

NUMERICAL FEM ANALYSIS OF HOLE - DRILLING METHOD

K. Vítek*, K. Doubrava*, T. Mareš*, M. Španiel*

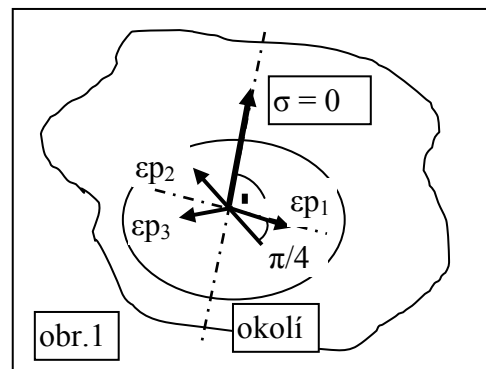
Summary: *Hole drilling method is a total numerical simulation of tension or bending loading of two types of beam specimens. The FEM model of the special drilling strain gauge rosette measurement simulates the real situation of each specimen. Drilling process is realized numerically step by step. The rosette data signals provide a base for another hypothesis of residual stress identification, which is introduced in this paper.*

1. Úvod

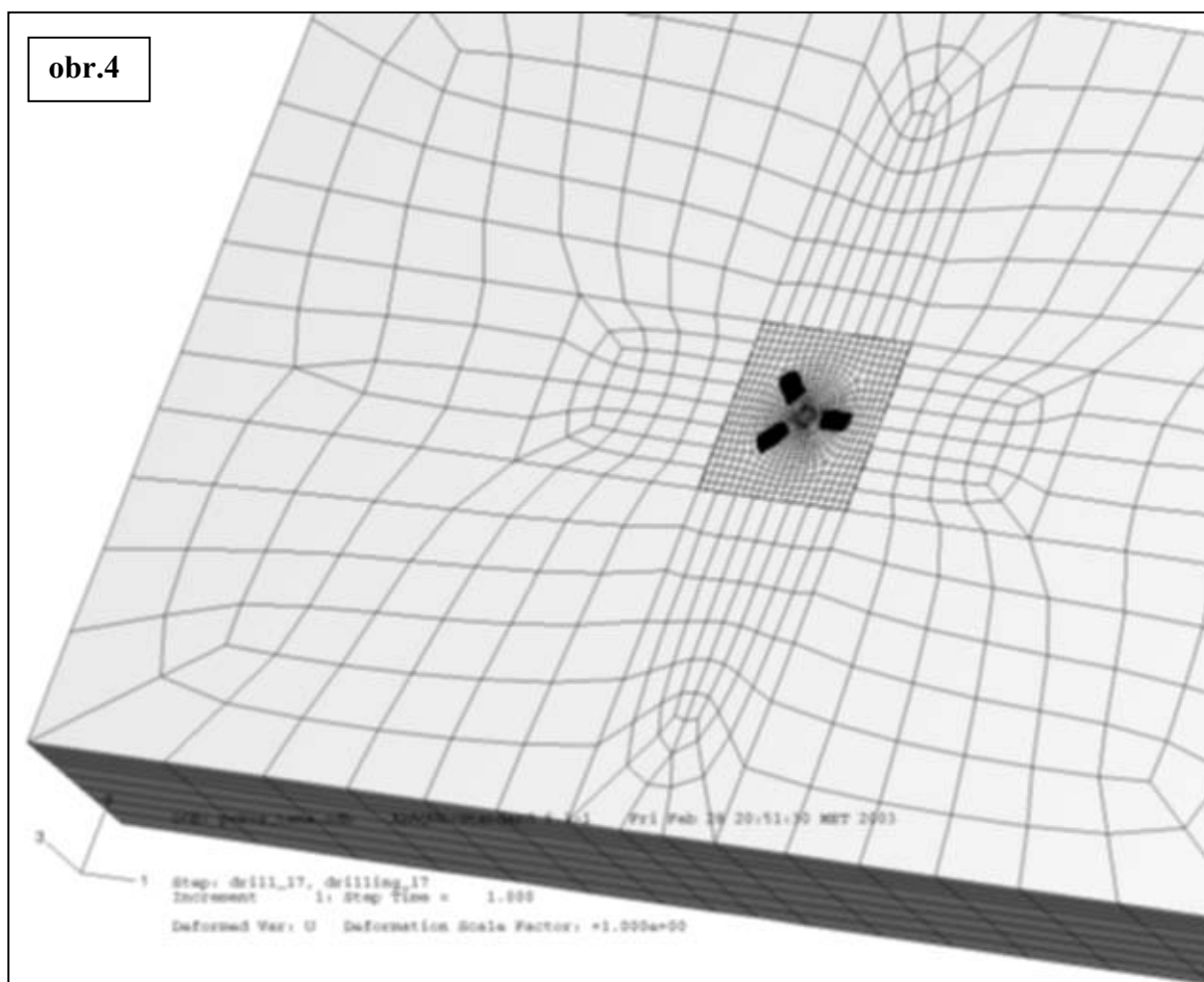
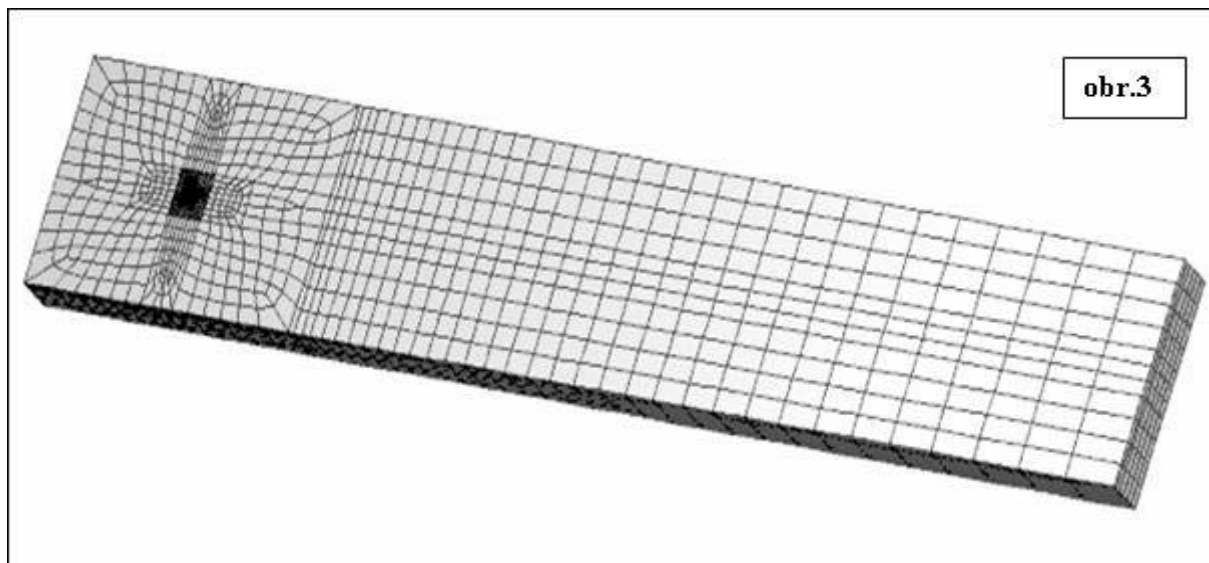
Odvrtávací metoda sloužící k určování zbytkových napětí využívá signálů tenzometrů aplikovaných na povrch tělesa, které zde reagují v případě vrtání otvoru na uvolnění deformací, ke kterému dochází vlivem fáze vrtání otvoru v předepjatém materiálu. Metodika identifikace zbytkových napětí založená na vrtání válcového otvoru kolmo k povrch zkoumaného objektu zaujala naši pozornost po té, co jsme ji v roce 2002 aplikovali ve výzkumu zbytkových napětí ohybů potrubí. U soupravy RESTAN vyrobené v