

NUMERICAL SIMULATION OF FLOOR STRUCTURE WITH CLAY UNITS HURDIS

M. Vokáč*, P. Bouška*

Summary: *FE numerical analysis of floor structure made from clay units HURDIS has proved that the stress state in support region, where failure occurs, is mainly influenced by six parameters: modulus of elasticity of concrete, modulus of elasticity of fired clay, shrinkage of concrete, moisture expansion of clay, thickness of concrete layer and thickness of webs of HURDIS plate. These parameters determine sensitivity of clay units in the floor structure to failure.*

1. Úvod

V České republice dochází od devadesátých let k haváriím stropních konstrukcí zhotovených ze stropních desek HURDIS. Celkem došlo zhruba k 60 až 70 haváriím, které mají obdobný charakter. Po určité době od dokončení konstrukce vznikají ve stěnách keramických desek vodorovné trhliny a odpadne dolní část desek stropu i s omítkou. V Kloknerově ústavu a v Ústavu skla a keramiky VŠCHT v Praze byla provedena řada experimentů simulujících poruchy stropních konstrukcí. Doprovodnými laboratorními zkouškami byly stanoveny základní fyzikální a mechanické vlastnosti páleného střepu. Z experimentálního rozboru a z rozboru numerických modelů FEM vyplývá, že hlavní příčinou poruch jsou objemové změny keramiky a betonu, dvou materiálů s výrazně odlišnými vlastnostmi. Cementový potěr se během tuhnutí a tvrdnutí smršťuje a keramický střep po svém výpalu nabývá vlivem nevratné vlhkostní roztažnosti.

2. Model stropní konstrukce zhotovený v laboratoři

V laboratoři byla zhotovena část stropní konstrukce ze tří desek HURDIS osazených do patek. Patky byly podpírány válcovanými profily I 200, které byly příčně svázány profily U 140. Na horním povrchu desek byl uložen cementový potěr v tloušťce 20 mm. Současně byly vyrobeny tělesa 40 x 40 x 160 mm, na kterých se měřilo v dilatometru průběh smršťování. V polovině

* Ing. Miroslav Vokáč, Ing. P. Bouška, CSc.: Kloknerův ústav, ČVUT v Praze; Šolínova 7; 166 08 Praha 6; tel./fax: +420.224 353 537; e-mail: mer_ustr@klok.cvut.cz

rozpětí desek jsou umístěny dva snímače, kterými jsou dlouhodobě monitorovány svislé deformace desky.

3. Numerický model

Experiment byl simulován lineární metodou konečných prvků programovým výpočetním systémem FEAT 2000, což je běžně dostupný stavební software. Desky HURDIS byly modelovány pomocí deskostěnových prvků. Stejným typem prvků byla modelována i cementová mazanina a její spolupůsobení s deskou HURDIS bylo zajištěno tuhými rameny. S výhodou byla využita symetrie úlohy.

Na základě výsledků doprovodných zkoušek na keramickém střepu byl zvolen modul pružnosti keramiky 20 GPa. Modul pružnosti cementového potěru byl odhadnout a to hodnotou rovněž 20 GPa.

Mezi nelineární vlivy, které model nemůže vystihnout, patří zejména nelineární chování kontaktu keramika–potěr, reologické vlastnosti betonu v počátku tuhnutí a tvrdnutí (s časem proměnný modul pružnosti a pevností materiálu a také projevy dotvarování), fyzikální nelinearitu materiálu a jeho poškození. Je ale třeba poznamenat, že pracovní diagram keramického střepu je až do bodu porušení prakticky lineární.

Uložení desek na patky bylo modelováno pouze jejich prostým podepřením. To znamená, že se předpokládá ve směru podélné osy desek volná vodorovná deformace. Od objemových změn vznikají svislé reakce v tomto uložení jen za podmínky, že je zabráněno zdvínání rohů.

