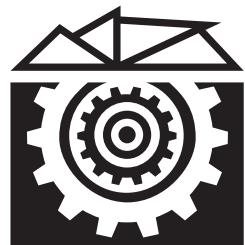


A F T
ACTA
FACULTATIS
TECHNICAES



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

1

ROČNÍK: XV

ZVOLEN 2010

OBSAH

VEDECKÉ ČLÁNKY

ANALÝZA TEPELNÝCH ÚČINNOSTÍ A ZTRÁT MALÝCH SPALOVACÍCH ZAŘÍZENÍ URČENÝCH PRO PEVNOU BIOMASU

ANALYSIS OF HEAT EFFICIENCY AND LOSSES OF SMALL COMBUSTION UNITS
INTENDED FOR SOLID BIOMASS 7
Jan Maťášák, Marian Kučera, Michal Hruška, Petr Vaculík

VYBRANÉ PARAMETRY TECHNOLOGIE KOMPOSTOVÁNÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH ODPADŮ POMOCÍ TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍCH PÁSOVÝCH HROMAD

SELECTED PARAMETERS OF BIOLOGICALLY DEGRADABLE WASTE
COMPOSTING USING TECHNOLOGY OF TRAPEZOIDAL COMPOSTING PILES 23
Marek Livora, Petr Vaculík, Jan Maťášák, Miroslav Přikryl, Marián Kučera

VPLYV ROZLÍŠENIA NA PRESNOSŤ REGISTRÁCIE OBRAZOV ODTLAČKOV PRSTOV

INFLUENCE OF RESOLUTION TO FINGERPRINT IMAGES REGISTRATION
ACCURACY 35
Tibor Csengrády

VYHODNOTENIE TEPLOTNÝCH POLÍ A MIRKOSKOPICKÝCH ŠTRUKTÚR ZVAROVÝCH SPOJOV

EVALUATION OF TEMPERATURE FIELDS AND MICROSCOPIC STRUCTURES IN
WELDED JOINTS 47
Imrich Andrejčák, Michal Muránsky, Milan Kokavec

VPLYV NEVYVÁŽENOSTI NÁSTROJA A NÁSTROJOVÉHO DRŽIKA NA VÝSLEDNÚ PRESNOSŤ VÝROBKU PO ČELNOM FRÉZOVAANI

THE INFLUENCE OF TOOL&TOOLHOLDER ASSEMBLY UNBALANCE ON PART
ACCURACY AFTER FACE MILLING 55
Júlia Mečiarová

VPLYV POLOHY KOMPENZAČNÝCH DRÁŽOK, MEDENÝCH NITOV V TELE PIĽOVÉHO KOTÚČA A NEROVNOMERNÉHO ROZSTUPU ZUBOV NA HLADINU HLUKU KOTÚČOVÝCH PÍL V PROCESSE REZANIA

THE EFFECT OF THE SHAPE OF THE COMPENSATING SLOTS, THE COPPER
CORKS IN THE BODY OF A CIRCULAR SAW BLADE AND THE UNBALANCED PITCH
OF SEVERAL TEETH ON NOISE LEVEL OF A CIRCULAR SAWS IN THE CUTTING
PROCESS 65
Ján Svoreň, Lukáš Murín, Mária Krajčovičová

ZÁVITOVKOVÝ BRIKETOVACÍ LIS

SCREW BRIQUETTING PRESS 75
Milan Banský

ANALYSIS OF BIODEGRADABLE OIL ON SYNTHETIC BASIS IN A VARIABLE DISPLACEMENT AXIAL PISTON PUMP OF SWASH PLATE ANALÝZA BIOLOGICKY ROZLOŽITEĽNÉHO OLEJA NA SYNTETICKEJ BÁZE V REGULAČNOM

AXIÁLNOM PIESTOVOM HYDROGENERÁTORE 81
Marián Kučera, Zdenko Tkáč

SPRACOVANIE OBRAZOV ZOSNÍMANÝCH KAMEROU DALSA SPYDER 3 PROCESSING PICTURES-SAMPLING BY CAMERA DALSA SPYDER 3	89
Pavol Koleda, Ľubomír Naščák	
PODOBNOSŤ SIMULAČNÝCH MODELOV ABSORPČNEJ CHLADIACEJ JEDNOTKY A PELTIEROVHO MODULU SIMILARITY OF SIMULATION MODELS OF ABSORPTION COOLING UNIT AND PELTIER MODULE	95
Vladimír Kocúr, Jozef Šuriansky	
MODELOVANIE PREDMETU PRÁCE PRE VÝROBNÉ SYSTÉMY V LESNÍCTVE MODELING OF WORK SUBJECT FOR PRODUCTION SYSTEMS IN THE FORESTRY	107
Juraj Mikleš	
VPLYV SPEKTRA SVETELNÉHO ZDROJA NA DIGITÁLNY OBRAZ TEXTÚRY DREVA INFLUENCE OF LIGHT SOURCE SPECTRE ON DIGITAL IMAGE OF WOOD TEXTURE.....	113
Jozef Šuriansky, Mária Hrčková	

REFERÁTY

VÝSKUM GEOMETRIE BEZTRIESKOVÉHO REZNÉHO NÁSTROJA HARVESTOROVEJ HLAVICE PRE VÝCHOVNÉ ZÁSAHY THE RESEARCH OF THE CHIPLESS CUTTING TOOL GEOMETRY OF A HARVESTER HEAD FOR IMPROVEMENT CUTTING	125
Ján Marko – Lucia Dobrotová	

VEDECKÉ ČLÁNKY

ANALÝZA TEPELNÝCH ÚČINNOSTÍ A ZTRÁT MALÝCH SPALOVACÍCH ZAŘÍZENÍ URČENÝCH PRO PEVNOU BIOMASU

ANALYSIS OF HEAT EFFICIENCY AND LOSSES OF SMALL COMBUSTION UNITS INTENDED FOR SOLID BIOMASS

Jan MALAŤÁK – Marian KUČERA – Michal HRUŠKA – Petr VACULÍK

ABSTRACT: Aim of this article is to determine the heat efficiency of combustion and loss of selected devices for burning solid biomass. The measurement is therefore based on analysis of fuel samples and analysis of thermal-emission measurements. Totaly, there were analyzed four samples of fuel in the form of pellets and briquettes, burned four incineration plants. To determine the thermal efficiency and heat loss calculations are used “Warm water and low-pressure steam boilers” according to CSN 07 0240, which are accompanied by stoichiometric calculations and emission measurements, depending on air surplus coefficient. The most important values that are mostly involved in the course of combustion, the air-fuel ratio, exhaust gas temperature and carbon monoxide and dioxide. These values then affect the thermal efficiency and the loss of assessed samples fuels and combustion equipment. The most substantial effect on the performance of combustion equipment are primarily losses leaving in warm combustion gas and losses due to fluent half-burned end. The greatest losses leaving in warm combustion gas has been achieved for the incinerator with the lower and gravity attaching up over 20 %. In summary, however, we can say that there was a big difference by type of fuel with respect to the perceived losses leaving in warm combustion gas to various combustion facilities under consideration. Measurement is further demonstrated the impact of different chemical composition of fuel samples under consideration, namely losses due to fluent half-burned end, especially where there was a lack of fire-through combustion in the incinerator. The measurement results are visible in the most of cases considered in combustion plants occur after exceeding the optimum air surplus coefficient to a large increase losses due to fluent half-burned end. This state of the environment is not ideal and should be the combustion of biomass for individual combustion facilities to monitor not only the excess air surplus coefficient, but the concentration of carbon monoxide in the flue gas.

Key words: biomass, combustion equipment, chemical analysis, stoichiometric analysis, efficiency of combustion equipment, heat losses

ABSTRAKT: Cílem článku je stanovit tepelné účinnosti a tepelné ztráty vybraných spalovacích zařízení určených pro spalování pevné biomasy. Měření proto vychází z rozborů vzorků paliv a analýzy tepelně-emisního měření. Celkem jsou analyzovány čtyři vzorky paliv ve formě pelet a briket,

spalované ve čtyřech spalovacích zařízeních. Pro stanovení tepelných účinností a tepelných ztrát jsou použity výpočty podle ČSN 07 0240 „Teplovodní a nízkotlaké parní kotle“, které jsou doplněny stechiometrickými výpočty a emisními měřeními v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu. Nejvýznamnější naměřené hodnoty, které se nejvíce podílejí na průběhu spalování, jsou součinitel přebytku vzduchu, teplota spalin a emise oxidů uhelnatého a uhličitého. Tyto hodnoty pak následovně ovlivňují tepelné účnosti a ztráty posuzovaných vzorků paliv a spalovacích zařízení. Nejzásadnější vliv na výkonnost posuzovaných spalovacích zařízení má především ztráta citelným teplem spalin a ztráta plynným nedopalem. Největších ztrát citelným teplem spalin bylo dosaženo na spalovacím zařízení se spodním a samospádným přikládáním a to přes 20%. Souhrnně však lze říci, že se neprojevil velký rozdíl podle druhu paliva s ohledem na ztráty citelným teplem na jednotlivých posuzovaných spalovacích zařízeních. Měřením se dále prokázal vliv různého chemického složení posuzovaných vzorků paliv, a to především ve ztrátě plynným nedopalem, kde docházelo především k nedostatečnému prohoření spalin ve spalovacím zařízení. Z výsledků měření je patrné, že ve většině případů na posuzovaných spalovacích zařízení dochází po překročení optimálního součinitele přebytku vzduchu k velkému nárůstu ztráty plynným nedopalem. Tento stav pro životní prostředí není ideální a proto by se mělo pro spalování biomasy na jednotlivých spalovacích zařízeních sledovat nejen překročení součinitele přebytku vzduchu, ale i koncentrace oxidu uhelnatého ve spalinách.

Klíčová slova: biomasa, spalovací zařízení, chemická analýza, stechiometrická analýza, účinnost spalovacího zařízení, tepelné ztráty

ÚVOD

Zásobování palivy a obecně všemi energiemi je závažný problém, který znepokojuje celou společnost na různých úrovních řízení a který je umocňován dosavadními trendy světového populačního růstu, rostoucí spotřebou energií, rychlým poklesem zásob fosilních paliv, zdánlivě pomalým technickým pokrokem v objevování nových zejména obnovitelných zdrojů energie a negativními dopady na životní prostředí (1).

Má-li se o biomase rozhodnout, zda je vhodná pro spálení v určitém typu spalovacího zařízení, nebo má-li se posoudit jakost biopaliv z fytoplasy s ohledem na jejich využití, je zapotřebí znát vlastnosti těchto biopaliv, které je dostatečně charakterizují. Z energetického hlediska je při posuzování jakéhokoli paliva zásadní prvková a stechiometrická analýza. Stechiometrické výpočty spalovacích procesů doplňují charakteristiky paliva a jsou základem pro každý tepelný výpočet. Jsou důležité zejména pro řešení celé řady problémů návrhové praxe, stejně jako pro kontrolu práce stávajících spalovacích zařízení (2).

Z výše uvedeného vyplývají i požadavky na kvalitu paliv z biomasy. Vysoká kvalita peletek vyrobených z biomasy je požadovaná především pro spalování v malých spalovacích zařízeních. Pro větší spalovací zařízení, která jsou vybavena čištěním spalin plynu a procesem řízeným spalováním, není kvalita paliva tak rozhodující. Z těchto důvodů je proto významné rozlišovat dva typy peletkových paliv, a to pro průmyslová a nebo pro malá domácí spalovací zařízení (3).

Stanovení účinností spalovacího zařízení je základ pro účinné využití jak samotného spalovacího zařízení, tak použitého biopaliva. Účinnost spalovacího zařízení se určuje jednak přímým způsobem (metodou) a nepřímým způsobem (metodou). Účinnost

spalovacího zařízení přímým způsobem se zjišťuje přímo změřením tepla přivedeného do ohniště v palivu, popřípadě spalovacím vzduchem, a tepla využitého v odvedené horké vodě. Účinnost spalovacího zařízení nepřímým způsobem se stanoví tak, že od celkového tepla přivedeného do ohniště v palivu, popřípadě v ohřátém vzduchu, odečteme všechny tepelné ztráty. Příčinou nižší účinnosti přímou metodou může být několik faktorů, např. znečištěné výměníkové plochy, nepřesný odečet vody apod. A příčinou nižší účinnosti nepřímou metodou může být hned několik faktorů, např. vysoká teplota spalin a emise nespálených plynných hořlavin (4 a 5).

Vedle takto stanovených tepelných výkonů a účinností je důležité znát tepelné ztráty. Nejvýznamnější tepelnou ztrátou spalovacího zařízení je ztráta citelným teplem plynných spalin odcházejících do komína, tj. ztráta komínová K této ztrátě dochází především proto, že nelze z technických důvodů ochladit spalinu na teplotu okolí. Je to omezeno jednak rosným bodem spalin, jednak velikostí dodatkových výhrevních ploch. Při nízkých teplotách spalin by vycházely dodatkové výhrevní plochy neúměrně velké a tedy i nákladné. Velikost této ztráty ovlivňuje řada činitelů, jako je nedokonalý spalovací proces, vyznačující se velkým přebytkem vzduchu, nedokonalá výměna tepla způsobená například znečištěním výhrevních ploch, která zvyšuje teplotu spalin odcházejících do komína apod. (4 a 5).

Mezi podstatné faktory, které určují kvalitu spalování příslušného spalovacího zařízení, patří ztráta plynným nedopalem. Ztráta plynným nedopalem je zaviněna především nespálením hořlavých složek ve spalinách odcházejících ze spalovacího prostoru. Tato ztráta vzniká při nedokonalém spálení paliva, které je podmíněno nedostatkem vzduchu nebo nedokonalým promísením spalovacího vzduchu s palivem či hořlavým prostředím v ohništi (4 a 5).

Ztráta mechanickým nedopalem v tuhých zbytcích je způsobena nedokonale vypáleným palivem a zbytkovou hořlavinou ve škváře, propadu popelu, popílku a úletu. Poměrná ztráta sdílením tepla do okolí se stanovuje na základě zjištěných průměrných teplot dílčích ploch vnějšího povrchu spalovacího zařízení (4 a 5).

Předkládaný článek vychází především z prvkové a stechiometrické analýzy použitých vzorků biopaliv a tepelně-emisního měření spalovacích zařízení. Výsledné hodnoty analýz a měření jsou dosazeny do rovnic pro určení tepelných účinností a ztrát spalovacích zařízení. Cílem tohoto článku není jen porovnat jednotlivé vybrané typy spalovacích zařízení podle použité biomasy, ale optimalizovat spalovací pochody, a to především v optimálním nastavení množství spalovacího vzduchu a tím i zvýšením tepelných účinností a snížením tepelných ztrát a emisí jednotlivých spalovacích zařízení.

MATERIÁL A METODIKA

Pro stanovení tepelných účinností a ztrát jsou vybrána čtyři reprezentativní spalovací zařízení do tepelného výkonu 25 kW. Na vybraných zařízeních je zpracováno celkem osm měření pro čtyři vzorky biopaliv. Vzorky ve formě pelety a brikety jsou složeny z dřevní hmoty (lesní štěpka – smrk) a z rostlinné biomasy (energetický štěpovík). Tyto vzorky jsou postupně spalovány ve čtyřech vybraných spalovacích zařízeních. Spalovací zařízení jsou určené především pro spalování biomasy a fungují na různých principech:

- retortového přikládání – spodní přikládání, kdy jsou pelety šnekovým podavačem tlačeny přes retortu (koleno) do spalovacího prostoru,
- samospádného přikládání – pelety jsou ze zásobníku šnekovým podavačem vytlačeny nad rošt, kam poté přepadávají,
- zplyňování – spalovací zařízení na dřevní polena a brikety,
- hořákového topeníště – hořák s vlastním podavačem, ventilátorem spalovacího vzduchu – podávání pelet do hořáku samospádem.

Samotné stanovení tepelných účinností a ztrát vychází z určení stechiometrie použitých vzorků paliv. Metodika stanovení stochiometrické analýzy je popisována autory tohoto článku např. ve vědecké monografii „Biomasa pro výrobu energie“ (Malačák, Vaculík; 2008). U vzorků byl zejména stanoven prvkový rozbor s ohledem na základní parametry paliv, viz. tab. 1. Především byl sledován: obsah vody (% hm.), popel (% hm.), hořlavina prchavá (% hm.), hořlavina neprchavá (% hm.), spalné teplo ($MJ \cdot kg^{-1}$), uhlík C (% hm.), vodík H (% hm.), dusík N (% hm.), síra S (% hm.), kyslík O (% hm.) a chlór Cl (% hm.). Prvkové rozbyly byly vypracovány ve formě služeb akreditovanou laboratoří: Ústav pro výzkum a využití paliv – Praha Běchovice a VŠCHT v Praze – Ústav energetiky. Výsledné hodnoty prvkového rozboru vzorků jsou uvedeny v tab. 1. Pro určení stochiometrických a tepelných vlastností posuzovaných vzorků je prvková analýza nezbytnou součástí analýzy paliva (6).

Tab. 1 Chemická analýza původních vzorků

Vzorek	Obsah vody (% hm.)	Popel (% hm.)	Hořlavina prchavá (% hm.)	Hořlavina neprchavá (% hm.)	Spalné teplo ($MJ \cdot kg^{-1}$)	Výhřevnost ($MJ \cdot kg^{-1}$)	Uhlík C (% hm.)	Vodík H (% hm.)	Dusík N (% hm.)	Síra S (% hm.)	Kyslík O (% hm.)	Chlór Cl (% hm.)
Značka	W _t ^r	A ^r	V ^r	(NV) ^r	Q _s ^d	Q _i ^r	C _t ^r	H _t ^r	N _t ^r	S _t ^r	O _t ^r	Cl _t ^r
Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm)	6,79	3,02	75,55	14,64	18,74	17,18	47,37	6,40	0,19	0,01	36,20	0,04
Lesní štěpka – smrk brikety (Ø 65 mm)	8,45	0,35	78,76	12,44	18,96	17,83	47,53	4,23	0,26	0,03	39,13	0,02
Energetický šťovík – pelety (Ø 11 mm)	7,95	4,45	70,07	17,53	16,54	15,16	42,7	5,42	1,65	0,11	37,61	0,11
Energetický šťovík – brikety (Ø 88 mm)	3,89	6,54	71,45	18,67	18,33	17,07	47,01	5,34	0,9	0,12	36,2	–

Na chemické vlastnosti navazuje stochiometrická analýza spalovacích procesů, která doplňuje charakteristiky paliva a je základem pro jakýkoliv tepelný výpočet. Tato analýza je důležitá zejména pro řešení celé řady problémů návrhové praxe, stejně jako při kontrole práce stávajících spalovacích zařízení, viz. tab. 2. Tato analýza stanoví:

- výhřevnost vzorku Q_i ($\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$);
- množství kyslíku (vzduchu) potřebného k dokonalému spalování vzorku ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$), ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$);
- množství a složení spalin ($\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}$), ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$);
- měrnou hmotnost spalin (% hm., % ob.).

Tab. 2 Stechiometrická analýza původních vzorků za normálních podmínek, referenčního obsahu kyslíku ve spalinách $O_r = 11\%$ a součinitele přebytku vzduchu $n = 2,1$

Značka	Objemové spalování	Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm)	Lesní štěpka – smrk brikety (Ø 65 mm)	Energetický šťovík – pelety (Ø 11 mm)	Energetický šťovík – brikety (Ø 88 mm)
O_{min}	Teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	0,99	0,85	0,83	0,92
L_{min}	Teoretické množství vzduchu pro dokonalé spalování ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	4,69	4,04	3,97	4,38
L_{skut}	Skutečné množství vzduchu pro dokonalé spalování ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	9,85	8,47	8,35	9,20
v_{sp}^v	Objemové množství vlhkých spalin ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	10,94	9,42	9,35	10,17
v_{sp}^s	Objemové množství suchých spalin ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	9,75	8,51	8,32	9,16
v_{spmin}^s	Teoretické objemové množství suchých spalin ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	4,54	4,03	3,91	4,30
v_{CO_2}	Objemové množství CO_2 ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	0,88	0,88	0,79	0,87
v_{SO_2}	Objemové množství SO_2 ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	0,00	0,00	0,00	0,00
v_{H_2O}	Objemové množství H_2O ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	1,19	0,91	1,04	1,01
v_{N_2}	Objemové množství N_2 ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	7,69	6,62	6,53	7,19
v_{O_2}	Objemové množství O_2 ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)	1,08	0,93	0,92	1,01
CO_{2max}	Teoretická objemová koncentrace oxidu uhličitého v suchých spalinách (% obj.)	19,34	21,85	20,26	20,27
CO_2	Oxid uhličitý (% obj.)	8,06	9,38	8,49	8,59
SO_2	Oxid siřičitý (% obj.)	0,00	0,00	0,01	0,01
H_2O	Voda (% obj.)	10,88	9,70	11,07	9,93
N_2	Dusík (% obj.)	70,32	70,20	69,79	70,68

Pro stanovení hmotnostních toků a emisních faktorů spalovacích zařízení je použit přístroj GA-60. Přístroj GA-60 je víceúčelový analyzátor kouřových plynů. Jeho princip je založen na využití elektrochemických převodníků. Přístroj GA-60 má standardně pět převodníků s možností zabudovat šestý převodník. Standardní vybavení představuje

převodníky na analýzu těchto složek spalin: kyslík (O_2), oxid uhelnatý (CO), oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO_2), oxid siřičitý (SO_2) a chlorovodík (HCl).

Pro určení tepelných účinností a tepelných ztrát jsou použity výpočty podle ČSN 07 0240 „Teplovodní a nízkotlaké parní kotle“ (7), které jsou doplněny stochiometrickými výpočty. Na základě výsledných parametrů paliv a emisních koncentrací a dalších tepelných parametrů jsou určeny průběhy tepelných výkonů, účinností a tepelných ztrát spalovacích zařízení. Pro určení úplného průběhu spalování v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu jsou použité výsledné regresní rovnice z tepelně-emisního měření, které co nejpřesněji popisují tepelně-emisní vztahy v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu. Z takto naměřených hodnot a teoretických výpočtů se stanoví charakteristiky tepelných účinností a ztrát v závislosti na množství přívaděného vzduchu nebo součiniteli přebytku vzduchu.

Tepelný výkon spalovacího zařízení přímou metodou se určil zkratovým zařízením podle ČSN 07 0240 (7). Vstup a výstup spalovacího zařízení je zkratově propojen izolovaným spojovacím potrubím, do něhož je zapojeno čerpadlo a regulační ventil. Za regulačním ventilem se do spojovacího potrubí přivádí studená voda o konstantním tlaku a teplotě z vodovodní sítě přes regulační ventil. Voda ze zařízení vytéká přes otevřenou vyrovnávací nádrž a chladič. Rozdíl mezi vstupní a výstupní teplotou se nastaví regulačním ventilem. Zjišťuje se hmotnostní průtok vody a vstupní a výstupní teplota přiváděné a ohřívané vody.

VÝSLEDNÉ HODNOTY

Z výsledků prvkových rozborů na vybraných vzorcích paliv je nejvíce určující z hlediska emisních koncentrací množství síry, chlóru a dusíku. U biopaliv je patrný vysoký nárůst emisí dusíku, neboť samotné energetické rostliny vykazují vyšší hodnoty dusíku v palivu oproti fosilním palivům. Zejména zvýšený obsah tohoto prvku omezuje využití těchto paliv. U posuzovaných vzorků dosahovaly velkých koncentrací dusíku pelety a brikyty vyrobené z energetického šťovíku.

Nejvíce určující pro termické použití paliv je obsah vody a popele (6). Rozsah veškeré vody obsažené ve vzorcích je dost nízký, což má pozitivní přínos na výhřevnost paliva. Obsah popele ve vzorcích je rovněž nízký, jak je vidět z prvkových rozborů vybraných vzorků. Množství vody a popele významně ovlivňuje tepelné vlastnosti posuzovaných vzorků a následně ovlivňuje jak výběr, tak i nastavení spalovacího zařízení. Větší množství popele, jak vyplývá z výsledků, má rostlinná biomasa oproti hmotě dřevní, což může vyvolat zvětšený požadavek na odvod tuhých zbytků po spalování a zvýšené množství tuhých emisí.

U dřevní hmoty se koncentrace chlóru pohybuje na velmi nízké hladině, oproti biomase rostlinné. Význam chlóru spočívá na jedné straně v emisích HCl – jejich možného vlivu na tvorbu polychlorovaných dibenzo/dioxinů a furanů (PCDD/F) a také na druhé straně v korozivních účincích těchto elementů, případě jejich dalších sloučenin.

Síra odchází rovněž z větší části během spalování do plynné fáze jako SO_2 nebo SO_3 . Emise síry u tepelných zařízení na využití pevných paliv z obnovitelných zdrojů nepředstavují, co se týče limitních hodnot, zpravidla žádný problém (6), což potvrzují

vybrané vzorky. Rozhodujícím faktorem koncentrace síry v palivu může být její korozivní chování.

Výsledné hodnoty ze stochiometrické analýzy ukazují na velmi dobré tepelně – emisní parametry posuzovaných vzorků. Jak vyplývá ze stochiometrie posuzovaných paliv, parametry výhřevnosti, obsahu vody a hustoty energie ovlivňují výběr a návrh spalovacího zařízení. Koncentrace N (dusíku), S (síry) a Cl (chlóru) ve vzorcích, jak potvrzuje prováděné rozbory vzorků, je poměrně velmi široká.

Na spalovacích zařízeních jsou stanovené tepelné účinnosti a ztráty. V tab. 3 jsou uvedeny nejvýznamnější výsledné parametry tepelných účinností a ztrát při součiniteli přebytku vzduchu, který je roven 2,10. Tento součinitel přebytku vzduchu je zvolen podle referenčního obsahu kyslíku ve spalinách a jeho hodnota je 11 %. Zvolená hodnota referenčního kyslíku vzduchu je použita pro všechna měření.

Aby se docílilo porovnatelnosti všech měření, je požadovaná hodnota tepelného výkonu spalovacího zařízení rovna 20 kW a požadovaná hodnota účinnosti spalovacího zařízení je 90 %. Pro dosažení těchto hodnot tepelného výkonu je přizpůsoben hmotnostní tok použitých vzorků paliv do spalovacího prostoru podle jejich tepelných vlastností. Zvolený hmotnostní průtok paliva je u každého paliva jiný a v průběhu měření se udržuje na konstantních hodnotách a je uveden v tab. 3.

Tab. 3 Výsledné hodnoty tepelných účinností a ztrát

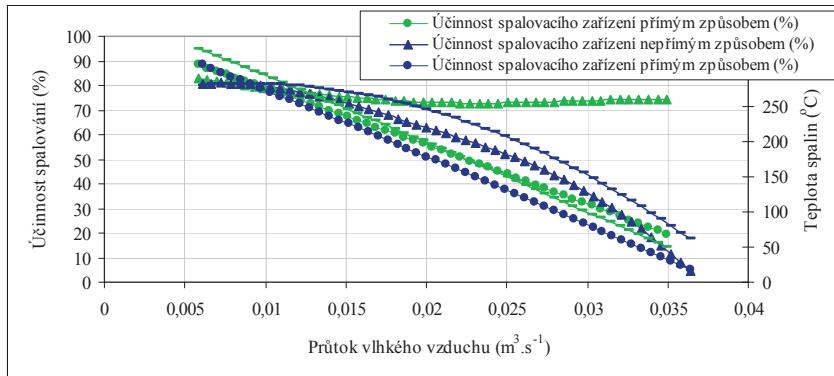
Značka	Stanovení tepelných účinností a ztrát	Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm)	Energetický šťovík – pelety (Ø 11 mm)	Jednotka
Spalovací zařízení se spodním přikládáním				
m_{pv}	Hmotnostní tok paliva přiváděného do spalovacího prostoru	0,0013	0,0015	kg.s^{-1}
P_p	Tepelný příkon kotle	21,67	21,68	kW
Q_{pv}	Teplo přiváděné palivem a spalovacím vzduchem	16751,48	14794,03	kJ.kg^{-1}
V_{vzv}	Průtok vlhkého spalovacího vzduchu	0,0127	0,0122	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$
P_k	Tepelný výkon kotle	15,34	16,01	kW
η_p	Účinnost kotle přímou metodou	70,79	73,86	%
η_n	Účinnost kotle nepřímou metodou	76,51	77,23	%
η_l	Poměrná ztráta citelným teplem spalin (komínová ztráta)	21,80	20,69	%
η_2	Poměrná ztráta plynným nedopalem	0,21	0,57	%
η_3	Poměrná ztráta mechanickým nedopalem	0,924	0,94	%
Spalovací zařízení se samospádným přikládáním				
m_{pv}	Hmotnostní tok paliva přiváděného do spalovacího prostoru	0,0013	0,0014	kg.s^{-1}
P_p	Tepelný příkon kotle	21,67	21,68	kW
Q_{pv}	Teplo přiváděné palivem a spalovacím vzduchem	16751,48	14794,03	kJ.kg^{-1}
V_{vzv}	Průtok vlhkého spalovacího vzduchu	0,014	0,014	$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$

Tab. 3 Výsledné hodnoty tepelných účinností a ztrát

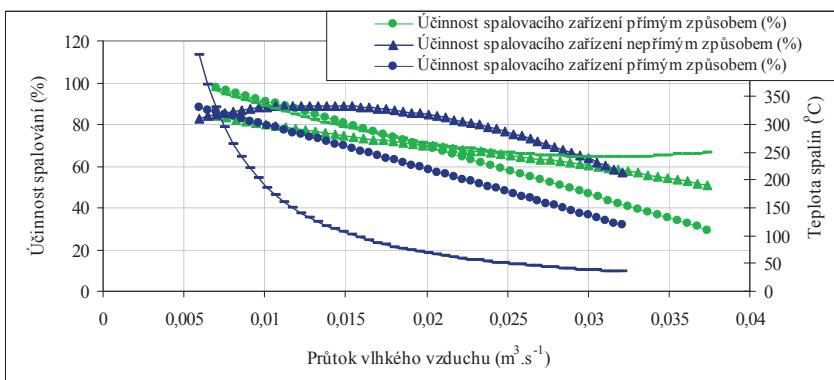
Značka	Stanovení tepelných účinností a ztrát	Lesní štěpka – smrk pelety (Ø 10 mm)	Energetický štovík – pelety (Ø 11 mm)	Jednotka
P _k	Tepelný výkon kotle	16,46	18,05	kW
η _p	Účinnost kotle přímou metodou	75,96	78,26	%
η _n	Účinnost kotle nepřímou metodou	77,05	75,87	%
η ₁	Poměrná ztráta citelným teplem spalin (komínová ztráta)	20,96	22,15	%
η ₂	Poměrná ztráta plynným nedopalem	0,5	0,48	%
η ₃	Poměrná ztráta mechanickým nedopalem	0,92	0,94	%
Zplyňovací spalovací zařízení				
m _{pv}	Hmotnostní tok paliva přiváděněho do spalovacího prostoru	0,0012	0,0013	kg.s ⁻¹
P _p	Tepelný příkon kotle	21,75	21,72	kW
Q _{pv}	Teplo přiváděné palivem a spalovacím vzduchem	17452,88	16480,88	kJ.kg ⁻¹
V _{vzv}	Průtok vlhkého spalovacího vzduchu	0,012	0,012	m ³ .s ⁻¹
P _k	Tepelný výkon kotle	16,57	16,57	kW
η _p	Účinnost kotle přímou metodou	76,20	76,30	%
η _n	Účinnost kotle nepřímou metodou	89,02	80,51	%
η ₁	Poměrná ztráta citelným teplem spalin (komínová ztráta)	9,10	16,49	%
η ₂	Poměrná ztráta plynným nedopalem	0,5	1,59	%
η ₃	Poměrná ztráta mechanickým nedopalem	0,89	0,92	%
Spalovací zařízení s hořákovým topeníštěm				
m _{pv}	Hmotnostní tok paliva přiváděněho do spalovacího prostoru	0,0013	0,0014	kg.s ⁻¹
P _p	Tepelný příkon kotle	21,67	21,68	kW
Q _{pv}	Teplo přiváděné palivem a spalovacím vzduchem	16751,48	14794,03	kJ.kg ⁻¹
V _{vzv}	Průtok vlhkého spalovacího vzduchu	0,014	0,014	m ³ .s ⁻¹
P _k	Tepelný výkon kotle	18,14	16,01	kW
η _p	Účinnost kotle přímou metodou	83,73	73,85	%
η _n	Účinnost kotle nepřímou metodou	84,10	84,23	%
η ₁	Poměrná ztráta citelným teplem spalin (komínová ztráta)	14,28	12,05	%
η ₂	Poměrná ztráta plynným nedopalem	0,17	2,25	%
η ₃	Poměrná ztráta mechanickým nedopalem	0,92	0,94	%

Pro posouzení kvality spalovacího procesu jsou sestaveny průběhy účinnosti spalovacího zařízení v závislosti na průtoku vlhkého spalovacího vzduchu, viz. obr. 1 až 4. V grafických závislostech je vyjádřena teplota spalin, její stanovená velikost má významný vliv na velikost účinností spalovacího zařízení.

