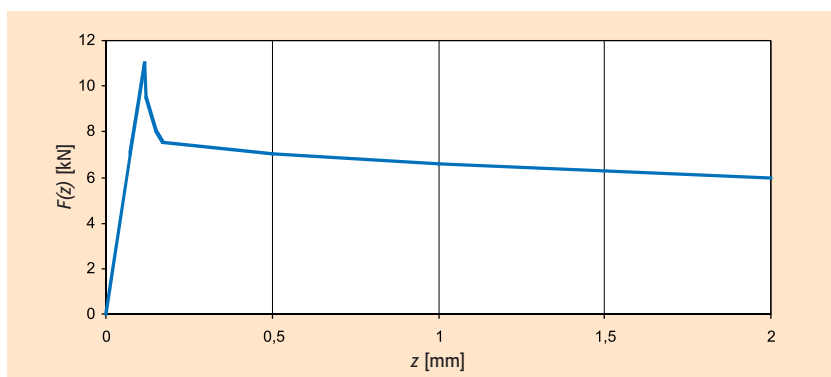
INVERZNÍ ANALÝZA

Jak bylo uvedeno výše, provedení spolehlivých nelineárních výpočtů betonových konstrukcí pokročilými výpočetními nástroji musí být založeno na reálných vztazích mezi přetvořením ε a napětím σ , určených ze záznamů zkoušek prvků z betonu zamýšleného pro použití v konstrukci. Tento proces se označuje jako **inverzní analýza**.

Dosud nebyl projektové praxi nabídnut ucelený jednoduchý fungující nástroj, jehož prostřednictvím by s využitím sofistikovaných výpočetních programů, vytvoře-

Obr. 2 Typický tvar závislosti mezi zatěžovací silou a průhybem ze zatěžovací zkoušky

Fig. 2 Load – deflection diagram from a laboratory test (simplified)



ných cíleně pro výpočty betonových prvků a konstrukcí, byl uživatel schopen – po stránce metodologické i po stránce praktické proveditelnosti a zvládnutelnosti – schůdným způsobem inverzní analýzy vláknobetonů s různým obsahem vláken pro potřeby praxe rutinně provádět. To platí zejména pro vláknobetonové prvky s vyšším obsahem vláken, vykazující při deformačním procesu výraznější zpevnění.

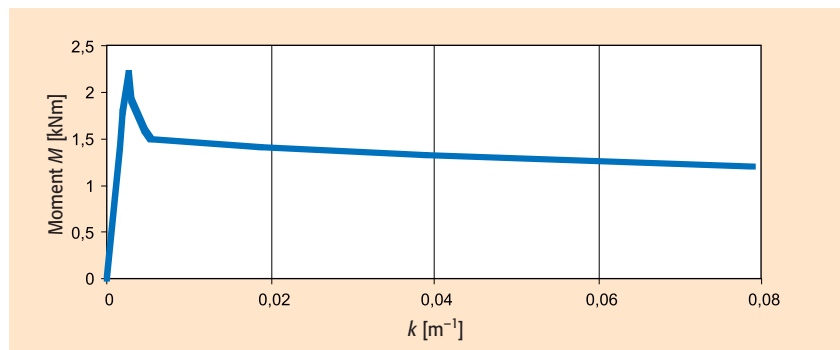
Vláknobetonové prvky a konstrukce, na rozdíl od klasických z vyztuženého betonu, mají homogennější strukturu i působení. Je pro ně akceptovatelný zjednodušující předpoklad „rozetřených charakteristik“ bez výraznějších singularit a koncentrace jednotlivých druhů napětí do jednotlivých složek konstrukce (tlak do betonu, tah do výrazných prvků ocelové výtuzže).

Proto i pro výpočty vláknobetonových konstrukcí jsou „rozetřené“ modely kontinua přijatelnější než pro klasické železobetonové. Přijetí – zřejmě zjednodušeného – postupu založeného na „rozetřeném“ modelu podporuje možnost získání výsledků analytickou cestou, často ve formě vzorců, a dále i nutnost praktické zvládnutelnosti opakovaných sérií výpočtů s variacemi parametrů při inverzní analýze.

