

# ČASOVÝ FAKTOR ZMIEN VYBRANÝCH VLASTNOSTÍ ABS-ELEKTROPANELOV

Ľubomír MARTINEC - Radovan JANČÍK - Bohumil TARABA

*Autori: Doc. Ing. Ľubomír Martinec, CSc. †*

*Ing. Radovan Jančík \**

*Ing. Bohumil Taraba, CSc. \*\**

*Pracoviisko: \* externý doktorand Katedry materiálového inžinierstva*

*Materiálovotechnologickej fakulty STU*

*\*\* Katedra aplikovanej mechaniky Materiálovotechnologickej fakulty STU*

*Adresa: Bottova 24, 917 24 Trnava*

*e-mail: [taraba@mtf.stuba.sk](mailto:taraba@mtf.stuba.sk)*

## Abstract

*The article deals with the investigation of the thermophysical, mechanical and electric properties of plastic material ABS Forsan 548. This material is used for electropanels production. Electropanel is a component in gaseous pot. There was created the numerical simulation model. The temperature and stress-strain fields were obtained.*

*Článok je zameraný na sledovanie vybraných termofyzikálnych, mechanických a elektrických vlastností plastického materiálu ABS Forsan 548. Tento materiál sa používa pri výrobe elektropanelov, ktoré sú súčasťou závesných plynových kotlov. Súčasťou článku je aj predikcia deformačno-napäťového stavu elektropanelu pri stacionárnom režime kotla, ktorý je spracovaný metódou numerickej simulácie.*

## Key words

*plastic materials, measurement, ABSForsan 548, electric panels, gas steam, prediction, numerical simulation*

*materiály plastické, meranie, ABSForsan 548, elektropanely, kotle plynové, predikcia, simulácia numerická*

## Úvod

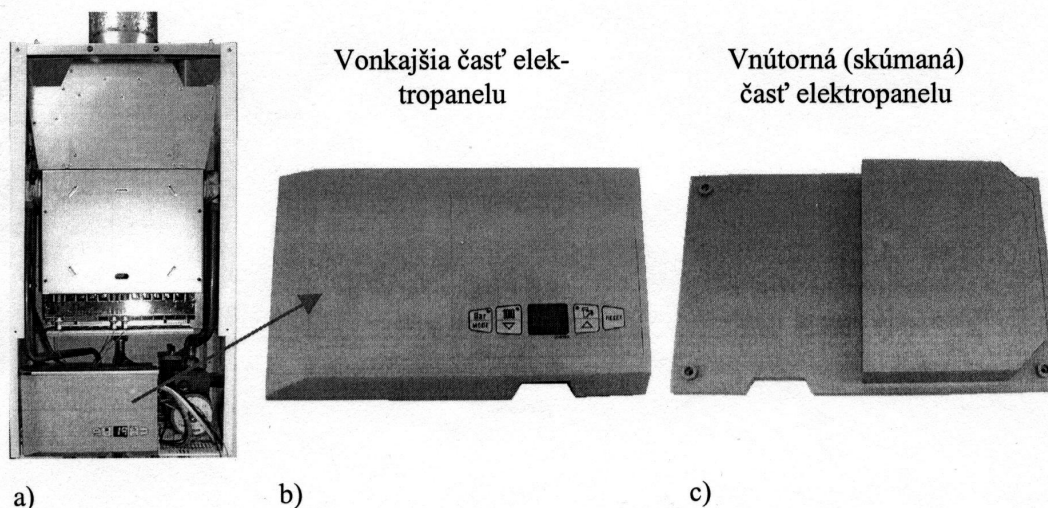
Plynové závesné kotle firmy Protherm, s r.o., Skalica spaľujú zemný plyn alebo propán. Cieľom výrobcu je dlhodobá spoľahlivá prevádzka kotla, čo vyžaduje overenie správania sa jednotlivých súčastí kotla a ich materiálov v prevádzkových podmienkach. Jednou zo súčastí kotlov je elektropanel, ktorý je vyrobený z materiálu ABS Forsan 548.

