

A **F** **T**
ACTA
FACULTATIS
TECHNICAE



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

2

ROČNÍK: XIV

ZVOLEN 2009

OBSAH

VEDECKÉ ČLÁNKY

NÁVRH METÓDY VERIFIKÁCIE ODTLAČKOV PRSTOV DESIGN OF FINGERPRINTS VERIFICATION METHOD Elena Pivarčiová, Tibor Csongrády	7
VPLYV ČASU PÔSOBENIA ČISTIACEJ KVAPALINY NA ÚČINNOSŤ ČISTENIA INFLUENCE OF CLEANING LIQUID ATTACK TIME TO CLEANING EFFICIENCY Ľubomír Javorek, Miroslav Urban	15
SIMULOVANÉ RIADENIE ŤAHOVEJ SILY NAVIJAKA PD REGULÁTOROM – PREDPÍSANÝM POHYBOM KMEŇA A SKIDDING FORCE CONTROL SIMULATED OF THE HAULING ROPE BY MEANS OF A PD CONTROLLER FOR SPECIFIED MOTION Branislav Danko	21
TEPELNĚ-EMISNÍ ANALÝZA MALÝCH SPALOVACÍCH ZAŘÍZENÍ NA BIOMASU HEAT AND EMISSIONS ANALYSIS OF SMALL COMBUTION UNITS FOR BIOMASS Jan Malaták, Marian Kučera, Milan Dvořák	29
DRSNOSŤ OBROBENÉHO POVRCHU PO FRÉZOVANÍ AL ZLATINY ALMGS11 SURFACE ROUGHNESS OF ALUMINIUM ALLOY ALMGS11 AFTER SIDE MILLING Júlia Mečiarová	45
VYUŽITIE SOFTVÉRU PRI SPRACOVANÍ KMITANIA NÁPRAVY LKT 81T SOFTWARE APPLICATION FOR VIBRATION DATA PROCESSING OF LKT 81T FRONT AXLE Marián Minárik	51
VPLYV TVARU DRÁŽOK TELA NA KRITICKÉ OTÁČKY PÍLOVÝCH KOTUČOV THE EFFECT OF THE SHAPE OF SLOTS OF THE BODY ON CRITICAL SPEED OF A CIRCULAR SAW BLADES Ján Svoreň, Lukáš Murín	59
SIMULÁCIA MODELOV NA ROZPOZNÁVANIE OBJEKTOV V ŠPECIÁLNYCH OBRAZOCH MODELS SIMULATION FOR OBJECT RECOGNITION IN SPECIAL IMAGES Mária Hrčková, Jozef Šuriansky	67
KOMUNIKAČNÝ ŠTANDARD ZIGBEE A JEHO SIMULÁCIA COMMUNICATION STANDART ZIGBEE AND ITS SIMULATION Jozef Šuriansky, Mária Hrčková, Marcel Bariak	77
VYUŽITIE PRINCÍPU MINIMAXU PRI MINIMALIZÁCII ŤAŽBOVO-DOPRAVNEJ ERÓZIE LESNÉHO KOLESOVÉHO ŤAHAČA THE MINIMAX PRINCIPLE UTILIZATION TO MINIMIZE THE TIMBER LOGGING AND TRANSPORTATION EROSION USING FOREST SKIDDERS Adolf Janeček, Ján Marko	87

K MOŽNOSTI TECHNICKÉHO VYUŽITIA SILOVÝCH ÚČINKOV ELEKTROSTATICKÉHO POĽA V TECHNOLOGII VÝROBY MODIFIKOVANÝCH DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV	
ABOUT USING THE ELECTROSTATIC FIELD POWER EFFECTS IN TECHNOLOGY FOR MODIFICATED WOOD-CEMENT COMPOSITES MANUFACTURING	
Ivan Makovíny	97
MODEL TEPELNEJ SÚSTAVY S VYUŽITÍM PELTIEROVHO ČLÁNKU RIADENÝ PROCESOROM ARM	
THERMAL SYSTEM MODEL WITH PELTIER MODULE CONTROLLED BY ARM PROCESSOR	
Vladimír Kocúr, Jozef Šuriansky.....	109
ŠTÚDIUM GEOMETRIE NOŽOV ODVETVOVACEJ HLAVICE	
STUDY OF GEOMETRY KNIVES OF DELIMBING HEAD	
Milan Mikleš.....	121
MODEL TRANSFORMACE ENERGIE VE ŠTĚPKOVAČI BIOMASY	
MODEL OF ENERGY TRANSFORMATION IN CHIPPING MACHINE	
Adolf Janeček	131
HARVESTERY A MOŽNOSTI SIMULÁCIE PÁSOVÉHO PODVOZKA HARVESTERA V PROSTREDÍMSC. ADAMS	
HARVESTER AND POSSIBILITIES OF HARVESTER BELT MECHANISM SIMULATIONS IN MSC. ADAMS	
Ján Kováč, Jaroslav Matej	137
ZAVÁDZANIE TOTÁLNEJ PRODUKTÍVNEJ ÚDRŽBYV ŽOS ZVOLEN, A. S.	
APPLICATION OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE IN ŽOS ZVOLEN, A. S.	
Anna Šatanová, Lucia Krajčírová	145
TEÓRIA BEZTRIESKOVÉHO REZANIA DREVA PRE ODVETVOVANIE A LESNÚ ŤAŽBU	
THEORY OF CHIPLESS CUTTING OF WOOD FOR DELIMBING AND LOGGING	
Juraj Mikleš, Milan Mikleš.....	155

VEDECKÉ ČLÁNKY

NÁVRH METÓDY VERIFIKÁCIE ODTLAČKOV PRSTOV

DESIGN OF FINGERPRINTS VERIFICATION METHOD

Elena PIVARČIOVÁ – Tibor CSONGRÁDY

ABSTRACT: The paper is intent on verification – problem of two fingerprints recognition, 1:1, which is used mainly in access systems. In the designed method there were registered (aligned) fingerprints from grey-scaled image using Fourier-Mellin transformation and then compared by means of phase correlation.

Key words: fingerprint, Fourier-Mellin transformation, registration image

ABSTRAKT: Príspevok je zameraný na verifikáciu – problematiku rozpoznávania dvoch odtlačkov prstov, 1:1, ktorá sa používa hlavne v prístupových systémoch. V navrhutej metóde boli najskôr zregistrované (zarovnané) odtlačky prstov z neupraveného šedotónového obrazu použitím Fourier-Mellinovej transformácie a následne porovnané pomocou fázovej korelácie.

Kľúčové slová: odtlačky prstov, Fourier-Mellinova transformácia, registrácia obrazov

1 DEFINÍCIA PROBLÉMU

Porovnávanie obrazov odtlačkov prstov je zložitý problém, hlavne kvôli veľkej premenlivosti odtlačkov toho istého prsta. Obraz odtlačku prsta môže byť voči vzoru natočený, posunutý a mať zmenenú mierku (deformácie spôsobené silou tlaku a elasticitou kože spôsobujú rôzne natiahnutia obrazu v rôznych častiach obrazu). Prejavujú sa tiež vplyvy nečistôt, poškodenia prsta, atď. (Dobeš, 2001).

Cieľom bolo overiť možnosť použitia Fourier-Mellinovej transformácie ako nástroja pre registráciu obrazov, navrhnúť metódu verifikácie odtlačkov prstov, ktorá nevyžaduje predspracovanie a extrakciu významných bodov (markantov, minúcií) a oblastí, čiastočne kompenzuje deformácie v odtlačku prsta (zmena mierky, elasticita kože), umožňuje automatické spracovanie bez zásahu operátora.

Vyriešenie problému spočíva v transformovaní polohy testovaného odtlačku (registrácia obrazov), ktorej úlohou je odstrániť vzájomné posunutie, otočenie a zmenu mierky odtlačkov a pripraviť ich tak pre následné porovnanie.

Pre registráciu (vzájomné presné geometrické zlícovanie) obrazov nemohli byť použité metódy založené na hľadaní vzájomne si zodpovedajúcich bodov v obrazoch. Svojim charakterom (veľmi jemná čiarová kresba) sú odtlačky prstov odlišné od iných

obrazov (napr. tvár), v ktorých sa vyskytuje niekoľko väčších objektov, ktoré je možné separovať a využiť tak aspoň čiastočné zosúhlasenie obrazov (Dobeš, 2001). Preto bola použitá metóda založená na fázovej korelácii. Táto metóda využíva skutočnosť, že integrálne transformácie majú v prípade posunu, otočenia a zmeny mierky svoje transformanty vo frekvenčnej oblasti. Teda na základe výpočtu transformácie obrazu je možné efektívne určiť optimálnu registráciu.

2 REGISTRÁCIA OBRAZOV POMOCOU FOURIER-MELLINOVEJ TRANSFORMÁCIE

Registrácia obrazov pomocou Fourier-Mellinovej transformácie umožňuje zlíčovanie obrazov, ktoré sú posunuté, pootočené a so zmenenou mierkou.

Fourier-Mellinov deskriptor podľa (Chen, 1993)

Daný je referenčný obraz $a(x, y)$ a vstupný obraz $b(x, y)$, ktorý je kópiou obrazu $a(x, y)$ a je otočený, posunutý a má zmenenú mierku.

$$b(x, y) = a \left[\delta (x \cos \alpha + y \sin \alpha) - x_0, \delta (-x \sin \alpha + y \cos \alpha) - y_0 \right], \quad (1)$$

$$-\infty < x, y < \infty$$

kde α je uhol rotácie, δ je faktor mierky a x_0, y_0 je posun.

Nech $A(u, v) = \mathcal{F} \{a(x, y)\}$ je Fourierova transformácia obrazu $a(x, y)$. Potom pre Fourierovu transformáciu obrazu $b(x, y)$ platí:

$$B(u, v) = e^{-j\phi_b(u, v)} \delta^{-2} \left| A \left[\delta^{-1} (u \cos \alpha + v \sin \alpha), \delta^{-1} (-u \sin \alpha + v \cos \alpha) \right] \right|, \quad (2)$$

$$-\infty < u, v < \infty$$

kde $\phi_b(u, v)$ je fáza obrazu $b(x, y)$. Táto fáza závisí od posunu, mierky a rotácie, ale amplitúda je odolná voči posunutiu:

$$|B(u, v)| = \delta^{-2} \left| A \left[\delta^{-1} (u \cos \alpha + v \sin \alpha), \delta^{-1} (-u \sin \alpha + v \cos \alpha) \right] \right|, \quad (3)$$

$$-\infty < u, v < \infty$$

Rovnica (3) ukazuje, že rotácia obrazu $a(x, y)$ otáča amplitúdu podľa toho istého uhla a že zmena mierky podľa faktora δ mení mierku amplitúdy podľa δ^{-1} . Avšak stred spektra $u = v = 0$, je odolný voči posunu, rotácii a mierke obrazu. Rotácia a mierka tak môžu byť sústredené okolo tohto spektrálneho stredu podľa definície amplitúdy z a b v polárnych súradniciach (θ, r) .

$$a_p(\theta, r) = |A(r \cos \theta, r \sin \theta)|; \quad 0 \leq \theta < 2\pi, \quad 0 \leq r < \infty \quad (4)$$

$$b_p(\theta, r) = |B(r \cos \theta, r \sin \theta)|; \quad 0 \leq \theta < 2\pi, \quad 0 \leq r < \infty \quad (5)$$

Keďže amplitúda je periodická funkcia polárneho uhla

$$a_p(\theta \pm n\pi, r) = a_p(\theta, r); \quad \text{pre } n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

polovica amplitúdového poľa stačí na odhad funkcie:

$$\begin{cases} \delta^{-1}(u \cos \alpha + v \sin \alpha) = \frac{r}{\delta} \cos(\theta - \alpha) \\ \delta^{-1}(-u \sin \alpha + v \cos \alpha) = \frac{r}{\delta} \sin(\theta - \alpha) \end{cases}; \quad 0 \leq \theta < \pi \quad (7)$$

$$b_p(\theta, r) = \delta^2 a_p(\theta - \alpha, r / \delta). \quad (8)$$

Rotácia obrazu sa prejaví ako fázový posun θ . Zmena mierky je redukovaná na mierku radiálnej súradnice a zvyšuje sa úmerne s hodnotou δ^2 . Táto mierka môže byť redukovaná na lineárny posun použitím logaritmickej mierky pre radiálnu súradnicu. Definujme:

$$a_{lp}(\theta, \lambda) = a_p(\theta, r); \quad -\infty < \lambda < \infty \quad (9)$$

$$b_{lp}(\theta, \lambda) = b_p(\theta, r) = \delta^2 a_{lp}(\theta - \alpha, \lambda - \rho); \quad -\infty < \lambda < \infty, \quad (10)$$

kde $\lambda = \log(r)$ a $\rho = \log(\delta)$. V tejto logaritmicke-polárnej reprezentácii, čo symbolizuje dolný index lp , sú rotácia aj mierka redukované na posun pozdĺž osí.

Fourierovou transformáciou pre logaritmicke-polárne reprezentácie z (9) a (10) získame:

$$A_{lp}(\nu, \varpi) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a_{lp}(\theta, \lambda) e^{-2\pi j(\theta\nu + \lambda\varpi)} d\lambda d\theta; \quad -\infty < \nu, \varpi < \infty \quad (11)$$

$$B_{lp}(\nu, \varpi) = \delta^2 e^{-2\pi j(\nu\alpha + \varpi\rho)} A_{lp}(\nu, \varpi); \quad -\infty < \nu, \varpi < \infty, \quad (12)$$

kde sa rotácia a zmena mierky prejaví fázovým posunom.

Táto technika ruší otáčanie obrazu, zmenu mierky a posun, preto umožňuje porovnávanie obrazov.

Spracovanie logaritmicke-polárnych súradníc z amplitúdy zodpovedá Fourier-Mellinovej transformácii a funkcia sa nazýva Fourier-Mellinový odolný deskriptor (FMI, *Fourier-Mellin Invariant*) obrazu $a(x, y)$.

FMI deskriptor obrazu $a(x, y)$ sa môže získať prevzorkovaním spektrálnej amplitúdy tohoto obrazu z karteziánskych súradníc na pravouhlé polárne súradnice a potom prevzorkované na radiálne súradnice logaritmickeou funkciou, alebo prevzorkovaním spektrálnej amplitúdy v jednom kroku na pravouhlé logaritmicke-polárne súradnice.

Symetrický fázový filter

Daný je referenčný obraz $a(x, y)$ a vstupný obraz $b(x, y)$, FMI symetrický fázový porovnávací filter (FMI-SPOMF, *phase-only matched filtering*) je definovaný (Chen, 1993):

$$Q_0(\nu, \varpi) = \frac{A_{ip}^*(\nu, \varpi) \cdot B_{ip}(\nu, \varpi)}{|A_{ip}(\nu, \varpi)| \cdot |B_{ip}(\nu, \varpi)|}, \quad (13)$$

kde * označuje komplexnú združenú funkciu.

Pre vyhodnotenie sa použije:

$$q_0(\theta, \lambda) = \mathcal{F}^{-1} \{Q_0(\nu, \varpi)\}, \quad (14)$$

kde \mathcal{F}^{-1} je inverzná Fourierova transformácia.

Ak sú porovnávané dva identické obrazy, výsledkom tejto metódy je korelačná matica s výrazným maximom. Poloha FMI-SPOMF vrchola určí rotáciu a mierku obrazov. Posun vstupného obrazu sa určí z polohy maxima korelačného vrchola z porovnania referenčného obrazu s upraveným vstupným obrazom podľa zistenej rotácie a mierky.

Odhad transformačných parametrov

1. Zistenie maxima $q_{0\max}(\theta, \lambda) = q_0(\theta_M, \lambda_M)$, z čoho rotačný uhol $\alpha = \theta_M$ a faktor mierky $\delta = e^{\lambda_M}$.
2. Pretože na odvodenie FMI deskriptorov z reálneho obrazu bola použitá len polovica spektra (pozri rovnice (6) a (7)), odhadovaný rotačný uhol α je z intervalu $[0, \pi]$, ale korekcia rotácie môže byť α alebo $\alpha + \pi$: úprava mierky obrazu $b(x, y)$ a vytvorenie dvoch kópií obrazu otočených o uhol α a $\alpha + \pi$.
3. Výpočet fázovej korelácie medzi $a(x, y)$ a dvomi otočenými obrazmi s upravenou mierkou.
4. Nájdenie maxima z oboch výstupov fázového porovnania.
5. Určenie korektného uhla rotácie podľa vyššej hodnoty fázovej korelácie.
6. Výpočet posunu (x_o, y_o) ako odchýlky maxima (bod 4) od stredu korelačnej matice.
7. Výstup parametrov obrazových transformácií $(x_o, y_o, \alpha, \delta)$.

3 POROVNANIE OBRAZOV

V ďalšej fáze je potrebné porovnať dva zregistrované obrazy odtlačkov (spätne otočené, posunuté a s upravenou mierkou) a zistiť, či pochádzajú z toho istého prsta alebo nie.

V praxi je obvykle vstupný obraz oproti referenčnému obrazu porušený, napríklad zašumený. Preto nie je možné hľadať absolútnu zhodu s referenčným obrazom, ale len čiastočnú – maximum vhodného kritéria – mieru súhlasu. Používajú sa rôzne kritéria zhody – funkcie, ktoré vracajú hodnotu z určitého intervalu.

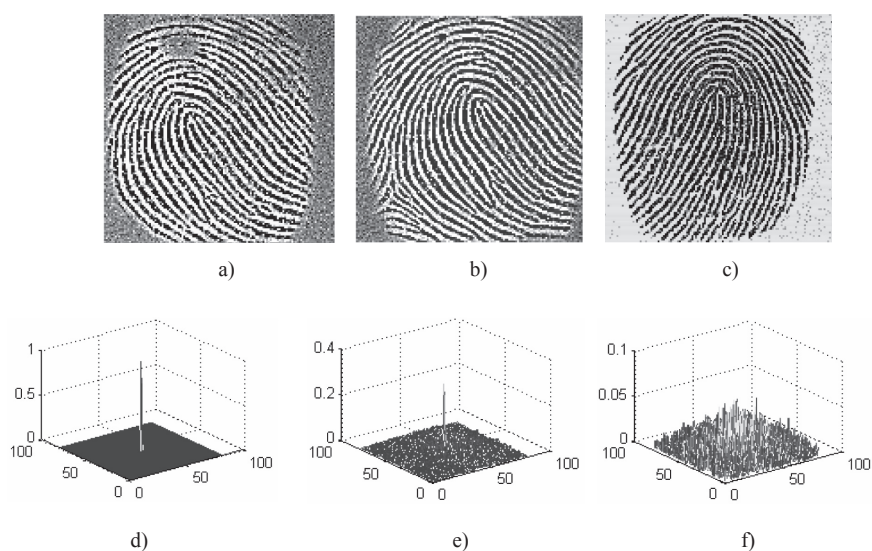
Pre porovnávanie obrazov bola z každého obrazu vyrezaná efektívna oblasť zo stredu zarovnaných odtlačkov. Tento proces môže zlepšiť presnosť porovnávaní odtlačkov

prstov, pretože neprekrývajúce sa plochy dvoch obrazov zvyknú obsahovať šumové komponenty. Na vybranú oblasť bola aplikovaná window funkcia Hammingovho okna. Je to váhová funkcia, ktorá obraz postupne k okraju stmaví.

Porovnávacie skóre, ktoré kvantifikuje podobnosť medzi vstupným a referenčným obrazom bolo vypočítané ako:

- maximum fázovej korelácie (maxx)

Obr. 1 ukazuje príklad porovnania dvoch obrazov použitím fázovej korelácie. Keď sú dva obrazy podobné, ich fázová korelácia dáva zreteľné maximum. Keď dva obrazy nie sú podobné, vznikne viac nevýznamných maxím. Veľkosť maxima je použitá ako miera podobnosti dvoch obrazov.



Obr. 1 Použitie fázovej korelácie

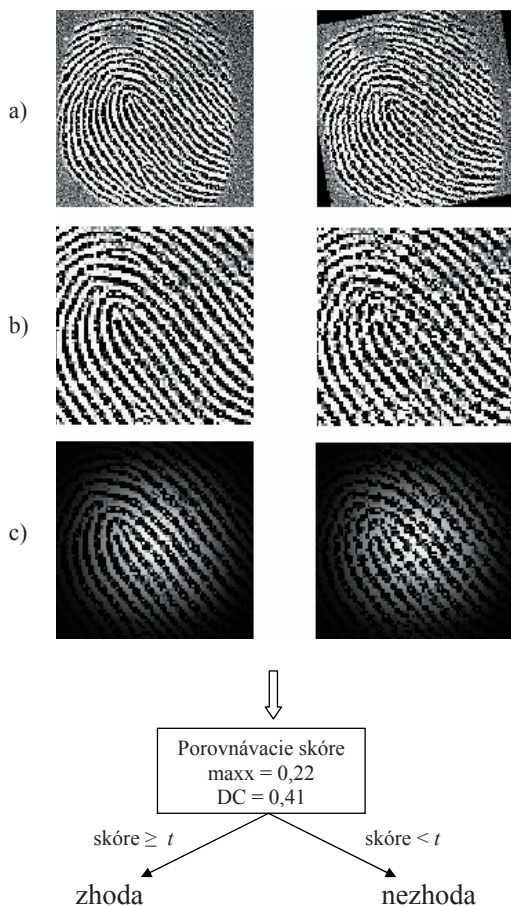
- a) referenčný obraz
- b–c) vstupné obrazy
- d) fázová korelácia medzi dvomi identickými obrazmi (a–a)
- e) fázová korelácia medzi dvomi podobnými obrazmi (a–b)
- f) fázová korelácia medzi dvomi rôznymi obrazmi (a–c)

- Rozdielová korelácia (DC, *Differential Correlation*), ktorá sa vypočíta ako rozdiel maximálnej a minimálnej hodnoty korelácie.

Na základe vykonaných testov boli stanovené prahové hodnoty t , podľa ktorých je regulované systémové rozhodnutie:

- páry odtlačkov prstov generujúce výsledok vyšší alebo rovný t sú vyhodnotené ako zhodné (patriace tomu istému prstu),
- páry odtlačkov prstov generujúce výsledky nižšie než t sú vyhodnotené ako nezhodné (patriace odlišným prstom).

Počet správne odmietnutých a správne prijatých odtlačkov závisí od nastavenej prahovej hodnoty. Hodnota je nastaviteľná, aby biometrický systém mohol byť viac či menej presný v závislosti od požiadaviek.



Obr. 2 Príklad registrácie a porovnania odtlačkov prstov

- referenčný a vstupný odtlačok prsta
- vybraná efektívna oblasť registrovaných odtlačkov prstov
- Hammingove okno pre vyrezané obrázky

4 VÝHODY NAVRHNUTEJ METÓDY

- Schopnosť rozpoznávať odtlačky prstov z **neupraveného šedotónového obrazu**, bez nutnosti predspracovania obrazu (bez filtrácie, segmentácie, stenčenia). Tým nevznikajú chyby spôsobené metódami predspracovania ako to je pri metódach založených

na významných bodoch, kedy je nutné kompenzovať odchýlenie polohy markantu (Dobeš, 2001).

- Navrhnutý postup je vhodný aj pre odtlačky prstov **horšej kvality**, pretože porovnanie založené na fázovej korelácii používa globálne informácie o textúrach namiesto vlastností bodov. Nekvalitné odtlačky prstov zvyknú obsahovať komponenty náhodného šumu vo vysokých aj nízkych frekvenčných oblastiach. Keďže energia signálu je nižšia v doméne s vysokou frekvenciou, fázové komponenty nie sú v doméne s vysokou frekvenciou spoľahlivé. Účinok nespoľahlivých fázových komponentov vo vysokých frekvenciách môžeme obmedziť použitím filtrov alebo modifikovanej fázovej funkcie použitím spektrálnej váhovej funkcie pásmového typu (Gueham et al, 2007).
- Možnosť uložiť upravený **zregistrovaný obraz**, ktorý môže byť použitý na ďalšiu analýzu.
- Čiastočná **kompenzácia deformácií** spôsobených elasticitou kože.
- **Aplikovateľnosť** na iné biometrické obrazy.

5 NEVÝHODY NAVRHNUTEJ METÓDY

- **Časová výpočtová zložitosť**: Pri registrácii obrazov s posunom, zmenou mierky a otočením rastie priestor parametrov transformácií. Navrhnutá metóda je náročná z hľadiska výpočtového času, lebo vo všeobecnom prípade, kedy sú obrazy otočené, posunuté a majú rôzne mierky, je nutné pre registráciu obrazu vypočítať (Laundon, 2008): $6 \times$ rýchlu Fourierovu transformáciu (FFT), $3 \times$ inverznú FFT, $2 \times$ logaritmicko-polárne prevzorkovanie, $3 \times$ fázovú koreláciu, $2 \times$ filter, $2 \times$ otočenie obrazu.
- **Obmedzená mierka**: Nakoľko veľké koeficienty mierky môžu výrazne zmeniť frekvencie, môžu byť stanovené obmedzené koeficienty mierky (Wolberg, Zokai, 2000). Túto nevýhodu je možné považovať za nepodstatnú, ak pripustíme, že polohu prsta v snímači je možné do istej miery fixovať. Je možné predpokladať že odtlačky sú len mierne deformované a mierne natočené (Dobeš, 2001).
- **Praktické hľadiská**: Pri zvažovaní praktických hľadísk pre analýzu obrazov ostáva veľa úloh, napr. aproximácia, rýchle algoritmy. Tieto úvahy ostávajú v prípade Fourier-Mellinovej transformácie kľúčové (Derrode, Ghorbel, 2001).

6 ZÁVER

Príspevok popisuje návrh verifikačnej metódy na rozpoznávanie odtlačkov prstov použitím metódy registrácie (zosúhlasenia) obrazov aplikáciou Fourier-Mellinovej transformácie a následného porovnania obrazov využitím Fourierovej transformácie a fázovej korelácie. Registrácia spočíva v hľadaní vhodnej geometrickej transformácie medzi obrazmi. Samotná Fourierova transformácia sa posunom nemení a jej konverzia do logaritmicko-polárnych súradníc transformuje zmeny mierky a rotácie do merateľných vertikálnych a horizontálnych posunov. Fourier-Mellinova transformácia, ponúka transformáciu obrazu odolnú voči posunu, rotácii a mierke.

Navrhnutá technika je účinná pri verifikácii obrazov odtlačkov prstov s nízkou kvalitou, ktoré nemôžu byť správne identifikované konvenčnými technikami. Po menších úpravách sa môže aplikovať aj na ďalšie biometrické obrazy, ako sú napr. obrazy dúhovky/sietnice, tváre, rúk, ...

LITERATÚRA

- DERRODE, S. – GHORBEL, F.: 2001. Robust and efficient Fourier-Mellin transform approximations for gray-level image reconstruction and complete invariant description. In: *Computer Vision and Image Understanding*, 2001, Vol. 83, No. 1, pp. 57–78.
Dostupné on-line: <http://www.fresnel.fr/perso/derrode/publi/Cvui01.pdf> [cit. okt. 2007].
- DOBEŠ, M.: 2001. *Rozpoznávání obrazu se zaměřením na identifikaci osob dle otisku prstu*. Disertační práce, VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Brno, 2001. ISBN 80-214-1820-6.
- GUEHAM, M. – BOURIDANE, A. – CROOKES, D.: 2007. Automatic recognition of partial shoeprints based on phase-only correlation. In: *IEEE, IV-441, ICIP 2007* [cit. dec. 2008]
Dostupné on-line: http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4380049
- CHEN, Q. S.: 1993. *Image Registration and its Applications in Medical Imaging*. Dissertation work, Vrije Universiteit Brussel, Deconinck 1993.
- LAUNDON, R.: 2008. *Fourier Mellin Image Registration*. Dostupné on-line: <http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/authors/30914> [cit. okt. 2008].
- WOLBERG, G. – ZOKAI, S.: 2000. Robust image registration using log-polar transform. In: *Proceedings of IEEE Conference on Image Processing*, 2000. Dostupné on-line: www-cs.ccnycunyu.edu/~wolberg/pub/icip00.pdf [cit. jan. 2007].

Kontaktná adresa:

Mgr. Elena Pivarčiová, PhD. – Ing. Tibor Csongrády, CSc.

epivarci@vsld.tuzvo.sk – cso@vsld.tuzvo.sk

Technická univerzita vo Zvolene

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Katedra informatiky a automatizačnej techniky

Masarykova 24

960 53 Zvolen

VPLYV ČASU PÔSOBENIA ČISTIACEJ KVAPALINY NA ÚČINNOSŤ ČISTENIA

INFLUENCE OF CLEANING LIQUID ATTACK TIME TO CLEANING EFFICIENCY

Ľubomír JAVOREK – Miroslav URBAN

ABSTRACT: Sawing of materials, as so as chip boards, midle density fieber boards with high glue content, or sawing of green wood with high content of resin, or using of saw discs with oversize axial deflection are contaminated. The overheating of saw disc body is the consequence of this fact and burning of the wood in cutting area. The results from experiment, where cleaning time was measured are presented in this article. The cleaning fluid named Tempest was used in this test.

Key words: saw blade, contamination, cleaning time

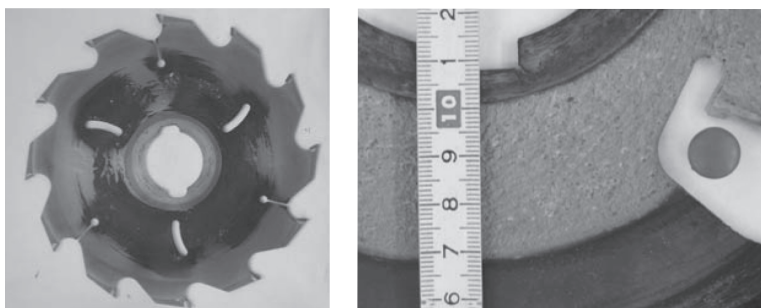
ABSTRAKT: Pílenie materiálov na báze dreva, takých ako napríklad drevotrieskové a drevovláknité dosky s vysokým obsahom lepidla, alebo pílenie naturálneho dreva s vysokým obsahom živice, prípadne používanie pílových kotúčov s nadmerným axiálnym priehybom spôsobuje zanášanie tela pílového kotúča a tým prehrievanie tela kotúč a súčasne opaľovanie materiálu v mieste rezania. V tomto príspevku sú uvedené výsledky zo sledovania času potrebného na odstránenie nečistôt tekutým čistiacim prípravkom s obchodným názvom Tempest.

Kľúčové slová: pílový kotúč, znečistenie, čas čistenia

1. ÚVOD

Pílové kotúče sú nástrojom, ktorý je najviac používaný pri prvotnom i druhotnom spracovaní dreva. Materiálom, ktorý pílové kotúče rozrezávajú, sú najrôznejšie dreviny, s väčším alebo menším obsahom živíc, rôznej vlhkosti, rôznej tvrdosti. Pílové kotúče majú rôznu tuhosť a tak viac alebo menej trú o povrch obrobku, čím prispievajú k zanášanju kotúča tak živicom ako aj spálenými pilinami.

Pred ostrením a ďalšou údržbou je potrebné kotúč zbaviť nánosov týchto nečistôt a to pokiaľ možno rýchlo a ekologicky vyhovujúco. Počas prevádzky sa kotúč znečisťuje najmä živicom, masťotami a iným materiálom na báze dreva, ktorý sa lepí na zuby a na iné oblasti tela nástroja (obr. 1).



Obrázok 1 a, b Spôsoby znečistenia pílových kotúčov

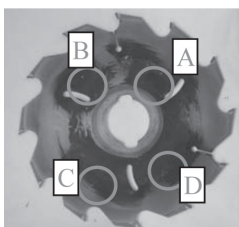
Pre čistenie sa použil čistiaci prípravok s obchodným názvom Tempest, vyrábaný spoločnosťou NCH Európe, Mohawk Laboratories, Ripley, Veľká Británia.

Prípravok je charakterizovaný ako silno zásadité odmasťovadlo (hodnota $\text{pH} = 12$) svetlohnedej farby a charakteristickou vôňou, s hustotou $(1,10-1,15) \text{ g. cm}^{-3}$. Prípravok je v skupenstve kvapalnom tvoriacom s vodou dobre zriediteľný roztok. Použitý môže byť vyliaty do kanalizácie v prípade, ak neobsahuje nebezpečný materiál a pH je neutrálne.

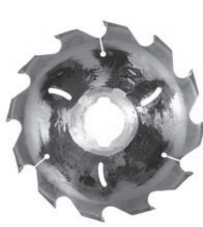
2. EXPERIMENT

Účinnosť čistiaceho prípravku sa overovala na pílovom kotúči s reznými platničkami zo spekaných karbidov znečistenom pripálenou živicom a pilinami. Kotúč s priemerom $D = 300 \text{ mm}$, bol uložený v ocelevej vani, v horizontálnej polohe, rozdelený na 4 ohraničené sektory. Sektory boli zvolené tak, aby stupeň ich znečistenia bol približne rovnaký. Do jednotlivých priestorov sa aplikoval roztok čistiaceho prípravku rôznej koncentrácie.

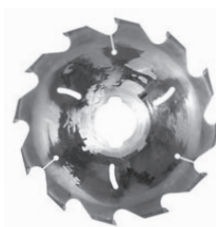
Roztok v sektore A mal koncentráciu 100%. V sektore B sa nachádzal roztok s koncentráciou 50% a v sektoroch C resp. D s koncentráciou 33% resp. 25%. Čas pôsobenia bol 15 minút; po jeho uplynutí nasledovalo opláchnutie prúdom vody bez mechanického čistenia škrabkou alebo kefou. Tento postup sa opakoval s intervalom 15 minút po dobu dvoch hodín, t.j. uskutočnilo sa osem prerušení na vyhodnocovanie.



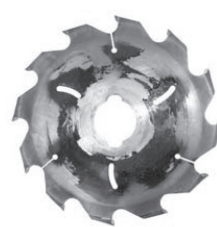
2a – 0 min.



2b – 15 min.



2c – 30 min.



2d – 45 min.

Obrázok 2 a, b, c, d Časový priebeh čistenia pílového kotúča

3. VYHODNOTENIE EXPERIMENTU

Po prvých 15 minútach bola viditeľná len malá časť odobratého znečistenia, (obr. 2b). Po 30 minútach sa objavili zreteľné zmeny a to na povrchu kotúča v sektore A, kde bol aplikovaný roztok so 100% koncentráciou. Po 45 minútach sa objavili čisté miesta s 50% koncentráciou a s 33% koncentráciou, ale miesto s 25% koncentráciou roztoku bolo zatiaľ bez zmeny (obr. 2d).

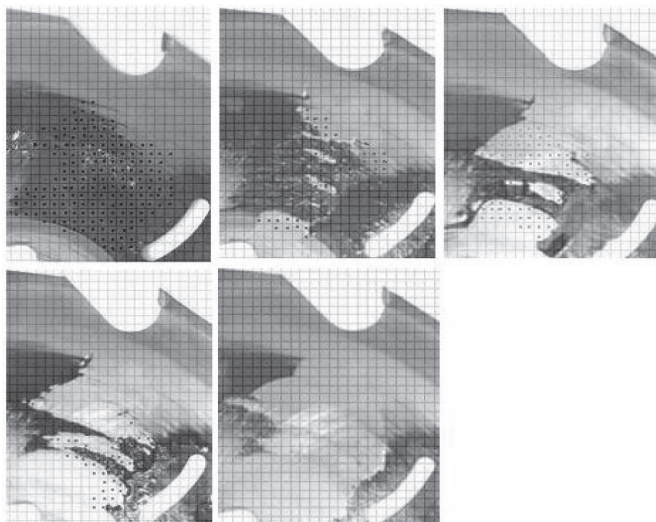
Pri vyhodnocovaní sa použila mriežka s plochou jedného štvorcika 16 mm², pomocou ktorej sa určovala veľkosť plochy s odstráneným znečistením.

Celková znečistená plocha sektoru A bola cca 2 672 mm².

Po prvých 15 min. čistenia sa odstránilo cca 496 mm² a t.j. cca 18,56 %. Po druhých 15 min. sa odstránilo ďalších 1 056 mm² t.j. cca 39,52%. Po tretích 15 min. sa odstránilo približne 528 mm², t.j. cca 19,76% a po štvrtých 15 min. čistenia cca 592 mm² t.j. cca 22,16% z celkového množstva znečistenia. Priebeh čistenia je uvedený v tab. 1.

Tabuľka 1. Priebeh čistenia. Sektor A – 100% koncentrácia

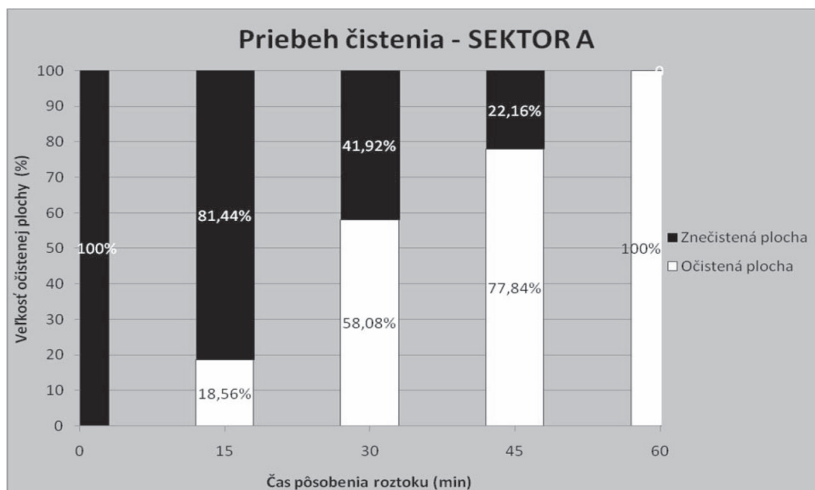
Očistená plocha (mm ²)	0	496	1552	2080	2672		
Neočistená plocha (mm ²)	2672	2176	1120	592	0		
Očistená plocha (%)	0	18,56	58,08	77,84	100		
Neočistená plocha (%)	100	81,44	41,92	22,16	0		
Čas pôsobenia roztoku (min.)	0	15	30	45	60		



Obrázok 3 Postupnosť odstraňovania znečistenia v sektore A

Z tabuľky je vidieť, že najväčší prírastok očistenej plochy bol po 30 minútach pôsobenia čistiaceho roztoku. Po 60 minútach sa zanedbateľne množstvo znečistenej plochy odstránilo mechanicky pomocou kefy.

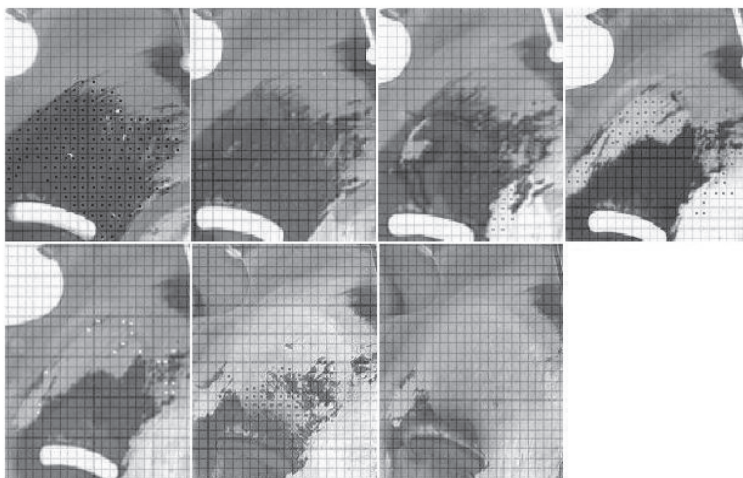
Grafické vyjadrenie je v nasledujúcom obrázku 4.



Obrázok 4 Závislosť veľkosti očistenej plochy od času pôsobenia roztoku

Vyhodnotenie priebehu čistenia v ostatných sektoroch sa uskutočnilo obdobným spôsobom.

V sektore B bolo celkové znečistenie pred čistením cca 2992 mm². Po prvých 15 minútach sa odstránilo len 32 mm², t.j. cca 1,07%. Po druhých 15 min. sa odstránilo ďalších 336 mm², t.j. cca 11,23%. Po tretích 15 min. sa odstránilo približne 994 mm², t.j. cca 31,55% z celkového znečistenia. Po štvrtých 15 min. sa odstránilo 304 mm² a 10,16% z celkového množstva znečistenia. Po piatich 15 min. sa odstránilo približne 464 mm², t.j. cca 15,51%.

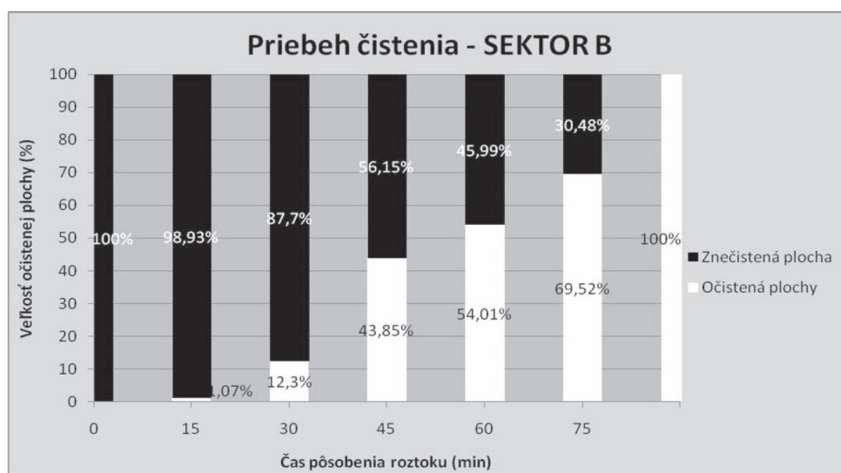


Obrázok 5 Postupnosť odstraňovania znečistenia v sektore A

Príčinou dlhšieho čistenia bola nižšia koncentrácia čistiaceho roztoku. Posledná časť na obrázku znázorňuje sektor B po mechanickom dočistení kotúča. Priebeh čistenia je uvedený v tab. 2.

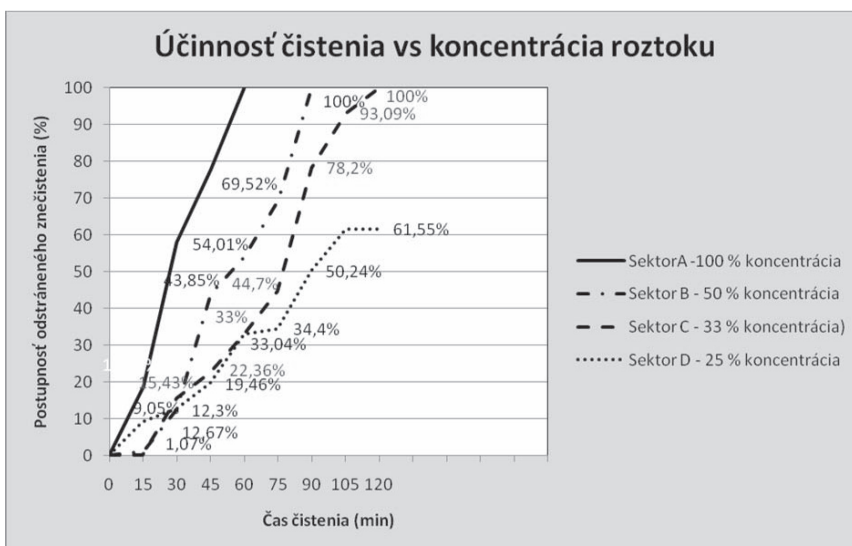
Tabuľka 2 Priebeh čistenia. Sektor B – 50% koncentrácia.

Očistená plocha (mm ²)	0	32	368	1312	1616	2080	2992
Neočistená plocha (mm ²)	2992	2960	2624	1680	1376	912	0
Očistená plocha (%)	0	1,07	12,3	43,85	54,01	69,52	100
Neočistená plocha (%)	100	98,93	87,7	56,15	45,99	30,48	0
Čas pôsobenia roztoku (min.)	0	15	30	45	60	75	90



Obrázok 6 Závislosť veľkosti očistenej plochy od času pôsobenia roztoku

Čas na očistenie plochy v sektorech C a D sa predlžoval, v závislosti od klesajúcej koncentrácie čistiaceho roztoku. Sektor C sa očistil za cca 120 min. a sektor D po tom istom čase vykazoval cca 39%-tné znečistenie. Ďalšie meranie sme zastavili ako neopodstatnené. Čas potrebný na odstránenie znečisťujúcich látok z pílového kotúča je možné znížiť napríklad vírením roztoku v nádobe s kotúčmi, alebo striekaním roztoku na kotúč a tým spojenie chemického pôsobenia s mechanickým pôsobením lúča kvapaliny. Najúčinnjším sa však javí vzájomné chemické pôsobenie roztoku a mechanické pôsobenie napr. čistiacich rotujúcich kief.



Obrázok 7 Účinnosť čistenia v závislosti od času

4. ZÁVER

Čistenie rezných nástrojov obrábajúcich drevo a materiálov na báze dreva, napr. drevoteskové dosky s vysokým obsahom lepidla, dreveniny s vysokým obsahom živice ako napríklad borovica, je náročné na čas a aj na účinnosť čistiaceho prostriedku. Príspevok prináša originálne výsledky z použitia čistiaceho prostriedku pri čistení pílových kotúčov.

LITERATÚRA

- How to Clean a Saw. http://www.vintagesaws.com/library/saw_clean/saw_clean.html.
 JAVOREK, L. (2006): Nástroje (1. časť). Vydateľstvo TU vo Zvolene. 171 s. ISBN 978 80-228 1714-1.
 LISIČAN, J. 1976: Teória a technika spracovania dreva. Mat-Centrum. 626 s. ISBN 80-967315-6-4.
 SHERLOCK, F. E. (1973): Machine Woodworking Technology. For Hand Woodworkers. London Newnes-Butterworths. ISBN 0-408-00111-9.

Tento príspevok vznikol počas riešenia vedeckého grantového projektu VEGA 1/0751/08 ako výsledok vedeckej aktivity autorov s výraznou finančnou podporou Vedeckej grantovej agentúry Slovenskej republiky.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ľubomír Javorek, CSc.
 Katedra drevárskych strojov a zariadení
 Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
 Technická univerzita vo Zvolene
 T. G. Masaryka 24, SK – 960 53 Zvolen
 e-mail: lubomir.javorek@vsld.tuzvo.sk

SIMULOVANÉ RIADENIE ŤAHOVEJ SILY NAVIJAKA PD REGULÁTOROM – PREDPÍSANÝM POHYBOM KMEŇA

A SKIDDING FORCE CONTROL SIMULATED OF THE HAULING ROPE BY MEANS OF A PD CONTROLLER FOR SPECIFIED MOTION

Branislav DANKO

ABSTRACT: The goal of the paper presents the MSS technology of virtual prototyping with computer support in the control area. With the view MSS technology was simulated force analysis of the hauling rope by means of the PD controller for specified motion. The tree trunk has been motion of the specified velocity in space by a technological operation – skidding of the wood mass, within the range from 0 to 1,43 m.s⁻¹. The paper includes the model of the tree trunk, the terrain, the function builder, physical properties, the control and test system in the computer environment MSC.ADAMS, e object, etc. The target this paper is analyse with the view a module A/View or A/Control on the skidding force control simulated of the rope by means of the PD controller for specified motion. The results of simulate force analyse are presented out in the transparent graphs with the module Post-Processor by software MSC.ADAMS.

Key words: a skidding force, the PD controller, the virtual simulation

ABSTRAKT: Príspevok prezentuje uplatnenie MSS technológie (anglicky: Multibody System Simulation) virtuálneho prototypu s počítačovou podporou simulácie v oblasti riadenia. Pomocou MSS technológie prostredia MSC.ADAMS bol analyzovaný priebeh simulovaného riadenia sily navijaka pre predpísaný pohyb PD regulátorom. Kmeň stromu sa pohyboval požadovanou rýchlosťou pri technologickej činnosti – približovania kmeňa, v rozsahu od 0 do 1,43 m.s⁻¹. Súčasťou príspevku je model kmeňa stromu, terénu, matematickej funkcie, fyzikálnych vlastností, riadiaca uzavretá slučka PD regulátora v prostredí MSC.ADAMS, atď. Cieľom práce sú riadené priebehy ťahových síl a analýzy na zmenu mechanických vlastností. Výsledky sú prezentované tabuľkovou formou a grafickými charakteristikami v module „PostProcessor“ softvéru MSC.ADAMS.

Kľúčové slová: ťahová sila, PD riadenie, virtuálna simulácia

1. ÚVOD

Morfológia Slovenska predurčuje v oblasti ťažby dreva využívanie lanovkových technológií. Moderná doba prináša moderné automatické systémy aj v lesníckej technike. Uplatnenie elektroniky a mechatronika v konštrukčných uzloch stroja prináša lepšiu

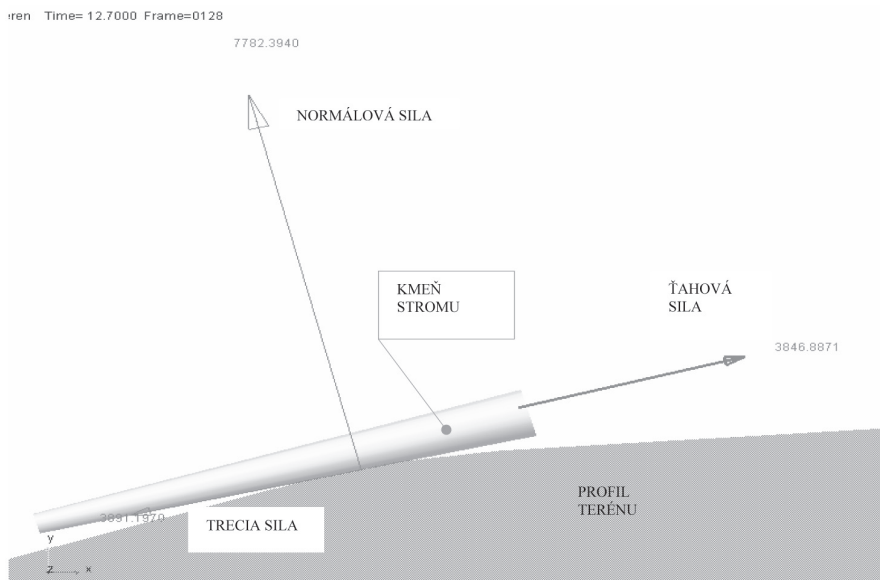
spoľahlivosť techniky, vyššiu výkonnosť a bezpečnosť práce v lese. Bežnými takými prvkami sú elektromagneticky ovládané konštrukčné uzly navijaka, mikroprocesorové riadenie pojazdu stroja, hydrauliky, diaľkové ovládanie a iné. Súčasné využitie počítačovej simulácie pri virtuálnom overovaní, optimalizovaní hľadaných technických parametrov a fyzikálnych veličín skúmaného objektu skôr ako bude fyzicky vytvorený, prispieva k finančnej úspore, reálne analyzuje nedostatky a prínosy navrhovaného riešenia.

Cieľom príspevku je simulovať riadenie ťahovej sily traktorového navijaka na zabezpečenie predpísaného pohybu kmeňa stromu často využívaným PD (PD – proporcionálne derivačným) regulátorom v uzatvorenej slučke riadenia, v programe MSC.ADAMS.

2. MATERIÁL A METODIKA

Objektom simulácie je 6 metrový výrez kmeňa stromu (pozri obrázok 1) s hmotnosťou 543,5 kg, ktorý má predpísaný pohyb (pozri obrázok 2) vzhľadom na približované miesto a terén. Výpis technických parametrov modelu kmeňa sú:

Object Name : .pohyb.PART
Material : .pohyb.wood
Material Density : 4.38E-007 (438.0(kg/meter**3)) kg/mm**3
Calculated Mass : 543.5269449976 kg
Calculated Volume : 1.2409290982E+009 mm**3
Mass Inertia Tensor :
IXX : 2.1367833031E+007 kg-mm**2
IYY : 1.393790602E+009 kg-mm**2
IZZ : 1.393790602E+009 kg-mm**2



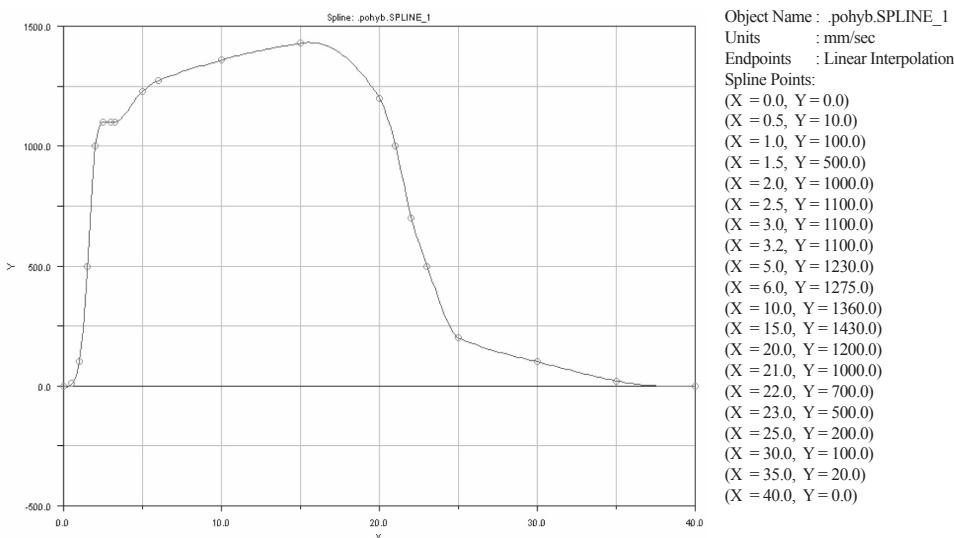
Obrázok 1

2.1 Formulácia úlohy

Úlohou je simulovať riadenie a analyzovať ťahovú silu traktorového navijaka pre zabezpečenie predpísaného pohybu kmeňa. Simulovaná regulácia ťahovej sily je vykonaná pre porovnanie v troch simulačných režimoch. Prvá simulácia je pohyb kmeňa po rovine bez trenia, druhá s trením a tretia je simulácia predpísaného pohybu v teréne s reálnymi fyzikálnymi podmienkami.

