

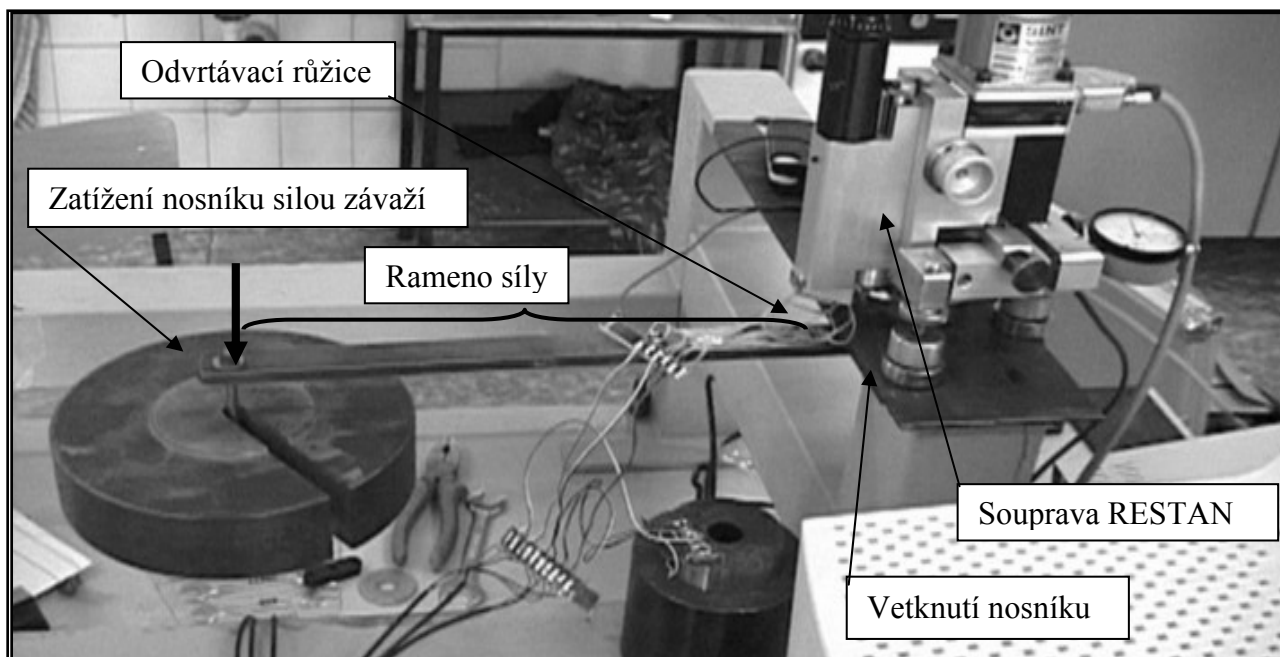
HOLE-DRILLING METHOD TEST USING BENDING SPECIMENS TESTOVÁNÍ VYVRTÁVACÍ METODY NA OHÝBANÝCH VZORCÍCH

Karel VÍTEK, Karel DOUBRAVA, Stanislav HOLÝ, Tomáš MAREŠ

Abstract: The paper documents experimental tests of the RESTAN boring system. For testing exploited are beam bodies (annealed to restrain residual stress) subjected at a defined bending stress which is to be identified by the drilling methodology. Results evaluated from the test do not correspond to the stress level, set by the system, both in absolute values and in the stress character, and show large and multiple divergence

Key words: drilling metod, residua stress, Integral Metod, FEM

Testování funkce měřicí soupravy RESTAN, která byla pro naše pracoviště vyrobena italskou firmou SINT Technology, jsme založili na identifikaci dominantní ohybové složky napjatosti vznikající u ohýbaného prutu obdélníkového průřezu. Zvolili jsme tři nosníky o průřezích 8x25mm, 6,4x40,4mm, 12,1x12,1mm, které jsme nejprve vyžihali v peci na 650°C, aby byla odstraněna technologická zbytková napětí v materiálu. Po instalaci odvrtávacích růžic zn. Hottinger jsme uložili nosníky vetknutím, které jsme vytvořili sevřením konce nosníku polepeného jemným textilem z důvodů rovnoměrného kontaktu těla