Článok je zameraný na sledovanie vybraných termofyzikálnych, mechanických a elektrických vlastností použitého materiálu ABS Forsan 548 v závislosti od času prevádzky

kotla. Súčasťou článku je aj predikcia deformačno-napät'ového stavu elektropanelu pri stacionárnom režime kotla, ktorý je spracovaný metódou numerickej simulácie.

### Opis zariadenia

Závesný plynový kotol je zobrazený na obr. 1a. Skúmaný elektropanel je umiestnený v ľavom dolnom rohu kotla. Spaľovacia komora tepelne ovplyvňuje teleso elektropanelu. Elektropanel je zhotovený z dvoch častí, vnútornej (obr. 1b) a vonkajšej (obr. 1c).



**Obr. 1** Závesný plynový kotol, a) pohľad na celý kotol, b) vonkajšia časť elektropanelu, c) vnútorná časť elektropanelu

### Experiment

Experiment bol orientovaný na sledovanie vybraných parametrov materiálu ABS Forsan 548. Z mechanických vlastností boli merané a vyhodnocované parametre: medza klzu, tvrdosť podľa Brinella [1] a rázová húževnatosť metódou Charpy [2]. Rázovú húževnatosť metódou Charpy sme vykonali pre neexponovaný materiál, pretože zo skúmaných elektropanelov nebolo možné vyhotoviť normované vzorky.

Z termofyzikálnych vlastností sa určovala teplota odolnosti za tepla podľa Vicata [3]. Striedavá a jednosmerná vodivosť, elektrická kapacita, stratový koeficient boli skúmané veličiny z elektrických vlastností [4].

Teplotné pole a jemu adekvátne deformačno-napät'ový stav sú výsledkami stacionárneho počítačového simulačného modelu elektropanelu. Interpretáčnym prostriedkom numerickej simulácie je softvér Ansys.

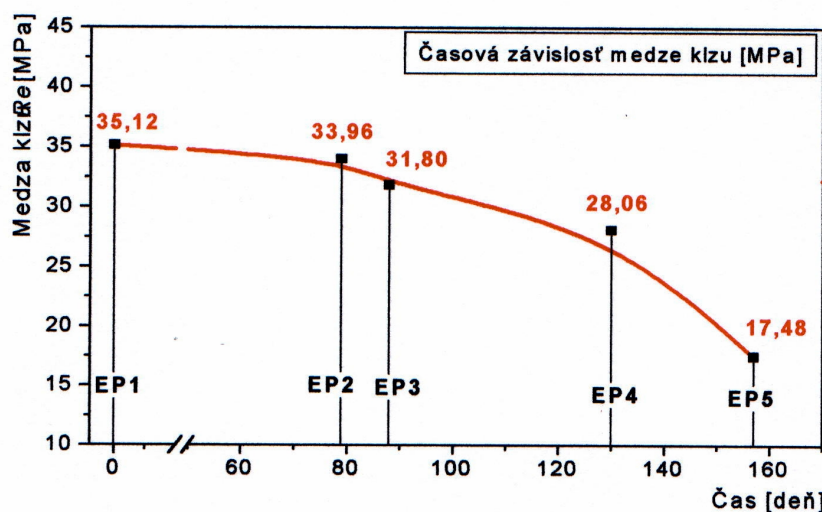
Skúmané elektropanely boli súčasťou nového typu kotla, ktorý sa v čase experimentov pripravoval k uvedeniu na trh. K dispozícii bolo päť kusov elektropanelov. Každý bol v kotli prevádzkovaný v časovom úseku s rôznou dĺžkou (tabuľka 1). Podmienky prevádzky kotlov boli dané metodológiou výrobcu a možno ich považovať za rovnaké pre všetky exponované elektropanely.

Skúšobné vzorky materiálu elektropanelov boli zhotovené z jednotlivých panelov. Rešpektované boli zásady pre inžiniersky experiment: počet vzoriek v súbore bol 6 a ich geometria odpovedala typu skúšky. Výsledky získané zo skúšok boli vyhodnocované podľa zásad pre štatistické spracovanie experimentálnych údajov [5].