2.2 Predpísaný priebeh pohybu kmeňa

Priebeh pohybu je zvolený vzhľadom na praktické skúsenosti, technológiu ťažby a členitosť terénu vo forme tabuľky diskretných bodov. Odpovedajúci priebeh rýchlosti je na obrázku 2, ako spojitá funkcia získaná pomocou Akimovej metódy lokálneho kubického splajnu, preložená cez diskretné body tabuľky.



Obrázok 2

2.3 Teoretické východiská

Priebeh potrebnej sily pre predpísaný pohyb generuje PD regulátor v prostredí MSC. ADAMS, podľa funkcie:

$$\Phi = KP \cdot r(t) + KD \cdot \frac{dr(t)}{dt}, \quad (1)$$

kde: KP , resp. KD sú proporcionálne, resp. derivačné súčinitele zosilnenia signálov, $r(t)$ je rozdiel hodnôt požadovanej rýchlosti v_d a okamžitej rýchlosti v_i kmeňa:

$$r(t) = v_d - v_i, \quad (2)$$

a $\frac{dr(t)}{dt}$ je derivácia podľa času.

Vytvorené sú stavové premenné pre výpočet hodnôt $r(t)$ pre $\frac{dr(t)}{dt}$, čo je prvá derivácia $r(t)$ podľa času. Na zostavenie rovnice funkcie pre PD regulátor sú použité z modelára funkcií prostredia MSC.ADAMS modelovacie príkazy *DIFF*, ktorými definujeme stavovú premennú *DIF*, jej prvej derivácie *DIF1* podľa času a implicitnú diferenciálnu alebo algebrickú funkciu *DIFF*, ktorá stavovú premennú *DIF* opisuje. Časovo závislá funkcia *DIF* vypočíta hodnotu integrálu premennej *DIF1* definovanej diferenciálnou alebo algebrickou funkciou *DIFF*.

Diferenciálna rovnica má vo všeobecnosti implicitnú formu v tvare:

$$0 = \Phi(DIF, DIF1, \vec{Q}, d\vec{Q}, t), \quad (3)$$

kde: \vec{Q} je aritmetický vektor stavových premenných vygenerovaných riešičom,
 $d\vec{Q}$ je prvá derivácia podľa času.

V našom prípade to je implicitná algebrická rovnica *DIFF* v tvare:

$$0 = DIF - (v_d - v_i), \quad (4)$$

pretože v rovnici nevystupuje prvá derivácia *DIF1* stavovej premennej $DIF = r(t)$ podľa času. Výpis požadovaného priebehu rýchlosti kmeňa v_d v prostredí MSC.ADAMS reprezentuje funkcia v tvare: `akispl(time, 0, spline_1,0)`, a okamžitú rýchlosť kmeňa v_i monitoruje funkcia: `vx(MAR(1), ground.MAR(J))`.

2.4 Realizácia modelu PD riadenia

Výpis utvorenej implicitnej algebrickej rovnice *DIFF* podľa vzťahu (4) v prostredí MSC.ADAMS je nasledovný:

```
Object Name: .pohyb.DIFF_1
Object Type: Differential_Equation
Implicit: TRUE
Function: DIF(.pohyb.DIFF_1)-(akispl(time,0,SPLINE_1,0)- vx(MARKER_7,MARKER_3))
```

Prvá stavová premenná je *DIF*, druhá stavová premenná je *DIF1*. Pre riadiacu funkciu ťahovej sily rovnice (1) sú zvolené hodnoty súčiniteľov $KP = 1\,000$, $KD = 10$.

Výpis celého tvaru funkcie rovnice (1) pre ťahovú silu navijaka v prostredí MSC.ADAMS je nasledovný:

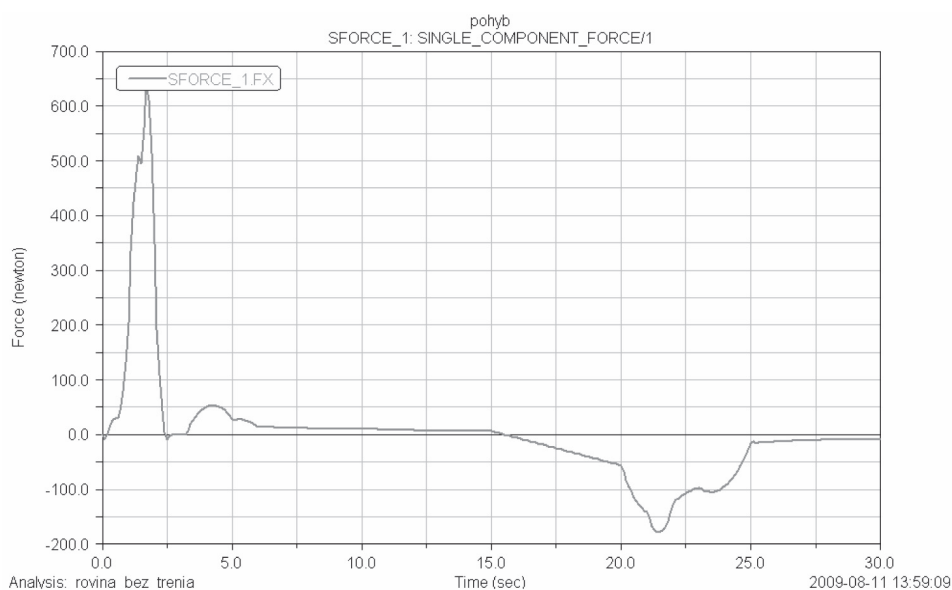
Object Name: .pohyb.SFORCE_1
Object Type: Single_Component_Force
I Marker: .pohyb.PART_3.MARKER_4
J Marker: .pohyb.PART_3.MARKER_5
Function: $1000 * \text{VARVAL}(\text{.pohyb.VARIABLE_1}) + 10 * \text{VARVAL}(\text{.pohyb.VARIABLE_2})$

Grafické priebehy riadenia ťahovej sily pre predpísanú rýchlosť pohybu kmeňa sú v časti VÝSLEDKY tohto príspevku.

3. VÝSLEDKY

3.1 Priebeh riadenia ťahovej sily na rovine bez trenia

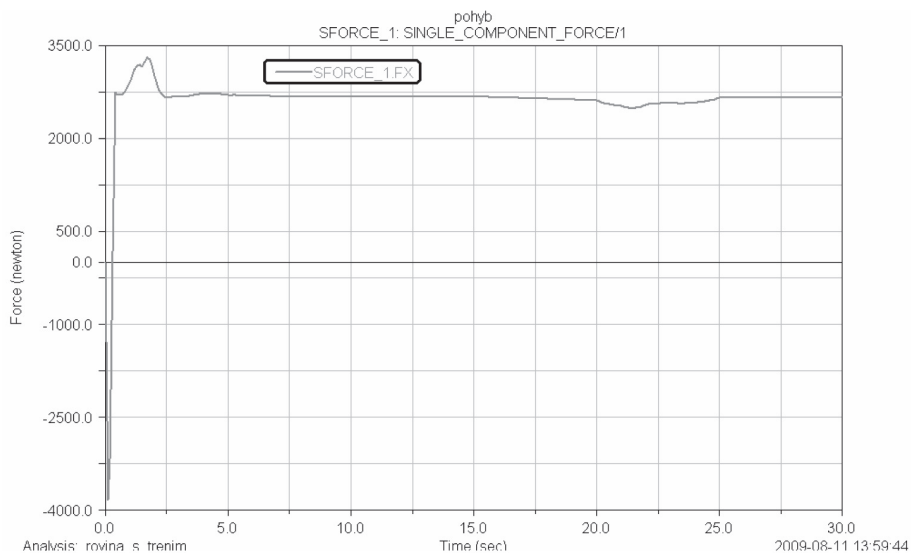
Grafický priebeh simulovaného riadenia ťahovej sily bez trenia je na obrázku 3.



Obrázok 3

3.2 Priebeh riadenia ťahovej sily na rovine s trením

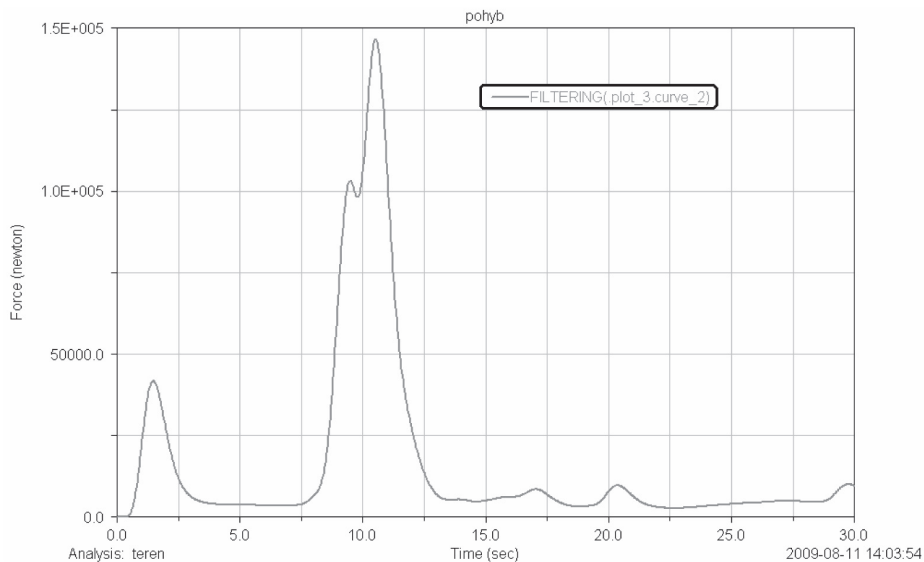
Grafický priebeh simulovaného riadenia ťahovej sily s trením je na obrázku 4.



Obrázok 4

3.3 Priebek riadenia ťahovej sily na svahu v teréne

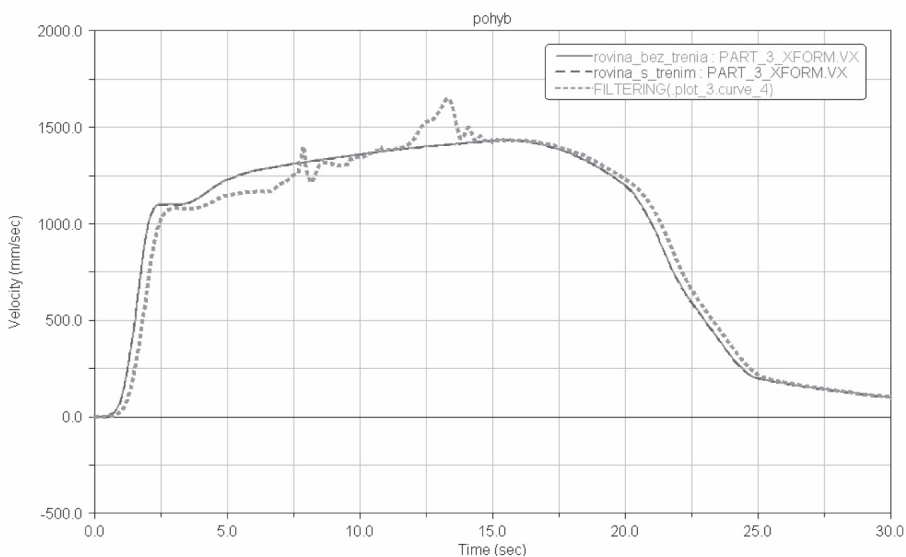
Odfiltrovaný grafický priebek simulovaného riadenia ťahovej sily na svahu je na obrázku 5.



Obrázok 5

3.4 Priebek predpísaného pohybu kmeňa

Grafické priebehy predpísaného pohybu kmeňa na rovine a odfiltrovaný priebek rýchlosti na svahu vidíme na obrázku 6.



Obrázok 6

4. DISKUSIA A ZÁVER

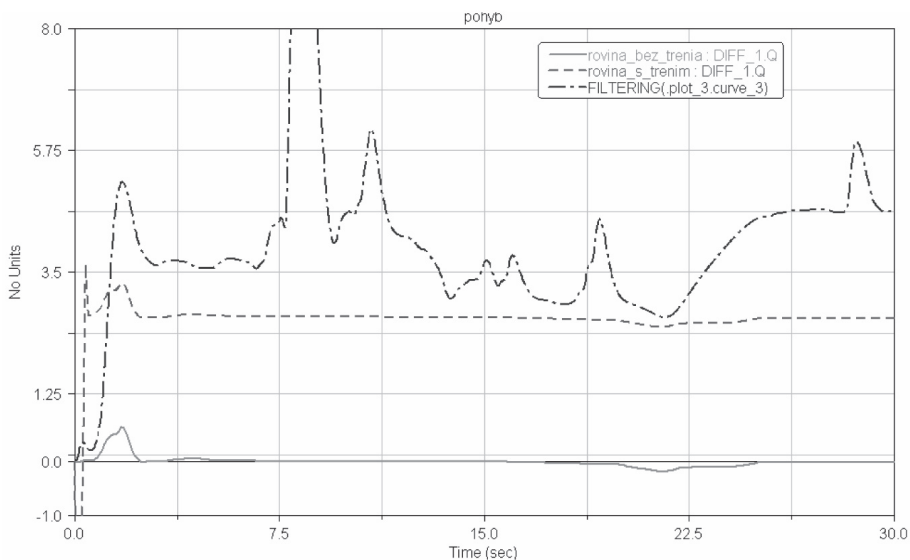
Simulovanou analýzou riadenia sily môžeme predikovať skutočný priebek ťahovej sily navijaka počas technologického režimu približovania pre predpísaný priebek rýchlosti kmeňa.

Pri pohybe kmeňa na rovine bez trenia vidíme priebek riadenia akčnej sily (pozri obrázok 3) potrebnej na uskutočnenie predpísaného pohybu. Hovoríme o akčnej sile, pretože hodnota sa pohybuje v rozmedzí +600 až -180 N, nezohľadňuje pasívne odpory a priebek riadenej sily zabezpečuje len predpísaný pohyb, resp. rýchlosť kmeňa.

Pri pohybe kmeňa na rovine s trením vidíme reálny priebek sily pre zabezpečenie predpísaného pohybu kmeňa s prekonaním pasívneho odporu trenia. Pri konštantnom pasívnom odpore je aj priebek riadenia sily konštantný s počiatočným prekonaním statického súčiniteľa trenia. Priemerná hodnota riadenej sily predpísaného pohybu je 2 800 N. táto hodnota sily však závisí od hmotnosti kmeňa a podmienok pasívneho odporu.

Pri pohybe kmeňa po teréne je simulované trenie s reálnym kontaktom s podložkou formou koeficientu reštitúcie. Priebek riadenej sily ekvivalentne odpovedá reálnemu priebehu sily, ktorá dosahuje v špičkách veľkých hodnôt. Preto je na obrázku 5 zobrazený odfiltrovaný priebek ťahovej sily Butterworthovým nízkofrekvenčným filtrom. Veľké

hodnoty v špičkách môže spôsobovať nastavenie riešiča A/Solver, simulačný krok a samotná konvergencia. Môžeme však predpokladať rozsah riadenej sily predpísaného pohybu kmeňa v rozmedzí 50 kN až 2,7 kN s priemernou hodnotou 18,2 kN.



Obrázok 7

Priebehy funkcie PD riadenia sily predpísaného pohybu kmeňa pre tri simulované stavy vidíme na obrázku 7. Tieto môžu byť využité napríklad pre nastavenie ovládacích prvkov alebo pre aplikáciu mikroprocesorovej techniky v technologickom režime riadeného približovania dreva traktorovými navijakmi.

LITERATÚRA

PALČÁK, F.: Možnosti využitia virtuálnych prototypov pre potreby strojárského priemyslu. In.: *Konštrukčná kancelária, Zborník príspevkov z II. konferencie, Nitra, 1998, s. 27.*
MSC.SOFTWARE, MSC.ADAMS VIEW.: 2003. *User's Guide*

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia grantovej úlohy VEGA MŠ SR č. 1/0221/08 „Výskum nových pracovných princípov lesníckych lanoviek“.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Branislav Danko, Ph.D.,

Katedra mechaniky a strojnictva,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen,
e-mail: danko@vsld.tuzvo.sk

TEPELNĚ-EMISNÍ ANALÝZA MALÝCH SPALOVACÍCH ZAŘÍZENÍ NA BIOMASU

HEAT AND EMISSIONS ANALYSIS OF SMALL COMBUSTION UNITS FOR BIOMASS

Jan MALAŤÁK – Marian KUČERA – Milan DVOŘÁK

ABSTRACT: The presented article solves important tasks of biomass utilization as a fuel for combustion-engines up to heating rate of 25 kW. The article rises up from established element analysis of six fuel samples like wooden mass and vegetable biomass. There is realized stoichiometric fuel analysis at these samples. After stoichiometric analysis there is defined thermic-emission characteristics at two samples.

The results of realized element and stoichiometric analysis show higher concentration values of nitrogen, sulphur and chlorine in vegetable biomass than in analyzed wood matter. First of all, the higher values of sulphur and chlorine can influence the choice of a combustion device (corroding manner). Heating capacity of wood matter is higher than the heating capacity of vegetable biomass samples. Heating capacity of vegetable biomass fuels is decreased by higher amount of ash in the fuel.

The results of thermic-emission analysis show higher values of emissions for nitrogen oxides, sulphur oxides and hydrogen chlorides in vegetable biomass in comparison with analyzed wooden mass. Regarding to individual emission concentrations for carbon monoxide of wooden mass and vegetable biomass there are these concentrations dependable on the type of combustion-device and setting up amounts of combustion gases.

The consequence of higher production of hydrogen chloride at individual combustion devices is mainly in the amount of combustion gases and chlorine in the fuel. The more amount of combustion gases is brought to the combustion area, the more production of chlorine emissions is released. On the basis of analysis it is possible to draw a conclusion that the vegetable biomass should damage the combustion area during combustion process the most.

Key words: biomass, chemical analysis, stoichiometric analysis, heating capacity, emissions

ABSTRAKT: Předkládaný článek řeší naléhavé otázky používání biomasy jako paliva pro spalovací zařízení do tepelného výkonu 25 kW. Článek vychází ze stanovených prvkových analýz šesti vzorků paliv jak z dřevní hmoty, tak z bylinné biomasy. Na těchto vzorcích je uskutečněna stechiometrická analýza paliv. Po stechiometrické analýze je na dvou spalovacích zařízeních stanovena tepelně-emisní charakteristika.

Výsledky prováděných prvkových a stechiometrických analýz ukazují na vyšší hodnoty koncentrací dusíku, síry a chlóru v rostlinné biomase oproti analyzované dřevní hmotě. Především zvýšené množství síry a chlóru má vliv na výběr spalovacích zařízení (korozivní chování). Výhřevnost

analyzovaných vzorků z dřevní hmoty je vyšší než u vzorků rostlinné biomasy. Výhřevnost u paliv z rostlinné biomasy je snížena vyšším množstvím popele v palivu.

Výsledky tepelně-emisních analýz ukazují na vyšší hodnoty koncentrací emisí oxidů dusíku, síry a chlorovodíku v rostlinné biomase oproti analyzované dřevní hmotě. Co se týká jednotlivých emisních koncentrací oxidu uhelnatého pro dřevní paliva a pro bylinnou biomasu, jsou tyto koncentrace závislé také na typu spalovacího zařízení a na nastavení množství spalovacího vzduchu.

Příčina zvýšené produkce emisí chlorovodíku na jednotlivých spalovacích zařízeních je především v množství spalovacího vzduchu a v množství chlóru v samotném palivu. Čím větší množství spalovacího vzduchu se přivede do spalovacího prostoru, tím větší je produkce emisí chlorovodíku. Na základě analýz lze ale také vyvodit závěr, že rostlinná biomasa by měla zatěžovat prostory spalovacího zařízení při spalování nejvíce.

Klíčová slova: biomasa, chemická analýza, stechiometrická analýza, výhřevnost, emise

1 ÚVOD

V dlouhodobé perspektivě udržitelného rozvoje je velmi důležité využít zdroje co nejefektivněji. Přirozeně by mělo být optimalizováno také využití finančních „zdrojů“ tak, aby se omezily, pokud je to možné, vlivy na lidské zdraví a na životní prostředí, zatímco se snadněji zpřístupní vytváření nadbytku pro všechny části světové populace. Ve střednědobé perspektivě způsobují emise skleníkových plynů z lidských činností ovlivnění klimatických změn. Tyto změny by měly být vhodným způsobem určeny (1 a 2).

S dohlednou vyčerpatelností fosilních energetických zdrojů roste význam obnovitelných zdrojů energie a stává se tak jednou z hlavních podmínek trvale udržitelného rozvoje nejen zemědělství, ale i celé společnosti. Udává se, že za posledních dvacet let se celosvětový podíl rostlinné biomasy (v převážné většině se jedná o dřevo) na celkové spotřebě primárních energetických zdrojů zvýšil o 8%. Tento nárůst se projevuje nejen v rozvojových zemích, ve kterých je dříví často jediným zdrojem energie, a to zejména na venkově (čtyři pětiny dřeva vytěženého v některých rozvojových zemích se spotřebovávají jako dřevo palivové), ale spotřeba dřeva, resp. paliv na bázi dřeva, vzrůstá i ve vyspělých zemích.

Tuhá biopaliva mohou částečně nahradit např. fosilní paliva, a tím omezit objemy odpadů vznikajících při jejich těžbě a zpracování, a mohou tak přispět ke zvýšení efektivity zdrojů. Lze očekávat, že tuhá paliva na bázi biomasy budou omezovat emise fosilního uhlíku do atmosféry a obdobně budou snižovat emise skleníkových plynů z antropogenních činností. Tuhá biopaliva na bázi biomasy jsou tedy zdrojem skladovatelné sluneční energie (3, 4 a 5).

Má-li se o biomase rozhodnout, zda je vhodná pro spálení v určitém typu spalovacího zařízení, nebo má-li se posoudit jakost biopaliv z fytohmoty s ohledem na jejich využití, je zapotřebí znát vlastnosti biopaliv, které je dostatečně charakterizují. Z energetického hlediska je při posuzování zásadní prvková a stechiometrická analýza. Stechiometrické výpočty spalovacích procesů doplňují charakteristiky paliva a jsou základem pro jakýkoliv tepelný výpočet. Jsou důležité zejména pro řešení celé řady problémů návrhové praxe, stejně jako pro kontrolu práce stávajících spalovacích zařízení (3 a 6).

V článku jsou stanoveny dalších možnosti a limitní hodnoty energetického využití pevné biomasy. Proto se vychází z chemického složení použitých paliv, popelovin, stechiometrických výpočtů a provozních parametrů daného typu spalovacího zařízení.

Cílem článku je vyjádření takových závislostí, které co nejvíce posuzují jak spalovací proces, tak kvalitu spalovaných paliv z biomasy a spalovacích zařízení. Při těchto rozbořech se stanoví především výhřevnost paliva, množství kyslíku (vzduchu) potřebného k dokonalému spalování paliva, množství a složení spalin a měrná hmotnost spalin. Dalším cílem je stanovit tepelně-emisní vlastnosti a minimalizovat emisní ukazatele spalovacích zařízení pro energetické využívání pevné biomasy v souladu s platnou legislativou a normami.

2 VÝCHOZÍ PODMÍNKY

Článek vychází především z prvkové a stechiometrické analýzy. Výsledné hodnoty stechiometrické analýzy jsou dosazeny do rovnic přepočtu koncentrace znečišťujících látek a do rovnic pro určení součinitele přebytku vzduchu. V těchto vztazích se dosazuje ze stechiometrického rozboru především teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách, teoretické objemové množství suchých spalin a teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování.

Celkem je uskutečněno 100 měření na spalovacích zařízeních pro pevnou biomasu. Pro vlastní posouzení tepelně-emisních měření je vybráno 12 měření na dvou spalovacích zařízeních. Analyzovaná dřevní paliva a bylinná biomasa podle specifikace CEN/TS 15234 jsou uvedena v tabulce 1.

Tab. 1 Analyzovaná dřevní paliva a bylinná biomasa (specifikace podle CEN/TS 15234)

Dřevní paliva	Bylinná biomasa
Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm)	Energetický šťovík – pelety (Ø 11 mm)
Topolové pelety (Ø 10 mm)	Vojtěškové pelety (Ø 8 mm)
	Křídlatka – pelety (Ø 11 mm)
	Oves setý – zrno

Prvním úkolem řešení je stanovení chemických vlastností posuzovaných vzorků paliv, jako je:

- obsah vody v původním vzorku W (% hm.) – metoda sušení v sušárně – obsah vody v analytickém zkušebním vzorku (CEN/TS 14774-3);
- obsah popela v původním vzorku A (% hm.) (CEN/TS 14775);
- stanovení spalného tepla Q_s (MJ.kg^{-1}) (CEN/TS 14918);
- prchavá a neprchavá hořlavina V^{daf} a NV^{daf} (% hm.);
- obsahu uhlíku, vodíku a dusíku – instrumentální metody (CEN/TS 15104);
- obsah kyslíku, síry a chlóru (% hm.).

Prvkové rozborů jsou vypracovány ve formě služeb akreditovanou laboratoří: Ústav pro výzkum a využití paliv – Praha Běchovice a VŠCHT v Praze – Ústav energetiky.

Výsledné hodnoty prvkového rozboru jsou uvedeny v tabulce č. 2 pro jednotlivé vzorky paliv z dřevní a rostlinné hmoty.

Tab. 2 Chemická analýza původních vzorků paliv z dřevní a rostlinné hmoty

Vzorek	Obsah vody (% hm.)	Popel (% hm.)	Hořlavina přehavá (% hm.)	Hořlavina nepřehavá (% hm.)	Spalné teplo (MJ.kg ⁻¹)	Výhřevnost (MJ.kg ⁻¹)	Uhlík C (% hm.)	Vodík H (% hm.)	Dusík N (% hm.)	Síra S (% hm.)	Kyslík O (% hm.)	Chlór Cl (% hm.)
Značka	W _t ^r	A ^r	V ^r	(NV) ^r	Q _s ^d	Q _i ^r	C _t ^r	H _t ^r	N _t ^r	S _t ^r	O _t ^r	Cl _t ^r
Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm)	6,79	3,02	75,55	14,64	18,74	17,18	47,37	6,40	0,19	0,01	36,20	0,04
Topolové pelety (Ø 10 mm)	6,17	4,04	75,43	14,36	18,2	16,84	46,16	5,51	0,52	0,03	32,54	0,03
Energetický šřovík – pelety (Ø 11 mm)	7,95	4,45	70,07	17,53	16,54	15,16	42,7	5,42	1,65	0,11	37,61	0,11
Vojtěškovské pelety (Ø 8 mm)	11,4	8,15	65,16	15,33	16,61	15,34	41,24	4,55	2,85	0,16	31,12	0,22
Křídlatka – pelety (Ø 11 mm)	5,93	3,99	72,03	18,05	17,62	16,31	45,87	5,33	0,29	0,03	38,49	0,07
Oves setý – zrno	8,06	2,35	75,81	13,78	17,17	15,58	42,9	6,4	0,9	0,07	39,26	0,065

Na chemické vlastnosti navazuje stechiometrická analýza spalovacích procesů, která doplňuje charakteristiky paliva a je základem pro jakýkoliv tepelný výpočet. Tato analýza je důležitá zejména pro řešení celé řady problémů návrhové praxe, stejně jako při kontrole práce stávajících spalovacích zařízení. Tato analýza určí:

- výhřevnost vzorku Q_i (MJ.kg⁻¹);
- množství kyslíku (vzduchu) potřebného k dokonalému spalování vzorku (kg.kg⁻¹), (m³_N.kg⁻¹);
- množství a složení spalin (kg.kg⁻¹), (m³_N.kg⁻¹);
- měrnou hmotnost spalin (% hm., % ob.).

Stechiometrická analýza je přepočtena na normální podmínky a referenční obsah kyslíku ve spalinách. Výhřevnost paliva ve výpočtech je dána výhřevností původního vzorku, tj. při odběru vzorku v původním stavu. Výsledné vybrané hodnoty ze stechiometrické analýzy jsou uvedeny v tabulce č. 3.

Tab. 3 Stechiometrická analýza původních vzorků paliv za normálních podmínek a referenčního obsahu kyslíku ve spalínách $O_2 = 11\%$

	Objemové spalování	Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm)	Topolové pelety (Ø 10 mm)	Energetický šřovík – pelety (Ø 11 mm)
O_{min}	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování ($m^3_N.kg^{-1}$)	0,99	0,94	0,83
L_{skut}	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování ($m^3_N.kg^{-1}$)	9,85	9,39	8,35
n	Součinitel přebytku vzduchu (–)	2,10	2,10	2,10
v_{sp}^s	Objemové množství suchých spalín ($m^3_N.kg^{-1}$)	9,75	9,31	8,32
CO_{2max}	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalínách (% obj.)	19,34	19,57	20,26
CO_2	Oxid uhličitý (% obj.)	8,06	8,28	8,49
SO_2	Oxid siřičitý (% obj.)	0,00	0,00	0,01
H_2O	Voda (% obj.)	10,88	10,26	11,07
N_2	Dusík (% obj.)	70,32	70,76	69,79
O_2	Kyslík (% obj.)	9,91	9,95	9,82
	Objemové spalování	Vojtěškově pelety (Ø 8 mm)	Křídlatka – pelety (Ø 11 mm)	Oves setý – zrno
O_{min}	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování ($m^3_N.kg^{-1}$)	0,80	0,88	0,88
L_{skut}	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování ($m^3_N.kg^{-1}$)	3,83	8,82	4,20
n	Součinitel přebytku vzduchu (–)	2,10	2,10	2,10
v_{sp}^s	Objemové množství suchých spalín ($m^3_N.kg^{-1}$)	8,03	8,79	8,73
CO_{2max}	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalínách (% obj.)	20,23	20,59	19,54
CO_2	Oxid uhličitý (% obj.)	8,52	8,70	8,07
SO_2	Oxid siřičitý (% obj.)	0,01	0,00	0,00
H_2O	Voda (% obj.)	10,77	10,39	11,77
N_2	Dusík (% obj.)	70,04	70,20	69,54
O_2	Kyslík (% obj.)	9,84	9,89	9,80

Cílem článku je posoudit teoretickou a naměřenou grafickou závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalínách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním palivu za normálních podmínek. Tyto závislosti vycházejí ze stechiometrické analýzy, která se určí pro součinitel přebytku vzduchu v rozsahu 1 až 6. Na osu x se vynese obsah kyslíku ve spalínách (O_2) a na osu y se vynese obsah oxidu uhličitého (CO_2). Výsledná křivka vyjadřuje součinitel přebytku vzduchu. Do teoretického vyjádření závislosti

oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalínách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek jsou dosaženy skutečné naměřené hodnoty na jednotlivých spalovacích zařízeních.

Při takto stanovených závislostech se graficky určí, kolik procent oxidu uhličitého při spalování vzorku obsahují spaliny a při jak velkém součinitele přebytku vzduchu. Pro praktické použití je potřebné znát skutečnou hodnotu obsahu kyslíku (O_2) ve spalínách v měřeném spalovacím zařízení. K optimálnímu spalování dřevních paliv a rostlinné biomasy by mělo docházet při hodnotě součinitele přebytku vzduchu okolo $n = 2,1$ (tj. při 11 % obsahu kyslíku ve spalínách).

Všechny objemy a hmotnosti spalovacího vzduchu a spalin jsou udávány za tzv. normálních podmínek, tj. při teplotě $t = 0\text{ °C}$ a tlaku $p = 101,325\text{ kPa}$ a na referenční obsah kyslíku ve spalínách $O_r = 11\%$.

Významným úkolem práce je stanovení emisních koncentrací jednotlivých složek kouřových plynů. Průběh měření musí být proveden v souladu s ČSN 07 0240 „Teplovodní a nízkotlaké parní kotle – základní ustanovení“, s ČSN 124070 „Zařízení odlučovací – metody měření veličin“, s ČSN 44 1310 „Označování analytických ukazatelů a vzorce přepočtů výsledků rozborů na různé stavy paliva“ a s ČSN 38 5509 (hodnoty molekulové hmotnosti a molárního objemu).

Pro stanovení emisních koncentrací jednotlivých složek kouřových plynů při termickém zpracování použitých vzorků rostlinné biomasy je použit přístroj GA-60. Přístroj GA-60 je víceúčelový analyzátor kouřových plynů. Jeho princip je založen na využití elektrochemických převodníků. Přístroj GA-60 má standardně pět převodníků s možností zabudovat šestý převodník. Standardní vybavení představuje převodníky na analýzu těchto složek spalin: kyslík (O_2), oxid uhelnatý (CO), oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO_2), oxid siřičitý (SO_2) a chlorovodík (Cl). Technické údaje analyzátoru jsou uvedeny v tabulce č. 4.

Tab. 4 Technické údaje analyzátoru GA-60

Veličina/Princip měření	Rozsah	Rozlišení	Přesnost čidla
Teplota okolí/čidlo Pt 500	0–100 °C	1 °C	± 2 %
Teplota spalin	0–1 300 °C	1 °C	± 5 %
Čidlo NiCr/ni (nebo PtRh/Pt)	0–1 600 °C	1 °C	± 2 %
Elektrochemický převodník/kyslík (O_2)	0–20,95 %	0,01%	± 2 %
Elektrochemický převodník/oxid uhelnatý (CO)	0–20 000 ppm	1 ppm	± 5 %
Elektrochemický převodník/oxid dusný (NO)	0–5 000 ppm	1 ppm	± 5 %
Elektrochemický převodník/oxid dusičitý (NO_2)	0–800 ppm	1 ppm	± 5 %
Elektrochemický převodník/oxid siřičitý (SO_2)	0–2 000 ppm	1 ppm	± 5 %
Tlak	± 50 hPa	0,01 hPa	
Sazové číslo podle Bacharacha	0–9	1	
Oxidy dusíku (NO_x) jako NO_2 /výpočet z NO + NO_2	0–6 000 ppm	1 ppm	
Oxid uhličitý (CO_2)/výpočet dle paliva z CO_{2max} a O_2	0–25 %	0,1 %	
Přebytek vzduchu/výpočet dle DIN/ÖNORM	1–∞	0,01	

Výsledné koncentrace spalin v ppm z analyzátoru Madur GA 60 jsou převedeny na normální podmínky a přepočteny jednak na $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ a na referenční množství kyslíku ve spalinách, které je pro použité zařízení podle dané vyhlášky a směrnice $O_r = 11\%$. Průměrné výsledné koncentrace jsou uvedeny v tabulce 5 a porovnány s emisními limity podle směrnice č. 13 – 2006. Tyto výsledné průměrné hodnoty jsou stanoveny v celém rozsahu měření jednotlivých vzorků.

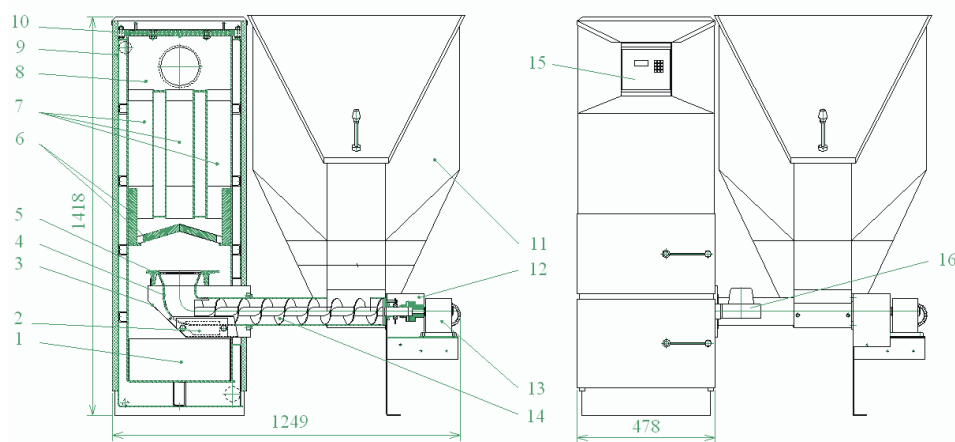
Emisní limity při spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší u teplovodních kotlů pro ústřední vytápění na spalování biomasy jsou stanoveny směrnicí č. 13 – 2006. Tato směrnice se vztahuje na spotřebiče s vymezením na teplovodní kotle pro spalování biomasy s ruční nebo samočinnou dodávkou o jmenovitém výkonu nejvýše 300 kW podle: ČSN 07 0240 a ČSN EN 303-5.

Pro vlastní měření jsou vybrány dva typy reprezentativní spalovacích zařízení:

- retortové přikládání – spodní přikládání, kdy jsou pelety šnekovým podavačem tlačeny přes retortu (koleno) do spalovacího prostoru, obr. 1
- samospádné přikládání – pelety jsou ze zásobníku šnekovým podavačem vytlačeny nad rošt, kam poté přepadávají, obr. 2

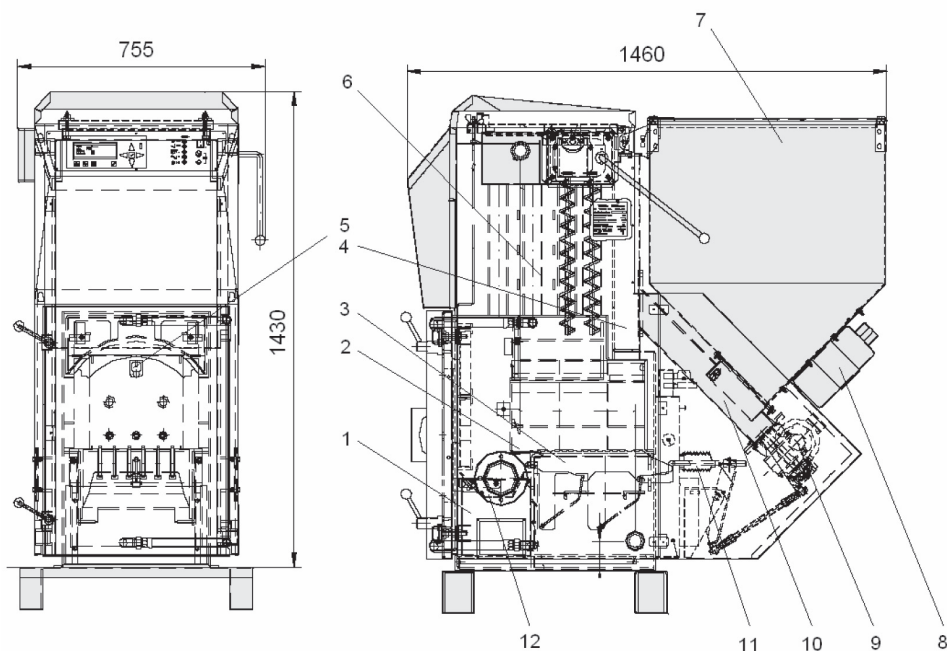
Jedná se o dva teplovodní automatické spalovací zařízení o tepelném výkonu 25 kW na tuhá paliva ve formě pelet a jsou určeny především pro vytápění rodinných domků, chat, kancelářských budov, malých provozoven apod.

Na vybraných spalovacích zařízeních je uskutečněno celkem dvanáct měření.



Obr. 1 Schéma spalovacího zařízení se spodní přikládáním

Legenda: 1. popelníková zásuvka; 2. čistící otvor směšovače; 3. směšovač vzduchu; 4. retorta; 5. rošt; 6. keramický reflektor; 7. lamely konvekční části; 8. odvod spalin; 9. izolace spalovacího zařízení; 10. výstup topné vody; 11. zásobník paliva; 12. převodové ústrojí; 13. motor; 14. podavač paliva; 16. ventilátor se škrtkí klapkou



Obr. 2 Schéma spalovacího zařízení – samospádné přikládání

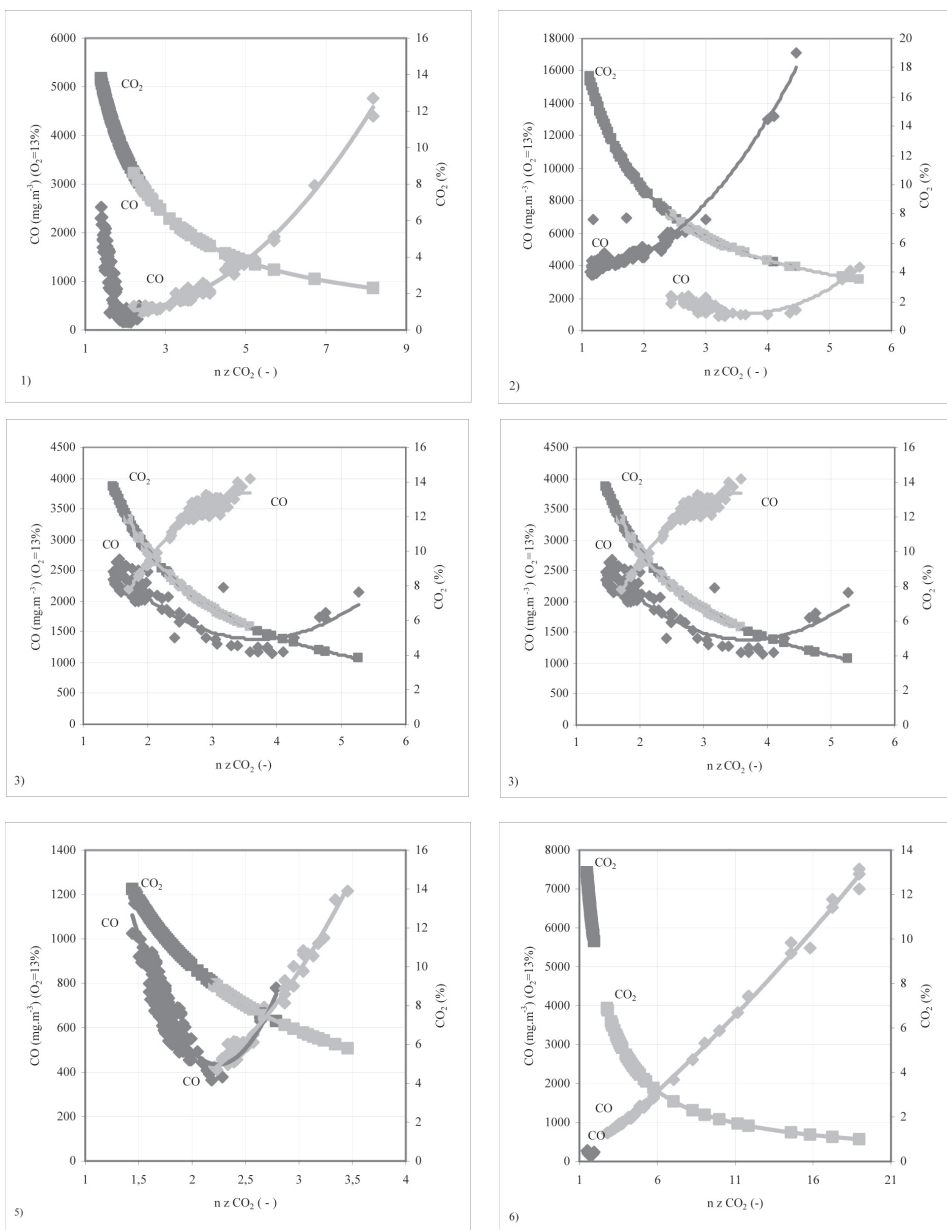
Legenda: 1. popelník; 2. hořák; 3. roštnice; 4. spad paliva; 5. rozptylovač paliva; 6. turbulátory; 7. násypka; 8. hasící zařízení; 9. převodovka s elektromotorem; 10. šnekový dopravník; 11. pohon roštnic; 12. žlab popele

3 VÝSLEDNÉ HODNOTY

Výsledné hodnoty z chemické analýzy původních vzorků paliv z dřevní a rostlinné hmoty jsou uvedeny v tabulce č. 2. Vybrané hodnoty ze stechiometrické analýzy původních vzorků paliv za normálních podmínek a referenčního obsahu kyslíku ve spalinách $O_r = 11\%$ jsou uvedeny v tabulce č. 3. V tabulce č. 4 jsou uvedeny průměrné koncentrace z tepelně-emisního měření analyzovaných vzorků na dvou různých typech spalovacích zařízeních o tepelném výkonu 25 kW. Grafické vyhodnocení oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu pro každý vzorek je uvedeno na obrázku 3.

Tab. 4 Průměrné koncentrace tepelně-emisního měření

	Teplota spalín	O ₂	CO ₂	n z CO ₂	CO (O _r =11%)	NO (O _r =11%)	SO ₂ (O _r =11%)	HCl (O _r =11%)	NO _x (O _r =11%)
	°C	%	%	–	mg.m ⁻³	mg.m ⁻³	mg.m ⁻³	mg.m ⁻³	mg.m ⁻³
Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm) – retortové přikládání									
Průměr	280,89	8,80	11,11	1,75	916,00	140,93	31,98	1,73	172,86
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	0,01	0,17	0,14	0,14	0,75	0,35	31,98	139,82	0,35
Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm) – samospádné přikládání									
Průměr	231,39	15,27	5,27	3,93	1006,10	415,13	–	412,04	509,39
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	23,23	1,67	1,55	1,28	824,13	72,08	–	71,51	88,40
Topolové pelety (Ø 10 mm) – retortové přikládání									
Průměr	251,50	6,94	12,98	1,63	4600,85	116,18	3,87	116,29	143,71
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	47,68	3,56	3,30	0,57	1649,03	64,71	12,46	63,29	78,28
Topolové pelety (Ø 10 mm) – samospádné přikládání									
Průměr	290,58	13,96	6,48	3,05	1612,10	316,71	–	314,22	388,46
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	15,01	0,98	0,91	0,60	531,56	48,64	–	48,26	59,66
Energetický šťovík – pelety (Ø 11 mm) – retortové přikládání									
Průměr	292,06	8,48	11,56	1,76	711,78	91,73	45,48	92,70	112,51
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	9,76	1,08	0,99	0,17	145,92	10,80	139,46	25,77	13,24
Energetický šťovík – pelety (Ø 11 mm) – samospádné přikládání									
Průměr	282,67	12,66	7,68	2,66	656,21	106,87	53,18	106,3	131,08
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	12,09	1,03	0,96	0,35	224,13	15,96	339,88	15,84	19,58
Vojtěškové pelety (Ø 8 mm) – retortové přikládání									
Průměr	172,36	10,02	10,04	2,24	2050,39	396,30	246,82	394,55	487,65
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	10,98	3,08	2,85	0,91	407,77	118,58	207,39	120,11	148,29
Vojtěškové pelety (Ø 8 mm) – samospádné přikládání									
Průměr	281,14	12,93	7,43	2,77	3394,56	276,10	49,73	274,24	338,84
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	9,09	90,9	1,31	0,42	379,33	19,43	112,01	19,47	23,99
Křídlatka – pelety (Ø 11 mm) – retortové přikládání									
Průměr	238,67	11,84	8,43	2,35	1122,87	141,83	–	140,71	173,96
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	21,24	1,43	1,33	0,38	871,79	35,44	–	35,16	43,46
Křídlatka – pelety (Ø 11 mm) – samospádné přikládání									
Průměr	279,49	13,89	6,54	3,18	928,94	242,15	–	240,24	297,00
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	13,51	1,03	0,96	0,52	422,97	93,97	–	93,23	115,25
Oves setý – zrno – retortové přikládání									
Průměr	205,00	8,57	11,46	1,69	186,86	139,58	–	140,64	171,19
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	3,99	0,78	0,52	0,11	34,68	5,90	–	19,21	7,23
Oves setý – zrno – samospádné přikládání									
Průměr	234,20	16,55	4,08	6,44	2063,10	698,02	–	692,52	856,14
Směrnice č. 13 – 2006					2000		60		250
Směrodatná odchylka	44,87	1,84	1,71	4,73	1933,33	92,6	–	91,34	112,92



Obr. 3 Naměřené emisní koncentrace CO a CO₂ v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu a na spalovacím zařízením:

- Legenda:**
- | | |
|---|----------------------------------|
| 1) Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm); | 2) Topolové pelety (Ø 10 mm); |
| 3) Vojtěškovské pelety (Ø 8 mm); | 4) Křídlatka – pelety (Ø 11 mm); |
| 5) Energetický šťovík – pelety (Ø 11 mm); | 6) Oves setý – zrno; |
| ◆ spodní příkládání; | ◆ samospádné příkládání. |

4 VÝSLEDKY

Nejvíce určující z hlediska emisních koncentrací je množství síry, chlóru a dusíku ve vybraných vzorcích paliv. U vzorků je patrný nárůst emisí dusíku, neboť samotné energetické rostliny vykazují vyšší hodnoty dusíku v palivu (tab. 3) oproti fosilním palivům. Zejména zvýšený obsah tohoto prvku omezuje využití těchto paliv.

Ve vybraných vzorcích je uskutečněna analýza množství chlóru v původním palivu. Vyšší koncentrace chlóru v posuzovaných vzorcích v původním stavu, kde hodnota přesahovala nad 0,2% podílu v palivu je ve vojtěškových peletách. U dřevní hmoty se koncentrace chlóru pohybuje na velmi nízké hladině oproti rostlinné biomase. Z toho jednoznačně vyplývá, že nelze rostlinnou biomasu posuzovat podle obsahu chlóru v dřevní hmotě.

Síra odchází z větší části během spalování do plynné fáze jako SO_2 nebo SO_3 . Emise síry u tepelných zařízení na využití pevných paliv z obnovitelných zdrojů nepředstavují, co se týče limitních hodnot, zpravidla žádný problém, což potvrzují vybrané vzorky viz. tab. 3. Rozhodujícím faktorem koncentrace síry v palivu může být korozivní chování. Ostatní hodnoty prvkového rozboru splňují optimální parametry pro použití těchto vzorků biopaliv pro spalovací zařízení (1 a 4).

Nejvíce určující pro termické použití paliv je obsah vody a popele. Rozsah veškeré vody obsažené ve vzorcích je dost nízký, což má pozitivní přínos ve výhřevnosti paliv. Obsah popele ve vzorcích je rovněž nízký až na vojtěškové pelety, jak je vidět z prvkových rozborů vybraných vzorků. Množství vody a popele významně ovlivňuje tepelné vlastnosti posuzovaných vzorků a následně ovlivňuje jak výběr, tak i nastavení spalovacího zařízení.

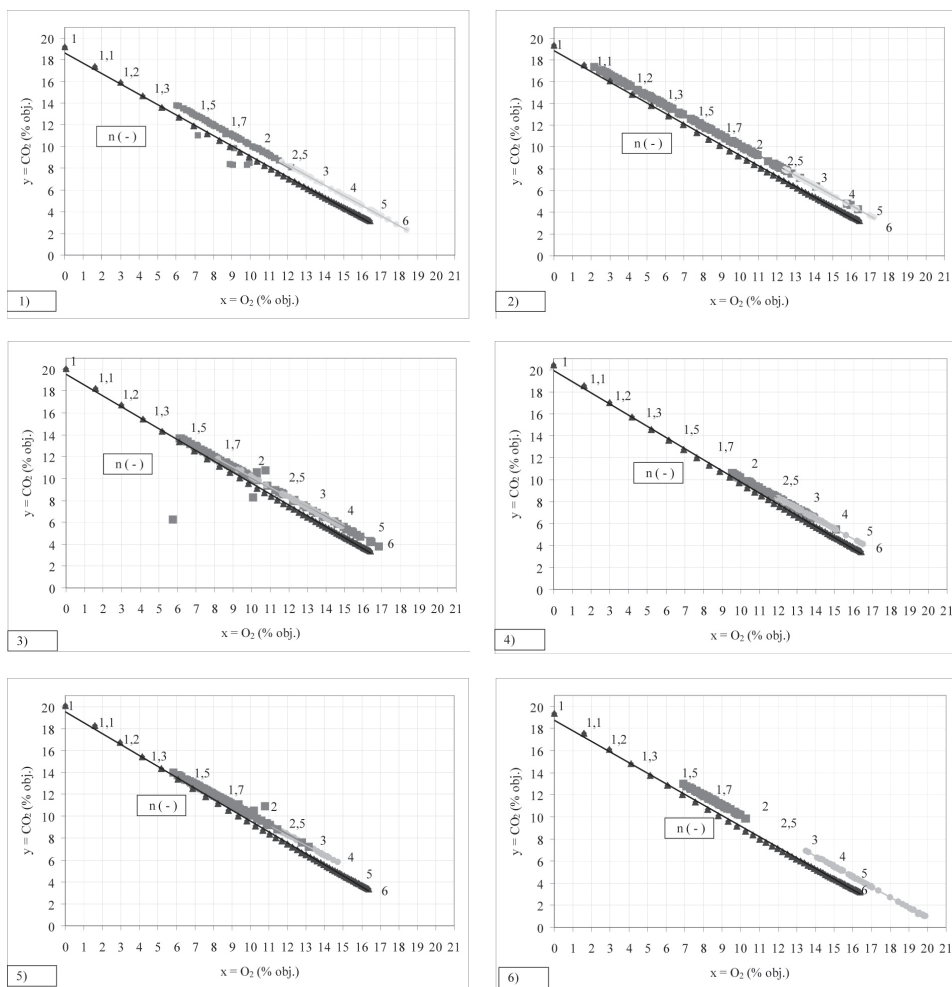
Větší množství popele, jak vyplývá z výsledků (tab. 3), má rostlinná biomasa oproti dřevní hmotě, což může vyvolat zvětšený požadavek na odvod tuhých zbytků po spalování a zvýšené množství tuhých emisí.

