

SCIENTIFIC PAPERS
OF THE UNIVERSITY OF PARDUBICE

Series B

The Jan Perner Transport Faculty

2 (1996)

**JAVY TEPLOTNEJ INTERAKCIE MEDZI ŽELEZNIČNÝM
KOLESOM A BRZDOVÝM KLÁTIKOM**

Juraj GERLICI

KKVMZ, Fakulta strojnícka, Žilinská univerzita, Žilina

ÚVOD

Z hľadiska pomeru energetickej náročnosti ku počtu prepravených ľudí alebo objemu tovaru, (predovšetkým na väčšie vzdialenosti), javí sa železničná doprava ako výhodná a perspektívna. Železnice SR zabezpečujú prevádzku celkovo na 3662 km tratí, z ktorých je 65% prevádzkovaných motorovou trakciou a 35% trakciou elektrickou [11]. Aj keby sme odhliadli od výhodnosti energetickej, nesporne pozitívny vklad prináša železnica oproti u nás najviac rozšírenému druhu dopravy - cestnej doprave, aj z environmentálneho hľadiska. Množstvo exhalátov, ktoré vyprodukujú motory vozidiel cestných v prepočte na prepravené objemy je opäť vyšší, ako pri vozidlách koľajovej dopravy. Keď k tomu pripočítame veľkosť škôd a obetí na ľudských životoch spôsobených nedostatočným technickým stavom dopravných prostriedkov alebo nehodovosťou spôsobenou ľudským faktorom, v porovnaní s možnou pohodlnosťou prepravy a skutočnou transportnou rýchlosťou je zákonité, že tento systém ešte dlho nenájde svoju adekvátnu alebo lepšiu náhradu.

Opodstatnenosť existencie dopravného systému prináša pre prevádzkovateľa, výrobcu a konštruktéra koľajového vozidla záväzok zabezpečenia vysokej prepravnej bezpečnosti pre všetky subjekty, ktoré na ňom participujú.

Bezpečnosť železničnej prevádzky (prípadné negatíva pri jej technickom zabezpečení) sa môžu intenzívne premietnuť do záujmu cestujúcej verejnosti o tento spôsob dopravy a následne do ekonomických ukazovateľov hodnotiacich celý dopravný systém.

Aspekty, ktoré na túto skutočnosť vplyvajú, nie je možné postihnúť jednou vetou, je to širokospektrálny súhrn vplyvov, ktoré je nevyhnutné analyzovať tak v konkrétnosti, ako aj komplexne. Jedným z najmarkantnejších dispozícií je poznanie podrobností procesu brzdenia koľajového vozidla s javmi, ktoré pri ňom vznikajú.

BRZDENIE

Brzdenie chápeme ako každé umelé zvyšovanie jazdných odporov za účelom udržania požadovanej rýchlosti, zastavenia na určitom mieste, alebo zaistenie vozidla proti samovoľnému rozjazdu na spáde, je možné realizovať brzdami, ktoré môžeme rozdeliť podľa konštrukčného prevedenia a podľa dosahovaného brzdiaceho účinku na:

- brzdy adhézne
 - trecie
 - zdržové (klátikové)
 - kotúčové
 - dynamické
- brzdy koľajnicové.

Každé z menovaných prevedení brzd má svoje pozitíva a negatíva, špecifickú konštrukciu a oblasť účelu použitia vozidla ako aj oblasť rýchlostí, pre ktoré je ich nasadenie vhodné. Podľa potreby často dochádza ku kombinácii jednotlivých prevedení.

Z hľadiska brzdnjej účinnosti a ekonomickej výhodnosti sú značne rozšírené brzdy zdržové.

Je známou skutočnosťou, že pri brzdení trením zdrže o koleso vzniká teplo. Časť trecieho tepla sa odvádza cez koleso a časť cez zdrž. Trecia teplota oboch bezprostredne spojených plôch je rovnako vysoká, avšak v dôsledku nerovnakej hmoty sa liatinová zdrž ohrieva silnejšie.

Väčšina mechanickej energie premenenej na teplo pri brzdení prejde teda do kolesa. Pri brzdení sa najviac ohrieva povrch jazdnej plochy. Rozdelenie teploty po priereze kolesa závisí na:

- veľkosti prítlačnej sily na brzdovú zdrž,
- rýchlosti a doby brzdenia,
- druhu a type brzdovej zdrže,
- materiále kolesa.

Energiu premenenú na teplo by sme mohli napr. podľa [6] stanoviť zo vzťahu:

$$Q = \frac{\varphi \cdot f \cdot F \cdot V}{\pi \cdot D \cdot l} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (1)$$

kde: φ je koeficient akosti povrchu 0.6-0.8 [-]

f je koeficient trenia [-]

F je prítlačná sila [N]

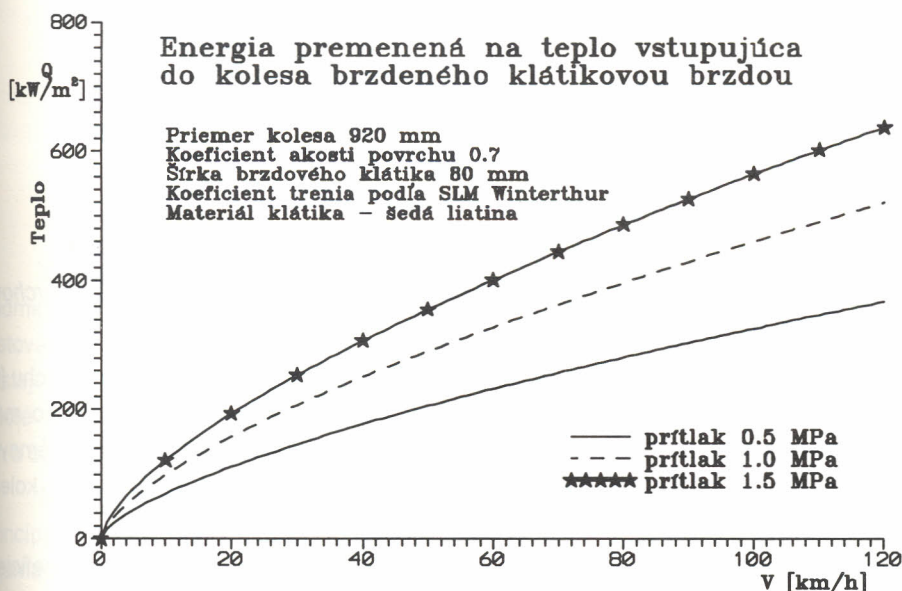
V je okamžitá rýchlosť [ms^{-2}]

D je priemer kolesa [m]

l je šírka brzdového klátika [m].

Ako uvádza literatúra, je možné pri prvom priblížení počítať s tým, že vyvinuté teplo pri brzdení prejde do kolesa v množstve od 66% pre liatinový klátik a až po 90% pre klátiky nekovové.

