

## VYUŽITIE PROGRAMU MEZVYNA NA VÝPOČET ZVYŠKOVÝCH NAPÄTÍ

### UTILIZATION OF PROGRAM MEZVYNA FOR DETERMINANTING OF RESIDUAL STRESSES

Patrik ŠARGA<sup>1</sup>

#### *Abstrakt*

Metóda odvrtavania slúži na určovanie zvyškových napätí v blízkosti nezaťaženého povrchu súčiastky. Nainštalovaním tenzometrickej ružice pripevnenej na povrch skúmanej súčiastky a vrtaním otvoru do stredu tejto ružice sa uvoľňujú napätia, ktoré pomocou tenzometrickej ružice zaznamenávame.

Tento článok sa venuje určovaniu zvyškových napätí pomocou tejto metódy, ktorá v poslednej dobe patri medzi najpoužívanejšie. Cieľom práce bol vývoj programu slúžiaceho na určenie týchto napätí.

**Kľúčové slová:** zvyškové napätie, metóda odvrtavania, tenzometre, experimentálne metódy.

#### *Abstract*

The hole-drilling strain gage method allows determine residual stresses near to unloaded surface of the structural member. By specially configured strain gage rosette bonded to the surface and a hole introduced into the structure through the center of the gage, the released strains are measured and according to formulas for hole through the entire part as well as for blind hole it is possible to assess the principal normal stresses.

This article treats of determining residual stresses by hole-drilling method, which is one of the most used. The scope of this work was developing program for determining of this stresses.

**Keywords:** residual stress, hole-drilling, strain gage, experimental method.

## ÚVOD

Na Katedru aplikovanej mechaniky a mechatroniky Technickej univerzity v Košiciach sa zakúpil systém SINT MTS-3000 na určovanie zvyškových napätí pomocou metódy odvrtavania.

Pri oživovaní systému SINT MTS-3000 a preskúmaní dostupných programových prostriedkov na analýzu zvyškových napätí pomocou metódy odvrtavania sa objavili určité nedostatky vo výpočtových programoch určovanie zvyškových napätí metódou odvrtavania. Medzi najzávažnejšie nedostatky patria:

Výpočet zvyškových napätí pomocou najnovšej verzie normy ASTM E837-01 doposiaľ nebol aplikovaný v žiadnom dostupnom výpočtovom programe.

Pri výpočte zvyškových napätí pre nerovnomerné rozloženie napätia po hrúbke vzorky pomocou metód power series, integrálnej a kockelmannovej sa zistilo, že získané hodnoty zvyškových napätí podľa jednotlivých metód sa odlišujú a to niekedy aj o viac ako 100 %.

<sup>1</sup> Ing. Patrik ŠARGA, PhD., KAMaM, SJF TU v Košiciach, [patrik.sarga@tuke.sk](mailto:patrik.sarga@tuke.sk)

Lektoroval: prof. Ing. Pavel MACURA, DrSc., KPAP, FS TU-VŠB Ostrava, [pavel.macura@vsb.brno.cz](mailto:pavel.macura@vsb.brno.cz)

Výpočet redukovaných napätí podľa Guestovej teórie pevnosti v programe RESTAN nezodpovedá skutočnosti.

Medzi ďalšie nedostatky môžeme zaradiť napríklad nevhodný spôsob zadávania vstupných údajov, chýbajúca tvorba protokolov z merania v elektronickej forme, použitie najrozšírenejšieho programu RESTAN je obmedzené len na systém SINT MTS-3000 atď.

Na základe týchto skutočností sme pristúpili k tvorbe programu MEZVYNA, ktoré by tieto nedostatky odstránil. Ide hlavne o zdokonalenie výpočtových postupov podľa jednotlivých metód pre rovnomerné ako aj pre nerovnomerné rozloženie napätia po hrúbke vzorky.

Z viacerých programových jazykov dostupných na trhu sa pre náš účel najlepšie javil grafický programovací jazyk LabVIEW od firmy National Instruments [3]. Tento program bol taktiež použitý pri tvorbe programu RESTAN.