Aplikaci přibližných přístupů založených na „rozetřených“ modelech do velké míry (při současné úrovni poznání a výpočetním úsilí přijatelným pro návrhovou praxi) opravňuje, při krajním zjednodušení založeném na předpokladu způsobu rozložení napětí po výšce průřezu podle obr. 4, několik skutečností, např.:

- Aby model s diskretními trhlinami byl použitelný pro odvozování vztahů mezi deformačními a silovými veličinami, musel by výpočet založený na tomto modelu poskytnout právě takový tvar deformace, vývoj a rozložení trhlin, jako měl experimentální prvek.
- Mějme v jedné sadě několik zkušebních trámků; každý z nich se při zkoušce chová poněkud jinak (trhliny rozdílné, rozdílný způsob deformace ve vyšších stádiích atd.). Výpočet však je pro všechny zkušební trávky v této sadě pouze jeden. Je otázkou, který ze zkušebních trámků bychom se snažili inverzní analýzou aproximovat.

Vzhledem k tomu, že poloha rozhodující trhliny je náhodná a tudíž v každém zkušebním trávku rozdílná, a též vzhledem k tomu, že deterministický výpočet pro všechny trávky jedné sady je jediný,



Obr. 3 Závislost mezi momentem a křivostí ohybové čáry – pracovní diagram průřezu

Fig. 3 Diagram relating bending moment M to curvature k of the central part of the beam (simplified)

je přijatelné předpokládat tuto trhlinu rozetřenu po délce střední části trávku (v oblasti mezi zatěžujícími silami, kde je ohybový moment konstantní a kde nevzniká smykové namáhání). Deformace zkušebního trávku s trhlinami v této oblasti je potom modelována jeho křivostí.

Tento postup, kromě vyloučení vlivu náhodnosti polohy trhliny, má oprávnění i v tom, že tato délka odpovídá obvyklým rozměrům konečných prvků při výpočtech skutečných konstrukcí (průmyslových podlah, deskostěnnových soustav apod.).

Prvním úkolem inverzní analýzy je z experimentálně zjištěné závislosti mezi průhybem a zatížením odvodit závislost mezi křivostí průhybové čáry střední části nosníku a zde působícím ohybovým momentem (pracovní diagram průřezu).

Experimentem na trávku namáhaném ohybem (obr. 1a) jsme zjistili závislost mezi průhybem z a působící silou $F(z)$ (obr. 2).

Aproximujeme-li přetvoření střední části nosníku (poznávané náhodně lokalizovanými trhlinami) narůstající křivostí průhybové čáry této části k , potom průhyb středu nosníku (uvážíme-li i vliv smykových deformací na průhyby) je (podle [3]) pro obdélníkový tvar průřezu o šířce b a výšce h dán vzorcem

$$z = \frac{5}{8} a^2 k + \frac{F(z) a^3}{3EI} + 1,44 \frac{F(z) a}{Eb h}, \quad (1)$$

kde I je moment setrvačnosti průřezu trávku.

Počáteční modul pružnosti E se zjistí z počáteční fáze ohybové zkoušky.

Pro čtvercový průřez o straně s lze vztah dále zjednodušit

$$z = \frac{5}{8} a^2 k + \frac{F(z) a}{Es^2} \left(4 \frac{a^2}{s^2} + 1,44 \right). \quad (2)$$

Z této rovnice plyne vztah pro křivost průhybové čáry střední části nosníku

$$k = \frac{8}{5a^2} \left(z - \frac{F(z)a}{Es^2} \left(4 \frac{a^2}{s^2} + 1,44 \right) \right) \quad (3)$$

vyjádřený v závislosti na průhybu středu rozpětí nosníku z a na zatížení $F(z)$.

Příslušný ohybový moment působící ve střední části nosníku zřejmě je

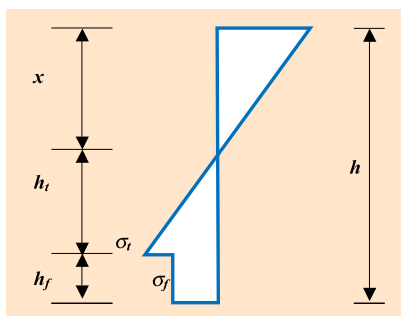
$$M(z) = F(z) a. \quad (4)$$

Spojením vztahů (3) a (4) dostaneme hledaný pracovní diagram průřezu, tj. vztah mezi křivostí průhybové čáry k a odpovídajícím ohybovým momentem M .