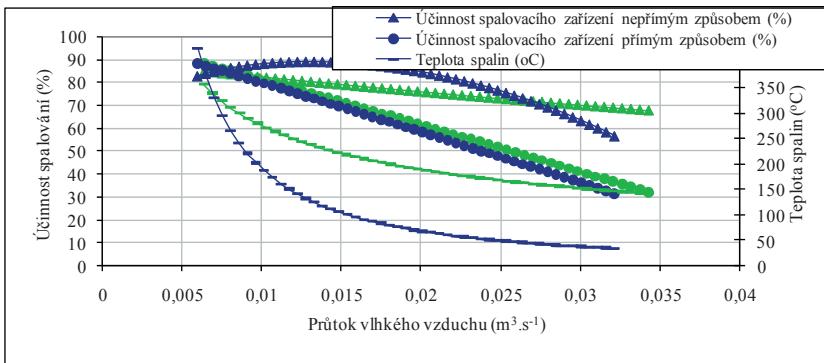
Účinnost spalovacího zařízení stanovená přímým způsobem má klesající průběh v závislosti na klesající vstupní a výstupní teplotě ohřáté vody. U účinnosti spalovacího zařízení nepřímou metodou není grafická závislost u všech vzorků paliv shodná. V této metodě především posuzujeme vlastní průběh a kvalitu spalování příslušného spalovacího zařízení. Nejvýznamnější naměřené hodnoty, které nejvíce ovlivňují průběh této účinnosti, jsou teplota spalin a emise oxidů uhelnatého a uhličitého. Tyto hodnoty pak celkově ovlivňují tepelné ztráty spalovacího zařízení. Průběh účinnosti spalovacího zařízení nepřímou metodou má u spalovaných vzorků paliv v oblastech nízkého součinitele přebytku vzduchu pozvolnou klesající tendenci. Vzorky paliv energetického šťovíku na spalovacím zařízení se spodním přívodem paliva vykazují odlišný průběh účinnosti spalovacího zařízení v oblastech vyššího průtoku vlhkého vzduchu, což můžeme přisuzovat nízkým emisím hořlavých složek spalin. Aby se dále prokázalo, co nejvíce ovlivňuje takto určenou účinnost spalovacího zařízení, musí se posoudit jednotlivé tepelné ztráty.



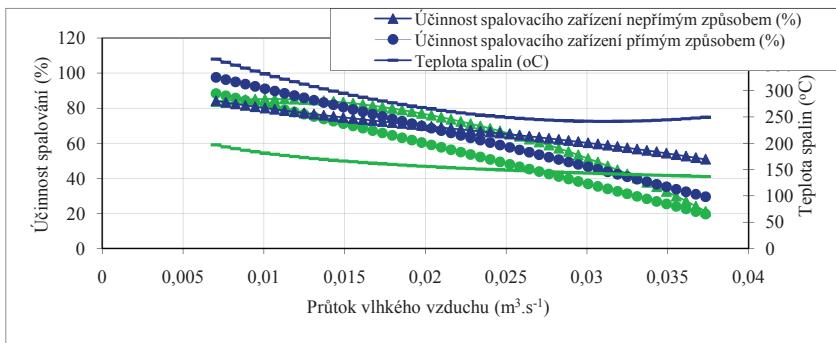
Obr. 1 Stanovené účinnosti spalovacího zařízení se spodním příkládáním pro lesní štěpku – smrk pelety ($\varnothing 10\text{ mm}$) (■) a pro energetický šťovík – pelety ($\varnothing 11\text{ mm}$) (■)



Obr. 2 Stanovené účinnosti spalovacího zařízení se samospádným příkládáním pro lesní štěpku – smrk pelety ($\varnothing 10\text{ mm}$) (■) a pro energetický šťovík – pelety ($\varnothing 11\text{ mm}$) (■)



Obr. 3 Stanovené účinnosti zplyňovacího spalovacího zařízení pro lesní štěpku – smrk pelety ($\varnothing 10\text{ mm}$) (■) a pro energetický štěvík – pelety ($\varnothing 11\text{ mm}$) (■)

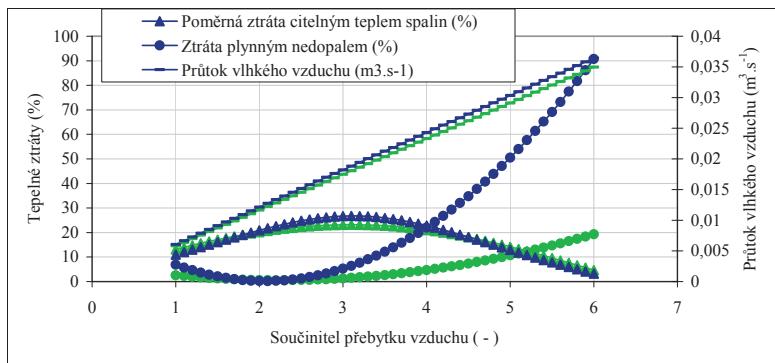


Obr. 4 Stanovené účinnosti spalovacího zařízení s hořákovým topeníštěm pro lesní štěpku – smrk pelety ($\varnothing 10\text{ mm}$) (■) a pro energetický štěvík – pelety ($\varnothing 11\text{ mm}$) (■)

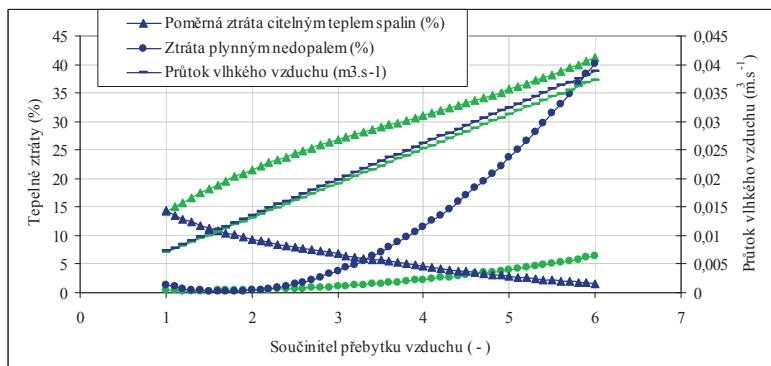
Nejvýznamnější tepelné ztráty spalovacího zařízení jsou především poměrné ztráty citelným teplem spalin a plynným nedopalem, viz. obr. 5–8. Ostatní tepelné ztráty na posuzovaných spalovacích zařízeních jsou méně významné.

Pro ztrátu citelným teplem spalin platí pravidlo, čím více spalovacího vzduchu, tím více je odnášeno teplo ze spalovacího prostoru spalovacího zařízení. Toto pravidlo by mělo platit pro všechna spalovací zařízení, jen se mění poměr jednotlivých ztrát v průběhu součinitele přebytku vzduchu (8).

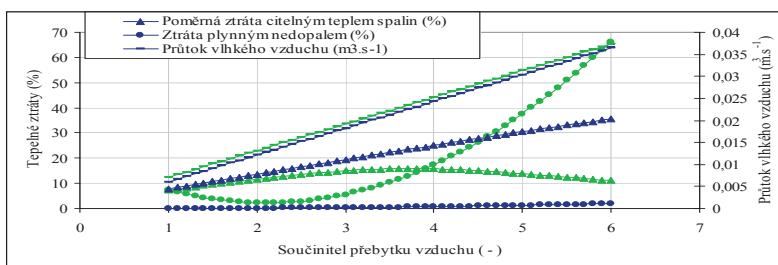
Poměrná ztráta plynným nedopalem má skoro u všech posuzovaných vzorků paliv podobný průběh, viz. obr. 5–8. Postupně se zvyšujícím se množstvím součinitele přebytku vzduchu dochází k poklesu až k minimální produkci tepelné ztráty plynným nedopalem (ideální stav), po překročení této minimální hranice následuje velký nárůst této tepelné ztráty. U vzorků lesní štěpky dochází jen k minimálnímu nárůstu této tepelné ztráty plynným nedopalem na spalovacím zařízení s hořákovým topeníštěm.



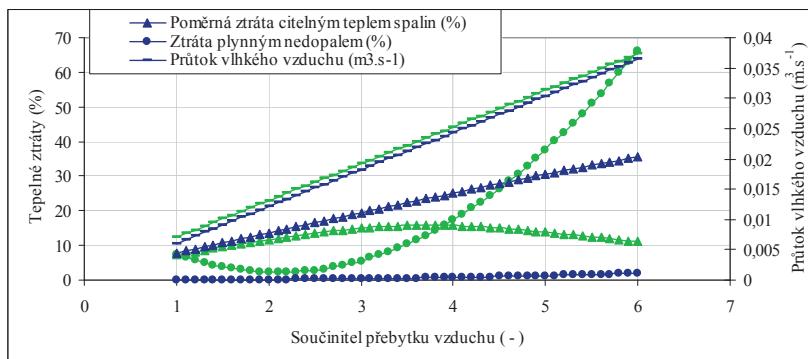
Obr. 5 Poměrné ztráty spalovacího zařízení se spodním přikládáním pro lesní štěpku – smrk pelety ($\varnothing 10\text{ mm}$) (■) a pro energetický šťovík – pelety ($\varnothing 11\text{ mm}$) (■)



Obr. 6 Poměrné ztráty spalovacího zařízení se samospádným přikládáním pro lesní štěpku – smrk pelety ($\varnothing 10\text{ mm}$) (■) a pro energetický šťovík – pelety ($\varnothing 11\text{ mm}$) (■)



Obr. 7 Poměrné ztráty zplyňovacího spalovacího zařízení pro lesní štěpku – smrk pelety ($\varnothing 10\text{ mm}$) (■) a pro energetický šťovík – pelety ($\varnothing 11\text{ mm}$) (■)



Obr. 8 Poměrné ztráty spalovacího zařízení s hořákovým topeníštěm pro lesní štěpku – smrk pelety ($\varnothing 10 \text{ mm}$) (■) a pro energetický šťovík – pelety ($\varnothing 11 \text{ mm}$) (■)

ZÁVĚRY A DISKUSE

Měření vychází z rozborů vzorků paliv a analýzy tepelně-emisního měření. Celkem jsou analyzovány čtyři vzorky paliv ve formě pelet a briket spalované na čtyřech spalovacích zařízeních určených pro spalování pevné biomasy. Pro stanovení tepelných účinností a tepelných ztrát jsou použity výpočty podle ČSN 07 0240 „Teplovodní a nízkotlaké parní kotle“, které jsou doplněny stechiometrickými výpočty v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu.

Nejvýznamnější naměřené hodnoty, které se nejvíce podílejí na průběhu spalování, jsou součinitel přebytku vzduchu, teplota spalin a emise oxidu uhelnatého a oxidu uhličitého. Tyto hodnoty pak následně ovlivňují tepelné účinnosti a ztráty posuzovaných vzorků paliv a spalovacích zařízení.

Nejvýznamnějším cílem článku je analyzovat chování vzorků biopaliv na různých spalovacích zařízeních. První vzorek biopaliva je složen z dřevní hmoty (lesní štěpkou – smrk) a druhý z rostlinné biomasy (energetický šťovík).

První hodnocení je uskutečněno za ustálených podmínek součinitele přebytku vzduchu, kde hodnota tohoto součinitele přebytku vzduchu je rovna 2,1 viz. tab. 3. Nejzásadnější vliv na výkonnost posuzovaných spalovacích zařízení má především ztráta citelným teplem spalin a ztráta plyným nedopalem. Ztráta mechanickým nedopalem v tuhých zbytcích a poměrná ztráta sdílením tepla do okolí na všech vybraných spalovacích zařízeních nedosahují během měření významných parametrů a významných změn, které by ovlivnily průběh spalovacího procesu.

Největších ztrát citelným teplem spalin bylo stanoveno na spalovacím zařízením se spodním a samospádným přikládáním a to přes 20 %. Souhrnně lze říct, že se neprojevil velký rozdíl mezi druhy paliv podle ztráty citelným teplem na jednotlivých spalovacích zařízeních, pouze se ztráta citelným teplem významněji projevila na zplyňovacím spalovacím zařízení, kde palivo z energetického šťovíku má o mnoho vyšší ztráty. Takto stanovené vysoké hodnoty ztráty citelným teplem se následně projevily v příslušných tepelných účinnostech.

Zásadním úkolem je porovnat kvalitu spalování podle ztráty plynným nedopalem. Tato ztráta je více vypovídající, co se týká vlastního procesu a kvality spalování vzorků paliv v posuzovaných spalovacích zařízeních. Podle této ztráty je spalování vzorků paliv z dřevní hmoty kvalitnější, až na spalovací zařízení se samospádným přikládáním, kde obě dvě paliva měly srovnatelné parametry. U ostatních spalovacích zařízeních jsou stanoveny několikanásobně větší ztráty plynným nedopalem u vzorků paliv z biomasy rostlinné. Měřením se prokázal vliv různého chemického složení posuzovaných vzorků paliv, a to především na ztrátu plynným nedopalem, kde docházelo zejména k nedostatečnému prohoření spalin.

Druhé hodnocení vychází rovněž ze součinitele přebytku vzduchu, kde jeho hodnota není konstantní, ale postupně se zvyšuje od 1 do 6. Z výsledných grafů (viz. obr. 1–8) a výpočtu vyplývá, jak velký vliv má průběh teploty a množství přiváděného vzduchu do spalovací komory na jednotlivé účinnosti a ztráty posuzovaných spalovacích zařízení.

Z obr. 1 až 4 vyplývá rozdíl průběhu tepelných účinností. Především vzorky paliv z dřevní hmoty citlivěji reagují na změnu množství přiváděného spalovacího vzduchu. Účinnost na všech posuzovaných spalovacích zařízení v závislosti na množství spalovacího vzduchu má klesající průběh, až na vzorky paliv z energetického šťovíku. U spalovaných vzorků energetického šťovíku na spalovacím zařízení se spodním přívodem paliva docházelo v oblastech vyššího průtoku vlnkového vzduchu k nepatrnému nárůstu účinností nepřímým způsobem, což můžeme přisoudit nízkým emisím hořlavých složek spalin. U ostatních spalovacích zařízení je průběh účinnosti nepřímým způsobem podobný, nejdříve se z rostoucím množstvím spalovacího vzduchu zvyšuje až do oblasti optimálního součinitele přebytku vzduchu a po překročení této oblasti dochází k neustálemu poklesu.

Ztráta citelným teplem spalin v závislosti na součiniteli přebytku vzduchu u posuzovaných vzorků má odlišný průběh, viz. obr. 5 až 8. Na spalovacím zařízení se spodním přívodem paliva u vzorků paliv lesní štěpky a energetického šťovíku, na zplyňovacím spalovacím zařízení u vzorků paliv z lesní štěpky a na spalovacím zařízení s hořákovým topeništěm u vzorků paliv z energetického šťovíku dochází v oblasti optimálního součinitele přebytku vzduchu k poklesu této tepelné ztráty. Takovýto pokles se dá vysvětlit tím, že se zvyšujícím se množstvím vzduchu dochází k ochlazení plamene. Na rozdíl od ztráty citelným teplem má poměrná ztráta plynným nedopalem u všech posuzovaných vzorků paliv podobný průběh, viz. obr. 5 až 8. Postupně se zvyšujícím se součinitelem přebytku vzduchu dochází k poklesu až k minimální produkci tepelné ztráty plynným nedopalem (ideální stav) a po překročení této minimální produkce následuje postupný nárůst této tepelné ztráty.

Požadovaný stav je takový, kdy se zvyšujícím se množstvím spalovacího vzduchu při spalování pevných vzorků biopaliv dochází jen ke zvýšené ztrátě citelným teplem spalin a nepatrnému nárůstu ztráty plynným nedopalem, jak je stanoveno na spalovacím zařízení se spodním přívodem paliva u paliv lesní štěpky, na spalovacím zařízení se samospádným přikládáním u vzorků paliv lesní štěpky a energetického šťovíku, na zplyňovacím spalovacím zařízení u vzorků paliv energetického šťovíku a na spalovacím zařízení s hořákovým topeništěm u vzorků paliv lesní štěpky.

U vzorků paliv lesní štěpky, na spalovacím zařízení se spodním přívodem paliva a hořákovým topeništěm, v průběhu zvyšování množství spalovacího vzduchu dochází jen k pozvolnému nárůstu této tepelné ztráty. Tento stav je pro životní prostředí nejšetrnější.

Bohužel, u ostatních vzorků na vybraných spalovacích zařízeních dochází po překročení optimálního součinitele přebytku vzduchu ve většině případů k velkému nárustu ztráty plynným nedopalem. Tento stav pro životní prostředí není ideální, proto by se mělo pro spalování biomasy na spalovacích zařízeních sledovat nejen překročení součinitele přebytku vzduchu, ale i koncentrace oxidu uhelnatého ve spalinách nebo množství přiváděného vzduchu do spalovacího zařízení v závislosti na hmotnostním toku spalovaného paliva.

Z výzkumných zahraničních prací vyplývá, že zvýšená teplota spalin a vysoký obsah spalovacího vzduchu (z 5 % až na 21 %) má podstatný vliv na zvýšenou produkci oxidů dusíku z palivového dusíku (9 a 10). Klesající množství spalovacího vzduchu má za následek snižování emisí oxidů dusíku, ale také zvýšení emisí oxidu uhelnatého ve spalinách. Nové chemické senzory na oxid uhelnatý ve spolupráci s tzv. lambda sondou, poskytnou účinnou kontrolu pro optimální výkon spalovacího zařízení s ohledem na emise a tepelnou účinnost (11 a 12). V oblastech optimálního součinitele přebytku vzduchu jsou oxidy dusíku nízké s výjimkou plodin s vysokým obsahem dusíku v palivu. V těchto případech, jak doporučují ostatní práce, by měla být prováděna kontrola spalovacího procesu (13). Vysoký obsah oxidu uhelnatého ve spalinách má biomasa i vlivem velké vlhkosti v palivu a vlivem špatné konstrukce spalovacího prostoru spalovacího zařízení. Obecně, by měl být pro dokonalé prohojení přiveden sekundární vzduch, čas zdržení hořlavých plynných částic by měl být nejméně 0,5 s a teplota hoření by měla dosahovat alespoň 1 000 °C (14).

Závěrem je třeba podotknout, že biomasu lze jako obnovitelný zdroj energie považovat jen za takových podmínek, kdy přínos jejího energetického využití je mnohem větší než náklady na její získání. Prosazování obnovitelných zdrojů energie musí být v rovnováze zejména na třech základních faktorech: životním, ekonomickém a sociálním. Dochází-li k podstatnému narušení jednoho z těchto faktorů, je nezbytné další prosazování těchto obnovitelných zdrojů pečlivě zvážit.

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

LITERATURA

1. PASTOREK, Z.; KÁRA, J.; JEVIČ, P.: Biomasa obnovitelný zdroj energie, 2004, FCC Public, Praha, 288 s., ISBN: 80-86534-06-5
2. MALAŤÁK, J.; JEVIČ, P.; KARANSKÝ, J.; PŘIKRYL, M.; GÁLIK, R.: Emission characteristics of biomass-based briquets. In: Acta technologica agriculturae – The Scientific Journal for agricultural engineering, SPU Nitra 2005, s. 48–52, ISSN 1335-2555
3. OLSSON, M.; KJÄLLSTRAND, J.: Low emissions from wood burning in an ecolabelled residential boiler. In: Atmospheric Environment, Volume 40, Issue 6, 2006, Pages 1148–1158, ISSN: 1352-2310
4. RYBÍN, M.: Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů. 1985, SNTL, Praha, 520 s., 04-227-85
5. OBR尤OČKA, K.: Termické odstraňování a energetické využívání odpadů. VŠB TU Ostrava, Ostrava 2001, 143 s., ISBN: 80-248-0009-8
6. MALAŤÁK, J.; VACULÍK, P.: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6

7. Technická norma ČSN 07 0240 (070240). Teplovodní a nízkotlaké parní kotle. Základní ustanovení. ČNI, 1993, 64 s.
8. JOHANSSON, L. S., et al.: Particle emissions from biomass combustion in small combustors. In: Biomass and Bioenergy 25 (2003) Published by Elsevier Ltd., pp. 435–446, ISSN: 0961-9534
9. PONZIOA, A.; et al: Nitrogen release during thermochemical conversion of single coal pellets in highly preheated mixtures of oxygen and nitrogen. In: Fuel – The Science and Technology of Fuel and Energy, 2009 Published by Elsevier Ltd., pp. 8, ISSN: 0016-2361
10. WINTER, F.; WARTHA, C.; HOFBAUER, H.: NO and N₂O formation during the combustion of wood, straw, malt waste and peat. In: Bioresource Technology 70 (1999) Published by Elsevier Ltd., pp. 39–49, ISSN: 0960-8524
11. ESKILSSON, D.; et al: Optimisation of efficiency and emissions in pellet burners. In: Biomass-and-Bioenergy. 2004; 27(6), Oxford, UK: Pergamon Press., pp. 541-546, ISSN: 0961-9534
12. HESCHEL, W., et al.: Abatement of emissions in small-scale combustors through utilisation of blended pellet fuels. Fuel Processing Technology 61 (1999) Published by Elsevier Ltd., pp. 223–242, ISSN: 0378-3820
13. STREHLER, A.: Technologies of wood combustion. In: Ecological Engineering 16 (2000) Published by Elsevier Ltd., pp. S25–S40, ISSN: 0925-8574
14. VIERLE, O., et al.: Investigation of organic pollutants from house heating systems using biogenic fuels and correlations with other exhaust gas components. In: Analytica Chimica Acta 393 (1999) Published by Elsevier Ltd., pp. 131–140, ISSN: 0003-2670

Kontaktní adresa:

doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D., Ing. Michal Hruška, Ing. Petr Vaculík, Ph.D.,
Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 16500 Praha 6-Suchdol,
e-mail: malatak@tf.czu.cz

doc. Ing. Marian Kučera, Ph.D., Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky,
Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika,
e-mail: kucera@vsld.tuzvo.sk

VYBRANÉ PARAMETRY TECHNOLOGIE KOMPOSTOVÁNÍ BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH ODPADŮ POMOCÍ TECHNOLOGIE VYUŽÍVAJÍCÍCH PÁSOVÝCH HROMAD

SELECTED PARAMETERS OF BIOLGICALLY DEGRADABLE WASTE COMPOSTING USING TECHNOLOGY OF TRAPEZOIDAL COMPOSTING PILES

**Marek LIVORA – Petr VACULÍK – Jan MALAŤÁK – Miroslav PŘIKRYL
– Marián KUČERA**

ABSTRACT: This article concerns several selected parameters of biologically degradable waste composting using technology of trapezoidal composting piles. So called summer stowing, which is substrate containing urban vegetation waste, private garden waste and wholesale fruit and vegetable waste, was processed and monitored with special accent on the influence of the individual pile turnings on temperatures and humidity continuance while consistent procedure leading to the best quality product (compost) was followed.

It is possible to claim, on the basis of the acquired outcomes, that it is pertinent to use this type of trapezoidal composting piles technology for processing of mentioned kind of biologically degradable waste on the condition that the optimal procedure is followed.

Key words: Anaerobic fermentation, composting, trapezoidal piles, compost, temperature, humidity

ABSTRAKT: Tento článek se zabývá vybranými parametry kompostování biologicky rozložitelných odpadů pomocí technologie využívajících pásových hromad. Při tomto technologickém procesu bylo sledováno zpracování tzv. letní zakládky, tedy substrátu obsahujícího odpady z údržby městské zeleně, zahrad a velkoobchodů s ovocem a zeleninou. Sledován byl zejména vliv jednotlivých překopávek na průběh teplot a vlhkostí při optimálním a důsledně dodržovaném postupu s ohledem na kvalitu výsledného produktu (kompostu).

Na základě naměřených hodnot lze konstatovat, že při dodržení optimálního postupu byla potvrzena vhodnost použití technologie kompostování na pásových hromadách pro zpracování tohoto typu biologicky rozložitelného odpadu.

Klíčová slova: Anaerobní fermentace, kompostování, pásové hromady, kompost, teplota, vlhkost

1 ÚVOD

Biologicky rozložitelné odpady (BRO) jsou odpady, které podléhají aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu, patří mezi ně zejména: biologicky rozložitelné komunální odpady (BRKO), odpady ze zemědělství, lesnictví, potravinářského a papírensko-celulózařského průmyslu a dále z průmyslu zpracovávajícího dřevo, kůže a textil. Mezi BRO se samozřejmě také řadí vybraný obalový odpad a čistírenské a vodárenské kaly. Z látkového hlediska je k BRO možno připojit i vedlejší živočišné produkty, které nejsou určeny pro lidskou výživu. Významné množství nových BRO vzniká při výrobě biopaliv [1].

Účinek biologicky rozložitelných odpadů na složky životního prostředí je spíše negativní. Jde zejména o tvorbu skleníkových plynů, tvorbu kyselých výluh při hydrolytických procesech a výskyt patogenních a podmíněně patogenních mikroorganismů, virů a prionů ohrožujících zdraví lidí a zvířat. Tvorba skleníkového plynu metanu z organizovaných i neorganizovaných skládek BRKO a BRO výrazně navýšuje antropogenní skleníkový efekt a klimatickou změnu. Relativní účinnost CH_4 je cca 50 x vyšší ve srovnání s CO_2 .

Požadavky na ekologické nakládání s BRO jsou především vedeny úsilím o trvale udržitelný rozvoj a o omezení produkce skleníkových plynů, vznikajících jejich skládkováním. Požadavky EU na omezení skládkování BRKO jsou implementovány v české legislativě odpadů a harmonogram tohoto snižování je v „Plánu odpadového hospodářství ČR“ [2].

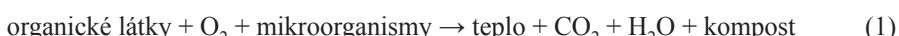
Biologicky rozložitelné odpady tvoří téměř čtvrtinu z celkové produkce odpadů v ČR [1].

Pokud se BRO rozkládá ve skládce, vznikají toxicke výluhy a uvolňuje se nepřijemný zápach a s ním skleníkové plyny CH_4 a CO_2 . ČR jako člena EU zavazuje směrnice 1999/31/ES, která stanovuje maximální množství BRKO ukládaných na skládku tak, aby v roce 2010 bylo uloženo nejvíce 75 hmotnostních %, v roce 2013 nejvíce 50 hm. % a výhledově v roce 2020 nejvíce 35 hm. % z celkového množství BRKO vzniklého v roce 1995 [3].

Jednou z nejpoužívanějších metod nakládání s BRO je technologie aerobní fermentace neboli kompostování. Jedná se o technologii, jejímž základem je biodegradace organické hmoty účinkem aerobních mikroorganismů, kombinovaná s některými dalšími reakcemi jako je oxidace, hydrolýza apod. Složení mikroflóry, kterou využívá tato metoda není konstantní a závisí jak na složení substrátu, tak na stupni humifikace [4; 5].