Itálii firmou SINT Technologi a dodávané i s vyhodnocovacími programy jsme prováděli kalibraci metodiky na nosnících prostých zbytkových napětí a zatížených dominantní jednoosou ohybovou napjatostí. Protože jsme se jak velikostí, tak i charakterem napjatosti při této aplikaci odvrtávací metody diametrálně odlišovali od reálného stavu kalibračních nosníků, vzrůstaly naše pochybnosti o funkčnosti vyhodnocovacích programů i užitých teorií, proto vznikla i tato studie.

Uvažujeme Hookeovský materiál, který má do malé hloubky pod povrchem (viz obr.1) normálovou složku tenzoru napětí kolmou k povrchu - jako hlavní napětí - nulovou. Tento předpoklad je přímo na volném povrchu splněn. V okolí zkoumaného bodu předpokládáme rovinný povrch součásti, na kterém sledujeme poměrná prodloužení ve třech směrech (ϵ_{p1} , ϵ_{p2} , ϵ_{p3}) pomocí tenzometrické růžice firmy HBM, která je typická pro odvrtávací metodu.

Při numerickém modelování procesu odvrtávání užíváme nosníky, na kterých lze snadno silovým zatížením definovat jednoosou napjatost. Předpokládáme, že napjatost změněná vrtáním otvoru je jednoznačnou funkcí napjatosti tělesa otvorem neporušeného.