Pro záznam zkoušky uvedený na obr. 2 má pracovní diagram průřezu tvar vykreslený na obr. 3.

Druhým úkolem inverzní analýzy je nalézt takový pracovní diagram materiálu (vztah mezi přetvořením ε a napětím σ), který by popisoval experimentálně zjištěné namáhání prvku charakterizované pracovním diagramem průřezu (obr. 3).

Pro tuto inverzní analýzu lze použít několik přístupů (např. podle [3], [5] založených na vrstevnatém modelu). Jde o numerická řešení, jejichž výsledkem jsou pouze soubory číselných hodnot (popř. grafy), nikoliv však obecná analytická vyjádření ve formě funkcí popř. vzorců, do nichž by bylo možno dosadit příslušné hodnoty a jejichž matematickým rozбором by bylo možno usuzovat na vlivy jednotlivých parametrů, na jejich průběhy a získat inženýrský názor na obecné zákonitosti. Proto ve snaze o objasnění těchto faktorů a pro rychlé použití ve zjednodušených výpočtech je dále uvedeno analytické řešení vycházející z nejjednoduššího vyjádření vztahu mezi přetvořením ε a na-



Obr. 4 Rozložení napětí po průřezu
Fig. 4 Stress distribution over the beam cross-section

pětím σ_f , kdy v části tažené oblasti průřezu, kde je překročeno přetvoření ε_t , se předpokládá konstantní rozložení napětí σ_f (obr. 4).

Hodnota σ_f na obrázku 4 označuje velikost tahové pevnosti drátkobetonu po překročení mezní hodnoty tahového přetvoření ε_t . Dochází ke vzniku trhlin v krajních vláknech průřezu, veškeré namáhání je přenášeno rozptýlenou výztuží v betonu. Velikost napětí σ_f obecně může nabývat hodnot mezi 0 – prostý beton a σ_t – tahová pevnost betonu.

Úkolem je analyticky odvodit pracovní diagram průřezu, vztah pro závislost mezi momentem a křivostí ohybové čáry; tj vyjádřit ohybový moment M jako funkci nezávisle proměnné křivosti k při daných rozměrech průřezu b , h a hodnotách napětí σ_c a σ_f .

Výška tažené oblasti s lineárním rozložením napětí (obr. 4) je

$$h_t = \varepsilon_t / k, \quad (5)$$

napětí na tlaceném okraji je

$$\sigma_c = \sigma_f x / h_t, \quad (6)$$

kde x je výška tlacené oblasti průřezu (obr. 4).

Ze součtové podmínky rovnováhy sil v průřezu plyne

$$\sigma_f = (\sigma_c x - \sigma_f h_t) / 2 h_f. \quad (7)$$

Po dosazení výrazů (5) a (6) do rovnice (7) dostáváme

$$\sigma_f (x^2 k / \varepsilon_t - \varepsilon_t / k) - 2 \sigma_f (h - x - \varepsilon_t / k) = 0, \quad (8)$$

což – po dalších úpravách – je kvadratická rovnice pro parametr x :

$$(\sigma_f k / \varepsilon_t) x^2 + 2 \sigma_f x + 2 \sigma_f \varepsilon_t / k - \sigma_f \varepsilon_t / k - 2 \sigma_f h = 0, \quad (9)$$

jejíž diskriminant má tvar

$$D = 4(\sigma_f - \sigma_t)^2 + 8 \frac{\sigma_f \sigma_t k h}{\varepsilon_t} \quad (10)$$

a jejíž kořeny x_1 a x_2 udává známý vzorec

$$x_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{D}}{2A}, \quad (11)$$

kde

$$A = \sigma_f k / \varepsilon_t$$

$$B = 2 \sigma_f. \quad (12)$$

Aby kvadratická rovnice (9) měla řešení v oboru reálných čísel, musí být výraz (10) větší nebo roven 0. Tato podmínka je splněna pro jakoukoliv kombinaci vstupních parametrů.