## MEZVYNA

Program MEZVYNA (obr.1) je určený na výpočet zvyškových napätí pomocou ASTM metódy, metódy power series a integrálnej metódy. Je použiteľný pre systémy RS-200 aj SINT MTS-3000. Dokáže spracovať údaje získané pomocou programov RESTAN, Catman, pomocou meracej aparatúry P3, ale dajú sa previesť výpočty aj manuálnym vkladáním dát.

Na používanie tohto programu je nutné mať nainštalovaný program LabVIEW, v ktorom prostredí bol tento program vytvorený. Samotný program sa spúšťa pomocou súboru Mezvyna1.0.vi.



Obr.1 Program MEZVYNA

Program používa na výpočet koeficienty získané z normy ASTM E837-01, ale aj koeficienty získané pomocou MKP, ktoré boli vypočítané na našej katedre.

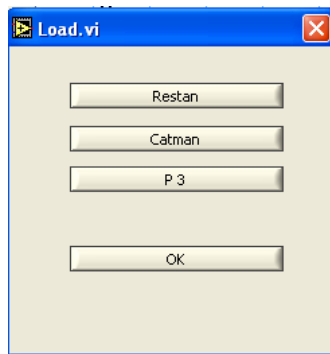
Je použiteľný pre typy ružíc definovaných v norme ASTM E837-01 ako typy A, B, C a tiež pre ružice RY21 a RY61 firmy HBM.

### Načítavanie dát

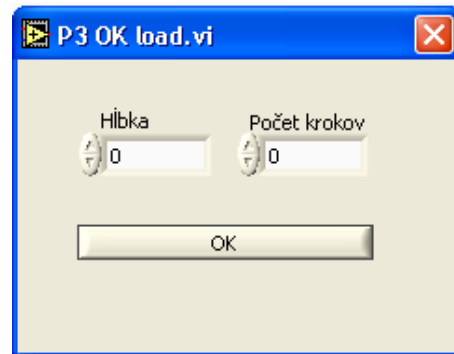
Načítavanie dát je možné, ako to vidieť z obr.2 z troch typov súborov.

Prvým z nich je súbor získaný z programu Restan. Tento program sa využíva pri systéme SINT MTS-300, ktorý je týmto programom ovládaný. Skladá sa z dvoch nezávislých programov. Prvý slúži na ovládanie a zaznamenávanie nameraných údajov a druhý na ich spracovanie. Aby sme mohli použiť namerané hodnoty pomocou tohto programu použijeme prvý program na celé

ovládanie systému a na zaznamenanie nameraných hodnôt a druhý program použijeme na export nameraných hodnôt do txt formátu, ktorý už dokáže náš program prečítať.



Obr.2 Okno pre výber nahrávaného typu súboru



Obr.3 Okno žiadajúce zadania danej hĺbky a počtu krokov

Druhým programom pomocou ktorého dokážeme zaznamenať potrebné namerané hodnoty a spracovať ich s našim programom je program Catman. Tento program spolupracuje s viacerými meracími aparatúrami. Postup získavania dát je nasledovný:

- zapojíme do príslušnej aparatúry kanály  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$  na kanály 0, 1, 2,
- po spustení programu Catman nastavíme príslušnú aparatúru,
- nastavíme online výpočet na kanáloch 3, 4, 5 podľa príslušného vzorca.
- zapneme Single value data acquisition, ktorý slúži na zaznamenávanie potrebných údajov,
- po každom vykonanom kroku dáme odčítať hodnoty,
- po poslednom kroku vypneme Single value data acquisition a exportujeme namerané hodnoty s kanálov 3, 4, 5, ktoré obsahujú hodnoty  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$ ,  $\varepsilon_3$  v ASCII kóde.

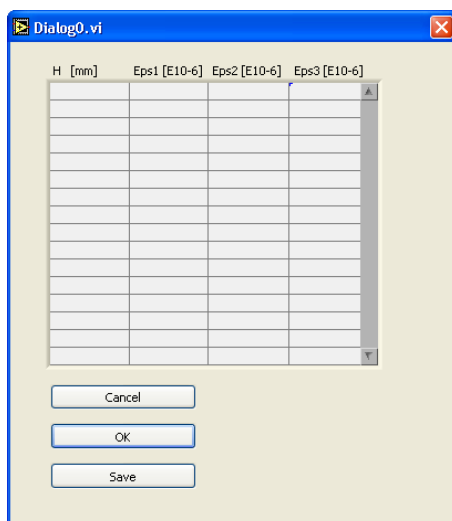
Takýto získaný súbor môžeme použiť v našom programe na výpočet zvyškových napätí. Užívateľ je pri nahrávaní tohto typu súboru žiadaný aby zadal hodnotu hĺbky vyvrtaného otvoru a počet krokov, koľkými bude táto hĺbka dosiahnutá (obr.3).