Obecně platí, že se na humifikačním procesu podílí převážně heterotrofní mikroorganismy, které degradují organické látky a část z nich oxidují až na CO_2 a H_2O . Nejprve v tomto procesu podléhají rozkladu jednoduché organické látky jako jsou sacharidy, organické kyseliny a bílkoviny, neboť degradace polysacharidů je pomalejší a začíná nejprve depolymerací. Poměrně stabilní složkou je lignin. Smyslem aerobní fermentace BRO není úplné rozložení všech složek obsažených ve zpracovávaném materiálu (substrátu), ale technologický proces by měl proběhnout jen v takovém rozsahu, aby se materiál biologicky stabilizoval. Biologicky stabilizovaný materiál již nepodléhá prudké biodegradaci a především v něm nemohou začít patogenní procesy jako je např. hnilioba. Dobře biologicky stabilizovaný materiál již neohrožuje půdu, vodu a ovzduší a lze jej zapratit do půdy.

Průběh technologie aerobní fermentace je, až na malé výjimky, stejný u všech způsobů aerobního kompostování, liší se pouze rychlosťí probíhajících dějů. Celý proces můžeme zjednodušeně vyjádřit obecnou rovnicí [5]:



2 MATERIÁL A METODIKA

Problematika sledování vybraných parametrů kompostování biologicky rozložitelných odpadů pomocí technologie využívajících pásových hromad byla řešena ve společnosti „Ing. Jan Švejkovský – JENA – firma služeb“ a to na „kompostárně“ v obci Velké Přílepy ve Středočeském kraji.

2.1 Materiálové složení kompostovaného substrátu

Substrát, který byl zpracováván technologií aerobní fermentace a u něhož byly sledovány vybrané parametry při aerobní fermentaci je často označován jako tzv. letní zakládka. Hodnocený substrát byl složen zejména z odpadů pocházejících z údržby městské zeleně a zahrad, ale také z velkoobchodů s ovocem a zeleninou.

Tab. 1 Zastoupení jednotlivých složek v hodnoceném substrátu (materiálové složení zakládky)

Materiál	Množství	Objemová hm.	Vlhkost	Poměr C:N
	[%]	[kg.m ⁻³]	[%]	[-]
Tráva	46	750–800	> 60,0	22 : 1
Listí	2	250–300	45,0	50 : 1
Drcené větve	44	600–650	39,5	115 : 1
Ovoce a zelenina	8	900–950	> 60,0	13 : 1

Zdroj: Marek Livora

V „letní zakládce“ převažovala čerstvě posekaná tráva s vysokým obsahem dusíku. Druhou nejvíce zastoupenou komoditou zakládky byly drcené větve, pocházející ze zimního a jarního prořezu křovin. Tato převážně dřevní hmota má naopak velký podíl uhlíku. Dále bylo v zakladce zastoupeno ovoce a zelenina, která se v současnosti skládá převážně s citrusových plodů, vodních melounů apod.

Pouze malou částí bylo v „letní zakládce“ zastoupeno listí, neboť z kapacitních důvodů již nebylo plně přimícháno do „zimní zakládky“.

2.2 Proces technologie kompostování na pásových hromadách

Proces technologie kompostování na pásových hromadách ve společnosti „Ing. Jan Švejkovský – JENA – firma služeb“ na „kompostárně“ v obci Velké Přílepy je složen z řady technologických kroků, při kterých se využívá mnoha strojů a zařízení.

Přivezený BRO je zvážen a zaevidován podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech. Odpad se deponujeme přímo v areálu „kompostárnny Velké Přílepy“.

Po nahromadění dostatečného množství odpadu se BRO nadrtí na vodohospodářsky zabezpečené ploše drtičem. V podmínkách „kompostárnny Velké Přílepy“ je tímto strojním zařízením: mobilní drtič Doppstadt AK 430.



Obr. 1 Mobilní drtič Doppstadt AK 430

Zdroj: [6]



Obr. 2 Překopávač Doppstadt SM 518 Profi

Zdroj: Marek Livora

Nadrcený BRO je formován na pásové hromady s lichoběžníkovým průřezem (tj. lichoběžníkové zakládky o rozměrech cca $24,5 \times 3,3 \times 90,0\text{ m}$ (š. \times v. \times d.)) nakladačem Hyundai HL 740-7. Do zakládky v areálu „kompostárny Velké Přílepy“ je také přidáván nadrcený materiál dovezený z ostatních kompostáren firmy JENA (kompostárny Malešice a Modletice). Taktto upravená zakládka se nechá zrát v aerobních podmínkách na vodohospodářsky zabezpečené ploše po dobu cca 2 měsíců v jejichž průběhu je měřena teplota a vlhkost. Po uplynutí této doby následuje další etapa technologie kompostování na pásových hromadách, kterou je homogenizace neboří překopávání. Homogenizace je nejdůležitějším krokem kompostovacího procesu, neboří nejenže při ní probíhá dokonalé promíchání nadrcených materiálů, ale také se materiál provzduší a tím se dosáhne zintenzivnění mikrobiologické činnosti.

V průběhu homogenizace obsluha překopávače vizuálně kontroluje vlhkost zakládky. V případě nízké vlhkosti je pomocí cisternového návěsu taženého traktorem dodávána voda, která je nezbytná pro dokonalé zrání kompostu. Provzdušněná (a zvlhčená) zakládka se nechá opět zrát. Po dosažení optimální teploty a vlhkosti, tj po době cca dvou měsíců se proces překopání opakuje. V průběhu výroby kompostu dojde k překopání $3 \times$ až $4 \times$, dokud není BRO kompletně přeměněn na kvalitní kompost.

Ukončení celého technologického procesu se provádí pomocí mobilního prosévacího zařízení (bubnového třídiče), které odděluje dvě výsledné frakce: hotový vyzrálý kompost a nadsítný materiál. Nadsítná frakce je především složena z nerozloženého biologického odpadu (velké kusy dřeva) a odpadu zařazeného dle vyhlášky č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví „Katalog odpadů“, jako „15 05 01 Nezkompostovaný podíl komunálního

a podobného odpadu“ (lehké části z PVC, kovové příměsi, kameny), který je po vytřídění vzduchovým třídičem Farwick „Hurrikan“ předáván oprávněně osobě k odstranění.



Obr. 3 Vlhčení kompostu
Zdroj: Marek Livora



Obr. 4 Prosévání výsledného kompostu pomocí bubnového třídiče
Zdroj: Marek Livora

3 NAMĚŘENÉ HODNOTY

3.1 Vliv překopávek na teplotu zakládky

Měření teploty sledovaného substrátu kompostovaného technologií využívající pásových hromad bylo prováděno pro ověření teplotního růstu v jednotlivých fázích kompostovacího procesu s ohledem na vliv okolní teploty a počasí. Teplota byla měřena na pěti místech od založení zakládky do prosévání finálního produktu (kompostu) tj. přibližně šest měsíců a to pomocí tyčového teploměru-vlhkoměru Superpro Combi.

Měřící místa byla umístěna 15 m od sebe v podélné ose zakládky a 4 m napříč. Tyto vzdálenosti byly dodržovány i po překopávkách. Měřící místa při překopávkách byla vzdálena od levého kraje zakládky 20, 40 a 70 m.

Tab. 2 Technické parametry teploměru-vlhkoměru Superpro Combi

Parametr	Jednotka	Hodnota
Délka měřící sondy	[m]	0,5
Měřící rozsah vlhkosti	[%]	9 až 60
Měřící rozsah teplot	[°C]	-5 až +70
Přesnost lepší než*	[%]	± 1,5

Poznámka: * v normálním rozsahu vlhkosti a po kalibraci

Zdroj: [7]



Obr. 5 Tyčový teploměr-vlhkoměr Superpro Combi
Zdroj: [7]



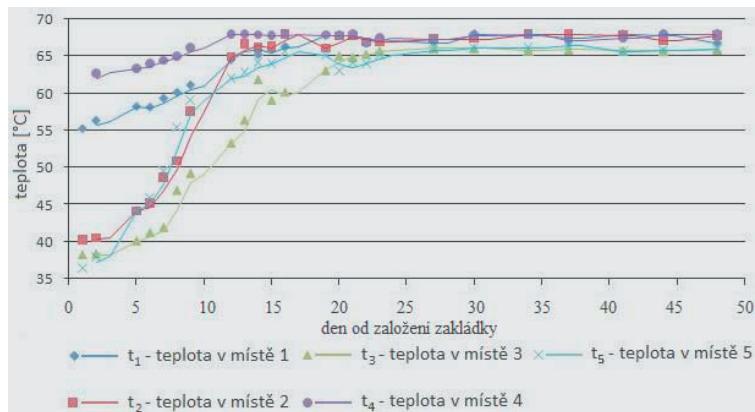
Obr. 6 Měření teploty a vlhkosti kompostu v areálu „kompostárny Velké Přílepy“
Zdroj: Marek Livora

Tab. 3 Tabulka teplot a vlhkostí od založení do prosévání

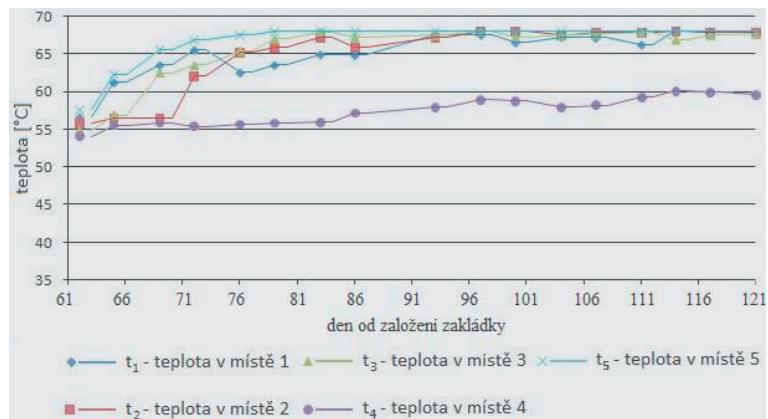
Den od založení zakládky	Datum	Teplota + počasí	Teploty a vlhkosti od založení po první překopávku									
			Číslo měřicího místa									
			1		2		3		4		5	
			T ₁ [°C]	φ ₁ [%]	T ₂ [°C]	φ ₂ [%]	T ₃ [°C]	φ ₃ [%]	T ₄ [°C]	φ ₄ [%]	T ₅ [°C]	φ ₅ [%]
1	3. 7. 2008	28 °C jasno	55,2	48,2	40,2	48,3	38,2	42,1	61,3	52,1	36,5	44,0
2	4. 7. 2008	18,5 °C přeháňky	56,3	49,3	40,5	46,2	38,3	42,3	62,8	53,1	38,0	47,3
5	7. 7. 2008	19 °C déšť	58,2	50,2	44,1	49,1	40,1	42,2	63,4	53,0	44,2	50,6
6	8. 7. 2008	22,5 °C polojasno	58,1	50,2	45,2	50,2	41,2	43,1	64,1	55,2	46,0	51,4
7	9. 7. 2008	16 °C přeháňky	59,3	50,4	48,7	50,3	41,9	44,2	64,5	57,6	49,6	50,9
8	10. 7. 2008	14,5 °C déšť	60,1	50,8	50,9	53,2	46,9	49,1	65,1	56,2	55,4	53,4
9	11. 7. 2008	28,5 °C jasno	61,1	51,1	57,6	54,0	49,2	48,3	66,2	57,1	59,1	53,8
12	14. 7. 2008	18 °C zataženo	64,5	52,0	64,9	51,1	53,3	50,9	68,0	56,3	62,0	51,2
13	15. 7. 2008	22 °C polojasno	66,8	51,9	66,7	52,3	56,4	48,5	68,0	55,2	62,9	52,3
14	16. 7. 2008	23,5 °C zataženo	65,2	52,5	66,2	52,8	61,9	51,3	67,9	55,0	64,2	53,3
15	17. 7. 2008	22 °C polojasno	65,9	52,4	66,3	51,9	59,1	53,1	67,8	57,4	64,0	55,2
16	18. 7. 2008	20 °C zataženo	66,3	53,4	68,0	52,1	60,2	54,2	68,0	56,1	65,7	51,9
19	21. 7. 2008	18,5 °C zataženo	67,8	56,2	66,1	53,2	63,1	52,1	67,9	55,9	65,2	52,0
20	22. 7. 2008	17 °C zataženo	67,8	55,2	67,7	52,9	65,1	54,1	67,8	56,0	63,0	54,0
21	23. 7. 2008	22,5 °C polojasno	68,0	56,3	67,7	54,1	64,9	53,9	68,0	57,1	64,1	53,1
22	24. 7. 2008	22 °C zataženo	66,9	56,1	66,9	50,2	65,3	53,1	66,9	56,9	64,0	53,0
23	25. 7. 2008	23,5 °C přeháňky	67,2	55,9	67,0	51,9	65,8	55,2	67,5	56,8	65,2	55,1
27	29. 7. 2008	30 °C jasno	66,8	56,2	67,4	52,6	66,1	55,6	67,4	56,5	65,9	54,6
30	1. 8. 2008	30 °C jasno	68,0	56,1	67,4	51,6	66,1	55,1	67,8	56,2	66,2	54,9
34	5. 8. 2008	21,5 °C polojasno	67,9	56,1	68,0	52,6	65,8	54,6	68,0	55,9	66,1	54,9
37	8. 8. 2008	25 °C oblačno	67,5	55,9	68,0	52,3	65,9	51,8	67,2	55,6	66,5	55,2
41	12. 8. 2008	28 °C polojasno	68,0	55,4	67,9	53,0	65,8	55,9	67,5	56,1	65,7	55,8
44	15. 8. 2008	18 °C déšť	67,9	55,8	67,2	52,4	65,7	55,2	68,0	56,4	65,9	55,9
48	19. 8. 2008	19 °C zataženo	66,8	56,2	67,8	51,9	65,9	54,6	68,0	55,8	66,0	54,4
Teploty a vlhkosti od první do druhé překopávky												
62	2. 9. 2008	25 °C zataženo	56,6	57,2	55,8	57,3	54,9	53,3	54,0	57,6	57,6	59,1
65	5. 9. 2008	18 °C déšť	61,2	57,5	56,5	57,5	56,9	55,2	55,5	56,8	62,3	59,2
69	9. 9. 2008	18 °C jasno	63,5	55,9	56,5	57,2	62,5	55,4	55,8	56,2	65,6	59,7
72	12. 9. 2008	19 °C zataženo	65,5	56,5	62,1	58,5	63,5	54,9	55,4	56,9	66,8	58,9
76	16. 9. 2008	9 °C zataženo	62,5	56,3	65,2	58,2	65,4	56,1	55,6	57,8	67,5	58,9
79	19. 9. 2008	10 °C zataženo	63,5	56,8	65,8	58,0	67,0	56,2	55,8	55,6	68,0	58,7
83	23. 9. 2008	16 °C polojasno	64,9	55,9	67,1	57,6	67,9	56,0	55,9	55,9	68,0	58,5
86	26. 9. 2008	17 °C polojasno	64,8	55,6	65,8	57,6	67,2	54,9	57,1	56,4	68,0	59,1
93	3. 10. 2008	12 °C zataženo	67,5	56,2	67,1	57,9	67,5	55,6	57,9	55,9	68,0	59,3
97	7. 10. 2008	13 °C přeháňky	67,5	58,1	68,0	56,9	68,0	56,2	58,9	57,5	68,0	58,9
100	10. 10. 2008	16 °C déšť	66,5	57,6	68,0	56,8	67,2	56,3	58,7	57,8	68,0	59,6
104	14. 10. 2008	20 °C déšť	67,2	56,2	67,5	56,4	67,5	56,8	57,9	58,1	68,0	59,2
107	17. 10. 2008	10 °C zataženo	67,1	57,5	67,9	57,0	67,6	55,1	58,2	57,9	68,0	59,4
111	21. 10. 2008	18 °C jasno	66,2	57,0	67,8	57,5	67,9	55,4	59,2	58,9	68,0	58,7
114	24. 10. 2008	8 °C jasno	68,0	58,1	68,0	57,4	66,9	54,8	60,1	57,9	68,0	58,8
117	27. 10. 2008	10 °C jasno	67,8	57,9	67,8	57,9	67,5	56,2	59,9	58,1	68,0	59,2
121	31. 10. 2008	9 °C jasno	68,0	57,5	67,9	58,1	67,6	55,9	59,6	58,2	68,0	58,5

Tab. 3 Pokračovanie

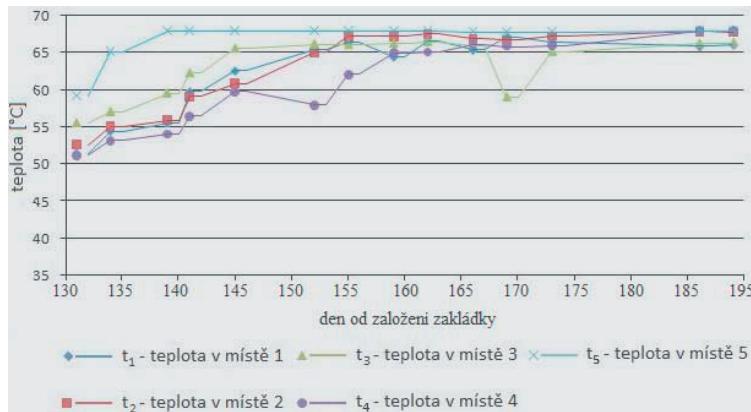
Den od založení základky	Datum	Teplota + počasí	Teploty a vlhkosti od druhé překopávky do prosévání									
			Číslo měřicího místa		1		2		3		4	
			T ₁ [°C]	φ ₁ [%]	T ₂ [°C]	φ ₂ [%]	T ₃ [°C]	φ ₃ [%]	T ₄ [°C]	φ ₄ [%]	T ₅ [°C]	φ ₅ [%]
134	13. 11. 2008	8 °C polojasno	54,5	57,5	55,1	57,8	57,1	56,2	53,2	58,0	65,2	61,2
139	18. 11. 2008	4 °C jasno	55,6	57,9	55,9	58,1	59,6	56,8	54,1	58,2	68,0	60,0
141	20. 11. 2008	9 °C zataženo	59,8	58,0	59,1	57,0	62,3	57,5	56,5	57,0	68,0	60,2
145	24. 11. 2008	2 °C zataženo	62,6	58,1	60,9	57,5	65,6	57,9	59,8	57,2	68,0	59,8
152	1. 12. 2008	9 °C zataženo	65,5	57,5	65,1	57,4	66,2	56,5	58,0	57,6	68,0	58,2
155	4. 12. 2008	7 °C polojasno	66,5	57,1	67,2	57,6	66,1	52,3	62,1	59,0	68,0	58,1
159	8. 12. 2008	4 °C polojasno	64,5	56,9	67,2	57,9	66,3	54,6	65,0	59,1	68,0	58,5
162	11. 12. 2008	4 °C polojasno	66,6	57,5	67,5	58,2	66,5	55,6	65,1	58,9	68,0	59,1
166	15. 12. 2008	7 °C zataženo	65,4	57,6	66,9	58,1	66,0	55,9	66,2	58,7	67,9	61,5
169	18. 12. 2008	5 °C zataženo	67,1	57,4	66,8	58,0	59,1	54,2	65,9	54,9	67,8	60,5
173	22. 12. 2008	4 °C zataženo	66,5	56,9	67,3	57,9	65,2	56,0	66,0	59,3	67,9	60,3
187	5. 1. 2009	1 °C sněžení	65,9	56,9	67,9	58,3	66,3	56,1	68,0	54,8	68,0	59,5
190	8. 1. 2009	-5 °C zataženo	66,1	57,2	67,8	58,4	66,4	55,9	68,0	56,0	68,0	59,3



Obr. 7 Průběh teplot od založení kompostu do první překopávky

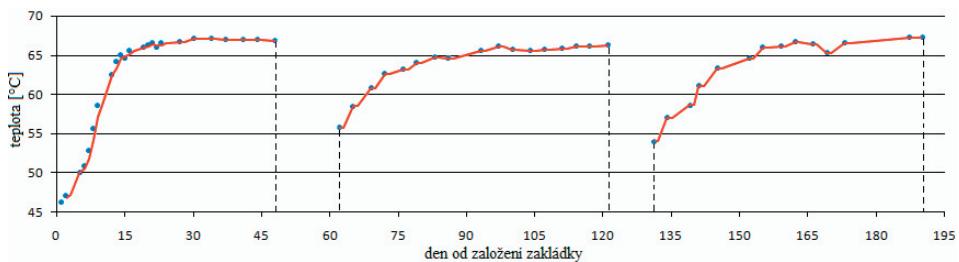


Obr. 8 Průběh teplot od první do druhé překopávky



Obr. 9 Průběh teplot od druhé překopávky do prosévání

Průběh teploty od založení až do prosévání výsledného kompostu, který vznikl proložením jednotlivých výše uvedených křivek, je zobrazeno na následujícím obrázku.



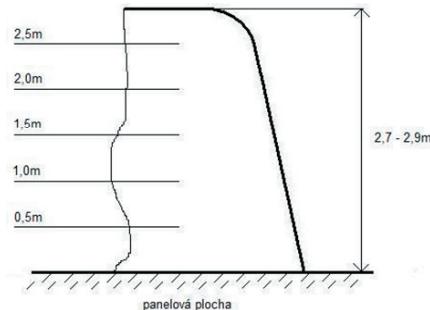
Obr. 10 Průběh průměrných teplot po jednotlivých překopávkách

Hodnocení vlivu překopávek bylo zaměřeno na měření vlhkostí a teplot ve vodo-rovnych hladinách (výšková rozteč 0,5 m) při jednotlivých překopávkách výše uvedené pásové hromady sledovaného substrátu a to na jejich třech místech. K měření byl opět použit tyčový teploměr-vlhkoměr Superpro Combi a z důvodu překročení teplotního roz-sahu teploměru ještě mechanický spirálový teploměr.

Tab. 4 Teploty a vlhkosti při první překopávce
v jednotlivých hladinách zakládky

Teplota okolí + počasí: 25 °C polojasno									
Hladina měření	Číslo měřicího místa								
	1	2	3	t ₁	φ ₁	t ₂	φ ₂	t ₃	φ ₃
[m]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[°C]	[%]			
2,5	57,7	58,9	66,4	35,2	61,8	53,7			
2,0	79,7	min. 61	72,5	min. 61	76,9	58,9			
1,5	69,0	min. 61	75,0	58,6	74,6	min. 61			
1,0	63,8	min. 61	73,5	min. 61	70,7	min. 61			
0,5	54,4	min. 61	58,9	min. 61	56,8	min. 61			

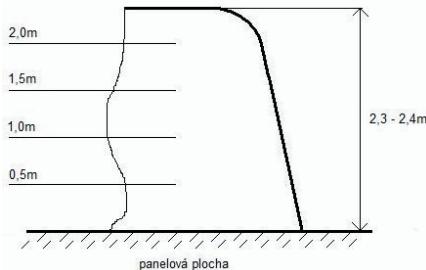
Obr. 11 Průřez zakládky po první překopávce



Tab. 5 Teploty a vlhkosti při druhé překopávce
v jednotlivých hladinách zakládky

Teplota okolí + počasí: 25 °C polojasno									
Hladina měření	Číslo měřicího místa								
	1	2	3	t ₁	φ ₁	t ₂	φ ₂	t ₃	φ ₃
[m]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[°C]	[%]			
2,0	65,9	58,5	64,5	56,8	65,0	57,9			
1,5	61,5	58,5	65,9	57,8	66,1	58,0			
1,0	52,1	58,6	63,4	58,1	55,7	57,9			
0,5	43,4	56,5	45,8	56,7	43,8	55,7			

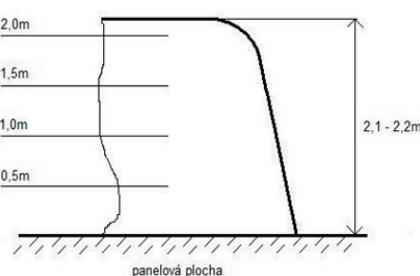
Obr. 12 Průřez zakládky po druhé překopávce



Tab. 6 Teploty a vlhkosti při třetí překopávce
v jednotlivých hladinách zakládky

Teplota okolí + počasí: -5°C jasno									
Hladina měření	Číslo měřicího místa								
	1	2	3	t ₁	φ ₁	t ₂	φ ₂	t ₃	φ ₃
[m]	[°C]	[%]	[°C]	[%]	[°C]	[%]			
2,0	63,4	51,5	65,5	52,3	63,2	55,7			
1,5	69,5	60,1	70,1	60,5	69,4	min. 61			
1,0	61,6	60,5	65,7	60,7	62,7	60,7			
0,5	46,2	57,6	46,5	55,9	44,9	58,1			

Obr. 13 Průřez zakládky po třetí překopávce



3.2 Vzorkování výsledného kompostu

Posledním hodnocením vybraných parametrů technologie kompostování na pásových hromadách bylo vzorkování výsledného produktu (kompostu).

Po odstranění cca 20 cm vrchní vrstvy byly odebrány dílčí vzorky ze 30 míst rovnoměrně rozmištěných po celé základce. Tyto jednotlivé dílčí vzorky byly vysypány na čistou, suchou podložku a promíchány. Takto získaný hrubý vzorek (o hmotnosti cca 30 kg) byl kvartací zmenšen na průměrný vzorek o objemu asi 3 dm^{-3} , který byl dále rozdělen na tri laboratorní vzorky po 1 dm^{-3} (ČSN 46 5735). Vzorky byly uschovány do plastových sáčků a odevzdány do akreditované laboratoře Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského, kde takto odebrané vzorky byly analyzovány podle ČSN 46 5735.

Tab. 7 Výsledky laboratorního rozboru vzorku výsledného kompostu

Chemická a fyzikální vlastnost	Požadovaná hodnota	Výsledky analýz ÚKZÚZ*
Vlhkost [%]	min. 40,0 max. 65,0	40,1
Spalitelné látky v sušině [%]	min. 25,0	33,6
Hodnota pH	od 6,0 do 8,5	7,8
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek [%]	min. 0,60	1,6
Poměr C:N	max. 30,0	11,0
Nerozložitelné příměsi [%]	max. 2,0	2,0
Senzorické posouzení	Hnědá, šedohnědá až černá homogenní hmota drobotivité až hrudkovité struktury. Nesmí vykazovat pachy svědčící o přítomnosti nežádoucích látok.	odpovídá požadovanému vzhledu
Rizikové látky**	Limitní hodnota	Výsledky analýz ÚKZÚZ
Kadmium	max. 2,0	0,614
Olovo	max. 100,0	28,9
Rtut'	max. 1,0	0,207
Arsen	max. 10,0	6,65
Chrom	max. 100,0	22,8
Měď'	max. 100,0	57,1
Molybden	max. 5,0	1,35
Níkl"	max. 50,0	13,6
Zinek	max. 300,0	209,0

Poznámka: * ÚKZÚZ – Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, ** v mg prvků /kg vysušeného vzorku.

4 ZÁVĚR

Sledování vybraných parametrů kompostování biologicky rozložitelných odpadů pomocí technologie využívajících pásových hromad jednoznačně prokázalo, jak nesmírně významná je důkladná kontrola veškerých procesů a v případě jakékoli neshody se stanovenými parametry, okamžitě přijetí nápravných opatření.

Bylo prokázáno, že průběh teplot při optimálním a důsledně dodržovaném procesu kompostování BRO je pro kvalitu výsledného produktu (kompostu) rozhodující. V průběhu

měření teplot zakládky bylo zjištěno, že tyto začínaly na relativně vyšších hodnotách, což bylo způsobeno delší dobou naskladňování materiálu (substrátu) v jehož průběhu již proces kompostování začínal pomalu probíhat. U měření, která následovala po překopávání byl znatelný pokles teplot, který byl způsoben značným odparem vody při překopávání a především dodáním čerstvého (chladnějšího) vzduchu do zakládky. Tento pokles nebyl příliš výrazný a teploty se rychle vracely k obvyklým hodnotám. Další pokles teploty již nebyl patrný neboť u průmyslového kompostu významný pokles teploty substrátu nastává až po prosévání, když se zastaví proces zrání (cca 1 měsíc po prosévání je kompost připraven k expedici, jelikož jeho teplota klesne pod 40 °C).

Měřením bylo také prokázáno, že při rozměrech pásové hromady (cca $24,5 \times 3,3 \times 90,0$ m) nemá teplota a počasí přílišný vliv na proces zrání. Vlhkost kompostu se poměrně rychle stabilizovala na hodnotách kolem 58 %, na kterých setrvala v průběhu celého kompostovacího procesu.

Při měření teplot jádra kompostu byl také potvrzen předpoklad, že teplota je nejvyšší v zóně intenzivního rozkladu.

V průběhu kompostování se zakládka zmenšila z původních 7280 m³ na 3850 m³ což je téměř o 53 %. Tento úbytek objemu byl způsoben zhutněním materiálu, vyplněním vzduchových mezer mezi materiálem a v neposlední řadě odporem vlhkosti materiálu.

Výsledky laboratorního rozboru vzorku výsledného kompostu prokázaly, že kompost splnil všechny podmínky potřebné k registraci hnojiva dle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů.

Veškeré naměřené hodnoty prokázaly vhodnost použití technologie kompostování na pásových hromadách pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů pocházejících z údržby městské zeleně, zahrad a velkoobchodů s ovocem a zeleninou.

LITERATURA

- [1] VÁŇA, J.: XIV. Mezinárodní kongres a výstava Odpady – Luhačovice, Sborník přednášek, Luhačovice, 2006, ISBN nepřiděleno
- [2] VÁŇA, J.: Nakládání s bioodpady v legislativě a praxi, Sborník konference, Žďár nad Sázavou, Vodní zdroje Ekomonitor s.r.o., Chrudim, 2008, ISBN 978-80-86832-33-3
- [3] Směrnice Rady 99/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů (směrnice o skládkách 1999)
- [4] MALAŘÁK, J.; VACULÍK, P: Biomasa pro výrobu energie. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 206 s., ISBN: 978-80-213-1810-6
- [5] ZEMÁNEK, P.: Speciální mechanizace, mechanizační prostředky pro kompostování, MZLU, Brno, 2001, ISBN 80-7157-561-5
- [6] Internetové stránky společnosti Doppstadt, ukázky výrobků, [online], Velbert, 2009, [cit. 2008-12-29], http://www.doppstadt.de/ak_series/ak-430/
- [7] Internetové stránky společnosti Danagra, ukázky výrobků Supertech Agroline, [online], Bystrice u Benešova, 2009, [cit. 2009-11-15], http://www.danagra.cz/default_soubory/Supertech2008.pdf

Kontaktní adresa:

Ing. Marek Livora – Ing. Petr Vaculík, Ph.D – Ing. Jan Malařák, Ph.D. – doc. Ing. Miroslav Přikryl, CSc., Technická fakulta, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 16500 Praha 6-Suchdol, e-mail: MarekLivora@seznam.cz

doc. Ing. Marian Kučera, Ph.D., Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen, Slovenská republika, e-mail: kucera@vsld.tuzvo.sk

VPLYV ROZLÍŠENIA NA PRESNOSŤ REGISTRÁCIE OBRAZOV ODTLAČKOV PRSTOV

INFLUENCE OF RESOLUTION TO FINGERPRINT IMAGES REGISTRATION ACCURACY

Tibor CSONGRÁDY

ABSTRACT: Described method of fingerprints registration with using of integral transformation enables geometrical adjusting of reference and tested image, that can be shifted and with different scale. In the paper there is shown influence of input images resolution into registration accuracy.