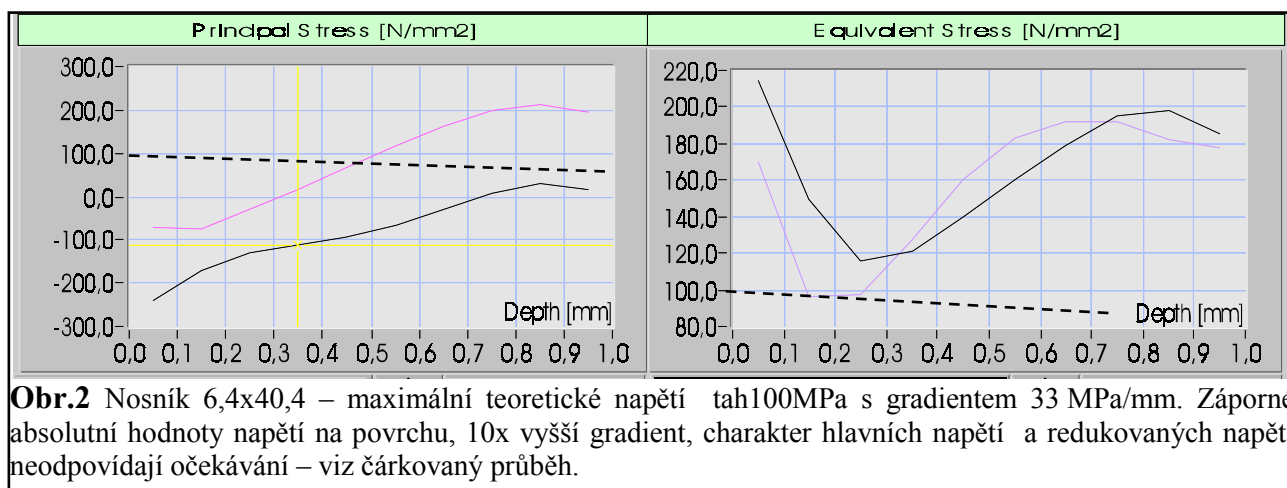
Obr.1

Identifikace gradientu ohybové složky napětí v podélné ose na nosníku - vyvrtávací metodou

nosníku s dolní a horní podložkou. Volný konec jsme zatížili silou 100N pomocí závaží, viz obr.1 a zahájili jsme proces odvrtávání spojený s měřením odezvy růžice a vyhodnocováním - včetně korekce na excentricitu vrtaného otvoru.

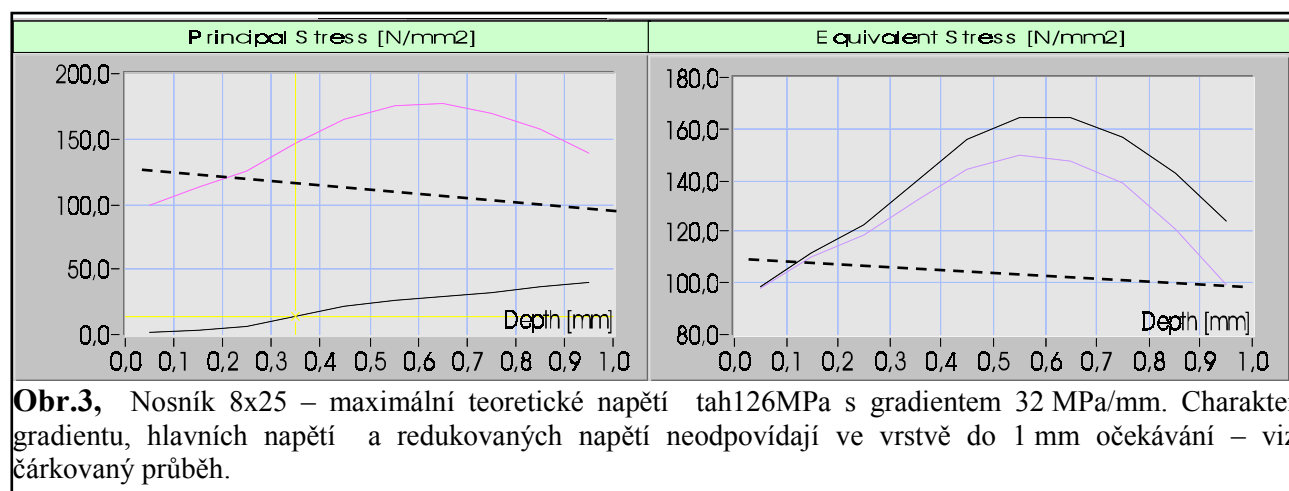
Protože nosníky byly ohýbány (viz obr.1) přes plochou stranu, ověřovali jsme ohybové napětí v místě odvrťovacích růžic také užitím MKP – zároveň jeden tenzometr růžice vždy sledoval na povrchu osu nosníku a jeho signál při zatížení nenavrtaného nosníku bylo možno snadno Hookeovým zákonem porovnat s teoretickým tahovým (hlavním) ohybovým napětím (ostatní dva tenzometrické systémy růžic byly umístěny symetricky pod úhlem 45° od podélné osy nosníků. Vyvolané ohybové napětí bylo závažím nastaveno na 100 až 126 MPa (podle typu nosníku), smyková složka napětí v průřezu v blízkosti vrtaného povrchu neovlivňovala charakter napjatosti neboť hodnotou pod úrovní 1 MPa byla zanedbatelná.