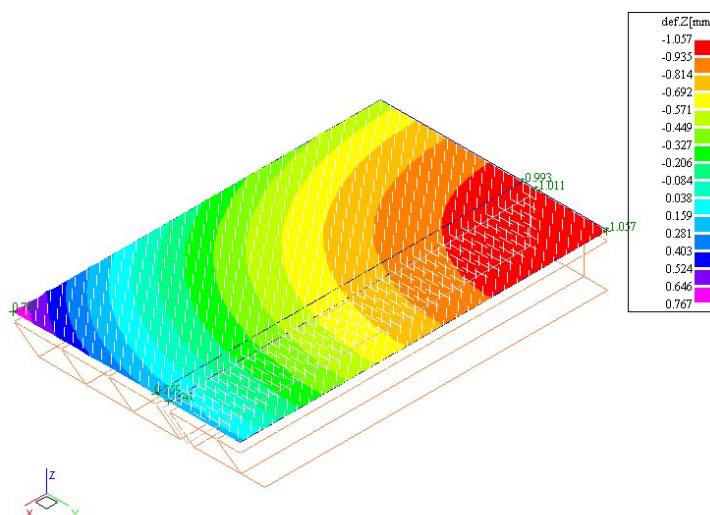
4. Porovnání průhybů numerického modelu s experimentem

Před vznikem první trhliny byl naměřen průhyb střední desky 0,80 mm a krajní desky 0,50 mm. Trhliny se tvořily ve stěnách desek v oblasti podepření. V té době proběhlo smrštění potěru o 0,65 mm/m. Porovnání s vypočtenými průhyby od této hodnoty smrštění je v tab. 1. Numerický model I umožňuje zdvínání rohů a numerický model II zdvínání rohů neumožňuje.

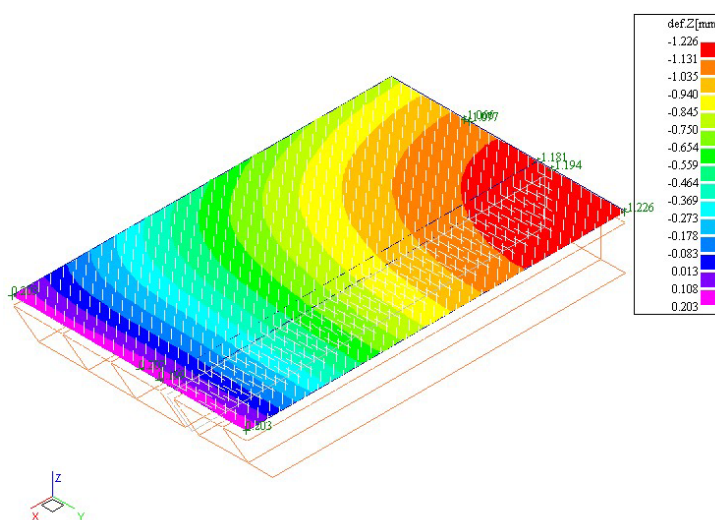
Tabulka 1 – Porovnání naměřených a vypočtených hodnot

Bod	Umístění bodu	Průhyb [mm]		
		Experiment	Numerický model I	Numerický model II
w_1	střední deska	0,80	1,06	1,23
w_2	krajní deska	0,50	0,83	1,07
Poměr w_1/w_2		0,625	0,783	0,870

Numerický výpočet dává větší hodnoty, než které byly naměřeny na skutečném modelu. Při porovnání poměrů svislých průhybů w_1 a w_2 je zřejmé, že lépe vystihuje tvar průhybové plochy numerický model I. Průhybové plochy zobrazují obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1 Průhybová plocha modelu I



Obr. 2 Průhybová plocha modelu II

5. Citlivostní analýza

Dále byla provedena citlivostní analýza parametrů ovlivňující velikosti extrémů v hlavním tahu ve stěnách desky HURDIS v oblasti jejich uložení. K tomu účelu byl použit numerický model I. Střední hodnoty a difference jednotlivých veličin spolu s výsledky jsou uvedeny v tab. 2. Hodnota $tg(\alpha_i)$ podle (1) vyjadřuje směrnici tečny poměrných veličin, což umožňuje srovnávat vliv parametrů různých fyzikálních rozměrů. Proto $tg(\alpha_i)$ byl stanoven jako:

$$tg(\alpha_i) = \frac{\{\sigma(\mu_{xi} + \Delta x_i) - \sigma(\mu_{xi})\} / \sigma(\mu_{xi})}{\Delta x_i / \mu_{xi}} \quad (1)$$