Key words: Image registration, Fourier and Fourier-Mellin transformation, fingerprints

ABSTRAKT: Popísaná metóda registrácie odtlačkov prstov využitím integrálnych transformácií umožňuje geometrické zarovnanie referenčného a testovaného obrazu, ktoré môžu byť vzájomne posunuté, otočené a mať rôznu mierku. V príspevku je ukázaný vplyv rozlíšenia vstupných obrazov na presnosť registrácie.

Kľúčové slová: Registrácia obrazov, Fourierova a Fourier-Mellinova transformácia, odtlačky prstov

1 ÚVOD

Registrácia (zosúhlásenie, zlícovanie, zarovnanie) je definovaná ako nájdenie najvhodnejšej geometrickej transformácie, ktorá popisuje vzájomný vzťah medzi referenčným a vstupným súborom údajov.

Registrácia obrazov umožní maximálne možné geometrické zarovnanie zodpovedajúcich si bodov a objektov v obrazoch (CHEN, 1993), t.j. stotožní pozíciu a priestorovú orientáciu týchto objektov. Nájdená geometrická transformácia prevedie registrované obrazy do spoločného súradnicového priestoru. Registrácia obrazov sa používa na geometrické zarovnanie dvoch alebo viacerých digitálnych obrazov, ktoré predstavujú pohľad na rovnaký objekt, ktorý mohol byť získaný rôznymi metódami, snímačmi alebo z rozdielnych smerov pohľadu, príp. v rôznych časoch. Porovnaté obrazy môžu mať rôzne intenzity a geometriu.

Registrácia obrazov bola aplikovaná pre zregistrovanie dvojice odtlačkov prstov. Kvôli automatickému spracovaniu údajov bola z metód registrácie zvolená registrácia na základe zmeny intenzít v obrazoch, využitím diskrétnych integrálnych transformácií, bez využitia dodatočných informácií a umelo vytvorených regisračných bodov.

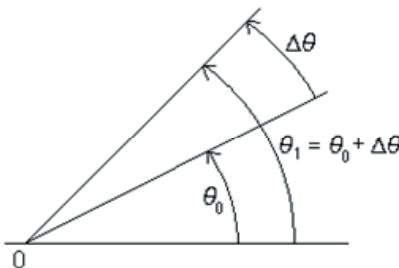
Identifikácia osôb podľa odtlačkov prstov je jedna z najčastejšie používaných biometrických metód nielen v kriminalistike, ale aj v bežnom živote, napr. v prístupových a dochádzkových systémoch na zistenie identity alebo overenie zadanej identity osôb s cieľom zamedzenia neautorizovaného prístupu do objektov, implementácia v ďalších technológiach s cieľom zamedzenia nežiaduceho používania notebookov, USB kľúčov, mobilných telefónov, pracovných staníc, počítačových sietí, prihlásenia do aplikácií, transakčná bezpečnosť a pod. (PIVARČIOVÁ, ŠURIANSKY, 2008).

2 POPIS METÓDY

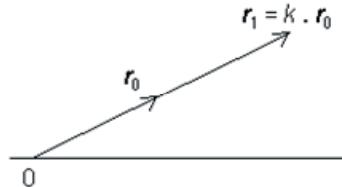
Medzi metódy registrácie obrazu, ktoré sa snažia zistiť veľkosť posunu medzi dvoma obrazmi, patrí fázová korelácia. Je založená na Fourierovej transformácii a vychádza z toho, že dva posunuté obrazy vytvárajú v mieste registrácie v krízovom výkonovom spektre ostrý vrchol a šum je rozložený náhodne v nesúvislých menších vrcholoch.

Kedže obrazy odtlačkov prstov môžu byť nielen posunuté, ale môžu byť pootočené a mať aj zmenenú mierku, metódu bolo potrebné rozšíriť a použiť Fourier-Mellinovu transformáciu, ktorá umožňuje porovnanie a zregistrovanie obrazov posunutých, pootočených a so zmenenou mierkou. Táto metóda využíva fakt, že v amplitúdovom spektre obrazu sa anulujú rozdiely posunov, keďže amplitúdové spektrum obrazu a jeho posunutej kópie sú identické, iba ich fázové spektrum sa líši. Ak je testovaný obraz voči referenčnému aj pootočený, prípadne má aj zmenenú mierku, prejaví sa to v amplitúdovom aj vo fázovom spektri. Potom následná logaritmicko-polárna transformácia amplitúdového spektra spôsobí, že otočenie a mierka sa prejavia ako posun. Preto fázovú koreláciu je možné použiť na zistenie uhla otočenia a mierky medzi párom obrazov (WOLBERG, ZOKAI, 2000).

Fourierova transformácia dvojrozmernej funkcie nie je invariantná voči rotácii. Fourierov obraz funkcie otočenej o uhol θ bude tiež otočený o ten istý uhol. Invariantnosť Fourierovej transformácie voči otočeniu sa môže dosiahnuť konverziou otočenia na posun v jednej súradnici funkcie. Obr. 1 ukazuje, že pri zobrazení v polárnych súradničiach sa otočenie prejaví ako súčet dvoch uhlových komponentov, pôvodného natočenia θ_0 a uhla rotácie $\Delta\theta$.



Obr. 1 Otočenie v polárnych súradničiach

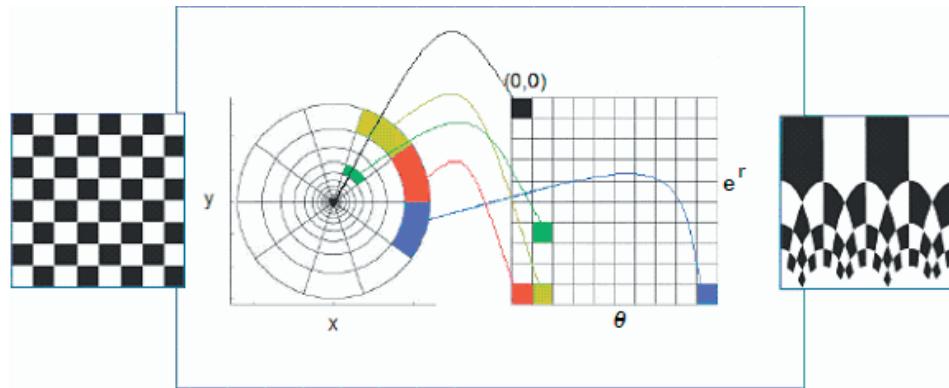


Obr. 2 Mierka v polárnych súradničiach

Zmena mierky v polárnych súradničiach predstavuje násobenie radiálneho komponentu r konštantou k charakterizujúcou zmenu mierky, ako znázorňuje Obr. 2. Ak sa použije logaritmus pre súčin $\mathbf{k} \cdot \mathbf{r}_0$, operácia násobenia sa prevedie na súčet logaritmov.

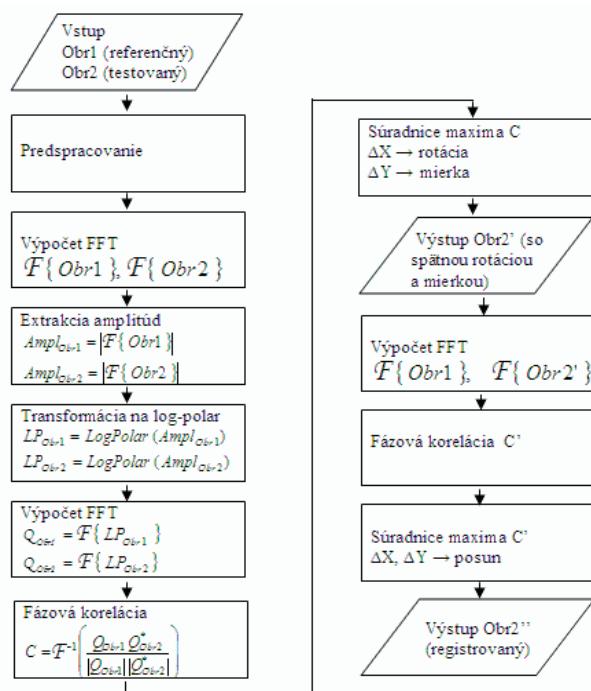
Použitím logaritmicko-polárnej transformácie sa dosiahne invariantnosť voči zmene mierky ako aj invariantnosť voči rotácii.

Obrazová funkcia $f(x, y)$ môže byť vzorkovaná ako funkcia $f(\theta, e^r) = f(\theta, \rho)$, kde r je vzdialenosť od stredu obrazu (pozri Obr. 3).



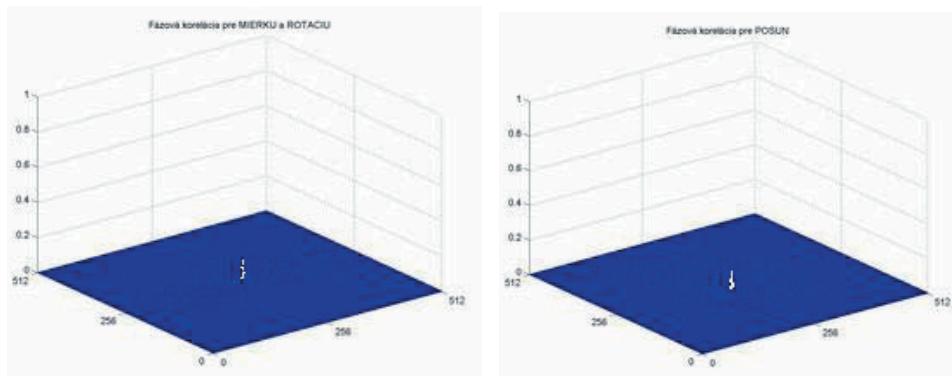
Obr. 3 Logaritmicko-polárna transformácia (EGLI, 2009)

Na Obr. 4 je algoritmus navrhnutej registrácie odtlačkov prstov.



Obr. 4 Algoritmus verifikácie odtlačkov prstov

Na Obr. 5 sú ukážky fázovej korelácie pre výpočet rotácie a mierky a pre výpočet posunu.



Obr. 5 Fázová korelacia pre výpočet rotácie a mierky a pre výpočet posunu obrázkov
p1 -- p1-X15Y20M1.1R9

Výpočet ΔX , ΔY ako odchýlky maxima fázovej korelácie od stredu korelačnej matice:

$$\begin{aligned} dX &= \text{stredS} - \text{StredMaxX} + 1 \\ dY &= \text{stredR} - \text{StredMaxY} + 1 \end{aligned}$$

Algoritmus výpočtu mierky z hodnoty ΔY :

```

if dY == 0
    mierka = 1
else
    if dY < 0
        mierka = (rho(-dY + 1) + rho(-dY + 2)) / 2
    else
        mierka = 2 / (rho(dY + 1) + rho(dY + 2))
    end
end

```

kde ρ je vektor pre výpočet mierky (pozri nižšie).

Výpočet uhla rotácie z hodnoty ΔX :

$$\begin{aligned} \text{stupNaPix} &= 360 / (\text{pocS2} + 1); \\ \text{rotacia} &= -\text{stupNaPix} * (dX) \end{aligned}$$

kde pocS2 je počet stípcov testovaného obrazu.

Logaritmicko-polárna transformácia amplitúdového spektra Fourierovej transformácie vstupných obrazov bola realizovaná do transformovaného obrazu rovnakých rozmerov, ako vstupné obrazy podľa (WILMER, 2003).

Pre výpočet mierky ρ sa použil vektor s logaritmickým rozložením medzi $\log 10, \log 10^d$:

```
d = min([Ac-Center(1) Center(1)-1Ar-Center(2) Center(2)-1];
rho = logspace(log10(1), log10(d), Nrho);
```

kde $Nrho$ je počet bodov – riadkov transformovaného obrazu,

Ac – počet stĺpcov vstupného obrazu,

Ar – počet riadkov vstupného obrazu,

$Center$ – stred vstupného obrazu.

Pre výpočet uhla rotácie θ sa použil vektor s lineárne rozloženými bodmi z intervalu $<0, 2\pi>$:

```
theta = linspace(0, 2*pi, Ntheta+1);
kde Ntheta+1 je počet bodov – stĺpcov transformovaného obrazu.
```

Pre konverziu polárnych súradníc na karteziánske sa použili známe vzťahy:

```
xx = rho*cos(theta) + Center(1);
yy = rho*sin(theta) + Center(2);
```

Vypočítané hodnoty vektorov ρ a θ pre obrazy s rôzny rozlíšením sú v Tab. 1.

Tab. 1 Vypočítané hodnoty vektorov ρ a θ pre obrazy s rôzny rozlíšením

index	512 × 512	128 × 128	256 × 256	512 × 512	128 × 128	256 × 256
	rho			theta		
1	1.0000	1.0000	1.0000	0	0	0
2	1.0109	1.0332	1.0192	0.0123	0.0491	0.0245
3	1.0219	1.0674	1.0387	0.0245	0.0982	0.0491
4	1.0331	1.1028	1.0586	0.0368	0.1473	0.0736
5	1.0443	1.1394	1.0789	0.0491	0.1963	0.0982
6	1.0557	1.1772	1.0996	0.0614	0.2454	0.1227
7	1.0672	1.2162	1.1207	0.0736	0.2945	0.1473
8	1.0789	1.2565	1.1422	0.0859	0.3436	0.1718
9	1.0906	1.2982	1.1641	0.0982	0.3927	0.1963
10	1.1025	1.3413	1.1865	0.1104	0.4418	0.2209
11	1.1145	1.3857	1.2092	0.1227	0.4909	0.2454
12	1.1267	1.4317	1.2324	0.1350	0.5400	0.2700
13	1.1390	1.4792	1.2560	0.1473	0.5890	0.2945
14	1.1514	1.5282	1.2801	0.1595	0.6381	0.3191
15	1.1639	1.5789	1.3047	0.1718	0.6872	0.3436
16	1.1766	1.6313	1.3297	0.1841	0.7363	0.3682
17	1.1895	1.6853	1.3552	0.1963	0.7854	0.3927
18	1.2024	1.7412	1.3812	0.2086	0.8345	0.4172
19	1.2155	1.7990	1.4077	0.2209	0.8836	0.4418
...
128		63			6.2	
256			127			6.2
512	255			6.2		

3 DOSIAHNUTÉ VÝSLEDKY REGISTRÁCIE

Pre experimentálne testovanie funkčnosti algoritmu registrácie boli použité testovacie sady obrazov:

- Testovacia sada 1 s rozlíšením $512 \times 512 \times 8$ b.
- Testovacia sada 2 s rozlíšením $128 \times 128 \times 8$ b.
- Testovacia sada 3 s rozlíšením $256 \times 256 \times 8$ b.

Na Obr. 6 sú ukážky obrázkov z jednotlivých testovacích sád.



Obr. 6 Ukážky spracovávaných obrázkov z testovacích sád 1–3

V Tab. 2, 3 a 4 sú výsledky registrácie obrázkov postupne zo sady 1, 2 a 3.

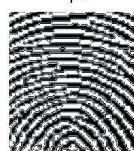
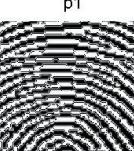
4 VPLYV ROZLÍŠENIA OBRÁZKOV NA PRESNOSŤ REGISTRÁCIE OBRAZOV – VÝSLEDKY

Podobne ako vo všetkých metódach digitálneho spracovania obrazov, aj presnosť tejto metódy závisí od rozlíšenia vstupných obrazov. Ako vidno aj z vyššie uvedených tabuľiek, najlepšie výsledky boli dosiahnuté pre obrazy zo sady 1, pri najvyššom rozlíšení vstupných obrazov.

Presnosť výpočtu je obmedzená minimálnym krokom pre výpočet mierky a uhla pri logaritmicko-polárnom prevzorkovaní amplitúd. Tento krok závisí od veľkosti vstupného obrazu.

Algoritmy a softvérové parametre optimálne spracovávajú obrazy zosnímané v rozlíšení 500 pixelov na palec (DPI) čomu zodpovedá 19,69 pixelov na milimeter (ppmm) s farebným rozlíšením 256 hodnôt šedej. Štandard ANSI/NIST určuje dĺžkovú jednotku 0,01 mm s definovaním počiatku v ľavom dolnom rohu obrazu. Napr. obrázok 512×512 pixelov zodpovedá rozmeru 26×26 mm, čomu zodpovedá počet dĺžkových jednotiek 2600×2600 . Jeden pixel reprezentuje 0,05 mm.

Tab. 2 Výsledky registrácie – sada 1 ($512 \times 512 \times 8$ b)

Referenčný a testovaný obraz pred registráciou a po registrácii Pôvodné obrazy	Registrované obrazy po výrezaní			Vypočítané transformačné parametre
				dX = 15 dY = 20 mierka = 1 rotácia = 0
				dX = 0 dY = 0 mierka = 1.109 rotácia = 0
				dX = 0 dY = 0 mierka = 1 rotácia = 9.123
				dX = 14 dY = 18 mierka = 1.109 rotácia = 0
				dX = 12 dY = 22 mierka = 1 rotácia = 9.123
				dX = 10 dY = 20 mierka = 1.109 rotácia = 9.123

Tab. 3 Výsledky registrácie – sada 2 ($128 \times 128 \times 8$ b)

Referenčný a testovaný obraz pred registráciou a po registrácii				Vypočítané transformačné parametre
Pôvodné obrazy		Registrované obrazy po výrezaní		
				dX = 15 dY = 20 mierka = 1 rotácia = 0
				dX = 0 dY = 0 mierka = 1.121 rotácia = 0
				dX = 0 dY = 0 mierka = 1 rotácia = 8.372
				dX = 13 dY = 18 mierka = 1.121 rotácia = 0
				dX = 12 dY = 22 mierka = 1 rotácia = 8.372
				dX = 11 dY = 22 mierka = 1.121 rotácia = 8.372

Tab. 4 Výsledky registrácie – sada 3 ($256 \times 256 \times 8$ b)

Referenčný a testovaný obraz pred registráciou a po registrácii				Vypočítané transformačné parametre
Pôvodné obrazy		Registrované obrazy po výrezaní		
p3	p3-X15Y20	p3	p3-X15Y20	dX = 15 dY = 20 mierka = 1 rotácia = 0
				
p3	p3-M1.1	p3	p3-M1.1	dX = -1 dY = 0 mierka = 1.110 rotácia = 0
				
p3	p3-R9	p3	p3-R9	dX = 0 dY = 0 mierka = 1 rotácia = 8.405
				
p3	p3-X15Y20M1.1	p3	p3-X15Y20M1.1	dX = 13 dY = 18 mierka = 1.110 rotácia = 0
				
p3	p3-X15Y20R9	p3	p3-X15Y20R9	dX = 12 dY = 22 mierka = 1 rotácia = 8.405
				
p3	p3-X15Y20M1.1R9	p3	p3-X15Y20M1.1R9	dX = 10 dY = 20 mierka = 1.110 rotácia = 8.405
				

Výsledky uvedené v Tab. 5 ukazujú, že rozlíšenie obrázku má najväčší vplyv na určenie pootočenia testovaného obrazu, kde základný krok, ktorý je možné identifikovať, je pri rozlíšení 128×128 pixelov 2,8 stupňa. Je to spôsobené konverziou logaritmicko-pôlárnych súradníc na kartezianske. Na určenie zmeny mierky rozlíšenie vstupného obrazu nemá až taký veľký vplyv. Vypočítané hodnoty posunutia, napriek tomu, že sú odlišné od skutočných hodnôt, nie sú znakom chybnej registrácie. Vznikli tým, že spätné pootočenie a zmena mierky testovaných obrazov súčasne aj posunuli obraz do inej polohy. Posunutie sa určuje ako posledný parameter z tejto zmenenej polohy testovaného obrazu. Vizuálne porovnanie vyrezaných častí registrovaných obrazov (pozri Tab. 1, 2 a 3) dokazuje správne napolohovanie testovaného obrazu.

Za nevýhodu metódy môžeme považovať nutnosť úpravy veľkosti spracovaných obrazov na rozmer 2^N , nakoľko pri numerickom spracovaní sa používa rýchla Fourierova transformácia. Takáto úprava vyžaduje predspracovanie nasnímaných obrazov odtlačkov prstov.

Tab. 5 Závislosť presnosti od rozlíšenia obrazu

Testovany obraz	Skutočné hodnoty				Vypočítané hodnoty			
	dX	dY	mierka	rotácia	dX	dY	mierka	rotácia
Sada 1: 512 x 512 20 ppm; 0,05 mm/pix θ : 0,7 stupeň/pix								
p1-X15Y20	15	20	1	0	15	20	1	0
p1-R9	0	0	1	9	0	0	1	9,123
p1-M1.1	0	0	1,1	0	0	0	1,109	0
p1-X15Y20M1.1	15	20	1,1	0	14	18	1,109	0
p1-X15Y20R9	15	20	1	9	12	22	1	9,123
p1-X15Y20M1.1R9	15	20	1,1	9	10	20	1,109	9,123
Sada 3: 256 x 256 10 ppm; 0,1 mm/pix θ : 1,4 stupeň/pix								
p3-X15Y20	15	20	1	0	15	20	1	0
p3-R9	0	0	1	9	0	0	1	8,405
p3-M1.1	0	0	1,1	0	-1	0	1,11	0
p3-X15Y20M1.1	15	20	1,1	0	13	18	1,11	0
p3-X15Y20R9	15	20	1	9	12	22	1	8,405
p3-X15Y20M1.1R9	15	20	1,1	9	10	20	1,11	8,405
Sada 2: 128 x 128 5 ppm; 0,2 mm/pix θ : 2,8 stupeň/pix								
p2-X15Y20	15	20	1	0	15	20	1	0
p2-R9	0	0	1	9	0	0	1	8,372
p2-M1.1	0	0	1,1	0	0	0	1,121	0
p2-X15Y20M1.1	15	20	1,1	0	13	18	1,121	0
p2-X15Y20R9	15	20	1	9	12	22	1	8,372
p2-X15Y20M1.1R9	15	20	1,1	9	11	20	1,121	8,372

6 ZÁVER

Overením popísanej metódy na testovaných sadách odtlačkov prstov sme zistili, že Fourier-Mellinova transformácia je vhodný nástroj pre registráciu odtlačkov prstov. Pomocou navrhnutého algoritmu sa podarilo zregistrovať nielen posunuté obrazy ale aj natočené a so zmenenou mierkou. Obrazy, ktoré mali rôzne zmenené mierky v jednotlivých smeroch sa nepodarilo zregistrovať. Podarilo sa ale zregistrovať neúplné obrazy odtlačkov prstov.

LITERATÚRA

- EGLI, A. (2009): Medical Image Registration 2D/3D (X-Ray/CT). Dostupné on-line: informatik.unibas.ch/lehre/fs09/cs503/_Downloads/egli.pdf [cit. jún 2009]
- CHEN, Q. S. (1993): Image Registration and its Applications in Medical Imaging. Dissertation work, Vrije Universiteit Brussel, Deconinck 1993
- PIVARČIOVÁ, E. – ŠURIANSKY, J. (2008): Návrh a realizácia biometrického systému. In.: Acta Facultatis Technicae, Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 1/2008, ISSN 1336–4472, s. 51–62
- WILMER, A. (2003): Fourier-Mellin based Image Registration (with GUI). Dostupné on-line: <http://www.mathworks.nl/matlabcentral/fileexchange/loadFile.do?objectId=3000#> [cit. okt. 2008]
- WOLBERG, G. – ZOKAI, S. (2000): Robust image registration using log-polar transform. In: Proceedings of IEEE Conference on Image Processing, 2000
Dostupné on-line: www.cs.ccny.edu/~wolberg/pub/icip00.pdf [cit. jan. 2007]

Kontaktná adresa

Ing. Tibor Csongrády, CSc.
cso@vsld.tuzvo.sk
Technická univerzita vo Zvolene
Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky
Katedra informatiky a automatizačnej techniky
Masarykova 24, 960 53 Zvolen

VYHODNOTENIE TEPLITNÝCH POLÍ A MIRKOSKOPICKÝCH ŠTRUKTÚR ZVAROVÝCH SPOJOV

EVALUATION OF TEMPERATURE FIELDS AND MICROSCOPIC STRUCTURES IN WELDED JOINTS

Imrich ANDREJČÁK – Michal MURÁNSKY – Milan KOKAVEC

ABSTRACT: The article explains the particular measurement of model welded joints. By the measurement we used two samples on which we made measurements with three thermocouples. The record was made with three-channel recorder. Measured values are shown in tables and graphs, in which they describe the temperature dependence on time for each technology. In conclusion, the three-dimensional display of thermal field weld made MIG technology is and microscopic analysis of samples.

Key words: Thermal field by welding, measurement of temperature dependence in welded joints, microscopic analysis

ABSTRAKT: Príspevok vysvetľuje konkrétné meranie modelových zvarových spojov. Pri meraní sa použili po 2 vzorky, na ktorých sme uskutočnili merania s 3 termočlánkami, zápis sa robil 3 kanálovým zapisovačom. Namerané hodnoty sú v tabuľkách a znázornené aj v grafoch kde popisujú závislosť teploty na čase pre jednotlivé technológie. V závere príspevku je trojrozmerné zobrazenie tepelného poľa zvaru vyhotoveného technológiou MIG a mikroskopická analýza vzoriek.

Kľúčové slová: Tepelné pole pri zváraní, meranie teplotnej závislosti zvarových spojov, mikroskopická analýza

1. ÚVOD

Zváranie je jednou z najprogresívnejších strojárskych výrobných technológií. Produktom zvárania ako výrobnej technológie sú zvarky a zvárané konštrukcie. Zváranie sa používa takmer pri výrobe všetkých druhov strojárskych výrobkov a to od mikrosúčiastok a malých dielcov až po veľké nosné konštrukcie. [Adamka, 1985]

Rovnica vedenia tepla je praktickým príkladom *parabolickej* rovnice.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + f(x, t) \quad (1)$$

T – teplota (K),

t – čas (s),

$a > 0$ – konštantá,

x – súradnica meraného miesta vo vektorovom tvere

Na riešenie niektorých úloh sa aplikuje rovnica (1), ktorá sa líši typom a hraničnými hodnotami. V nasledujúcej časti tohto príspevku sa budeme zaoberať jednoduchou úlohou, v oblasti $\{(x, t) \in E_2, t > 0\}$ a funkciou $\varphi(x)$, $\varphi \in C(E_1)$. Uvažovaná oblasť je teda polovina nad osou x , pričom funkcia φ je na hranici, to je na osi x spojitá. *Causchýho úlohou* pre danú rovnicu, rozumieme nájsť funkciu $u = C((x, t))$, ktorá je riešením rovnice (1) v oblasti a na hranici, t.j. pre $t = 0$, spĺňa začiatocné podmienku.

$$T(x, 0) = \varphi(x), \quad x \in E_2. \quad (2)$$

Zároveň je oblasť ohrazená $\{(x, t) \in E_2, a < x > b, t > 0\}$ a funkcie $\varphi(x)$, $\alpha(t)$, $\beta(t)$, pričom $\varphi \in (-a, b)$ a $\alpha, \beta \in C(<0, +\infty)$, následne platí $\varphi(a) = \alpha(0)$, $\varphi(b) = \beta(0)$. Oblasť je teda polopásom obmedzeným priamkami $x = a$, $x = b$ pri $t > 0$ na ktorého hranici je daná spojité funkcia a jej časťami sú funkcie φ , α , β . [Kabát, 1984]

Združenou úlohou pre rovnicu (1) myslíme, nájsť funkciu $u = C(\Omega^{a,b})$, ktorá je v oblasti $\Omega^{a,b}$ riešením rovnice tak, že na hraniciach oblasti spĺňa začiatocné podmienky

$$T(x, 0) = \varphi(x) \quad x \in (a, b) \quad (3)$$

a okrajové podmienky

$$T(a, t) = \alpha(t) \quad t \geq 0 \quad (4)$$

$$T(b, t) = \beta(t) \quad t \geq 0 \quad (5)$$

Rovnica vedenia tepla popisuje napr. časový priebeh teploty $T(x, t)$ v bodoch izolované, tepelne vodivej týče umiestnej v osi x , pričom funkcia f charakterizuje prípadné vnútorné zdroje alebo spotrebiče tepla. Teploty týče na začiatku sú predpísané hodnotami funkcie φ . V prípade Caushýho úlohy sa zvažuje idealizovaná týč nekonečnej dĺžky. V prípade združenej úlohy ide o týč konečnej dĺžky s krajinými bodmi a, b , v ktorých je predpísaný časový priebeh teploty okrajovými podmienkami (4), (5).

Úlohy, ktoré vedú na rovnicu vedenia tepla je treba formulovať pre $t \geq 0$. Pri $t < 0$ nemusí byť zaručená existencia riešenia, obvykle rovnice vedenia tepla modelujú nevratné procesy. Existuje teda jediné riešenie Cauchýho úlohy pre rovnicu vedenia tepla (1) ak predpokladáme $f \in C^1(\Omega^{a,b})$, α, β sú spojité a obmedzené spolu s druhými deriváciami v intervale $(0, +\infty)$.

