

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



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

1

ROČNÍK: XII

ZVOLEN 2008

OBSAH

REFERÁTY

HYDRAULICKÝ LIS NA HROZNOPRE POTREBY DROBNOPESTOVATEĽOV HYDRAULIC GRAPE PRESS FOR NEEDS OF SMALL GROWERS Juraj Rusnák – Milan Kadnár	9
MERANIE A NASTAVENIE AERÁCIE V AKTIVAČNEJ NÁDRŽI V ZÁVISLOSTI OD KONCENTRÁCIE ROZPUSTENÉHO KYSLÍKA MEASURING AND REGULATING THE AERATION IN THE AERATION TANK IN DEPENDENCE ON DISSOLVED OXYGEN CONCENTRATION Petra Kvasnová	15
TRAKČNÉ VLASTNOSTI LESNÍCKEHO KOLESOVÉHO ŤAHAČA PRI RÔZNYCH TLAKOCH HUSTENIA PNEUMATÍK POJAZDOVÝCH KOLIES TRACTIVE PERFORMANCES OF A SKIDDER WITH DIFFERENT INFLATION PRESSURES OF TYRES OF ITS TRAVEL WHEELS Milan Helexa	23
MODIFIKOVANÝ UMEĽÝ IMUNITNÝ SYSTÉM A OPTIMALIZÁCIA DISKRÉTNÝCH PARAMETROV MODIFIED ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM IN DISCRET PARAMETERS OPTIMIZING Ľudovít Šipoš	35
URČENIE RADIÁLNEJ TUHOSTI PNEUMATÍK DETERMINING OF RADIAL STIFFNESS OF THE TYRES Marián Minárik	45
NÁVRH A REALIZÁCIA BIOMETRICKÉHO SYSTÉMU PROPOSAL AND REALISATION OF BIOMETRICAL SYSTEM Elena Pivarčiová – Jozef Šuriansky	51

VEDECKÉ ČLÁNKY

OPTIMÁLNA REGULÁCIA RÝCHLOSTI A POLOHY MECHATRONICKÉHO SYSTÉMU OPTIMAL SPEED AND POSITION REGULATION OF MECHATRONIC SYSTEM Ľubomír Naščák	65
TERMOOXIDAČNÁ ODOLNOSŤ BIOLOGICKY ROZLOŽITEĽNÝCH HYDRAULICKÝCH OLEJOV THERMOOXIDATION RESISTANCE OF BIODEGRADABLE HYDRAULIC OILS Marián Kučera	73
URČENIE KRITICKÉHO TLMIENIA MERACIEHO ZARIADENIA S POČÍTAČOVOU PODPOROU SIMULÁCIE THE SPECIFICATION CRITICAL DAMPING OF THE MEASURING EQUIPMENT WITH THE COMPUTER SUPPORT Branislav Danko	81

ANALÝZA HOLOGRAFICKÝCH INTERFEROGRAMOV TEPLOTNÝCH POLÍ ANALYSIS OF HOLOGRAPHIC INTERFEROGRAMS OF TEMPERATURE FIELDS Lenka Baucová – Elena Pivarčiová	91
FATIGUE CRACK GROWTH RATE BY FINITE ELEMENT SYSTEM ADINA RÝCHLOSŤ ŠÍRENIA ÚNAVOVÝCH TRHLÍN POMOCOU KONEČNOPRVKOVÉHO SYSTÉMU ADINA Mariana Kuffová – Mário Štiavnický	99
ROZPOZNÁVANIE OBRAZU V SPEKTRÁLNEJ OBLASTI IMAGE RECOGNITION IN ENERGY SPECTUM Mária Hrčková – Marta Čabounová	107
ZISŤOVANIE STABILITY PROCESU POMOCOU INDEXOV SPÔSOBILOSTI THE DETERMINATION OF PROCESS STABILITY BY CAPABILITY INDICES Miroslava Ťavodová	117
VPLYV FYZIKÁLNYCH FAKTOROV VNÚTORNÉHO VZDUCHU NA KONCENTRÁCIU FORMALDEHYDU V BUDOVÁCH THE EFFECT OF PHYSICAL FACTORS OF INDOOR AIR ON FORMALDEHYDE CONCENTRATION IN BUILDINGS Andrea Neupauerová	127
MAZANIE RADIÁLNYCH KLZNÝCH LOŽÍSK LUBRICATION OF THE RADIAL SLIDING BEARINGS Ján Sekereš – Ján Turis	135
INTERACTION BETWEEN TRAVEL WHEELS OF MOBILE MACHINES AND SOIL AND ITS INFLUENCE ON POWER TRANSMISSION VPLYV INTERAKCIE POJAZDOVÝCH KOLIES MOBILNÝCH STROJOV S PÔDOU NA PRENOS VÝKONU Ján Holík – Milan Mikleš	143
VPLYV GEOMETRIE REZNEJ HRANY PÍLOVÝCH KOTÚČOV NA REZNÝ VÝKON PRIEČNEHO DELENIA DREVA INFLUENCE OF A CUTTING EDGE GEOMETRY FOR CIRCULAR SAWS ON THE CUTTING POWER OF CROSSCUTTING WOOD Ján Kováč – Milan Mikleš	151
METÓDA VÝPOČTU VEĽKOSTI NÁKLADU PRE PRIBLIŽOVANIE PÁSOVÝM TRAKTOROM COMPUTATION METHOD OF LOAD-SIZE FOR THE CRAWLER TRACTOR SKIDDING Milan Mikleš – Juraj Mikleš	159
INTEGRÁCIA CAE A MSS TECHNOLOGIÍ V PEVNOSTNEJ ANALÝZE NEKONVENČNÉHO PRIBLIŽOVACIEHO ŠTÍTU THE INTEGRATION CAE AND MSS TECHNOLOGIES FOR A STRENGTH ANALYSE OF THE APPROACH SHIELD UNCONVENTIONAL CABLE SYSTEM Pavel Beňo – Branislav Danko – Juraj Tuhársky	163
BEZPEČNOSŤ NEKOVOVEJ KABÍNY PRE MOBILNÝ PRACOVNÝ STROJ THE SAFETY OF NON-METAL CAB FOR A MOBILE BUILDING MACHINE Ján Šeďo – Miroslav Vereš – Martin Tanevski	173

PEVNOSTNÁ ANALÝZA RÁMU STAVEBNICOVÉHO LANOVÉHO SYSTÉMU STRENGTH ANALYSIS OF MODULAR CABLE SYSTEM FRAME Richard Hnilica – Pavel Beňo	183
OPOTREBENIE TRIBOSYSTÉMU TRIBOSYSTEM WEAR Ján Turis – Ján Sekereš	189
STABILITA VEĽKOPLOŠNÝCH DREVOCEMENTOVÝCH DOSIEK BUCKLING OF LARGE-SIZE CEMENT BONDED WOOD BOARDS Ferdinand Bodnár	197
OPTIMALIZÁCIA PODNIKOVÝCH PROCESOV METÓDOU SIEŤOVEJ ANALÝZY THE OPTAMALIZATION OF ENTERPRISE PROCESSES BY METHOD OF NETWORK ANALYSIS Erika Sujová	205
ÚTLM DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV V MIKROVLNNOM PÁSME ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA THE DAMPING OF THE WOOD – CEMENT COMPOSITES MATERIALS IN MICROWAVE RANGE OF ELEKTROMAGNETIC FIELD Pavol Danko – Ivan Makovíny	215
ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI HLAVNÝCH ZLOŽIEK MODIFIKOVANÝCH DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV ELECTRIC PROPERTIES MAIN OF COMPONENTS MODIFICATED WOOD-CEMENT COMPOSITS Ivan Makovíny	221
OBRÁBÁNIE NÁSTROJOM S ROTUJÚCIM REZNÝM KLINOM MACHINING WITH SELF-ROTATING CUTTING WEDGE Ľubomír Javorek – Jozef Hric	229

REFERÁTY

HYDRAULICKÝ LIS NA HROZNO PRE POTREBY DROBNOPESTOVATEĽOV

HYDRAULIC GRAPE PRESS FOR NEEDS OF SMALL GROWERS

Juraj RUSNÁK – Milan KADNÁR

ABSTRACT: The aim of this work was to design the hydraulic grape press for needs of small growers. We have proposed the reconstruction of typical fly press by means of the hydraulic hoist located in the lower part of the press. The press was designed in Pro/ENGINEER where the parametric modeling simply allows changing the press parameters and thus reacts to consumer demands.

Key words: hydraulic Press, grapevine, must

ABSTRAKT: Našou úlohou bolo spracovať konštrukčný návrh hydraulického lisu na hrozno pre potreby drobnopestovateľov. Navrhli sme variantu rekonštrukcie klasického vretenového lisu pomocou hydraulického zdviháku umiestneného v spodnej časti lisu. Lis bol navrhnutý a nakreslený v programe Pro/ENGINEER, kde pomocou parametrického modelovania možno jednoducho meniť veľkosť lisu pomocou zmeny mierky a tak reagovať na požiadavky spotrebiteľa.

Kľúčové slová: hydraulický lis, vinná réva, mušt

1. ÚVOD

Víno ako zdravý a hygienický nápoj sa vyrába už oddávna. Jeho blahodárne vlastnosti na tráviacu a nervovú sústavu ľudského organizmu sú známe. Pre tieto jeho vynikajúce vlastnosti sa plocha, na ktorej sa pestuje vinná réva, postupne rozširuje. U nás v posledných rokoch nastal určitý útlm pestovania vínnej révy, čo sa týka veľkopestovateľov. Avšak u drobnopestovateľov je tendencia vyrovnaná a v niektorých oblastiach vzhľadom na navrátenie pôdy pôvodným vlastníkom dokonca rastie. Z týchto dôvodov je potrebné reagovať na vzrastajúce požiadavky drobnopestovateľov, na technické zabezpečenie spracovania základnej suroviny v ich špecifických podmienkach malovýroby. Doteraz používané zariadenia sú pomerne nízkej výkonnosti s veľkou spotrebou ľudskej práce a dlhým časovým intervalom technologickej operácie. Častým sprievodným javom týchto nedostatkov býva predĺženie zberu vínnej révy a preto v mnohých prípadoch kvalita spracovávanej suroviny je nižšia. Na odstránenie týchto nedostatkov je potrebné konštrukčne zdokonaľovať používané typy lisovacích zariadení systémom, ktorý spĺňa funkčné,

spoľahlivosť, ekonomické a ekologické kritériá, vzťahujúce sa na technológiu lisovania, pri dodržaní chemického a mikrobiologického zloženia muštu.

2. MATERIÁL A METÓDY

Naším cieľom bolo spracovať konštrukčný návrh hydraulického lisu na hrozno určený pre drobnopestovateľom. Klasické vretenové lisy sú už zastarané, ovládanie je riešené ručne a prácnosť na takomto druhu lisu je veľmi vysoká. Z tohto dôvodu sme riešili rekonštrukciu klasického vretenového lisu, kde sme navrhli ovládanie lisu pomocou hydraulického zdvíhaka umiestneného v spodnej časti lisu.

Lis bol navrhnutý v programe Pro/ENGINEER, kde pomocou parametrického modelovania je možné jednoducho meniť veľkosť lisu pomocou zmeny mierky a ponúknuť tak veľkosť lisu, ktorý vyžaduje spotrebiteľ. Z koncepčného hľadiska môže byť celé zariadenie navrhnuté v niekoľkých variantoch. Pred vlastným návrhom sme analyzovali tri rôzne varianty riešenia:

Variant a, Skrutkový vretenový lis – mechanizmus matica – skrutka (obr. 1)

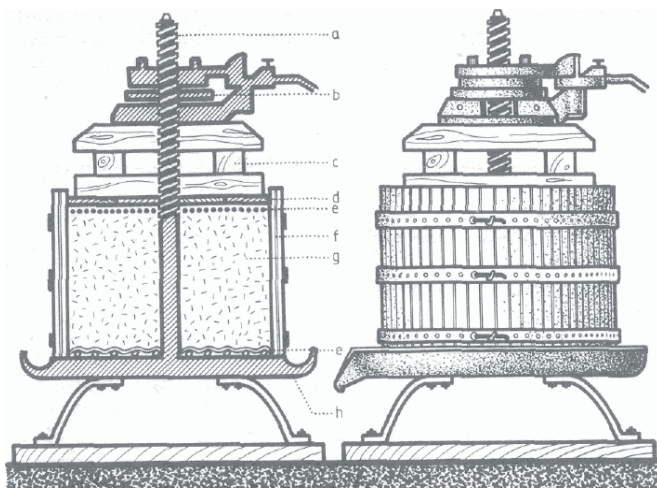
Variant b, Pneumatický lis – klinozápatkový mechanizmus (obr. 2)

Variant c, Hydraulický lis (obr. 3, obr. 4)

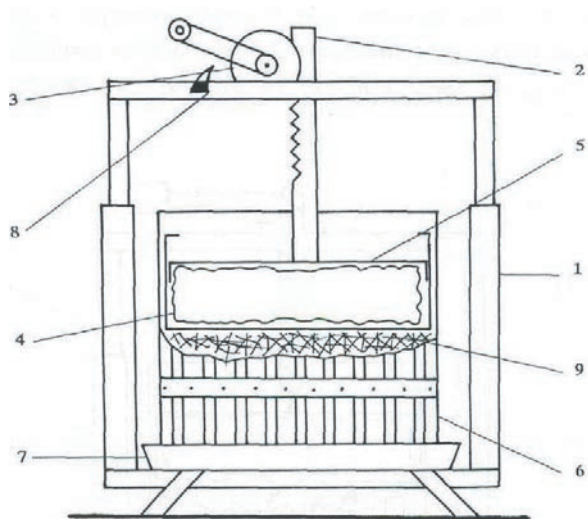
K výpočtu bol použitý algoritmus diskretného programovania a aproximačné optimalizačné postupy. Výpočet bol uskutočnený v systéme Pro/ENGINEER a v podsystéme Pro/Mechanika.

Pevnostným analýzám boli podrobené viaceré alternatívy a bola uskutočnená citlivosťná analýza. Citlivosťná analýza umožňuje sledovať zmeny parametrov pre definovanú veličinu typu hmotnosť, cena, deformácia, napätie, reakčné sily. Multi-disciplinárna optimalizácia dovoľuje potom optimalizovať tvar výpočtového modelu v oblasti statiky, dynamiky, potencionálnych problémov a užívateľských aplikácií.

Postup pri optimalizácii tvaru a hmotnosti je uvedený v postupovom diagrame – obr. 5.



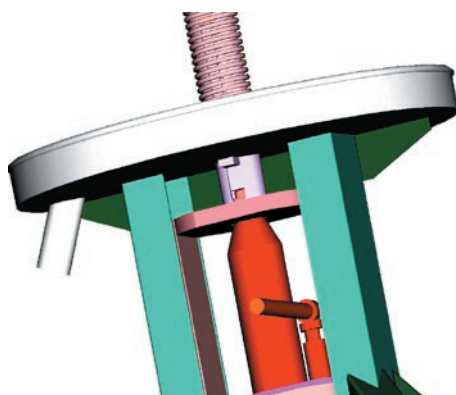
Obr. 1 Variant a, Skrutkový vretenový lis – mechanizmus matica – skrutka
Fig. 1 Option a, Screw Press; Bold-Nut Mechanism



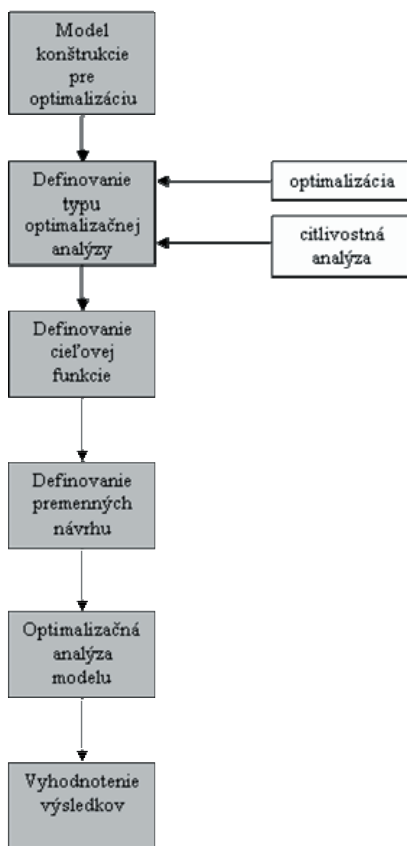
Obr. 2 Variant b, Pneumatický lis – klinozápadkový mechanismus
 Fig. 2 Option b, Pneumatic Press – wedge catch mechanism



Obr. 3 Variant c, – Hydraulický lis
 Fig. 3 Option c, Hydraulic Press



Obr. 4 Funkčná podstata hydraulického lisu
 Fig. 4 Hydraulic Press Functional System



Obr. 5 Postupový diagram pri optimalizácii tvaru a hmotnosti
 Fig. 5 Order diagram of shape and mass optimization

3. VÝSLEDKY A ZÁVER

Pri vyhodnocovaní všetkých troch riešení sme vychádzali z týchto kritérií: technické, funkčné, ekonomické, ekologické, ergonomické.

Po zohľadnení uvedených kritérií sme ako prvé vylúčili variant a, nakoľko po stránke technickej, funkčnej a ekonomickej sa jedná o pomerne náročný proces lisovania hmoty. Tým ekonomické náklady na výrobu muštu rastú. Zostávajúce dve varianty sa javia pomerne rovnocenné, pretože obidva varianty majú svoje výhody aj nevýhody. Variant b, je náchylný na poškodenie najmä v oblasti „ozubený hrebeň – ozubené koleso – poistka“. Tento variant je taktiež náchylný na prasknutie vzduchového vankúša. Vybrali sme preto variant c, na základe väčšej spoľahlivosti tohto riešenia.

Vybraný variant predstavuje prototyp, pričom riešenie zadanej úlohy sme koncipovali na základe získaných poznatkov z tejto oblasti. Navrhnutý hydraulický lis vychádza zo základných častí bežných vretenových skrutkových lisov, na ktoré sme vhodne aplikovali prítlačné zariadenie a posúvací mechanizmus. Výhoda navrhutej konštrukcie spočíva v sústreďení prítlačnej sily do centrálneho vretena lisu, kde prostredníctvom prítlačných kotúčov v priestore koša lisu dochádza k prešovaniu hroznej hmoty.

Po praktickom zhotovení prototypu, overení jeho funkčnosti, môžeme svoj návrh zhodnotiť:

- celá konštrukcia navrhnutého zariadenia je pomerne jednoduchá
- práca obsluhy nie je zložitá
- fyzická práca vynaložená pri lisovaní je malá
- zariadenie nám umožňuje získať kvalitný mušt bez novej kontaminácie muštu s hydraulickým olejom
- z ekologického hľadiska nehrozí nebezpečenstvo z novej kontaminácie lisovanej hmoty s okolím

Rozširujúci sa počet drobnopodstatiteľov vínnej révy na Slovensku v dôsledku zmien vo vlastníckych vzťahoch k pôde núti výrobcov prispôbiť svoj výrobný program potrebám malovýroby, nakoľko doterajší sortiment plne nepokrýva požiadavky trhu. Z tohto hľadiska je konštrukčný návrh hydraulického lisu priamo viazaný k tomuto problému. Hlavným prínosom tohto zariadenia je zníženie podielu fyzickej práce a čiastočné zvýšenie zmechanizovania pracoviska, pretože užívateľ si celé zariadenie obsluhuje sám pri minimálnej potrebe ľudskej práce v celom procese lisovania. Náročnosť konštrukčného prevedenia je nízka. Konštrukčný návrh hydraulického lisu je spoľahlivý, nakoľko prítlačné zariadenie je realizované prostredníctvom hydraulického zdviháku, ktorý má vysokú mieru spoľahlivosti. Celé zariadenie možno hodnotiť ako ekologické, čo je v súčasnej dobe limitujúca požiadavka. Z uvedenej analýzy vyplýva, že hydraulický lis navrhutej konštrukcie predstavuje ucelený prvok poľnohospodársko-potravinárskeho komplexu.

LITERATÚRA

- KOVÁČ, J. a kol. 1990. *Spracovanie hrozna*, PRÍRODA Bratislava 1990
GAVORNÍK, A. 1976. *Spracovanie hrozna*, PRÍRODA Bratislava 1976
SRNÁNEK, M – RUSNÁK, J.: 1985. *Metodika konštruovania*. SĽ SVŠT, ES SVŠT 1985, ČÚKK
Š – 331/66

BIELY V. 2004. *Konštrukčný návrh hydraulického lisu na hrozno s využitím parametrického modelovania*. Diplomová práca. MF SPU Nitra 2004

Kontaktná adresa:

doc. Juraj Rusnák, PhD.

Katedra mechaniky a strojnictva, Mechanizačná fakulta
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra
tel./fax : 037/641 4100, e-mail: juraj.rusnak@uniag.sk

Ing. Milan Kadnár, PhD.

Katedra mechaniky a strojnictva, Mechanizačná fakulta
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra
tel./fax: 037/641 4107, e-mail: milan.kadnar@uniag.sk

MERANIE A NASTAVENIE AERÁCIE V AKTIVAČNEJ NÁDRŽI V ZÁVISLOSTI OD KONCENTRÁCIE ROZPUSTENÉHO KYSLÍKA

MEASURING AND REGULATING THE AERATION IN THE AERATION TANK IN DEPENDENCE ON DISSOLVED OXYGEN CONCENTRATION

Petra KVASNOVÁ

ABSTRACT: The paper deals with conception of operation the aeration in the aeration tank by measuring outspread oxygen. In this paper is comparing the economic and environmental valuation the coincidence of operation the aeration with conception resolution.

Key words: Waste water, oxygen, aeration, activating

ABSTRAKT: Príspevok sa zaoberá návrhom nastavenia aerácie v aktivačnej nádrži meraním rozpusteného kyslíka. V príspevku je ekonomicky a environmentálne porovnaný súčasný stav nastavenia aerácie s navrhovaným riešením.

Kľúčové slová: Odpadová voda, kyslík, aktivácia, aerácia

1. ÚVOD DO PROBLEMATIKY ČISTENIA ODPADOVÝCH VÔD

V súčasnosti vodné hospodárstvo zápasí s celým radom problémov, riešenie ktorých sa doteraz odkladalo. Ich ďalší odklad by mohol spôsobiť na mnohých územiach kolaps. Súčasné problémy súvisia tak so zabezpečením hospodárskeho rastu po osamostatnení SR, ako aj s úpravou národnej ekonomiky v rámci vstupu do EÚ. Aj keď sa urobil značný pokrok v transformácii práva, pričom prvým krokom v procese aproximácie bola analýza a porovnanie environmentálnej legislatívy EÚ a existujúcich národných právnych predpisov, vrátane inštitucionálneho a finančného zabezpečenia, zaostávame v realizácii požiadaviek. V plnej miere to platí pre oblasť hospodárenia s komunálnymi OV, a to najmä pre:

- rekonštrukciu a intenzifikáciu existujúcich čistiarní odpadových vôd v oblastiach nad 2 000 ekvivalentných obyvateľov (EO),
- vybavenie už existujúcich veľkých čistiarní odpadových vôd zariadeniami na odstraňovanie dusíkatých zlúčenín a fosforu,

- rekonštrukciu už existujúcich kanalizačných sietí, pripojených ku kapacitne a technicky zodpovedajúcim čistiarňam odpadových vôd na úrovni EÚ,
- dobudovanie kanalizačných sietí ku existujúcim kapacitne a technicky zodpovedajúcim čistiarňam odpadových vôd na úrovni EÚ,
- budovanie čistiarní odpadových vôd v obciach nad 2 000 ekvivalentných obyvateľov.

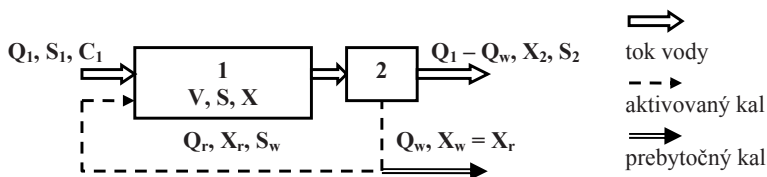
Pre realizáciu týchto opatrení je potrebné mobilizovať zdroje tak zo štátneho rozpočtu, ako aj zo súkromného sektora a z medzinárodných finančných inštitúcií. Jedným z riešení úspor energií a tým aj finančných prostriedkov je nastavenie aerácie závislej od merania koncentrácie rozpusteného kyslíka v aktivačnej nádrži čistiarne odpadových vôd.

2. ZÁKLADNÉ PRINCÍPY AERÁCIE

Pri biologickom aeróbnom čistení sú organické látky odstraňované zo znečistenej vody pomocou zmesnej kultúry mikroorganizmov za prítomnosti kyslíka. Všade, kde mikroorganizmy tvoria väčšie celky (vločka aktivovaného kalu, nárast na náplni biofiltra, bentos v stabilizačných nádržiach) nie je možné vylúčiť anaeróbne pochody vo vnútorných vrstvách biomasy. Aeróbne procesy sú však pri týchto procesoch prevládajúce.

Aerácia je proces pri ktorom dochádza k disperzii vzduchu v kvapaline (odpadovej vode). Disperziou vzduchu v aktivačnej nádrži, ktorá je vybavená jemnobublinovými aeračnými elementmi s vysokou účinnosťou, spoľahlivosťou a nízkou energetickou náročnosťou, sa zvyšuje množstvo rozpusteného kyslíka v odpadovej vode a minimalizuje sa koncentrácia nežiaducich látok, najmä látok ktoré obsahujú dusík.

Aktivačný proces (Activated Sludge Process) je najstaršia kontinuálna kultivácia mikroorganizmov v nesterilných podmienkach. Blokovaná schéma aktivácie (obrázok 1) pozostáva z vlastnej biologickej jednotky (aktivačná, resp. tiež aeračná nádrž) a zo separačnej jednotky (dosadzovacia nádrž).



Obrázok 1 Blokovaná schéma aktivačného procesu
 1 – aktivačná (aeračná) nádrž, 2 – dosadzovacia nádrž, Q_1 – prítok OV, Q_r – recirkulovaný kal,
 Q_w – prebytočný kal, $X_r = X_w$ – koncentrácia sušiny vratného a prebytočného kalu

Surová alebo odsadená odpadová voda s množstvom Q_1 a koncentráciou organického znečistenia S_1 (stanoveného pomocou CHSK a BSK₅) priteká do aktivačnej nádrže, v ktorej sa mieša s recirkulovaným aktivovaným kalom o množstve Q_r a koncentráciou sušiny X_r . Ak neobsahuje odpadová voda toxické látky, je možné zmiešať prúdy Q_1 a Q_r pred spoločným privedením do aktivačnej nádrže, v opačnom prípade je výhodné privádzať obidva prúdy do AN oddelene. Recirkuláciou sa dosahuje vyššia koncentrácia biomasy v biologickom reaktore. Po prejení zmesi aktivačnou nádržou sa aktivovaný kal separuje od vyčistenej

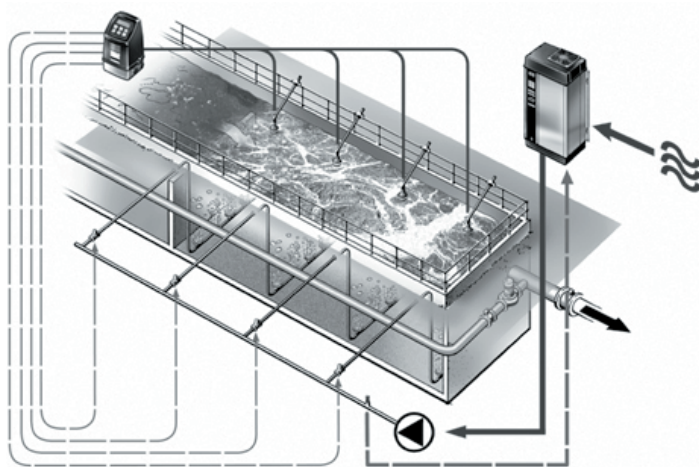
vody v dosadzovacej nádrži. Zahustený aktivovaný kal sa recirkuluje späť na začiatok aktivačnej nádrže. Odstraňovanie nerozpustených a rozpustených látok z odpadovej vody má za následok kontinuálnu tvorbu novej biomasy, ktorá sa musí zo systému pravidelne odstraňovať vo forme prebytočného aktivovaného kalu Q_w .

3. METODIKA MERANIA KONCENTRÁCIE ROZPUSTENÉHO KYSLÍKA V AKTIVAČNEJ NÁDRŽI ČOV

Všetko čo je istým spôsobom riadené a zdokonaľované je robené za nejakým účelom. Kyslík nachádzajúci sa vo vode bol vždy dôležitým parametrom z hľadiska kvality vody pre životné prostredie, najmä pre organizmy žijúce v našich tokoch, trvalo udržateľného rozvoja a pod.

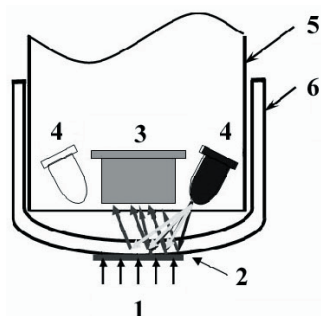
V súčasnosti býva meranie koncentrácie rozpusteného kyslíka čoraz viac využívané v čistiarnach odpadových vôd. Meraním koncentrácie rozpusteného kyslíka v aktivačných nádržiach je možné regulovať prívod (množstvo) kyslíka do aktivačnej nádrže, ktorý je potrebný na minimalizáciu koncentrácie nežiaducich látok, najmä látok ktoré obsahujú dusík. Reguláciou prívodu resp. množstva privádzaného kyslíka do aktivačnej nádrže dochádza k úspore energie potrebnej na disperziu kyslíka v odpadovej vode a tým zníženiu nákladov spojených s aeráciou.

V čistiarni odpadových vôd v Považskej Bystrici bolo meranie koncentrácie rozpusteného kyslíka realizované iba pomocou jednej stacionárnej kyslíkovej sondy v poslednej oxickéj sekcii. Novonavrhovaná metodika merania koncentrácie rozpusteného kyslíka spočívala v meraní koncentrácie rozpusteného kyslíka vo všetkých oxických sekciiach (obrázok 3) s následnou reguláciou prívodu kyslíka do aktivačnej nádrže.



Obrázok 2 Meranie rozpusteného kyslíka vo všetkých oxických sekciiach

Na meranie koncentrácie rozpusteného kyslíka vo všetkých oxických sekciách sa využila prenosná kyslíková sonda od firmy HACH LANGE. Jednalo sa o optické meranie koncentrácie rozpusteného kyslíka, vďaka čomu sa zaručovali presné hodnoty koncentrácie rozpusteného kyslíka vo vode (obrázok 3).



Obrázok 3 Princíp činnosti kyslíkovej sondy
1 – kyslík, 2 – luminofor, 3 – fotodióda, 4 – LED, 5 – senzor, 6 – viečko senzora

Princíp činnosti kyslíkovej sondy spočíva vo vybudení viečka senzora modrým svetlom a následnou emitáciou červeného svetla, ktorej trvanie závisí od koncentrácie kyslíka. Čím viac kyslíka je prítomného vo vzorke, tým kratší je čas luminiscencie červeného svetla. Sonda teda nemeria intenzitu emitovaného červeného svetla, ale meria čas excitácie červeného svetla (chemiluminiscencia). Využíva sa pritom digitálna technológia, vďaka ktorej sa získavajú spoľahlivé výsledky.

4. VÝSLEDKY MERANÍ KONCENTRÁCIE ROZPUSTENÉHO KYSLÍKA

Na ČOV Považská Bystrica sa meralo viacero parametrov:

- koncentrácia rozpusteného kyslíka v aktivačnej nádrži,
- teplota vody v aktivačnej nádrži,
- teplota vzduchu,
- teplota surovej vody,
- teplota mechanicky vyčistenej vody.

Z ČOV nám ďalej poskytli parametre:

- prietok odpadovej vody (minimálny a maximálny prietok v $\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$ s následným prepočítaním sumy prietoku v $\text{m}^3\cdot\text{deň}^{-1}$),
- prietok vzduchu aktivačnými nádržami ($\text{m}^3\cdot\text{deň}^{-1}$).

Koncentrácia rozpusteného kyslíka sa merala v dvoch aktivačných nádržkách, pričom v každej sa merala hodnota v pravej časti a ľavej časti. Merania sa uskutočnili v mesiacoch október (tabuľka 1), november (tabuľka 2), december (tabuľka 3) a február (tabuľka 4).

Tabuľka 1 Výsledky meraní rozpusteného kyslíka v mesiaci október 2007

Deň	Koncentrácia O ₂ AN 1L [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 1P [mg.l ⁻¹]	Priemer O ₂ AN 1 [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 2L [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 2P [mg.l ⁻¹]	Priemer O ₂ AN 2 [mg.l ⁻¹]
07.10.07	5,7	4,4	5,1	8,7	9,2	8,9
08.10.07	4,4	2,8	3,6	8,5	8,7	8,6
09.10.07	4,8	3,4	4,1	8,6	8,6	8,6
10.10.07	4,8	2,8	3,8	8,9	9,4	9,1
11.10.07	3,2	1,7	2,4	7,7	7,2	7,4
26.10.07	3,3	2,0	2,7	8,4	7,6	8,0
27.10.07	1,7	0,5	1,1	6,5	5,5	6,0
28.10.07	3,3	1,7	2,5	8,8	8,2	8,5
29.10.07	2,1	0,5	1,3	9,1	8,9	9,0
30.10.07	2,4	0,5	1,5	9,0	8,7	8,9
31.10.07	1,3	0,3	0,8	8,6	8,3	8,5

Tabuľka 2 Výsledky meraní rozpusteného kyslíka v mesiaci november 2007

Deň	Koncentrácia O ₂ AN 1L [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 1P [mg.l ⁻¹]	Priemer O ₂ AN 1 [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 2L [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 2P [mg.l ⁻¹]	Priemer O ₂ AN 2 [mg.l ⁻¹]
08.11.07	7,9	6,0	6,9	6,2	8,3	7,3
09.11.07	8,1	6,1	7,1	6,4	8,6	7,5
10.11.07	9,1	7,2	8,2	7,6	9,6	8,6
11.11.07	8,4	5,8	7,1	6,4	8,8	7,6
12.11.07	5,8	2,3	4,1	2,6	5,4	4,0
21.11.07	7,3	3,4	5,3	4,4	8,0	6,2
22.11.07	6,5	1,5	4,0	3,9	7,7	5,8
24.11.07	6,8	3,2	5,0	4,6	7,8	6,2
25.11.07	5,9	2,6	4,3	4,3	7,4	5,9
26.11.07	6,9	4,1	5,5	5,6	8,3	6,9

Tabuľka 3 Výsledky meraní rozpusteného kyslíka v mesiaci december 2007

Deň	Koncentrácia O ₂ AN 1L [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 1P [mg.l ⁻¹]	Priemer O ₂ AN 1 [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 2L [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 2P [mg.l ⁻¹]	Priemer O ₂ AN 2 [mg.l ⁻¹]
01.12.07	5,9	3,5	4,7	4,3	6,6	5,4
02.12.07	6,1	1,8	3,9	4,3	7,9	6,1
03.12.07	6,3	2,6	4,5	5,4	8,2	6,8
04.12.07	4,0	1,4	2,7	5,3	8,5	6,9
05.12.07	2,1	0,2	1,1	3,0	4,8	3,9
18.12.07	3,0	0,6	1,8	2,5	6,1	4,3
19.12.07	5,5	0,2	2,8	4,5	8,8	6,7
20.12.07	3,3	0,1	1,7	2,1	6,8	4,4
21.12.07	1,9	0,1	1,0	1,3	3,7	2,5
22.12.07	1,0	0,1	0,5	1,5	6,4	3,9

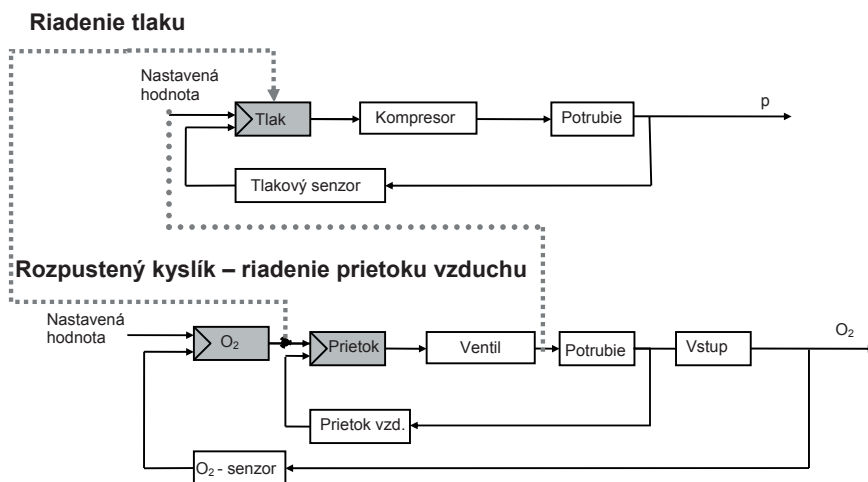
Tabuľka 4 Výsledky meraní rozpusteného kyslíka v mesiaci február 2008

Deň	Koncentrácia O ₂ AN 1L [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 1P [mg.l ⁻¹]	Priemer O ₂ AN 1 [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 2L [mg.l ⁻¹]	Koncentrácia O ₂ AN 2P [mg.l ⁻¹]	Priemer O ₂ AN 2 [mg.l ⁻¹]
09.2.08	0,5	0,2	0,3	0,9	0,1	0,5
10.2.08	6,8	0,6	3,7	6,8	0,0	3,4
11.2.08	5,7	0,2	3,0	5,2	0,0	2,6
25.2.08	3,5	1,2	2,3	3,0	0,0	1,5
26.2.08	3,2	0,2	1,7	1,0	0,0	0,5
27.2.08	2,2	0,3	1,3	0,6	0,0	0,3

5. VYHODNOTENIE MERANÍ A PREDPOKLADANÝ PRÍNOS

Na základe meraní a vyhodnotenia meraní sa na ČOV Považská Bystrica navrhol spôsob regulácie dodávky kyslíka do aktivačnej nádrže (reguláciou tlaku a prietoku vzduchu). Každá zóna aerácie bola teda vybavená jedným čidlom na meranie rozpusteného kyslíka a napojená na vyhodnocovacie zariadenie. Výsledky z meracej sondy boli automaticky spracovávané softwarom, ktorý bol prepojený na použité škrtiace ventily, elektrický pohon, dúchadlá a kompresory, to znamená, že dodávka kyslíka bola riadená podľa aktuálneho zaťaženia, teploty, koncentrácie nerozpustných látok atď. Schéma riadenia tlaku a prietoku vzduchu je znázornená na obrázku 4.

Uvedený systém regulácie tlaku a prietoku vzduchu dúchadlami je vysoko flexibilný a prispôbuje sa aktuálnym podmienkam. Počas skúšobnej prevádzky bola nastavená min. koncentrácia kyslíka v odtokových oxických zónach 3,5 mg.l⁻¹. Automatické ovládanie výkonu dúcharne bolo viazané na túto minimálnu hodnotu, čím nemohlo dôjsť k jej prekročeniu, resp. zníženiu.



Obrázok 4 Schéma riadenia tlaku a prietoku vzduchu

Z priemeru meraných koncentrácií rozpusteného kyslíka v aktivačných nádržiach ($C_1 = 4,6 \text{ mg.l}^{-1}$) bolo možné použitím systému regulácie tlaku a prietoku vzduchu dúchadlami znížiť hodnotu koncentrácie rozpusteného kyslíka na hodnotu $C_2 = 3,5 \text{ mg.l}^{-1}$, pri predpokladanej koncentrácii saturácie kyslíka $C_S = 9 \text{ mg.l}^{-1}$. Z uvedeného vyplýva, že podľa vzťahu:

$$\frac{C_2 - C_1}{C_S - C_2} = \frac{3,5 - 4,6}{9 - 3,5} = -0,2 = -20 \% \quad (2)$$

dôjde k úspore energie až vo výške 20 %. Prepočtom návratnosti navrhovaného systému regulácie tlaku a prietoku vzduchu dúchadlami je možné predpokladať, že náklady na vysoko presný analyzátor a systém regulácie nahradia už mesačné úspory energie pri zavedení analyzátoru pre ČOV Považská Bystrica do prevádzky.

6. ZÁVER

V posledných rokoch prechádzajú ČOV rozsiahlymi rekonštrukciami. V niektorých prípadoch pri zavádzaní nových technológií je často krátko nevyhnutné starú ČOV zlikvidovať a postaviť novú, alebo vybudovať novú ČOV na inom vhodne zvolenom mieste. V iných prípadoch je možné modernizovať ČOV zavádzaním nových, vysoko ekonomických, resp. úsporných opatrení.

Jenou z nich je aj zavedenie pružného systému regulácie tlaku a prietoku vzduchu dúchadlami na základe merania koncentrácie rozpusteného kyslíka v aktivačných nádržiach. Z nameraných hodnôt sa zistilo, že v niektorých prípadoch dochádza k nadmernému prevzdušňovaniu aktivačných nádrží, čo vedie k zbytočným stratám energie, ktoré podľa merania spotreby energie nie sú zanedbateľné, pretože podľa meraní, ktoré sa uskutočnili na ČOV Považská Bystrica, až 56 % spotrebovanej energie sa spotrebuje práve na aeráciu, 15 % na strojné čistenie, 13 % na filtráciu, 12 % na kalového hospodárstvo a iba 4 % na infraštruktúru. Z toho vyplýva, že optimalizovanie aerácie je veľmi dôležité a prinesie najväčšie úspory energie.

LITERATÚRA

- ČERNECKÝ, J., KVASNOVÁ, P., DOČKAL, J.: 2006. *Technika úpravy vôd a ich čistenia*. TU Zvolen, 2006, 132 s., ISBN 80-228-1594-2
- HACH-LANGE: 2006/2007. *Katalóg – Laboratorní analýza, laboratorní automatizace, vzorkovače, procesní analýza*
- CHUDOBA, J., DOHÁNYOS, M., WANNER, J.: 1991. *Biologické čistení odpadních vod*, SNTL Praha, 1991, ISBN 80-03-00611-2
- Nariadenie vlády SR č. 296/2005, ktorým sa ustanovujú kvalitatívne ciele povrchových vôd a limitné hodnoty ukazovateľov znečistenia odpadových vôd a osobitných vôd
- Zákon č. 364/2004 Z. z. o vodách a o zmene zákona Slovenskej národnej rady č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon)
- Zákon č. 543/2002 Z. z. o ochrane prírody a krajiny

Kontaktná adresa:

Ing. Petra Kvasnová, PhD.

TU vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Katedra environmentálnej techniky

Študentská 26, 960 53 Zvolen

TRAKČNÉ VLASTNOSTI LESNÍCKEHO KOLESOVÉHO ŤAHAČA PRI RÔZNYCH TLAKOCH HUSTENIA PNEUMATÍK POJAZDOVÝCH KOLIES

TRACTIVE PERFORMANCES OF A SKIDDER WITH DIFFERENT INFLATION PRESSURES OF TYRES OF ITS TRAVEL WHEELS

Milan HELEXA

ABSTRACT: The work deals with observation of the tires pumping influence on the tension properties in mobile forest machines with wheel movement system. The experimental part of the work describes an option and a selection of the research on the experimental object in the given task and it also describes methodology of the researched experiment. Then it presents the results of done experimental measurements and the statistical methods of their treatment. Final part of the work deals with discussion of obtained results given by experimental measurements.

Key words: forestry machines, tyre, drawbar pull, slip, statistical analysis

ABSTRAKT: Práca sa zaoberá sledovaním vplyvu tlaku hustenia pneumatík na ťahové vlastnosti mobilných lesných strojov s kolesovými pojazdvými ústrojenstvami. Experimentálna časť práce popisuje voľbu a výber objektu experimentálneho skúmania predmetnej problematiky a popisuje metodiku samotného experimentu. Ďalej prezentuje čiastkové výsledky vykonaných experimentálnych meraní a metódy ich štatistického spracovania. Záverečná časť práce sa venuje predovšetkým diskusií získaných výsledkov experimentálnych meraní.

Kľúčové slová: lesnícke stroje, pneumatika, ťahová sila, preklz, štatistická analýza

1. ÚVOD

Neoddeliteľnou a veľmi významnou súčasťou pojazdových kolies dnešných kolesových podvozkov mobilných energetických prostriedkov je pneumatika. Táto časť kolesového podvozku každého mobilného prostriedku prichádza ako jediná do kontaktu s povrchom, po ktorom sa pohybuje. Preto vlastností, vyplývajúce z jej konštrukcie, a správnosť jej výberu pre daný typ mobilného energetického prostriedku výrazným spôsobom ovplyvňujú nielen výsledné jazdné vlastnosti, ale aj celkovú energetickú účinnosť a efektivitu mobilného energetického prostriedku ako celku. Špecifické pracovné podmienky

a potreba dosahovania čo najvyššej efektivity mobilných energetických prostriedkov si zákonite vynútili vývoj a vznik rôznych nových konštrukcií pneumatík, ktoré sú schopné v pomerne ťažkých pracovných podmienkach zabezpečiť strojom dobré prevádzkové vlastnosti. Preto boli vyvinuté pneumatiky väčších rozmerov s nižším tlakom hustenia, čo zlepšilo ich jazdné a prevádzkové vlastnosti v prirodzených podmienkach pracovísk.

Otázka voľby správnej veľkosti tlaku hustenia pneumatík býva však vo všeobecnosti u týchto strojov často podceňovaná a považovaná za druhoradú. Za dôležitú otázku pri voľbe vhodného typu pneumatiky a jej optimálneho tlaku hustenia sa často berie do pozornosti len otázka maximálneho možného zaťaženia pripadajúceho na jednotlivé kolesá a účel alebo pracovné prostredie, v ktorom bude daný mobilný pracovný stroj pracovať. Otázky súvisiace s ekológiou ich prevádzky a možného lepšieho energetického využívania mobilných energetických prostriedkov, ktoré je možné vhodnou voľbou rozmeru pneumatiky a jej tlaku hustenia ovplyvniť, sa často neberú dostatočne do úvahy. Pritom tlak média, ktorým je pneumatika plnená sa nielenže v značnej miere podieľa na nesení záťaže kolesa, ale ovplyvňuje aj veľkosť kontaktného tlaku na podložku v stykovej ploche pneumatiky. Veľkosť kontaktného tlaku v stykovej ploche pneumatiky je pritom jeden z významných činiteľov ovplyvňujúcich nielen poškodzovanie pôdy, jej vegetačného krytu, ale ovplyvňujúci tiež záberové vlastnosti pneumatiky a to hlavne na mäkkých, poddajných pôdach. Autori Calk a Schwanghart (1998) zistili pri skúškach pneumatík Uniroyal veľkosti 12,5 R 20 v pôdnom meracom kanáli s hlinito piesočnatou pôdou, že súčiniteľ záberu pri tlaku hustenia pneumatiky 300 kPa v oblasti preklzu 10 % až 50 % je vyšší približne o 18 % ako pri tlaku hustenia 600 kPa.

Pri hodnotení vplyvu tlaku hustenia pneumatík na pôdu je nutné uviesť, že pneumatika s neprimerane veľkým tlakom hustenia spôsobuje nadmerné stláčanie pôdy a rozryvanie jej povrchu v dôsledku nadmerného preklzu. Preto voľba vhodného typu, veľkosti ako aj správneho tlaku hustenia pneumatík pojazďových kolies v závislosti od terénnych a pôdných podmienok je u týchto strojov dôležitá.

2. MATERIÁL A METÓDY

Ako bolo už v samotnom úvode spomenuté, pneumatika tvorí veľmi významnú a dôležitú časť všetkých kolesových mobilných energetických prostriedkov. Zo širokého okruhu problematiky zaoberajúcej sa vplyvom pneumatík na trakciu mobilných energetických prostriedkov sme sa zamerali predovšetkým na sledovanie vplyvu tlaku hustenia pneumatík na ťahové vlastnosti a preklz hnacích kolies v závislosti od pôdných a terénnych podmienok. Účelom experimentálneho merania bolo predovšetkým sledovanie zmien preklzových a ťahových charakteristík vybraného lesníckeho mechanizačného prostriedku v závislosti na tlaku hustenia jeho pneumatík a typu povrchu alebo pôdy, po ktorej sa pohyboval.

Ako sledovaný mechanizačný prostriedok bol zvolený najmä z hľadiska dostupnosti lesnícky kolesový ťahač LKT 81 T. Ako zaťažovacie vozidlo bol použitý nákladný automobil Tatra 815 S3 26 208 6×6.2, ktorého korba bola doťažená 4 000 kg makadamu.

Pre vykreslenie jednotlivých preklzových a ťahových charakteristík sledovaného ťahača LKT 81 T, bolo nutné zaznamenávať pri každej meracej jazde impulzy snímačov

hnacích kolies a ťahovú silu. Z dôvodu vykreslenia kriviek ťahového výkonu bolo však nutné pri meraní sledovať aj čas, za ktorý mechanizačný prostriedok prešiel skúšobnú dráhu vymedzenej dĺžky. Pri meraní boli použité nasledovné snímače a záznamové zariadenia:

- snímač ťahovej sily: LC – IE – 200 kN
- snímače otáčok hnacích kolies: ISP 122 SN
- záznamové zariadenie: BMC MC – HDR
- mechanické stopky

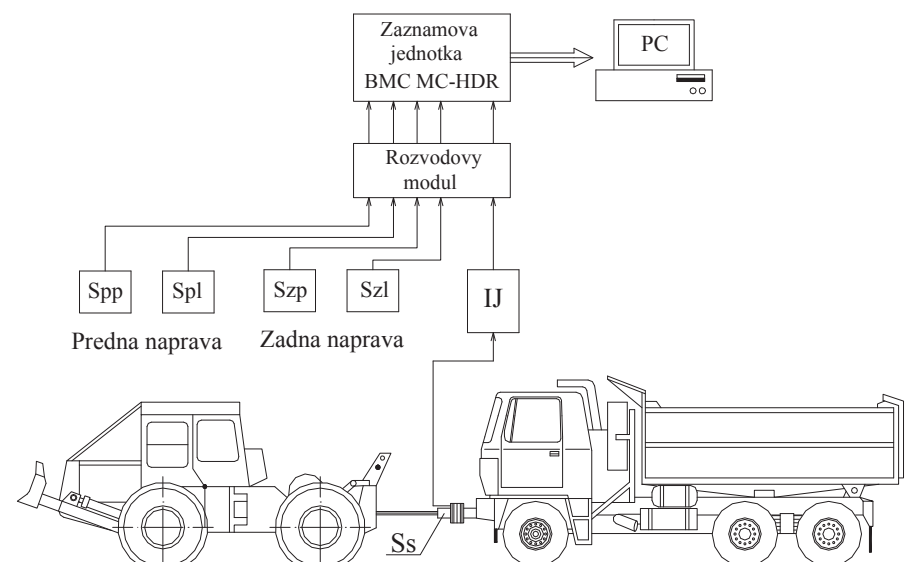
Samotné experimentálne meranie bolo realizované ako štandardná ťahová skúška v súlade so základnými požiadavkami normy STN 30 0415, Poľnohospodárske a lesnícke traktory – Metódy skúšania. Experimentálne merania boli realizované v dvoch etapách. V prvej etape sa vykonala štandardná ťahová skúška na asfaltovom povrchu expedičného skladu Vysokoškolského lesníckeho podniku TU vo Zvolene. Meranie bolo realizované pri tlakoch hustenia pneumatík 240 kPa, 200 kPa a 150 kPa. V druhej etape sa štandardná ťahová skúška realizovala priamo v lesnom poraste Vysokoškolského lesníckeho podniku TU vo Zvolene. V lesnom poraste sa merania realizovali pri tlakoch hustenia pneumatík 200 kPa, 150 kPa a 130 kPa. Pre danú zvolenú tlakovú hladinu bol vždy tlak hustenia pneumatík na prednej a zadnej náprave ťahača LKT 81 T rovnaký. Sledované tlaky hustenia pneumatík boli volené na základe technických parametrov pneumatík udávaných ich výrobcom, ako aj na základe technických parametrov ťahača, tak aby ani pri maximálnom ťahovom zaťažení nedošlo k ich poškodeniu vplyvom vysokého zaťaženia náprav. Ťahové skúšky ťahača LKT 81 T sa na asfaltovom povrchu vykonali pre prvé tri základné a redukované prevodové stupne. V lesnom teréne sa ťahová skúška realizovala na tých istých prevodových stupňoch ako na asfaltovom povrchu, len s vylúčením prvého redukovaného prevodového stupňa.

Pred samotným meraním sa na skúšobnej dráhe výtyčkami vyznačil merací úsek o dĺžke 60 metrov. Pred takto vymedzeným meracím úsekom bola k dispozícii prípravná časť skúšobnej dráhy, ktorá bola určená na stabilizovanie zaťažovacieho režimu. Jej dĺžka sa menila v závislosti od požadovanej veľkosti ťahového odporu. Šírka skúšobnej dráhy bola 3,15 metra. Merací reťazec pre zaznamenávanie jednotlivých veličín bol zostavený podľa obrázku 1. Pri každej meracej jazde boli zaznamenávané nasledovné veličiny:

- ťahová sila [N],
- impulzy snímačov otáčok pojazdových kolies [-],
- čas merania [s].

Údaje zhromaždené v záznamovej jednotke BMC MC – HDR v priebehu merania boli po ich skončení prenesené do personálneho počítača a spracované v softwarovom produkte NextView 2.5 a Statistica 7.0 CZ.

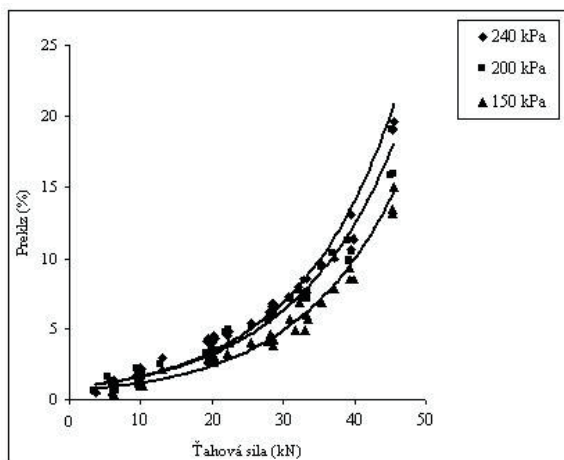
Pri realizácii meraní v lesnom teréne bol vykonaný aj základný rozbor a popis vlastností pôdy, ktorá sa nachádzala v mieste merania. Na základe odobratých vzoriek z viacerých miest skúšobnej dráhy bola stanovená jej priemerná vlhkosť a objemová hmotnosť. Lesnú pôdu, na ktorej sa vykonalo meranie v teréne, je možné z vizuálneho hľadiska charakterizovať ako štrkovitú hlinu. Jej priemerná vlhkosť dosahovala hodnotu 38 % a objemová hmotnosť $1,142 \text{ g.cm}^{-3}$.



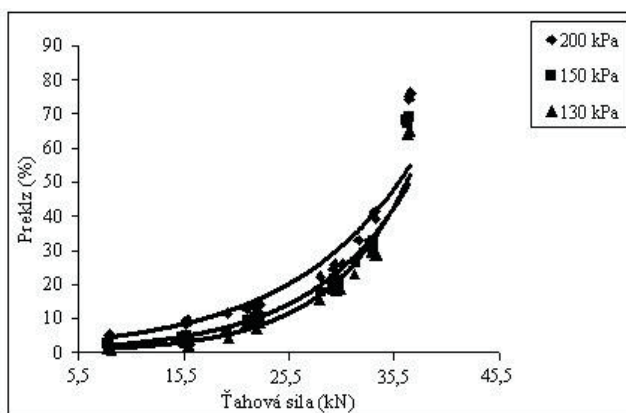
Obr. 1 Schéma meracej a záznamovej aparatúry pri ťahovej skúške
IJ – indikačná jednotka snímača ťahovej sily, *PC* – osobný počítač, S_{pp} – snímač otáčok pravého kolesa prednej nápravy, S_{pl} – snímač otáčok ľavého kolesa prednej nápravy, S_{zp} – snímač otáčok pravého kolesa zadnej nápravy, S_{zl} – snímač otáčok ľavého kolesa zadnej nápravy, S_s – snímač ťahovej sily

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

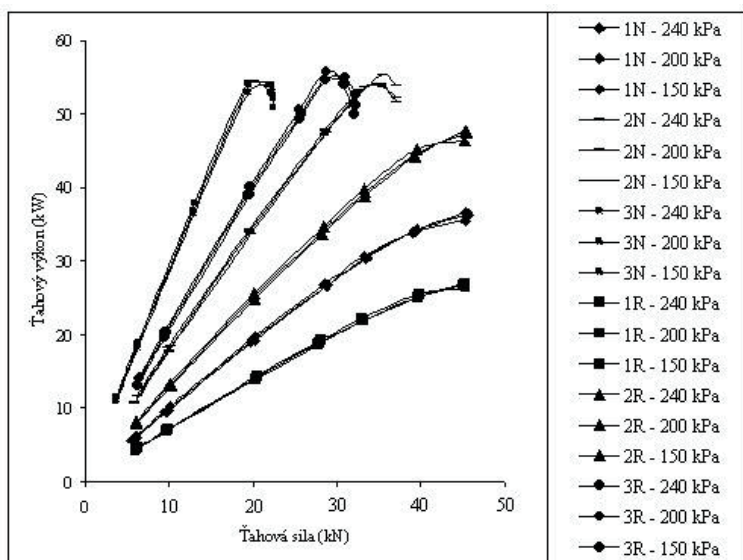
Grafické znázornenia nameraných hodnôt ťahových ukazovateľov LKT 81 T pre asfaltový povrch a lesnú pôdu sú uvedené na obrázkoch 2 až 5.



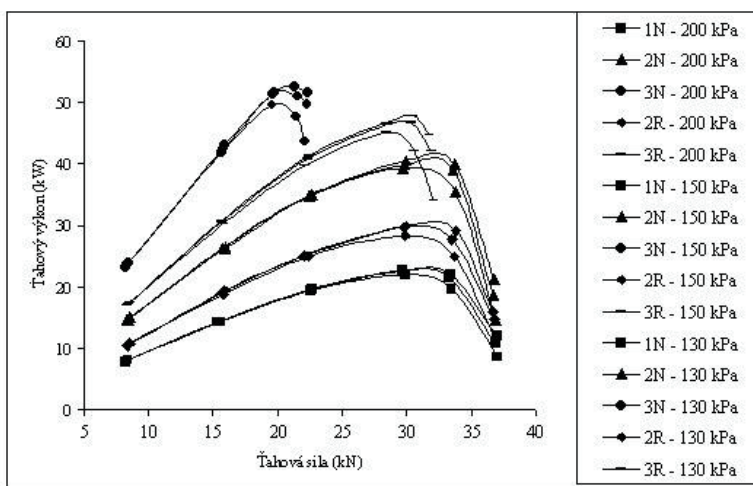
Obrázok 2 Priebeh preklzu lesníckeho kolesového ťahača LKT 81 T na asfaltovom povrchu pri tlakoch hustenia pneumatík 240 kPa, 200 kPa a 150 kPa



Obrázok 3 Priebeh preklzu lesnickeho kolesového ťahača LKT 81 T na lesnej pôde (štrková hlina s priemernou vlhkosťou 38 %) pri tlakoch hustenia pneumatík 200 kPa, 150 kPa a 130 kPa



Obrázok 4 Priebehy ťahových výkonov LKT 81 T na asfaltovom povrchu pri tlakoch hustenia pneumatík 240 kPa, 200 kPa a 150 kPa na jednotlivých sledovaných prevodových stupňoch



Obrázok 5 Priebehy ťahových výkonov LKT 81 T na lesnej pôde (štrkovitá hlina priemernej vlhkosti 38 %) pri tlakoch hustenia pneumatík 200 kPa, 150 kPa a 130 kPa na jednotlivých sledovaných prevodových stupňoch

Z priebehov preklzových kriviek ťahača na asfaltovom povrchu (obr. 2) je možné pozorovať pokles preklzu hnacích kolies s klesajúcim tlakom hustenia pneumatík. Tento pokles preklzu je výrazný najmä v oblasti stredných a vyšších hodnôt ťahových síl a to najmä medzi hodnotami nameranými pri tlakoch hustenia pneumatík 240 kPa a 150 kPa. V oblasti nízkeho ťahového zaťaženia tento pokles nie je tak výrazný, ale tendencia je rovnaká.

Z priebehov preklzových kriviek ťahača získaných na lesnej pôde (obr. 3) jednoznačne vyplýva pozitívny vplyv zníženia tlaku hustenia pneumatík na zníženie preklzu hnacích kolies ťahača. Tento pokles preklzu je výrazný najmä v oblasti stredných a vyšších hodnôt ťahových síl a to najmä medzi hodnotami nameranými pri tlakoch hustenia pneumatík 200 kPa a 150 kPa. Maximálne dosahuje hodnoty až 25 % pri ťahovom zaťažení okolo 25 kN. V oblasti nízkeho ťahového zaťaženia tento pokles nie je tak výrazný, ale tendencia je rovnaká. Zníženie preklzu hnacích kolies ťahača pri nižších tlakoch hustenia pneumatík je opäť dôsledkom zníženia kontaktného tlaku v stykovej ploche pneumatiky a celkovým zlepšením záberových vlastností pneumatík pojazdových kolies.

Na asfaltovom povrchu v priebehoch ťahových výkonov (obr. 4) je možné sledovať s klesajúcim tlakom hustenia pneumatík mierny pokles dosahovaných hodnôt ťahových výkonov a to pri všetkých sledovaných prevodových stupňoch. Pokles ťahového výkonu je výrazný najmä v regulátorovej oblasti momentovej charakteristiky motora. V preťažovacej časti momentovej charakteristiky hnacieho motora ťahača je tendencia priebehu ťahového výkonu skôr opačná a to najmä na prevodových stupňoch (2R až 3N). Pokles dosahovaných hodnôt ťahových výkonov je výraznejší najmä pri vyšších prevodových stupňoch (2R až 3N) a menej výrazný pri nižších prevodových stupňoch (1N a 1R).

Najvyššie hodnoty ťahových výkonov na asfaltovom povrchu boli za daných podmienok namerané na prevodovom stupni 3R. Pri tlaku hustenia pneumatík 240 kPa ťahový výkon dosahoval maximálnu hodnotu 55,794 kW. Pri tlaku hustenia pneumatík 200 kPa

dosahoval ťahový výkon maximálnu hodnotu 54,654 kW, čo je hodnota nižšia o 2,04 % a pri tlaku hustenia pneumatík 150 kPa dosahoval maximálnu hodnotu 54,99 kW, čo je hodnota nižšia v porovnaní s ťahovým výkonom nameraným pri tlaku hustenia pneumatík 240 kPa len o 1,44 %.

Z priebehov ťahových výkonov na asfaltovom povrchu by sa dalo skôr očakávať zníženie dosahovaných hodnôt ťahových výkonov s klesajúcou hodnotou tlaku hustenia pneumatík a to v celom priebehu kriviek ťahových výkonov. Je to zapríčinené jednak znížením účinného polomeru valenia pneumatík pojazďových kolies, ako aj zvýšením veľkosti jazdných odporov v dôsledku nižšieho tlaku hustenia pneumatík. Pri jazde po asfaltovom povrchu prakticky nie je prítomná vonkajšia zložka valivého odporu, ktorá by bola prekonávaná hnacou silou ťahača. Vnútorňa zložka valivého odporu súvisiaca s hysteréznymi stratami vplyvom zvýšenej deformácie pneumatík pri nižších hodnotách tlakov hustenia sa na vonkajších ťahových vlastnostiach ťahača neprejaví. Prejaví sa len zvýšením vnútorných strát v pojazďovom mechanizme ťahača. Keďže však nebola možnosť pri experimentálnom meraní merať aj spotrebu paliva hnacieho motora ťahača a jeho ďalšie prevádzkové veličiny (napr. teplotu chladiacej kvapaliny, teplotu spalín, teplotu a tlak mazacieho oleja a pod.), na základe ktorých by bolo možné vierohodne popísať momentové zaťaženie hnacieho motora, nie je možné v konečnom dôsledku z čisto ťahovej charakteristiky ťahača vyvodit' konečný záver o vplyve tlaku hustenia pneumatík na jeho celkovú energetickú efektivitu na pevných a málo poddajných povrchoch. Dá sa predpokladať, že zistené zvýšenie dosahovaných hodnôt ťahových výkonov v preťažovacích oblastiach priebehov kriviek ťahových výkonov je dôsledkom malého počtu vykonaných meraní v tejto oblasti, ako aj možného vzniku odchýliek pri samotnom určovaní a meraní pojazďovej rýchlosti.

Najvyššie hodnoty ťahových výkonov na lesnej pôde za daných podmienok boli namerané na prevodovom stupni 3N (obr. 5). Pri tlaku hustenia pneumatík 200 kPa ťahový výkon dosahoval maximálnu hodnotu 49,55 kW. Pri tlaku hustenia pneumatík 150 kPa dosahoval ťahový výkon maximálnu hodnotu 51,40 kW, čo je hodnota lepšia o 3,6 % a pri tlaku hustenia pneumatík 130 kPa dosahoval maximálnu hodnotu 52,48 kW, čo je hodnota lepšia v porovnaní s ťahovým výkonom nameraným pri tlaku hustenia pneumatík 200 kPa o 5,6 %. V priebehoch ťahových výkonov je ďalej možné zaznamenať miernu tendenciu zvýšenia hodnôt ťahových výkonov na jednotlivých prevodových stupňoch s klesajúcim tlakom hustenia pneumatík. Tento trend je výraznejší pri nižších prevodových stupňoch, pri ktorých sa dosahujú vyššie hodnoty ťahových síl. Je to spôsobené pravdepodobne miernym zlepšením záberových vlastností pneumatík hnacích kolies pri nižších tlakoch hustenia. Ten spôsobil zníženie kontaktného tlaku v stykovej ploche pneumatiky, čo malo za následok mierny pokles vonkajšej zložky valivého odporu a mierne zlepšenie adhézných podmienok. K výraznému zlepšeniu hodnôt ťahových výkonov dochádza najmä pri znížení tlaku hustenia pneumatík z hodnoty 200 kPa na hodnotu 150 kPa. Rozdiely zistené pri tlakoch hustenia pneumatík 150 kPa a 130 kPa už nie sú tak výrazné.

3.1 Použité štatistické metódy

Na objektivizáciu posúdenia vplyvu tlaku hustenia pneumatík ťahača na preklz jeho hnacích kolies v závislosti od veľkosti ťahového zaťaženia boli použité dve štatistické

metódy. Prvou bola viacfaktorová variančná analýza rozptylu ANOVA a druhou štatistickou metódou bol Studentov T-test.

Hlavnou myšlienkou variančnej analýzy je rozklad pozorovanej variability na zložky, ktoré je možné priradiť jednotlivým príčinám variability. Ako kritérium štatistickej významnosti sa v tomto prípade uvažuje hladina významnosti (p) F-testu, čo je pravdepodobnosť toho, že faktor nemá alebo má štatisticky významný vplyv.

Druhú štatistickou metódou bol Studentov T-test, pomocou ktorého sa porovnávala významnosť rozdielov parametrov regresných rovníc toho istého tvaru popisujúcich jednotlivé priebehy nameraných výsledkov. Studentov T-test, pomocou ktorého boli vykonané porovnania významnosti rozdielov parametrov regresných rovníc je možné uviesť v nasledovnom tvare:

$$t_p = \frac{|p_1 - p_2|}{\sqrt{s_{p1}^2 + s_{p2}^2}} \quad (1)$$

kde: p_1 a p_2 – parametre regresných rovníc toho istého tvaru,
 s_{p1} a s_{p2} – smerodajné odchýlky.

Na vyjadrenie jednotlivých funkčných závislostí medzi sledovanými fyzikálnymi veličinami boli použité metódy nelineárnej regresie. V našom prípade išlo najmä o závislosti preklzu na veľkosti tlaku hustenia pneumatík a veľkosti ťahového zaťaženia, alebo o priebehy ťahových výkonov na jednotlivých sledovaných prevodových stupňoch v závislosti od veľkosti tlaku hustenia pneumatík.

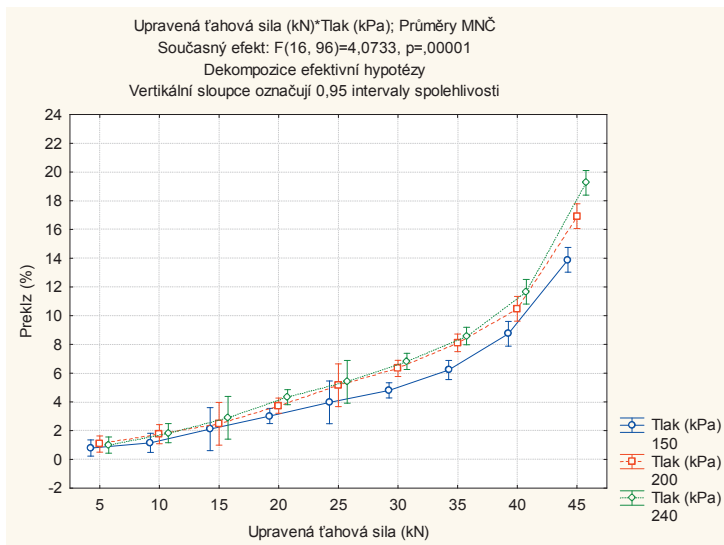
Ako už bolo uvedené vyššie, na posúdenie vplyvu tlaku hustenia pneumatík a veľkosti ťahového zaťaženia (nezávisle premenné – faktory) na preklz (závisle premenná) hnacích kolies ťahača v závislosti od sledovaného typu povrchu, bola použitá viacfaktorová variančná analýza ANOVA. Výsledky tejto štatistickej metódy sú uvedené na obrázkoch 6 a 7 pre jednotlivé typy sledovaných povrchov. V obrázkoch je vynesená závislosť preklzu hnacích kolies sledovaného ťahača LKT 81 T na veľkosti ťahového zaťaženia a tlaku hustenia pneumatík.

Na základe uvádzaných priebehov závislosti preklzu na veľkosti ťahového zaťaženia a veľkosti tlaku hustenia pneumatík je možné vysloviť nasledovné závery.

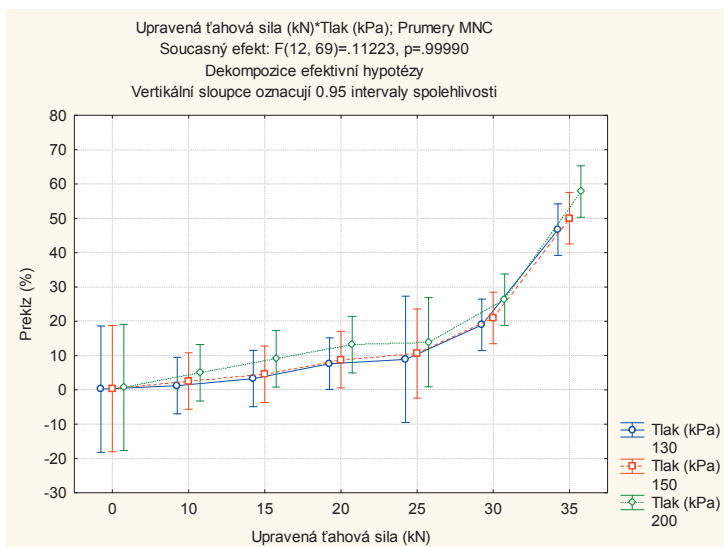
Na obidvoch sledovaných typoch povrchov má ťahové zaťaženie jednoznačne vplyv na zmenu veľkosti preklzu hnacích kolies ťahača a to pri všetkých sledovaných tlakoch hustenia pneumatík. Nárast preklzu v oblasti malých ťahových zaťažení zhruba do hodnoty 10 kN až 15 kN je veľmi mierny a má takmer lineárny charakter. V oblasti stredných hodnôt ťahových zaťažení (zhruba od 15 kN do 35 kN na asfaltovom povrchu a 12 kN až 22 kN na lesnej pôde) je rast preklzu intenzívnejší s nárastom ťahového zaťaženia. V oblasti veľkého ťahového zaťaženia, kde ťahač musí vyvinúť veľkú hnaciu silu preklz prudko narastá až do maximálnej hodnoty.

Na asfaltovom povrchu v oblasti ťahových síl do 30 kN nemá tlak hustenia pneumatík na zmenu preklzu hnacích kolies ťahača štatisticky významný vplyv (obr. 6). Prvé štatisticky významné rozdiely preklzov hnacích kolies pri jednotlivých tlakoch hustenia pneumatík sa objavujú od ťahovej sily 30 kN. Štatisticky významné rozdiely preklzu hnacích kolies ťahača sú výrazné najmä medzi hodnotami nameranými pri tlakoch hustenia pneumatík 240 kPa a 150 kPa. Medzi hodnotami preklzov hnacích kolies nameraných pri

tlakoch hustenia pneumatík 240 kPa a 200 kPa nie sú žiadne štatisticky významné rozdiely až do ťahového zaťaženia 45 kN. Pri ťahovej sile 45 kN a vyššej má podľa tohto testu tlak hustenia pneumatík veľmi štatisticky významný vplyv na zmenu preklzu hnacích kolies LKT 81 T a to pri všetkých sledovaných hodnotách tlakov hustenia pneumatík.



Obrázok 6 Priebeh preklzu v závislosti od veľkosti ťahového zaťaženia a tlaku hustenia pneumatík na asfaltovom povrchu



Obrázok 7 Priebeh preklzu v závislosti od veľkosti ťahového zaťaženia a tlaku hustenia pneumatík na lesnej pôde (štrkovitá hlina priemernej vlhkosti 38 %)

Na lesnej pôde (štrkovitá hlina priemernej vlhkosti 38 %) podľa výsledkov nemá tlak hustenia pneumatík štatisticky významný vplyv na zmenu preklzu hnacích kolies sledovaného ťahača a to v celom sledovanom intervale ťahového zaťaženia (obr. 7).

Druhou použitou štatistickou metódou bol Studentov T-test, pomocou ktorého bola porovnávaná významnosť rozdielov parametrov regresných rovníc toho istého druhu, popisujúcich vzájomnú závislosť sledovaných veličín. Táto štatistická metóda bola použitá pri hodnotení vplyvu tlaku hustenia pneumatík na zmenu ťahového výkonu lesníckeho kolesového ťahača LKT 81 T a tiež na hodnotenie vplyvu tlaku hustenia pneumatík na zmenu preklzu hnacích kolies sledovaného ťahača. Závislosti ťahových výkonov na ťahovej sile pre jednotlivé prevodové stupne, typy sledovaných povrchov a tlaky hustenia pneumatík pojazďových kolies boli aproximované polynómami druhého rádu. Závislosti preklzov hnacích kolies ťahača na dosahovanej ťahovej sile pre jednotlivé typy sledovaných povrchov a tlaky hustenia pneumatík boli aproximované exponenciálnymi funkciami. Výsledky tohto testu vzhľadom na množstvo spracovávaných údajov sú však rozsiahle a ich uverejnenie presahuje rozsah tohto článku. Na základe ich výsledkov je však možné povedať, že ani jeden z výsledkov porovnávania neprekročil kritickú hodnotu Studentovho T-testu. Podľa týchto výsledkov by teda sledované zmeny tlaku hustenia pneumatík nemali mať štatisticky významný vplyv na zmeny dosahovaných ťahových výkonov ťahača a preklz jeho hnacích kolies, a to na oboch sledovaných typoch povrchov. Metóda porovnávania koeficientov regresných rovníc pomocou Studentovho T-testu je štatistická metóda, ktorá porovnáva významnosť rozdielov koeficientov sledovaných regresných funkcií. Nedokáže však dostatočne presne zohľadňovať určité lokálne rozdiely v priebehoch funkcií (napríklad rozdiely vo vzájomnej tesnosti rozloženia hodnôt sledovaných funkcií na ich začiatku a konci). Preto aj výsledky testu porovnávania koeficientov regresných rovníc, ktoré dosahujú hodnoty väčšie ako je polovica kritickej hodnoty pre daný počet pozorovaní (meraní) alebo sú veľmi blízke kritickej hodnote môžu naznačovať, že hodnoty týchto sledovaných funkcií v niektorých intervaloch môžu byť dostatočne odlišné.

4. ZÁVER

Z uvádzaných výsledkov je vidieť, že nielen zmeny typu povrchu, ale aj zmeny tlaku hustenia pneumatík pojazďových kolies sa premietajú do zmien preklzových charakteristík a charakteristík ťahových výkonov mechanizačných prostriedkov. Tým dosiahnuté výsledky potvrdzujú tvrdenie, že tlak hustenia pneumatík pojazďových kolies mobilných pracovných strojov je jedným z dôležitých faktorov ovplyvňujúcich nielen energetickú efektívnosť, ale aj ekologickú prijateľnosť mobilných mechanizačných prostriedkov. Pri ťažbových strojoch, ktoré približujú drevnú hmotu v polozávесе alebo v polonesenej polohe otázka vplyvu tlaku hustenia pneumatík nie je až tak dôležitá. Tieto stroje poškodzujú prírodné prostredie omnoho intenzívnejšie približovaným nákladom než vlastným pojazďovým mechanizmom. Navyše pracujú v ťažkých terénnych podmienkach a s vysokým zaťažením náprav pri približovaní nákladu. Iná situácia je pri traktoroch a špeciálnych pracovných strojoch určených pre práce súvisiace s pestovaním a ošetrovaním rastlinných kultúr v lesníctve a poľnohospodárstve. U týchto strojov je požiadavka aby ich negatívny

vplyv na prírodné prostredie (najmä pôdu) bol čo najmenší. V tomto prípade výber vhodného typu, veľkosti a tiež voľba vhodného tlaku hustenia pneumatík pojazdových kolies takéhoto stroja hrá dôležitú úlohu.