Výsledné hodnoty ze stechiometrické analýzy ukazují na velmi dobré tepelně – emisní parametry posuzovaných vzorků. Jak vyplývá ze stechiometrie posuzovaných paliv, parametry výhřevnosti, obsahu vody a hustoty energie ovlivňují výběr a návrh spalovacího zařízení. Koncentrace N (dusíku), S (síry) a Cl (chlóru) ve vzorcích, jak potvrzují prováděné rozborů vzorků, je poměrně velmi široká. Výsledné hodnoty stechiometrické analýzy slouží pro další nezbytné výpočty tepelných účinností a tepelných ztrát spalovacích zařízení, ale hlavně slouží ke kontrole a optimalizaci spalovacího zařízení.

Významným úkolem práce je posoudit stanovenou teoretickou grafickou závislost oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním palivu za normálních podmínek. Do grafického vyjádření závislosti oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalinách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu na původním vzorku za normálních podmínek jsou dosaženy skutečné naměřené hodnoty ze spalovacího zařízení. Výsledné grafické vyjádření je uvedeno na obrázku 4. Teoreticky stanovené hodnoty oxidu uhličitého jsou v grafech zakresleny tmavě modře a reálné naměřené hodnoty zeleně pro spalovací zařízení se spodním příkládáním a světle modře pro spalovací zařízení se samospádným příkládáním. Pro další zhodnocení rozdílů výsledných teoretických a skutečných hodnot je použita statistická analýza.

I přes nepatrnou odchylku teoretických hodnot od skutečných naměřených lze pro spalovací zařízení použít těchto teoretických grafů pro optimální nastavení spalovacích

a odtahových ventilátorů. Takto vyjádřené grafické závislosti mohou sloužit pro rychlé nastavení množství spalovacího vzduchu do spalovacího prostoru. V praxi to přináší optimalizaci spalovacích pochodů, a to především v optimálním nastavení množství spalovacích vzduchů, tím i zvýšení tepelných účinností a snížení tepelných ztrát a emisí spalovacího zařízení.



Obr. 4 Teoretické ▲ a skutečné ■, ◆ grafické závislosti oxidu uhličitého na množství kyslíku ve spalínách s vyjádřením součinitele přebytku vzduchu:

- Legenda:**
- | | |
|---|----------------------------------|
| 1) Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm); | 2) Topolové pelety (Ø 10 mm); |
| 3) Vojtěškové pelety (Ø 8 mm); | 4) Křídlatka – pelety (Ø 11 mm); |
| 5) Energetický šťovík – pelety (Ø 11 mm); | 6) Oves setý – zrno; |
| ■ spodní přikládání; | ◆ samospádné přikládání. |

Výsledné průměrné emisní koncentrace oxidu uhelnatého na spalovacím zařízení se spodním příkládáním dosahují u vzorků paliv z topolových pelet několikanásobně vyšší emisní koncentrace podle směrnice č. 13 – 2006. U vojtěškových pelet jsou tyto emise překročeny mírně. Na spalovacím zařízení se samospádným příkládáním jsou dvounásobně překročeny emise u vzorků paliv z vojtěšky a mírně u ovsa setého. U ostatního měření jsou průměrné emisní koncentrace posuzovaných vzorků optimální. Výsledné průměrné emisní koncentrace oxidu uhelnatého jednotlivých vzorků paliv na spalovacích zařízeních jsou uvedeny v tabulce 4.

Zvýšené průměrné emisní koncentrace oxidů dusíku oproti emisním limitům směrnice č. 13 – 2006 jsou stanoveny u vojtěškových pelet a mírně u pelet z křídlatky na spalovacím zařízení se spodním příkládáním. Skoro u všech vzorků paliv, až na peletky z energetického šťovíku, jsou překročeny emisní koncentrace oxidů dusíku na spalovacím zařízení se samospádným příkládáním. Příčinou vzniku takto zvýšených emisí oxidů dusíku mohou být např. u vojtěškových pelet jednak to, že ze všech posuzovaných vzorků, mají tyto vzorky největší množství dusíku v samotném palivu, a také na průběhu spalování, kdy je přivedeno do spalovací komory velké množství spalovacího vzduchu a ve vysoké teplotě spalin. Výsledné průměrné emisní koncentrace oxidů dusíku jednotlivých vzorků paliv na spalovacích zařízeních jsou uvedeny v tabulce 4.

Z dalších naměřených průměrných emisních koncentrací jsou emise oxidu siřičitého. Na spalovacím zařízení se spodním přívodem paliva u pelet z vojtěšky jsou naměřeny několikanásobné emise oxidu siřičitého oproti emisím podle směrnice č. 13 – 2006. Použití tohoto paliva například v kondenzačním spalovacím zařízení se zvýšenou koncentrací síry v palivu, by bylo problematické. Ostatní stanovené průměrné emisní koncentrace spalin na všech spalovacích zařízeních v průběhu měření jsou optimální a nepřekračují hodnoty podle směrnice č. 13 – 2006. Výsledné průměrné emisní koncentrace oxidu siřičitého jednotlivých vzorků paliv na spalovacích zařízeních jsou uvedeny v tabulce 4.

Důležitý parametr ovlivňující účinnost spalování je součinitel přebytku vzduchu. Spalovací zařízení se spodním přívodem paliva má optimální průměrný součinitel přebytku vzduchu, narozdíl od spalovacího zařízení se samospádným příkládáním, který má u všech posuzovaných vzorků paliv vysokou hodnotu součinitele přebytku vzduchu. Výsledné průměrné hodnoty součinitele přebytku vzduchu jednotlivých vzorků paliv na spalovacích zařízeních jsou uvedeny v tabulce 4.

Na spalovacích zařízeních jsou určeny závislosti oxidu uhličitého, produkt dokonalého spalování, na součiniteli přebytku vzduchu, které jsou ve všech případech podobné. S rostoucím množstvím vzduchu dochází k poklesu koncentrace oxidu uhličitého z maximální koncentrace do minimální, kde dochází k ochlazení plamene a naředění spalin spalovacím vzduchem (obr. 3).

Oxid uhelnatý (obr. 3), produkt nedokonalého spalování, u každého posuzovaného vzorku paliv a spalovacího zařízení v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu nejdříve v oblasti velmi nízkého součinitele přebytku vzduchu klesá až do optimálních hodnot. Po překročení optimálních hodnot součinitele přebytku vzduchu dochází k postupnému nárůstu oxidu uhelnatého až do maximální koncentrace. Tento průběh lze sledovat u všech paliv, výjimkou jsou topolové pelety na spalovacím zařízení se spodním přívodem paliva, vojtěškové pelety a oves setý na spalovacím zařízení se samospádným příkládáním, kdy u těchto měření dochází hned od počátku k postupnému nárůstu oxidu uhelnatého. Důvod,

proč nastává jiný průběh spalování u vzorků paliv, lze hledat ve více faktorech, jako je např. výhřevnost, podíl prchavé hořlaviny ve vzorku a množství spalovacího vzduchu přiváděného do spalovacího prostoru. Také v samotném spalovacím zařízení může docházet k nedostatečnému promísení prchavých hořlavých látek se spalovacím vzduchem a nedostatečnému prohoření na žáruvzdorných retortách.

V současnosti vyvstává otázka využívání biomasy a tvorba dioxinů. Dioxin je název pro dvě skupiny sloučenin blízkých si strukturou a chemickým chováním. Tyto skupiny jsou polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF), přičemž první skupina zahrnuje asi sedmdesát a druhá asi stotřicet jednotlivých látek. Dioxiny patří k nejjedovatějším látkám na Zemi vůbec, dokonce ještě v koncentracích jedna ku miliardě jsou životu nebezpečné (jsou sedmdesátkrát jedovatější než kyanid draselný). Navíc jsou látkami karcinogenními a teratogenními (schopnými poškozovat nenarozený plod) (13.7).

Analytické stanovení dioxinů je složitou a nákladnou záležitostí (u nás prováděnou pouze omezeným množstvím laboratoří) a realizovat ji lze pomocí plynové chromatografie v kombinaci s hmotnostní spektrometrií. Měření jsou složitá zejména pro nízké koncentrace dioxinů (konkrétně pro určení tzv. imisních hodnot), proto v tomto článku jsou posuzované jen emisní koncentrace chlorovodíku, které mají přímý vliv na tvorbu dioxinů.

Na spalovacím zařízení se spodním přívodem paliva u pelet z vojtěšky jsou naměřeny několikanásobně větší emise chlorovodíku oproti ostatním průměrným naměřeným emisím. U spalovacího zařízení se samospádným přikládáním jsou zvýšené emisní koncentrace chlorovodíku u všech posuzovaných paliv, až na peletky energetického šťovíku. Výsledné průměrné emisní koncentrace chlorovodíku jednotlivých vzorků paliv na spalovacích zařízeních jsou uvedeny v tabulce 4.

Příčinu zvýšené produkce emisí chlorovodíku na jednotlivých spalovacích zařízeních lze spatřit především ve množství spalovacího vzduchu a v množství chlóru v samotném palivu. Čím větší je množství přivedeného spalovacího vzduchu (součinitele přebytku vzduchu, tab. 4), tím větší je produkce emisí chlorovodíku. Na základě analýz lze ale také vyvodit závěr, že rostlinná biomasa by měla zatěžovat prostory kotle při spalování nejvíce. Přitom je ale běžné, že právě v rámci fytohmasy z bylin se slámou vytápí obecní i městské teplárny nejčastěji a neuvažuje se, že by toto vytápění bylo nevhodné.

5 ZÁVĚR A DISKUSE

Výsledky prováděných prvkových a stechiometrických analýz ukazují na vyšší hodnoty koncentrací dusíku, síry a chlóru v rostlinné biomase oproti analyzované dřevní hmotě. Především zvýšené množství síry a chlóru má vliv na výběr spalovacích zařízení (korozivní chování). Výhřevnost analyzovaných vzorků z dřevní hmoty je vyšší než u vzorků rostlinné biomasy. Výhřevnost u paliv z rostlinné biomasy je snížena vyšším množstvím popele v palivu. Větší množstvím popele v palivu zvyšuje požadavek na odvod tuhých zbytků po spalování a zvyšuje množství tuhých emisí.

Veškerá voda obsažená v palivu a součinitel přebytku vzduchu jsou prvotnými faktory, které významně ovlivňují tepelnou práci spalovacího zařízení. Přebytek vzduchu je

nutný, aby bylo zaručeno dokonalé spalování. Na druhé straně je však nutno mít na zřeteli škodlivost příliš velkého přebytku. Čím více vzduchu se spalování zúčastní, tím více tepla je odnášeno spalinami, klesá spalná teplota, účinnost spalovacího zařízení a rostou tepelné ztráty. Proto je nutno používat optimální přebytek vzduchu.

Výsledky tepelně-emisních analýz ukazují na vyšší hodnoty koncentrací oxidů dusíku, síry a chlorovodíku v rostlinné biomase oproti analyzované dřevní hmotě. Výhřevnost analyzovaných vzorků z dřevní hmoty je vyšší než u vzorků rostlinné biomasy. Co se týká jednotlivých emisních koncentrací oxidu uhelnatého pro dřevní paliva a pro bylinnou biomasu, jsou tyto koncentrace závislé také na typu spalovacího zařízení.

Příčina zvýšené produkce emisí chlorovodíku na jednotlivých spalovacích zařízeních je především v množství spalovacího vzduchu a v množství chlóru v samotném palivu. Čím větší množství spalovacího vzduchu se přivede do spalovacího prostoru, tím větší je produkce emisí chlorovodíku. Na základě analýz lze ale také vyvodit závěr, že rostlinná biomasa by měla zatěžovat prostory kotle při spalování nejvíce.

Jednou z možností, jak tyto velké koncentrace chlóru snížit z rostlinné biomasy, je praní (loužení) s vodou pro zabránění působení chlóru na spalovací zařízení. Jak doporučuje autor Khor, při praní se uvolňuje umělé hnojivo bohaté na chlór (7 a 8).

Předností paliv z biomasy je to, jak vyplývá z prováděných výzkumů, že obsahuje stopové množství síry, takže během spalování nevzniká škodlivý plynný exhalát SO_2 . V důsledku toho se sníží i teplota rosného bodu spalin, neboť jeho hodnota bude pouze funkcí obsahu vodní páry ve spalinách a přebytku vzduchu. To znamená, že např. při spalování dřevní hmoty bude teplota rosného bodu spalin značně nižší než při spalování uhlí. Vhodným řešením dodatkových výhřevných ploch kotle lze snížit komínovou ztrátu na minimum, bez nebezpečí vzniku nízkoteplotních korozií dodatkových ploch (9, 10 a 11).

Z toho vyplývají i požadavky na kvalitu paliv z biomasy. Vysoká kvalita peletek z biomasy je požadovaná především pro spalování v malých spalovacích zařízeních. Pro větší spalovací zařízení, která jsou vybavena čištěním plynu a procesem řízením spalováním, není rozhodující kvalita paliva. Významné je proto rozdělit dva typy peletkových paliv, a to pro průmyslová a nebo pro malá domácí spalovací zařízení (12).

Další možností, jak snížit emise, je využít již v současnosti dostupných senzorů na hlídání oxidu uhlíku. Společně s lambda sondou mohou poskytnout účinnou kontrolu pro optimální výkon a účinnost spalovacího zařízení s ohledem na emise. Užití senzorů pro nespálené uhlovodíky, především pro oxid uhelnatý, mohou v kombinaci s lambda sondou poskytnout pro spalovací zařízení optimální výkon s ohledem na emise a účinnost spalovacího zařízení bez ohledu na změny kvality paliva a tepelných výkonů.

Příspěvek vznikl v rámci řešení interních grantů IGA a CIGA na České zemědělské univerzitě v Praze.

LITERATURA

1. HEDBERG, E.; et al.: Chemical and physical characterization of emissions from birch wood combustion in a wood stove. In: Atmospheric Environment 36 (2002), Published by Elsevier Ltd., pp. 4823–4837, ISSN: 1352-2310

2. MALAŤÁK, J.; KARANSKÝ, J.; ALTMAN, V.; JEVIČ, P.; GÁLIK, R.: 2007. Alternative-fuels-agricultural waste material utilization. In: Agriculture -journal for agricultural sciences, roč. 53, 2007, č. 1, pp. 38–48. ISSN 0551-3677
3. JEVIČ, P.; HUTLA, P.; MALAŤÁK, J.; ŠEDIVÁ, Z.: Efficiency and gases emissions with incineration of composite and one-component biofuel briquettes in room heater. In: Research in Agricultural Engineering, č. 3, roč. 53 (2007), Prague 2007, s. 94–102, ISSN 1212-9151
4. MALAŤÁK, J.; VACULÍK, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6
5. FIEDLER, F.; PERSSON, T.: Carbon monoxide emissions of combined pellet and solar heating systéme. In: Applied Energy, 86, 2009 Published by Elsevier Ltd., pp. 135–143, ISSN: 0306-2619
6. JEVIČ, P.; MALAŤÁK, J.; ŠEDIVÁ, Z.: Tuhé alternativní palivo z pohledu rozdílu mezi jeho biologicky rozložitelnými a biogenními složkami. In: 4. Zemědělská technika a biomasa 2005. VZÚT Praha, VÚZT a MZČR 2005, s. 116–119 z 138, ISBN 80-8684-07-4
7. VAN DER LANS, R. P.; et al: Modelling and experiments of straw combustion in a grate furnace. In: Biomass and Bioenergy 19 (2000), Published by Elsevier Ltd., pp. 199–208, ISSN: 0961-9534
8. KHOR, A.; et al.: Straw combustion in a fixed bed combustor. In: Fuel – The Science and Technology of Fuel and Energy 86, 2007 Published by Elsevier Ltd., pp. 152–160, ISSN: 0016-2361
9. MALAŤÁK, J.; GURDIL, G. A.; JEVIČ, P.; PINAR, Y.; SELVI, K. C.: Heat-emission Characteristics of Some Energy Plants. In: The Journal of Agricultural Faculty of Ondokuz Mayıs University, volume 22, 2007, issue 2, pp. 202–206, ISSN 1300-2988
10. MALAŤÁK, J.; GURDIL, G. A.; PINAR, Y.; VACULÍK, P.; SELVI, K. C.: Solid recovered fuels from agricultural wastes. In: The Journal of Agricultural Faculty, Omu, 2008, 23(1), pp. 51–58, ISSN: 1300-2988
11. NORDIN, A.: Chemical elemental characteristics of biomass fuels. In: Biomass Bioenergy 6 (1994), Published by Elsevier Ltd., pp. 339–347, ISSN: 0961-9534
12. OBERNBERGERA, I.; THEKA, G.: Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. In: Biomass and Bioenergy 27 (2004) Published by Elsevier Ltd., pp. 653–669, ISSN: 0961-9534

Kontaktní adresa:

Ing. Jan Malat'ák, Ph.D., Ing. Milan Dvořák,

Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze,

Kamýčká 129, 165 00 Praha 6 – Suchbát, e-mail: malatak@tf.czu.cz

doc. Ing. Marian Kučera, Ph.D.,

Fakulta environmentálnej a výrobnj techniky,

Technická univerzita vo Zvolene,

Študentská 26, 960 53 Zvolen,

Slovenská republika, e-mail: kucera@vsld.tuzvo.sk

DRSNOSŤ OBROBENÉHO POVRCHU PO FRÉZOVANÍ AL ZLATINY ALMGSi1

SURFACE ROUGHNESS OF ALUMINIUM ALLOY ALMGSi1 AFTER SIDE MILLING

Júlia MEČIAROVÁ

ABSTRACT: The choice of cutting parameters essentially influences the accuracy, efficiency and productivity of machining. The contribution is aimed at the influence determination of some cutting parameters on resulted surface roughness of aluminium alloy AlMgSi1 machined by side milling.

Key words: surface roughness, milling, cutting parameters

ABSTRAKT: Výber vhodných rezných parametrov významne ovplyvňuje presnosť, efektivitu a produktivitu obrábania. Príspevok sa zaoberá určením vplyvu vybraných rezných parametrov na výslednú drsnosť obrobeného povrchu zliatiny hliníka AlMgSi1 po operácii frézovania.

Kľúčové slová: drsnosť povrchu, frézovanie, rezné parametre

1. ÚVOD

Frézovanie patrí medzi základné metódy obrábania, ktorej výhodou je vysoká produktivita pri zachovaní vysokého stupňa presnosti. Kým pri operácii hrubovania sa kladie dôraz na čo najväčší objem odoberaného materiálu za jednotku času, pri obrábaní na čisto a jemnom dokončovaní ide najmä o dodržanie predpísaných kvalitatívnych parametrov obrábanej plochy. Trendom technológie obrábania je presné obrábanie, pri ktorom sa zvyšujú požiadavky na presnosť povrchovej plochy, ale i na vlastnosti povrchovej vrstvy.

Jednou zo základných požiadaviek je, aby sa kvalita obrobenej plochy pohybovala v rozsahu určitých zadaných hodnôt, ktoré je možné na rôznych strojoch nezávisle na čase a mieste bezpečne a v ľubovoľnom počte opakovane dosahovať. V praxi nie je žiadny povrch dokonale rovný; štruktúra a drsnosť každej plochy by sa ale mali pohybovať v určitých zadaných medzných hodnotách.

Na kvalitu obrobeného povrchu významne vplýva množstvo parametrov (SANDVIK Coromant, 1997):

- stroj (stabilita, prostredie obrábania, použitie procesnej kvapaliny, technický stav, príkon, tuhosť),

- nástroj (stabilita, vyloženie, geometria nástroja, opotrebovanie rezného klina, rezný materiál, utváranie triesky, teplota rezného klina),
- obrobok (upnutie, materiál obrobku, obrobiteľnosť materiálu, tolerancie),
- tuhosť a pevnosť celej sústavy stroj – nástroj – obrobok – prípravok,
- technologické podmienky (rezná rýchlosť, posuv, polomer hrotu, hĺbka rezu),
- metóda obrábania (frézovanie – súbežné, protibežné) a i.

2. MATERIÁL A METÓDY

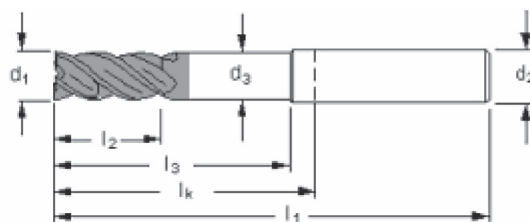
Východiskom pre výskum vplyvu vybraných technologických podmienok na výslednú drsnosť povrchu bola príprava 6 ks vzoriek rozmerov (50 × 50 × 120) mm.

Materiálom vzoriek bola zvolená zliatina hliníka AlMgSi1. Zliatiny hliníka s horčíkom a kremíkom sú komplexné zliatiny, v ktorých býva vždy i malé množstvo mangánu, železa, príp. meď. Zliatiny AlMgSi sú vhodné na tvárnenie a zváranie, majú dobrú koróznú odolnosť a schopnosť povrchových úprav. Chemické zloženie materiálu vzoriek (odpovedajúce norme DIN 1725 – 3.2315) je v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Chemické zloženie AlMgSi1 [%]

Si	Mg	Mn	Fe	Cr	Zn	Cu	Ti	Iné
0,7–1,3	0,6–1,2	0,4–1	0,5	0,25	0,2	0,1	0,1	0,05

Na realizáciu experimentu bola ako rezný nástroj použitá stopková fréza HM (hard metal = tvrdokov) priemeru 16 mm. Jednotlivé parametre nástroja znázorňuje obrázok 1.



d ₁ h10 mm	l ₂ mm	l ₃ mm	d ₃ mm	l ₁ mm	l _k mm	d ₂ mm	z	cena Eur
16	32	42	15,2	92	44	16	4	199

Obrázok 1 Parametre nástroja (Walter AG, 2009)

Každá vzorka bola na jednej strane obrobená súbežným frézovaním, druhá strana bola vytvorená protibežným frézovaním. V tabuľke 2 sú jednotlivé premenné parametre vzoriek.

Tabuľka 2 Premenné hodnoty jednotlivých vzoriek

	Vzorka 1	Vzorka 2	Vzorka 3	Vzorka 4	Vzorka 5	Vzorka 6
a_p [mm]	20	25	30	20	25	30
n [min^{-1}]	4000	4000	4000	6000	6000	6000
v_f [$\text{mm}\cdot\text{min}^{-1}$]	800	800	800	1200	1200	1200



Obrázok 2 Upnutie a frézovanie vzorky
(čiara na obrobnku znázorňuje líniu, v ktorej sa merala drsnosť povrchu)

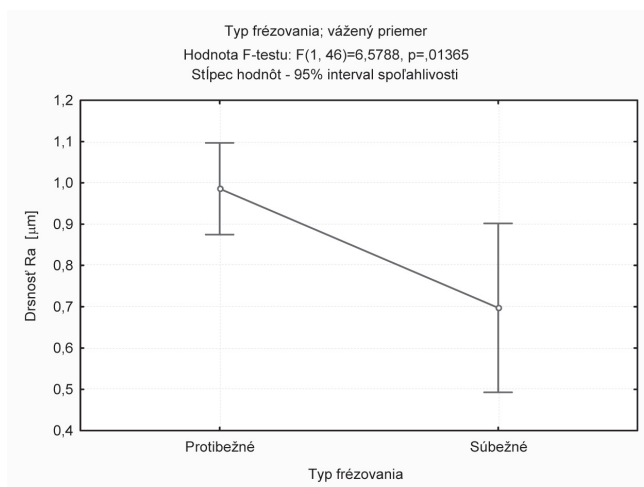
Konštantnými sú nasledovné parametre:

- radiálna hĺbka rezu: $a_e = 5$ mm,
- posuv na zub: $f_z = 0,05$ mm,
- použitá procesná kvapalina (TRIM C370).

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Experimentálne zistené hodnoty drsnosti povrchu, v závislosti od typu frézovania, jednoznačne ukázali, že presnejšia je metóda súbežného frézovania, kde sa dosiahli nižšie hodnoty na piatich vzorkách. Tento fakt potvrdzujú aj hodnoty F-testu (pozri obrázok 3). Len na vzorke 2 bolo protibežné frézovanie presnejšie.

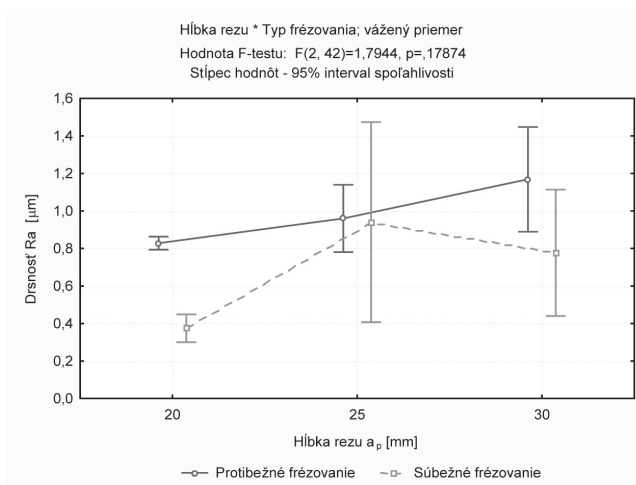
Pri súbežnom frézovaní dosahovali hodnoty drsnosti povrchu $0,261$ μm až $1,931$ μm , pri protibežnom frézovaní $0,771$ μm až $1,527$ μm .



Obrázok 3 Závislosť drsnosti povrchu od typu frézovania

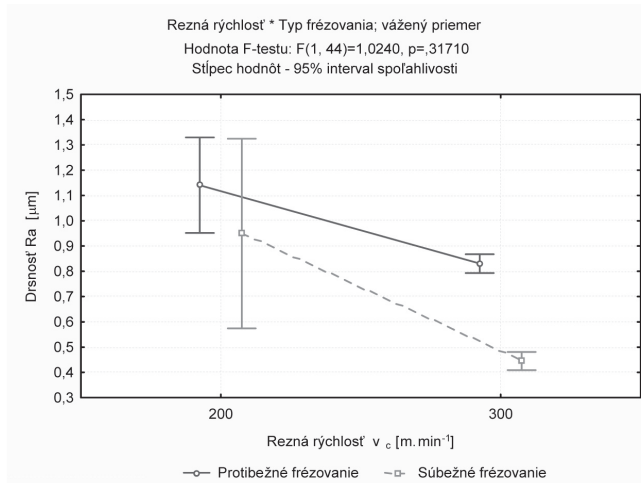
Vplyv hĺbky rezu a_p na drsnosť povrchu (obrázok 4) má očakávaný priebeh, kedy so zvyšujúcou sa hĺbkou rezu a_p rastie aj drsnosť obrobeného povrchu a to pri oboch spôsoboch frézovania. Aj keď zo štatistického hľadiska hodnoty F-testu nesvedčia o veľkej významnosti kombinácie týchto parametrov, zistili sa významné skutočnosti.

Pri protibežnom frézovaní sa síce intervaly spoľahlivosti pri všetkých hodnotách hĺbky rezu a_p prekrývajú, priemerné hodnoty sú však od seba dostatočne vzdialené – v okrajových hodnotách nasledujúcej hĺbky rezu a_p . Dôležitý je najmä rozdiel v hodnotách hĺbky rezu $a_p = 20$ mm. V nasledujúcich dvoch hodnotách sa intervaly spoľahlivosti výrazne prekrývajú. Na túto skutočnosť vo veľkej miere vplyva opäť meranie drsnosti na vzorke 2.



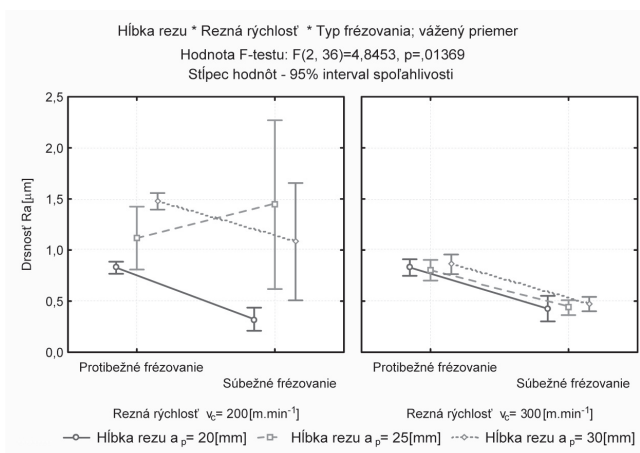
Obrázok 4 Závislosť drsnosti povrchu od hĺbky rezu

Závislosť drsnosti povrchu od reznej rýchlosti v_c prezentuje obrázok 5. Potvrdil dôležitosť výberu reznej rýchlosti, ktorá, ak je vhodne zvolená, priaznivo ovplyvňuje kvalitu obrobenej plochy. Pri reznej rýchlosti $v_c = 200 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ sa intervaly spoľahlivosti nameraných hodnôt sice prekrývajú, ale priemerná hodnota súbežného frézovania je na okraji intervalu hodnôt frézovania protibežného.



Obrázok 5 Závislosť drsnosti povrchu od reznej rýchlosti

Rovnako sú široké intervalov spoľahlivosti oboch typov frézovania pri hodnote reznej rýchlosti $v_c = 200 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ nepomerne širšie ako pri $300 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. To nasvedčuje skutočnosti, že obrábanie pri tejto reznej rýchlosti je málo stabilné a pri danom type nástroja, materiálu a posuvu na zub nevhodné. Rezná rýchlosť $v_c = 300 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ zlepšuje výslednú kvalitu obrobenej plochy. Rovnako je aj výrazný rozdiel medzi frézovaním protibežným a súbežným.



Obrázok 6 Závislosť drsnosti povrchu od hĺbky rezu, reznej rýchlosti a typu frézovania

Na obrázku 6 je komplexne analyzovaný vplyv jednotlivých faktorov na drsnosť obrobenej plochy. Jednoznačne sa prejavil fakt, že nižšie volená rezná rýchlosť sa nepriaznivo podieľa na kvalite obrobenej plochy pri oboch typoch frézovania pri hĺbkach rezu vyšších ako 20 mm. Pri hĺbke rezu 25 mm dokonca protibežné frézovanie vykazovalo vyššiu kvalitu povrchu než súbežné. Preto je možné konštatovať, že technologické parametre obrábania sú pri vzorke č. 2 nevhodne zvolené.

Pri reznej rýchlosti $300 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ možno plne profitovať z výhod súbežného frézovania (priemerná hodnota $R_a = 0,45 \text{ mm}$), kedy dosiahnutá kvalita povrchu je až o 46 % vyššia v porovnaní s protibežným (priemerná hodnota $R_a = 0,83 \text{ mm}$). Trend vplyvu hĺbky rezu má očakávaný stúpajúci charakter, ktorý však štatisticky nie je významný.

4. ZÁVER

Výsledky experimentu ukázali dôležitosť výberu vhodných technologických parametrov v procese obrábania hliníkových zliatin. Tie by mali byť optimálne navrhnuté tak, aby bola dosiahnutá predpísaná kvalita obrobenej plochy pri čo najnižších nákladoch. V príspevku bol analyzovaný vplyv vybraných technologických parametrov na drsnosť povrchu hliníkovej zliatiny AlMgSi1 po operácii frézovania. Zvyšovaním reznej rýchlosti drsnosť obrobenej plochy klesá. Naopak, so zvyšovaním hĺbky rezu drsnosť povrchu rastie. Experimenty potvrdili skutočnosť, že súbežné frézovanie je pre tento typ nástroja, materiál obrobku a technologické parametre vhodnejšie, keďže sa ním docielila lepšia integrita povrchu. Táto skutočnosť však platí všeobecne. Pre komplexnejšie porozumenie danej problematike bude vhodné preskúmať ešte vplyv posuvu na zub, rovnako aj vplyv vyváženia nástroja na výslednú kvalitu obrobenej plochy.

LITERATÚRA

SANDVIK Coromant. 1997. Příručka obrábění – kniha pro praktiky. Praha: Scientia, 1997, 857 s. ISBN 91-97 22 99-4-6.
produktový katalóg firmy Walter AG, 2009.

Kontaktná adresa:

Ing. Júlia Mečiarová, PhD.

Katedra výrobných technológií a materiálov
FEVT TU vo Zvolene
Študentská 26
960 53 Zvolen

VYUŽITIE SOFTVÉRU PRI SPRACOVANÍ KMITANIA NÁPRAVY LKT 81T

SOFTWARE APPLICATION FOR VIBRATION DATA PROCESSING OF LKT 81T FRONT AXLE

Marián MINÁRIK

ABSTRACT: The contribution is aimed at a mathematical model creation of function, which describes the speed and trajectory lines of LKT 81T front axle. For data processing, two software have been used NI LabVIEW SignalExpress and Microsoft Excel. The end of paper contains the comparison of results.

Key words: quadrature, vibration, numerical mathematics, test road

ABSTRAKT: Príspevok sa venuje zostaveniu matematického modelu funkcie, ktorá popisuje priebeh rýchlostí a dráhy prednej nápravy LKT 81T. Využitý je softvér NI LabVIEW SignalExpress a Microsoft Excel. Záver príspevku obsahuje porovnanie výsledkov použitého softvéru.

Kľúčové slová: integrácia, kmitanie, numerická matematika, skúšobná dráha

1. ÚVOD

Pri riešení technických problémov sa stále častejšie stretávame s potrebou popísať skúmanú problematiku pomocou vierohodného matematického modelu. Riešené problémy sú však stále zložitejšie a tak ich výpočet býva komplikovaný. A práve tu je miesto pre numerickú matematiku, ktorá vyvíja a analyzuje metódy, na riešenie daných úloh.

Môžeme povedať, že numerické metódy postupnými aproximáciami poskytujú približné (v niektorých prípadoch však i presné) riešenie úlohy, ktorá je analyticky neriešiteľná, alebo by jej riešenie bolo značne komplikované. Časté je použitie numerických metód pri riešení zložitých sústav rovníc. Z toho vyplýva široké uplatnenie týchto metód napríklad v mechanike. Numerická matematika je teda pre ostatné vedné obory veľmi praktická, a je vyvíjaná pre riešenie konkrétnych problémov. Ďalšie použitie numerických metód: numerická derivácia, numerická integrácia, numerická kvadratura, numerická kubatura, aproximácia, interpolácia alebo optimalizácia.

Ak chceme metódami numerickej matematiky riešiť problém popísaný všeobecným matematickým modelom, musíme ho najskôr formulovať v tvare numerickej úlohy,

príčom vstupnými i výstupnými údajmi sú čísla. Numerická metóda je potom postup riešenia numerickej úlohy. Algoritmus numerickej metódy je presný popis krokov, ktorými je numerická metóda realizovaná.

Dnešná úroveň technológií si vyžaduje stále zložitejšie úlohy a objemy dát, ktoré je nutné spracovávať v jednom výpočte. Možnosť využitia rýchlosti počítačov by mala byť nápomocná pri výpočtoch v oblasti numerickej matematiky, pričom v tejto práci sú riešené priebehy rýchlostí a dráhy snímača zrýchlenia, ktorý bol umiestnený na náprave LKT 81T pri prekonávaní prekážok.

2. MATERIÁL A METÓDY

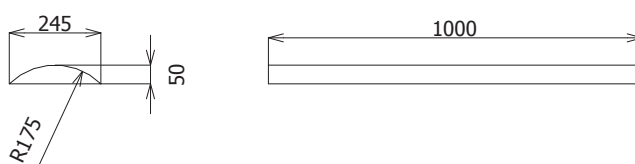
2.1 Numerická aproximácia určitého integrálu

Princíp numerických metód pre výpočet integrálu a derivácie spočíva v aproximácii funkcií, kedy funkciu f nahradíme vhodnou aproximáciou φ . Príčom platí, ak je integrovateľná funkcia φ dobrou aproximáciou funkcie f na celom intervale $\langle a, b \rangle$, je integrál z φ dobrou aproximáciou integrálu z f , pretože platí vzťah (1).

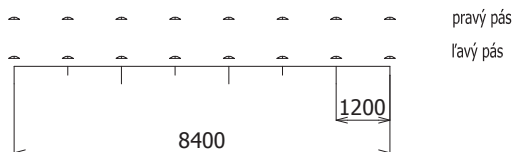
$$\left| \int_a^b f(x) dx - \int_a^b \varphi(x) dx \right| \leq \int_a^b |f(x) - \varphi(x)| dx \leq (b - a) \sup_{x \in (a, b)} |f(x) - \varphi(x)| \quad (1)$$

2.2 Skúšobná dráha

Skúšobná dráha je vytvorená z prekážok podľa obrázka (1). Prekážky sú vyrobené z dreveného reziva, vzájomne fixované z dôvodu dodržania požadovaných vzdialeností a umiestnené na pevnom podklade. Vzhľadom na rázvor kolies 2400 mm (LKT 81T) sú prekážky vzdialené medzi sebou o celistvý násobok rázvoru kolies, pričom ľavý a pravý pás nie sú vzájomne posunutý, toto usporiadanie zobrazuje obrázok (2).



Obrázok 1 Prekážka

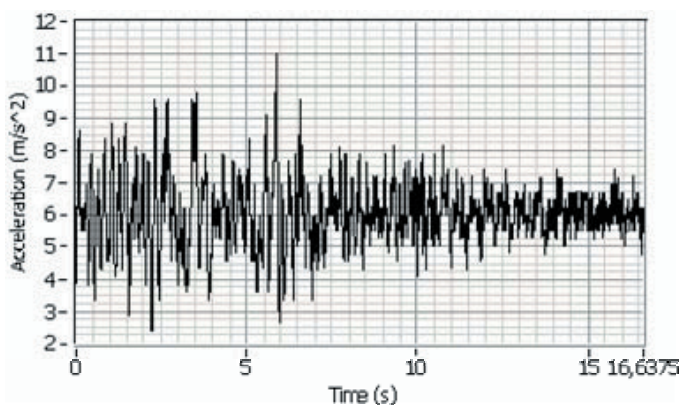


Obrázok 2 Skúšobná dráha

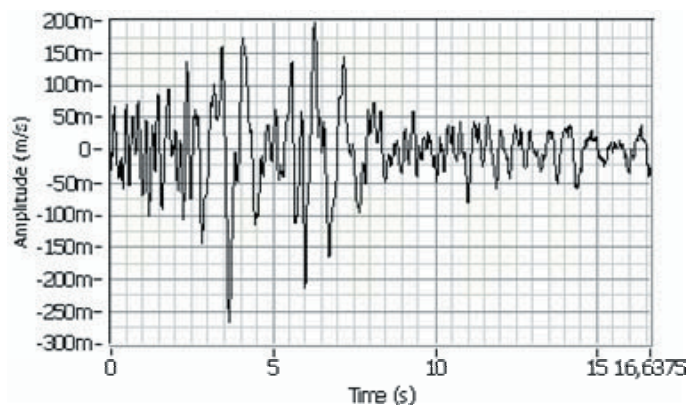
3. VÝSLEDKY

Medzi dôležité parametre pre určenie plynosti jazdy patria kmitanie, rýchlosť a dráha, pričom tieto fyzikálne parametre sú medzi sebou previazané integrálnymi (derivačnými) vzťahmi. Ak poznáme veľkosti zrýchlení, ktoré boli namerané vo zvislom smere na prednej náprave LKT 81T, môžeme vypočítať hodnoty rýchlostí a priebeh dráhy daného snímača zrýchlenia. Čo umožní porovnať priebeh skutočnej prekážkovej dráhy s vypočítanými hodnotami. Príslušné porovnanie skutočnej a vypočítanej dráhy je realizované dvomi spôsobmi.

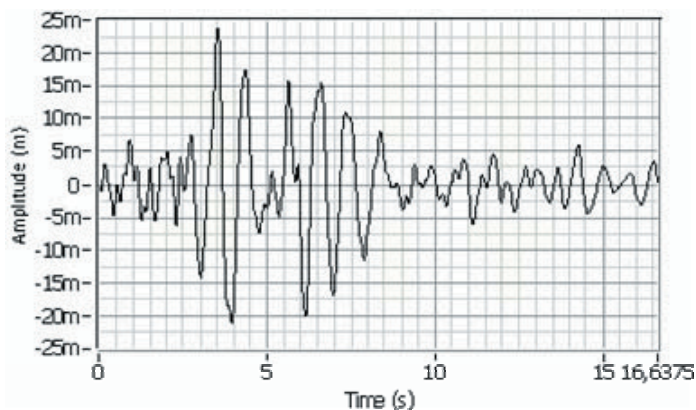
V prvom prípade je použitý softvér NI LabVIEW SignalExpress, kde po načítaní danej nameranej realizácii obrázok (3), bol použitý príslušný modul Vibration Level. V danom module je potrebné nastaviť prvú a druhú integráciu s príslušnými okrajovými podmienkami a vtedy po prebehnutí výpočtu dostaneme priebeh rýchlostí obrázok (4) a priebeh nerovností obrázok (5).



Obrázok 3 Priebeh kmitania na náprave vo zvislom smere v NI LabVIEW SignalExpress



Obrázok 4 Priebeh rýchlostí v NI LabVIEW SignalExpress



Obrázok 5 Priebeh nerovností v NI LabVIEW SignalExpress

V druhom prípade je použitý softvér Microsoft Excel. Tu je potrebné zostaviť kvadratický vzťah (3) pre približný výpočet integrálu $\int_a^b f(x)dx$ tak, že na intervale $\langle a, b \rangle$ nahradíme funkciu f interpolačným polynómom (2) s uzlami a, b .

$$\varphi(x) = \frac{x-b}{a-b} f(a) + \frac{x-a}{b-a} f(b) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \int_a^b f(x)dx &\approx \int_a^b \varphi(x)dx = f(a) \int_a^b \frac{x-b}{a-b} dx + f(b) \int_a^b \frac{x-a}{b-a} dx = \\ &= \frac{b-a}{2} f(a) + \frac{b-a}{2} f(b) = \frac{b-a}{2} (f(a) + f(b)) \end{aligned} \quad (3)$$

Zo vzťahu (3) je zrejmé, že z integrálneho výrazu získavame lineárnu závislosť funkčných hodnôt s príslušnými koeficientmi. V ďalšom kroku je potrebné ekvidištantne rozdeliť celý interval $\langle a, b \rangle$ pomocou bodov $x_n = x_0 + n \cdot h$, pričom $n \in N_0$ a h je krok kvadraturej funkcie. V danej realizácii obrázok (3) je konštantný krok $h = 0,005$, s prihliadnutím na predchádzajúce podmienky, je možné vzťah (3) upraviť nasledovným spôsobom (4).

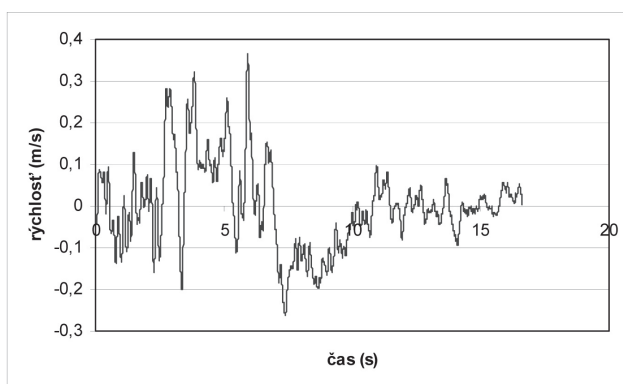
$$\int_{x_n}^{x_{n+1}} f(x)dx \approx \frac{h}{2} (f(x_n) + f(x_{n+1})) \quad (4)$$

Použitie vzťahu (4) v softvér Microsoft Excel si vyžaduje ďalšie úpravy a tie sú vzťahy (5) a (6).

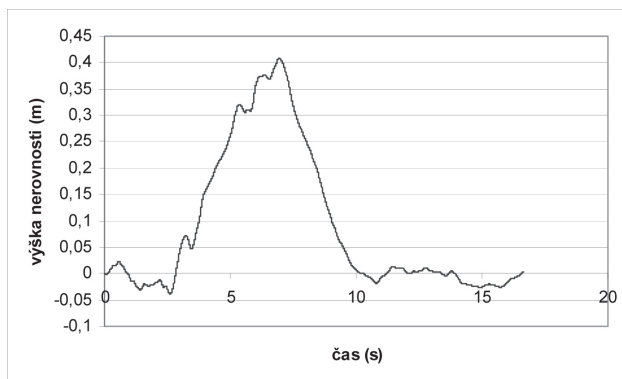
$$\int_a^b f(x)dx \approx \frac{h}{2} (f(x) + f(x+h)) + f(x-h) = \psi(x) \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
\int_a^b \left(\int_a^b f(x) dx \right) dx &\approx \frac{h}{2} (\psi(x) + \psi(x+h)) + \psi(x-h) = \\
&= \frac{h}{2} \left(\frac{h}{2} (f(x) + f(x+h)) + f(x-h) + \frac{h}{2} (f(x+h) + f(x+2h)) + f(x) \right) + \\
&+ \frac{h}{2} (f(x-h) + f(x)) + f(x+2h) = \\
&= \frac{h^2}{4} (f(x) + 2f(x+h) + f(x+2h)) + h(f(x-h) + f(x)) + f(x-2h) = x(x)
\end{aligned}
\tag{6}$$

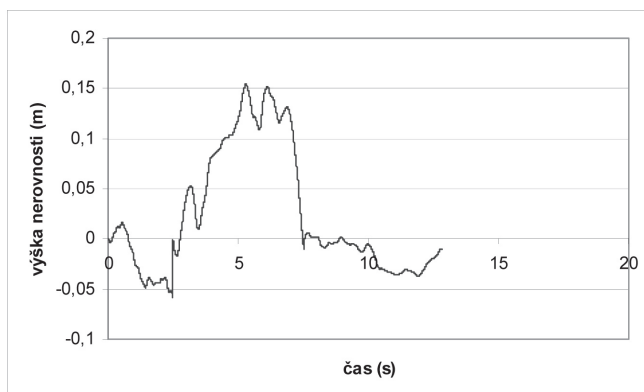
Odvođením funkcií $\psi(x)$ a $\zeta(x)$, dostávame prvú integráciu (5), čo v tejto práci vyjadruje priebeh rýchlosti prednej nápravy LKT 81T vo zvislom smere obrázok (6) a druhá integrácia (6), zobrazuje tvar skúšobnej dráhy obrázky (7) a (8).



Obrázok 6 Hodnoty rýchlostí vypočítané v Microsoft Excel



Obrázok 7 Hodnoty nerovností vypočítané v Microsoft Excel – celá realizácia



Obrázok 8 Hodnoty nerovností vypočítané v Microsoft Excel – po intervaloch

4. ZÁVER

Priebehy rýchlostí boli vypočítané pomocou funkcie $\psi(x)$ vzťah (5) a to ako aproximácia prvej integrácie. Hodnoty nerovností (dráhy) sú matematicky previazané druhou integráciou funkcie zrýchlení $f(x)$, obrázok (3), a to pomocou funkcie $\zeta(x)$ vzťah (6).

Z uvedených výsledkov je vidieť, že priebehy rýchlostí získané prostredníctvom NI LabVIEW SignalExpress obrázok (4) a Microsoft Excel obrázok (6) sú podobné.

Pri porovnaní výsledkov hodnôt nerovností obrázky (5) a (7), je možné pozorovať výrazné rozdiely. Uvedená odlišnosť, ktorú je možné vidieť na príslušných grafoch, je spôsobená chybou numerickej metódy. Pretože len pre veľmi málo prípadov je možné zvoliť presnú aproximačnú funkciu. Zároveň použitím iteračnej metódy sa príslušné chyby načítavajú, čo sa výrazne prejavilo pri druhej integrácii. Nezanedbateľné chyby vznikajú zaokrúhľovaním spracovávaných údajov, pretože počítač pracuje s číslami, ktoré majú konečný počet desatinných miest.

Pri porovnaní obrázkov (5) a (8) je zrejmé, že príslušné priebehy sú zhodnejšie, ako obrázky (5) a (7). V tomto prípade boli vstupné údaje spracované po troch subintervaloch, čo umožnilo zmenšiť chybu iterácie.

Ďalšou možnosťou ako znížiť chyby, ktoré vyplývajú z podstaty numerickej matematiky, je voľba – hľadanie presnejšej aproximačnej funkcie. Zároveň si treba uvedomiť, že zvyšovanie presnosti algoritmu vedie k zdĺhavejšiemu výpočtu, preto je potrebné zväžiť s akou presnosťou nám daný výsledok vyhovuje.

LITERATÚRA

1. BITTNAR, Z., ŠEJNOHA, J.: 1992. *Numerické metody mechaniky I*. Praha: ČVUT, 1992, 310 s. ISBN 80-01-00855-X.
2. BITTNAR, Z., ŠEJNOHA, J.: 1992. *Numerické metody mechaniky II*. Praha: ČVUT, 1992, 261 s. ISBN 80-01-00901-7.

3. MINÁRIK, M.: 2005. *Výskum interakcie lesný stroj, jeho technologické zariadenie a predmet práce*. Projekt dizertačnej práce, Zvolen, 2005, 24 s.
4. PIRČ, V., BUŠA, J.: 2002. *Numerické metódy*. Košice: TU v Košiciach, 2002, 131 s. ISBN 80-89066-25-9.
5. VITÁSEK, E.: 1994. *Základy teorie numerických metod pro řešení diferenciálních rovnic*. Praha: Academia Praha, 1994, 409 s. ISBN 80-200-0281-2.
6. Firemná literatúra a prospekty firmy ZŤS TEES Martin závod lesné traktory Trstená.
7. Manuál Microsoft Excel.
8. Manuál NI LabVIEW SignalExpress.

Kontaktná adresa:

Ing. Marián Minárik

Technická univerzita vo Zvolene

FEVT, Katedra mechaniky a strojnictva

Študentská 26

960 53 Zvolen

minarik@vsld.tuzvo.sk

VPLYV TVARU DRÁŽOK TELA NA KRITICKÉ OTÁČKY PÍLOVÝCH KOTÚČOV

THE EFFECT OF THE SHAPE OF SLOTS OF THE BODY ON CRITICAL SPEED OF A CIRCULAR SAW BLADES

Ján SVOREŇ – Lukáš MURÍN

ABSTRACT: The process of cutting by the circular saws is the most commonly used in manufacturing of wood and wood materials. The cutting itself is proceeded at high feed speed of a workpiece and high cutting speed of a circular saw blade. At present time, the asymmetric circular saw blade is the most commonly used in the cutting process. This one has some slots cut by a laser from the perimeter to the center of a circular saw blade. Such circular saw blade is advisable for decreasing of the lateral vibration amplitude during idling and cutting. The determinate informations were obtained upon experimental measurements. The effects of the shape of slots on critical speed are presented in the paper. The marked increase of the critical speed (CSB3) compared with (CSB1) and (CSB2) is in the case of $k = 3$.

Key words: circular saw blade, slot, critical speed

ABSTRAKT: Pri spracovaní dreva a drevných materiálov je najviac používaný proces rezania kotúčovými píliami. Vlastné rezanie sa realizuje pri vysokej posuvnej rýchlosti obrobku a vysokej reznej rýchlosti pílového kotúča. V súčasnosti je v procese rezania najčastejšie používaný asymetrický pílový kotúč. Tento má laserom vypálené viaceré drážky od obvodu ku stredu pílového kotúča. Taký pílový kotúč je vhodný pre zníženie amplitúdy priečného kmitania pri chode naprázdno aj v procese rezania. Na základe experimentálnych meraní boli získané určité poznatky. V článku sú uvedené vplyvy tvaru drážok na kritické otáčky, pričom v prípade $k = 3$ je značný nárast kritických otáčok (PK3) voči (PK1) a (PK2).

Kľúčové slová: pílový kotúč, drážka, kritické otáčky

ÚVOD

Pri rezaní dreva a drevných materiálov na kotúčových píliach rezancia medzi vlastnou uhlovou frekvenciou pílového kotúča a vybudenou frekvenciou priamo od kolísajúcej reznej sily zapríčiňuje nárast jeho priečného kmitania. Kmitanie a hluk pílových kotúčov

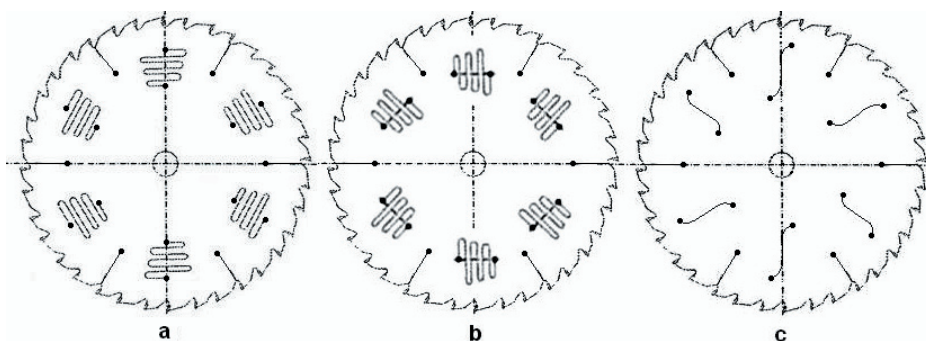
sú základné problémy nestability nástroja v procese rezania. Zníženie amplitúdy kmitov je nevyhnutné pre zlepšenie kvality obrobeného povrchu, dosiahnutia presnosti určených rozmerov obrobku a zvýšenia výťažnosti materiálu. K obmedzeniu pískania a priečneho kmitania pílového kotúča boli dosiaľ zavedené niektoré metódy, ktoré sú:

- predpínanie pílového kotúča valcováním,
- použitie vysoko tlmiacej zliatiny na telo pílového kotúča,
- tlmenie kmitania prúdom vzduchu,
- vedenie pílového kotúča,
- rezanie drážok do tela pílového kotúča laserovým lúčom.