Diskretizáciu rovnice (1) prevedieme náhradou derivácie $\partial T / \partial t$ a deriváciu $\partial^2 T / \partial t^2$

Dostaneme:

$$\frac{T_{i,k+1} - T_{ik}}{\tau} = p \frac{T_{i-1,k} - 2T_{ik} + T_{i+1,k}}{h^2} + f(x_i, t_k) \quad (6)$$

Ak označíme pre zjednodušenie $\delta = \tau/h_2$, získame po úprave sústém sieťových rovníc

$$T_{i,k+1} = \delta(T_{i-1,k} + T_{i+1,k}) + (1 - 2\delta)T_{ik} + \tau f(x_i, t_k), \quad i = 0, \pm 1, \pm 2, \dots; k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (7)$$

ktoré doplníme v súlade so začiatočnými podmienkami.

$$T_{i0} = \varphi(x_i), \quad i = 1, \pm 2, \dots \quad (8)$$

Odtiaľ plynie jednoduchý algoritmus pre výpočet hodnôt T_{ik} . Hodnoty $T_{i,k+1}$ v uzloch $(k+1)$ časovej vrstve je možné určiť pomocou hodnôt v uzloch k -tej vrstvy. Povšimnime si však, že riešenie v celej oblasti Ω (tá nie je obmedzená) je možné nájsť iba teoreticky, sústava sieťových rovníc predstavuje totiž nekonečne mnoho rovníc pre nekonečne mnoho neznámych. Pri praktickej realizácii je potrebné brať do úvahy interval $(-\infty, +\infty)$, v ktorom je zadaná začiatočná podmienka, a následne ho nahradiť nejakým konečným intervalom $(a, b) \subset E_i$, takže začiatočné hodnoty T_{i0} sú k dispozícii iba pre tie indexy, pre ktoré platí $x_i \in (a, b)$. Ak zoberieme napr. $x_0 = a$, $h = (b - a)/a$, kde ($n > 1$ je celé číslo), potom uvažujeme iba $u_{i0} = \varphi(x_i)$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$ a hodnoty u_{i0} pre ostatné indexy nepovažujeme za významné. Ak chceme určiť približné riešenie v nejakom vopred danom pevnom uzle P_{ik} siete, musíme vychádzať z dostatočne veľkého začiatočného intervalu (a, b) . [Kabát, 1984]

Pri spojení základných materiálov tavným zvarom vznikne v okolí prídavného materiálu, ktorý bol roztavený, pásmo zahriate na prekryštalizačnú teplotu. Šírka tohto prechodového pásma charakterizuje veľkosť teplotného spádu pri zváraní. Táto šírka záleží na druhu zvárania, priemere a obale elektródy a na parametroch zváracieho procesu. V štruktúre zvarového kovu a prechodevej časti je viac oblastí, ktoré závisia na výške teplôt, na ktoré bol materiál týchto oblastí ohriaty. Mikroštruktúra húsenky (v prípade viacerých húseniek vrchnej) je tvorená hrubými dendritmi feritu v dôsledku primárnej kryštalizácie. Malé množstvo perlitu je vylúčené v úzkych útvareoch medzi dendritmi.

Oblast prehriatia je charakterizovaná hrubožrnnou štruktúrou ferito perlitickou. Oblasť nad teplotou prehriatia tesne nad A_3 , má jemnožrnnú štruktúru ferito perlitickú, ktorá zodpovedá stavu normalizačné vyžíhanemu. Oblast ohriatia medzi teplotami A_1 a A_3 vykazuje značné zmeny zrna ocele a jeho tvar. Tu došlo k čiastočnej prekryštalizácii, čo sa prejaví aj tým, že medzi normálnymi zrnamí vznikajú drobné, nové zrná. V niektorých prípadoch môže vzniknúť aj štruktúra tvorená glóbulárnym perlitom a feritom.

Základný materiál je tvorený štruktúrou feriticko-perlitickou, kde pomer zložiek zodpovedá obsahu uhlíka v príslušnej oceli. [Bernašovský, 1996]

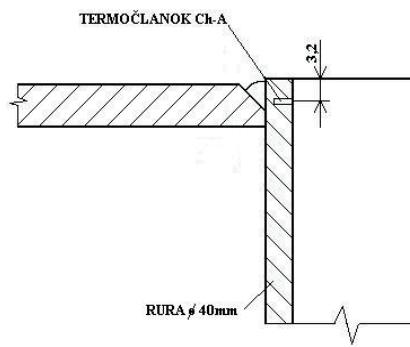
2. MATERIÁL A METÓDY MERANIA

Uskutočnili sme merania teplotných polí modelových zvarových spojov na vzorku – rúrke materiálu STN 41 2021 (ISO 2605), $\phi 40$ mm, s hrúbkou steny 2 mm a plechu,

materiál STN 41 2021 (ISO 2605), hrúbky 6 mm s úkosom pre zváranie. Na meranie teplotných polí bolo pripravené samostatné pracovisko. Merania boli uskutočnené nasledovnými technológiami:

- 1) technológia MIG, ochranný plyn 100 % Ar, prídavný materiál Cr-Ni-Mn
- 2) technológia MAG, ochranný plyn 83 % Ar, 15 % He, 2 % CO₂, prídavný materiál SG2 φ 0,8 mm
- 3) technológia ROZ, prídavný materiál E-B-121 (E 44.83), elektróda + pól

Pre každú technológiu boli vyhotovené po dve merania. Na vzorkách sme uskutočnili merania s tromi termočlánkami Ch-A po obvode rúrky. Zápis teplotných polí sme robili trojkanálovým zapisovačom firmy RIKEN Co. LTD. Rýchlosť posuvu papiera bola zvolená 480 mm·min⁻¹. Rozsah záznamu termoelektrického napäťa na zapisovači bol zvolený 50 mV. Rozmiestnenie termočlánkov je vidieť na obr. 1



Obrázok 1 Umiestnenie termočlánkov

Označenie vzoriek pre jednotlivé merania a technológie je nasledovné:

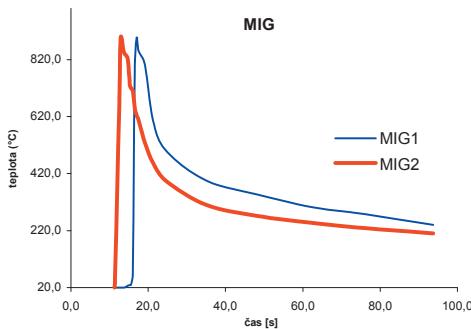
- technológia MIG – MIG1, MIG2
- technológia MAG – MAG1, MAG2
- technológia ROZ – ROZ1, ROZ2

Namerané hodnoty maximálnej teploty teplotného cyklu T_{max} a času ochladzovania medzi 800 a 500 °C Δt_{8/5} sú uvedené v tabuľke 1.

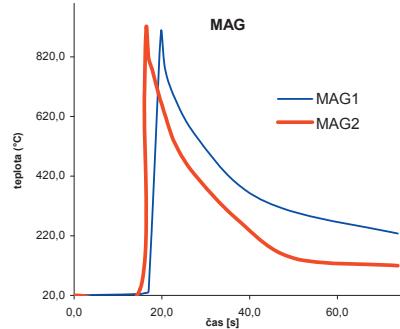
Tabuľka 1 Namerané hodnoty T_{max} a Δt_{8/5} technológia MIG, MAG, ROZ

Metóda	Vzorka	T _{max} [°C]	Δt _{8/5} [s]	Poznámka
MIG	MIG1	898	5,6	
	MIG2	895	5,1	
MAG	MAG1	910	8,1	
	MAG2	920	8,5	
ROZ	ROZ1	1036	28,7	
	ROZ2	1040	30,3	

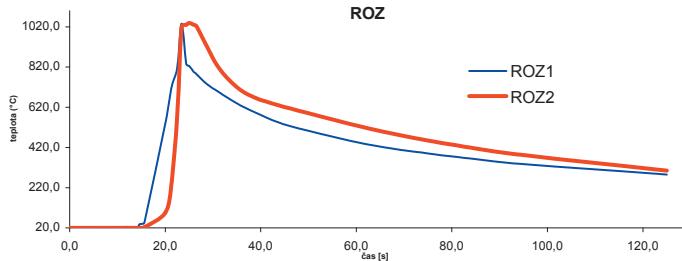
Zobrazenie závislosti teploty na čase pre jednotlivé merania označených vzoriek je znázornené graficky na obrázok 2, 3, 4 pre jednotlivé technológie zvárania.



Obrázok 2 Závislosť teploty na čase pre MIG

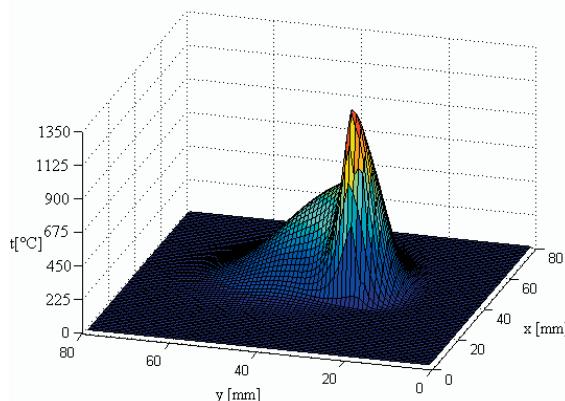


Obrázok 3 Závislosť teploty na čase pre MAG

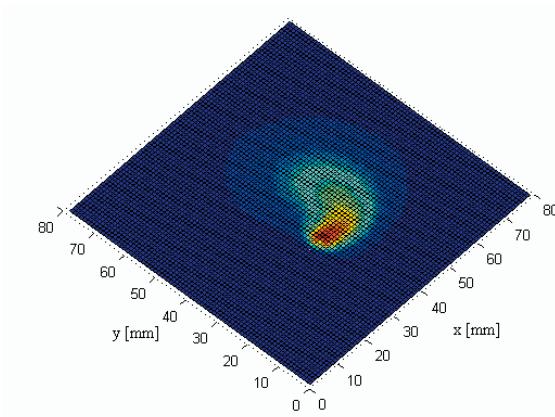


Obrázok 4 Závislosť teploty na čase pre ROZ

Na obrázok 5 je trojrozmerné zobrazenie teplotného poľa zvaru vyhotoveného technológiou MIG, vrcholový uhol elektródy 90° , na rúrke s priemerom 40 mm. Na obrázku 6 je pohľad na rovinu zhora.



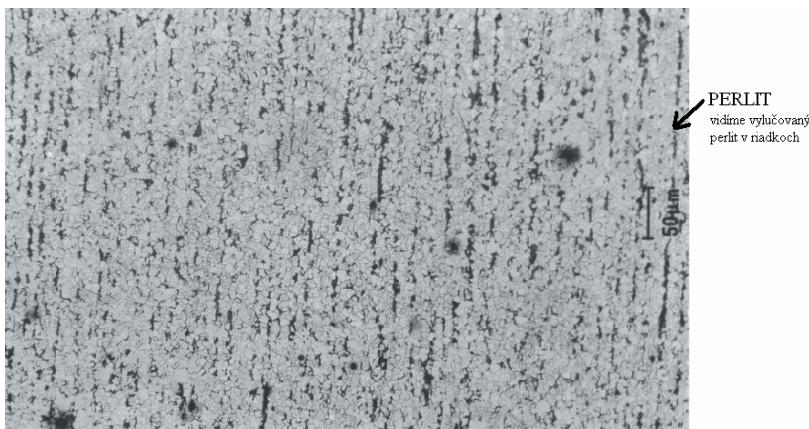
Obrázok 5 Zobrazenie teplotného poľa, technológia MIG



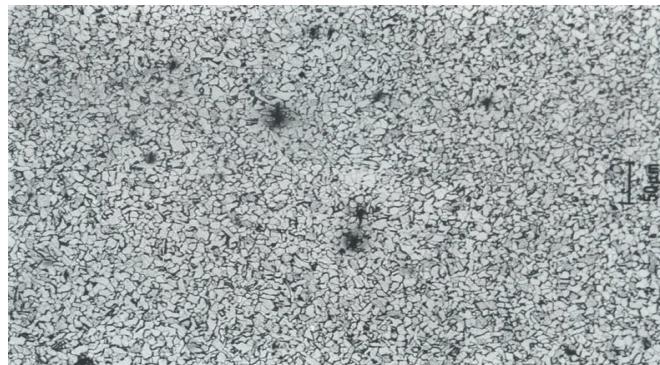
Obrázok 6 Pohľad na rovinu zhora

Následne sme vykonali mikroskopickú analýzu vzoriek, ako je možné vidieť pre ROZ na obrázku 7 je štruktúra ocele rúrky jemnozrnná feriticko-perlitická s riadkovitým vylúčením perlitu. V štruktúre sa vyskytujú drobné oxidické v mestky.

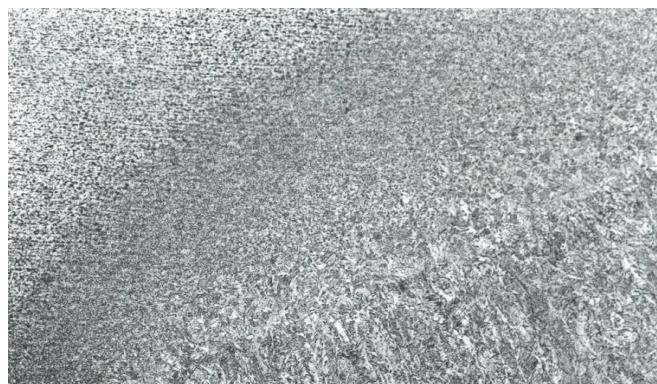
Z hľadiska hodnotenia zvariteľnosti spojov táto štruktúra nepredstavuje žiadne obmedzenie, takže zvariteľnosť tohto zvaru môžeme hodnotiť ako veľmi dobrú. Horšie je to ale s prevarením koreňa zvaru. V prípade technológie zvárania MAG (obr. 8) je základný materiál rúrky opäť jemnozrnná feriticko-perlitická štruktúra vytvorená normalizačným žíhaním s miestami riadkovitým vylúčením perlitu. Pri technológii MIG, z hľadiska vzniknutých štruktúr prechodu zvaru je zvariteľnosť bezproblémová (obrázok 9).



Obrázok 7 Zväčšenie 200× vzorka č. 1



Obrázok 8 Zväčšenie 200× vzorka č. 2



Obrázok 9 Zväčšenie 50× vzorka č. 3

3. DISKUSIA VÝSLEDKOV

Na experiment boli použité po dve vzorky zvarových spojov materiálu 12 021 pri zváraní elektrickým oblúkom, v ochrannej atmosfére CO₂ a argónu. Z výsledkov mikroskopickej analýzy vzoriek podľa čistoty zvaru vychádza najlepšie zváranie v ochranej atmosfére argónu, druhé v poradí je zváranie v ochrannej atmosfére CO₂ a posledné zváranie elektrickým oblúkom. Podľa jemnosti štruktúry najjemnejšia štruktúra sa javí pri zváraní v ochrannej atmosfére argónu, hrubšia pri zváraní v ochrannej atmosfére CO₂ a a najhrubšia pri zváraní elektrickým oblúkom. Celkove porovnaním kvality uvedených vlastností najlepšie sa javí zváranie v ochrannej atmosfére argónu.

Pre každú technológiu zvárania boli pripravené vzorky, na ktorých boli uskutočnené merania so zápisom teplotných polí. Na základe uskutočnených výpočtov teplotných polí a experimentálnych meraní pri modelových zvarových spojoch rúrky, bola zistená veľmi dobrá zhoda teplotných polí získaných riešením fyzikálno-matematického modelu

a experimentálne stanovenými teplotnými poľami. Pri experimentálnom meraní teplotných polí boli zistené najkratšie doby ochladzovania medzi 800 °C a 500 °C pri technológií MIG čo má za následok vznik najjemnejšej štruktúry zo všetkých hodnotených vzoriek, čo príaznivo vplyvá na dobrú kvalitu zvarového spoja. Dosiahnuté experimentálne výsledky pri sledovaní vplyvu jednotlivých zváracích parametrov na priebeh jednotlivých termických cyklov a na maximálne tepelné ovplyvnenie sú uvedené v prehľadných diagramoch. V závere sú opísané štruktúrne zmeny v oblasti zvarového spoja a možnosti použitia získaných výsledkov.

4. ZÁVER

Pre ďalšie riešenie problematiky je možné na základe analýz teoretickej časti práce a skúsenosti z experimentálnej časti konštatovať nasledujúce odporučenie. S ohľadom na možnosti využitia daného spôsobu vplyvu teplotného poľa na zmeny materiálu pri oprávach zváraním je potrebné ďalšie zdokonaľovanie v zmysle priebežného doplnovania nových informácií na základe aktuálnych poznatkov z praxe a postupného riešenia grantovej úlohy VEGA – Projekt: 1/0511/08 |5| Využitie technológií neurónových sieti pre diagnostiku a spoľahlivosť technických systémov zariadení tepelnej energetiky.

Príspevok bol spracovaný za pomocí projektu: VEGA 1/0511/08 Využitie technológií neurónových sieti pre diagnostiku a spoľahlivosť technických systémov zariadení tepelnej energetiky.

LITERATÚRA

1. ADAMKA, J., GRUTKA, E., VESELKO, J.: *Technológia zvárania*. Bratislava: Alfa, 1985.
2. BERNASOVSKÝ, P., BLECHA, A., BOŠANSKÝ, J., MAGULA, V. *Náuka o materiáli a zváriteľnosť ocelí*. Bratislava: VUZ 1996.
3. HAVALDA, A. *Tepelná kinetika pri zváraní elektrickým oblúkom*. Bratislava: SNTL, 1969.
4. KABÁT, E.: *Termomechanika – termokinetika*. Bratislava, Alfa, 1984.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Imrich Andrejčák, PhD.

Ing. Michal Muránsky, MSc.

Ing. Milan Kokavec

Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky, Technická univerzita, Študentská 26, 960 53 Zvolen.

VPLYV NEVYVÁŽENOSTI NÁSTROJA A NÁSTROJOVÉHO DRŽIAKA NA VÝSLEDNÚ PRESNOSŤ VÝROBKU PO ČELNOM FRÉZOVANÍ

THE INFLUENCE OF TOOL & TOOLHOLDER ASSEMBLY UNBALANCE ON PART ACCURACY AFTER FACE MILLING

Júlia MEČIAROVÁ

ABSTRACT: High-speed machining has become a fact of life for the manufacturing industry nowadays. But with increasing speed, many other problems appear. Surface finish can be influenced by background vibration and one of the major contributors to vibration is unbalance. The paper deals with the influence of selected technological parameters on part accuracy after face milling of aluminium alloy. The experimental results demonstrate the effect of tool unbalance and tool holding on surface quality.

Key words: milling cutter, tool unbalance, holding, surface quality

ABSTRAKT: Vysokorýchlosné obrábanie patrí v súčasnosti medzi trendy v strojárskej praxi. So zvyšovaním rezných rýchlosťí však môžu vzniknúť rôzne problémy. Drsnosť povrchu vyrábanej súčiastky môže byť ovplyvnená vibráciami, pričom jedným z hlavných prispievateľov k vibráciám je nevyváženosť. Predkladaný príspevok sa zaobera vplyvom vybraných technologických parametrov na výslednú presnosť vyrábanej súčiastky po operácii čelného frézovania. Výsledky experimentálnych meraní dokazujú mieru vplyvu vyuvažovania stopkových rezných nástrojov a ich upínania na presnosť obrobeneho povrchu.

Kľúčové slová: rezný nástroj, nevyváženosť nástroja, upínanie, kvalita povrchu

1. ÚVOD

V súčasnej strojárskej praxi sa už bežne stretávame s vysokorýchlosnými obrábacími centrami, ktoré pracujú pri frekvenciach otáčania vretena $40\ 000\ min^{-1}$ a vyšších. Tieto vysoké hodnoty však kladú nemalé nároky na nástrojové držiaky ako aj na samotné nástroje. Spojenie medzi hriadeľom frézovacieho stroja a nástrojovým držiakom je najčastejšie realizované pomocou kužeľa HSK 63 E, pri vyšších nárokoch HSK 63F. Upnutie nástroja je následne realizované viacerými spôsobmi. Medzi najviac používané spôsoby upnutia nástrojov pre vysokorýchlosné obrábanie patria klieštinové upínače ER, OZ, tepelný upínač, hydraulický upínač, systémy TRIBOS a SINO (Javorek, 2006). Pri dlhých a štíhlych

nástrojoch (frézovanie foriem) je dôležité celkové vyváženie nástrojového kompletu, tj. nástrojového držiaka spolu s nástrojom, a to nielen vzhľadom na kvalitu obrobenej plochy a životnosť nástroja, ale aj životnosť ložísk rotora elektrovretna a v neposlednom rade aj zvýšenej hlučnosti nevyváženého nástroja.

Predmetom tohto článku je experimentálne overenie vhodnosti klieštinového upínača HSK 63F ER32 na vysokorýchlosné obrábanie, ako najčastejšie sa vyskytujúci systém upínania stopkových nástrojov. Skúmaným parametrom je vplyv vyváženia nástrojového kompletu tohto typu držiaka a stopkového nástroja pri vybraných technologických podmienkach na výslednú kvalitu obrobenej plochy po operácii čelného frézovania.

2. VYVAŽOVANIE NÁSTROJOV

2.1 Definícia nevyváženosťi

Nevyváženosť je vo všeobecnosti možné definovať ako rozdiel vzdialenosťi hmotnostného ľažiska telesa voči jeho geometricky určenému uloženiu. Čo sa týka vyvažovania rotačných nástrojov, nerovnomerné rozloženie hmoty k osi otáčania vretena spôsobujú vznik síl, ktoré zapríčinujú vychýlenie nástroja z jeho prírodzenej osi rotácie.

Celková nevyváženosť frézovacieho nástroja môže mať mnoho príčin, napr. nevyváženosť vyplývajúcu z nesymetrických konštrukčných prvkov, vplyv výrobnej tolerancie držiakov či obvodové hádzanie držiaka. Rozmanité príčiny vedú k rôznym druhom nevyváženosťi. Rozlišujeme tri typy nevyváženosťi (STN ISO 1925; Layne, 2010):

- a) nevyváženosť statická, pri ktorej je hlavná os momentu zotrvačnosti rovnobežná s osou rotácie. Možno ju odstrániť vyvážením hmôt v jednej rovin,
- b) nevyváženosť klopného momentu, pri ktorej je hlavná os momentu rôznobežná s osou rotácie. Možno ju odstrániť dynamickým vyvažovaním v dvoch rovinách,
- c) nevyváženosť dynamická, ktorá je kombináciou dvoch predchádzajúcich.

Teoreticky je teda nástroj potrebné vyvažovať v dvoch rovinách. Zo skúseností sa však nástroje vyvažujú staticky (v jednej rovine), ak výška nástroja nepresahuje jeho polomer a dynamicky (v dvoch rovinách), ak výška nástroja je väčšia ako jeho polomer.

2.1 Presnosť vyvažovania

Presnosťou vyvažovania jednotlivých skupín výrobkov sa zaobrá norma ISO 1940. Tá príslušným skupinám výrobkov predpisuje požadovaný stupeň vyváženia G a určuje prípustnú mieru zostatkovej nevyváženosťi U_{\max} . Vychádza sa pritom z prevádzkových otáčok rotora a jeho hmotnosti.

Pre jej výpočet platí nasledovný vzťah:

$$U_{\max} = \frac{G \cdot M \cdot 9549}{n} \quad (1)$$

U_{\max} – prípustná zostatková nevyváženosť [g.mm],

G – stupeň vyváženia [$\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$],

M – hmotnosť vyvažovaného nástroja [kg],

n – pracovná frekvencia otáčania nástroja/upínača [min^{-1}].

Normou je rovnako definovaný pojem excentricity e_{\max} , ktorý vyjadruje excentricitu zostatkovej nevyváženosťi U_{\max} vzhľadom k osi rotácie. Ide o podiel zostatkovej nevyváženosťi U_{\max} vzhľadom k celkovej hmotnosti nástroja/upínača M. Vypočítá sa ako:

$$e_{\max} = \frac{U_{\max}}{M} = \frac{m \cdot r}{M} \quad (2)$$

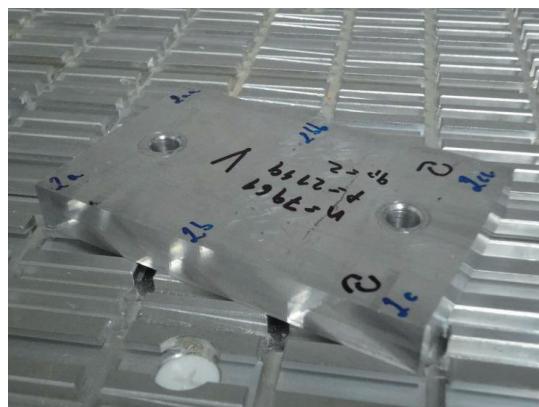
e_{\max} – prípustná zostatková excentricita [μm],
 U_{\max} – prípustná zostatková nevyváženosť [$g \cdot mm$],
 M – hmotnosť vyvažovaného nástroja [kg],
 m – prípustná zostatková hmotnosť nevývažku [g],
 r – polomer polohy zostatkového nevývažku [mm].

Pre jednotlivé druhy nástrojov sú normou ISO 1940-1 dané nasledovné stupne vyváženia G:

- pre samostatný nástroj – G 16 a lepšie,
- pre zložený nástrojový komplet – G 40 a lepšie.

3. MATERIÁL A METÓDY

Pre experimentálne stanovenie vplyvu nevyváženosťi nástroja na výslednú kvalitu povrchu bola ako materiál obrobku zvolená zliatina hliníka AlMgSi1 (DIN 1725 – 3.2315) pre jej široké uplatnenie v strojárskom priemysle (výroba komponentov v automobilovom a leteckom priemysle). Jej chemické zloženie udáva Tabuľka 1. Mechanické vlastnosti: medza sklzu $R_e = 245$ MPa, medza pevnosti $R_m = 300$ MPa. Vzorky boli vyhotovené s rozmermi $120 \times 80 \times 15$ mm a $120 \times 80 \times 20$ mm.



Obrázok 1 Vzorka s vyznačenou liniou frézovania a merania drsnosti

Tabuľka 1 Chemické zloženie hliníkovej zliatiny AlMgSi1

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

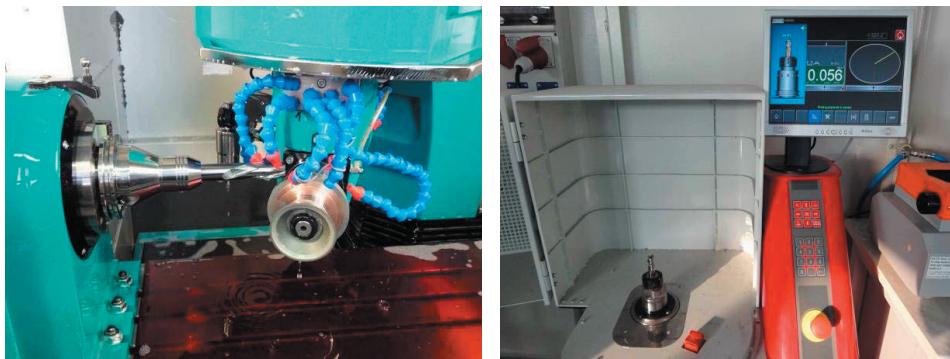
Experimentálne merania boli realizované na obrábacom centre SCM RECORD 110AL PRISMA, pričom nástroj bol upnutý v klieštinovom ER32 upínači HSK 63F, výrobcu IMS.

Tabuľka 2 Parametre stopkovej frézy

materiál	T10MG
priemer reznej časti nástroja	D = 16 mm
priemer upínacej stopky nástroja	d = 16 mm
dĺžka nástroja	L = 90 mm
dĺžka reznej časti nástroja	l = 32 mm
počet rezných hrán	z = 3
uhol stúpania skrutkovice	$\varphi = 45^\circ$
uhol čela	$\gamma = 17^\circ$
uhol chrbta	$\alpha = 10^\circ$
hlbka zubovej medzery	h = 4 mm

Použitý nástroj – stopková fréza – bol navrhnutý a vyrobený špeciálne pre vykonanie daných experimentov. Jeho základné údaje sú uvedené v Tabuľke 2. Konštrukcia bola volená s cieľom optimálne navrhnuť geometriu pre daný typ materiálu.

Prvá séria meraní bola vykonaná štandardným nástrojovým kompletom, tj. upínač bol vyvážený od výrobcu ($G\ 6,3; 20\ 000\ min^{-1}$), a osadeným nástrojom, ktorý po výrobe nie je vyvažovaný. Pri takomto skompletovaní upínača a nástroja bolo dosiahnuté vyváženie kompletu $G16; 20\ 000\ min^{-1}$. Druhá séria v rovnakom poradí technologických podmienok bola vykonaná už vyváženým nástrojovým kompletom (upínač spolu s nástrojom) na $G\ 2,5; 20\ 000\ min^{-1}$. Použitý bol vyvažovací stroj VTB15 od firmy CEMB (Obrázok 2).



Obrázok 2 Výroba nástroja a vyvažovanie nástrojového kompletu

Vzorky boli pevne upnuté pomocou skrutiek priamo na pracovný stôl obrábacieho centra (obrázok 3). V rámci frézovacieho procesu bola vzorka najskôr ofrézovaná na

presný rozmer, následne sa vykonalo experimentálne frézovanie (súbežné, protibežné) pri danej kombinácii technologických podmienok.



Obrázok 3 Upnutie a frézovanie vzorky

Na meranie drsnosti povrchu bol použitý prístroj Mahr Perthometer S2. Ako hodnotiaci faktor presnosti merania bola pri jednotlivých meraniach zvolená stredná aritmetická odchýlka profilu R_a .

Pre experimenty boli zvolené nasledovné rezné podmienky:

- rezná rýchlosť: $v_c = 1000 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,
- posuv na zub: $f_z = 0,05 \text{ mm}; 0,1 \text{ mm}$,
- axiálna hĺbka rezu: $a_p = 15 \text{ mm}; 20 \text{ mm}$,
- radiálna hĺbka rezu: $a_e = 3 \text{ mm}$.

