

NELINEÁRNÍ NUMERICKÁ ANALÝZA VLÁKNOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ ■ NON-LINEAR NUMERICAL ANALYSIS OF FIBRE CONCRETE STRUCTURES

Vojtěch Petřík, Iva Broukalová, Vladimír Krístek

Moderní výpočetní programy založené na metodě konečných prvků (MKP) umožňují analýzu konstrukcí včetně uvážení fyzikální a geometrické nelinearity. Konstrukční vláknobetonu jsou označovány jako kvaziduktilní materiály, jejichž chování v tahem namáhaných prvcích je ve většině případů charakterizováno deformačním změkčením po překročení pevnosti na mezi vzniku trhliny. Podmínkou pro výstižnou numerickou simulaci skutečného chování vláknobetonové konstrukce je implementace reálného materiálového modelu, tedy vztahu mezi přetvořením ε a napětím σ . ■ Modern computer programs based on the finite element method enable analysis of structures including considering of material and geometric non-linearity. Structural fibre concretes are known as quasi-ductile materials. Their behaviour in elements stressed by tension is characterised by softening behaviour after first crack occurs. Implementation of a realistic material model, i.e. the stress-strain relation is the condition for an appropriate numerical simulation of real performance of the fibre concrete structure.

Reálné konstitutivní vztahy mezi přetvořením ε a napětím σ jsou základním předpokladem spolehlivého nelineárního výpočtu vláknobetonových konstrukcí. Jejich odvození je možné na mezo-úrovni na základě analýzy interakce jednotlivých komponent kompozitního materiálu, anebo prostřednictvím materiálových charakteristik, získaných experimentální identifikací na zkušebních prvcích (makro-úroveň). Výhodou tohoto způsobu je, že získané konstitutivní vztahy přímo zohledňují pro vláknobetonu typické aspekty, tedy náhodnou orientaci a rozdělení vláken či eventuální nehomogenity, a popisují chování vláknobetonového prvku reálných rozměrů.

Pracovní diagram vláknobetonu v tahu lze získat přímo zkouškou v axiálním tahu, která ovšem předpokládá zcela homogenní chování materiálu v celém kritickém průřezu, což v případě betonu či vláknobetonu nelze zcela zaručit. Proto se zkouška osovým tahem nahrazuje zkouškou v tahu za ohybu, jejímž výsledkem je relace mezi působící silou a deformací (průhybem), nikoliv přímo konstitutivní vztah mezi přetvořením a napětím. Odvození pracovního diagramu vláknobetonu z výsledků zkoušky v tahu za ohybu je úlohou inverzní analýzy.

INVERZNÍ ANALÝZA

Chování vláknobetonového trámce v průběhu zkoušky v tahu za ohybu lze rozdělit na oblast, ve které se nosník chová přibližně lineárně až po dosažení takového průhybu, při kterém se vytvoří první trhlina, a na oblast charakterizovanou deformačním změkčením (*tensile strain softening*), tedy poklesem zatěžovací síly s rostoucím průhybem. Deformační změkčení je typickým jevem pro vláknobetonu s tzv. podkritickým, v praxi běžným obsahem vláken (obr. 1).

Deformační zpevnění (*tensile strain hardening*) je dosažitelné jen s velmi vysokými (nadkritickými) objemovými podíly vláken v matici s optimalizovaným složením, v případě ocelových vláken bývá v závislosti na jejich typu uváděna hodnota 1,2 až 2,5 %.

Proces inverzní analýzy může být rozdělen do tří kroků:

- stanovení křivosti průhybové čáry ohýbaného prvku v průběhu zkoušky

- odvození pracovního diagramu vláknobetonu
- verifikace pracovního diagramu numerickou simulací zkoušky

Stanovení křivosti průhybové čáry

V pružné oblasti lze křivost průhybové čáry jednoduše stanovit na základě teorie pružnosti, včetně uvážení vlivu posouvajících sil. V případě zkoušky čtyřbodovým ohybem je ve střední části nosníku konstantní ohybový moment a nulová posouvající síla, konstantní je tedy i křivost.

Určení křivosti průhybové čáry v nelineárním režimu je poněkud problematictější. Poruší-li se nosník po překročení pevnosti v tahu za ohybu trhlinou náhodně umístěnou ve střední třetině, bude se s rostoucím průhybem zvětšovat křivost pouze v jisté zóně změkčení délky l_{pl} , zatímco ve zbývajících oblastech nosníku probíhá odtěžování. Pro vláknobetonu s podkritickým obsahem vláken lze tedy předpokládat, že krajní třetiny nosníku zůstanou po vzniku trhliny v lineárně pružném režimu.