Tretím typom súboru, s ktorým dokáže tento program pracovať je získaný pomocou aparatúry P3. Táto aparatúra sa používa spolu so systémom RS-200. Postup získavania daného súboru je nasledovný:

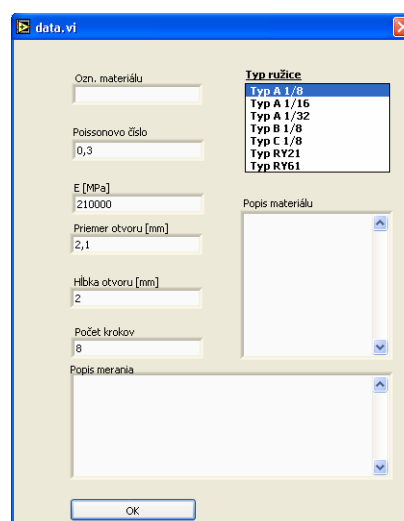
- zapojíme tenzometre na kanály 1, 2, 3 v aparatúre P3,
- na P3 nastavíme typ mostíka, k-faktor a vynulujeme tenzometre,
- nastavíme manuálne ukladanie dát, ktoré sa ukladá na pamäťovú kartu,
- po každom vykonanom kroku uložíme hodnoty (nulová hĺbka sa neukladá),
- ukladanie sa vykonáva pomocou tlačidla RECORD.

Takto získaný súbor môžeme použiť v našom programe, pričom je užívateľ opäť žiadaný aby zadal hĺbku vrtaného otvoru a počet krokov (obr.3).

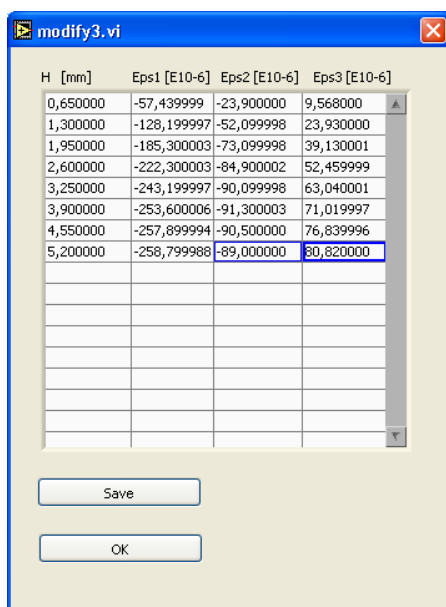
Namerané hodnoty môžeme zapisovať do programu aj manuálne. Na tento účel slúži tlačidlo Načítať. V tomto okne sa zapíšu namerané hodnoty bez nultého kroku. Tieto hodnoty môžeme po zadání uložiť pre ich neskoršie opätovné použitie.



Obr.4 Okno slúžiace na manuálne vkladanie dát



Obr.5 Okno dáta o meraní



Obr.6 Okno modifikácie nameraných dát

### Zadávanie údajov o meraní

Na tento účel slúži okno Dáta o meraní (obr.5). V tomto okne vkladáme všetky ostatné údaje, ktoré sú potrebné na vykonanie výpočtov a pre našu lepšiu orientáciu v protokoloch.

Zapisujeme tu označenie materiálu a jeho mechanické vlastnosti meraného materiálu ako je modul pružnosti, Poissonové číslo. Ďalej údaje ohľadne meranie ako sú priemer víťaného otvoru, hĺbka otvoru, počet krokov a typ použitej ružice. Nachádzajú sa tu ešte okná na ukladanie poznámok ohľadne materiálu a konkrétneho merania.