Z technického a konštrukčného hľadiska by bolo preto zaujímavé a prospešné zaoberať sa v budúcnosti výskumom a vývojom zariadenia, ktoré by umožňovalo plynulú reguláciu tlaku hustenia pneumatík mobilných pracovných strojov v závislosti od terénnych a pôdných podmienok. Aj napriek pomerne veľkej konštrukčnej zložitosti takéhoto systému, môže byť jeho vývoj prínosom v pokroku konštrukčných riešení a zvyšovania úžitkových vlastností mobilných pracovných strojov. Úroveň súčasnej techniky to umožňuje. Takýto systém by zároveň umožňoval širšie praktické uplatnenie teoretických poznatkov terramechaniky.

LITERATÚRA

1. CALEK, M. – SCHWANGHART, H.: Vplyv nahustenia pneumatík na hnacie sily a na sily odporu valenia. In: *Acta technologica agriculturae*, 1998, č. 2, s. 40–44
2. HELEXA, M.: Výskum vplyvu tlaku hustenia pneumatík na ťahové vlastnosti mobilných lešných strojov – Doktorandská dizertačná práca. Zvolen: FEVT TU, 2006, 143 s.
3. HOLÍK, J.: Interakcia pojazdového ústrojenstva mobilných strojov s pôdou. In: Kolokvium ku grantovým úlohám č. 1/5191/98 a č. 1/7585/20, KLMT FEVT TU Zvolen, 2000, s. 86–93
4. HOLÍK, J. – MIKLEŠ, M.: Vplyv interakcie pojazdového ústrojenstva mobilných strojov s pôdou na prenos výkonu. In: *Zborník prednášok z Medzinárodnej vedeckej konferencie pri príležitosti 50. výročia založenia SjF TU v Košiciach, Tatranská Lomnica, 2002*, ISBN 80-7099-801-6, s. 111–118

Kontaktná adresa:

Ing. Milan Helexa, PhD.

Katedra lesnej a mobilnej techniky

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, e-mail: helexa@pobox.sk

MODIFIKOVANÝ UMELÝ IMUNITNÝ SYSTÉM A OPTIMALIZÁCIA DISKRÉTNÝCH PARAMETROV

MODIFIED ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM IN DISCRET PARAMETERS OPTIMIZING

Eudovít ŠIPOŠ

ABSTRACT: This paper presents an application of Modified evolutionary optimization algorithm based on Artificial Immune System (MAIS). The implemented algorithm in C++ is able to find multiple extremes at the same time. A convergence process of mutation is based on 1+1 evolution strategy [Rechenberg 93]. The reducing process is based on affinity so process implemented in MAIS allows leaving a local extreme too. Fig. 2 presents the used algorithm. It consists generating of population, initialization of evolution parameters $(\sigma_0, t, T, \alpha, \dots)$. Evolution is realized in time $t++ < T$ with conditional modification of parameter σ_t . Affinity is used for reduction of population. Additional random reduction and supplement of population is based on parameter α [%]. Published method is appropriate for optimizing integer and discrete parameters too.

Key words: evolution, optimizing, artificial immune system

ABSTRAKT: Článok opisuje aplikáciu algoritmu, ktorý je založený na modifikovanom umelom imunitnom systéme (MAIS). Algoritmus je implementovaný v jazyku C++ a je schopný súčasne nájsť viac extrémov. Konvergencia procesu mutácie je založená na 1+1 evolučnej stratégii [Rechenberg 93]. Proces redukcie populácie je založený na afinite, čo umožňuje opustenie lokálneho extrému. Obr. 2 zobrazuje použitý algoritmus. Obsahuje generovanie populácie, inicializáciu evolučných parametrov $(\sigma_0, t, T, \alpha, \dots)$. Evolúcia je realizovaná v čase $t++ < T$ s podmienenou úpravou parametra σ_t . Redukcia populácie, založená na afinite, je doplnená o náhodnú redukciu a doplnenie populácie na základe parametra α [%]. Publikovaná metóda je vhodná aj na optimalizáciu celočíselných a diskretných parametrov.

Kľúčové slová: evolúcia, optimalizácia, umelý imunitný systém

1 ÚVOD

Rozmach prostriedkov výpočtovej techniky umožňuje v súčasnej dobe obrátiť pozornosť na procesy odohrávajúce sa v prírode a spoločnosti a hľadať inšpiráciu v javoch bežne sa odohrávajúcich okolo nás. Medzi takéto patrí aj imunitný systém, ktorý svojou

činnosťou predstavuje robustný systém schopný reagovať na neznáme situácie, spôsobilý pamätať si prekonané situácie.

Imunitný systém môžeme charakterizovať ako rozsiahly súbor mechanizmov v živom jedincovi, ktorý zabezpečuje identifikáciu a elimináciu „nepriateľských prvkov“, ktoré prenikli do organizmu. Je schopný detekcie rôznych prvkov počnúc vírusmi, cez škodlivé baktérie až po rôzne plesne. Tieto prvky sa súhrnne nazývajú patogény. Samotná detekcia je komplikovaná, pretože patogénov je mnoho a okrem toho sa vyvíjajú a rôzne mutujú. Imunitný systém musí byť teda schopný rozpoznať a eliminovať útočníka, s ktorým sa už stretol, ale aj nových, ktoré ešte nepozná. Imunitný systém pracuje v niekoľkých vrstvách. Prvú tvorí fyzická bariéra (koža), ktorá chráni telo pred vniknutím cudzích látok. Pokiaľ je narušená, reaguje na prienik patogénu okamžite **vrodená imunita**. Ak je prekonaná aj táto bariéra, reaguje na patogén tretia vrstva – **adaptívna imunita**, ktorá sa časom mení, prispôsobuje sa, prípadne sa učí. Dôsledok učenia je v rýchlejšej reakcii na patogén v budúcnosti. Pretože jednou z reakcií imunitného systému na patogén je rozmnožovanie buniek imunitného systému, existujú v imunitnom systéme tri rôzne procesy, ktoré môžu slúžiť ako inšpirácia pre využitie. Sú to pozitívna selekcia, negatívna selekcia a klonálna selekcia.

Prvý proces – **pozitívna selekcia** predstavuje algoritmus, ktorý sa využíva na rozpoznanie vlastných buniek organizmu. V tomto algoritme sa vyradia bunky imunitného systému, ktoré nie sú schopné rozpoznať vlastné bunky. Sú teda z hľadiska funkčnosti imunitného systému poškodené.

Proces **negatívnej selekcie** predstavuje algoritmus, v ktorom sa odstránia tie bunky imunitného systému (T), ktoré sú schopné viazať sa na vlastné bunky organizmu za účelom ich likvidácie. Algoritmus negatívnej selekcie slúži na výber detektorov, ktoré sú schopné rozpoznať len organizmu cudzie prvky. V oboch algoritmoch sa pre selekciu využíva podobnosť – afinita.

Tretí proces sa nazýva **klonálna selekcia**. Predstavuje základné vlastnosti imunitnej reakcie na prítomnosť antigénu. Základné postupy klonálnej selekcie sú:

- **Negatívna selekcia**: klony, ktoré reagujú na antigény vlastného organizmu sa eliminujú.
- **Klonálna expanzia**: bunky, ktoré prišli do kontaktu s cudzím antigénom, sa rozmnožujú a diferencujú.
- **Monošpecifickosť**: každá diferencovaná bunka rozpoznáva jeden špecifický vzor (antigén), čo platí aj pre klonovaných potomkov bunky.
- **Somatická hypermutácia**: nové klony aktivovaných buniek sú objektom masívnej mutácie, čo vedie k vysokej diverzifikácii protilátok.
- **Autoimunita**: objavujú sa zakázané klony, ktoré sú odolné voči eliminácii negatívnou selekciou. Tieto klony zapríčínajú autoimunitné choroby.

Po doznení infekcie nastáva redukcia protilátok, avšak časť protilátok ostáva v zmenenej forme zachovaná, čo môžeme charakterizovať ako „pamäť imunitného systému“. Imunitný systém rôznych živočíšnych druhov je rôzny, avšak základné princípy sú v podstate rovnaké. Aj rastliny majú jednoduchý imunitný systém.

Z týchto zjednodušených princípov je možné pre proces optimalizácie vybrať:

- klonovanie
- mutáciu
- redukciu.

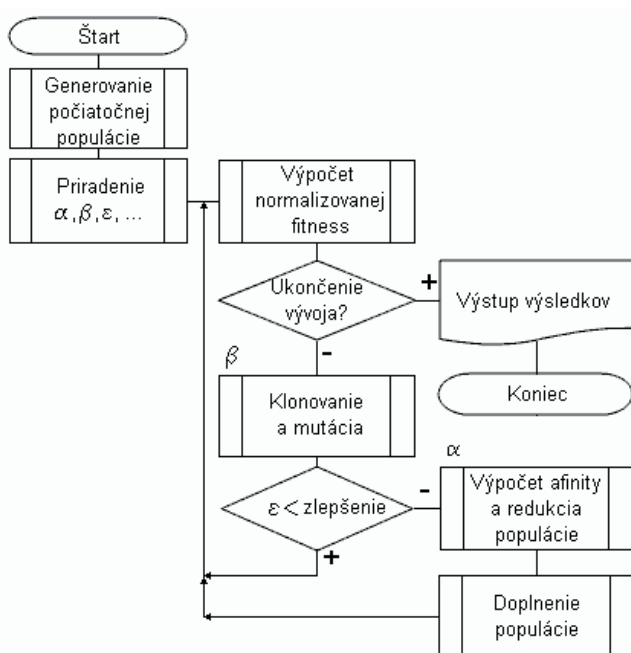
Klonovanie predstavuje generovanie skupiny buniek rovnakých vlastností, čo pre proces optimalizácie znamená generovanie skupiny identických bodov riešenia. Úspešnejšie riešenie vygeneruje viac prvkov klonu. To predstavuje v procese optimalizácie určitú formu elitizmu alebo je v ňom možné vidieť isté prvky prirodzeného výberu.

Mutácia predstavuje „úpravu“ klonu buniek na základe zvolených pravidiel. Úspešnejší prvok, teda aj jeho klon, bude mutovaný menej. Ak je najlepší zmutovaný prvok klonu lepší ako „rodič“, môže byť rodič nahradený najlepším prvkom. Mutácia z hľadiska optimalizácie predstavuje spôsob prehl'adávania lokálneho okolia.

Redukcia predstavuje proces, v ktorom dochádza na základe výpočtu afinity k odstráneniu podobných prvkov a doplneniu chýbajúcich prvkov, čo pre proces optimalizácie predstavuje „šancu“ úniku z lokálneho extrému vygenerovaním iných náhodných bodov riešenia, z ktorých môže proces optimalizácie konvergovať do globálneho extrému.

2 ZÁKLADNÝ ALGORITMUS

V úvodnej časti boli stručne uvedené skutočnosti, ktoré viedli [CASTRO 02] k návrhu algoritmu, ktorý bol inšpirovaný klonálnou selekciou imunitného systému. Algoritmus je možné zjednodušiť zobraziť nasledovne:



Obr. 1 Zjednodušený algoritmus optimalizácie pomocou UIS

1. Náhodná inicializácia populácie N_{pop} buniek.
2. Ohodnotenie kvality populácie podľa vzťahu (1).

3. Test ukončenia vývoja.
4. Vygenerovanie N_C klonov každej bunky populácie počtom úmerne jeho úspešnosti.
5. Mutácia každého klonu nepriamo úmerne jeho úspešnosti podľa vzťahu (2).
6. Prípadná náhrada rodiča najlepšou bunkou zmutovaného klonu.
7. Opakovanie procesu od bodu 2., ak došlo k výraznému zlepšeniu priemernej kvality populácie.
8. Určenie vzájomnej podobnosti (afinity) všetkých buniek rozšírenej populácie voči najlepším bunkám.
9. Likvidácia podobných buniek.
10. Náhodný výber $\alpha \cdot N_{pop}$ buniek a doplnenie $(1 - \alpha) \cdot N_{pop}$ buniek.
11. Opakovanie procesu od bodu 2.

Pre ohodnotenie populácie buniek (normalizovaná fitness) platí pre prípad minimalizácie vzťah:

$$f_n(x) = \frac{\max f(x) - f(x)}{\max f(x) - \min f(x)} \quad (1)$$

kde $f(x)$ je funkčné ohodnotenie bunky x (optimalizovaná funkcia). Zároveň pre mutáciu platí vzťah:

$$x^{t+1} = x^t + \frac{N}{\beta} e^{-f_n(x^t)} \quad (2)$$

kde x^t je rodičovská bunka, x^{t+1} je bunka po mutácii a N je náhodné číslo s normálnym rozdelením $\frac{N(\mu, \sigma)}{\beta} = N\left(0, \frac{1}{\beta}\right)$ a $\beta > 0$ je konštanta prispôsobenia rozptylu mutácie (na základe veľkosti zložiek vektora \mathbf{x}).

3 MODIFIKÁCIA ALGORITMU

Ak budeme skúmať vyššie uvedený postup, môžeme konštatovať, že algoritmus UIS predstavuje kombináciu lokálneho a globálneho prehľadávania. Je zrejmé, že jeho výpočtová náročnosť voči iným evolučným algoritmom je vyššia vo viacnásobnom vyhodnocovaní fitness pre každú generáciu, v rozširovaní veľkosti populácie (kroky 4.–7.) a vo výpočte vzájomných afínit všetkých buniek populácie. Ak chceme čiastočne eliminovať výpočtovú náročnosť, musíme upraviť niektoré kroky algoritmu aj za cenu, že upravený algoritmus stratí časť črt pôvodného algoritmu a objavia sa v ňom črty iných evolučných techník.

Prvým zjednodušením UIS je zlúčenie krokov 4.–6. Zlúčenie krokov spôsobí redukciiu rozširovania populácie buniek. Takýto krok však bude mať za následok, že do algoritmu budú vnesené črty z metód evolučných stratégií, ba dokonca môžeme nájsť určité paralely s horolezeckým algoritmom. Kompenzáciu rozširovania populácie je možné eliminovať zvýšením počtu buniek základnej populácie. Toto zvýšenie však nemusí byť

dramatické (napr. z 30 buniek na 50 pri zachovaní konštantnej veľkosti generovaného klonu 10 buniek).

Krok 7. predstavuje vágne riešenie konvergencie problému, ktoré je založené na pojme „výrazné zlepšenie kvality riešenia“. Je zrejmé, že po určitom počte iteračných krokov sa priemerná kvalita populácie buniek nebude podstatne meniť, aj keď niektoré riešenia môžu byť v blízkosti globálneho extrému. Preto sa javí ako účelnejšie modifikovať vzťahy pre mutáciu bunky.

Ak budeme vo vzťahu (2) skúmať zložku $e^{-f_n(x^t)}$, zistíme, že $f_n(x^t) \in \langle 0, 1 \rangle$, čo predstavuje koeficient pre faktor mutácie $\in \langle e^{-1}, 1 \rangle$, ktorý v súčine s výrazom $\frac{N(0,1)}{\beta}$ môže pre niektoré prípady optimalizácie vzhľadom na parameter β predstavovať príliš veľkú hodnotu mutácie. Pre úpravu sa núka nasledovný vzťah:

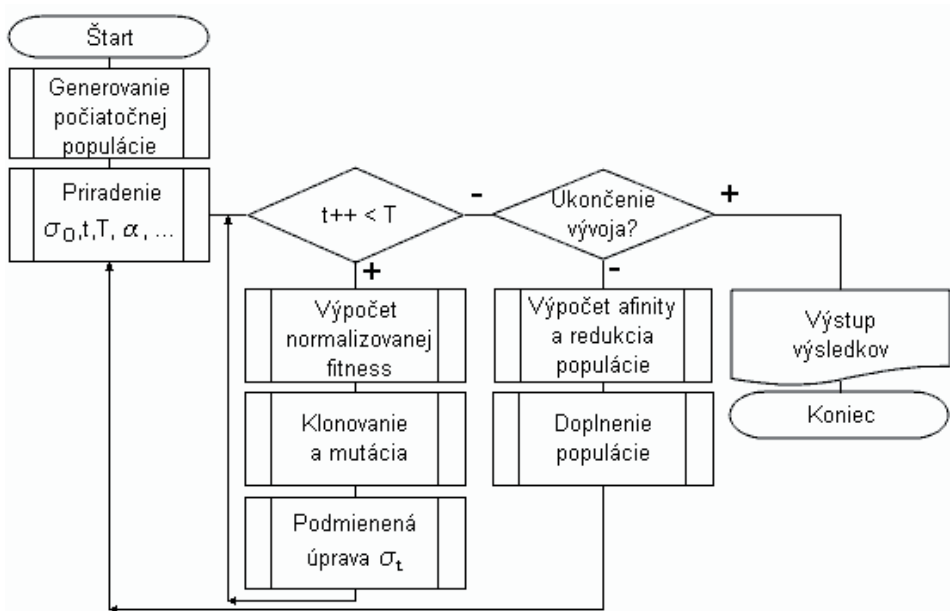
$$x^{t+1} = x^t + N \cdot e^{-f_n(x^t)} \quad (3)$$

kde $N(\mu, \sigma) = N(0, \sigma_t)$ je číslo s normálnym rozdelením. Veľkosť hodnoty σ_t je možné upravovať v závislosti na kvalite populácie napr. podľa pravidla navrhnutého [RECHENBERG 93] pre 1+1 evolučnú stratégiu:

$$\sigma_{t+1} = \begin{cases} 0.82\sigma_t & \text{pre } \kappa < 1/5 \\ 1.22\sigma_t & \text{pre } \kappa > 1/5 \\ \sigma_t & \text{pre } \kappa = 1/5 \end{cases} \quad (4)$$

kde koeficient úspešnosti mutácie κ sa definuje ako podiel úspešne zmutovaných buniek (s lepšou fitness po mutácii) ku všetkým mutovaným bunkám pre každú populáciu. Počiatočnú hodnotu σ_0 je možné navrhnuť na základe hodnôt obmedzení oboru parametrov riešenia optimalizačného problému. Vzhľadom na možné rádivé rozdiely zložiek vektora riešenia x , je možné pre každú zložku vektora riešenia realizovať mutáciu s iným parametrom σ . Pretože nevzniká rozšírená populácia, dochádza aj pri výpočte afinity k redukcii výpočtovej náročnosti. Rovnako aj pravidlo 1/5 zavedené Rechenbergom je možné modifikovať tak, aby odrážalo počet hľadaných extrémov.

Väčšina optimalizačných postupov sa snaží riešiť svoju konvergenciu zabezpečením monotónnosti vývoja. Ten je založený na elitizme, kedy najlepšie riešenie je ponechané v nasledujúcej populácii. Preto aj krok 10. algoritmu musí túto skutočnosť zohľadňovať. Potom koeficient α musí nadobúdať minimálne takú hodnotu, ktorá reprezentuje počet hľadaných globálnych extrémov. Do novej populácie sa potom prednostne zaradia najlepšie riešenia, ktoré sa doplnia náhodným výberom zo zvyšnej populácie a náhodným generovaním nových riešení. Je však treba poznamenať, že príliš veľká hodnota koeficientu α zvyšuje pravdepodobnosť uviaznutia riešenia v lokálnom extréme obzvlášť pri riešení vysoko modálnych problémov. Upravený algoritmus modifikovaného umelého imunitného systému (Modified Artificial Immune System – MAIS) je možné znázorniť nasledovne:



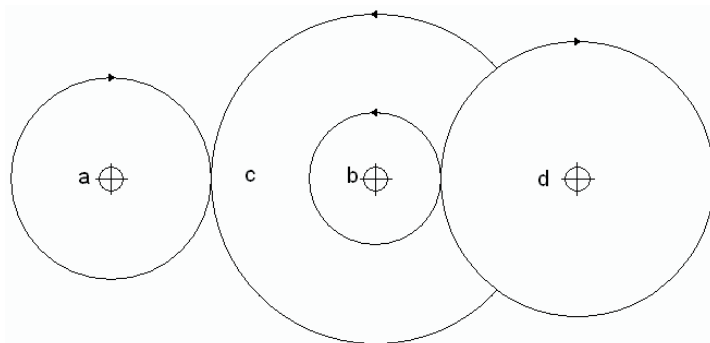
Obr. 2 Modifikovaný algoritmus MAIS

Takto upravený algoritmus bol úspešne overovaný na množine testovacích funkcií [ŠIPOŠ 08].

4 OPTIMALIZÁCIA CELOČÍSELNÝCH A DISKRÉTNÝCH PARAMETROV

Optimalizácia celočíselných parametrov je charakteristická tým, že zložky vektora riešenia \mathbf{x} môžu nadobúdať len celočíselné hodnoty, kým účelová funkcia $f(\mathbf{x})$ predstavuje zobrazenie $f: \mathbf{x} \rightarrow R$. Mutácia vektora \mathbf{x} je realizovaná podľa vzťahu (3), ktorý generuje zložky reálneho charakteru. Existujú dva spôsoby riešenia problému. Buď sa použije upravený algoritmus mutácie celočíselných parametrov alebo sa realizuje len vhodná transformácia reálnych parametrov na celočíselné. Ukazuje sa, že nie je potrebné upravovať proces mutácie celočíselných zložiek vektora \mathbf{x} , ale stačí realizovať príslušnú transformáciu len pri výpočte účelovej funkcie $f(\mathbf{x})$. Vlastný proces evolúcie sa teda realizuje s reálnymi zložkami. To má vplyv na väčšiu robustnosť algoritmu [ZELINKA 02]. Postup pri optimalizácii diskretných parametrov je podobný. Množine diskretných hodnôt $D = \{d_1, \dots, d_i, \dots, d_k\}$ sa priradí množina celočíselných hodnôt $I = \{1, \dots, i, \dots, k\}$ charakterizujúca poradie diskretnéj hodnoty v množine D . Vlastná evolúcia sa realizuje analogicky ako pre celočíselné parametre, t.j. pri evolúcii sa použijú reálne zložky, ktoré sa transformujú pomocou množiny I na skutočné parametre množiny D .

Ako ilustráciu úspešnej aplikovateľnosti postupu je možné uviesť príklad optimalizácie ozubeného prevodu podľa Obr. 3:



Obr. 3 Ozubený prevod

Návrh pomeru prevodu je definovaný pomocou pomeru uhlovej rýchlosti ω_a osi riadiaceho kolesa **a** k uhlovej rýchlosti ω_d osi riadeného kolesa **d**:

$$i_{tot} = \frac{\omega_a}{\omega_d} = \frac{z_a \cdot z_b}{z_c \cdot z_d} \quad (5)$$

kde z_i predstavuje počet zubov príslušného kolesa.

Požaduje sa taký počet zubov $z_i \in \langle 12, 60 \rangle$, aby sa dosiahol prevod $i_{sug} = \frac{1}{6.931}$.

Na základe uvedených podmienok je možné definovať účelovú funkciu nasledovne:

$$f(x) = (i_{sug} - i_{tot})^2 = \left(\frac{1}{6.931} - \frac{x_1 \cdot x_2}{x_3 \cdot x_4} \right)^2 \quad (6)$$

s obmedzeniami $12 \leq x_i \leq 60$ pre

Účelová funkcia (6) nie je natoľko komplikovaná, aby sa nedalo „hrubou silou“ zistiť optimálne riešenie. Treba však konštatovať, že funkcia je vysoko modálna a ak sa má dosiahnuť presnosť návrhu vyššia ako 10^{-8} , poskytuje 57 lokálnych extrémov. Návrh ozubeného prevodu pomocou MAIS však spoľahlivo dosahoval globálny extrém $2,7009 \cdot 10^{-12}$ už pri $N_{pop} = 15$ bunkách, veľkosti klonu 15, $T = 25$, $\alpha = 20\%$ a afinite 1. Celkový počet potrebných výpočtov funkčnej hodnoty bol menší ako 33 750.

Tab. 1 Optimálne riešenia získané inými autormi

Položka	Optimálne riešenia				Typ parametra
	[Zhang a Wang 93]	[Lin a iní 95]	[Lampinen a Zelinka 99]	Šipoš MAIS	
$x_1 (z_a)$	30	19	16	19	celočíselný
$x_2 (z_c)$	15	16	19	16	celočíselný
$x_3 (z_b)$	52	49	43	43	celočíselný
$x_4 (z_d)$	60	43	49	49	celočíselný
f(x)	$2,36 \cdot 10^{-9}$	$2,7 \cdot 10^{-12}$	$2,7 \cdot 10^{-12}$	$2,7009 \cdot 10^{-12}$	

Pre ilustráciu je možné uviesť spôsob deklarácie účelovej funkcie.

```
struct imun //Imunitná štruktúra = vektor riešenia +
{
  float x1; //1. zložka vektora
  float x2; //2. zložka vektora
  float x3; //3. zložka vektora
  float x4; //4. zložka vektora
  float f; //Funkčná hodnota
  float fn; //Normalizovaná fitness
};
//...
float FUN (imun C)
{
  float r;
  r = 1.0/6.931-float(int(C.x1)*int(C.x2))/float(int(C.x3)*int(C.x4));
  r *= r;
  return r;
}
```

5 ZÁVER

Predložená modifikovaná metóda MAIS poskytuje jednoduchý a účinný nástroj na riešenie optimalizácie vysoko multimodálnych problémov. Jej výhodnosť sa prejaví najmä pri optimalizácii systémov s dynamicky sa meniacimi parametrami. Pre realizáciu generátora pseudonáhodných čísel je možné použiť algoritmus uvádzaný napr. v [KVASNIČKA 00]. Algoritmus MAIS je možné použiť aj pre optimalizáciu celočíselných a diskretných parametrov. V tomto prípade treba limitovať aj dolnú hranicu hodnoty parametra mutácie σ_t .

LITERATÚRA

- LIN, SHUI-SHUN, ZHANG, CHUN and WANG, HSU-PIN.: 1995. *On mixed-discrete nonlinear optimization problems: A comparative study*. Engineering Optimization, 24(2), 287–300 s, 1995, ISSN 0305-215X
- L.N. di CASTRO, TIMMIS, J.: 2002. *An Artificial Immune Network for Multimodal Function Optimization*, In.: Congress on Evolutionary Computation CEC 2002, IEEE press, 2002, s. 699–704
- KVASNIČKA, V., POSPÍCHAL, J., TIŇO, P.: 2000. *Evolučné algoritmy*. STU Bratislava, 2000, ISBN 80-227-1377-5
- LAMPINEN, J., ZELINKA, I.: 1999. *New ideas in Optimization – Mechanical Engineering Design Optimization by Differential Evolution*. Volume 1. London: McGraw-Hill, 1999. 20 s ISBN 007-709508-5
- RECHENBERG, I.: 1993. *Evolutionsstrategie: Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution*. Fromman – Holzboog, Stuttgart, 1973, 1993 2. er.

- ŠIPOŠ, L.: 2008. *Optimalizácia multimodálnych funkcií pomocou umelého imunitného systému s modifikáciou (MAIS)*. In.: Nové smery v spracovaní signálov IX. Tatranské Zruby, 28.–30. 5. 2008. AOS gen. M. R. Štefánika v Liptovskom Mikuláši, 2008, Zborník abstraktov: s. 29, ISBN 978-80-8084-345, CD-ROM: ISBN 978-808040-344-7
- ZELINKA, I.: 2002. *Umělá inteligence v problémech globální optimalizace*. Praha: Nakladatelství BEN – technická literatura, 2002, 189 s. ISBN 80-7300-069-5
- ZHANG, CHUN and WANG, HSU–PIN.: 1993. *Mixed– discrete nonlinear optimization with simulated annealing*. Engineering Optimization, 21(4), 227–291 s, 1993, ISSN 0305-215X

Príspevok vznikol v rámci riešenia grantovej úlohy VEGA: 1/0637/08 Aplikácia biometrických senzorov pri analýze povrchu dreva.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ľudovít Šipoš, CSc.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky FEVT

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: sip@vsld.tuzvo.sk

URČENIE RADIÁLNEJ TUHOSŤI PNEUMATÍK

DETERMINING OF RADIAL STIFFNESS OF THE TYRES

Marián MINÁRIK

ABSTRACT: This paper deals with the radial stiffness calculation of the tyre on the forest wheeled skidder with change of tyre pressure. At the same time this contribution suggests the connection between ergonomics and tyre pressure. The primary elimination of spurious vibrations is described in the second part. The measured data are evaluated at the end of the contribution.

Key words: radial stiffness of the tyre, tyre pressure

ABSTRAKT: Príspevok sa venuje metodike výpočtu radiálnej tuhosti pneumatiky so zmenou tlaku pneumatík na LKT 81T. Zároveň poukazuje na závislosť medzi ergonómiou a tlakom v pneumatikách. Naznačuje možnosť primárneho odstránenia nežiadúcich vibrácií. V príspevku sú spracované a vyhodnotené namerané údaje.

Kľúčové slová: radiálna tuhosť pneumatiky, tlak pneumatiky

ÚVOD

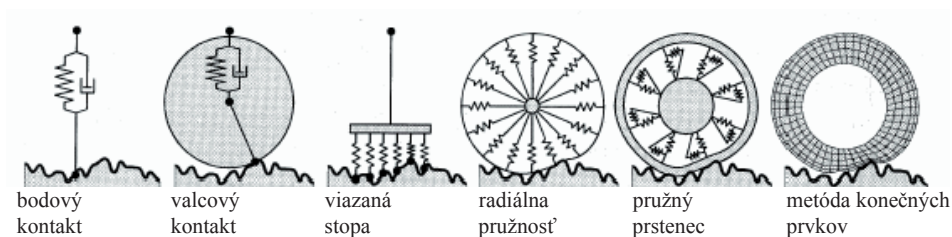
Práca na mobilných energetických prostriedkoch, u nás sa v lesnom hospodárstve vo veľkej miere využíva lesnícky kolesový ťahač (LKT 81T), prináša vedľajší negatívny účinok vo forme otrasov, kmitania a chvenia. Je to zložitý systém, ktorý sa skladá z niekoľkých subsystémov a tie medzi sebou vzájomne pôsobia prostredníctvom odpružených a neodpružených väzieb. Medzi dôležité časti, s ohľadom na prenos vibrácií, patria sedadlo operátora, kabína, rám stroja, hnací agregát, pojazďové ústrojenstvo s kolesami. Každá z týchto častí v konečnom dôsledku pôsobí na pracovné miesto operátora prostredníctvom mechanického kmitania a chvenia, ako aj skladaním jednotlivých kmitaní navzájom. Nerovnosť terénu má zásadný vplyv na vznik vibrácií a hlavne otrasov. Koleso je člen sústavy, ktorý ako prvý prichádza do styku s povrchom terénu. Kontakt koleso – terén a ich vzájomná interakcia dáva možnosť znižovať vibrácie a otrasy, vlastnosťami a konštrukciou disku a pneumatiky, ktoré sú dané výrobcom, správnu voľbou typu pneumatiky pre dané pracovné podmienky a z toho predpísané jej optimálne parametre. Keďže pre daný LKT je určený typ pneumatiky, obsluha má možnosť ovplyvňovať správnosť nahustenia pneumatiky pre dané pracovné a terénne podmienky.

1. MATERIÁL A METÓDY

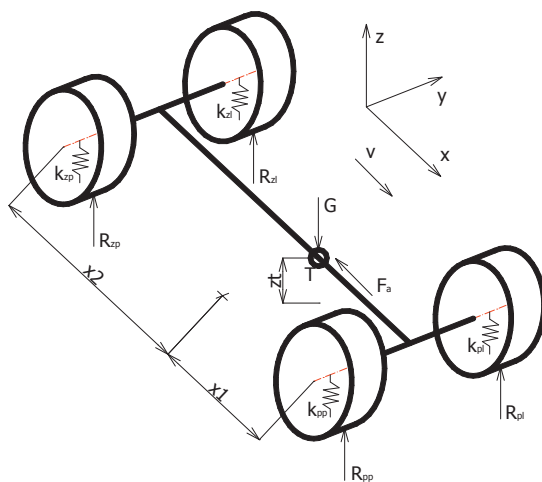
1.1 Pneumatiky

Základnou funkciou pneumatiky je prenášať sily, ktoré poháňajú, brzdia a riadia mobilný energetický prostriedok, zároveň prenášať príslušnú záťaž. Zároveň sa zúčastňujú na tlmení vibrácií a otrasov prostredníctvom pružnosti pneumatiky, ktoré vznikajú nerovnosťami terénu. Sekundárne odstraňovanie vibrácií je ekonomicky náročnejšie a vyžaduje si výrobu častí, ktoré slúžia len na pohltenie vibrácií. Preto stojí za úvahu využiť primárnu metódu, t.j. sústrediť sa na zachytenie nežiadúcich vplyvov priamo v pneumatike.

Na obrázku 1 sú uvedené základné typy modelov pneumatík v kontakte s terénnou nerovnosťou (MIÉGE, 2004). Vytvorenie matematického modelu pneumatiky a jej interakcie s terénom, dáva možnosť popísať vzájomné pôsobenia silových účinkov a porovnať experimentálne získané hodnoty. Daný model je možné popísať pohybovými rovnicami, Lagrangeové rovnice 2. druhu (1), ktoré vyplývajú z modelu (obrázok 2). Pri riešení rovníc je potrebné okrem iných údajov poznať aj radiálnu tuhosť pneumatiky. Jej hodnota je získaná pomocou experimentu, čo je popísané v nasledujúcom texte.



Obrázok 1 Rôzne modely pneumatík



Obrázok 2 Model náprav s pneumatikami LKT 81T

$$\frac{\partial}{\partial t} \cdot \frac{\partial E_k}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial E_k}{\partial q_i} + \frac{\partial E_p}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = 0 \quad (1)$$

E_k kinetická energia celého systému,
 E_p potenciálna energia celého systému,
 D disipačná energia celého systému,
 q_i zovšeobecnená súradnica systému.

1.2 Základné parametre LKT 81T

Pre zostavenie matematického modelu je potrebné poznať vstupné údaje, ktoré vyplývajú z fyzikálnych a geometrických vlastností skúmanej sústavy. V tomto príspevku sa jedná o pneumatiky, ktoré sa používajú na LKT 81T, tieto hodnoty sú stručne zhrnuté v nasledujúcej časti.

Lesnícky kolesový ťahač 81 turbo (obrázok 3) je určený pre úvážkové približovanie dreva. Radlica je použiteľná pri nahŕňaní kmeňov a ich začelovaní. Môže slúžiť tiež na zemné práce menšieho rozsahu.

Základné rozmery ťahača sú: dĺžka 5 700 mm, šírka 2 230 mm, výška 2 780 mm, rozchod kolies 1 800 mm, rázvor kolies 2 400 mm. Celková hmotnosť 7 145 kg, pričom 61,5 % hmotnosti je na prednej náprave a 38,5 % na zadnej náprave.

Spaľovací motor s menovitým výkonom 72 kW a menovitými otáčkami 2 200 min⁻¹. Navijacia sila 70 kN, max. rýchlosť 25 km.h⁻¹, diagonálne pneumatiky s rozmermi 16,9–30 12 PR.

2. VÝSLEDKY

Radiálna deformačná charakteristika pneumatiky je závislosť medzi radiálnou silou pôsobiacou na pneumatiku F_z a maximálnou radiálnou deformáciou Δz . Meria sa na rovnej podložke so zaťažením v osi kola. Smernica dotyčnice k_z = radiálna tuhosť pneumatiky, je definovaná podľa nasledujúceho vzťahu:

$$k_z = \frac{F_{z(125)} - F_{z(75)}}{\Delta z_{(125)} - \Delta z_{(75)}} \quad (2)$$

k_z (N.m⁻¹) radiálna tuhosť pneumatiky,

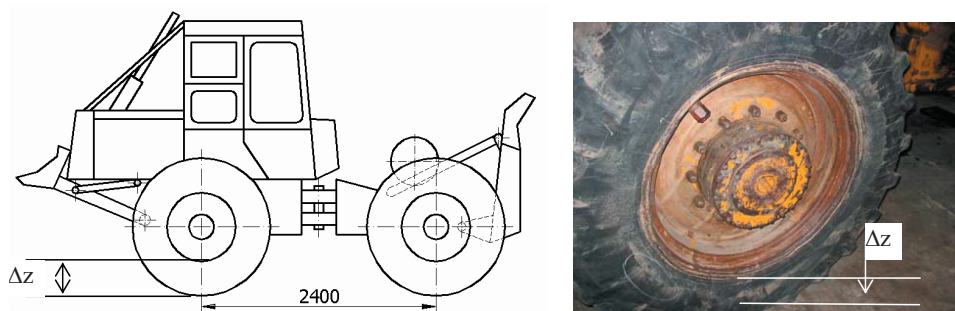
$F_{z(125)}$ (N) radiálna sila odpovedajúca 125 % max. nosnosti pneumatiky,

$F_{z(75)}$ (N) radiálna sila odpovedajúca 75 % max. nosnosti pneumatiky,

$\Delta z_{(125)}$ (m) radiálna deformácia pneumatiky pri zaťažení 125 % max. nosnosti pneumatiky,

$\Delta z_{(75)}$ (m) radiálna deformácia pneumatiky pri zaťažení 75 % max. nosnosti pneumatiky.

Radiálna deformačná charakteristika závisí na konštrukcii pneumatiky, hustení pneumatiky a charakteru deformácie. Úplná deformačná charakteristika sa dosiahne postupným zaťažovaním a odľahčovaním, má tvar hysteréznej slučky. Je rozdielna pre stojacu a odvaľujúcu sa pneumatiku. Jej tvar i plochu slučky ovplyvňuje mnoho faktorov, hlavne rýchlosť jazdy a frekvencia periodického radiálneho zaťažovania, tlak hustenia, tvar podložky.

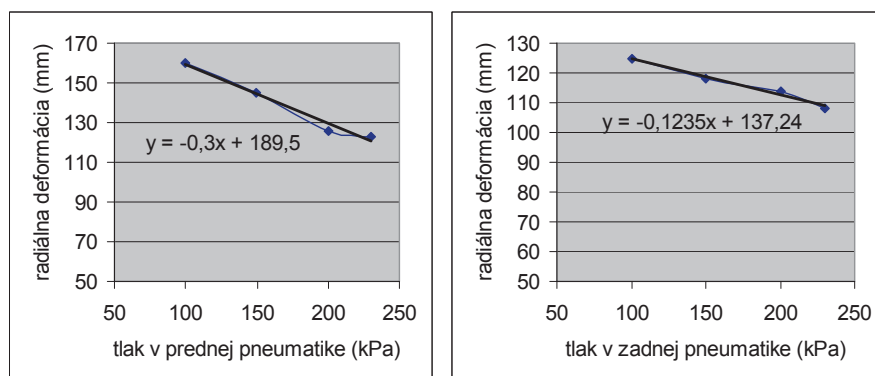


Obrázok 3 Statická deformácia

Tabuľka 1 Namerané hodnoty statickej deformácie pneumatiky

Tlak v prednej pneumatike (kPa)	Namerané deformácie (mm)						Priemerná hodnota (mm)
	100	160	165	165	150	155	
150	140	140	145	150	145	145	
200	120	125	120	130	130	126	
230	120	120	125	125	120	123	
Tlak v zadnej pneumatike (kPa)	Namerané deformácie (mm)						Priemerná hodnota (mm)
	100	125	130	120	120	125	
150	115	110	120	120	120	118	
200	120	110	105	120	110	114	
230	105	105	110	110	105	108	

Príslušné statické deformácie vykazujú znižovanie hodnôt, čo je možné vidieť i pri spracovaní prostredníctvom grafov vid' obrázok 4.

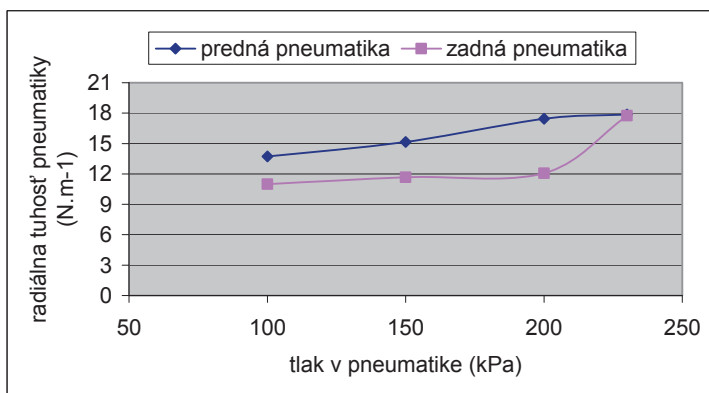


Obrázok 4 Závislosť radiálnej deformácie na zmene tlaku v pneumatikách

Ďalej sú hodnoty z tabuľky 1 spracované s využitím vzťahu (2), pomocou ktorého vypočítame radiálnu tuhosť pneumatiky, pričom je potrebné zohľadniť rozloženie hmotnosti na príslušné nápravy (pneumatiky). Dané hodnoty a výsledky obsahuje tabuľka 2 a grafické zobrazenie radiálnej tuhosti pneumatiky od tlaku a zaťaženia pneumatiky je na obrázku 5. Z obrázku je zrejmé, že radiálna tuhosť pneumatiky narastá so zvyšujúcim sa tlakom v pneumatike. Pribeh má tvar krivky, ktorú by bolo možné preložiť lineárnou regresiou. Avšak, ako už bolo spomenuté úplná deformačná charakteristika pneumatiky má tvar hysteréznej slučky. Príslušný rozdiel kriviek je spôsobený tým, že pre výpočet radiálnej tuhosti pneumatiky boli použité len vstupné parametre tiažovej sily a statickej deformácie.

Tabuľka 2 Radiálna tuhosť pneumatiky v závislosti na tlaku a zaťažení pneumatiky

Tlak v prednej pneumatike (kPa)	Deformácia pneumatiky (mm)	Radiálna tuhosť pneumatiky ($\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$)
100	160	13,73
150	145	15,15
200	126	17,44
230	123	17,86
Tlak v zadnej pneumatike (kPa)	Deformácia pneumatiky (mm)	Radiálna tuhosť pneumatiky ($\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$)
100	125	11,00
150	118	11,66
200	114	12,06
230	108	17,74



Obrázok 5 Deformačná charakteristika pneumatiky

3. ZÁVER

Z dosiahnutých výsledkov je vidieť, že nárast tlaku hustenia pneumatiky spôsobuje nárast tuhosti. Bude možné posúdiť potrebu regulácie tlaku v pneumatikách s ohľadom na

zníženie vibrácií vznikajúcich v interakcii pneumatika – terén. Z toho vyplýva, že zmena prevádzkových vzťahov ovplyvňuje dynamické vlastnosti pneumatiky. Správna hodnota tlaku hustenia pneumatiky ovplyvňuje jej dynamickú tuhosť, trakčné vlastnosti a životnosť. Na základe nameraných a vyhodnotených údajov je možné tieto hodnoty využiť pri následnom zostavení a riešení modelu LKT ako celku pri prekonávaní skúšobnej dráhy, ktorá tvorí model nanoprofilu a mikroprofilu terénnych nerovností vyskytujúcich sa v lesnom poraste. Získané hodnoty umožnia zhodnotiť závažnosť vplyvu kmitania na LKT a následne aj na operátora mobilného prostriedku.

Určenie deformačnej charakteristiky pneumatiky prostredníctvom experimentálneho merania s následným matematickým spracovaním poukazuje na možný prínos výsledkov pre ďalší rozvoj vedy. S využitím matematického modelu pneumatiky, ktorého dôležitou súčasťou je aj deformačná charakteristika pneumatiky, je možné ovplyvňovať parametre pneumatiky. Tie priamo vplyvajú na jazdné vlastnosti, ktorých súčasťou je i prenos (tlmenie) vibrácií na operátora mobilného energetického prostriedku. Zároveň je možné skúmať deformačnú charakteristiku pneumatiky v súvislosti s vibráciami a to s využitím prekážkovej dráhy, ktorá je popísaná v norme (STN ISO 5007), ale platí len pre poľnohospodárske kolesové traktory. Preto zostavenie prekážkovej dráhy, ktorá charakterizuje lesný terén, s možnosťou využitia digitálneho modelu terénu na získanie potrebných údajov, naznačuje ďalšie možnosti teoretického a experimentálneho skúmania príslušnej problematiky.

LITERATÚRA

1. MIÉGE, A. J. P.: Truck tyre rolling resistance under dynamic vertical load. University of Nottingham, Nottingham, 2004, 45 s.
2. MIKLEŠ, M., JANEČEK, A., BIBLJUK, N. I.: 1998, Dynamika lesných strojových systémov a určovanie ich optimálnych parametrov. Vedecké štúdie 11/1998/A, Technická univerzita Zvolen, 75 s.
3. MINÁRIK, M.: 2005, Výskum interakcie lesný stroj, jeho technologické zariadenie a predmet práce. Projekt dizertačnej práce, Zvolen, 24 s.
4. SALES: Passive control of tire vibration. KCF Technologies, USA
5. STRADIOT, J., MICHALÍČEK, M., MUDRIK, J., SLAVKOVSKÝ, J., ZÁHOREC, O., ŽIARAN, S.: 1991, Dynamika strojov. Vydavateľstvo ALFA, Bratislava, 480 s.
6. Firemná literatúra a prospekty firmy BARUM, Česko
7. Firemná literatúra a prospekty firmy ZŤS TEES Martin závod lesné traktory Trstená
8. STN ISO 7096 Stroje na zemné práce. Sedadlo obsluhy – prenášané vibrácie. 1994
9. STN ISO 5007 Poľnohospodárske kolesové traktory. Sedadlo obsluhy. 1998
10. ISO 5008: Poľnohospodárske kolesové traktory a poľné stroje. Meranie celotelových vibrácií na operátorovi

Kontaktná adresa:

Ing. Marián Minárik

Technická univerzita vo Zvolene

FEVT, Katedra mechaniky a strojnictva

Študentská 26, 960 53 Zvolen

minarik@vsld.tuzvo.sk

NÁVRH A REALIZÁCIA BIOMETRICKÉHO SYSTÉMU

PROPOSAL AND REALISATION OF BIOMETRICAL SYSTEM

Elena PIVARČIOVÁ – Jozef ŠURIANSKY

ABSTRAKT: V príspevku sú popísané základné princípy biometrickej identifikácie osôb pomocou odtlačkov prstov a vlastný návrh a realizácia samostatného biometrického identifikačného systému (terminálu) na základe vyrábaného modulu FPC-AM so senzorom odtlačkov prstov.

Kľúčové slová: biometria, biometrický senzor, biometrický systém, odtlačky prstov

ABSTRACT: In this paper there are described basic principles of biometrical identification of person and our proposal and realisation of independent biometrical identification system (terminal). It was built following already produced module FPC-AM with included fingerprints sensor.

Key words: biometrics, biometrical sensor, biometrical system, fingerprints

1 BIOMETRICKÁ IDENTIFIKÁCIA PODĽA ODTLAČKOV PRSTOV

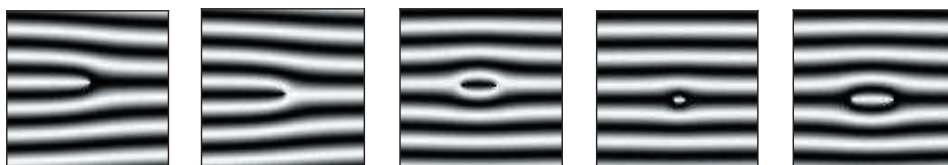
Najrozšírenejší a najlepšie preskúmaný druh biometrickej identifikácie v súčasnosti je založený na porovnávaní odtlačkov prstov. Táto biometrická identifikácia sa začala používať už v 19. storočí v kriminalistike. Platí tu základný princíp, podľa ktorého má každý človek jedinečné odtlačky prstov a zároveň sa charakteristické črty týchto odtlačkov menia v čase len veľmi málo. Tiež je overený fakt, že nie je možné manuálne zmeniť odtlačok prsta bez toho, aby nebola odstránená aj zárodočná vrstva kože.

Vonkajší povrch pokožky na brušku prstov obsahuje drobné, vyvýšené, brázdrovité útvary, ktoré vytvárajú rôzne vzory. Tieto obrazce sú tvorené papilárnymi líniami. Kvôli klasifikácii odtlačkov prstov sa určili tri základné priebehy papilárnych línii v centrálnej oblasti odtlačku prsta. Tieto základné priebehy sa nazývajú *slučka* (loop), *oblúk* (arch) a *vír* (whorl) a sú zobrazené na Obr. 1. Na základe týchto priebehov je možné odtlačok rozdeliť na tri oblasti: *základnú oblasť*, *jadro* a *okrajovú oblasť*. Papilárne línie z týchto troch oblastí sa stretávajú v mieste nazývanom *delta*. Pomocou vyššie spomínaných troch základných priebehov a ich vzájomných kombinácií je potom možné odtlačky klasifikovať do rôznych tried podľa počtu výskytov v odtlačkoch. Klasifikácia odtlačkov do tried umožňuje značne urýchliť proces identifikácie.



Obr. 1 Základné priebehy papilárných línií: slučka, oblúk a vír

Pre verifikáciu odtlačkov prstov sa najčastejšie používajú identifikačné body nazývané *markanty* (minutiae). Tieto body sa nachádzajú v ryhách vzoru odtlačku a tvoria ich papilárne línie. Základné identifikačné body podľa (Dobeš, 2001) sú: *rozvetvenie línie* (fork, bifurcation), *ukončenie línie* (ending ridge), *ostrov* (enclosure), *bod* (dot), *krátka línia* (short ridge) a sú zobrazené na Obr. 2.



a) rozvetvenie línie b) ukončenie línie c) ostrov d) bod e) krátka línia

Obr. 2 Základné identifikačné body

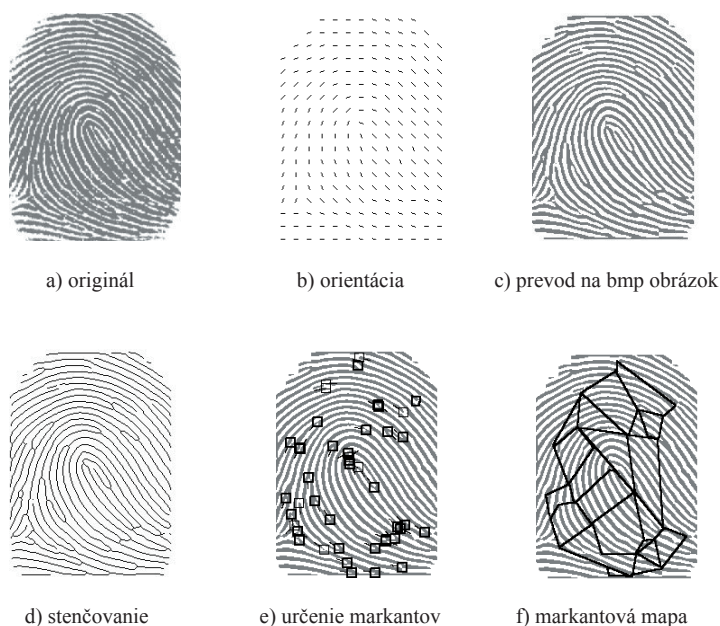
Pre počítačové spracovanie odtlačkov prstov je Americkým úradom pre štandardizáciu doporučené používať iba markanty typu ukončenie línie a rozvetvenie línie. Zároveň pre preukázanie zhody dvoch skúmaných odtlačkov je odporúčané nájsť minimálne 12 markantov, v ktorých sa tieto odtlačky zhodujú.

Problematiku počítačového spracovania odtlačkov je možné rozdeliť:

- snímanie odtlačku prsta a prevod na číslcový formát,
- predspracovanie snímaného obrázku s odtlačkom prsta,
- klasifikácia snímaného odtlačku prsta,
- verifikácia snímaného odtlačku s uloženým referenčným vzorom (etalónom).

Celý proces spracovania odtlačkov prstov je naznačený na Obr. 3.

Tak ako existujú rôzne kategorizácie odtlačkov, tak aj algoritmy pre verifikáciu odtlačkov sú veľmi rôznorodé, pričom závisia od prístupu k porovnávaniu odtlačkov. Jedným zo spôsobov je vyššie spomínané porovnanie na základe vzájomnej polohy viacerých markantov. Medzi najvýznamnejšie práce založené na spomínanom princípe, ktoré zároveň dosahujú vysokú úspešnosť, patrí Hongova metóda popísaná v (Hong, 1998).

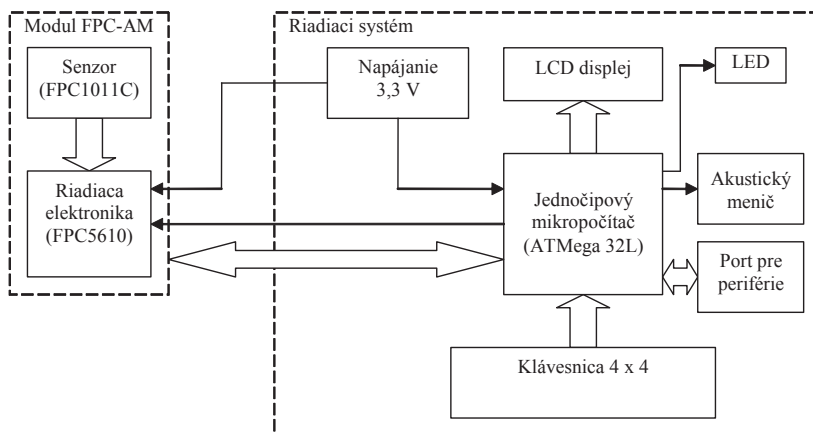


Obr. 3 Proces spracovania odtlačkov prstov

Elektronický biometrický systém založený na rozpoznávaní osôb podľa odtlačkov prstov umožňuje snímať odtlačok prsta osoby a určiť z neho jedinečné znaky. Pomocou týchto znakov dokáže pri porovnávaní túto osobu identifikovať resp. autentifikovať. Pri určovaní jedinečných znakov z obrázku odtlačku prsta sa vytvára referenčný vzor, do ktorého sa zapisujú informácie o týchto znakoch. Aby systém mohol porovnávať tieto jedinečné znaky, musí mať k dispozícii databázu s referenčnými vzormi.

2 KONCEPCIA NAVRHNUTÉHO BIOMETRICKÉHO SYSTÉMU

Navrhnutý systém je autonómny biometrický identifikačný systém, ktorý sa skladá z dvoch častí (Obr. 4). Jedna časť je modul FPC-AM firmy Fingerprint Cards AB a druhú tvorí navrhnutý elektronický nadstavbový systém. Modul FPC-AM je plošný dotykový senzor na snímanie odtlačku prsta prepojený s riadiacou elektronikou. Riadiaca elektronika tohto modulu sa stará o komunikáciu s okolím, komunikáciu s dotykovým senzorom a zároveň poskytuje ďalšie funkcie súvisiace s identifikáciou odtlačku prsta. Modul FPC-AM je navrhnutý ako podsystém určený na vbudovanie do iného systému, čoho dôsledkom je aj to, že s prostredím komunikuje výlučne cez rozhranie UART.



Obr. 4 Bloková schéma celého biometrického systému

2.1 Modul FPC-AM

Modul FPC-AM (Obr. 5) je univerzálny biometrický subsystém s integrovanou pamäťou, určený pre verifikáciu podľa odtlačkov prstov (FPC-AM, 2007). Jeho základné charakteristiky sú uvedené v Tab. 1. Do pamäte tohto modulu sa ukladajú referenčné vzory (etalóny) odtlačkov prstov. Modul FPC-AM sa skladá z dvoch častí. Prvou z nich je plošný dotykový senzor FPC1011C. Úlohou tohto senzora je snímanie odtlačku prsta a prevod snímaného obrázku do číslícovej formy. Druhou časťou modulu je riadiaca elektronika tvorená procesorovou doskou FPC5610.

Tab. 1 Základné charakteristiky modulu FPC-AM

Parameter	Podmienky	Min	Typ	Max	Jednotka
Rozmery (procesorovej dosky)		40 × 23 × 6			mm
Veľkosť pamäte vzorov		188			vzorov
Rozhranie		sériový UART			
Napájacie napätie		3	3,3	3,45	V
Napájací prúd (celkový)	Aktívny stav (výkonný)		100		mA
	Aktívny stav (nevýkonný)		20		mA
	Power save stav		10		mA
	Sleep stav		30		μA

Základné funkcie modulu FPC-AM:

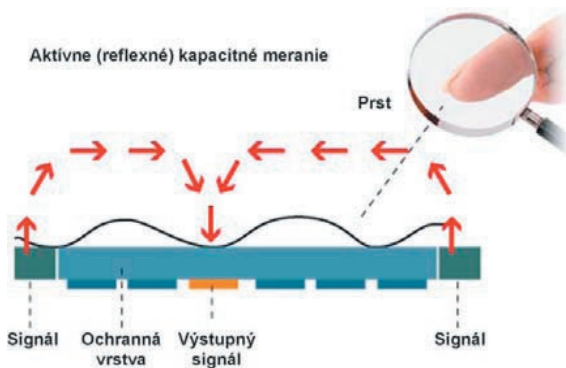
- snímanie odtlačku prsta,
- prevedenie do číslícovej formy,
- spracovanie snímaného odtlačku a výpočet referenčného vzoru (zápis),
- uloženie referenčných vzorov,
- nahratie referenčných zdrojov z počítača do modulu a opačne,
- vzájomné porovnávanie vzorov a určenie zhody,
- komunikácia s prostredím pomocou rozhrania UART.



Obr. 5 Modul FPC-AM

2.1.1 Senzor FPC1011C

Senzor FPC1011C je plošný dotykový senzor odtlačkov prstov postavený na technológii Certus senzor platform (FPC1011C, 2004). Patentovanú technológiu Certus senzor platform vyvinula firma Fingerprint Cards AB a je založená na reflexno-kapacitnej senzorej technológii (Obr. 6). Medzi výhody tejto technológie podľa (Apis, 2007) patrí veľká citlivosť, vysoká odolnosť voči opotrebovaniu a elektrostatickému výboju, autodetekcia prsta a vysoká kvalita snímaných obrázkov, pričom zároveň umožňuje znížiť napájacie napätie pre senzor na 2,5 V. Vďaka reflexno-kapacitnej technológii je aktívna časť senzora pokrytá tenkou chrániacou vrstvou, ktorá zabezpečuje, aby pri dotyku nedošlo k priamemu kontaktu s CMOS obvodmi a zároveň ich chráni pred ESD až do 15 kV. Samotnú aktívnu časť senzora tvorí približne 30 000 kapacitných buniek (bodov).



Obr. 6 Princíp aktívnej (reflexnej) kapacitnej metódy

Senzor FPC1011C komunikuje s vonkajším zariadením pomocou vysokorýchlostného rozhrania SPI. Senzor vystupuje cez SPI rozhranie ako podriadené zariadenie s konfiguráciou CPHA = „0“ a CPOL = „0“. Maximálna rýchlosť komunikácie je 4 Mpixel/s ($S_{ck} = 32$ MHz). Obrazové dáta sa po bodoch prenášajú do FIFO registra odkiaľ sú čítané vonkajším zariadením pomocou inštrukcie čítania. Súčasťou senzora je aj A/D prevodník,

ktorý umožňuje 8 bitové rozlíšenie odtieňov šedej v každom bode obrazca. Senzor sa k procesorovej doske pripája pomocou 8 vodičového páskového kábla. Funkcia jednotlivých vodičov je uvedená v Tab. 2. Základné parametre senzora FPC1011C sú uvedené v Tab. 3.

Tab. 2 Význam výstupných pinov senzora FPC1011C

Pin	Názov signálu	Popis
1	SO	SPI data output
2	VDD	Power supply, 2.5 V or 3.3 V
3	RST_N	Reset, active low
4	SCK	SPI clock input
5	GND	Signal ground
6	SI	SPI data input
7	CS_N	Chip select, active low
8	GND	Signal ground

Tab. 3 Základné parametre senzora FPC1011C

Parameter	Min	Typ	Max	Jednotka
Napájacie napätie	2,35	2,5 / 3,3	3,45	V
Celkový napájací prúd (V _{dd} = 3,3V @ 4 MHz)		13	18	mA
Pracovná teplota	-20		60	°C
Rozmer aktívnej časti senzora	10,64 × 14,00			mm
Plošné rozlíšenie	363			dpi
Rozlíšenie odtieňov šedej v jednotlivých bodoch	8			bit
Celkový príkon		50	60	mW
ESD ochrana	> ±15			kV
Minimálny počet cyklov snímania prsta	> 1 000 000			cyklov

2.1.2 Procesorová doska FPC5610

Riadiaca elektronika modulu, ktorú predstavuje procesorová doska FPC5610, sa stará o komunikáciu so senzorom a vonkajším zariadením a o súvisiace biometrické funkcie. Základnými prvkami procesorovej dosky je jednočipový mikropočítač ATMEGA128L a procesor FPC2000Q.

Jednočipový mikropočítač ATMEGA128L slúži na komunikáciu s externým zariadením. Na pripojenie k externému zariadeniu sú na procesorovej doske dva 20 pinové dvojradové konektory. Presný popis jednotlivých pinov na týchto konektoroch je uvedený v Tab. 4. Konektor J2 sa nachádza pod konektorom pre pripojenie senzora FPC1011C pomocou páskového kábla J1. Číslovanie jednotlivých pinov na konektoroch J2 a J3 sa začína vľavo hore, pokračuje v jednom rade smerom dolu, pričom zdola sa pokračuje smerom nahor a končí sa vpravo hore pri pohľade z dola na procesorovú dosku.

Procesor FPC2000Q je špeciálny ASIC RISC procesor s vnútorným taktom 40 MHz, určený pre vykonávanie všetkých náročných výpočtov a algoritmov súvisiacich s biometrickými funkciami modulu (FPC2000, 2004). Je výhradne určený pre spoluprácu so senzorom FPC1011 a pre vonkajšie zariadenie sa javí ako podriadený procesor pre biometrické výpočty. Aj napriek relatívne nízkemu vnútornému taktu tohto procesora je v porovnaní s bežným Intel Pentium procesorom s vnútorným taktom jadra 800 MHz pri procese verifikácie rýchlejší.

Tab. 4 Popis výstupných pinov na konektoroch modulu FPC-AM

Pin	Názov signálu	Popis	Pin	Názov signálu	Popis
J3:1	GND	Signal ground	J2:1	GND	Signal ground
J3:2	GND	Signal ground	J2:2	DATA_7	Future functionality
J3:3	GND	Signal ground	J2:3	DATA_6	Future functionality
J3:4	GPIO_3	Future functionality	J2:4	DATA_5	Future functionality
J3:5	GPIO_2	Future functionality	J2:5	DATA_4	Future functionality
J3:6	GPIO_1	Future functionality	J2:6	DATA_3	Future functionality
J3:7	GPIO_0	Future functionality	J2:7	DATA_2	Future functionality
J3:8	RD_N	Future functionality	J2:8	DATA_1	Future functionality
J3:9	WR_N	Future functionality	J2:9	DATA_0	Future functionality
J3:10	ALE	Future functionality	J2:10	GND	Signal ground
J3:11	RST_N	Reset, active low	J2:11	GND	Signal ground
J3:12	SPI_MISO	Future functionality	J2:12	S_GND	Sensor ground
J3:13	SPI_MOSI	Future functionality	J2:13	S_CS_N	Chip select, active low
J3:14	SPI_SCK	Future functionality	J2:14	S_SI	SPI data input
J3:15	SPI_SS_N	Future functionality	J2:15	S_GND	Sensor ground
J3:16	INT_N	Interrupt, falling edge	J2:16	S_SCK	SPI clock input
J3:17	UART_TX	Serial data output	J2:17	S_RST_N	Sensor reset, active low
J3:18	UART_RX	Serial data input	J2:18	S_VDD	Sensor power supply
J3:19	VDD	Power supply 3.3 V	J2:19	S_SO	SPI data output
J3:20	VDD	Power supply 3.3 V	J2:20	GND	Signal ground

2.1.3 Implementované algoritmy v module FPC-AM

V module FPC-AM je implementovaný identifikačný algoritmus, ktorého vstupom je obrázok odtlačku prsta. Algoritmus podľa (FPC4010, 2004) rozpozná, či v pamäti modulu existuje referenčný vzor, ktorému zodpovedá identifikovaný odtlačok. Výstupom tohto algoritmu je potvrdenie alebo vyvrátenie, že existuje zhoda medzi vstupným odtlačkom a niektorým z referenčných vzorov v pamäti modulu. Tento algoritmus je založený na RDC klasifikácii odtlačkov kombinovanej s DAD metódou pre rozpoznávanie charakteristických znakov na odtlačkoch prstov. RDC klasifikácia vstupného odtlačku sa používa výhradne pri identifikácii a slúži na rýchle vyhľadanie všetkých referenčných vzorov v pamäti modulu, ktoré patria do rovnakej triedy ako vstupný odtlačok prsta. Keďže verifikácia odtlačku zaberá istý čas, môžeme pomocou klasifikácie vstupného odtlačku

redukovať počet nutných verifikácií len s referenčnými vzormi z rovnakej triedy, a teda urýchliť celý proces identifikácie. Z toho tiež vyplýva, že pri verifikácii vstupného odtlačku s vopred stanoveným referenčným vzorom je RDC klasifikácia nevyužiteľná, a teda pri tomto procese sa uplatňuje len DAD algoritmus. Funkciou DAD algoritmu je lokalizácia charakteristických oblastí v trojdimenzionálnom zobrazení odtlačku získaného z kapacitného senzora. Tieto charakteristické oblasti sú časti obrazca odtlačku, ktoré obsahujú špecifické informácie o odtlačku. K charakteristickým oblastiam patria okrem iných aj markanty. Prehľad výkonnostných ukazovateľov implementovaných algoritmov je v (FPC4010, 2004).

Hlavný algoritmus identifikácie pozostáva z dvoch krokov. Prvý krok sa nazýva zápis (Enrollment). V tomto kroku sa z obrázku odtlačku prsta extrahujú charakteristické oblasti a ich vzájomné geometrické usporiadanie (DAD). Extrahované charakteristické informácie sa zapisujú do pamäte modulu v podobe referenčných vzorov, ktoré sú jedinečné pre jednotlivé odtlačky. Referenčné vzory zároveň obsahujú aj informácie o klasifikácii zapísaných odtlačkov. Snímaný obrázok odtlačku prsta má veľkosť 30 400 bajtov, čo je relatívne veľa v porovnaní s veľkosťou referenčného vzoru, ktorý vznikne po zapísaní a má len 451 bajtov. Druhý krok je samotné porovnávanie resp. identifikácia, pričom sa porovnávajú referenčné vzory v pamäti modulu so zosnímanými odtlačkami. Porovnávanie spočíva v tom, že na identifikovanom odtlačku sa vyhľadávajú charakteristické oblasti a ich vzájomné geometrické usporiadanie získané z referenčného vzoru, s ktorým sa odtlačok porovnáva.

2.1.4 Manažment spotreby a komunikácia modulu FPC-AM

Modul FPC-AM má implementovaný manažment pre riadenie spotreby elektrickej energie. Tento manažment definuje tri stavy, v ktorých sa môže modul nachádzať. Riadenie spotreby pomocou tohto manažmentu sa realizuje pomocou príkazov z externého zariadenia cez rozhranie UART (až na výnimku prebudenia modulu zo Sleep stavu). Prvý stav je *Aktívny*, v ktorom sú všetky časti modulu napájané. V tomto stave sú všetky funkcie modulu okamžite prístupné, avšak za cenu vysokej spotreby elektrickej energie. Druhý stav je *Power save*. Pri aktivácii tohto stavu sa niektoré časti modulu odpájajú od napájacieho napätia, čím sa zníži celková spotreba na polovicu. V tomto stave sú však nedostupné funkcie pre snímanie odtlačku prsta. Posledný stav je *Sleep*, v ktorom je celý modul takmer odpojený od napájania, pričom nie sú dostupné žiadne funkcie modulu okrem opätovného prebudenia modulu z tohto stavu. V tomto stave má modul veľmi nízku spotrebu elektrickej energie, avšak prebudenie je možné realizovať len hardvérovo pomocou špeciálneho impulzu privedeného na vstupný pin INT, ktorý sa nachádza na module FPC-AM.

Pre komunikáciu externého zariadenia s modulom FPC-AM je v module implementované rozhranie UART a zároveň sú definované príkazy pre toto rozhranie, ktoré umožňujú konfiguráciu modulu a využívanie základných biometrických funkcií.

Softvérová konfigurácia UART rozhrania:

- komunikačná rýchlosť je nastaviteľná v rozsahu 9 600 až 115 200 baudov, pričom prednastavená hodnota je 9 600 baudov,

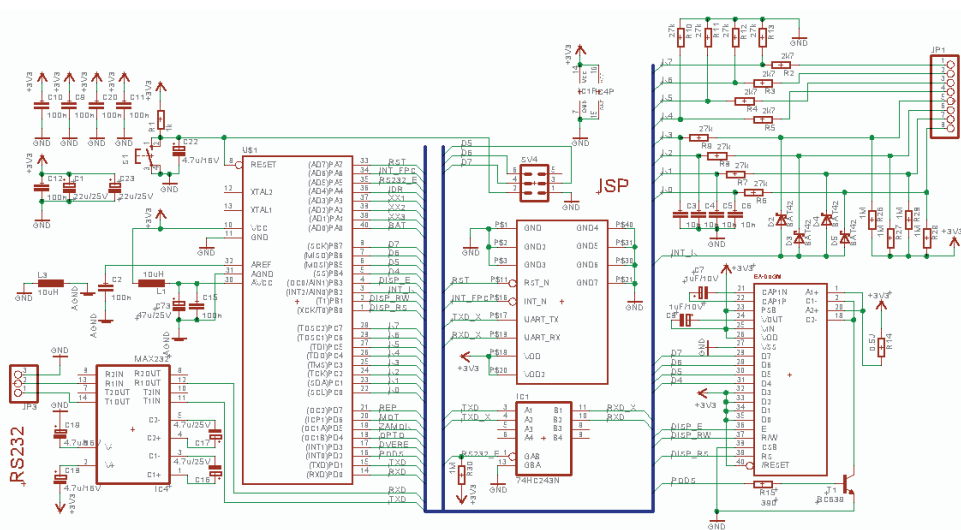
- formát komunikačného protokolu je 8 dátových bitov, jeden stop bit, kontrola na nepárnu paritu a postupnosť bitov taká, že prvý bit je najnižší,
- pri posielaní dát sa využíva aj 4 bajtový CRC kód.

Príkazy implementované v module FPC-AM sa delia do tried:

- biometrické príkazy,
- príkazy pre prenos obrázku odtlačku prsta,
- príkazy pre prácu s referenčnými vzormi,
- príkazy pre konfiguráciu rozpoznávacieho algoritmu,
- príkazy pre správu firmvéru modulu,
- príkazy určené pre konfiguráciu a testovanie UART rozhrania,
- príkazy pre riadenie manažmentu spotreby elektrickej energie,
- príkaz pre zastavenie aktuálne vykonávaného biometrického procesu,
- odpovede modulu.

2.2 Riadiaci systém pre modul FPC-AM

Riadiaci systém spolu s modulom FPC-AM je autonómny biometrický identifikačný systém, pričom jediná závislosť tohto systému je na elektrickom napájaní, ktoré môže byť v rozsahu 5–16 V. Bloková schéma riadiaceho systému je na Obr. 7. Užívateľské rozhranie tvoria dvojriadkový LCD displej, klávesnica 4×4 a senzor odtlačkov prstov. Tento riadiaci systém je po aktualizácii softvéru možné rozšíriť o ďalšie zariadenia, ako napríklad čítačka kariet alebo klávesnica pre zadanie PIN čísla. Usporiadanie a architektúra hardvérových súčastí riadiaceho systému umožňuje rôznorodé využitie s minimálnym zásahom do hardvérových súčastí, pričom hlavná špecifikácia a poskytované funkcie závisia v maximálnej miere od softvéru.



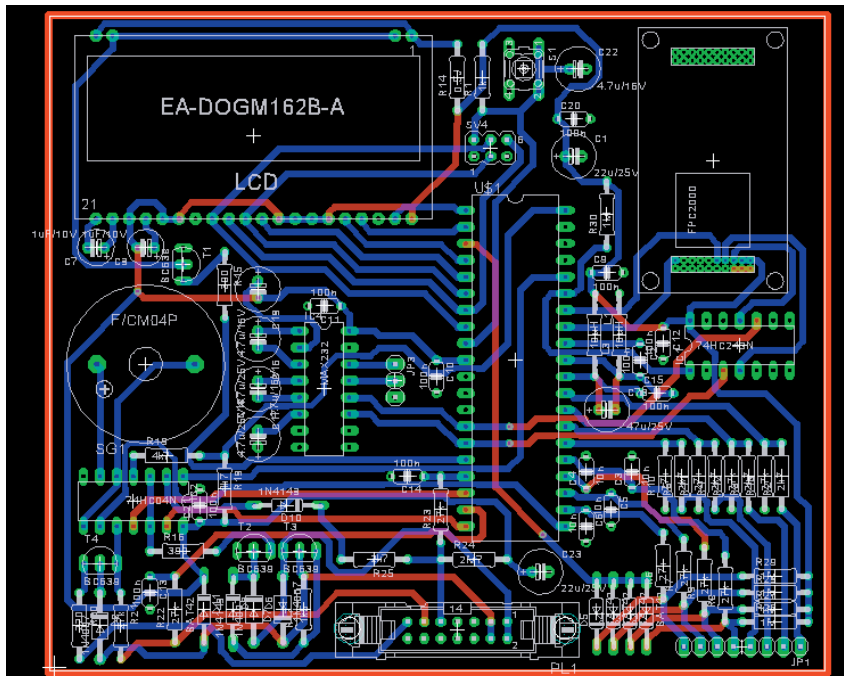
Obr. 7 Zapojenie riadiaceho systému pre biometrický senzor

Schéma zapojenia riadiaceho systému pre biometrický senzor predstavuje procesorový systém, ktorého jadrom je jednočipový mikropočítač ATMEGA32L (AVR Microcontroller, 2006). Spojenie s modulom FPC-AM je realizované sériovým rozhraním signálmi RXD a TXD. Súčasťou systému je zobrazovací systém a elektronické prvky umožňujúce pripojiť maticovú klávesnicu 4×4. Komunikácia s LCD displejom je implementovaná na základe príkazov pre 4 bitové paralelné rozhranie podľa technickej dokumentácie k tomuto displeju. Pripojenie externého systému je zabezpečované špecializovanou zbernicou pripojenou na konektor JP1. Časový multiplex sériovej zbernice v prípade komunikácie s nadradeným počítačovým systémom je zabezpečovaný obvodom 74HC243. Pri návrhu systému bol dôraz kladený na minimalizáciu prúdového odberu z dôvodu požiadavky napájania z elektrochemického zdroja. Toto bolo zabezpečené vhodnou konfiguráciou odberu niektorých častí riadiaceho systému vrátane modulu FPC-AM. Zároveň táto požiadavka bola zohľadnená aj pri vývoji softvéru pre riadiaci systém. Praktickým meraním bolo zistené, že v prototypu biometrického systému bola dosiahnutá minimálna hranica odberu 8 mA.

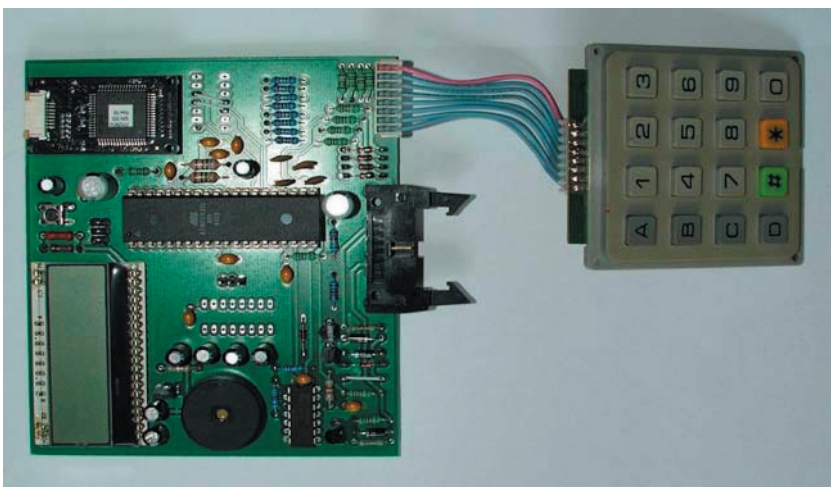
Softvér pre riadiaci systém vychádza zo základných funkcií biometrického systému, pričom jeho základnými úlohami sú komunikácia s modulom FPC-AM, komunikácia s LCD displejom, obsluha klávesnice, riadenie komunikácie cez UART a obsluha špecializovanej zbernice externého pripojenia.

Pre komunikáciu s modulom FPC-AM je použité vstavané rozhranie UART v mikropočítači. Softvér obsahuje obsluhu tohto rozhrania spolu s implementovanými príkazmi pre modul FPC-AM.

Vlastná konštrukcia systému bola realizovaná na doske plošného spoja (Obr. 8).



Obr. 8 Plošný spoj riadiaceho systému pre biometrický senzor



Obr. 9 Zostava biometrického systému

ZÁVER

Identifikácia osôb podľa odtlačkov prstov je jedna z najčastejšie používaných biometrických metód nielen v kriminalistike, ale aj v bežnom živote, napr. jej implementácia v prístupových a dochádzkových systémoch na zistenie identity alebo overenie zadanej identity osôb s cieľom zamedzenia neautorizovaného prístupu do objektov, implementácia v ďalších technológiách s cieľom zamedzenia nežiadúceho používania notebookov, USB kľúčov, mobilných telefónov, pracovných staníc, počítačových sietí, prihlásenia do aplikácií, transakčná bezpečnosť a pod.