Změkčování je důsledkem rozvoje trhlin, které se v případě čtyřbodového ohybu mohou vyskytnout kdekoli ve střední třetině nosníku. Ačkoliv se tyto trhliny mohou soustředit do velmi krátkého segmentu prutu, nemůže být délka zóny změkčení nulová. Vzhledem k tomu, že poloha rozhodující trhliny je náhodná, a tudíž v každém zkušebním trámku rozdílná, a též vzhledem k tomu, že deterministický výpočet pro všechny trámky jedné sady je jediný, je přijatelné předpokládat tuto trhlínu rozetřenu po délce střední části trámku.

Zjednodušený předpoklad rozetřených charakteristik je pro vláknobeton odůvodnitelný, neboť působí bez výraznějších singularit a koncentrace napětí na rozdíl od železobetonu, kde se tahová napětí soustřeďují do výrazných prvků výztuže a tlaková namáhání pak pouze do tlačené oblasti betonu. Tvar průhybové čáry zkušebního nosníku za předpokladu trhlin rozetřených ve střední třetině je zobrazen na obr. 2.

Přijetí zjednodušeného postupu podporuje možnost získání výsledků výpočtů drátkobetonových konstrukcí analytickou cestou.

Při uvážení vlivu posouvajících sil na průhyb nosníku s narůstající křivostí ohybové čáry ve střední třetině nosníku lze průhyb uprostřed rozpětí vyjádřit jako

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

kde k značí křivost průhybové čáry, I moment setrvačnosti průřezu, b , h rozměry průřezu, a vzdálenost břemene od podpory ($a = L/3$), δ průhyb uprostřed rozpětí, $F(\delta)$ působící síla jako funkci průhybu ($F(\delta) = P(\delta)/2$).

Pro čtvercový průřez (zkoušené nosníky mají čtvercový průřez o hraně 150 mm) platí pro křivost průhybové čáry střední části nosníku

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

Odvození pracovního diagramu vláknobetonu

Je-li pracovní diagram průřezu (závislost ohybového momentu a křivosti průhybové čáry $M - k$) znám, je za předpokladu

zachování rovinnosti průřezu možné na základě vrstvičkového modelu (obr. 3) získat vztah mezi napětím σ a přetvořením ϵ .

Ze známé křivosti průhybové čáry lze určit poměrné přetvoření krajních tlačných vláken průřezu podle vztahu

$$\epsilon_c = xk, \tag{3}$$

kde x značí vzdálenost neutrální osy od nejvíce tlačných vláken průřezu.

Stanovení pracovního diagramu vláknobetonu v tahu je provedeno iterativním způsobem pro jednotlivé body diagramu $M - k$ na základě vrstvičkového modelu za předpokladu zachování rovinnosti průřezu. Trhlinami porušená tažená část průřezu je rozdělena do vrstviček, kterých může být tolik, kolik je k dispozici bodů pracovního diagramu průřezu $M - k$.

Velikost napětí $\sigma_{f,i}$ ve vrstvičce tloušťky $h_{f,i}$ je stanovena iterativně na základě podmínek rovnováhy pro křivost průhybové čáry k_i .

$$\sigma_{f,i} = \frac{\sigma_{c,i} x - \sigma_t h_t - 2 \sum_{j=1}^{i-1} \sigma_{f,j} h_{f,j}}{2 h_{f,i}}, \tag{4}$$

$$h_{f,i} = \frac{\epsilon_{f,i} - \epsilon_{f,i-1}}{k_i}, \tag{5}$$

Je zřejmé, že výška jednotlivých vrstviček se pro každý bod diagramu $M - k$ mění.

Momentová podmínka bude mít tvar

$$\frac{M_i^t}{b} = \frac{1}{3} (\sigma_{c,i} x^2 + \sigma_t h_t^2) + \sum_{j=1}^{i-1} \sigma_{f,j} h_{f,j} z_{f,j} \tag{6}$$

kde $z_{f,j} = \frac{1}{2k_j} (\epsilon_{f,j} + \epsilon_{f,j-1})$ pro $j = 1 \dots i$.

Verifikace pracovního diagramu numerickou simulací zkoušky

Úlohou verifikace je numerickou simulací zkoušky čtyřbodovým ohybem s odvozeným konstitutivním vztahem (závislost $\sigma - \epsilon$) získat průběh závislosti $F - \delta$ (zatížení - průhyb). Touto počítačovou simulací získaná závislost by se měla s dostatečnou přesností krýt s výsledky zkoušky daného nosníku (série).

Verifikace byla provedena pomocí programů ATENA a ANSYS.