V súčasnom drevárskom priemysle je najčastejšie používaný asymetrický pílový kotúč, v ktorom sú vyrobené viaceré drážky. Vplyvy dĺžky a počtu drážok na tvary priečneho kmitania, vlastné uhlové frekvencie a kritické otáčky boli skúmané vo viacerých výskumných prácach. Niektoré z týchto prác môžeme spomenúť (Yu a Mote, 1987; Holøyen, 1987; Nishio a Marui, 1996; Svoreň a Naščák, 1997; Raman a Mote, 1999; Stakhiev, 2000; Svoreň, 2001; Svoreň a Danko 2004). Napriek mnohým výskumným prácam neboli úplne ešte vysvetlené všetky možné vplyvy, čo podmieňuje ďalší základný výskum.

1. MATERIÁL A METÓDY

Pri experimentálnych meraniach boli použité tri pílové kotúče. Prvý pílový kotúč (PK1) mal v tele pomocou laseru vyrezané kompenzačné drážky v radiálnom smere a nerovnomerný rozstup zubov (obr. 1a). Druhý pílový kotúč (PK2) mal v tele pomocou laseru vyrezané kompenzačné drážky v tangenciálnom smere a nerovnomerný rozstup zubov (obr. 1b). Tretí pílový kotúč (PK3) mal v tele pomocou laseru vyrezané kompenzačné drážky v tvare písmena „S“ a nerovnomerný rozstup zubov (obr. 1c). Nerovnomerný rozstup zubov sa opakoval po 1/6 obvodu pílového kotúča. Zuby pílových kotúčov sú osadené doštičkami zo spekaného karbidu a sú striedavo šikmo brúsené. Konštrukčné rozdiely použitých pílových kotúčov sú znázornené na obr. 1.



Obrázok 1 Použité pílové kotúče

Tabuľka 1 Základné parametre použitých pílových kotúčov

Parametre	PK1	PK2	PK3
Priemer pílového kotúča, mm	350	350	350
Priemer upínacej diery, mm	30	30	30
Počet zubov	36	36	36
Hrúbka tela pílového kotúča, mm	2,4	2,4	2,4
Šírka reznej hrany, mm	4,5	4,5	4,5
Výška zuba, mm	13	13	13
Tvar kompenzačných drážok	radiálny	tangenciálny	písmeno „S“
Rozstup zubov	nerovnomerný		
Geometria zuba	$\alpha_r = 15^\circ$		
	$\beta_r = 65^\circ$		
	$\gamma_r = 10^\circ$		
Typ zuba	WZ		

Metódy merania vychádzajú z teórie kmitania otáčajúceho sa pílového kotúča. Vlastná uhlová frekvencia otáčajúceho sa pílového kotúča f_d je ovplyvnená existujúcou uhlovou rýchlosťou. Teda frekvencia f_d je funkciou otáčok pílového kotúča n a môžeme ju napísať ako $f_d(n)$. Frekvencie dopredu postupujúcej a dozadu postupujúcej vlny sú potom vyjadrené ako rovnice:

$$\text{dopredu postupujúca vlna: } f_1 = f_d(n) + \frac{k \cdot n}{60} \quad (1)$$

$$\text{dozadu postupujúca vlna: } f_2 = f_d(n) - \frac{k \cdot n}{60} \quad (2)$$

V prípade, že sa otáčky pílového kotúča zvyšujú, frekvencia dozadu postupujúcej vlny sa v určitých pracovných otáčkach (okrem prípadov, keď počet uzlových priemerov $k = 0$ a1) rovná nule. Tieto pracovné otáčky sa nazývajú „kritické otáčky“. Pri týchto kritických otáčkach sa uhlová rýchlosť pílového kotúča rovná rýchlosti vlny v pílovom kotúči a dozadu postupujúca vlna sa javí akoby v priestore stála. To je rezonančný bod, kedy aj malá bočná sila zapríčini veľké priečne vybočenie pílového kotúča. Z rovnice (2) je možné potom odvodiť nasledujúcu rovnicu:

$$n_k = \frac{60 \cdot f_d(n)}{k} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (3)$$

V dôsledku odstredivej sily sa vlastná uhlová frekvencia otáčajúceho pílového kotúča parabolicky zvyšuje s narastajúcimi pracovnými otáčkami. Vzťah medzi vlastnou uhlovou frekvenciou otáčajúceho sa pílového kotúča a otáčkami je vyjadrený rovnicou:

$$f_d(n)^2 = f_{(n=0)}^2 + \lambda \cdot \left(\frac{n}{60}\right)^2 \quad [\text{Hz}] \quad (4)$$

Dosadením rovnice (4) do rovnice (3) dostaneme po úprave rovnicu pre kritické otáč-
ky:

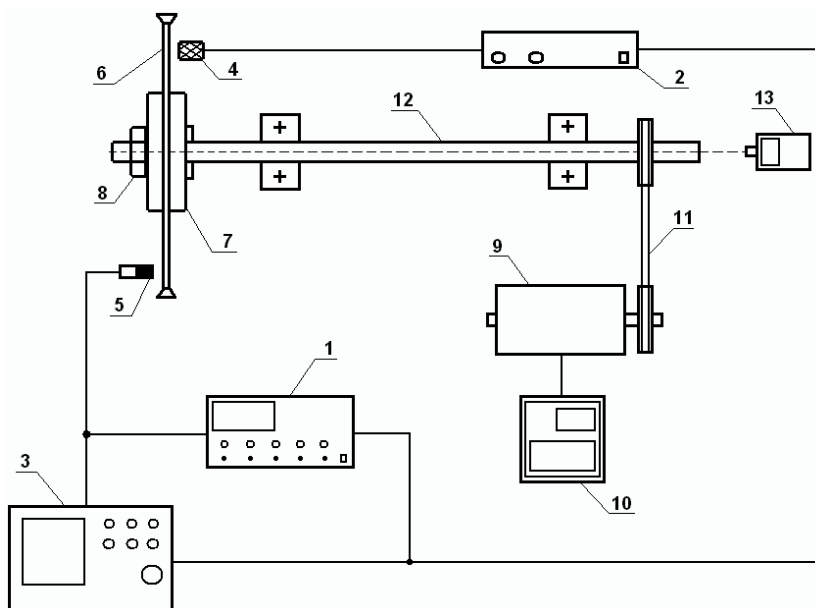
$$n_k = \frac{60 \cdot f_{(n=0)}}{\sqrt{k^2 - \lambda}} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (5)$$

$f_{(n=0)}$ – vlastná uhlová frekvencia kmitov pílového kotúča v pokoji, t.j. keď $n = 0$,

k – počet uzlových priemerov ($k = 1; 2; 3; 4; 5 \dots$),

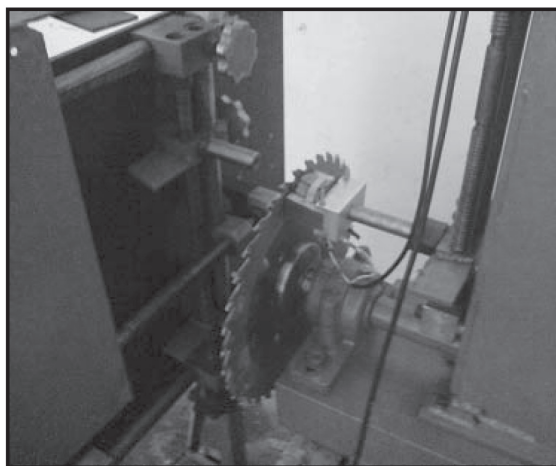
λ – koeficient odstredivej sily.

Vlastné uhlové frekvencie kmitov neotáčajúcich sa pílových kotúčov $f_{1,(n=0)}$ a $f_{2,(n=0)}$ boli experimentálne určené pre $k = 1; 2; 3$ na meracej aparatúre, ktorá je popísaná v práci Svoreň (2001). Koeficienty odstredivej sily λ sa vypočítavali podľa rovnice (4) na základe experimentálne nameraných frekvencií dozadu postupujúcej vlny f_2 (pozri rovnicu 2). Pri experimentálnych meraniach boli použité upínacie príruby s priemerom: $\varnothing d_{p1} = 110 \text{ mm}$ – upínací pomer ($\alpha = 0,314$). Pracovné otáčky pri ktorých sa vykonali experimentálne merania boli v rozsahu $n_p = (2700 \div 3500) \text{ min}^{-1}$ s nárastom po 200. Na meranie frekvencií dozadu postupujúcej vlny f_2 sa použila vybudovaná meracia aparatúra, ktorej bloková schéma zapojenia prístrojov je znázornená na obr. 2 a pohľad na časť meracej aparatúry je na obr. 3.



Obrázok 2 Bloková schéma zapojenia prístrojov pre meranie frekvencií dozadu postupujúcej vlny (f_2)
otáčajúcich sa pílových kotúčov

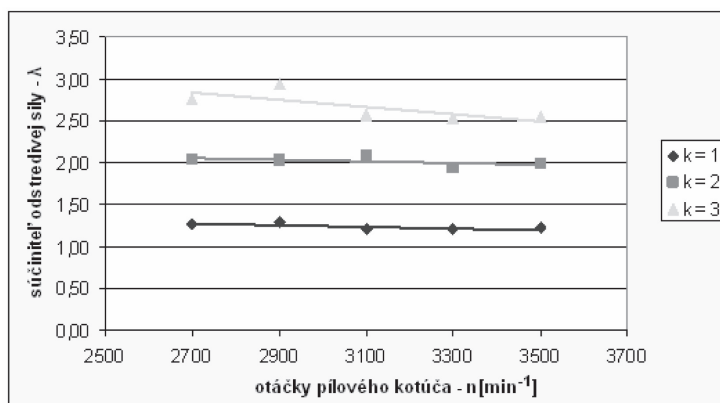
1 – tónový generátor a počítač frekvencie, 2 – zosilňovač, 3 – osciloskop, 4 – elektromagnetický budič, 5 – snímač kmitov, 6 – pílový kotúč, 7 – upínacie príruby, 8 – matica, 9 – elektromotor, 10 – frekvenčný menič, 11 – remeňový prevod, 12 – hriadeľ, 13 – bezkontaktný otáčkomer



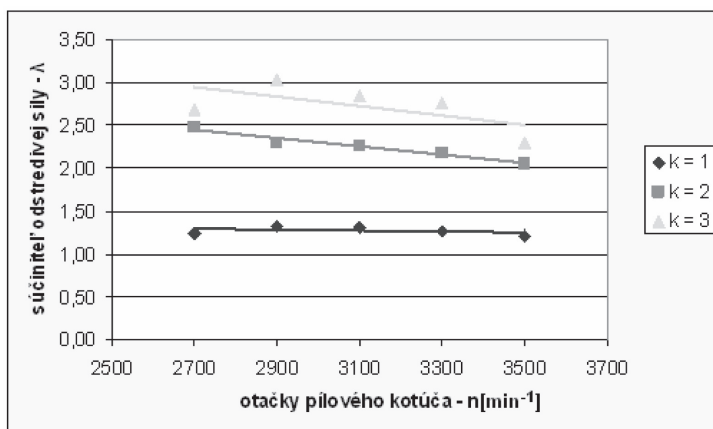
Obrázok 3 Pohľad na časť meracej aparatúry

2. VÝSLEDKY MERANIA A DISKUSIA

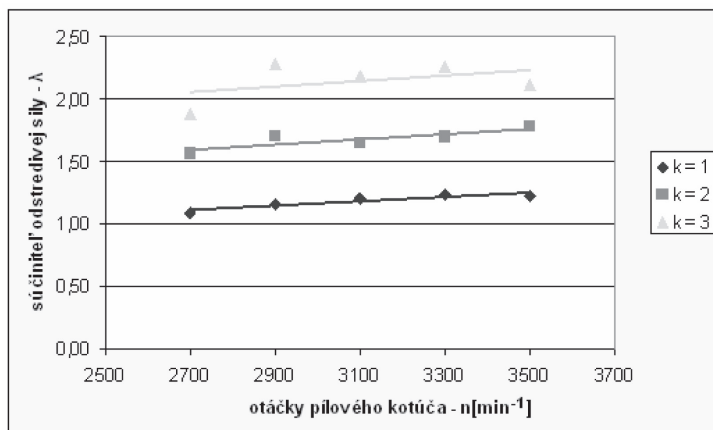
Koeficienty odstredivej sily λ pre uvedené pílové kotúče boli vypočítané na základe nameraných hodnôt frekvencií $f_{1, (n=0)}$ a frekvencií f_2 pre jednotlivé pracovné otáčky podľa rovnice (4). Z vypočítaných koeficientov sa pre každý uzlový priemer $k = 1; 2; 3$ určila stredná hodnota. Grafické znázornenie výsledkov meraní je na obr. (4 ÷ 7). Kritické otáčky uvedených pílových kotúčov sa vypočítali podľa rovnice (5) a sú uvedené v tabuľke 2.



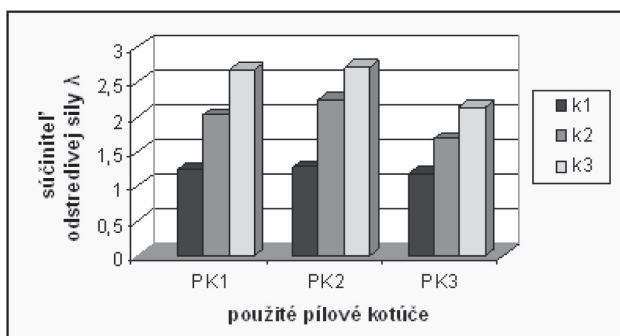
Obrázok 4 Graf závislosti súčiniteľa odstredivej sily λ od otáčok pre pílový kotúč 1 – radiálny



Obrázok 5 Graf závislosti súčiniteľa odstredivej sily λ od otáčok pre pílový kotúč 2 – tangenciálny



Obrázok 6 Graf závislosti súčiniteľa odstredivej sily λ od otáčok pre pílový kotúč 3 – v tvare písmena „S“



Obrázok 7 Graf porovnania koeficientu odstredivej sily λ pre všetky tri pílové kotúče

Tabuľka 2 Vypočítané hodnoty kritických otáčok pílových kotúčov

Upínací pomer $\alpha = 0,314$									
k	$f_{1,(n=0)}$ [Hz]			λ			n_k [min^{-1}]		
	PK1	PK2	PK3	PK1	PK2	PK3	PK1	PK2	PK3
1	109	109	107	1,24	1,27	1,18	–	–	–
2	141	137	146	2,02	2,25	1,68	6006	6213	5749
3	231	229	246	2,67	2,72	2,14	5507	5484	5636

Z experimentálnych meraní vplyvu tvaru drážok tela pílových kotúčov na kritické otáčky vyplývajú nasledovné závery:

- vplyv drážok na koeficient odstredivej sily λ je výrazný pre uzlové priemery $k = 1; 2; 3$,
- pre $k = 2; 3$ je pokles hodnôt λ pre pílový kotúč (PK3) voči (PK1 a PK2),
- koeficient odstredivej sily λ je nezávislý na otáčkach pílového kotúča,
- pre sledované uzlové priemery $k = 2; 3$ je v prípade $k = 2$ značný pokles kritických otáčok (PK3) voči (PK1) a (PK2), ale v prípade $k = 3$ značný nárast kritických otáčok (PK3) voči (PK1) a (PK2).

ZÁVER

Laserové rezanie drážok do tela pílového kotúča ovplyvňuje jeho kmitanie pri chode naprázdno aj v procese rezania. Pri rovnakých rozmeroch pílových kotúčov sú kritické otáčky závislé od tvaru kompenzačných drážok v tele pílového kotúča. V konštrukčnom návrhu kotúčovej píly musíme zohľadniť minimálne kritické otáčky pílového kotúča a musíme sa im vyhnúť. Použitie pílových kotúčov s drážkami zvyšuje v praxi kvalitu pracovného prostredia z hľadiska hlučnosti.

LITERATÚRA

- HOLØYEN, S.: 1987. Vibrations and natural frequencies of angular slot circular saws. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 45, 1987, s. 101–104.
- NISHIO, S., MARUI, E.: 1996. Effects of Slots on the Lateral Vibration of a Circular Saw Blade. *Proceedings of Tenth Wood Machinig Seminar*, 1996, s. 159–168.
- RAMAN, A., MOTE, C.D.: 1999. Non – linear oscillations of circular plates near a critical speed resonance. *International Journal of Non – Linear Mechanics*, 34, 1999 s. 139–157.
- STAKHIEV, Y. M.: 2000. Today and tomorrow circular sawblades: Russian version. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 58, 2000, s. 229–240.
- SVOREŇ, J., NAŠČÁK, L.: 1997. Vplyv drážok tela pílových kotúčov na rezonančné a kritické otáčky. *Acta Facultatis Technicae*, 1, 1997, č. 1, s. 93–99. ISBN 80-228-0706-0.
- SVOREŇ, J.: 2001. Vlastné statické frekvencie kmitov pílových kotúčov s kompenzačnými drážkami. In: *Zborník prednášok z Medzinárodnej vedeckej konferencie, Sekcia č. 1, Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese*. Vydavateľstvo TU vo Zvolene, 2001, S. 185–189. ISBN 80-228-1061-4.
- SVOREŇ, J., DANKO, P.: 2004. Vplyv drážok tela na kritické otáčky pílových kotúčov. *Acta Facultatis Technicae*, VIII, 2004 Č.1, S. 13–19. ISBN 80-228-1517-9, ISSN 1336-4472.

YU, R. C., MOTE, C. D.: 1987. Vibration of Circular saws Containing Slots. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 45, 1987, s. 155–160.

Výsledky boli získané v rámci riešenia grantového projektu KDSZ VGP – č. 1/0022/09.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ján Svoreň, CSc.

Katedra drevárskych strojov a zariadení, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene,
Ul. T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen,
Slovenská republika
e-mail: svoren@vsld.tuzvo.sk

Ing. Lukáš Murín

Katedra drevárskych strojov a zariadení, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene,
Ul. T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen,
Slovenská republika
e-mail: alsvartr@pokec.sk

SIMULÁCIA MODELOV NA ROZPOZNÁVANIE OBJEKTOV V ŠPECIÁLNYCH OBRAZOCH

MODELS SIMULATION FOR OBJECT RECOGNITION IN SPECIAL IMAGES

Mária HRČKOVÁ – Jozef ŠURIANSKY

ABSTRACT: There are three types of models described in the article. They are used for object recognition in special images. There are: geometrical model, statistical model and transformation. Experiments have been realised with aforementioned models, enabling to compare the designed models and lay down possibilities of its further utilisation once evaluated.

Key words: model, image, object, symptom, transformation

ABSTRAKT: V článku sú popísané tri druhy modelov, ktoré sú určené na rozpoznávanie objektov v špeciálnych obrazoch. Sú to model geometrický, model štatistický a model transformačný. S uvedenými modelmi boli realizované experimenty, ktoré po vyhodnotení umožnili porovnať navrhnuté modely a stanoviť možnosti ich ďalšieho využitia.

Kľúčové slová: model, obraz, objekt, príznak, transformácia

1. ÚVOD

Zrak umožňuje ľuďom vnímať prostredie okolo nich vo forme obrazov, ktorým dokážu ľahko porozumieť. V technickej oblasti je snaha túto činnosť napodobniť. Aj s použitím najmodernejšej výpočtovej techniky tento cieľ nie je jednoduché dosiahnuť. Pre počítačové videnie, ktoré sa touto problematikou zaoberá býva veľkým problémom identifikácia obsahu obrazu. Ľudia ľahko rozlíšia objekty v obraze, ale práve toto býva veľkým problémom pre počítačové videnie. K rozvoju techník spracovania obrazu dochádza predovšetkým z hľadiska spracovania obrazových dát z pohľadu uskladnenia, prenosu a ich reprezentácie pre strojové spracovanie a taktiež z dôvodu zvýšenia kvality obrazov určených na interpretáciu ľuďom. Systémy číslicového spracovania obrazov získavajú obrázky pomocou rôznych druhov senzorov. Takto získané obrázky sú často neplnohodnotné a sú následne upravované tak, aby sa vylepšila ich kvalita. Úpravy je možné realizovať viacerými spôsobmi: redukciou šumu, redukciou rozmazania vzniknutého pohybom, úpravami jas a kontrastu, zaostrením atď. Hovoríme o predspracovaní obrazu. V mnohých

prípadoch sú však dosiahnuté výsledky predspracovania len čiastočné a sú prípady, keď metódy predspracovanie nie je možné zrealizovať. Obyčajne je to z dôvodu nedostatku času, prípadne z dôvodu výkonnostných parametrov výpočtových systémov. V týchto prípadoch sa obraz musí spracovávať a vyhodnocovať aj s prípadnými chybovými vplyvmi. Následne sa pristúpi k rozpoznávaniu obrazu. Podľa zvolenej techniky rozpoznávania sa uskutočňujú s obrazom ďalšie operácie ako hľadanie hrán, segmentácia atď. Vo väčšine prípadov sú postupy spracovania obrazových signálov realizované v časovej oblasti. Niekedy takto navrhnuté metódy nedávajú očakávané výsledky. Jedným z možných riešení sa ukázala možnosť pracovať s obrazmi v oblasti frekvenčnej.

2. MATERIÁL A METÓDY

Pri analýze obrazu obyčajne zohľadňujeme cieľ, ktorý chceme dosiahnuť. Pri technických aplikáciách sa často vyskytuje požiadavka rozpoznania objektov v špeciálnych obrazoch. Jedným z riešení je nájsť vhodný model, pomocou ktorého sme schopní objekt s čo najväčšou presnosťou popísať. Modely vo všeobecnosti môžu byť rôzneho druhu. Pri ich tvorbe sa využívajú širokospektrálne informácie získané z obrazu. Ich charakter môže byť rôznorodý. Najčastejšie sa jedná o informácie geometrické, informácie o plochách, štatistické informácie, informácie o polohe objektov, informácie získané aplikáciou transformácií a pod. Vhodnosť modelu je výrazne ovplyvnená charakterom objektu a prostredím, v ktorom sa objekt nachádza. My sme hľadali modely, ktoré by umožňovali prácu s obrazmi obsahujúcimi plastové objekty – konkrétne PET fľaše. Bol navrhnutý celý rad modelov, ktoré boli experimentálne overované. Pri návrhu modelov sme vychádzali z požiadavky, ktorú sme si stanovili a to, aby každý z modelov bol založený na diametrálne inom prístupe. Výsledkom bol návrh troch typov modelov: modelu geometrického, modelu štatistického a modelu transformačného. Ich realizácia bola uskutočnená v prostredí Matlab.

Geometrický model

Východiskom na jeho zhotovenie boli charakteristiky tvaru tzv. príznaky, pomocou ktorých klasifikátor v procese rozhodovania bude schopný obrazy obsahujúce objekty zaradiť do triedy. Na základe vybraných vhodných príznakov sa určí príznakový vektor vzoru tzv. etalón. V procese identifikácie sa obdobne určí príznakový vektor vyhľadaného objektu v obraze, ktorý je v danom okamihu spracovávaný. Veľkosť príznakového vektora nie je jednoznačne daná. Príznakový vektor môže obsahovať ľubovoľný počet príznakov. Druh zvoleného príznaku závisí aj od typu objektu nachádzajúceho sa v obraze. Pre plastovú PET fľašu škála geometrických príznakov môže byť široká. Ako geometrický príznak môžeme určiť: výšku telesa, šírku telesa, šírku telesa v $\frac{1}{4}$, šírku telesa v $\frac{1}{2}$, uhlopriečku, obsah telesa, obvod telesa atď. Pri overovaní geometrického modelu sme zvolili štyri základné geometrické príznaky: výška, šírka, uhlopriečka a počet obrysových bodov objektu (Obrázok 1).



Obrázok 1 Určenie výšky, šírky, uhlopriečky

Určenie príznaku výšky vychádza zo stanovenia výskytu pozície prvého bodu obrýsu a posledného bodu obrýsu vzhľadom na jednotlivé riadky obrazu. Ich rozdielom bola získaná samotná výška. Uvažovaný bol aj prípad získania hodnoty výšky pomocou reťazcového kódu, ktorým by sa popisali jednotlivé hrany tvoriace obrýs objektu. Reťazcový kód sa skladá z postupnosti čísel: 0, 2, 4, 6, kde číslo 2 vyjadrovalo zvislý smer hranice. Spočítaním všetkých výskytov je možné zistiť výšku objektu. Tento spôsob nebol využitý vzhľadom na vyššiu časovú náročnosť a taktiež z dôvodu pomerne výraznej degradácie obrýsu obrazu, ktorá nastala jeho popisáním reťazcovým kódom, ktorý popisuje len základné smery hrany. Keby reťazcový kód popisoval aj malé zmeny smeru bol by veľmi zložitý a úlohu by výrazne skomplikoval. Príznak šírky bol stanovený určením horizontálnej vzdialenosti tých bodov obrýsu, ktoré sú z pohľadu stĺpcov v obraze umiestnené na prvej pozícii zľava a na prvej pozícii sprava. Po vyhodnotení týchto vzdialeností pre jednotlivé riadky v obraze sa za šírku zobrala najväčšia zistená vzdialenosť. Príznak uhlopriečky vyjadruje vzdialenosť od pravého horného vrcholu po ľavý dolný vrchol. Pozície uvedených vrcholov boli zistené z obrýsu objektu. Samotný výpočet bol zrealizovaný pomocou Pytagorovej vety. Príznak obrýs vyjadruje súčet všetkých bodov, u ktorých sa predpokladá, že tvoria obrýs obrazu. Bod je zaradený ako obrýsový po vykonaní kontroly jeho pozície v riadku. Vo všeobecnosti sa pri určovaní všetkých príznakov kladie dôraz na to, aby body, ktoré sú východiskom pri ich počítaní tvorili obrýsovú hranu a nie vnútornú hranu objektu. Obdobným spôsobom by bolo možné zistiť aj ďalšie príznaky objektu.

Štatistický model

Implementovaním teórie Markovových reťazcov do problematiky rozpoznávania obrazov bol ako ďalší vytvorený tzv. štatistický model. Jeho princíp spočíva vo vytvorení matice pravdepodobností prechodov. Výsledkom je, že nepracujeme s obrazovou maticou, ale s maticou prechodov pre daný obraz. Keďže počet stavov pre farebný obraz by spôsobil, že matica by dosiahla veľké rozmery a jej spracovanie by bolo časovo náročné i pamäťovo rozsiahle, bol zrealizovaný vektor prechodov pre daný obraz, ktorý reprezentuje čiernobiely obraz a má rozmer 1×4 . Vytvoreniu vektora prechodov predchádzalo predspracovanie, počas ktorého bol na obraz aplikovaný hranový filter, ktorý vyhládaním hrán zredukoval počet farieb v obraze na dve: bielu a čiernu. Následne boli hrany vyhladené, čo znamená, že bol aplikovaný algoritmus, ktorý určil, ktorá hrana patrí obrýsu objektu a ktorá nie. Vznikol tak určitý počet bielych a čiernych pixelov a práve prechod medzi bielymi a čiernymi pixelmi obrazu bol zdrojom informáciou na vytvorenie spomínaného

vektora. Počet stavov, ktoré môžu nadobúdať body v obrazovej matici po aplikácii hranového operátora je 2 (čierny, biely). Keď boli vstupné dáta binarizované, v prípade že by sme pracovali s maticou, jej veľkosť by bola 2×2 . Z dôvodu zjednodušenia práce pri tvorbe programu bola matica nahradená vektorom, ktorý nazývame vektor pravdepodobností prechodov. Z veľkosti matice vyplýva veľkosť vektora 1×4 . Vektor je v tvare:

Vektor prechodov = [00,01,10,11],

kde: 00 – prechod z čiernej do čiernej
 01 – prechod z čiernej do bielej
 10 – prechod z bielej do čiernej
 11 – prechod z bielej do bielej

Princíp Markovových reťazcov je stochastický, preto má klasifikátor založený na týchto reťazcoch určitú rezistenciu voči natočeniu identifikovaného objektu na vstupnom obraze. Nevýhodou daného modelu je použitie výstupu z hranového detektora, ako prvkov Markovovho reťazca, keďže aplikáciou hranového detektora nikdy nezískame čisto celistvé hrany obrysu fľaše, čo spôsobuje štatistickú chybu pri vytváraní matice pravdepodobností prechodov a následne vektora prechodov.

Transformačný model

Transformačný model je zostavený na základe ortogonálnych transformácií. Orto-gonálne transformácie umožňujú reprezentovať časové priebehy obrazových signálov vo forme jeho zovšeobecneného spektra (Mihalík, 1987). V spektrálnej oblasti je potom možné vykonávať operácie, ktoré umožňujú rýchlejšie a mnohokrát aj kvalitnejšie vyhodnotenie obrazov. Existuje veľký počet úplných systémov ortogonálnych funkcií, pomocou ktorých je možné vyjadriť obrazový signál. Pri tvorbe modelu boli experimentálne aplikované: Diskrétna kosínusová transformácia, Fourierova transformácia, Walshova a Haarova transformácia.

Diskrétna kosínusová transformácia (DCT)

DCT je špeciálny prípad diskkrétnej Fourierovej transformácie. Konvertuje blok obrazových prvkov na blok transformačných koeficientov (obidva bloky majú rovnakú veľkosť). Tieto koeficienty reprezentujú zložky priestorových frekvencií obrazových prvkov v pôvodnom bloku. Pre obraz rozmerov $N \times N$ má tvar (Blázsovits, 2008):

$$F(u, v) = \frac{2c(u)c(v)}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos\left(\frac{2x+1}{2N}u\pi\right) \cos\left(\frac{2y+1}{2N}v\pi\right),$$

$$\text{kde } c(k) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{pre } k = 0, \\ 1 & \text{inde,} \end{cases} \quad u = 0, 1, \dots, N-1, \quad v = 0, 1, \dots, N-1, \quad (1)$$

$f(x,y)$ – reprezentuje hodnoty obrazových prvkov
 $F(u,v)$ – reprezentuje hodnoty transformačných koeficientov.

Diskrétna Fourierova transformácia

Pri spracovaní obrazu sa často používajú transformácie, ktoré rozložia obrazový signál na harmonické časti. Fourierova transformácia je dekompozíciou pôvodnej funkcie $f(x)$ na rôzne fázovo posunuté sínusové funkcie s rôznou amplitúdou. Fourierova transformácia je zovšeobecnením komplexného Fourierovho radu. Fourierova transformácia je aplikovaná na rad diskretných komplexných čísel. Ak predpokladáme, že $f(x)$ je rad komplexných čísel s N prvkami v tvare $f_0, f_1, \dots, f_k, \dots, f_{N-1}$ a postupnosť čísel je periodická, teda $f_n = f_n + N$, potom Fourierova transformácia $F(u)$ bude mať N prvkov a bude daná vzťahom pre $u = 0, 1, \dots, N-1$ (Blázsovits, 2008):

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) e^{-j2\pi xu/N}. \quad (2)$$

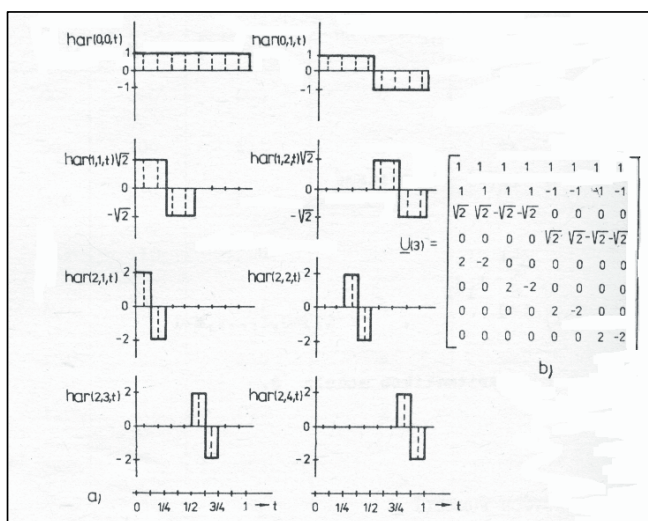
Walshova transformácia

Podľa (Mihalík, 1987), Walshove funkcie tvoria usporiadanú množinu pravouhlých impulzov, ktoré majú len dve možné hodnoty amplitúdy (+1 alebo -1) a predstavujú úplný systém ortogonálnych funkcií. Podobne, ako harmonické funkcie sú závislé od dvoch argumentov a to času t (najčastejšie to bude normalizovaný čas) a od poradového čísla k . V simulačnom modeli pre rozpoznávanie obrazov budeme pracovať s Walshovou bázou odvodenou z Rademacherovho systému ortogonálnych funkcií. Prvky maticovej reprezentácie Walshových funkcií môžeme vyjadriť nasledovne:

$$u_{ij}^{(p)} =_{(-1)} \sum_{l=0}^{n-1} i_{n-1-l} j_l, i, j = 0, 1, \dots, M-1. \quad (3)$$

Haarova transformácia

Podľa (Mihalík, 1987), Haarove funkcie $har(k, k', t)$ tvoria úplný systém ortogonálnych funkcií, pričom ich hodnota môže byť 0, ± 1 , $\pm\sqrt{2}$, ± 2 atď. t.j. celistvé mocniny $\sqrt{2}$. Na Obrázku 2 je znázornených prvých osem spojitých aj diskretných Haarových funkcií. Ak stlačíme funkciu $har(0, 0, t)$ do intervalu $0 \leq t < 1/2$, dostaneme $har(1, 1, t)$ a jej následným posunutím do intervalu $<1/2, 1>$ dostaneme funkciu $har(1, 2, t)$. Každá nasledujúca Haarova funkcia sa získava analogickým spôsobom pomocou operácie stlačenia (zmeny mierky) a vhodného posunutia.

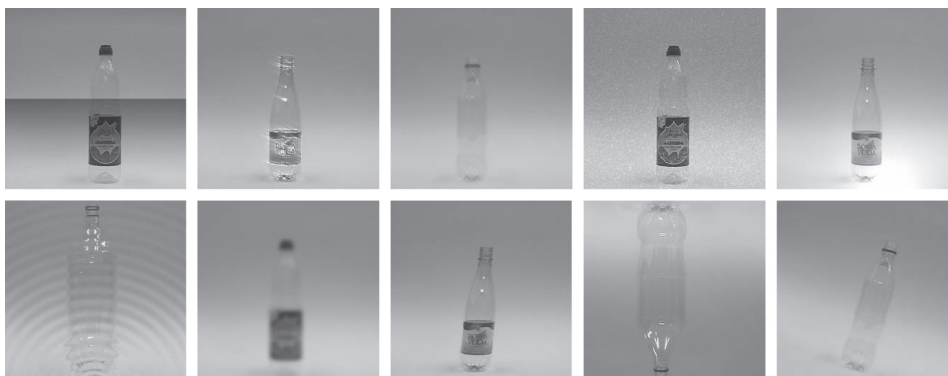


Obrázok 2 Haarove bázové funkcie a matica Haarových funkcií

Pri overovaní modelov boli ako vstupný materiál zvolené scény obsahujúce PET fľaše (Obrázok 3) a ich upravené verzie obsahujúce rôzne druhy simulácií poškodení plastových fliaš (Obrázok 4). O aké poškodenia sa jedná je uvedené v Tabuľke 1.



Obrázok 3 Obrazy plastových fliaš (fl1, fl2, fl3, fl4)



Obrázok 4 Príklady poškodených obrazov (fl5, fl6, fl7, fl9, fl10, fl12, fl13, fl18, fl20, fl27)

Tabuľka 1 Simulácie poškodení obrazu

f15	zmena jasů v 1/2 výšky obrazu
f16	zvýšenie magnitudy najjasnejších pixelov a vytvorenie ich stopy
f17	mierne rozostrenie obrazu
f18	zmena hodnôt R-B-G o parametre: 5, 5, 5
f19	biely šum (parameter zašumenia 18)
f110	lokálne zvýšenie jasů (simulácia odrazu svetla)
f111	poškodenie tvaru objektu
f112	zvlnenie obrazu
f113	Gaussov šum (hodnota zašumenia 15)
f114	rozostrenie obrazu
f115	natočenie objektu o 8° a následné rozostrenie obrazu
f116	zmena hodnôt farba-saturácia-jas o parametre: 5, -5, 5
f117–19	sklon objektu o rôzny uhol
f120–28	natočenie objektu o rôzny uhol

3. VÝSLEDKY

U geometrického modelu je základným prístupom pohľad na objekt, ktorý je obsiahnutý v obraze ako na geometrický útvar, ktorý je charakteristický istými presnými geometrickými údajmi. A práve uvedené údaje sú základom pre popisanie objektu obsiahnutého v obraze a ich znalosť je východiskom pre určenie druhu objektu. Pri modeli je dôležitá vysoká presnosť vyhľadania obrysových hrán, pretože práve od nich závisí aj kvalita určených geometrických údajov a následne aj kvalita priradenia objektu k istému druhu objektov.

Pri ďalšom modeli – štatistickom modeli bola ako východisko využitá teória Markovových reťazcov. Pohľad na objekt v obraze bol z hľadiska štatistických vlastností obrazu. Pri experimentoch s farebnými obrazmi a štatistickým pohľadom na ne sa vyskytol problém vysokej pamäťovej a časovej náročnosti. Z tohto dôvodu sme pristúpili pred realizáciou štatistického prístupu k prevodu obrazu na obraz čiernobiely. Následne sme sa snažili zabezpečiť čo najväčšiu presnosť tohto modelu aj tým, že na obraz sme aplikovali predspracovanie, výsledkom ktorého bolo vyhľadanie obrysových hrán objektu v obraze. Po uvedených úpravách bol na obraz aplikovaný štatistický model, ktorý popísal obraz prostredníctvom zadefinovania vektora pravdepodobností prechodov medzi jednotlivými obrazovými bodmi. Jeho veľkosť bola 1×4 , čo priamo vyplýva z úprav realizovaných na obraze pred samotnou aplikáciou štatistického modelu. V prípade, že by obraz nebol zjednodušený hore uvedeným spôsobom, veľkosť vektora, príp. matice by bola priamoúmerná veľkosti farebnej palety, ktorá sa podieľa na danom spracovávanom obraze.

Ako tretí model bol vytvorený tzv. transformačný model, ktorý bol realizovaný vo frekvenčnej oblasti. Celý proces spracovania obrazu bol prenesený z oblasti časovej do oblasti spektrálnej. Tento prenos bol odskúšaný a zrealizovaný pomocou týchto transformácií: Diskrétna kosínusová transformácia, Fourierova transformácia, Walshova transformácia a Haarova transformácia. Aby model čo najpresnejšie vyjadroval nosnú informáciu

v obraze, pred jeho aplikáciou bola zrealizovaná filtrácia a taktiež vyhľadanie obrysových hrán objektu. Následne získané spektrum reprezentovalo obraz a jeho analýzou sme boli schopní daný obraz zaradiť do triedy obsahujúcej obrázky daného typu.

K najdôležitejším výsledkom získaných z experimentov patria závery týkajúce sa schopnosti jednotlivých modelov rozpoznať objekt v obraze aj napriek ich poškodeniu.

Geometrický model sa ukázal ako vhodný pri týchto poškodeniach obrazu:

- zmena hodnôt RGB v celom obraze o rovnakú konštantnú hodnotu,
- zmena hodnôt farba-saturácia-jas v celom obraze o konštantnú hodnotu,
- zvlnenie obrazu.

Na druhej strane sa preukázala nevhodnosť jeho použitia pri týchto poškodeniach obrazu:

- poškodenie tvaru objektu,
- znehodnotenie obrazu Gaussovým šumom,
- natočenie objektu v obraze,
- zmena sklonu objektu v obraze.

Štatistický model sa preukázal ako veľmi úspešný. Správna identifikácia prebehla u 2/3 skúmaných poškodení. Ako nevhodný sa prejavil pri týchto poškodeniach:

- zvýšenie magnitúdy najjasnejších obrazových bodov a vytvorenie ich stopy v obraze,
- znehodnotenie obrazu Gaussovým šumom,
- ojedinelé prípady sklonu a natočenia objektu v obraze.

Transformačný model sa správal v závislosti od zvolenej transformácie. Diskrétna kosínusová transformácia sa ukázala ako nevhodná z dôvodu vysokého počtu nesprávne identifikovaných obrazov. O jej použití v praxi by sa dalo uvažovať len v prípade presne vyšpecifikovaných poškodení, ale aj v tomto prípade by bolo nevyhnutné urobiť rozsiahly test na početnej trénovacej množine obsahujúcej len uvedené typy poškodení. U Fourierovej transformácie nastal pokles nesprávnych identifikácií, čo je jej kladom a môžeme uvažovať o jej praktickom využití. Poškodenia, ktoré dokáže rozpoznať sú:

- zmena hodnôt R-B-G o parametre $-5, 5, 5$,
- biely šum (parameter zašumenia 18),
- lokálne zvýšenie jasu (simulácia odrazu svetla),
- rozostrenie obrazu,
- natočenie objektu o rôzny uhol.

U Walshovej transformácie opätovne narástol počet nesprávnych identifikácií a preto aj túto transformáciu môžeme zaradiť medzi nevhodné. Okrem toho dochádza k nejednoznačnému správaniu sa čo sa týka obrazov s pootočeným objektom a preto musíme vylúčiť aj tento typ poškodenia. Jej použitie je možné, len v niekoľkých špecifických prípadoch poškodení, ako napr.:

- mierne rozostrenie obrazu,
- zmena hodnôt R-B-G o parametre $-5, 5, 5$,
- lokálne zvýšenie jasu (simulácia odrazu svetla),
- rozostrenie obrazu.

Pri Haarovej transformácii sa opakuje situácia ako u transformácie Walshovej. Správne dokáže rozpoznať len tieto typy poškodení:

- zmena hodnôt R-B-G o parametre $-5, 5, 5$,
- lokálne zvýšenie jasu (simulácia odrazu svetla),
- rozostrenie obrazu,
- natočenie objektu o 8° a následné rozostrenie obrazu.

Ak by sme výsledky transformačného modelu chceli zovšeobecniť a úplne vylúčime Diskrétnu kosínusovú transformáciu, je možné tento model použiť pre tieto poškodenia:

- zmena hodnôt R-B-G o parametre $-5, 5, 5$,
- lokálne zvýšenie jasu (simulácia odrazu svetla),
- rozostrenie obrazu.

Ak porovnáme úspešnosť všetkých troch navrhnutých modelov pre identifikáciu poškodených obrazov (u transformačného modelu berieme priemerné výsledky pre všetky transformácie), výsledky vyjadruje Tabuľka 2 a Tabuľka 3.

Tabuľka 2 Počet správnych identifikácií

Správne identifikácie			
Percentá [%]	geometrický model	štatistický model	transformačný model
	46,4	57,1	33,0

Tabuľka 3 Počet nesprávnych identifikácií

Nesprávne identifikácie			
Percentá [%]	geometrický model	štatistický model	transformačný model
	10,7	21,4	25,9

Ako najmenej úspešný sa osvedčil transformačný model, kde je nízka úspešnosť rozpoznávania a vysoká chybovosť, čo sa týka nesprávnych identifikácií. Najlepšie výsledky dával štatistický model, ale 21,4% nesprávnych identifikácií je pomerne vysoké číslo. Vzhľadom na to, by sa pri použití tohto modelu museli vyšpecifikovať celkom presne poškodenia u ktorých jeho využitie nie je vhodné. Ako druhý v poradí podľa úspešnosti je model geometrický, u ktorého je nízke percento nesprávnych identifikácií. Percentuálnu zhodu pri správnych identifikáciách s nepoškodeným originálom vyjadruje Tabuľka 4.

Tabuľka 4 Zhoda s nepoškodeným originálom pri správnych identifikáciách

Zhoda s nepoškodeným originálom pri správnych identifikáciách			
Percentá [%]	geometrický model	štatistický model	transformačný model
	66,88	87,96	67,81

Z tohto hľadiska najvyššiu mieru zhody dosahuje štatistický model. Pri všetkých experimentoch bol meraný aj čas trvania identifikácie. Priemerné hodnoty sú v Tabuľke 5.

Tabuľka 5 Čas identifikácie

Čas identifikácie				
Čas[ms]	geometrický model	štatistický model	transformačný model	
Sobel	101	105	Transformácia	Čas[ms]
Prewitt	101	102	DCT	1662
Roberts	101	107	RFT	1636
LaG	130	134	Walsh	2133
Canny	283	298	Haar	2362

Čas je predovšetkým závislý od výkonnosti počítača, na ktorom je experiment realizovaný. Rozdiely medzi detekciou jednotlivých fliaš sú zanedbateľné. U hranových operátorov čas rastie v závislosti na výpočtovej náročnosti HO. Najvyššie hodnoty sú u HO Canny. Čo sa týka modelov, rozdiely medzi geometrickým a štatistickým modelom sú zanedbateľné, ale u transformačného modelu už dochádza k značnému zvýšeniu doby trvania identifikácie.

4. ZÁVER

Pri návrhu modelov objektov v obrazoch scén obsahujúcich PET fľaše sme nasimulovali tri modely na rozdielnom základe: model geometrický, model štatistický a model transformačný. Vo všeobecnosti možno povedať, že každý z nich nájde uplatnenie pri rozpoznávaní obrazov v prípade nepoškodených obrazov. Ak je obraz porušený, boli vyšpecifikované chyby, ktoré dané modely dokážu rozpoznať a u ktorých typov poškodení sú tieto modely nevhodné. Vzhľadom na tieto skutočnosti môžeme odporučiť uvedené modely na praktické využitie s ohľadom na znalosť prostredia, prostriedkov a objektov pre aplikácie so špeciálnymi obrazmi. Jedná sa o nové postupy, ktoré môžu byť použité v praxi, aj pri teoretickom výskume v rôznych vedných odboroch.

LITERATÚRA

- [1] BLÁZSOVITS, G.: 2008. *Interaktívna učebnica spracovania obrazu*. <http://dip.sccg.sk/>, 26. 5. 2008.
- [2] HLAVÁČ, V.; SEDLÁČEK, M.: 2000. *Zpracování signálů a obrazů*. Vydavatelství ČVUT, Praha 2000.
- [3] HLAVÁČ, V.; ŠONKA, M.: 1992. *Počítačové vidění*. Grada, Praha 1992.
- [4] HRČKOVÁ, M.; ŠURIANSKY, J.; FRANK, T.: 2006. *Rozpoznávání objektov v obraze*. In: Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese, Medzinárodná vedecká konferencia k 10. výročiu FEVT, Zvolen, 5.–7. september 2006, str. 68–73, ISBN 80-228-1651-5.
- [5] KOTEK, Z. a kol.: 1993. *Metódy rozpoznávaní a jejich aplikace*. Academia, Praha, 1993.
- [6] MIHALÍK, J.: 1987. *Číslíkové spracovanie signálov I*. Vydavateľstvo Alfa, Bratislava, 1987.
- [7] SKŘIVÁNKOVÁ, V.: 2005. *Štatistické úlohy v Markovových reťazcoch*. UK, Praha 2005.

Kontaktná adresa:

Ing. Mária Hrčková, PhD., prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc.,
 Katedra informatiky a automatizačnej techniky,
 Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita Zvolen,
 T. G. Masaryka 24, 96053 Zvolen

KOMUNIKAČNÝ ŠTANDARD ZIGBEE A JEHO SIMULÁCIA

COMMUNICATION STANDART ZIGBEE AND ITS SIMULATION

Jozef ŠURIANSKY – Mária HRČKOVÁ – Marcel BARIAK

ABSTRACT: The article describes the Zigbee communication protocol, net topology, transmission security and protocol structure. Further on, there is described a simulation in OMNeT++ program for the Zigbee net simulation.

Key words: Zigbee, superframe, topology, simulation

ABSTRAKT: Článok popisuje komunikačný protokol ZigBee, topológiu siete, bezpečnosť prenosu a štruktúru protokolu. V článku je ďalej popísaná simulácia v programe OMNeT++ pre simuláciu ZigBee siete.

Kľúčové slová: ZigBee, superrámec, topológia, simulácia

1. ÚVOD

ZigBee je komunikačný bezdrôtový štandard s nízkymi požiadavkami na hardvér pre aplikácie vyžadujúce nízku spotrebu energie. Uvedený systém umožňuje vzájomnú komunikáciu zariadení na stovky metrov až kilometrov. Vďaka nižšej prenosovej rýchlosti, ktorá poskytuje vyššiu odolnosť voči rušeniu umožňuje použitie ZigBee v priemyselných aplikáciách. V priemysle tak môže poskytovať bezdrôtovú náhradu sériového prenosu RS-232 alebo RS-485. Navyše pri bezdrôtovej komunikácii senzora s riadiacim procesom je opäť výhodná nízka spotreba na strane senzora, takže môže byť napájaný z elektrochemického zdroja a tým byť plne oddelený od zdroja a rušenia vyskytujúceho sa v napájacom systéme.

2. ŠTANDARD ZIGBEE

Štandard ZigBee je založený na využívaní fyzickej a linkovej vrstvy podľa medzinárodného štandardu IEEE 802.15.4. Pre celosvetové uplatnenie štandardu boli definované tri rádiové pásma:

- globálne použitie, pásmo ISM, 2,4 GHz so 16 kanálmi a prenosovou rýchlosťou 250 kb.s⁻¹,
- pásmo pre Ameriku a Austráliu na frekvencii 915 MHz s 10 kanálmi a prenosovou rýchlosťou 40 kb.s⁻¹,
- pásmo pre Európu s frekvenciou 868 MHz, s jedným kanálom a prenosovou rýchlosťou 20 kb.s⁻¹.

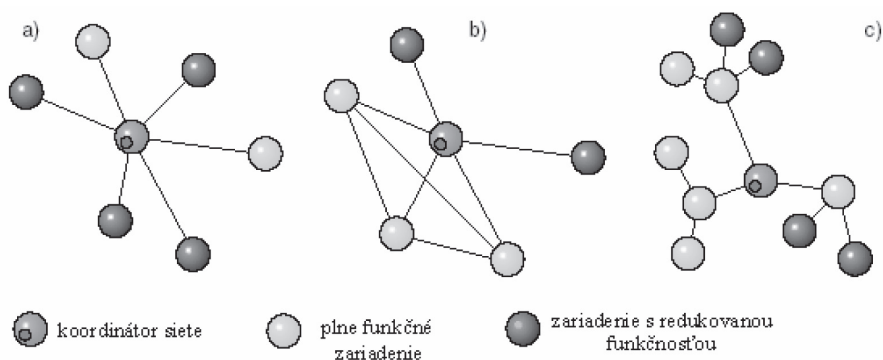
Technológia je založená na implementácii prístupovej metódy CSMA/CA k fyzickému médiu, čo znamená, že vlastná rádiová časť štandardu IEEE 802.15.4 túto metódu využíva na úrovni fyzickej a linkovej vrstvy komunikačného modelu. Vlastný štandard IEEE 802.15.4 definuje komplexný komunikačný protokol, ktorý je založený na prenose dátových rámcov. Pre ZigBee sú definované nasledovné typy komunikačných rámcov, využívaných buď na prenos dátovej informácie alebo k riadeniu siete:

- Data Frame – rámec s veľkosťou užitočných dát 104 bitov slúži na prenos užitočnej informácie,
- Acknowledgement Frame – rámec slúžiaci na prenos potvrdzovacej informácie. Je využívaný iba na úrovni MAC pre potvrdenie komunikácie. Vysiela sa hneď po prenose paketu,
- MAC Command Frame – rámec slúži k centralizovanému konfigurovaniu a nastavovaniu klientskych zariadení v sieti ZigBee,
- Beacon Frame – rámec slúži k synchronizácii zariadení v sieti.

2.1 Topológia siete ZigBee

Štandard ZigBee využíva pre adresáciu jednotlivých zariadení binárne adresové kódy, ktoré môžu byť buď dlhé (64 bitov) alebo skrátené (16 bitov). Každá zostavená sieť je ďalej identifikovaná 16 bitovým identifikátorom PAN ID. Každú sieť zakladá a spravuje koordinátor (centrálne zariadenie), ostatné zariadenia pracujú v móde koncového zariadenia. Podľa funkčnosti je možné zariadenia siete rozdeliť na plne funkčné zariadenia (FFD), ktoré môžu zastávať funkciu koordinátora, alebo smerovača a na redukované zariadenia (RFD), ktoré môžu fungovať iba ako koncové zariadenia.

Sú definované tri typy sieťovej topológie (Obrázok 1). Základná je topológia typu hviezda (star topology), v ktorej je definované jedno zariadenie, preberajúce funkciu koordinátora siete. Ostatné zariadenia pôsobia vo funkcii koncových zariadení. V topológii typu strom (tree topology) slúži jedno zariadenie ako koordinátor a ostatné ako koncové zariadenia. Na rozdiel od topológie hviezda však nemusia všetky uzly komunikovať priamo s koordinátorom, ale môžu využiť iné koncové zariadenia v konfigurácii FFD vo funkcii smerovača. Poslednou definovanou je topológia typu sieť (mesh topology), ktorá kombinuje vlastnosti predchádzajúcich dvoch.