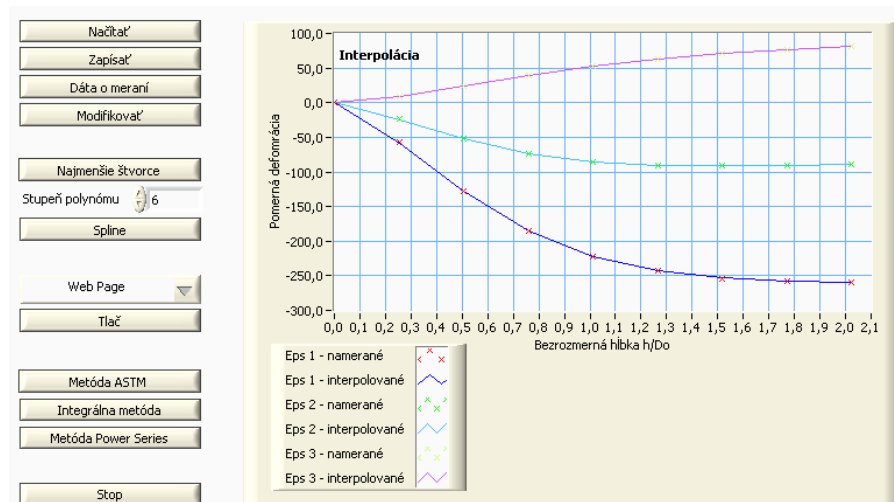
### Modifikácia

Na úpravu nameraných údajov slúži okno modifikácia. Môžeme tu upravovať namerané hodnoty za predpokladu, že došlo k ich chybnému zápisu. Tieto upravené údaje môžeme uložiť (obr.6).

### Interpolácia

Interpoláciu nameraných dát môžeme vykonať dvoma spôsobmi. Prvý je metódou najmenších štvorcov. Nastavením stupňa polynómu a stlačením príslušného tlačidla sa vykoná daná interpolácia (môžeme nastaviť maximálne polynóm deviateho rádu). Za predpokladu, že nám táto interpolácia nie veľmi vyhovuje môžeme použiť interpoláciu pomocou splineov, ktorá sa vykoná stlačením príslušného tlačidla.

V tomto okne (obr.7) máme aj funkciu na vytvorenie protokolov s nameranými hodnotami spolu aj s grafom s interpolovanými hodnotami. Tieto protokoly môžeme vytvoriť v html formáte alebo si ich vytlačiť.



Obr.7 Interpolácia nameraných údajov pomocou metódy najmenších štvorcov šiesteho stupňa

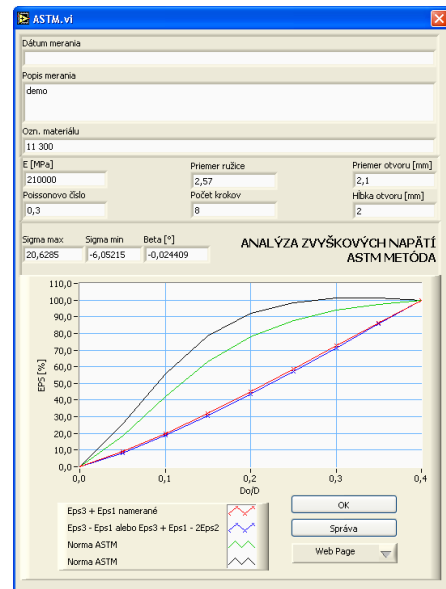
### Metóda ASTM

Výpočet pomocou metódy ASTM sa vykoná stlačením príslušného tlačidla. V tomto okne vidíme všetky údaje, ktoré sa týkajú daného merania a zadali sme v ich okne Dáta o meraní.