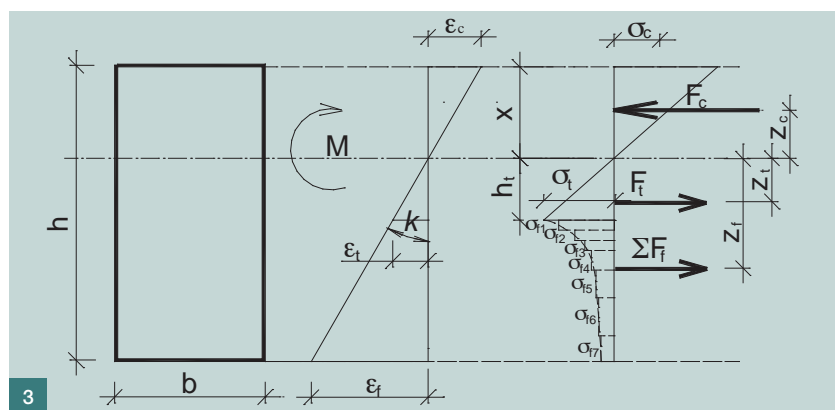
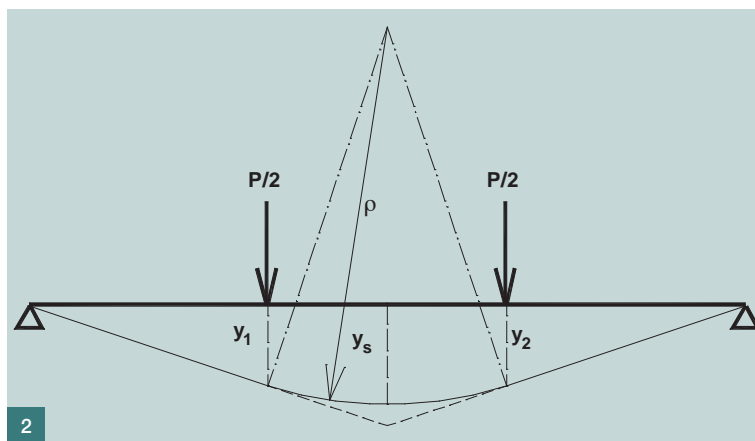
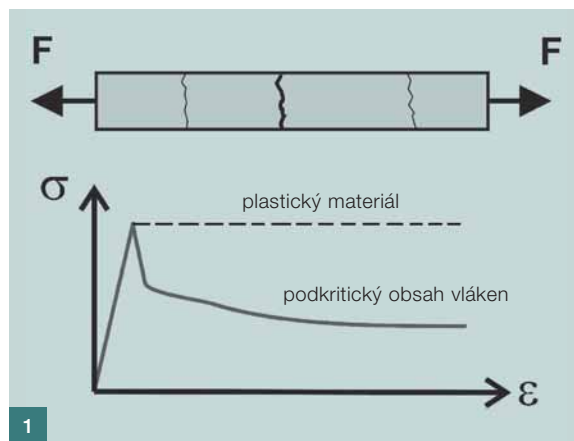
V programu ATENA je implementován speciální materiálový model pro drátkobeton (vláknobeton s ocelovými vlákny), definovaný buď jako funkce $\sigma(\epsilon)$ nebo $\sigma(w)$, kde w značí šířku trhliny. Protože byl odvozen pracovní diagram materiálu, bude pro simulaci použito materiálového modelu založeného na závislosti napětí - přetvoření. Materiálové modely používané tímto programem pro vláknobeton uvádí obr. 4.

Nelineární průběh pracovního diagramu vláknobetonu, získaného jako průměr z devíti nosníků, byl pro potřeby simulace aproximován úsečkami. Jednotlivé parametry materiálového modelu numerické simulace zkoušky programem ATENA jsou zřejmé z obr. 5.

Pro řešení 3D problémů betonových konstrukcí je v programovém systému ANSYS k dispozici speciální prvek CONCRETE65, který umožňuje zohlednit fyzikální nelinearitu. V objemu prvku je možné definovat rovnoměrně rozetřenou výztuž orientovanou obecně do tří směrů, což je adekvátní náhodně rozptýleným vláknům v matici. Materiál výztuže může být také nelineární. Pro popis plasticity materiálu rozetřené výztuže byl využit multilineární model.

Princip implementace pracovního diagramu vláknobetonu využitím kombinace materiálového modelu betonu a oceli uvádí obr. 6.