* Ing. Karel Vítek, CSc., Ing. Miroslav Španiel, CSc., Ing. Karel Doubrava,
 Ing. Tomáš Mareš : Fakulta strojní, ČVUT v Praze; Technická 4; 166 07 Praha 6 ;
 tel.: +420 224 352 520; e-mail: vitek@fsid.cvut.cz



Hlavní napětí kolmé k povrchu předpokládáme nulové. Při platnosti superpozice (vrtaný otvor o průměru 1,6 mm a hloubce do 2,4 mm je relativně velmi malý vůči rozměrům zkoumaných těles) uvažujeme oblasti malých posuvů. Numerický model nosníku je v systému ABAQUS tvořen izoparametrickými prostorovými prvky s bilineární interpolací posuvů,

modely prutu a rúžice jsou v uzlech propojeny v celek. Obr.2 vystihuje síťování nosníku se symetrickou polohou prutového modelu vláken tenzometrů rúžice. Detailní model okolí vrtaného otvoru s rúžicí v obr.3. dokumentuje užití jemné sítě exponovaného okolí rúžice.

Chování pole napjatosti s ohledem na vznikající otvor je velmi složité. Deformační energie, která se po každém odvrtném elementu hloubky přerozdělí na napjatost zejména okolí otvoru není ani přesně definovaná, neboť v místě otvoru také část materiálu tělesa zmizí odvrtním. Zaměřujeme se na funkci tenzometrů rúžice a hledáme mezi jimi naměřenými signály (změny poměrných prodloužení) vztah vzhledem k napjatosti, abychom ji mohli identifikovat.

2) Metoda řešení

Chování signálů tenzometrů ϵ_{p1} , ϵ_{p2} na ohýbaném nosníku (s maximálním ohybovým normálovým napětím $\sigma_0=126\text{MPa}$ ve směru tenzometru ϵ_{p1} -viz obr.1) je uvedeno na obr.4 pro nosník o průřezu 12×60 mm. Tato data, simulující zde měření, jsme proložili regresními polynomy šestého stupně.

Pro formulaci matematického modelu identifikace původní napjatosti je třeba diferenciální formou nejprve odfiltrovat historii signálu tenzometrů na hloubce x derivací signálové funkce $\epsilon_{pi}(x)$ podle polohy x :

$$d\epsilon_{pi}(x) = \frac{d(\epsilon_{pi}(x))}{dx}. \quad (1)$$

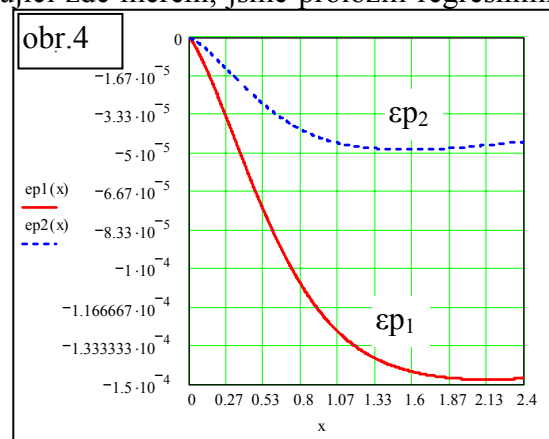
U Hookeovského materiálu je funkce této derivace $d\epsilon_{pi}(x)$ lineárně závislá pouze na příslušném poměrném prodloužení $\epsilon_i(x)$. Proto pro vyloučení i tohoto vlivu zavádíme podílem jednotkovou derivaci, která už je pouze funkcí hloubky díry x :