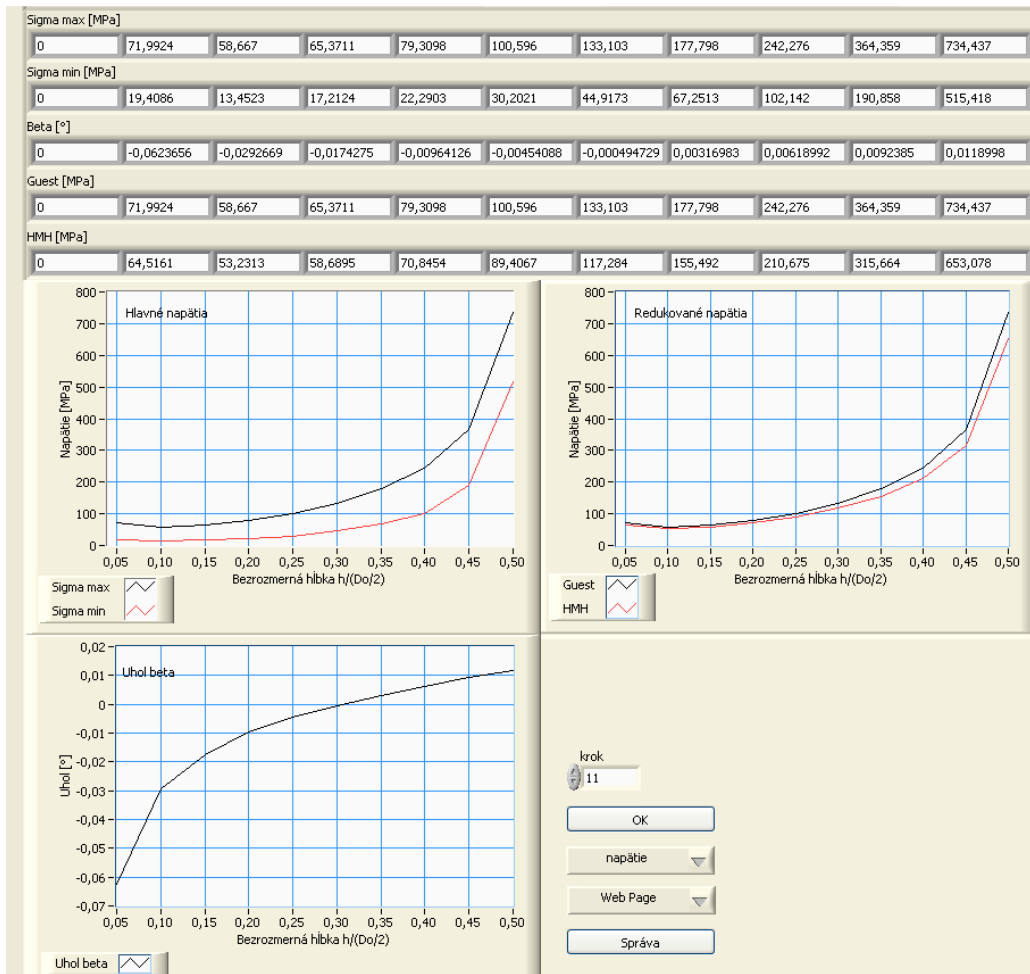
Zobrazujú sa tu aj vypočítané hodnoty  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$  a uhla  $\beta$  pomocou metódy ASTM. V tomto okne (obr.8) vidíme ešte aj príslušné grafy z nameraných hodnôt spolu aj s kontrolnými grafmi stanovenými podľa normy ASTM. Môžeme si tu aj nechať zhotoviť protokoly ohľadne tohto výpočtu a to buď v html verzii alebo si ich priamo vytlačiť na tlačiarňi.

### Integrálna metóda

Ďalšou výpočtovou metódou použitou v tomto programe je integrálna metóda. Okno tejto metódy (obr.9) sa zobrazí stlačením príslušného tlačidla. V tomto okne sa opäť zobrazujú všetky údaje, ktoré sme zadali ohľadne daného merania, máme tu výsledné hodnoty  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$  a uhla  $\beta$  získané výpočtom podľa integrálnej metódy výpočet redukovaných napätí vypočítané podľa Guesta a HMH teórie a grafy, ktoré zobrazujú tieto vypočítané hodnoty. Tieto grafy si môžeme upravovať podľa požadovaného kroku. V tomto okne si taktiež môžeme nechať vytvoriť protokoly z tohto výpočtu opäť v html formáte alebo priamo vytlačiť.