Označenie elektropanelu	Dĺžka prevádzkovania	Čas prevádzkovania	Technológia výroby elektropanelu
EP 1	0 dní	neexponovaná	vstrekovanie
EP 2	79 dní	17.11.2000 až 6.3.2001	vstrekovanie
EP 3	88 dní	8.11.2000 až 6.3.2001	vstrekovanie
EP 4	140 dní	16.10.2000 až 6.3.2001	vstrekovanie
EP 5	157 dní	29.9.2000 až 6.3.2001	lepenie (prototyp)

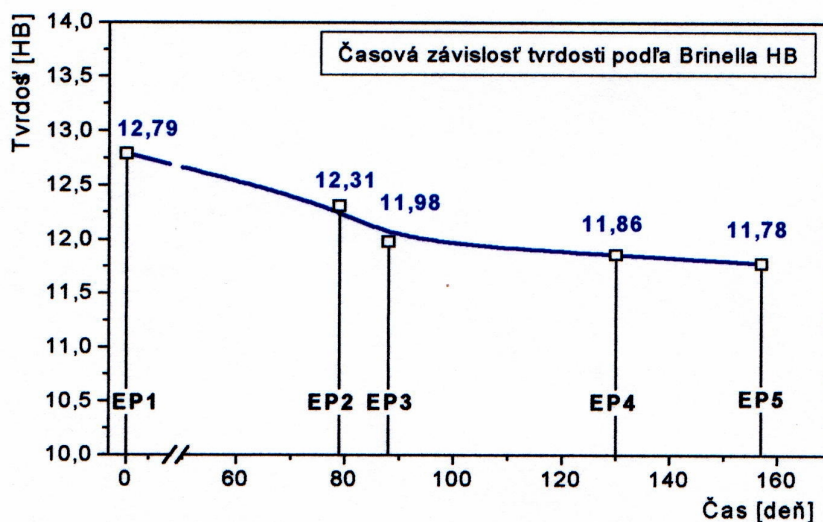
### Výsledky získané z experimentov

Časová závislosť medze klzu  $Re$  [MPa] materiálu elektropanelov je zobrazené na obr. 2. Súčasťou obr. 2 sú aj konkrétne hodnoty medze klzu pre uvažovanú dobu expozície.



Obr. 2 Časová závislosť medze klzu  $Re$  [MPa] materiálu elektropanelov

Časová závislosť tvrdosti materiálu je uvedená na obr. 3.



Obr. 3 Časová závislosť tvrdosti podľa Brinella HB materiálu

Výsledky merania tepelnej odolnosti podľa Vicata sú uvedené v tabuľke 2.

PREHĽAD HODNÔT TEPELNEJ ODOLNOSTI  
POĎĽA VICATA (vzdušné prostredie)

Tabuľka 2

Označenie elektropanelu	Tepelná odolnosť podľa Vicata $\vartheta_v$ [°C]
EP 1	97
EP 2	96
EP 3	95
EP 4	93
EP 5	91

V tabuľke 3 sú uvedené priemerné hodnoty výsledkov rázovej skúšky metódou Charpy. Vzorky materiálu boli skúšané izotermicky pri teplotách, ktoré sú zrejmé z tabuľky 3.

VÝSLEDKY RÁZOVEJ SKÚŠKY METÓDOU CHARPY Tabuľka 3

Teplota $\vartheta$ [°C]	Plocha prierezu vzorky [mm <sup>2</sup> ]	Rázová húževnatosť $a_n$ [kJ.m <sup>-2</sup> ]
23	40	123,5
50	40	141,0
80	40	159,5
110	40	174,0