Vláknobetonový trámec byl modelován s využitím symet-



Obr. 1 Deformační změkčení vláknobetonů | Fig. 1 Softening of fibre concretes

Obr. 2 Průhybová čára za předpokladu rozetřených trhlin | Fig. 2 Deflection line with assumption of smeared cracks

Obr. 3 Vrstvičkový model | Fig. 3 Layer model

rie. Zatěžování probíhalo přírůstkami deformací tak, že celková deformace byla rozdělena do jednoho tisíce zatěžovacích kroků. Deformovaný nosník zobrazuje obr. 7.

Shodu simulace se zkouškou lze zejména v případě 3D analýzy programem ANSYS považovat za velmi dobrou, ačkoliv při průhybech mezi 0,2 a cca 0,8 mm a od 2,5 mm dochází k mírnému přecenění zatěžovací síly. Parametry odvozeného materiálového modelu pro simulaci v programu ATENA (obr. 5) musely být pro získání zobrazeného průběhu křivky $F - \delta$ výrazně modifikovány, což souvisí s lokalizací změkčení pouze do jedné řady prvků a s jejich velikostí. Výsledky numerické simulace zkoušky čtyřbodovým ohybem udává obr. 8.

ANALÝZA VLÁKNOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

S materiálovým modelem, odvozeným a verifikovaným v předchozím odstavci, byla provedena analýza poddajně uložené základové vláknobetonové desky, do níž je zatíženo vnášeno rovnoběžnými vnějšími stěnami se světloú vzdáleností 4,2 m. Modelován byl 1 m široký výsek s využitím symetrie (obr. 9).

Numerická analýza byla provedena MKP-programem ANSYS.

Deterministická analýza

Výpočty konstrukčních systémů jsou v praxi prováděny ve velké většině deterministicky, vstupní parametry jsou tedy zadávány jako neměnné, pevně stanovené veličiny, nejčastěji charakteristickou hodnotou či průměrem.

Deterministická analýza vláknobetonové desky uložené na nesoudržných zeminách (písek) byla provedena v těchto variantách:

- lineárně pružný materiál základové desky a podloží
- nelineární materiál desky a lineární podloží
- nelineární materiál desky a podloží

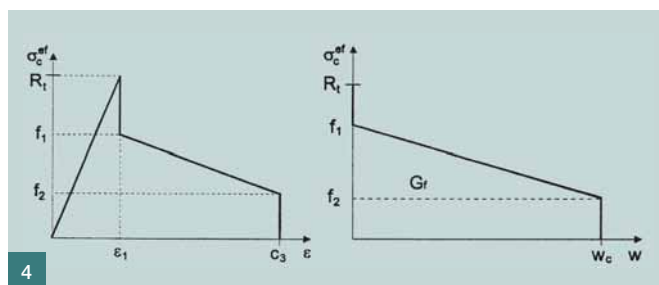
Pro variantu s lineárně pružným podložím bylo deformační chování zeminy popsáno průměrným modulem pružnosti $E = 26,7$ MPa, odvozeným z tabulkové hodnoty oedometrického modulu středně ulehleho písku $E_{\text{oed}} = 30$ MPa a Poissonova čísla $\nu = 0,28$.

Pro popis nelineárního chování podloží alternativy c) byl zvolen elastoplastický materiálový model s Prager-Druckerovou podmínkou plasticity.

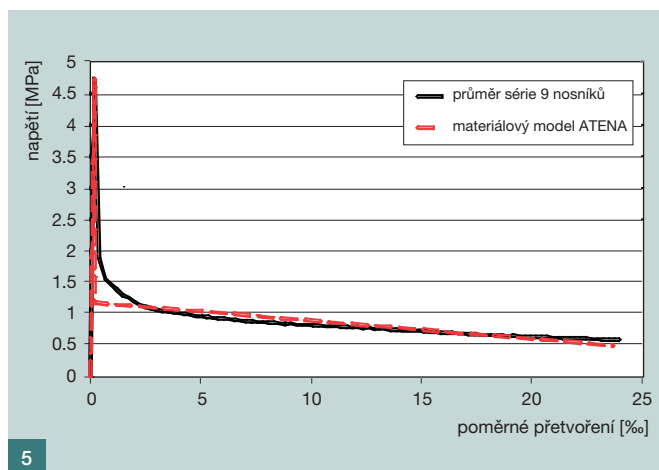
Materiál základové desky byl popsán průměrnými charakteristikami, tedy v alternativě a) modulem pružnosti, definovaným směrnici lineární části pracovního diagramu vláknobetonu, v alternativách b) a c) pak včetně parametrů popisujících deformační změkčení (obr. 6). Při analýze byl sledován vývoj zatížení při rostoucím zatlačení desky (obr. 10). Materiál desky se chová lineárně pružně až po hodnotu zatížení cca 95 kN/m, při kterém vznikla v kritickém průřezu ohybová trhlinka. Od tohoto zatížení se začíná projevovat deformační změkčení vláknobetonu u alternativy b) a současně postupné plastizování materiálu podloží u alternativy c).

