

SNÍMANIE SILOVÝCH DEFORMÁCIÍ AUTOPLÁŠŤOV TAKTILNÝMI PIEZOREZISTÍVNÝMI SNÍMAČMI

THE SCANNING OF POWER DEFORMATION OF TYRE SURFACE BY TACTILE PIEZORESISTIVE SENSORS

Ferdinand Hurta

Faculty of Mechatronics, University of Trenčín,
Študentská 2, 911 50 Trenčín, Slovak Republic,
e-mail: katkahurtova@centrum.sk

Abstrakt V práci je popísaná statická nedeštruktívna metóda merania kontaktných tlakov pneumatík. Použité sú maticové taktilné snímače založené na piezorezistívnom princípe snímania. Práca obsahuje výsledky testovania napäťovo-deformačných stavov pneumatík motorových vozidiel popredného svetového výrobcu.

Summary Our work describes a static non-destructive method of measuring the contact pressures of tyres. The distribution of contact pressures during the contact of the tyre with a solid base represents one of the indicators we use. In this process, it is convenient to use matrix tactile sensors based on piezoresistive method of data collection.

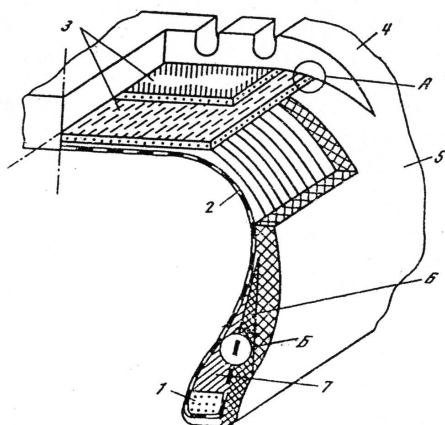
Keywords: tactile matrix sensors, piezoresistive material, load distribution, tire working properties

1. ÚVOD

Odborníci vyvíjajúci dopravné prostriedky kladú pri vývoji pneumatík stále vyššie požiadavky na zvýšenie bezpečnosti jazdy, únosnosti, maximálnej rýchlosti, úspory paliva, zlepšenie adhézných vlastností a iné.

Riešenie týchto požiadaviek sa dosahuje cestou vývoja radiálnych pneumatík nových konštrukcií pri zachovaní alebo znížení spotreby materiálov a súčasne zabezpečení danej životnosti a spoľahlivosti. Optimálne riešenie tejto úlohy predpokladá okrem iného aj detailné a hodnoverné poznanie napäťového a deformačného stavu rozličných prvkov pneumatiky. Existujú tu problémy spôsobené tým, že plášť pneumatiky je zložitá kompozitná konštrukcia pozostávajúca z gumových prvkov rozličnej tuhosti a kordových nití. Tieto môžu byť kovové alebo textilné s rozličnými fyzikálno-mechanickými vlastnosťami.

- 1- pätkové oceľové lano
 - 2- kostra s radiálnym (alebo diagonálnym) usporiadaním nití kordu
 - 3- nárazníková vložka s radiálnym usporiadaním pod uhlom $\pm 90^\circ$
 - 4- dezén
 - 5- bočnica
 - 6- jadro
 - 7- pätková výplň
- A a B- zóny deformácie na okraji pätkovej a okraji nárazníkovej časti



Obr. 1. Základné zloženie plášťa pneumatiky
Fig. 1. Structure of the tyre

Mechanické správanie sa takýchto kompozitov ich pevnosť a charakter porušení závisí nielen na fyzikálno-mechanických a chemických vlastnostiach jednotlivých komponentov, ale aj na štruktúre celého kompozita a technológii jeho výroby.

V procese výroby plášťov pneumatík pri ich chladnutí z teploty vulkanizácie na teplotu prevádzky v nich vznikajú teplotné napätia v dôsledku rozdielnosti koeficientov tepelnej rozťažnosti materiálov jednotlivých spojených elementov a taktiež napätia vyvolané zmrštením gúmy a polymérnych výstužných materiálov. Pod vplyvom týchto napätí sa geometria vyrobenej pneumatiky stáva odlišnou od projektovanej.