Naším záměrem bylo identifikovat vyvrtáním důlku o průměru 1,6 mm postupně do hloubky 1,5 mm absolutní hodnoty a také gradient ohybového napětí v materiálu ocelových nosníků. Ten by se měl pohybovat od 20 MPa na 1mm hloubky otvoru u nosníku nejsilnějšího (12,1x12,1) až 34 MPa u dalších dvou



typů nosníků. Na nosníku o tloušťce 8 mm jsme dále nezatíženou růžicí ověřovali stav zbytkových napětí po žíhání.

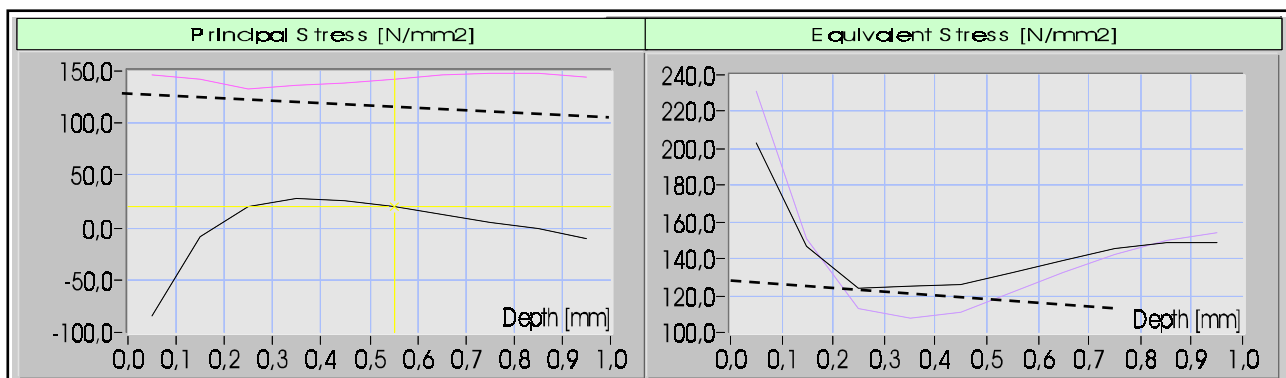
Na vyhodnocení naměřených dat jsme použili program dodávaný se soupravou RESTAN a vyzkoušeli jsme všechny implementované metodiky s podobnými výsledky. Dále uvádíme výsledky zpracování integrální metodou, která je vhodná pro případy napjatosti s hloubkovým gradientem napjatosti. na obr.2, 3, 4, (obrázky vlevo dokumentují průběhy hlavních napětí a obrázky vpravo průběhy