Jak bylo uvedeno výše, parametr x označuje výšku tlacené oblasti průřezu, tudíž musí být větší nebo roven 0. V dalším výpočtu proto dále uvažujeme pouze kořen rovnice stanovený podle výrazu

$$x = \frac{-B + \sqrt{D}}{2A}. \quad (13)$$

Tento vztah, který udává výšku tlacené zóny (obr. 4) lze upravit do konečného tvaru

$$x = \frac{q(k) \varepsilon_t}{k}, \quad (14)$$

kde parametr $q(k)$ jako funkce křivosti k je

$$q(k) = \frac{-\sigma_f + \sqrt{(\sigma_f - \sigma_t)^2 + 2 \frac{\sigma_f \sigma_t k h}{\varepsilon_t}}}{\sigma_t}. \quad (15)$$

Napětí σ_f je daným zlomkem napětí σ_t – můžeme tudíž zavést označení

$$\sigma_f = \rho \sigma_t, \quad (16)$$

kde parametr ρ může nabývat hodnot z intervalu $<0; 1>$. Vztah (15) lze potom zjednodušit na

$$q(k) = -\rho + \sqrt{(\rho - 1)^2 + \frac{2\rho k h}{\varepsilon_t}}. \quad (17)$$

Podmínku (13), že výraz pro výpočet hodnoty x je větší než nula, vyjadřuje vztah

$$1 + \frac{2\rho k h}{\varepsilon_t} - 2\rho > 0, \quad (18)$$

což je lineární nerovnice pro parametr ρ z intervalu $<0; 1>$, tudíž stačí, pokud je nerovnost (18) splněna pro krajní hodnoty intervalu.

Při dosazení $\rho = 0$ dostáváme:

$$1 > 0, \text{ čímž je nerovnost splněna,}$$

při dosazení $\rho = 1$ dostáváme:

$$k > \frac{\varepsilon_t}{2h} = \frac{k_{crit}}{4}, \text{ čímž je nerovnost}$$

splněna také (viz pozn. dále).

Tak je dokázáno, že vzdálenost x je větší než nula pro jakékoliv možné vstupní hodnoty.

Ohybový moment M přenášený průřezem, který je obecně popsán vztahem

$$M = [\sigma_t (x^3 / h_t + h_t^2) / 3 + \sigma_f h_f (h_f / 2 + h_t)] b, \quad (19)$$

lze upravit na konečný tvar

$$m = b \cdot \left\{ \frac{1}{3} \sigma_t \frac{\varepsilon_t^2}{k^2} \left[1 + (q(k))^3 \right] + \frac{\sigma_t \rho}{k} \left[h - \frac{\varepsilon_t}{k} (q(k) + 1) \right] \cdot \left[h - \frac{\varepsilon_t}{k} (q(k) - 1) \right] \right\}. \quad (20)$$

Tím jsme získali hledané analytické vyjádření pracovního diagramu průřezu: velikost ohybového momentu přenášeného průřezem je vyjádřena jako funkce okamžité křivosti k a na křivosti nezávislého parametru ρ . Vstupní parametry b , h , σ_t , ε_t jsou pro konkrétní řešený případ zadány a jejich velikosti se tudíž pro ten který případ nemění.

Je třeba připomenout, že vztah (20) má smysl pouze v oblasti pro $k > 2 \varepsilon_t / h$, tj. pro $h_f > 0$, kdy v tažené oblasti vzniká oblast s konstantně rozloženým napětím σ_f . Hodnota $2 \varepsilon_t / h = k_{crit}$ je křivost, při jejímž překročení se průřez přestává chovat lineárně a nastává stav charakterizovaný rozdělením napětí v tažené oblasti průřezu podle obr. 4.