Je zřejmé, že pokles ohybové únosnosti kritického průřezu při vzniku trhliny vlivem deformačního změkčení vláknobetonu ještě neznamená vyčerpání únosnosti systému, neboť mnohonásobně staticky neurčitě plošné uložení umožňuje redistribuci napětí v základové spáře. Při zatížení 200 kN/m činí nárůst zatlačení desky 35 % v případě modelu c) a 17 % u modelu b) ve srovnání s alternativou a).

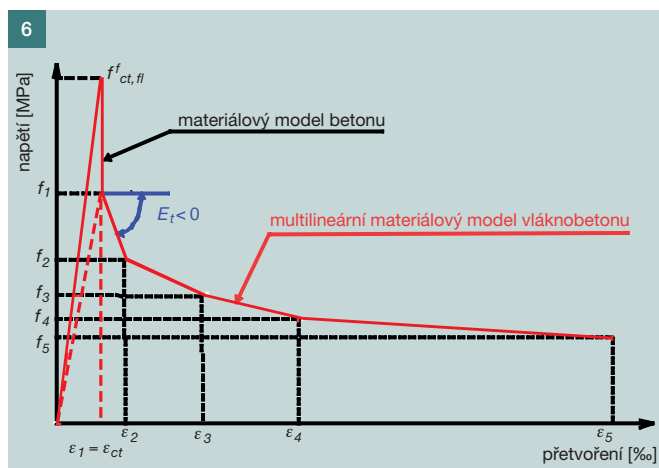
Velikost zatlačení desky do podloží v nelineárním režimu je tedy kromě pracovního diagramu vláknobetonu v tahu výrazně ovlivněna deformačními charakteristikami zeminy.



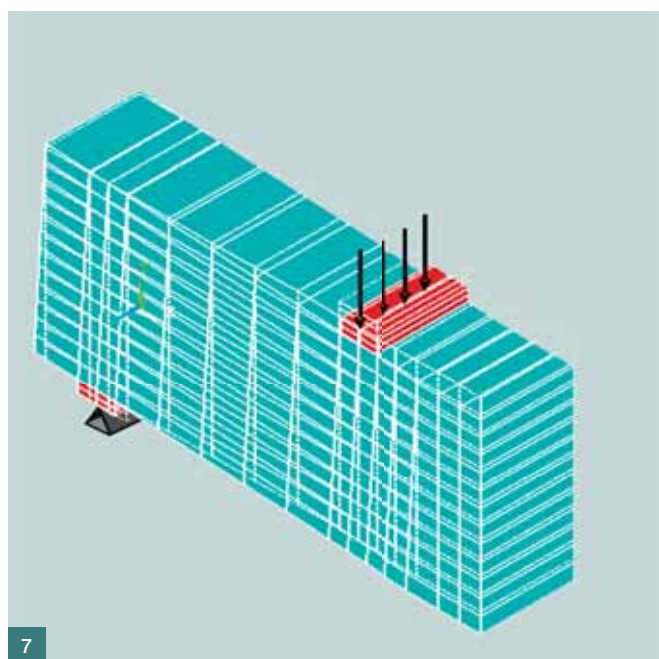
4



5



6



7

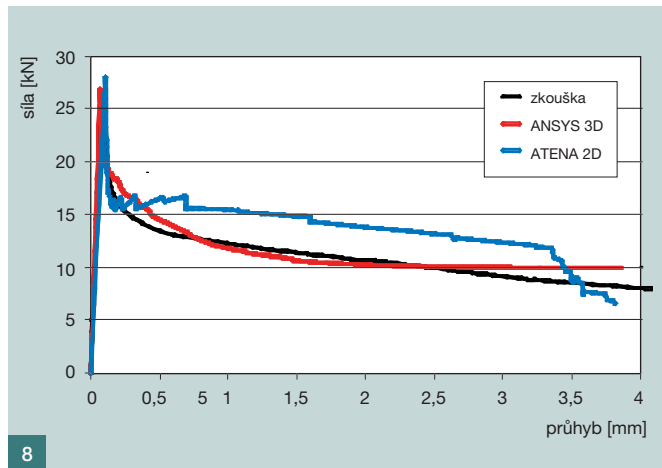
Stochastická analýza

Objektivnost a spolehlivost výsledků deterministické analýzy je podstatnou měrou ovlivněna objektivností a spolehlivostí vstupních dat a jejich rozptylem. Zejména v případě podloží nelze mnohdy jeho materiálové parametry s dostatečnou přesností stanovit, podléhají tedy značnému rozptylu hodnot a v rozsahu základové konstrukce se mohou náhodně měnit. Především v případech konstrukčních systémů, u kterých je interakce s podložím závažným faktorem ovlivňujícím