Naším cieľom bolo navrhnúť a realizovať biometrický identifikačný systém s využitím univerzálneho mikropočítača, ktorý by umožňoval identifikáciu osôb podľa odtlačkov prstov. Pri návrhu tohto systému bol kladený dôraz na to, aby bol samostatne funkčný bez ďalších podporných periférií, maximálne flexibilný a zároveň jednoduchý. Jednou z požiadaviek pri návrhu bola aj minimalizácia spotreby tohto systému, ktorá bola realizovaná v návrhu terminálu spôsobom konfigurácie odberu niektorých častí terminálu vrátane modulu FPC-AM. Zároveň táto požiadavka bola zohľadnená aj pri vývoji softvéru pre terminál.

LITERATÚRA

- APIS spol s r. o. 2007. *Princípy biometrie* [on-line]. Dokument vo formáte HTML. Dostupné na internete: <<http://www.biometria.sk/principy-biometrie.html>> (1. 5. 2007)
- KHAN, I. 2006. *Vein Pattern Recognition: Biometrics Underneath the Skin* [on-line]. Dokument vo formáte HTML. Dostupné na internete: <<http://www.findbiometrics.com/article/320>> (1. 5. 2007)

- AVR Microcontroler. 2006. *ATmega32L* [on-line]. Dostupné na internete: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2503.pdf> (1. 5. 2007)
- DOBEŠ, M. 2001. *Rozpoznávání obrazu se zaměřením na identifikaci osob dle otisku prstu*. Dizertačná práce, VUT v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Brno, 2001. ISBN 80-214-1820-6
- FPC-AM. 2007. *Area Sensor Module* [on-line]. Dostupné na internete: <http://www.fingerprints.com/Media/customer_2/download/fpc-am_product-sheet_c.pdf> (1. 5. 2007)
- FPC1011C. 2004. *Fingerprint Sensor* [on-line]. Dostupné na internete: <http://www.fingerprints.com/Media/customer_2/download/fpc1011crev2004a.pdf> (1. 5. 2007)
- FPC2000. 2004. *Fingerprint processor* [on-line]. Dostupné na internete: <http://www.fingerprints.com/Media/customer_2/download/fpc2000rev2004a.pdf> (1. 5. 2007)
- FPC4010. 2004. *Fingerprint algorithm* [on-line]. Dostupné na internete: <http://www.fingerprints.com/Media/customer_2/download/fpc4010rev2004a.pdf> (1. 5. 2007)
- HONG, L. 1998. *Automatic personal identification using fingerprints*. PhD thesis. Michigan State University, East Lansing, 1998. 227 s.
- PAKŠI, I. 2007. *Aplikácia biometrických sensorov*. Diplomová práca. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen 2007. 49 s.

Adresa autorov:

Mgr. Elena Pivarčiová, PhD., prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

Masarykova 24, 960 53 Zvolen

VEDECKÉ ČLÁNKY

OPTIMÁLNA REGULÁCIA RÝCHLOSTI A POLOHY MECHATRONICKÉHO SYSTÉMU

OPTIMAL SPEED AND POSITION REGULATION OF MECHATRONIC SYSTEM

Ľubomír NAŠČÁK

ABSTRACT: One of the most important quality parameter at the realization of the position mechatronic system is maximum overshooting. In the article are methods of maximum overshooting decreasing by controller and correcting element described. Theoretical estimated parameters of the controller and correcting element where tested on real model of position mechatronic system with inertial charge actuating by DC motor.

Key words: controller, correcting element, control schema, position

ABSTRAKT: Jedným z najdôležitejších parametrov kvality pri realizácii polohových mechatronických systémov je maximálne preregulovanie. V článku sú uvedené metódy zmenšovania maximálneho preregulovania regulátorom a pomocou korekčného člena. Teoreticky vypočítané parametre regulátora a korekčného člena, sme overili na reálnom modeli polohového mechatronického systému so zotrvačnou záťažou poháňanou jednosmerným motorom.

Kľúčové slová: regulátor, korekčný člen, regulačný obvod, poloha

1 ÚVOD

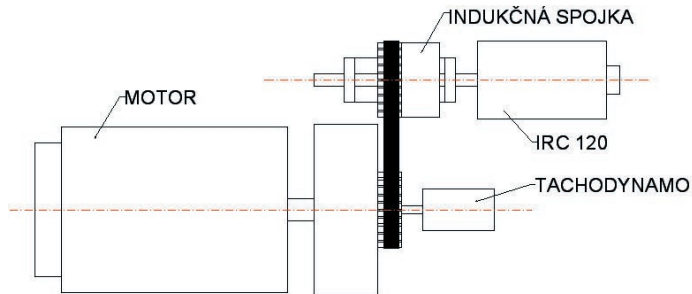
Polohový servosystém vznikne z reverzačného rýchlostného servosystému zaradením polohovej slučky s meracím členom polohy a s ústredným členom regulátora polohy. Regulovaná veličina systému je uhlová alebo lineárna poloha. Polohové servosystémy sa vyskytujú v praxi veľmi často. Vyskytujú sa tam, kde ide o presné premiestňovanie rôznych mechanických častí ako napr. riadenie polohy nástrojov v obrábacích strojoch, pri polohovaní ramien robotov a pod. V závislosti od veľkosti regulačnej odchýlky, je vhodné v polohovom servosystéme rozlíšiť režim malých, stredných a veľkých premiestnení. Pod malým premiestnením sa rozumie režim, pri ktorom zrýchlenie servosystému nedosiahne ustálenú hodnotu, pri strednom premiestnení je dosiahnutá ustálená hodnota zrýchlenia a pri veľkých premiestneniach sa dosiahne ustálená rýchlosť.

Najpoužívanejšou metódou návrhu regulačnej štruktúry, historicky najstaršia, zostáva aj naďalej klasické spätnoväzobné riadenie s PID regulátorom, a to ako v analógovej,

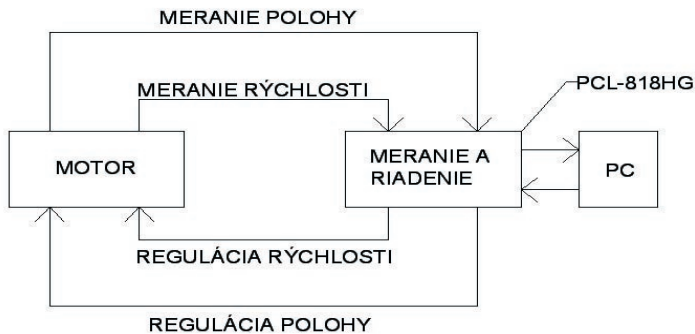
tak aj v diskretnnej verzii regulačného obvodu. Regulátor je navrhovaný metódami lineárnej regulácie, napr. pomocou frekvenčných charakteristík, metódou optimálneho modulu, symetrického optima a pod. Obvyklou štruktúrou je štruktúra s podriadenými regulačnými slučkami, v ktorých je vnútornou slučkou najrýchlejšia – prúdová slučka, nadradenou slučkou potom slučka rýchlostná a v prípade polohovej regulácie ešte ďalšia nadradená slučka polohová.

2 REALIZÁCIA POLOHOVÉHO MECHATRONICKÉHO SYSTÉMU

Realizácia modelu polohového systému je na obr. 1. Laboratórny model je zostavený z jednosmerného motora s permanentným magnetom typu **DM 86B70**. Skutočná uhlová rýchlosť je snímaná pomocou tachodynamu, a prevádzaná na digitálnu hodnotu 12 bitovým analógovo-číslicovým prevodníkom, ktorý je súčasťou kombinovanej vstupno-výstupnej karty PCL-818HG, súčasťou karty je aj číslicovo-analógový prevodník na riadenie otáčok motora, karta je súčasťou PC. Pri regulácii polohy je v realizovanom modeli použitá indukčná spojka, na jej hriadeli sa nachádza optoelektronický inkrementálny snímač polohy IRC 120. Model mechatronického systému umožňuje vyšetovanie vlastností regulačného obvodu rýchlosti a po zopnutí indukčnej spojky aj reguláciu polohy.



Obr. 1 Konštrukčné usporiadanie modelu mechatronického systému



Obr. 2 Bloková schéma systému

Matematický model jednosmerného motora s konštantným magnetickým poľom, je popísaný pomocou diferenciálnych rovníc, ktoré po Laplaceovej transformácii majú tvar (Sklaický 2000).

$$\begin{aligned} U(s) &= (R + s \cdot L) \cdot I(s) + C_u \cdot \omega(s) \\ C_u \cdot I(s) - M_z(s) &= s \cdot J \cdot \omega(s) \end{aligned} \quad (1)$$

Neznáme konštanty v rovniciach, ktoré popisujú dynamické vlastnosti systému, sme určili experimentálne, na základe známych metód identifikácie parametrov jednosmerného motora.

Tab. 1 Identifikované parametre jednosmerného motora DM 86B70-1

Odpor kotvy	Rm [Ω]	2,1518
Indukčnosť	Lm [mH]	5,175
Napäťová konštanta	Cu	0,1998
Moment zotrvačnosti	J [N.m.s]	0,01262
Záťažový moment	Mz [N.m]	0,101

Po dosadení identifikovaných parametrov a použitím algebry blokových prenosov, v matematickom modeli jednosmerného motora (1) dostaneme prenosovú funkciu jednosmerného motora, ktorá vyjadruje zmenu uhlovej rýchlosti, vzhľadom na zmenu vstupného napätia v tvare:

$$G_{JM}(s) = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{K}{T_e \cdot T_m \cdot s^2 + T_m \cdot s + 1} = \frac{5.67}{0.00145 \cdot s^2 + 0.604 \cdot s + 1} \quad (2)$$

$$K = \frac{1}{C_u} \quad \text{– zosilnenie motora,}$$

$$T_e = \frac{L_m}{R_m} \quad \text{– elektromagnetická konštanta,}$$

$$T_m = \frac{J \cdot R_m}{C_u^2} \quad \text{– elektromechanická konštanta.}$$

Táto prenosová funkcia sa vzťahuje na prípad keď akčná veličina nadobúda hodnoty z intervalu <0,24V>. Akčná veličina vypočítaná riadiacim programom sa ale pohybuje v rozmedzí <0,1> a preto bolo potrebné prepočítať zosilnenie sústavy

$$K = \frac{\omega(\infty)}{\Delta u} = \frac{115}{1} = 115 \quad \text{potom má prenosová funkcia sústavy tvar}$$

$$G_{JM}(s) = \frac{\Omega(s)}{U(s)} = \frac{115}{0,00145 \cdot s^2 + 0,604s + 1} \quad (3)$$

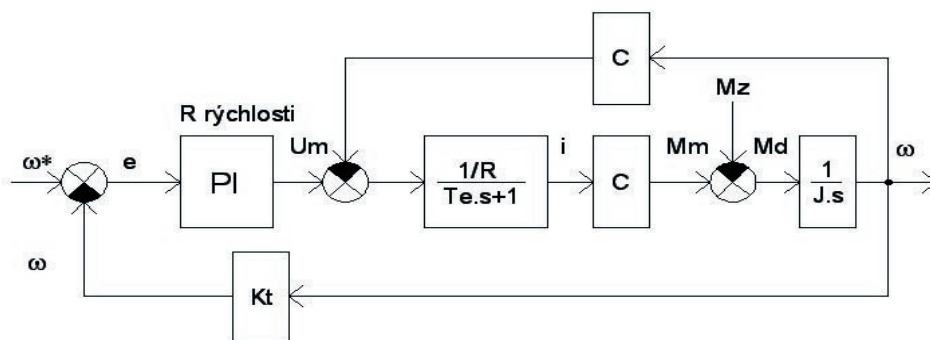
Základom kvalitného regulačného obvodu polohy, je kvalitný regulačný obvod rýchlosti (Skalický 2000). Najčastejšie sa ako regulátor rýchlosti používa PI regulátor, ktorého parametre sme vypočítali metódou optimálneho modulu.

$$R(s) = P \cdot \left(1 + \frac{1}{s \cdot T_i} \right) = 1.085 \cdot \left(1 + \frac{1}{s \cdot 0.603} \right) \quad (4)$$

Vypočítané optimálne parametre PI regulátora, pre prenosovú funkciu (2) metódou optimálneho modulu sú: zosilnenie regulátora $P = 1,085$, integračná časová konštanta $T_i = 0,603$ sek. Polohový algoritmus, výpočtu akčnej veličiny, PS regulátora rýchlosti, použitím obdĺžnikovej náhrady výpočtu integrálu je:

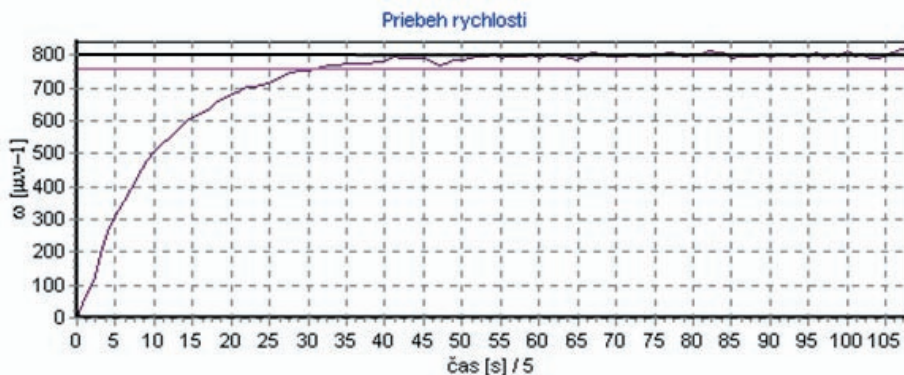
$$u(k) = u(k-1) + q_0 \cdot e(k) + q_1 \cdot e(k-1) \quad (5)$$

kde $q_0 = P = 1.085$; $q_1 = -P \cdot \left(1 - \frac{T}{T_i} \right) = -0.725$; perióda vzorkovania $T = 0,2$ sek.



Obr. 3 Bloková schéma regulačného obvodu uhlovej rýchlosti

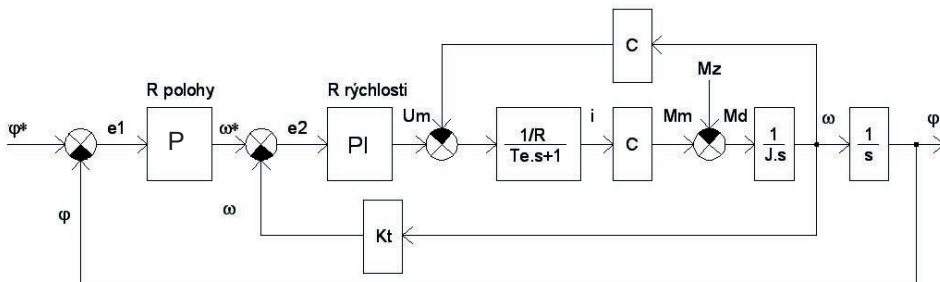
Skutočný priebeh regulovaných otáčok je zobrazený na obr. 3, Žiadaná hodnota otáčok je 800 ot/min, regulačný obvod nemá preregulovania (aperiodický) s dobou regulácie 5 sec, zvlnenie priebehu, v oblasti ustálených hodnôt je spôsobené vysokou citlivosťou snímača otáčok (tachodynamia).



Obr. 4 Priebeh regulovaných otáčok

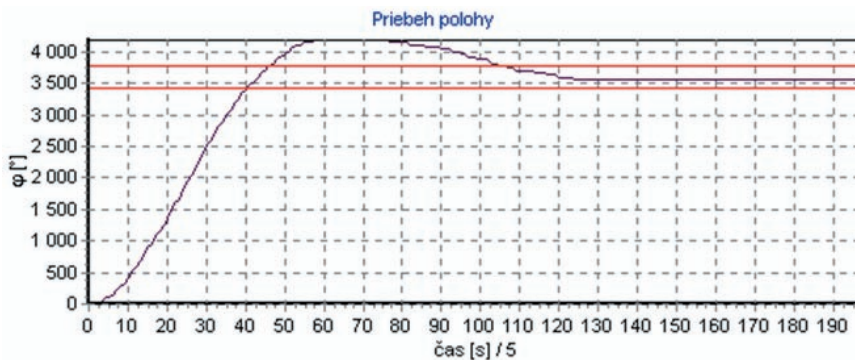
3 REGULÁCIA POLOHY

Závislosť medzi uhlovou rýchlosťou a polohou je daná vzťahom $\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}$, z uvedeného vzťahu vyplýva že hodnotu regulovanej polohy získame integráciou uhlovej rýchlosti na výstupe mechatronického systému. Blokovú schému regulácie polohy dostaneme doplnením regulačného obvodu rýchlosti, nadradenou regulačnou slučkou polohy podľa obr. 5.



Obr. 5 Uzavretý regulačný obvod polohy s vnorenou slučkou regulácie rýchlosti

Polohový systém obsahuje regulačný obvod rýchlosti s PI regulátorom a číslicový regulátor polohy, ktorý je zaradený v nadradenej regulačnej slučke. Regulačná odchýlka polohy vstupuje do diskrétného regulátora, ktorého výstupná (akčná veličina) pomocou číslicovo analógového prevodníka riadi výkonový zosilňovač jednosmerného motora. Spätňovzobná polohová slučka sa uzatvára cez inkrementálny snímač generujúci impulzy pri otáčaní dynamickej záťaže. Keďže pri regulácii polohy v prenose otvoreného regulačného obvodu vystupuje astatizmus 1. rádu, aby bola splnená podmienka nulovej regulačnej odchýlky v ustálenom stave je v tomto prípade postačujúci diskretný P regulátor. Diskretný P regulátor bol navrhnutý zo spojitého prenosu, ktorého proporcionálne zosilnenie je $P = 0,15$.



Obr. 6 Prechodová charakteristika regulácie polohy

Na obr. 6 je zobrazená prechodová charakteristika regulácie polohy na hodnotu žiadanej veličiny 3600° . Maximálne preregulovanie v tomto prípade je $\Delta y_{\max} = 17,7\%$.

Keďže prechodová charakteristika regulačného obvodu má pomerne veľké maximálne preregulovanie jeho zmenšenie je možné zaradením sériového korekčného člena do regulačného obvodu. Použitím sériového korekčného člena zvýšime bezpečnosť stability vo fáze a tým zmenšíme maximálne preregulovanie. Najjednoduchší korekčný člen predstavuje systém prvého rádu a má prenosovú funkciu v tvare:

$$K(s) = \frac{aT_K \cdot s + 1}{T_K s + 1} \quad (6)$$

kde T_K a a sú voliteľné parametre. Veľkosť parametra a určuje derivačný ($a > 1$) alebo integračný ($a < 1$) charakter korekčného člena a T_K je časová konštanta. V našom prípade zvolíme korekčný člen derivačného charakteru. Návrh korekčného člena s fázovým predstihom (derivačný), sme realizovali graficko-analytickou metódou pomocou Bodeho charakteristiky otvoreného regulačného obvodu (Harsányi 1998). Z Bodeho diagramu sme odčítali hodnotu fázovej bezpečnosti $\Delta\varphi_0 = 180^\circ - \Delta\varphi_1 = 180^\circ - 175,3^\circ = 4,7^\circ$. Zväčšíme požadovanú hodnotu fázovej bezpečnosti, z dôvodu zmenšenia maximálneho preregulovania na $\Delta\varphi_z = 50^\circ$ a vypočítame rozdiel $\varphi_m = \Delta\varphi_z - \Delta\varphi_0 = 50^\circ - 4,7^\circ = 45^\circ$, následne vypočítame hodnotu parametra a podľa vzťahu:

$$a = \frac{1 + \sin \varphi_m}{1 - \sin \varphi_m} = \frac{1 + \sin 45^\circ}{1 - \sin 45^\circ} = 5,83 \quad (7)$$

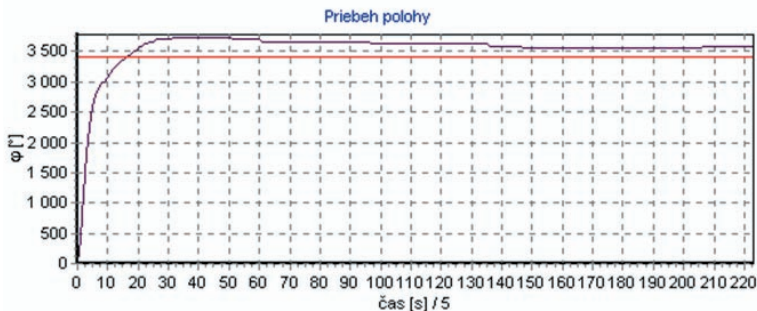
Potom kruhová frekvencia ω_m nového amplitúdového priesečníka je $\omega_m = 0,7409 \text{ rad/s}$. Časová konštanta korekčného člena:

$$T_K = \frac{1}{\omega_m \sqrt{a}} = \frac{1}{0,7409 \sqrt{5,83}} = 0,56 \quad (8)$$

Prenosová funkcia korekčného člena:

$$K(s) = \frac{3,265 \cdot s + 1}{0,56 \cdot s + 1} \quad (9)$$

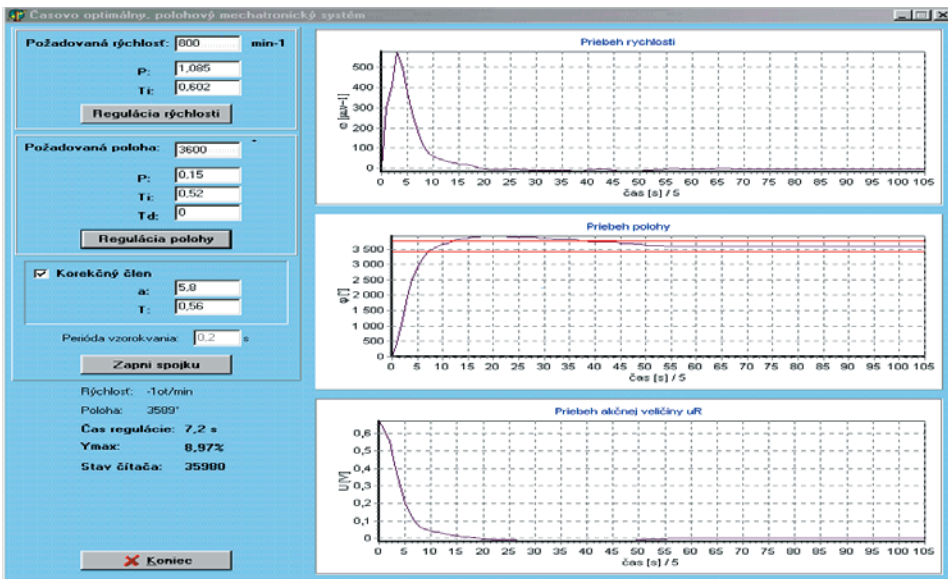
Použitím sériového derivačného korekčného člena, s prenosovou funkciou (8), dostaneme prechodovú charakteristiku regulácie obvodu zobrazenú na obr. 7. Maximálne preregulovanie, použitím korekčného člena kleslo na prijateľnú hodnotu $\Delta y_{\max} = 3,8\%$.



Obr. 7 Prechodová charakteristika regulácie polohy s použitím sériového korekčného člena

4 REALIZÁCIA RIADIACEHO PROGRAMU

Riadiaci program mechatronického systému sme realizovali v prostredí Borland Delphi 6. Realizovaný riadiaci program umožňuje programovo realizovať reguláciu rýchlosti a polohy. Umožňuje aj reguláciu bez korekčného člena alebo reguláciu polohy so sériovým korekčným členom. Pomocou tlačidiel je zabezpečená jednoduchosť menenia parametrov regulátorov a korekčného člena a voľba regulácie polohy alebo rýchlosti. Po ukončení regulácie sa automaticky zobrazí dialógové okno pre uloženie výsledkov o priebehu rýchlosti, polohy a akčnej veličiny.



Obr. 8 Rozhranie riadiaceho programu, zadávania typu regulácie a jej parametrov

5 ZÁVER

Na reálnom mechatronickom systéme sme overili a realizovali zmenšenie, jedného z najdôležitejších kritérií kvality regulácie – maximálne prerogulovanie. Použitím klasického regulátora nebolo možné znížiť maximálne prerogulovanie, až zaradením sériového korekčného člena, ktorý zvyšuje bezpečnosť stability vo fáze, sme dosiahli primeranú hodnotu maximálneho prerogulovania. Parametre korekčného člena sme vypočítali graficky výpočtovou metódou, ktorá vychádza z Bodeho charakteristiky otvoreného regulačného obvodu. Priamym experimentovaním na mechatronickom systéme s uzavretou regulačnou slučkou, kedy na základe tvaru prechodovej charakteristiky sa menia parametre regulátora, prípadne korekčného člena, je možno dosiahnuť aperiodický priebeh výstupnej polohy, t.j. bez prerogulovania žiadanej hodnoty. Popísaný systém umožňuje veľmi efektívne navrhovať a overovať diskrétny regulačné obvody rýchlosti a polohy so zotrvačnou

záťažou a jednosmerným motorom. Výhodou uvedeného systému je jeho číslicová realizácia, ktorá umožňuje programovo meniť typ regulátora a jednoducho zadávať parametre regulátora a korekčného člena.

LITERATÚRA

BALÁTĚ, J.: Automatické řízení. BEN Praha 2004

HARSÁNYI, L. MURGAŠ, J. ROSINOVÁ, D. KOZÁKOVÁ, A.: Teória automatického riadenia. STU Bratislava 1998

SKALICKÝ, J.: Elektrické servopohony. VUT Brno 2000

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ľubomír Naščák CSc.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky FEVT TU vo Zvolene

Študentská 26, 960 53 Zvolen

e-mail: nas@vsld.tuzvo.sk

TERMOOXIDAČNÁ ODOLNOSŤ BIOLOGICKY ROZLOŽITEL'NÝCH HYDRAULICKÝCH OLEJOV

THERMOOXIDATION RESISTANCE OF BIODEGRADABLE HYDRAULIC OILS

Marián KUČERA

ABSTRACT: The thermooxidation stability is one important aspect for examination of service life time of the biodegradable hydraulic oils. Significant laboratory test provide the necessary information about evaluation long-term behaviour of hydraulic oils in field applications is ASTM D2272-98, called the RBOT “Rotating Bomb Oxidation Test”. The RBOT test measures Oxidation Induction Time, or OIT. OIT is a measure of the amount of time required before an oil’s defenses against oxidation fail, and the oil begins to deteriorate. In this test, a glass test container is filled with the oil sample (50 g), and sealed. Oxygen is pumped into the container (the “bomb”) and the cylinder assembly is lowered into a hot (90–140 °C) oil bath. It is kept in this bath, revolving at 100 rpm, until the oxygen pressure inside the bomb begins to drop, indicating that the oil and oxygen have begun to react, and that the oxidation process has begun. Thus, a longer time result in this test is desirable.

Key words: thermooxidation stability, biodegradable hydraulic oils, aging oil

ABSTRAKT: Termooxidačná stabilita je najdôležitejším kritériom pre posúdenie prevádzkovej životnosti biologicky rozložiteľných hydraulických olejov. Významným laboratórnym skúšobným postupom, ktorý poskytuje nevyhnutnú informáciu o hodnotení hydraulických a prevodových olejov pri dlhodobom teplotnom zaťažení patrí štandardná skúšobná metóda pre oxidačnú stabilitu olejov v rotačnej tlakovej nádobe (RBOT) v zmysle normy ASTM D2272-98. Meranou veličinou skúšobnej metódy je časový interval v minútach od prvého dosiahnutia maximálneho tlaku až po pokles na tlak veľkosti 0,175 MPa. V hermeticky uzavretej nádrži s horúcim kúpeľom (teplota od 90 °C do 140 °C) sa nachádza rotačná tlaková nádobka s definovaným množstvom skúšaného hydraulického oleja (50 g) a 5 ml vody, ktorá sa nepretržite otáča rýchlosťou 100 ot.min⁻¹. Atmosféru vo vnútri nádoby tvorí kyslík s počiatočným tlakom 0,625 MPa pri teplote okolitého prostredia. Vyššia životnosť hydraulického oleja v minútach znamená lepšiu oxidačnú odolnosť skúšaného biologicky rozložiteľného hydraulického oleja.

Kľúčové slová: termooxidačná stabilita, biologicky rozložiteľný hydraulický olej, starnutie oleja

1 ÚVOD

Zvýšená teplotná a oxidačná záťaž kvapalín v hydraulických systémoch lesných mobilných prostriedkov výrazne ovplyvňuje starnutie hydraulickej kvapaliny. Platí nepísané pravidlo, že pri zvýšení prevádzkovej teploty o 10 °C, sa rýchlosť reakcií, to znamená rýchlosť starnutia hydraulickej kvapaliny zdvojnásobuje, a tým sa doba životnosti používaných kvapalín v hydraulických obvodoch skracuje (v medzných prípadoch až dvojnásobne). Pod pojmom starnutie hydraulickej kvapaliny je treba chápať zmeny jej vlastností v priebehu prevádzky. K vlastnostiam, ktoré sa spravidla menia patrí zmena viskozity, zmena čísla kyslosti, zmena obsahu vody, zmena peroxidového čísla a prípustného obsahu mechanických nečistôt v hydraulickej kvapaline. Na mechanizmus starnutia, ktorý je často spojený s degradáciou vyššie uvedených vlastností hydraulickej kvapaliny silno vplývajú prevádzkové parametre hydraulických systémov (tlak v systéme, teplota oleja a pod.). Napriek tomu, musí aj hydraulická kvapalina vystavená procesu starnutia, spĺňať požadované technicko-ekologické vlastnosti, ktoré sú kladené na hydraulickú kvapalinu v zmysle normy. Zmena vlastností hydraulického oleja v prevádzke je v prevažnej miere spôsobená termooxidačnými reakciami. Oxidáciu podporuje prítomnosť kyslíka v atmosfére, teda styk hydraulického oleja so vzduchom, vyššia teplota, prítomnosť vody v hydraulickom systéme, kovové nečistoty i prach. Menej stabilné molekuly oxidujú a tvoria kyslé produkty, ktoré v ďalšej reakcii vytvárajú komplexnejšie zlúčeniny, vznikajú kaly, ktoré bránia funkčnosti mazaných súčastí i ich chladeniu a rozkladajú materiály tesnení a hadíc (MURRENHOFF 2004). Pre skúšanie zmien vlastností hydraulických kvapalín sa na jednej strane používajú laboratórne postupy a metódy, na druhej strane skúšky hydraulických olejov v skúšobných hydraulických obvodoch.

2 MATERIÁL A METÓDY

Pri laboratórnych skúškach starnutia hydraulických olejov vzhľadom k oxidačnej stabilite sa ustálili rôzne postupy, ktoré sú uvedené v tabuľke 1. Spoločným znakom všetkých uvedených metód je skutočnosť, že boli vyvinuté pre skúšky hydraulických kvapalín na ropnom základe (minerálne oleje).

Tabuľka 1 Prehľad laboratórných metód oxidačnej stability hydraulických olejov

	DIN 51 587 TOST-test	DIN 51 554 Baader test	DIN 51 586	ASTM D2272 – 98 Rotary-Bomb	DIN 51 352 časť 1(2) Conradson	PDSC
skúšobná metóda	dynamická	statická	dynamická	tlaková nádoba	dynamická	statická dynamická
množstvo oleja	300 ml	60 ml	300 ml	50 g	40 ml	3 mg
teplota	95 °C	95 °C (110 °C)	95 °C	90–140 °C	200 °C	165–175 °C
Katalyzátory: kov vzduch/kyslík voda	medený drôt kyslík 60 ml	medený drôt vzduch	vzduch	medený drôt kyslík 5 ml	oxid Fe vzduch	50 ppm Fe
skúšobný tlak	atmosf. tlak	atmosf. tlak	atmosf. tlak	625 kPa	atmosf. tlak	3,5 MPa
prívod vzduchu, kyslíka	3 l.hod ⁻¹	–	10 l.hod ⁻¹	–	15 l.hod ⁻¹	50 l. min ⁻¹
čas skúšky (hodín)	1000	140 (72)	312	< 24	24	< 24 hodín väčšinou < 1 hodina
analyzované vlastnosti hydraulického oleja	číslo kyslosti	číslo kyslosti kinematická viskozita	kinemat. viskozita	čas v minútach pre dosiahnutie poklesu tlaku	koksový zvyšok	statická indukčný čas oxidácie dynamická onset teplota

2.1 Suchý test starnutia hydraulického oleja (TOST test)

Jedná sa o dlhodobú, klasickú dynamickú metódu, ktorá určuje stabilitu hydraulických olejov voči starnutiu, ktorá je modifikáciou testu turbínových olejov podľa ASTM D 943. Rozdiel je v tom, že v tomto prípade nie je ako katalyzátor prítomná voda. Hydraulický olej starne v priebehu 1 000 hodín pri teplote 95 °C za stáleho prebublávania kyslíka. Z dôvodu, aby sa urýchlil proces starnutia hydraulického oleja používa sa ako katalyzátor medený alebo oceľový drôt. Typickou analyzovanou meracou veličinou suchého testu starnutia hydraulického oleja je čas v hodinách, počas ktorého dosiahne číslo kyslosti (tvorba kyslých reakčných produktov) hodnotu maximálne 2 mg KOH.g⁻¹.

2.2 Starnutie hydraulického oleja podľa Baadera

Typickým znakom skúšobného postupu podľa Baadera je periodické (cyklické) ponáranie medeného drôtu tvaru skrutkovice do stojacej vzorky hydraulického oleja. Skúška trvá buď 140 hodín pri teplote 110 °C alebo 72 hodín pri teplote 95 °C. Sledované analyzované parametre hydraulického oleja sú zmena kinematickej viskozity pri 40 °C a zmena čísla kyslosti.

2.3 Tlaková diferenciálna skenovacia kalorimetria (PDSC)

Diferenciálna skenovacia kalorimetria, ako jedna z termoanalytických metód sa už veľa rokov využíva v rôznych odvetviach chemického priemyslu. Táto metóda detekuje a kvantifikuje tepelné efekty, ktorých sa zúčastňuje analyzovaná vzorka. Pre analýzu ropných produktov sa využívala metóda DSC už v 50. a 60. rokoch 20 storočia, najmä pri sledovaní oxidácie mazacích olejov a ďalších ropných produktov. Klasická DSC však nenašla v tejto oblasti významné uplatnenie. Zásadná zmena prišla koncom 80. a začiatkom 90. rokov, keď sa začali vyrábať DSC prístroje, ktoré pracovali pri vysokom tlaku kyslíka. Vysoký tlak oxidačného média podstatne skrátil čas potrebný k analýze, urýchlil oxidáciu a tým umožnil lepšiu detekciu energetických prejavov. Súčasne sa vysokým tlakom výrazne potlačilo odparovanie vzoriek pri vysokých teplotách. Dnešné tlakové DSC (PDSC) umožňujú vykonať analýzu v priebehu max. 2 hodín a množstvo vzorky potrebnej k analýze sa pohybuje rádovo v miligramoch. PDSC sa v zásade vykonáva dvomi spôsobmi, a to izotermickou (statická) a neizotermickou (dynamická) metódou.

2.3.1 Izotermická metóda

Pri tejto technike merania sa v DSC cele nastaví a stabilizuje požadovaná teplota. Potom sa do cely vpustí požadovaný plyn a nastaví sa požadovaný tlak a prietok. Pre oxidáciu sa používa kyslík. Výstupom analýzy je stanovenie „oxidačného indukčného času (OIT)“, ktorý je v relácii s oxidačnou stabilitou analyzovaného oleja. OIT sa určuje ako začiatok intenzívnej oxidácie skúšobnej vzorky. Predpísaná návažka vzorky je 3 mg, tlak kyslíka je predpísaný na 3,5 MPa. Analýza sa vykonáva v rozmedzí teplôt 130 až 210 °C.

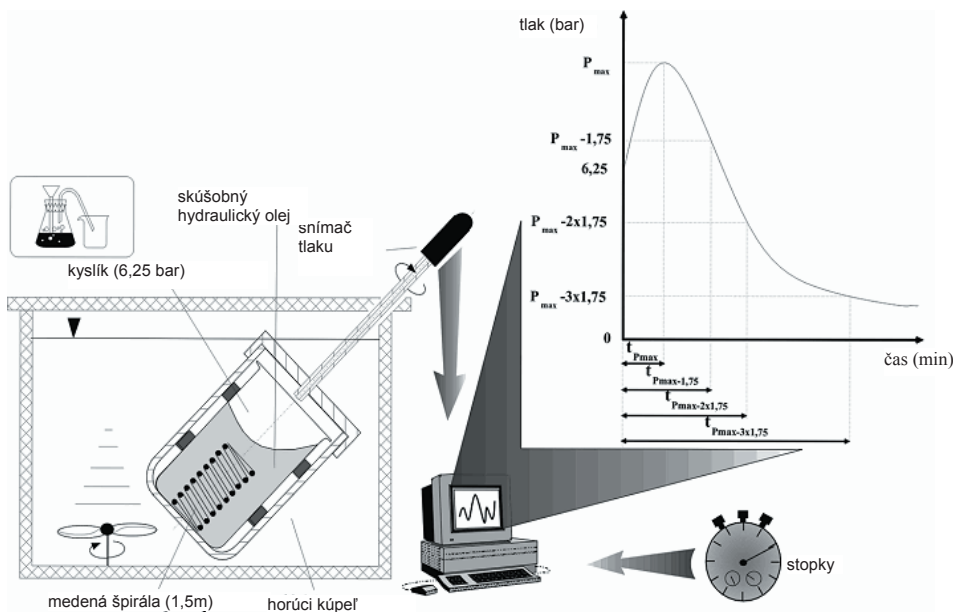
2.3.2 Neizotermická metóda

Pri neizotermickej metóde je vzorka zahrievaná pod tlakom konštantnou rýchlosťou nárastu teploty. Rozdiel je v tom, že výstupom analýzy je teplota, pri ktorej dochádza k začiatku intenzívnych energetických zmien (onset teplota). Pre oxidáciu ropných produktov bola táto metodika spracovaná do normy ASTM 2009-99 Oxidation Onset Temperature of Hydrocarbons by Differential Scanning Calorimetry. Stanovenie prebieha opäť pri tlaku 3,5 MPa, prietoku kyslíka $50 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$ a množstve hydraulického oleja 3 mg.

Pre stanovenie oxidačnej stability hydraulických olejov sa izotermická metóda neukazuje ako dobrá, a v tomto prípade je výhodnejšie použiť neizotermickú (dynamickú) metódu. Dôvodom je nízka hodnota OIT pri skúšobných teplotách, ktorá vyplýva z toho, že znižovaním teploty sa rýchlosť oxidácie spomaľuje. Vďaka spomaleniu rýchlosti oxidácie sa hodnota OIT určuje s veľkou chybou. Pri použití neizotermickej metódy nie sú problémy s vyhodnotením onset teploty, čo má za následok schopnosť zaznamenať rozdiely v oxidačnej stabilite základných hydraulických olejov a možno je využiť pri vývoji základných olejov moderných hydraulických olejov. Nevýhodou hydraulických olejov na báze prírodných resp. syntetických esterov je to, že sa test vykonáva pri vyšších teplotách, to znamená test musí byť ukončený v rozumne krátkej dobe, ktorú je iba ťažko presne stanoviť.

2.4 Mokry test starnutia hydraulického oleja (RBOT test)

K významným skúšobným postupom, ktorý naberá význam pri zisťovaní starnutia hydraulických a prevodových olejov patrí štandardná skúšobná metóda pre oxidačnú stabilitu olejov v rotačnej tlakovej nádobe (RBOT test-test podľa ASTM 2272-98, obrázok 1).



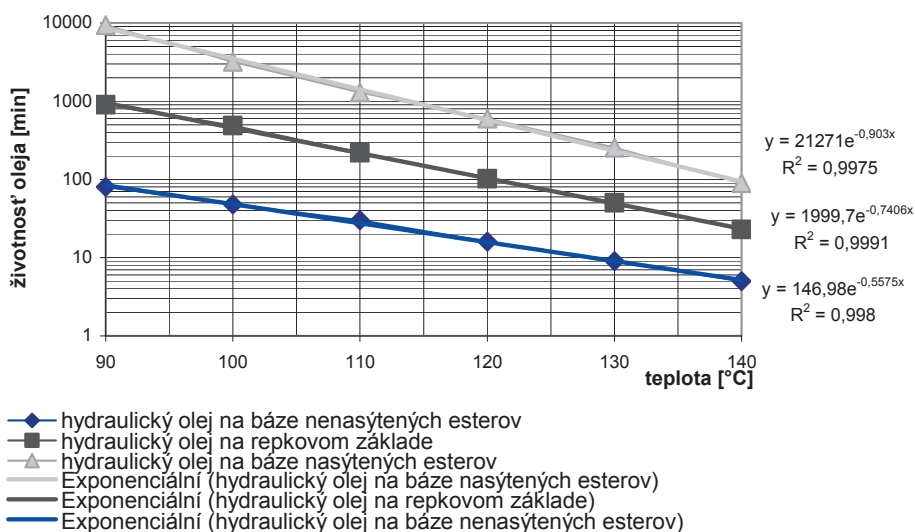
Obr. 1 Schéma skúšobnej metódy pre stanovenie oxidačnej stability hydraulických olejov – RBOT test

Skúšobná metóda sa odlišuje od ostatných testov sledovania oxidačnej stability tým, že trvanie skúšky nie je dopredu známe, závisí od oxidačnej stability hydraulickej kvapaliny. V hermeticky uzavretej nádrži s horúcim kúpeľom (teplota do 140 °C) sa nachádza rotačná tlaková nádobka s definovaným množstvom skúšaného hydraulického oleja (50 g) a 5 ml vody, ktorá sa nepretržite otáča (100 ot.min⁻¹). Atmosféru vo vnútri nádoby tvorí kyslík s počiatočným tlakom 0,625 MPa pri teplote okolitého prostredia. Hodnota tlaku sa nepretržite meria tlakovým snímačom a pomocou počítača zaznamenáva. Zvyšovaním teploty v nádobke dochádza najprv k bezprostrednému (spontánemu) stúpaniu tlaku až na špičkový tlak. Oxidačná reakcia medzi hydraulickým olejom a kyslíkom vedie k poklesu objemu plynu, z čoho vyplýva pokles tlaku v nádobe. Meranou veličinou Rotary-Bomb testu je časový interval v minútach od prvého dosiahnutia maximálneho tlaku až po pokles na tlak veľkosti 0,175 MPa. Vyššia životnosť hydraulického oleja v minútach znamená lepšiu oxidačnú odolnosť skúšobného hydraulického oleja. Rozhodujúcou výhodou tejto skúšobnej metódy je vysoká prispôsobivosť, nakoľko je možné meniť nielen hydraulický olej, ale aj katalyzátor, skúšobnú teplotu, atmosféru a množstvo hydraulického oleja. Tiež je možné meniť časový interval skúšky. Po ukončení testu oxidačnej stability máme

k dispozícii hydraulický olej po starnutí, ktorý je vhodný pre ďalšiu analýzu chemicko-fyzikálnych parametrov (zmena viskozity, zmena čísla kyslosti, zmena obsahu vody, zmena peroxidového čísla a prípustného obsahu mechanických nečistôt v hydraulickej kvapaline a iné).

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

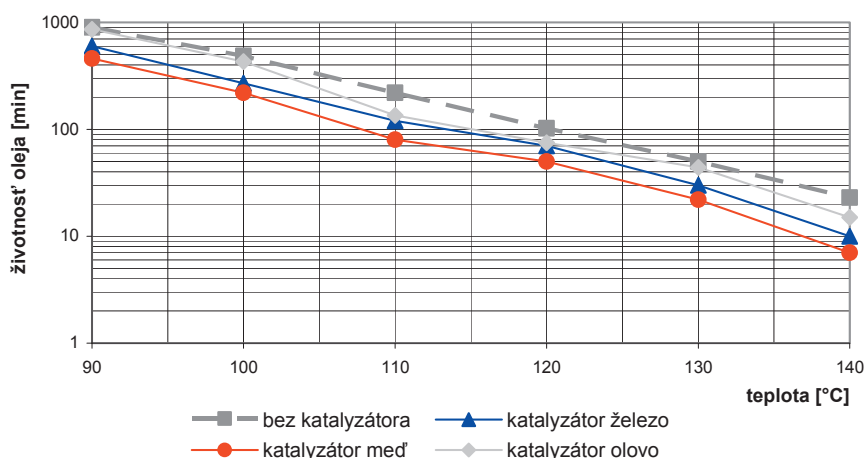
Katalyzátorom sa označuje látka pridávaná v malom množstve do chemickej reakcie, ktorá vyvoláva alebo ovplyvňuje (urýchľuje) chemickú reakciu, ale ktorá sama pritom ostane nezmenená (teda sa neviaže v produkte reakcie). Na jednej strane ovplyvňujú reakčnú rýchlosť reakcie, na druhej strane druh reakcie. Účinok katalytického pôsobenia kovov na starnutie biologicky rozložiteľných hydraulických olejov na prírodnom resp. syntetickom základe je možné stanoviť pomocou štandardnej skúšobnej metódy pre oxidačnú stabilitu olejov v rotačnej tlakovej nádobe. Skúšobné hydraulické oleje so svojimi prevádzkovými vlastnosťami pokrývajú široké spektrum základných olejov založených na báze biologicky rozložiteľných hydraulických kvapalín. Jedná sa o rafinovaný hydraulický olej na repkovom základe, hydraulický olej na báze nenasýtených esterov a hydraulický olej na báze nasýtených esterov. Pribeh životnosti rôznych základných olejov v oxidačnom teste bez použitia katalyzátorov je uvedený na obrázku 2.



Obr. 2 Životnosť rôznych základných biologicky rozložiteľných olejov na báze prírodných a syntetických esterov v rotačnej tlakovej nádobe (RBOT) bez použitia katalyzátora

Obrázok 2 zobrazuje životnosť biologicky rozložiteľných hydraulických olejov v závislosti od nastavenej teploty kúpeľa, ktorá sa pohybovala v rozsahu od 90 °C do 140 °C. Z obrázku je vidieť pri všetkých troch typoch biologicky rozložiteľných hydraulických

olejoch exponenciálny pokles životnosti so zvyšujúcou sa teplotou. Najvyššia životnosť v minútach je zaznamenaná pri hydraulickom oleji na báze nasýtených esterov, čo znamená aj najlepšiu oxidačnú odolnosť skúšobného hydraulického oleja, najnižšia životnosť je zaznamenaná pri hydraulickom oleji na báze nenасыtených esterov. Na obrázku 3 je zobrazený priebeh oxidácie biologicky rozložiteľného hydraulického oleja na báze prírodného esteru (repkový olej), kde je použitý ako katalyzátor kovová špirála dĺžky 1,5 m a priemeru 1 mm z rôznych materiálov (olovo, meď, železo), ktorá simuluje prítomnosť nečistôt v hydraulickom systéme pracovného stroja pri vyšších teplotách.



Obr. 3 Životnosť hydraulického oleja na báze prírodného esteru (repkový olej) v rotačnej tlakovej nádobe (RBOT) pri použití rôznych materiálov katalyzátorov

Z obrázku 3 vidieť, že najväčší vplyv na rýchlosť oxidácie hydraulického oleja na báze prírodných esterov (repkový olej) má pôsobenie meď ako katalyzátora, životnosť klesá až o 50 %. Prítomnosť železa a olova znižuje životnosť hydraulického oleja na repkovom základe o 25 %.

ZÁVER

Biologicky rozložiteľný hydraulický olej na báze prírodných resp. syntetických esterov je v prevádzkových podmienkach vystavený vplyvom, ktoré menia jeho chemické a fyzikálne vlastnosti, dochádza k starnutiu oleja. Do oleja v pracovnom stroji, v trecom uzle vnikajú nečistoty a cudzie predmety z okolitého prostredia (prach, voda a iné) a tiež z vlastnej sústavy (kovový oter, produkty starnutia hydraulického oleja, farba z vnútorných náterov a iné), ktoré olej znehodnocujú. V nenáročných podmienkach, pri prevádzkových teplotách do 60 °C, proces vnútorných zmien v hydraulických olejoch prebieha veľmi pomaly. Naopak vplyv vyšších teplôt (nad 80 °C) a prítomnosť rôznych nečistôt (katalyzátorov) proces starnutia výrazne urýchľuje. V príspevku bola vykonaná analýza

skúšobných metód pre určenie oxidačnej odolnosti biologicky rozložiteľných hydraulických olejov. Následne bol sledovaný účinok rôznych typov katalyzátorov na starnutie biologicky rozložiteľného hydraulického oleja na repkovom základe pomocou štandardnej skúšobnej metódy pre určenie oxidačnej odolnosti hydraulických a prevodových olejov v rotačnej tlakovej nádobe (RBOT) podľa normy ASTM 2272-98, z ktorého vyplýva, že najnegatívnejší účinok na ekologicky priaznivejší hydraulický olej na repkovom základe má meď.

LITERATÚRA

- ASTM D 2009-99.** *Oxidation Onset Temperature of Hydrocarbons by Differential Scanning Calorimetry*
- ASTM D 2272-98.** *Standard Test Method for Oxidation Stability of Steam Turbine Oils by Rotating Pressure Vessel*
- ASTM D 2112-95.** *Standard Test Method for Oxidation Stability of Inhibited Mineral Insulating Oil by Rotating Bomb*
- ASTM D 4742-88.** *Standard Test Method for Oxidation Stability of Gasoline Automotive Engine Oils by Thin-Film Oxygen Uptake (TFOUT)*
- Murrenhoff, H.** *Environmentally friendly fluids – chemical modifications, characteristics and condition monitoring.* Ölhydraulik und Pneumatik, Vol. 48, Nr. 3, 2004, s. 1–29

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Marián Kučera, PhD.

Katedra lesnej a mobilnej techniky

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

e-mail: kucera@vsld.tuzvo.sk

URČENIE KRITICKÉHO TLMENIA MERACIEHO ZARIADENIA S POČÍTAČOVOU PODPOROU SIMULÁCIE

THE SPECIFICATION CRITICAL DAMPING OF THE MEASURING EQUIPMENT WITH THE COMPUTER SUPPORT

Branislav DANKO

ABSTRACT: The goal of the paper is analyse and presents the MSS technology of virtual prototyping with computer support. With the view MSS technology were limitation of the critical damping so, make it fit into the preload be over equilibrium position at effective time. The measure equipment with the weight $m = 0.2$ kg and deviated $l = 0.01$ m is suspended by means the spring with stiffness of spring. The paper includes the dynamic model, the created joints, the reference points, the measurers of conservative system for measuring the critical damping, the damping energy, etc. The target this paper is analyse with the view changed constants with module Design Study and with the view the total strain or damping energy at optimal value of the damping. The results of simulate analyse are presented out in the transparent graphs with the module PostProcessor by software MSC.ADAMS.

Key words: the critical damping, the measuring equipment, the virtual prototyping, the optimizing

ABSTRAKT: Príspevok prezentuje uplatnenie poznatkov a prezentácie MSS technológie (anglicky: Multibody System Simulation) virtuálnych prototypov s počítačovou podporou simulácie. Pomocou MSS technológie stanovenie takých hodnôt kritického tmenia, aby sa meracie zariadenie s hmotnosťou $m = 0,2$ kg ustálilo z počiatočnej výchylky $l = 0,01$ m za najkratší čas bez prekmitnutia cez rovnovážnu polohu. Súčasťou príspevku je dynamický model, nastavenie pracovného prostredia, vytvorenie väzieb a referenčných markerov, meračov konzervatívnej sústavy pre meranie kritického tmenia, disipačnej energie, atď. Cieľom práce sú analýzy vplyvu zmeny premennej pomocou modulu „Design Study“ na celkovú a disipovanú energiu pri optimálnych hodnotách tmenia. Výsledky sú prezentované tabuľkovou formou a grafickými charakteristikami v module „PostProcessor“ softvéru MSC.ADAMS.

Kľúčové slová: kritické tmenie, meracie zariadenie, virtuálna simulácia, optimalizácia

ÚVOD

Pri experimentálnych meraniach na mobilnej technike lesníckych strojov je vždy problematické umiestnenie a uchytenie meracích zariadení tak, aby pohyb stroja po nerovnostiach neovplyvnil meranú veličinu. Objektom skúmania je meracie zariadenie pre snímanie zmeny polohy stroja pri pohybe po terénnych nerovnostiach, resp. dynamickej zložky zrýchlenia v zvislom smere, ktorý reprezentuje jednoosový snímač zrýchlenia typu SA I/L, resp. typu SZ 1/50 (pozri obrázok 1). Meracie zariadenie bolo vyvinuté a vyrobené v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VGP 1/7585/20 „Teória pracovných princípov lesných strojov s určením ich technických parametrov pri minimalizácii negatívnych dopadov na lesné prostredie“ a odskúšané pri kmitaní lesníckeho stroja LKT 81T.

Z dôvodu eliminácie odchýlky pri experimentálnych meraniach, najmä pri mobilných strojoch v teréne, ktorá môže narásť na 20 až 30 % je potrebné celý merací reťazec a možné vplyvy na meranú hodnotu nastaviť tak, aby odchýlka merania, resp. nepresnosť, bola čo najnižšia alebo v prípustnom pásme. Jedným z hlavných vplyvov okrem nastavenia vzorkovanej frekvencie, kalibrácie a pod. je aj spôsob uchytenia meracieho zariadenia, resp. snímača tak, aby nežiaduce vonkajšie vplyvy napríklad pohyb stroja po teréne alebo technologický proces stroja neovplyvňovali meranú veličinu.

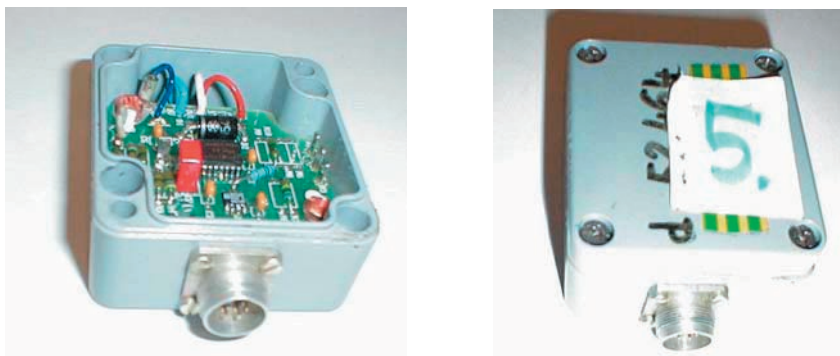
Cieľom príspevku je stanovenie hodnoty tlmenia pre uchytenie meracieho zariadenia tak, aby sa meracie zariadenie ustálilo pri určenej výchyľke a nedošlo k prekmitnutiu cez rovnovážnu polohu. Pre výpočet a stanovenie optimálnej hodnoty tlmenia pre dané meracie zariadenie bola využitá počítačová podpora s MSS technológiou a príslušným softvérom MSC.ADAMS.

MATERIÁL A METODIKA

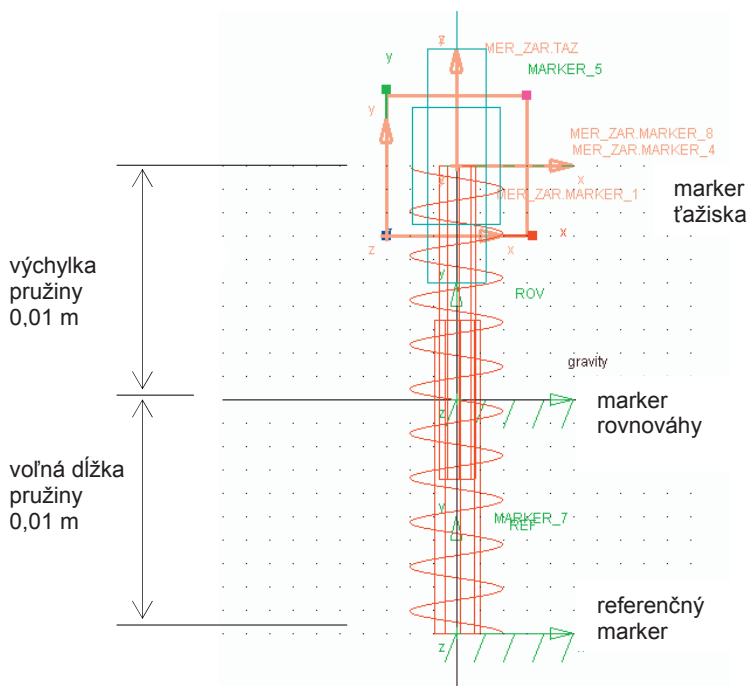
Meracie zariadenie SZ 1/50 bolo už viac krát využité pri experimentálnych meraniach a je súčasťou meracieho reťazca. Jednoosový snímač zrýchlenia sa skladá z kapacitného čidla s meracím rozsahom ± 50 g a výstupného zosilňovača, ktorý upravuje výstupné napätie v rozsahu 0,5 až 4,5 V. Kondenzátor s vhodnou kapacitou je pomocou prepójky zapojený alebo odpojený, podľa potreby oddelenia jednosmernej zložky od niektorého signálu. Citlivosť snímača je 33 až 43 mV/g, maximálna preťažiteľnosť 500 g počas 0,5 ms, napájacie napätie 5 V z batérie, frekvenčný rozsah 0 až 600 Hz, krytie IP 65, prúdový odber 15 mA, pracovný rozsah -25 až 85 °C a hmotnosť 0,2 kg.

Virtuálny prototyp meracieho zariadenia (pozri obrázok 2) bol zjednodušene namodelovaný softvérom MSC.ADAMS, ktorý slúži najmä pre dynamickú analýzu, resp. kinematickú analýzu, optimalizáciu premenných, dynamickú napäťovo deformačnú analýzu poddajných častí, zisťovanie životnosti, únavy a pod. Výpočty prebehli pomocou algoritmov a riešičov v module A/Solver s uplatnením numerickej matematiky, numerickej integráčnej metódy JIM (Jocobiova-iteračná metóda), resp. GSM (Gaussova-Seidelova metóda) a iných integrálnych nevariačných princípov napríklad princíp zachovania energie, Hamiltonov princíp, Eulerov a Jakobihov princíp najmenšieho účinku s požiadavkami pre výber vhodného formalizmu na zostavovanie a riešenie zmiešanej sústavy DAE (anglicky: Differential Algebraic Equations) pohybových diferenciálnych rovnic

a väzobných algebrických rovníc, ktoré reprezentujú viazanú aj neviazanú mechatronickú sústavu.



Obrázok 1 Meracie zariadenie (jednoosový snímač zrýchlenia typu SA I/L)



Obrázok 2 Virtuálny model mechanického systému

Pre optimalizáciu boli použité moduly: A/Design Study, resp. A/Design of Experiments, z ktorých boli vykonané grafické výstupy v module A/PostProcessor, resp. a výstupy v tabuľkovej forme.

Overenie funkčnosti modelu

Meracie zariadenie s hmotnosťou 0,2 kg predstavuje geometrický tvar štvorca. Tuhosť uchytenia nahrádza pružina s koeficientom tuhosti $7,0 \text{ N}\cdot\text{m}^{-1}$, voľnou dĺžkou 0,01 m a predpokladanou výchylkou 0,01 m. Väzba medzi meracím zariadením a rámom je translačná v smere osi y daného súradnicového systému. Pre daný mechanický systém sú definované markery (konštrukčné body). Celý mechanický systém má jeden stupeň voľnosti DOF (anglicky: degree of freedom), čo potvrdzuje pripravenosť pre dynamickú analýzu:

```
VERIFY MODEL: .KRIT_TLMENIE
1 Gruebler Count (approximate degrees of freedom)
1 Moving Parts (not including ground)
1 Translational Joints
1 Degrees of Freedom for .KRIT_TLMENIE
Model verified successfully
```

Určenie vlastnej frekvencie konzervatívneho mechanického systému

Pre určenie vlastnej frekvencie konzervatívneho mechanického systému je potrebné si uvedomiť, že celková energia systému podľa zákona o zachovaní energie je súčtom kinetickej a potenciálnej energie podľa vzťahu:

$$E_{K_CEL} = E_K + E_P, \quad (1)$$

kde: E_K je kinetická energia podľa vzťahu: $E_K = \frac{1}{2}mv^2$,
 E_P je potenciálna energia podľa vzťahu: $E_P = \frac{1}{2}ky^2$,

v čase $t = 0$ má maximálnu hodnotu:

$$E_{K_CEL} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}ky^2 = 0 + \frac{1}{2} \cdot 7,0 \cdot 0,01^2 = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ J}. \quad (2)$$

Pre overenie a ďalšie riešenie úlohy bol vytvorený merač celkovej energie konzervatívneho systému s nasledovným predpisom funkcie v softvéri MSC.ADAMS:

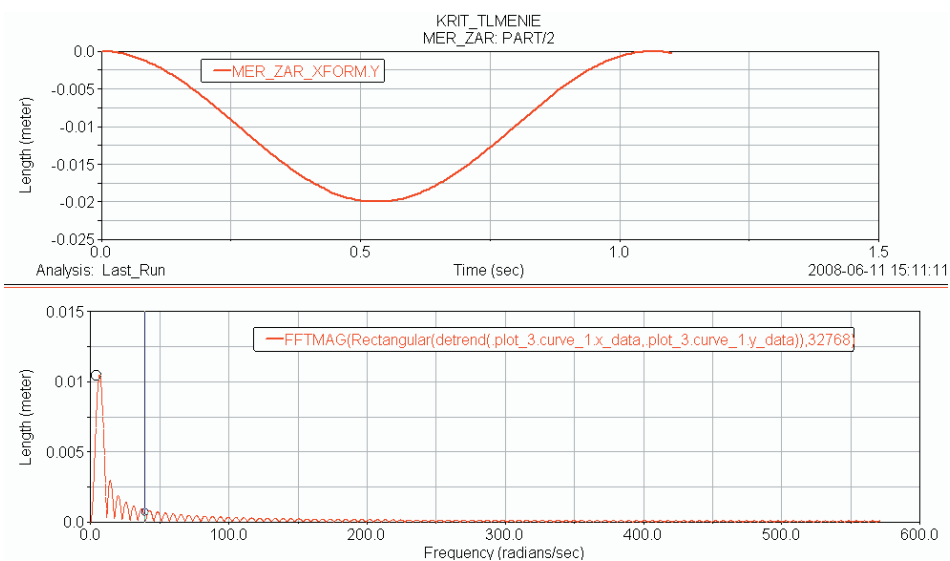
$$0,5 * (0,2 * VM(ref, taz)**2 + 7 * DM(rov, taz)**2),$$

kde: VM je rýchlosť hmoty meracieho zariadenia,
 DM je výchylka hmoty meracieho zariadenia,
 ref, taz, rov sú markery referenčného bodu, ťažiska a rovnováhy.

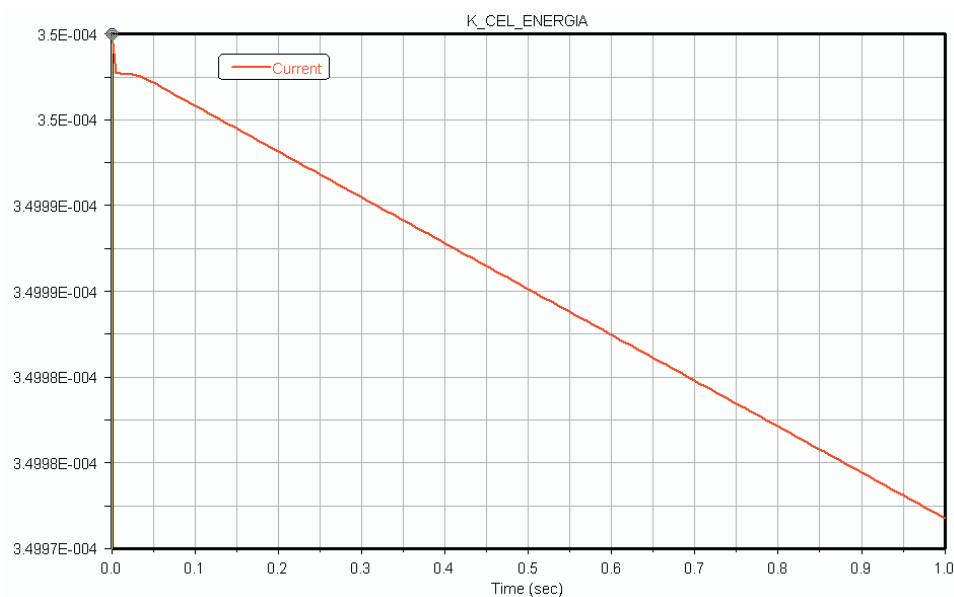
Grafický priebeh celkovej energie konzervatívneho systému je zobrazený na obrázku 4.

Využitím algoritmu FFT analýzy (anglicky: Fast Fourier Transformations) s odpovedajúcim frekvenčným spektrom a časovým oknom, na amplitúdu výchylky meracieho zariadenia v smere osi y bola zistená vlastná frekvencia meracieho zariadenia za podmienok, že dynamická simulácia prebehla v čase 2 sekundy, s 300 krokmi a deaktivovanou gravitáciou (pozri obrázok 3). Hodnota vlastnej frekvencie meracieho zariadenia $5,916 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ bola overená aj dostupnou metódou linearizácie v tom istom softvéri MSC.ADAMS:

EIGEN VALUES (Time = 0.0)
 FREQUENCY UNITS: (radians/sec)
 MODE UNDAMPED NATURAL DAMPING
 NUMBER FREQUENCY RATIO REAL IMAGINARY
 1 5.916080E+000 0.000000E+000 0.000000E+000 +/- 5.916080E+000



Obrázok 3 Frekvenčná analýza amplitúdy výchylky mechanického systému



Obrázok 4 Príbeh celkovej energie daného konzervatívneho mechanického systému

Určenie konštanty kritického tlmenia mechanického systému

Kritické tlmenie je také tlmenie, pri ktorom sa mechanický systém ustáli za najkratší čas bez prekmitnutia cez rovnovážnu polohu. Súčiniteľ tlmenia, vytvorený premennou *damping_DV_1* s priradením pre konštantu tlmenia pružiny bol parametrizovaný metódou Design Study.

Ďalej bol vytvorený merač disipatívnej energie. Keďže platí, že celková energia mechanického systému bez disipatívneho člena je $3,5 \cdot 10^{-4}$ J, disipatívna energia je rovná rozdielu celkovej energie systému bez disipatívneho člena a celkovej energie systému s disipatívnym členom.

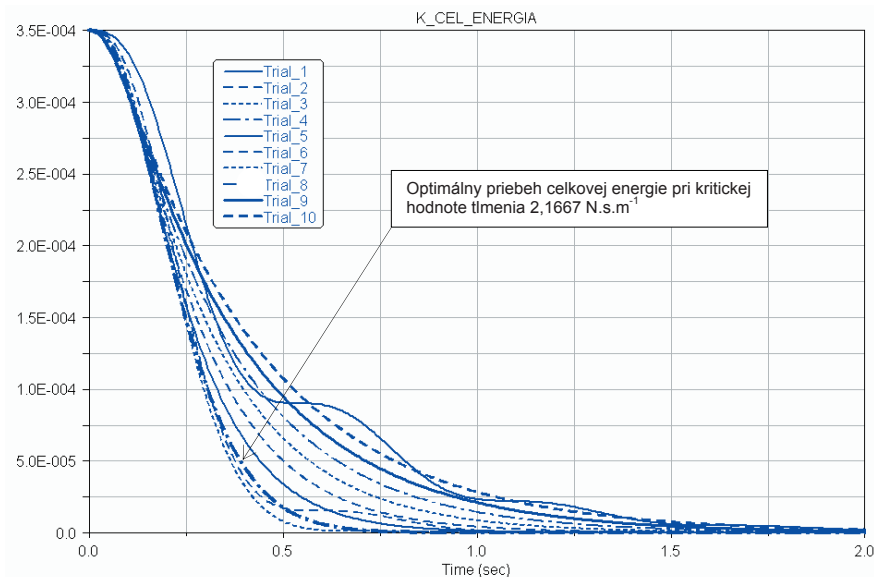
Pre parametrizovanie metódou „Design Study“ boli vytvorené senzory. Senzor na sledovanie celkovej energie mechanického systému, senzor na sledovanie prekmitu a senzor na sledovanie maximálnej hodnoty disipačnej energie systému.

Štúdiá vplyvu zmeny premennej *damping_DV_1* pomocou Design Study bola vykonaná na:

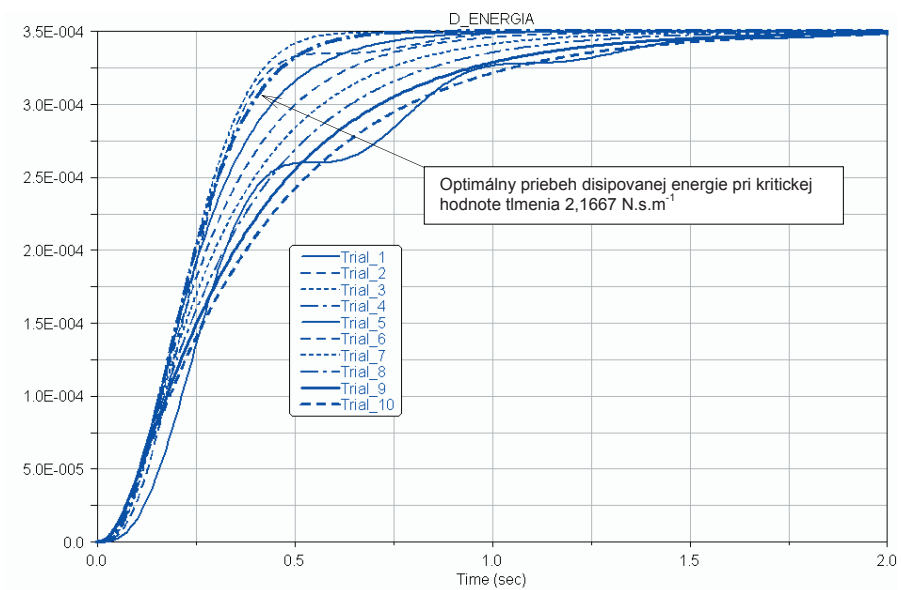
- zmenu celkovej energie pre 10 behov, z tabuľky behov bola zistená optimálna hodnota kritického tlmenia $b_{krit} = 2,1667 \text{ N.s.m}^{-1}$ pri minimálnej hodnote celkovej energie systému (pozri obrázok 7, tabuľku 1),
- zmenu disipačnej energie pre 10 behov, kde po skončení z tabuľky behov bola zistená optimálna hodnota kritického tlmenia $b_{krit} = 2,1667 \text{ N.s.m}^{-1}$ pri maximálnej hodnote disipačnej energie systému (pozri obrázok 8, tabuľku 1).

Grafické priebehy a tabuľkové výsledky sú v časti VÝSLEDKY tohto príspevku.

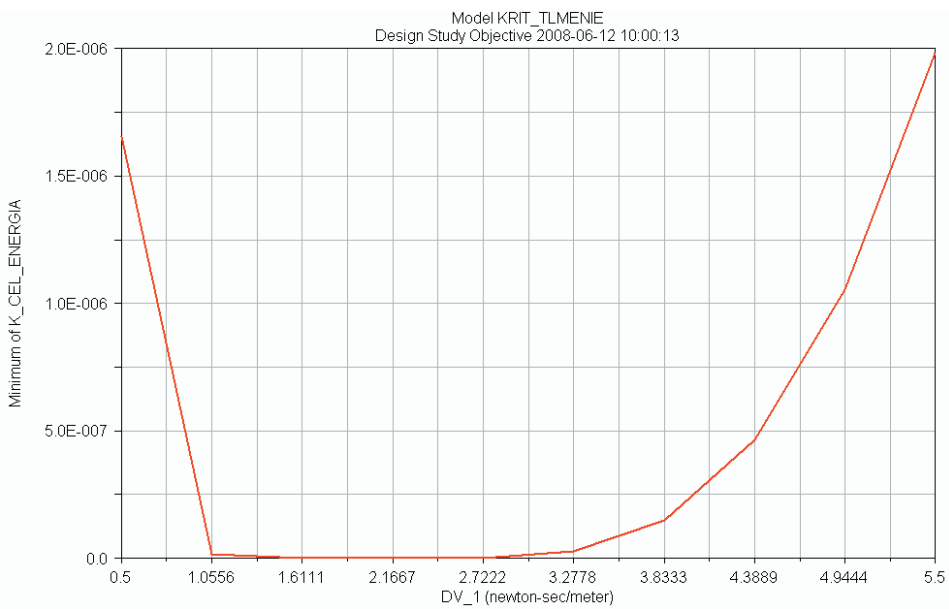
VÝSLEDKY



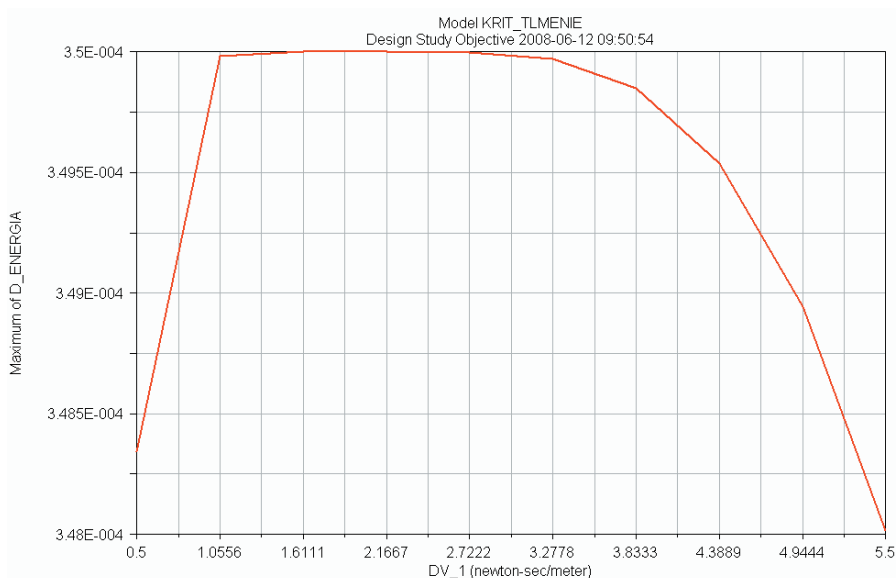
Obrázok 5 Grafické priebehy celkovej energie počas 10. behov



Obrázok 6 Grafické priebehy disipovanej energie počas 10. behov



Obrázok 7 Štúdia vplyvu premennej *damping_DV_1* na zmenu celkovej energie



Obrázok 8 Štúdia vplyvu premennej *damping_DV_1* na zmenu disipovanej energie

Tabuľka 1 Štúdia vplyvu zmeny premennej *damping_DV_1*

Štúdia vplyvu premennej <i>damping_DV_1</i> na zmenu celkovej energie				Štúdia vplyvu premennej <i>damping_DV_1</i> na zmenu disipovanej energie			
DESIGN STUDY SUMMARY				DESIGN STUDY SUMMARY			
MODEL NAME: KRIT_TLMENIE DATE RUN: 2008-06-12 10:00:13				MODEL NAME: KRIT_TLMENIE DATE RUN: 2008-06-12 09:50:54			
OBJECTIVES				OBJECTIVES			
O1) MINIMUM OF K_CEL_ENERGIA UNITS: NO UNITS MAXIMUM VALUE: 1.9839E-006 (TRIAL 10) MINIMUM VALUE: 1.22141E-012 (TRIAL 4)				O1) MAXIMUM OF D_ENERGIA UNITS: NO UNITS MAXIMUM VALUE: 0.00035 (TRIAL 4) MINIMUM VALUE: 0.000348016 (TRIAL 10)			
DESIGN VARIABLES				DESIGN VARIABLES			
V1) DV_1 UNITS: NEWTON-SEC/METER				V1) DV_1 UNITS: NEWTON-SEC/METER			
TRIAL	O1	DV_1	SENSITIVITY	TRIAL	D_ENERGIA	DV_1	SENSITIVITY
1	1.6573E-006	0.50000	-2.9537E-006	1	0.00034834	0.50000	2.9537E-006
2	1.6391E-008	1.0556	-1.4916E-006	2	0.00034998	1.0556	1.4916E-006
3	3.1321E-011	1.6111	-1.4751E-008	3	0.00035000	1.6111	1.4751E-008
4	1.2214E-012	2.1667	1.1519E-009	4	0.00035000	2.1667	-1.1519E-009
5	1.3112E-009	2.7222	2.4905E-008	5	0.00035000	2.7222	-2.4905E-008
6	2.7674E-008	3.2778	1.3388E-007	6	0.00034997	3.2778	-1.3388E-007
7	1.5007E-007	3.8333	3.9276E-007	7	0.00034985	3.8333	-3.9276E-007
8	4.6408E-007	4.3889	8.1516E-007	8	0.00034954	4.3889	-8.1516E-007
9	1.0558E-006	4.9444	1.3678E-006	9	0.00034894	4.9444	-1.3678E-006
10	1.9839E-006	5.5000	1.6706E-006	10	0.00034802	5.5000	-1.6706E-006

DISKUSIA

Príspevok prezentuje možnosti výpočtu a optimalizácie koeficienta tlmenia pre dané meracie zariadenie, ktoré je reprezentované virtuálnym mechanickým systémom v softvéri MSC.ADAMS, pomocou počítačovej podpory, resp. virtuálnej simulácie.

Vlastná frekvencia meracieho zariadenia s hmotnosťou 0,2 kg a pružne uchyteného s tuhosťou 7 N.m⁻¹ sa pohybuje okolo hodnoty 5,9 rad.s⁻¹ alebo 0,94 Hz. Frekvenčná analýza prebehla s využitím FFT algoritmu s frekvenčným spektrom 32 768 frekvenčnými čiarami a časovým obdĺžnikovým oknom na priebeh amplitúdy výchylky meracieho zariadenia, čo plne postačovalo pre relevantný výsledok.

Hodnota koeficienta kritického tlmenia 2,1667 N.s.m⁻¹ bola optimalizovaná, resp. parametrizovaná metódou Design Study tak, aby nedochádzalo k prekritnitiu cez rovnovážnu polohu a utlmenie meracieho zariadenia prebehlo v najkratšom čase (pozri tabuľka 1).