Analytické vyjádření pracovního diagramu průřezu rovnicí (20) umožňuje nejen snadné vyčíslování, realizaci parametrických studií, ale vytváří i představu o povaze jevu, vývoji přetváření a únosnosti vláknobetonových prvků a umožňuje vytvoření názoru na význam a roli jednotlivých

Charakteristický průřez			
Šířka b [m]	0,2	Výška h [m]	0,2

Materiálové charakteristiky	
Mezní tlakové napětí σ_c [MPa]	2,5
Mezní tahové napětí σ_t [MPa]	2,8
Tahové napětí po vzniku trhlin σ_f [MPa]	3
Mezní přetožení tahové ε_t [%]	0,035
Velikost kritické křivosti k	0,0035
Mezní modul pružnosti E [MPa]	8 000

VÝPOČET										
Křivost k [m ⁻¹]	Parametry kvadratické rovnice			Diskriminant	Řešení rovnice		Parametry h		Moment M [kNm]	Napětí σ_c [MPa]
	A	B	C		x_1	x_2	h_t	h_r		
0,002608	20864	6000	-770,5521472	100307200	0,096227	-0,383803	0,134202454	-0,030429166	mimo obor	-2,007674111
0,0027	21600	6000	-785,1851852	103840000	0,096995	-0,374773	0,12962963	-0,0266248	mimo obor	-2,095095681
0,0028	22400	6000	-800	107840000	0,097699	-0,365556	0,125	-0,022698603	mimo obor	-2,188448708
0,0029	23200	6000	-813,7931034	111520000	0,098282	-0,356903	0,120689655	-0,018972048	mimo obor	-2,280151513
0,003	24000	6000	-826,6666667	115360000	0,098762	-0,348762	0,116666667	-0,015428693	mimo obor	-2,370288633
0,0031	24800	6000	-838,7096774	119200000	0,099151	-0,341086	0,112903226	-0,012053937	mimo obor	-2,458937626
0,0032	25600	6000	-850	123040000	0,099460	-0,333835	0,109375	-0,00883476	mimo obor	-2,54616985
0,0033	26400	6000	-860,6060606	126880000	0,099699	-0,326972	0,106060606	-0,005759513	mimo obor	-2,632051136
0,0034	27200	6000	-870,5882353	130720000	0,099877	-0,320465	0,102941176	-0,002817734	mimo obor	-2,716642371
0,0035	28000	6000	-880	134560000	0,100000	-0,314286	0,1	-1,38778E-17	mimo obor	-2,8
0,0036	28800	6000	-888,8888889	138400000	0,100076	-0,308409	0,097222222	0,002702206	3,848578775	-2,882176468

Obr. 5 Úvodní stránka výpočtového programu

Fig. 5 The initiative list of the evaluation program

parametrů a na citlivost na jejich změny.

Celá úloha – vyčlenění potřebných parametrů a výpočet hodnot ohybového momentu podle vztahu (20) – je formou programu v prostředí Excel zájemcům volně k dispozici na internetových stránkách Katedry betonových konstrukcí a mostů ČVUT – <http://beton.fsv.cvut.cz> (obr. 5).

Jako příklad velmi snadného použití vztahu (20) jsou na obr. 6 uvedeny výsledky parametrické studie pro zkušební trámek podle obr. 1 s parametry $b = 0,2$ m, $h = 0,2$ m, $\sigma_t = 2,8$ MPa, $\varepsilon_t = 0,00035$, a to pro řadu hodnot součinitele ρ charakterizujícího účinek vláken. Jsou znázorněny pracovní diagramy průřezu pro různé hodnoty parametru ρ , počínaje $\rho = 0$. Potvrzuje se, že velikost parametru ρ (tzn. množství a charakteristiky rozptýlené výztuže) významně ovlivňuje tvar pracovního diagramu průřezu. Jeho vhodnou volbou můžeme dosáhnout optimálního chování vláknobetonu při zachování ekonomických požadavků. Hodnota ρ může teoreticky nabývat hodnot 0 (tzn. napětí σ_f je nulové – odpovídající nevyztuženému betonu) až 1 (napětí σ_f je rovno napětí σ_t , kdy rozptýlená výztuž plně přebírá tahové namáhání). Jak je patrné z obr. 6, okolo hodnoty

Obr. 7 Určení parametru ρ na základě výsledku experimentu

Fig. 7 Values specification of parameter ρ for the diagram from a laboratory test

$\rho = 0,5$ začíná mít pracovní diagram řešeného trámku trvale rostoucí tendenci.