Kvalitu a vlastnosti pneumatík ovplyvňujú najmä konštrukcia a materiály použité pri ich výrobe, ale nezanedbateľnou mierou k nim prispieva aj samotná geometria pneumatík. Iná zvláštnosť kompozitných konštrukcií a konkrétne pneumatík spočíva v tom, že koncentrácia napätí vzniká nielen v zónach geometrickej a silovej nehomogenity, t.j. v miestach prudkej zmeny tvaru a zaťaženia, ale aj v zónach mechanickej nehomogénosti na plochách spojenia komponentov pozostávajúcich z rozličných materiálov. V prevádzke to vedie k tomu, že v najzložitejších zónach- bočnej a ramennej, vznikajú porušenia vedúce k predčasnej deštrukcii v dôsledku ich nepoužiteľného

stavu. V uvedených zónach sú často pozorované rozličné technologické defekty, ktoré sa môžu prejavíť v podobe tzv. povrchových nedolískoch. V prípadoch dôkladnej analýzy technologických a receptúrnych faktorov sú potrebné vierohodné informácie o napäťových a deformačných stavoch v zónach porušení. Výpočty sú spravidla neúčinné, pretože je zložitá odhadnúť ich nepresnosť.

Jednou z najdôležitejších úloh analýzy je zistenie zón koncentrácie napätí, štúdium napäťového a deformačného stavu v zónach typických porušení, zistenie oblastí s maximálnymi a minimálnymi hodnotami napätia v korde a gume. Perspektívnu metódu na meranie napäťovo-deformačných stavov pneumatík je metóda pomocou maticových taktilných snímačov. Pri týchto meraniach získame informácie o rozložení a veľkosti kontaktných tlakov pneumatiky s pevnou podložkou. Prvé výsledky testovania ukazujú potrebu uplatnenia metódy v gumárskej výrobe.

Taktilný snímač predstavuje zariadenie, ktoré je schopné získať údaje o snímanom objekte jednoduchým dotykom tohoto objektu. V súčasnosti je na trhu niekoľko typov využívajúcich pri svojej činnosti rôzne fyzikálne princípy. V práci popisujem maticové taktilné snímače založené na piezorezistívnom princípe snímania, ktoré menia svoj elektrický odpor (rezistanciu) vplyvom pôsobenia sily. Základ piezoresistívneho materiálu tvorí silikónová guma alebo kaučuk, do ktorého sa primiešajú vodivé častice. Jednou z najvýznamnejších prímiesí je grafit. Takéto kompozity sa pripravujú z granulovaných polymérov a práškových plnív miešaním v tavenine. Častice grafitu sú nesférické, nepravidelného tvaru, obr. 2.

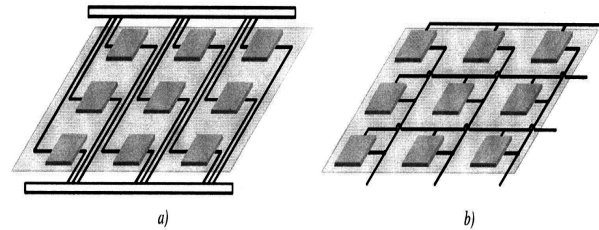


Obr. 2. Tvar častíc grafitu stanovený elektrónovou mikroskopiou pri 200-násobnom zväčšení
Fig. 2. Shape of Graphit corpuscles

Okrem grafitu sa ako plnivo využívajú zlato, meď, nikel, ktoré musia byť upravené proti oxidácii. Priemerné objemové zastúpenie vodivých častíc v piezorezistívnom materiáli dosahuje 15 až 20%.

Jedným z najvýznamnejších výrobcov maticových taktilných snímačov (MTS) pracujúcich na piezorezistívnom princípe je americká firma Dinakon Industries. Vyrába snímače v podobe dosiek zo silikónovej gummy s kovovým plnivom. Vo voľnom stave, t.j. bez pôsobenia vonkajšej sily na MTS vykazuje materiál veľkú rezistanciu. Pôsobením

vonkajšej sily sa rezistencia nelineárne znižuje v rozsahu od 10^7 do 1Ω . Prítom MTS vedie elektrický prúd len v taktilnej ploche pôsobenia tlaku. Na jednej a tej istej ploche môže mať niekoľko lokálnych plôch rozličnej vodivosti bez toho, aby sa navzájom ovplyvňovali, obr. 6. Vo veľkej miere sa používa pre klávesnice a snímače robotov.