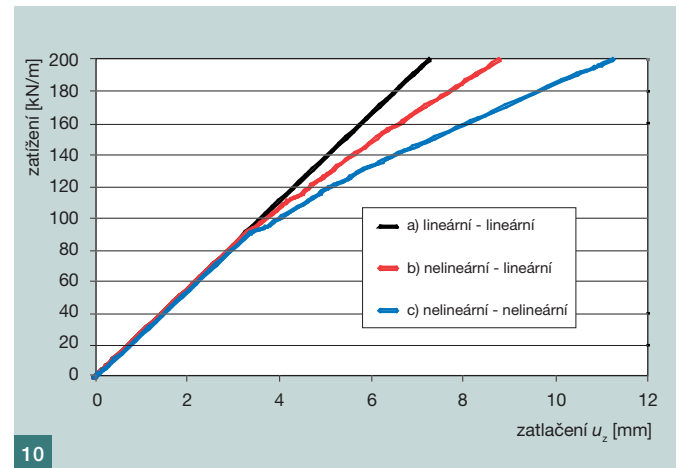
jejich celkovou únosnost a deformaci, je nutné tuto skutečnost uvážit.

K zohlednění vlivu stochastického charakteru vstupních dat na chování uvažované konstrukce byla provedena analýza simulační metodou LHS (*Latin Hypercube Sampling*), umožňující snížit počet nutných opakování při zachování žádoucí přesnosti, což je v případě rozsáhlých numerických modelů značnou předností.

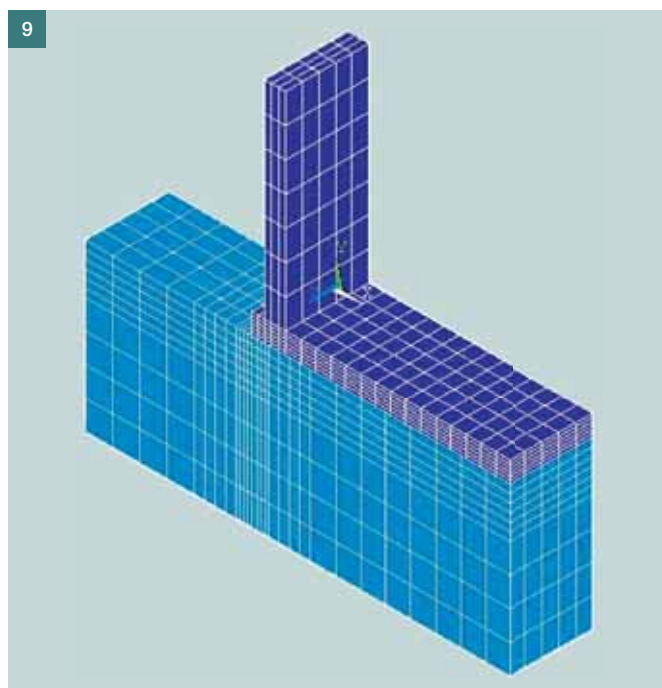
Obecně jsou všechny vstupní parametry, tedy zatížení,



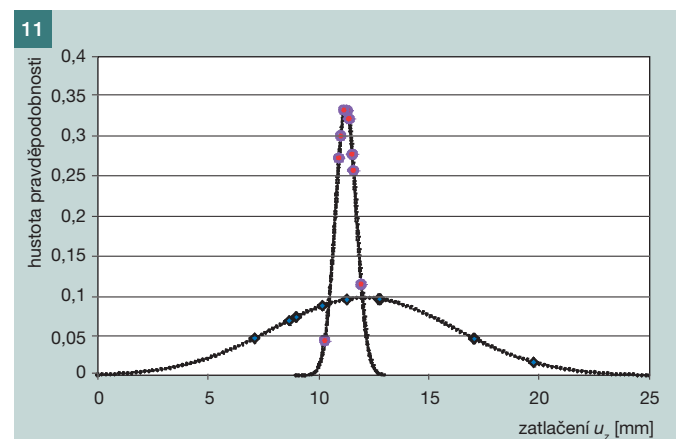
8



10



9



11

Obr. 4 Materiálové modely pro drátkobeton ■ Fig. 4 Material models for fibre concrete

Obr. 5 Materiálový model pro simulaci programem ATENA ■ Fig. 5 Material model for simulation in ATENA program