Připomeňme, co je cílem inverzní analýzy: identifikovat pracovní diagram materiálu předpokládaný tvarem podle obr. 4, tj. nalézt hodnotu parametru ρ pro co nejvýstižnější aproximaci chování průřezu kon-

krétního řešeného trámku. Toho lze dosáhnout porovnáním záznamu ze zkoušek a výsledků výpočtu, což je vzhledem k jeho analytickému vyjádření velmi snadné.

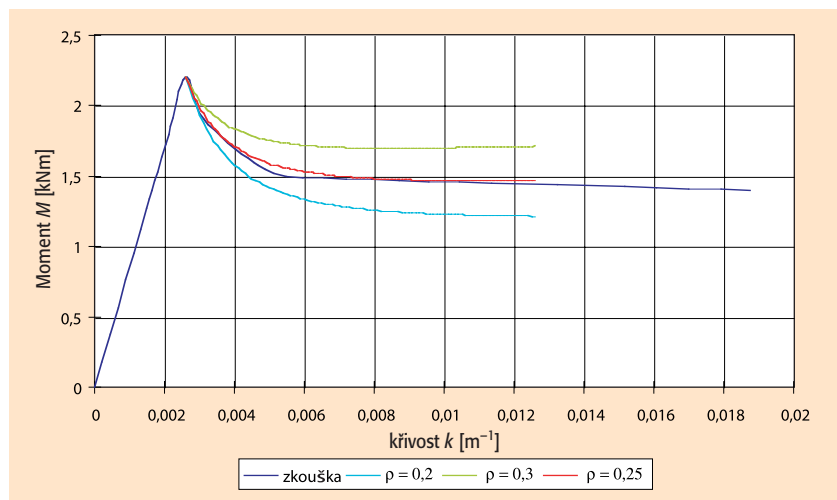
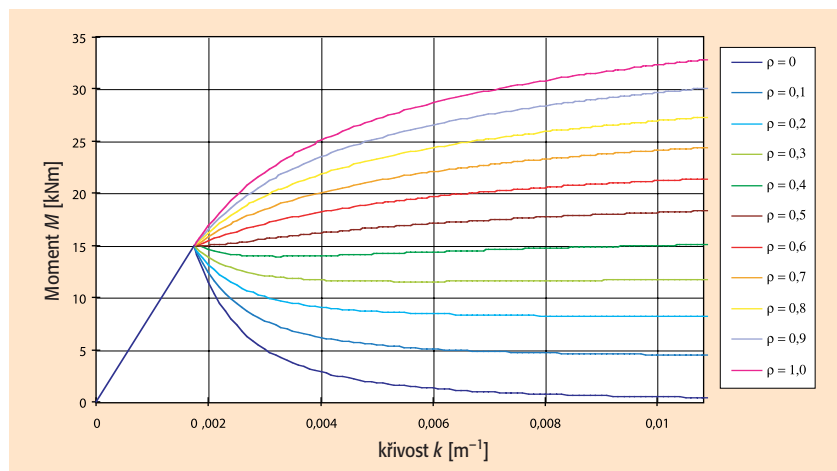
Přístupy a kritéria pro posouzení výstižnosti aproximace mohou být různá:

- porovnání pracovního diagramu průřezu získaného experimentálně (obr. 3) na základě vztahů (3) a (4) s vypočtenými tvary podle rovnice (20) pro řadu hodnot ρ ; takto, postupným přibližováním, lze zcela nenáročným postupem najít takovou hodnotu ρ , pro kterou křivka získaná výpočtem se ve svém průběhu nejvíce přimyká ke křivce odpovídající experimentu.

Tento proces je demonstrován na obr. 7. Je zřejmé, že experimentální průběh uspokojivě aproximuje křivka vypočtená

Obr. 6 Pracovní diagram průřezu v závislosti na parametru ρ

Fig. 6 Diagram relating bending moment M to curvature k for various values of parameter ρ



pro $\rho = 0,25$, tzn. že konečný hledaný výsledek je

$$\sigma_r = \rho \sigma_i = 0,25 \cdot 2,8 = 0,7 \text{ [MPa]}$$

• tento postup lze samozřejmě též realizovat zcela exaktně, ovšem za cenu mnohem větší pracnosti. V průběhu rostoucí křivosti (na vodorovné ose v obr. 3 resp. 6) volíme konečný počet hodnot k . Přesnost procesu je zřejmě odvislá od počtu těchto bodů pracovního diagramu průřezu, s jejichž použitím výpočet provedeme.