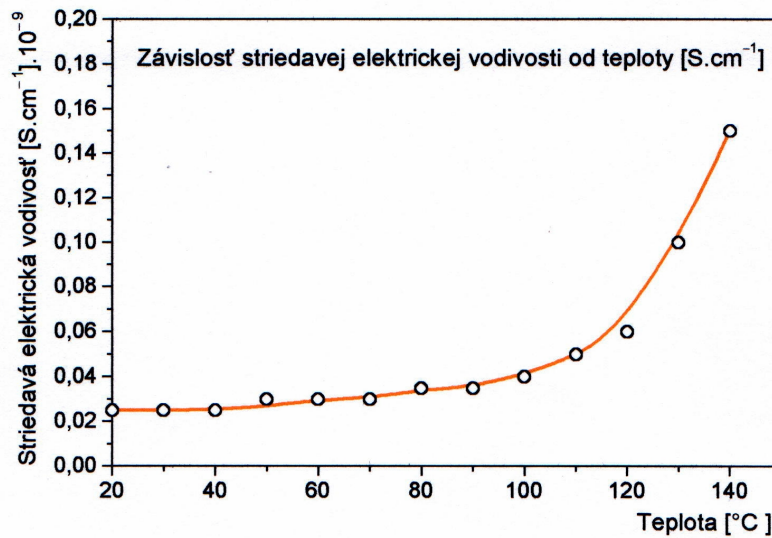
Závislosti hodnôt vybraných elektrických vlastností materiálu elektropanelu od teploty sú uvedené v tabuľke 4. Údaje z tabuľky 4 boli získané meraním a vyhodnotením pre skúšaný počet elektropanelov (päť kusov).

HODNOTY ELEKTRICKÝCH VLASTNOSTÍ MATERIÁLU ELEKTROPANELU  
V ZÁVISLOSTI NA TEPLOTE

Tabuľka 4

Teplota [°C]	Elektrická kapacita [F]	Striedavá elektrická vodivosť [S.cm <sup>-1</sup> ]	Jednosmerná elektrická vodivosť [S.cm <sup>-1</sup> ]	Stratový činiteľ [-]
20	87,87.10 <sup>-12</sup>	0,025.10 <sup>-9</sup>	53,7.10 <sup>-12</sup>	5,5.10 <sup>-4</sup>
30	87,86.10 <sup>-12</sup>	0,025.10 <sup>-9</sup>	47,1.10 <sup>-12</sup>	5,5.10 <sup>-4</sup>
40	87,87.10 <sup>-12</sup>	0,025.10 <sup>-9</sup>	44,9.10 <sup>-12</sup>	5,5.10 <sup>-4</sup>
50	87,87.10 <sup>-12</sup>	0,030.10 <sup>-9</sup>	43,8.10 <sup>-12</sup>	5,5.10 <sup>-4</sup>
60	87,87.10 <sup>-12</sup>	0,030.10 <sup>-9</sup>	43,3.10 <sup>-12</sup>	5,0.10 <sup>-4</sup>
70	87,88.10 <sup>-12</sup>	0,030.10 <sup>-9</sup>	42,8.10 <sup>-12</sup>	5,5.10 <sup>-4</sup>
80	87,89.10 <sup>-12</sup>	0,035.10 <sup>-9</sup>	41,6.10 <sup>-12</sup>	6,0.10 <sup>-4</sup>
90	87,91.10 <sup>-12</sup>	0,035.10 <sup>-9</sup>	42,8.10 <sup>-12</sup>	6,5.10 <sup>-4</sup>
100	87,93.10 <sup>-12</sup>	0,040.10 <sup>-9</sup>	44,4.10 <sup>-12</sup>	8,0.10 <sup>-4</sup>
110	87,96.10 <sup>-12</sup>	0,050.10 <sup>-9</sup>	44,9.10 <sup>-12</sup>	9,0.10 <sup>-4</sup>
120	87,98.10 <sup>-12</sup>	0,060.10 <sup>-9</sup>	51,5.10 <sup>-12</sup>	12,0.10 <sup>-4</sup>
130	88,00.10 <sup>-12</sup>	0,100.10 <sup>-9</sup>	70,7.10 <sup>-12</sup>	19,0.10 <sup>-4</sup>
140	88,15.10 <sup>-12</sup>	0,150.10 <sup>-9</sup>	106,2.10 <sup>-12</sup>	28,0.10 <sup>-4</sup>

Obrázok 4 ukazuje teplotnú závislosť hodnoty striedavej elektrickej vodivosti [ $S \cdot cm^{-1}$ ] materiálu elektropanelov.