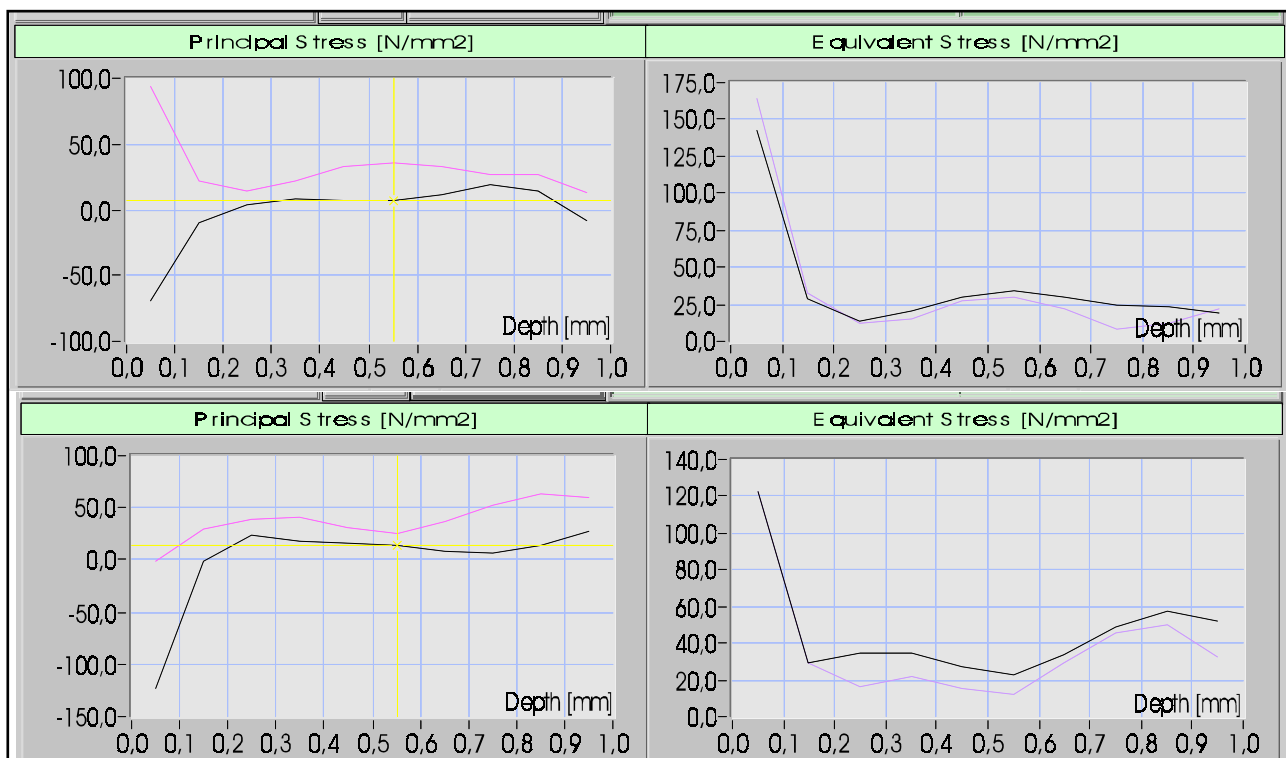
redukovaných napětí podle hypotéz HMH a Tresca).

Na nosníku 8x25 jsme ověřovali po žíhání hladinu zbytkových napětí ve dvou místech na podélné ose horní (tahové) plochy nosníku, což dokumentuje obr.5. Shodný je zde charakter redukovaných napětí, ale absolutní hodnoty napětí těsně pod povrchem se charakterově liší. Teoretické hodnoty napjatosti vyžíhaných vzorků jsou nulové, proto jsme vzorek nosníku 8x25 ještě jednou proměřili v dalším místě pod ohybovým zatížením a dokumentujeme výsledky vyhodnocení vrtu na obr.6, který však charakterem

hlavních napětí neodpovídá teorii v povrchové vrstvě, ale dominantní hlavní napětí sleduje hladinu napjatosti danou teorií (čárkovaně) .



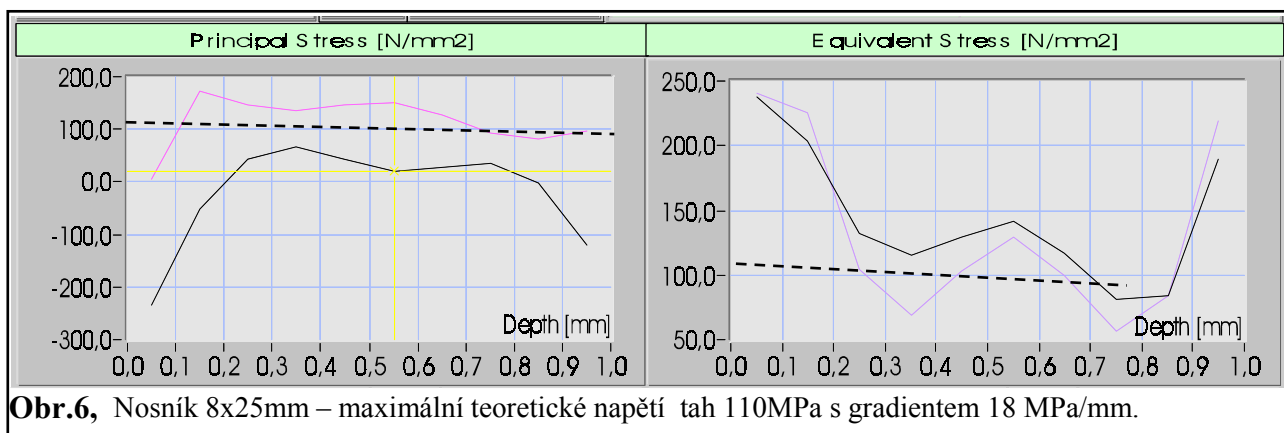
Obr.4. Nosník 12,1x12,1 – maximální teoretické napětí tah126MPa s gradientem 21 MPa/mm. Charakter gradientu u dominantního hlavního napětí není patrný, charakter redukovaných napětí neodpovídá ve vrstvě do 1 mm teoretickému očekávání (– viz čárkovaný průběh), což způsobuje tvar minimálního napětí.