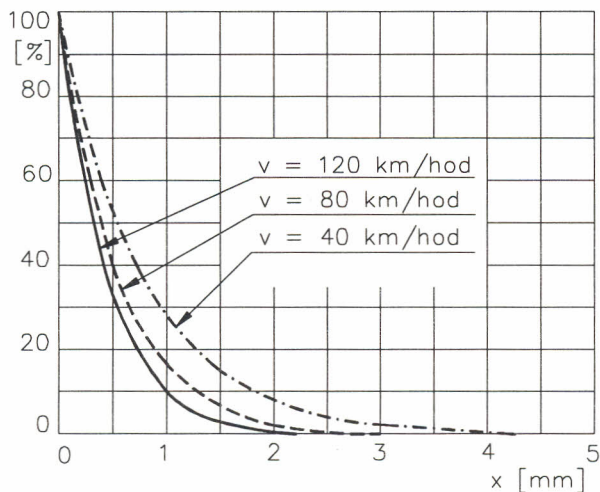
Pri každej otáčke je koleso zaťažované postupne dvomi tepelnými rázmi od dvoch proti sebe pôsobiacich brzdových klátikov, chladením od styku s koľajnicou, chladením od ofukujúceho vzduchu a sálaním do priestoru.



Obr. 1 Grafická závislosť predpokladaného množstva premenenej energie na tepelnú pri brzdení klátikovou brzdou a liatinovým klátikom, ktorá vstupuje do kolesa

V určitej vzdialenosti od povrchu jazdnej plochy je už vplyv teplotných výkyvov značne utlmený a predpokladá sa obecné, že teplota ďalej narastá rovnomerne.

Ďalším prvkom, ktorý výrazne ovplyvňuje tepelné namáhanie je umiestnenie brzdového klátika na kolese [6]. Najnepriaznivejšiu alternatívu predstavuje presah klátika cez okolesník. Zároveň veľmi nepriaznivá poloha je aj pri presahu klátika na vonkajšej strane kolesa, kde klátik môže dokonca zasahovať vonkajšie čelo venca. V oboch prípadoch dochádza k veľkým tepelným tokom, napätiam a možnosť poškodenia kolesa sa prudko zvyšuje. Výpočty v tomto smere boli robené na KKVMZ VŠDS.



Obr. 2 Vplyv rýchlosti na tlmenie kolísania tepelného toku a teplôt v povrchovej vrstve materiálu kolesa

Ohrev kolesa pri brzdení vedie v prevádzke k nánosom na jazdnú plochu [6]. Uvažuje sa o nánosoch z koľajnice - v prípade, že adhézne sily sú len o málo väčšie ako sily trecie. Tvrdosť nárastu je veľmi vysoká a dosahuje v extrémnych prípadoch až niekoľko mm. Nárasty od materiálu klátika vznikajú keď je koleso brzdené veľkou silou, keď sa vyvinie veľké množstvo tepla.

Dôležitým činiteľom, ktorý ovplyvňuje tvorbu tepla pri brzdení, je koeficient trenia medzi zdržou a jazdnou plochou kolesa. S dobou brzdenia súvisí oteplenie brzdových zdrží. Veľkosť súčiniteľa trenia klesá s oteplením zdrže.

Z praxe je známe, že pri brzdení sú oveľa nebezpečnejšie mierne, ale dlhé spády, ako prudké, ale krátke spády. Pri dlhšom brzdení dochádza k zahriatiu zdrží, ktoré menia svoj tvar v dôsledku tepelných zmien a tým dochádza k zboršteniu dosadacej plochy pri zachovaní brzdiacej sily, z čoho vyplýva zvýšenie memného tlaku a tým pokles súčiniteľa brzdového trenia. V časovej jednotke vznikne viac

tepla, ako môže preniknúť do hĺbky materiálu kolesa a zdrže a odtiaľ do ovzdušia. Tým dochádza k natavovaniu povrchovej vrstvičky v styku medzi kolesami a brzdovými klátikmi. Roztavený kov a nečistoty "mažú" stykové plochy a tým sa znižuje brzdiaci účinok, tj. začne klesať trenie a tým aj teploty. Znížením teploty roztavená vrstvička zatuhne a suché trenie medzi kolesom a brzdovými zdržami vedú opäť k zvýšeniu teploty. Stúpajúca teplota opäť vedie k nataveniu povrchovej vrstvy a dej sa opakuje. Podrobnejšie je tento dej popísaný neskôr, zároveň je doložený graficky zobrazenými priebehmi teplôt v závislosti na čase.

NESTACIONÁRNE TEPLOTNÉ POLE

Problematiku šírenia sa teplôt v železničnom kolese je možné skúmať viacerými spôsobmi. Z hľadiska prístupu a využitia dostupných metód sú tieto možnosti:

- a) **Analytické riešenie** diferenciálnej rovnice šírenia tepla pomocou čisto matematického aparátu, ktorým získame výraz v konečnom tvare.
- b) **Príbližné analytické metódy** - riešenie v tvare sumy členov nejakého matematického radu.
- c) **Numerické metódy** - riešenie sa hľadá v niektorých uzlových bodoch skúmanej oblasti, napríklad metódy konečných prvkov.
- d) **Metódy fyzikálneho modelovania.**
- e) **Metódy matematického modelovania** - analógové metódy - dávajú dostatočne presné výsledky pri pomerne malých nákladoch na riešenie.
- f) **Experimentálna metóda.**

V prípadoch a) až e) je však nevyhnutné poznať začiatočné a okrajové podmienky. Získať ich býva náročné, lebo vyžadujú experimentálne skúšky testovaných materiálov. Preto sa zriedkakedy použije pre analýzu jediná metóda, častejšie ich kombinácia a nehovoríme o absolútne presných hodnotách výsledkov (ktoré sú veľmi závislé od počiatkových a okrajových podmienok). Porovnávame ich a opäť experimentami overujeme ich platnosť.

Matematické vyjadrenie riešenia teplotného poľa by sme mohli nájsť v [3], princípy elektrotepelnej analógie [1] ako možné (a už pred časom použité) metódy skúmania tohoto javu. Ani jedna z týchto metód nepostihuje a vo výsledku nezohľadňuje niekoľkonásobnú nestacionaritu procesu. Metóda konečných prvkov bola v našom prípade použitá len na statický - stacionárny výpočet rozložení teplôt a napätí v brzdovom klátiku a čisto teplotne zaťažené koleso UIC - 920 mm.

Nestacionárne teplotné pole brzdeného železničného kolesa klátikovou brzdou je vo všeobecnom prípade popísané nelineárnou diferenciálnou rovnicou

s parciálnymi deriváciami. Pri určitom zjednodušení môžeme rovnicu v cylindrickom súradnicovom systéme napísať ako:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial \varphi^2} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial F_0} \quad (2)$$

pričom: θ je vzťahový polomer $\theta = r/R_0$,

R_0 je polomer kolesa,

ρ je vzťahová teplota,

φ je súradnicový uhol,

F_0 je Fourierovo číslo.

Riešenie by bolo možné dostať v tvare trigonometrického Fourierovho radu a výsledkom by bol súčet zložiek nestacionárneho osovo a neosovo symetrického teplotného poľa. Doba prechodového deja závisí na čísle F_0 , pri $F_0 = 0.8$ symetrické pole zaniká. Pri neosovo symetrickom prístupuje závislosť na otáčkach - nižšie otáčky, hlbší prienik. Na obrázku naznačený priebeh teplôt [3] vykazuje miesto maximálnej teplotnej koncentrácie medzi bodmi 1 a 2 (odpovedá vyšrafovanej ploche) by približne odpovedal veľkosti prehriatych miest na brzdovom klátiku počas brzdenia konštantným brzdovým výkonom (brzdenie na spáde).