Obrázok 1 Topológia siete ZigBee typu hviezda (a), sieť(b), strom(c)

2.2 Synchronizácia zariadení ZigBee

Synchronizácia jednotlivých zariadení v sieti ZigBee je realizovaná na základe rámca beacon. Synchronizačnou autoritou je tu koordinátor siete, ktorý v definovaných okamžikoch vysiela synchronizačné sekvencie. Sekvencie prijímajú ostatné zariadenia a synchronizujú sa podľa nich s vysielačou stranou. Tento postup umožňuje koncové zariadenie na dlhú, vopred definovanú dobu, priviesť do režimu s nízkou spotrebou. Interval synchronizačných impulzov je definovaný v rozmedzí 15 ms až 15 minút. Pre prenos je potom možné využiť tzv. superrámce začínajúce práve sekvenciou beacon, po ktorej nasleduje interval CFP, kedy zariadenie voľne súťaží o prístup k médiu. Koordinátor v sekvenciách beacon zasiela tiež koncovému zariadeniu informáciu, či má preň k dispozícii dáta alebo nie. Pokiaľ áno, koncové zariadenia si ich vyžadujú a prijímú. Pokiaľ sieť funguje bez sekvencií beacon, jednotlivé zariadenia si periodicky žiadajú dáta od koordinátora.

2.3 Bezpečnosť ZigBee prenosu

Pre potreby siete ZigBee bol navrhnutý a v súčasnosti je realizovaný bezpečnostný systém. Požiadavky na tento systém boli z dôvodu jednoduchosti zariadení ZigBee nasledovné:

- jednoduchá implementácia a vykonávanie kryptovacieho algoritmu,
- nízke hardwarové a časové nároky na manažment šifrovacích kľúčov,
- flexibilita pokrývajúca požiadavky domácností i komerčnej sféry.

ZigBee používa základné elementy zabezpečenia vychádzajúce zo špecifikácie IEEE (AES šifrovanie, CCM mód) a navyše definuje druhy bezpečnostných kľúčov (Master key, Link key, Network key). Bezpečnosť je realizovaná v podobe šifrovania na 3 vrstvách. Bezpečnosť na aplikačnej vrstve zahŕňa kontrolu integrity správ, autentifikáciu tzv. freshness (ochrana pred opakovanými útokmi, použitie čítača) a ochranu proti odpočúvaniu. Ochrana prístupu k zariadeniam pred útokmi zvonku (mimo siete, v ktorej je zariadenie aktívne) a aj zvnútra. Všetky zariadenia v sieti určenej konkrétnym PAN-ID zdieľajú jeden „network key“ a akékoľvek 2 zariadenia v sieti môžu zdieľať aj „link key“. Správu

klúčov má na starosti tzv. *Trust Center* zariadenie (najčastejšie ZC). Tento *Trust Center* potom autentifikuje zariadenie pri vstupe do siete, uchováva a distribuuje bezpečnostné kľúče a dáva povolenie zariadeniam k používaniu „link key“. ZigBee koordinátor môže v záujme bezpečnosti povoliť pripájanie zariadení len na obmedzenú dobu (definovanú napríklad užívateľom, stlačenie tlačidla na zariadení). *Trust Center* (TC) pracuje v dvoch režimoch:

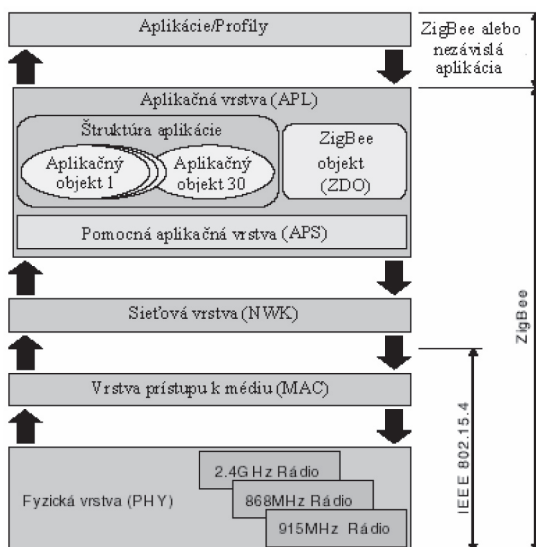
- *Residential Mode* (domáci mód), nižšie pamäťové nároky,
- *Commercial Mode* (priemyselný mód), vyššia úroveň bezpečnosti.

Autentifikácia aj šifrovanie môžu byť realizované na NWK (zabraňuje útokom zvonku siete, spoločný sieťový kľúč, minimálne dodatočné požiadavky na HW) alebo MAC vrstve (obrana pred útokmi zvnútra siete, linkový kľúč, vyššie HW nároky). Šifrovanie je voliteľné a jeho vypnutie neovplyvňuje kontrolu integrity správ a autentifikácie zariadení.

2.4 Štruktúra protokolu ZigBee

Štruktúru protokolov štandardu ZigBee demonštruje Obrázok 2. Nad vrstvami štandardu IEEE 802.15.4 je vo vlastnom protokole ZigBee definovaná sieťová vrstva (NWK) a štruktúra pre aplikačnú vrstvu (APL). Sieťová vrstva vykonáva pripojenie k sieti, odpojenie od nej, zabezpečenie a smerovanie paketov. Pri koordinátorovi siete je zodpovedná za štart siete, priradovanie adres novozачleneným zariadeniam.

Aplikačná vrstva sa skladá z pomocnej aplikačnej podvrstvy (APS), objektov ZigBee (ZDO) a užívateľských aplikačných objektov. Aplikačná pomocná podvrstva udržiava párovacie tabuľky (binding), ktoré umožňujú párovanie zariadení podľa poskytovaných služieb a požiadaviek. Objekt ZigBee definuje rolu zariadenia v rámci siete (koordinátor, smerovač, alebo koncové zariadenie).

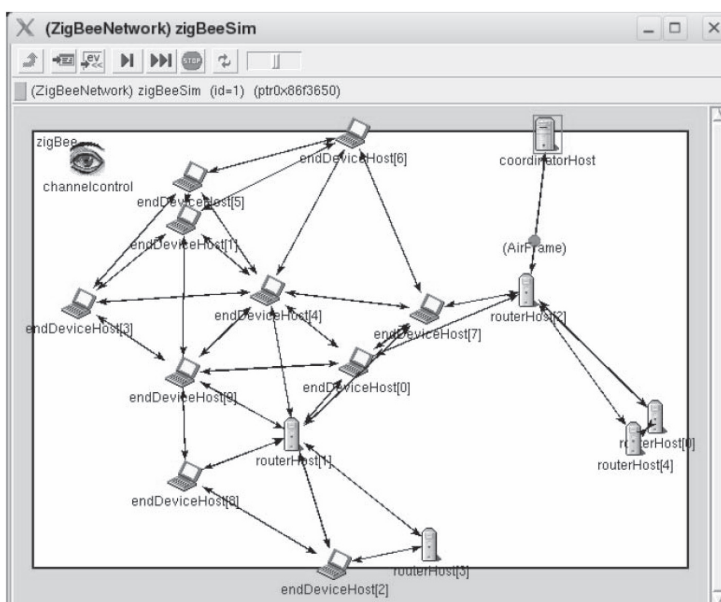


Obrázok 2 Architektúra protokolovej štruktúry ZigBee

Komunikácia medzi zariadeniami siete sa odvíja od profilu ZigBee, čo je súhrn vlastností možných zariadení a definovanie možných typov a formátov správ tak, aby tvorili zmysluplnú aplikáciu. Profily ZigBee musia byť jednoznačne určené 16 bitovým identifikátorom, ktorý je vydávaný spoločnosťou ZigBee Alliance. V rámci profilu ZigBee si potom tvorca aplikácie definuje deskriptory zariadenia, identifikátory správ a poskytované služby.

3. SIMULÁCIA SIETE ZIGBEE

Simulácia bezdrôtovej siete ZigBee bola vykonaná v simulačnom programe OMNeT++. Simulácia v tomto nástroji bola zvolená z dôvodu jeho dostupnosti freeverovej licencie a množstvu dostupných nastavieb, ktoré zjednodušujú samotnú simuláciu. Grafická reprezentácia siete ZigBee v OMNeT++ je znázornená na Obrázku 3.



Obrázok 3 Grafická reprezentácia v OMNeT++

Z dôvodu zjednodušenia modelu bol v sieti ZigBee zvolený prenos údajov pomocou GTS (Guaranteed TimeSlot) mechanizmu. Na úvod je potrebné definovať niektoré premenné, prostredníctvom ktorých je možné ilustrovať princíp GTS mechanizmu: (Farahani, S 2008)

- *aBaseSlotDuration*
- *aNumSuperframeSlots*
- *aBaseSuperframeDuration*
- *SuperframeOrder*

- *BeaconOrder*
- *beaconSendingInterval*

Hodnota *aNumSuperframeSlots* = 16 je konštantná. Rovnako aj hodnota *aBaseSuperframeDuration* = 60 je konštantná pre všetky siete ZigBee. Platí vzťah:

$$aBaseSuperframeDuration = aBaseSlotDuration \cdot aNumSuperframeSlots \quad (1)$$

Hodnota *aBaseSuperframeSlot* je používaná pri výpočte intervalov posielania beacon rámcov nasledovne:

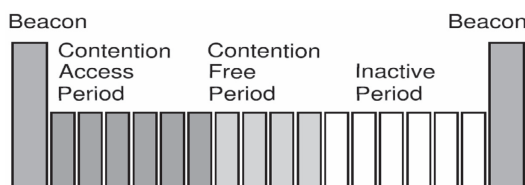
$$beaconSendingInterval = aBaseSuperframeDuration \cdot 2^{BeaconOrder} \quad (2)$$

Hodnota *BeaconOrder* je definovaná PAN koordinátorom. V bežných prípadoch sa pohybuje v rozmedzí 6 až 10. V prípade funkcie siete vo frekvenčnom pásme 2,4 GHz môžeme podľa Levisa (2004) vypočítat' hodnotu vysielania beacon rámcov.

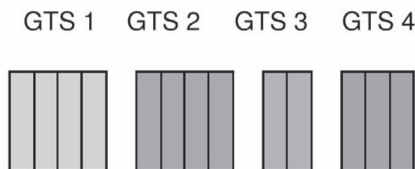
$$beaconSendingInterval = aBaseSlotDuration \cdot aNumframeSlots \cdot 2^{BeaconOrder} \quad (3)$$

To znamená, že napr. pre hodnotu *BeaconOrder* = 6 bude *beaconSendingInterval* rovný 61440 symbolom, čo zodpovedá približne 0,96s pri hodnote *symbolrate* 62,5 ksymbols/s. Každý interval medzi beacon rámcami je rozdelený na $2^{BeaconOrder}$ tzv. superrámcov. Tieto superrámce sú využívané na prenos údajov a potvrdzovacích znakov (ACKs) v rámci mechanizmu GTS.

Doba medzi vyslaním dvoch beacon rámcov sa delí na tri časové úseky, ako ilustruje Obrázok 4. Jedná sa o *Contention Access Period* (CAP), *Contention Free Period* (CFP) a *Inactive Period* (IP). Počas periódy CAP je realizovaná asociácia nových prvkov do siete a preto by mala mať dostatočné časové trvanie. GTS sloty (môže ich byť max. 7) sú zhľukované do CFP, ako ukazuje Obrázok 5. Jeden GTS slot môže byť rozložený na viac superrámcov. O tom, ktoré zariadenia budú komunikovať pomocou GTS rozhoduje PAN koordinátor.

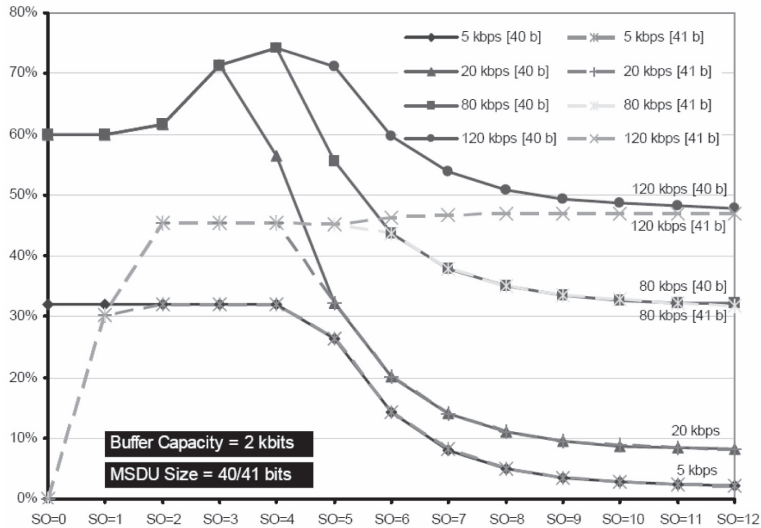


Obrázok 4 Rozdelenie superrámcov



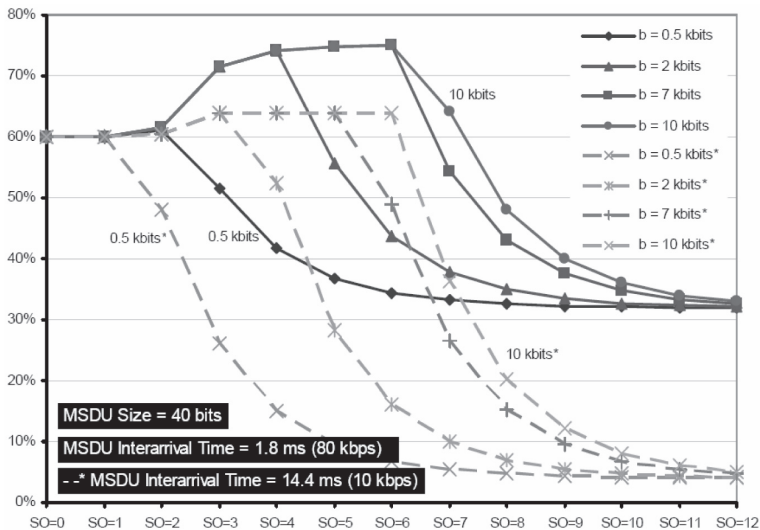
Obrázok 5 Zoskupenie GTS rámcov do *Contention Free period*

V simulovanej ZigBee sieti bola zaujímavá otázka závislosti priepustnosti GTS od rýchlosti prichádzajúcich dát. Obrázok 6 znázorňuje priemernú priepustnosť z jedného vyslaného GTS superrámca pre rôzne príkazy v závislosti na prenosovej rýchlosti dát v dvoch rámcoch (40 a 41 bitov). Pamäť buffra bola konštantne alokovaná na veľkosť 2 kb.



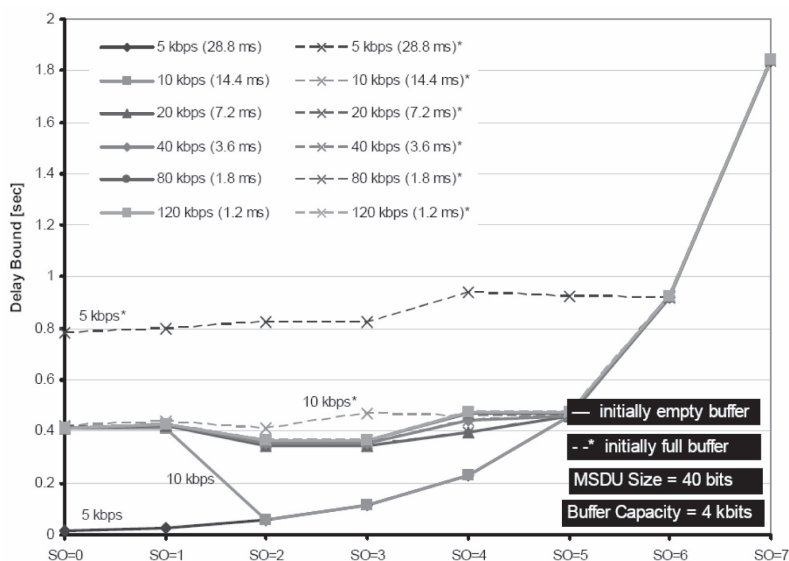
Obrázok 6 Priepustnosť GTS ako funkcia prenosovej rýchlosti údajov

Obrázok 7 vyjadruje závislosť priepustnosti GTS od veľkosti pamäti alokovanej pre buffer.



Obrázok 7 Priepustnosť GTS ako funkcia kapacity buffra

Obrázok 8 znázorňuje oneskorenie príchodu údajov od vysielacieho člena siete k prijímaciemu v závislosti na rýchlosti prenosu údajov. Veľkosť prenášaného rámca bola 40 bitov a kapacita buffra pevne stanovená na veľkosti 4 kb.



Obrázok 8 Oneskorenie príchodu údajov ako funkcia prenosovej rýchlosti dát

4. ZÁVER

Simulácia siete ZigBee bola zameraná hlavne na vlastnosti siete pri rôznych prenosových rýchlostiach. Na základe simulovaných údajov je možné zvoliť optimálnu prenosovú rýchlosť siete pre rôzne prípady použitia. Jedná sa hlavne o dopravné oneskorenie, ktoré býva dôležitým parametrom systémov pracujúcich v reálnom čase.

LITERATÚRA

1. ZigBee Alliance, www.zigbee.org, 2. 6. 2009,
2. CULLER, D., ESTRIN, D., SRIVASTAVA, M.: 2004. *Overview of Sensor Networks*, IEEE Computer Society, 2004,
3. OEM Design Kit for Wireless Sensor Network, www.xbow.com, 10. 6. 2009,
4. LEVIS, F. L.: 2004. *Wireless Sensor Networks, Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications*, New York: John Wiley, 2004, ISBN 978-0-471-54448-7,
5. FARAHANI, S.: 2008. *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*, Oxford: Elsevier, 2008, ISBN 978-0-7506-8393-7,
6. ZHU, Y. W-ZHONG, X. X.-SHI, J. F.: 2006. The Design of Wireless Network System Based on ZigBee Technology for Greenhouse, *Journal of Physics: Conference series 48*, International Symposium on Instrumentation Science and Technology, 1195–1999, 2006,

7. FROST&SULLIVAN: Technológie pre bezdrôtový prenos dát, In: AT&P journal 4/2008, HMH Bratislava, ISSN1335-2237, str. 56–58,
8. JENNIC: Product Brief- JN5139, http://www.jennic.com/files/product_briefs/JN5139_PB_021008_v1.23_2.pdf, máj 2009.

Kontaktná adresa:

prof. Ing. Jozef Šuriensky, CSc.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen
e-mail: surian@vsld.tuzvo.sk

Ing. Mária Hrková, PhD.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen
e-mail: hrckova@vsld.tuzvo.sk

Ing. Marcel Bariak

Katedra informatiky a automatizačnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen
e-mail: xbariakm@is.tuzvo.sk

VYUŽITIE PRINCÍPU MINIMAXU PRI MINIMALIZÁCII ŤAŽBOVO-DOPRAVNEJ ERÓZIE LESNÉHO KOLESOVÉHO ŤAHAČA

THE MINIMAX PRINCIPLE UTILIZATION TO MINIMIZE THE TIMBER LOGGING AND TRANSPORTATION EROSION USING FOREST SKIDDERS

Adolf JANEČEK – Ján MARKO

Abstrakt: Príspevok uvádza metódu a výsledky využitia prírodného princípu minimaxu pri aplikácii na minimalizáciu ťažbovo-dopravnej erózie pri použití ťahača. Dôsledne sa drží zásad princípu minimaxu.

Kľúčové slová: princíp minimaxu, doprava, erózia, ťahač

Abstract: A contribution describes a method and results of utilization of natural minimax principle on the application of minimalization of skidder traffic erosion. It consistently uses minimax principles.

Key words: minimax principle, traffic, erosion, skidder

1 ÚVOD

Špecifikácia prírodného princípu minimaxu:

- každý výrobný systém pracujúci v dopravnej činnosti je objektom, v ktorom prebiehajú energetické transformácie,
- pre každý dopravný výrobný systém existuje optimálna veľkosť a optimálne riadenie z hľadiska energetických transformácií,
- existencia výrobného systému pracujúceho v dopravných operáciách je určená charakterom energetických transformácií, ktoré v systéme prebiehajú,
- výrobné systémy pracujúce v doprave sa rozpadajú, ak je prekročená hranica systémovej tolerancie vzhľadom k energetickým transformáciám,
- kritériom existencie, či konkurencie-schopnosť výrobného systému pracujúceho v doprave je merná energia vzťahujúca sa na jednotku vykonanej práce systémom,

- výrobné systémy pracujúce v doprave sú schopné existencie, ak prebiehajú v systéme transformácie energie, charakterizovanej minimom vlozenej energie použitej na jednotku výkonnosti realizovanej systémom.

Na uvedených zásadách bol realizovaný experiment sledujúci možnosti minimalizácie dopravnej erózie ťahača.

2 PROBLEMATIKA

Zo všetkých lesníckych činností je porušenie povrchu pôdy najvýraznejšie práve pri ťažbovo-dopravnej činnosti. Dôvodom je prevládajúci pozemný transport dreva, ktorý má pri značnej hmotnosti prepravovaných nákladov na povrch pôdy bezprostredný (negatívny) vplyv (Suchomel a kol. 2009).

Pri sústreďovaní dreva vo výchovných a obnovných ťažbách na svahoch dochádza k porušovaniu pôdneho povrchu vlečením dreva a jazdou techniky pri následnom spolupôsobení vody. Tento proces sa nazýva ťažbovo-dopravná erózia (TDE). Ťažbovo-dopravná erózia predstavuje objem pôdy premiestnenej v období ťažby a transportu dreva pôsobením mechanizačných a animálnych prostriedkov, transportovaného materiálu a vody.

Klasifikácia ohrozenosti lesných pozemkov eróziou sa väčšinou obmedzovala iba na vodnú eróziu (MIDRIAK, 1987, AMBROS, 1983, MACKŮ, 1987). KLČ (1997) popisuje eróziu vznikajúcu realizáciou lesnej dopravnej siete na lesnej pôde. Popisuje vznik erózie na lesných cestách z časového hľadiska, miesta vzniku, množstva, intenzity a náchylnosti lesnej dopravnej siete na ťažbovo-dopravnú eróziu, uvádza rámcové postupy na obmedzenie eróznno-transportných procesov.

Poranením a stláčaním pôdy pri vybraných ťažbovo-dopravných technológiách sa zaoberal SUCHOMEL (1992). Kvantifikoval stupeň poškodenia pôdy vybranými prostriedkami pri sústreďovaní dreva vo flyšovej oblasti.

Medzi najnovšie príklady využitia progresívnych prostriedkov v oblasti minimalizácie TDE patria práce Tuček a Suchomel (2003), Slančík (2008) a Suchomel a kol. (2009). Uvedené práce prezentujú najnovšie poznatky z oblasti optimalizácie terénnej a technologickej typizácie v prostredí geografických informačných systémov (GIS) s dôrazom na minimalizáciu ťažbovo dopravnej erózie. Zároveň uvedení autori uvádzajú výsledky projektu orientovaného na využitie geoinformatiky pre plánovanie ťažbovo-dopravných technológií a sprístupňovanie lesov v podmienkach podniku Lesy SR, š. p., OZ Kriváň.

3 APLIKÁCIA PRINCÍPU PRÍRODNÉHO MINIMAXU V PROCESE DOPRAVNEJ ERÓZIE ŤAHAČA

Pôsobenie princípu minimaxu je obecného charakteru a vyjadruje systémové väzby medzi vstupmi do ľubovoľného objektu neživého, živého, umelého, alebo vytvoreného prirodzenou cestou. Vstupy sú energetického, materiálového charakteru a vstupy do systému sú pri systémoch vyššej hierarchie riadené vstupmi pracovných síl.

Ak sa zvyšuje intenzita systému pomocou rýchlosti materiálového alebo energetického toku prechádzajúceho systémom, na výstupe získaný produkt rastie lineárne; na udržanie lineárneho trendu rastu produkcie je nutné vstupy do systému zvyšovať exponenciálne. Ak študujeme pomer medzi výstupmi zo systému (pri mobilných terénnych systémoch sú to spracované $m^3 \cdot h^{-1}$, $ha \cdot h^{-1}$) a vstupmi do systému (energetické, materiálové, či vstupy pracovných síl), nachádzame optimálny režim práce mobilného terénneho systému vyjadrený v Euro, či v J (joule) na jednotku fyzickej práce vykonanej systémom.

Pre systémy medzi vstupmi a výstupmi platí vzťah:

$$f(I) = E(I) + M(I) + PS(I) \quad [\in h^{-1}] \quad (1)$$

kde:

$f(I)$ – obecný vstup do systému privedený na univerzálnu jednotku vzťahujú na jednotku času $[\in h^{-1}]$,

$E(I)$ – energetické vstupy do systému vyjadrené univerzálnou jednotkou $[\in \cdot h]$, $[J \cdot h^{-1}]$,

$M(I)$ – materiálové vstupy do systému vyjadrené univerzálnou jednotkou $[\in \cdot h]$, $[kg \cdot h^{-1}]$,

$PS(I)$ – vstupy pracovných síl do systému vyjadrené univerzálnou jednotkou $[\in \cdot h]$,

I – intenzita práce systému (prierez materiálového toku, rýchlosť materiálového toku).

Ak vyjadríme pomer medzi vstupmi a výstupmi vzťahom:

$$Q(I) = \frac{f(I)}{W(I)} \quad [\in m^{-3}] \quad (2)$$

kde:

$Q(I)$ – merná práca vložená do systému vzťahujú na jednotku vykonanej fyzickej práce,

$W(I)$ – výkonnosť systému za jednotku času,

dostávame množstvo potrebného vstupu energetického, materiálového, či vstupov pracovných síl vzťahujúcich na jednotku fyzicky vyrobeného produktu (\in na jeden m^3 opravovanej hmoty, či jeden ha opravovanej plochy).

Je známe, že všeobecne platí:

Minimálnu hodnotu vstupu či energie či pracovnej sily dostávame zo vzťahu:

$$\frac{\partial Q(I)(v, S)}{\partial I(v, S)} = 0 \quad (3)$$

kde:

I – intenzita práce systému (rýchlosť materiálového toku prúdiaceho systémom, rýchlosti či prierez energetického či materiálového toku,

v – rýchlosť materiálového či energetického toku prúdiaceho systémom $[m \cdot s^{-1}]$,

S – prierez energetického či materiálového toku prúdiaceho systémom $[m^2]$.

Vykonaním naznačených úkonov

$$\frac{\partial Q[I(v, S)]}{\partial I(v, S)} = 0 \quad (4)$$

dostávame formálny vzťah

$$\frac{\partial Q[I(v,S)]}{\partial I(v,S)} = \frac{\partial Q}{\partial I} \cdot \frac{\partial I}{\partial S} \cdot \frac{\partial Q}{\partial I} \cdot \frac{\partial I}{\partial b} = 0. \quad (5)$$

Snahou prevádzkovania mobilných terénnych systémov (MTS) je to, aby ich pracovný režim vzhľadom k podmienkam práce sa pohyboval v okolí stacionárneho bodu, tj. platí rovnica 4.

Pre predmet nášho skúmania platí:

Ak bolo experimentálnym štetrením a následným spravovaním výsledkov zistené, že krivka mernej energie, merných nákladov, či merného poškodenia je stále rastúca, je toto chovanie mobilného systému spôsobené zlou konštrukciou. Energetický zdroj je predimenzovaný vzhľadom ku konštrukcii pracovného stroja a optimálny režim nemôže byť dosiahnutý. Ďalej je jav vyvolaný nesprávnym režimom práce mobilného terénneho systému. Mobilný systém pracuje z hľadiska charakteristík vstupov v oblasti preťaženia, ktoré nedovoľuje dosiahnuť optimum z hľadiska zadaného kritéria.

4 PRINCÍPY TEÓRIE OBECNEJ SYSTÉMOVEJ ANALÝZY OPTIMALIZÁCIE PARAMETROV ENVIRONMENTÁLNEJ TECHNIKY A JEJ VERIFIKÁCIE

V rámci experimentu bol vykonaný rozbor činiteľov majúcich vplyv na veľkosť dopravnej erózie u dopravných systémov a navrhnuté matematické modely, pomocou ktorých možno množstvo tejto erózie minimalizovať.

Rozboru boli podrobené systémy produkujúce eróziu. Ďalej boli v práci skonštruované modely, umožňujúce optimalizovať náklady vkladané do ekosystémov pod eróznym zaťažením.

V rámci práce boli identifikované a analyzované podmienky a ich vplyv na optimálny režim systémov produkujúcich eróziu, z hľadiska mernej erózie prepočítanej na jednotku ich výkonnosti.

Kritériálna funkcia, ktorá bola optimalizovaná, vyjadrujúca množstvo erózie prepočítanej na jednotku produkcie dopravného systému bola stanovená v tvare:

$$Q = \left[\frac{\partial(m_{OE} + m_{IE})}{\partial t} \cdot Q_E^{-1} S_E + \frac{\partial(m_{OM} + m_{IM})}{\partial t} \cdot S_M \right] \cdot \frac{1}{W(W_p, W_k)} \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (6)$$

kde:

Q – merná erózia, prepočítaná na jednotku produkcie dopravného systému [$kg \cdot m^{-3}$], [$kg \cdot ks^{-1}$],

m_{OE} – materiálový ekvivalent energetického toku, odoberaný výrobným systémom nutný na zaistenie nepracovného režimu dopravného systému [kg],

m_{IE} – materiálový ekvivalent energetického toku, odoberaný ťažobným a dopravným systémom na zaistenie pracovného režimu [kg],

Q_E – merná energia nosiča energie [$kg \cdot g \cdot kg^{-1}$],
 S_E – merná inherentná erózia prepočítaná na energetický nosič o hmote m_E [$kg \cdot kg^{-1}$],
 S_M – merná inherentná erózia prepočítaná na materiálový nosič o hmote m_M [$kg \cdot kg^{-1}$],
 m_{0M} – materiálový tok nutný na zaistenie nepracovného režimu výrobného systému [kg],
 m_{iM} – materiálový tok nutný na zaistenie pracovného režimu výrobného systému [kg],
 $\eta_{CM}(W_{pe}, W_{ke})$ – účinnosť transformácie energie na výsledný produkt dopravného systému v závislosti na konštrukčnej a prevádzkovej výkonnosti W_p, W_k ,
 η_{CM} – účinnosť prenosu transformácie hmoty na výsledný produkt vyrobený výrobným systémom,
 W – výkonnosť výrobného systému [$kg \cdot s^{-1}, m^3 \cdot s^{-1}, m^3 \cdot s^{-1}$],
 W_k – konštrukčná výkonnosť dopravného systému [$kg \cdot s^{-1}, m^3 \cdot s^{-1}, m^3 \cdot s^{-1}$],
 W_p – prevádzková výkonnosť dopravného systému [$kg \cdot s^{-1}, m^3 \cdot s^{-1}, m^3 \cdot s^{-1}$].

Pre extrém funkcie mernej erózie, prepočítanej na jednotku objemu transportovanej hmoty v závislosti na rýchlosti produkčného toku, dopravného systému danom prevádzkovej a konštrukčnej výkonnosti platia podmienky nutné:

$$\frac{\partial Q}{\partial W_p} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial W_k} = 0$$
(7)

Vykonaním obidvoch naznačených výkonov umožnilo nájsť výrazy (Janeček, 1996) pre optimálnu prevádzkovú výkonnosť výrobných systémov, ktorá zaisťuje minimálne množstvo erózie, prepočítanej na jednotku produkcie týchto výrobných systémov (W_{opr}) a optimálna konštrukčná výkonnosť výrobných systémov, ktorá zaisťuje minimum erózie prepočítanej na jednotku produkcie týchto výrobných systémov pri zadanej prevádzkovej výkonnosti ($W_{p,opr}$).

4.1 Výpočet tvorenia stopy ťahačom

Východia rovnica udávajúca vzťah medzi stredným kontaktným tlakom p_s v dosadacej ploche pneumatiky a hĺbkou koľaje vzhľadom k povrchu porastu je uvažovaná v tvare:

$$p_s = \frac{k \cdot t^n}{100} \quad [N \cdot m^{-2}]$$
(8)

kde:

p_s – stredný kontaktný tlak pneumatiky ťahača [$N \cdot m^{-2}$],

n – exponent závislý na stupni plasticity zeminy povrchu porastu [–],

pre lesné pôdy a terénne pneumatiky sa exponent n pohybuje v intervale:

$n \in \langle 0,5 - 1,1 \rangle$ pre suché pevné zeminy ($w \in \langle 0 - 8 \rangle \%$)

$n \in \langle 0,3 - 0,7 \rangle$ pre stredne vlhké zeminy ($w \in \langle 8 - 14 \rangle \%$)

$n \in \langle 0,2 - 0,4 \rangle$ pre vlhké zeminy ($w \in \langle 15 - 30 \rangle \%$)

t – hĺbka zaborenia [m],

k – súčiniteľ závislý na stupni plasticity zeminy.

Odporúčené koeficienty pre lesné pôdy udáva tab. 1.

Tabuľka 1 Hodnoty súčiniteľa k

Druh zeminy	suchá	Stredne vlhká	vlhká
Piesočnatá	4–5	2–3	0,5–1
Piesočnato-hlinitá	4–7	3–5	0,08–1,4
Hlinito-piesočnatá	4–8	2–4	0,01–0,1

Pre funkčnú závislosť medzi zaťažením pneumatík ťahača $Y_{A,B}$ a hĺbkou vytvorenia stopy pneumatiky $t_{A,B}$ vychádzame zo vzťahov (Janeček, 1992)

$$t_{A,B} = \sqrt{\frac{Y_{A,B}}{2 \cdot b_{A,B} \cdot k \cdot l_{A,B}}} \cdot \frac{1}{100} \quad [m] \quad (9)$$

kde:

$b_{A,B}$ – šírka pneumatiky [m],

$t_{A,B}$ – hĺbka zaborenia pneumatiky [m],

$Y_{A,B}$ – normálová reakcia na prednú, zadnú nápravu ťahača [N],

$l_{A,B}$ – dĺžka otláčku pneumatiky [m],

k – súčiniteľ závislý na stupni plasticity lesnej pôdy (viď tab. 1).

$$l_{A,B} = \sqrt[2n+1]{\frac{D^n Y_{A,B}}{b_{A,B} \cdot k}} \quad [m] \quad (10)$$

Pre tlaky vyvedené trakčným ústrojom ťahača plynie:

$$p_{s A,B} = \frac{Y_{A,B}}{2 \cdot b_{A,B} \cdot l_{A,B}} \quad [N \cdot m^{-2}] \quad (11)$$

Ak vyjadríme dĺžku otláčku pneumatiky pomocou koeficientu:

$$\lambda_r = \frac{D/2}{L} = \frac{R_d}{L} \quad [-] \quad (12)$$

kde:

L – rázvor ťahača [m],

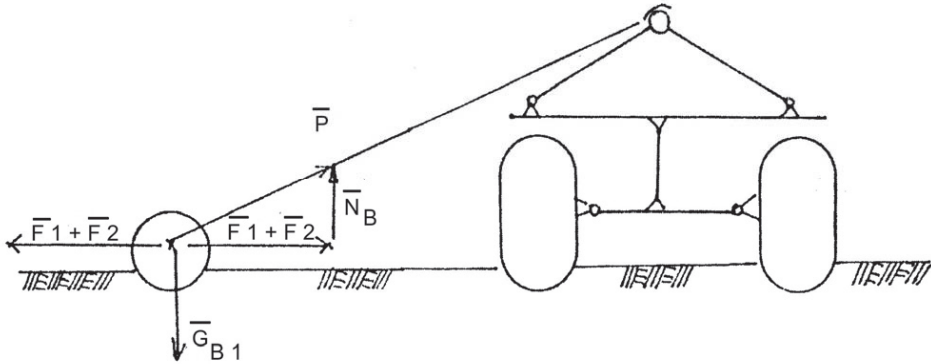
D – priemer zadnej, prednej pneumatiky ťahača [m].

Dostaneme:

$$l_{A,B} = \sqrt[2n+1]{\frac{(2 \cdot \lambda_r \cdot L)^n Y_{A,B}}{b_{A,B} \cdot k}} \quad [m] \quad (13)$$

4.2 Vlastnosti vlečeného bremena

Zaborenie a ním spôsobená dopravná erózia pri nakladaní bremena vid' obr. 1



Obr. 1

$$\bar{N}_B = \bar{G}_{B1}$$

$$\bar{F} = \bar{G}_{B1} \cdot f \cdot k_1 = \bar{F}1 + \bar{F}2 \quad [N] \quad (14)$$

$$\bar{P} = \bar{F} + \bar{G}_{B1} \quad [N]$$

kde:

\bar{G}_{B1} – tiaž bremena [m],

\bar{F} – sila pôsobiaca proti pohybu bremena G_{B1} [N],

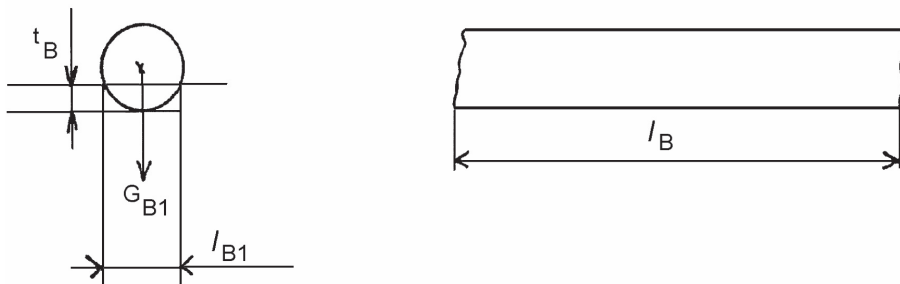
$\bar{F}1$ – sila pôsobiaca proti pohybu bremena G_{B1} spôsobená vlečným – valivým trením [N],

$\bar{F}2$ – sila pôsobiaca proti pohybu bremena G_{B1} spôsobená hnutím lesnej pôdy [N],

f – koeficient vlečeného a valivého trenia [-],

\bar{P} – okamžitá sila pôsobiaca v zdvíhacom zariadení na bremeno G_{B1} (vektor) [N],

k_1 – koeficient zvyšujúci treciu silu $G_{B1} \cdot f$ o účinok hnutia zeminy [-].



Obr. 2

$$p_{sB} = \frac{G_{B1}}{l_{B1} \cdot l_B}$$

kde:

l_{B1} – dĺžka stopy jedného bežného metra surového kmeňa [m],

l_B – dĺžka surového kmeňa [m],

p_{sB} – merný tlak biomasy na pôdu [$N \cdot m^{-2}$].

Hĺbka zaborenia je daná vzťahom:

$$t_B = k \cdot p_{sB}^n = k \cdot \left[\frac{G_{B1}}{l_{B1} \cdot l_B} \right]^n \quad [m] \quad (15)$$

kde:

t_B – hĺbka zaborenia jedného bežného metra surového kmeňa [m].

Dopravná erózia spôsobená nakladaním bremena na ťahač je určená vzťahom:

$$V_{E1} = t_B \cdot S_1 \cdot l_B = k \cdot \left[\frac{G_{B1}}{l_{B1} \cdot l_B} \right]^n \cdot S_1 \cdot m \cdot l_B \quad [m^3] \quad (16)$$

kde:

G_{B1} – priemerná tiaž bežného metra biomasy (surového kmeňa) pri nakladaní [N],

l_{B1} – dĺžka stopy bežného metra surového kmeňa [m],

l_B – dĺžka surového kmeňa [m],

S_1 – priemerná vzdialenosť nakladanej biomasy [m],

m – koeficient dopravnej erózie [-],

V_{E1} – dopravná erózia spôsobená nakladaním [m^4].

4.3 Ťažbovo dopravná erózia spôsobená pohybom ťahača po lesnej ceste

Dopravná erózia spôsobená pohybom ťahača pre lesnej ceste je daná vzťahom:

$$V_{E2} = t_{A,B} \cdot b_{A,B} \cdot S_D \cdot m \quad [m^3] \quad (17)$$

kde:

S_D – priemerná vzdialenosť dopravy biomasy ťahačom po lesnej ceste [m],

$t_{A,B}$ – hĺbka zaborenia pneumatiky ťahača do povrchu porastu [m],

$b_{A,B}$ – šírka pneumatiky [m],

m – koeficient dopravnej erózie [-].

Koeficient dopravnej erózie pre lesné pôdy je:

$m \in \langle 0,5-0,7 \rangle$ pre suché pôdy,

$m \in \langle 0,6-0,9 \rangle$ pre vlhké pôdy,

$m \in \langle 0,8-1,2 \rangle$ pre veľmi vlhké pôdy.

Celková dopravná erózia je daná vzťahom:

$$V_E = V_{E1} + V_{E2} \quad [m^3]$$

kde:

V_E – celková dopravná erózia spôsobená ťahačom počas jedného cyklu práce [m^3],

V_{E1} – dopravná erózia spôsobená nakladaním biomasy počas jedného cyklu [m^3],

V_{E2} – dopravná erózia spôsobená posúvaním ťahača po lesnej ceste [m^3].

Ak vyjadríme dopravnú eróziu spôsobenú ťahačom na lesnej ceste hmotnostne od-
držíme:

$$G_{EC} = V_E \gamma_p \quad (18)$$

kde:

G_{EC} – tiaž dopravne erodovanej zeminy lesnej cesty [N],

γ_p – merná tiaž erodovanej zeminy lesnej cesty [$N.m^{-3}$].

ZÁVER

Deterministický matematický model ťahač umožňuje optimalizovať pracovný režim ťahača s ohľadom na energetické, ekologické (dopravná erózia) a ekonomické kritériá. Optimalizácia vykonaná pomocou matematického modelu bude odrážať realitu v prípade, že užívateľ objektívne zmeria a využije v modeli vstupné parametre. Z tohto dôvodu je nutné zaistiť experimentálne parametre charakterizujúce:

- fyzikálno-matematické vlastnosti porastu,
- fyzikálno-geometrické charakteristiky ťahača,
- technicko-ekonomické charakteristiky.

Dielčia citlivostná analýza ukázala, že podstatný vplyv na veľkosť merných nákladov, na veľkosť mernej energie, alebo dopravnej erózie majú parametre systému ťahača: tiaž, veľkosť ložného objemu, pracovná rýchlosť. Negatívne ovplyvňujú energeticko-ekonomické parametre ťahača: tiaž a veľkosť ložného objemu ťahača, pozitívne rýchlosť. Zmeny tiaže a ložného objemu rádovo o 5–10% ovplyvni energetiku či ekonomiku práce o 30–40%. Dopravná erózia sa vyššie uvedenou zmenou zvýši o 10–20%.

Výrazný vplyv majú fyzikálno-mechanické konštanty charakterizujúce povrch terénu či lesnej cesty. Zmeny hodnôt týchto parametrov o 5–10% ovplyvni negatívne energetické, ekonomické parametre pracovného systému o 20–40% a dopravnú eróziu o 10–40%.

LITERATÚRA:

1. AMBROS, Z., 1983: Protierózny potenciál lesných ekosystémov. *Lesnícky časopis*, 29(4): 291–299.
2. DOUDA, V.: Nepříznivý vliv techniky na lesy v různých etapách vývoje. VŠZ Praha, 1986.
3. DOUDA, V.: Poškození lesních půd těžebně dopravní mechanizace. *Lesnictví* roč. 27/1981, č. 12, s. 1045–1084.

4. JANEČEK, A.: Analýza vztahů mezi provozní a konstrukční výkonností L VS a měrnou energií. LF ČZU Praha, 1996.
5. JANEČEK, A.: Optimalizace struktury a postupů lesních výrobních systémů v lesním hospodářství, LF ČZU Praha, 1996.
6. JANEČEK, A.: Teorie obecné systémové analýzy, optimalizace parametrů lesní techniky a její verifikace, LF ČZU Praha, 1996.
7. JANEČEK, A.: Určení optimálních parametrů lesních výrobních systémů z hlediska přenosu energie na podkladě teoretické analýzy problematiky, LF ČZU Praha, 1996.
8. KLČ, P., 1997: Lesná dopravná sieť vo vzťahu k erózii pôdy. *Lesnícky časopis – Forestry journal*, 43(1): 11–19.
9. MACKŮ, J., 1987: Návrh zásad dlouhodobých melioračních opatření v hospodářské úpravě lesů. Brno, Lesoprojekt: 34 pp.
10. MIDRIAK, R., 1987: Potenciálna erózia lesnej pôdy ČSSR. In: Vedecké práce Výskumného ústavu lesného hospodárstva vo Zvolene, 25. Práce lesníckeho pôdoznanectva, Bratislava, Príroda: 20–228.
11. SLANČÍK, M., 2008: Návrh terénnej a technologickej typizácie v prostredí GIS, dizertačná práca, Technická univerzita vo Zvolene, 169 s.
12. SUCHOMEL, J., 1992: Poškodzovanie porastu, podrastu a pôdy vo vybraných ťažbových a dopravných technológiách. *Acta facultatis forestalis Zvolen Slovakia* 34/1992: 331–342
13. SUCHOMEL, J., SLANČÍK, M., TUČEK, J., KOREŇ, M., 2009: Optimalizácia terénnej a technologickej typizácie v prostredí GIS, monografia, 117 s., Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 978-80-228-2056-1.
14. TUČEK, J., SUCHOMEL, J., 2003: *Geoinformatika v sprístupňovaní lesov a optimalizácii ťažbovo-dopravných technológií – možnosti, stav a perspektívy*. Vedecké štúdie 5/2003/B, Technická univerzita vo Zvolene, ISBN 80-228-1315-X, 166 str.

Kontaktná adresa:

prof. Ing. Adolf Janeček, DrSc. Dr. h. c.,

Česká zemědělská universita,

Lesnícká fakulta,

165 21 Praha 6 – Suchdol,

Česká republika, e-mail: janecek@fld.czu.cz

doc. Ing. Ján Marko, CSc.,

Katedra lesnej a mobilnej techniky,

Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky,

TU vo Zvolene, e-mail: marko@vsld.tuzvo.sk

K MOŽNOSTI TECHNICKÉHO VYUŽITIA SILOVÝCH ÚČINKOV ELEKTROSTATICKEHO POĽA V TECHNOLOGII VÝROBY MODIFIKOVANÝCH DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV

ABOUT USING THE ELECTROSTATIC FIELD POWER EFFECTS IN TECHNOLOGY FOR MODIFIED WOOD-CEMENT COMPOSITES MANUFACTURING

Ivan MAKOVÍNY

ABSTRACT: Our aim was to recognize the possibilities for using the electrostatic field power effects in orientation of wood composites, which were made from excelsior and were modified by carbon and cement. A layer of orientated particles modified by carbon can be utilized in wood-cement compositing boards manufacturing, which are intended for electromagnetic field shielding. Orientated particles in a carbon modified wood-cement composite should create a layer with specific electric properties. There was experimentally proven that it is possible to turn, and thus to orientate, wood particles modified by carbon and cement, especially with length of 30 mm. Its efficiency is up to 100%. A maximum efficiency 70÷80% was obtained for particles with length of 40 mm and 50 mm.

Key words: electrostatic field, wood-cement composites, wood particles, carbon, shielding of electromagnetic fields, modified wood-cement composites from excelsior

ABSTRAKT: Cieľom práce bolo zistiť možnosti využitia silových účinkov elektrostatického poľa na orientáciu drevných častíc vyrobených z drevnej vlny modifikovaných uhlíkom a cementom. Vrstva z orientovaných uhlíkom modifikovaných častíc sa môže uplatniť pri výrobe drevo-cementových kompozitných dosiek určených na tienenie elektromagnetických polí. Orientované častice v drevo-cementovom uhlíkom modifikovanom kompozite by tvorili vrstvu so špecifickými elektrickými vlastnosťami. Experimentálne sa potvrdilo, že v elektrickom poli je možné s vysokou účinnosťou natáčať, a tým orientovať drevné častice modifikované uhlíkom a cementom a to najmä s dĺžkou 30 mm, (až 100%). Keď mali častice dĺžku 40 a 50 mm tak sa dosiahla maximálna účinnosť 70÷80%.

Kľúčové slová: elektrostatické pole, drevo-cementové kompozity, drevné častice, uhlík, tienenie elektromagnetických polí, modifikované drevo-cementové kompozity z drevnej vlny

1. ÚVOD

K výrobe obvyčajnej drevo cementovej dosky sa používa drewná vlna zo smrekového dreva. Drewná vlna pozostáva z prúžkov dlhých cca 500 mm, ktoré v doske vytvárajú nepravidelnú priestorovú štruktúru. Vývoj uhlíkom modifikovanej drevo cementovej dosky pre dosiahnutie špecifickej vlastnosti – vysokého útlmu elektromagnetického žiarenia si vyžaduje vrstvu krátkych, v rovine a priestore, usporiadaných drewných častíc z drewnej vlny modifikovaných uhlíkom a cementom.

Cieľom tejto práce bolo zistiť možnosti aplikácie silových účinkov elektrostatického poľa na natočenie drewných častíc z drewnej vlny uhlíka a cementu v technológii výroby uhlíkom modifikovaných drevo cementových kompozitov.

2. FYZIKÁLNE ZÁKLADY ORIENTOVARIA DREVNÝCH ČASTÍC V ELEKTROSTATICKOM POLI

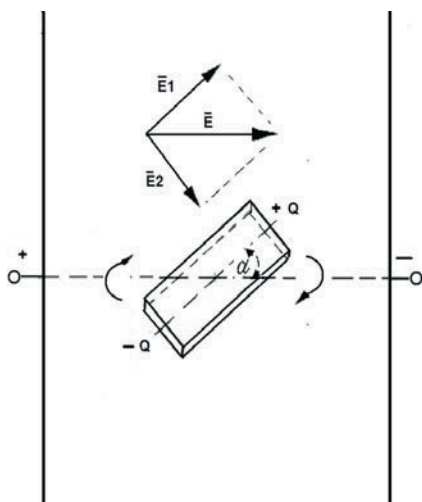
V drevárskej praxi sa už v minulosti v rokoch 1958-60 začal využívať účinok elektrostatických síl pri výrobe orientovaných drevotrieskových resp. aj drevovláknitých dosiek, (Štofko, 1962). Fyzikálny princíp ich výroby spočíva v tom, že drewné častice prepadávajú priestorom medzi doskami – elektródami rovinného kondenzátora, ktoré sú pripojené na vysoké jednosmerné napätie. Drewné častice sa tak dostávajú do elektrostatického poľa. Účinkom intenzity elektrostatického poľa sa polarizujú. Na čelách častíc sa vytvárajú náboje. Častice sa preto pôsobením silového účinku poľa orientujú do smeru intenzity elektrostatického poľa.

Orientované drevotrieskové resp. drevovláknité dosky majú zvýšené hodnoty niektorých mechanických vlastností najmä pevnosti v ohybe. V prípade aplikácie orientovaných krátkych drewných častíc vo výrobe modifikovaných drevo cementových kompozitných dosiek očakávame zvýšený účinok orientovaných častíc na útlm elektromagnetického žiarenia.

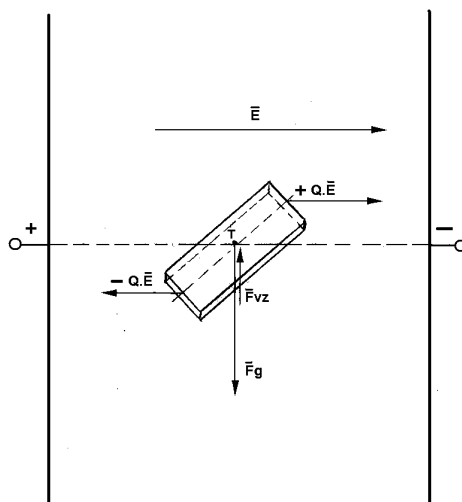
2.1 Polarizácia drewnej častice v elektrostatickom poli

Pod polarizáciou sa rozumie premiestnenie elektrických nábojov spolu so svojimi nosičmi, ktoré tvoria stavebné prvky daného materiálu pod účinkom elektrostatického poľa. Pritom v danom dielektrickom materiáli existuje vnútorné elektrostatické pole.

Uvažujme modelovú drewnú časticu (obr. 1). Po jej vložení do homogénneho elektrostatického poľa o intenzite E je vo vnútri častice intenzita E_v .



Obr. 1 Modelová drewná časťica v elektrickom poli kondenzátora



Obr. 2 Pôsobenie síl na modelovú drewnú časťicu voľne sa pohybujúcu v elektrickom poli kondenzátora.

Stav dielektrika časťice môžeme charakterizovať vektorom polarizácie \vec{P} . Viazaný nevykompenzovaný náboj Q na čelnej ploche časťice S vytvorí plošnú hustotu náboja Q_s a platí:

$$Q_s = Q / S = \epsilon_0 \cdot E_1 = \epsilon_0 \cdot E \cdot \cos \alpha \quad (1)$$

V dôsledku pôsobenia zložky intenzity E_1 vzniká polarizačný dej a elektrický náboj na čelných plochách triesky. Polarizácia časťice však neprebehne okamžite po objavení sa časťice v elektrostatickom poli, ale na jej ustálenie (dosiahnutie maxima natočenia a posunutia viazaných nábojov v časťici) je potrebný určitý čas aj keď krátky, ktorý sa nazýva relaxačný čas τ . Časový priebeh ustáľovania polarizačného deja je tlmený a je úmerný výrazu $(1 - e^{-t/\tau})$.

2.2 Sily pôsobiace na drewnú časťicu v elektrostatickom poli

Na modelovú drewnú časťicu (obr. 2) pôsobí elektrická sila \vec{F}_e a tiež mechanické sily \vec{F}_g a \vec{F}_{vz} – od zemskej tiaže (gravitačná \vec{F}_g) a od odporu vzduchu (Stokesova \vec{F}_{vz}). Smer síl mechanickej povahy je protichodný. V osi predchádzajúcej ťažiskom pôsobí sila gravitačná v smere k povrchu zeme a v opačnom smere pôsobí Stokesova sila.