4. VÝSLEDKY

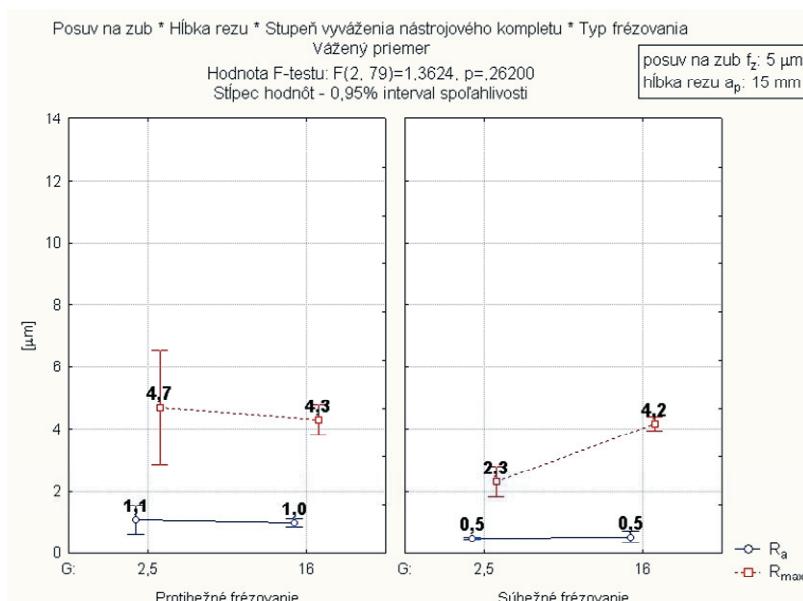
Konečná geometria a rozmery nástroja boli zvolené až po viacerých praktických skúškach. Ako zásadný faktor pri jeho návrhu sa prejavila dostatočne veľká medzizubová medzera a veľkosť sekundárnych uhlov chrba. Pri malej hodnote sekundárnych uhlov chrba a plytkej medzizubovej medzere trieska nestačila byť dostatočne účinne vynesená z miesta rezu. Dochádzalo k jej opätnému zaneseniu do miesta rezu, čo malo za následok jej „nalisovanie“ na obrobený povrch. Táto skutočnosť je zobrazená na Obrázku 4.



Obrázok 4 Nalisovanie triesky na vzorku

Najvýraznejšie spomedzi všetkých premenných vplýval na výslednú kvalitu obrobenej plochy typ frézovania. Z obrázkov 6 až 10 vyplýva, že priemerná hodnota drsnosti obrobenej plochy pri súbežnom frézovaní ($R_a = 0,56 \pm 0,33 \mu\text{m}$; $R_{max} = 3,77 \pm 2,60 \mu\text{m}$) je viac ako dvojnásobne nižšia ako pri frézovaní protibežnom ($R_a = 1,70 \pm 1,18 \mu\text{m}$; $R_{max} = 7,99 \pm 5,20 \mu\text{m}$).

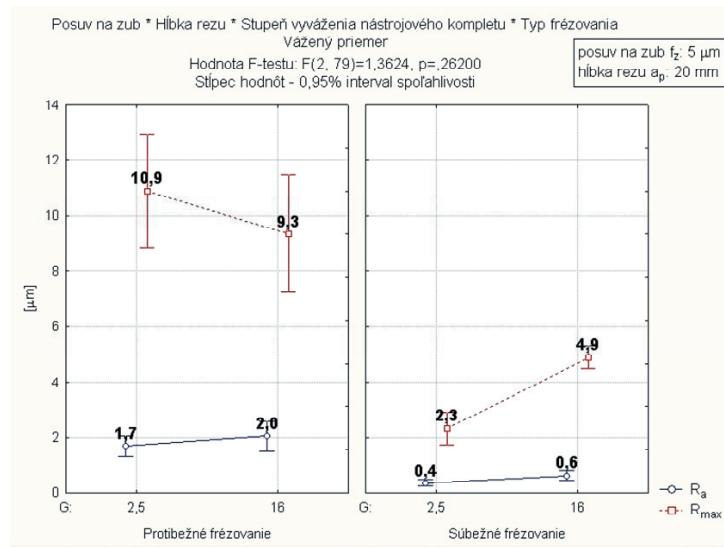
Rovnako interval spoľahlivosti je pri súbežnom frézovaní v podstatne užšom spektre ako pri protibežnom. Táto skutočnosť poukazuje na fakt, že proces obrábania protibežným typom frézovania je podstatne nestabilnejší.



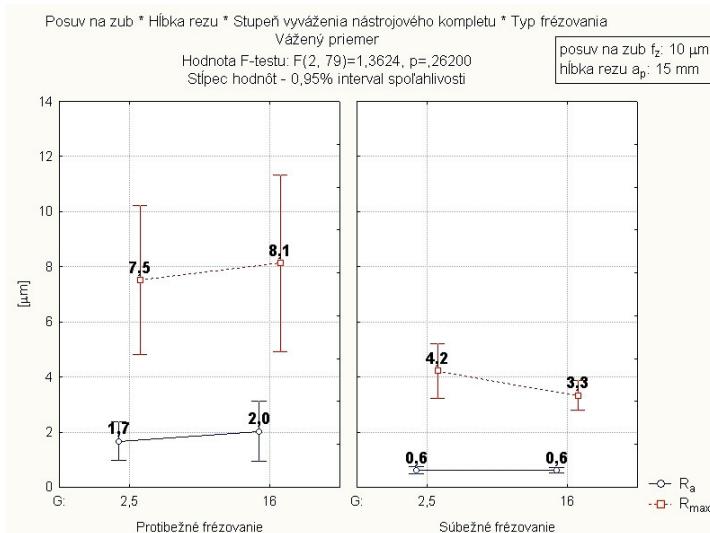
Obrázok 5 Závislosť drsnosti obrobenej plochy pri $f_z = 0,05 \text{ mm}$, $a_p = 15 \text{ mm}$ a daných typoch frézovania a stupňoch vyváženia

Faktorom s druhou štatisticky najvýznamnejšou váhou bola hĺbka rezu. Tento faktor sa však významnejšie prejavuje iba pri protibežnom frézovaní. Priemerná hodnota a interval spoľahlivosti R_a pri súbežnom frézovaní sú pri oboch hodnotách hĺbky rezu takmer identické. Nepatrne sa rozdiel prejavil iba na hodnote R_{max} . Nakoľko sa však aj tu intervaly spoľahlivosti významne prekrývajú, nie je štatisticky a ani prakticky významným.

Významným z hľadiska vyhodnotenia je práve meranie pri protibežnom frézovaní, kde pri malých hodnotách posuvu ($f_z = 0,05 \text{ mm}$) dochádza u oboch meraných veličín k takmer dvojnásobnému nárastu hodnôt pri zvýšení hĺbky rezu a_p z 15 na 20 mm.

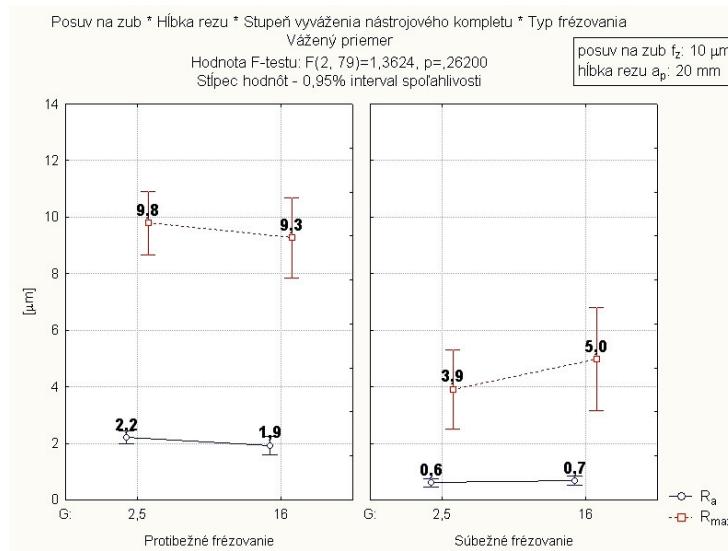


Obrázok 6 Závislosť drsnosti obrobenej plochy pri $f_z = 0,05 \text{ mm}$, $a_p = 20 \text{ mm}$
a daných typoch frézovania a stupňoch vyváženia



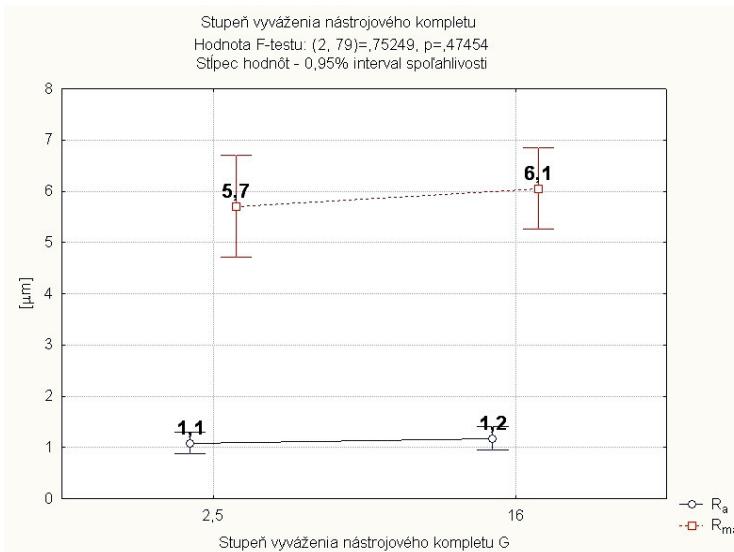
Obrázok 7 Závislosť drsnosti obrobenej plochy pri $f_z = 0,1 \text{ mm}$, $a_p = 15 \text{ mm}$
a daných typoch frézovania a stupňoch vyváženia

Pri hodnote $f_z = 0,1 \text{ mm}$ je tento trend na priemerných hodnotách R_a a R_{max} opäť zrejmý, avšak znova tu dochádza k pomerne významnému prekrytiu intervalov spoľahlivosti. Z daných skutočností vyplýva, že hĺbka rezu a_p sa na kompaktnosti obrobenej plochy podieľa iba v súčinnosti s hodnotou posuvu a typu frézovania, nie samostatne.



Obrázok 8 Závislosť drsnosti obrobenej plochy pri $f_z = 0,05$ mm, $a_p = 15$ mm a daných typoch frézovania a stupňoch vyváženia

Vplyv posuvu na zub f_z , ktorý sa mal podľa matematického vyjadrenia teoretickej hodnoty R_{max} prejavoviť až štvornásobným nárastom (hodnota $R_{max} = 0,039$ μm pre $f_z = 0,05$ mm; hodnota $R_{max} = 0,156$ μm pre $f_z = 0,1$ mm), bol v skutočnosti nevýrazný. Tento fakt je zapríčinený použitím typom nástrojového držiaka.



Obrázok 9 Vplyv stupňa vyváženia na výslednú kvalitu obrobenej plochy

Napriek tomu, že bol použitý monolitný nástroj, ktorého výrobná presnosť je $\pm 0,005$ mm, pričom rezné hrany nástroja sú teoreticky na jednej reznej kružnici, presnosť upnutia nástroja v ER klieštinovom upínacom puzdre je 0,03 mm. Nameraná hodnota obvodového hádzania medzi jednotlivými reznými hranami bola 0,02 mm a 0,01 mm. To znamená, že podiel jednotlivých rezných hrán na procese rezania neboli rovnaký. V skutočnosti, vzhľadom na výslednú kvalitu plochy, sa takto osadený nástroj pri daných hodnotách posuvu správa ako nástroj s jednou reznou hranou. Túto skutočnosť potvrdzuje veľmi malá hodnota F-testu (8,53) a rovnako aj hladina významnosti 0,0005.

Vplyv vyváženia nástroja pri zvolených podmienkach a použitom technologickom vybavení sa ukázal ako irrelevantný, tj. bez akéhokoľvek vplyvu (Obrázok 9). Príčina je v použitom druhu upnutia nástroja – klieštinový upínač. Hodnota eccentricity pre G16 pri $20\ 000\ \text{min}^{-1}$ je $7,6\ \mu\text{m}$ a pre G2,5 je $e_{\max} = 1,2\ \mu\text{m}$. Ako bolo v predošej časti spomenuté, presnosť upnutia nástroja klieštinovým upínacom je 0,03 mm (v tomto prípade 0,02 mm), z čoho vyplýva, že je bezúčelné vyvažovať nástroj pod hodnotu G16. Výnimkou by bol nástroj s jednou priamou reznou hranou.

ZÁVER

Uskutočnené merania poukázali na vplyv jednotlivých premenných na výslednú kvalitu opracovanej plochy. Najvýraznejším faktorom bol typ frézovania. Hĺbka rezu a posuv na zub sa prejavujú iba spolu so vzájomnými interakciami ostatných premenných. Vplyv vyváženia sa v tomto prípade ukázal byť úplne zanedbateľný. Neznamená to však, že samotné vyváženie nástroja neovplyvňuje kvalitu obrobenej plochy. V našom prípade sa iba potvrdil technický limit daného typu upínača. Nástroje, ktoré majú byť použité nad $20\ 000\ \text{min}^{-1}$ pri stupni vyváženia nástroja lepšom ako G16, musia byť upnuté v upínačoch, ktorých obvodové hádzanie sa pohybuje v rozmedzí 0,005 mm a lepšie – hydraulické a tepelné upínače, systém SINO, prípadne TRIBOS. Táto problematika je preto podnetom na ďalšie skúmanie.

LITERATÚRA

- JAVOREK, L.: 2006. Trendy v upínaní stopkových nástrojov. In. *Trendy lesníckej, drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese*, Zvolen, 5.–7. september 2006. Zvolen: TU vo Zvolene, 2006, s. 312–316. ISBN 80-228-1648-5
- LAYNE, M. H.: 2010. Detecting and correcting unbalance in toolholders for high-speed machining. American Hofmann Corporation, 19p. [online] [cit. 2010-10-19] <<http://www.hofmann-global.com/documents/ToolholderBalancing.pdf>>
- STN ISO 1925: 2003. Mechanické kmitanie. Vyvažovanie. Slovník. 2003
- STN ISO 1940-1: 2004. Vibrácie – Požiadavky na kvalitu vyváženia rotorov v konštantnom (tuhom) stave – Časť 1: Stanovenie vyvažovacích tolerancií a overenie nevyváženosťi

Kontaktná adresa:

Ing. Júlia Mečiarová, PhD., Katedra výrobných technológií a materiálov, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen

VPLYV POLOHY KOMPENZAČNÝCH DRÁŽOK, MEDENÝCH NITOV V TELE PÍLOVÉHO KOTÚČA A NEROVNOMERNÉHO ROZSTUPU ZUBOV NA HLADINU HLUKU KOTÚČOVÝCH PÍL V PROCESE REZANIA

THE EFFECT OF THE SHAPE OF THE COMPENSATING SLOTS, THE COPPER CORKS IN THE BODY OF A CIRCULAR SAW BLADE AND THE UNBALANCED PITCH OF SEVERAL TEETH ON NOISE LEVEL OF A CIRCULAR SAWS IN THE CUTTING PROCESS

Ján SVOREŇ – Lukáš MURÍN – Mária KRAJČOVIČOVÁ

ABSTRACT: In most cases, the cutting of wood is proceeded at high feed speed and high cutting speed of the circular saw blades. The circular saw blades teeth rotate in outer ambient and thus are source of noise with unadvisable effects on working environment. The results of the measuring the noise level of three structurally different circular saw blades are presented in this paper. The types of the circular saw blades are: without slots, with six sigmoid compensating slots in radial direction and with six sigmoid compensating slots in tangential direction. The diameters of the circular saw blades were 350 mm. The measurements of the noise level were performed in the cutting process by using the standard equipments. The circular saw blades with sigmoid compensating slots emitted high cutting noise but their noise level was about (4,5 ÷ 6) dB (A) lower than the noise level of the circular saw blades without compensating slots.

Key words: circular saw blade, compensating slots, natural frequency, cutting noise level

ABSTRAKT: Vo väčšine prípadov, sa rezanie dreva realizuje pri vysokej posuvnej rýchlosťi a vysokej reznej rýchlosťi pílových kotúčov. Zuby pílového kotúča rotujú v hmotnom prostredí a preto sú zdrojom hluku s nežiadúcimi vplyvmi na pracovné prostredie. V článku sú prezentované výsledky merania hladiny hluku troch konštrukčne rozdielnych pílových kotúčov. Typy pílových kotúčov sú: bez drážok, so šiestimi esovitými kompenzačnými drážkami v radiálnom smere a so šiestimi esovitými kompenzačnými drážkami v tangenciálnom smere. Priemery pílových kotúčov boli 350 mm. Merania hladiny hluku boli vykonané pri rezaní smrekového dreva použitím štandardných zariadení. Pílové kotúče s esovitými kompenzačnými drážkami emitovali vysoký rezný hluk ale ich hladina hluku bola o (4,5 ÷ 6) dB (A) nižšia ako hladina hluku pílového kotúča bez drážok.

Kľúčové slová: pílový kotúč, kompenzačné drážky, vlastná frekvencia, hladina hluku pri pílení

ÚVOD

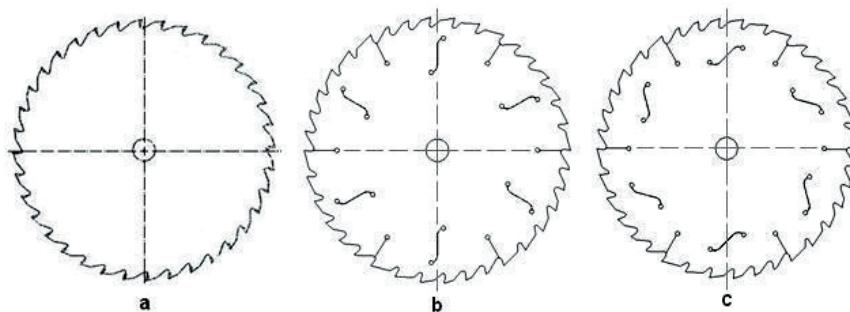
V drevárskom priemysle je najviac používaný proces rezania dreva a drevných materiálov kotúčovými pílami. Reznými nástrojmi sú pílové kotúče. Kmitanie a hluk pílových kotúčov sú základné problémy nestability nástroja v procese rezania. Zníženie amplitúdy kmitov je nevyhnutné pre zlepšenie kvality povrchu, presnosti rezania, zvýšenie výťažnosti materiálu, predĺženie životnosti nástroja, ale aj pre redukciu hluku. Zvlášť emisiu hluku môžeme priamo ovplyvniť tvarom pílového kotúča. Hladina hluku vyžarovaná pílovým kotúčom závisí predovšetkým od nárastu reznej (obvodovej) rýchlosťi a tiež na tom, či sa jedná o chod naprázdno, alebo rezanie. Pílové kotúče emitujú niekedy vyššie hladiny hluku pri chode naprázdno ako pri rezaní. Tento hluk je silný rezonančný hluk, známy tiež ako „písanie pílových kotúčov“. Veľmi dôležité je zistiť a odstrániť tento jav hlavne pri kotúčových pílach pre priečne rezanie. V tomto prípade je podiel času pri chode naprázdno podstatne vyšší ako podiel času pri rezaní z celkového času pracovnej smeny.

V poslednom období je v drevárskom priemysle najčastejšie používaný ako nástroj asymetrický pílový kotúč, v tele ktorého sú vyrobené viaceré kompenzačné drážky. Vplyvy dĺžky, počtu drážok a medených nitov na hladinu hluku pílových kotúčov boli skúmané vo viacerých výskumných práciach. Niektoré z týchto prác môžeme uviesť (Leu a Mote, 1979; Dugdale, 1977; Plester, 1985; Miklaszewski a Grobelny, 1995; Svoreň a Naščák, 1999; Goglia, 1999; Svoreň, 2004; Orlowski, 2005; Svoreň, 2006; Svoreň, 2007; Svoreň a Murín, 2008). Výrobcovia pílových kotúčov využívajú pre zniženie emisie hluku rozličné tlmiace metódy. Tieto metódy môžeme rozdeliť do troch skupín:

1. Lepené pílové kotúče – podľa (Westkämper, 1990) je zniženie hladiny hluku pri chode naprázdno o 10 dB (A), pri rezaní o (6 ÷ 8) dB (A).
2. Telo pílového kotúča vyrobené z vysoko tlmiacich materiálov – podľa (Hattori, 1987; 2001) je zniženie hladiny hluku pri chode naprázdno o 11 dB (A).
3. Laserové rezanie kompenzačných drážok do tela pílového kotúča – podľa (Westkämper, 1994) je zniženie hladiny hluku pri chode naprázdno a pri rezaní od (2 ÷ 8) dB (A). Laserové rezanie prináša so sebou rad výhod ako je presnosť, rýchlosť a schopnosť robiť individuálne aplikácie.

1. MATERIÁL A METÓDY

V rámci výskumu boli pri experimentálnych meraniach použité tri pílové kotúče. Prvý pílový kotúč (PK1) mal neupravené telo a rovnomenrý rozstup zubov (obr. 1a). Druhý pílový kotúč (PK2) mal v tele pomocou laseru vypálené esovité kompenzačné drážky v radiálnom smere, medené nity a nerovnomerný rozstup viacerých zubov opakujúci sa po 1/6 obvodu (obr. 1b). Tretí pílový kotúč (PK3) mal v tele esovité kompenzačné drážky v tangenciálnom smere, medené nity a nerovnomerný rozstup viacerých zubov opakujúci sa po 1/6 obvodu (obr. 1c). Zuby pílových kotúčov sú osadené doštičkami zo spekaného karbidu a sú striedavo šikmo brúsené. Použité upínacie príruby mali vonkajší priemer $d_p = 110$ mm. Konštrukčné rozdiely použitých pílových kotúčov sú znázornené na obr. 1.



Obrázok 1 Použité pílové kotúče

Tabuľka 1 Základné parametre použitých pílových kotúčov

Parametre	PK1	PK2	PK3		
Priemer pílového kotúča, mm	350	350	350		
Priemer upínacej diery, mm	30	30	30		
Počet zubov	36	36	36		
Hrúbka pílového kotúča, mm	2,5	2,5	2,5		
Šírka reznej hrany, mm	4,5	4,5	4,5		
Výška zuba, mm	13	13	13		
Rozstup zubov, mm	30, 52	nerovnomerný rozstup zubov			
Geometria zuba	$\alpha_f = 15^\circ$				
	$\beta_f = 65^\circ$				
	$\gamma_f = 10^\circ$				
Typ zuba	WZ				

Pracovné otáčky pílových kotúčov sa určili na základe výpočtu rezonančných (kritických) frekvencií otáčania podľa rovnice:

$$n_{r,k} = \frac{60 \cdot f_{(n=0)}}{\sqrt{(k+Z)^2 - \lambda}} \quad [\text{min}^{-1}] \quad (1)$$

$f_{(n=0)}$ – vlastná uhlová frekvencia kmitov neotáčajúceho sa pílového kotúča [Hz]
 k – počet uzlových priemerov [-]
 Z – harmonické číslo, ($Z = 0; 1; 2; 3; 4; \dots$) [-]
 λ – koeficient odstredivej sily [-]

Vlastné uhlové frekvencie kmitov neotáčajúcich sa pílových kotúčov boli pre $k = 1; 2; 3$ experimentálne určené na meracej aparátuře, ktorá je popísaná v práci (Svoreň, 2000). Koeficienty odstredivej sily λ boli experimentálne určené na meracej aparátuře v laboratóriu KDSZ TU vo Zvolene, ktorá je popísaná v práci (Svoreň a Danko, 2004). Na základe analýzy vypočítaných rezonančných (kritických) otáčok boli vybrané pracovné otáčky pre experimentálne merania hladiny hluku: $n_1 = 3400 \text{ min}^{-1}$; $n_2 = 3425 \text{ min}^{-1}$; $n_3 = 3450 \text{ min}^{-1}$; $n_4 = 3475 \text{ min}^{-1}$ a $n_5 = 3500 \text{ min}^{-1}$.

Ako rezaný materiál boli pri experimentálnych meraniach hladiny hluku použité smrekové dosky s rozmermi 1500 mm × 250 mm. Hrúbka dosiek bola 25mm a 40mm. Vlhkosť dosiek $w = 12\%$. Posuvné rýchlosťi rezaného materiálu $v_{f1} = 12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ a $v_{f2} = 17 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

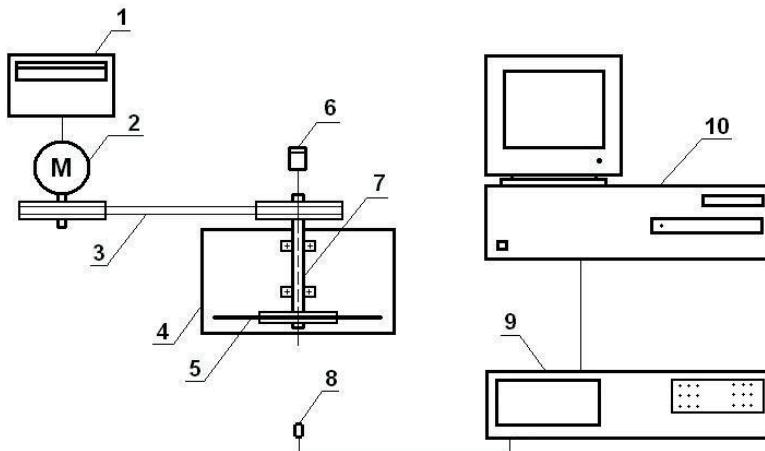
Frekvencie, ktoré sú počutelné pre človeka, sú v rozsahu 20 až 20 000 Hz. Tento rozsah je označovaný ako rozsah akustických frekvencií. Pri nižších frekvenciách, vibrácie spôsobujú značné chvenie tela človeka, ktoré je skôr pociťované, než počutelné. Horná hranica počutelnosti sa líši od človeka k človeku a klesá s rastúcim vekom. V praxi sa používa pojed hladina akustického tlaku L, ktorá je daná vzťahom

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}] \quad (2)$$

p – akustický tlak v sledovanom bode v pascalloch

p_0 – medzinárodné dohodnutá referenčná hodnota akustického tlaku, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

Meranie hladín akustického tlaku kotúčovej píly pri experimentálnych rezoch sa realizovalo na meracej aparátúre, ktorej bloková schéma je znázornená na obr. 2. Mikrofón bol pri meraniach umiestnený v osi pílového kotúča, vo vzdialosti 1m od stojana stroja a vo výške 1,5 m nad podlahou. Hlukomer bol nastavený na frekvenčný filter „A“ a časový – váhový filter „S“ v rozsahu do 120 dB. Celý merací reťazec bol pred meraním kalibrovaný pomocou kalibračného zariadenia Norsonic 1251, ktoré emituje pri frekvencii $f = 1000 \text{ Hz}$ hladinu hluku L = 113,8 dB pre kondenzátorový 1/2“ mikrofón.

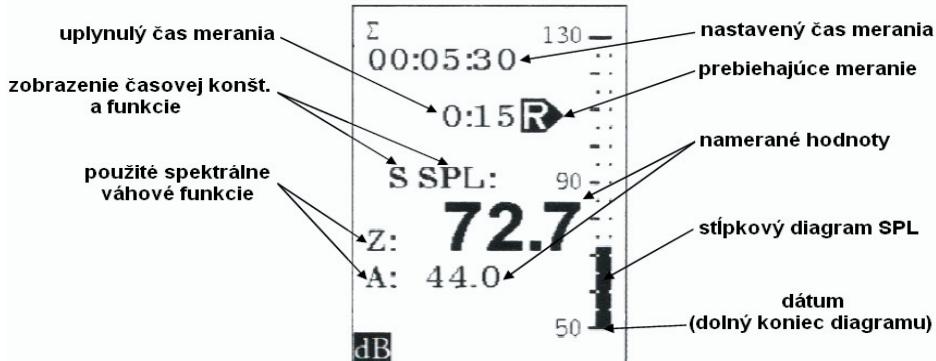


Obrázok 2 Bloková schéma zapojenia prístrojov pre meranie hladiny hluku kotúčovej píly

1 – frekvenčný menič, 2 – elektromotor, 3 – klinovo-remenový prevod, 4 – stojan kotúčovej píly, 5 – pílový kotúč, 6 – bezkontaktný otáčkomer, 7 – hriadeľ kotúčovej píly, 8 – kondenzátorový mikrofón 1/2“, 9 – hlukomer Norsonic 118, 10 – osobný počítač (PC)

Zvukový analyzátor Norsonic 118 môže byť bez ohľadu na svoje špecifické funkcie použitý ako jednoduchý hlukomer. Vlastné meranie sa spúšťa stlačením tlačítka START

a ukončenie merania stačením tlačítka STOP. Namerané hodnoty sú ukladané do vnútornej pamäti hlukomera. Na displeji sa znázorňujú jednotlivé symboly, ktorých význam je na obr. 3.



Obrázok 3 Zobrazenie priebehu merania na displeji hlukomera

2. VÝSLEDKY MERANIA A DISKUSIA

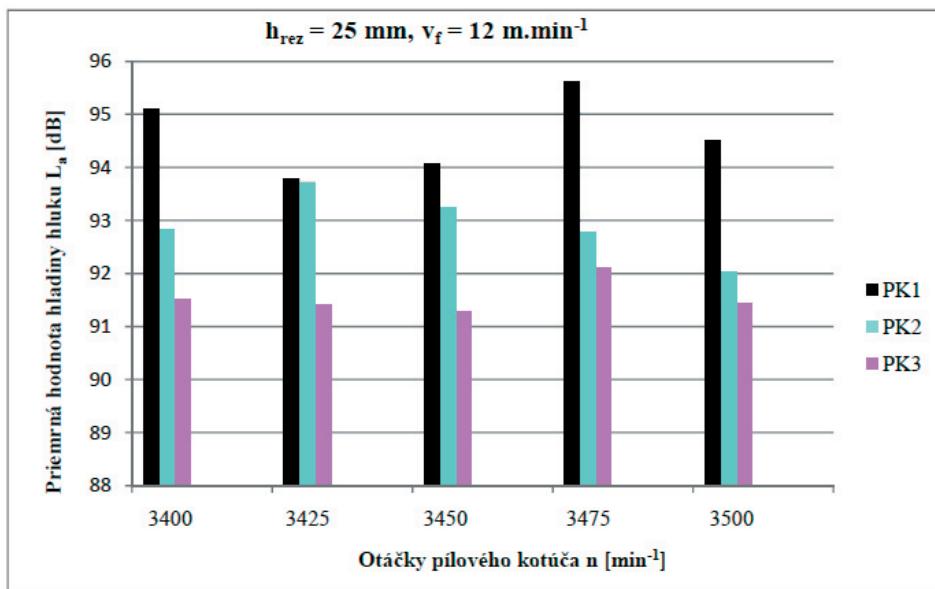
Hodnoty hladín hluku zaznamenané a uložené vo vnútornej pamäti hlukomera Norsonic 118 sa pretransformovali do PC pomocou špeciálneho softwaru zakúpeného spolu s hlukomerom Norsonic 118 do programu Excel. V tomto programe boli ďalej spracované a graficky vyhodnotené.