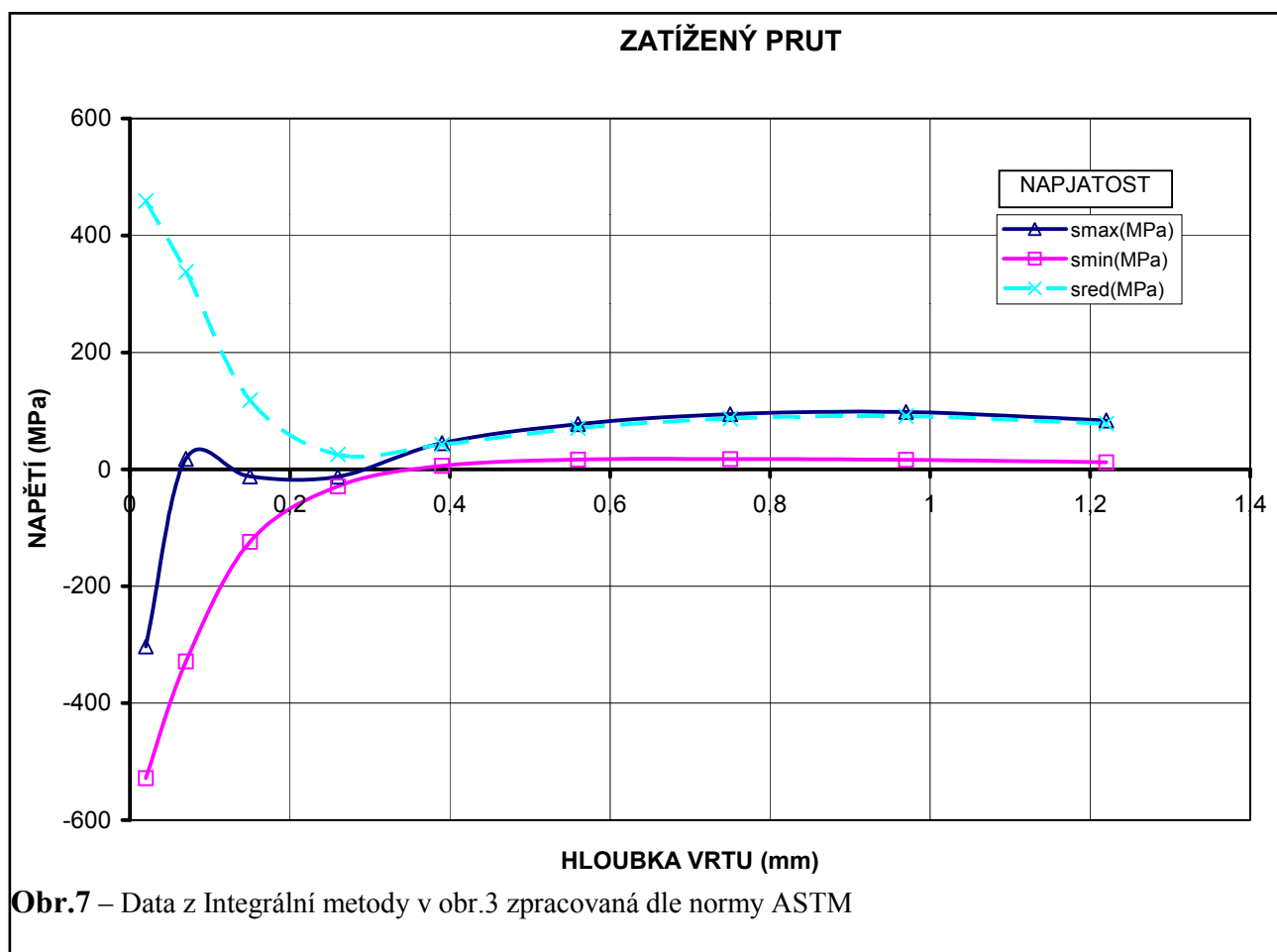
Obr.5. Nosník 8x25 – napjatost v nosníku po vyžhání bez vnějšího zatížení – teoreticky nulová, ale po vyhodnocení programem vykazuje vysoké hodnoty v povrchové vrstvě nosníku.