Ak uvažujeme s pohybom skupiny častíc nastáva ešte ich mechanická interakcia čo môže silne ovplyvniť výsledný smer (orientáciu) častíc po ich dopade na podložku. Tento problém sa môže zjednodušiť voľbou vhodného spôsobu vsypávania častíc a ich množstva za jednotku času.

Na koncoch drevnej častice o dĺžke l v dôsledku polarizácie vzniknú rovnako veľké náboje ale opačnej polarítity $+Q$, $-Q$. Potom častica predstavuje dipól makroskopických rozmerov a na oba náboje takéhoto dipólu budú pôsobiť rovnako veľké elektrické sily

$$\vec{F}_1 = Q \cdot \vec{E} \quad \text{resp.} \quad F_2 = -Q \cdot \vec{E} \quad (2, 3)$$

ktoré sú opačného smeru a spôsobia otáčavý moment:

$$\vec{M} = \vec{F} \times \vec{l} \quad (4)$$

skalárne platí

$$M = Q \cdot E \cdot l \cdot \sin \alpha \quad (5)$$

pričom uhol α je uhol, ktorý zvierá os dipólu – drevnej častice so smerom vektora intenzity elektrostatického poľa \vec{E} . Tento otáčavý moment spôsobuje natáčanie drevnej častice do smeru vektora \vec{E} , t.j. kolmo na elektródy rovinného kondenzátora. Na časticu v homogénnom elektrostatickom poli pôsobí zemská tiaž \vec{F}_g , pre ktorú platí

$$\vec{F}_g = m \cdot \vec{g} \quad (6)$$

kde m je hmotnosť častice, \vec{g} – gravitačné zrýchlenie. Ak sa častica pri voľnom páde pohybuje rýchlosťou v , tak vzduch kladie pohybu častice odpor. Tento odpor vzduchu spôsobí silu \vec{F}_{vz} , ktorú zistíme zo vzťahu

$$\vec{F}_{vz} = k_{vz} \cdot S_n \cdot \frac{\rho_{vz}}{2} \cdot \vec{v}^2 \quad (7)$$

kde k_{vz} je súčiniteľ odporu vzduchu, S_n – obsah plochy triesky premietnutý do vodorovnej roviny, ρ_{vz} – merná hustota vzduchu, \vec{v} – rýchlosť pohybu častice.

2.3 Faktory ovplyvňujúce stupeň orientácie drevnej častice

Z doposiaľ vykonaných úvah a napísaných vzťahov vyplýva od ktorých faktorov bude závisieť výsledné natočenie drevných častíc v elektrostatickom poli. Tieto faktory môžeme rozdeliť na – vnútorné (závisiace len od vlastností častíc) a vonkajšie (dané vonkajšími podmienkami).

Vnútorné faktory:

- vlhkosť častíc, od ktorej závisí hmotnosť častíc a permitivita častíc,
- geometrický tvar častíc,
- geometrické rozmery častíc,
- druh dreva častíc,
- vlastnosti ďalších materiálov ktorými sú častice modifikované.

Vonkajšie faktory:

- intenzita elektrostatického poľa,
- geometrické rozmery kondenzátora (najmä výška elektród),
- spôsob vsypávania častíc do priestoru kondenzátora ako aj ich množstvo za jednotku času.

3. MODEL ROTAČNÉHO POHYBU MAKROSKOPICKEJ ČASTICE TVARU KVÁDRA

Skúmame rotačný pohyb častice v tvare nízkeho kvádra s rozmermi $l \times \xi \times h$ umiestneného do homogénneho elektrického poľa vytvoreného jednosmerným napätím podľa obr. 1. Predpokladáme, že častica sa dielektricky polarizuje prakticky okamžite, a preto vznikajú na čelách častice rovnaké polarizačné náboje $+Q$ a $-Q$ vzdialené od seba na dĺžku častice l .

Predpokladáme, že pri rotácii častice, ktorá má moment M , nie je odpor vzduchu. Potom základná momentová rovnica pre pohyb častice bude mať tvar (Horák 1958, Hutschneker 1979):

$$M = M_d \quad (8)$$

Po úprave rov. 8, vyjadrením elektrického momentu M (rov. 5) a dynamického M_d ako súčinu momentu zotrvačnosti a druhej derivácie uhla natočenia α podľa času t dostaneme vzťah:

$$Q \cdot E \cdot l \cdot \sin \alpha = J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} \quad (9)$$

Za predpokladu, že natočenie častice prebieha len v oblasti malých zmien uhla α tak platí $\sin \alpha \approx \alpha$ a rov. 9 môžeme prepísať do tvaru

$$J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + Q \cdot E \cdot l \cdot \alpha = 0 \quad (10)$$

Tento tvar rovnice má dobre známe riešenie (Horák, 1958) v tvare

$$\alpha = \alpha_{\max} \cos(\omega \cdot t + \alpha_0) \quad (11)$$

Riešenie rovnice charakterizuje harmonický kmitavý netlmený pohyb. Pre uhlovú rýchlosť a vlastnú frekvenciu častice valcového tvaru platí

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{12EQ}{m \cdot l}} \quad \text{resp.} \quad f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} \quad (12,13)$$

Pri dostatočne spoľahlivých údajoch najmä o veľkosti polarizačného náboja Q momente zotrvačnosti častice J je možné z riešenia tejto rovnice zistiť priebeh dráhy, natočenia častice v závislosti od času pre zvolené začiatočné podmienky.

Pohyb častíc v priestore elektród je zloženým z dvoch nezávislých pohybov, a to z voľného pádu v gravitačnom poli a z rotačného pohybu v elektrostatickom poli.

4. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

4.1 Materiál a aparátúra

Pri experimentoch bola použitá drevná vlna zo smrekového dreva z ktorej sa pripravili drevné častice o šírke 3 mm, hrúbke 0,3 mm a rôznej dĺžke 30, 40 a 50 (mm). Rozdelili sa na tri skupiny:

1. čisté drevné častice (D) z drevnej vlny
2. drevné častice obalené vrstvou uhlíka, (D+C) s obsahom uhlíka 25 hm. % z hmotnosti cementu
3. drevné častice obalené zmesou cementu a uhlíka, (D+C+Ce) s obsahom uhlíka 25 hm. % z hmotnosti cementu a cementu hm.100% z hmotnosti dreva

Pre docielenie orientácie krátkych drevných častíc pri nanášaní koberca s cieľom vyrobiť orientované, uhlíkom modifikované drevocementové kompozitné dosky, sme vykonali sériu experimentov a navrhli sme experimentálnu aparátúru obr. 3. Pozostávajú z doskového kondenzátora, zdroja regulovateľného vysokého jednosmerného napätia a násypného zariadenia.



3a



3b

Obr. 3 Laboratórna experimentálna aparátúra, 3a) zdroj vn napätia; 3b) doskový kondenzátor s časticami typu D+C, pripojený na zdroj vn napätia



Obr. 4 Násypné zariadenie

Doskový rovinný kondenzátor tvorili dve rovinné elektródy z hliníkového plechu o rozmeroch $250 \times 500 \times 3$ mm. Boli uchytené v stojanoch, tak aby sa dala meniť vzdialenosť elektród.

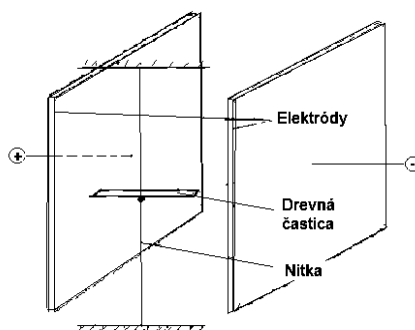
Zdroj vysokého napätia TESLA MBS 601, bol regulovateľný od 0 do 10 kV. Skonstruované bolo násypné zariadenie (Šlesárik, 2009), pre mechanické vhadzovanie častíc medzi elektródy. Pozostáva z násypky a rotujúceho valca poháňaného elektromotorčekom, (obr. 4).

4.2 Experiment 1

Tento experiment bol zameraný na zisťovanie minimálnej hodnoty intenzity elektrického poľa potrebnej na natočenie o 90° každej z troch typov častíc.

4.2.1 Postup merania a výsledky

Pokusy sa vykonali tak, že častice tvaru nízkeho kvádra $30 \times 3 \times 0,3$ mm boli upevnené na napnutej nitke a zisťovala sa začiatočná hodnota intenzity elektrického poľa (obr. 5) keď sa častica z polohy rovnobežnej s elektródami natočila do polohy kolmej na elektródy. Jednotlivé merania sa uskutočnili pri meniacich sa vzdialenostiach elektród od 40 mm až do 140 mm. Z každého typu častice (D, D+C, D+C+Ce) sa použilo po 5 ks. Zistilo sa, že vzdialenosť elektród pri zachovaní rovnakej intenzity elektrického poľa nemala žiaden vplyv na začiatočnú hodnotu intenzity elektrického poľa pri ktorej sa začali triesky natáčať, teda elektrické pole bolo dostatočne homogénne.



Obr. 5 Principiálna schéma experimentu

Tab. 1 Priemerné hodnoty minimálnej intenzity elektrického poľa a základné štatistické údaje pre natočenie jednotlivých typov častíc

	Počet meraní	Variačný koeficient v [%]	Smerodajná odchýlka $[kV \cdot mm^{-1}]$	E_{min} $[kV \cdot mm^{-1}]$
Drewné častice	50	11	0,008	0,0075
Drewné častice s uhlíkom	50	12	0,009	0,0065
Drewné častice s uhlíkom a cementom	50	6	0,004	0,0050

Z tab. 1 je vidieť, že najvyššiu minimálnu intenzitu elektrického poľa pre orientovanie sa do smeru siločiar si vyžadujú drewné častice bez modifikácie ($0,0075 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$) a najnižšiu častice s uhlíkom a cementom ($0,0050 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$). Tento poznatok sa dá fyzikálne interpretovať tak, že modifikáciou uhlíkom a cementom sa dosiahlo zvýšenie polarizačného náboja na čelných plochách častíc. V dôsledku toho vzrástol aj otáčavý moment orientovania častice a to aj napriek tomu, že časticiam modifikovaným uhlíkom a cementom sa zvýšila ich hmotnosť a tým aj moment zotrvačnosti J , ktorý natáčanie zhoršuje. Ďalšie experimenty ukázali, že hodnoty minimálnej intenzity elektrického poľa so zväčšovaním dĺžky častíc na 40 a 50 (mm) sa mierne znižujú, čo je možné pripísať nárastu polarizačného náboja.

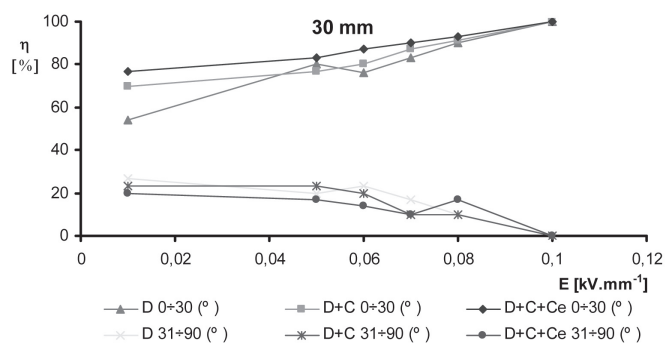
4.3 Experiment 2

Cieľom tohoto experimentu bolo zisťovanie uhlov natočenia troch typov častíc po dopade na podložku, pri rôznych hodnotách intenzity elektrostatického poľa. Pri týchto pokusoch sa vhadzovali jednotlivé druhy triesok (3×30 ks) medzi kovové elektródy. Zisťovali sme uhol natočenia častíc pričom v smere kolmo na elektródy bol uhol $\alpha = 0^\circ$ a v smere rovnobežnom s elektródami $\alpha = 90^\circ$. Dopadnuté triesky sme spočítali podľa uhla natočenia do smeru siločiar (kolmica na roviny elektród) a vypočítali sme účinnosť orientovania.

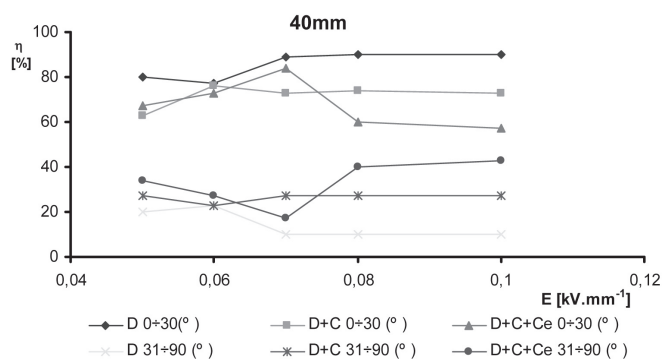
Účinnosť orientovania častíc sme vyhodnotili porovnávaním počtu častíc orientovaných v rozsahu uhla natočenia $0-30^\circ$ (°) resp. aj natočenia od 31 do 90° (°), k celkovému počtu vhodných kusov častíc t.j. 30 ks. Ručné vhadzovanie triesok bolo realizované pre najnepriaznivejší prípad t.j. častice boli vhadzované rovnobežne s elektródami.

4.3.1 Výsledky a diskusia

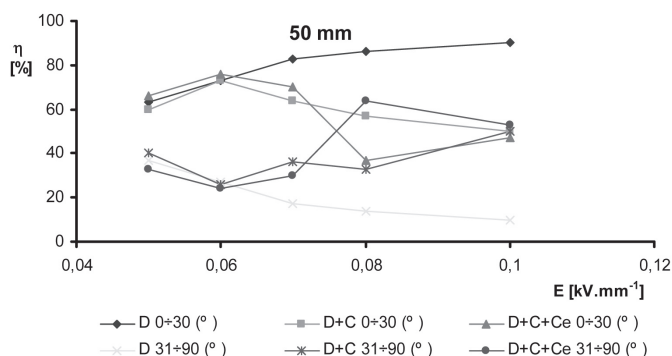
Výsledky sú zhrnuté v grafoch na obr. 6a, 6b a 6c.



Obr. 6a



Obr. 6b



Obr. 6c

Obr. 6a, b, c, Závislosť účinnosti η natáčania troch typov drevných častíc (D – čisté drevné častice, D+C – drevné častice s uhlíkom, D+C+Ce – drevné častice s cementom) od intenzity elektrostatického poľa E pre dĺžky častíc 30, 40 a 50 (mm)

Vplyvom intenzity elektrostatického poľa na natáčanie drevných častíc sa zaoberali viacerí autori napr. Kawai a Sasaki (1982, 1989, 1991) použili na orientáciu drevných vlákien, dĺžky 0,2 až 6,2 mm a hrúbky 0,02 až 1,2 mm, intenzitu elektrického poľa 0,2 až 0,4 [kV.mm⁻¹].

Hutschneker (1979) skúmal výrobu orientovaných drevotrieskových dosiek s použitím triesok strednej dĺžky 10, 15 a 40 mm a strednej hrúbky 0,4; 0,5 a 2,5 mm pri intenzite elektrického poľa a intervale 0,08 až 0,16 [kV.mm⁻¹].

Štofko (1962) uvádza pre parametre častíc údaje – dĺžka 16 až 44 (mm) šírka: 3,0 až 4,5 mm a hrúbka 0,16 až 0,40 (mm), ako vhodnú intenzitu elektrického poľa 0,2 až 0,4 [kV.mm⁻¹].

Podľa Hutschneker (1979), sú na orientáciu v elektrickom poli drevné častice tým vhodnejšie, čím je väčší pomer ich dĺžky ku šírke. Najvhodnejšie sú úzke a krátke drevné častice.

Na základe orientačných experimentov sme pre naše pokusy použili interval intenzity elektrického poľa 0,01 až 0,1 (kV.mm⁻¹)

Vplyv rastúcej intenzity elektrického poľa principiálne spôsobuje zvyšovanie otáčavého momentu (ako to vyplýva z rov. 10) avšak na druhej strane uhlík môže spôsobiť skratovanie elektród, čo nastáva najmä pri vyšších hodnotách elektrického poľa a spôsobuje pokles vn napätia zdroja. Experimenty potvrdili vznik mostíkov pri veľkom nerovnomernom prísune častíc do priestoru medzi elektródami.

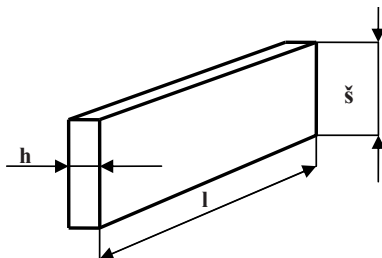
So zvyšovaním intenzity elektrostatického poľa sa účinnosť poľa na orientáciu častíc zlepšovala. Najvyšší stupeň orientácie do 10° častíc C+C+Ce sa, s najvyššou početnosťou (účinnosť 100%), dosiahol pri najvyššej intenzite 0,1 kV/mm a to, keď častice mali dĺžku 30 mm.

Všetky typy častíc dosahovali najvyšší stupeň orientácie pri dĺžke $l = 30$ mm, nižší stupeň orientácie pri dĺžke častíc 40 a 50 mm dosiahli pri každej sledovanej intenzite elektrostatického poľa. Zvyšovaním dĺžky častíc klesala účinnosť natáčania častíc najmä

s uhlíkom a tiež aj častic s uhlíkom a cementom. Vysvetliť sa to dá tým, že sa so zvyšovaním dĺžky častíc silne narastal moment zotrvačnosti, Tab. 2.

Moment zotrvačnosti častice J vzhľadom naos otáčania kolmú k rovine $l \times \check{s}$, vypočítame zo vzťahu (Horák, 1958):

$$J = \frac{l^2 + \check{s}^2}{12} \cdot m \quad (14)$$



Obr. 6 Geometrické rozmery častice

Tab. 2 Vypočítané hodnoty momentov zotrvačnosti J_D , J_{D+Ce} a J_{D+C+Ce} pre drevné častice dĺžky 30, 40 a 50 mm a hmotnosti m_1 , m_2 , m_3

Šírka častice \check{s} [m]	Dĺžka častice l [m]	$m_1 = 3,00E-05$ [kg]	$m_2 = 6,00E-05$ [kg]	$m_3 = 6,75E-05$ [kg]
		J_D	J_{D+Ce}	J_{D+C+Ce}
3,00E-06	3,00E-02	2,25E-09	4,50E-09	5,06E-09
3,00E-06	4,00E-02	4,00E-09	8,00E-09	9,00E-09
3,00E-06	5,00E-02	0,625E-08	1,25E-08	1,41E-08

Pre orientovanie modifikovaných drevných častíc z drevnej vlny uhlíkom a cementom je možné, ako optimálne, odporučiť tieto parametre: dĺžka častice 30 mm, intenzita elektrického poľa $0,1 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$. Pri požiadavke na orientovanie častíc väčšej dĺžky – 40 a 50 mm, je potrebné použiť intenzitu elektrického poľa $0,05 \text{ kV}\cdot\text{mm}^{-1}$.

4.4 Experiment 3

Týmto experimentom sme overovali účinnosť použitia mechanického spôsobu vhadzovania častíc do priestoru elektrického poľa vytvoreného doskovými elektródami a to v smere kolmo na elektródy.

Použitím násypky s valcom poháňaným elektromotorčekom sa oproti ručnému vsypávaniu dosiahla o 10 až 30 (%) vyššia účinnosť orientácie častíc. S nárastom dĺžky častíc sa zvyšoval účinok mechanického vhadzovania modifikovaných častíc.

Dá sa konštatovať, že tento spôsob ich nanášania je kombináciou metódy mechanického a elektrostatického spôsobu orientácie častíc.

5. ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme zhrnúť, že:

So zvyšovaním intenzity elektrického poľa od 0,01 do 0,1 (kV mm⁻¹) sa pri všetkých troch typoch častíc – drevo, drevo + uhlík a drevo + uhlík + cement účinnosť orientácie častíc zvyšovala, keď mali dĺžku 30 mm. Pri dĺžke častíc 40 a 50 (mm) účinnosť rástla len u častíc typu D (čistá drevná vlňa).

Zväčšovaním dĺžky častíc z 30 na 40 resp. 50 (mm) mala účinnosť orientácie všetkých troch typov častíc tendenciu zhoršovať sa.

Použitím mechanického vhadzovania kolmo na elektródu s usmernením v elektrostatickom poli sa účinnosť orientácie častíc pre dlhšie častice zvýšila až o 30%.

Dá sa konštatovať, že metóda orientovania drevných častíc s využitím silových účinkov elektrostatického poľa sa môže s vysokou účinnosťou využiť na orientovanie drevných častíc modifikovaných uhlíkom a cementom. Ako optimálne parametre je možné použiť intenzitu elektrického poľa 0,1 kV.mm⁻¹, dĺžku častíc 30 mm. Kombináciu silových účinkov elektrostatického poľa s mechanickým vhadzovaním kolmo na elektródy je vhodné použiť pre dĺžky častíc 40 a 50 mm.

LITERATÚRA:

- [1] HORÁK, Z.: 1958. Praktická fyzika. Praha SNTL 1958, 621 s.
- [2] HUTSCHNEKER, K.: 1979. Untersuchungen über die Orientierung von Spänen im elektrischen Feld. Holz als Roh-und Werkstoff. 37, 1979, s. 367–372.
- [3] KAWAI, S., at. cal.: 1982. Production of Oriented Board with an Electrostatic Field I. Mokuzai Gakkaishi, 1982, Vyd. 28, No. 5, s. 292–300.
- [4] KAWAI, S., at. cal.: 1989. Production of Oriented Board with an Electrostatic Field III. Mokuzai Gakkaishi, 1989, Vyd. 35, No. 8, s. 725–730.
- [5] KAWAI, S, SASAKI, H.: 1991. Effects of fiber shape and configuration on fiber alignment and board properties. Properties of test plant-scale oriented boards. Mokuzai Gakkaishi, 1991, Vol. 37, No. 12, s. 1167–1176.
- [6] ŠLESÁRIK, P.: 2009. Využitie účinkov elektrostatického poľa pri spracovaní drevocementových kompozitov. Diplomová práca TU Zvolene. R. 2009, 76 s.
- [7] ŠTOFKO, J.: 1962. Triesková hmota s orientovanými trieskami. Drevársky výskum, Štátny drevársky výskumný ústav, Bratislava, Zväzok 2, 1962, s. 127–146.

Podakovanie

Príspevok vznikol za podpory Agentúry na podporu výskumu a vývoja v rámci riešenia projektu APVV-0229-06 „Aplikovaný výskum drevocementových dosiek pre tienenie elektromagnetických polí a pre zvýšenie požiarnej odolnosti“.

Kontaktná adresa:

prof. Ing. Ivan Makovíny, CSc.

Katedra drevárskych strojov a zariadení
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen

MODEL TEPELNEJ SÚSTAVY S VYUŽITÍM PELTIEROVHO ČLÁNKU RIADENÝ PROCESOROM ARM

THERMAL SYSTEM MODEL WITH PELTIER MODULE CONTROLLED BY ARM PROCESSOR

Vladimír KOCÚR – Jozef ŠURIANSKY

ABSTRACT: The article briefly describes an architecture of ARM processors, that are possible to use to control different applications and it is focused to their hallmarks, their advantages and generally describes their properties. Article focus is a thermal system model with Peltier module to heating and cooling production, that is controlled by development kit of ARM architecture.

Keys words: ARM processors, MCU processors, thermal system, heating and cooling production

ABSTRAKT: Článok stručne opisuje architektúru procesorov ARM, ktoré je možné využiť pre riadenie rôznych aplikácií, pričom sa zameriava na ich charakteristické črty, výhody a všeobecne popisuje ich vlastnosti. Ťažisko článku tvorí model tepelného systému využívajúceho Peltierov článok na výrobu tepelnej energie a energie chladu, ovládaný vývojovým kitom s architektúrou ARM.

Kľúčové slová: ARM procesory, MCU procesory, tepelná sústava, výroba tepla a chladu

1. ÚVOD

Oblasť energetiky je dnes problematika prenikajúca stále viac do popredia ľudskej spoločnosti. Svetové energetické spoločnosti poskytujú svoje služby v rôznych oblastiach, pričom sa zameriavajú hlavne na baníctvo, ropu a zemný plyn, vodu, či elektrickú energiu. Technologický rozvoj v energetike sa naďalej zdokonaľuje a neustále vyzýva k hľadaniu čo najoptimálnejšieho riešenia vyžívania energetických zdrojov. Perspektívnym riešením sa ukazuje využívanie viacerých druhov produkovaných energií z jedného vstupného zdroja. Sem zaručene patrí trigeneračná jednotka, ktorá dokáže vyprodukovať elektrickú energiu, ako aj chlad resp. teplo. Konceptia takéhoto systému nie je jednoduchá. Precíznosť sa kladie na konštrukciu, no zabezpečenie jej chodu je problematika sama o sebe. Túto záležitosť rieši automatizácia.

Procesorová digitálna technika našla svoje uplatnenie v rôznych oblastiach života, medzi ktoré jednoznačne patrí oblasť automatizácie. Práve tu nachádzajú procesorové

jednotky s výhodou svoje uplatnenie. Pre riadenie systémov, použiteľných v rôznych aplikáciách je možné v dnešnej dobe využiť rôzne typy mikroprocesorov, napr. od známych svetových výrobcov, ako sú firmy Atmel, Intel, či Maxim, Texas Instruments a pod. Jednou z možností, ktoré sa nám ponúkajú je využitie procesorov architektúry ARM (Advanced RISC Machine – zdokonalený automat RISC). ARM je architektúrou MCU procesorov (Micro Controller Unit – mikroprocesorová jednotka). Začiatky ARM siahajú do 80-tych rokov 20. storočia, s ktorých vznikom je spojená práve firma Acorn Computers Ltd. Z počiatku sa na trhu presadili za účelom výučby počítačových technológií, no postupne sa začali využívať aj pre účely riadenia technologických a výrobných procesov. Hlavným dôvodom ich voľby je práve ich nízka spotreba a hlavne výhodný pomer cena: výkon (na rozdiel od procesorov CPU (Central Processor Unit – centrálna procesorová jednotka), kde je vysoká cena, vysoká spotreba a stratový výkon). Toto sú jedny z najdôležitejších kritérií, na ktoré musíme prihliadať, pri voľbe procesora. Dnes už existuje veľa variant procesorov ARM, pričom našli uplatnenie napr. v komerčných notebookoch, či mobilných telefónoch. [1]

Za účelom vytvorenia experimentálneho modelu tepelnej sústavy, ktorá by dokázala produkovať chlad, resp. tepelnú energiu môžeme použiť termoelektrický prvok, tzv. Peltierov článok. Systém môže byť riadený procesorom architektúry ARM.

2. ARM PROCESORY

Existuje niekoľko verzií architektúr ARM procesorov. Jednou z nich je aj architektúra ARMv7 patriaca do rodiny Cortex. Touto architektúrou disponuje aj vývojový kit MCBSTM32, ktorý je možné použiť ako riadiacu jednotku spomínaného tepelného systému a tak simulovať tepelné pomery výstupných energií.

ARM je vedúci poskytovateľ 32-bitových RISC mikroprocesorov založených na všeobecnej architektúre vysokého výkonu vzhľadom na nízku cenu a spotrebu energie. ARM procesory sú licencované u väčšiny svetovo popredných polovodičových výrobcov a od doby vzniku spoločnosti v roku 1990 ich bolo vyrobených viac ako 10 miliárd. [2]

2.1. Architektúra jadra ARM

ARMv4/ARMv4T

Je najstaršou verziou architektúry, ktorá je dnes ešte podporovaná a využíva sa v rodine procesorov ARM7 a Intel StrongARM. Vyznačuje sa 32-bitovou architektúrou. Vylepšená verzia ARMv4T navyše obsahuje 16-bitový Thumb inštrukčný súbor, ktorý umožňuje prekladaču generovať kompaktnjší kód.

ARMv5TE/ARMv5TEJ

ARMv5TE architektúra špeciálne navrhnutá pre Thumb inštrukčný súbor, s možnosťou kombinácie s ARM rutinami je doplnená o DSP inštrukcie, ktoré podporujú aritmetiku so saturáciou. ARMv5TEJ je architektúra doplnená o Jazell technológiu pre podporu zrýchlenia a zníženie spotreby pre Java aplikácie.

ARMv6

Architektúra, ktorú charakterizuje zlepšenie v oblasti pamäťového systému, komunikácie a podpora multiprocesových aplikácií. ARMv6 obsahuje mediálne inštrukcie podporujúce vykonávanie softwaru so SIMD (Single Instruction Multiple Data). SIMD rozšírenia sú optimalizované pre širokú škálu softvérových aplikácií vrátane video a audio kodekov. Navyše Thumb-2 and TrustZone technológie boli zavedené ako varianty ARMv6 architektúry.

ARMv7

Architektúra patrí do Cortex rodiny procesorov a definuje tri profily procesorov: A profil – pre sofistikované operačné systémy založené na virtuálnej pamäti a užívateľských aplikáciách; R profil – pre systémy reálneho času; M profil – optimalizovaný pre aplikácie nízkej spotreby a pre mikroradiče. Všetky profily majú zavedenú Thumb-2 technológiu postavenú na kompresii kódu. Ďalšou doplnenou technológiou je NEON technológia rozširujúca DSP vlastnosti s podporou 3D grafiky, hier a vstavaných systémov.

2.2. Rodiny procesorov ARM

Procesory ARM sú rozdelené do procesorových rodín na základe jadra, ktoré používajú. Procesorové jadrá ARM7, ARM9, ARM10 a ARM11 sú označené vzostupne podľa zvýšenej komplexnosti a výkonu. Rodina ARM8 bola vyvinutá, ale čoskoro prekonaná vlastnosťami rodiny ARM9. Tabuľka 1 poskytuje prehľad o vývoji jednotlivých rodín.

Tabuľka 1 Vlastnosti procesorových rodín ARM 7 až 11

	ARM7	ARM9	ARM10	ARM11
Hĺbka pipeline	3 úrovne	5 úrovní	6 úrovní	8 úrovní
Typická rýchlosť [MHz]	80	150	260	335
Spotreba [mW/MHz]	0,06	0,19 + cache	0,5 + cache	0,4 + cache
Výkon [MIPS/MHz]	0,97	1,1	1,3	1,2
Architektúra	Von Neumann	Harvard	Harvard	Harvard
Násobička	8 × 32 bit	8 × 32 bit	16 × 32 bit	16 × 32 bit

ARM7

Rodina ARM7 ponúka výkon do 130 MIPS (Dhrystone 2.1) so 16-bitovým súborom inštrukcií postaveným na ARMv4 architektúre. Rodina pozostáva z ARM7TDMI, ARM7-TDMI-S a ARM7EJ-S procesorov, z ktorých každý bol vyvinutý pre rozdielne požiadavky.

Aplikácie:

- audio (MP3, WMA, AAC prehrávače),
- mobilné telefóny,
- two-way pejdžre.

ARM9

Rodina ARM9 je založená na procesore ARM9TDMI s ARMv4T architektúrou so 16-bitovou Thumb inštrukčnou sadou, ktorá zlepšuje hustotu kódu o 35%. Maximálny výkon je do 300 MIPS (Dhrystone 2.1).

Aplikácie:

- produkty do vrečka: videotelefony, mobilné komunikátory, PDA,
- digitálny spotrebný tovar: set-top boxy, hracie konzoly, MP3 audio, MPEG4 video,
- zobrazovanie: stolové tlačiarne, still picture kamery, digitálne videokamery,
- automobily: telematické a infotainment systémy.

ARM9E

Rodina ARM9E umožňuje jednoprocessorové riešenia pre mikroradiče, DSP a Java aplikácie, ponúka úsporu čipového priestoru, spotreby energie a komplexnosť. Rodina zahŕňa ARM926EJ-S (ARMv5TEJ), ARM946E-S (ARMv5TE) a ARM968E-S (ARMv5-TE) procesorové makrobunky pre rozdielne aplikačné požiadavky. Medzi rozšírenia patrí rozšírenie pre spracovanie signálu, pre zlepšenie výkonu 16-bitového formátu pevnej rádovej čiarky pomocou 32×16 jednotky násobenia a sčítania (MAC) a implementácia 16-bitovej Thumb inštrukčnej sady pre dosiahnutie hustoty kódu. ARM926EJ-S procesor tiež obsahuje ARM Jazelle technológiu, ktorá umožňuje dekódovanie Java bajtového kódu.

Aplikácie:

- produkty do vrečka: videotelefony, mobilné komunikátory, internetové spotrebiče,
- digitálny spotrebný tovar: set-top boxy, hracie konzoly, MP3 audio, MPEG4 video,
- zobrazovanie: stolové tlačiarne, still picture kamery, digitálne videokamery,
- pamäte: HDD a DVD radiče,
- priemyselné riadiace systémy: pohybové, prenosu výkonu,
- siete: VoIP, bezdrôtové LAN, xDSL.

ARM10E

Rodina ARM10E založená na architektúre ARMv5TE a ARMv5TEJ bola navrhnutá pre veľké výkony. Pipeline je 6-úrovňová, čo tiež podporuje VFP (vector floating-point) koprocesor, ktorý pridáva siedmu úroveň pipeline. VFP výrazne zvyšuje výkon s pohyblivou rádovou čiarkou a je kompatibilný so štandardom pohyblivej čiarky IEEE 754.1985. Tak ako ARM9E, obsahuje rozšírenie o E inštrukcie. Má oddelenú 32K dátovú a inštrukčnú cache pamäť a MMU jednotku pre správu pamäte. ARM1020E má tiež rozhranie duálnej 64-bitovej zbernice s jednotkou MMU a jednotkou riadenia pamäte MPU.

Aplikácie:

- produkty do vrečka: videotelefony, mobilné komunikátory, internetové spotrebiče, digitálny spotrebný tovar: set-top boxy, VoIP telefóny, hracie konzoly, digitálne kamery a TV, laserové tlačiarne,
- automobily: pohony, Drive By Wire prenos, infotainment a navigácia,
- priemyselné riadiace systémy: pohybové, prenosu výkonu, signálové procesory.

ARM11

ARM11 rodina založená na architektúre ARMv6 zahŕňa rad vysoko výkonných mikroprocesorov s výkonom až 740 MIPS (Dhrystone 2.1). ARM11 sa skladá zo štyroch hlavných produktových radov procesorov s ARM1136J (F)-S, ARM1156T2 (F)-S a ARM1176JZ (F)-STM, každý optimalizovaný pre špecifické požiadavky rôznych segmentov trhu a mikroprocesora ARM11 MPCore.

Aplikácie:

- automobily
- uchovávanie dát
- zobrazovanie
- vstavané riadenie
- sieťová infraštruktúra

SECURE CORE

Okrem už spomenutých rodín patria medzi rodiny ARM ešte rodina Cortex, ktorá je založená na architektúre ARMv7 a rodina SecureCore.

ARM SecurCore rodina procesorov poskytuje výkonné 32-bitové bezpečné riešenia založené na špičkovej architektúre ARM. Posilnením ARM procesorov o bezpečnostné prvky poskytujú SecurCore procesory čipovým kartám a bezpečnostným IC vývojárom ľahký prístup k výhodám ARM 32-bitovej technológii, ako sú: malé rozmery, energetická účinnosť, nízke náklady, hustota kódu a výkon. SecurCore procesory môžu byť použité v celej rade bezpečnostných aplikácií.

Aplikácie:

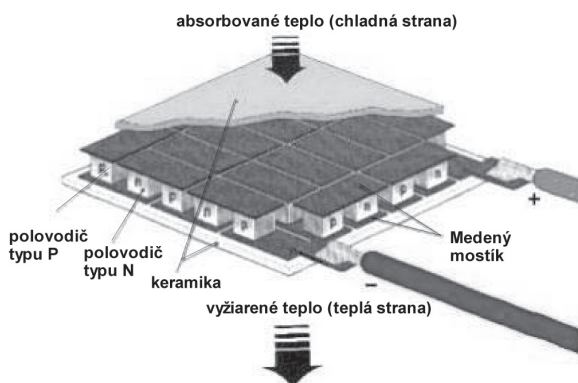
- čipové karty,
- bankovníctvo,
- platená TV. [2]

3. TEPELNÁ SÚSTAVA NA BÁZE PELTIEROVHO ČLÁNKU

3.1. Peltierov článok

Základom tepelnej sústavy je Peltierov článok. Peltierov článok pracuje na princípe tzv. Peltierovho javu: Ak privedieme jednosmerný elektrický prúd na Peltierov článok, na jednej strane sa začne ohrievať a na druhej ochladzovať. Peltierov článok je tvorený z dvoch polovodičových teliesok (vismut-telluridy) a elektrovodivého mostíka (meď). Peltierové články dokážu pracovať aj na opačnom princípe, kedy dokážeme produkovať elektrický prúd. Spojením viacerých termoelektrických článkov medzi keramické platne vytvoríme termobatériu (obrázok 1). Keramika slúži na elektrickú izoláciu. [4]

Peltierové články sa bežne používajú ako chladiace zariadenia (prípadne pre lokálny ohrev). Na rozdiel však od chladičov, zabezpečujúcich len pasívne chladenie, Peltierové články sú aktívnymi prvkami, pomocou ktorých dokážeme systém ochladiť pod teplotu



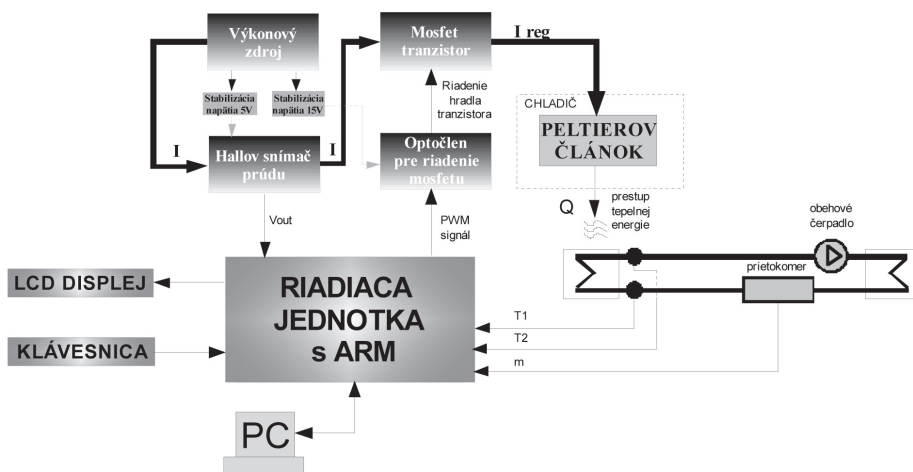
Obrázok 1 Termobatéria [3]

okolia a zároveň aj stabilizovať teplotu systémov vystavených veľkým výkyvom teploty okolia. Podstatnými výhodami takéhoto prvku je jeho jednoduchá regulácia, absolútne tichá činnosť, pretože neobsahuje pohyblivé diely, dlhá životnosť, malé rozmery a nízka cena. Pre potreby zmien tepelných pomerov, je možné Peltierov článok ochladiť pomocou externého chladiča, prípadne ventilátora, alebo zohriať pomocou tepelnej špirály. [4]

Peltierové články sa vyrábajú v rôznych výkonových variantoch, od pár wattov po stovky wattov. Pre naše potreby je zvolený typizovaný článok nasledovných parametrov: $I_{max} = 30\text{ A}$, $U_{max} = 16,8\text{ V}$; výkon 267 W .

3.2. Bloková štruktúra tepelného systému

Termoelektrický modul v podobe Peltierovho článku môžeme vhodne aplikovať ako základný prvok pre vytvorenie tepelnej sústavy (obrázok 2).



Obrázok 2 Bloková schéma tepelného systému s Peltierovým článkom

Veľkosť generovanej tepelnej energie dokážeme regulovať prostredníctvom zmeny jednosmerného prúdu. Čím bude prúd väčší, tým bude aj výkon modulu väčší a naopak.

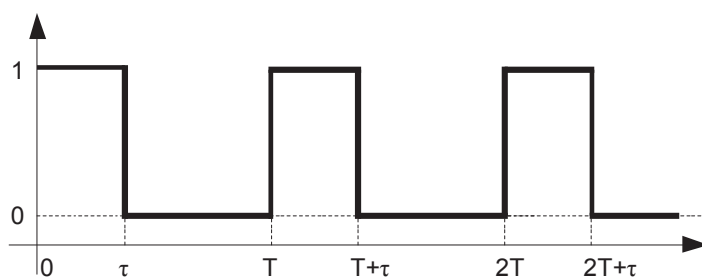
Keďže uvažovaný Peltierov článok pracuje s maximálnym prúdom 30 A, je potrebné pre neho zabezpečiť vhodný prúdový zdroj a prúd potom regulovať. Využíva sa tu tzv. PWM modulácia (Pulse Width Modulation – pulzná šírková modulácia). Jedná sa o moduláciu šírky impulzu periodického signálu – striedy, v závislosti na vstupnej veličine. *Strieda* (D) periodicky sa opakujúceho dvojstavového signálu je pomer *doby trvania aktívneho stavu* τ voči *perióde signálu* T a vyjadruje sa v percentách.

$$D = \tau / T \quad [\%] \quad (1)$$

Ak je pomer dĺžky trvania stavu zapnutia a vypnutia 1 : 1, strieda je 50 %. PWM signál má konštantnú periódu a premenlivú striedu.

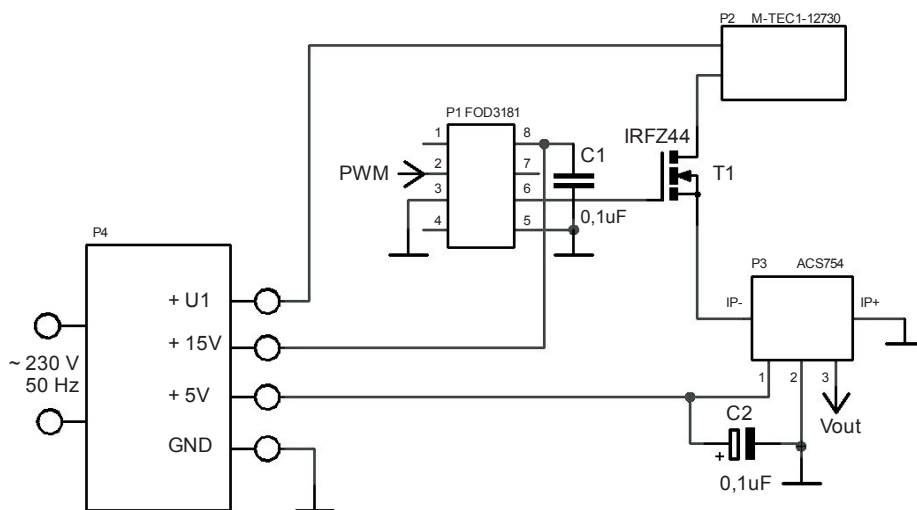
ARM procesor na základe výstupného napätia zo snímača prúdu (V_{out}) pomocou signálu PWM z procesora pripojeného na optočlen ovláda hradlo mosfet tranzistora, čím dosiahneme regulovanie prúdu privádzaného na Peltierov článok. Ako snímač prúdu je zvolený Hallov snímač prúdu ACS754 s rozsahom ± 50 A, ďalej je tu použitý mosfet tranzistor typu N-IRFZ44, optočlen FOD3181 (mosfet gate driver) a Peltierov článok M-TEC1-12730.

Optočlen FOD3181 vyžaduje napájanie 10 až 20V, a Hallov snímač prúdu 5V. Preto sa výkonový zdroj ďalej stabilizuje napäťovým stabilizátorom LM7815 na 15 V a LM7805 na 5V. Nepotrebujeme tak napájať tieto prvky z externých zdrojov, čím zefektívime celé zapojenie. Elektrická schéma zapojenia obvodu pre reguláciu prúdu sa nachádza na obrázku 4.



Obrázok 3 Strieda periodického javu

Výsledné teplo sa získa s využitím vodného systému pomocou tepelných výmenníkov. Prúdenie vody v hadičkách zabezpečí obehové čerpadlo, meranie prietoku turbínkový prietokomer, meranie teplôt T_1 a T_2 termočlánky Pt100. Požadované hodnoty výkonu Peltierového článku zadáme do systému pomocou klávesnice a výsledné aktuálne hodnoty jednotlivých snímaných parametrov, ako sú hodnoty prúdu, prietoku, či teplôt, zobrazíme na displeji.



Obrázok 4 Elektrická schéma zapojenia obvodu pre reguláciu prúdu
(P1 – optočlen, P2 – Peltierov článok, P3 – Hallov snímač prúdu, P4 – výkonový zdroj
(U1 – napätie Peltierovho článku v závislosti od zaťaženia))

Zapojením sme zaistili jednak reguláciu prúdu potrebnú pre napájanie Peltierovho článku a zároveň aj napájacie napätia pre ostatné prvky v obvode.

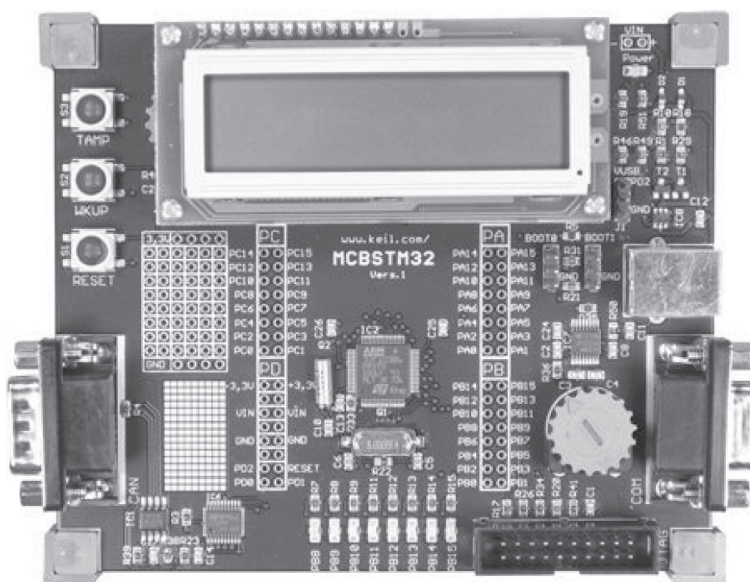
Riadenie celého systému zabezpečuje riadiaca jednotka, ktorú v našom prípade predstavuje vývojový kit MCBSTM32 s procesorom ARM.

3.3. Vývojový kit architektúry ARM – MCBSTM32

Celé zariadenie môžeme rozdeliť na štyri hlavné hardwarové komponenty:

- Procesor ARM – riadi celé zariadenie. Rozličné verzie jadra ARM umožňujú splňať požiadavky v závislosti od nárokov na zariadenie.
- Radiče (kontroléry) – koordinujú funkciu väčšiny komponentov systému (napr. ovládacie prerušenie a pamäte).
- Periférie (rozhrania) – zabezpečujú možnosť vstupno-výstupných operácií a umožňujú komunikáciu s inými zariadeniami.
- Zbernice – vykonávajú prenos všetkých dát v systéme, podľa architektúry jadra je zbernica pre inštrukcie a dáta spoločná alebo separátne.

S vývojovou doskou MCBSTM32 od firmy Keil môžu byť využité všetky funkcie rodiny STM32-MCU od firmy STMicroelectronics.



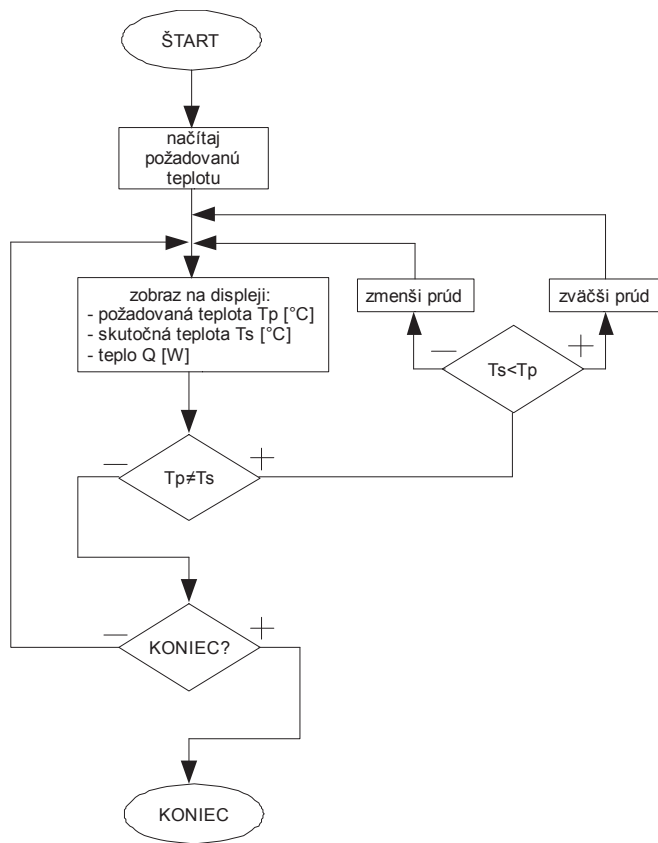
Obrázok 4 Vývojový kit MCBSTM32

Kit v sebe zahŕňa: ARM Processor Cortex – M3, MCU Clock 72MHz, XTAL 8MHz, LCD displej 16×2, analógový vstup (potenciometer), 3× tlačítka, 8× I/O LED diód, 1× sériový port, 1× CAN port, USB port z ktorého je aj napájaný, rozhranie SD Card, integrovanú pamäť RAM 20KB, či FLASH 128KB, rozhranie JTAG.

Ďalej kit obsahuje vývojovú licenciu RealView-MCU-vývojového kitu (MDK-ARM), programovacie prostredie s C/C++ kompilátorom, IDE a Debugger. [5]

3.4. Vývojový diagram riadenia tepelnej sústavy

Vývojový diagram na obrázku 5 opisuje algoritmus riadenia tepelného systému. Po zadaní požadovanej hodnoty teploty pomocou klávesnice a zobrazení okamžitých hodnôt snímaných a vypočítaných veličín procesor porovnáva skutočnú hodnotu meranej teploty s hodnotou nami zadanou. Pokiaľ ešte nedošlo k vyregulovaniu teploty, požadovaná hodnota teploty T_p a skutočná T_s sa nerovnajú, vykonáva sa ďalšie porovnanie, kedy sa zisťuje, či skutočná hodnota je menšia ako požadovaná alebo už došlo k preregulovaniu. Pokiaľ je preregulovaná, jednosmerný prúd, ktorý napája Peltierov článok, sa musí zmenšiť, v opačnom prípade zväčšiť. Cyklus je uzatvorený a vracia sa opäť k porovnaniu hodnôt teploty T_p a T_s . Po ustálení teplôt je možné systém ukončiť pomocou tlačítka.



Obrázok 5 Vývojový diagram riadenia tepelnej sústavy pomocou ARM procesora

4. ZÁVER

Pre vytvorenie tepelnej sústavy, ktorá by dokázala produkovať tepelnú energiu a zároveň aj chlad môžeme využiť Peltierove články. Tieto termoelektrické prvky vyrábajú energiu v závislosti od veľkosti napájaného prúdu. Aby zariadenie mohlo pracovať automatizovane, bol navrhnutý riadiaci systém zabezpečujúci riadenie prúdu Peltierovho modulu prostredníctvom riadenia hradla výkonového MOSFET tranzistora optočlenom FOD3181. Ovládanie optočlena je zabezpečené pulzne šírkovou moduláciou PWM. Ako riadiaca jednotka bol zvolený vývojový kit MCBSTM32. Ide o komerčne dostupný vývojový kit založený na jadre ARM. ARM rodina procesorov patrí medzi výkonné procesorové systémy, ktoré zabezpečujú vysokú presnosť, rýchlosť a spoľahlivosť, a sú preto vhodné aj pre náročné úlohy automatizácie. Stanovenie veľkosti produkovanej energie je vykonávané kalorimetrickou metódou na základe merania prietoku a rozdielov teplôt prúdiacej tekutiny.

LITERATÚRA

- [1] ARM – The architecture for the digital world, www.arm.com, oficiálna stránka ARM.
- [2] BORSEK M.: 2008. *Využitie procesorov ARM v riadiacich systémoch*. Zvolen: Technická univerzita, 2008, 79 s.
- [3] SLOSS N. A., SIMES D., WRIGHT CH.: 2004. *ARM system developer's guide – Designing and optimizing system software*. Morgan Kaufmann Publishers, 2004, 703 s.
- [4] *Ventilátory a chladiče*, katalóg firmy SOS Electronic, dostupné na http://www.soselectronic.com/a_info/kat/i35.pdf
- [5] MCBSTM32 Evaluation Board, dokumentácia firmy Keil, dostupné na <http://www.keil.com/mcbstm32/>.

Kontaktná adresa:

Ing. Vladimír Kocúr

Technická univerzita vo Zvolene,
Fakulta environmentálnej a výrobnnej techniky,
Katedra informatiky a automatizačnej techniky,
Študentská 26,
960 53 Zvolen
e-mail: xkocurv@is.tuzvo.sk

prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc.

Technická univerzita vo Zvolene,
Fakulta environmentálnej a výrobnnej techniky,
Katedra informatiky a automatizačnej techniky,
Študentská 26,
960 53 Zvolen
e-mail: surian@vsld.tuzvo.sk

ŠTÚDIUM GEOMETRIE NOŽOV ODVETVOVACEJ HLAVICE

STUDY OF GEOMETRY KNIVES OF DELIMBING HEAD

Milan MIKLEŠ

ABSTRACT: Limbing with a wedge tool as a chipless operation is accompanied by a large deformation of wood in the cutting plane, i. e. at the spot of contact with the tool face as well as in the zone adjacent to this plane. The theory of chipless cutting says that the resistance of wood fibers to deformation is particularly the main component of resistance to the tool penetration into wood. The friction component (resistance component) on the tool surfaces is a function describing resistance to fiber deformation, its magnitude depending upon the value of friction coefficient. The magnitude of cutting force acting in a direction of the velocity vector is a resultant of all resistance component acting on the particular parts of the tool which make up the cutting profile (face, back edge, cutting edge). In the present paper force analysis is presented for the operation of a delimber. The objective of these experimental tests was to minimize energy requirement for limbing through determination of optimum geometry of delimiters while providing for the good quality of limbing.