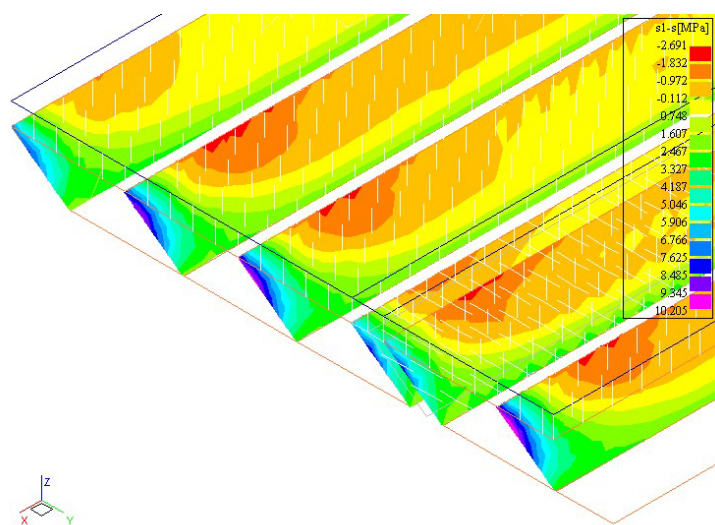
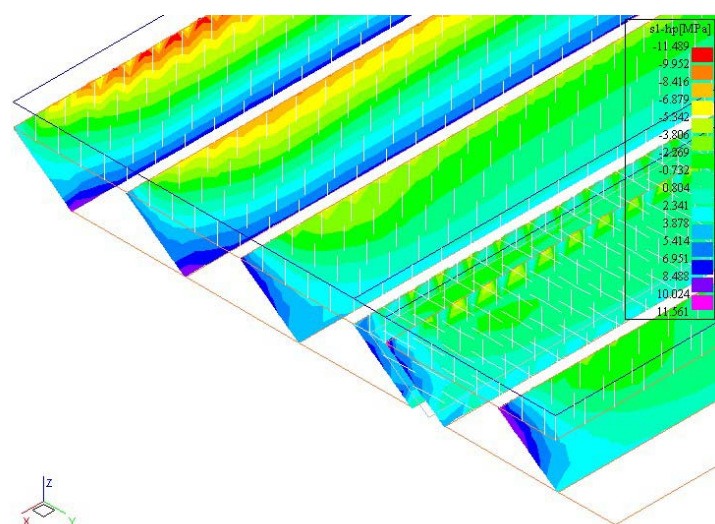
kde $\sigma(X)$ je extrémní hodnota hlavního napětí v tahu jako funkce X ,
 μ_{xi} střední hodnota sledovaného parametru,
 Δx_i diference sledovaného parametru.