Inou možnosťou, ako získať priebeh nestacionárneho poľa je metóda elektrotepelnej analógie.

Základnou úvahou pri voľbe použitia tejto metódy je, že ak sú javy rôznej podstaty popísané diferenciálnou rovnicou, počiatocnými a okrajovými podmienkami rovnakého typu, ide o analogické javy. Tým môžeme modelovať jeden jav za dodržania nutných podmienok iným.

V tomto prípade by šlo o analógiu medzi javmi elektrického poľa, ktoré je možné ľahšie zrealizovať a merať, a vedením tepla v kolese pri konštantnej uhlovej rýchlosti kolesa.

Touto metódou bol spomínaný proces skúmaný na VŠDS [1].

BRZDOVÝ TRECÍ SKÚŠOBNÝ STAV KKVMZ VŠDS

Či použijeme metódu takú alebo inú, bez okrajových a začiatocných podmienok sa nezaobídeme. Získať ich môžeme meraním na brzdovom stave, napríklad stave KKVMZ VŠDS. Je umiestnený v laboratóriu Katedry koľajových vozidiel, motorov a zdvíhadiel a má nasledovnú podobu.

Brzdový stav poháňa jednosmerný elektromotor s cudzím budením, regulovaný tyristorovým štvorkvadrantovým reverzačným meničom.

Maximálne otáčky motora sú 3200 min^{-1} , menovitý výkon 265 kW, menovité otáčky 1590 min^{-1} , menovitý krútiaci moment 1592 Nm. Prevodový pomer prevodovky $i = (5.6) 1.72$.

Juraj Gerlici:

Maximálna obvodová rýchlosť železničného kolesa s priemerom 840 mm je cca 312 km/h, maximálny priemer skúšaného kolesa je až 1250 mm.

Brzdový stav je určený na skúšanie trecích charakteristík a životnosti kotúčovej a klátikovej brzdy. Zároveň slúži na prevádzanie pevnostných skúšok brzdených a nebrzdených kolies železničných vozidiel, vrátane zisťovania priebehov rozloženia teplotných polí v kolesách počas procesu brzdenia. Snímanie a vyhodnocovanie nameraných údajov sa prevádza pomocou počítača.

Parametre stavu vyhovujú podmienkam Medzinárodnej železničnej únie pre vykonávanie brzdových skúšok.

EXPERIMENTÁLNE PRÁCE

Experimentálne práce boli prevedené v Ťažkom laboratóriu Katedry koľajových vozidiel, motorov a zdvíhadiel, na Strojníckej fakulte VŠDS v Žiline, na trecom brzdovom stave KKVMZ, pričom bol použitý testovací rám z pôvodného stavu.

Do tohoto rámu sa umiestnilo železničné koleso UIC s priemerom 920 mm. Na ráme je upevnený jeden brzdový valec, ktorý prostredníctvom pánkovia vyvíja normálové zaťaženie na zdrž a klátik. V ráme na pákoví boli umiestnené brzdové klátiky, vybavené snímačmi teploty a snímačmi zrýchlenia. Snímače zrýchlenia tu boli z dôvodu pozorovania vzťahu možnej frekvencie kmitania klátikov od postupného zahrievania trecích plôch.

Pre experiment boli použité brzdové klátiky typu 013-P10 podľa TNŽ 28 4210 o hmotnosti 11 kg. Koleso bolo brzdené obojstranne, naraz však boli merané teploty len z jedného klátika.

Brzdové klátiky boli navŕtané šestnástimi dierami, do ktorých boli umiestnené termočlánky typu Fe-Ko. Termočlánky boli umiestnené, ako je zrejmé z Obr. 6, v troch radách, dôraz bol kladený na radu najbližšie pri kolese.

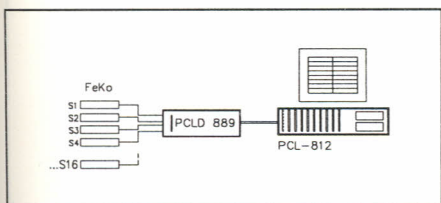
Termočlánky smerovali šikmo do klátika, pričom k meraniu teploty dochádzalo v prvej rade 1,5 mm od trecej plochy, v strede šírky klátika. Stredná rada je smerovaná rovnobežne s predchádzajúcou. Je od nej vzdialená 7 mm do hĺbky klátika. V poslednej rade sú diery na termočlánky navŕtané kolmo do klátika vo vzdialenosti cca 45 mm od trecej plochy. Diery sú pre termočlánky s priemerom 4 mm.

V nasledujúcom texte bude uvedená podobná schéma s plánom termočlánkov, je to z dôvodu že boli použité dva klátiky na ktorých boli diery navŕtané síce podobne, ale číslovanie snímaných kanálov bolo potrebné zmeniť s ohľadom na dĺžku vodičov od klátika na zbernicu pri zapojení druhého klátika.

Na samotné meranie sme sa snažili v čo možno najširšej miere využiť dostupnú meraciu techniku s súvislosti s počítačom.

Juraj Gerlici:

Termočlánky typu Fe-Ko, ktoré boli použité, si možno predstaviť ako šamotovú trubičku ktorej dvomi otvormi viedli vlákna železa (Fe) a Konštantanu (Ko). Tieto dve vlákna boli po výstupe z trubičky na druhom konci zvarené uhlíkom (zbodované) bez prístupu vzduchu. Otvory boli utesnené vodným sklom.