Key words: forest machinery, delimber, delimiting tool, tool geometry

ABSTRAKT: Odvetvovanie klinovým nožom bez tvorenia triesky je sprevádzané značnou deformáciou dreva v rovine rezania, t.j. v mieste kontaktu s čelom noža ako aj v zóne, ktorá susedí s touto rovinou. Z teórie beztrieskového rezania je známe, že hlavnou zložkou odporu pri vznikaní noža do dreva je predovšetkým odpor vlákien voči deformácii. Pritom trecia sila (zložka odporu) na plochách noža je funkciou sily odporu deformácii, jej veľkosť je závislá od veľkosti koeficientu trenia. Veličina reznej sily, ktorá pôsobí v smere vektora rýchlosti, je výslednicou všetkých zložiek síl odporu, ktoré pôsobia na rozličné časti noža tvoriace jeho rezný profil (čelo, chrbát, ostrie – fazetka). V článku je prezentovaná silová analýza v priebehu odvetvovania. Na základe experimentálnych skúšok za účelom minimalizácie energetickej náročnosti pri odvetvovaní bola určená optimálna geometria odvetvovacích nožov pri zabezpečovaní kvality odvetvovania.

Kľúčové slová: lesné stroje, odvetvovací stroj, odvetvovací nôž, geometria nástroja

ÚVOD

Práca sa zaoberá rozborom silového pôsobenia na odvetvovací nôž a určením tangenciálnej a normálovej výslednej sily, ktorá pôsobí na nôž. Za účelom minimalizácie energetickej náročnosti na odvetvovanie boli vykonané experimenty pre optimalizáciu

geometrie odvetvovacích nožov pri zabezpečení kvality odvetvovania. Výsledkom je minimálny rezný odpor pri odvetvovaní a znížené nároky na výkon pohonnej jednotky. Skúšky boli vykonané na špeciálnom stende na Katedre lesnej a mobilnej techniky. Bolo testovaných 15 nožov odlišnej geometrie. Na základe skúšok a ich vyhodnotenia bol určený nôž s optimálnou geometriou pre odvetvovanie.

PROBLEMATIKA A TEORETICKÝ ROZBOR

Odvetvovanie klinovým nožom bez tvorby triesky je sprevádzané značnou deformáciou dreva v rovine rezania, t. j. v mieste kontaktu s čelom noža ako aj v zóne, ktorá susedí s touto rovinou. V teórii beztrieskového rezania je známe, že hlavnou zložkou odporu pri vnikaní noža do dreva je predovšetkým odpor vlákien dreva voči deformácii. Pritom trecia zložka (zložka odporu) na plochách noža je funkciou sily odporu deformácii, jej veľkosť je závislá od veľkosti koeficienta trenia.

Veličina reznej sily, ktorá pôsobí v smere vektora rýchlosti, je výslednicou všetkých zložiek síl odporu, pôsobiacich na rozličné časti noža tvoriace jeho rezný profil (čelo, chrbát, ostrie – fazetka).

Publikované práce (MacDonald, 1993; Voronicyn, Gugelev, 1989; Golod, 1987; Sokolov, Leonov, 1987; Radocha et al., 1986) z problematiky odvetvovania nedávajú odpoveď z hľadiska minimalizácie rezných odporov pri odvetvovaní nožovou odvetvovacou hlavicou.

Silová analýza pri práci odvetvovacieho noža

Pre určenie síl, pôsobiacich na pracovný povrch odvetvovacieho noža, ktorý je v kontakte s drevom, v súlade s obecnou prijatou metodikou Prelovského (1974) rozdelíme nôž na rad zón (*i*-úsekov) a nájdeme výslednice merných tlakov na povrch noža N_i v každej zóne samostatne.

Pracovný povrch noža rozdelíme na osem úsekov (obr. 1): *KL* – čelo noža, *LS* – výpočtový čelný úsek ostria, *SA* – výpočtový chrbtový úsek ostria, *AB* – negatívna časť chrbta noža, *BC* – úsek spájajúci negatívnu časť chrbta (*AB*) s opornou plochou noža (*CD*), *CD* – oporná časť chrbta noža, *DE* – úsek spájajúci opornú plochu chrbta noža (*CD*) s pozitívnou časťou (plochou) chrbta noža, *EF* – pozitívna časť chrbta noža.

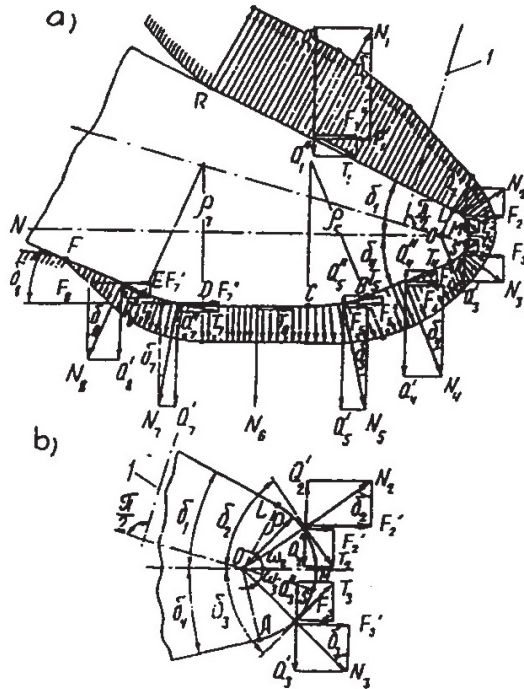
Rezná rovina *MN* delí pracovný povrch noža na čelnú a chrbtovú časť noža. Čelná časť noža pozostáva z čelnej plochy *KL* a čelného úseku ostria *LM*. Chrbtová časť noža *MABCDEF* pozostáva zo šiestich úsekov. Úsek chrbtovej plochy *AB* so záporným rezným uhlom δ_4 je súčasne záporným uhlom chrbta α .

Povrch ostria *MA*, ktorý sa nachádza medzi reznou rovinou *MN* a zápornou chrbtovou plochou je chrbát ostria.

Vo výpočtoch je výhodnejší nie geometrický povrch ostria – úseky *LM* a *MA*, ale výpočtový povrch ostria – úseky *LS* a *SA*.

Povrch ostria je tvorený rádiusom ρ so stredom krivosti v bode *O*. Rovina *OS*, ktorá prechádza cez stred krivosti ostria bod *O*, delí ostrie *LSA* na čelnú a chrbtovú časť. Pre zjednodušenie výpočtov za smer vlákien je možné brať smer pozdĺžnej osi zrezávanej vetvy.

Čelná časť ostria je povrch ostria, nachádzajúci sa medzi čelom noža a rovinou, ktorá prechádza cez stred krivosti ostria kolmo k smeru vlákien.



Obr. 1 Pracovný povrch noža

Chrbtovou časťou ostria je povrch ostria, ktorý sa nachádza medzi negatívnou chrbtovou plochou a rovinou, prechádzajúcou cez stred krivosti ostria kolmo k smeru vlákien.

Oporná časť chrbita odvetvovacieho noža je úsek chrbita noža, ktorý sa dotýka povrchu kmeňa.

Positívna chrbtová plocha je úsek chrbita s kladným uhlom chrbita.

Chrbát noža pozostáva v podstate z troch častí – zo zápornej a kladnej chrbtovej plochy, ktoré prechádzajú s polomerom krivosti ρ_5 a ρ_7 do opornej časti chrbita, tam je v kontakte s povrchom kmeňa.

Dĺžka oporného úseku (povrchu) noža CD sa stanovuje z podmienky dovoleného merného tlaku noža na povrch kmeňa. Ak nôž nemá opornú plochu alebo jej úsek je malý (minimálna dĺžka), súčasne s odvetvovaním dochádza tiež k čiastočnému odkôrňovaniu.

Každému z úsekov pracovného povrchu noža zodpovedá výslednica merných tlakov:

N_1 – pôsobí na čele noža;

N_2 – na výpočtovej čelnej ploche ostria;

·

·

N_i – na i -tom úseku pracovného povrchu noža.

Trecie sily, ktoré pôsobia na drevo v procese rezania, pre zodpovedajúce pracovné zóny noža sa budú rovnať:

$$T_i = \mu_i \cdot N_i \quad (1)$$

kde: μ_1 – koeficient trenia medzi drevom a i-tým úsekom pracovného povrchu noža.

Keď rozložíme výslednicu merných tlakov na každom úseku noža N_i a treciu silu T_i na zložky F_{R_i} , paralelné s reznou rovinou MN a na normálové zložky k tejto rovine Q_i , potom dostaneme

$$F'_{R_i} = \pm N_i \cdot \sin \delta_i, \quad F''_{R_i} = +T_i \cdot \cos \delta_i \pm \mu_i \cdot N_i \cdot \cos \delta_i$$

z toho vyplýva, že:

$$F_{R_i} = F'_{R_i} + F''_{R_i} = N_i (\pm \sin \delta_i \pm \mu_i \cdot \cos \delta_i) \quad (2)$$

$$Q'_i = \pm N_i \cdot \cos \delta_i, \quad Q''_i = \pm T_i \cdot \sin \delta_i = \pm \mu_i \cdot N_i \cdot \sin \delta_i$$

z toho vyplýva, že:

$$Q_i = Q'_i + Q''_i = N_i (\pm \cos \delta_i \pm \mu_i \cdot \sin \delta_i) \quad (3)$$

Tangenciálna rezná sila F_R sa bude rovnať sume jej zložiek v každej zóne noža:

$$F_R = \sum_{k=1}^n F_{R_k} \quad (4)$$

Normálová sila Q , ktorá pôsobí na drevo, je taktiež rovná algebraickej sume jej zložiek:

$$Q = \sum_{k=1}^n Q_k \quad (5)$$

kde: n – počet úsekov (zón), na ktoré je rozdelený pracovný povrch noža, ktorý je v kontakte s drevom (v sledovanom prípade $n = 8$).

Pri posudzovaní optimálnej geometrie ako kritérium slúžila veličina reznej sily (F_R).

MATERIÁL A METÓDY

Pre riešenie týchto problémov bolo postavené špeciálne zariadenie dovoľujúce sledovať proces rezania vetiev v laboratórnych podmienkach a merať pritom rezné sily, z čoho vyplýva energetická náročnosť procesu rezania. Stend je rámovej konštrukcie, pohon nástroja – odvetvovacieho noža zabezpečuje priamočiary hydromotor. Nôž je vymeniteľný, pohybuje sa vo vedení voči pevne uchytenej vzorke, ktorou je neodvetvený klátik dreva.

Pre poznanie silových pomerov rezania bol ako základná drevina použitý smrek, pretože jeho rezný odpor z drevín, ktoré prichádzajú do úvahy pre strojné odvetvovanie, sa javí ako maximálny. Rezné odpory vetiev sa merali u čerstvo zrúbaného dreva s vlhkosťou 40 až 70%. Vzhľadom na rôznorodosť vetiev pred každým pokusom (rezaním) sa zmeral priemer vetvy v rovine rezania (v kôre i bez kôry), uhol sklonu jej osi od normály k vektoru reznej rýchlosti a urobila sa charakteristika votknutia, ako nebolo obvyklé. Pri rezaní sa používali nože s geometrickými parametrami uvedenými v tab. I. Ich geometria je zrejmä z obr. 2, rýchlosť rezania bola $4 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$.

Úloha spočívala v stanovení optimálnej geometrie nástroja. Za rovnakých rezných podmienok sa určila veľičina maximálnej reznej sily (resp. meranej reznej sily).

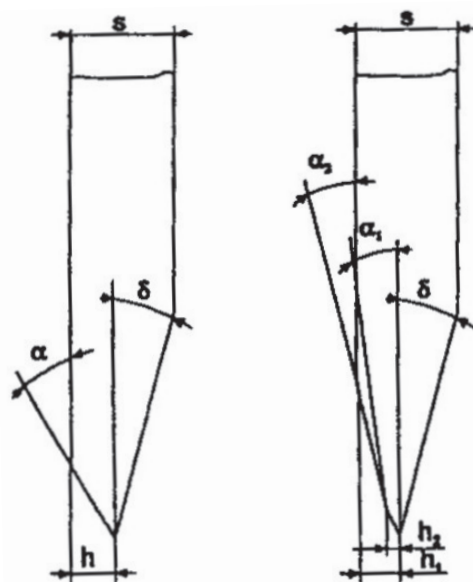
Maximálna hodnota reznej sily $F_{R_{MAX}}$, ako je známe z literatúry podľa Prelovského (1974), Goloda (1987) – a potvrdzujú to urobené skúšky – je priamo úmerná štvorcu priemeru zrezávanej vetvy D v kôre

$$F_{R_{MAX}} = a_1 \cdot D^2 \quad (N)$$

kde koeficient úmernosti a_1 závisí od parametrov noža, dreveniny a uhla vrastenia vetiev. Tento vzťah je možné vyjadriť, že $F_{R_{MAX}}$ je priamo úmerná reznej ploche vetvy S :

$$F_{R_{MAX}} = k \cdot s$$

kde: $k = F_{SP_{MAX}}$ – koeficient úmernosti zodpovedajúci maximálnej mernej reznej sile, ktorá zahŕňa vplyv geometrických charakteristík noža ($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$).



Obr. 2 Geometria ostria odvetvovacích nožov

Tab. 1: Použité nože pri skúškach – Tools used for the tests

Poradové číslo	δ (°)	α (°)		h		s (mm)	Polomer ostria ²
		α_1	α_2	h_1	h_2		
1	15	30		5		15	0,012 – 0,025
2	20	4		3		15	0,012 – 0,025
3	15	7	30	7	3,5	15	0,012 – 0,025
4	0	30		8		15	0,012 – 0,025
5	15	5	15	5	2,5	15	0,012 – 0,025
6	15	4		2		15	0,012 – 0,025
7	15	7		2		15	0,012 – 0,025
8	15	15		2		15	0,012 – 0,025
9	15	30		2		15	0,012 – 0,025
10	20	4		2		15	0,012 – 0,025
11	20	7		2		15	0,012 – 0,025
12	20	15		2		15	0,012 – 0,025
13	20	30		2		15	0,012 – 0,025
14	15	30		1		15	0,012 – 0,025
15	30	30		2		15	0,012 – 0,025

Maximálna merná rezná sila F_{spMAX} z uvedených dôvodov bola vybraná ako parameter pre výber optimálnej geometrie noža.

Maximálna merná rezná sila F_{spMAX} ($N.mm^{-2}$) je daná podielom maximálnej reznej sily F_{RMAX} a prierezu prerezávanej vzorky – reznej plochy.

VÝSLEDKY

Vplyv uhla ostria rezného nástroja na veľkosť maximálnej reznej sily

Vplyv uhla ostria rezného nástroja na reznú silu bol sledovaný u nožov č. 6 a 15 pri konštantnej hrúbke noža $s = 15$ mm a rýchlosti 4 cm.s⁻¹. Údaje získané meraním boli spracované a štatisticky vyhodnotené. Kvôli prehľadnosti sú na obr. 3 znázornené len niektoré regresné krivky. Najlepšie výsledky sa dosiahli pri uhle ostria $\beta = 27^\circ$. V porovnaní napr. s uhlom ostria $\beta = 60^\circ$ poklesla merná sila u $\beta = 27^\circ$ o $5,97$ N.mm⁻².

Vplyv uhla chrbta a rezného uhla rezného nástroja na veľkosť maximálnej reznej sily

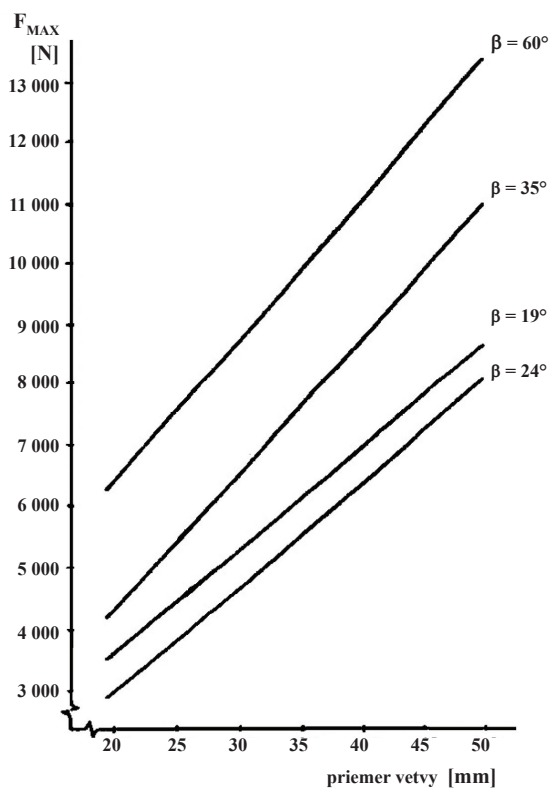
Tento vplyv bol sledovaný u nožov č. 6, 7, 8 a 9 a u nožov 11, 12, 13, teda u nožov o konštantnej hrúbke a o konštantnom uhle rezu.

Vplyv uhla chrbta na veľkosť maximálnej mernej reznej sily je znázornený na obr. 4.

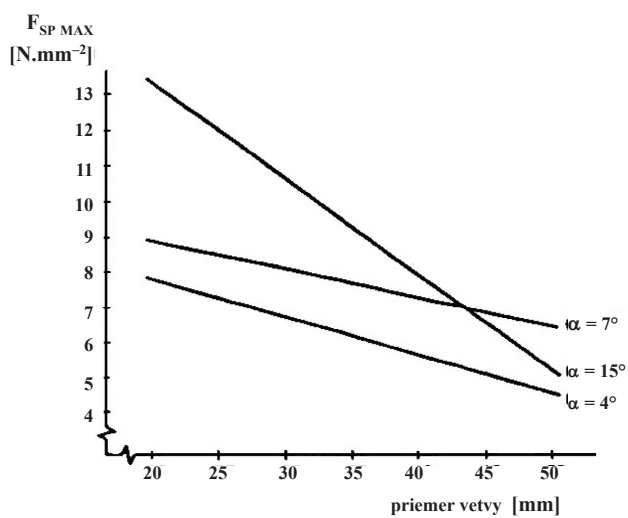
Z porovnania jasne vyplýva výhodnosť uhla chrbta $\alpha = 7^\circ$. Pri zväčšovaní, resp. znižovaní jeho hodnoty sa zvyšuje i hodnota reznej sily až po uhol chrbta $\alpha = 30^\circ$, a to pri $\alpha = 15^\circ$ o $1,37$ N.mm⁻², čo je $40,88\%$.

Z obr. 4 vyplýva, že najvýhodnejší je uhol chrbta $\alpha = 4^\circ$, avšak je to skreslené tým, že u noža č. 7 ($\alpha = 7^\circ$) boli odvetvované hrubšie konáre ako u noža č. 6 ($\alpha = 4^\circ$).

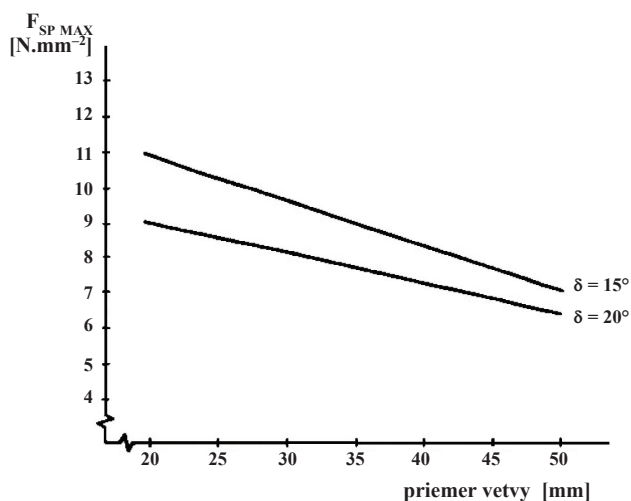
U nožov č. 3 a č. 5 sa uhol chrbta rovná $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$, pričom sa dosiahli u noža č. 3 pomerne dobré výsledky, ale kvalita odvetvovania bola veľmi zlá. Takže tento spôsob riešenia neprináša očakávané výsledky. Vplyv rezného uhla na veľkosť F_{spMAX} je na obr. 5.



Obr. 3 Závislosť maximálnej reznej sily od uhla ostria

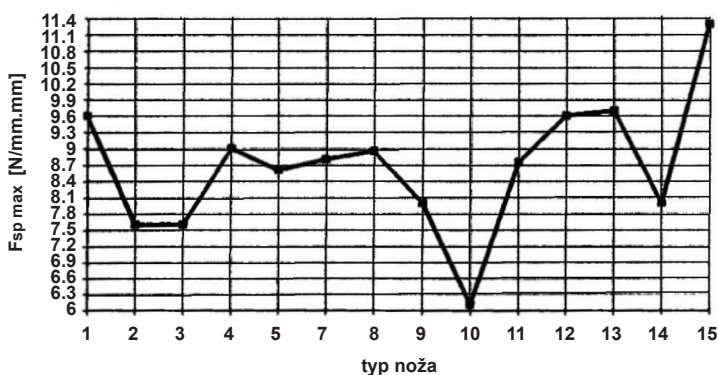


Obr. 4 Vplyv uhla chrbta na veľkosť maximálnej reznej sily pri konštantnom uhle rezu $\delta = 20^\circ$



Obr. 5 Vplyv rezného uhla na veľkosť maximálnej reznej sily pri konštantnom uhle chrpta $\alpha = 7^\circ$

Využitie programového systému STATGRAPHICS umožnilo ďalšie grafické spracovanie nameraných údajov. Graf na obr. 6 vyjadruje závislosť maximálnych merných rezných síl $F_{sp\ MAX}$ na type noža pri hrúbke vetiev 30 mm. Je možné konštatovať, a graf to potvrdzuje, že nôž č. 10 má optimálnu geometriu.



Obr. 6 Maximálna rezná sila $F_{sp\ MAX}$ v závislosti na type noža pri hrúbke vetiev 30 mm

ZÁVER

Zvláštnosťou nožov určených pre zrezávanie vetiev silovou metódou je nevyhnutné spojenie efektívneho rezania s kopírovacou schopnosťou nožov v procese premiestňovania po povrchu obrábaného kmeňa. Veľkosť energetických strát je vážnym faktorom pri výbere optimálnej hodnoty uhla na chrptovej strane noža, ale nemôže sa považovať za

rozhodujúci v konštrukcii odvetvovacích strojov. Ako ukázali výskumy, záporný uhol chrbta α zväčšuje deformáciu vlákien dreva, nachádzajúcich sa pod reznou rovinou. a tým následne rastie rezná sila a energetická náročnosť. Preto odporúčame uhol $\alpha_{\max} = 4^\circ$, pokiaľ sa ešte tento vplyv výrazne neprejavuje.

Experimenty ukázali a vyhodnotenie potvrdilo, že najvýhodnejšia geometria sa javí u noža č. 10 – $\alpha_{\max} = 4^\circ$, $\delta = 20^\circ$, $h = 2$ mm, $s. = 15$ mm, $\rho = 0,02$ mm, preto výrobcom odvetvovacích strojov odporúčame použiť danú geometriu nástroja.

LITERATÚRA

1. GOLOD, J. G., 1987. Eksperimental'nyje issledovanija sumamoj vnešnej nagruzki na protaski-vauščij mechanizm sučkoreznych mašin. In: Voprosy mehanizacii lesosečnych rabot. Chimki, Trudy CNIIME: 38–45.
2. HORVÁTH, B., 2003. Erdészeti gépek, Kiadja a Szaktudás Kiadó Ház Rt, Budapest, 417 p.
3. MACDONALD, A. J., 1993. Review of mechanical delimiters in Western Canada, FERIC, Technical Report No TR-93, Vancouver: 27.
4. PRELOVSKIJ, B. N., 1975. Eksperimental'noje issledovanije proces srezanija sučjev. Chimki, Trudy CNIIME, 140: 54–61.
5. RADOCHA, M.; MANDALÍK, J.; LUBEK, J., 1986. Biotechnické charakteristiky stromov a matematické modelovanie parametrov zariadení na ich spracovanie. (Výskumná správa), Zvolen, VÚLH: 54.
6. SOKOLOV, V. N.; LEONOV, A. L., 1987. Kačestvo mašinnoj obrezki sučjev. In: Voprosy mehanizacii lesosečnych rabot. Chimki, Trudy CNIIME: 46–51.
7. VORONICYN, K. J.; GUGELEV, S. M., 1989. Mašinnaja obrezka sučjev na lesoseke. Moskva, Lesnaja promyšlennost': 272.

Príspevok je prezentovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VEGA MŠ SR č. 1/0048/09

Kontaktná adresa:

prof. Ing. Milan Mikleš, DrSc.,
Technická univerzita vo Zvolene,
Katedra lesnej a mobilnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Masarykova 24, 960 53 Zvolen,
tel. 045/5206 549 e-mail: mikles@vsld.tuzvo.sk

MODEL TRANSFORMACE ENERGIE VE ŠTĚPKOVAČI BIOMASY

MODEL OF ENERGY TRANSFORMATION IN CHIPPING MACHINE

Adolf JANEČEK

ABSTRACT: Biomass chipping machine is analyzed by the help of mathematical model specifying the dominant influences taking effect to operational effectiveness and constructional attributes of the machine.

Key words: biomass; production system; system analysis; mathematical model; industrial machine

ANOTACE: Pomocí vytvořeného matematického modelu jsou analyzovány a specifikovány dominantní vlivy působící na sledované provozní a konstrukční vlastnosti stroje pracujícího jako štěpkovač biomasy.

Klíčová slova: biomasa; výrobní systém; systémová analýza; matematický model; pracovní stroj

ÚVOD

Optimalizace provozních a konstrukčních parametrů strojů zásadně ovlivňuje energetickou náročnost, ekonomickou efektivnost a ekologické aspekty prováděných prací. Při řešení problémů optimalizace technologických a technických parametrů energetických systémů vycházíme po stránce analytických rozborů i po stránce experimentálních sledování důsledně z principu, který jsme pracovně nazvali princip minimaxu (Janeček, 1996).

Působení principu minimaxu je obecného charakteru a vyjadřuje vazby mezi vstupy do libovolného systému. Vstupy mají energetický a materiálový charakter. U systémů vyšší hierarchie jsou uvažovány i vstupy pracovních sil.

MATERIÁL A METODY

Cílem práce bylo formulovat a verifikovat matematický model umožňující analyzovat vliv provozních a konstrukčních parametrů štěpkovače z hlediska měrné spotřeby energie, ekonomiky provozu a ekologických vlivů.

Matematický model je formulován pro energetický prostředek, který aktivně zpracuje určitý materiálový tok (dřevní biomasu apod.) a pasivně působí na zpracovaný materiálový tok (dopravu biomasy).

VÝSLEDKY A DISKUSE

1. Rovnice přenosu energie

Při odvození rovnice pro přenos energie vycházíme z blokového schématu na obr. 1. V blokovém schéma znamená:

A_{mlc} – elementární práce nutná k překonání celkového pasivního odporu mechanických převodů na trakčním ústrojí [J]

η_{mlc} – účinnost mechanických částí trakčního ústrojí [-]

dA_{δ} – elementární práce nutná k překonání prokluzu trakčního ústrojí [J]

η_{δ} – prokluzová účinnost [-]

dA_v – elementární práce nutná k překonání pasivních odporů trakčního ústrojí [J]

η_f – valivá účinnost [-]

dA_{m2c} – elementární práce nutná k překonání celkového pasivního odporu mechanických a hydraulických převodů na pracovní orgány [J]

η_{m2c} – účinnost přenosu energie z energetického zdroje na pracovní orgány [-]

dA_n – elementární práce nutná k překonání pasivního odporu mechanického nebo hydraulického převodu energie z energetického zdroje na pracovní stroj [J]

η_n – účinnost přenosu energie z energetického zdroje na pracovní stroj [-]

dA_{pp1} – elementární práce potřebná k překonání pasivních odporů pomocných částí [J]

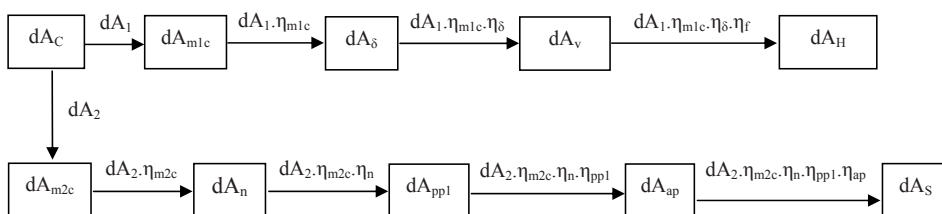
η_{pp1} – účinnost pasivních orgánů napomáhajících toku energie štěpkovačem [-]

dA_{ap} – elementární práce potřebná k překonání pasivních odporů aktivních orgánů přenosu energie na štěpkovači [J]

η_{ap} – účinnost aktivních orgánů přenosu energie na štěpkovači [-]

dA_H – celková elementární práce využitá na tah agregátu [J]

dA_S – celková elementární práce využitá na aktivní zpracování hmoty [J]



Obrázok 1 Blokové schéma přenosu energie v modelu štěpkovače biomasy
Fig. 1. Block scheme of energy transfer within the model of biomass chipping machine

Pro elementární práce platí:

$$dA_C - dA_{S_C} = dA_1 \quad [J] \quad (1)$$

$$dA_C - dA_{HC} = dA_2 \quad [\text{J}] \quad (2)$$

kde:

dA_C – celková elementární práce [J]

dA_{HC} – elementární práce dodaná trakčnímu ústrojí [J]

dA_{SC} – elementární práce nutná k pohonu aktivních částí pracovních orgánů [J]

dA_1 – celková elementární práce nutná k pohonu trakčního ústrojí [J]

dA_2 – celková elementární práce nutná k pohonu aktivních částí pracovních orgánů štěpkovače [J]

Jednotlivé elementární práce můžeme vyjádřit vztahy:

$$dA_{m1c} = dA_1 (1 - \eta_{m1c}) \quad [\text{J}] \quad (3)$$

$$dA_\delta = dA_1 (1 - \eta_\delta) \cdot \eta_{m1c} \quad [\text{J}] \quad (4)$$

$$dA_v = dA_1 (1 - \eta_f) \cdot \eta_{m1c} \cdot \eta_\delta \quad [\text{J}] \quad (5)$$

$$dA_{m2c} = dA_2 (1 - \eta_{m2c}) \quad [\text{J}] \quad (6)$$

$$dA_n = dA_2 (1 - \eta_n) \cdot \eta_{m2c} \quad [\text{J}] \quad (7)$$

$$dA_{pp1} = dA_2 (1 - \eta_{pp1}) \cdot \eta_{m2c} \cdot \eta_n \quad [\text{J}] \quad (8)$$

$$dA_{ap} = dA_2 (1 - \eta_{ap}) \cdot \eta_{m2c} \cdot \eta_n \cdot \eta_{pp1} \quad [\text{J}] \quad (9)$$

Platí:

$$dA_1 = dA_{m1c} + dA_\delta + dA_v + dA_H \quad [\text{J}] \quad (10)$$

$$dA_2 = dA_{m2c} + dA_n + dA_{pp1} + dA_{ap} + dA_S \quad [\text{J}] \quad (11)$$

Celkovou účinnost přenosu energie můžeme vyjádřit vztahem:

$$\eta_C = \frac{dA_S + dA_H}{dA_{m1c} + dA_\delta + dA_v + dA_H + dA_{m2c} + dA_n + dA_{pp1} + dA_{ap} + dA_S} \quad [-] \quad (12)$$

Zavedením celkové mechanické účinnosti stroje η_{SC} a úpravou rovnice (12) dostaneme pro celkovou účinnost přenosu energie vztah:

$$\eta_C = \frac{(dA_H + dA_S) \cdot \eta_{m1c} \cdot \eta_\delta \cdot \eta_{SC}}{(dA_H + dA_v) \cdot \eta_{SC} + dA_S \cdot \eta_{m1c} \cdot \eta_\delta} \quad [-] \quad (13)$$

V rovnici (13) je:

$$\eta_{SC} = \eta_{m2c} \cdot \eta_n \cdot \eta_{ap} \cdot \eta_{pp1} \quad [-] \quad (14)$$

2. Přenos a transformace energie štěpkovačem

Jestliže samochodný štěpkovač pracuje kontinuálně můžeme celkovou účinnost přenosu energie η_c a měrnou práci štěpkovače Q vyjádřit vztahy:

$$\eta_c = \frac{(F_{SD} + p_s \cdot S) \cdot \eta_{mlc} \cdot \eta_\delta \cdot \eta_{SC}}{(F_{SD} + F_t) \cdot \eta_{SC} + p_s \cdot S \cdot \eta_{mlc} \cdot \eta_\delta} \quad [-] \quad (15)$$

$$Q = \frac{(F_{SD} + F_t) \cdot (S \cdot \eta_{SC})^{-1} + p_s \cdot \eta_{mlc} \cdot \eta_\delta}{\eta_{mlc} \cdot \eta_\delta \cdot \eta_{SC}} \quad [-] \quad (16)$$

V rovnicích (15) a (16) je:

F_{SD} – užitečný odpor valení samochodného štěpkovače způsobený převáženou hmotou [N]

F_t – valivý odpor energetického měniče [N]

Q – měrná práce štěpkovače vztažená na jednotku objemu zpracované hmoty [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$]

p_s – střední kontaktní tlak v dosedací ploše pneumatiky [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$]

3. Stopa štěpkovače

Rovnice závislosti mezi středním kontaktním tlakem p_s v dosedací ploše pneumatiky a jejím zahloubením t má tvar:

$$p_s = k \cdot t^n \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (17)$$

kde:

t – zahloubení pneumatiky [m]

n – exponent závislý na stupni plasticity povrchu porostu [-]

$n \in \langle 0,8-1,1 \rangle$ pro suché pevné zeminy (vlhkost 0–8 %)

$n \in \langle 0,4-0,8 \rangle$ pro středně vlhké zeminy (vlhkost 8–14 %)

$n \in \langle 0,2-0,4 \rangle$ pro vlhké zeminy (vlhkost 15–30 %)

k – součinitel závislý na stupni plasticity zeminy [$\text{J} \cdot \text{m}^{-4}$]

V tab. 1 jsou uvedeny doporučené součinitele k závislé na stupni plasticity zeminy.

Tabuľka 1 Doporučené hodnoty součinitele k pro lesní půdy

Tab. 1 Recommended values of coefficient k for forest ground

Druh půdy	Stupeň vlhkosti půdy		
	Suchá	Středně vlhká	Vlhká
Písčítá	4–5	2–3	0,5–1
Písčito-hlinitá	4–7	3–5	0,08–1,4
Hlinito-písčítá	4–8	2–4	0,01–0,1

Při stanovení funkční závislosti mezi zatížením pneumatik mobilního lesního výrobního systému a hloubkou vytvoření stopy $t_{A,B}$ pneumatiky vycházíme ze vztahu:

$$t_{A,B} = \sqrt{\frac{Y_{A,B}}{2b_{A,B} \cdot k \cdot l_{A,B}}} \quad [\text{m}] \quad (18)$$

kde:

$Y_{A,B}$ – normálová reakce na přední, zadní nápravu mobilního systému [N]

$b_{A,B}$ – šířka otisku přední, zadní pneumatiky [m]

$l_{A,B}$ – délka otisku přední, zadní pneumatiky [m]

ZÁVĚR

Analýza vytvořeného matematického modelu prokázala dominantní vlivy výkonnosti pracovního stroje, jeho hmotnosti a charakteru půdy na sledované provozní parametry a konstrukční vlastnosti štěpkovače. Výsledky prvních výpočtů a experimentů ukázaly, Janeček A. 2003, že změny analyzovaných parametrů v rozmezí 5–10 % se odrážely na změnách měrné spotřeby energie, ekonomice provozu a sledovaných ekologických aspektech o 40–50 %.

LITERATURA

JANEČEK, A, 1996: Optimalizace struktury a postupů lesních výrobních systémů v lesním hospodářství. Praha: Lesnická fakulta České zemědělské univerzity v Praze, 1996, 120 s.

JANEČEK, A., 2003: Deterministický model štěpkovače optimalizující parametry z hlediska energetiky, ekonomiky a těžebně dopravní eroze. Praha: ČZU v Praze, 2003, 35 s. (Uživatelská příručka zpracovaná v rámci výzkumného úkolu QC 0117 NAZV MZe ČR).

Kontaktní adresa:

prof. Ing. Adolf Janeček, DrSc., dr. h. c.

Česká zemědělská univerzita v Praze,

Kamýcká 129, 165 21 Praha 6,

Česká republika

e-mail: janecek@fle.czu.cz

HARVESTERY A MOŽNOSTI SIMULÁCIE PÁSOVÉHO PODVOZKA HARVESTERA V PROSTREDÍ MSC. ADAMS

HARVESTER AND POSSIBILITIES OF HARVESTER BELT MECHANISM SIMULATIONS IN MSC. ADAMS

Ján KOVÁČ – Jaroslav MATEJ

ABSTRAKT: Integrované technológie na báze viacoperačných strojov predstavujú progresívne systémy spíľovania stromov a prvotného spracovania dreva v operačnom priestore porast – odvozného miesta. Ďalším charakteristickým znakom harvesterovej technológie pri výrobe dreva je značné zníženie spotreby živej ľudskej práce a evidentné zníženie environmentálnej záťaže prostredia. Popísaný je systém MSC.Adams v spojení s potrebami a možnosťami simulácie pásového mechanizmu harvestera.

Kľúčové slová: ťažbové stroje, harvester, podvozky vozidiel, simulácia, MSC.Adams, pásový mechanizmus

ABSTRACT: Integrated technologies on the base of multi-operational machines represent progressive systems of sawing trees and first wood processing in the operational area: shrubby – manipulation place. The next characteristic feature of a harvester technology at the wood production is considerable consumption decrease of human work and significant decrease of impact on environment. There is described a system MSC.Adams in connection to necessities and possibilities of harvester belt mechanism simulations.

Key words: harvester, felling machine, chassis car, simulation, MSC. Adams, belt mechanism

ÚVOD

Variabilita technologickej a výkonnostnej štruktúry harvesterových strojov sa čoraz viac prispôbuje potrebám moderného lesníctva, t.j. nie lesnícke technológie sa prispôbujú strojom, ale stroje potrebám lesa. Harvesterové technológie prinášajú do výrobného systému lesníctva celý rad zmien a paradoxov. Takou zmenou je napr. neobvyklá výkonnosť a paradoxom zasa fakt, že napriek veľkej hmotnosti strojov je technika, pracovné postupy a primeraná technologická disciplína umožňujúca dosahovať historicky najnižšiu úroveň poškodenia prostredia lesníckou technikou (KOVÁČ, J., 2005).

Z hľadiska miesta a polohy manipulácie s drevom rozdeľujeme harvestery na jednoúchopové a dvojúchopové. Z hľadiska prechodnosti stroja v teréne osobitný význam majú tandemové kolesá. Jednotlivé kolesá v tandeme sú poháňané čelným ozubením alebo reťazou tak, aby otáčanie kolies bolo vzájomne synchronizované. Na strmých svahoch možnosťou zmeny výšky kolies na ľavej resp. pravej strane podvozku je umožnené, aby bol stroj v rovine (DVORÁK, J., MALÍK, V., 2007).

Podvozky mobilných strojov

Súčasná podmienka v praxi, hlavne v oblasti nasadenia mobilných strojov, sú v znamení zvýšenia požiadaviek na ich technické parametre, ich pohotovosť k nasadeniu a na ich bezpečnosť. Zvyšujúce sa nároky na prepravitelnosť pracovných strojov a súčasne zabezpečenie ich medzioperačnej mobility a tiež stability v procese nasadenia strojov sú základnými požiadavkami v procese výberu strojov na trhu. Pri výbere vhodného typu mobilného pracovného stroja pre jeho konkrétne nasadenie treba klásť dôraz aj na konštrukciu jeho podvozku.

Konštrukciu podvozku podmieňujú nasledovné faktory:

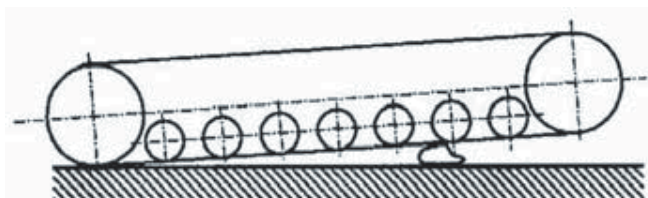
- technológia pracovného procesu – určuje druh pracovného cyklu (prerušovaný alebo kontinuálny), pracovné rozmery stroja (prípadne možnosť ich zmeny pri práci), zaťaženie stroja vonkajšími silami (resp. ich premenlivosť čo do veľkosti a pôsobiska) a tiež pracovná rýchlosť
- podklad po ktorom stroj jazdí – druh, stav, súdržnosť, prípustný merný tlak a reliéf povrchu terénu ovplyvňujúci veľkosť stykovej plochy sú určujúce faktory pre konštrukciu a voľbu typu podvozku. V málo únosných terénoch je potrebné používať podvozok zabezpečujúci malý merný tlak na podložie (tento aspekt determinuje charakteristické prvky konštrukcie podvozkov používaných v stavebníctve a poľnohospodárstve)
- požadovaná mobilita – tá je spravidla vyvolávaná ekonomikou prevádzky stroja (možnosť rýchleho nasadenia stroja na rôznych miestach). Pre stroje s menšou a strednou výkonnosťou, určených pre zemné práce menšieho rozsahu, je charakteristická potreba častého premiestňovania stroja. Pre takéto podmienky sú určujúce požiadavky na zvyšovanie rýchlosti stroja, ktoré potom rozhodujú aj pri voľbe druhu podvozku.

Pásovú podvozku musia vo všeobecnosti zabezpečiť prenos hmotnosti stroja a vonkajších síl na podložie, zabezpečiť stabilitu stroja pri práci, priechodnosť v teréne a tiež premiestňovanie stroja na pracovisku. Tieto podvozky sa vyznačujú malými hodnotami styčných tlakov medzi podložkou a pásom, majú veľký záberový účinok a teda môžu prenášať značné záberové a brzdné sily. Nevýhodou pásových podvozkov sú vyššie nadobúdacie náklady na stroj a tiež následne vyššie náklady na jeho následnú údržbu a opravy. Vlastná konštrukcia pásového podvozku musí zaručiť optimálnu prevádzku pri malej hmotnosti a nízkej práci výroby, dostatočnej ťažnej sile a samozrejme spoľahlivosti za akýchkoľvek klimatických podmienok.

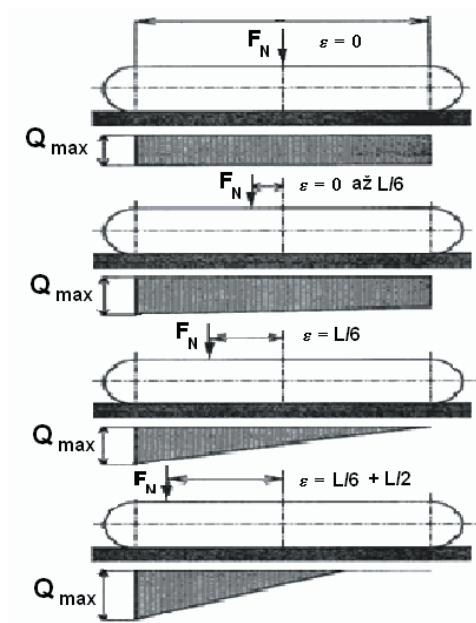
Pásový podvozok

Pásovú mobilnú stroje dosahujú vysokých ťahových síl s využitím celkovej hmotnosti vozidla, čo im umožňuje lepšie využívanie maximálneho výkonu motora. Vďaka veľkej

stykovej ploche pásov s pôdou sa dosahuje malého merného tlaku na pôdu a zlepšujú sa ťahové vlastnosti oproti kolesovým vozidlám. Keď považujeme pásy za „pevný nosník“ (obr. 1), tak nemusíme vychádzať z jadra prierezu kontaktnej plochy, čo je charakterizované rovnomerným tlakom, ale môžeme rozloženie kontaktného tlaku približne určiť z polohy excentricity (ε) normálovej reakcie F_N (obr. 2).



Obr. 1 Pás ako pevný nosník



Obr. 2 Vplyv excentricity zaťaženia na tlak pásov na pôdu

Pri uvažovaní centrálneho zaťaženia F_N od tiaže bremena a vlastnej hmotnosti vozidla, ako aj momentu:

$$M = F_N \cdot R + F_w \cdot H \quad (1)$$

kde: F_w – horizontálna zložka zaťaženia na ramene H , potom celkový kontaktný tlak je definovaný súčtom parciálnych tlakov p_1 či od zaťaženia F_N , p_2 od zložky momentu $M \cdot \cos \alpha$ a p_3 od zložky momentu $M \cdot \sin \alpha$:

$$\sum p' p_1 + p_2 + p_3' p \quad [\text{MPa}] \quad (2)$$

Veľkosť stykovej plochy medzi pásom a podkladom je vo väčšine pásových vozidiel nemenná a určujú ju rozmery pojazďového ústrojenstva dané výrobcom. Pri týchto vozidlách je možné ovplyvniť veľkosť ich záberovej plochy iba zmenou behúňovej vzorky pásu. Táto zmena sa prevádza buď jednotlivou (po článkoch pásu, ak je vzorka behúňa oddeľiteľná od nosnej časti pásu), alebo výmenou celého pásu. Šírku pásu môžeme zväčšiť aj pomocou montáže prídavného pásu, alebo teleskopickým vysunutím kovovej vzorky behúňa.

Podvozky harvesterov, ako už bolo uvedené v úvode, teda v zásade rozdeľujeme na kolesové a pásové. Z pohľadu simulácie v systéme MSC.Adams je možné ešte uvažovať aj o kolesopásovej verzii bežného kolesového harvestera.

TEORETICKÉ POZADIE SYSTÉMU MSC.ADAMS

MSC.Adams ako systém pre simuláciu dynamických systémov je založený na striktno matematickom základe, v rámci simulácie sa teda riešia sústavy rovníc, ktoré popisujú model daného dynamického systému. Riešič systému Adams preto definuje dynamický model pomocou:

- zotrvačných charakteristík dielov modelu,
- vzťahov medzi dielmi modelu,
- hnacích momentov a síl pôsobiacich na model.

Model môže tiež obsahovať doplnkové diferenciálne rovnice prvého rádu a algebraické rovnice spojené s modelom alebo nezávislé na ňom. Pre každý definovaný diel modelu systém vytvorí šesť dynamických rovníc prvého rádu, pre sily a zrýchlenia, šesť kinematických rovníc prvého rádu, pre polohy a rýchlosti a doplnkové rovnice. Riešič všetky rovnice spojí tak, aby mohli byť riešené súčasne, pre časovo závislé položky v stavovom vektore, ktorý reprezentuje stĺpcová matica neznámych veličín, čo sú:

- posuvné a uhlové rýchlosti každého dielu,
- tri kartézské súradnice pre ťažisko každého dielu,
- tri uhly definujúce natočenie dielu,
- aplikované sily,
- obmedzujúce sily.

Rovnice systému je možné zapísať vo všeobecnej forme troch nasledujúcich rovníc:

$$\begin{aligned} \underline{M}(q, \underline{u}, \underline{\dot{u}}, \underline{f}, t) \\ \underline{\dot{u}} - \underline{q} &= 0 \\ \underline{\Phi}(q, \underline{f}, t) \end{aligned} \quad (3)$$

kde:

podčiarknutie označuje maticu, a bodka deriváciu podľa času

- \underline{q} – je stĺpcová matica nazvaná zovšeobecnené súradnice obsahuje posuvné a rotačné premenné,
 \underline{u} – stĺpcová matica obsahujúca derivácie podľa času komponentov matice \underline{q} ,
 \underline{f} – stĺpcová matica obsahujúca obmedzujúce a aplikované sily,
 t – čas,
 \underline{M} – stĺpcová matica všetkých diferenciálnych rovníc ovládajúca dynamiku modelu,
 $\underline{\Phi}$ – stĺpcová matica všetkých algebraických rovníc, ktoré definujú obmedzenia modelu.

Typická dynamická diferenciálna rovnica má tvar:

$$\ddot{m}z - mg - \lambda = 0 \quad (4)$$

a typická obmedzujúca rovnica môže mať tvar:

$$z - L \cos \Theta = 0 \quad (5)$$

kde:

- m – hmotnosť,
 z – vertikálna súradnica ťažiska dielu,
 λ – obmedzujúca sila pôsobiaca na diel,
 g – tiažové zrýchlenie,
 L – konštanta modelu,
 Θ – orientácia dielu.

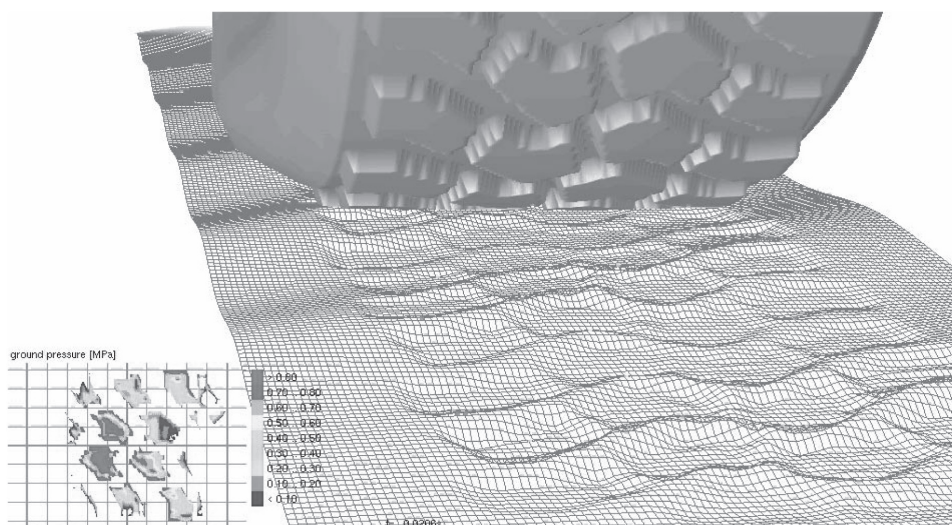
Rovnice systému, uvedené vyššie vo všeobecnej forme, rieši komponent Adams-u nazvaný riešič (solver), ktorý ich samozrejme rieši numerickými metódami. Je teda možné vybrať si matematickú reprezentáciu integrátora a nastavovať jeho parametre.

MATERIÁL A METÓDY

MSC.Adams je celosvetovo najširšie používaný softvér pre dynamickú analýzu a analýzu pohybu mnohoprvkových mechanických sústav. Pomáha pri štúdiu dynamiky pohybujúcich sa častí strojov, určení aké zaťaženia a sily sú distribuované v rámci mechanického systému a tiež pri zlepšovaní a optimalizácii vlastností mechanických sústav. Tradičné metódy založené na postavení prototypu a jeho testovaní sa použitím tohto systému stávajú príliš drahými a časovo náročnými a niekedy aj nemožnými.

Z pohľadu možností systému MSC.Adams je vhodné upriamiť pozornosť na ATV (Adams Tracked Vehicle) Toolkit [5], ktorý rieši veľké množstvo problémov spojených so simuláciou takýchto mechanizmov. Je to však balík doplnkový, za príplatok, a navyše zatiaľ nie je súčasťou oficiálneho portfólia produktov MSC.Adams [8]. Pre simuláciu harvesterov, či pásových alebo kolesových je dôležité najmä to, že implementuje poddajný terén, čo základný modul MSC.Adams/View neumožňuje.

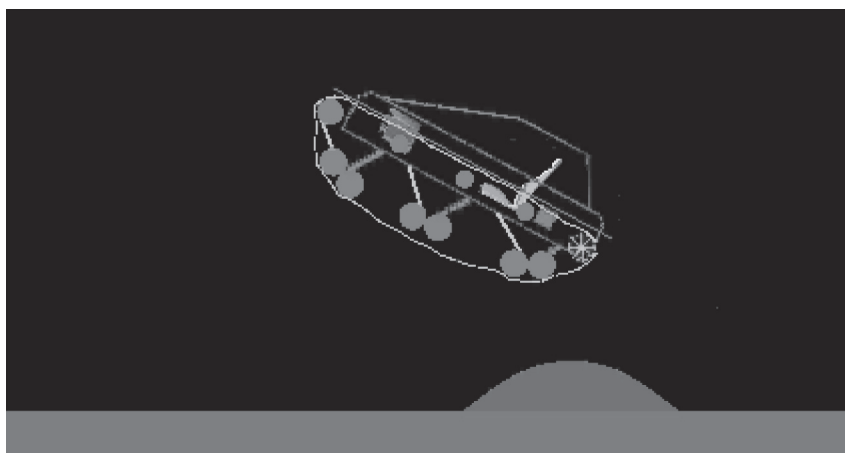
Implementáciu poddajného terénu poskytuje tiež balík FTire [6], ktorý sa javí (autori príspevku s ním nemajú skúsenosti) ako veľmi vhodný na určenie environmentálnych aspektov pojazdu kolesových, či pásových podvozkov po poddajnom teréne (obr. 3), ale aj pre zvýšenie hodnovernosti simulácií využívajúcich podvozky s pneumatikami.