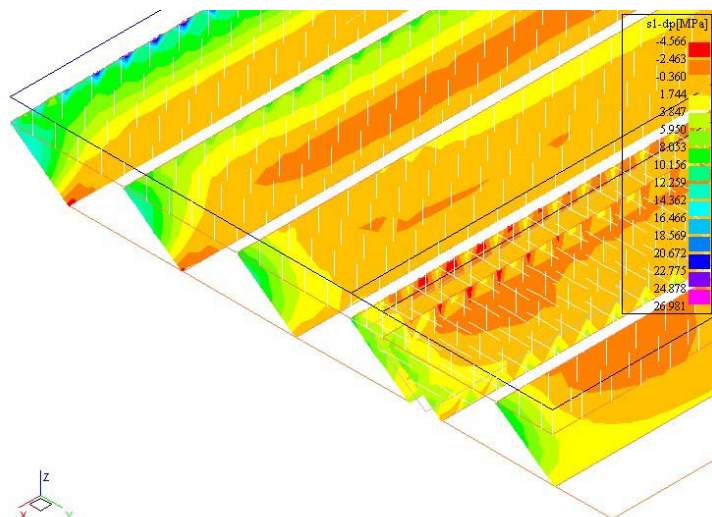
Číslo $tg(\alpha_i)$ lze interpretovat jako přírůstek (resp. úbytek) hodnoty napětí v %, při přírůstku (resp. úbytku) sledovaného vstupního parametru o 1%. V tab. 2 jsou uvedeny vždy 3 hodnoty $tg(\alpha_i)$. Hodnota A je stanovena pro extrémní napětí v hlavním tahu ve střednicové rovině, hodnota B pro napětí u horního povrchu (tj. ten, který je u krajní stěny modelu vnějším povrchem) a hodnota C pro napětí u dolního povrchu (u krajní stěny vnitřní povrch). Izolinie hlavních napětí v tahu pro střední hodnoty sledovaných parametrů ve střednicové rovině a pro dolní i horní povrch stěn desek HURDIS jsou zobrazeny na obr. 3 až obr. 5.

Tabulka 2 Citlivostní analýza napětí σ_1 ve stěnách desek

Parametr	μ_{xi}	Δx_i	$tg(\alpha_i)$		
			A	B	C
Modul pružnosti keramiky [GPa]	20	- 4	1,014	0,926	0,995
		+ 4	1,051	0,900	0,928
Modul pružnosti potěru [GPa]	20	- 4	-0,036	0,111	0,068
		+ 4	-0,217	0,052	0,023
Tloušťka stěny desek [mm]	12	- 2	-0,348	-2,370	-0,462
		+ 2	-0,304	-1,541	-0,380
Tloušťka betonu [mm]	20	- 10	-0,478	0,123	0,199
		+ 10	-0,304	-0,070	-0,271
Smrštění betonu [mm/m]	- 0,65	+ 0,13	1,000	1,000	1,000
		- 0,13	1,000	1,000	1,000
Roztažnost keramiky [mm/m]	0,3	- 0,06	1,000	1,000	1,000
		+ 0,06	1,000	1,000	1,000

Směrnice $tg(\alpha_i)$ nabývá stejných hodnot pro $+\Delta x_i$ i $-\Delta x_i$ v případě lineární závislosti a je-li současně tato hodnota rovna 1, pak se jedná o přímou úměrnost. To je vidět u parametrů smrštění potěru a roztažnosti střepu (využily jsme lineární model). Z výsledků lze interpretovat, že velkou změnu stavu napětí může způsobit změna tloušťky stěny desky, tloušťky potěru a modulu pružnosti keramiky.

Obr. 3 Izolinie σ_1 ve střednicové roviněObr. 4 Izolinie σ_1 při horním povrchu (tj. neviditelná strana stěn keramických desek HURDIS)



Obr. 5 Izolinie σ_1 při dolním povrchu (tj. viditelná strana stěn keramických desek HURDIS)

5. Závěr

Numerickým modelováním bylo prokázáno, že poruchy stropních desek HURDIS jsou způsobeny objemovými změnami materiálu. Stav napětí výrazně ovlivňuje modul pružnosti potěru i keramiky, tloušťka potěru a tloušťka stěn keramických desek.

6. Poděkování

Práce vznikla za podpory grantu GAČR 103/00/0957 a projektu CEZ JO4/98 210000004.

7. Literatura

Jedamczik, H.W.: Contraction and Expansion. Deformation of Building Materials under the influence of Moisture, Part 1, Ziegelindustrie International 46, pp. 295-302, (1993), Part 2, 46, pp. 456-461, (1993)

Bouška, P., Hanykýř, V., Pume, D., Maryška, M.: Vlastnosti cihlářských výrobků a poruchy stropních konstrukcí z desek Hurdís, Sekurkon, Praha 2002