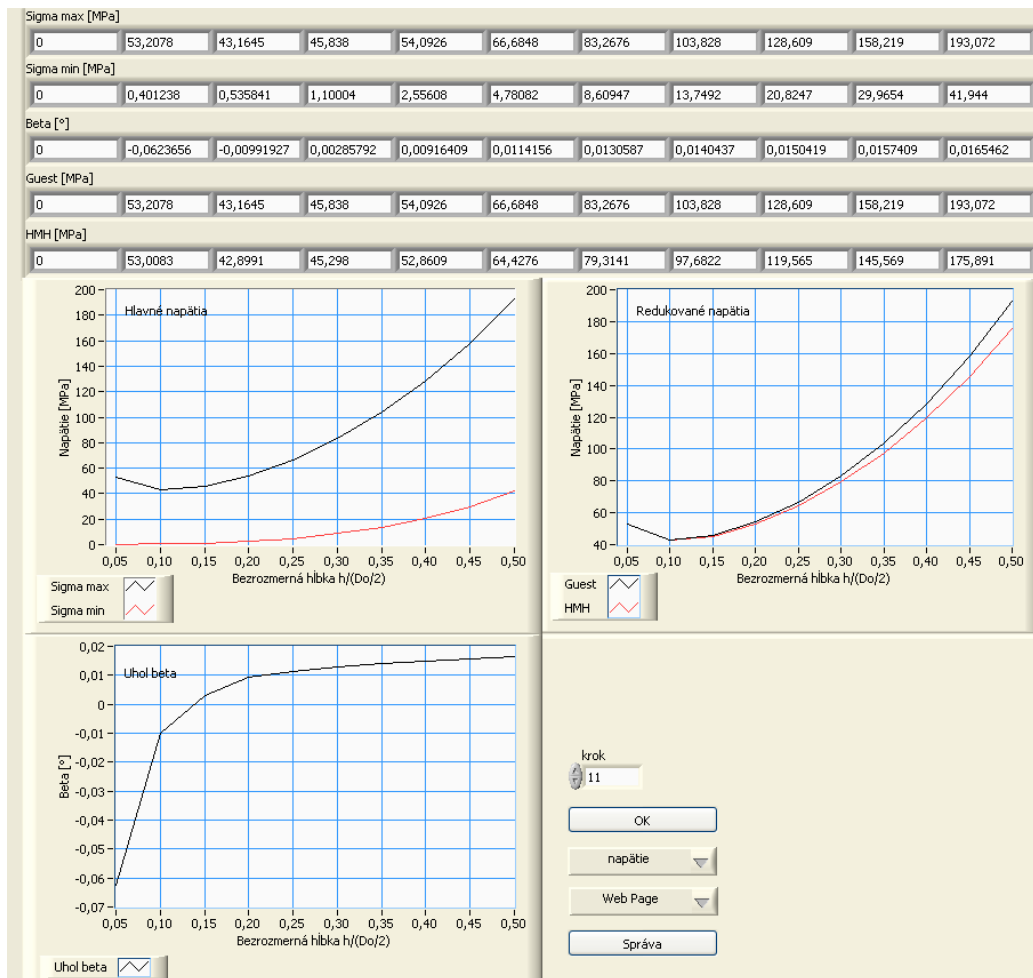
Obr.8 Okno ASTM metódy



Obr.9 Okno Integrálnej metódy

### Metóda Power Series

Tretou a poslednou výpočtovou metódou použitou v tomto programe je metóda power series. Stlačením príslušného tlačidla sa nám zobrazí jeho výpočtové okno (obr.10), ktoré taktiež obsahuje tie isté údaje ohľadne merania spolu s vypočítanými hodnotami  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma_{\min}$  a uhla  $\beta$  podľa metódy Power Series spolu s redukovanými napätiami podľa Guestovej a HMH teórie spolu s ich grafmi, ktoré vieme taktiež meniť podľa voliteľného kroku. Môžeme si tu tiež dať vytvoriť protokoly tohto výpočtu buď v html formáte, alebo si ich vytlačiť.



Obr.10 Okno metódy Power Series

## ZÁVER

Zvyškové napätia si zaslúžia veľkú pozornosť. Zvyčajne sú nežiaduce, ťažko sa určia a nákladne sa odstraňujú. Ich prítomnosť môže byť škodlivá vo veľkých dielach ako sú dopravné prostriedky alebo súčasti jadrových reaktorov a aj malých elektronických „tenkých filmoch“. Závažnosť ich výskytu spojená s našimi nedostačujúcimi možnosťami ich určenia a následne ich odstránenia poukazuje na to, že im musíme venovať zvýšenú pozornosť.