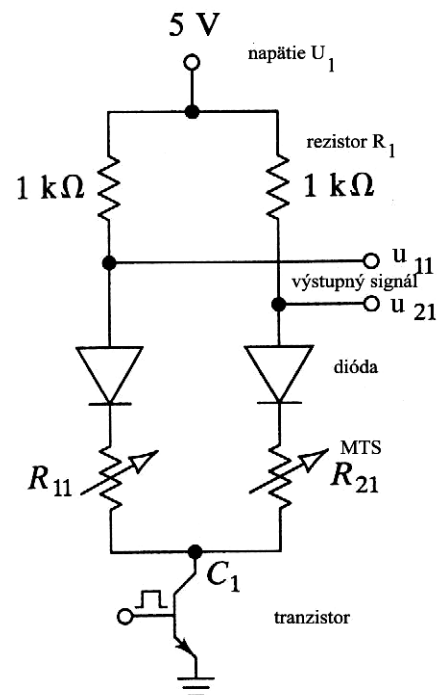
Obr. 3. Spôsob zapojenia maticových taktilných prvkov
Fig. 3. The connecting of matrix tactile elements

Na taktilné snímače použité v priemysle sa kladú vysoké požiadavky:

- dovolený tlak 10 Pa
- minimálna hĺbka stlačenia 2 mm
- zanedbateľná hysterezia
- životnosť 500 000 cyklov
- robustnosť a vysoká spoľahlivosť
- pracovná frekvencia min 5 kHz
- citlivosť 0,01 Pa.

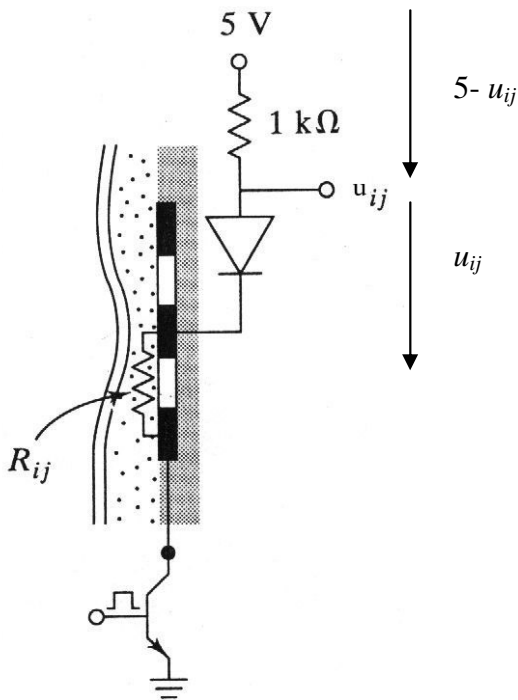
2. POPIS MERACIEHO ZARIADENIA

Na obr. 4 je elektrická schéma zapojenia i-teho stĺpca matice. Pracovné napätie 5V DC je privedené na rezistor $1 \text{ k}\Omega$ cez ochrannú diódu, piezorezistívny taktilný snímač a tranzistor slúži k logike výberu stĺpca.



Obr. 4. Výber stĺpca
Fig. 4. Selection of column

Analógová veličina sa v prevodníku A/D mení na digitálnu a v PC sa spracúva a vyhodnocuje.



Obr. 5. Všeobecný obvod
Fig. 5. The general circuit

V dôsledku tlakovej sily rezistencia MTS poklesne na hodnotu určenú napäťovým deličom:

$$R_{ij} = R_1 \frac{u_{ij}}{U_1 - u_{ij}} \quad (1)$$

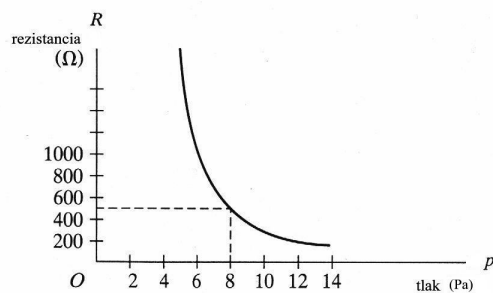
R_{ij} - rezistencia MTS [Ω]

R_1 - pracovný rezistor 1000 Ω

u_{ij} - výstupný signál [V]

U_1 - napájacie napätie 5V DC

Z funkčnej závislosti $R = f(p)$, obr. 6, určíme k rezistancii prislúchajúci tlak.