Při stanovení hodnoty parametru ρ použijeme metodu nejmenších čtverců; hledáme minimum funkce

$$P(\rho) = \sum_{i=1}^n (\bar{M}_{ki} - M_{ki}(\rho))^2 = \min, \quad (21)$$

kde \bar{M}_{ki} je ohybový moment příslušný ke křivosti k_i ; stanovený při zkoušce, $M_{ki}(\rho)$ ohybový moment příslušný ke křivosti k_i ; stanovený výpočtem v závislosti na parametru ρ a n počet srovnávacích bodů.

Podmínkou pro stanovení minima funkce $P(\rho)$ je nalezení hodnoty parametru ρ , pro který je splněno:

$$\frac{\partial P(\rho)}{\partial \rho} = \frac{\sum_{i=1}^n \partial (\bar{M}_{ki} - 2\bar{M}_{ki}M_{ki}(\rho) + M_{ki}^2(\rho))}{\partial \rho} = 0, \quad (22)$$

po úpravě

$$\sum_{i=1}^n \left[(M_{ki}(\rho) - \bar{M}_{ki}) \frac{\partial M_{ki}(\rho)}{\partial \rho} \right] = 0, \quad (23)$$

Literatura:

- [1] Krátký J., Spůra D., Vodička J.: Zkoušení základních pevností vláknobetonu, Sb. konf. Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí 2002, ČBS, Praha 2002, str. 210–217
- [2] Kohoutková A.: Statická analýza – požadavky, imperfekce, Sb. konf. Společné evropské normy pro navrhování nosných konstrukcí staveb. Bratislava STU, Stavební fakulta, 2002, str. 46–51
- [3] Křístek V., Kohoutková A., Broukalová I.: Materiálový model vláknobetonu – inverzní analýza, Sb. Fibre Concrete~High Performance Concrete, Sekurkon, září 2003
- [4] Červenka V., Jendele L., Červenka J.: ATENA program documentation – revision 05/2000, Červenka Consulting, Praha 2000
- [5] Petřík V.: Materiálové modely a výpočtové analýzy vláknobetonových konstrukcí, doktorská disertační práce, ČVUT Praha, 2004

ZÁVĚR

Byl odvozen analytický přístup k inverzní analýze – identifikaci materiálových parametrů vláknobetonu. Tento postup, založený na zjednodušeném způsobu rozložení normálových napětí po výšce průřezu vláknobetonového prvku podle obr. 4, najde uplatnění zejména v možnosti funkčního vyjádření pracovního diagramu průřezu, analytického sledování jeho průběhu, extrémů a vlivů jednotlivých vstupních parametrů. Postup je zvláště vhodný pro parametrické a optimalizační studie, kdy vhodnou skladbou vláknobetonu (zejména množství a charakteristik použitých vláken) můžeme dosáhnout jeho optimálního působení při zachování ekonomických požadavků.

Uvedené výsledky byly získány v rámci řešení grantového projektu č. 103/03/0838 uděleného Grantovou agenturou České republiky.

Ing. Lukáš Vráblík

tel.: 274 770 428, e-mail: vrablik@promo.cz

Prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc.

tel.: 224 353 875, e-mail: kristek@fsv.cvut.cz

oba: Stavební fakulta ČVUT

Katedra betonových konstrukcí a mostů

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

fax: 233 335 797

OD NAŠICH SOUSEDŮ - OBRÁZKY Z CEST



Obr. 1 Nová márnice z neomítaných vymývaných betonových tvárnic na hřbitůvku v Ramsau am Dachstein

Obr. 2 Během kompletní přestavby celého bloku Bavaria Brewery ve čtvrti St. Pauli, nedaleko přístavu v Hamburku zůstala stát pouze Astra Tower. I ta dostane po celkové rekonstrukci nový architektonický výraz



Obr. 3 Postupná přestavba starých hamburských doků na moderní rezidenční čtvrt