Grafické znázornenie výsledkov meraní je na obr. 4, obr. 5, obr. 6, obr. 7, z ktorých sme zistili nasledujúce poznatky:

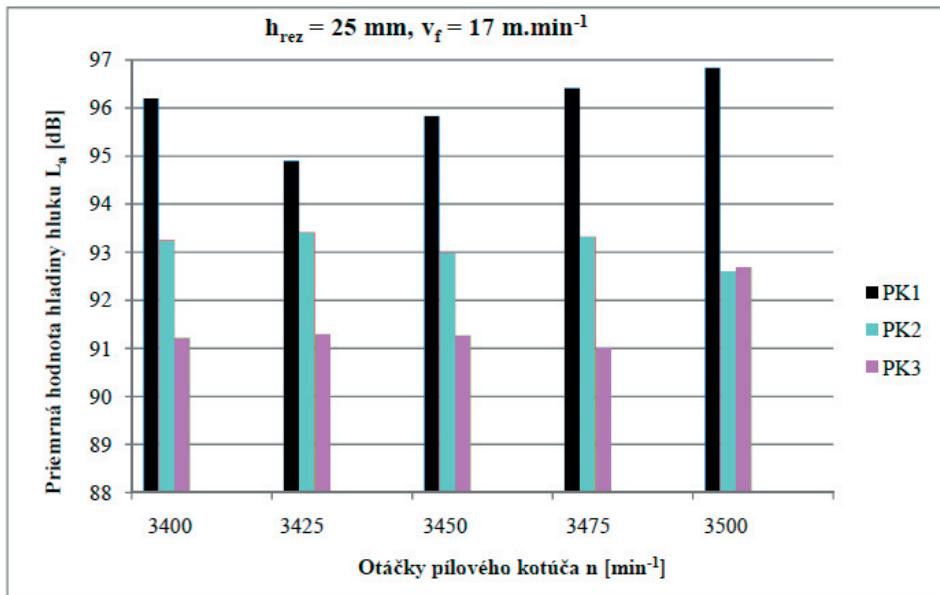
- potvrdila sa z literatúry známa závislosť, že s rastúcou posuvnou rýchlosťou v_f narastá hľadina hluku kotúčovej píly pri ďalších rovnakých parametroch (obr. 4 a obr. 5),
- pri porovnaní neupraveného pílového kotúča (PK 1) s upravenými pílovými kotúčmi (PK 2) a (PK 3) boli jeho priemerné hladiny hluku L_A vyššie o $(4,5 \div 6)$ dB pri podmienkach rezania $h = 25$ mm a $v_{f1} = 17$ m.min $^{-1}$,
- upravený pílový kotúč (PK 3) vykazoval priemerné hladiny hluku L_A o $(1 \div 1,5)$ dB nižšie ako upravený pílový kotúč (PK 2) pri všetkých podmienkach rezania,
- na obr. 6 sú znázornené časové priebehy hladiny hluku jednotlivých pílových kotúčov, z obrázku je zrejmá hodnota hladiny hluku pri chode naprázdno, nábeh a priebeh počas rezania,
- obr. 7 znázorňuje 1/3 oktávovú frekvenčnú analýzu, ktorá potvrdzuje otáčkovú frekvenciu f_k maximálnej hladiny hluku, ktorá je súčasťou širokopásmového hluku:

$$f_k = i \cdot n \cdot z \quad [Hz] \quad (3)$$

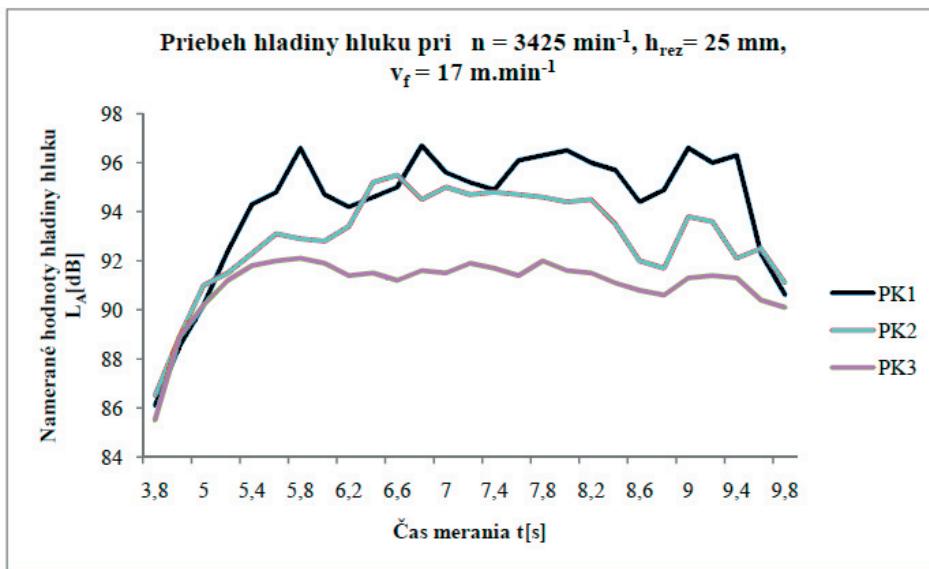
$$\begin{array}{ll} i & - \text{vyššia harmonická zložka}, i = 1, 2, 3, \dots & [-] \\ n & - \text{otáčky} & [s^{-1}] \\ z & - \text{počet zubov pílového kotúča} & [-] \end{array}$$



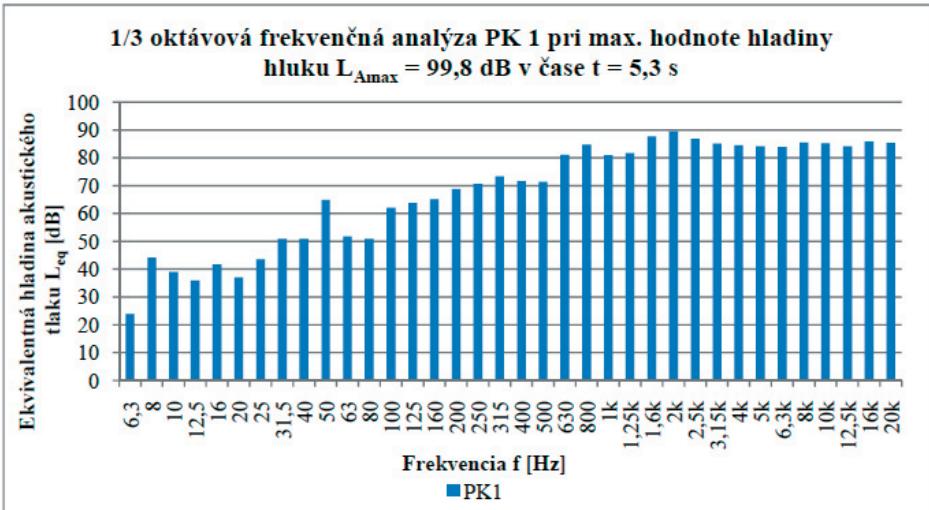
Obrázok 4 Závislosť hladiny hľadiny hluku kotúčovej píly L_A na otáčkach



Obrázok 5 Závislosť hladiny hľadiny hluku kotúčovej píly L_A na otáčkach



Obrázok 6 Závislosť hladiny hluku kotúčovej píly L_A na čase



Obrázok 7 Závislosť hladiny hluku kotúčovej píly L_A na frekvencii, $h_{\text{reziva}} = 40 \text{ mm}$,
 $v_f = 12 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $n = 3450 \text{ min}^{-1}$

ZÁVER

Konštrukčnými úpravami tela pílových kotúčov PK 2 a PK 3 sa dosiahlo výrazné zníženie hladiny hluku kotúčovej píly v procese rezania. Kompenzačné drážky a medené

nity v tele, ako aj nerovnomerný rozstup zubov pílových kotúčov nezabezpečujú rovnaké zníženie hladiny hluku kotúčovej píly pri rovnakých pracovných otáčkach a rôznych rezných podmienkach. Získané poznatky dobre korešpondujú a v niektorých prípadoch prevyšujú uvádzané hodnoty v prospektových materiáloch firiem (LIETZ, FREUD, AKE, OMAS a iní z roku 2009). Výroba takto upravených pílových kotúčov musí predstavovať pre každého výrobcu bežný štandard. V prípade užívateľov ide hlavne o zvýšenie kvality pracovného prostredia z hľadiska hluku a tým ochranu zdravia ľudí pri práci.

LITERATÚRA

- DUGDALE, D. S.: 1977. Practical analysis of saw noise. *Proceedings of a conference held at the University of California, Forest Product Laboratory*, Richmond, Marec 28–30, 1977, s. 198–206.
- GOGLIA, V.: 1999. Some possibilities of reducing circular saw idling noise. In: *Proceedings of the 14th International Wood Machining Seminar. Volume2*. Paris, Epinal, Cluny – France, September 12–19, 1999, s. 345–353.
- HATTORI, N., IZUMI, S., NOGUCHI, M.: 1987. Suppression of the Whistling Noise in Tungsten Carbide – Tipped Circular Saws Using a High – Damping Alloy. *J. Jap. Wood Res. Soc.*, 33, 1987, č. 4, s. 268–273.
- HATTORI, N. a kol.: 2001. Suppression of the whistling noise in circular saws using commercially – available damping metal. *Holz als Roh – und Werkstoff*, 59, 2001, s. 394–398.
- LEU, M. C., MOTE, C. D.: 1979. Noise generation by circular saws. *Wood machining seminar*, University of California, Forest Product Laboratory, Richmond, Október 15–17, 1979, s. 169–188.
- MIKLASZEWSKI, S., GROBELNY, T.: 1995. Sound power determination of two circular saws with different constructions of the blades. In: *Zborník I. Medzinárodná konferencia „Stroj – nástroj – obrobok“*, 4.–6. Október 1995, Nitra s. 83–88.
- ORLOWSKI, K. A.: 2005. Identification of critical speeds of clamped circular saws. *Drvna Industria*, 56, č. 3, 2005, s. 103–106.
- PLESTER, J.: 1985. Origin of noise and noise reduction in circular sawing. *Proceedings Circular Sawblade Technology*, 17.–18. Jún 1985, Oslo, s. 178–188.
- SVOREŇ, J., NAŠČÁK, L.: 1999. Vplyv počtu drážok tela pílových kotúčov na emisiu hluku pri chode naprázdno a pri rezaní. *Acta Facultatis Technicae*, 3, č. 1, 1999, s. 103–108, ISBN 80-228-0899-7.
- SVOREŇ, J.: 2000. Určenie vlastných statických frekvencií kmitov pílových kotúčov s kompenzačnými drážkami rôznymi metódami. In: *Zborník prednášok II. Medzinárodná vedecká konferencia „Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva*, 2000, 19.–21. Október 2000, Starý Smokovec – Tatry, s. 177–182, ISBN 80-228-0952-7.
- SVOREŇ, J.: 2004. Vplyv kompenzačných drážok a nerovnomerného rozstupu zubov pílového kotúča na hladinu hluku v procese rezania. In: *Zborník prednášok IV. Medzinárodná vedecká konferencia „Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva*, 2004, 14.–16. 10. 2004, Starý Smokovec – Tatry, s. 237–242, ISBN 80-228-1385-0.
- SVOREŇ, J., DANKO, P.: 2004. Vplyv drážok tela na kritické otáčky pílových kotúčov. *Acta Facultatis Technicae*, 8, č. 1, 2004, s. 13–19, ISBN 80-228-1517-9.
- SVOREŇ, J.: 2006. Vplyv kompenzačných drážok, medených nitov a nerovnomerného rozstupu zubov pílového kotúča na hladinu hluku v procese rezania. In: *Zborník prednášok – V. Medzinárodná vedecká konferencia „Trieskové a beztrieskové obrábanie dreva*, 2006, 12.–14. 2006, Starý Smokovec – Tatry. Technická univerzita Zvolen, 2006, s. 271–276. ISBN 80-228-1674-4.

- SVOREŇ, J., NAŠČÁK, L.: 2007. Effect of compensation slots, copper corks in the body of a circular saw blade and unbalanced pitch of several teeth on noise level of circular saws in cutting process. In.: *Proceedings of the 2nd International Scientific Conference "Woodworking Technique"*, University of Zagreb, Technical University in Zvolen, 11.–15. 09. 2007, Zalesina, Croatia, p. 311–317, ISBN 953-6307-94.
- SVOREŇ, J., MURÍN, L.: 2008. Vplyv tvaru kompenzačných drážok, medených nitov v tele pílového kotúča a nerovnomerného rozstupu zubov na hladinu hluku kotúčových píl v procese rezania. *Acta Facultatis Technicae*, 12, č. 2, 2008, s. 131–139, ISSN 1336-4472.
- WESTKÄMPER, E., LICHER, E., PREKWINKEL, F.: 1990. Sägen von Holz – und Holzwerkstoffen. *Holzbearbeitung*, 1990, č. 1/2, s. 38–45.
- WESTKÄMPER, E., FUS, M.: 1994. Stand der Technik beim Kreissägen. *Holzbearbeitung*, 1994, č. 4, s. 56–64.

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

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Ján Svoreň, CSc.

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

Ing. Lukáš Murín

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

Ing. Mária Krajčovičová

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

ZÁVITOVKOVÝ BRIKETOVACÍ LIS

SCREW BRIQUETTING PRESS

Milan BANSKÝ

ABSTRACT: The article gives a procedure to calculate the pressing force in the production of wood briquettes in the screw briquetting press and the check calculation of matrix.

Key words: briquetting press, screw, matrix, force, pressure

ABSTRAKT: V článku je uvedený postup výpočtu lisovacej sily pri výrobe drevnej brikety v briketovacom lise a kontrolný výpočet matrice.

Kľúčová slová: briketovací lis, závitovka, matrica, sila, tlak

ÚVOD

Pri výrobe drevených brikiet sa požívajú dva spôsoby výroby. Prvý spôsob je lisovanie piestom s pohybom priamočiarym vratným, pričom je proces lisovania prerušovaný. Druhý spôsob je lisovanie prostredníctvom závitovky, pričom proces lisovania je plynulý. V príspevku je uvedený postup výpočtu potrebnej lisovacej sily pre závitovkový briketovací lis pre výrobu brikiet s vnútorným otvorom, ktorý pri spaľovaní brikiet vytvára „komínový efekt“ a tým zlepšuje podmienky horenia.

1. VÝPOČET LISOVACEJ SILY

Pri výpočte lisovacej sily sa vychádza zo silových účinkov pôsobiacich na elementárnu lisovanú vrstvu (obr. 1). Materiál je závitovkou posúvaný zo zóny plnenia so začiatkom v bode A, pričom je postupne zhustňovaný a v bode B je zlisovaný pri maximálnom lisovacom tlaku. Pre zabezpečenie plynulého pohybu zlisovaného materiálu je potrebné prekonáť sily, vyvolané trením materiálu o povrch lisovacej formy a povrch trána vytvárajúceho vnútorný otvor v brikete (obr. 1).

Trecie sily sú vyvolané tlakmi p_y . Medzi tlakmi p_x vyvolanými podávaním materiálu a tlakmi p_y platí vzťah

$$p_y = \mu \cdot p_x$$

kde:

$\mu [-]$ – je Poissonova konšanta, hodnota pre lisovanie aglomerovaných materiálov je 0,15.

p_x [MPa] – je špecifický tlak, pre aglomerované materiály 3,5 MPa.

Na elementárnu vrstvu o hrúbke d_x pôsobí výsledná sila F

$$F = S \cdot (p_x + dp_x) - S \cdot p_x$$

kde

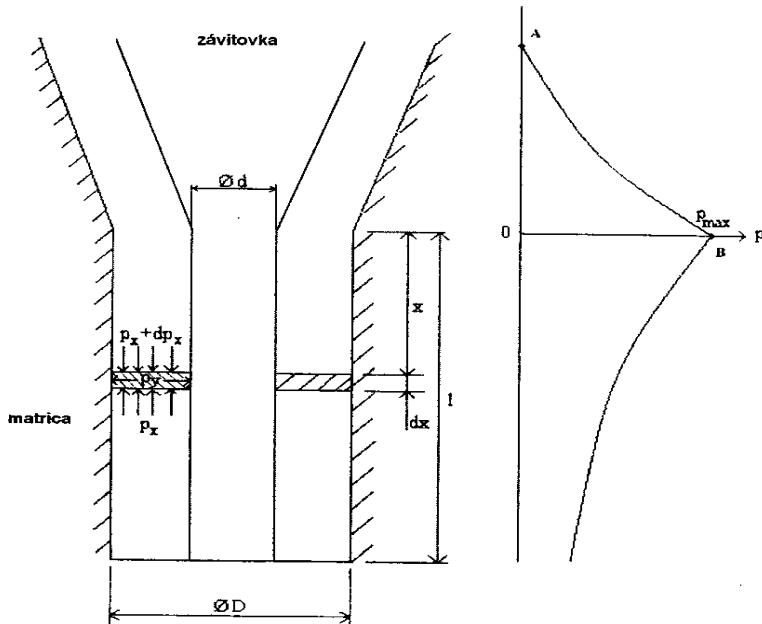
S [mm^2] – plocha medzikružia daná vzťahom

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2)$$

kde:

D [mm] – je priemer matrice,

d [mm] – je priemer trňa závitovky.



Obr. 1 Tlakové pomery v elementárnej lisovanej vrstve

Trecia sila F_t vyvolaná tlakmi p_y sa určí zo vzťahu

$$F_t = p_y \cdot \pi \cdot D \cdot d_x \cdot f + p_y \cdot \pi \cdot d \cdot d_x \cdot f = p_y \cdot \pi \cdot d_x \cdot f \cdot (D + d) = \mu \cdot p_x \cdot \pi \cdot d_x \cdot f \cdot (D + d)$$

kde:

$f [-]$ – je koeficient trenia drevo – kov.

Z rovnice pre rovnováhy síl vyplynie

$$S \cdot (p_x + dp_x) - S \cdot p_x = -\mu \cdot p_x \cdot \pi \cdot d_x \cdot f \cdot (D + d)$$

Po úprave

$$\frac{dp_x}{p_x} = -\frac{\mu \cdot \pi \cdot f \cdot (D + d)}{S} \cdot d_x$$

Výraz

$$\frac{\mu \cdot \pi \cdot f \cdot (D + d)}{S} \quad \text{môžeme nahradíť konštantou A.}$$

Po úprave

$$\frac{dp_x}{p_x} = -A \cdot d_x$$

a po integrácii

$$\int \frac{dp_x}{p_x} = -A \cdot \int_{x=0}^l d_x$$

dostaneme

$$\ln p_x = -A \cdot l + K$$

Potom

$$p_x = e^{-A \cdot l} \cdot e^K$$

Ak

$$x = l = 0 \Rightarrow p_x = e^K = p_{\max}$$

a po dosadení

$$p_x = e^{-A \cdot l} \cdot p_{\max}$$

Maximálny tlak

$$p_{\max} = p_x \cdot e^{A \cdot l}$$

Dosiahnutie tlaku p_{\max} je podmienkou pre plynulý pohyb brikety v matrici.

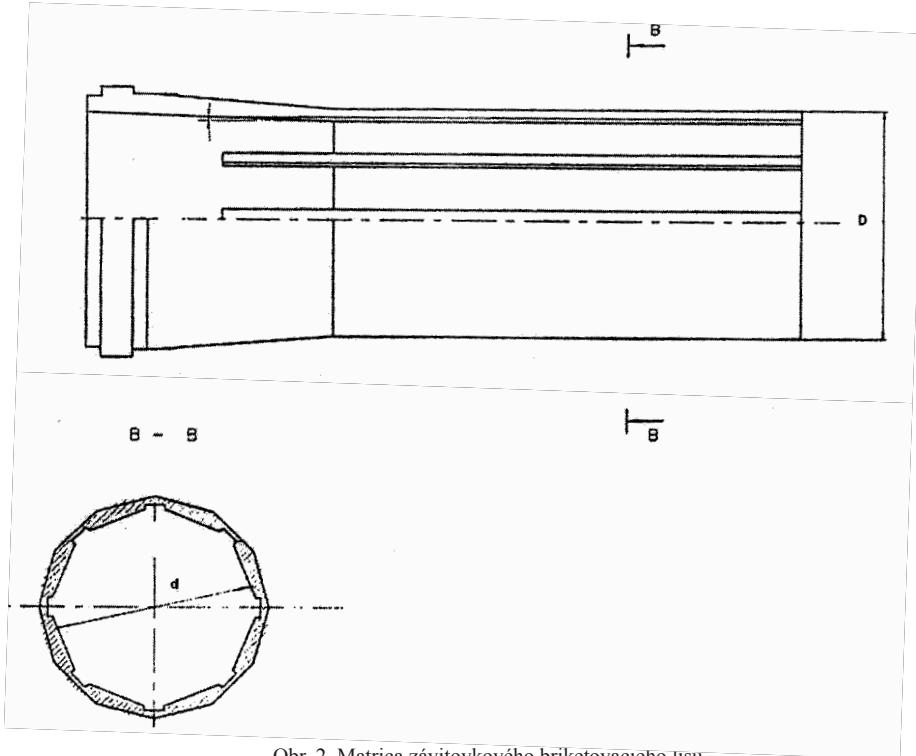
Sila potrebná na lisovanie sa vypočíta z nasledujúceho vzťahu:

$$F = p_{\max} \cdot S$$

Je to axiálna sila potrebná na prekonanie odporov.

2. DIMENZOVANIE LISOVACEJ MATRICE

Matrica v závitkovom briketovacom lise predstavuje valcové teleso namáhané radiálnymi napäťami σ_r , tangenciálnymi napäťami σ_t , a osovými napäťami σ_o . Pre kontrolu matrice treba vypočítať uvedené napäťia a z nich výsledné napätie (obr. 2).



Obr. 2 Matrica závitkového briketovacieho lisu

Pre výpočet radiálneho napäťia v ľubovoľnom mieste matrice platí vzťah

$$\sigma_r = p_{\max} \cdot \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} \cdot \left(1 - \frac{R^2}{r^2} \right)$$

kde

p_{\max} [MPa] – tlak vyvolaný lisovaním,

r_0 [mm] – vnútorný polomer matrice,

R [mm] – vonkajší polomer matrice,

r [mm] – polomer, pre ktorý platí $r_0 < r < R$.

Pre výpočet tangenciálneho napäťia v ľubovoľnom mieste matrice platí vzťah

$$\sigma_t = p_{\max} \cdot \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} \cdot \left(1 + \frac{R^2}{r^2} \right)$$

Osové napätie v ľubovoľnom mieste matrice majú konštantnú hodnotu a pre výpočet platí vzťah

$$\sigma_o = p_{\max} \cdot \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2}$$

Z okrajových podmienok pre radiálne napätie platí:
ak

$$r=R \Rightarrow \sigma_r=0$$

$$r=r_0 \Rightarrow \sigma_r=\sigma_{r,\max}$$

Z okrajových podmienok pre radiálne napätie platí:
ak

$$r=R \Rightarrow \sigma_t=\sigma_{t,\min}$$

$$r=r_0 \Rightarrow \sigma_t=\sigma_{t,\max}$$

Z okrajových podmienok vyplýva, že najväčšie napäťia sú na vnútornom polomere matríce, kde σ_r a σ_t sú maximálne.

$$\sigma_{r,\max} = p_{\max} \cdot \frac{r_0^2 - R^2}{R^2 - r_0^2}$$

$$\sigma_t = p_{\max} \cdot \frac{r_0^2 + R^2}{R^2 - r_0^2}$$

$$\sigma_o = p_{\max} \cdot \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2}$$

Výsledné napätie bude

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left[(\sigma_o - \sigma_t)^2 + (\sigma_t - \sigma_r)^2 + (\sigma_o - \sigma_r)^2 \right]}$$

Po úprave

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \left(\sigma_o^2 - 2 \cdot \sigma_o \cdot \sigma_t + \sigma_t^2 + \sigma_t^2 - 2 \cdot \sigma_t \cdot \sigma_r + \sigma_r^2 + \sigma_o^2 - 2 \cdot \sigma_o \cdot \sigma_r + \sigma_r^2 \right)} = \\ &= \sqrt{\sigma_o^2 - \sigma_o \cdot \sigma_t + \sigma_t^2 - \sigma_t \cdot \sigma_r + \sigma_r^2 - \sigma_o \cdot \sigma_r} \end{aligned}$$

a po dosadení maximálnych hodnôt napäť dostaneme

$$\sigma_{\max} = \sqrt{p_{\max}^2 \cdot \frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} - p_{\max}^2 \cdot \left(\frac{r_0^2}{R^2 - r_0^2} \right) \cdot \left(\frac{r_0^2 + R^2}{R^2 - r_0^2} \right) + p_{\max}^2 \cdot \left(\frac{r_0^2 + R^2}{R^2 - r_0^2} \right) - p_{\max}^2 \cdot \left(\frac{r_0^2 + R^2}{R^2 - r_0^2} \right) \cdot \left(\frac{r_0^2 - R^2}{R^2 - r_0^2} \right) + p_{\max}^2 \cdot \left(\frac{r_0^2 - R^2}{R^2 - r_0^2} \right) - p_{\max}^2 \cdot \left(\frac{r_0^2 - R^2}{R^2 - r_0^2} \right) \cdot \left(\frac{r_0^2 - R^2}{R^2 - r_0^2} \right)}$$

Po úprave

$$\sigma_{\max} = p_{\max} \cdot \frac{R^2 \cdot \sqrt{3}}{R^2 - r_0^2} \leq \sigma_{dov}$$

Z uvedeného vzťahu vypočítame odpovedajúci vonkajší polomer matrice R v závislosti na zvolenom vnútornom polomer r₀.

$$R = r_0 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_{dov}}{\sigma_{dov} - p_{\max} \cdot \sqrt{3}}}$$

Vzťah platí za podmienky

$$\sigma_{dov} > 1,73 \cdot p_{\max}$$

ZÁVER

V príspevku je uvedený postup výpočtu maximálneho lisovacieho tlaku, ktorý vznikne pri stláčaní aglomerovaného materiálu v lisovacej matrici závitkovkového briquetovacieho lisu a pevnostný výpočet matrice.

CONCLUSION

The paper sets out the procedure for calculating the maximum pressure, which occurs when the agglomerated material is pressing in the molding matrix of the screw briquetting press and strength calculation matrix.

LITERATÚRA

BANSKÝ, M.: *Mechanizmy výrobných strojov a zariadení*. Zvolen: VŠLD vo Zvolene v Edičnom stredisku, 1989, 333 str. ISBN 80-228-0024-4

Kontaktná adresa

doc. Ing. Milan Banský, CSc.

FEVT KDSZ, TU vo Zvolene, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen

ANALYSIS OF BIODEGRADABLE OIL ON SYNTHETIC BASIS IN A VARIABLE DISPLACEMENT AXIAL PISTON PUMP OF SWASH PLATE

ANALÝZA BIOLOGICKY ROZLOŽITEĽNÉHO OLEJA NA SYNTETICKEJ BÁZE V REGULAČNOM AXIÁLnom PIESTOVOM HYDROGENERÁTORE

Marián KUČERA¹⁾ – Zdenko TKÁČ²⁾

ABSTRACT: In this paper a possibility of replacement of mineral oil with biodegradable oil EKOHYD 68 S in a variable displacement axial piston pump of swash plate PV 3K-10-52 is described. The biodegradable oil EKOHYD 68 S (produced by Petrochema Inc. Dubová, Slovac Republic) is made from special synthetic ester oil and enriched with high – efficient additives, which improve its properties, such as oxidation stability, jetty point, anticorrosion properties, high – pressure properties, ability to separate water and frothing quality. The oil does not threaten the environment and contaminates neither soil nor surface and ground waters. The oil does not contain carbonate and halogen compounds and compounds of heavy metals. Ekohyd 68 S can be mixed with mineral oils unlimitedly. Before using this type of oil the most perfect emptying of a former fluid, or flushing with new oil if need be, is recommended. Sampling of oil EKOHYD 68 S for quality test was carried out at the beginning of the test and every 250, 000 loading cycles. Based on the results achieved during the test it is possible to recommend biologically degradable oil EKOHYD 68 S for the hydrostatic drive type 3K when the operating conditions according to the manufacture's prescriptions will be held.

Key words: variable axial piston pump of swash plate, mineral oil, biodegradable oil on synthetic basis

ABSTRAKT: V príspevku sú uvedené výsledky overenia možnosti náhrady minerálneho oleja ekologickým olejom EKOHYD 68 S v regulačnom axiálnom piestovom hydrogenerátore PV 3K-10-52. Biologicky rozložiteľný olej EKOHYD 68 S (výrobca Petrochema Dubová) je olej na báze syntetického esteru obohatený o vysokoúčinné aditíva, ktoré zlepšujú jeho vlastnosti, najmä oxidačnú stabilitu, bod tuhnutia, protikorózne vlastnosti, zachovávanie vlastností aj pri extrémnych tlakoch, schopnosť odlučovať vodu a zamedziť peneniu. Olej neohrozuje životné prostredie a neznečistuje ani pôdu ani povrchovú a podzemnú vodu. Neobsahuje zlúčeniny uhličitanov a halogénov, ani zlúčeniny ľažkých kovov. EKOHYD 68 S je miešateľný s olejmi na ropnom základe (minerálny olej). Odoberanie vzoriek oleja EKOHYD 68 S pre vyhodnotenie zmeny fyzikálno-chemických parametrov sa uskutočnilo pred meraním a po každých 250 000 cykloch v skúšobnom hydraulickom obvode. Na základe výsledkov vykonaných skúšok a meraní je možné odporučiť biologicky rozložiteľnú kvapalinu EKOHYD 68 S pre hydrostatické prevodníky typu 3K za podmienok dodržania predpisu pre prevádzkovanie.