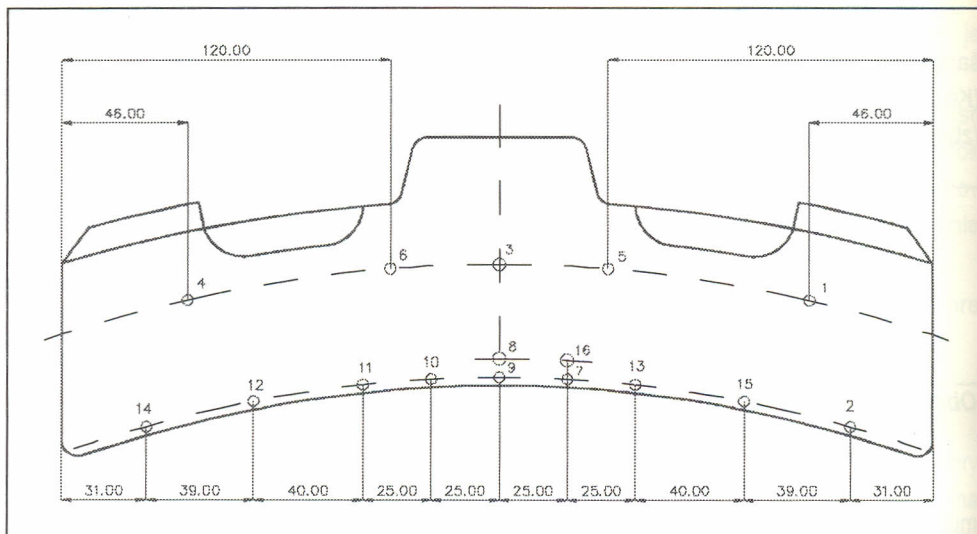


Obr. 5 Merací reťazec pri skúškach na brzdom stave

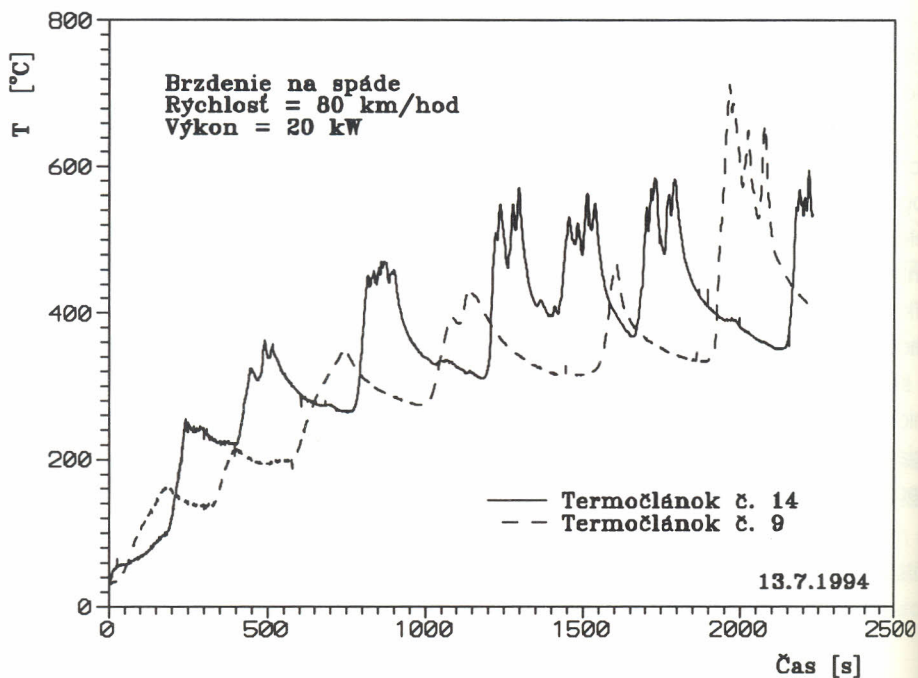
Na výstupe z klátika boli vodiče Ko spojené a vedené do referenčného kanála programovateľnej zosilovacej multiplexovej dosky PCLD889, ktorá má priamo na tento účel navrhnuté elektronické obvody. Referenčný kanál, respektíve informácia z neho slúži ako "termostat".

Signál bol teda vedený od snímačov vodičmi na spomenutú programovateľnú multiplexor - zosilovaciú dosku PCLD-889 (Advantech). Táto doska je priamo napájaná z počítača. Bolo použité snímanie 16 "single ended" kanálov so spoločným uzemnením. Ďalej bol signál vedený na meraciu dosku PCL-812 (Advantech) umiestnenú v počítači. Tam bol signál demultiplexovaný, informácia bola "roztriedená" na jednotlivé kanály. Výstup z meracej dosky je v binárnom kóde bolo potrebné vyrobiť prekladač do kódu ASCII (čítateľné znaky). Základný programový ovládač dosky PCLD889 má vlastný tabuľkový prepočet číselnej informácie na teplotu. Špeciálne pre toto meranie bol na KKVMZ vypracovaný program TERMTEST!, ktorý pracuje v prostredí Windows 3.1. To nám umožnilo nielen ukladať merané veličiny na pevný disk počítača, ale aj priebežne vizuálne kontrolovať stav teploty na termočlánoch. Displej zobrazuje nielen číselný údaj veľkosti teploty, ale aj výchylku "ručičky" meracieho prístroja na stupnici. Je to veľmi výhodné pri orientácii sa v takom množstve naraz zobrazovaných údajov. Hodnoty zo šesťnástich kanálov sa teda zobrazovali na šesťnástich displejoch. Na každom z nich sa interaktívne (keď neprebíhalo snímanie) dajú nastaviť rozsahy a ciachovanie. Program môže slúžiť pre akékoľvek snímanie kanálov v podobnom zapojení, nie je obmedzený len na teploty.

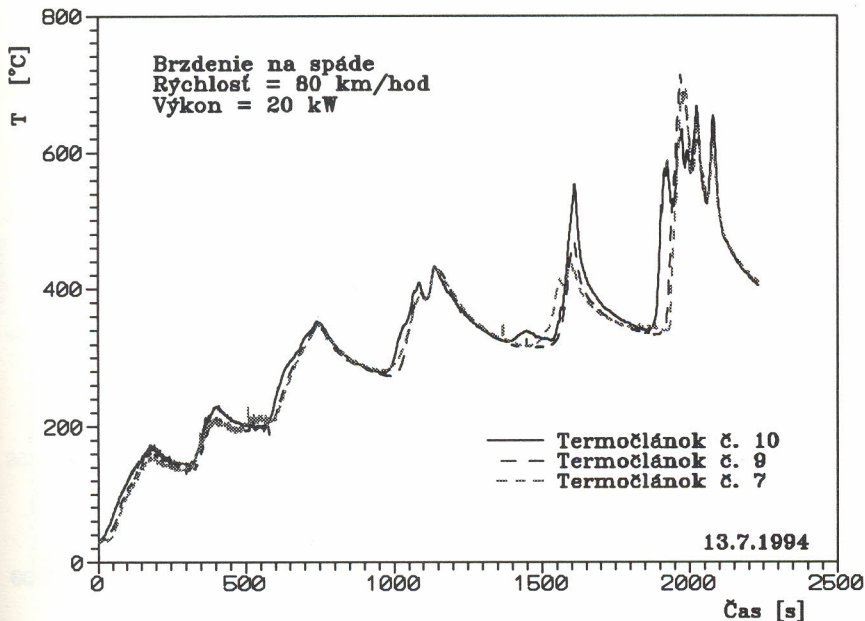
Pri zaťažení 20 kW, boli termočlánky rozmiestnené podľa schémy na Obr. 6.