Obr. 6 Materiálový model pro simulaci programem ANSYS ■ Fig. 6 Material model for simulation in program ANSYS

Obr. 7 Deformovaný nosník ■ Fig. 7 Deformed beam

Obr. 8 Porovnání výsledků simulací ■ Fig. 8 Comparison of results of simulations

Obr. 9 Model výseku konstrukce ■ Fig. 9 Model of the subpart of the structure

Obr. 10 Zatlačení vláknobetonové desky ■ Fig. 10 Vertical displacement of the fibre concrete slab

Obr. 11 Hustota pravděpodobnosti zatlačení u_z ■ Fig. 11 Probability density function of vertical displacement u_z

materiálové charakteristiky podloží a vláknobetonu a geometrie konstrukce, náhodné veličiny. Protože cílem analýzy je v tomto případě sledovat vliv náhodného charakteru jednotlivých materiálových parametrů na velikost zatlačení desky do podloží, budou zatížení a geometrie uvažovány deterministicky.

Stochastická analýza byla provedena pro případy podloží s

a) oedometrickým modulem $E_{\text{oed}} \in \langle 15, 45 \rangle$ MPa

b) oedometrickým modulem $E_{\text{oed}} \in \langle 27, 33 \rangle$ MPa

Případ a) odpovídá zhruba kyprému až středně ulehlejšímu písku. V obou případech činí průměrná hodnota oedometrického modulu 30 MPa, tedy shodně s deterministickým řešením. Horní a dolní hranice intervalů reprezentují 5 a 95% kvantily.

Vstupní parametry pro jednotlivé běhy analýzy byly generovány na základě předpokladu normálního rozdělení. Jejich přehled, stejně jako výsledky jednotlivých opakování (zatlačení desky do podloží u_z) uvádí tab. 1.

Střední hodnoty a rozptyl materiálových parametrů vláknobetonu byly určeny na základě zkoušky série devíti vláknobetonových nosníků. Význam jednotlivých parametrů

Tab. 1 Přehled generovaných parametrů a výsledků analýzy pro E_{oed} v intervalu 15 až 45 MPa ■ Tab. 1 Overview of generated parameters and results of analysis for E_{oed} in the range from 15 to 45 MPa

Cyklus	E_c [MPa]	$F_{fct,fl,250}$ [MPa]	f_1 [MPa]	f_2 [MPa]	f_4 [MPa]	f_5 [MPa]	E_z [MPa]	φ [°]	u_z [mm]
1	26612	3,86	2,61	1,45	0,77	0,36	27,66	34,30	8,7
2	27268	3,80	1,68	1,46	0,90	0,49	21,94	30,36	12,8
3	30429	3,99	2,28	1,21	0,93	0,76	15,45	32,71	17,1
4	29585	3,91	2,06	1,40	0,80	0,61	32,19	35,76	7,1
5	27747	4,22	1,20	1,22	1,04	0,64	26,32	31,96	10,2
6	28116	3,53	1,94	1,34	1,14	0,41	20,09	32,55	12,8
7	25985	4,09	1,79	1,22	0,84	0,50	14,16	31,39	19,8
8	29118	4,51	1,70	1,14	0,73	0,54	23,61	33,26	11,3
9	28427	4,26	2,15	1,52	0,98	0,67	29,40	30,85	9,0
průměr μ :									12,1
směrodatná odchylka σ :									4,1

Tab. 2 Přehled indexů spolehlivosti, pravděpodobnosti poruchy a korelací ■ Tab. 2 Overview of reliability indexes, probability of failure and correlations

Interval E_{oed}	φ	$P(u_z - u_{z,lim})$	korelační koeficienty			
			$u_z - f_1$	$u_z - f_2$	$u_z - f_3$	$u_z - E_z$
$E_{oed} \in <15,45>$ MPa	0,66	0,255	-0,117	-0,525	-0,368	-0,974
$E_{oed} \in <27,33>$ MPa	7	1,30E-12	0,826	0,428	-0,255	-0,704

v tab. 1, popisujících pracovní diagram vláknobetonu v tahu, je zřejmý z obr. 6.

Vyhodnocení stochastické analýzy vychází z předpokladu, že sledované zatlačení u_z je náhodná veličina s normálním rozdělením pravděpodobnosti. Hustoty pravděpodobnosti zatlačení u_z pro oba případy udává obr. 11.

Červeně je vyznačena hustota pravděpodobnosti případu s E_{oed} v intervalu 15 až 45 MPa, modře případu s E_{oed} v intervalu 27 až 33 MPa.