Vzhľadom na prepojenosť softvéru s iným výpočtárskym, grafickým alebo riadiacim softvérom, umožňujú MSS technológie široký diapazon využitia v oblasti navrhovania, optimalizácie ale aj regulácie dynamických procesov.

CONCLUSION

The main of the work is obtained the value of the critical damping so, make it fit into the preload be over equilibrium position at effective time. The currently selected of analyse was the measure equipment with the weight $m = 0,2\text{ kg}$ and deviated $l = 0,01\text{ m}$ and was suspended by means the spring with stiffness of spring.

In the first chapter was given a theoretical survey of the presented situation in solved critical damping problems. In following parts are showed utilization the MSS technology of virtual prototyping with computer support with possibility optimization project of the dynamic system. The dynamic system presents the measure equipment gripped with the helical spring about the stiffness 7 N.s.m⁻¹. Important a evaluate parameter of critical damping is the viscous energy and total energy, which formulate optimizing problem of damping variable. The mechanical system was analysed with computer support by means the software MSC.ADAMS and with the view the method Design study. The results of analyse are shown in graphic form on Figures 5 up to 8 and on the table 1.

The final solutions of results are presented in form standard of characteristics by means Design study and the Post Processor. For the minimum largeness of the total energy of given mechanical system was evaluated the variable value of critical damping 2,1667 N.s.m⁻¹. Similarly for maximum largeness of the viscous energy of given mechanical system was evaluated the variable value of critical damping 2,1667 N.s.m⁻¹ too. The result of frequency analyse of the measure equipment was solved the FFT method. The measure equipment oscillations of free vibration frequency with the value 5,9 rad.s⁻¹.

The results of the dynamical analyse are presented out in the drawer graphs with the module PostProcessor by software MSC.ADAMS. The results of analyse critical damping of the measure equipment can be for usable in science as well as the technical practice for optimization parameters of dynamical properties and a measure process.

LITERATÚRA

- DANKO, B.: *Výskum špeciálnych lesných strojov v oblasti kmitania*. [Doktorandská práca], Zvolen, 2003 – FEVT TU vo Zvolene
- PALČÁK, F.: Možnosti využitia virtuálnych prototypov pre potreby strojárskoho priemyslu. In.: *Konštrukčná kancelária, Zborník príspevkov z II. konferencie*, Nitra, 1998, s. 27
- MSC.SOFTWARE, MSC.ADAMS VIEW:.. 2003. *User's Guide*

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

ANALÝZA HOLOGRAFICKÝCH INTERFEROGRAMOV TEPLOTNÝCH POLÍ

ANALYSIS OF HOLOGRAPHIC INTERFEROGRAMS OF TEMPERATURE FIELDS

Lenka BAUCOVÁ – Elena PIVARČIOVÁ

ABSTRACT: This contribution describe the software creation for the Processing of Holographic Interferograms of a heating array. This application is used for the processing of bitmap pictures, it is necessary to define the baseline relations for calculating the temperatures of the holographic interferogram pictures. The relations in this contribution can be used in the software creation for the processing of holographic interferograms, which meet the requirements for the work with digital images in the experimental visualization of a heating array.

Key words: Holographic interferometry, interferogram image processing, laser, picture

ABSTRAKT: Príspevok popisuje softvér na spracovanie holografických interferogramov teplotných polí. Aplikácia pracuje s obrázkami typu bitmap, pre výpočet teplôt využíva matematický aparát, ktorý je uvedený v príspevku a na základe ktorého sa spracovávajú obrázky pre mapovanie teplotných polí z holografických interferogramov.

Kľúčové slová: Holografická interferometria, spracovanie holografických interferogramov, laser, obrázok

1 HOLOGRAFICKÁ INTERFEROMETRIA

Holografická interferometria je optická zobrazovacia metóda, ktorá umožňuje výskum mechanických deformácií povrchov, tepelných deformácií povrchov, vibrácií, malých posuvov objektov a to s presnosťou až na zlomok vlnovej dĺžky použitého laserového žiarenia. Tieto metódy sú založené na princípe interferometrického posuvu fázy lúčov odrážajúcich sa od povrchov. Pri meraní deformácií, posunutí, vibrácií, interferujú medzi sebou lúče pochádzajúce z dvoch rôznych stavov povrchov. Holografická interferometria porovnáva medzi sebou dve informačné vlny, ktoré pôvodne neexistovali v tom istom čase. Tým vzniká možnosť zohľadniť pri meraní vplyv ďalšej nezávislej rozmerovej veličiny – časovú premennú. Referenčná vlna, potrebná pre záznam hologramu nemá priamy vplyv na výslednú informáciu a môže mať ľubovoľnú priestorovú štruktúru. S ohľadom

na diferenčný charakter metódy sa eliminujú prípadné nedokonalosti používaných optických prvkov zariadenia a preto na ich kvalitu nie sú také prísne požiadavky ako v klasickej interferometrii. Holografický interferometer predstavuje dvojlúčový interferometer, v ktorom sa interferujúce lúče šíria po rovnakých, priestorovo neseparovaných dráhach a preto je holografická interferometria menej citlivá na vplyv okolitého prostredia. Medzi prednosťami holografickej interferometrie patria: bezkontaktnosť interferometrického merania, nekladú sa vysoké nároky na kvalitu meraného povrchu objektu, možno porovnávať tvary už neexistujúcich predmetov a následne je možné analyzovať ich, pozorovaná oblasť nie je narušovaná snímačmi alebo sondami, ktorými sa zisťujú lokálne posunutia. Existujúce výhody sú však do značnej miery zatienené aj nevýhodami, ako sú napríklad vysoké náklady a obmedzené laboratórne podmienky pre holografickú interferometriu, veľkosť skúmaného objektu je obmedzená veľkosťou zorného poľa objektívu, holografická interferometria je citlivá na stabilitu holografického zariadenia (Černecký, Marčok, 1998).

2 EXPERIMENT – VIZUALIZÁCIA TEPLŔTNÝCH POLÍ

Na sledovanie teplotných polí bola použitá metóda holografickej interferometrie v reálnom čase, ktorá umožňuje prostredníctvom zaznamenávaného poľa indexu lomu skúmaného prostredia podať ucelený obraz a predstavu o veľkosti a tvare teplotného poľa v danom čase a následne analyzovať a interpretovať sledovaný jav. Metóda nevyžaduje vstup mechanického snímača do meracieho priestoru, čím vlastné meranie nie je ovplyvnené stavovými parametrami. Ďalšou výhodou tejto metódy v reálnom čase je možnosť záznamu celého časového priebehu od počiatku ohrevu skúšobného telesa až po jeho vzplanutie. Cieľom experimentu bolo získanie nových poznatkov o tepelných vlastnostiach dreva v rôznych anatomických smeroch, hlavne časové závislosti, tepelný tok cez skúšobné teleso a celý obraz teplotného poľa až po vzplanutie. Princíp vizualizačnej metódy je založený na tom, že vplyvom ohrevu okolie skúšobného telesa predstavuje optickú nehomogenitu. Pri konštantnom tlaku sa pomerná hustota plynu mení priamo úmerne so zmenou teploty. Nakoľko index lomu prostredia je funkciou jeho hustoty, procesy spojené so zmenou teploty sú charakterizované zmenou indexu lomu, čo sa následne prejaví zmenou alebo vytvorením interferenčných prúžkov. Svetelná vlna, ktorá prechádza cez takéto transparentné prostredie sa deformuje. Interferenčná metóda je založená na identifikácii zmeny fázy svetelnej vlny. Zo zmeny fázy sa určuje rozdelenie indexu lomu. Prostredie s vyššou teplotou ako okolie má vzhľadom k nemu inú hustotu a preto tiež iný index lomu. Stanovenie veľkosti indexu lomu v rôznych miestach prostredia umožňuje stanoviť jeho hustotu a tým aj teplotu.

Pre sledovanie teplotných polí boli použité skúšobné telesá s rozmermi $43 \times 40 \times 10$ mm v troch rôznych anatomických smeroch (pozdlžnom, radiálnom, tangenciálnom). Ako zdroj ohrevu bol použitý bodový zdroj vo vzdialenosti 18 mm od skúšobného telesa. Interferometrické zviditeľnenie teplotných polí bolo zamerané predovšetkým na tepelné medzné vrstvy tesne nad povrchom skúšobného telesa. Použitá holografická zostava bola zložená z obdĺžnikového Mach-Zehnderovho interferometra – holografický variant. V tejto zostave bol použitý ako zdroj laserového žiarenia héliovo-neónový laser s vlnovou dĺžkou $\lambda = 632$ nm. Na zaznamenávanie celého priebehu merania bola nainštalovaná

čierno-biela CCD kamera typu Mintron OS 65, ktorá bola pripojená na počítač a priamo cez obslužný softvér zaznamenávala celý priebeh experimentu, pričom výstupné údaje boli vo forme obrázkov typu bmp. Výsledné digitálne interferogramy, ktoré sa získali pri interferometrických meraniach môžu byť skreslené v dôsledku nekvalitných optických prvkov, nekvalitného modelu, nekvalitného meracieho systému, alebo v dôsledku použitia vyhodnocovacích vzťahov pre ideálnu interferometriu, neuvažujú sa zakrivenia lúčov pri prechode poľom nehomogenity, okrajové efekty pri dvojrozmerných objektoch. Okrem týchto skreslení môže ovplyvniť výsledky aj kvalita interferometrických záznamov, spôsob kvality záznamu a vlastný algoritmus počítačového spracovania interferogramov. Nekvalitné záznamy komplikujú hlavne proces automatizovaného rozpoznávania interferenčných prúžkov, ktoré majú priamy vplyv na presnosť interferometrických meraní, prípadne môžu proces rozpoznávania interferenčných prúžkov úplne znemožniť (Černecký a kol., 2006). Kvalitu záznamu možno ovplyvniť predovšetkým vhodným nastavením kontrastu a jas v softvéri pre záznam obrazu zo CCD kamery. Na kontrast a jas interferenčných prúžkov má ďalej vplyv nastavenie vhodného pomeru intenzít interferujúcich zväzkov a nastavenie vhodného výkonu lasera. Problémom býva tiež nerovnomerné osvetlenie zorného poľa interferometra, ktoré sa prejaví jednak nerovnomerným jasom zaznamenaného obrazu, ale tiež nerovnomerným kontrastom prúžkov v zornom poli zapríčinené nevhodným pomerom intenzít objektivej a referenčnej vetvy interferometra. Veľkým problémom je aj zrnitosť, ktorá je spôsobená hlavne laserovým svetlom, ktoré po dopade na akýkoľvek difúzny povrch spôsobí vzájomnú interferenciu jednotlivých lúčov, prejavujúcich sa ako speckle. Na záznamoch interferogramov sa môžu prejavíť aj iné defekty, ktoré sú spôsobené prachom na optických prvkoch interferometra. Odstraňovanie defektov spôsobených prachom alebo inými nehomogenitami v zornom poli objektívov možno urobiť pomocou rôznych programových produktov. Kvalitné záznamy možno získať záznamovým médium, ktoré má vyššiu rozlišovaciu schopnosť.

3 VYHODNOCOVANIE HOLOGRAFICKÝCH INTERFEROGRAMOV

Interferenčné prúžky v obrázkoch sú také časti obrázkov, ktoré sa líšia od svojho okolia sfarbením, intenzitou šedej farby alebo inou priestorovou štruktúrou intenzity. Interferenčné prúžky majú veľkosť, tvar či polohu v obrázku a podľa týchto znakov je možné odlíšiť ich od okolia. Takto oddelené interferenčné prúžky v obrázkoch z experimentu je potrebné ďalej triediť, ale predovšetkým je potrebné ich správnym spôsobom popísať, aby sa dalo s nimi ďalej pracovať.

Pri samotnej identifikácii prúžkov je dôležitá vzájomná poloha interferenčných prúžkov, priradenie čísel či interferenčného rádu. K typickým vlastnostiam interferenčných prúžkov patria (Pavelek a kol., 2001):

- svetlé a tmavé prúžky sa v interferograme striedajú,
- prúžky majú svoj stred a preto je možné nahradiť ich krivkami,
- každý prúžok predstavuje určitý interferenčný rád,
- okolité svetlé či tmavé prúžky sa líšia vo svojom interferenčnom ráde o ± 1 ,
- prúžky rôznych rádo v sa nemôžu pretínať a dotýkať.

Jedným z najzložitejších krokov vyhodnocovania holografických interferogramov je stanovenie polôh interferenčných prúžkov a stanovenie rozloženia interferenčných rádo. Na tieto procedúry nadväzuje vlastné určenie indexu lomu a následný výpočet sledovaných veličín. Softvér plní funkciu analyzovania a vyhodnocovania holografických interferogramov a umožňuje získavanie vstupných údajov, ktoré sú potrebné pre matematický vzťah a následné vyčíslenie požadovanej veličiny, na základe ktorej sa vytvorí výsledná tabuľka hodnôt.

4 SOFTVÉR PRE ANALÝZU INTERFEROGRAMOV TEPLOTNÝCH POLÍ

Vytvorený softvér pre spracovanie holografických interferogramov pracuje s obrázkami vo formáte bmp, ostatné súbory nie sú podporované. Softvér je špeciálne určený na spracovanie holografických interferogramov, ktorých základom je doska plošného prierezu, táto skutočnosť súvisí s použitým vzorcom, ktorý je odvodený práve pre plošnú dosku:

$$T(x, y) = \frac{T_{\infty}}{1 - 0,805 \cdot \frac{T_{\infty}}{l \cdot p_{\infty}} \cdot \left(s - \frac{1}{2} \right)} \quad (1)$$

$T(x, y)$ – rozloženie teplôt,
 p_{∞} – tlak v danom priestore,
 s – interferenčný rád,
 λ – vlnová dĺžka svetla,
 l – dĺžka modelu.

Softvér obsahuje nasledovné funkcie na globálne a lokálne úpravy obrázku:

- funkcia na obsluhovanie jasu umožňuje upravovať príliš tmavé alebo príliš svetlé obrázky, na obrázky s úrovňou jasu vhodnou pre ďalšie spracovanie,
- funkcia na obsluhovanie kontrastu zvyšuje prípadne znižuje kontrast tmavých a svetlých miest,
- funkcia šum slúži na odstraňovanie drobných defektov v obrázkoch, ktoré vznikli pri odleskoch a nečistotách v zostave, je vykonaná jemným rozostrením obrázku,
- funkcia mierky po zadaní rezu vykreslí zväčšený náhľad vo vedľajšom okne určenom na ďalšie spracovanie obrázku.

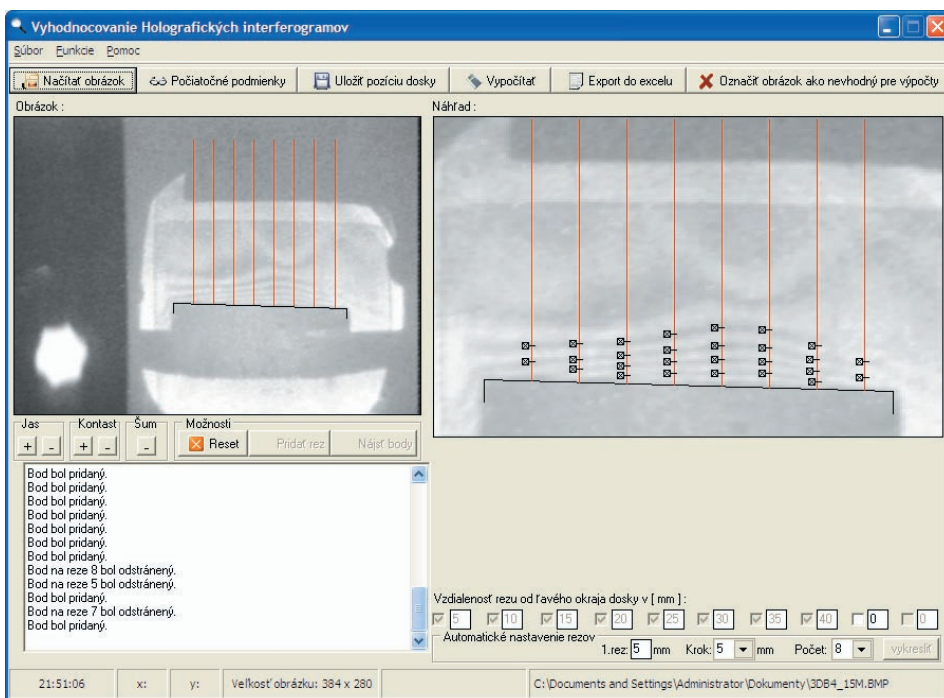
Informačné funkcie softvéru:

- funkcia na zobrazovanie času poskytuje informáciu o reálnom čase, ktorý je aktualizovaný na základe systémového času,
- funkcia na zobrazovanie pozície kurzora myši v obrázku poskytuje informáciu o x -ovej a y -ovej pozícii kurzora myši nad plochou obrázku,
- funkcia veľkosť obrázku zobrazuje veľkosť obrázku v pixeloch, ktorý je aktuálne načítaný v samostatnom okne,
- funkcia cesta k obrázku poskytuje informáciu o presnej ceste uloženia obrázku na disku,
- funkcia pomoc obsahuje užitočné informácie o programe a nápovedu k programu.

Realizačné funkcie softvéru:

- zadanie počiatočných podmienok, ktoré sú potrebné pre výpočet teplôt podľa vzorca (1): dĺžka modelu, teplota a tlak okolia, interferenčný rád nultého prúžku,
- pridávanie rezu/rezov pre výpočet interferenčných rádov a teplôt,
- vykreslenie bodov (miním interferenčných prúžkov),
- výpočet teplôt,
- export výsledkov do MS Excel.

Celkový vzhľad softvéru je na Obr. 1.

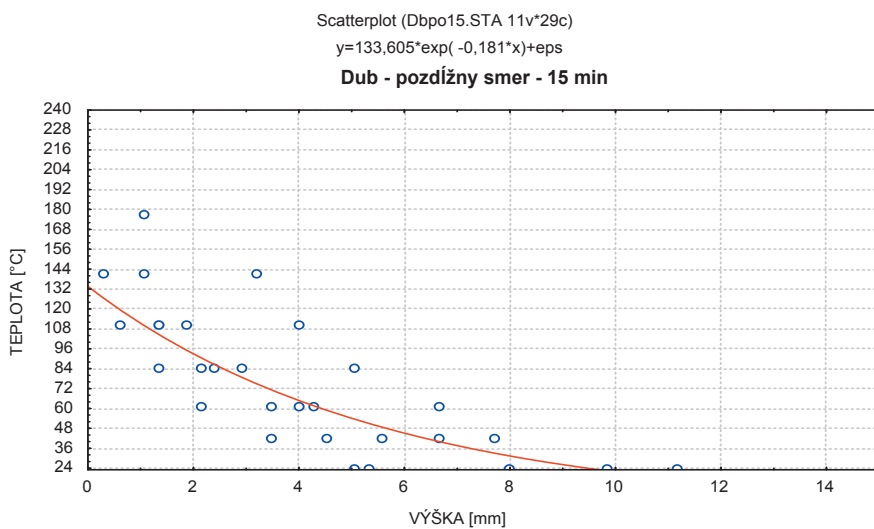


Obr. 1 Hlavné okno aplikácie s vyhľadanými bodmi na rezoch

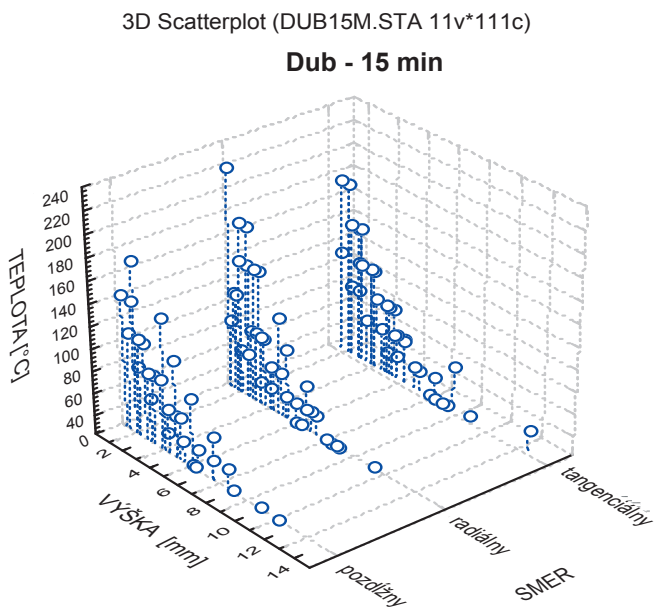
5 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY

Výsledky spracovania holografických interferogramov sú vyexportované vo formáte súborov typu xls, kde sú prehľadne zoradené podľa požiadaviek resp. logického sledu. Tieto výsledky je možné ďalej matematicky, graficky alebo štatisticky spracovávať. Vhodné je zostrojiť grafy, aby boli vypočítané teploty v podobe čísel zobrazené vizuálne, napr. analytické vyjadrenie závislosti teploty od výšky, smeru, vzdialenosti a pod.

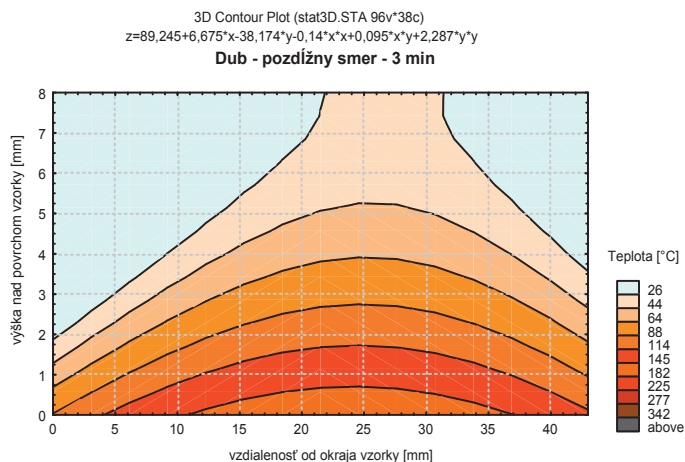
Na nasledujúcich obrázkoch sú ukázané niektoré možnosti ďalšieho spracovania získaných údajov pomocou programu Statistika.



Obr. 2 Analytické vyjadrenie závislosti teploty od výšky nad stredom vzorky



Obr. 3 Analytické vyjadrenie závislosti teploty od smeru a výšky nad stredom vzorky



Obr. 4 Analytické vyjadrenie závislosti teploty od výšky a vzdialenosti od okraja telesa

6 ZÁVER

V príspevku je popísaný softvérový produkt na vyhodnocovanie holografických interferogramov. Cieľom bolo vytvoriť stabilný, presný a spoľahlivý softvér na kvantitatívne vyhodnocovanie holografických interferogramov, ktorý by urýchlil inak zdĺhavú a rutinnú prácu. Napriek snahe o automatizovaný systém, tento softvér vyžaduje kontrolu a interaktívnu spoluprácu operátora, ktorý musí skontrolovať a v prípade potreby pridať alebo odstrániť potrebné body. Niektoré obrázky, ktoré boli zaznamenané pri experimentoch, sú veľmi zložité, obsahujú uzavreté krivky a na hologramoch sú príliš husté interferenčné prúžky, ktoré sa nedajú kvantitatívne vyhodnotiť. Keďže štruktúra niektorých interferenčných prúžkov neumožňuje hodnovernú kvantitatívnu analýzu, softvér obsahuje aj možnosť označiť niektoré obrázky ako nevhodné pre výpočty.

Softvér je vhodný pre Microsoft Windows XP. Pod inými operačnými systémami, ako sú napríklad staršie verzie operačných systémov Microsoft Windows 2000, Microsoft Windows 98 nie je zaručené, že program bude pracovať správne.

LITERATÚRA

- ČERNECKÝ, J., MARČOK, M. 1998. *Aplikácia holografickej interferometrie vo výskume vibračných a akustických vlastností huslí*. Vedecké štúdie. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1998, 75 s.
- ČERNECKÝ, J., SILÁČI, J., KONIAR, J. 2006. Vizualizácia prúdenia popri zakrivenej ohrievanej stene. In: *Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese*: Zborník referátov z medzinárodno-vedeckej konferencie. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2006. s. 44–49

PAVELEK, M., JANOTKOVÁ, E., ŠTĚTINA, J. 2001. *Vizualizační a optické měřicí metody*. Vysoké učení technické v Brně Fakulta strojního inženýrství – Energetický ústav – Odbor termomechaniky a techniky prostředí. Brno (Česká republika), 2001

Kontaktné adresy:

Ing. Lenka Baucová

Ústav Aplikovanej informatiky, automatizácie a matematiky
Materiálovo-technologická fakulta v Trnave
Slovenská technická univerzita v Bratislave
Hajdóczyho 1, 917 00 Trnava

Mgr. Elena Pivarčiová, PhD.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
Masarykova 24, 960 53 Zvolen

FATIGUE CRACK GROWTH RATE BY FINITE ELEMENT SYSTEM ADINA

RÝCHLOSŤ ŠÍRENIA ÚNAVOVÝCH TRHLÍN POMOCOУ KONEČNOPRVKOVÉHO SYSTÉMU ADINA

Mariana KUFFOVÁ – Mário ŠTIAVNICKÝ

ABSTRACT: The tested material – steel STN 41 1373 was subjected to experimental fatigue tests, by which the dependence of fatigue crack growth rate on the applied value of the stress intensity factor amplitude ΔK_{apl} was obtained. Measured results were compared to the dependence of fatigue crack growth rate obtained by simulation in the finite-element software ADINA. Compared results show very good correlation with low error variance in the results.

Key words: finite-element software ADINA, model, crack length, number of cycles

ABSTRAKT: Na skúšanom materiáli – oceli STN 41 1373 boli vykonané experimentálne únavové skúšky, ktorými sme získali závislosť rýchlosti šírenia únavovej trhliny na aplikovanej hodnote rozkmitu faktora intenzity napätia ΔK_{apl} . Namerané výsledky boli porovnané so závislosťou rýchlosti šírenia únavovej trhliny získanou simuláciou v konečnoprvkovom softvère ADINA. Porovnané výsledky vykazujú veľmi dobrú koreláciu s nízkym rozptylom výsledkov.

Kľúčové slová: konečnoprvkový softvér ADINA, model, dĺžka trhliny, počet cyklov

1. INTRODUCTION

The fatigue of construction materials is a degradation process of irreversible changes in material properties caused by cyclic loading. The importance of fatigue is tied foremost to safety of persons, which life is dependent on the reliability of given device operation and from the economical viewpoint (new material development cost, device testing, methodology of testing prototypes and final products etc.). Lowering costs and in substantial extent also increasing efficiency allows us progress in computer technology usability and in application of numerical techniques onto large amount of problems in mechanical engineering. Nowadays a large number of commercial computational programs are at disposition, which allows analyzing fatigue crack propagation. There is many papers dealing with propagation of main crack from global viewpoint and its influence on functionality of given mechanical parts [1, 2]. The aim of this paper is to take a closer look on the damage

initialization and its propagation in the material on the microstructure level. The finite-element program ADINA was used which is suitable on analysis of wide variety of problems. It is possible to solve for linear and nonlinear fracture mechanics, including calculation of J-integrals in 2D and also in 3D space. For this kind of problems there are two modules to choose from, each using different principles. In case that in the material is present more defects or stress concentrators, it is convenient to use the mechanics of material damage which was used in the paper. In the analysis might be included various environment effects like thermal dependence of the material, time dependent effects like creep, and material fatigue, which makes this analysis universal. It allows to model special conditions for material damage and using multi-linear plastic material model also the hysteresis of the material under cyclical load can be simulated. The result of the solution is not only the crack propagation in the structure, but also the stress and strains which are essential to determine the velocity and direction of crack propagation.

2. EXPERIMENTAL MATERIAL AND METHOD

Soft low-carbon cast steel STN 41 1373 without heat treatment was used as an experimental material. This steel is used for building transport machinery and devices, for chosen mechanical parts, parts of constructions, frames and suspension of rail vehicles and other transport vehicles. Chemical composition and chosen material properties are shown in tab. 1 and 2. Microstructure of tested steel is shown in fig. 1 [3].

Table 1 Chemical composition of steel STN 41 1373 (mass. %)

	C	Mn	Si	P	S
STN 41 1373	0,15	0,93	0,44	0,01	0,009

Table 2 Chosen material properties of steel STN 41 1373

Re [MPa]	Rm [MPa]	A₅ [%]	Z [%]	E [MPa]	HRB
235	372	24	57	2,06.10 ⁵	132

On the experimental material STN 41 1373 was determined the dependence of fatigue crack growth rate on applied value of the stress intensity factor amplitude, $da/dN = f(\Delta K_{\text{apl}})$. The experimental fatigue tests were performed first and using finite-element software ADINA the simulation of crack growth rate was done and dependence on intensity factor amplitude obtained.

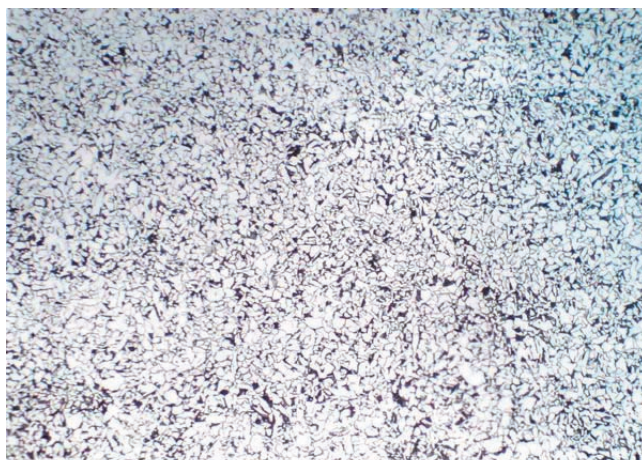


Figure 1 Microstructure of steel STN 41 1373, magn. 100x, etch. 1% Nital

The fatigue tests were realized on the pulse device connected to test device EDZ 100 DYN. Experimental specimens in the location of fatigue crack propagation were of area 100×3 mm and had primary notch of initial length $2a = 10$ mm. With the shape the specimens (fig. 2) are fulfilling the condition of initiation, propagation and rest of fatigue crack under cyclic loading and also the condition of plane stress inside the specimen. The loading was realized under following conditions: $f = 10$ Hz, temperature $T = 20 \pm 10$ °C, asymmetry of loading cycle $R = 0,35; 0,45; 0,5; 0,6$. In regular time intervals the surface crack length $2a$ and number of loading cycles were measured. For processing of the experimental results the starting point was the dependence of crack length $2a$ on number of cycles N . From the dependence $2a - N$ was numerically obtained the dependence of fatigue crack growth rate da/dN on the crack length $2a$ and also numerically obtained was the dependence of fatigue crack growth rate da/dN on the applied value of stress intensity factor amplitude ΔK_{apl} [3].

Using the finite-element program ADINA a fatigue test was simulated for given material – steel STN 41 1373. It was a low cycle fatigue and a model of corresponding test specimen was used on which the experimental tests were performed. The test specimen shows double symmetry and this knowledge was effectively used to reduce the model and modeled was only one quarter of the specimen together with boundary conditions for symmetry. The loading was given the same as in the case of experiment as a cyclic stress with maximum equivalent to force 100 000 N and with asymmetry of the loading cycle $R = 0,35; 0,45; 0,5; 0,6$. Quadratic elements were used to discretize the model. In the area of crack propagation and in the vicinity finer mesh was produced in order to achieve higher accuracy. It turned out that the quality of the mesh has significant influence on the accuracy of the results. The material is modeled as an ideal elastic-plastic material with no defects or imperfections, except for the defined initial crack. Meshed model is shown in fig. 3

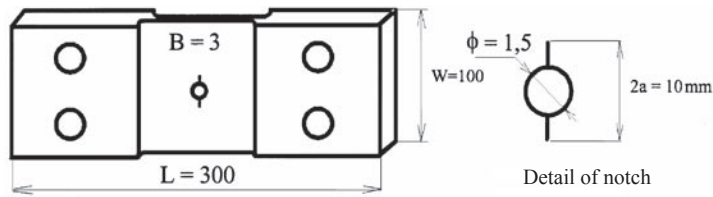


Figure 2 Shape and dimension of specimens

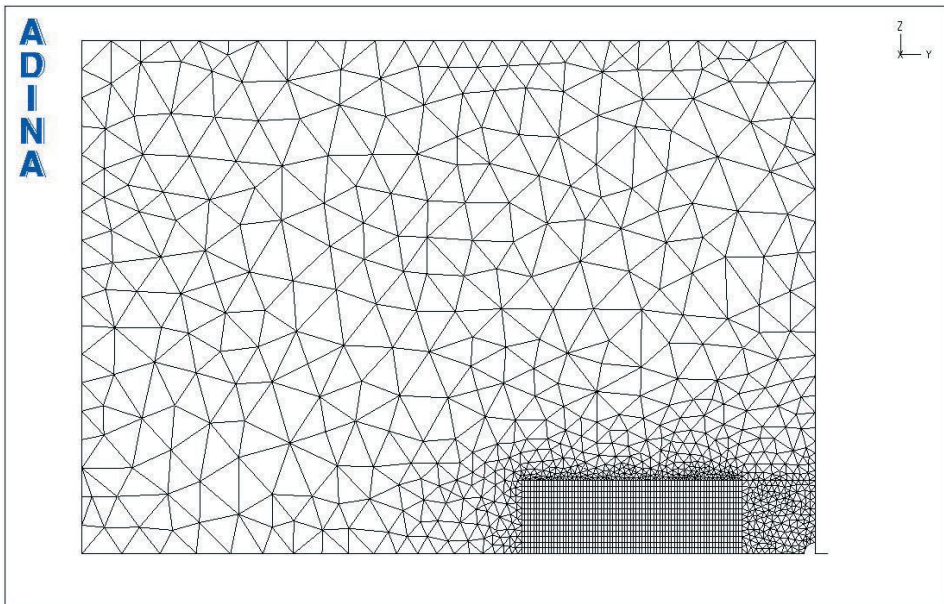


Figure 3 Meshed model

3. NUMERICAL RESULTS AND DISCUSSION

In accordance with presented process there were acquired dependences $2a - N$, shown in fig. 4 for testing specimens by frequency $f = 10$ Hz with maximal strength of constant value $F_{\max} = 100$ kN at asymmetry loading cycle $R = 0,35; 0,45; 0,5; 0,6$ and also numerical results in ADINA and both results – experiment and simulation were compared (fig. 4).

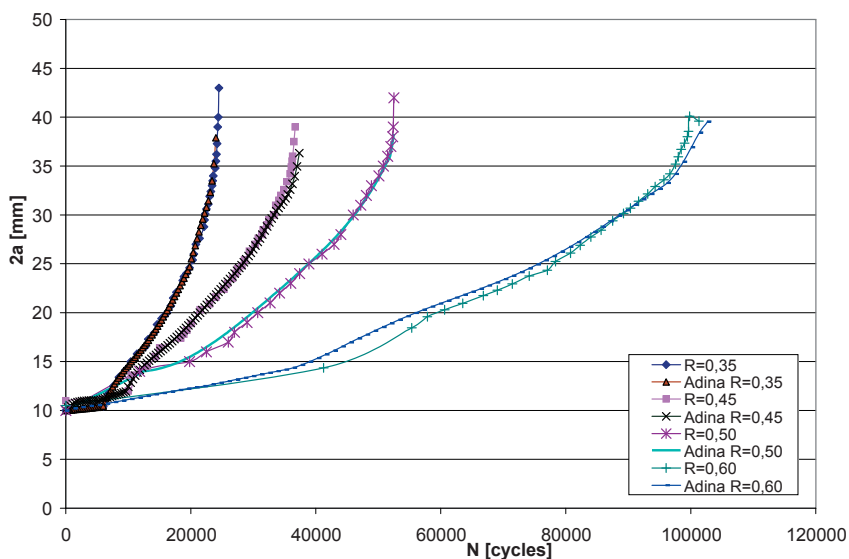


Figure 4 Comparison of the dependence 2a – N, STN 41 1373

There are listed acquired values of coefficients in tab. 3 for steel STN 41 1373 C, m Paris dependency equation $da/dN - \Delta K_{apl}$, valid for length period of fatigue breaches $2a = 20$ till 35 mm.

Table 3 Value of coefficients C, m Paris dependency equation

R	$F_{max} = 100 \text{ kN}, f = 10 \text{ Hz}$	
	C	m
0,35	$7,59 \cdot 10^{-12}$	3,141
0,45	$6,14 \cdot 10^{-12}$	3,266
0,5	$8,25 \cdot 10^{-12}$	3,192
0,6	$9,89 \cdot 10^{-12}$	3,236

Crack propagation for lengths $2a < 20 \text{ mm}$ is influenced by creation and forming of plastic zone on the tip of the crack. For lengths $2a > 35 \text{ mm}$ unstable crack propagation occurs. Because of this, stable propagation of crack was assumed for crack lengths $20 \text{ mm} \leq 2a \leq 35 \text{ mm}$. Obtained dependence of crack growth rate da/dN on ΔK_{apl} is shown in fig. 5.

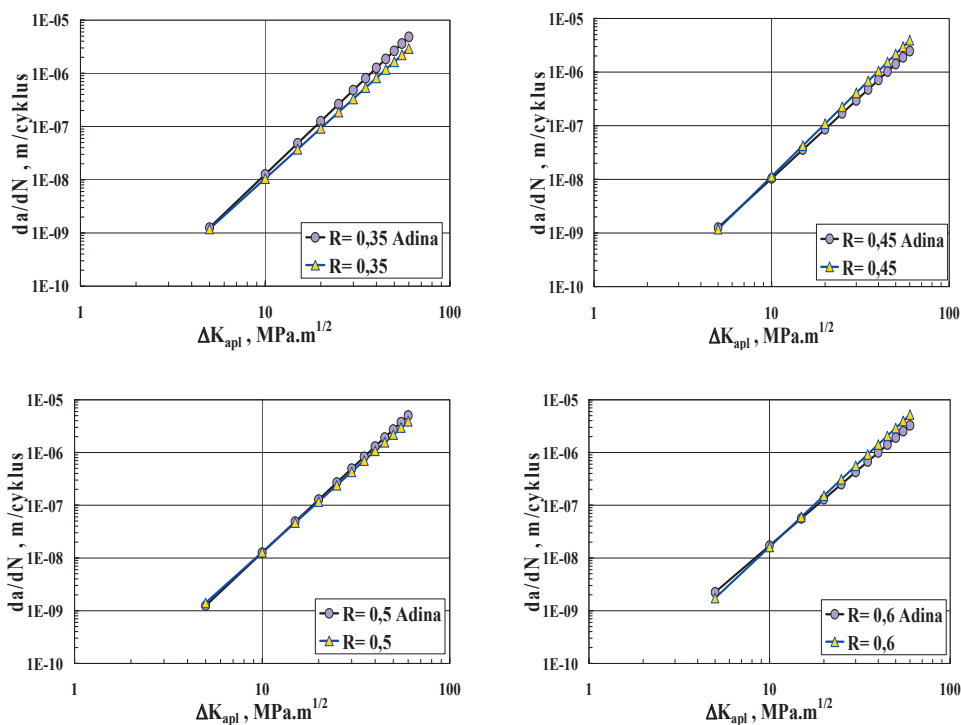


Fig. 5 Dependence $da/dN - \Delta K_{apl}$ for steel STN 41 1373

4. CONCLUSION

In the base of information analysis which consequent from theoretical analyze of solved problem [4, 5] and discussion of experimental and numerical results it is possible to say following conclusions:

- 1: The used experimental device was fully certified by experiments and allowed the study of propagation at the test conditions.
- 2: Finite element software ADINA is able to solve problem of fatigue crack propagation and its results are fully comparable to experimental results.
- For used low carbon weldable steel STN 41 1373 were obtained:
 - the dependences $2a - N$ and $da/dN - \Delta K_{apl}$,
 - values of constants C , m Paris dependence equation $da/dN - \Delta K_{apl}$ for interval of fatigue breaches 20 till 35 mm and individual asymmetries of loading.
- With increasing of loading cycle asymmetry R , it is increased the fatigue crack growth rate.
- According to comparison of these two results, it is possible to state a good correlation between the experimental measurement and numerical simulation.

- Variance in results is strongly dependent on fineness of the mesh in the crack propagation area and also on material model.

SÚHRN

Cieľom tohto článku bolo objasniť princíp porušenia v mikroobjeme. Na základe porovnania závislosti rýchlosti šírenia únavovej trhliny na aplikovanej hodnote rozkmitu faktora intenzity napätia, $da/dN = f(\Delta K_{\text{apli}})$ je možné konštatovanie dobrej korelácie medzi experimentálnym meraním a simuláciou. Rozptyl výsledkov je silne závislý na jemnosti diskretizácie skúmanej oblasti a taktiež od materiálového modelu.

Konečnoprvkový softvér ADINA nám umožňuje na ľubovoľnom modeli štruktúry sledovať rast a šírenie únavovej trhliny ako aj rozloženie pôsobiaceho napätia.

REFERENCES

- [1] CHAROENPHAN, S. – PLESHA, M. E. – BANK, L. C.: 2004. Simulation of crack growth in composite material shell structures. *Int. J. Numer. Meth. Engng*, 2004 60, 2399–2417
- [2] URAL, A. – WAWRZYNEK, P. A. – INGRAFFEA, A. R.: 2003. Simulating Fatigue Crack Growth in Spiral Bevel Pinion. *NASA Glenn Research Center*: Cleveland OH, 2003
- [3] BELLOVÁ, M. – BELLA, V. – WOLNY, S.: 2000. Fatigue Characteristics Weldable Steel STN 41 1373. „*Problemy w Konstrukcji i eksploatacji maszyn hutniczych i ceramicznych*“, Krakow, 2000, s. 87. ISBN 83-913400-1-5
- [4] HIDVÉGHY, J.: 1998. Aplikácia zákonitosti rastu únavovej trhliny na riešenie problémov praxe. *Letná škola únavy materiálov '98*. Rajecké Teplice, 1998. ŽU Žilina, 1998, s. 91. ISBN 80-7100-523-1
- [5] DVOŘÁK, I.: 1995. *Degradační procesy a mezní stavy*. Brno, VA Brno, 1995, 194

Contact address:

Ing. Mariana Kuffová, PhD.

Ing. Mário Štiavnický, PhD.

Katedra strojárstva

Akadémia ozbrojených síl gen. M. R. Štefánika

Demänová 393, 031 01 Liptovský Mikuláš

ROZPOZNÁVANIE OBRAZU V SPEKTRÁLNEJ OBLASTI

IMAGE RECOGNITION IN ENERGY SPECTUM

Mária HRČKOVÁ – Marta ČABOUNOVÁ

ABSTRACT: Transformation model working with image in frequency spectrum and its application in recognition of PET bottles in scenes containing various damage are described in the article. Theoretical basis of model creation and its realisation together with the recognition process itself are introduced. In conclusion, reached results are evaluated.

Key words: model, image, object, edge operator, transformation

ABSTRAKT: V článku je popísaný transformačný model, ktorý pracuje s obrazom vo frekvenčnej oblasti a jeho aplikácia pri rozpoznávaní PET fliaš zo scén, ktoré obsahujú rôzne typy poškodení. Uvedený je teoretický základ vytvorenia modelu, jeho realizácia a samotný proces rozpoznávania. V závere sú vyhodnotené dosiahnuté výsledky.

Kľúčové slová: model, obraz, objekt, hranový operátor, transformácia

1. ÚVOD

Človek prostredníctvom zraku získava obrazové informácie z okolitého prostredia a rozumie im. V posledných rokoch je snahou implementovať túto schopnosť živých organizmov technickým systémom. Aj s použitím najmodernejšej výpočtovej techniky tento cieľ nie je jednoduché dosiahnuť. Spracovanie obrazu sa preto stalo rozsiahlou vednou disciplínou, ktorá sa skladá z viacerých oblastí. Jednou z nich je analýza obrazu. 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. Na priebeh analýzy má vplyv veľký počet faktorov. Sú to napr. prostredie, v ktorom sa obraz získava, spôsob a kvalita osvetlenia, kvalita snímacieho zariadenia, ľudský faktor, spôsob uloženia obrazu, druh objektov v obraze, ktorý je predmetom nášho záujmu a mnohé ďalšie. Každý z nich môže kladným alebo záporným spôsobom ovplyvňovať kvalitu obrazu a následne aj všetky operácie s týmto obrazom uskutočňované. Obraz tak už od okamihu jeho zaznamenania môže so sebou niesť chybovú informáciu. Jej potlačenie, prípadne minimalizáciu je možné dosiahnuť aplikáciou rôznych postupov, ktoré sa dajú zhrnúť do oblastí predspracovania obrazovej informácie. 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.

2. MATERIÁL A METÓDY

Pri analýze obrazu obyčajne zohľadňujeme cieľ, ktorý chceme dosiahnuť. Pri technických aplikáciách sa často vyskytuje požiadavka rozpoznania objektov v obraze. 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. Bol navrhnutý celý rad modelov, ktoré boli experimentálne overované. My sme hľadali modely, ktoré by umožňovali prácu z obrazmi obsahujúcimi plastové objekty – konkrétne PET fľaše. Jedným z overovaných modelov bol transformačný model.

Transformačný model je zostavený na základe ortogonálnych transformácií. Ortogonálne transformácie umožňujú reprezentovať časové priebehy obrazových signálov vo forme jeho zovšeobecneného spektra [4]. 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: Diskrétne kosínusová transformácia, Fourierova transformácia, Walshova a Haarova transformácia.

Diskrétne 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 [1]:

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

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

$f(x, y)$ – reprezentuje hodnoty obrazových prvkov

$F(u, v)$ – reprezentuje hodnoty transformačných koeficientov

Diskrétne 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 $u = 0, 1, \dots, N-1$ [1]:

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

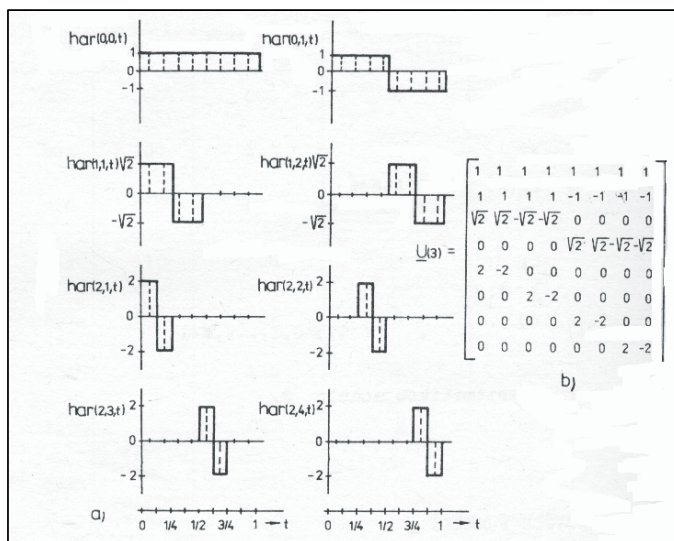
Walshova transformácia

Podľa [4], 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 [4], 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 1 je znázornených prvých osem spojitých aj diskretných Haarových funkcií.



Obrázok 1 Haarove bázové funkcie a matica 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.

Pri overovaní transformačného modelu boli ako vstupný materiál zvolené scény obsahujúce PET fľaše (Obrázok 2) a ich upravené verzie obsahujúce rôzne druhy simulácií poškodení plastových fliaš (Obrázok 3). O aké poškodenia sa jedná je uvedené v Tabuľke 1.



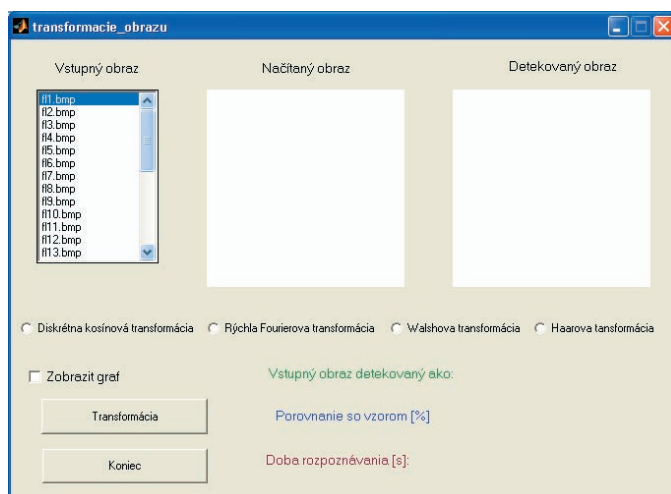
Obrázok 2 Obrazy plastových fliaš (fl1, fl2, fl3, fl4)



Obrázok 3 Príklady poškodených obrazov (fl5, fl6, fl7, fl9, fl10, fl12, fl13, fl18, fl20, fl27)

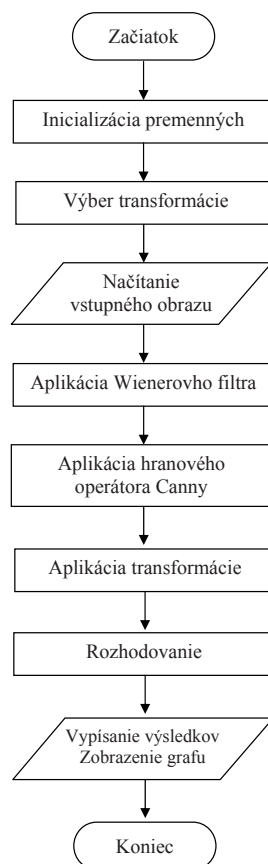
Tabuľka 1 Simulácie poškodení obrazu

fl5	zmena jasv v $1/2$ výšky obrazu
fl6	zvýšenie magnitúdy najjasnejších pixlov a vytvorenie ich stopy
fl7	mierne rozostrenie obrazu
fl8	zmena hodnôt R-B-G o parametre: 5, 5, 5
fl9	biely šum (parameter zašumenia 18)
fl10	lokálne zvýšenie jasv (simulácia odrazu svetla)
fl11	poškodenie tvaru objektu
fl12	zvlnenie obrazu
fl13	Gaussov šum (hodnota zašumenia 15)
fl14	rozostrenie obrazu
fl15	natočenie objektu o 8° a následné rozostrenie obrazu
fl16	zmena hodnôt farba-saturácia-jasv o parametre: 5, -5, 5
fl17-19	sklon objektu o rôznyi uhol
fl20-28	natočenie objektu o rôznyi uhol



Obrázok 4 Základné okno programu „transformacie_obrazu“

Pred aplikáciou transformačného modelu boli na obraz aplikované metódy predspracovania. V prvom kroku Wienerov filter s maskou 5×5 a následne hranový operátor, ktorý vyšpecifikovaním hrán objektu znížil množstvo informácií v obraze a ponechal predovšetkým informácie s najväčšou výpovednou hodnotou. Použitý bol hranový operátor Canny s prahom 0,138. Transformačný model bol realizovaný programom pod názvom „transformacie_obrazu“ na základe vývojového diagramu na Obrázku 5. Po spustení programu sa zobrazí základné okno (Obrázok 4). V ponuke „Vstupný obraz“ si vyberieme obraz, na ktorý chceme aplikovať transformačný model a po jeho výbere nastane automaticky jeho načítanie a zobrazenie v okne „Načítaný obraz“. V strednej časti základného okna sa nachádzajú prepínače spolu s názvami transformácií, ktoré si môžeme navoliť. Vľavo je zaškrtvacie políčko, ktoré nám poskytuje možnosť zobrazenia spektra navoleného vstupného obrazu v 3D priestore. Samotná aplikácia je realizovaná zatlačením tlačidla „Transformácia“. Konkrétne konečné výsledky sú uvedené v pravej dolnej časti. V pravej hornej časti môžeme súbežne sledovať obraz načítaný a obraz, ktorý je výsledkom identifikácie po aplikácii niektorej z transformácií. Po zatlačení tlačidla „Transformácia“ prebehne aplikácia Wienerovho filtra a následne hranového operátora Canny.



Obrázok 5 Vývojový diagram programu „transformacie_obrazu“

V ďalšom kroku program prevedie načítaný obraz do spektrálnej oblasti a zistené spektrum porovnáva so spektrom ideálneho obrazu. Na základe zistených rozdielov uskutoční vyhodnotenie detekcie. Proces vyhodnotenia prebieha prostredníctvom:

- výpočtu priemeru prvkov matice. Ak všetky hodnoty v matici sú: x_1, x_2, \dots, x_n , aritmetický priemer tohto radu čísiel je definovaný ako:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4)$$

- výpočtu smerodajnej odchýlky, ktorá je mierou štatistickej disperzie. Smerodajná odchýlka vypovedá o tom, ako široko sú rozložené hodnoty v matici. Realizácia je podľa vzťahu:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

- výpočtu rozptylu (resp. variancie), ktorý je najčastejšie používaný ako miera variability. Je definovaný ako priemer druhých mocnín odchýlok jednotlivých hodnôt matice od ich aritmetického priemeru. Realizácia je na základe vzťahu:

$$d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (6)$$

- výpočtu korelácie medzi ideálnym a poškodeným obrazom. Korelácia vyjadruje väzbu – závislosť medzi maticami reprezentujúcimi príslušné obrazy. Nech x_1, x_2, \dots, x_n sú hodnoty jednej matice a y_1, y_2, \dots, y_n sú hodnoty druhej matice, potom r – koeficient korelácie definujeme:

$$r = \frac{k}{s_1 s_2} \quad (7)$$

kde s_1, s_2 sú smerodajné odchýlky hodnôt x a y a pre k platí:

$$k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (8)$$

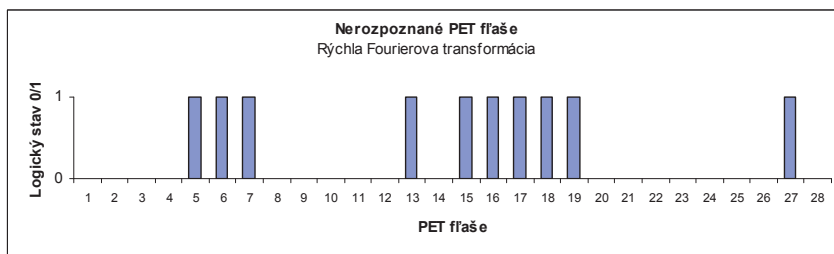
3. VÝSLEDKY

Pri experimentoch boli zaznamenané obrazy, ktoré model nedetekoval, detekoval správne a ktoré detekoval nesprávne. Experimenty boli vykonané pre všetky uvedené transformácie. Výsledky pre Rýchlú Fourierovu transformáciu (RFT) sú uvedené v Tabuľke 2.

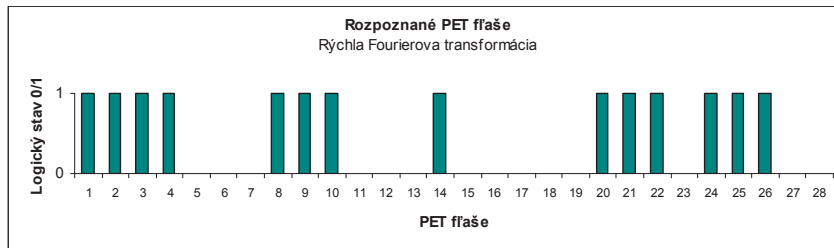
Úspešnosť aplikácie transformačného modelu bola vyhodnotená individuálne pre každú transformáciu a výsledky pre Rýchlú Fourierovu transformáciu sú na Obrázku 6.

Tabuľka 2 Výsledky pre transformačný model realizovaný RFT

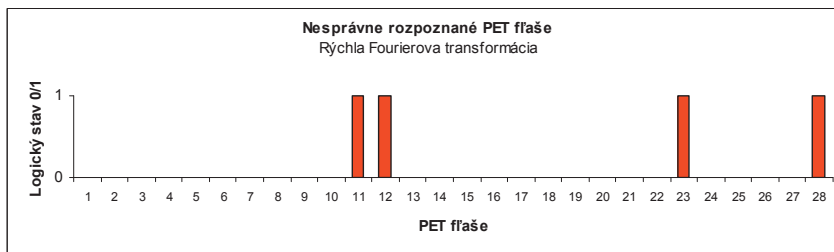
Fľaša	Detekcia	Percentá	Čas [s]	Fľaša	Detekcia	Percentá	Čas [s]	Fľaša	Detekcia	Percentá	Čas [s]
FL1	1	100	1,625	FL11	2	50	1,625	FL21	1	50	1,609
FL2	1	100	1,610	FL12	2	50	1,625	FL22	1	75	1,640
FL3	1	100	1,625	FL13	0	25	1,625	FL23	2	50	1,625
FL4	1	100	1,625	FL14	1	50	1,640	FL24	1	50	1,657
FL5	0	25	1,641	FL15	0	25	1,656	FL25	1	75	1,625
FL6	0	25	1,640	FL16	0	25	1,641	FL26	1	50	1,641
FL7	0	25	1,656	FL17	0	25	1,625	FL27	0	25	1,641
FL8	1	50	1,625	FL18	0	25	1,641	FL28	2	50	1,641
FL9	1	50	1,640	FL19	0	25	1,688				
FL10	1	75	1,657	FL20	1	75	1,625				



a)



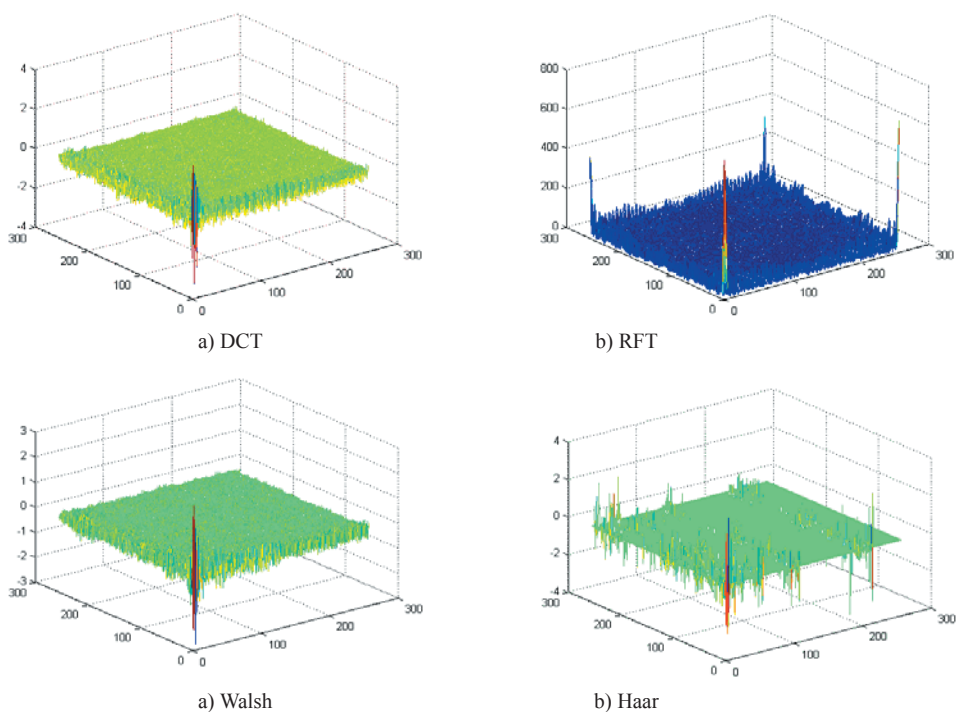
b)



c)

Obrazok 6 Výsledky pre Rýchlu Fourierovu transformáciu

Príklady spektrier po aplikácii jednotlivých transformácií na obraz fl1 vidieť na Obrazku 7.



Obrázok 7 Príklady spektier

4. DISKUSIA

Diskrétna kosínusová transformácia

Pri vyhodnotení tejto transformácie výrazne vystupuje do popredia vysoký počet nesprávne identifikovaných obrazov fliaš. Obrazy, ktoré boli identifikované správne obsahujú rôzne typy poškodení. Počet fliaš, ktoré tento model nedokázal identifikovať nebol vysoký – boli to 4 obrazy. U každého z nich by sme mohli presne vyšpecifikovať o aké poškodenia sa jedná, ale vzhľadom na počet nesprávnych identifikácií nie je možné uvažovať o použití tejto transformácie pri rozpoznávaní obrazov PET fliaš v praxi.

Rýchla Fourierova transformácia

Pri použití tejto transformácie je výrazným kladom pokles nesprávnych identifikácií. Na druhej strane ten pokles bol na úkor počtu obrazov, ktoré model nedokázal identifikovať. Tento prípad je prijateľnejší, pretože môžeme presne vyšpecifikovať typy poškodení, ktoré tento model dokáže rozpoznávať. Sú to:

- fl8 – zmena hodnôt R-B-G o parametre $-5, 5, 5$
- fl9 – biely šum (parameter zašumenia 18)
- fl10 – lokálne zvýšenie jasu (simulácia odrazu svetla)
- fl14 – rozostrenie obrazu
- fl20 – fl22, fl24 – fl26 – natočenie objektu o rôzny uhol.

Walshova transformácia

V tomto prípade opätovne došlo k nárastu nesprávnych identifikácií, pričom aj počet obrazov, ktoré model nebol schopný identifikovať je vysoký. Z tých obrazov, ktoré boli správne identifikované, musíme zanedbať obrazy obsahujúce poškodenia vzniknuté pootočením. Konkrétne prípady: fl20, fl24–fl26, pretože väčší počet obrazov obsahujúcich uvedený typ poškodenia bol identifikovaný nesprávne. Ostali nám tieto typy poškodení, ktoré transformačný model s využitím Walshovej transformácie dokáže rozpoznať:

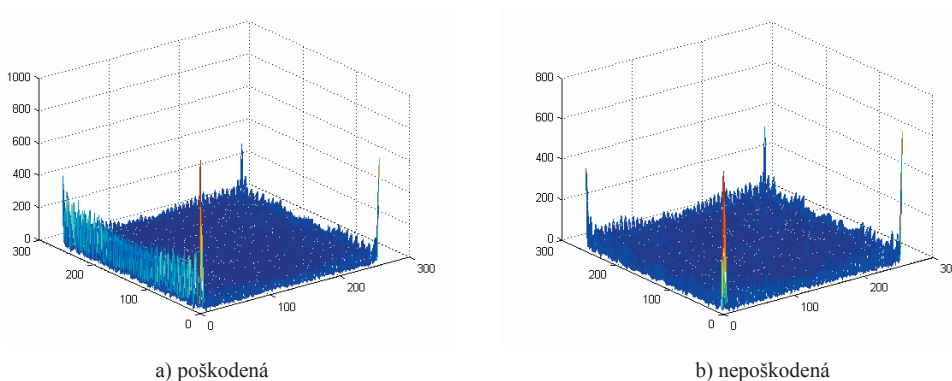
- fl7 – mierne rozostrenie obrazu
- fl8 – zmena hodnôt R-B-G o parametre $-5, 5, 5$
- fl10 – lokálne zvýšenie jasu (simulácia odrazu svetla)
- fl14 – rozostrenie obrazu.

Haarova transformácia

U Haarovej transformácie sa opakuje obdobný stav ako u transformácie Walshovej. Počet obrazov nesprávne identifikovaných, ale aj obrazov, ktoré model nebol schopný identifikovať je vysoký. Situácia sa opakuje aj u obrazov obsahujúcich poškodenia vzniknuté pootočením. Ostali nám tieto typy poškodení, ktoré transformačný model s využitím Haarovej transformácie dokáže rozpoznať:

- fl8 – zmena hodnôt R-B-G o parametre $-5, 5, 5$
- fl10 – lokálne zvýšenie jasu (simulácia odrazu svetla)
- fl14 – rozostrenie obrazu
- fl15 – natočenie objektu o 8° a následné rozostrenie obrazu.

Na Obrázku 8 vidieť spektrá obrazu fl5, ktorá ani jednou z transformácií nebola rozpozná. Spektrá ideálneho obrazu a obrazu poškodeného zmenou jasu v $\frac{1}{2}$ výšky obrazu sú výrazne odlišné.



Obrázok 8 fl5 – Rýchla Fourierova transformácia

Čo sa týka percentuálnej zhody s nepoškodeným originálom pri správne identifikovaných fľašiach, výsledky vidieť v Tabuľke 3, vyhodnotenie času identifikácie je v Tabuľke 4.

Tabuľka 3 Percentuálna zhoda pri identifikácii

Transformácia	DCT	RFT	Walsh	Haar	Celkovo
Percentá [%]	67,50	60,00	68,75	75,00	67,81

Tabuľka 4 Doba trvania identifikácie

Transformácia	DCT	RFT	W	H
Čas [ms]	1662	1636	2133	2362

5. ZÁVER

Cieľom vytvorenia transformačného modelu bola možnosť aplikácie spracovania obrazov do systému triedenia druhotných surovín. Na experimenty sme si zvolili PET fľaše rôzneho typu. Vhodnosť modelu bola overovaná na scénach obsahujúcich rôzne typy poškodení, ktoré sa v menšej či väčšej miere môžu vyskytnúť v procese spracovania obrazu. Transformačným modelom bol celý proces spracovania obrazu 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 zatriediť do triedy obsahujúcej obrazu daného typu. Navrhnutý model nájde uplatnenie pri rozpoznávaní obrazov v prípade nepoškodených obrazov. Ak je obraz porušený, boli vyšpecifikované chyby, ktoré daný model dokáže rozpoznať a u ktorých typov poškodení tento model je nevhodný. Vzhľadom na tieto skutočnosti môžeme odporučiť uvedený model na praktické využitie s ohľadom na znalosť prostredia, prostriedkov a objektov, ktoré budú súčasťou triedenia odpadových materiálov. Jedná sa o nové postupy, ktoré môžu byť použité aj v iných aplikáciách ako je triedenie odpadov. Transformačný model bol porovnávaný aj s inými typmi modelov. Ako vhodné do budúcnosti sa javí zamerať sa na stanovenie ďalších charakteristík vhodných pre rozpoznávanie a prípadný posun výskumu do aplikácie časovo-frekvenčného zobrazenia.

LITERATÚRA

- [1] BLÁZSOVITS, G.: *Interaktívna učebnica spracovania obrazu*. <http://dip.sccg.sk/>, 26. 5. 2008
- [2] HRČKOVÁ, M.; ŠURIANSKY, J.: 2005. Simulácia spracovania obrazu v programe Matlab. *Acta Facultatis Technicae*, TU Zvolen 2005, IX, str. 71–80, ISBN 80-228-1601-9
- [3] KARBAN, P.: 2006. *Výpočty a simulace v programech Matlab a Simulink*. Computer Press, a. s. Brno, 2006
- [4] MIHALÍK, J.: 1987. *Číslíkové spracovanie signálov I*. Vydavateľstvo Alfa, Bratislava, 1987
- [5] MIHALÍK, J.; ZAVACKÝ, J.: 2007. *Diskrétne signály a systavy*. TU Košice, 2007

Kontaktná adresa:

Ing. Mária Hrkčková, Ing. Marta Čabounová

Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita Zvolen, T. G. Masaryka 24, 96053 Zvolen

ZISŤOVANIE STABILITY PROCESU POMOCOУ INDEXOV SPŔSOBILOSTI

THE DETERMINATION OF PROCESS STABILITY BY CAPABILITY INDICES

Miroslava ŤAVODOVÁ

ABSTRACT: Motivation for the improvement of quality originates from the need to offer to the customer the best value and satisfaction. This paper offers various possibilities of exploitation of methods and process/regulation statistical techniques which are applied in order to achieve a stability in the process of wood flooring panel production. The methods of quality improvement have been chosen from the broad spectre of statistical tools used in the technical environment: control charts (\bar{X} , R) and process capability indices. Both of them tools are interconnected; capability indices calculatious C_p and C_{pk} are always an integral part of control charts. Without these the control charts would only provide an incomplete proof of the process capability.

Key words: tools and techniques for quality control, control charts, capability indices, stability of process

ABSTRAKT: Motivácia na zlepšovanie kvality vychádza z potreby ponúknuť zákazníkom vyššiu hodnotu a uspokojenie. Článok ponúka možnosti využitia metód a techník štatistickej regulácie procesu pre dosiahnutie stability procesu výroby drevených podlahových panelov. Zo širokého spektra štatistických metód používaných v technickej praxi boli vybraté dva nástroje – regulačné diagramy (\bar{X} , R) a indexy spôsobilosti procesu. Tieto metódy sú spolu previazané. Súčasťou regulačných diagramov býva vždy aj výpočet indexov spôsobilosti C_p a C_{pk} , pretože regulačné diagramy by sami o sebe dávali len čiastočný dôkaz o spôsobilosti procesu.

Kľúčové slová: nástroje a metódy riadenia kvality, regulačné diagramy, indexy spôsobilosti, stabilita procesu

ÚVOD

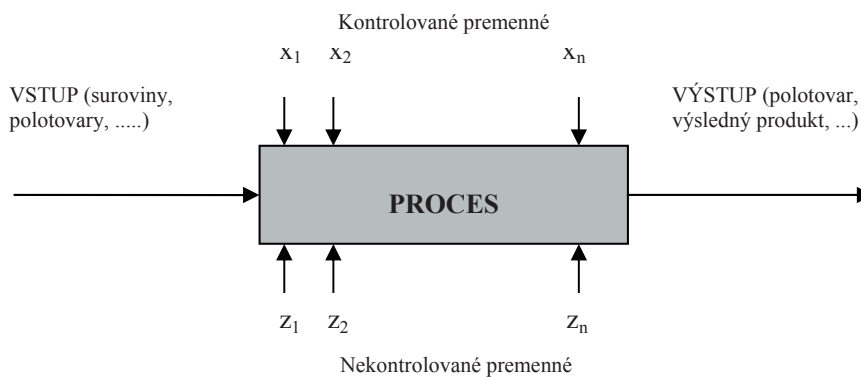
V každom odvetví národného hospodárstva stáva sa vplyv kvality produktov na uplatnenie a následné udržanie sa na trhu veľmi dôležitým faktorom. Všetky činnosti, ktoré sa vykonávajú v rámci hlavných podnikových procesov, musia byť vykonané kvalitne. Zabezpečenie kvality je však potrebné aj pri podporných riadiacich a obslužných procesoch. Len kvalitné riadenie a podpora procesov môžu zaručiť celkovú kvalitu spojenú

s tvorbou produktov. Aby boli najmä výrobné procesy v organizácii kvalitné, je potrebné aplikovať vhodné metódy a nástroje riadenia a zlepšovania kvality.

Vybraným výrobným uzlom pre zisťovanie stability a spôsobilosti procesu je frézovanie združených prírezov pre výrobu nášľapnej vrstvy drevených podlahových panelov na štvorstrannom frézovacom stroji, kde jedným s regulovateľných parametrov je hrúbka združených prírezov. V rámci štatistického riadenia kvality môže byť meranie spôsobilosti procesu súčasťou štatistickej regulácie procesu alebo sa dá aplikovať aj samostatne. Ak sa používa v spojení s reguláciou procesu, všeobecným predpokladom merania spôsobilosti je to, aby bol proces v štatisticky zvládnuteľnom stave. Základom pre zisťovanie spôsobilosti procesu sú indexy spôsobilosti procesu.

1. ŠTATISTICKÁ REGULÁCIA PROCESU

Základnou otázkou v organizácií orientovanej na kvalitu je do akej miery je schopná uspokojiť očakávania zákazníkov. Keď sú očakávania zákazníkov vymedzené, je potrebné, aby dodávateľ vedel adekvátne kvantifikovať to, v akom rozsahu je schopný uspokojiť tieto očakávania. Výrobok, ktorý ma byť vhodný na použitie, by sa všeobecne mal vyrábať v stabilnom alebo opakovateľnom procese. To znamená, že proces by mal byť schopný produkovať výrobky s prijateľnou variabilitou stanovených ukazovateľov kvality vzhľadom na ich dané cieľové alebo nominálne hodnoty (Terek – Hrnčiarová, 2004).



Obr. 1 Schéma procesu

Proces je súbor vzájomne súvisiacich alebo vzájomne sa ovplyvňujúcich činností, ktoré transformujú vstupy na výstupy. Vstupmi do procesu sú zvyčajne výstupy z iných procesov (Nolan – Provost, 1990). Na obrázku 1 je naznačená schéma procesu s premennými, ktoré naň pôsobia. Kontrolované premenné x_1, x_2, \dots, x_n , sú napr. tlak, rýchlosť posuvu a pod. Za nekontrolované alebo šumové premenné z_1, z_2, \dots, z_n môžeme považovať napr. kvalitu vstupného materiálu odoberaného od externého dodávateľa. V procese sa vstupy premieňajú na produkt, na ktorom možno definovať charakteristiky a ukazovatele kvality.

Predpokladáme, že proces možno charakterizovať jednou alebo viacerými veličinami, najčastejšie ukazovateľmi kvality alebo technologickými parametrami, ktoré sa súhrnne nazývajú regulované veličiny. Existuje viacero definícií štatistickej regulácie procesu (Statistical Process Control – SPC). Môže to byť súbor nástrojov, väčšinou štatistických, ktoré pomáhajú pochopiť, čo sa deje v nejakom procese, ktorý produkuje produkty. Podľa (Hrubec, 2001) štatistická regulácia procesu je súbor nástrojov na udržiavanie stability procesu a zlepšovanie jeho spôsobilosti prostredníctvom redukcie variability.

Základný princíp analýzy a zlepšovania procesov a systémov daný Dr. Waltherom Shewhartom vychádza z predpokladu, že variabilitu hodnôt ukazovateľov kvality spôsobujú dva druhy príčin:

- Náhodné príčiny [Chance (Common) Causes] variability – sú stálou súčasťou procesu alebo systému a ovplyvňujú všetky zložky procesu.
- Vymedziteľné (systematické) príčiny [Assignable (special) Causes] variability – nie sú stálou súčasťou procesu alebo systému alebo neovplyvňujú všetky zložky procesu, ale vznikajú v dôsledku špecifických okolností.

Stabilný proces (v štatisticky zvládnutom stave) je proces alebo systém, ktorý ovplyvňujú len náhodné príčiny. V stabilnom procese alebo v jeho produktoch je zahrnutá len prirodzená (inherentná) variabilita a systém príčin variability zostáva v čase prakticky nemenný. To znamená, že neexistuje variabilita hodnôt výstupu procesu, že variabilita je malá alebo že výstupy spĺňajú požiadavky zákazníka. Stabilita procesu indikuje len to, že variabilitu hodnôt výstupov možno predvídať v štatisticky definovaných hraniciach.

Nestabilný proces (v štatisticky nezvládnutom stave) je proces, ktorého výstupy ovplyvňujú náhodné aj vymedziteľné príčiny. Nestabilný proces nemá nevyhnutne veľkú variabilitu hodnôt výstupov. Nazýva sa nestabilný preto, že amplitúda variability je v rôznych časových úsekoch nepredvídateľná.

Keď sú vymedziteľné príčiny identifikované a odstránia sa, proces sa stane stabilným.

Pre výrobcov sú vedomosti o spôsobilosti procesu veľmi dôležitým predpokladom pre kvalifikované rozhodnutia pri plánovaní kvality, pretože mu umožňujú vybrať pre výrobu určitého produktu vhodný proces, odhadnúť pravdepodobnosť výskytu nezhodných jednotiek, plánovať preventívne a nápravné opatrenia a hodnotiť ich účinnosť, posudzovať stabilitu procesov a pod.

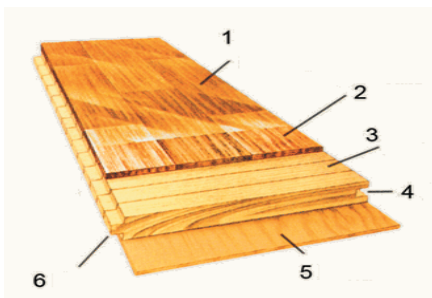
Pre zákazníka, ktorý požaduje od výrobcu hodnotenie spôsobilosti, táto informácia poskytuje dôkaz o tom, či produkt bol vyrobený v stabilných výrobných podmienkach a boli dodržané predpísané kritéria.

V rámci štatistického riadenia kvality meranie spôsobilosti procesu môže byť súčasťou štatistickej regulácie procesu alebo sa dá aplikovať aj samostatne. Ak sa používa v spojení s reguláciou procesu, všeobecným predpokladom merania spôsobilosti je to, aby bol proces v štatisticky zvládnutom stave. Základom pre zisťovanie spôsobilosti procesu sú indexy spôsobilosti procesu. Index C_p – potenciálna spôsobilosť procesu, index C_{pk} – skutočná spôsobilosť procesu, prípadne index K – centrovanie procesu.

Existuje však viacej typov indexov spôsobilosti, ktoré sa líšia spôsobom výpočtu, vlastnosťami a podmienkami použiteľnosti. (Terek – Hrnčiarová, 2004).

2. MATERIÁL A METODIKA

Výroba drevených podlahových panelov (obr. 2) spočíva vo viacerých technologických krokoch. V zásade sú to však: výroba nášľapnej vrstvy, výroba stredovej vrstvy, zalisovanie a úprava nášľapnej vrstvy (brúsenie, lakovanie). Zameriame sa na tu časť linky, kde sa zo združených prírezov vyrába nášľapná vrstva podlahových panelov. V tomto uzle bude zavedená štatistická regulácia procesu pomocou regulačných diagramov, ktorých súčasťou je aj vyšetovanie spôsobilosti procesu.



- 1, Polyakrylátový lak tvrdý UV-žiarením
- 2, Nášľapná vrstva
- 3, Výplň z SM alebo JD dreva
- 4, Drážka
- 5, Dyha
- 6, Pero

Obr. 2 Drevený podlahový panel

2.1 Popis procesu

Znak kvality: hrúbka združených prírezov pre výrobu nášľapnej vrstvy drevených podlahových panelov.