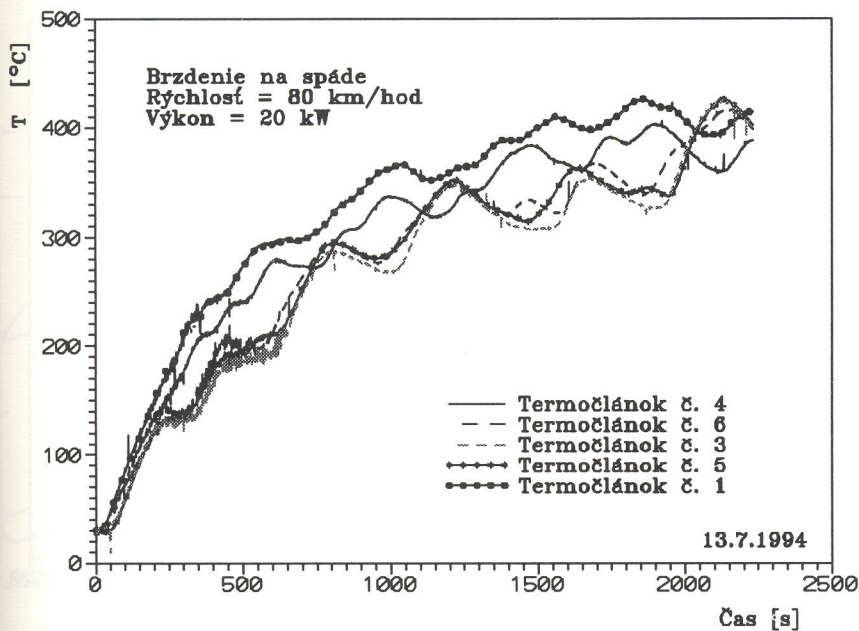
Obr. 6 Rozmiestnenie snímačov na brzdovom klátiku 013-P10, pri zaťažení 20 kW.



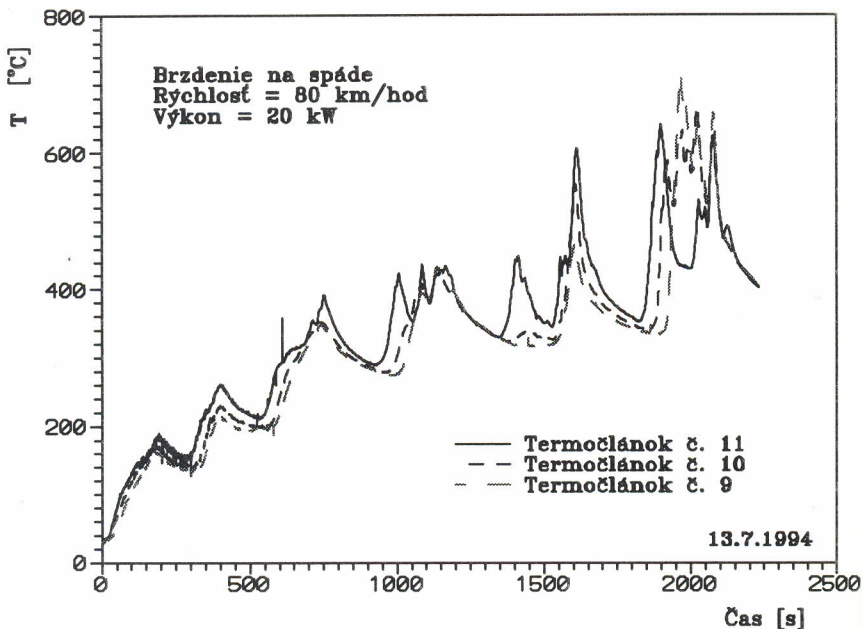
Obr. 7 Priebeh teplôt na kraji a v strede klátika cca 1,5 mm od trecej plochy



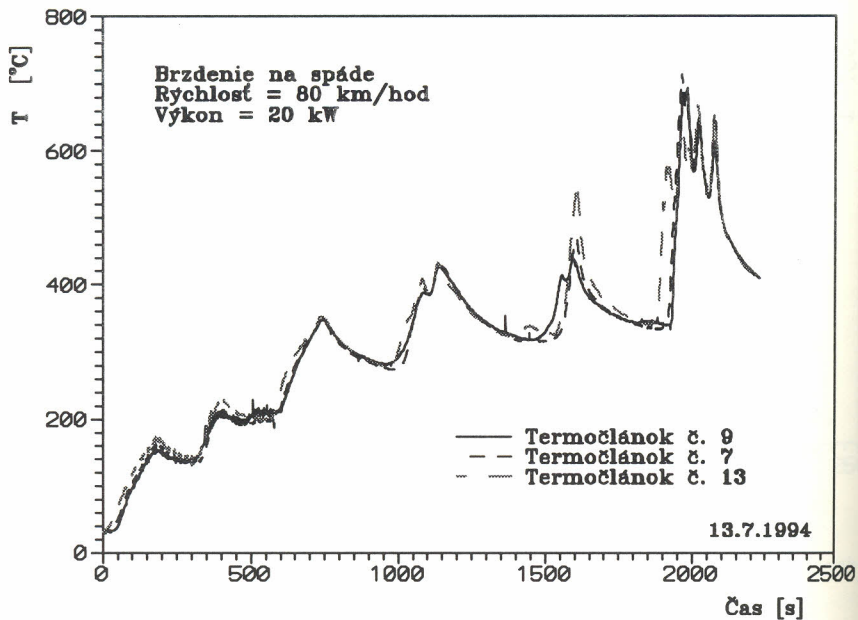
Obr. 8 Priebeh teplôt v strede a 25 mm od osi klátika cca 1 mm od trecej plochy



Obr. 9 priebeh teplôt od všetkých termočlánkov cca 45 mm od trecej plochy

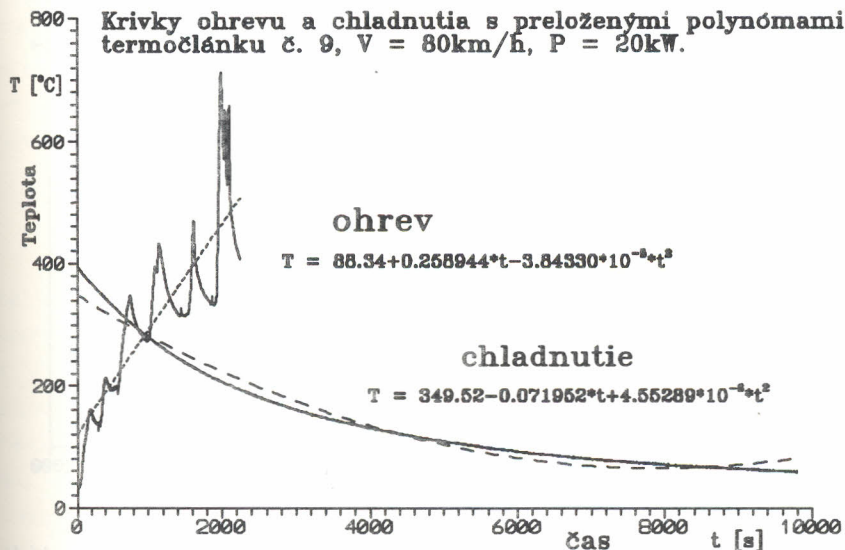


Obr. 10 Priebeh teplôt v strede, 25 mm a 50 mm od osi klátika v smere otáčania kola a cca 1,5 mm od tretej plochy