Obr. 4 Teplotná závislosť striedavej elektrickej vodivosti  $\sigma_{AC}$  [ $S \cdot cm^{-1}$ ]

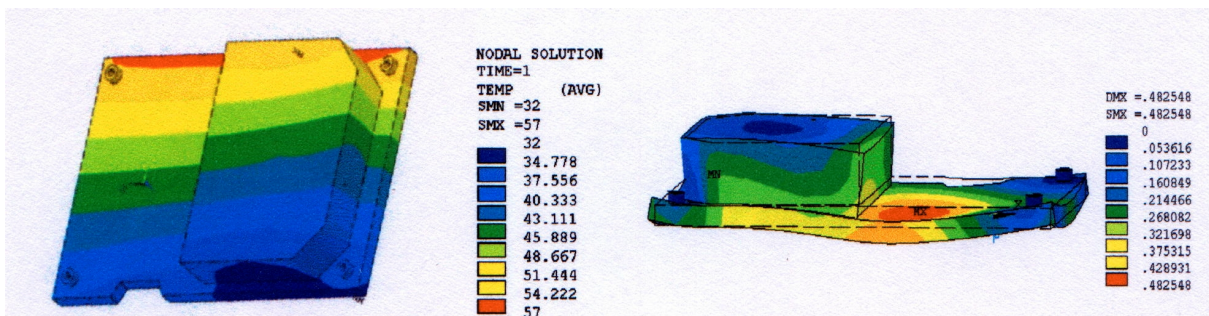
### Numerická simulácia

Predikcia teplotného poľa bola uskutočnená na základe riešenia simulačného modelu [6]. Geometrický model bol vytvorený podľa dokumentácie firmy Protherm, s r.o. Termofyzikálne vlastnosti materiálu ABS Forsan 548 boli doplnené o koeficient tepelnej vodivosti  $\lambda = 0,165 W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ , teplotný koeficient dĺžkovej rozťažnosti  $\alpha = 7,5 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ , Youngov modul pružnosti  $E = 2200 MPa$  a medzu klzu  $Re = 34 MPa$  [7].

Okrajové podmienky boli použité prvého druhu, t.j. teploty vo vybraných bodoch elektropanelu, ktoré boli odmerané termočlánkami pri štandardnom režime závesného kotla.

Deformačno-napätový stav bol simulovaný na základe vypočítaného teplotného poľa (obr. 5). Referenčná teplota bola uvažovaná 20 °C. Za štruktúralne okrajové podmienky sme uvažovali nulové posunutia v smere osi  $z$  v miestach uchytenia panelu skrutkami. Predpokladali sme elasto-plastické správanie sa materiálu s dokonalou plasticitou a so začiatočným nulovým stavom napätosti.

Generovaná konečnoprvková sieť bola trojrozmerná [8]. Použité boli lineárne tetrahedrónové elementy pri voľnom sieťovaní v programovom súbore ANSYS. Výpočtové procedúry boli stacionárne a lineárne.