Menovitá (požadovaná cieľová) hodnota: $T = 23,80$ mm

Dolná tolerančná hodnota: $LSL = 23,60$ mm

Horná tolerančná hodnota: $USL = 24,00$ mm

Pracovná operácia – frézovanie na štvorstrannom frézovacom stroji na presnú úpravu združených prírezov, kde sú regulovateľné parametre hrúbka a šírka.

Kritéria pre výber výrobného uzla pre zavedenie štatistickej regulácie výrobného procesu:

- proces musí používať merateľné číselné premenné,
- proces nesmie byť často prerušovaný.

Vybraný výrobný uzol uvedené kritéria spĺňa.

Výrobné zariadenie: štvorstranný frézovací stroj typ Pa Ke 70,

Kontrolný prostriedok: posuvne digitálne meradlo Digimatic, 0,01 mm.

Kontrolné intervaly a rozsah výberov:

Časový kontrolný interval odberu združených prírezov: $t = 20$ minút

Rozsah výberov (združených prírezov): rozsah podskupiny $n = 5$

počet podskupín: $k = 24$

(Linzényi, A. 1974) uvádza vzťah, podľa ktorého je možné stanoviť časový interval medzi dvoma po sebe idúcimi kontrolami, odbermi:

$$J = \frac{6000 \cdot n}{Q \cdot v}$$

n – rozsah výberov (ks)

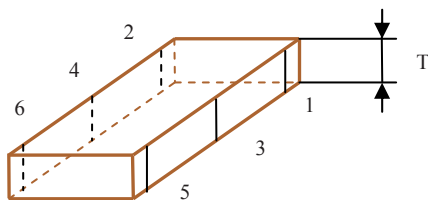
Q – počet výrobkov vyrobených za hodinu (ks)

v – rozsah výberovej kontroly v %, ak $Q > 100$, „ v “ je spravidla 5%

Použitie tohto vzťahu nie je podmienkou a časový kontrolný interval možno stanoviť aj bez výpočtu na základe odhadu s ohľadom na úroveň daného zariadenia.

Zber predbežných údajov:

Každých 20 minút sa uskutočnilo meranie hrúbky združených prírezov po štvorstrannom frézovaní na presnú úpravu združených prírezov, pri vykazovaní stabilného stavu výrobného procesu, v priebehu celej periódy zberu predbežných údajov pre zostrojenie regulačných diagramov. Každý združený prírez sa meral na 6 miestach (obr. 3). Menovitá hrúbka združeného prírezu bola $T = 23,8 \pm 0,2$ mm.



Obr. 3 Združený prírez s naznačenými meracími miestami

2.1.1 Regulačný diagram (\bar{X} , R)

Pre zostrojenie regulačného diagramu použijeme nasledovné vzťahy:

Priemerná hodnota znaku v podskupine

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}$$

X_{ij} – i -té pozorovanie v j -tej podskupine

i – 1,2,...,n a pre j – 1,2,...,k

n – rozsah podskupiny

Priemerná hodnota rozpätia v podskupinách

$$\bar{R} = \frac{1}{k} \sum R$$

Priemerná hodnota priemerov v podskupinách, celkový výberový priemer procesu

$$\bar{\bar{X}} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \bar{X}_j$$

\bar{X}_j – priemer j -tej podskupiny

k – počet podskupín s rozsahom n

Výpočet regulačných medzí pre \bar{X} -diagram (priemer):

- dolná regulačná medza a horná regulačná medza

$$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \qquad LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$$

Výpočet regulačných medzí pre R-diagram (rozptätie):

- dolná regulačná medza a horná regulačná medza

$$UCL_R = D_4 \cdot \bar{R} \qquad LCL_R = D_3 \cdot \bar{R}$$

A_2, D_3 a D_4 – sú koeficienty pre regulačné medze, závislé od rozsahu podskupiny n . Pre náš prípad je $n = 5$. Hodnoty koeficientov sú $A_2 = 0,577$, $D_3 = 0$ a $D_4 = 2,114$ (STN ISO 8258).

2.2.1 Spôsobilosť procesu

Stred tolerančného intervalu, poľa:

$$MSL = \frac{1}{2}(USL + LSL)$$

Index C_p

Index C_p je ukazovateľom potenciálnej spôsobilosti procesu, charakterizuje rozptyl procesu. Pre jeho výpočet sa predpokladá:

- normálne rozdelenie súboru,
- súbor neobsahuje odľahlé pozorovania,
- požadovaná cieľová hodnota leží v strede tolerančného poľa $T = MSL$

$$C_p = \frac{USL - LSL}{6\sigma} \qquad \sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

σ – smerodajná odchýlka procesu,

d_2 – koeficient z [27].

Prevrátená hodnota indexu c_p V nám vyjadruje nakoľko je tolerančné pole „využité“.

$$V = \frac{1}{c_p} \cdot 100$$

Index C_{pk}

Index spôsobilosti C_{pk} je ukazovateľom aktuálnej, skutočnej spôsobilosti procesu. Tento index charakterizuje polohu procesu v tolerančnom poli.

$$C_{pkUSL} = \frac{USL - \bar{\bar{X}}}{3\sigma} \qquad C_{pkLSL} = \frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\sigma}$$

$$C_{pk} = \min(C_{pkUSL}, C_{pkLSL})$$

Ak platí: $C_p < 1$ – výrobný proces nie je spôsobilý,
 $C_p = 1$ – výrobný proces je blízky spôsobilému,
 $C_p > 1,33$ až $1,67$ – výrobný proces je spôsobilý.

To isté platí aj pre index C_{pk} .

Index K

Pre zistenie, ako je proces centrováný, vypočítame index K, ukazovateľ presnosti nastavenia.

$$K = \frac{|T - \mu|}{\frac{USL - LSL}{2}}$$

Keďže $T = MSL$, index K zachytáva odchýlku strednej hodnoty od stredu tolerančného intervalu.

Po vypočítaní hodnôt C_p a C_{pk} hodnotíme proces frézovania združených prírezov pomocou návrhu zabezpečenia splnenia požadovaných kritérií. Skutočnosti sú uvedené v tabuľke 1 (podľa Hrubec – Žabár, 2006).

Tab. 1 Interpretácia výsledkov spôsobilosti procesu

Body v regulačnom diagrame indikujú, že skúmaný proces:	Opatrenia na výstupe z procesu na základe požadovanej spôsobilosti procesu C_{pk}		
	$C_{pk} < 1,33$	$1,33 \leq C_{pk} < 1,67$	$C_{pk} > 1,67$
Je pod štatistickou kontrolou	100 % kontrola	Prijat' výrobok a pokračovať pri zlepšovaní procesu	
Je mimo štatistickej kontroly	Identifikácia a náprava zvláštnej príčiny		
Všetky hodnoty meraného výberu vyhovujú špecifikáciám (sú v požadovanej tolerancii)	100 % kontrola	Kontrolovať 100 % od posledného kontrolného bodu, keď bol proces pod štatistickou kontrolou	Prijat' výrobok a pokračovať pri zlepšovaní procesu
Jedna alebo viac hodnôt výberu nevyhovuje špecifikáciám, je mimo tolerancie	100 % kontrola	Kontrolovať 100% od posledného kontrolného bodu, keď bol proces pod štatistickou kontrolou	

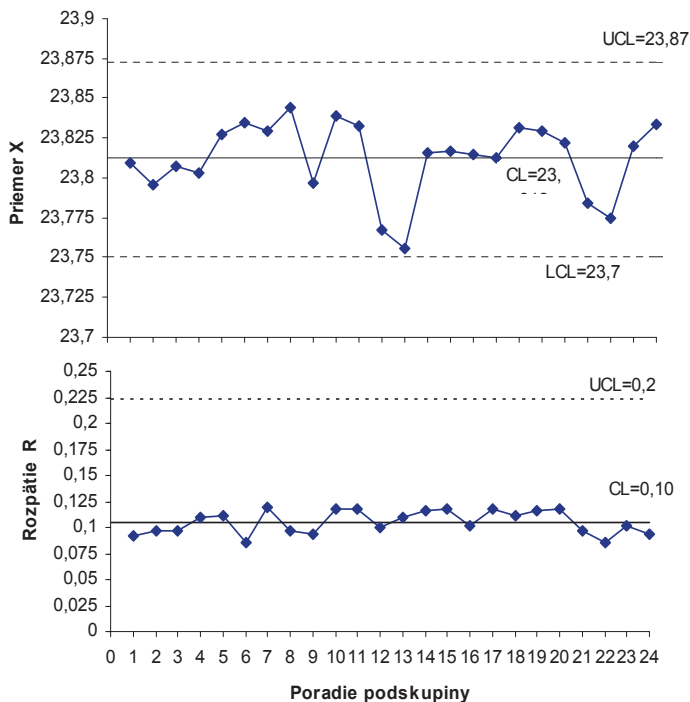
3. VÝSLEDKY DISKUSIA

V procese frézovania združených prírezov pre nášľapnú vrstvu drevených podlahových panelov sme meraním získali hodnoty pre 24 podskupín. Pre interpretáciu vypočítaných charakteristík boli zostrojené regulačné diagramy pre priemer \bar{X} a rozpätie R (obr. 4). Do regulačných diagramov sme ďalej zakreslili regulačné medze a centrálny priamky. Pre \bar{X} , R regulačný diagram platia tieto regulačné medze:

$$\begin{aligned}UCL_R &= 0,222 & UCL_{\bar{X}} &= 23,873 \\LCL_{\bar{X}} &= 23,751 & LCL_R &= 0 \\CL_{\bar{X}} &= 23,812 & CL_R &= 0,105\end{aligned}$$

Výsledný priemer meraní, tj. schopnosť procesu udržať menovitú hodnotu $T=23,8$ mm je slabšie nad požadovanou hranicou. Regulačné hranice neboli prekročené ani v jednom

prípade. Celkový priemer $\bar{X} = 28,812$ mm, rozpätie $R = 0,105$ mm a smerodajná odchýlka $\sigma = 0,045$ mm. Na základe týchto výsledkov ako zobrazuje obrázok 4 môžeme proces považovať za zvládnutý.



Obr. 4 Regulačné diagramy pre priemer \bar{X} a rozpätie R

Vyšetovanie spôsobilosti procesu môžeme podľa dosiahnutých výsledkov hodnotiť nasledovne:

$C_p = 1,48$ a $C_{pk} = 1,39$, teda obidva indexy majú vyššiu hodnotu ako 1,33. Index $K = 0,06$, čiže stredná hodnota μ sa nachádza medzi LSL a USL, aj keď s určitou odchýlkou strednej hodnoty od požadovanej hodnoty. $C_p > C_{pk}$, naznačuje, že proces nie je centrován v strede tolerančného intervalu (Terek – Hrnčiarová, 2004). Potvrdil nám to aj index presnosti nastavenia K. Využitie tolerančného poľa V je na 68 %.

Pri prvom meraní a navrhnutí regulačného diagramu vo vybranom výrobnom kroku, sa ukázalo, že výrobný proces je v štatisticky zvládnuteľnom stave. Vyšetovanie spôsobilosti procesu preukazuje, že frézovanie združených prírezov pre výrobu nášľapnej vrstvy drevených podlahových panelov je tvorené hodnotami, ktoré podliehajú normálnemu rozdeleniu.

Výsledok, ktorý nám dal regulačný diagram je dôkazom stability procesu s prihliadnutím na podstatné vplyvy variability. Výrobný proces vykazuje stabilitu, ovplyvňujú ho len náhodné príčiny, spôsobené najmä možným opotrebením nožov frézovacej hlavy. Je potrebné, venovať pozornosť týmto vplyvom a pokúsiť sa o ich odstránenie. Mohli by

sme povedať, že predchádzať týmto vplyvom by bolo časovo náročné a nákladné. Regulačný diagram naznačuje, že jeho použitie je opodstatnené.

ZÁVER

Štatistická analýza spôsobilosti procesu frézovania združených prírezov pre výrobu nášľapnej vrstvy drevených podlahových panelov preukázala, že proces poskytuje výrobky, ktoré spĺňajú požadované kritériá kvality. Výsledky potenciálnej spôsobilosti procesu $C_p = 1,48$ a skutočnej spôsobilosti procesu $C_{pk} = 1,39$, sú dôkazom, že výrobný proces je schopný poskytovať výrobky vyhovujúce tolerančným hraniciam. Index C_{pk} a K však naznačujú, že proces nie je centrovaný a z dlhodobého hľadiska je nutné urobiť analýzu procesu s cieľom proces zdokonaľiť a zvýšiť jeho mieru spôsobilosti. Tieto informácie sú pre výrobný proces signálom na zlepšovanie kvality. Po uvážení a prípadnom odstránení uvedených skutočností môže byť štatistická regulácia výrobného procesu pomocou regulačných diagramov odporučená pre používanie vo vybranom uzle.

LITERATÚRA

- STN ISO 8258 (01 0271) Shewhartove regulačné diagramy. Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR Bratislava, 1995
- TEREK, M. – HRNČIAROVÁ, L.: Štatistické riadenie kvality, IURA EDITION Bratislava 2004, ISBN 80-89047-97-1, s. 231
- GEJDOŠ, P.: Zlepšovanie kvality prostredníctvom Six Sigma v strojárskom podniku. In: Acta facultatis technicae/Technická univerzita vo Zvolene, 2005[2006]. – ISBN 80-228-1601-9. – ISSN 1336-4472. – s. 85–96
- HRUBEC, J.: Riadenie kvality. ES SPU. Nitra 2001, s. 203. ISBN 80-7127-849-6
- HRUBEC, J. – ŽABÁR, P.: Spôsobilosť procesu brúsenia teliesok valivých ložísk. In: Medzinárodná vedecká konferencia: Kvalita a spoľahlivosť technických systémov. Nitra, 23–24. 5. 2006, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, ISBN 80-8069-707-8, 25–30 s.
- NOLAN, T. W – PROVOST, L. P.: Understanding Variation, Quality Progress, May 1990
- LINZÉNYI, A.: Inžinierska štatistika, ALFA Bratislava 1974, s. 456 63-025-74, str. 315

Príspevok bol spracovaný v rámci projektu VEGA 1/3445/6 „Návrh metód identifikácie a hodnotenia nebezpečných vrcholových udalostí v technológiách komplexného spracovania dreva ako východiská pre manažment rizika a krízový manažment (požiar, výbuch, BOZP a únik nebezpečných látok do prostredia)“.

Kontaktná adresa:

Ing. Miroslava Ťavodová

Katedra výrobných technológií a materiálov

Fakulta environmentálnej a výrobnéj techniky

Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen

tavodova@vsld.tuzvo.sk

VPLYV FYZIKÁLNÝCH FAKTOROV VNÚTORNÉHO VZDUCHU NA KONCENTRÁCIU FORMALDEHYDU V BUDOVÁCH

THE EFFECT OF PHYSICAL FACTORS OF INDOOR AIR ON FORMALDEHYDE CONCENTRATION IN BUILDINGS

Andrea NEUPAUEROVÁ

ABSTRACT: This paper details the requirements for assessment of thermal and humidity microclimate and thermal-technical properties of building constructions according to valid legislative. Presented are results the measurement of formaldehyde concentration in indoor environment of selected buildings with source this toxic substance in dependence on temperature and relative humidity of indoor air.

Key words: microclimate, temperature, relative humidity, formaldehyde, building constructions

ABSTRAKT: Článok opisuje požiadavky pre hodnotenie tepelno-vlhkostnej mikroklímy a tepelnotechnických vlastností stavebných konštrukcií v súlade s platnou legislatívou. Prezentované sú výsledky merania koncentrácie formaldehydu vo vnútornom prostredí vybraných budov so zdrojom tejto škodliviny v závislosti od teploty a relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu.

Kľúčové slová: mikroklíma, teplota, relatívna vlhkosť, formaldehyd, stavebné konštrukcie

1. ÚVOD

Sprievodným javom súčasnej výstavby je výrazné obmedzenie prirodzenej výmeny vzduchu v budovách, čo vedie ku kumulovaniu škodlivín v pobytočných priestoroch a následne k negatívnym účinkom na zdravie ľudí zdržiavajúcich sa v nich. Prídavným faktorom kumulácie týchto škodlivín vo vnútorných priestoroch je menší objem miestností v dôsledku snáh o minimalizáciu svetlej výšky miestností v budovách a tým aj úspor investičných nákladov na výstavbu. Stavebné konštrukcie a budovy sa musia navrhnuť tak, aby splnili základné požiadavky na stavby, ktoré sú prevzaté do zákona č. 173/2008, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 90/1998 Z.z. o stavebných výrobkoch v znení neskorších predpisov a zákona č. 479/2005 Z.z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon

č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon) v znení neskorších predpisov.

Podmienky pre navrhovanie stavebných konštrukcií a ich detailov sú určené predovšetkým STN 73 0540-2: 2002, podľa ktorej pri návrhu stavebných konštrukcií a priestorov vymedzených určeným stavom vnútorného prostredia bytových a nebytových budov sú požadované štyri kritériá:

- kritérium minimálnych tepelnoizolačných vlastností stavebnej konštrukcie (maximálnej hodnoty súčiniteľa prechodu tepla konštrukcie U),
- kritérium výmeny vzduchu (minimálnej priemernej výmeny vzduchu v miestnosti),
- hygienické kritérium (minimálnej teploty vnútorného povrchu),
- energetické kritérium (maximálnej mernej potreby tepla na vykurovanie).

Funkčné požiadavky zahŕňajú šírenie tepla, vlhkosti a vzduchu stavebnou konštrukciou, tepelnú stabilitu miestnosti a mernú potrebu tepla. Fyzikálne faktory vnútorného vzduchu – teplota a relatívna vlhkosť majú dominantný vplyv na uvoľňovanie škodlivín zo stavebných konštrukcií do vnútorného prostredia budov, v ktorých bolo doteraz identifikovaných viac než 900 prchavých organických látok (volatile organic compounds – VOCs), ktoré sa do pobytových priestorov dostávajú v dôsledku uvoľňovania zo stavebných materiálov a výrobkov na báze drevotriesky, penových a kompozitných tepelnoizolačných materiálov, podlahových krytín, čalúnenia a z rôznych produktov využívaných v domácnostiach (Ellacott, Reed, 1999). Zdrojom VOCs sú aj činnosti človeka, ako fajčenie, varenie, upratovanie, pranie, kúrenie, používanie fotokopíriek, tlačiarňí, faxov, tonerov a atramentov ako i organické látky z vonkajšieho prostredia vstupujúce cez otvorové konštrukcie do vnútorného prostredia budov. Prchavé organické látky vo vnútornom prostredí spôsobujú svojimi účinkami tzv. syndróm chorých budov (Sick Building Syndrome), predstavujú významný faktor toxickej a óderovej mikroklimy a ich účinky na zdravie sú akútne, toxické, alergické, karcinogénne, neurobehaviorálne a nefrotoxické.

Podľa Vyhlášky MZ SR č. 259/2008 o podrobnostiach o požiadavkách na vnútorné prostredie budov a o minimálnych požiadavkách na byty nižšieho štandardu a na ubytovacie zariadenia platia pre vybrané VOCs najvyššie prípustné hodnoty:

- formaldehyd (HCHO) 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- toluén (C_7H_8) 8000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- xylény (C_6H_4). $(\text{CH}_3)_2$ 4800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- styrén (C_8H_8) 800 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,
- tetrachlóretylén (C_2Cl_4) 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$,

ktoré sú platné pre dobu 24 hodín a vzťahujú sa na štandardné podmienky – objem prepočítaný na teplotu vzduchu 20 °C a tlak vzduchu 101,3 kPa.

Formaldehyd ako možný ľudský karcinogén je významnou veľmi prchavou organickou látkou unikajúcou do vnútorného prostredia budov zo syntetických živíc a lepidiel, využívaných najmä pri výrobe stavebných materiálov zhotovených na báze odpadovej drevnej hmoty, tepelnoizolačných materiálov, prefabrikovaných dielov z plastických hmôt, ale aj pri výrobe drevotrieskového nábytku a podlahovín.

Rýchlosť uvoľňovania voľného, nezreagovaného formaldehydu v živiciach sa mení s meniacou sa teplotou a vlhkosťou vnútorného vzduchu ako aj výrobku. Podľa poznatkov viacerých autorov (Sedliačik, 2000; Long, Pierson, Brennan, Frank, Hahne, 1979), ktorí

sa zaoberali vplyvom rôznych činiteľov na únik formaldehydu z drevotrieskových dosák, je množstvo uvoľneného formaldehydu proporcionálne množstvu voľného formaldehydu v živici. Únik voľného formaldehydu je priamo závislý aj od vlhkosti povrchových triesok a je nepriamoúmerný množstvu vlhkosti uvoľnenej počas lisovania (Sundin, 1992; Wiglusz, Sitko, Nikel, Jarnuszkiewicz, Igielska, 2002).

V príspevku sú prezentované výsledky štúdia vplyvu zmien teploty a relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu na koncentráciu formaldehydu uvoľňovaného zo stavebných konštrukcií zhotovených z aglomerovaných materiálov do pobytových priestorov vybraných budov bytovej a nebytovej výstavby.

1.1 Tepelno-vlhkostná mikroklima

Tepelno-vlhkostná mikroklima je zložka prostredia tvorená tepelnými a vlhkostnými tokmi (teplom a vodnou parou), ktoré exponujú subjekt a spoluvytvárajú tak jeho celkový stav. Pre posudzovanie tepelno-vlhkostnej mikroklimy existuje niekoľko kritérií (americká efektívna teplota, P4SR index, HSI index, PMV index, WBGT index a komplexný systém hodnotenia tepelno-vlhkostnej mikroklimy).

Základné kritériá komplexného systému hodnotenia tepelno-vlhkostnej mikroklimy predstavujú tepelné toky agensov exponujúce organizmus človeka, koncentráciu týchto tepelných tokov v jednotke objemu, priestorové rozloženie tokov agensov v exponovanom subjekte – rovnomernosť tepelnej záťaže človeka v priestore, dobu expozície – rovnomernosť tepelnej záťaže človeka v čase a reláciu tokov agensov – pomery tepelných tokov rôzneho druhu (Jokl, Šenitková, 1992).

Optimálne a prípustné podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklimy sa určujú v závislosti od oblečenia ľudí, od celkovej tepelnej produkcie ich organizmu podľa tried činností a od fyzikálnych faktorov, ktorými sa hodnotí tepelno-vlhkostná mikroklima vo vnútornom prostredí:

- teplota vzduchu t_a [°C],
- operatívna teplota t_o [°C],
- výsledná teplota guľového teplomeru t_g [°C],
- relatívna vlhkosť vzduchu ϕ alebo rh [%],
- rýchlosť prúdenia vzduchu v_a [$m \cdot s^{-1}$].

Podľa potreby sa určuje celkový tepelný odpor odevu a medznej vrstvy vzduchu R_{cl} [clo], [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]; q_M celkový energetický výdaj (tepelná produkcia organizmu) na jednotku plochy povrchu tela [met], [$W \cdot m^{-2}$]; teplota povrchu (t_s) a ďalšie potrebné veličiny.

V priestoroch určených na dlhodobý pobyt ľudí sa zabezpečujú optimálne podmienky tepelno-vlhkostnej mikroklimy v teplom aj chladnom období roka. Predpoklady na optimálne mikroklimatické podmienky má vytvoriť stavebné riešenie budov. Na miestach, kde to stavebné riešenie budovy neumožňuje, treba tieto podmienky zabezpečiť technickým zariadením.

1.2 Hodnotenie tepelnotechnických vlastností stavebných konštrukcií

Tepelnú rovnováhu v miestnosti možno zabezpečiť vhodnou teplotou vnútorného vzduchu, teplotou vnútorných povrchov stavebných konštrukcií, relatívnou vlhkosťou,

rýchlosťou prúdenia vnútorného vzduchu ako i činnosťou človeka. Pre budovy určené na bývanie ako i pre nebytové nevýrobné budovy sú stanovené požiadavky na súčtovú teplotu miestnosti t_M , ktorou sa rozumie súčet teploty vnútorného vzduchu t_i a priemernej povrchovej teploty vnútorných plôch stavebných konštrukcií tvoriacich miestnosť t_p .

V zimnom období platí, že $t_M \leq 38 \text{ }^\circ\text{C}$ a v letnom období $t_M \leq 51 \text{ }^\circ\text{C}$. Uspokojivým meradlom tepelného stavu prostredia je teplota vnútorného vzduchu meraná v oblasti pobytu človeka. Optimálne požiadavky na relatívnu vlhkosť vzduchu sú: 35 až 50 % a rýchlosť prúdenia vzduchu najviac $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Pri hodnotení tepelnotechnických vlastností stavebných konštrukcií sa v súčasnosti používajú normy uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Prehľad noriem pre hodnotenie tepelnotechnických vlastností stavebných konštrukcií (Sternová, 2006)

Norma	Názov
STN EN ISO 6946	Stavebné konštrukcie. Tepelný odpor a súčiniteľ prechodu tepla. Výpočtová metóda (ISO 6946:1996)
STN EN ISO 10211-1	Tepelné mosty v budovách pozemných stavieb. Tepelné toky a povrchové teploty. Časť 1: Všeobecné výpočtové metódy (ISO 10211-1: 1995)
STN EN ISO 10211-2	Tepelné mosty v budovách pozemných stavieb. Výpočet tepelných tokov a povrchových teplôt. Časť 2: Lineárne tepelné mosty (ISO 10211-2: 2001)
STN EN ISO 14683	Tepelné mosty v stavebných konštrukciách. Lineárny stratový súčiniteľ. Zjednodušené metódy a orientačné hodnoty (ISO 14683: 1999)
STN EN ISO 10077-1	Tepelnotechnické vlastnosti okien, dverí a okeníc. Výpočet súčiniteľa prechodu tepla. Časť 1: Zjednodušená metóda (ISO 10077-1: 2000)
STN EN ISO 13789	Tepelnotechnické vlastnosti budov. Merná tepelná strata prechodom tepla. Výpočtová metóda (ISO 13789: 1999)
STN EN ISO 13788	Tepelnovlhkostné vlastnosti stavebných dielcov a konštrukcií. Vnútrná povrchová teplota na vylúčenie kritickej povrchovej vlhkosti a kondenzácie vnútri konštrukcie. Výpočtová metóda (ISO 13788: 2001)

Vlhkosť vnútorného vzduchu (kondenzovaná alebo sorpčná) sa môže dostať na povrch konštrukcie alebo do jej vnútra. Sorpčnú vlhkosť prijímajú látky z ovzdušia v dôsledku ich hygrokopických vlastností a jej vplyv je tým väčší, čím viac a častejšie sa mení relatívna vlhkosť vnútorného vzduchu, ktorá býva často jedinou príčinou zvýšenia vlhkosti konštrukcie a výrazne ovplyvňuje jej tepelno-technický režim (Halahyja, Chmúrny, Sternová, 1998). Rozloženie vlhkosti v materiáloch býva nerovnomerné a závisí od tlaku vodných pár, teploty a štruktúry materiálu alebo konštrukcie. Najmenšie vlhkosťné zmeny vznikajú pri materiáloch vystavených podmienkam bez teplotného a vlhkosťného spádu, ale aj bez prívodu ďalšieho zdroja vlhkosti.

2. MATERIÁLY A METÓDY

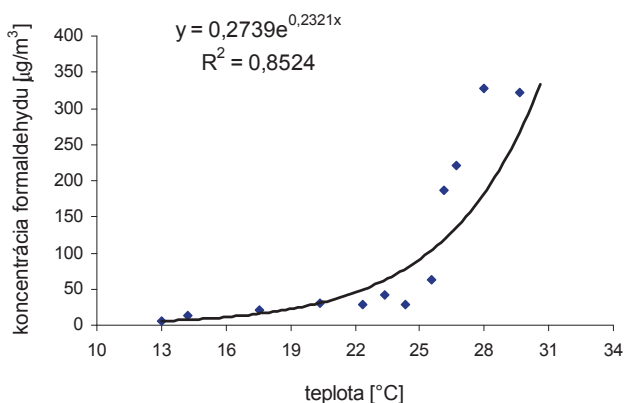
Vzájomná závislosť medzi koncentráciou formaldehydu a teplotou vnútorného vzduchu bola sledovaná v priebehu kalendárneho roka v bytových priestoroch vybraných objektov nebytového nevýrobného charakteru a v budove určenej na bývanie. V nebytových nevýrobných budovách boli zdrojom formaldehydu vnútorné stavebné konštrukcie zhotovené z drevotrieskovej dosky a v budove určenej na bývanie

predstavovala zdroj tejto škodliviny nelepená laminátová podlaha. Teplota vnútorného vzduchu v prípade nebytových objektov bola v rozmedzí od 13 do 24 °C a u bytového objektu od 25 do 30 °C. Pre hodnotenie vplyvu relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu na koncentráciu formaldehydu boli vybrané stavebné objekty zhotovené z drevotrieskovej dosky a hodnoty relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu sa pohybovali od 18 do 62 %. Sledovaná závislosť je znázornená na obrázkoch 1 a 2, pričom každý bod predstavuje priemernú hodnotu viacerých 24 hodinových meraní realizovaných počas roka.

Odber vzdušiny na stanovenie koncentrácie formaldehydu vo vnútornom prostredí sledovaných objektov bol vykonaný podľa Jednotnej metódy pre meranie koncentrácie formaldehydu v interiéroch na báze drevotriesky (Acta Hygienica and Epidemiologica Materialia, 1989). Použitá bola štandardná odberová aparátúra zložená z čerpadla, filtračnej vložky pre zachytenie tuhých znečisťujúcich látok a z dvoch za sebou zapojených kapilárových absorbérov naplnených po 15 ml absorpčným roztokom siričitanu sodného a tetrachlórortuťnatanu sodného. Celkové množstvo presateho vzduchu sa určilo pomocou prietokomera, ktorým sa prietok nastavil na hodnotu 50l/hod a doba odberu bola 24 hodín. Koncentrácia formaldehydu vo vnútornom prostredí bola stanovená spektrofotometrickou metódou založenou na reakcii formaldehydu s pararosanilínom za prítomnosti siričitanu sodného, ktorý dáva fialové sfarbenie a jeho intenzita je úmerná množstvu formaldehydu. Pre stanovenie intenzity zafarbenia je optimálna vlnová dĺžka 570 nm (Motyka, Mikuška, 2005).

3. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ

Na obrázku 1 je znázornená vzájomná závislosť medzi priemernou dlhodobou koncentráciou formaldehydu a priemernou teplotou vnútorného vzduchu sledovaná v nebytových objektoch, kde zdrojom formaldehydu boli vnútorné stavebné konštrukcie na báze drevotriesky a v budove určenej na bývanie s nelepenou laminátovou podlahou ako zdrojom tejto škodliviny.



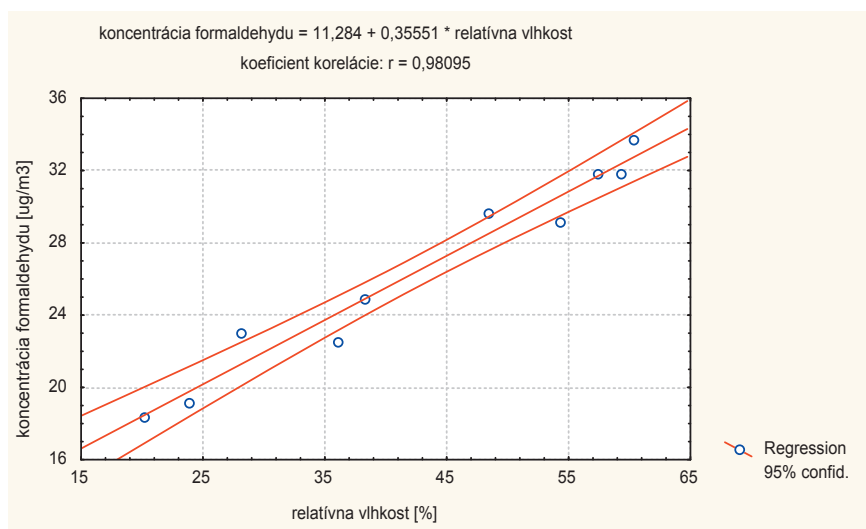
Obrázok 1 Závislosť medzi priemernou dlhodobou koncentráciou formaldehydu a priemernou teplotou vnútorného vzduchu

Ako je z obrázku 1 zrejme, korelačná závislosť medzi priemernou dlhodobou koncentráciou formaldehydu (y) a priemernou teplotou vnútorného vzduchu (x) v sledovanom intervale hodnôt je exponenciálna a vyjadruje ju rovnica (1).

$$y = 0,2739 \cdot e^{0,2321x} \quad (1)$$

Hodnota spoľahlivosti je $R^2 = 0,8524$ a tesnosť preloženia lineárnej závislosti medzi hodnotami prirodzeného logaritmu koncentrácií formaldehydu a priemernej teploty vnútorného vzduchu charakterizuje koeficient korelácie $r_v = 0,92325$. Testovanie vypočítaného koeficientu korelácie ukázalo, že pre hladinu pravdepodobnosti $\alpha = 0,05$ a počet stupňov voľnosti 10 platí: $r_v > r_p = 0,5760$, kde r_p je tabuľková hodnota kritického koeficientu korelácie, čo potvrdzuje správnosť výberu funkčnej závislosti medzi experimentálne stanovenými náhodnými premennými v sledovanom rozmedzí teplôt. Tento záver je v súlade s poznatkami autorov (Sedliačik, 2000; Sundin, 1992), podľa ktorých vzrastom teploty o každých 7°C sa uvoľňovanie formaldehydu zdvojnásobuje.

Závislosť medzi hodnotami priemernej dlhodobej koncentrácie formaldehydu a priemernej relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu zistenú vo vybraných stavebných objektoch zhotovených z drevotriekovej dosky znázorňuje obrázok 2.



Obrázok 2 Závislosť medzi priemernou dlhodobou koncentráciou formaldehydu a priemernou relatívnou vlhkosťou vnútorného vzduchu

Vzájomný vzťah medzi hodnotami priemernej dlhodobej koncentrácie formaldehydu a priemernej relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu je lineárny a popisuje ho rovnica (2).

$$y = 11,284 + 0,35551x \quad (2)$$

Tesnosť preloženia lineárnej závislosti medzi priemernými hodnotami experimentálne stanovených koncentrácií formaldehydu a relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu charakterizuje koeficient korelácie $r_v = 0,98095$, hodnota spoľahlivosti R^2 je $0,9622$. Hodnota r_v je vyššia ako hodnota kritického koeficientu korelácie $r_p = 0,6319$, čo je dôkazom existencie lineárnej závislosti v sledovanom rozmedzí hodnôt relatívnych vlhkostí. V zhode s prácami (Sedliačik, 2000; Sundin, 1992) sa uvoľňovanie formaldehydu vzrastom relatívnej vlhkosti vzduchu z 30 na 90 % zdvojnásobuje. Výsledky experimentálneho štúdia potvrdili dominantný vplyv zvýšenia teploty a relatívnej vlhkosti vnútorného vzduchu na emisiu formaldehydu zo stavebných konštrukcií. Prítomnosť vlhkosti vzduchu môže urýchliť aj hydrolytické a oxidačné reakcie formaldehydu.

4. ZÁVER

Medzi priemernou dlhodobou koncentráciou formaldehydu a priemernou teplotou vnútorného vzduchu v sledovaných objektoch, kde zdrojom formaldehydu boli vnútorné stavebné konštrukcie z drevotriesky a nelepená laminátová podlaha, bola zistená korelačná exponenciálna závislosť. Štúdiom vplyvu relatívnej vlhkosti vzduchu na koncentráciu formaldehydu vo vybraných stavebných objektoch zhotovených na báze drevotriesky potvrdilo lineárnu závislosť medzi experimentálne sledovanými veličinami.

Zmeny teploty a relatívnej vlhkosti vzduchu ovplyvňujú vlhkosť povrchovej vrstvy a povrchovú teplotu materiálu stavebných konštrukcií a majú vplyv na únik formaldehydu z hotových výrobkov. Vyššia teplota vzduchu v letnom období vedie k zahrievaniu povrchu stavebných konštrukcií, čo podporuje intenzívnejšie uvoľňovanie voľného formaldehydu do pobytových priestorov. Pri kontakte vzduchu s povrchom materiálu malej hrúbky sa formaldehyd vyparuje rýchlosťou, ktorá je určená parciálnym tlakom jeho pár za prívodu tepla potrebného na jeho skupenskú premenu (Bouhamra, Elkilani, 1999). Na základe zistených výsledkov možno konštatovať, že nasýtenosť priestoru formaldehydom sa mení v závislosti od fyzikálnych faktorov vnútorného vzduchu.

LITERATÚRA

- ELLACOTT, V. M., REED, S.: Development of Robust Indoor Air Quality Models for the Estimation of Volatile Organic Compound Concentrations in Buildings. In: *Indoor + Built Environment*, no. 8, 1999, p. 345–360
- SEDLIAČIK, J.: K problematike toxicity lepidiel. In: *Drevo*, Roč. 55, č. 4, 2000, s. 80–84
- LONG, K. R., PIERSON, D. A., BRENNAN, S. T., FRANK, C. W., HAHNE, R. A.: Problems Associated with the Use of Urea-Formaldehyde Foam for Residential Insulation. Part I: The Effects of Temperature and Humidity on Formaldehyde Release from Urea-Formaldehyde Foam Insulation. In: *Oak Ridge National Laboratory Report No. ORNL/SUB-7559/I*, Washington D.C., U. S. Governmental Printing Office, 1979, p. 89
- SUNDIN, B. E.: *The Formaldehyde Problem: Publications on the subject during the years 1976–1992 in English and German*. Stockholm: Casco Nobel Industrial Products AB, 1992, 360 s.

- WIGLUSZ, R., SITKO, E., NIKEL, G., JARNUSZKIEWICZ, I., IGIELSKA, B.: The effect of temperature on the emission of formaldehyde and volatile organic compounds from laminate flooring-case study. In: Building and environment, vol. 37, no. 1, 2002, p. 41–44
- JOKL, M., ŠENITKOVÁ, I.: Interná mikroklíma budov. Košice: Rektorát TU, 1992, 159 s.
- STERNOVÁ, Z. a kol.: Atlas tepelných mostov. Bratislava: Jaga, 2006, 286 s., ISBN 80-8076-034-9
- HALAHYJA, M., CHMÚRNY, I., STERNOVÁ, Z.: Stavebná tepelná technika, tepelná ochrana budov. Bratislava: Jaga, 1998, s. 143–145
- Acta Hygienica and Epidemiologica Materialia, príloha č. 9: Jednotná metóda merania koncentrácie formaldehydu v interiéroch na báze drevotriesky, 1989
- MOTYKA, K., MIKUŠKA, P.: Přehled stanovení formaldehydu a dalších karbonylových sloučenin v ovzduší. In: Chem. Listy, vol. 99, no. 1, 2005, p. 13–20, ISSN 1213-7103
- BOUHAMRA, W. S., ELKILANI, S.: Investigation and modeling of surface sorption/desorption behaviour of volatile organic compounds for indoor air quality analysis. In: Environmental Technology, vol. 20, 1999, p. 531–545

Kontaktná adresa:

Ing. Andrea Neupauerová, PhD.

Katedra environmentálnej techniky
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovakia

MAZANIE RADIÁLNYCH KLZNÝCH LOŽÍSK

LUBRICATION OF THE RADIAL SLIDING BEARINGS

Ján SEKEREŠ – Ján TURIS

ABSTRACT: In this article we compare the computed values to experimentally observed results of required oil bulk flow in static weighted radial sliding bearing. Bulk flow is determined depending on entry pressure and position of grease gap considering external force, set by the angle γ .

Key words: oil bulk flow, radial sliding bearing, entry pressure of oil, liquid friction, grease film coating, Sommerfeld number, bearing clearance

ABSTRAKT: V článku sú porovnávané vypočítané hodnoty potrebného objemového prietoku oleja s experimentálne zisteným objemovým prietokom pre radiálne klzné ložisko, ktoré je staticky zaťažované. Objemový prietok je stanovený v závislosti na jeho vstupnom tlaku a polohe mazacieho otvoru vzhľadom k vonkajšej zaťažovacej sile, danej uhlom γ .

Kľúčové slová: objemový prietok oleja, radiálne klzné ložisko, vstupný tlak oleja, kvapalinové trenie, mazací film, Sommerfeldove číslo, ložisková vôľa

1. ÚVOD

Takmer v každom lesníckom mechanizačnom prostriedku sa nachádzajú rotačné časti, ktoré sú uložené v ložiskách. Úlohou uloženia je umožniť relatívny pohyb strojových súčiastok, ktoré prenášajú statické, kvázistatické alebo dynamické zaťaženie. Jedným zo základných typov je uloženie v radiálnom klznom ložisku.

Aby klzné ložisko splňalo požadovanú funkciu počas jeho životnosti, je ho potrebné správne navrhnuť a prevádzkovať. Teoretický návrh radiálneho klzného ložiska je uvedený v STN 02 3400 uvedenej do platnosti v roku 1986. Dôležitou požiadavkou na správnu funkciu ložiska počas jeho prevádzky je jeho dostatočné mazanie vhodným kvapalným mazivom, resp. olejom. Objemové množstvo oleja, ktoré je potrebné dopraviť do ložiska pod určitým tlakom, sa podľa STN 02 3400 navrhuje teoretickým výpočtom. Pri výpočte sa dosadzujú potrebné hodnoty príslušných veličín, ktoré sa odčítavajú z diagramov uvedených v STN 02 3400. Tento postup vedie k určitým nepresnostiam pri stanovení potrebného objemového prietoku oleja ložiskom.

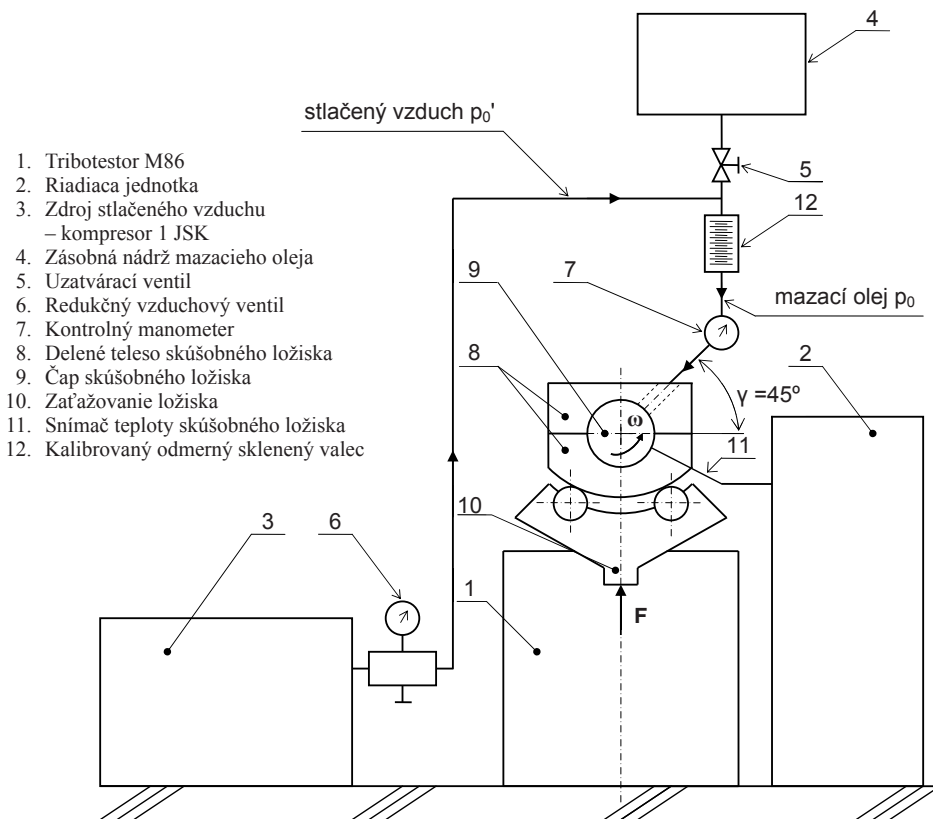
Pre porovnanie vypočítaných hodnôt objemového prietoku oleja so skutočnými hodnotami zistenými experimentálne autori práce použili rekonštruovaný Tribotestor M86.

2. REKONŠTRUKCIA EXPERIMENTÁLNEHO ZARIADENIA TRIBOTESTOR M86

Experimentálne zariadenie Tribotestor M86 bolo vyrobené v skúšobni ložísk ZVL Dolný Kubín, k. p. v roku 1986 ako prototyp. Vybavenie zariadenia meracou technikou, hlavným pohonom, ako aj riadiacou jednotkou PMD, zodpovedalo danej dobe. V súčasnosti takéto vybavenie nezodpovedá požiadavkám kladeným na experimentálne zariadenie a to z dôvodov presnosti, rýchlosti zisťovania nameraných hodnôt, jednoduchosti ovládania, zberu a prenosu informácií na vyhodnocovacie zariadenie.

Z týchto dôvodov bola potrebná rekonštrukcia zariadenia na snímanie a spracovanie analógových signálov z Tribotestora.

Okrem toho bolo zariadenie pôvodne určené na testovanie samomazných ložísk. To znamená, že pôvodné zariadenie neumožňovalo vykonávať experimenty na ložiskách, ktoré sú mazané kvapalným mazivom – olejom. Preto riešiteľský kolektív navrhol a dal vyrobiť prídavné zariadenie umožňujúce dopraviť mazací olej do ložiska pod potrebným tlakom a v požadovanom smere vzhľadom na vektor zaťaženia ložiska.



Obrázok 1 Schéma experimentálneho zariadenia

3. EXPERIMENTÁLNE STANOVENIE OBJEMOVÉHO PRIETOKU OLEJA

3.1 Metodika merania objemového prietoku oleja

Priame meranie objemového prietoku oleja, ktorý vyteká čelami klzného ložiska, je veľmi nepresné. Dochádza tu k nekontrolovateľnému rozstreku oleja na okolité časti zariadenia, ako aj k rozptýleniu mikročastočiek oleja pri vyšších rýchlostiach do okolitého ovzdušia. Vzhľadom na uvedené skutočnosti priame meranie objemového prietoku by bolo veľmi nepresné.

Z toho dôvodu sa použila metóda, ktorá je založená na meraní časového intervalu, za ktorý sa do ložiska dopraví vopred stanovený objem oleja. Presnosť takéhoto spôsobu merania objemového prietoku je niekoľkonásobne vyššia ako pri priamom meraní.

Základným článkom merania bola priehľadná sklenená rúra s kalibrovaným vnútorným priemerom, ktorá slúžila ako zásobná nádrž oleja. Priehľadnosť rúry umožnila pomocou stupnice nastaviť veľkosť olejového stĺpca B, ktorý predstavoval vopred stanovený objem oleja dopravovaného do ložiska. Hladina oleja sa odčítavala pomocou okulára na prístroji Comparex, ktorý umožnil 10-násobné zväčšenie. Časový interval, za ktorý sa do ložiska dopravil známy objem oleja, sa meral pomocou ručných stopiek.

3.2 Prevádzkové podmienky experimentálnych meraní

Objemový prietok oleja ložiskom závisí na bezrozmernom Sommerfeldovom čísle S_{OD} . Preto pre experimenty boli vybrané ložiská s nasledovnými parametrami:

Ložisko	Menovité rozmery b/d [mm]	Stredná ložisková vôľa [μm]	S_{OD}
I.	20/16	35	$1,35 \div 1,58$
II.	32/40	50	$1,8 \div 2,45$
III.	47,2/59	70	$3,6 \div 3,8$
IV.	64/80	73	$3,75 \div 4,5$
V.	80/100	88	$4,7 \div 5,3$

Čapy ložiska boli vyhotovené z materiálu 11 500, puzdrá z materiálu 42 3120. Stredná aritmetická drsnosť čapov bola $R_{aH} = 0,09 \mu\text{m}$, puzdier $R_{aL} = 0,5 \mu\text{m}$.

Ako mazacie médium sa použil akostný olej J3. Olej bol do ložísk dopravovaný cez osamelý otvor. Experimenty boli vykonané pre vstup oleja do ložiska $\gamma = 45^\circ$ od výslednice vonkajšieho zaťaženia v smere otáčania čapu pri vstupných tlakoch oleja do ložiska $p_o = 0,2 \text{ MPa}$, $p_o = 0,4 \text{ MPa}$ a $p_o = 0,6 \text{ MPa}$.

Ložiská boli zaťažené rovnakým zaťažením 1 471 N. Uhlová rýchlosť otáčania čapov v puzdrách bola jednotná $\omega = 83,776 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$.

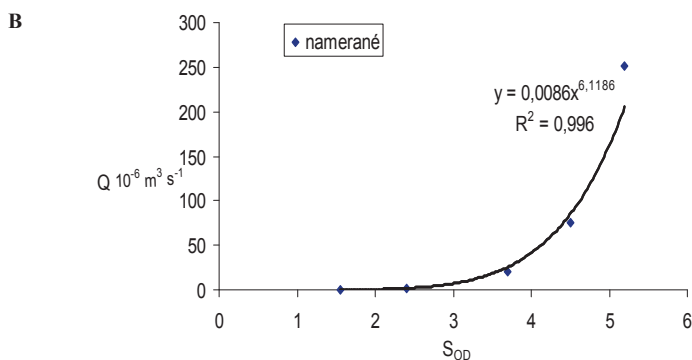
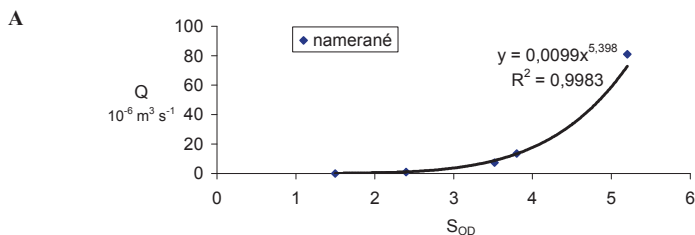
3.3 Experimentálne zistené hodnoty objemového prietoku oleja

Pre každé prevádzkové pomery sa vykonalo 6 nezávislých meraní. Namerané hodnoty objemového prietoku oleja, ako aj ich geometrický priemer sú uvedené v tabuľke 1. Na

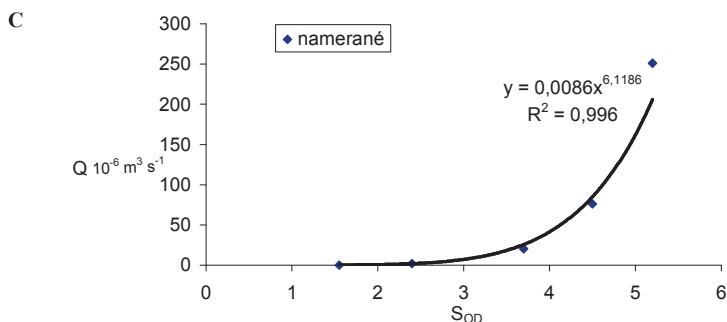
obr. 2 sú namerané hodnoty objemového prietoku oleja vynesené v závislosti na Sommerfeldovom čísle S_{OD} a vyrovnané podľa zvolenej funkcie.

Tabuľka 1

Uhol vstupu [°]	Vstupný tlak [MPa]	S_{OD}	Q_{e1}	Q_{e2}	Q_{e3}	Q_{e4}	Q_{e5}	Q_{e6}	Teplota olejovej vrstvy [°C]	$\sum \sqrt{Q_{ei}}$	$\left(\frac{\sum \sqrt{Q_{ei}}}{n}\right)^2$ $10^{-6}[\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
			$10^{-6} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$								
$\gamma = 45^\circ$	0,2	1,5	0,092	0,094	0,095	0,094	0,093	0,096	30,1	1,8395	0,0940
		2,4	1,097	1,100	1,098	1,110	1,099	1,097	28,2	6,2886	1,0985
		3,52	7,420	7,472	7,501	7,471	7,494	7,498	24,7	16,4050	7,4760
		3,8	13,551	13,602	13,747	13,750	13,530	13,802	23,3	22,1790	13,6640
		5,2	81,440	80,150	81,923	81,805	80,230	80,248	23,0	53,9880	80,9640
	0,4	1,4	0,099	0,098	0,105	0,107	0,097	0,108	28,8	1,9187	0,1023
		2,4	2,077	1,998	2,050	2,070	1,990	1,996	28,4	8,5702	2,0402
		3,7	18,740	19,025	18,740	18,929	19,007	18,885	24,4	26,0759	18,8876
		4,5	46,624	47,025	46,990	47,035	46,767	46,820	24,4	41,0800	46,8766
		5,2	160,724	161,020	160,510	160,470	161,225	161,440	22,9	76,1074	160,8982
	0,6	1,55	0,117	0,120	0,124	0,119	0,118	0,120	28,1	2,0755	0,1197
		2,4	2,170	2,230	2,215	2,198	2,224	2,175	27,8	8,9089	2,2047
		3,7	20,176	20,212	20,305	20,230	20,355	20,194	24,2	27,0126	20,2689
		4,5	76,212	75,920	75,955	76,010	76,115	75,990	23,1	52,3184	76,0338
		5,2	251,450	250,175	250,925	250,873	251,395	250,912	22,6	95,0493	250,9547



Obrázok 2a,b Závislosť nameraných hodnôt objemového prietoku oleja na S_{OD} pre $\gamma = 45^\circ$



A – pre $p_0 = 0,2$ MPa B – pre $p_0 = 0,4$ MPa C – pre $p_0 = 0,6$ MPa

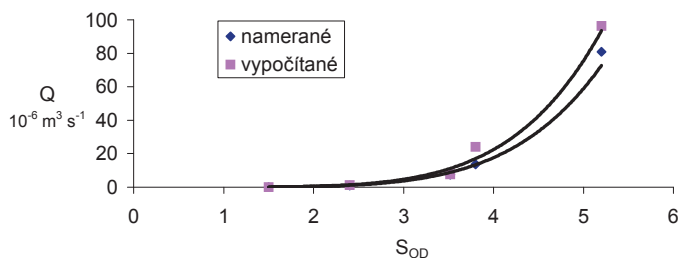
Obrázok 2c Závislosť nameraných hodnôt objemového prietoku oleja na S_{OD} pre $\gamma = 45^\circ$

4. ZHODNOTENIE DOSIAHNUTÝCH VÝSLEDKOV

Významnou veličinou, ktorá mimoriadne ovplyvňuje správnu funkciu ložiska, je objemový prietok privádzaného mazacieho oleja do neho. Je treba upozorniť, že objemový prietok je najneistejšou veličinou navrhnutou podľa STN 02 3400. Z tejto skutočnosti vyplýva i cieľ práce – porovnať objemové prietoky mazacieho oleja navrhnuté podľa STN 02 3400 s experimentálne zistenými hodnotami pre vybrané prevádzkové podmienky.

Veľkosť objemového prietoku mazacieho oleja je okrem iného ovplyvňovaná uhlom γ (uhol odklonu prívodu oleja od vonkajšieho zaťaženia) a vstupným tlakom mazacieho oleja p_0 , ktorým je olej do ložiska dopravovaný. Pre experimentálne účely bola zvolená poloha $\gamma = 45^\circ$. Olej bol privádzaný do ložiska tlakom $p_0 = 0,2$ MPa, $0,4$ MPa a $0,6$ MPa. Tieto hodnoty p_0 boli zvolené preto, lebo podľa rôznych autorov (napr. Sivák, 1978) je vstupný tlak $p_0 = 0,4$ MPa považovaný za medzný. Pri tlakoch $p_0 < 0,4$ MPa sa na konci tlakovej zóny olejový film rozpadáva a nastáva prípad nedokonalého zaplnenia podtlakovej časti medzery.

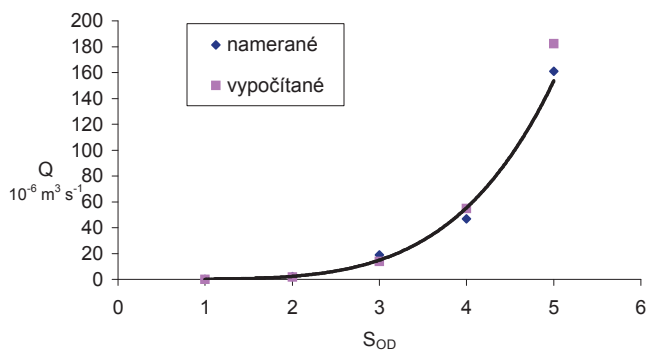
Porovnanie vypočítaných a experimentálne zistených hodnôt objemového prietoku mazacieho oleja v závislosti na S_{OD} pre tlak $p_0 = 0,2$ MPa je uvedené na obr. 3.



Obrázok 3 Teoretické i experimentálne hodnoty objemového prietoku mazacieho oleja v závislosti na S_{OD} pre $p_0 = 0,2$ MPa

Z uvedeného obrázka vidieť dobrú zhodu vypočítaných i experimentálne zistených hodnôt objemového prietoku pre $S_{OD} < 3,5$. Pre $S_{OD} > 3,5$ sú vypočítané hodnoty väčšie ako namerané.

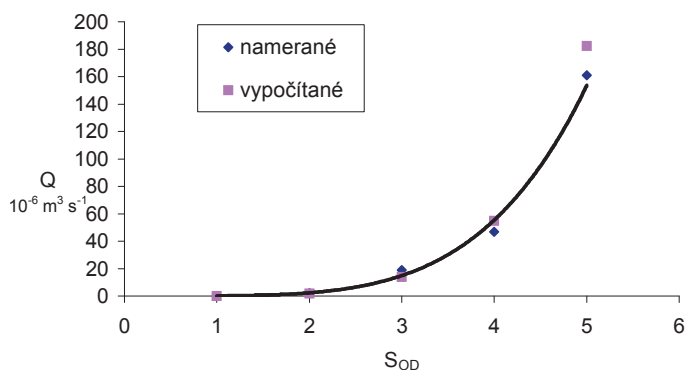
Na obr. 4 je uvedená závislosť vypočítaných a experimentálne zistených hodnôt objemového prietoku oleja na S_{OD} pre tlak $p_0 = 0,4$ MPa.



Obrázok 4 Teoretické i experimentálne hodnoty objemového prietoku mazacieho oleja v závislosti na S_{OD} pre $p_0 = 0,4$ MPa

Z uvedeného obrázka vidieť veľmi dobrú zhodu medzi vypočítanými i experimentálne zistenými hodnotami pre $S_{OD} < 4,5$. Pre hodnoty $S_{OD} > 4,5$ sú experimentálne zistené hodnoty menšie ako vypočítané.

Obrázok 5 obsahuje závislosť vypočítaných a experimentálne zistených hodnôt objemového prietoku oleja na S_{OD} pre $p_0 = 0,6$ MPa.



Obrázok 5 Teoretické i experimentálne hodnoty objemového prietoku mazacieho oleja v závislosti na S_{OD} pre $p_0 = 0,6$ MPa

Z uvedených závislostí vidieť veľmi dobrú zhodu vypočítaných a experimentálne zistených hodnôt objemového prietoku oleja v celom sledovanom rozsahu S_{OD} .

5. ZÁVER

Zo zhodnotenia dosiahnutých výsledkov vyplývajú nasledovné skutočnosti:

1. Veľkosť objemového prietoku mazacieho oleja ložiskom závisí na veľkosti Sommerfeldovho čísla S_{OD} . So zväčšujúcim sa S_{OD} rastie i hodnota objemového prietoku.
2. Na veľkosť objemového prietoku mazacieho oleja významne vplyva veľkosť vstupného tlaku p_o , ktorým je tento dopravovaný do ložiska. So zväčšujúcim sa vstupným tlakom hodnota objemového prietoku oleja rastie.
3. Pre uhol $\gamma = 45^\circ$ a pre vstupné tlaky mazacieho oleja $p_o = 0,4$ a $0,6$ MPa bola zistená veľmi dobrá zhoda výsledkov v celom sledovanom rozsahu S_{OD} . Pre $p_o = 0,2$ MPa sa zistila zhoda len pre $S_{OD} < 2,6$. Pre $S_{OD} > 2,6$ sa rozdiel medzi vypočítanými a experimentálne zistenými hodnotami objemového prietoku oleja zväčšoval a nadobudol najväčšie hodnoty pre $S_{OD} = 5,2$.

Z uvedených skutočností vyplýva, že najlepšia zhoda výsledkov sa dosahovala pre vyššie vstupné tlaky mazacieho oleja ($p_o = 0,4$ a $0,6$ MPa). Pre $p_o = 0,2$ MPa boli zistené v niektorých prípadoch (pre menšie hodnoty S_{OD}) rozdiely väčšie ako 50 %. Vyplýva to z predpokladu, že pri $p_o < 0,4$ MPa nedochádza k súvislému zaplneniu ložiskovej medzery mazacím olejom, čo sa predpokladá pri výpočte. Až na niektoré výnimky vypočítané hodnoty objemového prietoku oleja boli vyššie ako experimentálne zistené. To znamená, že je tu zabezpečená určitá bezpečnosť vyplývajúca z väčšej hodnoty objemového prietoku oleja zisteného výpočtom ako v skutočnosti. Nedochádza k medznému treniu. V priebehu prevádzky je zabezpečené kvapalinové trenie, ktoré je nevyhnutným predpokladom správnej funkcie hydrodynamicky mazaných klzných ložísk.

Pri celkovom hodnotení možno konštatovať, že bol dosiahnutý cieľ práce. Riešená problematika bola náročná nielen na teoretickú prípravu, ale aj na zhotovenie experimentálneho zariadenia, navrhnutú problematiku merania, ako aj experimentálnu a výpočtovú časť.

LITERATÚRA

- [1] STN 02 3400: 1987: *Výpočet staticky zaťažených a hydrodynamicky mazaných radiálnych klzných ložísk*. Praha: Vydavateľství ÚNM, 1987, 72 s.
- [2] SIVÁK, M. 1978. *Vplyv prívodu maziva na vlastnosti hydrodynamicky mazaného radiálneho klzného ložiska*. Doktorská dizertačná práca. Zvolen: Vysoká škola lesnícka a drevárska, 1978, 172 s.

Práca vznikla v rámci výskumného zámeru a riešenia vedeckých grantových projektov:

1. VGP 1/2440/05 „Výskum tribologických problémov klzných uložení vo vybraných komponentoch lesníckych mechanizačných prostriedkov“,
2. VGP 1/0418/08 „Vplyv mazania na tribológiu radiálnych klzných ložísk pre lesné mechanizačné prostriedky“,
3. APV-0229-06 „Aplikovaný výskum drevecementových dosiek pre tienenie elektromagnetických polí a pre zvýšenie požiarnej odolnosti“.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ján Sekereš, CSc., Ing. Ján Turis, PhD.

Katedra mechaniky a strojnictva

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26

960 53 Zvolen

INTERACTION BETWEEN TRAVEL WHEELS OF MOBILE MACHINES AND SOIL AND ITS INFLUENCE ON POWER TRANSMISSION

VPLYV INTERAKCIE POJAZDOVÝCH KOLIES MOBILNÝCH STROJOV S PÔDOU NA PRENOS VÝKONU

Ján HOLÍK – Milan MIKLEŠ

ABSTRAKT: Tento článok sa zaoberá niektorými aspektami terramechaniky a to formulovaním matematických vzťahov pre výpočet ťažnej sily mobilných strojov s uvažovaním deformácie pneumatík, pomermi pri pohybe stroja po naklonenej rovine a definovaním valivej a preklzovej účinnosti pojazdového kolesa.

Kľúčové slová: mobilné stroje, výkon, ťažná sila, valivá účinnosť, súčiniteľ sklzu

ABSTRACT: This article is about the terramechanic's it is formulating of mathematical relation for calculation of traction force of mobile machines. Considering by tyre's deformation, proporcion of machine motion on the slanting plane, defining of rolling and slip efficiency traction wheel.

Key words: mobile machines, power, traction force, rolling efficiency, slip coefficient

1. INTRODUCTION

The investigation of interaction i.e. mutual influence of moving mechanical bodies with soil is the object of branch called terramechanics. Its theory was formulated in 50th years of last century by M.G. Bekker in Canada and USA. The terramechanics is concerned with properties of travel mechanism of machines and capacity of terrain, resistances at till of soil and mechanics of soil tumbling.

The terramechanics is concerned especially with observing of phenomenons which rise in contact of travel mechanism with ground, i.e. terrain. It is for example theory of load cast creating, rolling resistances, compacting of soil and other rolling and traction properties of travel mechanism.

The effort of constructors of mobile operating machines (forest machines, agricultural tractors, loader a.o.) is to decrease and eliminate the rolling resistances of travel mechanism and ecological damages caused by contact of tyre with terrain.

In this paper are indicated some aspects of this problems in chain of transmission of energy of mobile machines from engine to wheels of machine.

2. METHODS AND RESULTS

The transmission of power of mobile machine from combustional engine to wheels of axles is ordinary perform via hydraulic transmissions namely hydrodynamic or hydrostatic transducers and mechanical gearboxes with constant or variable ratio.

For purposes of formulation of necessary mathematical relations is used the substitute scheme of drive of mobile machine (loaders, forest machine a.o.) with hydrostatic transmission (Fig. 1). The scheme constitute a power transmission chain from combustional engine through hydrostatic and gear transmissions to wheels of axle.

By numbers 1 to 9 are labeled single shafts.

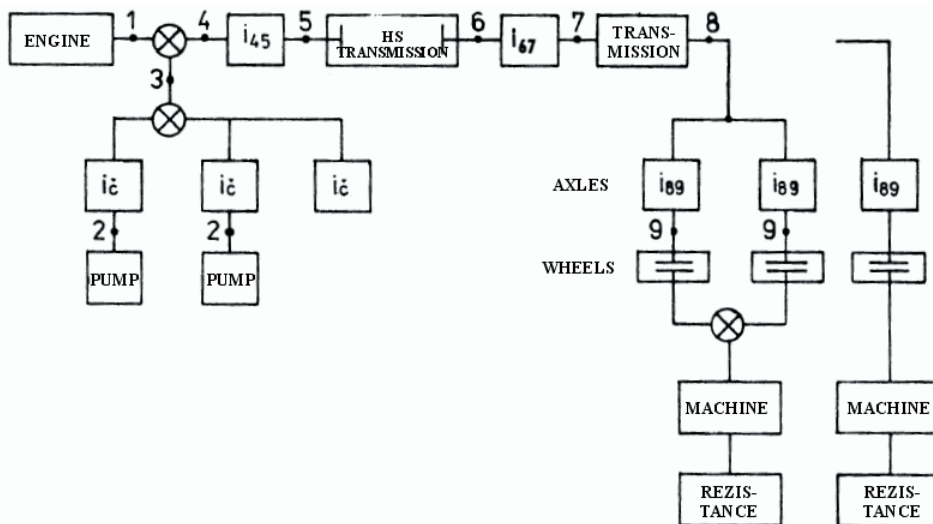


Figure 1 Substitute scheme of drive of loader with HS transmission

2.1 Conditions before hydrostatic transmission

Torque conditions

$$M_1 = M_3 + M_4 + I_1 \cdot \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$M_3 = \sum_{j=1}^n M_{2j} \cdot i_{23j} \cdot \mu_{23j} \quad (2)$$

$$M_{2j} = \frac{p_{\varepsilon j} \cdot q_{\varepsilon j}}{2\pi} \quad (3)$$

$$M_5 = M_4 \cdot i_{45} \cdot \mu_{45} - I_5 \cdot \varepsilon_5 \quad (4)$$

$$M_5 = \left[M_1 - \sum_{j=1}^n \frac{p_{\varepsilon j} \cdot q_{\varepsilon j}}{2\pi} \cdot \mu_{\varepsilon j} \cdot i_{23j} \cdot \mu_{23j} \right] \cdot i_{45} \cdot \mu_{45} \quad (5)$$

n – amount of hydraulic pumps of superstructure

Kinematic conditions

$$\varpi_4 = \varpi_1 \quad (6)$$

$$\varpi_{2j} = \frac{\varpi_1}{i_{23j}} \quad (7)$$

$$\varpi = \frac{\varpi_4}{i_{45}} \quad (8)$$

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_1 = \frac{d\varpi_1}{dt} \quad (9)$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_1 \cdot i_{45} \quad (10)$$

where:

M_i [N·m] – torque at shaft i ;

n_i [rpm] – speed at shaft i ;

q_{ε} [m³] – geometric volume of pumps of superstructure;

p_{ε} [MPa] – pressure in hydraulic pump of superstructure;

p_{ε} [MPa] – angular speed at shaft i ;

e_i [s⁻²] – angular acceleration at shaft i .

2.2 Conditions in hydrostatic transmission

The hydrostatic transmission ensure the transfer of energy from combustional engine to wheels of machine via adjustable hydraulic pump and constant or adjustable hydratropic.

The hydratropic can be placed directly into wheel, or it transfer the energy to wheels through transmission or reduction.

A draft design of appropriate units of hydrostatic transmission is possible to make according to procedures and documentation indicated in shipping documentation of used aggregates.

2.3 Torque and kinematic conditions in transmission part

Into this part of substitute scheme is involved the output part of hydratropic, the reduction 6–7, gearbox 7–8, axles and wheels.

For this area is possible to use relations:

Torque conditions

$$M_6 = M_6' - I_6 \cdot \varepsilon_6 \quad (11)$$

$$M_7 = M_6 \cdot i_{67} \cdot \mu_{67} - I_7 \cdot \varepsilon_7 \quad (12)$$

$$M_8 = M_7 \cdot i_{78} \cdot \mu_{78} - I_8 \cdot \varepsilon_8 \quad (13)$$

$$M_9 = M_8 \cdot i_{89} \cdot \mu_{89} - I_9 \cdot \varepsilon_9 \quad (14)$$

Kinematic conditions

$$n_7 = \frac{n_6}{i_{67}}; \quad n_8 = \frac{n_7}{i_{78}}; \quad n_9 = \frac{n_8}{i_{89}} \quad (15)$$

$$\varepsilon_6 = \frac{d\varpi_6}{dt}; \quad \varepsilon_7 = \frac{d\varpi_7}{dt}; \quad \varepsilon_8 = \frac{d\varpi_8}{dt}; \quad \varepsilon_9 = \frac{d\varpi_9}{dt} \quad (16)$$

For calculation purposes on computer is useful to make a reduction of inertial masses and torques to shaft No. 8. This shaft is loaded by input torques and inertial forces in direction from hydratropic (M8) and by torques and inertial forces in direction from axles (M'8).

These loading torques are in equilibrium, i.e:

$$M_8 = M_8' \quad (17)$$

$$M_8 = \left[(M_6' - I_6 \cdot \varepsilon_6) \cdot i_{67} \cdot \mu_{67} - I_7 \cdot \varepsilon_7 \right] \cdot i_{78} \cdot \mu_{78} - I_8 \cdot \varepsilon_8 \quad (18)$$

$$M_8' = \frac{M_9}{i_{89} \cdot \mu_{89}} + \frac{I_9 \cdot \varepsilon_9}{i_{89} \cdot \mu_{89}} \quad (19)$$

After arrangement:

$$M_8 = M_6' \cdot i_{67} \cdot i_{78} \cdot \mu_{78} \cdot \mu_{67} - \varepsilon_8 \cdot (I_6 \cdot i_{67}^2 \cdot i_{78}^2 \cdot \mu_{67} \cdot \mu_{78} + I_7 \cdot i_{78}^2 + I_8) \quad (20)$$

$$M_8' = \frac{M_9}{i_{89} \cdot \mu_{89}} + \varepsilon_8 \cdot \frac{I_9}{i_{89}^2 \cdot \mu_{89}} \quad (21)$$

$$\begin{aligned} M_6' \cdot i_{67} \cdot i_{78} \cdot \mu_{67} \cdot \mu_{78} - \frac{M_9}{i_{89} \cdot \mu_{89}} = \\ = \varepsilon_8 \cdot \left(I_6 \cdot i_{67}^2 \cdot i_{78}^2 \cdot \mu_{67} \cdot \mu_{78} + I_7 \cdot i_{78}^2 \cdot \mu_{78} + I_8 + \frac{I_9}{i_{89}^2 \cdot \mu_{89}} \right) \end{aligned} \quad (22)$$

Where:

I [N·m·s²] – moment of inertia of shaft;

I_r [N·m·s²] – reduced moment of inertia of shaft;

μ [-] – efficiency;

i [-] – gear ratio.

3. INTERACTION BETWEEN TRAVEL WHEEL AND SOIL

During transmission of power through drive wheel to terrain the losses of power are rising. Because of this the total useable power is decreased by these losses.

3.1 Influence of tyre deformation on drive force

The transmission of motion energy of rotating parts of drive mechanism into moving machine is perform through connection of wheel-ground. During this transformation of rotational motion into translational motion of machine the deformation of tyre on travel road is rising which cause slipping of wheel.

Then the drive force and angular speed is:

$$F_9 = G \cdot g \cdot \varphi \cdot (1 - e^{-v/\delta}) \cdot \sin(\varpi_9 - \varpi_{10}) \quad (23)$$

$$\varpi_{10} = \varpi_9 \cdot \left[1 + \frac{1}{v} \cdot \operatorname{tg} \left(1 - \frac{F_9}{G \cdot g \cdot \varphi} \right) \right] \quad (24)$$

If we consider a simplified calculation we can use the maximal drive force:

$$F_9 = F_{9\max} = G \cdot g \cdot \varphi \quad (25)$$

Where:

F_9 [N] – drive force;

F_9 [N] – weight of loader;

$G\varphi$ [–] – coefficient of traction;

v [rad] – angle of characteristics of tyre declination;

δ [–] – slip of tyre.

3.2 Losses caused by slipping

The value of slip is commensurable to value of drive force which the travel wheel transmit. The theoretical speed of motion is equal to speed of drive wheels:

$$v_t = R_k \cdot \omega \quad (26)$$

Where:

R_k [m] – radius of wheel;

ω [s⁻¹] – angular speed of wheel.

The actual operating speed of machine:

$$v = v_t \cdot (1 - \delta), \quad (27)$$

where δ is slip

Slip efficiency:

$$\mu_{\delta} = v / v_t \quad (28)$$

The power losses by slipping:

$$P_{\delta} = P_h \cdot (1 - \mu_{\delta}), \quad (29)$$

where: P_h [W] – power on drive wheels.

This part of power will be spent on soil and drive wheel deformations, and especially at higher values of slip it is converted to heat which is rising at contact areas of travel wheel and ground. The graphical chart of slip and slip efficiency as a function of draught force is on Fig. 2

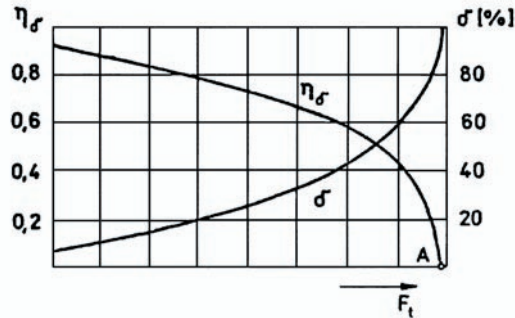


Figure 2 The curves of slip and slip efficiency

The curve of slip efficiency is a mirror image of curve of slip. The maximal draught force correspond to 100% slip and zero efficiency. The machine can not exploit this maximal draught force. The machine should be used in area of maximal draught efficiency. Considering a tire lifetime the slip values of 5–10% on concrete road and 30–40% on humid soil should not be exceed.

A tire slip has an influence on motion resistances at drive in bend too.

Dependence of slip coefficient δ on draught force can be expressed [4] by formula:

$$\delta = X\psi + Y\psi^n \quad (30)$$

where X, Y – coefficients; $\psi = T/Z$

T [N] – tangential loading of tire; Z [N] – radial loading of tire.

For our conditions we can use [4]:

$$X = 0,09, Y = 2,81, n = 8$$

Then, dependence $\delta = f(\psi)$ has running by Fig. 3

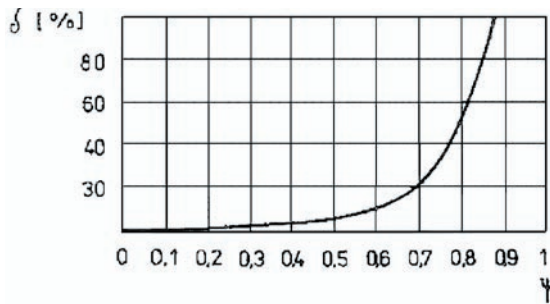


Figure 3 The curve of slip coefficient

3.3 Losses caused by rolling

A value of rolling resistance is given by gravity of mobile machine and by properties of ground and wheel too.

Rolling resistance is given by formula:

$$F_f = f \cdot g \cdot G \quad (31)$$

where:

- f [-] – coefficient of rolling resistance;
- g [m.s⁻²] – acceleration of gravity;
- G [kg] – weight of machine.

During a motion of machine by real speed v the power for overcome of rolling resistance is:

$$P_f = F_f \cdot v = f \cdot g \cdot G \cdot v \quad (32)$$

The power needed to overcome the rolling resistance is directly commensurable to operating speed of machine. Its decreasing is able mainly by decreasing of machine's weight G .

Rolling resistance can be expressed by formula:

$$\mu_v = F_t / (F_t + F_f) \quad (33)$$

where: F_t [N] – draught force

The value of rolling efficiency descend with growing value of rolling resistance (Fig. 4). With growing draught force it is approaching 1.0 (100%) asymptotically.

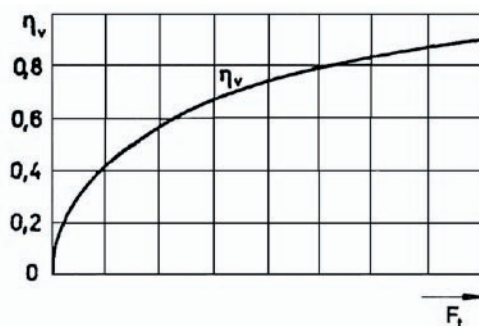


Figure 4 The curve of rolling efficiency

4. CONCLUSION

In paper is showed the chain of power transmission and influence of some parameters on value of draught force of mobile machines. It is angle of characteristics of tire declination, relative slip of tire, rolling coefficient and coefficient of wheel slip. The rolling and slip efficiency and their influence on machine's performance are defined.