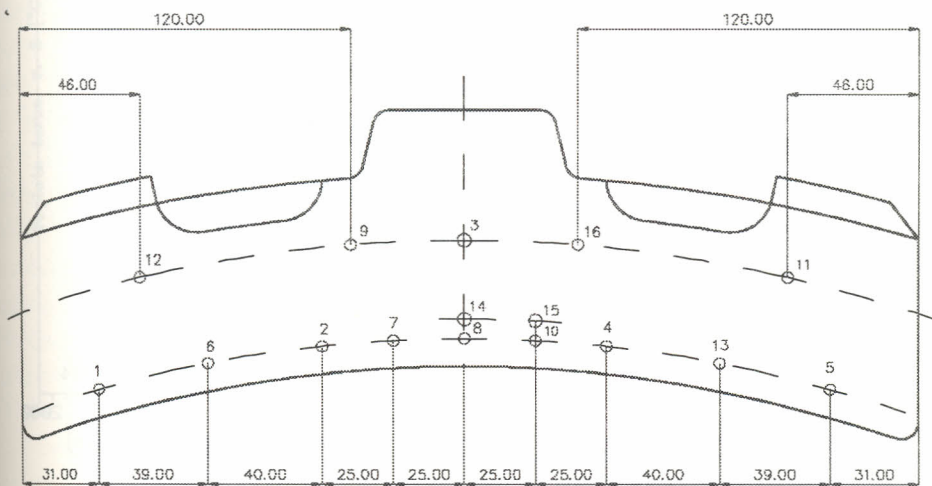
Obr. 11 Teploty v strede, 25 mm a 50 mm od osi klátika proti smeru otáčania kola a cca 1,5 mm od tretej plochy

Nárast vystihuje skutočnosť s koeficientom korelácie 0,75 a chladnutie 0.98.

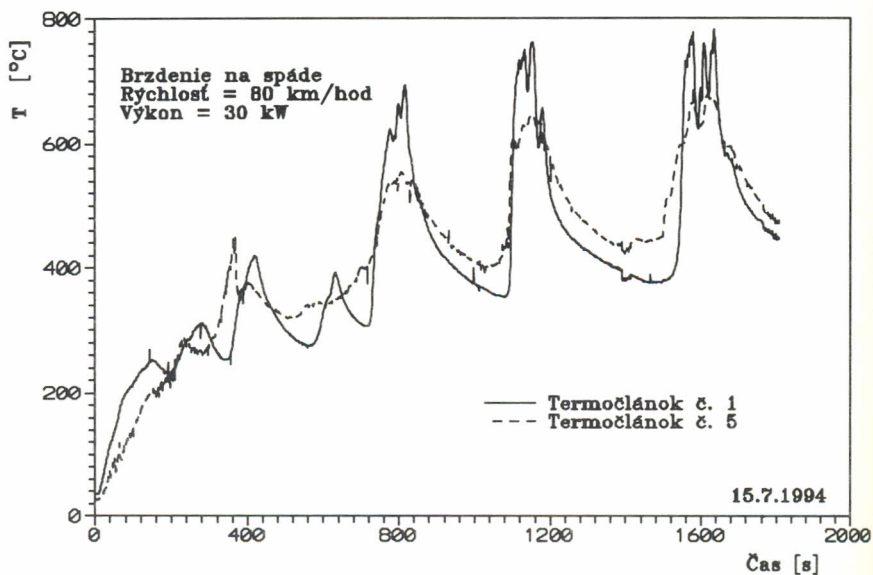


Obr. 12 Teplota bola snímaná termočlánkom umiestneným uprostred klátika, vo vzdialenosti 1.5 mm od trecej plochy

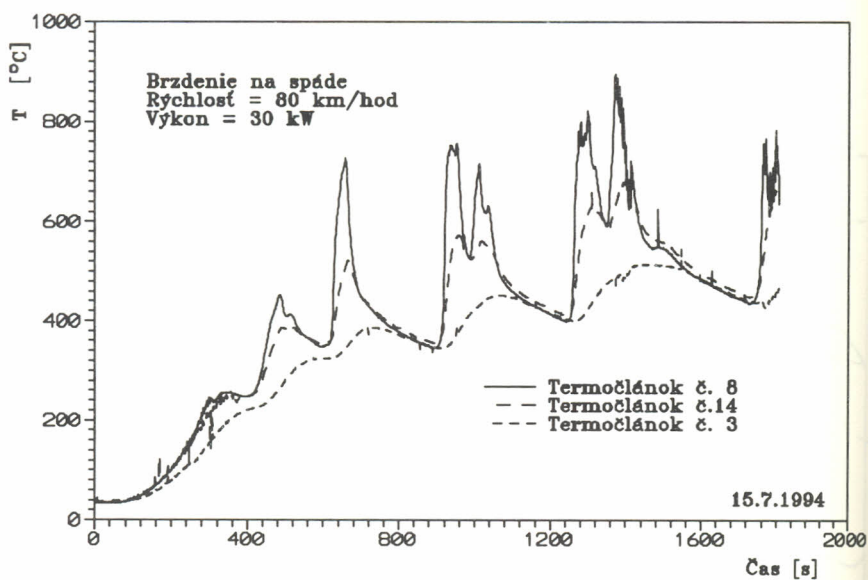
VÝSLEDKY MERANÍ PRI 30 KW ZAŤAŽENÍ



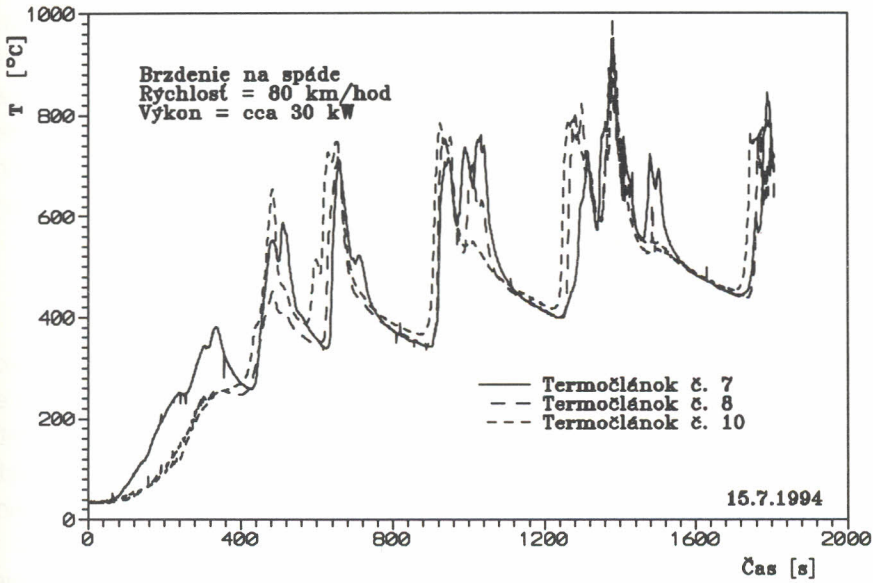
Obr. 13 Umiestnenie termočlánkov na klátiku pre zaťaženie 30 kW