Znalost rozdělení pravděpodobnosti a distribuční funkce náhodné veličiny u_z umožňuje stanovit interval jejího výskytu při požadované pravděpodobnosti, případně index spolehlivosti a pravděpodobnost překročení zvoleného mezního stavu. Při této analýze bylo za mezní stav považováno mezní zatlačení $u_{z,lim} = 14,8$ mm.

Je zřejmé, že pravděpodobnost překročení limitního zatlačení je v případě podloží s vysokým rozptylem hodnot oedometrického modulu velmi vysoká a index spolehlivosti nízký (doporučená hodnota je $\beta = 3$). Velmi zajímavé je také porovnání korelačních koeficientů, vyjadřující míru závislosti sledovaných náhodných veličin. Při menším rozptylu hodnot oedometrického modulu podloží se závislost zatlačení základové desky na materiálových charakteristikách vláknobetonu zvětšuje.

ZÁVĚR

Inverzní analýzou byl z výsledků zkoušek série devíti vláknobetonových nosníků odvozen pracovní diagram vláknobetonu a za účelem jeho verifikace implementován do programů založených na MKP. I přes jisté potíže s konvergencí při numerické analýze staticky určité konstrukce s výrazným deformačním změkčením byl implementovaný materiálový model verifikován a použit při deterministické a stochastické analýze poddajně uložené základové konstrukce z vláknobetonu.

Ukázalo se, že pro široký interval modulu přetvárnosti uvažované zeminy je pravděpodobnost poruchy základové desky z daného drátkobetonu mimořádně vysoká. Podobný problém by však mohl nastat i v případě železobetonové desky, neboť výztuž navržená na základě vnitřních sil zpro-

Literatura:

- [1] Petřík V.: Materiálové modely a výpočtové analýzy vláknobetonových konstrukcí, Doktorská disertační práce, ČVUT Praha, 2004
- [2] Kouhoutková A.; Křístek V.; Broukalová I.: Materiálový model vláknobetonu – inverzní analýza, Sborník Fibre Concrete & High Performance Concrete, Serukon, 2003 Praha
- [3] Thomée B.: Physikalisch nichtlineare Berechnung von Stahlfaserbetonkonstruktionen, Doktorská disertační práce, TU München, 2005
- [4] Vráblík L., Křístek V.: Vláknobeton-přibližná metoda inverzní analýzy. Beton TKS 6/2004, str. 50
- [6] Petřík V., Kurth H.: Základní aspekty navrhování vláknobetonových konstrukcí, Beton TKS 1/2007, str. 46–50
- [7] Foglar M., Štemberk P., Kohoutková A.: Historie únavy a přehled problematiky v oblasti betonových a drátkobetonových konstrukcí, Proc. of 3rd intern. Conf. Fibre Concrete 2005, VŠB – Technická univerzita Ostrava 2005, pp. 17–22

středkovaných nejčastěji deterministickým řešením lineárně pružné konstrukce MKP za uvážení střední hodnoty modulu přetvárnosti by v případě o 50 % menšího modulu přetvárnosti základové půdy byla také nevyhovující. Vyztužení by muselo být zřejmě podstatně intenzivnější. Tímto je také poukázáno na důležitost simulačních metod.

V případě spolehlivé definice deformačních vlastností zeminy je vláknobeton pro tento typ konstrukcí velmi vhodným materiálem, neboť lze využít jeho zvýšené duktility a schopnosti přenosu tahových napětí v průřezu porušeném trhlinou. V opačném případě je nutné použít vláknobeton s méně výrazným deformačním změkčením (je třeba konstatovat, že v uvedených analýzách byl záměrně použit vláknobeton s nízkým objemovým podílem drátků a velmi výrazným poklesem schopnosti přenosu tahových namáhání po překročení pevnosti v tahu na mezi vzniku trhliny), popřípadě použít kombinace vláknobetonu s lokálním vyztužením nejméně namáhaných oblastí základové desky.

Příspěvek vznikl v rámci řešení projektu 103/09/2097 GAČR a Výzkumného záměru Stavební fakulty ČVUT MSM 04 Udržitelná výstavba č.6840770005.

Ing. Vojtěch Petřík, Ph.D.

HELIKA, a. s.

Beranových 65, 199 21 Praha

tel.: 733 690 218, fax: 281 097 200

e-mail: vojtech.petrik@helika.cz



Ing. Iva Broukalová, Ph.D.

tel.: 224 354 627, e-mail: iva.broukalova@fsv.cvut.cz



Prof. Ing. Vladimír Křístek, DrSc.

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



oba: Stavební fakulta ČVUT v Praze

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

všichni: OSVVP ČSSI

Komornická 15, 160 00 Praha 6