This description can be used for creating of mathematical model of operating cycle e. g. loader, with a goal to develop an optimalization programme for design of machine.

LITERATURE

- HOLÍK, J.: Modelovanie práce nakladača s hydrostatickým prevodom (Modeling of the loaders work with hydrostatic transmission), AFT FEVT TU Zvolen, 1999/1, s. 13–24
- MIKLEŠ, M., HOLÍK, J.: Teória navrhovania zemných strojov pre stavebníctvo a lesníctvo (Theory of construction wquipment for building trade and forestry), Vedecké štúdie 11/1999/A, TU Zvolen, 1999, 76 s.
- MIKLEŠ, M., ŠTOLLMAN, V.: Analýza hodnotenia dynamickej stability ako súčasti svahovej dostupnosti lesných strojov (Analysis of evaluation dynamic stability as a component of the gradeability of forest machines), AFT FEVT TU vo Zvolene, 1997, s. 69–78
- ULJANOV, N. A.: Teoria samohodnych kolesnych zemlerojmo-transportnyh mašin (Theory of mobile scoop loaders and transportation wheeled machines), Mašinostrojenie Moskva, 1982, 276 s.

Contact address:

doc. Ing. Ján Holík, CSc., prof. Ing. Milan Mikleš, DrSc.

Katedra lesnej a mobilnej techniky – FEVT

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

e-mail: holik@vsld.tuzvo.sk, mikles@vsld.tuzvo.sk

VPLYV GEOMETRIE REZNEJ HRANY PÍLOVÝCH KOTÚČOV NA REZNÝ VÝKON PRIEČNEHO DELENIA DREVA

INFLUENCE OF A CUTTING EDGE GEOMETRY FOR CIRCULAR SAWS ON THE CUTTING POWER OF CROSSCUTTING WOOD

Ján KOVÁČ – Milan MIKLEŠ

ABSTRAKT: Článok sa zaoberá vplyvom geometrie reznej hrany pílových kotúčov na veľkosť krútiaceho momentu a tým aj veľkosti rezného výkonu procesu priečného rezania dreva, teda vplyvom na celý proces rezania. V príspevku je uvedený podrobný popis postupu merania a použité meracie prístroje, proces vyhodnocovania výsledkov. Poznanie procesu priečného rezania dreva ako aj vyber vhodných podmienok rezania a rezného nástroja prispieje k znižovaniu výrobných nákladov, šetreniu energie

Kľúčové slová: rezný výkon, priečne delenie dreva, kotúčové píly

ABSTRACT: The article deals with influence of a cutting edge geometry for circular saws on dimension of torque and also on the dimension of cutting performance for the crosscutting wood, so on the whole process of cutting. The report introduces relation of experimental device on wood crosscutting process simulation, measurement operation and results evaluation. Knowledge of wood crosscutting process and choice of good cutting conditions and cutting tools contribute to decreases production costs and energy saving.

Key words: cutting power, crosscutting wood, circular saw

1. ÚVOD

V procese ťažby a prvotného spracovania dreva dôležitou činnosťou v lesnom hospodárstve je priečne rezanie stromov pri ich stínke viacoperačnými a stínacími strojmi a tiež skracovanie kmeňov pri výrobe sortimentov na lesných skladoch, na odvoznom mieste alebo v poraste (Marko, J., Holík, J., 2000). Výroba výrezov je nevyhnutná a dôležitá operácia, bez ktorej sa neobíde ani jeden lesný podnik. Proces rezania dreva je značne zložitejší ako rezanie elementárnym nožom. Pri rezaní súčasne pracuje niekoľko

rezných hrán, oddelenie triesky prebieha v uzavretom priestore, ktorý nazývame reznou škárou. V závislosti od polohy roviny reznej škáry (pílenia) k vláknam dreva, rozlišujeme tri smery pílenia: priečne (rovina reznej škáry je kolmá k smeru vlákien dreva), pozdĺžna (rovina reznej škáry je paralelná so smerom vlákien dreva), zmiešané (rovina reznej škáry sa nachádza pod uhlom menším ako 90° k smeru vlákien dreva). V súčasnosti sa na proces rezania dreva pozerá ako na technologickú schému, skladajúcu sa s niekoľkých vzájomne spojených a relatívne neoddeliteľných častí. Priečne pílenie dreva je najviac rozšírené v procese lesnej ťažby, používa sa v ťažbe stromov, skrakovaní kmeňov, výrobe sortimentov. Pozdĺžne pílenie sa aplikuje predovšetkým v pridruženej výrobe (pílnice) a hlavne v prvovýrobe drevárskeho priemyslu. Zmiešané pílenie sa používa v nábytkárskej výrobe. Pri lesnej ťažbe dochádza k jeho aplikácii pri vykonávaní zárezu na stromoch podliehajúcich ťažbe pomocou motorových píl. V súčasnosti sa na proces rezania dreva pozerá ako na technologickú schému, skladajúcu sa s niekoľkých vzájomne spojených a relatívne neoddeliteľných častí.

1.1 Priečne delenie dreva pilovými kotúčmi

V praxi je veľmi dôležité aby celý proces rezania dreva prebiehal z čo najmenšími nárokmi na energiu (teda energetickú náročnosť celého procesu). Na energetickú náročnosť strojného zariadenia vplyvajú viaceré faktory, akými sú napríklad výber vhodného materiálu rezného nástroja, jeho geometrie a tiež optimálne rezné podmienky (rezná rýchlosť v_c , rýchlosť posuvu v_f , posuv na zub f_z). Veľmi dôležitý faktor energetickej náročnosti je rezný výkon.

Veľkosť rezných uhlov je spolu s ostatnými reznými podmienkami rozhodujúca pre výkonnosť nástrojov, strojov, pre hospodárnosť všetkých druhov obrábania, pre kvalitu obrobenej plochy a rozmerovú presnosť výrobku. Nesprávne volené rezné uhly môžu zhoršiť kvalitu obrobenej plochy, urýchliť opotrebovanie reznej hrany a tým znížiť životnosť nástroja, zvýšiť rezný odpor a ovplyvniť životnosť stroja a hospodárnosť prevádzky.

Uhol rezného klina β – Čím väčší je uhol rezného klina, t.j. uhol klinovitej časti nástroja, ktorá vniká do obrábaného materiálu pri oddeľovaní triesky, tým väčší je i odpor obrábaného materiálu proti vnikajúcemu nástroju. Bolo by teda vhodné voliť uhol rezného klina čo najmenší, a však pri zmenšení uhla reznej hrany pod určitú hodnotu klesá značne pevnosť reznej hrany, t.j. rýchlejšie sa otupí. Pri voľbe uhla rezného klina však musíme väčšinou vychádzať predovšetkým z hodnôt uhlov α a γ . Pri spekaných karbidoch sa uhol rezného klina volí väčšinou ako u nástrojovej oceli, lebo spekaný karbid je krehký.

Uhol chrbta α – Uhol chrbta má vplyv predovšetkým na trenie chrbta obrábanú plochu. Čím je tento uhol menší, tým väčšie je trenie a naopak, pretože zmenšovaním uhla chrbta sa styková plocha medzi chrbtom a obrábanou plochou (tesne za reznou hranou) zväčšuje. Táto styková plocha sa postupne zväčšuje s opotrebovaním reznej hrany, zaoblená plocha otupeného ostria totiž neoddelí materiál pri oddeľovaní triesky v rovine prechádzajúcej najnižším bodom reznej hrany, ale v rovine ležiacej vyššie. Uhol chrbta má aj priamy vplyv na veľkosť rezného odporu a tým aj na výslednú prácu rezania. Veľkosť uhla sa v praxi volí $10\text{--}30^\circ$.

Uhol čela γ – Uhol čela priamo ovplyvňuje tvorenie triesky a jej veľkosť, čo má svoj význam pri priemyslovom spracovaní triesok (napr. výroba drevotrieskových dosák).

Optimálna hodnota závisí taktiež od druhu obrábaného materiálu, smere drevných vlákien a veľkosti posuvu na ostrie, poprípade hrúbke odoberanej triesky.

1.2 Metódy merania rezného výkonu

Rezný výkon je možné merať viacerými metódami (Holopíre K, J., Rousek, M., 2005) a meracími zariadeniami, uvediem len niektoré z nich.

1. Prvá metóda

Princíp merania je založený na zmene odoberaného prúdu pohonného elektromotora stroja zo siete. Pomocou prevodníka výkonu sa sníma zmena odberu prúdu zo siete a prevádza sa na analógový signál, ktorý je možné za pomoci A/D prevodníka v PC pretransformovať do číslícovej formy a následne spracovať vyhodnocovacím programom. Spôsob výpočtu rezného výkonu z nameraných hodnôt sa prevádza nasledovne:

Rezný výkon je množstvo práce vynaloženej za jednu sekundu. Jednotkou výkonu je W . $W = N \cdot m \cdot s^{-1}$.

$$P_c = F_c \cdot v_c \quad (W) \quad (1)$$

$$P_c = \frac{A_c}{t} \quad (W) \quad (2)$$

Rezný výkon vieme vypočítať aj pomocou krútiaceho momentu nasledujúcim vzťahom:

$$P_c = \frac{2 \cdot M_k \cdot v_c}{D} \quad (W) \quad (3)$$

kde: M_k – krútiaci moment

D – priemer pílového kotúča

Prepočet medzi rezným výkonom P_c a príkonom motora P_{pr} :

$$P_c = \frac{P_{PR}}{\eta} \quad (W) \quad (4)$$

2. Druhá metóda

Princíp merania je založený na snímaní krútiaceho momentu na hriadelí hnacieho zotrvačníka. Krútiaci moment sa definuje vynásobením pôsobiacej sily vzdialenosťou medzi bodom otáčania a pôsobiskom sily. Sústava SI uvádza newton meter (Nm) ako jednotku krútiaceho momentu.

Veľkosť krútiaceho momentu (M_k) sa dá vyjadriť vzťahom:

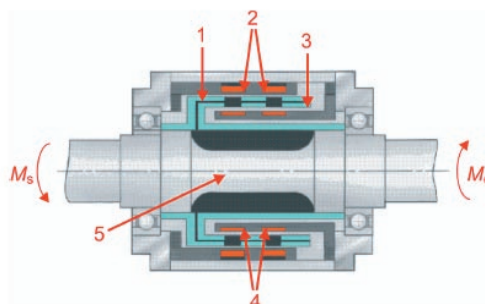
$$M_k = F \cdot r \quad (Nm) \quad (5)$$

kde: F – sila

r – rameno

Meracie zariadenie pozostáva z častí, ktoré sú zobrazené na obr. 1. Zariadenie sníma zmenu krútiaceho momentu a prevádza ho na elektrický signál. Vyhodnocovania

elektronika prevádza elektromagnetickú silu na napätie v rozsahu +10 a -10 V, čo závisí od smeru pôsobenia krútiaceho momentu.



Obrázok 1 Časti meracieho zariadenia

1 – vonkajší valec, 2 – sekundárna cievka, 3 – vnútorná cievka, 4 – primárna cievka, 5 – deformačná zóna

3. Tretia metóda

Princíp merania je založený na zaznamenávaní príkonu motora pri voľnobehu P_{p0} , ktorý slúži výlučne k prekonaniu elektromechanických strát motora a strát v prevodoch a ložiskách drevoobrábacieho stroja. Ďalej sa zaznamenáva príkon motora pri technologickej operácii P_{PR} , ktorý je potrebný okrem k prekonaniu strát motora a strát v prevodoch kmeňovej pásovej píly aj k samotnej technologickej operácii. Pre výpočet rezného výkonu P_c platí vzťah:

$$P_c = P_{PR} - P_{p0} \quad (\text{kW}) \quad (6)$$

Je nutné podotknúť, že metódou č. 1 a metódou č. 3 nie je možné dosiahnuť tak presné namerané veličiny, preto sa používa pri zisťovaní rezného výkonu metóda č. 2.

2. MATERIÁL A METÓDY

Na výskum parametrov pri priečnom delení dreva bolo vyvinuté experimentálne meracie zariadenie na meranie rezných podmienok pri delení dreva a skúmanie rezných nástrojov, ktorého schéma je znázornená na obr. 2. Meracie zariadenie sa skladá z dvoch častí, a to z rezacej a posuvnej. Rezacia časť zabezpečuje vyvíjanie a prenos krútiaceho momentu na nástroj, posuvacia časť zabezpečuje uchytenie a posun drevnej hmoty do rezu.

Ako je zrejmé zo schémy na pracovnom stole sú umiestnené: trojfázový asynchrónny 7,5 kW elektromotor, z ktorého krútiaci moment je prenášaný prostredníctvom pasu, uloženia, poistnej spojky Giflex GFL-38, vstupnej spojky snímača krútiaceho momentu, snímača krútiaceho momentu HBM T20WN, výstupnej spojky snímača krútiaceho momentu, vreteníka na nástroj (kotúčová píla). Guľatina (vzorka z dreva) je uchytený na platni v uchyťavacom zariadení pomocou pákového mechanizmu, ktorý zaisťuje jeho bezpečné upnutie. Priečny posuv obrobku zabezpečuje 5,5 kW elektromotor cez poistnú spojku Giflex GFL-28 a posuvovú skrutku. Medzi maticou skrutky a platňou je umiestnený

snímač sily HBM S2. Merací signál zo snímačov sily a krútiaceho momentu je vedený pomocou káblov na meraciu ústredňu SPIDER-8, ktorá je spojená s PC. Snímač krútiaceho momentu HBM T20WN umožňuje registrovať aj otáčky pilového kotúča. Otáčky a výkon elektromotorov sa regulujú pomocou frekvenčných meničov s vektorovým riadením.

- 1 - pracovný stôl
- 2 - posuvové vedenie
- 3 - guľatina

- 4 - prevod pásovým remeňom na pohon pilového kotúča

- 5 - elektromotor pohonu pilového kotúča

- 6 - ložiskový domec

- 7 - elektromotor na posuv materiálu do rezu

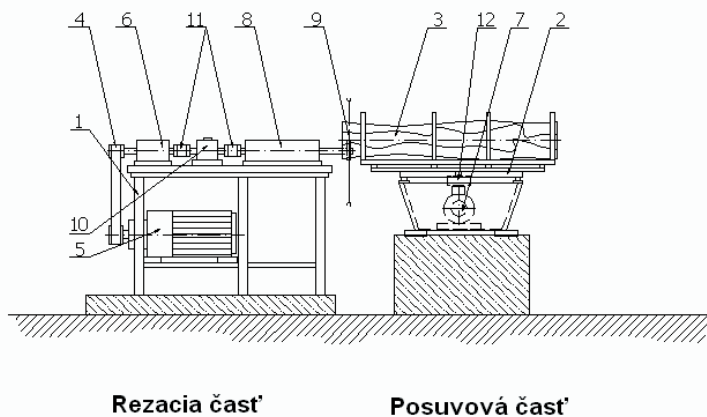
- 8 - vreteník kotúča pily

- 9 - pilový kotúč

- 10 - snímač krútiaceho momentu a otáčok T20WN

- 11 - spojky GFL-28
- 12 - snímač sily S2

Experimentálne meracie zariadenie



Obrázok 2 Schéma experimentálneho meracieho zariadenia

Pri experimentálnych skúškach boli použité vzorky dreva priemeru 18 cm dĺžky 1,5m z dreveniny – buk, dub, smrek, čerstvo zoťaté s vlhkosťou cca. 45% pri smreku, os 50 do 60% pri buku a dube, zmeranou váhovou metódou. Výrezy sa rezali pilovými kotúčmi s SK plátkami a s HSS ocele (ich technické parametre sú uvedené v tab. 1), pri otáčkach kotúča 1900 min^{-1} , teda reznej rýchlosti $59,66 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a posuvnej rýchlosti $152 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ pri drevinách buk a dub a pri drevine smrek sme museli voliť nižší posuv a to $103 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ z dôvodu zasekávania pilového kotúča pri rezaní skúšobnej vzorky.

Tabuľka 1 Základné rozmery pilových kotúčov

Základné rozmery	priemer kotúča D (mm)	Šírka rezu B (mm)	Uhol chrbita α (°)	Uhol čela γ (°)	Počet zubov
Pilový kotúč s HSS ocele	600	3,5	20	-5, 0, 5, 10	56
Pilový kotúč s SK plátkami	600	3,5	15	-10, 0, 10, 20	54

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

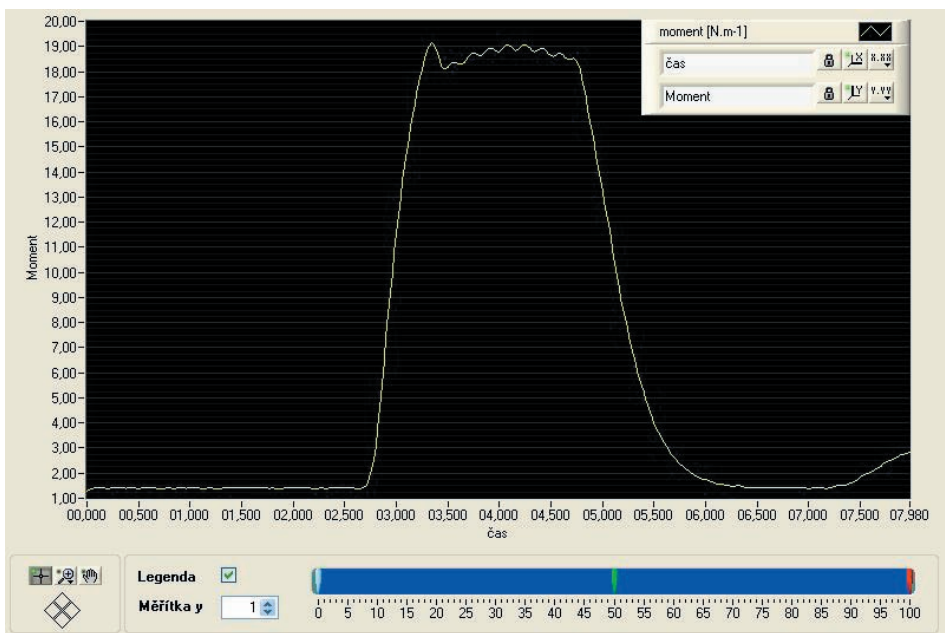
Čiastkovým cieľom experimentov bolo zistiť vplyv rôzneho uhla čela pilového kotúča na veľkosť krútiaceho momentu a prítláčnú silu do rezu, keďže uhol čela vplýva

na rezný odpor a tým na celý proces priečného delenia dreva. Výsledky sa spracovávali v programe Conmes Spider.

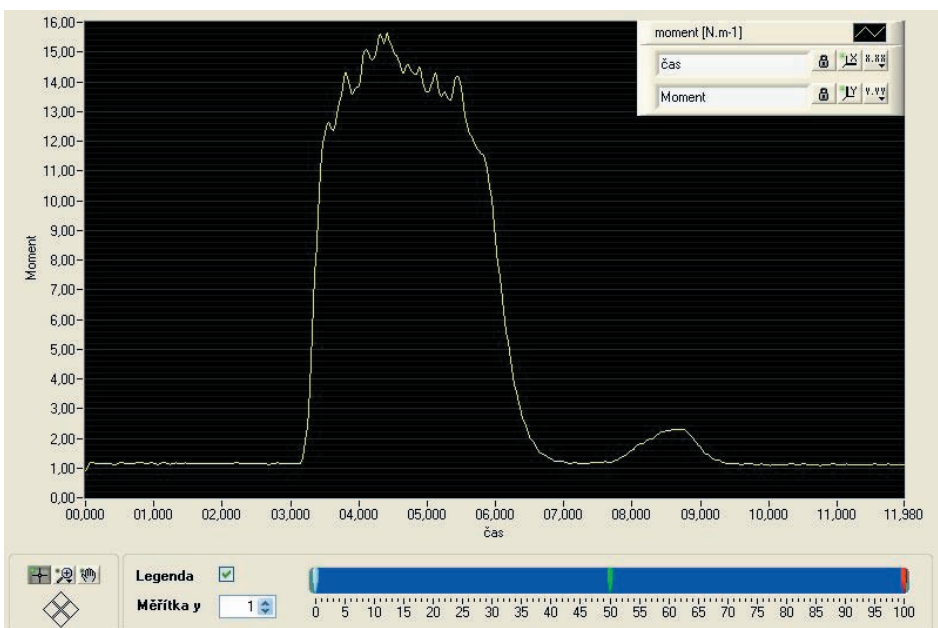
Z priebehu krivky krútiaceho momentu M_k pri rezaní buka pilovým kotúčom s SK plátkami (obr. 3) je vidieť veľký nárast hodnoty pri počiatočnom vnikaní nástroja (pilového kotúča) do rezu, následne určitý pokles hodnoty, čo môže byť spôsobené zotrvačnosťou pilového kotúča a postupnom ustálení rezného procesu. Následne prebieha proces rezania pri určitej ustálenej hodnote (veľkosť krútiaceho momentu sa mení minimálne), až sa po skončení procesu rezania sa dostáva na hodnotu pri ktorej sa pilový kotúč točí naprázdno bez zaťaženia procesom rezania. Pri rezaní pilovým kotúčom s HSS ocele (obr. 4) je priebeh krútiaceho momentu M_k charakterizovaný prudkým nárastom na maximálnu hodnotu a následne miernym klesaním až po prudký pokles, čo je spôsobené prerezaním dreva.

Zo získaných výsledkov veľkostí krútiaceho momentu M_k pri rôznych uhloch čela pilových kotúčov s SK plátkami a s HSS ocele pri jednotlivých drevinách sme odčítali max. hodnoty M_k pri jednotlivých meraniach a vykonali sme základné štatistické hodnotenie výsledkov. Následne sme vypracovali ich grafické zhotovenie z hodnôt aritmetického priemeru max. hodnoty krútiaceho momentu M_k , ktoré nám dáva lepší prehľad o dosiahnutých výsledkoch. Veľkosť rezného výkonu sa prepočítala z krútiaceho momentu cez známy priemer pilového kotúča $D = 600$ mm a známou hodnotou reznej (obvodovej) rýchlosti $v = 59,66$ m.s⁻¹ nasledovne:

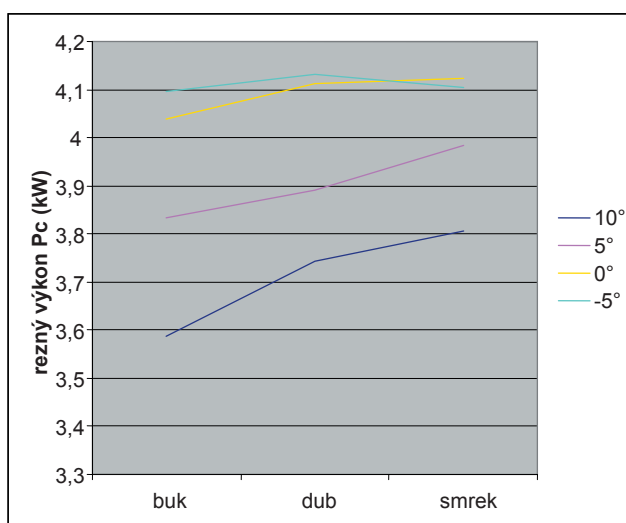
$$P_r = \frac{2 \cdot M_k \cdot v}{D} \quad (W) \quad (7)$$



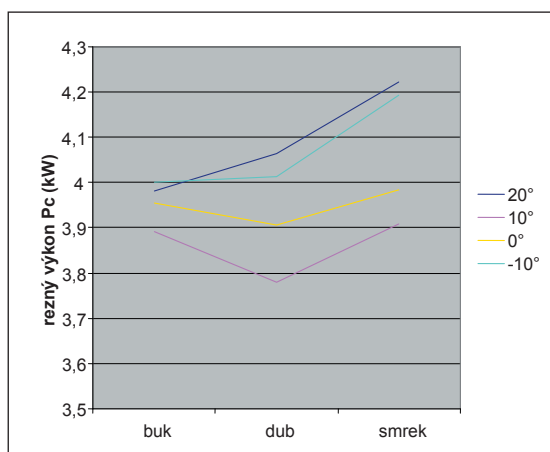
Obrázok 3 Priebeh M_k pri priečnom rezaní buka pilovým kotúčom s SK plátkami pri uhle čela zuba 10°



Obrázok 4 Priebeh M_k pri priečnom rezaní buka pilovým kotúčom s HSS ocele pri uhle čela zuba 10°



Obrázok 5 Veľkosť rezného výkonu P_c pri priečnom rezaní pilovým kotúčom s HSS ocele



Obrázok 6 Veľkosť rezného výkonu P_c pri priečnom rezaní pílovým kotúčom s SK plátkami

Uvedené grafické vyhodnotenie výsledkov merania veľkostí krútiaceho momentu M_k a teda rezného výkonu pri jednotlivých uhloch čela pílových kotúčov nám potvrdilo tú skutočnosť, že najvýhodnejšie hodnota uhla čela pri priečnom delení dreva pílovými kotúčmi s SK plátkami a s HSS ocele je jeho kladná hodnota (10°), čo je v podstate potvrdením doterajších zistení pri priečnom rezaní dreva.

4. ZÁVER

Stanovenie veľkosti rezného výkonu a podávacej sily priečnom rezaní dreva má veľký význam pre konštruktérov deliacich uzlov manipulačných liniek. Možnosť overenia správneho výpočtu rezného výkonu a konštrukcie zubov pílových kotúčov má veľký vplyv z ekonomického a časového hľadiska pri výrobe rôznych sortimentov dreva. Podmienky pri experimentoch boli priblížené k pracovným podmienkam reálnych strojov a výsledky jednotlivých experimentov je možné porovnávať s výsledkami dosiahnutými na iných podobných výskumných pracoviskách.

LITERATÚRA

1. HOLOPÍREK, J., ROUSEK, M.: 2005. Energy dependencies with sawing hardboard materials. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu-CCCLXVIII, Poznań, 2005
2. LISIČAN, J., ZEMIAROVÁ, B.: 1988. Obrábanie a delenie drevných materiálov. Návod na cvičenia, ES VŠLD, Zvolen. 1988
3. MIKLEŠ, M., MARKO, J.: 1992. Teória a stavba lesných strojov 1. ES TU, Zvolen. 1992
4. MARKO, J., HOLÍK, J.: 2000. Teória delenia dreva. ES TU, Zvolen. 2000

Kontaktná adresa:

Ing. Ján Kováč, PhD., prof. Ing. Milan Mikleš, DrSc.

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, mikles@vsld.tuzvo.sk

METÓDA VÝPOČTU VEĽKOSTI NÁKLADU PRE PRIBLIŽOVANIE PÁSOVÝM TRAKTOROM

COMPUTATION METHOD OF LOAD-SIZE FOR THE CRAWLER TRACTOR SKIDDING

Milan MIKLEŠ – Juraj MIKLEŠ

ABSTRAKT: Práca je venovaná problematike ťahových vlastností lesných pásových traktorov, ktoré sa používajú pri približovaní dreva. V prvej časti sú definované základné veličiny ťahovej, hnacej sily k prekonávaniu jazdných odporov, ktoré majú význam len vtedy ak sú doprevádzané údajom o preklzu kolies. Vymedzená je maximálna veľkosť nákladu, keď ako limitujúce kritériá boli použité: výkon motora, adhézne podmienky, hmotnostno-geometrické riešenie traktora.

Kľúčové slová: lesné stroje, traktory, ťahové vlastnosti

ABSTRACT: Traction properties are treated in forest crawler tractors used for wood skidding. In the first part are definition the basic parameters – traction driving force overcoming the rolling resistance – are described: these parameters are applicable only if the data on crawler slip are given. Gradeability is given maximum load are determined using the limiting criteria as follows: engine power, adhesion conditions, weight distribution and geometric design of the tractor.

Key words: forest machines, tractors, traction properties

ÚVOD

Problematiku určovania veľkosti nákladu kmeňa (ťahových vlastností) je všeobecne známa a pomerne veľmi dobre rozpracovaná u kolesových traktorov. Aj keď pásový lesný traktor pracuje tiež na poddajnej podložke, vyskytujú sa pri vyšetrovaní technologických parametrov (ťahových vlastností) určité špecifiká, na ktoré je zameraná pozornosť. Pri rozbere sú vyšetrované hlavné možnosti pásového traktora v lesnom teréne na jeho hmotnostno-geometrické parametre, vplyvu terénu a pohonnej jednotky na maximálnu veľkosť približovacieho nákladu.

DEFINÍCIA VELIČÍN

Predtým ako pristúpime k vyšetrovaniu ťahových vlastností PT (pásového traktora) definujeme si niektoré základné veličiny:

- N_x – zložka celkovej ťahovej sily, rovnobežná s povrchom dráhy [N],
- F_T – celková hnacia sila [N],
- T_i – posuvná sila prenášaná na rám [N],
- R – celkový odpor valenia PT [N],
- G – celková tiaž PT [N],
- Y – tlaková sila (normálová reakcia) podložky [N],
- N_x/G – merná ťahová sila,
- F_T/G – merná hnacia sila,
- F_T/Y_r – súčiniteľ záberu μ ,
- T/Y_r – súčiniteľ ťahu χ , Y_r – reakcia od pojazdu,
- R/G – súčiniteľ valenia f ,
- Q – tiaž nákladu [N].

Vzťahy medzi definovanými veličinami sú nasledovné:

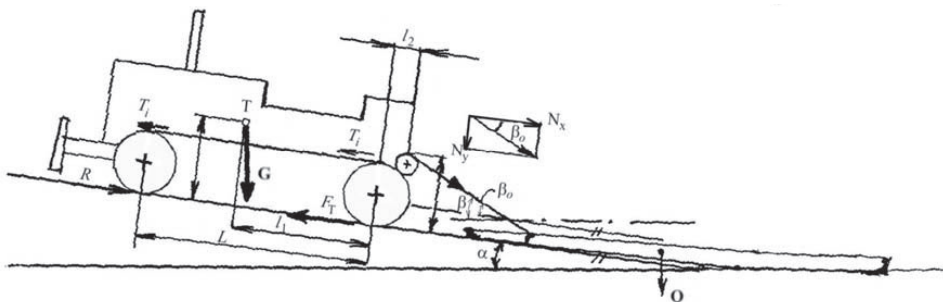
$$F_T = N_x + R = \sum T_i + R \quad (1)$$

$$\mu = \chi + f \quad (2)$$

$$\mu - f = \chi$$

Preklz je definovaný dĺžkou, ktorú prejde pás na určitej podložke pri otočení o jednu otáčku, bez hnacej sily (l_o) a pri prenose hnacej sily (1):

$$\delta = 1 - \frac{1}{l_o} \quad (3)$$



Obr. 1 Približovanie pásovým traktorom
Fig. 1 Ground skidding by crawler tractor

URČENIE VEĽKOSTI NÁKLADU KMEŇOV

Vychádzame z troch kritérií, ktoré určia maximálny náklad:

- a) výkon motora traktora,
- b) adhézne podmienky podložky,
- c) hmotnostno-geometrické riešenie traktora.

Na základe obr. 1 silu, ktorá pôsobí v lane F si rozložíme do dvoch navzájom kolmých smerov

$$N_y = F \sin \beta_o \quad (4)$$

$$N_x = F \cos \beta_o \quad (5)$$

a) Pri určovaní $Q_{\max,p}$ z výkonu motora, stanovíme sily odporu proti pohybu traktora

$$R_m = (G \cos \alpha + N_y) f + G \sin \alpha = (G \cos \alpha + F \sin \beta_o) f + G \sin \alpha \quad (6)$$

Ťažná sila traktora $N_x = F_T - R_m = F \cos \beta_o$ potom

$$F \cos \beta_o = \frac{M_{\max} i_p \eta}{r_d} - [(G \cos \alpha + F \sin \beta_o) f + G \sin \alpha]$$

Odtiaľ pre maximálnu silu v lane platí:

$$F_{\max,m} = \frac{\frac{M_{\max} i_p \eta}{r_d b} - G(f \cos \alpha + \sin \alpha)}{f \sin \beta_o + \cos \beta_o} \quad (7)$$

Po dosadení do nasledovného výrazu $F_{\max,m}$ môžeme určiť tiaž nákladu Q

$$Q = \frac{F(f_v \sin \beta_o + \cos \beta_o)}{f_v \cos \alpha + \sin \alpha}$$

a po jeho úprave

$$Q_{\max,m} = \frac{\left[\frac{M_{\max} i_p \eta}{r_d} - G(f \cos \alpha + \sin \alpha) \right] (f_v \operatorname{tg} \beta_o + 1)}{(f \operatorname{tg} \beta_o + 1)(f_v \cos \alpha + \sin \alpha)} \quad (8)$$

b) Pri určovaní $Q_{\max,a}$ z adhézných podmienok postupujeme nasledovne. Vyjadríme veľkosť hnacej sily:

$$F_{Ta} = \mu (G \cos \alpha + N_y) = \mu (G \cos \alpha + F \sin \beta_o) \quad (9)$$

Odpor proti pohybu zostáva rovnaký ako v predchádzajúcom prípade R_m potom dostaneme pre

$$F_{\max,a} = \frac{G(\chi \cos \alpha - \sin \alpha)}{\cos \beta_o - \chi \sin \beta_o} \quad (10)$$

prítom $\chi = \mu - f$.

Podobne ďalej odvodíme vzťah pre tiaž nákladu:

$$Q_{\max,a} = \frac{G(\chi - \operatorname{tg} \alpha)(f_v \operatorname{tg} \beta_o + 1)}{(1 - \chi \operatorname{tg} \beta_o)(f_v + \operatorname{tg} \alpha)} \quad (11)$$

- c) Pri určovaní $Q_{\max,p}$ maximálnej tiaže nákladu bez toho, aby došlo k preklopeniu traktora musí platiť podmienka:

$$l_1 G \cos \alpha > h_T G \sin \alpha + h_f \cdot N_x + l_2 N_y \quad (12)$$

po úprave:

$$l_1 G \cos \alpha > h_T G \sin \alpha + h_f F \cos \beta_o + l_2 F \sin \beta_o$$

l_1 – vzdialenosť ťažiska traktora od bodu 0 (posledný kontakt pásu s podložkou),

l_2 – vzdialenosť bodu 0 pásu od osi vodorovnej kladky lanového kozlíka traktora,

h_T – výška ťažiska,

h_f – vzdialenosť lana v mieste kontaktu s vodorovnou kladkou (na štíte) od podložky.

Najprv určíme $F_{\max,p}$ a po dosadení do vzťahu pre výpočet Q (uvedený v časti a) dostaneme hľadanú veličinu $Q_{\max,p}$:

$$F_{\max,p} = \frac{G(l_1 \cos \alpha - h_T \sin \alpha)}{h_f \cos \beta_o + l_2 \sin \beta_o} \quad (13)$$

$$Q_{\max,p} = \frac{G(f_v \operatorname{tg} \beta_o + 1)(l_1 - h_T \operatorname{tg} \alpha)}{(f_v + \operatorname{tg} \alpha)(h_f + l_2 \operatorname{tg} \beta_o)} \quad (14)$$

ZÁVER

Uvedená teoretická analýza bude slúžiť predovšetkým na hodnotenie ťahových vlastností pásových traktorov a na posudzovanie ich možností v lesnom teréne. Praktické uplatnenie metóda nájde v oblasti dopravy dreva a pri určovaní technických parametrov lesných pásových traktorov.

Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VEGA MŠ SR č. 1/3534/06 „Výskum teoretických princípov lesných mechanizmov vzhľadom na ekologickú čistotu práce a biologickú podstatu produkcie“.

LITERATÚRA

1. GREČENKO, A.: Vlastnosti terénnych vozidel, VŠZ Praha, 1994, 120 s.
2. GREČENKO, A.: Měření tahových vlastností terénnych vozidel – měřené veličiny, Zemědělská Technika, 24, 1978 (11), s. 643–660
3. SEMETKO, J. a kol.: Mobilné energetické prostriedky 3, Príroda Bratislava, 1986, 458 s.
4. SHISHINCHI, M.: A Fundamental study of Analysis of Logging Tractor Performance. Bulletin of the Jwate University Forests, 11, Marioka, 1980, s. 1–141

Kontaktná adresa:

prof. Ing. Milan Mikleš, DrSc., Ing. Juraj Mikleš

Katedra lesnej a mobilnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

E-mail: mikles@vsld.tuzvo.sk, jmikles@vsld.tuzvo.sk

INTEGRÁCIA CAE A MSS TECHNOLOGIÍ V PEVNOSTNEJ ANALÝZE NEKONVENČNÉHO PRIBLIŽOVACIEHO ŠTÍTU

THE INTEGRATION CAE AND MSS TECHNOLOGIES FOR A STRENGTH ANALYSE OF THE APPROACH SHIELD UNCONVENTIONAL CABLE SYSTEM

Pavel BEŇO – Branislav DANKO – Juraj TUHÁRSKY

ABSTRACT: Skidding of the wood mass can be realised by the unconventional double-drum tractor winch. This system is powered by wheels of the tractor rear axle. The principle of this equipment is protected by Nr. 280350 patent. Equipment realised this way is being tested by the Department of Forest and Mobile Technology at present time. The application of the Finite Element Method (FEM) in connection with the CAE (Computer Aided Engineering) technology of ANSYS software and the application of the dynamical analysis in the simulation workplace MSS (Multibody System Simulation) technology of MSC.ADAMS software can be found an optimum design of structure. The aim of the paper is the strength analyses and to present the compatibility of the CAE and MSS technologies of virtual prototyping with computer support. The paper includes the parametric model created by CAD technology, the meshed and dynamic model, the load forces, the created joints, simulation script, etc. Another aim of this paper is to analyse strength of the structure. Results of the analyses are presented in the graphs with the PostProcessor module by ANSYS and MSC.ADAMS software.

Key words: a strength analysis, CAE and MSS technologies, the unconventional cable system

ABSTRAKT: Približovanie dreva môže byť realizované pomocou nekonvenčného dvojhubnového navijaku. Tento systém je poháňaný kolesami zadnej nápravy. Princíp tohto zariadenia je chránený patentom číslo 280350. Zariadenie je v súčasnej dobe v štádiu skúšok na Katedre lesnej a mobilnej techniky. Aplikáciou metódy konečných prvkov v spojení s CAE technológiou programe ANSYS a dynamickou analýzou v simulačnom prostredí MSS technológie programe MSC.ADAMS je možné nájsť optimálny tvar konštrukcie. Príspevok prezentuje pevnostné analýzy a kompatibilitu CAE a MSS technológie virtuálnych prototypov s počítačovou podporou simulácie. Súčasťou príspevku je vytvorený parametrický model nekonvenčného približovacieho štítu CAD technológiou, vysieťovaný FEM model a dynamický model, zaťaženia, väzieb, simulačný skript, atď. Cieľom príspevku sú pevnostné analýzy konštrukcie. Výsledky sú prezentované tabuľkovou formou a grafickými charakteristikami v module „PostProcessor“ softvérom ANSYS a MSC.ADAMS.

Kľúčové slová: pevnostná analýza, CAE a MSS technológie, nekonvenčný približovací štít

1 ÚVOD A SÚČASNÝ STAV PROBLEMATIKY

Z dopytu a potreby lanových systémov pre sústreďovanie dreva na Slovensku (v lanovkových terénach, t. j. v sklonoch nad 40% leží na Slovensku približne 45% výmery lesa, lanovkami u nás sa sústreďuje približne iba 3,5% z celkového množstva vyťaženej drevnej hmoty) bol v rámci riešenia vedecko-technického projektu navrhnutý nový pohon traktorového lanového systému s nekonvenčným približovacím štítom.

Pre nový pohon traktorového lanového systému (pozri obrázok 1) bol vykonaný rozbor výrobných nákladov lanoviek tejto kategórie, pretože výrobné náklady sú limitujúcim faktorom ceny každého výrobku. Výrobne najnáročnejšou časťou traktorového lanového systému pre sústreďovanie dreva sú náklady na prevodové ústrojenstvo medzi vývodovým hriadeľom traktora a lanovnicou, resp. navíjacími bubnami, ktoré zabezpečujú prostredníctvom obežného lana pohon lanového vozíka. V snahe zníženia výrobných nákladov bola vykonaná analýza práve v danom konštrukčnom uzle traktorového lanového systému. Konceptné riešenie pohonu lesnej lanovky vychádza z priameho pohonu hlavných navíjajúcich bubnov lanovky kolesami hnacej nápravy traktora, ktoré sú pri práci lanovky zdvihnuté nad terénom tak, aby sa mohli voľne otáčať. Hlavnou prednosťou tohto riešenia pred existujúcimi je fakt, že medzi motorom traktora a navíjacími bubnami sa využijú prevody bázového stroja.

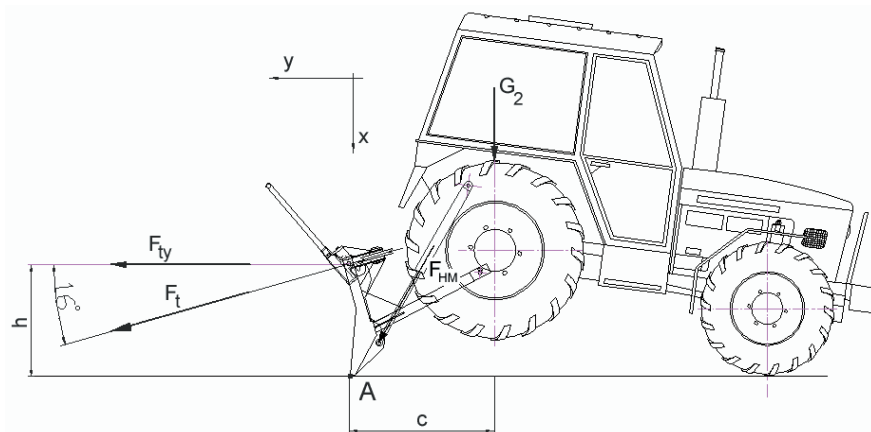


Obrázok 1 Navrhnutý traktorový lanový systém s nekonvenčným pohonom

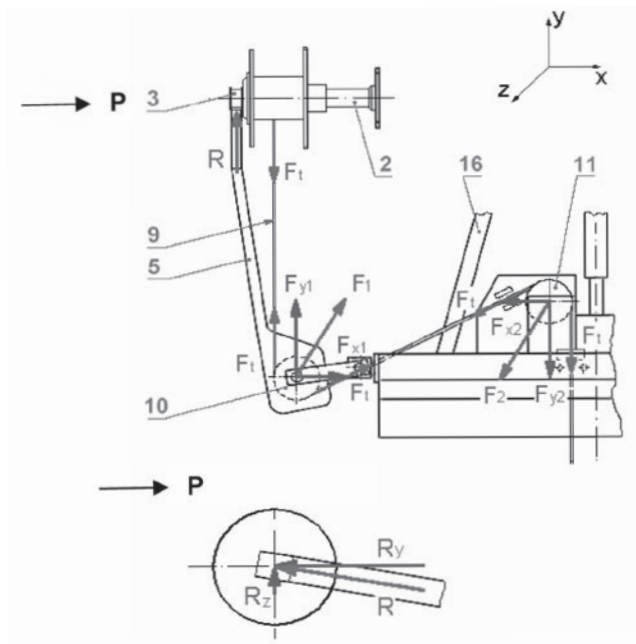
Cieľom príspevku je aplikácia počítačových technológií pri pevnostných analýzach strojových zariadení a konštrukcií, poukázať na využiteľnosť počítačovej podpory a kompatibility technológií: CAD, CAE a MSS pri napätovo deformačných analýzach konštrukcie približovacieho štítu nového lanového systému.

2 MATERIÁL A METÓDY RIEŠENIA

Principiálnu schému navrhnutého riešenia pohonu traktorového lanového systému a silový rozbor zaťaženia nekonvenčného približovacieho štítu – analyzovaného konštrukčného uzla, vidíme na obrázku 2 a 3.



Obrázok 2 Principiálna schéma a zaťažujúce sily



Obrázok 3 Principiálna schéma a zaťažujúce sily

1.1 Aplikácia CAE technológie

Statická analýza stavu napätosti a deformácií nekonvenčného približovacieho štítu lanového systému bola vykonaná CAE technológiou v programe ANSYS. Uvedený software patrí od počiatku existencie FEM inžinierskych systémov k špičkovým softvérom tejto kategórie ako priekopník multifyzikálnych analýz s vedúcou pozíciou v klasických odboroch, ako strojárstvo, automobilová a dopravná technika, energetika, stavebné aplikácie a procesné inžinierstvo. Softvér ANSYS umožňuje vykonávať nielen kontrolné výpočty, ale na ich základe aj optimalizáciu, topologické a taktiež aj citlivostné analýzy. Umožňuje vykonať hodnotenie únavy a životnosti a to nielen pre jednotlivé kategórie zaťaženia, ale vďaka multifyzikálnemu poňatiu programu ANSYS komplexne.

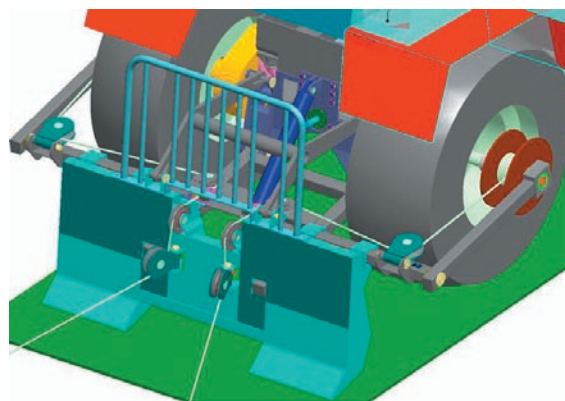
Geometria výpočtového modelu pre výpočty v ANSYSe bola vytvorená v CAD systéme Pro/ENGINEER Wildfire. Pri vhodnom nakonfigurovaní obidvoch programov je možné priamo z prostredia Pro/E spustiť ANSYS spolu s 3D geometriou daného modelu. Materiálové konštanty sa exportovať nedajú, tie treba dodatočne nakonfigurovať v prostredí ANSYSu.

Výpočtový model štítu bol vytvorený z elementov typu SHELL63. Element má šesť stupňov voľnosti v každom nóde (uzle). Parametre uvažovaného výpočtového modelu sú uvedené v tabuľke 1.

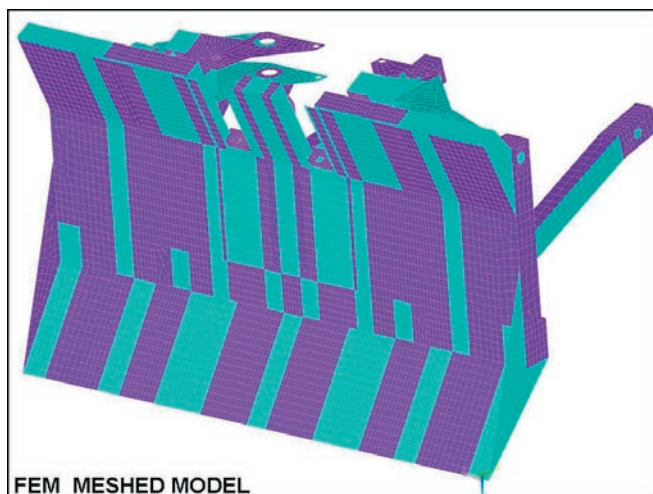
Tabuľka 1 Parametre výpočtového modelu s elementom typu SHELL 63

5854 ELEMENTS CURRENTLY SELECTED	MAX ELEMENT NUMBER 9294
5533 NODES CURRENTLY SELECTED	MAX NODE NUMBER 9818
358 KEYPOINTS CURRENTLY SELECTED	MAX KEYPOINT NUMBER 421
597 LINES CURRENTLY SELECTED	MAX LINE NUMBER 647
215 AREAS CURRENTLY SELECTED	MAX AREA NUMBER 215

Pre analýzu stavu napätosti a deformácií bola zvolená pracovná poloha štítu, ktorá vyplýva zo schémy navrhnutého riešenia pohonu traktorového lanového systému na obrázku 1, 2 a 3.



Obrázok 4 Parametrický model lanového systému v programe Pro/ENGINEER



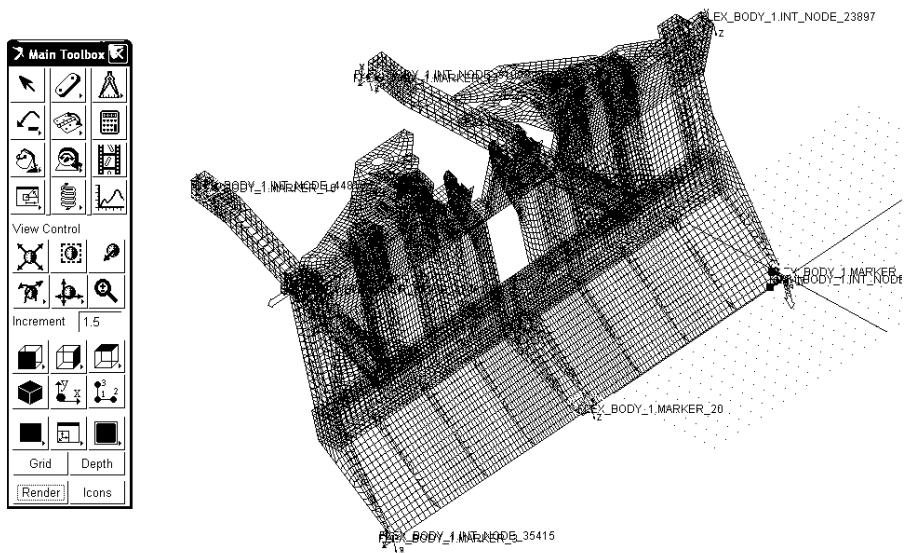
Obrázok 5 Výpočtový model vytvorený z elementov typu SHELL63 v programe ANSYS

1.2 Aplikácia MSS technológie

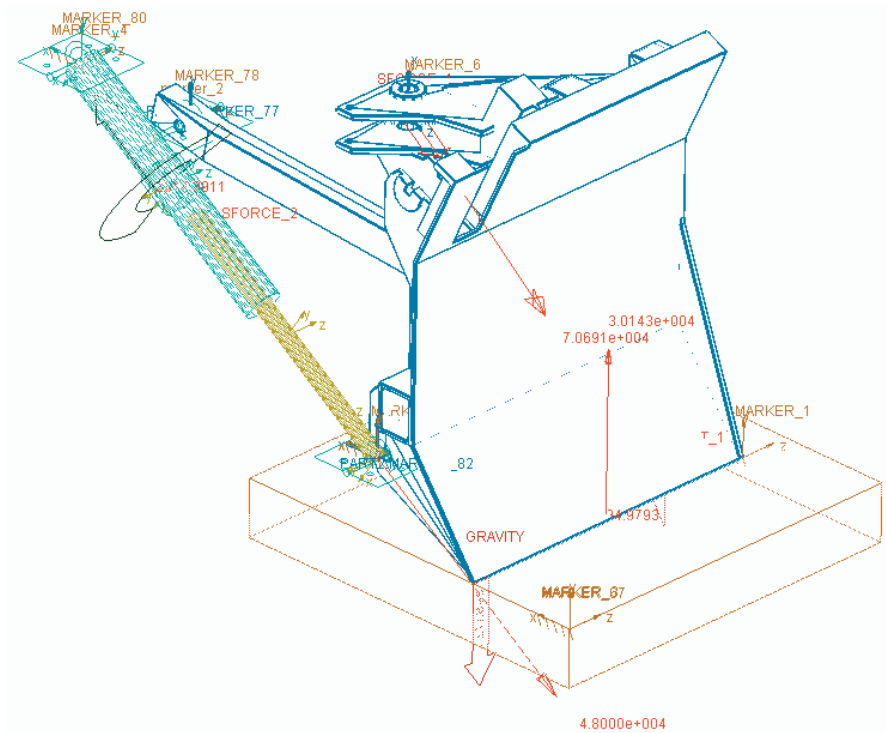
Virtuálna simulácia s počítačovou podporou mechanického systému, resp. konštrukčného uzla je dnes neoddeliteľnou a potrebnou technológiou vo väzbe na CAD a CAE technológie. Technológia MSS prezentovaná softvérom MSC.ADAMS, ktorý sa využíva pre dynamickú a kinematickú analýzu, optimalizáciu premenných, dynamickú napäťovo deformačnú analýzu poddajných častí, zisťovanie životnosti, únavy a pod. Výpočty prebiehajú pomocou algoritmov, tzv. riešičov, ktoré sú zapísané v programovateľnom jazyku C++ alebo Fortran v module A/Solver, s uplatnením numerickej matematiky, numerických integračných metód JIM (Jocobiova – iteračná metóda), resp. GSM (Gaussova-Seidelova metóda) a iných integrálnych nevariačných princípov (napríklad Hamiltonov princíp, Eulerov a Jakobiho princíp najmenšieho účinku) s požiadavkami pre výber vhodného formalizmu na zostavovanie a riešenie zmiešanej sústavy DAE (anglicky: Differential Algebraic Equations) pohybových diferenciálnych rovníc a väzobných algebrických rovníc, ktoré reprezentujú viazanú aj neviazanú mechatronickú sústavu.

Pre overenie kompatibility s inými technológiami bol daný konštrukčný uzol importovaný vo viacerých formátoch, napríklad: DWG *.dwg*, STEP *.stp*, IGES *.igs*. STEREO-LITHOGRAPHY *.stl* a iné. Najvhodnejším formátom pre import so zachovaním už vytvoreného modelu s detailnou geometriou a sieťovaním sa potvrdil formát PARASOLID *.x_t*, *.x_b*. Pre technologickú činnosť približovacieho štítu a najnepriaznivejšie režimy pri funkčnej činnosti štítu bol vytvorený simulačný skript, podľa ktorého prebehla simulácia (pozri obrázok 6).

Pre napäťovo deformačnú dynamickú analýzu štítu bol použitý modul A/Durability a grafické výstupy v module A/PostProcessor, resp. výstupy v tabuľkovej forme.



Obrázok 6 Importovaný model približovacieho štítu s geometriou vo formáte PARASOLID



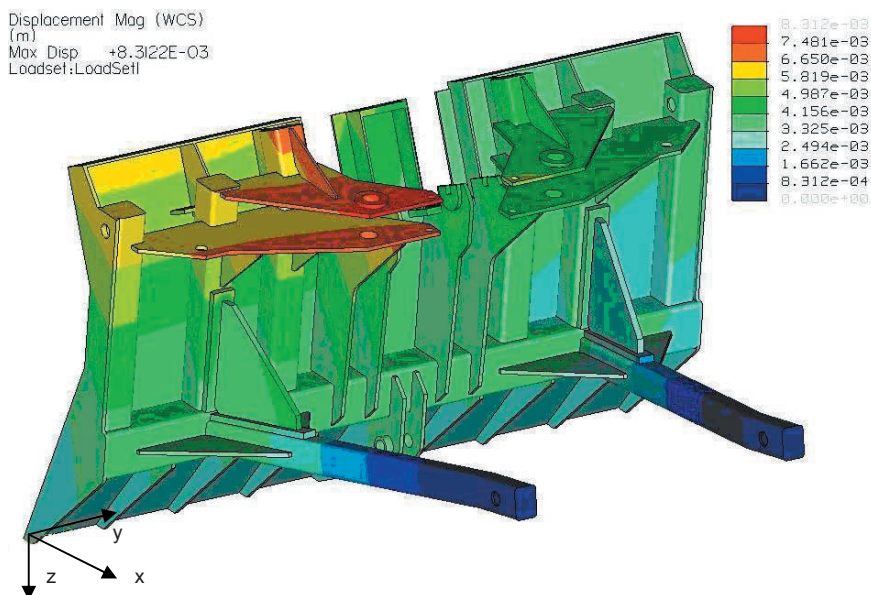
Obrázok 7 Polovičný virtuálny model približovacieho štítu počas simulačného skriptu

Verifikovaný výpis vlastnosti modelu približovacieho štítu:

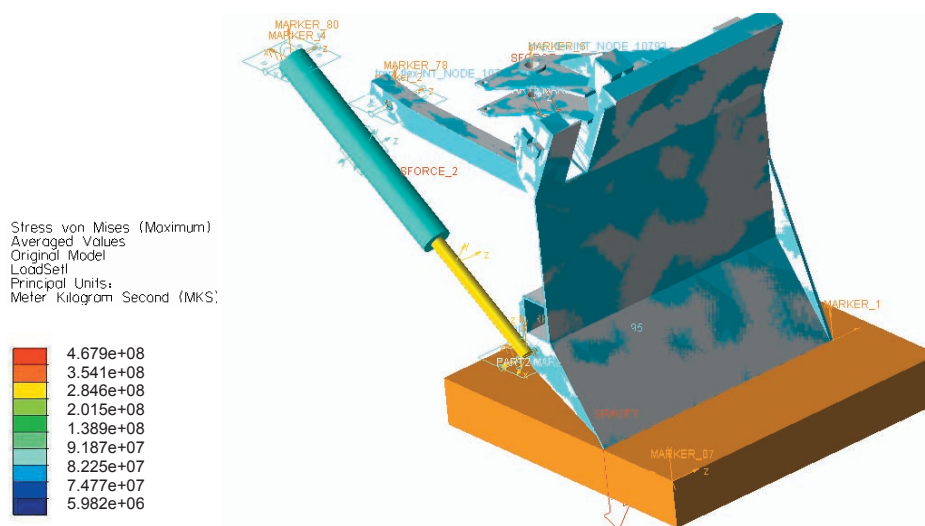
Object Name: .STIT_LANOVKA.PART2
Location: 0.0, 0.0, 862.5 (mm, mm, mm)
Orientation: 0.0, 90.0, 270.0 (deg)
Material: .STIT_LANOVKA. steel
Material Density: 7.801E-006 (7801.0(kg/meter**3)) kg/mm**3
Calculated Mass: 153.3372453764 kg
Calculated Volume: 1.9656101189E+007 mm**3
Mass Inertia Tensor:
IXX: 1.85988071E+007 kg-mm**2
IYY: 2.0809186431E+007 kg-mm**2
IZZ: 1.5617362832E+007 kg-mm**2
IXY: 0.0 kg-mm**2
IZX: 0.0 kg-mm**2
IYZ: 0.0 kg-mm**2
No Initial Velocities

Grafické priebehy analýz a tabuľkové výsledky sú v časti VÝSLEDKY tohto príspevku.

3 VÝSLEDKY



Obrázok 8 Analýza rozloženia deformácií na približovacom štíte v programe ANSYS



Obrázok 9 Analýza rozloženia napätí v diskretizovanom časovom okamihu simulácie na približovacom štíte v programe MSC.ADAMS počas technologického procesu

Tabuľka 2 Výsledky pevnostných analýz

Technológia/softvér	Počet uzlov	Počet elementov	Deformácia [m]	Napätie [MPa]
CAE /ANSYS	9818	9294	0 až $8,3 \cdot 10^{-3}$	0 až $2,78 \cdot 10^8$
MSS/ MSC.ADAMS			0 až $9,8 \cdot 10^{-3}$	0 až $4,67 \cdot 10^8$

4 DISKUSIA

Príspevok prezentuje možnosti kompatibility CAD, CAE a MSS technológií pri výpočtových analýzach, optimalizáciách konštrukčných uzlov, resp. mechanických systémov a zariadení.

Rozdielnosť výsledkov analýz ovplyvňujú softvérové technológie a hlavne ich odlišné prostredia. Kým analýza v programe ANSYS je statická, v programe MSC.ADAMS je dynamická, ktorá zohľadňuje technologickú činnosť mechanického systému a simulačný režim približovacieho štítu. Maximálne hodnoty deformácií statickou analýzou pri maximálnej ťahovej sile navijaka 25 kN dosahovali na približovacom štíte $8,3 \cdot 10^{-3}$ m v mieste konzoly kladky lana. Pri dynamickej analýze v simulačnom prostredí MSC. ADAMS dosahovali hodnoty deformácií počas simulácie bez rázov, v špičkách približne dvojnásobne vyšších hodnôt v miestach uchytení štítu, konzoly kladky lana a v mieste podpreťtia štítu.

Využitie algoritmu FFT analýzy v programe MSC.ADAMS a súčasne vykonaná frekvenčná analýza štítu v rozsahu 0 až 346 Hz predstavuje spolu s pevnostnou dynamickou analýzou potrebné údaje pre ďalšie optimalizačné analýzy konštrukcie z hľadiska dynamickej únavy a životnosti napríklad v module MSC. Fatigue.

Vzhľadom na prepojenosť softvéru s iným riadiacimi a regulačnými softvérmi, umožňujú MSS technológie široký rozsah využitia v oblasti navrhovania, optimalizácie a regulácie dynamických procesov.

LITERATÚRA

- DANKO, B.: 2006. Príspevok k zisťovaniu odoziev zaťaženi nosnej konštrukcie zemného stroja s využitím MSS technológie. In. *Opoťrebení, spolehlivost, diagnostika, Vědecká konference*, 29–31. oktobra 2006, Brno: ES Brno, 2006, s. 31–36. ISBN 80-7231-165-4
- PALČÁK, F.: 1998. Možnosti využitia virtuálnych prototypov pre potreby strojárského priemyslu. In. *Konštrukčná kancelária, Zborník príspevkov z II. konferencie*, 21. máj 1998, Nitra: Technické centrum PM Stupava, 1998, s. 27–32
- MIKLEŠ, M., HOLÍK, J.: 2003. *Lanové dopravné zariadenia*. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2003, 212 s. ISBN 80-228-1291-9
- TUHÁRSKY, J., BEŇO, P.: 2006. Analýza stavu napätosti a deformácií nekonvenčného približovacieho štítu lanového systému poháňaného kolesami zadnej nápravy traktora. In. *Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese, Zborník z MVK k 10. výročiu vzniku FEVT*, Zvolen, 5.–7. septembra 2006, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2006, s. 204–209. ISBN 80-228-1648-5
- 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. Pavel Beňo, PhD.

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

doc. Ing. Branislav Danko, Ph.D.

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

doc. Ing. Juraj Tuhársky, CSc.

Technická univerzita vo Zvolene
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Katedra lesnej a mobilnej techniky
Masarykova 24, 960 53 Zvolen, e-mail: tuharsky@vsld.tuzvo.sk

BEZPEČNOSŤ NEKOVOVEJ KABÍNY PRE MOBILNÝ PRACOVNÝ STROJ

THE SAFETY OF NON-METAL CAB FOR A MOBILE BUILDING MACHINE

Ján ŠEĎO – Miroslav VEREŠ – Martin TANEVSKI

ABSTRACT: The project APV 100 is focused on practical usage of composite materials for protective structures of mobile building machines cabs constructing. It focus on strength and stiffness of these materials, what it is important at these protective structures. On this paper we target the ROPS cab of new HON 200 wheel loader, which is product from PPS Group Company in Detva. This paper contents comparison of classical steel cab for this loader and our designed laminate cab in term of stress and strain by FEM.

Key words: cab, FEM, ROPS, force, deformation

ABSTRAKT: Úloha pod projektom APV 100 je zameraná na praktické využitie kompozitných materiálov pre stavbu ochranných prvkov kabín mobilných pracovných strojov. Zameriava sa na pevnosť a tuhosť týchto materiálov, čo je dôležité pri týchto ochranných prvkoch. V tomto článku sme sa zamerali na ROPS kabíny nového kolesového nakladača HON 200, produkt firmy PPS Group Detva. Tento článok obsahuje porovnanie klasickej oceľovej kabíny pre tento nakladač a navrhovanej laminátovej kabíny z hľadiska napätí a deformácií prostredníctvom MKP.

Kľúčové slová: kabína, MKP, ROPS, sila, deformácia

1. ÚVOD

Z historického hľadiska sa môžeme pozrieť na zrodenie kabíny pre mobilný pracovný stroj ako taký, či je to traktor, či zemný, či cestný stroj. Spočiatku sa stroje vyrábali väčšinou bez kabíny. S kabínou sa uvažovalo skôr na účel ochrany vodiča pred poveternostnými vplyvmi. Ako FOPS/ROPS slúžil potom ochranný rám.

Z druhej strany sa pri pracovných strojoch uvažovalo čisto s ochranou vodiča pred padajúcimi predmetmi či silovými účinkami od prevrátenia stroja teda FOPS/ROPS rámy. Avšak na vplyv poveternostných podmienok na pohodlie vodiča sa dôraz nekládol.

Postupom času sa vyvíjali spojenia ako kabína + ochranný rám (lesné traktory to majú dodnes). Pri bežných strojoch sa ochranný rám do kabíny integroval. Dnes sú väčšinou kabíny s integrovaným FOPS/ROPS. Čo do materiálu, dnes sa vyrábajú takéto kabíny z kovových materiálov, predovšetkým z oceľových plechov a profilov ako zvarence.

Spoločnosť PPS Group, a.s. v Detve pracuje spolu s Ústavom dopravnej techniky a konštruovania Strojníckej fakulty STU v Bratislave na vývoji nového kolesového otočného nakladača s riadenými nápravami HON 200, čo by mal byť nástupca známeho HON 150 alebo tiež UN 053.



Obrázok 1 Nakladač HON 200

2. MATERIÁL A METÓDY RIEŠENIA

2.1. Kovová (oceľová) kabína

Dnes pri progresívnom vývoji ochranných náterov nevýhodou nie je ani tak slabá korozivzdornosť oceľovej zvaranej kabíny, ako skôr nepriaznivý vývoj cien oceľových plechov a profilov na trhu a aj zložitosť vzájomného ustavenia častí pri zvaraní. Toto všetko sa premietne aj do ceny kabíny. Výhodou ocele je možnosť plastickej deformácie pri nárazoch, teda aj nevratné pohltienie energie a jej relatívne dobrá tuhosť.



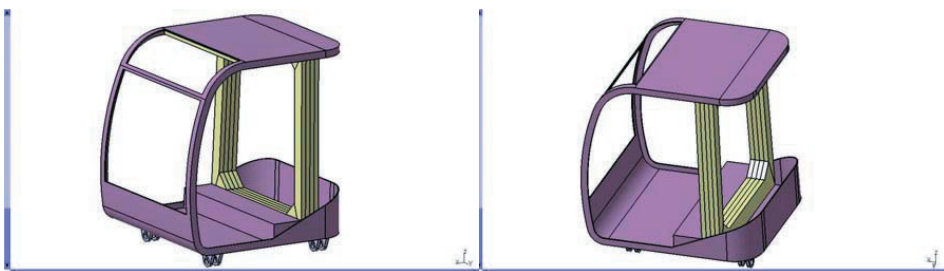
Obrázok 2 Návrh pôvodnej oceľovej kabíny

2.2. Nekovová (laminátová) kabína

Projekt APV 100/6 riešený na SjF STU v Bratislave v Oddelení častí strojov Ústavu dopravnej techniky a konštruovania sa zaoberá aj vývojom a výskumom novej nekovovej kabíny s integrovaným FOPS/ROPS. Najvhodnejšie z hľadiska pevnosti a tuhosti materiálu je voliť kompozitný materiál – laminát.

Momentálne je vo výrobe prvá skúšobná vzorka nekovovej kabíny, kde ako nekovový materiál bol zohľadnením ceny zvolený sklený laminát s vláknom E-sklo a polyesterovou matricou. Výhodou tohto materiálu bude predovšetkým jednoduchá takmer žiadna údržba a dobrá odolnosť voči vonkajším vplyvom. Oproti pôvodnej ocelevej kabíne je tvarovo zjednodušená, aby bola aj jej výroba čo najjednoduchšia. Je riešená ako škrupina so vsadeným uzavretým rámom, ktorého súčasťou sú bočné stĺpiky a priečny strešný nosník.

Nevýhodou tohto laminátu je nízka tuhosť, kde potom treba uvažovať s výstužou a výplňou stĺpikov. Ako výstuž sú použité laminátové pozdĺžniky a priečky a ako výplň polyesterová pena. Škrupina kabíny je laminovaná z multiaxiálne tkaných prepegov a plášte stĺpikov a nosníkov sú z prepegov s jednosmerne orientovanými vláknami v smere osí stĺpikov a nosníkov.



Obrázok 3 Návrh laminátovej kabíny

2.3. Metóda riešenia – analýza MKP

Pre tieto kabíny (oceľová, laminátová) prebehla analýza MKP pre ROPS, kde je návrh a vhodná optimalizácia komplikovanejšia. Pôsobisko, smer a hodnota zaťažujúcich síl boli určené podľa reálneho testovania ROPS, ako uvádza norma STN ISO 3471 pre hmotnosť stroja 10 000 kg.

Bočné zaťaženie: $F = 6 \cdot M = 6 \cdot 10\,000 = 60\,000 \text{ N}$

Zvislé zaťaženie: $F = 19,61 \cdot M = 19,61 \cdot 10\,000 = 196\,100 \text{ N}$

Pozdĺžne zaťaženie: $F = 4 \cdot M = 4 \cdot 10\,000 = 40\,000 \text{ N}$

Pri tejto analýze sa neuvažovalo s deformáciou rámu stroja a silentblokov. Aj preto sa reálne skúšky budú líšiť od teoretických výsledkov.

Tvary oboch kabín sú podobné, teda mení sa len materiál.

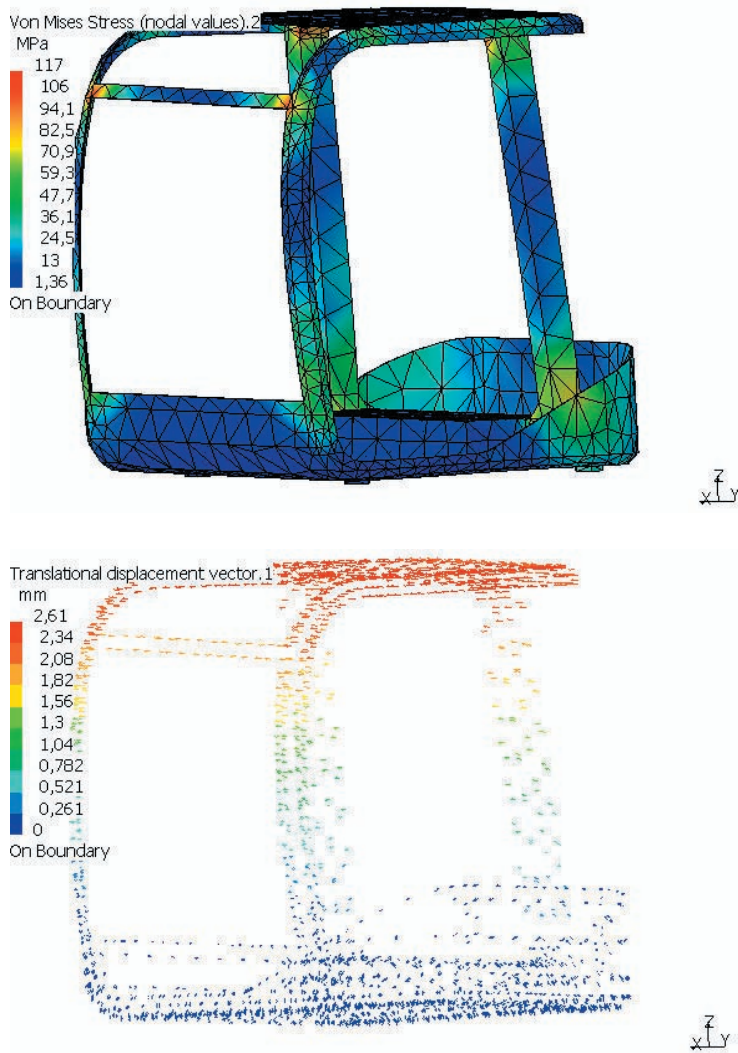
3. VÝSLEDKY ANALÝZY MKP

3.1. Oceľová kabína

Pre porovnanie sme analyzovali oceľovú kabínu, ktorá je tvarovo podobná ako navrhovaná laminátová kabína. Teda je to tiež škrupina a nie z rúrkového rámu, ako pôvodná.

Pri tejto MKP informačnej analýze bol použitý software CATIA V5

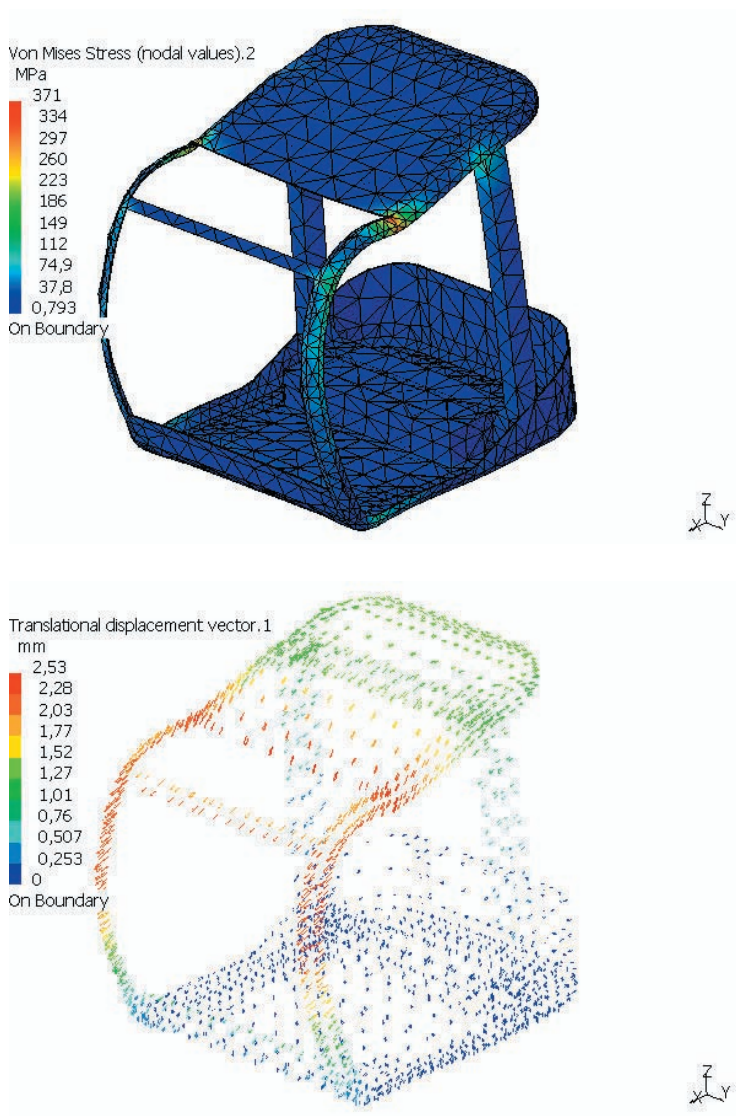
3.1.1. Bočné zaťaženie



Obrázok 4 Výsledky analýzy MKP pri bočnom zaťažení

Výsledky analýzy sú na obrázku 4. Maximálne napätie je 117MPa a posunutie 2,61 mm.

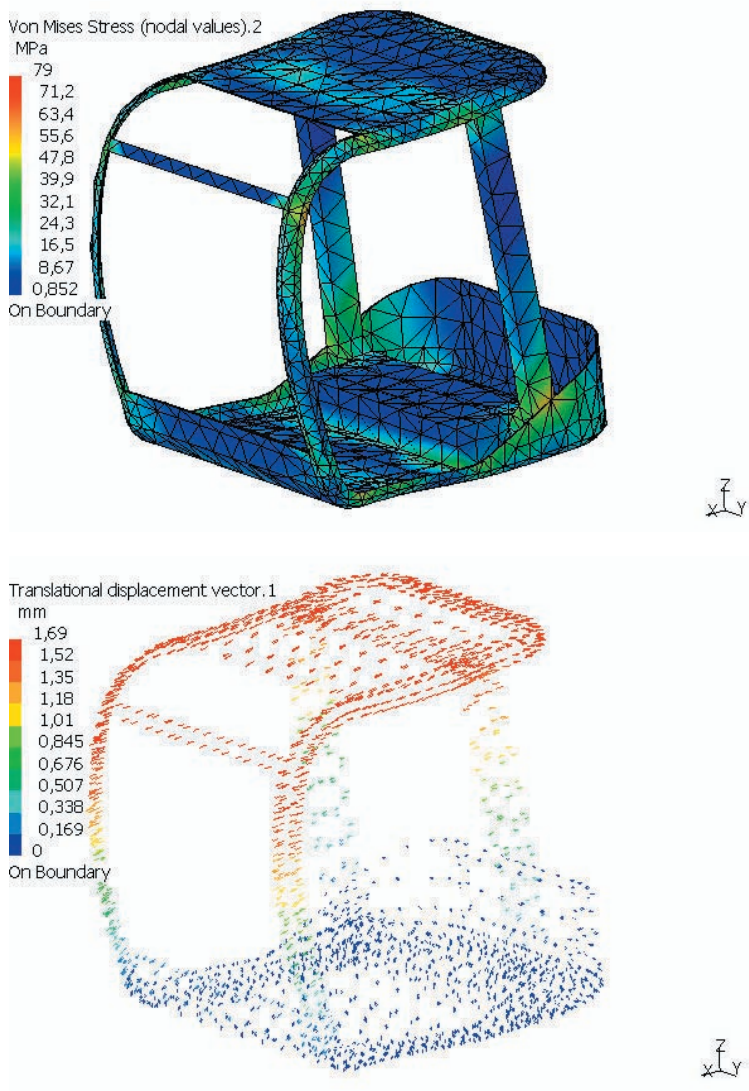
3.1.2. Zvislé zaťaženie



Obrázok 5 Výsledky MKP pri zvislom zaťažení

Výsledky analýzy MKP sú na obrázku 5. Maximálne napätie je 371 MPa a posunutie 2,53 mm.

3.1.3. Pozdĺžne zaťaženie



Obrázok 6 Výsledky MKP pri pozdĺžnom zaťažení:

Na obrázku 6 sú výsledky MKP pri pozdĺžnom zaťažení. Maximálne napätie je 79 MPa a posunutie 1,69 mm.