Nosník 8x25 jsme při zatížení prověřovali v dalším místě na podélné ose s maximálním ohybovým napětím nastaveným zatížením nosníku na 110 MPa s gradientem 18MPa/mm. Výsledky vyhodnocení jsou dokumentovány na obr.6 ale jejich charakter neodpovídá podobnému měření uvedenému na obr.3. Protože vznikaly rozpory v průbězích vyhodnocených dat, přistoupili jsme k vlastnímu numerickému zpracování metodou podle normy ASTM z naměřených hodnot poměrných prodloužení v experimentech s nosníkem 8x25mm (daty zpracovanými jednak při zatížení a dále při odlehčení - uvedenými již po zpracování programem vyvrtávací soustavy na obr.3 a horním obr.5). Na obr.7 a obr.8 jsou odpovídající průběhy napětí dokumentovány, ale opět nesplňují teoretická očekávání, zejména napětí v povrchové vrstvě jsou vysokých hodnot, jak je tomu prakticky u všech dokumentovaných - vyhodnocených experimentů.

Také porovnání Integrální a ASTM metody, například podle grafů na obr.3 vůči obr.7 kde jsou k vyhodnocení experimentu použita totožná data na odlišné teorie aplikované v různých programech nedává shodu. Podobně horní obr.5 s obr.8 pro nezatížený nosník dávají v povrchové vrstvě výsledky rozdílné – podobné jen charakterem průběhů napětí pro totožná naměřená data.