Obr. 3 Použitie softvéru FTire pre určenie tlaku na poddajný terén

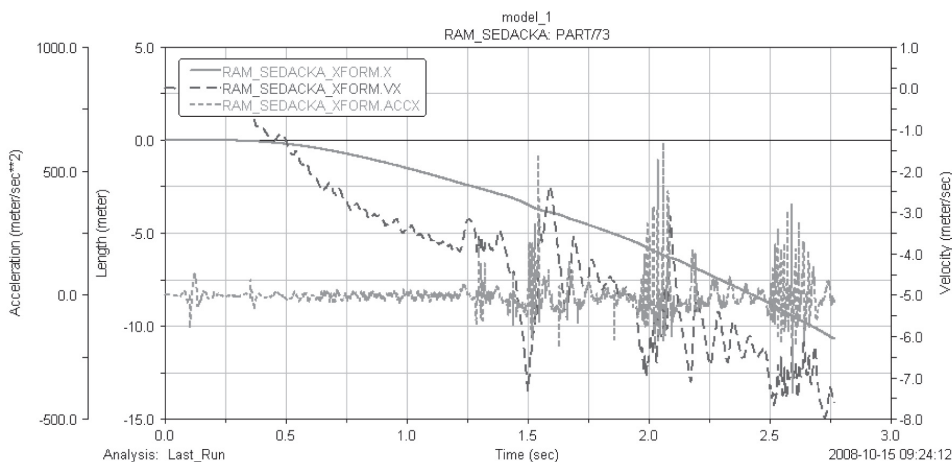
VÝSLEDKY A DISKUSIA

Z hľadiska simulácie je potrebné si uvedomiť, aké sú pracovné rýchlosti pohybu harvesterov. Simuláciu pásového mechanizmu týchto strojov teda nemôžeme porovnávať so simuláciou napr. bojového pásového vozidla, avšak z pohľadu úkonov potrebných na zrealizovanie simulácie tu rozdiel v podstate nie je. Simulácia však nebude zameraná na dynamiku jazdy stroja (obr. 4). Môže sa zamerať na riešenie stability stroja v rôznych situáciách, či pracovných manévroch, prejazd cez prekážky, najmä pracovnou rýchlosťou.



Obr. 4 – Simulácia dynamiky pohybu pásového vozidla

Vyššie uvedenými balíkmi ATV a FTire pracovisko autorov nedisponuje, preto sa nimi nebudeme ďalej zaoberať. Základný modul View však poskytuje dostatočné množstvo nástrojov na vytvorenie a simuláciu modelu pásového stroja. Poskytuje kvalitný nástroj na vyhodnotenie simulácie nazvaný PostProcessor, ktorý je schopný zobraziť nespočetné množstvo údajov. Z pohľadu dynamiky najmä polohu, rýchlosť a zrýchlenie ľubovoľných bodov modelu (obr. 5). Všeobecne je však potrebné pri simuláciách pásových mechanizmov počítať s vysokou časovou náročnosťou, danou veľkým počtom prvkov modelu, pre bežný pásový model s dvomi pásmi po 80 článkoch a 6 pojazdvými kolesami je to asi 1100 prvkov, čo už zďaleka nepostačuje na simuláciu v reálnom čase.



Obr. 5 Vyhodnotenie výsledkov simulácie v PostProcessore. Graf zobrazuje polohu, rýchlosť a zrýchlenie sedačky operátora v smere pohybu stroja

V reálnom prípade však je potrebné počítať (harvester z obr. 3) s asi 10 kolesami, vrátane vodiacich kladiek, 100 článkami na pás a terénom s aspoň dvomi prekážkami, nahrdzajúcimi stromy. Toto nám dáva asi 2700 prvkov. Jeden z výsledkov simulácie, grafická prezentácia simulácie pohybu stroja (obr. 5), týkajúca sa modelu na obr.4 poukazuje na možnosti systému. Napriek inému zameraniu modelu s ohľadom na jednoduchšiu situáciu pri simulácii harvesteru, zrealizovaná simulácia jednoznačne preukazuje, že napriek veľkému počtu prvkov v modeli je simulácia možná, s prihliadnutím na fakt, že štandardné riešiče nemusia byť na toto optimalizované, čo je však už vnútorná záležitosť technológie, keďže aj táto používa štandardné spôsoby numerického riešenia diferenciálnych rovníc, napr. typu Runge-Kutta. Týmto je verifikovaná možnosť simulácie pojazdvého mechanizmu harvesteru, čo aj bude využité pri ďalších experimentoch.

ZÁVER

Moderná technika a s ňou spojené technológie sú nositeľmi rozsiahlych kvantitatívnych a kvalitatívnych zmien v lesníckej výrobe. Variabilita technologickej a výkonnostnej

štruktúry harvesterových strojov sa čoraz viac prispôsobuje potrebám moderného lesníctva, t.j. nie lesnícke technológie sa prispôsobujú strojom, ale stroje potrebám lesa. Popísané softvérové nástroje dokumentujú možnosti najmodernejších technológií v návrhu, konštrukcii alebo výskume a to na základe konkrétnych výsledkov zo zrealizovaných experimentov a simulácií.

LITERATÚRA:

1. DVOŘÁK, J., MALÍK, V.: *Harvesterové technologie a vliv na lesní porosty*. Lesnícka práce, Praha 2007. ISBN 978-80-86386-92-8 (84 s.)
2. KOVÁČ, J.: *Ergonomické aspekty samopohovateľnej kabíny ťažbových strojov*. In: Kolokvium ku grantovej úlohe č. 1/0615/03. Technická univerzita vo Zvolene. 2004. ISBN 80-228-1515-2. s. 18–30.
3. LUKÁČ, T.: *Viacoperačné stroje v lesnom hospodárstve*. TU vo Zvolene. 2005. 137 s. ISBN 80-228-1348-6.
4. MATEJ, J.: *Pásový mechanizmus v MSC.ADAMS/View*. In: XI. medzinárodná vedecká konferencia mladých 2009. Technická univerzita vo Zvolene 2009. ISBN 978-80-228-1993-0. s. 149–153.
5. ŠTOLLMANN, V., MIKLEŠ, M.: *Lesnícke mechanizačné prostriedky*. TU vo Zvolene. 2001. 285s. ISBN 80-228-0998-5.
6. Dokument z internetu:
<http://www.iutp.univ-poitiers.fr/COURS-DOCS/docu/ideas/SDRCHelp/LANG/French/vendor/adams/mss.pdf>
7. Internetová stránka – ATV Toolkit: <http://www.mssoftware.se/solutions/toolkits/atv.htm>
8. Internetová stránka – FTire: <http://ftire.com/>
9. Internetová stránka – MSC Software: <http://www.mssoftware.com>

Adresa:

Ing. Ján Kováč, PhD.,

Katedra lesnej a mobilnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen,
e-mail: kovac@vsld.tuzvo.sk

Ing. Jaroslav Matej, PhD.,

Katedra lesnej a mobilnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24,
960 53 Zvolen,
e-mail: matej@vsld.tuzvo.sk

ZAVÁDZANIE TOTÁLNEJ PRODUKTÍVNEJ ÚDRŽBY V ŽOS ZVOLEN, A. S.

APPLICATION OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE IN ŽOS ZVOLEN, A. S.

Anna ŠATANOVÁ – Lucia KRAJČÍROVÁ

ABSTRACT: In order to business firms were competitive and were able to meet the needs of their customers, it is inevitable to lay big emphasis on quality in all the areas of their activities. Aim of the contribution is to propose a method how to apply the application TPM – total productive maintenance, according to conditions of selected company. This method requires participation of all the staff of the company. TPM contributes to lower maintenance expenses, stoppage, fault liability, it lowers number of injuries and what's more it raises effectiveness of machinery and, of course, it increases general quality in business.

Key words: 5S, maintenance, TPM – total productive maintenance, quality, cost, stoppage

ABSTRAKT: Ak chcú byť firmy konkurencieschopné a uspokojovať potreby svojich zákazníkov, je nutné, aby kládli veľký dôraz na kvalitu vo všetkých oblastiach svojej činnosti. Cieľom príspevku je navrhnúť postup zavedenie TPM – totálne produktívnej údržby na podmienky vybraného podniku. Táto metóda vyžaduje účasť všetkých zamestnancov podniku. TPM znižuje náklady na údržbu, prerušenia, poruchovosť, to znižuje počet nepodarkov a zvyšuje efektívnosť využitia strojných zariadení, čo samozrejme zvyšuje celkovú kvalitu v podniku.

Kľúčové slová: 5S, údržba, TPM – totálne produktívna údržba, kvalita, náklady, prerušenie

1. ÚVOD

Požiadavky na kvalitu sa objektívne presadzovali v súlade so životnými podmienkami človeka. Spolu s rozvíjajúcimi sa spoločenskými formáciami sa vyvíjali aj názory na kvalitu, na samotný systém i overovanie kvality. Aby podnik realizoval zhodnú produkciu, musí udržiavať aj svoje strojné zariadenia v spôsobilom stave. V súvislosti s touto podmienkou má dôležité postavenie v podniku údržba strojov a zariadení. Údržba sa stále pokladá za systém plánovaných opráv, ktorého hlavným cieľom je odstraňovať chyby, ktoré na strojoch nastanú. Nevenuje sa pri tom dostatočná pozornosť samotným príčinám vzniku týchto negatívnych situácií a ich predchádzaniu. Jednou z metód, ktoré dokážu skvalitniť činnosť údržby v podniku je TPM – Total Productive Maintenance. Jedná sa

o filozofiu, ktorej podstata spočíva v myšlienke, ako zvýšiť výkonnosť strojného zariadenia a znížiť náklady na údržbu a straty, znížiť náklady na servis, eliminovať možné vzniknuté prestoje. Cieľom príspevku je navrhnúť postup zavedenia TPM – totálnej produktívnej údržby v podmienkach vybraného podniku.

2. MATERIÁL A METÓDY

K naplneniu cieľa sme využili analýzu súčasného stavu v oblasti údržby v podniku, odbornú a časopiseckú literatúru, podnikové smernice a internet. Rovnako tak sme využili aj metodiku realizácie interného auditu, certifikácie personálu i metódu 5S. Každá z nich sa zaoberá jednou z častí postupu, ktoré sú nevyhnutné pre úspešné zavedenie i fungovanie TPM. V tejto oblasti nám dôležité informácie poskytla aj norma STN EN ISO 19011:2003 Návod na audit a obsahová náplň vzdelávacích kurzov, ktoré sa týkajú danej problematiky.

3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

ŽOS Zvolen, a. s. venuje problematike kvality a jej riadeniu veľkú pozornosť. V podniku je zriadený útvar Riadenie kvality a kontroly (RKaK). Spoločnosť je držiteľom certifikátu ISO 9001:2000, ISO 14001:2004 a ďalších certifikátov a oprávnení. Od roku 2005 sa zameriava na budovanie integrovaného systému SMK a EMS. Podnik na realizáciu svojej vlastnej činnosti využíva značné množstvo strojných zariadení. Strojový park spoločnosti je aj napriek realizovaným investíciám dosť výrazne zastaraný. Jeho bezporuchovosť a výkonnosť sa môže veľmi rýchlo zmeniť a ohroziť tým kvalitu celého výrobného procesu. Z toho dôvodu je dôležité problematike údržby strojov a zariadení venovať zvýšenú pozornosť.

3.1 Zavádzanie TPM

Základný princíp zavádzania TPM pozostáva z nasledovného postupu:

1. Útvar RKaK musí informovať manažment spoločnosti o potrebe implementácie TPM (môže byť zavedené len v podniku, kde je top manažment plne zainteresovaný do tohto procesu). Prezentáciu pripraví spoločne vedúci útvaru RKaK (najvyšší článok zodpovednosti za kvalitu v podniku), oddelenie Údržba a útvar Správa majetku. Následne útvar RKaK odporučí vedeniu *audit* v oblasti údržby externou organizáciou, ktorého výsledky sa zhodnotia skupinou zloženou z údržbárskeho personálu a riadiacich zamestnancov.
2. Zabezpečí sa *informačná osвета a vzdelávanie* o TPM procese – všetci od výrobných robotníkov až po vrcholových manažérov musia vedieť a byť pripravení na zlepšovanie v oblasti údržby; vytvorí sa *plán zavedenia TPM* v podniku – vykoná útvar RKaK

(vyškolení zamestnanci – interní audítori údržby + vedúci jednotlivých oddelení), ktorý ho spolu s rozpočtom predloží vedeniu spoločnosti na schválenie.

Náklady spojené so vzdelávaním a udelením certifikátu:	
Cena seminára + certifikát Interny audítor údržby/1 uchádzač	190 €
Spolu (vedúci útvaru RKaK a zamestnanec útvaru Údržba)	380 €

Obsah seminára – informácie o problematike systému manažmentu v údržbe; zoznámenie sa s definovaním indikátorov výkonnosti údržby a so samotným auditom manažmentu údržby, ktorým sa pre podnik otvára cesta k zavedeniu TPM

3. *Sformuje sa tím TPM* – výkonná moc (generálny riaditeľ), obchodný manažér, riadiaci manažér, vedúci, majstri, miestny prevádzkový a údržbársky personál, zamestnanci, ktorí na daných zariadeniach pracujú, nastavujú a udržiavajú ich. Tento tím musí úzko spolupracovať s oddeleniami podieľajúcimi sa na danom výrobnom procese.
4. *Začne sa s politikou 5S* poriadku a čistenia na pracovisku. Základom metódy je zvyšovanie kvality a jej účelom je bezpečnosť, účinnosť strojov a zariadení a minimálne prestoje. Je to finančne nenáročný prístup, akým podnik môže prispievať k motivovaniu vlastných zamestnancov i vytváraniu dobrých pracovných podmienok. Táto metóda je spôsob, ktorý nemá za cieľ len pôsobiť na zákazníka, ale ide najmä o to, aby sa vytvorili a zabezpečili podmienky pre kvalitné a efektívne procesy, ktoré budú schopné vytvárať výrobky a služby na požadovanej úrovni. Zavádzanie a realizácia politiky 5S sa realizuje v nasledovných krokoch (Obr. 1 a Obr. 2).

<p>1. krok – vyberie sa tím ľudí so zastúpením každej oblasti v podniku heslo: „Všetci zamestnanci vplyvajú na kvalitu prostredia, preto by sa mali podieľať aj na jeho zlepšovaní.“</p>	<p>3. krok – vedúci útvaru RKaK + vedúci jemu podriadených oddelení vypracujú Organizačnú smernicu 5S. Určí sa zodpovednosť za jej dodržiavanie – vedúci jednotlivých oddelení. Každý zamestnanec podniku však bude zodpovedný za dodržiavanie obsahu smernice na jemu zverenom pracovisku.</p>
<p>2. krok – školenie tímu externou organizáciou Cena školenia (pre jednu osobu): 5S školenie 221 € 5S tréning 267 € TPM tréning 429 € Spolu 917 € → praktické vedomosti a zručnosti (nevyhnutnosť pre bezproblémové zvládnutie problematiky zavádzania 5S).</p>	<p>4. krok – oboznámenie zamestnancov s obsahom smernice svojím nadriadeným (napr. výrobní robotníci majstrom); prípadné pripomienky sa predostrú manažérovi kvality, ktorý je za ňu zodpovedný.</p>

Obrázok 1 Úvodné kroky k 5S

1. SEPAROVAŤ (SEIRI) – na jednotlivých pracoviskách sa umiestnia tzv. 5S *červené štítky* (na zber všetkých nezhôd – nálezov). Ich účelom je informovať dost' viditeľným spôsobom každého, že na danom zariadení (ak sa umiestnia na stroj napr.) existuje problém, že došlo k zhoršeniu stavu a výrobnej výkonnosti zariadenia... Ak sa štítok odstráni – došlo k zlepšeniu stavu, resp. stroj sa dostal do svojho pôvodného stavu – vznik tzv. databázy údajov, ktorá podáva jasné informácie o presnom stave stroja.

2. SYSTEMATIZOVAŤ (SEITON) – položky, pre ktoré sa hľadá umiestnenie z 1. kroku, sa priamo zaznačia do layoutu pracovného priestoru; kladie sa dôraz na minimalizovanie pohybu zamestnancov, skladovej plochy (eliminácia plytvania); určenie počtu jednotlivých položiek, ktoré sa na danom mieste budú nachádzať → vypracovanie nového layoutu pracoviska

3. STÁLE ČISTIŤ (SEISTO) – na riešení sa zúčastnia robotníci, majstri a zamestnanci údržby. Zavedie sa nový systém v čistení strojov, ktorý navrhnu zamestnanci útvaru Údržba a Revízie majetku (danú oblasť poznajú a ovládajú najlepšie). Pracovisko sa rozdelí

na jednotlivé oblasti, kde sa definuje čo je potrebné čistiť, kedy, ako, aké prostriedky sú potrebné pri čistení, kto čistenie vykoná (čistenie vykonajú zamestnanci podniku, ktorí danú činnosť majú v náplni práce). Takto sa zistia zdroje prachu, tečúceho oleja napr. a zaevidujú sa. Všetky potrebné informácie sa zapisujú do formuláru štandardu čistého pracoviska.

4. ŠTANDARDIZOVAŤ (SEIKETSU) – vytvorí sa fotodokumentácia pracovísk, zaznamenajú sa všetky aktivity čistenia a rozmiestnenia jednotlivých položiek na pracovisku – vznikne vizuálny štandard pracoviska.

5. SEBADISCIPLINOVANOSŤ (SHITSUKE) – zamestnanci musia dodržiavať navrhnuté štandard, v opačnom prípade sa celý zmysel 5S stráca. Preto je dôležité, aby boli vtiahnutí do realizačného tímu 5S. Na podporu disciplíny sa môžu využiť nástenky. Tie sa umiestnia na každom oddelení, kde zamestnanci môžu nájsť stručný popis 5S. Rovnako sa tu dočítajú o aktuálnych výsledkoch hodnotenia auditov a budú im k dispozícii aj vybrané fotky z auditov.

Obrázok 2 5. krok – realizácia 5S v praxi

Audity sa budú vykonávať raz týždenne a to v stanovenom termíne a čase, na ktorom sa 5S audítori dohodnú vopred. Celý proces sa bude riadiť normou STN EN ISO 19011:2003 Návod na audit. V rámci neho sa nebude hodnotiť všetkých 5S, pretože pôjde o vizuálnu kontrolu pracoviska, predmetom kontroly budú len tri oblasti 5S (seiri, seiton, seisto), využije sa na to 3S formulár (Tab. 1), bodové hodnotenie je v rozsahu od 0–5, pričom 5 je najvyššie hodnotenie.

Tabuľka 1 3S formulár – audit

Objekt hodnotenia	Separácia (seiri)	Systematizovať (seiton)				Stále čistiť (seiso)	
	Je všetko užitočné pre prevádzku, je všetko potrebné ?	Je pre všetko miesto ?	Je všetko riadne označené ?	Je všetko riadne zaistené ?	Je všetko v poriadku a na svojom mieste ?	Sú veci nečisté ?	Sú veci deravé a poškodené ?
Podlaha		5	5			2	3
Strojné zariadenia	5	4	4	3	3	2	4
Kontajnery	4	4	5	4	4	2	4
Pracovné stoly	5	4	4	3	3	2	4
Nástroje a prístroje	4	5	5	5	4	2	4
Meradlá	4	5	5	5	5	4	5
Osvetlenie	5					3	3
Drôty a potrubie						4	5
Nástenky a tabule	5	4	4		4	5	5
Skrinky	4	3	4	4	3	3	3
Stoly, stoličky	2	3	3	2	0	0	0
Body	34	108				65	

(Glasa, 2006)

Dosiahnuté výsledky sa spracujú najneskôr v posledný pracovný deň v týždni, kedy bol samotný audit vykonaný. V tento deň sa pošle komplexná správa vypracovaná audítormi vedúcemu RKaK a riaditeľom útvarov. Vedúci jednotlivých oddelení informujú svojich zamestnancov o výsledkoch 5S auditov. Každé oddelenie podniku má svojho zástupcu 5S, ktorý je zodpovedný za svoje oddelenie v rámci 5S metódy. Jeho hlavnou úlohou je zabezpečiť efektívnejšiu a lepšiu komunikáciu medzi 5S audítormi a ostatnými zamestnancami podniku.

Údaje získané auditom sa môžu porovnať s údajmi z predchádzajúceho auditu, príp. sa zhodnotia audity za určité obdobie (zlepšenie, zhoršenie stavu).

Vedúci útvaru RKaK sa s 5S audítormi bude pravidelne (napr. raz týždenne) stretávať a riešiť problémy, s ktorými pri auditoch prídu do kontaktu.

Súčasťou 5S metódy je bezpečnosť, niekedy ju označujeme ako tzv. 6. S. Plnenie tejto podmienky bude mať na starosti bezpečnostný technik. Ten bude zodpovedať za to, že nové postupy nebudú ohrozovať zdravie a život zamestnancov, že bude zabezpečená prístupnosť a jednoznačná identifikácia všetkých bezpečnostných zariadení. Cieľom tohto pravidla je, aby počet pracovných úrazov dosiahol číslo 0.

5. Zavedenie sledovania využitia strojov. V ŽOS Zvolen sa údaje o využiteľnosti strojov evidujú v informačnom systéme, ale sa nevyužívajú v dostatočnej miere.
6. Sledovanie a analýza tzv. 6 základných strát (straty vplyvom porúch, straty vplyvom nastavenia a zoradenia, straty vplyvom nevyužitých prestojov a menších prerušení, straty vplyvom zníženej rýchlosti (výkonu) zariadenia, straty vplyvom nezhodných výrobkov a ich dodatočných opráv, straty pri rozbehu výroby).

Na zisťovanie sa použije dotazník (Tab. 2). Prostredníctvom tohto formulára sa budú zbierať informácie o danom zariadení. Údaje z neho budú slúžiť na výpočet celkovej efektívnosti zariadenia. Formulár sa vyplní vždy po každej vykonávanej činnosti a na konci smeny sa odovzdá majstrovi, ktorý údaje z neho prenesie do informačného systému podniku.

Tabuľka 2 Formulár pre zber údajov o zariadení

Formulár pre zber údajov o zariadení											
Stroj			prevádzka/dielňa								
Dátum a čas	Činnosť	Doba prevádzky			Využitieľnosť		Výkonnosť			Kvalita	
		začiatok	konec	celk. čas	zoradenie	prestoj	ks	čas /ks	stop čas	nepod. (ks)	prerob (ks)
Spolu											

(Pačaiová, 2006)

Z takto získaných údajov je možné potom vypočítať ukazovateľ CEZ – celková efektívnosť zariadenia. Podnik vďaka sledovaniu a samozrejme vyhodnocovaniu CEZ má možnosť presne určiť skutočné príčiny prestojov, odhaliť skryté kapacity výroby i optimalizovať interval údržby a aj náklady na údržbu. Efektívnosť zariadení má priamu súvislosť s konkurenčnou schopnosťou a ziskovosťou podniku. Tým, že sa podnik snaží maximalizovať % efektívnosti, zabezpečuje si aj zvyšovanie návratnosti vynaložených prostriedkov. Na vyhodnotenie a poukázanie strát sa využije tzv. efektogram (Obr. 4), ktorý grafickým znázornením poskytne informácie o 6 veľkých stratách vo výrobe.

(%)	strata využiteľnosti	výrobné straty	nezhodné výrobky	celkové straty	ušlý zisk	× €	počet hodín	× € h.
100	prevádzková využiteľnosť	výkon	výroba kvalitných výrobkov	prevádzková účinnosť	zisk			
90						€		€
80								
70								
60								
50								
40								
30								
20								
10								
0								
	využiteľnosť	výkonnosť	kvalita	CEZ	celkový zisk	skutočné straty		

Obrázok 4 Efektogram (Pačaiová, 2006)

Ďalším riešením pre podnik môže byť v tejto oblasti zavedenie automatizovaného systému na monitorovanie celkovej ekonomickej efektívnosti strojov. Jeho výhodou je, že poskytuje manažmentu podniku veľmi presné podklady o celkovej efektívnosti využívania jednotlivých strojných zariadení. V oblasti kvality poskytuje informácie o dodržiavaní technologických parametrov na jednotlivých strojoch a tiež je dokladom pre zákazníkov o kvalite odobieraných výrobkov. Skladá sa z dvoch častí, jedna sa orientuje na efektívnosť výroby a druhá na kvalitu výroby. Podstatou je, že prostredníctvom snímačov sa sleduje stav daného strojného zariadenia (či je zapnutý, vypnutý, počítajú sa cykly, nezhodné výrobky) a technologické parametre stroja. Všetky informácie sa prenášajú do centrálného počítača, ktorý ich zaznamenáva, vyhodnocuje, vypočíta využitie, výkon, kvalitu i celkovú ekonomickú efektívnosť strojov. Dáta spracuje do tabuliek, grafov. Porovná zozbierané sledované technologické parametre so žiadanými hodnotami. Náklady na realizáciu monitorovacieho systému sú nasledovné:

náklady na vybavenie jedného stroja monitorovacím zariadením	od 2 000 €
prenosný vreckový počítač	od 700 €
softvér do centrálného počítača (pre 1 závod)	od 14 800 €

7. *Analyzujú sa nezhody, identifikuje sa, kde sa vyskytujú nedostatky.* Využívame na to Ishikawov diagram, Pareto diagram (napr. príčiny prestojov – ľudský faktor, chyby zoradovania a nastavovania, čas medzi štartom stroja a stabilnou prevádzkou).
8. Identifikujú a určia sa potenciálne príčiny, zavedú sa merania a skúšky, vykonajú sa a overia alebo eliminujú potenciálne príčiny.
Za realizáciu 7. a 8. bodu bude zodpovedný vedúci útvaru RKaK a ním poverení zamestnanci.
9. Plánujú, zavedú a vyhodnotia sa vhodné nápravné opatrenia a identifikujú sa alternatívne nápravné a preventívne činnosti.
10. Identifikujú sa kontrolné prostriedky, zavedú sa metódy riadenia, monitorujú a podávajú sa správy, využívajú sa regulačné diagramy, frekvenčné tabuľky, korelačný diagram. Prostredníctvom nich podnik môže spracovať všetky informácie týkajúce sa starostlivosti o strojový park, napr. aj informácie o jednotlivých procesoch a ich schopnosti dodržiavať požiadavky, ktoré sú na ne kladené.
11. Pristupuje sa k *autonómnej* údržbe – t. j. denná starostlivosť, čistenie, mazanie, kontrola a pozorovanie strojov. Vychádza sa z dôslednej aplikácie 5S. Všetci zamestnanci v prevádzke sa zapoja do aktivít, ktoré smerujú k minimalizácii prestojov, nezhôd a nekvality. Tu je nutné brať do úvahy, že najlepšie dané zariadenie pozná zamestnanec, ktorý na ňom pracuje. Zároveň je potrebná dostatočná komunikácia a vzájomná dôvera medzi zamestnancom a jeho nadriadeným. Tým sa môže predísť znižovaniu úrovne bezpečnosti.
12. *Údržba podľa skutočného stavu*, t. j. denná prevencia v údržbe, tvorba denných plánov inšpekčných prehliadok strojov a zariadení, s organizáciou pochôdzok (zabezpečenie efektívneho zberu dát a získania 100 % možných dát).

13. *Neustále zlepšovanie* sa realizuje sledovaním vývoja na trhu prostredníctvom rôznych odborných časopisov, internetu, zabezpečovaním vzdelávania vlastných zamestnancov, hľadaním riešení na zlepšenie skutočného stavu. Na tvorbe postupu sa musia podieľať všetci zamestnanci podniku.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

V sledovanom podniku je pomerne zastaraný strojový park. Na základe súčasného stavu riadenia údržby podniku a stavu spolupráce údržby s výrobou navrhujeme pristúpiť k realizácii TPM podľa nami navrhovaného postupu.

TPM sa hodnotí ako systém založený na pocite zodpovednosti a spolupatričnosti s daným zariadením. Jeho cieľom je neustále zlepšovanie, ktoré by sa malo premietnuť do každodennej práce. Realizácia TPM v podnikoch prináša zníženie poruchovosti o 30 až 40 % za rok, zvýšenie pohotovosti o 2 až 2,5 % za rok, zvýšenie CEZ min. o 5 % za rok, zlepšenie strednej doby do poruchy, zlepšenie strednej doby údržby, zlepšenie technického využitia o 2–3 % za rok, zlepšenie počtu podaných zlepšení – minimálne 1 zlepšenie na zamestnanca/rok, zlepšenie pomeru plánovanej údržby k údržbe po poruche, zníženie nákladov na údržbu na jednotku produkcie, rast čistej produktivity 1,5–2 krát, zníženie úrovne procesných chýb o 90 %, zníženie výrobných nákladov o 30 %, dosiahnutie úplného samoriadenia, zmenu postojov (eliminácia porúch a chýb, zvýšenie spoľahlivosti) i optimalizáciu pracoviska.

Japonskí laureáti ceny za TPM však boli schopní zvýšiť produktivitu až o 50 %, znížiť dobu obratu zásob z 11 na 5 dní, odstrániť ekologické znečisťovanie i znížiť počet úrazov na nulu. V oblasti motivácie zamestnancov došlo k nárastu zlepšovacích návrhov až o 230 % a zvýšeniu počtu tímových schôdzok až o 200 %. V oblasti nákladov sa dospelo k ich zníženiu až o 30 % (zredukovali sa náklady na údržbu, energie). Kvalita sa rovnako zvýšila – znížila sa nekvalita (o 90 %) a aj reklamácie od zákazníkov (o 50 %). Prínosy zo zavedenia TPM je možné očakávať približne po 6 mesiacoch.

5. ZÁVER

V príspevku sme poukázali na dôležitosť údržby v starostlivosti o dlhodobý majetok podniku. Navrhli sme postup zavedenia TPM – totálnej produktívnej údržby (Total Productive Maintenance) v konkrétnom podniku. Navrhovaná metóda je veľmi vhodným riešením na znižovanie nákladov, zvyšovanie efektívnosti podnikových činností i zvýšenie bezpečnosti na pracovisku.

6. SUMMARY

In the presented article, we wanted to point out the importance of the maintenance in taking care of the long-lasting enterprise property. We have tried to suggest the procedure of the TPM introduction for the conditions of the chosen enterprise. The suggested

method is a suitable solution because it leads to decrease in costs, increase in workplace safety and to making the enterprise activities more effective. The enterprise will separate a certain amount of financial means for the maintenance and then economize. There are a lot of effective methods for property care utilized in the world and one of them is the TPM introduction.

LITERATÚRA

- GLASA, R. *Systém manažérstva kvality v podmienkach ZSSK CARGO*. [online]. [citované 5. januára 2008]. Dostupné na: <<http://www.zscargo.sk/files/vystavy/Systemy-manazerstva-kvality-v-zeleznicnej-nakladnej-preprave/Glasa-Rastislav-ZSSK-CARGO.pdf>>
- KRAJČÍROVÁ, L. *Zavádzanie totálnej produktívnej údržby v ŽOS Zvolen, a. s.* Diplomová práca. Zvolen. 2009. 71 s.
- MERAVÁ, M. Metóda 5S a jej implementácia v praxi. *Kvalita: odborný časopis Slovenskej spoločnosti pre kvalitu*. Žilina: MASM. 2007, roč. XV, č. 4, s. 28–30.
- PAČAIOVÁ, H. 2006 *Riadenie údržby*. Košice: Strojnícka fakulta TU v Košiciach, 2006. 127 s. ISBN 978-80-8073-751-1.
- PAULOVÁ, I. Zlepšovanie kvality metódou 5S. *Kvalita: odborný časopis Slovenskej spoločnosti pre kvalitu*. Žilina: MASM. 2001, roč. IX, č. 4, s. 13–14.
- Proactinace*. [online]. [citované 5. januára 2008]. Dostupné na: <<http://www.cmms.cz/pdf/sw/proactinace%203%20prednaska.pdf>>
- RAKYTA, M. *Riadenie procesu zmien v údržbe*. [online]. [citované 6. januára 2008]. Dostupné na: <<http://financnik.sk/financie.php?did=574&article=742>>
- RAKYTA, M. *Totálne produktívna údržba – TPM*. [online]. [citované 18. decembra 2007]. Dostupné na: <http://tpm.sk/KONCEPCIA_TPM_MPM.pdf>
- SAE – OEE: Automatizovaný systém na monitorovanie celkovej ekonomickej efektívnosti využitia strojov, prestojov, technologických parametrov strojov. [online]. [citované 15. marca 2009]. Dostupné na: <http://www.sae-control.sk/cenn_ky/cennik_oeo.pdf>
- stn en iso 19011:2003, *Návod na auditovanie systému manažérstva kvality a/alebo systému environmentálneho manažérstva (ISO 19011:2002)*.
- TPM – Totálne produktívna údržba, tréning*. [online]. [citované 10. marca 2009]. Dostupné na: <<http://kurzy.education.sk/d-8332/tpm-totalne-produktivna-udrzba-trening-city-hotel-bratislava>>

Kontaktná adresa:

prof. Ing. Anna Šatanová, CSc.

Ing. Lucia Krajčírová

Katedra podnikového hospodárstva

Drevárska fakulta

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: satanova@vsld.tuzvo.sk

e-mail: luciakrajcirova@gmail.com

TEÓRIA BEZTRIESKOVÉHO REZANIA DREVA PRE ODVETVOVANIE A LESNÚ ŤAŽBU

THEORY OF CHIPLESS CUTTING OF WOOD FOR DELIMBING AND LOGGING

Juraj MIKLEŠ – Milan MIKLEŠ

ABSTRACT: In the course of chipless cutting of wood with a wedge tool in a direction against the fiber texture large cutting forces come into being. Hence the cutting process requires great energy consumption. Chipless limbing is one of the specific cases of this cutting process. Tools of complicated design are used for limbing by the static method in a necessary linking of efficient cutting with the felling ability of tools in the course of their movement of the surface of the stem treated.

Key words: forest machinery, chipless cutting, analysis forces

ABSTRAKT: Pri beztrieskovom delení dreva klinovým nožom v smere, ktorý nesúhlasí so smerom vlákien dreva, vznikajú značné rezné sily. Z toho vyplýva aj značná energetická náročnosť procesu rezania. Preto tiež niekedy proces beztrieskového delenia dreva klinovým nožom v smere, ktorý nie je totožný so smerom vlákien, sa nazýva silovým rezaním. Jedným zo špecifických prípadov tohto spôsobu je silové rezanie vetiev. Pri silovom rezaní vetiev sa používajú nože zložitej konštrukcie. Zvláštnosťou nožov určených pre zrezávanie vetiev silovou metódou je nevyhnutné spojenie efektívneho rezania s kopírovacou schopnosťou nožov v procese premiestňovania po povrchu obrábaného kmeňa.

Kľúčové slová: lesné stroje, beztrieskové rezanie, analýza síl

Silové parametre beztrieskového rezania dreva sa určujú zatiaľ predovšetkým experimentálne. Jednako výpočtové závislosti, získané na základe experimentálnych údajov sú správne len v medziach hraničných podmienok skúšok. Preto, keď použijeme len experimentálne údaje nemožno urobiť dôslednú analýzu procesu rezania s cieľom stanovenia optimálnych parametrov.

V niektorých prácach (Šipilina 1967, Prelovského 1974) sa objavuje základný teoretický stav použiteľný k rezaniu vetví. Rovnako drevo v mieste votknutia vetví a kmeňa stromu sa líši svojimi fyzikálno-mechanickými vlastnosťami. Okrem toho podmienky, v ktorých pracujú nože pri rezaní vetví a stromu sú nezrovnateľné. V prácach (Voronicyna 1989, Mikleša, 1994) sa hovorí, že pri vniknutí noža do hĺbky približne 0,2 priemeru vetva sa začne uhýnať (ohýba sa). Pri zrezaní stromu plochým nožom jeho poloha v priestore

sa nemení do momentu úplného prerezania. Pri vniknutí do kmeňa noža s obojstranným ostrím spolu s reznou hranou značnú prácu uskutočňuje vrchná a spodná klinová plocha.

Pri výpočte síl potrebných pre beztrieskové rezanie, nemožno použiť výpočtové závislosti, odvodené pre rezanie s tvorením triesky. Pri beztrieskovom rezaní dreva celková rezná sila môže byť vyjadrená:

pre klinový nôž

$$F = F_N + F_D + F_Z;$$

pre plochý nôž

$$F = F_N + F_D + F_Z + F_V$$

kde: F – rezná sila;

F_N – sila nadrezania vlákien;

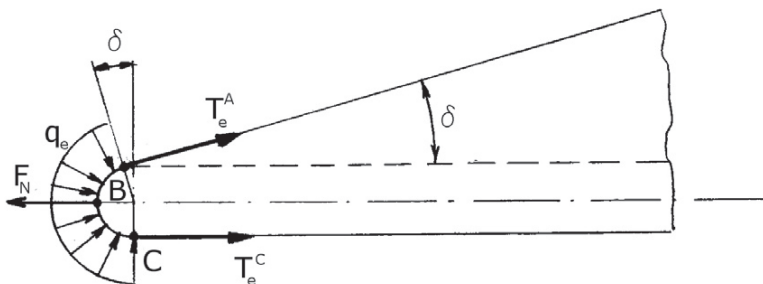
F_D – rezný odpor vznikajúci na čelnej (prednej) ploche;

F_Z – rezný odpor na chrbtovej (zadnej) ploche noža, klinovej časti;

F_V – rezný odpor na vrchnej a spodnej ploche telesa noža.

Určíme zložky reznej sily pre nôž s uhlom chrbta $\alpha = 0$, ktorý sa pohybuje v tuhých vedeniach. Sily, ktoré pôsobia na ostrie pri vnikaní noža do dreva, nájdeme pri uvažovaní špecifičnosti beztrieskového rezania. Tak ako rádius otupenia ostria je relatívne malý, a hrúbka zrezávanej vrstvy veľmi veľká, tak pre zjednodušenie výpočtov zavedieme:

- normálový tlak q_p , ktorý pôsobí od dreva na ostrie a rozdeľuje sa rovnomerne po obryse ABC (obr. 1);
- delenie dreva prebieha v rovine rezania, ktorá prechádza cez bod 0;
- tangenciálne trecie sily, ktoré pôsobia na obryse ostria ABC, sa menia od nuly v bode B do maximálnej hodnoty v bodoch A a C.



Obr. 1 – Schéma síl, ktoré pôsobia na ostrie noža

Prvý predpoklad vyplýva zo známeho predpokladu v teórii rezania o stálosti normálového merného tlaku na čelnej ploške, nezávislej od hĺbky vniknutia noža.

Určíme hodnoty síl, ktoré pôsobia na ostrie noža. Priemet sily normálového tlaku v smere pohybu noža bude rovný:

$$N = 2\rho \cdot b \cdot q_l$$

kde: N – sila normálového tlaku;
 ρ – rádius otupenia ostria;
 b – dĺžka línie kontaktu ostria noža s drevom;
 q_l – normálový tlak.

Pretože zákon zmeny veľkosti tangenciálnych trecích síl od bodu B po obryse ostria je neznámy, nájdeme najväčšie hodnoty týchto síl v bodoch A a C.

$$T_A = q_l \cdot \rho \cdot b \cdot \mu_l \cdot \cos \delta ; \quad T_C = q_l \cdot \rho \cdot b \cdot \mu_l \quad (4)$$

Výsledná hodnota tangenciálnych trecích síl

$$T = q_l \cdot \rho \cdot b \cdot \mu_l \cdot (\cos \delta + 1) \quad (5)$$

kde: μ_l – koeficient trenia dreva o povrch ostria noža;
 δ – uhol čela.

Všeobecná sila nadrezania vlákien F_N ostrím sa určí ako suma výrezov (3) a (5).

$$F_N = q_l \cdot \rho \cdot b [2 + \mu_l (1 + \cos \delta)] \quad (6)$$

Pri $\delta = 0$ výraz (6) nadobúda tvar:

$$F_N = 2q_l \cdot \rho \cdot b \cdot (1 + \mu_l) \quad (7)$$

Vzťah (7) sa nelíši od známej rovnice (S. A. Veskresenského, 1955) pre nôž.

Pri prerezávaní okrúhlych vzoriek dĺžka línie kontaktu ostria noža s drevom sa mení v závislosti od hĺbky vniknutia

$$b = 2\sqrt{x(d-x)} \quad (8)$$

Keď dosadíme výraz (8) do vzťahu (6) dostaneme výraz pre určenie sily nadrezávania vlákien F_N v závislosti od priemeru prerezávaného dreva a hĺbky vniknutia noža pri uhle $\delta = 0$;

$$F_N = 2q_l \cdot \rho \sqrt{x(d-x)} [2 + \mu_l (1 + \cos \delta)] \quad (9)$$

kde: d – priemer prerezávanej vzorky,
 x – hĺbka vniknutia noža.

Vyčíslené údaje podľa vzťahov (6) a (9) dávajú výsledky, ktoré sa nelíšia o viac ako 9% od vypočítaných údajov podľa zodpovedajúcich vzťahov prác (Mikleš, 1994).

Pri určovaní rezného odporu dreva po čelnej ploche (čele) noža vychádzame z toho, že do okamihu odchodu prerezávanej časti od tejto plochy, nôž vniká do dreva len na úkor jeho stlačenia a jeho odstránenia zo zóny rezania dreva. Stlačenie dreva prebieha v uzavretom priestore, následkom čoho v súlade so všeobecným zákonom rezania dreva, stredný tlak na ploche kontaktu čelnej plochy (čela) s drevom ostáva konštantným, nezávislým od hĺbky vniknutia noža. Veličina normálového tlaku na čelnú plochu (čelo) noža podľa S. A. Voskresenského (1955) je rovná

$$N_D = \sigma_{v,sm} S_D \quad (10)$$

kde: N_D – normálový tlak na čelnú plochu noža;

$\sigma_{v,sm}$ – merný odpor stlačenia dreva prednou plochou (čelom) noža.

Zo schémy na obr. 2 vyplýva:

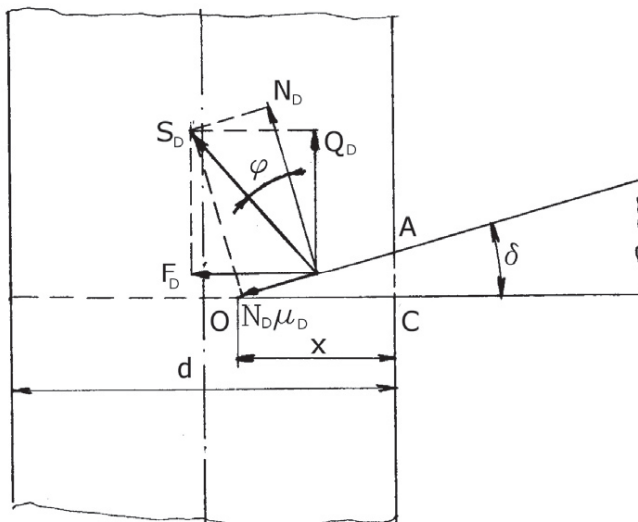
$$F_D = N_D \sin \delta + N_D \mu_D \cos \delta \quad (11)$$

Keď dosadíme rovnicu (10) do rovnice (11), dostaneme:

$$F_D = \sigma_{v,sm} S_D (\sin \delta + \mu_D \cos \delta) \quad (12)$$

alebo po úprave

$$F_D = \sigma_{v,sm} b \cdot x (\operatorname{tg} \delta + \mu_D) \quad (13)$$



Obr. 2 – Schéma síl, ktoré pôsobia na čelnú plochu noža

Pri prerezávaní vzorky pravouhlého prierezu plochým nožom plocha kontaktu prednej plochy (čela) s drevom bude daná hrúbkou noža t a šírkou vzorky dreva b .

Maximálna hodnota odporu F_D bude pri vniknutí klinovej časti noža (pri $\rho = 0$) na hĺbke $x = t \cot g\delta$ (14)

Keď dosadíme výraz (14) vo vzťahu (13), dostaneme:

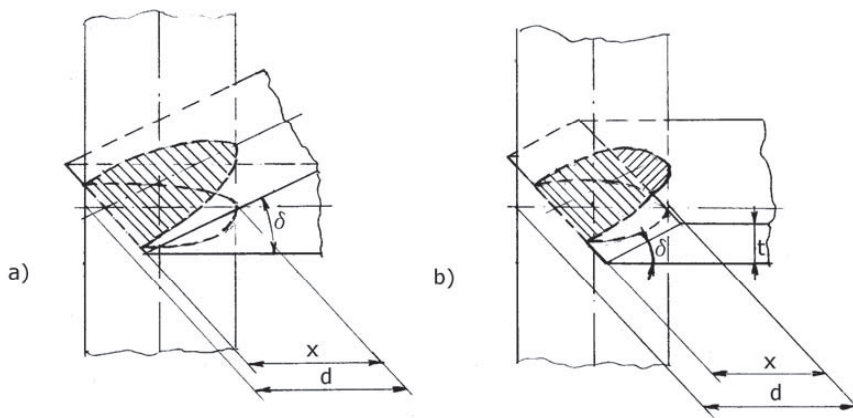
$$F_D = \sigma_{v,sm} b \cdot t (1 + \mu_D \cos \delta) \quad (15)$$

Pri prerezaní vzoriek dreva kruhového prierezu plocha kontaktu prednej plochy (čela) s drevom sa mení v závislosti od ich priemeru, geometrických parametrov a typov nožov (obr. 3). Plocha kontaktu čelnej plochy klinového noža

$$S_C = \int_0^x \frac{b}{a} \sqrt{a^2 + x_3^2} dx_3 = \left[ab \arccos \frac{x_3}{a} - x_x y \right]_0^x ;$$

$$\text{Kde: } a = \frac{d}{3 \cos \delta}; b = \frac{d}{2}; x_3 = a - \frac{x}{\cos \delta}; y = \sqrt{x(d-x)}$$

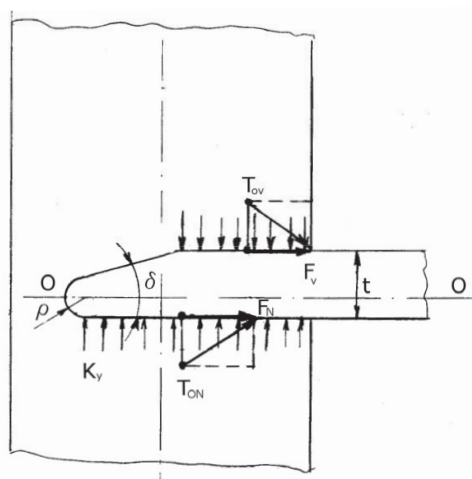
Riešením vyššie uvedeného integrálu získame výrazy plochy kontaktu noža s drevom. Pre určenie deformačnej sily dreva čelnou plochou noža pri prerezávaní vzoriek kruhového prierezu dosadíme výraz do rovnice (12).



Obr. 3 – Plocha kontaktu plôch noža s drevom pri prerezávaní vzoriek kruhového prierezu
a) klinový nôž b) plochý nôž

Ak drevo prerezávame plochým nožom, tak plocha kontaktu čelnej plochy s drevom sa určuje ako plocha kosouhlého lichobežníka. Rovnako pri zjednodušení výpočtov plochu kontaktu môžeme zjednodušiť na plochu obdĺžnika. Vtedy sila F_p v závislosti od hĺbky vniknutia noža bude rovná:

$$F_D = 2\sigma_{v,sm} t (1 + \mu_D \cot g\delta) \sqrt{x(d-x)} \quad (16)$$



Obr. 4 – Schéma síl, ktoré pôsobia na čelnú (v) a chrbtovú (N) plochu noža

Sledujme pôsobenie síl v závislosti od schopnosti pružného vracania vlákien dreva a jeho pôsobenia na chrbtovú a čelnú plochu (čelo) (obr. 4). V tomto prípade v súlade so všeobecným zákonom rezania dreva, stláčanie vlákien na chrbtovej a čelnej ploche bude prebiehať pri stálom napätí, číselne charakterizujúcom pružnosť dreva pri ohýbaní a stláčaní vlákien. Vtedy všeobecným tlak na plochy plochého noža s určitým zjednodušením bude proporcionálny objemu vniknutej časti noža za klinovú časť noža.

Na chrbtovej ploche:

$$T_{o,N} = K_y V_N \quad (17)$$

Na čelnej plocheň

$$T_{o,V} = K_y V_V \quad (18)$$

Keď dosadíme do výrazov (17) a (18) hodnoty

$$V_N = \rho \cdot S_N \quad \text{a} \quad V_V = (t - \rho) S_y$$

Dosadíme

$$T_{o,N} = K_y \rho \cdot S_n \quad (19)$$

$$T_{o,V} = K_y (t - \rho) S_v \quad (20)$$

kde: K_y – koeficient pružného vracania vlákien dreva pri ohybe s stláčaním,
 ρ – rádiu otupenia reznej hrany,
 T – hrúbka noža,
 S_N, S_V – plochy kontaktov chrbtovej a čelnej plochy noža s drevom

Pri rezaní ostrými nožami rádius otupenia reznej hrany je celkom malý v porovnaní s hrúbkou noža a hrúbkou prerezávaného vrstvy (letokruhu) dreva, preto sila odtlačenia $T_{O,N}$ bude značne menšia ako $T_{O,V}$. V súlade s tým v praktických výpočtoch beztrieskového rezania ostrými plochými alebo klinovými nožami, pri ktorých chrbtový uhol (chrbta) $\alpha = 0^\circ$, veľkosť sily $T_{O,N}$ môžeme zanedbať. Vtedy do výpočtu sa zahrňuje len tangenciálna sila, ktorá pôsobí na čelnej ploche (čele) a javí sa zložkou všeobecnej reznej sily veľkosť tejto tangenciálnej sily

$$F_V = \mu_V T_{O,V} = \mu_V K_y t S_V \quad (21)$$

kde: μ_V – súčiniteľ trenia dreva a čelnú plochu noža

Podľa miery vniknutia plochého noža do dreva so zmenou plochy kontaktu S_V sa mení aj veľkosť tangenciálnej sily F_V .

Pri prerezaní vzoriek kruhového prierezu plochým nožom plocha:

$$S_V = \int \sqrt{\frac{d^2}{4} - x_1^2} dx_1 = x_1 \sqrt{\frac{d^2}{4} - x_1^2} + \frac{d^2}{4} \arcsin \frac{2x_1}{d}$$

Keď dosadíme získané hodnoty S_V do rovnice (21), dostaneme vzťahy pre určenie tangenciálnych síl, ktoré pôsobia na čelnej ploche plochého noža, pri ľubovoľnej hĺbke vniknutia.

Hodnoty koeficientov $\mu_D, \mu_V, K_y, a\sigma_{v,sm}$ pre priečne rezanie dreva, určené experimentálnou cestou sú uvedené v tab. 1. Koeficienty μ_D a μ_V na plochách noža sa málo líšia navzájom preto v praktických výpočtoch ich možno brať rovnaké.

Tabuľka 1

Drevina	Počet vrstiev, letokruh na 1 cm	Vlhkosť dreva 60%–70%		
		$\sigma_{v,sm}, N_{mm}^{-2}$	K_y, N_{mm}^{-3}	μ
Smrek	15–20	10,0–12	0,60–0,40	0,48
Smrek	8–15	8–9	0,38–0,50	0,50
Smrek	3–7	6–6,5	0,33–0,30	0,50
borovica	8–10	10–11,5	0,60–0,45	0,43

LITERATÚRA

1. GOLOD, J. G., 1987. Eksperimental'nyje issledovanija sumamoj vnešnej nagruzki na protaski-vauščij mechanizm sučkoreznych mašin. In: Voprosy mehanizacii lesosečnych rabot. Chimki, Trudy CNIIME: 38–45.
2. HORVÁTH, B., 2003. Erdészeti gépek, Kiadja a Szaktudás Kiadó Ház Rt, Budapest, 417 p.
3. MACDONALD, A. J., 1993. Review of mechanical delimiters in Western Canada, FERIC, Technical Report No TR-93, Vancouver: 27.

4. MIKLEŠ, M., 1994. Teória technologického vybavenia lesných ťažbových strojov pre stínku a opracovanie stromu, DDP – TU Zvolen, 208 s.
5. PRELOVSKIJ, B. N., 1975. Eksperimentálne issledovanie proces srezanija sučjev. Chimki, Trudy CNIIME, 140: 54–61.
6. RADOCHA, M.; MANDALÍK, J.; EUBEK, J., 1986. Biotechnické charakteristiky stromov a matematické modelovanie parametrov zariadení na ich spracovanie. (Výskumná správa), Zvolen, VÚLH: 54.
7. SOKOLOV, V. N.; LEONOV, A. L., 1987. Kačestvo mašinnoj obrezki sučjev. In: Voprosy mehanizacii lesosečnych rabot. Chimki, Trudy CNIIME: 46–51.
8. VORONICYN, K. J.; GUGELEV, S. M., 1989. Mašinnaja obrezka sučjev na lesoseke. Moskva, Lesnaja promyšlennost': 272.

Príspevok je prezentovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VEGA MŠ SR č. 1/0048/09

Kontaktná adresa:

prof. Ing. Milan Mikleš, DrSc.,
Technická univerzita vo Zvolene,
Katedra lesnej a mobilnej techniky,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Masarykova 24, 960 53 Zvolen,
tel. 045/5206 549 e-mail: mikles@vsld.tuzvo.sk

Ing. Juraj Mikleš,

Technická univerzita vo Zvolene,
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky,
Katedra lesnej a mobilnej techniky,
T. G. Masaryka 2117/24, 960 53 Zvolen,
tel. +421455206553, mailto: jmikles@vsld.tuzvo.sk