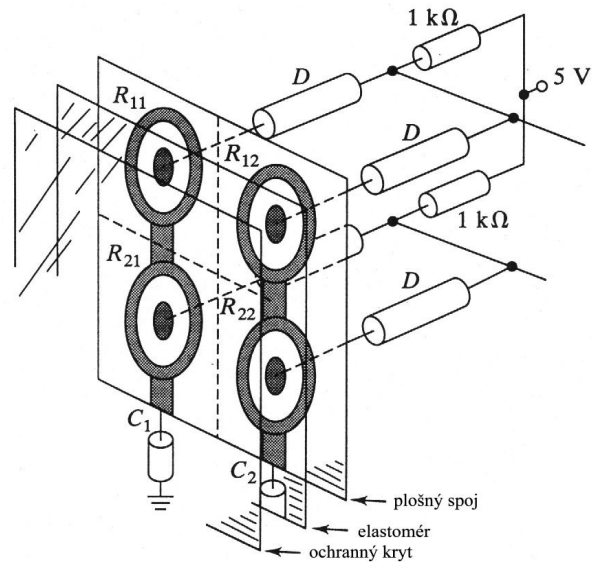


Obr. 6. Typická krivka rezistancie elastomérov
Fig. 6. Typical elastomer resistance curve

Tlaková matica senzora

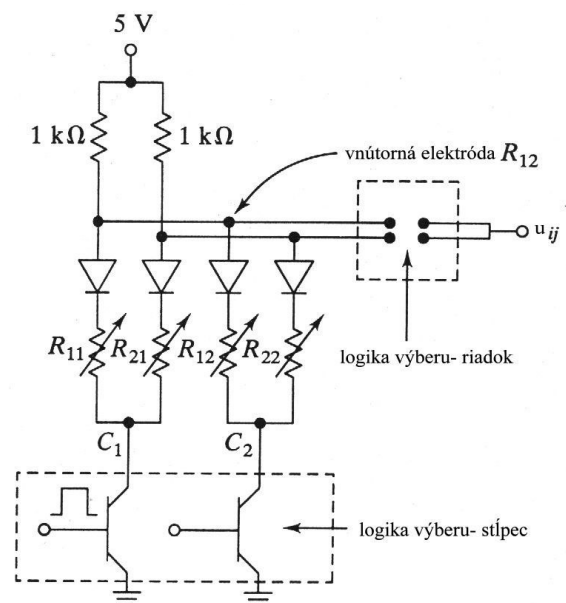
$$P = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{vmatrix} \quad (2)$$

Axonometrický pohľad na činnosť taktilného maticového snímača vidíme na obr. 7.



Obr. 7. Pole
Fig. 7. The taxel array

Schéma i-teho stĺpca a j-teho riadku z axonometrického pohľadu spolu s logikou výberu riadku a stĺpca znázorňuje obr. 8

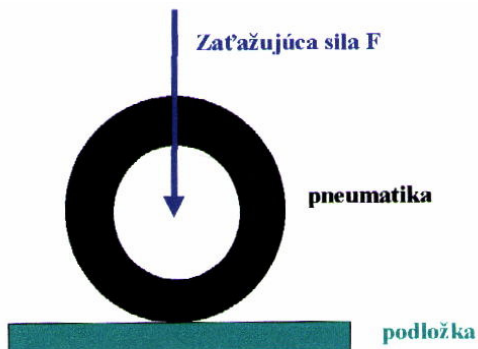


Obr. 8. Obvod informácií
Fig. 8. Acquisition circuit

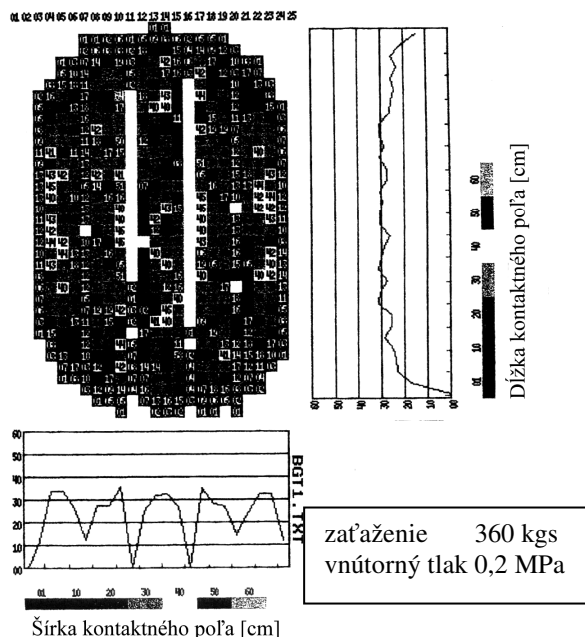
V súčasnosti je technológia výroby piezorezistívnych materiálov veľmi dobre zvládnutá. Materiály majú dobré mechanické vlastnosti a nemenia svoju charakteristiku ani po vykonaní veľkého množstva rozťažujúcich cyklov [5].