Z tohto dôvodu sa na našej katedre pristúpilo k tvorbe nového programového produktu, ktorý by dopĺňal už existujúce programy a ktorý by odstraňoval ich nedostatky. Tento program sa overoval v praxi na projektoch, ktoré sa riešili na našej katedre.

Autori ďakujú Vedeckej grantovej agentúre MŠ SR za podporu v rámci riešenia projektu č.1/2187/05.

## LITERATÚRA

- [1] ASTM E837-01: Standard Test Method for Determining Residual Stresses by the hole-Drilling Strain-Gage Method, American Society for Testing and Materials, Philadelphia , 2002
- [2] LU, J.: *Handbook of measurement of residual stresses*. Society for experimental mechanics, Fairmont press Liburn, GA, 1996, Chapter 2
- [3] NATIONAL INSTRUMENTS, LabVIEW, Instruction Manual, Austin Texas, 2003
- [4] SCHAJER, G. S.: H-DRILL, *Hole-Drilling Residual Stress Calculation Program*, User guide, Vancouver BC, Canada, 2001
- [5] System for measuring residual stresses by the hole drilling method (Restan), Manual of use and maintence, Calenzo Florence Italy, 2000
- [6] TREBUŇA, F., ŠIMČÁK, F.: *Kvantifikácia zvyškových napätí tenzometrickými metódami*, Grafotlač Prešov, 2005
- [7] TREBUŇA, F. a kol.: *Smery a veľkosti zvyškových napätí konštrukčných za tepla valcovaných plechov*, Košice, 2005
- [8] TREBUŇA, F. a kol.: *Expertíza tabúl provizórneho hradenia vtokov tg1 a tg2 vo ve Ružín I*, Košice, 2004
- [9] TREBUŇA, F. a kol.: *Kmitanie stojana konvertora*, Košice, 2005
- [10] TREBUŇA, F. a kol.: *Určenie zvyškovej životnosti potrubných dvorov*, Košice, 2004
- [11] VISHAY, Model P3 Strain Indicator and Recorder, Instruction manual, Raleigh USA, 2005
- [12] VÍTEK, K. a kol.: *Theoretical analyses of the hole drilling method used for the residual stress identification*. Czech Technical University in Prague, 2003
- [13] Vishay-Measurements Group: Model RS-200 Milling Guide, Instruction Manual, North Carolina USA, 1998
- [14] ŠARGA, P.: *Možnosti využitia systému MTS 3000 pri kvantifikácii zvyškových napätí využitím princípov mechatroniky*, TU v Košiciach, September 2003, Košice.
- [15] ŠARGA, P.: *Riadenie odvrátavania a vyhodnocovania zvyškových napätí*, TU v Košiciach, September 2005, Košice
- [16] ŠARGA, P.: *Systém SINT MTS 3000 slúžiaci na zisťovanie zvyškových napätí pomocou metódy odvrátavania*, Novus scientia 2004, September 2004, Elfa Košice, ISBN 80-8073-174-8
- [17] TREBUŇA, F., ŠIMČÁK, F.: *Odolnosť prvkov mechanických sústav*. Košice, Emilena, 2004, 980 str., ISBN 80-8073-148-9
- [18] TREBUŇA, F., ŠIMČÁK, F., BOCKO, J., TREBUŇA, P., SENKO, P., ŠARGA, P.: *Is it possible to consider "standard" method of determination of residual stresses by hole-drilling to be definitive?*, In: Experimentální analýza napětí 2004, 42nd International conference, 281-284, Plzeň : Škoda výskum s.r.o, 2004, ISBN 80-239-2964-X
- [19] TREBUŇA, F., SENKO, P., ŠARGA, P.: *How is applicated hole-drilling method to determination of residual stresses in SR.*, In: Experimentální analýza napětí 2005, 43nd International conference, 95-96, Skalský dvur, 2005, ISBN 80-214-2941-0