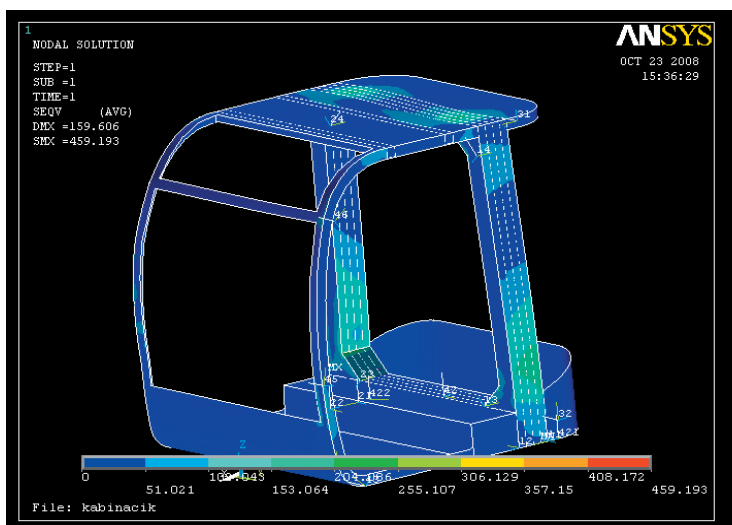
3.2. Laminátová kabína

Pre analýzu MKP laminátovej kabíny bol použitý software ANSYS. Maximá napätí sú lokálne – špičkové, ktoré netreba brať do úvahy, lebo v skutočnosti v tých miestach budú zaoblenia, čo tieto špičkové napätia rozložia. Pre ANSYS by zaoblenia modelu boli len komplikáciou, keďže sa jedná o ortotropný materiál. Preto vo výsledkoch hovorím iba o maximálnych deformáciách.

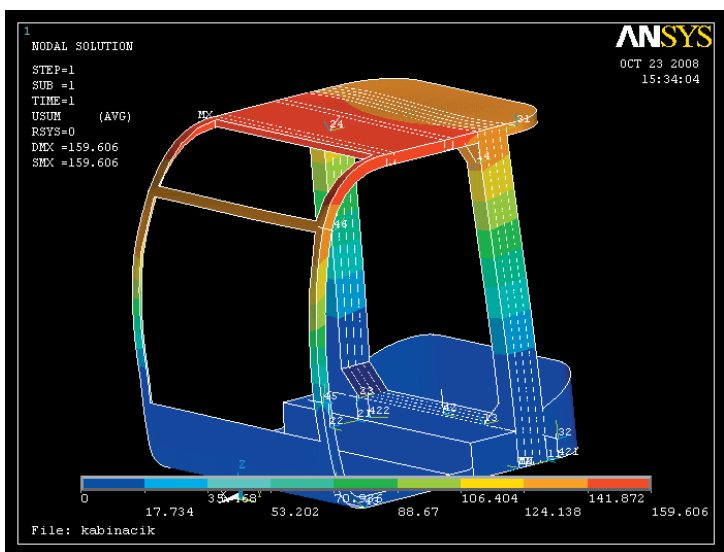
Všetky zaťaženia boli rovnaké ako pre kovovú kabínu.

3.2.1. Bočné zaťaženie

Výsledky MKP pri bočnom zaťažení sú na obrázku 7, kde maximálna deformácia je 159,6 mm.



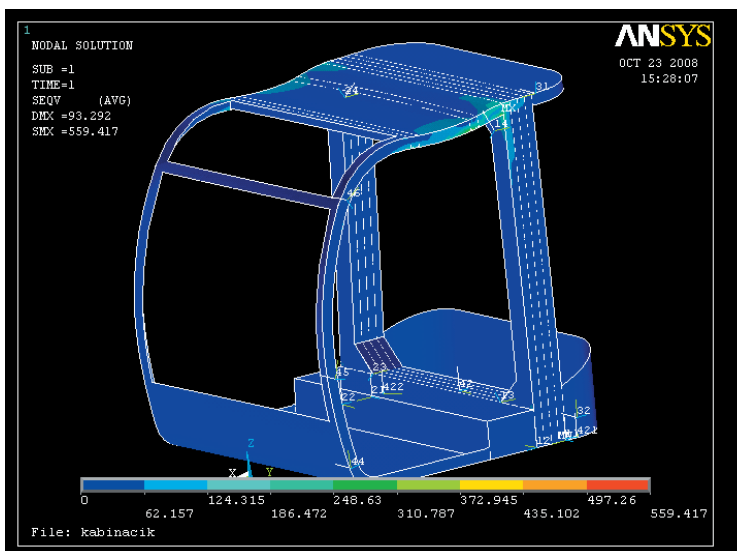
Obrázok 7a Maximálne napätia v MPa a deformácie v mm pri bočnom zaťažení



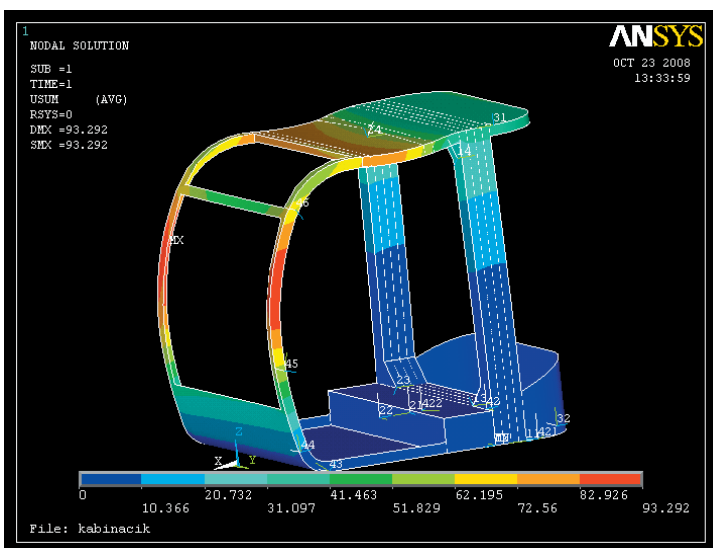
Obrázok 7b Maximálne napätia v MPa a deformácie v mm pri bočnom zaťažení

3.2.2. Zvislé zaťaženie

Výsledky MKP pri zvislom zaťažení sú na obrázku 8, kde maximálna deformácia je 93,3mm



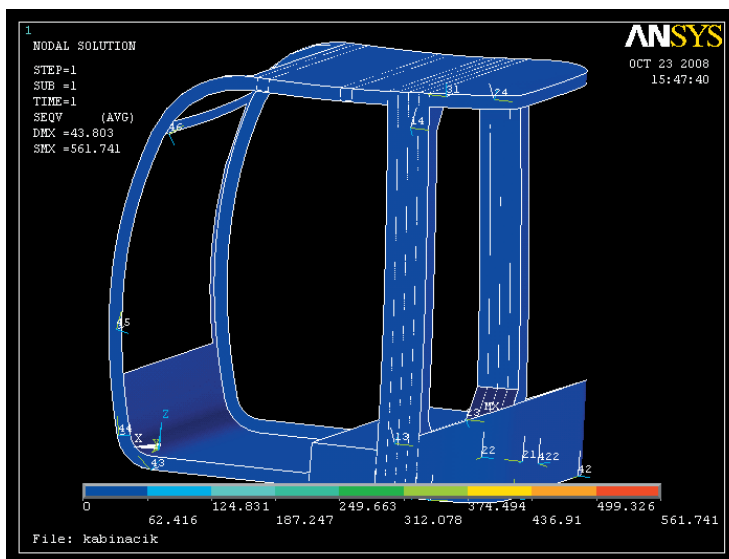
Obrázok 8a Maximálne napätia v MPa a deformácie v mm pri zvislom zaťažení



Obrázok 8b Maximálne napätia v MPa a deformácie v mm pri zvislom zaťažení

3.2.3. Pozdĺžne zaťaženie

Výsledky MKP pri pozdĺžnom zaťažení sú na obrázku 9, kde maximálna deformácia je 43,8 mm



Obrázok 9 Maximálne napätia v MPa a deformácie v mm pri pozdĺžnom zaťažení

4. DISKUSIA

Z výsledkov MKP pri laminátovej kabíne vyplýva, že časti ROPS nezasahujú do DLV – priestor operátora stroja špecifikovaný normou ISO 3164. Výsledky MKP sú teoretické, určené výpočtovým algoritmom programu, teda je možný rozdiel vo výsledkoch pri testoch vzorky. Pri laminátovej kabíne dochádza podľa výsledkov analýzy k špičkovým napätiam, ktoré sa v reálnej vzorke nevyskytnú, lebo v tých miestach budú zaoblenia, pri modeli v ANSYS-e pre ortotropný materiál ako je laminát by bol výpočet problematický a dokonca aj mimo možnosti hardwarového výkonu počítača.

5. ZÁVER

Ako vidno podľa obrázkov výsledkov analýz MKP, laminátová kabína má podstatne menšiu tuhosť ako oceľová, je to až cca. 50 násobok. Preto treba pri návrhu takej kabíny s týmto rátať.

V nasledujúcom období plánujeme:

1. Výroba skúšobných vzoriek kabíny
2. Realizácia skúšok FOPS a ROPS
3. Úpravy riešenia kabíny na základe výsledkov skúšok, prípadne návrh kombinácie (hybridný materiál)

LITERATÚRA

- VEREŠ, M. – TANEVSKI, M. – ŠEĎO, J., *Laminate design of mobile working machine cabins*, Machine Design: On the occasion of 48th anniversary of the Faculty of Technical Sciences, 1960–2008. – Novi Sad, University of Novi Sad, 2008, ISBN 978-86-7892-105-6. – S. 151–154
- VEREŠ, M. – TANEVSKI, M. – ŠEĎO, J., *Kabíny mobilných pracovných strojov z nekonvenčných materiálov*, 49. mezinárodná konferencia Kateder častí a mechanismů strojů Srní, Česká republika, 8.–10. 9. 2008. – Plzeň, Západočeská univerzita v Plzni, 2008, ISBN 978-80-7043-718-6. – S. 277–280

Kontaktná adresa:

Ing. Ján Šeďo

Ústav dopravnej techniky a konštruovania, Strojnícka fakulta STU, Nám. Slobody 17,
812 31 Bratislava 1

prof. Ing. Miroslav Vereš, CSc.

Ústav dopravnej techniky a konštruovania, Strojnícka fakulta STU, Nám. Slobody 17,
812 31 Bratislava 1

Ing. Martin Tanevski

Ústav dopravnej techniky a konštruovania, Strojnícka fakulta STU, Nám. Slobody 17,
812 31 Bratislava 1

PEVNOSTNÁ ANALÝZA RÁMU STAVEBNICOVÉHO LANOVÉHO SYSTÉMU

STRENGTH ANALYSIS OF MODULAR CABLE SYSTEM FRAME

Richard HNILICA – Pavel BEŇO

ABSTRACT: Field conditions, high proportion of mountain forests and forest health condition requires ecological forest machinery. Skidding by cable systems is the most ecologically friendly skidding method. This paper deals with strength analysis of frame of modular cable system SLS. Aim of the analysis is improve technical parameters of modular cable system and eliminate two extreme state (overdesigning or undersizing supporting frame structure).

Key words: skidding, cable system, frame, tension, deformation

ABSTRAKT: Terénne podmienky, vysoký podiel horských lesov a zdravotný stav lesov si vyžaduje ekologicky vhodnú lesnú techniku. V súčasnosti k najšetrnejším spôsobom približovania dreva patrí približovanie lanovkami. Uvedená práca sa zaoberá pevnostnou analýzou rámu stavebnicového lanového systému SLS za účelom zlepšenia jej technických parametrov a eliminovania dvoch extrémnych stavov (predimenzovanie alebo poddimenzovanie konštrukcie nosného rámu).

Kľúčové slová: približovanie, lanovka, rám, napätie, deformácia

1. ÚVOD

V súčasnej dobe je z hľadiska ekonomických požiadaviek potrebný vysoký podiel mechanizovaných lesníckych prác pri zabezpečovaní drevnej suroviny, obnove, výchove a ochrane lesných porastov, ako aj pri zveľaďovaní nezastupiteľných, pre tvorbu zdravého životného prostredia nutných funkcií, ktoré je les, ako jediný ekosystém schopný vytvárať.

Rozpor medzi ekonomickým a ekologickým prístupom k riešeniu týchto problémov je zrejmy najmä v ťažbovo-výrobnom procese. Zavedenie výkonných, ale súčasne aj ťažkých a na technologickú prípravu pracovísk náročných strojov do sústreďovania dreva, má za následok poškodzovanie lesného prostredia, či už formou nevhodných výchovných a obnovných zásahov, alebo poškodzovaním pôdy a porastov.

Zvlášť nepriaznivo sa účinky použitia strojov pri obhospodarovaní lesov prejavujú na stanovištiach, ktoré sú rôznym spôsobom extrémne (pôdne, klimatické, sklonitostné

ap. pomery) a preto sú na narušenie prirodzeného stavu prostredia mimoriadne citlivé. Najvyššie zastúpenie majú takéto stanovišťa v horských terénoch a oblastiach, preto je problematika správneho spôsobu hospodárenia v nich osobitne významná.

Pri voľbe spôsobu dopravy dreva od pňa na odvozné miesto môže lesný hospodár v súčasnosti voliť niektorý z nemechanizovaných (ručne, animálnou silou), alebo mechanizovaných spôsobov (rôznymi typmi prenosných a samohybných navijakov, kolesovými a pásovými traktormi, lesníckymi kolesovými traktormi, lanovkami), prípadne ich kombináciou.

Z uvedených príčin medzi najšetrnejšie technologické princípy ťažbového výrobného procesu v lesnom hospodárstve patrí mimo vrtuľníkového, sústredovanie dreva lanovými dopravnými zariadeniami (lesníckymi lanovkami).

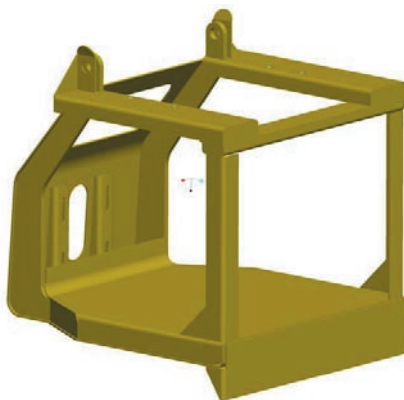
Skúsenosti lesníckej prevádzky, ako aj výsledky rôznych výskumných prác potvrdzujú, že z hľadiska ochrany prírodného prostredia je použitie lanoviek na sústredovanie dreva najvýhodnejšie zo všetkých bežne používaných mechanizovaných spôsobov. Napriek tejto skutočnosti je podiel dreva, sústredného lanovkami na Slovensku nízky, nezodpovedajúci súčasným potrebám.

Preto sa pristúpilo k návrhu stavebnicového lanového systému SLS, ako nadstavby lesníckeho kolesového traktora LKT 82 C s tým, že lanovková nadstavba bude rýchlo montovateľná a demontovateľná pri zachovaní pôvodných prevádzkových vlastností lesníckeho kolesového traktora.

2. MATERIÁL A METODIKA

2.1 Pevnostný výpočet rámu SLS

Po vzájomných konzultáciách so spoluriešiteľskou organizáciou LKT s. r. o., Trstená bola v CAD systéme KEYCREATOR vypracovaná kompletná výkresová dokumentácia nadstavby stavebnicového lanového systému, do ktorej boli implementované všetky potrebné modifikácie vedúce k eliminácii zistených nedostatkov pôvodného funkčného modelu. Trojdimenzionálny model nosného rámu je zobrazený na obrázku 1.



Obrázok 1 CAD 3D model

Nakoľko nosnú časť stavebnicového lanového systému SLS tvorí oceľový rám, je potrebné vykonať pevnostnú analýzu rámu SLS. Predmetom pevnostných výpočtov pomocou MKP je nosný rám, v ktorom je umiestnený upravený dvojhubnový navijak slúžiaci na pohon SLS. Nakoľko sa jedná o konštrukciu zaťaženú zložitým zaťažením pre jeho pevnostné výpočty bola použitá práve metóda konečných prvkov v spojení CAE systému ANSYS, ktorý je v komerčnej verzii vo vlastníctve Katedry mechaniky a strojnictva FEVT TU vo Zvolene.

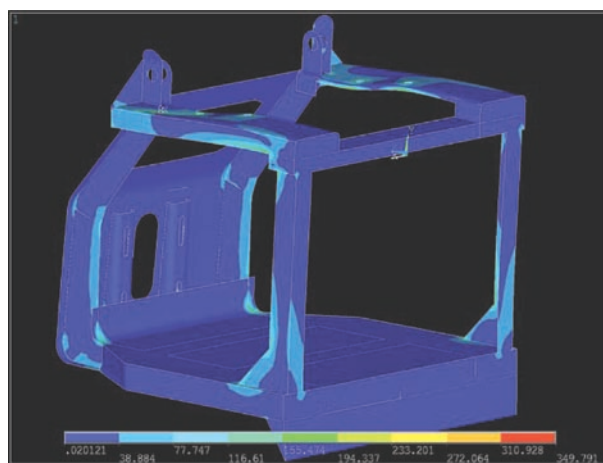
2.2 Metodický postup riešenia

Pri riešení práce sa postupovalo podľa nasledovnej metodiky práce:

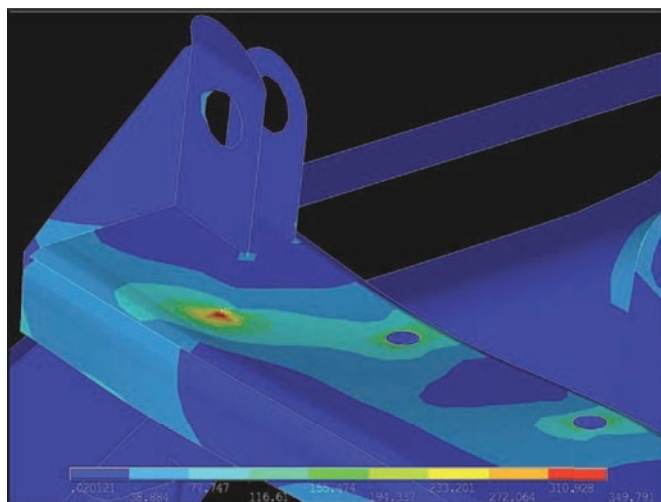
1. Teoretický rozbor problematiky súvisiacej s výpočtami podobných rámových oceľových konštrukcií.
2. Analýza vonkajšieho zaťaženia rámu navijaku.
3. Vytvorenie trojrozmerného modelu rámu v CAD systéme KEYCREATOR a jeho export do CAD Pro/ENGINEER.
4. Vytvorenie výpočtového modelu v CAE systéme ANSYS.
5. Analýza stavu napätosti a deformácií rámu navijaku pomocou MKP.
6. Vyhodnotenie pevnostných výpočtov a vyslovenie konkrétnych záverov.

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

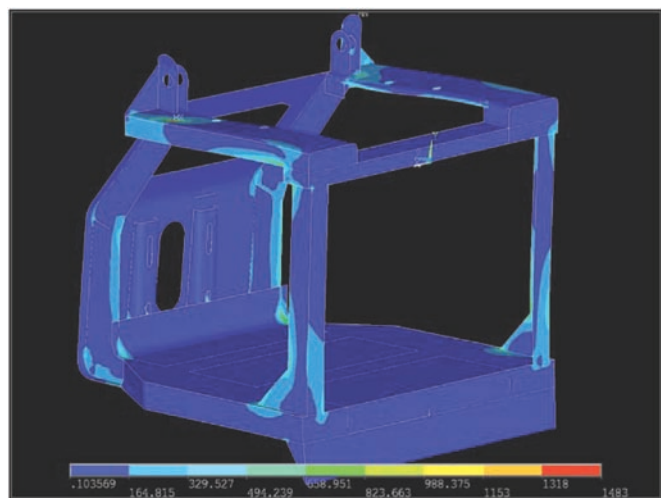
Výpočtový model a pevnostné výpočty boli vykonané v CAE systéme ANSYS pomocou elementu typu SHELL 63. Model pozostával z 13 179 elementov a 13 587 nódov. Pre okrajové podmienky výpočtu boli stanovené dve pracovné polohy navijaku upnutého na základný stroj LKT 82 C. Materiál rámu stavebnicového lanového systému je oceľ triedy 11 373. Rám symetricky a nesymetricky opretý o povrch na ktorom stojí celá pracovná zostava. Výsledky analýzy stavu napätosti a deformácií sú uvedené na obrázkoch 2 až 5.



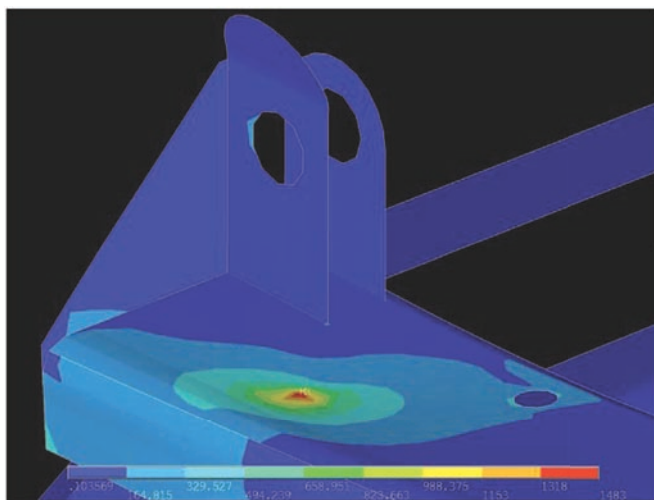
Obrázok 2 Napätia von Mises – symetrické zaťaženie



Obrázok 3 Napätia von Mises – symetrické zaťaženie (detail maxima)



Obrázok 4 Napätia von Mises – asymetrické zaťaženie



Obrázok 5 Napätia von Mises – asymetrické zaťaženie (detail maxima)

4. ZÁVER

Navrhovanie oceľových konštrukcií pri dnešnej zložitosti strojárskych výrobkov nemôže byť v súčasnosti len vecou citu a intuície konštruktéra. Použitie takýchto neprofesionálnych postupov často vedie k degradácii pôvodného zámeru technického riešenia, čo v konečnom dôsledku vedie k dvom extrémom. Buď je konštrukcia predimenzovaná alebo poddimenzovaná.

Použitím MKP v spojení s výpočtovou technikou je možné dokonale zvládnuť problém analýzy stavu napätosti a deformácií takmer akejkoľvek oceľovej konštrukcie. V prípade rámu navijaku, kedy boli vyšetrowané dva prípady vonkajšieho zaťaženia (symetrické a asymetrické) z priložených obrázkov je možné usúdiť že najnepriaznivejšou polohou pre jeho prácu je excentrické zaťaženie kedy vonkajšia zaťažujúca sila pôsobí na okraji rámu. Je to v prípade keď sa tento opiera svojou časťou nerovnomerne o podložku (terén). Z obrázkov vyplýva že práve v tejto polohe napätia aj deformácie dosahujú svoje maximá. Táto poloha vzhľadom na využitie stavebnicového lanového systému v prevádzkových podmienkach prakticky nenastane z dôvodu zatlačenia rámu do zeme a tým rovnomerného opretia o podložie. K nerovnomernému opretiu rámu o podložie môže dôjsť v prípade veľmi tvrdého kamenistého podkladu. V tomto prípade je však potrebné nájsť miesto kde sa nosný rám aspoň z časti zatlačí do zeme z dôvodu zaistenia bázového stroja proti pohybu. Ak by to nebolo možné je nutné bázový stroj ukotviť lanami.

Lokálne maximum 1483 MPa zobrazené na obrázku 5 je treba brať v úvahu s rezervou nakoľko sa jedná o údaj len pre jeden konkrétny nód daného výpočtového modelu. Je to hlavne s toho dôvodu, že výpočtový model bol vytvorený ako plošný z prvkov typu SHELL 63. V prípade použitia objemového modelu by k uvedenej situácii nedošlo. Nakoľko sa však jedná o konštrukciu navrhnutú s plechov použitie objemového výpočtového

modelu je v tomto prípade neadekvátne. Hodnoty v niektorých oblastiach konštrukcie tak-
tiež značne presahujú hodnoty dovolených napätí pre materiál konštrukcie a niektoré uzly
by bolo vhodné prekonštruovať (spevniť, príp. použiť kvalitnejší materiál). Voľba riešenia
by závisela od ekonomického zhodnotenia jednotlivých riešení.

LITERATÚRA

- [1] HNILICA, R. Stavebnicový lanový systém SLS ako adaptácia lesníckeho kolesového traktora LKT 81 T. Lesnícky časopis, LVÚ Zvolen, **50** č. 2/2004, s. 131–144. ISSN 0323-1046
- [2] HNILICA, R. – DADO, M. Potreba vhodnej lanovky pre úmyselné a náhodilé ťažby menších koncentrácií. VIII. Medzinárodná vedecká konferencia mladých 2006. FEVT TU vo Zvolene, 2006, s. 63–68. ISBN 80-228-1596-9
- [3] STANOVSKÝ, M. – RADOCHA, M. – KLČ, P. – SVITOK, R. – HNILICA, R. – SLIVKA, M.: *Výskum a vývoj metód, techniky a technológií pestovných a ťažbových procesov pre ob-
hospodarovanie horských lesov. Záverečná správa VTP 2730-04, LVÚ Zvolen, 2002, 146 s.*
- [4] TUHÁRSKY, J. – BEŇO, P. Analýza stavu napätosti a deformácií nekonvenčného lanového
systému poháňaného kolesami zadnej nápravy traktora. Medzinárodná vedecká konferencia
k 10. výročiu vzniku FEVT. Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej
aplikácie vo výrobnom procese. TU Zvolen. Zborník vedeckých prác. s. 204–208. ISBN
80-228-1648-5

*Príspevok bol spracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu APVV-20-P04405 „Apli-
kácia stavebnicového lanového systému ako nadstavby lesníckeho kolesového traktora“.*

Kontaktná adresa:

Ing. Richard Hnilica, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Študentská 26, 960 53 Zvolen
hnilica@vsld.tuzvo.sk

doc. Ing. Pavel Beňo, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Študentská 26, 960 53 Zvolen
beno@vsld.tuzvo.sk

OPOTREBENIE TRIBOSYSTÉMU

TRIBOSYSTEM WEAR

Ján TURIS – Ján SEKEREŠ

ABSTRACT: The objective of this paper is contribute to elaborating suitable methodology for determination regime of wear of the machinery. The authors operated the ferrographic analysis of operating medium in the hydraulic system. The ferrography is method of tribodiagnosics.

Key words: wear, tribodiagnosics, ferrography, oil system

ABSTRAKT: Cieľ článku je prispieť k vypracovaniu vhodnej metodiky pre určovanie režimu opotrebenia strojového zariadenia. Autori vykonali ferrografickú analýzu pracovného média v hydraulickom systéme. Ferrografia je metódou tribodiagnostiky.

Kľúčové slová: opotrebenie, tribodiagnostika, ferrografia, olejová sústava

ÚVOD

Rozhodujúcou požiadavkou výrobcov a užívateľov je zabezpečenie maximálneho prevádzkového využitia výrobku a tým dosiahnutie jeho vysokej úžitkovej hodnoty. Takéto využitie súvisí predovšetkým s prevádzkovou spoľahlivosťou výrobku. Používaním výrobkov dochádza v materiáloch, v jednotlivých komponentoch a väzbách medzi nimi k postupným aj skokovým zmenám, ktoré charakterizujeme ako opotrebenie alebo starnutie. Tieto zmeny sa väčšinou nedejú rovnomerne ani na tom istom mieste. V kritických miestach sa objavujú kumulatívne prejavy opotrebenia a starnutia formou spojitých a nespojitých nevratných zmien, čo má za následok vznik poruchy. Nevyhnutným dôsledkom sú straty času, materiálu a energie, ktoré môžu byť v závislosti na zložitosti výrobku, resp. zariadenia a taktiež v závislosti na spôsobe jeho zapojenia do vybraného technologického procesu, veľmi vysoké.

Predikčná diagnostika pomáha určovať vývoj pozorovaných parametrov výrobku, resp. stroja a pokiaľ sa hodnoty týchto parametrov odlišujú od obvyklých hodnôt a dokonca sa približujú k svojim limitným obmedzeniam, pristupuje sa k vhodným technickým úpravám a preventívnym úkonom. Hlavným ekonomickým prínosom je následné zachovanie funkčnosti a čo najvyššej spoľahlivosti zariadenia. Jednou z významných metód predikčnej diagnostiky je analytická ferrografia. V získaných vzorkách mazacieho alebo

pracovného média sú podrobne analyzované cudzorodé častice produkované mechanizmom opotrebenia kontaktných povrchov a ďalšími mechanizmami zapríčínujúcimi následné havarijné stavy strojových zariadení.

1. PREDMET DIAGNOSTIKY

Vo výrobných linkách drevospracujúceho priemyslu sú dnes využívané zložité a kapitálovo náročné strojové zariadenia a komplexy, ktoré majú výrobcom odporučený plán starostlivosti a údržby zostavený často na základe empirie. Nie všetky zariadenia však majú prepracovaný systém, pomocou ktorého by bolo možné predchádzať poruchám a havárii. Ponúkajú sa možnosti, ktoré by mohli toto prázdne miesto vyplniť a priamo zvýšiť efektivitu výrobnej prevádzky aj životnosť zariadenia. Táto myšlienka viedla autorov k aplikácii uvedenej diagnostickej metódy na upravený frézopásový agregát Kockums Industri AB 247 B Customill. Zariadenie je určené na spracovanie drevnej suroviny do priemeru 400 mm. V časti pásových píl sa po automatizovanom určení porezovej schémy odpíli z každej strany prierezu guľatiny po dva kusy reziva a vo frézovacej časti sa pomocou kuželových fréz spracúvajú piliarske boky na priemyselnú štiepku.

Mazanie a olejový okruh sa delia na tri systémy – sprayový systém, automatický mazací systém a hydraulický systém zariadenia. Predmetom pozorovania bol určený hydraulický systém frézovacej časti stroja. Tento systém je zásobovaný 160 litrovou olejovou náplňou. Pracovným médiom bol trvanlivý viacúčelový ropný olej MADIT OTHP32. Tento produkt obsahuje výkonnostnú prísadu a modifikátor viskozity s depresantným účinkom. Používa sa aj pre hydrodynamické sústavy. Olej bol obsluhou dolievajú podľa úrovne hladiny olejového stavoznaku a výmena celej náplne bola vykonávaná len v rámci generálnej opravy, čiže podľa časového plánu bez posúdenia kvality oleja. Výmena častí skúmaného systému, okrem generálnych opráv, mala byť vykonaná až pokiaľ došlo k poruche na strojnom zariadení.

2. TECHNIKA VZORKOVANIA

Generovanie a strata častíc v tlakovom systéme ovplyvňuje rovnováhu množstva častíc v pracovnej olejovej náplni. Aby mohol byť na základe analýzy správne stanovený odhad stavu technického zariadenia, je potrebné venovať metodike odberu zásadnú pozornosť.

Je nevyhnutné poznať dobu potrebnú k návratu oleja do rovnovážneho stavu. Túto dobu ovplyvňuje výmena oleja, filtrácia, rýchlosť prietoku systémom a podiel detergentov v oleji. Odoberanie vzoriek pri vypnutom zariadení nie je najvhodnejšie z dôvodu obtiažneho stanovenia odoberacieho bodu vzhľadom na rýchlosť usadzovania nežiadúcich častíc v náplni. Je taktiež nevyhnutné zabrániť usadzovaniu vo vzorkovacom mieste, resp. v okruhu vradenom výpustnom ventile a nesmie dochádzať k odobratiu vzorky z bokov a dna zásobníka oleja. Zo skúsenosti sa autorom príspevku javilo ako najvhodnejšie miesto odberu vzorky, pre tento druh pracovného systému, odvádzacie potrubie pred filtrom. Najreálnejší obraz poskytuje zastúpenie častíc opotrebenia vo vzorke odobranej za chodu zariadenia.

Po dodržaní uvedeného boli vzorky odobrané aj zo zásobníka pre vytvorenie komplexnejšieho pohľadu na skúmaný systém. Pri stanovení bodu odberu so zohľadnením rýchlosti usadzovania častíc prostredníctvom Stokesovho pravidla mali autori na zreteli, že uvedené ovplyvňuje prítomnosť konvekčného prúdu, rôznorodosť častíc a gélový obal produktov opotrebenia. Hĺbka ponoru vzorkovacej hadičky bola vopred stanovená a dodržiavaná. Vzorky boli odoberané duplicitne do sklenených a plastových obalov. Medzi jednotlivými odbermi bolo zariadenie v prevádzke 60 hodín. Doba skúmania hydraulického systému bola 2400 prevádzkových hodín. Počas odberu vzorky dosahovali pracovnú teplotu od 49 °C do 57 °C.

3. FERROGRAFICKÁ ANALÝZA

Z odobratých vzoriek bolo na vzorkováciu sklenú doštičku nakvapkané malé množstvo oleja. V okulári bichromatického mikroskopu boli pozorovateľné len organické zložky skúmanej vzorky a rôzne „spečené“ častice, ktoré boli ľahké a prekryvali všetko pod sebou. Práve pre tento tzv. odpad, ktorý na doštičke zostával, nebolo možné vidieť zaujímavé objekty. Po naklonení sklenej doštičky sa organické nečistoty odplavili. Prinieslo to isté zlepšenie, ktoré sa prejavilo v zmenšení množstva nečistôt, ale zároveň sa odplavila aj podstatná časť iných zaujímavých objektov. Nevýhodou bol aj rozptyl častíc po celej sklenej ploche. Po nakvapkaní vzorky na naklonenú supertenkú sklenenú plochu obsahujúcu paramagnetickú špirálu v tvare „U“ umiestnenú v magnetickom poli ešte pred privedením oleja, magnetické pole zabránilo kovovým produktom opotrebenia v ich odplavení a navyše tieto častice zoradilo pozdĺž svojich siločiar.

Pre stanovenie druhov a rozmerov produktov opotrebenia skúmaného systému bol využitý Ferrograf, ktorý vo svojej upravenej konštrukcii mal vytvorené vysoko gradientné magnetické pole prostredníctvom dvoch elektromagnetov a bichromatický mikroskop. Ferroskopia využívajúca mikroskopické metódy zisťovania morfológie oterových častíc, rozložených na siločiarach supertenkej sklenej doštičky – ferrogramu, bola doplnená o ferrodenzimetriu založenú na princípe snímania ferrografickej stopy za účelom vyhodnotenia jej denzity. Zistená transmitácia v meracom prístroji bola pomocou logaritmického vzťahu prepočítaná na absorpciu, t.j. denzitu a prostredníctvom tejto veličiny bol vyhodnocovaný režim opotrebenia kvantitatívne. Na ferrodenzimetrické vyhodnocovanie bol použitý magnetický ferrometer. Pomocou fotodenzimetra zabudovaného v prístroji boli určené hodnoty absorpcie v mieste tzv. veľkých častíc vyhodnocovaného ferrogramu (D_L) a absorpcie v mieste tzv. malých častíc (D_S) z odobranej vzorky s objemom V . Z prostej absorpcie bola určená štandardizovaná absorpcia (D^0). Hodnoty štandardizovaných absorpcií vzoriek boli použité pre určenie troch ferrometrických charakteristických parametrov:

- pre pomernú koncentráciu častíc opotrebovania (W.P.C. – wear particle concentration),
- pre percento veľkých častíc opotrebovania (P.L.P. – percent of large particles),
- pre index intenzity opotrebovania I_{i0} :

$$I_{i0} = (D_L^0)^2 - (D_S^0)^2, \quad (1)$$

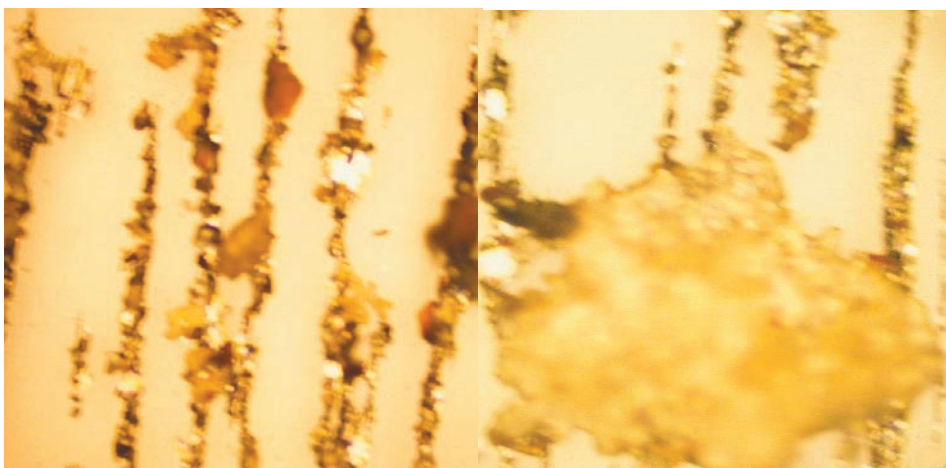
ktorý je podľa doterajších skúseností najdôležitejší pre pracovný režim tribologického systému. Podstatné zvýšenie jeho hodnoty nám predpovedá približujúci sa abnormálny stav zariadenia.

4. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Na morfológickú klasifikáciu častíc nachádzajúcich sa v olejovom systéme bol použitý bichromatický mikroskop s Köhlerovým osvetlením, ktoré umožnilo súbežné osvetlenie ferrogramov transmitantným zeleným svetlom a reflektným červeným svetlom. Podstata simultánneho osvetlenia dvomi farebne rozdielnymi filtermi bola v tom, že malé aj väčšie kovové častice červené svetlo odrážajú a zelené blokujú. Čisté kovové častice žiarili jasnou červenou farbou a zoxidované častice kovov boli pri takomto násvite tmavšie až sýto tmavočervené väčšinou s tmavým ryhovaním na povrchu. Kryštalické kremíkové častice a polymerné častice v závislosti od svojej hrúbky prepúšťali zelené svetlo, alebo boli ružovo prievitné.

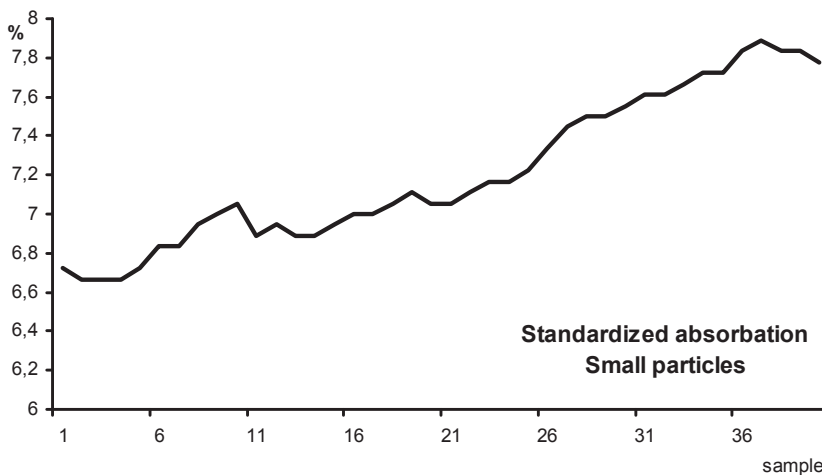


Obrázok 1 Ferrogram z hydraulického obvodu stroja Kockums

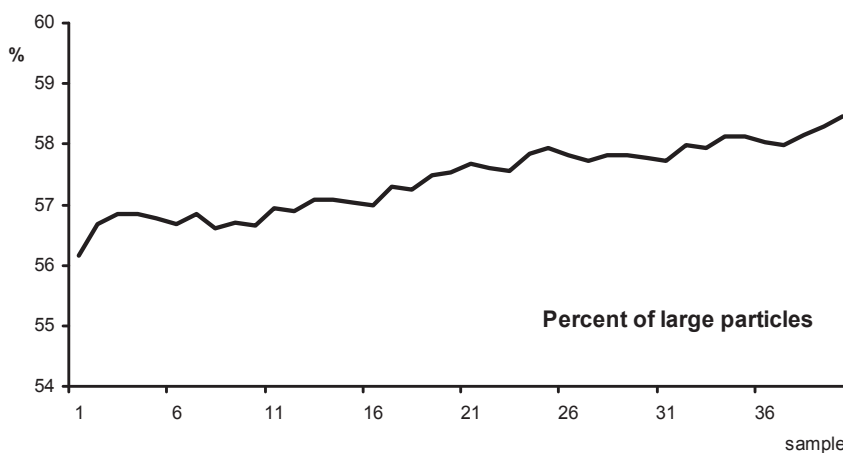


Obrázok 2 Rozloženie častíc opotrebenia na siločiarach ferrogramickej stopy

Ferrografická stopa ferrogramov z agregátu Kockums obsahovala vysoké množstvo adhezívnych častíc o veľkosti od 2 až do 15 μm tvoriacich jemné retiacky pozdĺž siločiar magnetického poľa. Väčšie únavové častice vznikajúce počas mikrosparingového procesu dosahujúce maximálnu veľkosť 60 μm sa vyskytovali ojedinele. Mali hladký povrch a nepravidelné okraje. Bol zistený ojedinelý, ale pre hydrauliku obzvlášť nebezpečný, výskyt prachových diamagnetických častíc, ktoré mali chaotické postavenie a zoskupené boli v dolnej časti ferrografickej stopy.

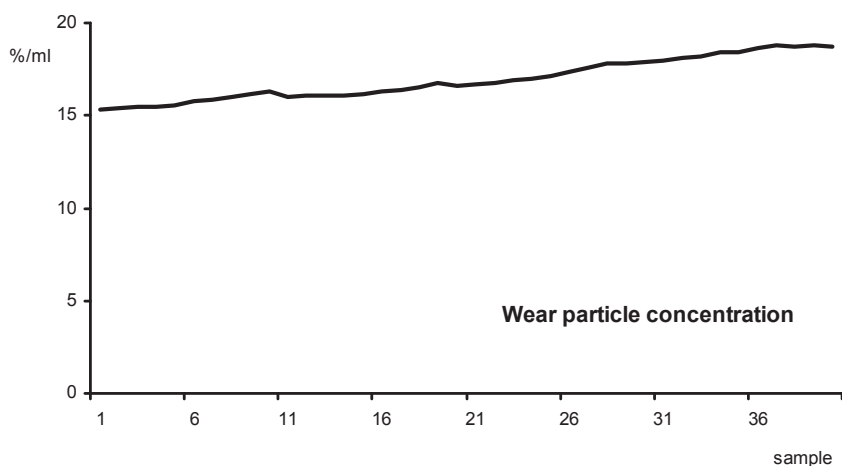


Graf 1 Percentuálny podiel malých častíc opotrebenia na 53 mm ferrografickej stopy

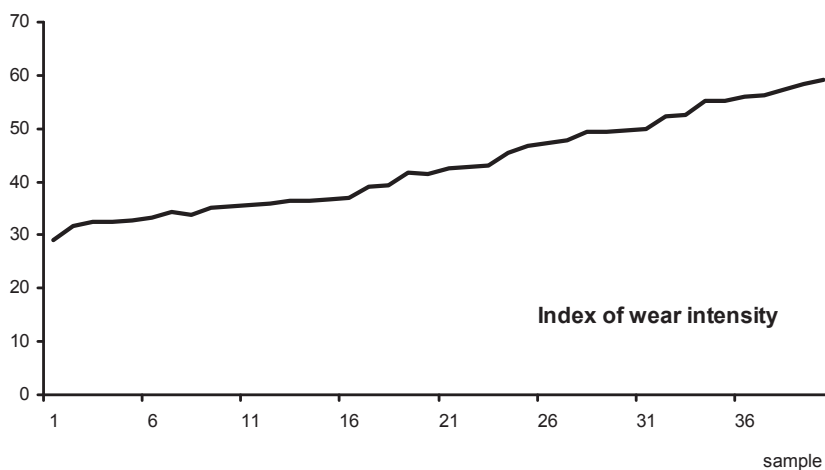


Graf 2 Percentuálny podiel veľkých častíc opotrebenia na ferrografickej stope

Počas celého skúmania sa striedavo vyskytovali v odoberaných vzorkách častice tesniacich materiálov v menšom množstve. V 27 vzorke sa objavili celulózové vlákna, ktorých početnosť prudko rástla až do konca pozorovania. Ich pôvod bol podrobne skúmaný a potvrdilo sa, že pochádzajú z olejového filtra. Ďalším nežiadaným prvkom od 11 odobranej vzorky boli mikroskopické čiastočky dreva, ktorých množstvo bolo v ďalších skúmaných vzorkách zanedbateľné. Vybrané ferrogramy boli pre doplnenie celkového obrazu o stave strojového zariadenia skúmané aj na analyzátore obrazu od firmy Siemens pri využití chemicko-optickej metódy a taktiež na rastrovom elektrónovom mikroskope pri viac ako tisícnásobnom zväčšení.



Graf 3 Pomerná koncentrácia častíc opotrebenia



Graf 4 Intenzita opotrebenia skúmaného systému Kockums

V skúmanom systéme bola dokázaná prítomnosť nízkeho percenta vody v olejovej náplni, čo potvrdil alfa – hematit Fe_2O_3 , ktorý je podstatou oxidovej formy železných častíc. Postavenie týchto častíc bolo mimo reťazcov ferromagnetických častíc, ktoré boli výrazne väčších rozmerov než Fe – častice. Pri bielom transmitantnom svetle boli bledočervené a pri zelenom osvetlení sa potvrdila priesvitnosť častíc alfa – hematitu.

Prítomnosť vody v rozsahu 0,2 až 0,5 % sa potvrdila aj pri doplnkových testoch, ktoré autori vykonali na prístroji CCT – Infra slúžiaceho na meranie karbonizačného zvyšku v oleji s aplikátorom na stanovenie prítomnosti a množstva vody v skúmaných vzorkách.

Pre doplnenie informácie o životnosti oleja, ako pracovného média v systéme, z hľadiska celkových nečistôt a Conradsonovho karbonizačného zvyšku, namerané hodnoty dosahovali vo väčšine prípadov 0,9 až 1 %, čo je vlastne už maximálna možná hranica pre ďalšie zotrvanie oleja v systéme.

Prevládajúce klzné trenie v hlavných strojových častiach hydraulického systému frézovacej časti zariadenia, t. j. v čerpadle, výkonných elementoch – piestniciach hydraulických valcov, v kontrolných ovládacích blokoch a hydraulických ventiloch, generovalo adhezívne a únavové častice. Tieto produkty opotrebenia mali vyššiu koncentráciu. Hodnota W.P.C. počas skúmania plynule rástla v rozmedzí 15,3 až 18,7 % ml^{-1} . Hodnota P.L.P. sa pohybovala v intervale 56,1 až 58,5 %, taktiež bez podstatnejšieho okamžitého nárastu.

Z tribodiagnostického hľadiska ide teda o práve prebiehajúci vyšší stupeň opotrebenia hydraulického systému. Vo ferrogramoch sa nevyskytovali častice medzného až katastrofického oteru. Zariadeniu teda počas pozorovania nehrozilo medzné až havarijné opotrebenie. Z dosiahnutých výsledkov ferrografie doplnených o stanovenie karbonizačného zvyšku, zistenia obsahu nečistôt, hlavne prachu a prítomnosti vody v oleji, už aj bez následných laboratórnych skúšok fyzikálnych a chemických vlastností oleja vyplýva, že najvhodnejším riešením je okamžitá výmena olejovej náplne, nie v neskoršom období podľa časového harmonogramu. Pre spomalenie rastu hodnôt režimu opotrebenia strojových častí systému, by spolu s výmenou oleja malo nasledovať dôkladné vyčistenie doplnnej nádrže spojené s výmenou olejového filtra predradeného pred čerpadlom.

5. ZÁVER

Pri určovaní koncepcie tribotechnickej diagnostiky je potrebné vychádzať z princípu komplexného a špecifického poňatia diagnostiky stroja. Dnes už vieme, že pre určenie režimu opotrebovania nepostačuje len spektrálna analýza cudzorodých častíc v exploatovanom mazive. Jednostranná koncepcia časticovej analýzy a absolutizácia jedinej metódy, trebárs prístrojovo veľmi dobre zabezpečenej, zužuje tribotechnickú informáciu a môže viesť k chybnému preventívnemu rozhodnutiu.

Ferrografia je bezdemontážna diagnostická metóda umožňujúca prostredníctvom časticovej analýzy exploatovaného maziva alebo tlakového pracovného média presnejšie charakterizovať režim opotrebenia vybranej časti stroja. Na základe morfológie oterových častíc a ich počtu je možné s predstihom predurčiť vznik medzného alebo havarijného opotrebenia. Touto metódou sa realizuje v praxi princíp trendovej analýzy, ktorá je z hľadiska prevádzkovej spoľahlivosti o strojové zariadenia prioritná.

6. LITERATÚRA

1. HUTCHINGS, I. M.: *Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials*. Cambridge: University of Cambridge, 1992, 237 p.
2. KOVÁŘ, J., OTTO, K.: *Částicová analýza I. Významná metoda pro stanovení režimu opotřebení stroje*. Praha: VŠZ, 1992, 197 s.
3. KOVÁŘ, J., OTTO, K.: *Částicová analýza II. Morfologie otěrových částic*. Praha: VŠZ, 1996, 108 s.
4. WILLIAMS, J. A.: *Engineering Tribology*. Oxford: OSP, 1994, 112 p.

Práca vznikla s podporou riešených vedeckých projektov:

1. VGP 1/0418/08 „Vplyv mazania na tribológiu radiálnych klzných ložísk pre lesné mechanizačné prostriedky“,
2. APV-0229-06 „Aplikovaný výskum drevoementových dosiek pre tienenie elektromagnetických polí a pre zvýšenie požiarnej odolnosti“,
3. VGP 1/2440/05 „Výskum tribologických problémov klzných uložení vo vybraných komponentoch lesníckych mechanizačných prostriedkov“.

Kontaktná adresa:

Ing. Ján Turis, PhD., doc. Ing. Ján Sekereš, CSc.

Katedra mechaniky a strojnictva FEVT

Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26

960 53 Zvolen

STABILITA VEĽKOPLOŠNÝCH DREVOCEMENTOVÝCH DOSIEK

BUCKLING OF LARGE-SIZE CEMENT BONDED WOOD BOARDS

Ferdinand BODNÁR

ABSTRACT: Engineering wood products enjoy a great popularity in structural engineering and are widely used for a variety of applications. To strengthen their competitiveness and to enlarge their range of utilization, also the mechanical properties of these products must satisfy a required level. A method of determining of the critical buckling stress of the cement bonded excelsior boards with using a homogenized material model and plate buckling theory is presented in this paper.

Key words: Excelsior board, homogenization, buckling, critical force

ABSTRAKT: Drevo cementové kompozity nachádzajú široké uplatnenie v stavebníctve. Ich použitie ako atraktívnych stavebných materiálov je možné rozšíriť prísadami pre zlepšenie niektorých ich fyzikálnych vlastností, pričom je nutné zachovať, prípadne vylepšiť ich mechanické vlastnosti. Článok sa zaoberá výpočtom kritickej sily drevo cementovej dosky. Poskytuje spôsob homogenizácie drevo cementovej dosky a výpočet kritického tlaku pri jednosmerne stlačanej relatívne dlhej obdĺžnikovej dosky.

Kľúčové slová: Drevo cementová doska, homogenizácia, kritická sila pre stratu stability

1. ÚVOD

Dosky zložené z drevných častíc viazaných cementom nie sú novým pojmom, s ich výrobou sa začalo už pred viac než sto rokmi. V minulosti tieto dosky pozostávali z drevej vlny a magnezitu ako pojiva a pôvodne sa používali ako izolačný materiál s nízkou hustotou. Začiatkom šesťdesiatych rokov minulého storočia sa vyvinuli konštrukčné cementom viazané drevotrieskové dosky s vysokou hustotou, ktoré našli značné uplatnenie. V súčasnosti sa drevo cementové dosky používajú v mnohých krajinách vďaka svojim stále vylepšovaným vlastnostiam.

Cieľom tohto článku je navrhnúť spôsob výpočtu kritickej sily pre veľkoplošné drevo cementové dosky, jej výpočet a porovnanie v závislosti na niektorých meniacich sa parametroch pri ich výrobe.

2. MODELOVANIE DREVOCEMENTOVEJ DOSKY

Jedným z predpokladov pre výpočet kritickej sily je, že materiál telesa je homogénny. V prípade drevocementovej dosky cement je spojivo a tvorí maticu materiálu, kým drevné časti (drevné vlákna, triesky, hobliny alebo drevitá vlna) sú vystužovacím materiálom príslušného kompozitu. Pre zlepšenie rôznych vlastností, napríklad pre zníženie horľavosti, úpravu tepelnej a elektrickej vodivosti, je možné pridávať aj anorganické plnivá. Je zrejmé, že vlastnosti príslušného kompozitného materiálu sú silne ovplyvňované vlastnosťami jednotlivých materiálových zložiek, ale aj geometriou vystuženia. Navyše, systémy s rovnakou geometriou vystuženia sa môžu líšiť koncentráciou i orientáciou vystuženia. Všetky uvedené faktory môžu byť dôležité pri určovaní vlastností kompozitu, ale pri odvodzovaní teoretických vzťahov pre kompozity sa zriedka uvažuje so všetkými.

Pre teoretický výpočet potrebných materiálových charakteristík je potrebné použiť vhodný model na báze kontinua, ktorý umožní homogenizáciu daného heterogénneho materiálu, nakoľko v mechanike kontinua sa uvažuje so spojitým, homogénnym materiálom.

Vychádzajúc z Eshelbyho práce [1] určenie tenzora homogenizovanej makroskopickej tuhosti C^{hom} vedie v jeho najvšeobecnejšom tvare na [2, 3]

$$C^{hom} = \sum_i f_i C_i : [I + P_i^0 : (C_i - C^0)]^{-1} : \left\{ \sum_j f_j [I + P_j^0 : (C_j - C^0)]^{-1} \right\}^{-1}, \quad (1)$$

kde f_i označuje objemový podiel i -tej zložky, C_i je jej tenzor tuhosti, I je jednotkový tenzor štvrtého rádu. Tenzor štvrtého rádu C^0 je tenzor tuhosti materiálu matrice. Tenzor štvrtého rádu P_i^0 sa týka morfológie i -tej zložky a je závislý na C^0 ako aj na tvare a orientácii odpovedajúcich zahrnutých častí.

Homogenizovaná drevocementová doska pozostáva z dlhých hoblín, ktoré sú spojené cementom. Orientácia hoblín v rovine dosky je najlepšie vyjadrená distribučnou funkciou $g_s(\varphi)$, kde φ je uhol medzi orientáciou časti hoblíny v rovine dosky s pozdĺžnou osou dosky. Pri uvažovaní mechanickej aj morfologicky odôvodniteľnej oprávnenej periodicite 180° , resp. π , rovnica (1) nadobudne tvar

$$C^{hom} = \left\{ \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} C_s(\varphi) : [I + P_s^{hom}(\varphi) : (C_s(\varphi) - C^{hom})]^{-1} g_s(\varphi) d\varphi \right\} : \left\{ \int_{-\frac{\pi}{2}}^{+\frac{\pi}{2}} C_s(\varphi) : [I + P_s^{hom}(\varphi) : (C_s(\varphi) - C^{hom})]^{-1} g_s(\varphi) d\varphi \right\}^{-1} \quad (2)$$

kde $g_s(\varphi) = \frac{1}{\pi}$. V dôsledku rôznej orientácie jednotlivých častí hoblín ich tenzor tuhosti jednotlivých C_i je funkciou smerového uhla φ . Tenzor štvrtého rádu $P_s^{hom}(\varphi)$ tiež je závislý na φ [4].

Uvedený model umožňuje určiť tenzor tuhosti heterogénneho materiálu, to znamená určiť všetkých deväť nezávislých materiálových konštánt v prípade jednovrstvej ortogonálne anizotropnej dosky, pričom prvky výsledného tenzora tuhosti sú funkciou tenzorov tuhosti zložiek tvoriacich jeho mikroštruktúru, ich objemového zastúpenia, ich tvaru a orientácie.

3. LINEÁRNA STABILITA DOSKY

Kritickému prípadu indiferentnej rovnováhy prináleží tzv. kritické zaťaženie dosky. Ak intenzita zaťaženia nadobudne kritickú hodnotu, doska bude v kritickom stave indiferentnej rovnováhy. Tento kritický tlak môžeme vypočítať z riešenia Bryanovej diferenciálnej rovnice postavenej na lineárnej teórii stability. Bryanova diferenciálna rovnica je

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + \frac{f_x t}{D} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0, \quad (3)$$

kde

$$D = \frac{Et^3}{12(1-\mu^2)} \text{ je ohybová tuhosť dosky,}$$

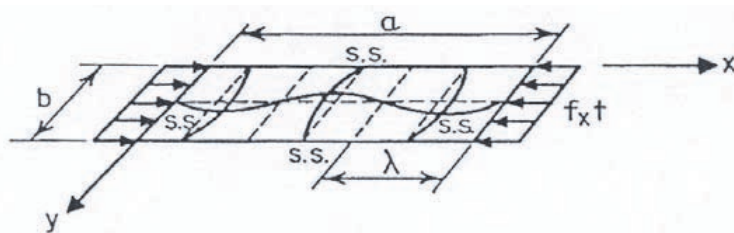
E je modul pružnosti homogénneho materiálu,

t – hrúbka dosky,

μ – Poissonove číslo,

w – priehyb dosky,

f_x – tlak v smere osi x .



Obrázok 1 Obdĺžniková doska s jednoduchým podoprením na okrajoch namáhaná jednoduchým tlakom

Pre obdĺžnikovú dosku s dĺžkou a a šírkou b (obr. 1) riešenie Bryanovej rovnice je vhodné hľadať v tvare [5, 6]

$$w(x, y) = A_{mn} \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{n\pi y}{b}, \quad (4)$$

kde m, n je počet sínusových polvln, ktorými sa doska zdeformuje v smere súradnicovej osi x a y . Riešenie (4) vyhovuje okrajovým podmienkam prislúchajúcim jednoduchému podopretiu okraja dosky, lebo pre $x = 0, a$ a $y = 0, b$ je priehyb $w = 0$. Na všetkých štyroch úsekoch okraja dosky spĺňa aj statické okrajové podmienky, t.j. $m_x = 0, m_y = 0$, lebo momenty je možné vyjadriť funkciami priehybu

$$m_x = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right),$$

$$m_y = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)$$

a pre $x = 0, a$ a $y = 0, b$ sú aj $\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0, \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0$.

Dosadením (4) do rovnice (3) po malej úprave dostaneme

$$\pi^4 \left(\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2} \right)^2 - \frac{f_x t}{D} \frac{m^2 \pi^2}{a^2} = 0. \quad (5)$$

Z rovnice (5) vyplýva výraz

$$f_x = \frac{D \pi^2 a^2}{t m^2} \left[\left(\frac{m}{a} \right)^2 + \left(\frac{n}{b} \right)^2 \right], \quad m, n = 1, 2, 3, \dots, \quad (6)$$

ktorý umožňuje vypočítať hodnoty tlakov odpovedajúce hodnotám $m = 1, 2, 3, \dots, n = 1, 2, 3, \dots$, pri ktorých vznikne priehyb dosky vyjadrený riešením v tvare (4). Medzi možnými konštantami m, n hľadáme také, pre ktoré bude tlak f_x minimálny. Z výrazu (6) je zrejmé, že najmenšia hodnota kritického tlaku f_x bude, keď $n = 1$, čo znamená, že priehyb v smere šírky dosky má tvar sínusovej polvlny. Teda výraz pre kritický tlak je

$$f_{cr} = \frac{D \pi^2}{t b^2} \left[m \left(\frac{b}{a} \right) + \frac{1}{m} \left(\frac{a}{b} \right) \right]^2 = k \frac{D \pi^2}{t b^2}, \quad (7)$$

kde

$$k = \left[m \left(\frac{b}{a} \right) + \frac{1}{m} \left(\frac{a}{b} \right) \right]^2. \quad (8)$$

Nevyhnutnou podmienkou extrému funkcie (7) je

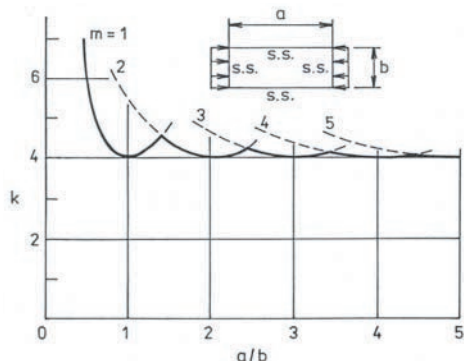
$$\frac{df_{cr}}{dm} = 0 \Rightarrow \left(\frac{mb}{a} + \frac{a}{mb} \right) \left(\frac{b}{a} - \frac{a}{m^2 b} \right) = 0. \quad (9)$$

Z nulového druhého činiteľa platí $m = a/b$. Keďže m je vždy prirodzené číslo, najmenšia kritická sila zodpovedá takému pomeru strán a/b , ktorý je celým číslom. Vo všeobecnosti pomer strán nie je celým číslom, preto ak ľubovoľný pomer strán označíme ξ (t.j. $\xi = a/b$), koeficient k vyjadrený závislosťou (8) má tvar

$$k = \left[m \left(\frac{b}{a} \right) + \frac{1}{m} \left(\frac{a}{b} \right) \right]^2 = \left(\frac{m}{\xi} + \frac{\xi}{m} \right)^2. \quad (9)$$

Potom každému prirodzenému číslu $m = 1, 2, 3, \dots$ je možné priradiť krivku vyjadrujúcu závislosť koeficientu k od pomeru strán a/b . Platnosť krivky končí v priesečníkoch so susednými krivkami. Grafické zobrazenie závislosti k od pomeru strán a/b pre $m = 1, \dots, 5$ je na obr. 2.

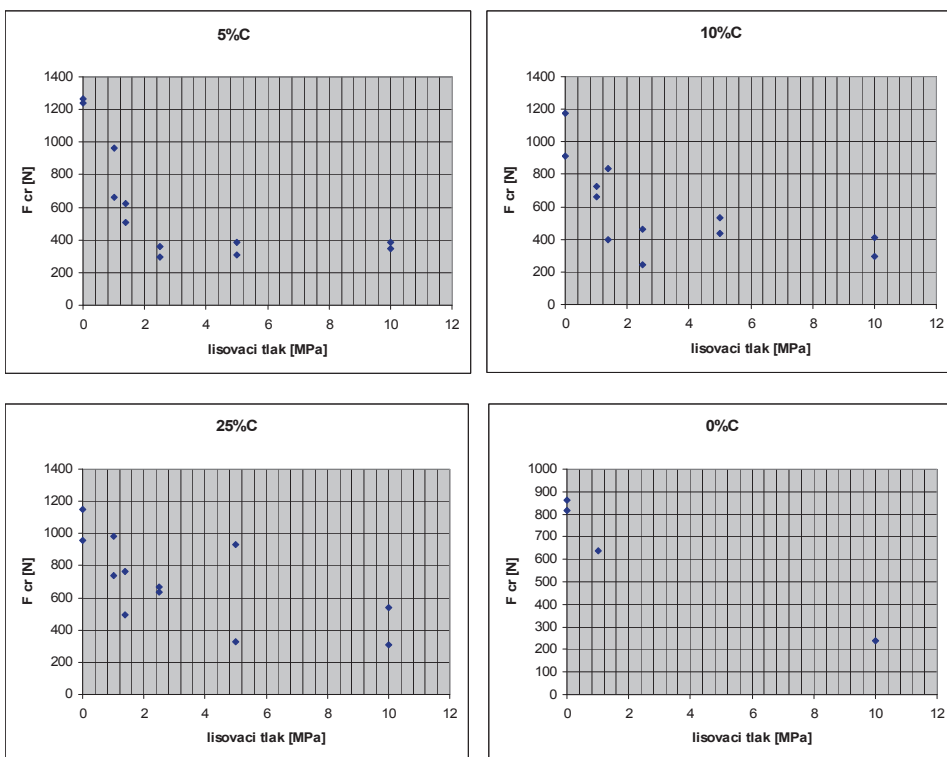
Pre výpočet kritického tlaku pri jednosmerne stlačanej relatívne dlhej obdĺžnikovej dosky v smere dĺžky, s kĺbovými podperami na všetkých okrajoch koeficient k je možné považovať za konštantu s hodnotou $k = 4$.



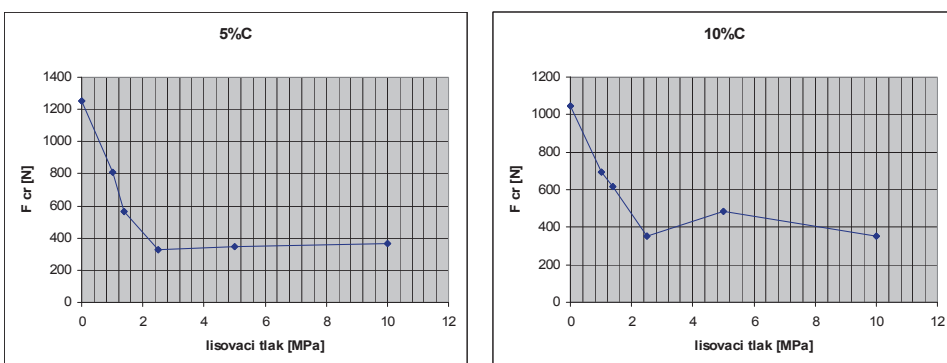
Obrázok 2 Krivka minimálnych tlakov pre všeobecné pomery strán

4. VÝSLEDKY VÝPOČTU STABILITY DOSKY

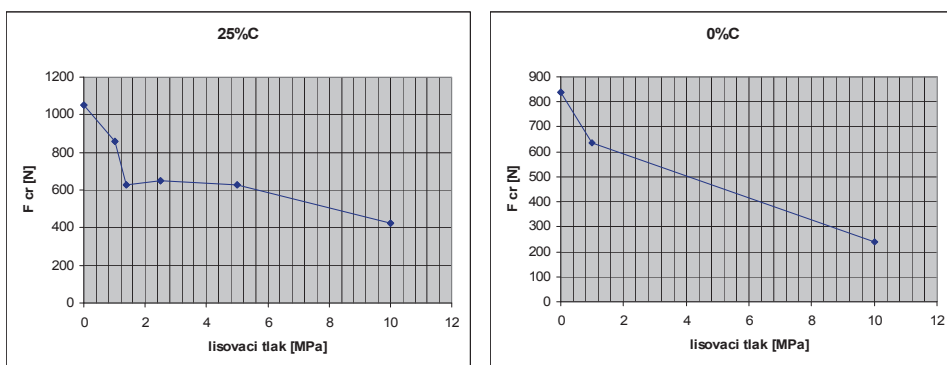
Výpočet kritickej tlakovej sily bol uskutočnený pre drevocementovú dosku s prísadami uhlíka. Výpočtové rozmery dosky sú dĺžka $a = 2$ m, šírka $b = 0,5$ m. Doska bola zaťažená na tlak v smere dĺžky, na dvoch okrajoch kĺbovo uchytená. Potrebné údaje pre výpočet boli prevzaté z výsledkov uskutočnených experimentov [7], kde vzorky drevocementových dosiek boli vyrobené jednak bez prísady uhlíka ako aj na troch úrovniach pridaného množstva uhlíka a na šiestich úrovniach lisovacieho tlaku pri každej zvolenej úrovni prísady uhlíka. Z každej vzorky sa vyrobili dve skúšobné telesá, na ktorých sa zisťovali príslušné materiálové charakteristiky a hrúbky jednotlivých dosák, ktoré sa menili so zvoleným lisovacím tlakom. Vypočítané hodnoty kritickej sily v závislosti od nameraných hodnôt materiálových vlastností a hrúbky dosky sú zobrazené graficky na obr. 3. Meniacimi sa vstupnými parametrami boli obsah prísady uhlíka a veľkosť lisovacieho tlaku. Spriemerované hodnoty vypočítanej kritickej sily v závislosti od obsahu prísady uhlíka a veľkosti lisovacieho tlaku sú na obr. 4.



Obrázok 3 Vypočítané hodnoty kritickej sily v závislosti od množstva prísady uhlíka a lisovacieho tlaku



Obrázok 4a Spriemerované hodnoty vypočítanej kritickej sily v závislosti od množstva prísady uhlíka a lisovacieho tlaku



Obrázok 4b Spriemerované hodnoty vypočítanej kritickej sily v závislosti od množstva prísady uhlíka a lisovacieho tlaku

5. ZÁVER

Článok poskytuje spôsob homogenizácie drevocementovej dosky, ktorá je heterogénnym materiálom, pre teoretický výpočet materiálových charakteristík potrebných pre výpočty založené na báze mechaniky kontinua. Z riešenia Bryanovej diferenciálnej rovnice je uvedený vzťah pre výpočet kritickej tlaku pri jednosmerne stlačenej relatívne dlhej obdĺžnikovej dosky v smere dĺžky, s kĺbovými podperami na okrajoch. Uskutočnené výpočty kritickej vzpernej sily poukazujú na vplyv množstva pridaného uhlíka, pridávaného so zámerom tienenia elektromagnetických polí, ako aj použitého lisovacieho tlaku na veľkosť kritickej sily pri v praxi sa pomerne často vyskytujúcom mechanickom spôsobe zaťaženia spôsobujúceho stratu stability dosky. Z výsledkov výpočtu je zrejmé, že s pridaním prísady uhlíka až po sledované množstvo 25 % hmotnostného podielu uhlíka kritická sila je väčšia v porovnaní s kritickou silou v drevocementovej doske bez prísady uhlíka. V závislosti na lisovacom tlaku použitom pri výrobe drevocementovej dosky kritická sila so zväčšujúcim sa lisovacím tlakom do 2,5 MPa rapídne klesá.

Všeobecne, na základe vývojových trendov, je možné konštatovať, že vývoj a použitie drevocementových kompozitov potvrdzuje ich atraktivnosť ako stavebných materiálov. Rozvoj stavebníctva je spojený s ďalším rozvojom kombinovaných materiálov na báze dreva a minerálnych spojív. Pri ich kombinácii s inými materiálmi, napr. s polystyrénom a minerálnou vlnou, sú takéto kompozity vhodné pre použitie v ekologických a energeticky úsporných stavbách vrátane obytných budov a domov. Drevocementové materiály sú pre svoje špecifické vlastnosti, ktoré sa ďalej modifikujú kombináciou s inými materiálmi, nenahraditeľné. Drevocementové dosky predstavujú významný stavebný materiál s perspektívou do budúcnosti.

PodĎakovanie

Článok 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“.

LITERATÚRA

1. ESHELBY, J. D., 1957: The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion and related problems. Proc. Roy. Soc. London, Ser. A, 241, p. 376–396
2. SUQUET, P. (Ed.), 1997: Continuum Micromechanics. Springer.
3. ZAOUI, A., 2002: Continuum micromechanics: Survey. ASCE Journal of Engineering Mechanics, 128 (8), p. 808–816
4. STÜRZENBECHER, R., *et al*: 2007: Multiscale modeling of engineered wood products by means of continuum micromechanics and lamination theory. In: Computation Modeling and Experiments of the Composites Materials with Micro and Nano – Structure. Liptovský Mikuláš
5. LECHNICKIJ, S. G., 1957: Anizotropnyje plastinki. Gostechizdat, Moskva-Leningrad, 463 pp.
6. YU, WEI-WEN, 2000: Cold-Formed Steel Design (3rd Edition). John Wiley & Sons
7. MAKOVÍNY, I., 2008: Charakteristika a vývoj drevocementových kompozitov. Zborník referátov – VII. Sympóziium – Drevné kompozitné materiály. Vydala Technická univerzita vo Zvolene, s. 266–274

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ferdinand Bodnár, CSc.

Katedra mechaniky a strojnictva FEVT

Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26

960 53 Zvolen

bodnar@vsl.d.tuzvo.sk

OPTIMALIZÁCIA PODNIKOVÝCH PROCESOV METÓDOU SIEŤOVEJ ANALÝZY

THE OPTAMALIZATION OF ENTERPRISE PROCESSES BY METHOD OF NETWORK ANALYSIS

Erika SUJOVÁ

ABSTRACT: the paper is concerned with the method of network analysis application for enterprise processes optimalization. The method CPM (Critical Path Method), which is described in the article, it could be used for operational scheduling of production. The method is allowed to define activities, which have influence up time duration of complicated process and reserves of other activities. The aim of method is the critical path defining, which means the period for the project realizing. The paper affords application of network analysis method at the practical example.

Key words: optimalization of enterprise processes, method of network analysis, operational scheduling of production

ABSTRAKT: článok sa zaoberá použitím metódy sieťovej analýzy pri optimalizácii podnikových procesov. Metódu CPM (Critical Path Method), ktorá je v príspevku opísaná, je možné použiť pri operatívnom plánovaní výroby. Metóda umožňuje určiť činnosti, ktoré ovplyvňujú dobu trvania zložitého procesu a rezervy pri ostatných činnostiach. Cieľom metódy je určenie kritickej cesty, ktorá určuje dobu na splnenie projektu. V článku je uvedená aplikácia metódy sieťovej analýzy na príklade z praxe.

Kľúčové slová: optimalizácia podnikových procesov, metóda sieťovej analýzy, operatívne plánovanie výroby

ÚVOD

Prosperita podnikov závisí predovšetkým od včasného a správneho rozhodovania ich manažmentu, ďalej závisí od efektívnosti práce jednotlivých pracovísk a pracovníkov vo výrobe; od riadenia tovarových, surovinových zásob a odbytu; od lokalizácie odberateľov a výšky prepravných nákladov; od prostredia, v ktorom sa podnik nachádza, ako aj od iných faktorov. Úlohou priemyselných inžinierov je integrovanie a optimalizovanie činností podniku tak, aby ich výsledky prinášali organizácii efekt. Náplňou ich práce je plánovanie, projektovanie, riadenie a implementovanie komplexných výrobných systémov

a systémov pre poskytovanie služieb alebo služby pri zabezpečovaní ich vysokej výkonnosti, spoľahlivosti, bezpečnosti a riadenia nákladov v týchto systémoch.

V súčasnej dobe vzrastajúcej nestability vonkajšieho prostredia je životne dôležité, aby jednotlivé procesy a operácie boli schopné rýchlo reagovať na všetky zmeny trhu. Procesy je potrebné nastaviť tak, aby vytvárali maximálnu pridanú hodnotu pri vynaložení minimálnych nákladov (Kavan, 2002). Pre optimalizáciu výrobných procesov bolo vytvorené veľké množstvo metód založených na princípoch vedeckého riadenia (Management Science).

Medzi metódy používané v operatívnom plánovaní výroby patria metódy sieťovej analýzy umožňujúce určiť činnosti, ktoré ovplyvňujú dobu trvania zložitého procesu (tzv. kritická cesta) a rezervy pri ostatných činnostiach. Používajú sa k rozborom a plánovaniu priebežných dôb výroby (výrobkov) a obecné akýchkoľvek zložitých činností (projektov), kde ide o zistenie a využitie časových rezerv v priebehu činností a o stanovenie optimálneho priebehu projektu z hľadiska času, využitia zdrojov a nákladov.

Metód sieťovej analýzy je viac, najznámejšie a najpoužívanejšie sú:

- metódy CPM (CriticalPathMetod),
- metóda PERT (Program Evolutionand RewiewTechnique).

Podstatou operatívneho plánovania vo výrobe je plánovanie množstva a plánovanie termínov. V súvislosti s tým je možné vytvárať v rámci výrobného procesu určité skupiny častí, ktoré sú dané podobnosťou, rovnakým materiálom, obdobným technologickým postupom a pod. Pre sieťovú analýzu je najdôležitejšia **kritická cesta**, ktorá určuje dobu na splnenie projektu. Všetky činnosti, ktoré ležia na kritickvej ceste, sú tiež kritické. Ich skrátenie alebo predĺženie skracuje alebo predlžuje celkovú dobu trvania projektu.

1. Metóda sieťovej analýzy

Riešenie úloh operatívneho plánovania pomocou metódy sieťovej analýzy je možné rozdeliť do nasledovných etáp:

1. vytvorenie sieťového grafu,
2. zostavenie časového plánu a výpočet kritickej cesty (Unčovský, 1991).

1.1 Vytvorenie sieťového grafu

Základnými pojmami v súvislosti s vizualizáciou časových plánov prostredníctvom metód sieťových analýz sú: graf, uzol, hrana, cesta a rezerva.

Graf môžeme definovať ako systém, ktorý sa skladá z množiny bodov (uzlov) a väzieb (hrán) medzi týmito uzlami.

Uzol je prvok systému (množiny), ktorá vytvára graf.

Hrana je prvok systému, ktorý spája uzly navzájom.

Základom sieťovej analýzy je sieťový graf. V sieťovom grafe je podrobne zaznačené čo, v akej postupnosti, a kedy je potrebné splniť, aby bolo zabezpečené ukončenie všetkých činností.

Z pohľadu teórie grafov môžeme definovať sieťový graf ako konečný, súvislý, orientovaný, acyklický a ohodnotený graf. V praxi sa v tejto súvislosti používajú dva základné druhy sieťových grafov:

A. Hranovo definovaný graf

Uzol, teda jednotlivý bod grafu, znázorňuje v skutočnosti udalosť (event) a jednotlivé hrany (orientované úsečky) nám udávajú činnosti (activities). Činnosti sú ohraničené udalosťami (udalosť = koniec/začiatok činnosti) a poradie a následnosť činností je vyjadrená tým, ktorá hrana vychádza z ktorého uzla.

V hranovo definovanom grafe sú informácie uchovávané v dvoch vrstvách. Jednak každý uzol udáva hodnotu, kedy najskôr sa predchádzajúca udalosť skončí (a teda ďalšia môže začať) a kedy najneskôr sa následná činnosť musí začať (a teda predchádzajúca musí skončiť), aby projekt trval čo najkratšie. Zároveň sú jednotlivým hranám (činnostiam) priradené informácie o dĺžke trvania činností.