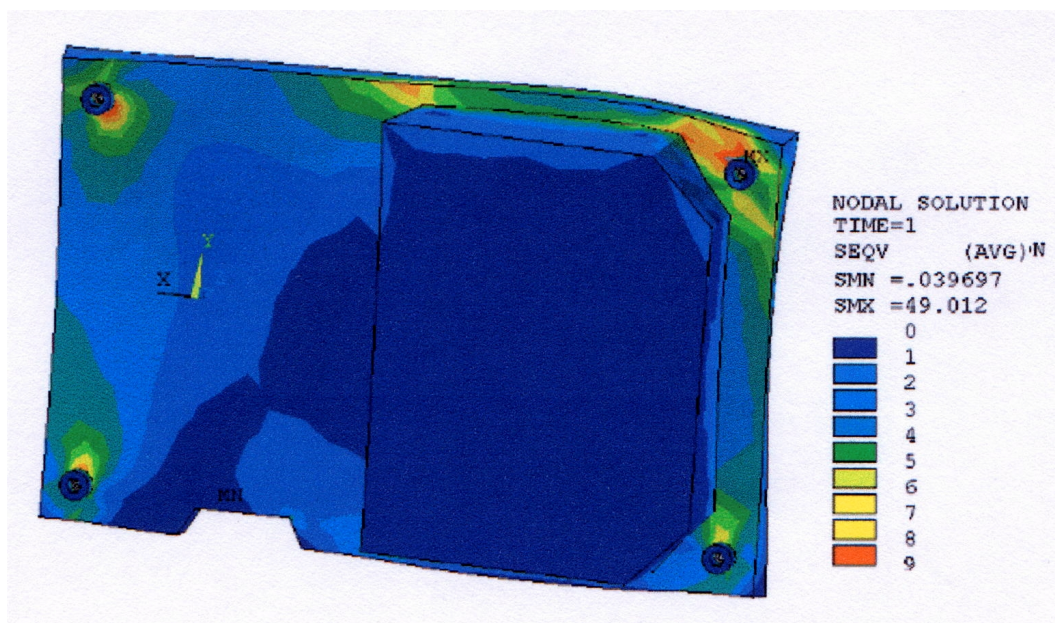
Obr. 5 Stacionárne teplotné pole elektropanelu [°C] Obr. 6 Pole posunutí zdeformovaného elektropanelu [mm]



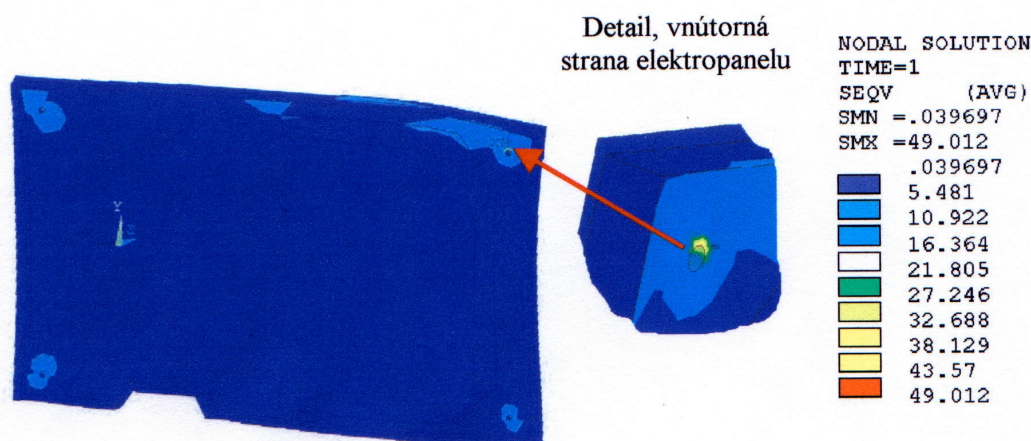
Stacionárne teplotné pole elektropanelu je ukázané na obr. 5. Najvyššia teplota je 57 °C a najnižšia teplota je 32 °C. Charakter teplotného poľa odpovedá podmienkam umiestnenia elektropanelu v kotli, kedy tepelné zaťaženie je väčšie v hornej časti panelu (vplyv žiarenia od spaľovacej komory kotla) a nižšie teploty v dolnej časti, ktorá je ochladzovaná konvekciou voľne prúdiaceho okolitého vzduchu.

Tvar zdeformovaného telesa elektropanelu vplyvom zvýšenia teploty je zobrazený na obr. 6. Hodnoty celkových posunutí sú uvedené v legende v mm.

Pole ekvivalentných Misesových napätí v intervale 0 až 9 MPa je ukázané na obr. 7.