3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Pneumatika postavená na podložku zloženú z maticových taktilných snímačov sa hydraulicky zaťažuje silou, ktorá zodpovedá nosnosti daného plášt'a. Zaťažujúca sila pôsobí v osi pneumatiky v smere kolmo na podložku.



Obr. 9. Schéma merania
Fig. 9. Schema of measuring



Obr. 10. Kontaktné tlaky plášt'a 165/70R 13
Bridgestone SF-322

Fig. 10. The contact pressures of the tyre
165/70R 13 Bridgestone SF-322

Na digitalizáciu výstupných údajov z elektroniky sa používa meracia karta PCL-718 od firmy ADVANTECH. Je to výkonná multifunkčná karta na zber dát. Pomocou meracieho komplexu sme zisťovali

rozmery a tvar odtlačku pneumatík, rozdelenie kontaktných tlakov po celej ploche odtlačku, na základe ktorého sme vytvorili grafické znázornenie rozdelenia kontaktných tlakov spriemerovaných po šírke a obvode pneumatiky. Plášte pneumatík firmy Bridgestone rozmeru 165/70 R 13, typu SF-322 sú charakteristickými predstaviteľmi úsporných tzv. zelených autoplášťov. Tieto sa vyznačujú nízkymi valivými stratami a nízkou hlučnosťou. Z obr. 10 vidieť, že autoplášte tohoto typu majú prakticky rovnomerné rozdelenie kontaktných tlakov po šírke odtlačku, teda aj po celej ploche, čiže stope. Toto zabezpečuje minimálnu úroveň energetických strát v zóne obežnej dráhy pri valení a zároveň zlepšuje brzdné vlastnosti plášt'a.

4. ZÁVER

Výsledky testovania napätovo-deformačných stavov pneumatík sa prezentujú ako jeden zo sledovaných ukazovateľov na rozloženie kontaktných tlakov pri dotyku pneumatiky s pevnou podložkou. Pritom sa využívajú maticové taktilné snímače založené na piezorezistívnom princípe snímania. Je to statická nedeštruktívna metóda merania kontaktných tlakov. Súčasne dovoľená rýchlostná kategória plášťov pneumatík do 300 km/h na osobné automobily núti výrobcov aby uvedenou metódou testovali výrobky. Výsledky získané opisovanou metódou sa prezentujú ako vhodné pri vývoji nových typov zvlášť pre pretekárske účely.

LITERATÚRA

- [1] Krupa, I.: Aplikácia vybraných modelov na tepelnú vodivosť termoplastov plnených grafitom. *Plasty a kaučuk*, 12/2001, str. 356-357.
- [2] Halaj, M.- Jašínský, T.: Maticové taktilné snímače sily založené na piezorezistívnom princípe. *Jemná mechanika*, č. 7-8, roč. 43, str. 213-216.
- [3] Gul', V. E., Majzeľ, L. N., Šenfil', N. S. Žuravlev, L. Z., Ščibrja, N.G.: *Elektroprovodjaščie polimernije materialii*. Izdatel'stvo Chimija Moskva, 1968.
- [4] Pišút, J.- Zajac, R.: *O atónoch a kvantovaní*. Alfa Bratislava, 1988.
- [5] Volf, J., Holý, S., Vlček, J.: Using of Tactile Transducer for Pressure-Distribution Measurement on the Sole of the Foot. *Sensors and Actuators*, 62/1997, str. 556-561.
- [6] Guraľnik, V., Tartakover, J. E.: *Mechanika pnevmatičeskich šin*. Zborník vedeckých prác NIIŠP, Moskva 1976, str. 103-110.