B. Uzlovo definovaný graf

Uzol v grafe znázorňuje jednotlivú činnosť. Následnosť činností je znázornená orientovanými úsečkami. V uzlovo definovanom grafe sú kľúčové informácie zaznamenávané prostredníctvom uzlov. Každý uzol má priradený údaj o tom, kedy najskôr sa činnosť môže začať (a zároveň kedy najskôr sa môže skončiť) a kedy najneskôr sa musí skončiť (a teda kedy najneskôr sa musí začať), aby projekt trval čo najkratšie. Zároveň každý uzol obsahuje aj informácie o dĺžke trvania činnosti. Hrany v tomto diagrame sú len spojnicami uzlov, a teda nie sú k nim priradené žiadne hodnoty.

1.2 Zostavenie časového plánu a výpočet kritickej cesty

Po vytvorení štruktúry sieťového plánu ďalší krok spočíva v zostavení časového plánu. Trvanie jednotlivých činností t_{ij} určujú pracovníci z útvaru technológie na základe normatívnych podkladov a pri spolupráci s výrobným úsekom (majstrami výroby). Okrem základného údaju y_{ij} do výpočtov vstupuje celková doba T , v ktorej má byť celý komplex činností uskutočnený.

Označenie ďalších premenných je nasledovné:

T doba trvania projektu,

y_{ij} trvanie jednotlivých činností,

$t_i^{(0)}$ najskôr možný začiatok činnosti vychádzajúci z uzlu i ,

$t_j^{(0)} + y_{ij}$ najskôr možný koniec (okamžik ukončenia) činnosti (i, j) ,

$t_j^{(1)}$ najneskôr prípustný koniec činnosti,

$t_i^{(1)} - y_{ij}$ najneskôr prípustný začiatok činnosti (i, j) , pričom $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$, kde n je počet uzlov siete, $i = 1$ je počiatočný uzol siete a $i = n$ je koncový uzol siete.

Ak by sa činnosť nezačala v termíne najneskôr prípustného začiatku činnosti $(t_i^{(1)} - y_{ij})$ a takisto aj pri nedodržaní termínu najneskôr prípustného konca činnosti $(t_j^{(1)})$, plánovaný koniec projektu by bol ohrozený aj pri dodržaní všetkých ostatných termínov.

Úlohy analýzy kritickej cesty počítajú nielen dĺžku kritickej cesty a jej priebeh, ale tiež časové rezervy ostatných činností.

Výpočet sa uskutočňuje vo dvoch fázach. Prvá z nich prebieha od počiatočného uzla siete ku koncovému uzlu, počítajú sa pri nej **najskôr možné začiatky činností** podľa výrazu (1):

$$t_i^{(0)} = \max_i (t_i^{(0)} + y_{ij}) \quad (1)$$

Potom prichádza druhá fáza, ktorá sa uskutočňuje od koncového uzlu siete k počiatočnému uzlu a pri nej sa vypočítavajú **najneskôr prípustné termíny zakončovania** podľa výrazu (2)

$$t_j^{(1)} = \min(t_j^{(1)} - y_{ij}) \quad (2)$$

Obidva tieto vzťahy sú rekurentné, čo znamená, že pre možnosť ich použitia musíme vždy aspoň jednu hodnotu z počítaných veličín poznať.

Pre vzťah (1) sa na začiatku výpočtu obvykle volí hodnota najskôr možného začiatku činností vychádzajúcich zo začiatočného uzlu siete, t. j. $t_j^{(0)}$. Pre jednoduché výpočty sa predpokladá, že $t_j^{(0)} = 0$.

Podobne ako vzťah (1), tak aj vzťah (2) je nutné doplniť zadaním jednej z počiatkových veličín, inak by ich nebolo možné aplikovať. Najčastejšie sa po skončení prvej výpočtovej fázy použije ich výsledok uplatnením relácie $t_n^{(1)} = t_n^{(0)}$.

Za predpokladu, že je dopredu daná doba trvania celej akcie T , výpočet najneskôr prípustných termínov podľa vzťahu (2) začína uvahou: $t_n^{(1)} = T$.

Ak však $T \neq t_n^{(0)}$ môžu nastať dva prípady:

- Ak je $T > t_n^{(0)}$, tak sa výpočet dá bez ťažkostí uskutočniť len s tým dôsledkom, že všetky činnosti, vrátane tých, ktoré budú tvoriť kritickú cestu, budú mať časové rezervy.
- Ak je $T < t_n^{(0)}$, tak by síce formálne bolo možné výpočet realizovať, ale časové rezervy budú vychádzať ako záporné čísla a „kritická cesta“ by bola postupnosť činností s rovnako veľkými maximálnymi zápornými rezervami, ktoré by svedčili o tom, že akcia je v danom termíne neuskutočniteľná a že k jej splneniu chýba práve tento čas.

Ak platí, že $t_i^{(1)} = t_i^{(0)}$, časová rezerva neexistuje ($R = 0$).

Pre výpočet kritických rezerv v uzle platí potom vzťah:

$$R_{ij} = t_i^{(1)} - t_i^{(0)} \quad (3)$$

Činnosti s nulovou rezervou sú kritické a kritická cesta je cesta, na ktorej ležia tieto kritické činnosti. Zistenie týchto kritických činností nám ukazuje, na čo sa treba sústrediť pri riadení a prípadnom skracovaní trvania projektu. Rezervy nám zase dávajú podklad pre riadenie termínov činností a s tým súvisí predovšetkým lepšie využívanie zdrojov pri nekritických činnostiach (Unčovský, 1991).

1.3 Výpočet časových rezerv

Rozlišujeme štyri druhy rezerv a to:

Celková časová rezerva (RC_{ij}) – predstavuje rozdiel medzi maximálnym časovým intervalom, ktorý je pre danú činnosť k dispozícii pre jej vykonanie a dobou trvania tejto činnosti podľa vzorca:

$$RC_{ij} = t_j^{(1)} - t_i^{(0)} - y_{ij} \quad (4)$$

Celková rezerva sa môže realizovať za podmienky, že všetky relevantné predchádzajúce činnosti sa vykonajú v najskôr možnom čase ukončenia, preto sa táto rezerva často nerealizuje.

Voľná časová rezerva (RV_{ij}) je dĺžka maximálneho odkladu prác, ktorá neovplyvní začiatok nasledujúcich činností. Aj tu sa však predpokladá, že predchádzajúce práce sa vykonajú čo najskôr. Vypočíta sa ako:

$$RV_{ij} = t_{ij}^{(0)} - t_i^{(0)} - y_{ij} \quad (5)$$

Rezervy uzlov sa u tejto časovej rezervy činností využívajú jednostranne, a to vždy len pre činnosť, pre ktorú je daný uzol počiatočným uzlom činnosti a nie, pre ktorú je uzlom koncovým.

Nezávislá časová rezerva (RN_{ij}) – ukazuje maximálny odklad činnosti (i, j), bez odkladu nasledujúcich činností, za predpokladu, že predchádzajúce činnosti končia čo najneskôr. Ukazuje stupeň voľnosti činnosti i, j za najhorších predchádzajúcich podmienok. Nezávislú časovú rezervu možno vyčíslit' podľa vzťahu:

$$RN_{ij} = t_j^{(0)} - t_i^{(l)} - y_{ij} \quad (6)$$

V tomto prípade môže výsledok dostať aj zápornú hodnotu a aby sme sa vyhli takému výsledku, tento vzťah nahradíme vzťahom:

$$RN'_{ij} = \max(0; t_j^{(0)} - t_i^{(l)} - y_{ij}) \quad (7)$$

Závislá časová rezerva (RZ_{ij}) – zodpovedá maximálnemu oneskoreniu činnosti, ktorý neovplyvňuje koniec činnosti, ak sa predchádzajúce činnosti oneskorujú. Možno ju vypočítať podľa výrazu:

$$RZ_{ij} = t_j^{(l)} - t_i^{(l)} - y_{ij} \quad (8)$$

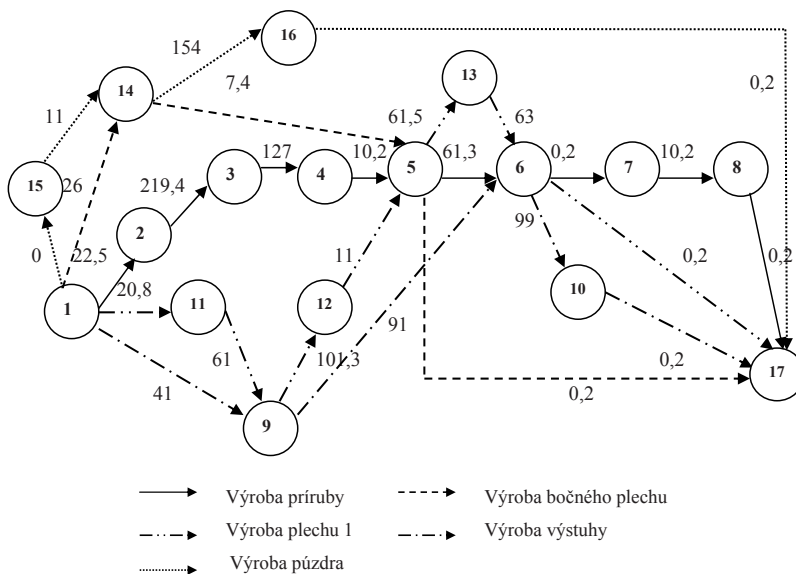
2. VÝSLEDKY APLIKÁCIE METÓDY SIEŤOVEJ ANALÝZY V PRAXI

Aplikácia metódy sieťovej analýzy, ako prostriedku pre optimalizáciu časového plánovania a rozvrhnutia zdrojov znázornená na konkrétnom príklade výroby dielov pre výrobok SAF realizovanej v strojárskzej firme zameranej na zákazkovú výrobu. Uvedený výrobok pozostával z častí: príruha, výstuha, plech 1, bočný plech, puzdro (Sélešová, 2007).

Prvou etapou analýzy bolo zostavenie tabuľky následnosti a doby trvania jednotlivých činností pri výrobe dielov výrobku SAF (tabuľka 1) a vytvorenie sieťového grafu na základe technologických postupov jednotlivých dielov (viď obrázok 1).

Tabuľka 1 Poradie činností pri výrobe dielov výrobku SAF

Činnosť <i>i-j</i>	Popis činnosti	Čas [min] <i>t_{ij}</i>	Stroj	Č. uzla
Príruba				
1-2	pílenie	22,5	píla BOMAR	2
2-3	sústruženie	219,4	sústruh SPT 32 N	3
3-4	frézovanie	127	vrtacie a frézov. centrum MCV 500	4
4-5	zrazenie ostria	10,2	odhroťovací nožík	5
5-6	lisovanie	61,3	ohraňovací lis CTO 80 /3150	6
6-7	kontrola	0,2	posuvné meradlo	7
7-8	balenie	10,2	palety	8
8-17	výstup.kontrola	0,2		17
Výstuha				
1-9	strihanie	41	strižnica	9
9-6	ohýbanie	91	ohraňovací lis CTO 80 /3150	6
6-10	frézovanie	99	frézovačka WHQ 9 CNC	10
10-17	kontrola	0,2		17
Plech 1				
1-11	rysovanie	20,8	rysovacia šablóna	11
11-9	strihanie	61	strižnica	9
9-12	frézovanie	101,3	fréza FGS 63 CNC	12
12-5	zrazenie ostria	11	odhroťovací nožík	5
5-13	lisovanie	61,5	hydraulický lis PYG 40 S1	13
13-6	ohýbanie	63	ohraňovací lis CTO 80 /3150	6
6-17	kontrola	0,2		17
Bočný plech				
1-14	pílenie	26	píla STG 230	14
14-5	zrazenie ostria	7,4	odhroťovací nožík	5
5-17	kontrola	0,2		17
Puzdro				
1-18	pílenie	11	píla STG 230	14
14-16	sústruženie	154	CNC sústruh 500 QUICK	16
15-17	kontrola	0,2		17



Obrázok 1 Sieťový graf pre výrobu jednotlivých dielov výrobku SAF

Zo sieťového grafu a údajov z tabuľky 1 boli na základe vzťahov (1) a (2) vypočítané časy: (najsčôr možný začiatok) a (najnesčôr možný začiatok). Minimálny čas trvania projektu y_{ij} bol 602,8 min. Vypočítané údaje ďalej slúžili na výpočet kritickej rezervy v uzle R_{ij} (podľa vzťahu (3)). Z vypočítanej R_{ij} boli určené kritické miesta ($R_{ij} = 0$) (zvýraznené sivou farbou).

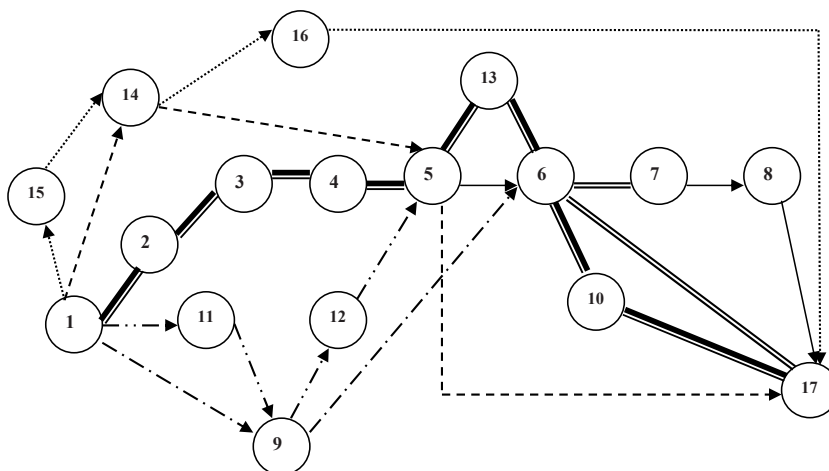
Tabuľka 2 Výpočet kritickej cesty

Poradové číslo	Činnosť $i-j$	Trvanie činností	Najsčôr možný začiatok $t_i^{(0)}$	Najnesčôr možný koniec $t_j^{(0)}$	Najnesčôr prípustný začiatok $t_i^{(1)}$	Najnesčôr prípustný koniec $t_j^{(1)}$	R_{ij}
1	1-2	22,5	0	22,5	63,2	85,7	63,2
2	2-3	219,4	22,5	241,9	85,7	305,1	63,2
3	3-4	127	241,9	368,9	305,1	432,1	63,2
4	4-5	10,2	368,9	379,1	432,1	442,3	63,2
5	5-6	61,3	379,1	440,4	442,3	503,6	63,2
6	6-7	0,2	503,6	503,8	503,6	503,8	0
7	7-8	10,2	503,8	514	592,4	602,6	88,6
8	8-17	0,2	514	514,2	602,6	602,8	88,6
9	1-9	41	0	41	63,2	104,2	63,2
10	9-6	91	81,8	172,8	266,8	357,8	185
11	6-10	99	503,6	602,6	503,6	602,6	0
12	10-17	0,2	602,6	602,8	602,6	602,8	0
13	1-11	20,8	0	20,8	63,2	84	63,2
14	11-9	61	20,8	81,8	205,8	266,8	185

Tabuľka 2 pokračovanie

Poradové číslo	Činnosť $i-j$	Trvanie činností	Najskôr možný začiatok $t_i^{(0)}$	Najskôr možný koniec $t_j^{(0)}$	Najneskôr prípustný začiatok $t_i^{(1)}$	Najneskôr prípustný koniec $t_j^{(1)}$	R_{ij}
15	9-12	101,3	81,8	183,1	266,8	368,1	185
16	12-5	11	183,1	194,1	368,1	379,1	185
17	5-13	61,5	379,1	440,6	442,3	503,8	63,2
18	13-6	63	440,6	503,6	440,6	503,6	0
19	6-17	0,2	503,6	503,8	503,6	503,8	0
20	1-14	26	0	26	63,2	89,2	63,2
21	14-5	7,4	26	33,4	448,2	455,6	422,2
22	5-17	0,2	379,1	379,3	442,3	442,5	63,2
23	1-15	0	0	0	63,2	63,2	63,2
24	15-14	11	0	11	437,6	448,6	437,6
25	14-16	154	26	180	448,2	602,2	422,2
26	16-17	0,2	180	180,2	602,6	602,8	422,6

Za kritickú cestu (obrázok 3) bola určená cesta s minimálnymi časmi R_{ij} , ktorá obsahuje kritické uzly identifikované v tabuľke 2. Z obrázku 2 je zjavné, že problematický je uzol 6, teda „Ohraňovací lis CTO 80 /3150“, cez ktorý prechádza kritická cesta tromi vetvami, t.j. v sieťovom grafe vznikla kolízia. Na základe tohto zistenia bolo analyzovanej firme doporučené, aby sa pri výrobe výrobku SAF zamerala práve na túto kritickú cestu a prednostne touto cestou posúvala výrobu, pretože ak dôjde k meškaniu na tejto kritickej ceste, dôjde k omeškaniu celej výroby výrobku SAF.



Obrázok 3 Sieťový graf výrobku SAF s kritickou cestou

3. DISKUSIA

Pri riešení príkladu z praxe bola zistená kolízia v sieťovom grafe tým, že z problematického uzla 6 vystupovala kritická cesta tromi vetvami. Všeobecný postup pri riešení danej situácie ponúka Chromjaková, Rakyta (2001). Uvádzajú, že základnou prevenciou pred vznikom kolízií v sieťovom pláne je naplnenie tzv. všeobecných procedúr sieťovej analýzy v projekte, ktoré možno zosumarizovať nasledujúco:

1. krok – fáza plánovania: *plánovanie aktivít*. Definujú sa aktivity a ich vzájomné závislosti. Požiadavky na závislosti sa odvíjajú od technologických, procedurálnych alebo predpísaných obmedzení. V tomto kroku sa zostavuje tabuľková forma, obsahujúca popri názve aktivity aj kód, určené trvanie, predchodcu a požiadavky na zdroje.
2. krok – fáza plánovania: *nákres siete aktivít*. Aktivity z predchádzajúceho kroku sa vykreslia formou sieťového grafu.
3. krok – fáza rozvrhovania: *základné rozvrhovanie*. Prebehnú základné výpočty v sieti smerom vpred a späť. Tieto prepočty udávajú najskôr možné, respektíve najneskôr možné časy začiatku a konca každej aktivity. Hodnota spomalenia alebo časovej nestability je tiež predmetom rozvrhovania. Na určenie criticalkej cesty sa využíva sieť aktivít s minimom spomalení, ktorá zároveň určuje aj trvanie projektu.
4. krok – fáza rozvrhovania: *časovo nákladové prepočty*. Tie sú zaujímavé najmä z pohľadu dĺžky projektu.
5. krok – fáza rozvrhovania: *alokácia obmedzených zdrojov*. Zahrnuje proces alokácie tých zdrojov, ktoré sú nutné na skompletizovanie aktivity, ale sú k dispozícii v obmedzenej miere. V tomto type alokácie je nevyhnutná realizovateľnosť takéhoto rozvrhu, ktorý rešpektuje zdrojové požiadavky a schopnosti zdrojov.
6. krok – fáza rozvrhovania: *vyrovnávanie zdrojov*. Ak je potrebné, uskutoční sa presun aktivity alebo znovu usporiadanie pri vykonaní redukcie od periódy k perióde eliminovaním fluktuácií v zdrojových požiadavkách. Efekt je tým silnejší, čím výraznejšia podpora manažmentu v takejto situácii existuje.
7. krok – kontrolná fáza: Keď je už vytvorený sieťový plán a rozvrh a oba podklady sú prijateľné pre podnikový manažment, pripravujú sa do finálnej formy na realizáciu.

Ak boli naplnené všeobecné procedúry projektu, je zaujímavé sledovať, čo firma získa dobre vypracovaným sieťovým plánom ako prvotnú ochranu pred zbytočnými kolíziami:

- efektívnejšiu komunikáciu v projekte (jasné a jednoznačné projektové ciele, definované špecifiká pre projektové výkony, možnosť definovať štartovací bod pre viac detailných úloh, dokumentáciu projektového plánu, účelný vizuálny komunikačný nástroj),
- kontrolný mechanizmus (konkrétny a neodškriepiteľný nástroj na hodnotenie projektového výkonu dáva možnosť využitia okamžitých nápravných opatrení, jasná predstava o očakávaných výstupoch, podpora tímových väzieb),
- vzájomnú súhru – „všetci hráme jedny husle“ (otvára mechanizmus na rýchle zavedenie projektu, špecifikuje funkčné väzby v projekte, umožňuje ľahšiu aplikáciu aktivít).

Z pohľadu praktickej realizácie sieťovej analýzy je nutné zvoliť poradie aktivít, podľa ktorého sa budú aktivity alokovať do sieťového plánu. V každom projekte musíme uvažovať minimálne o troch typoch poradia:

- Technické poradie (technické vzťahy a požiadavky),
- Procedurálne poradie (určené politikou a procedúrami),
- Predpísané poradie (klasifikované podľa predpísaného zdroja, predpísaného stavu alebo predpísaného prostredia).

Primárnym cieľom sieťovej analýzy je nájdenie „kritickej cesty“, teda cesty, ktorá si vyžiada minimum kompletizačného času. Ak prenesieme výsledky sieťovej analýzy do kalendárneho času, projekt dostane rozvrh. Projektové kolízie sa vyskytujú najmä pri časovej kompresii rozvrhnutého projektu. Kolízie (resp. zrušenie projektu) vznikajú najmä pri snahe zrýchliť projekt – teda redukcii trvania aktivít a tým aj redukcii celkového trvania projektu. Kolízia je výsledkom kompromisu medzi kratším trvaním úlohy a vyššími nákladmi na úlohu.

4. ZÁVER

Vo vývoji ekonomického prostredia stále silnejšie vystupuje do popredia faktor času. Je preto logické, že pri riadení projektov (nových zákaziek), ktorých realizácia viaže nemalé finančné prostriedky, je snaha o ich čo najkratšie trvanie a čo najrýchlejšiu návratnosť vložených prostriedkov. Sieťová analýza projektov je preto prostriedkom časovej analýzy, ktorej cieľom je určiť pre ich danú organizačnú a technologickú štruktúru významné časové termíny a hlavne najkratší možný termín ich dokončenia, tzn. dĺžku kritickej cesty (Gros, 2003).

Sieťová analýza má najmä nasledujúce prednosti:

- na základe logicky a matematicky zdôvodnenej organizácie práce zabezpečuje ekonomiku síl, prostriedkov a času,
- umožňuje efektívne plánovanie a kontrolu zložitých procesov so zameraním na dôležité činnosti a miesta procesu,
- zabezpečuje názorné zobrazenie všetkých činností s prehľadným uvedením prijatých rozhodnutí,
- umožňuje určiť rezervy a možnosti ich využitia a dosiahnuť tak splnenie úlohy efektívnejším spôsobom a umožňuje pružne uskutočňovať zmeny v operatívnom pláne.

LITERATÚRA

- GROS, I.: *Kvantitatívne metódy v manažérskej rozhodovani*. Praha: Grada Publishing, a. s., 2003, 432 s. ISBN 80-247-421-8
- CHROMJAKOVÁ, F., RAKYTA, M.: Ako na kolízie v sieťovom pláne projektu. In. *Strojárstvo* [online]. 2/2001[cit. 2008-09-24] Dostupné na internete: <http://www.strojarnstvo.sk/inc/index.php?ln=SK&tl=3&tpl=archiv.php&ids=2&cislo=&idclan=171>
- KAVAN, M.: *Výrobní a provozní management*. Praha, Grada Publishing, s. r. o., 2002, 424 s. ISBN 80-247-0199-5
- SÉLEŠOVÁ, M.: *Analýza súčasného stavu a identifikácia podnikateľských úzkych miest výrobného systému vo firme Mikromat, s. r. o. Zvolen*. Zvolen, 2007. Diplomová práca. 76 s.
- UNČOVSKÝ L.: *Modely sieťovej analýzy*. Bratislava: Alfa, 1991. 236 s. ISBN 80-05-00812-0

Kontaktná adresa:

Ing. Erika Sujová, PhD.

Katedra výrobných technológií a materiálov

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene

Ul. Študentská č. 26, 960 53 Zvolen

esujova@vsld.tuzvo.sk

ÚTLM DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV V MIKROVLNNOM PÁSME ELEKTROMAGNETICKÉHO POĽA

THE DAMPING OF THE WOOD – CEMENT COMPOSITES MATERIALS IN MICROWAVE RANGE OF ELEKTROMAGNETIC FIELD

Pavol DANKO – Ivan MAKOVÍNY

ABSTRACT: The aim of the paper is the investigation of the elektromagnetic wave motion damping of modiflicated woodcement composites materials.

These compozits are developed for the shielding of the elektromagnetic fields. There was experimentaly tested damping of the wood-cement composites from excelsior modiflicated with various carbon concentrations 0,5; 1,3; 5 and 10 (mass %). The maximal value of obtained damping was 25 dB, by frequency 9 GHz.

There was confirmed that of such composites are suitable for using to absorption of the elektromagnetic field energy in very high frequency range.

Key words: elektromagnetic damping, modiflicated wood – cement composites, carbon.

ABSTRAKT: Práca je zameraná na hodnotenie útlmu elektromagnetického vlnenia modifikovaných drevoementových kompozitných materiálov vyvíjaných pre potláčanie nežiaducich účinkov elektromagnetických polí. Experimentálne sa zisťovala veľkosť útlmu drevoementových kompozitov z drevnej vlny modifikovaných rôznymi koncentraciami uhlíka 0,5; 1,3; 5 a 10 (hm. %). Najvyššia hodnota dosiahnutého elektromagnetického útlmu bola 25 dB, pri frekvencii 9 GHz.

Potvrdilo sa, že takéto kompozit je vhodný pre použitie na absorpciu energie elektromagnetického poľa v pásme vvf frekvencií.

Kľúčové slová: tienenie, elektromagnetický útlm, modifikované drevoementové kompozity.

ÚVOD

Nežiaduce účinky náhodných alebo systematicky pôsobiacich elektromagnetických polí na biologické objekty alebo technické systémy je možné potláčať, až eliminovať použitím tienenia elektromagnetických polí resp. tieniacich materiálov.

Ako tieniace materiály sa používajú kovy. Kovy však nie sú najbežnejšie používanými materiálmi na tienenie elektromagnetických polí. Významnú úlohu v tejto oblasti zohrávajú nekovové kompozitné materiály a špeciálne elektricky vodivé polyméry. Kompozity s matricami z polyméru sa úspešne rozširujú v praxi preto, lebo sa dajú realizovať s dobrými fyzikálno-mechanickými vlastnosťami (najmä nízkou hustotou) a ľahko sa opracovávajú. K takýmto perspektívnym materiálom navyše aj tieniacim elektromagnetické polia môžeme zaradiť aj drevné kompozitné doskové materiály s elektricky vodivými prísadami, [6].

Cieľom tejto práce bolo zistiť útlmové vlastnosti uhlíkom modifikovaných drevoementových dosiek.

ÚTLM ELEKTROMAGNETICKÉHO VLNENIA V MODIFIKOVANÝCH DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOCH

Drevoementové kompozity (DCK) sa vyrábajú najmä ako veľkoplošné doskové materiály pre stavebníctvo. Využívajú sa najmä ako obkladový materiál pre plášte budov. Majú výborné tepelné a zvukové izolačné vlastnosti. Zmenou technologického postupu a použitím vhodných prísad je ich možné modifikovať tak, že sa dosiahne zvýšenie ich útlmu pre elektromagnetické vlnenie.

Priaznivé útlmové vlastnosti drevných materiálov modifikovaných elektrickými vlastnosťami – preglejok a drevotriekových dosiek, boli konštatované v lit. [2], [3], [5], [6] a [7]. Diferencie útlmu uhlíkom modifikovaných drevoementových kompozitov sme sledovali pri rôznych hustotách a koncentráciách uhlíka, (obr. 1 ÷ 4). Ako vhodný typ elektricky vodivých prísad do drevných kompozitov sa ukázali uhlíkaté materiály, pretože spĺňajú tieto dôležité požiadavky – majú dostatočne vysokú elektrickú vodivosť, nízku mernú hmotnosť, chemickú stálosť, relatívne nízku cenu a nie sú toxické.

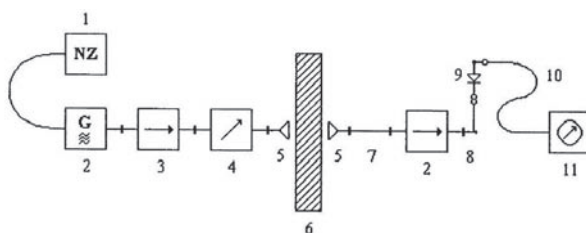
EXPERIMENT

Materiál

V laboratórnych podmienkach na Technickej univerzite vo Zvolene sme realizovali výrobu vzoriek drevoementových kompozitov o rozmeroch 150 × 300 (mm). Vzorky DCK boli vyrobené lisovaním zmesi pozostávajúcej z drevnej vlny zo smrekového dreva (prúžky o hrúbke 0,1 mm a dĺžke 500 mm), portlandského cementu, chloridu vápenatého, vody a práškoveho uhlíka. Vyrobili sa vzorky s rôznou hustotou.

Metóda merania a meracia aparátúra

Na meranie sme použili substitučnú metódu merania útlmu vo vlnovode pri frekvencii 9 GHz [1, 4]. Bloková schéma meracej aparátúry je na nasledovnom obrázku.



Obr. 1 Bloková schéma meracej aparatury

1 – napájací zdroj, 2 – generátor, 3 – feritový izolátor, 4 – zoslabovač, 5 – lievniková anténa, 6 – meraná vzorka, 7 – vlnovod, 8 – prechod koaxiál – vlnovod, 9 – detektor, 10 – prepojovací kábel, 11 – indikátor

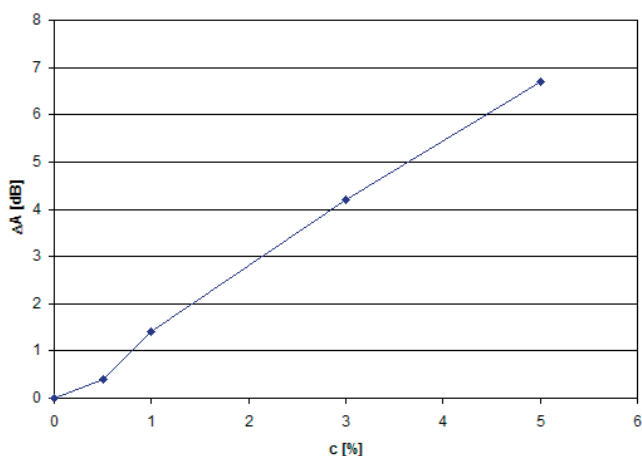
Meracia aparátúra sa skladá z dvoch častí – vysielacej a prijímacej. Vysielacia časť meracej aparatury je tvorená napájacím jednosmerným zdrojom, generátorom mikrovlnovej energie, feritovým izolátorom, premenlivým zoslabovačom a priamymi úsekmi vlnovodov. Prijímaciu časť predstavuje vlnovod, prechod koaxiál – vlnovod, prepojovací kábel a indikátor. Na konci tejto časti môže byť umiestnená lievniková anténa, ale pri tomto zapojení nebola použitá. Medzi vysielaciu a prijímaciu časť meracej aparatury sa vkladali merané vzorky drevocementového kopozitu. Zisťovala sa diferencia útlmu t.j. zvýšenie útlmu ΔA . Platí vzťah:

$$\Delta A = A_{cx} - A_{c0}$$

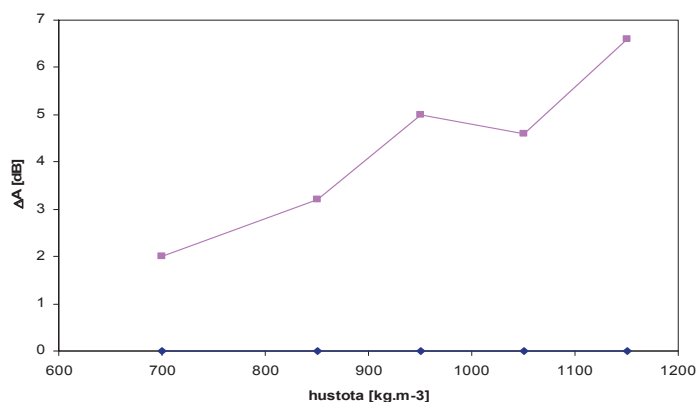
kde A_{CX} je útlm dosky pri koncentrácii uhlíka c_x , A_{C0} – útlm dosky pri nulovej koncentrácii uhlíka.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Hodnoty diferencie útlmu ΔA , t.j. zvýšenia útlmu vplyvom zvyšovania koncentrácie uhlíka, vzhľadom k útlmu neupravenej drevocementovej dosky, t. j. s koncentráciou uhlíka 0 % sa na intervale 0 ÷ 5 (%) lineárne zvyšovalo so zvyšovaním koncentrácie uhlíka (obr. 2).



Obr. 2 Závislosť diferencie útlmu ΔA drevocementových kopozitov od koncentrácie uhlíka c , pri hustote DCK 950 kg.m^{-3}

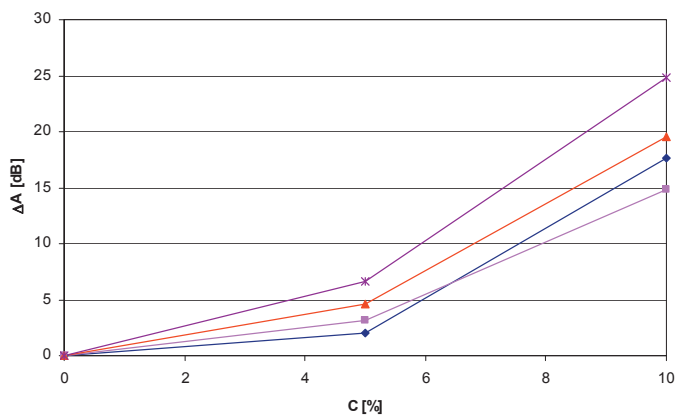


Obr. 3 Závislosť diferencie útlmu ΔA od hustoty DCK pri koncentracii uhlíka 5 hm.%

Podobný účinok na útlm DCK ako zvyšovanie koncentrácie uhlíka mala aj vzrastajúca hustota, (obr. 3).

Na obr. 4 sú vynesené diferencie útlmu ΔA pre rôzne hustoty dosiek pri troch rozdielnych koncentraciách uhlíka 0; 5 a 10 (hm.%).

Uvedené výsledky ukázali, že účinkom koncentrácie uhlíka do 5 hm.% sa zvyšuje útlm v závislosti od hustoty dosiek v intervale do 7 dB. Pri koncentracii uhlíka 10% sa na sledovanom intervale hustoty dosiek dosiahla diferencia útlmu od 15 do 25 (dB).



Obr. 4 Závislosť diferencie útlmu ΔA od koncentrácie uhlíka c pri rôznych hustotách drevocementových kompozitov 700, 850, 950 a 1 150 (kg.m⁻³)

ZÁVERY

Experimentálne sa zistilo, že modifikáciou drevocementových kompozitov uhlíkom so zvyšovaním koncentrácie uhlíka nastane výrazné zvyšovanie ich útlmu pre elektromagnetické žiarenie.

Na intervale koncentrácie uhlíka 0 až 5 (hm.%) a pri hustote DCK 950 kg.m⁻³ sa dosiahlo zvýšenie útlmu o 7 dB a pri koncentrácii uhlíka 10 hm.% až o 20 dB.

Vplyv hustoty, resp. lisovacieho tlaku pri výrobe drevocementových kompozitov sa tiež jednoznačne prejavil zvyšovaním útlmu dosiek. Vplyv hustoty drevocementového kompozitu rástol so zvyšovaním koncentrácie uhlíka. Pri koncentrácii uhlíka 5 hm.% bola zmena útlmu vplyvom zvýšenia hustoty zo 700 kg.m⁻³ na 1 150 kg.m⁻³ o 5 dB, pri 10 hm.% uhlíka, to bolo už o cca 10 dB.

LITERATÚRA

1. DANKO P.: Mikrovlnové meranie vlhkosti drevovláknitých dosiek. Zborník prednášok z odborného seminára s medzinárodnou účasťou – Meranie vlhkosti dreva, Technická univerzita: Zvolen, 1999, s. 41–44
2. GENZ D.: Qualität und Kompatilität von Absorber – Messhallen Elektrik, 48, 1994, s. 247–255
3. ISHIHARA S. AND KAWAI S.: Carbon-Material Overlaid Particleboard I. Fire endurance and mechanical and physical properties of charcoal-overlaid particleboards, Wood Research Institute, Kyoto University, Uji 611, vol. 35, No 3, 1989, s. 234–242
4. KNEPPO I., Porovnávacie metódy mikrovlnových meraní, VEDA SAV Bratislava 1980, 140 s.
5. LI WANG J. a kol.: Study on Influence factors of Wood-metal Composites Electromagnetic Shielding, Northeast Forestry University China, AP42, s. 185–188
6. MAKOVÍNY I.: Interaction of electromagnetic field with wood and wood – based materials, Technická univerzita vo Zvolene, I. vydanie Zvolen 1999, s. 62
7. NAGASAWA a kol.: Effects of Wood Species on Electroconductivity and Electromagnetic Shielding Properties of Electrolessly Plated Sliced Veneer with Nickel, Journal of the Japan Wood Research Society, 1994, 40, s. 1092–1099
8. WALLACE G. G. a kol.: Conductive electroactive polymers, London – New York – Washington, Ccc press 2003, 353 s.

Pod'akovanie

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:

Ing. Pavol Danko, CSc., prof. Ing. Ivan Makovíny, CSc.

Katedra drevárskych strojov a zariadení

Fakulta enviromentálnej a výrobnnej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24

960 53 Zvolen

ELEKTRICKÉ VLASTNOSTI HLAVNÝCH ZLOŽIEK MODIFIKOVANÝCH DREVOCEMENTOVÝCH KOMPOZITOV

ELECTRIC PROPERTIES MAIN OF COMPONENTS MODIFIED WOOD-CEMENT COMPOSITS

Ivan MAKOVÍNY

ABSTRAKT: V práci sme skúmali vybrané morfológické charakteristiky a rezistivitu uhlíkových materiálov (uhlík I, uhlík II, úlet), cementu a ich zmesí pre vývoj modifikovaných drevo cementových kompozitov určených na tienenie elektromagnetických polí. Zistilo sa, že geometrické rozmery častíc (priemerný plošný obsah, priemerná dĺžka, priemerná šírka) cementu a úletu boli o rád väčšie ako uhlík I a II. Rezistivita uhlíka I. a II. bola cca $10^2 \Omega \cdot m$ avšak rezistivita úletu bola vyššia cca o 1 rád 10^3 až $10^4 (\Omega \cdot m)$. Rezistivita portlandského cementu mala hodnotu až $10^9 \Omega \cdot m$.

Kľúčové slová: morfológické charakteristiky, rezistivita, uhlíkové materiály, zmes cement – uhlík

ABSTRACT: In this work we studied the selected morfológic characteristics and resistivity of the carbon materials (carbon I. and II., outlet), cement and their mixtures. The results are important for the development of modified wood-cement composites which will be utilized for electromagnetic field shielding.

We found out that the geometric seized of cement and outlet particles were about one order higher than carbon I. and II. particles. The carbon I. resistivity was similar to carbon II. resistivity but the outlet resistivity was about one order higher (10^3 až $10^4 (\Omega \cdot m)$). The portland cement resistivity was as many as $10^9 \Omega \cdot m$.

Key words: morphologic characteristics, resistivity, carbon materials, cement

ÚVOD

Fyzikálne vlastnosti kompozitných materiálov sú závislé od parametrov jeho zložiek a technologického postupu ich výroby.

Vývoj drevo cementových kompozitov modifikovaných prísadami pre zvýšenie útlmu elektromagnetického vlnenia si vyžaduje poznatky o elektrických vlastnostiach zložiek, aby bolo možné výrobné postupy spresniť, modelovať a optimalizovať.

Cieľom tejto práce bolo určiť vybrané morfológické a elektrické charakteristiky uhlíkových materiálov, cementu a ich zmesí.

DREVOCEMENTOVÉ KOMPOZITY

Drevocementové kompozity (DCK) sú používané najmä ako stavebné materiály na vonkajšie obklady stien a tiež na vnútorné obklady, ako aj stropy a podlahoviny. Ich výhodnými základnými vlastnosťami sú: húževnatosť, rezistencia proti hmyzu a hnilobe, vysoký útlm zvuku a nízka tepelná vodivosť.

Našou snahou je rozšíriť ich špecifické vlastnosti tak aby sa vyžívali ako tieniace materiály s veľkým útlmom pre elektromagnetické vlnenie

Obvykle sú fyzikálno-chemické deje pri výrobe kompozitov tak zložité, že vypočítať stredné hodnoty výsledných fyzikálnych a mechanických vlastností sa dá robiť len orientačne. Platí to aj o elektrických vlastnostiach kompozitov.

Dá sa predpokladať, že elektrofizikálne vlastnosti drevocementových kompozitov sú závislé od fyzikálnych vlastností základných zložiek, tiež od topológie (t.j. ich vzájomného priestorového usporiadania), od geometrických rozmerov drevnej vlny a iných faktorov. Pre vývoj drevocementového veľkoplošného materiálu určeného na tienenie elektromagnetického žiarenia sme zvolili ako elektricky vodivú prísadu práškový uhlík.

Uhlíkové materiály patria k nekovovým vodičom preto v zmesi s cementom dostaneme štruktúru, ktorej elektrofizikálne vlastnosti sa v závislosti od koncentrácie uhlíka budú meniť.

Pre tak heterogénnu štruktúru akú predstavuje cement s elektricky vodivou prísadou sa pre štúdium jej vlastností ukazuje ako vhodné využiť teóriu perkolácie. Ak budeme štruktúru cement – uhlík chápať ako dvojzložkový perkolačný systém pričom cement bude predstavovať elektricky nevodivú zložku, tak pre výslednú konduktivitu podľa Šmilauera (1986) môžeme použiť vzťah

$$\gamma = \gamma_c (p - p_k)^\mu, \quad (1)$$

kde γ celková výsledná je konduktivita, γ_c – merná vodivosť (reciproká hodnota rezistivity) uhlíka, p – perkolačná pravdepodobnosť, p_k – prah perkolácie, μ – koeficient.

Z hľadiska elektrickej vodivosti nami uvažovanej perkolačnej štruktúry, perkolačná pravdepodobnosť p_c znamená, že až od určitej koncentrácie vodivej prímеси uhlíka sa začne výsledná vodivosť meniť.

Rov. (1) môžeme prepísať do tvaru

$$\gamma = \gamma_c (v - v_k)^\mu \quad \text{resp. pre rezistivitu bude} \quad \rho = \rho_c (v - v_k)^{-\mu} \quad (2)$$

kde v je relatívny objem vodivej prímеси uhlík, v_k – kritický relatívny objem uhlíka.

Portlandský cement má dve hlavné zložky. Prvá zložka obsahuje štyri hlavné oxidy CaO, SiO₂, Al₂O₃ a Fe₂O₃. Druhá zložka je síran vápenatý vo forme sadrovca CaSO₄·2H₂O,

hemihydrátu $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ a anhydridu CaSO_4 . V cemente sa môžu vyskytnúť aj prímеси a nečistoty.

Pri hydratácii cementu prebiehajú komplexné chemické procesy, pričom z portlandského cementu a vody vzniká tvrdá hmota. V priebehu tohto procesu sú do roztoku uvoľňované ióny (Ca^{2+} , OH^- , $\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$), ktoré sa podieľajú na fyzikálno-chemických dejoch, (Aitcin, 2005).

Cement sa používa aj na výrobu polovodičových elektronických súčiastok (senzorov a termoelektrických článkov). Cement vytvára maticu a prímесou sú napr. krátke uhlíkové – vlákna. Vytvára sa tak polovodič typu P, ktorý je účinný pri tlmení elektromagnetického vlnenia odrazom. Samotný cement má slabú elektrickú vodivosť typu N, (Wallace, 2003).

EXPERIMENT

Experimentálne sme zisťovali elektrickú rezistivitu ρ t.j. merný objemový elektrický odpor zložiek modifikovaných DCK – cementu a rôznych druhov uhlíkových materiálov a ich zmesí.

MATERIÁL

Pre použitie uhlíkových materiálov, ako elektricky vodivej prísady do DCK sme testovali nasledovné druhy uhlíkových materiálov – uhlík I (sadze) a uhlík II (sadze) (Elektrokarbon, s.r.o., Topoľčany), úlet – odpadový uhlíkový materiál (a.s. Nováky). Z Elektrokarbonu sme na testy použili aj ďalšie finančne náročnejšie materiály – P 995, P – 88–90, KS 44.

METÓDA

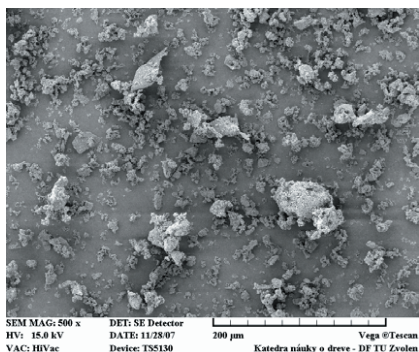
Pre meranie elektrofyzikálnych vlastností cementu, uhlíkových materiálov a zmesí cement – uhlíkové materiály bola použitá voltampérová metóda s elektródovým systémom, ktorý je prepísaný normou STN 34 1382 na meranie sypkých materiálov. Elektródový systém tvorí valcová vodivá nádoba – „vonkajšia elektróda“, do ktorej je zasunutá odizolovaná „vnútorná elektróda“ tvaru valca. Jednosmerná rezistivita sypkých materiálov ρ sa vypočíta z nameraného elektrického odporu R podľa vzťahu

$$\rho = 56,55 \cdot R = 56,55 \cdot \frac{U}{I} \quad (3)$$

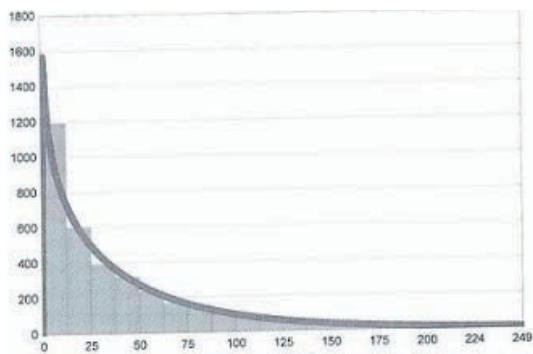
Číselná konštanta 56,55 je vypočítaná z geometrických rozmerov elektródového systému, R je elektrický odpor, U – elektrické napätie, I – elektrický prúd.

VÝSLEDKY A DISKUSIA

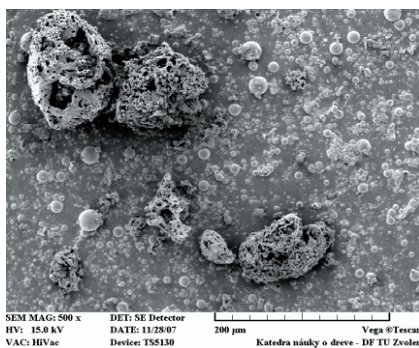
Výsledky meraní sú zhrnuté na obr. (1 ÷ 5) a v Tab. 1.



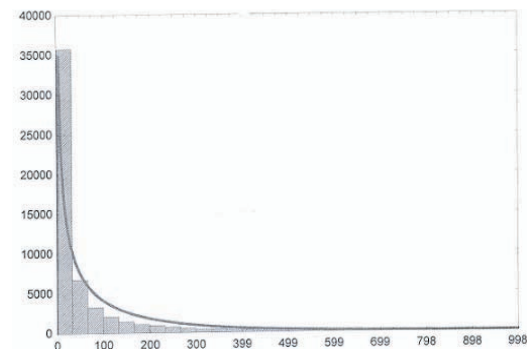
Obr. 1a Zobrazenie štruktúry portlandského cementu pri 500 × zväčšení



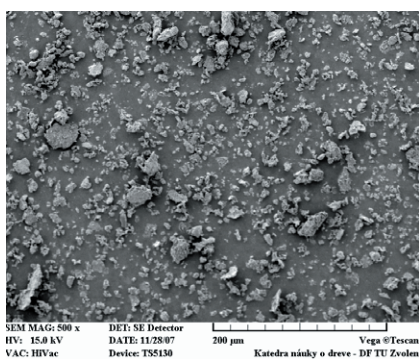
Obr. 1b S [μm^2]
Histogram plošného obsahu častíc portlandského cementu



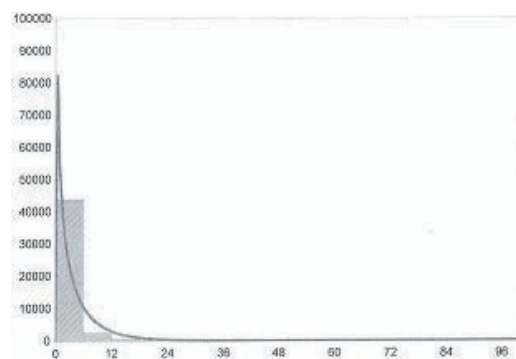
Obr. 2a Zobrazenie štruktúry „úletu“ pri 500 × zväčšení



Obr. 2b S [μm^2]
Histogram plošného obsahu častíc „úletu“



Obr. 3a Zobrazenie štruktúry uhlíka I pri 500 × zväčšení

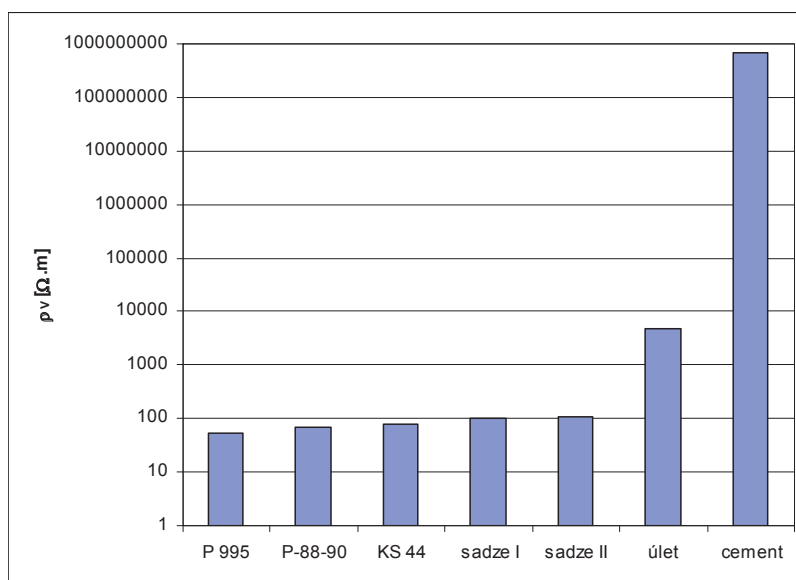


Obr. 3b S [μm^2]
Histogram plošného obsahu častíc uhlíka I

Tab. 1 Štatistické údaje o geometrických rozmeroch častíc cementu, úletu a uhlíka I a II.

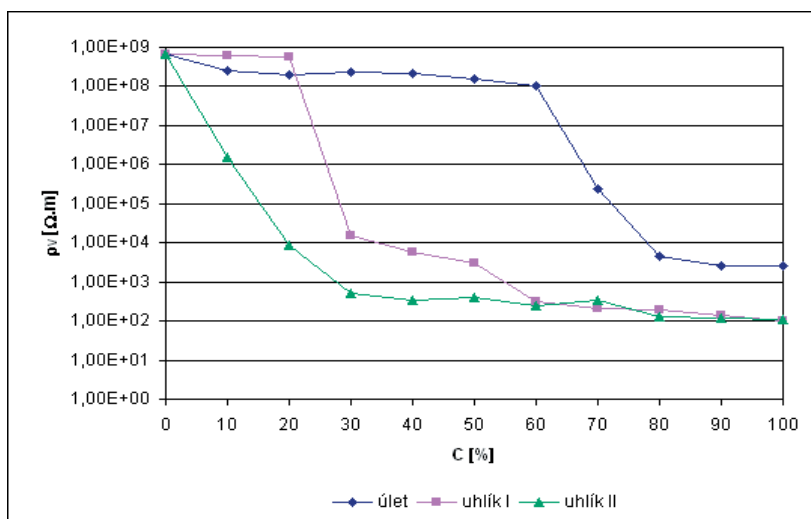
Veličina	Druh materiálu			
	Cement	Uhlík I	Uhlík II	Úlet
Priemerný plošný obsah častice A [μm^2]	43,4	3,38	3,69	31,25
Koeficient variability v_A [%]	124	530	607	129
Priemerná dĺžka L [μm^2]	8,02	1,96	2,09	6,75
Koeficient variability dĺžky v_L [%]	71	125	131	79
Priemerná šírka \bar{s} [μm^2]	3,95	0,887	0,986	3,26
Koeficient variability šírky v_s [%]	64	88	72	64

Geometrickými rozmermi častíc sa k sebe blíži cement s úletom, zatiaľ čo častice uhlíka I a II majú až o rád menší priemerný plošný obsah a zároveň aj menšiu priemernú dĺžku a šírku. Plošný obsah uhlíka I a II sa vyznačuje vysokou variabilitou, (Tab. 1).



Obr. 4 Rezistivita rôznych druhov uhlíkatých materiálov – P 995, P – 88–90, KS 44, uhlík I, uhlík II, úlet a cement.

Hodnota rezistivity portlandského cementu bola nízka – $10^9 \Omega \cdot \text{m}$, naopak rezistivita uhlíka I a II bola $10^2 \Omega \cdot \text{m}$, úlet mal rezistivitu cca 10^3 až $10^4 (\Omega \cdot \text{m})$.



Obr. 5 Závislosť rezistivity ρ_v úletu, sadzí I a sadzí II od koncentrácie uhlíka C

Uhlík II sa z hľadiska rezistivity zmesi cement – uhlík v porovnaní s uhlíkom I správal odlišne v rozsahu koncentrácie uhlíka do 60%. V rozsahu 0 až 20 (%) sa rezistivita uhlíka I nezmenila a na rozsahu od 20 až 30% poklesla o 5 rádo. Čo je o 1 rád menej ako bol pokles rezistivity zmeny v prípade použitia uhlíka II. Zvyšovaním hmotnostných koncentrácií uhlíka I a II v cemente nad 60% nastávali už len malé zmeny rezistivity, ich hodnota bola nízka cca 100 Ω.m.

Uhlík I sa od uhlíka II nelíšil v rezistivite avšak v zmesi sa zrejme uplatnil vplyv geometrickej štruktúry. Podľa snímok z elektrónového mikroskopu sa geometria častíc uhlíka typu I líši od častíc uhlíka II. Rozdiely sú v geometrických rozmeroch častíc a to v priemernom plošnom obsahu, dĺžke a šírke častíc. U uhlíka II boli tieto parametre vyššie, to mohlo spôsobiť, že v zmesi s cementom sa vytvoril väčší počet kontaktných miest medzi časticami uhlíka. Dôsledkom je, že napriek rovnakej rezistivite uhlíka I a II je v zmesi cement-uhlík II nižší prah perkolácie.

Úlet sa správal vzhľadom na uhlík I a uhlík II odlišne v tom, že prah perkolácie resp. výrazné zníženie rezistivity zmesi úlet – cement nastávalo až pri koncentráciách uhlíka v intervale 60–80 (%), pričom zníženie rezistivity bolo o 5 rádo. To znamená, že pre docelenie podobnej rezistivity zmesi uhlíkový materiál – cement napr. 10 kΩ.m je pri použití úletu potrebná koncentrácia až 75%, uhlíka I – 30% a uhlíka II len 20%.

Ako najvhodnejšia elektricky vodivá prísada do drevocementových kompozitov pre zvýšenie ich útlmových vlastností sa zistil uhlík II.

ZÁVER

Účinok zvyšovania hmotnostnej koncentrácie na jednosmernú rezistivitu zmesi cement – uhlíkaté materiály, mal charakter perkolačného deja. Jednotlivé uhlíkaté materiály

uhlík I, uhlík II a úlet, mali rozličné prahy perkolácie a líšili sa aj geometrickými rozmermi i časticami.

Zistilo sa, že geometrické rozmery častíc (priemerný plošný obsah, priemerná dĺžka, priemerná šírka) cementu a úletu boli o rád väčšie ako uhlík I a II. Rezistivita uhlíka I. a II. bola cca $10^2 \Omega \cdot m$ avšak rezistivita úletu bola vyššia cca o 1 rád, 10^3 – 10^4 ($\Omega \cdot m$). Rezistivita portlandského cementu mala hodnotu až $10^9 \Omega \cdot m$.

LITERATÚRA

- AITCIN P. C.: Vysokohodnotný betón, Expodata – Didot, Praha, 2005, 320 s.
MAKOVÍNY I.: Útlmové vlastnosti drevotrieskových dosiek modifikovaných uhlíkom, Acta Facultatis technicae II, TU Zvolen 1998, s. 65–71
ŠMILAUER: Teória perkolace, Československý časopis pro fyziku 36, 1986, s. 220–248
WALACE G. G. a kol.: Conductive electroactive polymers, London – New York – Washington, Ccc press 2003, 353 s.
STN 34 1382: Skúšanie elektrostatických vlastností materiálov a výrobkov, 1989

Pod'akovanie

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

OBRÁBANIE NÁSTROJOM S ROTUJÚCIM REZNÝM KLINOM

MACHINING WITH SELF-ROTATING CUTTING WEDGE

Lubomír JAVOREK – Jozef HRIC

ABSTRACT: Machining with self-propelled rotary tools is one of the most dynamical machining processes that is suitable for machining which poses claims on high surface quality and small cutting forces and which is accompanied by high production of heat. The basic information about this kind of turning and about the fundamental principles of the tool are presented in this article.

Key words: woodmachining, self-rotating tool, cutting forces

ABSTRAKT: Obrábanie nástrojmi s rotujúcim rezným klinom okolo svojej geometrickej osi je spôsob obrábania, ktorý nie je vo svete nový. Používa sa pri obrábaní ťažko obrobiteľných materiálov, respektíve materiálov kde vzniká veľké množstvo tepla a je potrebné ho odvádzať [1, 9, 10]. Informácie o takýchto nástrojoch sa objavili začiatkom minulého storočia, kedy bol vyrobený nástroj v tvare misky s vynúteným pohybom a bol použitý na pozdĺžne sústruženie. V roku 1914 bol použitý nástroj so samorotáciou a odvtedy sa objavujú informácie o takýchto typoch nástrojov po celom svete s rôznymi časovými odstupmi [1, 3, 4, 5, 7, 9, 10]. V tomto príspevku uvedená konštrukcia nástroja a dynamometra podľa autorov príspevku bola použitá pri experimentoch a niektoré výsledky získané meraním sú uvedené v závere príspevku.

Kľúčové slová: obrábanie, samorotujúci nástroj, rezná sila

ÚVOD

Sústružené predmety z dreva majú v našom každodennom živote svoje stále miesto. Sú to predmety dennej potreby (taniere, misky, poháre...), ale aj rôzne predmety umeleckého charakteru. V poslednej dobe sa záujem človeka o predmety vyrobené z dreva neustále zvyšuje a preto má aj v dnešnej dobe význam zaoberať sa zdokonaľovaním starších a vývojom nových technológií, ktoré zabezpečia vyššiu produktivitu práce, vyššiu kvalitu a estetickú hodnotu týchto výrobkov. Prostriedkom k dosiahnutiu tohto cieľa je zavádzanie nových rezných materiálov, optimalizácia geometrie rezného klina, konštruovanie technologicky nových typov nástrojov, nových technológií a technologických zariadení ako celkov.

Sústruženie, resp. spôsob práce podobný tomu (obr. 1), ktorý sa dnes označuje ako sústruženie sa spomína už okolo roku 700 p.n.l. Vznik tejto „technológie“ súvisí z vynájdením kola ako takého okolo roku 3 500–3 000 p. n. l. a ďalej s rozvojom hrnčiarskeho kruhu a výrobou predmetov umeleckého charakteru.

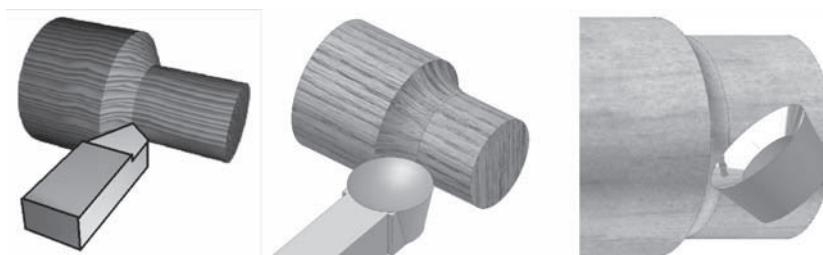


Obr. 1 „Sústruženie“ v Egypte [10]

Až neskôr s rozvojom priemyselnej revolúcie (začiatok 18. storočia) sa začal väčší rozvoj technológií v oblasti obrábania rotačných súčiastok. Tento však už prebiehal súčasne v drevárskom aj strojárskom priemysle.

1 NÁSTROJ A PRINCÍP PRÁCE

Pri sústružení sa používajú nástroje s definovanou reznou hranou, ktorá môže byť priama, kruhová alebo kombináciou predchádzajúcich. Nástroje s priamou reznou hranou (obr. 2a), sú dostatočne známe a majú široké použitie.

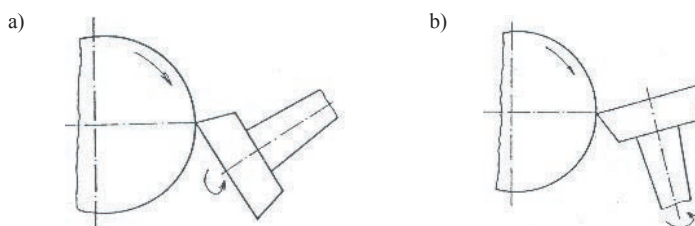


Obr. 2 a, b, c. Tvar reznej hrany a) priama, b) kruhová – sklon = 0° [10], c) kruhová – sklon ≠ 0° [10]

Nástroje s kruhovou reznou hranou (obr. 2b, c), sú menej známe a ak, tak je kruhová rezná hrana považovaná za súčasť reznej hrany, kde sa vyskytujú aj priame rezné hrany. Nástroje s reznou hranou v kružnici a otáčajúcou sa pri obrábaní sú známe len pomerne úzkemu okruhu odborníkov a užívateľov.

V technickej praxi sa tieto nástroje delia na nástroje bez vynútenej rotácie rezného klina (s tzv. samorotujúcim alebo autorotujúcim rezným klinom) a nástroje s vynútenou

rotáciou rezného klina. Nástroje s vynútenou rotáciou sú konštrukčne zložitejšie, pretože je potrebný mechanický pohon rezného klina. Nástroje so samorotujúcim rezným klinom využívajú trecie sily, ktoré vznikajú medzi kontaktnými povrchmi obrobku a rezného klina. Nástroje tohto typu sú použiteľné pri sústružení, frézovaní aj hobľovaní – podľa druhu technologickej operácie sa líši celková konštrukcia nástroja, avšak konštrukcia rezného klina je v princípe rovnaká [1, 5, 8, 9]. Rezný klin je možné nastaviť voči obrobku dvoma spôsobmi – podľa nastavenia čelom nástroja je buď vonkajšia kužeľová plocha (obr. 3a), alebo vnútorná kužeľová plocha (obr. 3b) [1, 9]. V tomto experimente bol nástroj nastavený v súlade s obr. 3b.

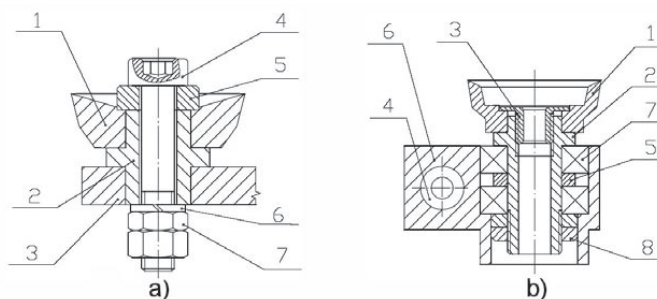


Obr. 3 a,b Možnosti nastavenia reznej, rotujúcej časti voči obrobku [1, 9]

1.1 Konštrukcia nástroja

Existuje celý rad konštrukčných riešení uloženia rotujúceho rezného klina v jeho lôžku. Na nasledujúcich obrázkoch sú niektoré z nich.

Wozniak [11] použil klzné ložisko pripevnené k držiaku pomocou skrutky. Podložka (obr. 4a, poz. 5) vymedzuje vôľu a axiálne posunutie reznej platničky a súčasne upevňuje držiak platničky k držiaku noža. Autor použil rezné platničky s uhlami chrbta, resp. čela $\alpha = 8^\circ$, resp. $\gamma = 25^\circ$ a $\alpha = 10^\circ$, resp. $\gamma = 20^\circ$. Konštrukcia nástroja je na obr. 4a, kde: 1 – rezná platnička, 2 – klzné ložisko, 3 – držiak noža, 4 – skrutka, 5 – vymedzovacia podložka, 6 – pružná podložka, 7 – matica.



Obr. 4 a,b Konštrukčné riešenie otáčania reznej časti noža [11, 6]

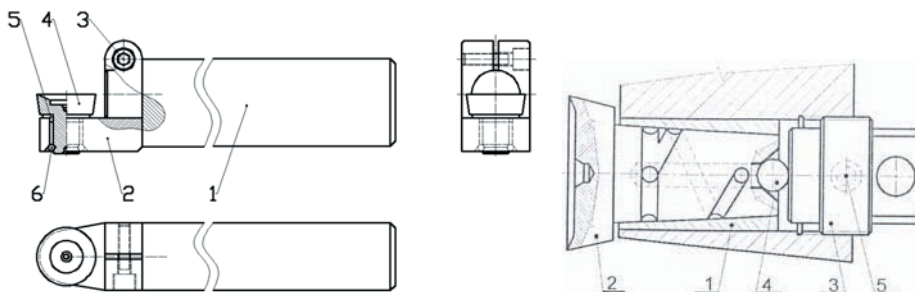
Latoš [7] zvolil uloženie upínacieho čapu reznej platničky v ložiskách. Upínací čap je dutý, na konci je pripojený nástavec odsávacieho zariadenia. Autor odporúča tento typ

noža na hrubovacie i dokončovacie práce. V záveroch uvádza malú účinnosť odsávania (cca 5%) limitovanú veľkosťou stredového otvoru a rýchlosťou prúdenia vzduchu. Odporúča otvor s priemerom 10mm, avšak zväčšené rozmery znižujú využitie nástroja pri sústružení členitejších povrchov. Napriek tomu, že cez otvor je odsávané malé množstvo triesok a prachu, odsávaná je najjemnejšia a zdraviu najviac škodlivá prašná frakcia. Toto konštrukčné riešenie je na obr. 4b, kde: 1 – rezná platnička, 2 – čap, 3 – matica, 4 – skrutka, 5 – vymedzovací krúžok, 6 – kolíska, 7 – radiálne guľôčkové ložisko, 8 – KM matica.

Zwolak [12] uložil rotujúcu platničku do jednoduchého klzného ložiska a poistil proti posuvu v axiálnom smere poistným krúžkom. Nevýhodou je komplikované dodržanie vôle v uložení.

- a) Nástroj s autorotujúcou reznou platničkou podľa Zwolaka
 1 – držiak noža, 2 – kolíska, 3 – skrutka,
 4 – rezná platnička, 5 – klzné ložisko,
 6 – poistný krúžok

- b) Autorotujúca rezná platnička podľa Pilca a Mičietovej
 1 – púzdro, 2 – rezná platnička,
 3 – nastavovacia skrutka,
 4 – guľčička, 5 – poistná skrutka



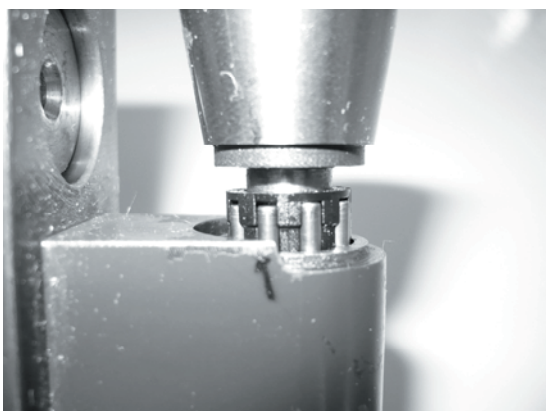
Obr. 5 a, b Konštrukčné riešenie otáčania reznej časti noža [11, 8]

Mazurkin, P.M. a kol. [8] majú svoje vlastné konštrukčné riešenie, tak isto ako aj napríklad Pilc, J. & Mičietová, A. [9], Vasilko, K., avšak je možný celý rad iných riešení.

Vo všeobecnosti však možno povedať, že na nástroj sú kladené nasledujúce požiadavky:

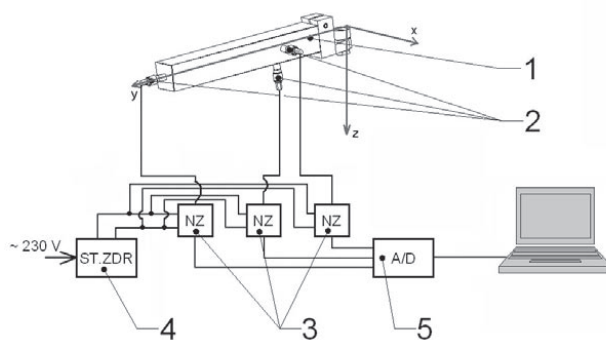
- vysoká tuhosť držiaka nástroja,
- vysoká presnosť chodu rezného klina t.j. minimálne axiálne a radiálne vôle,
- jednoduchosť konštrukcie,
- jednoduchá možnosť výmeny rezného klina,
- vysoká spoľahlivosť otáčania rezného klina v uložení.

V našom riešení sme klzné uloženie s mazaním, ktoré používa napríklad [9] vylúčili po prvých experimentoch, kedy zmes pilín a oleja spôsobovala problémy s otáčaním. Zvolili sme uloženie otáčajúcej sa časti v klietke ihlových valivých teliesok s podoprením pomocou guľôčky.



Obr. 6 Nástroj s autorotujúcou reznou platničkou a ložiskovou klieťkou (konštrukcia autorov príspevku)

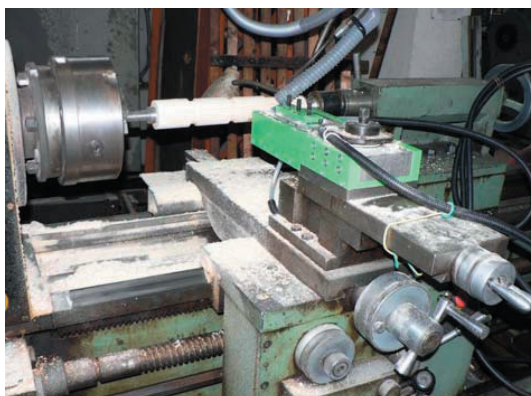
Meranie zložiek rezných síl sa uskutočnilo pomocou dynamometra vlastnej konštrukcie, v ktorom boli zabudované piezoelektrické snímače KISTLER 9243A, s nábojovými zosilňovačmi PROMETEC a signál bol konvertovaný A/D prevodníkom PCI-1716-A vrátane Terminal Wiring Board PCLD-8710-A (PC-LabCard Advantech) a spracovávaný v programe LabView. Celkové zapojenie je na obr. 7, kde: 1 – sústružnícky nôž, 2 – axiálny piezoelektrický snímač, 3 – nábojový zosilňovač, 4 – zdroj stabilizovaného napätia, 5 – A/D prevodník.



Obr. 7 Zapojenie meracej aparatúry a orientácia súradnicového systému

2 EXPERIMENT A VÝSLEDKY

Experimentálne práce sa uskutočňujú na sústruhu CU 580M (výrobca Bulharsko –1988) dostupnom v dielňach Technickej univerzity. Technické parametre stroja determinujú podmienky pri obrábaní, predovšetkým otáčky obrobku (t.j. reznú rýchlosť) a posuv na otáčku.



Obr. 8 Experimentálne práce – stroj, dynamometer s upnutým nástrojom, obrobok

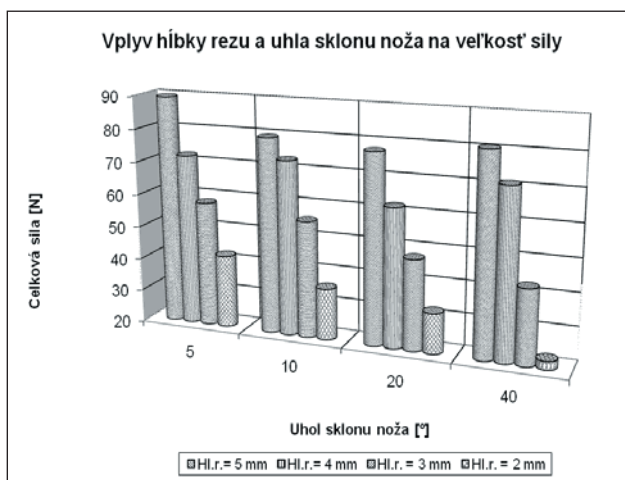
Konštantnými parametrami počas experimentu boli:

- dreviný: smrek a buk,
- vlhkosť: 12 %,
- autorotujúci nástroj.

Premenlivými parametrami v opísanom experimente boli zvolené:

- rezná rýchlosť: $257 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $206 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $172 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, $132 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,
- posuv na otáčku: 0,05 mm, 0,1 mm, 0,2 mm, 0,4 mm,
- uhol natočenia noža: 5° , 10° , 20° , 40° ,
- hĺbka rezu: 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm.

V grafe, na obr. 9 sú uvedené výsledky z obrábania smreka reznou rýchlosťou $257 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, posuve na otáčku 0,2 mm a hĺbke rezu 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm a uhle natočenia noža 5° , 10° , 20° , 40° .



Obr. 9 Závislosť celkovej sily od hĺbky rezu a uhla sklonu osi noža

Zobrazená je celková sila, t.j. výslednica zložiek síl F_f – sily posuvu (v smere osi x), F_p – pasívnej sily (v smere osi y) a F_c – reznej sily (v smere osi z).

Vplyv hĺbky rezu na F_c je evidentný; so znižujúcou sa hĺbkou rezu sila F_c klesá vo všetkých prípadoch experimentu (t.j. pri všetkých hodnotách uhla sklonu noža) a súčasne vo všetkých prípadoch je táto zložka najväčšia v porovnaní so zložkami F_f a F_p . Iná situácia je so zložkami F_f a F_p .

3 ZÁVER

Rezné nástroje s autorotáciou reznej platničky sú vhodné nielen na obrábanie masívneho dreva, ale aj iných materiálov na báze dreva. Vhodným nastavením rezného klina voči obrobku sa dá dosiahnuť vysoká kvalita povrchu obrobku a predĺžiť trvanlivosť rezného klina. Dynamometer, navrhnutý a vyrobený na Katedre drevárskych strojov a zariadení Technickej univerzity vo Zvolene bol úspešne overený v praxi. Konštrukčné riešenie je dostatočne tuhé, citlivosť snímačov je vyhovujúca aj na zachytenie dejov trvajúcich len veľmi krátky čas. Dynamometer je používaný na riešenie grantového projektu VEGA 1/0751/08

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.

LITERATÚRA

- [1] ARMAREGO, E. J. A. – KARRI, V. – SMITH, A. J. R. 1, M.: Fundamental studies of driven and self-propelled rotary tool cutting processes – I. Theoretical investigation. *Int.J. Mach. Tools Manufact.* Vol. 34. No. 6, pp. 785–801, 1984
- [2] BERŠADSKIJ L. A.: Obrábanie drevesiny, Godles Bysdat., Moskva, 1956
- [3] GRZESIK, W.: Toczenie powierzchni walcowych narzedziami jednokrawedziowymi z krzywoliniowa krawedzia skrawajaca. *Mechanik* No. 8, 411–414, 1984
- [4] HRIC, J.: Analýza špeciálnych metód sústruženia dreva a materiálov na báze dreva. Rukopis dizertačnej práce. Zvolen, 2008
- [5] JAVOREK, E. – HRIC, J.: Obrábka drewna narzedziami z obracającą sie krawędzią skrawającą. In.: Stós, J. Obrábka skrawaniem. Inowacje. Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania. Kraków. 402–407, 2008
- [6] JAVOREK, E. – HRIC, J.: Non traditional turning technique – turning with self-propelled rotary tool. In.: *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forestry and Wood Technology* No 65, 144–149, 2008
- [7] LATOŚ, M.: Konstrukcja noza krażkowego samoobrotowego z osiowym odprowadzaniem wiórow, *Diplomová práca*, Poznań, Polsko, s. 49, 2002
- [8] MAZURKIN, P. M. – VOŽEGOV, V. I. – KUNOV, A. N.: Izučenie točenia drevesiny kruhlymi rezcami, *Izvestija vysšich učebnych zavedenij, Lesnoj žurnal* č. 5., 57–61, 1980
- [9] PILC, J. – MIČIETOVÁ, A.: Obrábanie kovov autorotujúcimi nástrojmi, *Žilina*, 9–14, 2003
- [10] WIELOCH, G. – OSAJDA, M.: Kształt wiórow powstających przy toczeniu z drewna nożem samoobrotowym. *Proc. of conference WOOD – MACHINE – TOOL – WORKPIECE*. Poznań – Będlewo, Polsko, Agricultural University of Poznań, 78–79, 2007

- [11] WOŹNIAK, K.: Toczenie drewna nozami grzybkowymi, Proc. of 2nd Konferencja Naukowo – Techniczna „Obrobka materialow niemetalowych“, Rzeszów, Polsko, 177–194, 1976
- [12] ZWOLAK, J.: Nowy typ narzedzia do toczenia drewna, Przemysl Drzewny 41 (11), 26–27, 1990

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Lubomír 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