**Obr. 7** Pole ekvivalentných Misesových napätí v intervale 0 až 9 MPa



**Obr. 8** Rozloženie Misesových napätí v elektropanele [MPa] s detailom diery pre skrutku

Počítačový simulačný model zaznamenal Misesove napätia s hodnotami 49 MPa (obr. 8), a to na plochách v okolí dier pre skrutky, pričom medza sklzu materiálu je podľa údajov dodávateľa 34 MPa. Treba však poznamenať, že v dierach pre skrutky sa uvažovalo uchytenie, ktoré nie je v praktickej aplikácii úplne dosiahnuteľné. Je to z dôvodu, že protikusom skúmanej súčasti je súčasť z toho istého materiálu (teda opäť polymérny materiál).

## Záver

Výsledky skúmania materiálu elektropanelov ABS Forsan 548 možno zhrnúť nasledovne:

- Z mechanických vlastností materiálu bola najvýraznejšia zmena zaznamenaná u hodnôt medze klzu. Po expozícii v dĺžke trvania 157 dní klesla hodnota medze klzu na 49,7 % pôvodnej hodnoty 35,12 MPa.
- Skúška tepelnej odolnosti podľa Vicata ukázala, že materiál je vhodný pre výrobu elektropanelu. Teplota panelu pri štandardnej prevádzke kotla nepresiahla hodnotu 57 °C a je pod teplotou získanej zo skúšky tepelnej odolnosti.
- Z výsledkov skúšky rázovej húževnatosti metódou Charpy vyplýva, že hodnota rázovej húževnatosti sa v teplotnom intervale 23 až 110 °C zvýšila o 41 %.
- Striedavá elektrická vodivosť materiálu sa v požadovanom intervale teplôt 20 až 60 °C zvyšuje len mierne, z hodnoty  $0,25 \cdot 10^{-9}$  na  $0,30 \cdot 10^{-9}$  S.cm<sup>-1</sup>. Pre danú aplikáciu materiálu ABS Forsan 548 v intervale teplôt do 60 °C sú elektrické vlastnosti vyhovujúce, pretože ich stabilita bola experimentom potvrdená.
- Štruktúrna numerická analýza ukázala, že u elektropanelov dochádza v priebehu prevádzky kotlov k plastickým deformáciám v mikroobjemoch materiálu v okolí dier pre skrutky. Celkovo možno konštatovať, že elektropanel bol navrhnutý správne. Jeho deformačné správanie sa makroskopicky pohybuje v elastickej oblasti.

Aj keď u tejto aplikácie nie sú na mechanické vlastnosti materiálu elektropanelov kladené vysoké nároky (nie sú výraznejšie mechanicky namáhané), boli evidované časové zmeny materiálových vlastností. Po zvážení výsledkov získaných prostredníctvom experimentov a numerickej simulácii je možné materiál ABS Forsan 548 odporučiť pre výrobu elektropanelov do závesných kotlov.

### Literatúra:

- [1] STN ISO 6506: Skúška tvrdosti podľa Brinella, 1993.
- [2] STN 640612: Stanovenie rázovej a vrubovej húževnatosti plastov metódou Charpy, 1981.
- [3] STN 64 0521: Stanovenie odolnosti za tepla podľa Vicata, 1984.
- [4] ŠKEŘÍK, J.: *Plasty v elektrotechnice a elektronice*. Praha: SNTL, 1991.
- [5] HANOUSEK, J. - CHRAMZA, P.: *Moderní metody zpracování dat – Matematická statistika pro každého*. Bratislava: Grada, 1999.
- [6] TARABA, B.: Návrh počítačového simulačného modelu pre tepelnú a štruktúrnú analýzu tepelne spracovávaného strižníka. In *Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave, zväzok 10*. Bratislava: STU, 2001, s. 127 – 134.
- [7] ZEMAN L. - NEUHÄUSL E.: *Konštrukčně-technologické směrnice pro vstřikování styrenových plastů*. Kralupy nad Vltavou, Krasten a forsán, Kaučuk, a.s., 1999.
- [8] RIEČIČIAROVÁ, E.: Možnosti generovania geometrických modelov simulačných programov pomocou systémov CAD. In *Vedecké práce MtF STU v Bratislave so sídlom v Trnave, zväzok 10*. Bratislava: STU, 2001, s. 91 – 96.