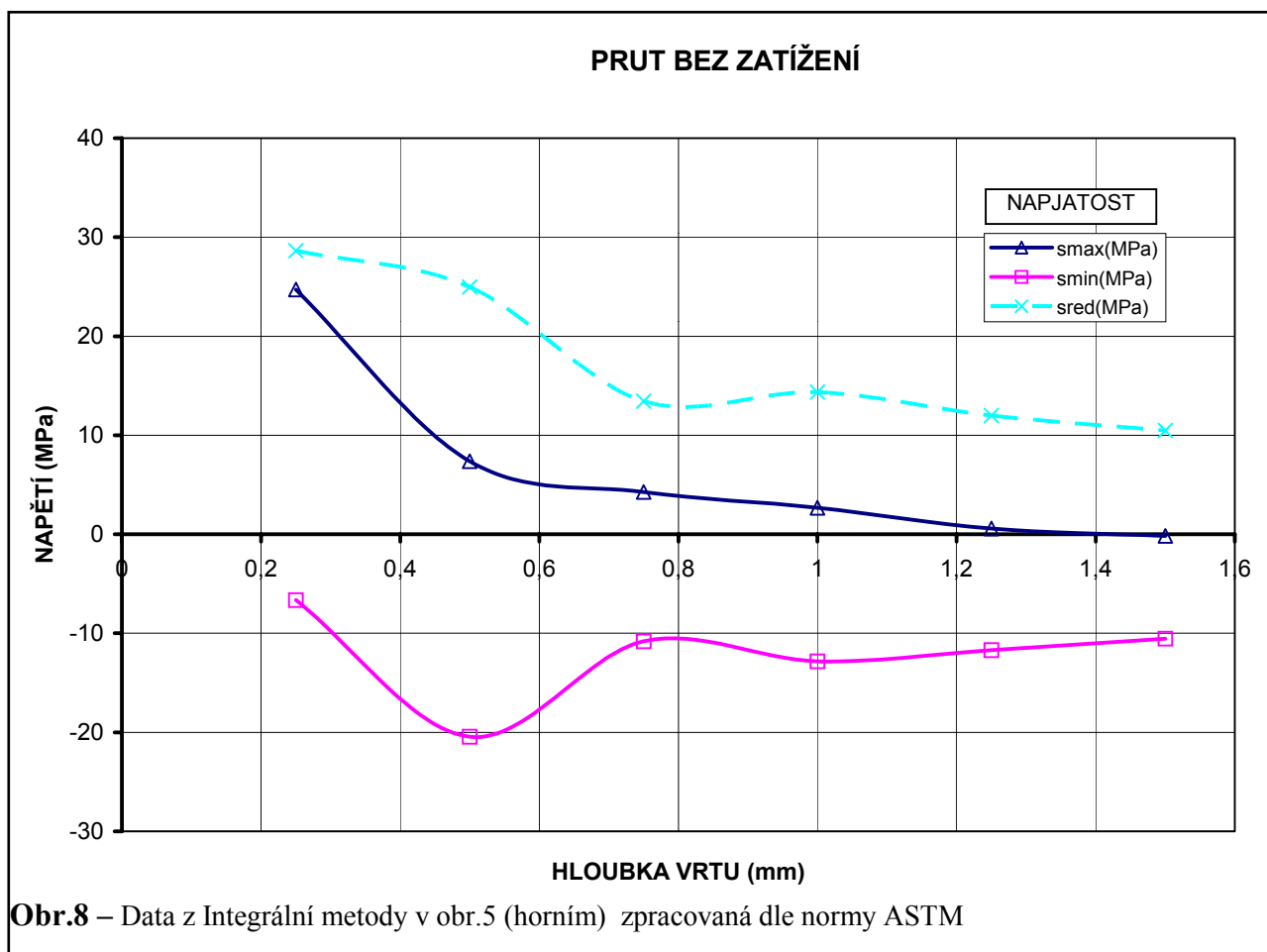


Pro aplikovaný výzkum zabývající se problematikou zbytkových napětí tak na základě uvedených nespolehlivých výsledků testů vyvrtávacího komplexu RESTAN vznikají k zodpovězení nové otázky. Jedná se zde především o vysvětlení rozdílných trendů napětí i některých velmi vysokých hodnot ve zpracovaných



výsledcích experimentů.

Zatím není podle užších diskuzí problému známa příčina tak velkých neshod teorie s experimentem, i když je intenzivně hledána jak v možných chybách principu testů, tak nepřímo (jak bylo



dokumentováno užitím výpočtů podle normy ASTM) při konfrontaci s programem dodaným k vyvrtávací soupravě RESTAN.

Naším dalším záměrem je pro uvažované nosníky (žiháním prosté zbytkových napětí) simulovat numericky výpočty MKP proces vyvrtávání otvoru na definované zatížených nosnících, identifikovat nastavenou napjatost a zároveň integrovat poměrná prodloužení v místech tenzometrů různice a porovnat příslušné teoretické signály s experimentem. Ověření metod vyhodnocení signálů je pak možné porovnáním obou řešení. Na úrovni signálů tenzometrů je rozdíl hodnot možno přisuzovat především přesnosti a kvalitě nalepení různice, dále velikosti a geometrii vrtaného otvoru, i materiálovým konstantám. Větší pozornost chceme věnovat také kvalitě procesu žihání vzorků, neboť jsme hladinu teplot a způsob metodiky převzali z literatury, ovšem výsledky procesu jsme neověřovali prakticky jinak než uvedenou vyvrtávací metodou.