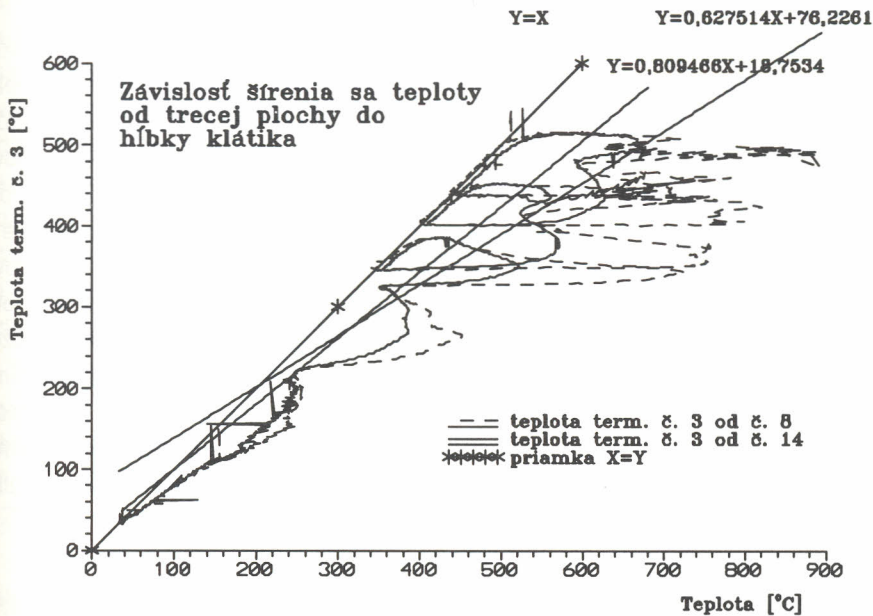
Obr. 14 Priebeh teplôt v dvoch miestach cca 1,5 mm od trecej plochy symetricky vzdialených od osi klátika 129 mm



Obr. 15 Priebeh teplôt v troch miestach v strede klátika



Obr. 16 Priebeh teplôt v strede klátika cca 1,5 mm od trecej plochy symetricky vzdialených od osi klátika 25 mm.



Obr. 17 Trend závislosti nárastu teploty vnútorného miesta klátika termočlánku č. 3 od miesta bližšie pri trecej ploche, termočlánku č. 14 a č. 8

Ako je zrejmé z Obr. 17, teplota v mieste termočlánku č. 3 postupne narastá a skokom sa priblíži teplote ktorú vykazuje termočlánok pri trecej ploche. Pri vyšších teplotách sú tie skoky podstatne výraznejšie ako pri teplotách nižších. Tento obrázok už uvádza priebeh teplôt pri brzdení výkonom 30 kW, ktoré sú postupne zobrazované v nasledujúcom. Priamky ukazujú trend, resp. okrem priamky "Y=X" zvyšné dve vznikli lineárnym preložením priebehov ohrevu. Zaujímavé na tomto grafe je aj to, že tu teplota vo vnútri klátika ani raz neprevýšila teplotu bližšie pri trecej ploche.

VSTUPY PRE TEPELNÝ A NAPĚŤOVÝ VÝPOČET

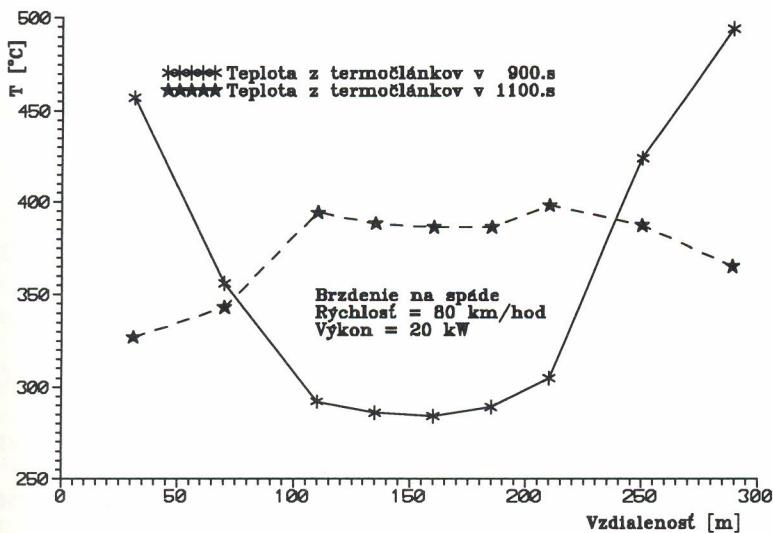
Na základe nameraných teplôt pri experimentálnych prácach boli prevedené výpočty šírenia sa teplotných polí v klátiku, ako aj šírenia sa napätí a priebeh deformácií tohto brzdneho prvku. Je potrebné hneď na začiatku poznamenať, že výpočet sa týka len statickej stránky takého pohľadu, lebo sa vychádzalo z okrajových podmienok maximálneho prehriatia krajov klátika a maximálneho prehriatia stredu klátika. Zároveň však musíme vziať do úvahy teplotný útlm a možnosť materiálovej nehomogenity klátikov čo môže výrazne ovplyvniť výsledky pri snahe o dôkladný popis javu v kontinuálnom kontexte. Predpokladajme, že materiál je homogénny, za materiálové konštanty sme vzali údaje z ČSN 42 2425 Šedá liatina 2425, ktorá sa chemickým zložením najviac približovala materiálu klátika 013-P10.

Výpočet bol prevedený programom ANSYS 5.0, ktorý pracuje na základe aplikácie metódy konečných prvkov. V tomto prípade bola aplikovaná lineárna termická a napätiová analýza, pričom redukované napätia boli počítané metódou hypotézy HMM. Pre úplnosť uvádzame, že model bol vytvorený z osemuzlových štvoruholníkových prvkov typu PLANE77, pre napätiovú analýzu sa tieto prvky transformovali na typ PLANE82. Už z názvu PLANE-rovina je zrejmé, že ide o výpočet rovinného útvaru. Model pozostával z 3996 prvkov a 12117 uzlových bodov. Okrajovými podmienkami boli teploty nasnímané a vyhodnotené z termočlánkov na klátiku. Ako teplotné zaťaženie bolo použité okamžité rozloženie teplôt v dvoch hraničných časových okamžikoch, keď teploty dosahovali maximum na krajoch klátika 900. sekunda a v strede klátika 1100. sekunda. Pri teplotnej koncentrácii uprostred trecej plochy klátika boli aj napätiové polia rozmiestnené podstatne bližšie k stredu klátika, ako v prípade teplotných maxím na okraji klátika.

ZÁVER

Na základe dostupného skúmaného materiálu je možné usúdiť, že modelovaním brzdnych situácií - až na úrovni havarijných, na brzdových stavoch môžeme získať poznatky aké za bežnej bezpečnej prevádzky železnice možné

získať nie je. Zároveň to skýta možnosť doladovania ba až úplnej zmeny niektorých od nepamäti rovnakých častí brzdového systému.



Skúmaním nestacionárnych teplotných stavov na trecej ploche a v blízkosti trecej plochy brzdového klátika sa potvrdilo, že takáto nestacionarita pôsobí aj na koleso, čo môže pri cyklickom opakovaní skutočne viesť k poruchám a trhlinám na venci kolesa. Klátik počas súvislého brzdenia "pracuje", zaťažuje jazdný povrch kolesa nepravidelne z hľadiska klátika bola evidentná tendencia pravidelného putovania prehriatych miest z oboch koncov súčasne do stredu a naspäť. Silno prehriate miesta zreteľne putovali aj v smere jazdného profilu čo naznačuje, že nestacionarita je všeobecne priestorová. Znamená to, že skutočný prítlak vyvodzovaný na zdrž sa určite neprenáša na koleso rovnomerne, plocha pôsobiaca pri brzdení "v zábere" sa mení čo do veľkosti aj tvaru, z toho vyplýva že trecia sila alebo trecie sily pôsobiace v kontakte sa tiež v čase menia a samotný brzdný výkon je rozložený nepravidelne a "preteká" podľa momentálnej situácie.