$$jd\epsilon_{pi}(x) = \frac{d\epsilon_{pi}(x)}{\epsilon_i(x)} \quad (2)$$

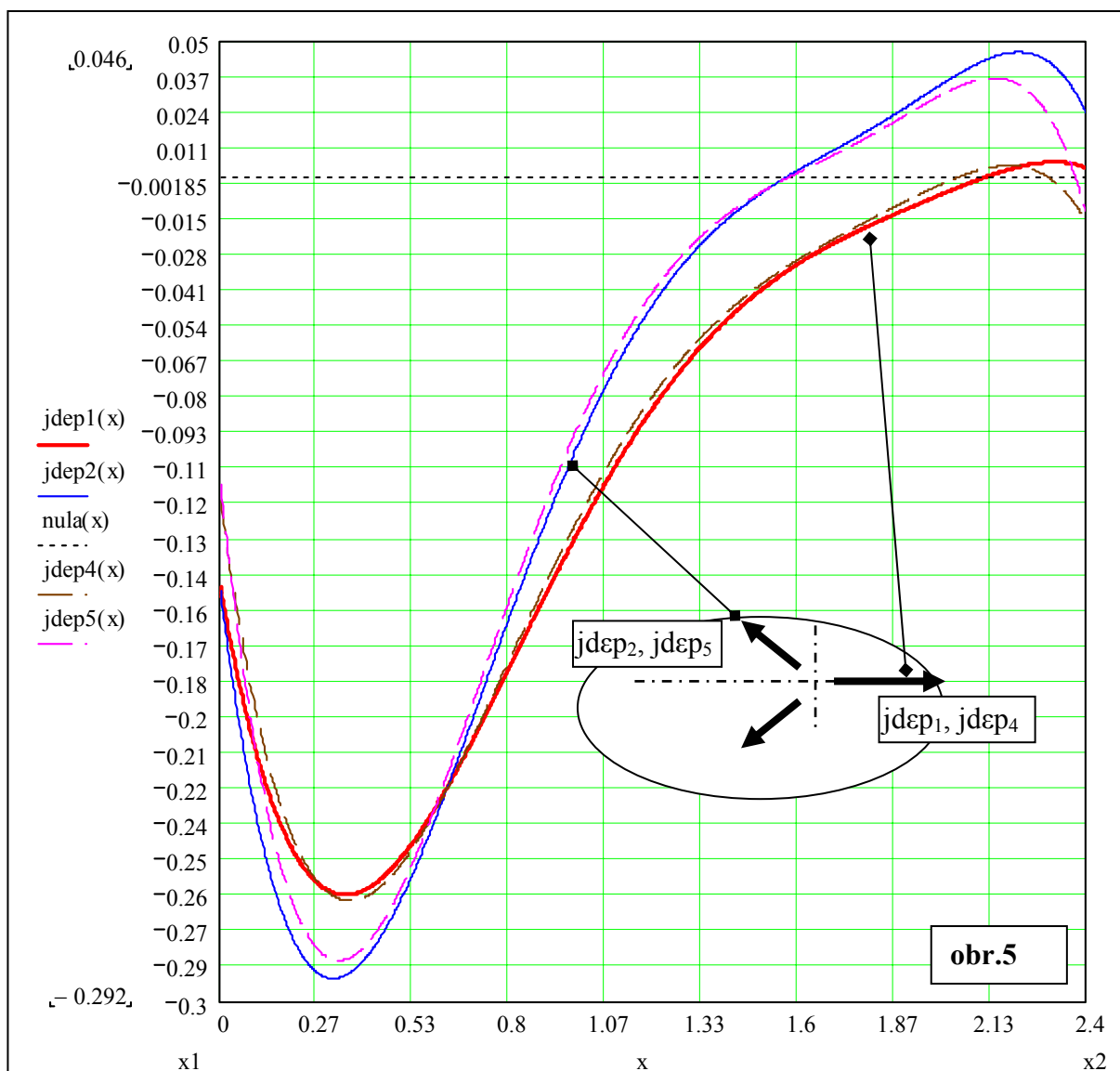
Průběh derivací $d\epsilon_{pi}(x)$ pro rúžice obou typů nosníků při ohybu uvádí obr.5. Mírně silnější jsou zde signály na širším nosníku (indexy 1,2), ale charakter odpovídajících funkcí je shodný a umožní kompromisní – obecný návrh průběhu derivace.

3) Závěr

Tato jednotková derivace signálové funkce $jd\epsilon_{pi}(x)$ musí být pro daný typ otvoru definována kompromisem (funkcí nezávislou na konkrétním tenzometru rúžice: $jd\epsilon_{pi}(x)$), neboť konstrukce rúžice na povrchu má objektivní vlastnosti a mírně se může pro tenzometry lišit. Potom kompromisní funkce jednoznačně zobrazuje signál na libovolném tenzometru rúžice na původní poměrné prodloužení a ve směru rovnoběžném s daným tenzometrem rúžice v ose vrtané díry, hloubce x . To pak dává dostatečnou informaci pro určení původní napjatosti v obecné vrtané hloubce x (na ose díry).



Konkrétní zpracování dat z naměřené růžice začíná nahrazením naměřených dat regresní funkcí na signální funkci $\epsilon_{pi}(x)$ každého i -tého tenzometru a pak derivováním této funkce podle hloubky vrtané díry x na funkci $d\epsilon_{pi}(x)$ z rovnice (1). Protože kompromisní funkce jednotkové derivace $jdep(x)$ je pro všechny otvory daného průměru a hloubky shodná,



je jí možno po numerických analýzách v uzavřeném tvaru tabelovat a využívat k řešení. Z rovnice (3) určíme poměrné prodloužení v hloubce x a ve směru i -tého tenzometru růžice:

$$\epsilon_i(x) = \frac{d\epsilon_i(x)}{jdep(x)} \quad (3)$$

Tato tři poměrná prodloužení určují v hloubce x na ose vrtané díry pod povrchem jednoznačně zbylá dvě hlavní zbytková napětí a jejich směr vůči aplikované růžici.

4) Poděkování

Tato práce vznikla za podpory grantu GAČR: GA106/02/0612