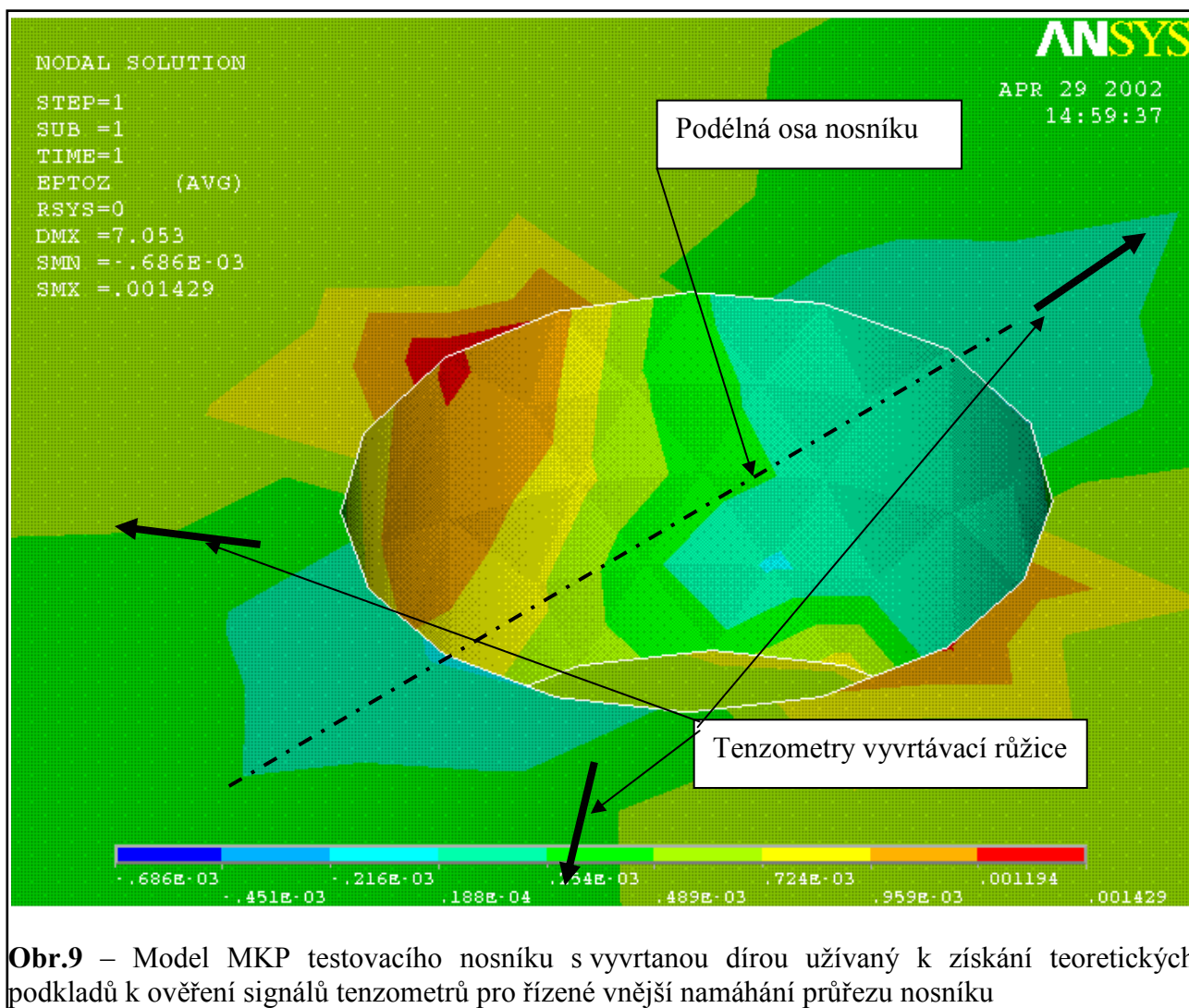
Na obr.9 je uveden model MKP detailu otvoru v nosníku o průřezu 8x25 mm, na jehož povrchu byla realizována většina dokumentovaných experimentů. V místě a směru šipek předpokládáme integrovat poměrná prodloužení a vyhodnocovat průběh tenzoru napětí v ose vrtaného otvoru.

Výsledky vyhodnocení měřených signálů by měly při aplikaci renomované metody odpovídat teoretickému modelování, kde rozdíly výsledků obou řešení by mohly být kritériem kvality metody při shodě signálů experimentálních i teoretických.

Tento směr výzkumu je podporován grantem GAČR 106/02/0612 na téma: „Optimalizace procesu tváření tlustostěnných trub a součástí z hlediska zbytkové napjatosti“.

Literatura:

- (1) Ing. Doubrava K., Doc. Ing. Kuliš Z., CSc., Prof. Ing. S. Holý, CSc., Ing. Vítek, K., CSc.: Inovace výuky experimentální analýzy napětí – Experimentální měření zbytkových napětí pomocí odvrtávací metody, výzkumná zpráva č. 2051/01/36 ke grantu FRVŠ 1832/2001, Odbor pružnosti a pevnosti – Ústav mechaniky, FS – ČVUT v Praze, 2001



Obr.9 – Model MKP testovacího nosníku s vyvrtanou dírou užívaný k získání teoretických podkladů k ověření signálů tenzometrů pro řízené vnější namáhání průřezu nosníku