Boli pozorované brzdové klátiky nedelené s určitým obsahom fosforu, dá sa predpokladať, že v prípade iného percentuálneho obsahu fosforu by jav prebiehal podobne. Po skončení experimentu bol meraný klátik podrobený skúške tvrdosti trecej plochy (podľa Brinella), pričom hodnoty ukazovali tvrdosti v intervale (200-250)HB čo nie sú hodnoty nijako extrémne.

Pri klátikoch delených je predpoklad, že sa niektoré negatívne vlastnosti pri brzdení zmiernia, čo je však len najbližší stupeň od brzdenia klátikmi celými.

Podľa skúmaných záležitostí najlepším spôsobom ako odstrániť nestacionárne teplotné zaťažovanie kolesa pri brzdení by bola náhrada klátikových bŕzd pôsobiacich na jazdnú plochu kolesa brzdami kotúčovými.

Literatura

- [1] Cúth, V. a kol.: Analýza teplotných polí železničných kolies metódou elektroanalógie, výskumná správa VŠD Žilina, č.: 311278/KSS-SET, 1978.
- [2] Čáp, J. a kol.: Silové a třecí poměry vozového kola a brzděné kolo, Zpráva pro průběžnou oponenturu výzkumné úlohy P-06123-202 "Železniční dvojkoľa a kolejnice".
- [3] Kaloč, R.: Ověřování vlastností železničních kol, Hutnické aktuality, roč. 22, VÚHŽ, Dobrá u Frýdku Místku, 1981.
- [4] Krettek, O., Abdel Aal, U.: Zum Problem der Laufflächenverriffelung klotzgebremster Räder, Seminar "Eisenbahnratsatz", RWTH Aachen 1990.
- [5] Krettek, O., Abdel Aal, U., Zobory, I.: Modellierung der Klotzbremse, ZEV+DET Glas. Ann. 118, 1994.
- [6] Mitura, K., Matušek, P., Faja, R.: Tepelné poškození železničních kol způsobené intenzivním brzděním, Železniční technika 10/1980, Příloha Ž 30, 80 Str. 175-184.
- [7] Polách, O.: Adheze a tření v dynamice kolejových vozidel, habilitační práce, VŠDS Žilina 1991.
- [8] Řezníček, R., Gerlici, J.: Nový brzdový stav KKVMZ VŠDS, zborník zo seminára Úspory v železniční dopravě, Loučeň 1993, VŠDS 1993.
- [9] Šičkov, A. I.: Temperaturnyj režim listoprotatnych valkov, Izdatelstvo leningradskogo universiteta, 1974.
- [10] Gerlici, J.: Teploty v brzdenom železničnom kolese a kúšobné stavy. Doktorandská dizertačná práca, VŠDS Žilina 1995.
- [11] Hlavňa, V., Gerlici, J., Lack, T.: Racionalizácia spotreby energie fosílnych palív v koľajovej a nekoľajovej doprave. Racionálne využívanie energie v hospodárstve SR, MH SR a Svetová energetická rada, Bratislava 1996.

Resumé

JAVY TEPLITNEJ INTERAKCIE MEDZI ŽELEZNIČNÝM KOLESOM A BRZDOVÝM KLÁTIKOM

Juraj GERLICI

Článok pojednáva o niektorých javoch teplotnej interakcie medzi brzdeným železničným kolesom a brzdovým klátikom pri brzdení na spáde. Pozornosť je tu venovaná vzniku a šíreniu sa teplotných polí do kolesa a brzdového klátika, sú tu poukázané možnosti a spôsoby riešenia priebehu nestacionárneho teplotného poľa. Vzhľadom na náročnosť analytického riešenia, pozornosť je zameraná na experimentálne merania. V krátkosti je tu popísaný brzdový stav KKVMZ VŠDS na ktorom boli merania vykonané. Predmetom skúšok bol brzdový klátik typu 013 - P10, v ktorom boli umiestnené termočlánky v troch vrstvách. Týmto klátikom bolo brzdené monoblokové železničné koleso UIC s priemerom 920 mm

Juraj Gerlici

rôznymi brzdoými výkonmi. Namerané priebehy teplôt boli zapísané, vyhodnotené. Hodnoty teplôt pri určitých podmienkach boli použité aj ako okrajové podmienky pre výpočet rozloženia teplôt a napätí v klátiku.

Summary

THERMIC INTERACTION PHENOMENA BETWEEN RAILWAY WHEEL AND BRAKE BLOCK

Juraj GERLICI

This paper deals with some phenomena of thermic interaction between braked monoblock of railway wheel and cast iron brake block during down-hill braking. Our attention is paid to a generation and expansion of thermic fields into the railway wheel and into the brake block, referring as well to the possibilities and manners of solution of the nonstationary thermal field development. With regard to the analytical solution difficulty, the attention is paid to the experimental measurements. The brake test stand KKVMZ VŠDS, using that the measurements were done, is roughly described. The brake block of type 013-P10 was used as the subject for testing, with the thermocouples arranged in three layers. This brake block was used for braking the railway wheel of type UIC with diameter 920 mm applying different braking power. The measured distributions were put down and evaluated. The given values of temperatures were used as the boundary conditions for thermal and stress analysis of the brake blocks.

Zusammenfassung

DIE WÄRMEINTERAKTIONSEFFEKTE ZWISCHEN DEM FAHRGESTELLRAD UND DEM BREMSKLOTZ

Juraj GERLICI

Im Artikel werden einige Wärmeinteraktionseffekte zwischen dem Fahrgestellrad und dem Bremsklotz beim Bremsvorgang auf dem Gefälle behandelt. Die Aufmerksamkeit wird hier dem Entstehen und der Verbreitung von Wärmefeldern in das Laufrad und den Bremsklotz gewidmet. Weiter wird hier auch auf die Möglichkeiten und Arten der Lösung des nichtstationierten Verlaufs vom Wärmefeld hingewiesen. Im Hinblick auf den Aufwand der analytischen Lösung ist hier die Aufmerksamkeit den experimentalen Messungen gewidmet. Kurz wird hier auch der Bremsstand am Lehrstuhl KKVMZ der VŠDS beschrieben, an dem die experimentalen Messungen gemacht durchgeführt wurden. Das Objekt der Proben stellte der Bremsklotz des Typs 013-P10 vor, in dem die Thermolemente in drei Schichten angeordnet waren. Mit diesem Bremsklotz wurde das Monoblock - Fahrgestellrad UIC mit Durchmesser von 920 mm mit verschiedenen Bremsleistungen gebremst. Die gemessenen Bremstemperaturen wurden notiert und ausgewertet. Die Temperaturwerte bei bestimmten Bedingungen wurden auch als Grenzbedingungen zum Ausrechnung der Temperatur- und Spannungsausbreitung im Bremsklotz verwendet.