Kľúčové slová: regulačný axiálny piestový hydrogenerátor, minerálny olej, biologicky rozložiteľný olej na báze syntetického esteru

1 INTRODUCTION

From utilization of hydraulic fluid in a machine point of view there is the most important to know the running properties of fluid i.e. to know the influence of fluid on technical state of parts in the hydraulic system [3, 4]. These facts so show on the necessity of usage and improvement of testing methods. There are testing methods centered mainly on hydrostatic pumps, which have fundamental influence on durability, economy and dependability of hydraulic system in a given machine. A long time testing for getting parameters of durability and dependability is demanding on time and energy that's why in this area of research and development there is necessary to realize rapid laboratory tests of hydraulic parts, which enable to shorten the time of an experiment to define the operational durability [1, 5]. The submitted article deals with the design of testing methods of rapid tests for evaluation of biodegradable oil on synthetic basis influence on technical parameters a variable displacement axial piston pump of swash plate.

2 MATERIAL AND METHODS

2.1 Parameters of hydrostatic axial piston pump PV 3K-10-52

Basic parameters of hydrostatic axial piston pumps type PV 3K-10-52 are in Tab. 1 [6].

Tab. 1 Parameters of Hydrostatic axial piston pump type PV 3K-10-52 (Axial Hydrostatic Transmissions Inc. in Turčianske Teplice, Slovak Republic)

DESCRIPTION		SIGNATURE	DIMENSION	FRAME SIZE
				52
Displacement	max.	V _{Gmax.}	cm ³	51,6
	min.	V _{Gmin.}	cm ³	0
Speed	nominal	n _{Gn}	min ⁻¹	1920
	max.	n _{Gmax}		3500
	min.	n _{Gmin}		500
Rate of flow	max.	Q _{Gmax}	dm ³ .min ⁻¹	180,6
Pressure	nominal	p _{Gn}	MPa	42
	permanent work	p _G		48
	max.	p _{Gmax}		52
Torque moment	max. ($\Delta p = 52$ MPa)		Nm	426,9
	relat. coef.		Nm/MPa	8,21
Output	max.	P _{max}	kW	156,5
Swashplate angle	var. – max.		°	± 18
	var. – min.			0
	fixed – max.			18
Direction of shaft rotation				clockwise or counterclockwise
Case pressure			MPa	continuous 0,25 peak 0,5
Control pressure		p _p	MPa	1,3–3,5
Weight			kg	55

Hydrostatic axial piston pump type PV 3K-10-52 is made in Axial Hydrostatic Transmissions Inc. in Turčianske Teplice, Fig. 1. Variable displacement axial piston pump of swash plate design series 3K-10-52 is designed for various applications working in closed hydrostatic circuit. It is of sliding shoe construction. A shaft is supported by two roller bearing. The shaft carries along rotary block of cylinders, in which move nine pistons with hydrostatically balanced sliding shoes, which are parallel to the rotation axis. Sliding shoes slide on the swash plate and thereby move reciprocating. During one revolution they make one suction and one exhaust stroke. Control of direction of a fluid is carried out with the face rotary distributor. When moving the distributor connects individual cylinders with suction and exhaust channel of the back cover. It is possible to change angle of the swash plate by different control methods of automatic regulation.

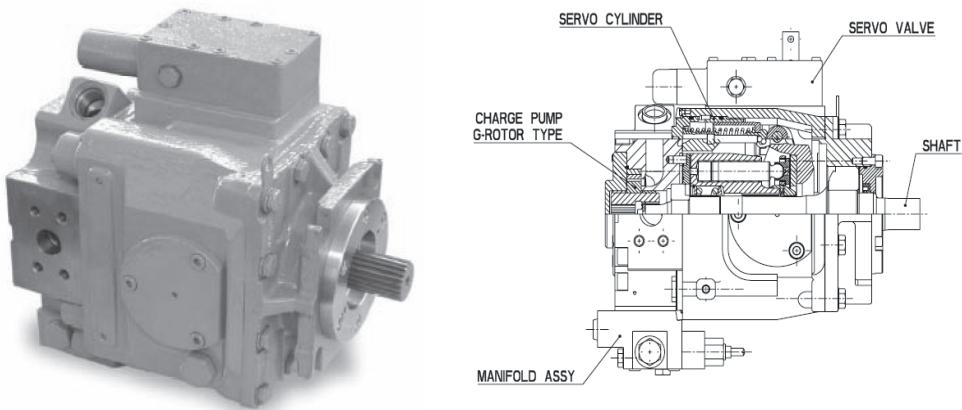


Fig. 1 Variable pump PV 3K-10-52

2.2 Parameters of the biodegradable hydraulic fluid Ekohyd 68 S

Essential chemical and physical parameters of biodegradable hydraulic fluid on synthetic basis Ekohyd 68 S are in Tab. 2 [6].

Tab. 2 Chemical and physical parameters of biodegradable hydraulic fluid on synthetic basis Ekohyd 68 S

DESCRIPTION	DIMENSION
Kinematic viscosity at 40 °C	61,2 – 74,8 mm ² .s ⁻¹
Viscosity index	min. 130
Point of solidification	max. – 40 °C
Flash point min.	265 °C
Acid number	max. 0,5 mg KOH. g ⁻¹

Biological degradability of the Ekohyd 68 S is 92,66 % after 28 days. Results according of the CEC-L-33-T-94 test confirm, that Ekohyd 68 S is highly degradable.

When using the Ekohyd 68 S oil in hydrostatic axial piston pump PV 3K-10-52, demands posed on reliability have to be satisfied according to standard STN 11 9312 (Fig. 2a). According to this standard, the technical life of the hydrostatic transmission has to be 10^6 cycles minimum, when dynamic pressure loading with pressure from 0 MPa to rated pressure at frequency from 0,5 to 1,25 Hz and pressure gradient from 100 to 350 MPa.s $^{-1}$. Decrease of the volumetric efficiency by 20% is permitted. Loading of a hydrostatic pump by cycling compression stress is described in the standard Vickers 35 VQ 25A, Fig. 2b [2].

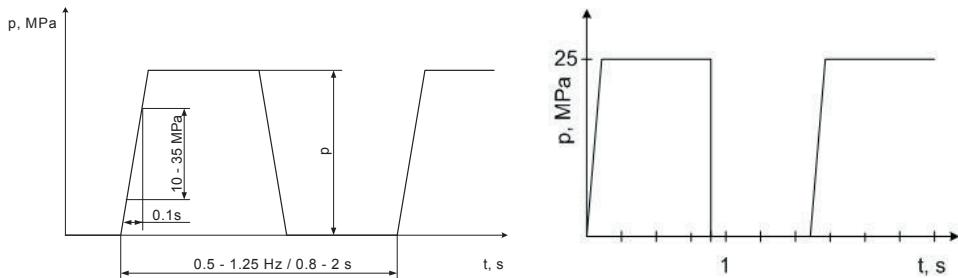


Fig. 2 The course of cycling compression stress:
a) according to standard STN 11 9287
b) Vickers 35 VQ 25A

We suggest verifying availability of usage of the Ekohyd 68 S in the hydrostatic pump PV 3K-10-52 with the flywheel life test. The hydrostatic axial piston pump will be connected with a hydromotor of the same size and type. The motor MF 3K-10-52 (produced by AHP Inc. Turčianske Teplice) will be used, Fig. 3. He is designed for usage in mobile and industrial applications. Technical parameters of the tested hydrostatic axial piston motor type MF 3K-10-52 are in Tab. 3.

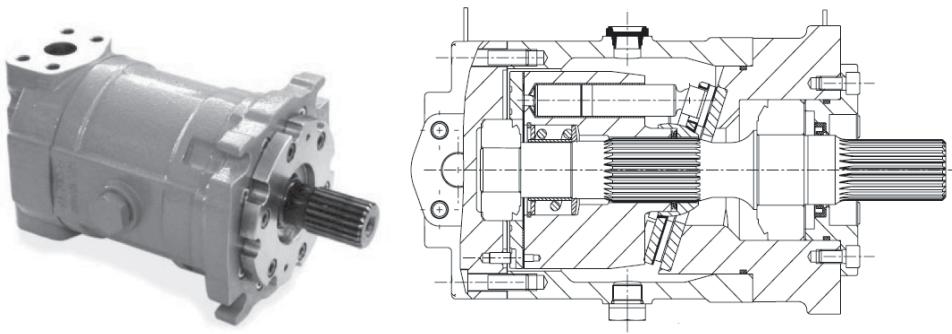


Fig. 3 Motor fixed MF 3K-10-52

Tab. 3 Technical parameters of hydrostatic axial piston motor type MF 3K-10-52
(Axial Hydrostatic Transmissions Inc. in Turčianske Teplice, Slovak Republic)

DESCRIPTION		SIGNATURE	DIMENSION	FRAME SIZE
				52
Displacement	max.	$V_{G\max}$	cm^3	51,6
	min.	$V_{G\min}$	cm^3	0
Speed	nominal	n_G	min^{-1}	1920
	max.	$n_{G\max}$		3500
	min.	$n_{G\min}$		500
Rate of flow	max.	$Q_{G\max}$	$\text{dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	180,6
Pressure	nominal	p_G	MPa	42
	permanent work	p_G		48
	max.	$p_{G\max}$		52
	max. ($\Delta p = 52 \text{ MPa}$)			426,9
Torque moment	relat. coef.		Nm/MPa	8,21
	max.	P_{\max}	kW	156,5
Output	max.			

During the flywheel life test of the hydrostatic axial piston pump it is necessary to carry out measuring of changes of chemical and physical properties of the biologically fast degradable oil Ekohyd 68 S.

The designed testing stand for the life test of the hydrostatic axial piston pump of swash plate PV 3K-10-52 with the biodegradable hydraulic oil Ekohyd 68 S has to satisfy the following demands:

- speed of the pump n_G 1500 rpm
- pressure change in main circuit p 0,15–42 MPa
- pressure gradient 100–350 MPa.s⁻¹
- frequency of cyclic loading f 0,2–1,25 Hz
- oil tank volume 100 dm³

The testing stand for life test of the hydrostatic drive was controlled with control and measuring system, with which it is possible to record time dependent courses of pressure in the main and charging circuit, speed of the motor and control impulses [1]. The temperature of the oil in the tank is measured with a digital thermometer. The testing stand makes it possible to measure parameters of the pump in closed circuit. Samples of the Ekohyd 68 S oil for a quality test are taken at the beginning, at the end of the test and every 250 000 loading cycles.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The testing stand for flywheel life test of axial piston pump of swash plate with the biodegradable hydraulic oil was designed according to demands specified above. The designed functional scheme of the stand is shown in figure 4 [1].

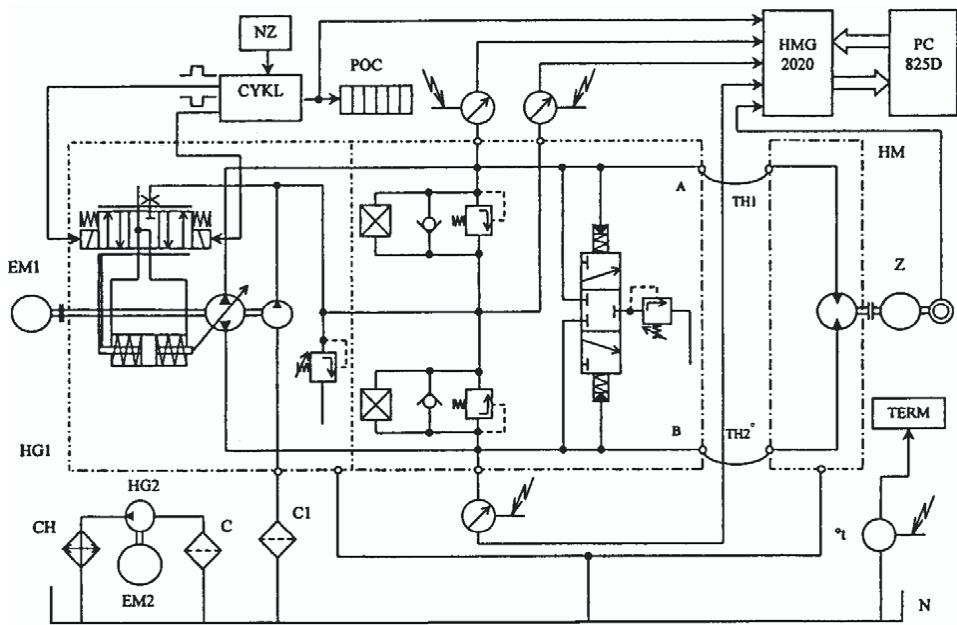


Fig. 4 Functional scheme of flywheel testing device

HG 1, HG2 – hydrostatic pump; EM1, EM2 – electric motor; C, C1 – filters; TH1, TH2 – high pressure hoses; A, B – branches; CH – cooler; HM – hydrostatic motor; Z – flywheel; N – tank; TERM – digital thermometer; NZ – power supply unit; CYKL – cyclic pitch controller; POC – counter of cycles; HMG 2020 – measurement and recording device; PC 825D – notebook

The variable displacement, axial piston hydrostatic pump HG1 is coupled with electric motor EM1 of 36 kW through a chain clutch. The pressure energy from the hydrostatic axial piston pump to the constant displacement axial piston hydrostatic motor HM is transmitted in main circuit. The main circuit consists of two high – pressure hoses TH1 and TH2. Loading torque of hydrostatic drive is actuated with the flywheel Z. The oil is kept clean with the filter C1, which is built in the suction line, and with the filter C, which is built in the cooling circuit of the oil. The tank N serves for storage and cooling the operating fluid. The required temperature range of operating fluid, during the test, is provided with the cooling circuit, which consists of the hydrostatic pump HG2, the filter C and the cooler CH.

The stand control system consists of an electrohydraulic servovalve and an electronic unit CYKL equipped with a cyclic counter POC. The electronic cycling unit produces two time adjustable rectangular electric impulses (of range from 0,5 to 4 seconds), each other moved by 180°, which control the electrohydraulic servovalve.

Thereby, the swash plate displacement of the hydrostatic pump is provided in positive and negative direction. The total sum of generated impulses is recorded with the POC counter. Electronic cycling unit and electrohydraulic servovalve are powered with the power supply unit NZ.

The base of the measuring system of the testing stand is a measuring device HMG 2020 produced by HYDAC Ltd (Germany). Using this measuring system it is possible to record 4 analog signals (maximum input voltage from 4 to 10 V or maximum current input of 20 mA with possibility of switching) and one frequency signal from 0,3 to 3 000 Hz. The analog inputs were used to record time dependent courses of pressure in both branches of the main circuit of the hydrostatic drive, pressure in charging circuit and control impulses of electrohydraulic servovalve. Speed of the hydrostatic motor was recorded through the frequency input. A photoelectric speed sensor FS-1 was used to measure speed of the hydrostatic motor. Pressure in both branches of the main circuit of the hydrostatic drive was measured with pressure sensor HDA 3444-A-600-000. Carge pressure was measured with pressure sensor HDA 3444-A-250-000. In order to record temperature of the oil in the tank a digital thermometer Termoterm – 1 was used. The measuring device HMG 2020 is connected with a notebook Microbook 825D with software HMGDESK, with which the whole process was controlled.

Samples of the biodegradable oil on the synthetic basis Ekohyd 68 S, with which the flywheel life test was carried out, were taken before testing and every 250 000 loading cycles. Results of analyses of the Ekohyd 68 S oil samples, at individual cycles, are presented in table 4. From results of application of the biologically fast degradable oil Ekohyd 68 S and when testing with a flywheel test it follows that the evaluated hydraulic oil has good physical and chemical properties and there is no sign of wear after 10^6 loading cycles and the fluid is able of further operation.

Tab. 4 Analysis of physical and chemical properties of the biodegradable hydraulic oil Ekohyd 68 S

Physical and chemical parameters		Number of cycles				
		0	$2,5 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$7,5 \cdot 10^5$	10^6
Kinematic viscosity at 40 °C	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	69,70	67,39	67,44	67,44	67,45
Kinematic viscosity at 100 °C	$\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$	10,85	10,74	10,80	10,94	10,70
Viscosity index	–	145	149	150	153	148
Point of solidification	°C	-42	-32	-32	-32	-32
Flash point	°C	276	246	268	270	256
Acid number	$\text{mg KOH} \cdot \text{g}^{-1}$	0,22	0,27	0,28	0,34	0,38
Water contents	%	0	0,1	0,11	0,09	0,1
Contents of mechanical contamination	%	0	0,014	0,028	0,019	0,026
Peroxide number	$\text{mmol O}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$	6,13	6,32	6,53	6,39	6,42
Cinder contents	%	0	0,003	0	0,002	0

4 CONCLUSION

In this paper a design of testing stand for a flywheel life test of the hydrostatic axial piston type PV 3K-10-52 is presented. The designed testing stand (Fig.4) serves for laboratory verification of a possibility of replacement of mineral oils with synthetic biologically fast degradable oil EKOHYD 68 S in hydrostatic drive with the PV 3K-10-52. Sampling of biologically fast degradable oil EKOHYD 68 S for quality test

was carried out at the beginning of the test and every 250 000 loading cycles. Based on the results achieved during the test it is possible to recommend biologically degradable oil on the synthetic basis EKOHYD 68 S for the hydrostatic drive type 3K when the operating conditions according to the manufacture's prescriptions will be held.

*Acknowledgement: This paper was done with a kind support of grant
VEGA nr. 1/0048/09*

REFERENCES

1. PETRANSKÝ, I., DRABANT Š., TKÁČ, Z., ŽIKLA, A., BOLLA, M., KLEINEDLER, P., 2004. *Skušobné stavy pre životnostné skúšky hydrostatických prevodníkov*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2004. 163 s. ISBN 80-8069-343-9.
2. RADHAKRISHNAN, M., 2003. Hydraulic Fluids. American Society of Mechanical Engineers, Published in USA. ISBN 0-7918-0184-5.
3. ROUSEK, M. 2003. Vlastnosti a parametry biologicky odbourateľných olejov. Monografie. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003, s. 63. ISBN 80-7157-673-5.
4. TKÁČ, Z., ŠKULEC, R., 2004: The tests of the ZTS 122 45 tractor with biodegradable oil. In.: Agriculture, roč. 50, 2004, č. 4–6, s. 93–98. ISSN 0551-3677.
5. TKÁČ, Z., et al. 2008. The suggestion and realization of devices for of biodegradable hydraulic fluid. In: Traktori i pogonske mašine. Novi Sad, Vol. 13, No. 1, p. 71–78, 2008. ISSN 0354-9496.
6. AHP Hydraulika Turčianske Teplice. 2009. Katalóg produktov. [on-line]. Dostupné na internete: www.ahphydraulika.sk [cit. 24. mája 2010].

Corresponding authors:

doc. Ing. Marián Kučera, PhD., Technical university in Zvolen, Department of Forest and Mobile Technology, T.G. Masaryka 24, Zvolen 960 53. tel. +421 45 5206 822, kucera@vsld.tuzvo.sk

doc. Ing. Zdenko Tkáč, PhD., Slovak University of Agriculture in Nitra, Department of Vehicles and Heat Devices, Tr. A. Hlinku 2, Nitra 949 76. tel.: +421 37 6414 115., Zdenko.Tkac@uniag.sk

SPRACOVANIE OBRAZOV ZOSNÍMANÝCH KAMEROU DALSA SPYDER 3

PROCESSING PICTURES-SAMPLING BY CAMERA DALSA SPYDER 3

Pavol KOLEDA – Ľubomír NAŠČÁK

ABSTRACT: This article describes the methods of scene-sampling by line-camera Spyder 3 GigE. Consequently we must process these snapshots. For this processing it is better to project the self-software that is designed directly for given application.

Keywords: Line-Camera, search for edges

ABSTRAKT: Článok popisuje spôsob snímania scény pomocou riadkovej kamery Spyder 3 GigE. Získané snímky je potrebné následne spracovať. Na toto spracovanie je vhodné vytvoriť vlastný softvér, ktorý je navrhnutý priamo pre danú aplikáciu.

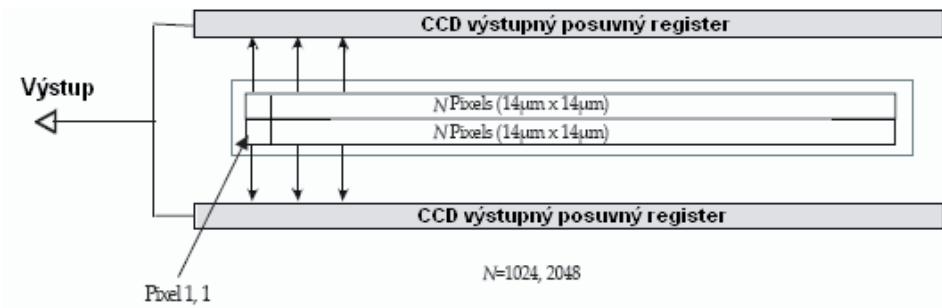
Kľúčové slová: Riadková kamera, hľadanie hrán

1. ÚVOD

Spracovanie obrazov je dôležitým úkonom pri získavaní potrebných údajov z daných obrazov. V dnešnej dobe sa čoraz častejšie využívajú v priemysle rôzne kamerové systémy, výstupom ktorých je často len surová zosnímaná scéna. Takéto obrazy je treba upraviť a následne z nich získať potrebné informácie. Vo väčšine prípadov je potrebné v zosnímaných scénach detektovať určité predmety, prípadne zisťovať ich vlastnosti, predovšetkým rozmer a polohu.

2. SNÍMANIE OBRAZOV POMOCOU KAMERY SPYDER 3

Riadková kamera Spyder 3 GigE SG-10-02k40 od firmy DALSA sníma obraz pomocou dvojriadkového CCD obrazového senzora (Obr. 1). Tento senzor je vytvorený MOS technológiou, preto je citlivý na poškodenie elektrostatickým výbojom. Jeden snímací bod má veľkosť $14 \times 14 \mu\text{m}$.

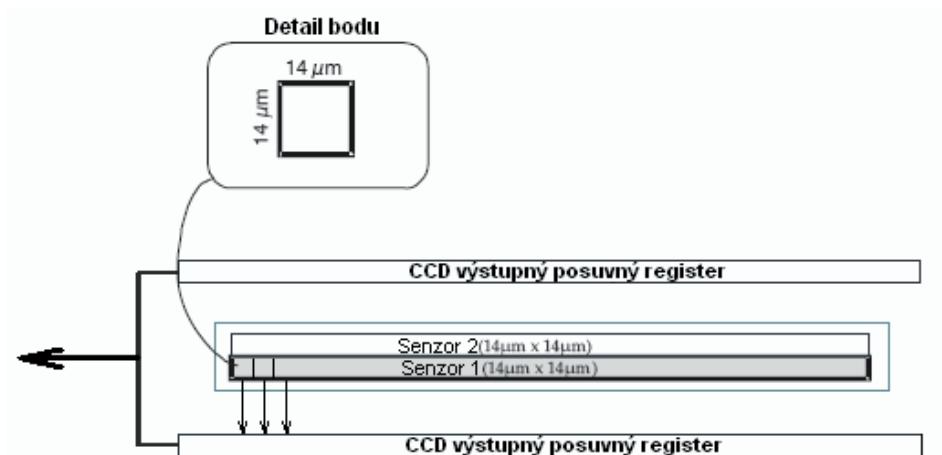


Obr. 1 Bloková schéma riadkového CCD senzora [1]

Citlivosť senzora je možné zvoliť z troch variantov:

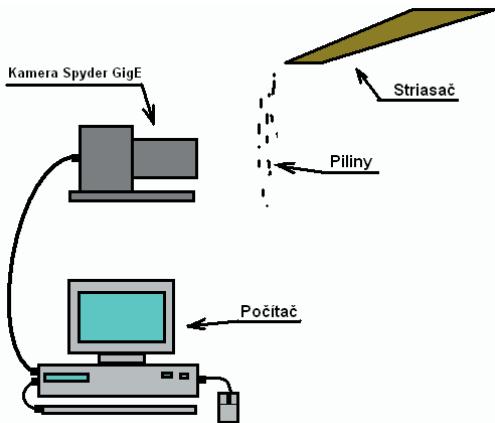
1. Vysoká citlivosť – kamera sníma pomocou oboch riadkových senzorov
2. Nízka citlivosť – kamera sníma len spodným riadkovým senzorom
3. Mód vysokého bodu – oba riadkové senzory pracujú ako jeden senzor, jeden bod má rozmer $28 \times 14 \mu\text{m}$.

Kedže daný model kamery má z oboch riadkových CCD senzorov len jeden spoločný výstup, chová sa táto ako keby obsahovala len jeden senzor. Preto sa pre snímanie scény používa režim nízkej citlivosti (Obr. 2), kedy sa používa len jeden riadkový senzor. Tento mód však bohatu postačuje pre potrebné snímanie.



Obr. 2 Režim nízkej citlivosti [1]

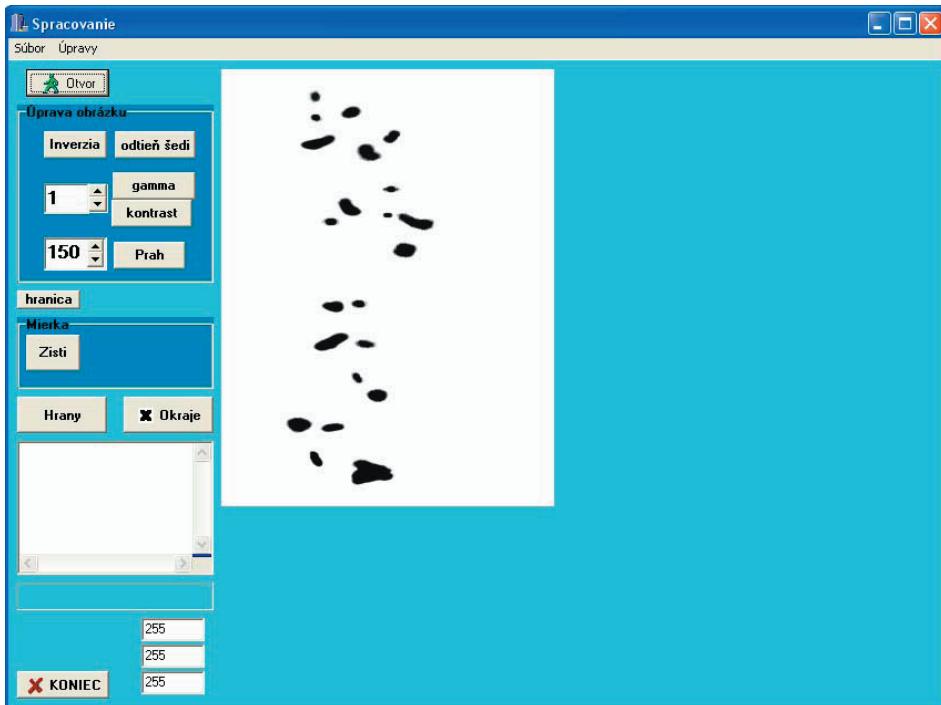
Kamerou Spyder GigE sa snímajú padajúce piliny. Tieto piliny sú pre lepšie snímanie osvetľované dvomi čiarovými lasermi. Snímanie sa uskutočňuje podľa nasledovného zapojenia (Obr. 3).



Obr. 3 Schéma pracoviska

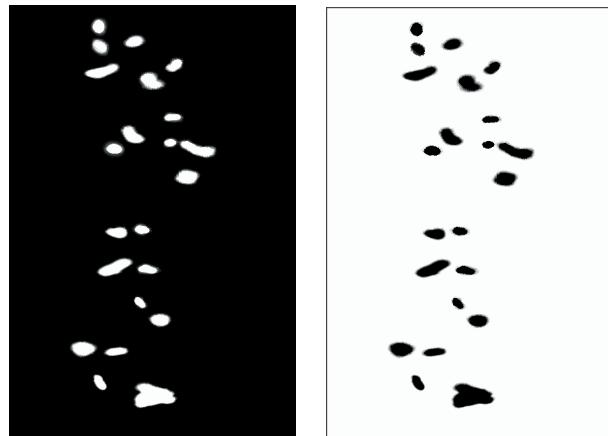
1.1. Spracovanie zosnímaných obrazov

Spracovanie zosnímaných obrazov s pilinami sa vykonáva pomocou vytvoreného programu (Obr. 4).



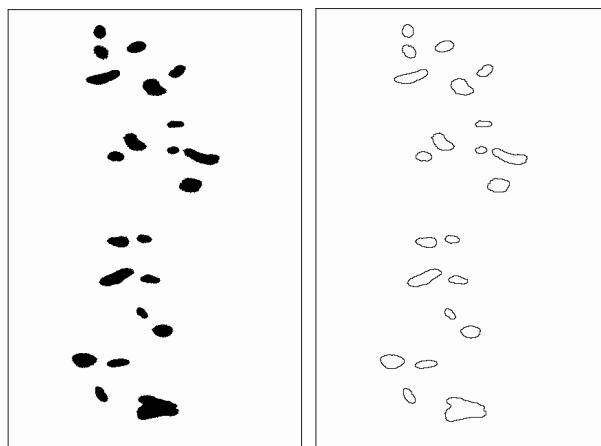
Obr. 4 Prostredie vytvoreného programu

V tomto programe sa snímka pilín najskôr prevedie do inverzných farieb, keďže v originálnej snímke sú objekty svetlé a pozadie tmavé (Obr. 5). Ak je potrebné, upraví sa obraz gama korekciou a úpravou kontrastu. Potom sa obraz upraví prahovaním podľa zvoleného prahu, čím sa prevedie do binárnej podoby, teda telesá (piliny) sú zobrazené bodmi s čierrou farbou a okolie je biele.



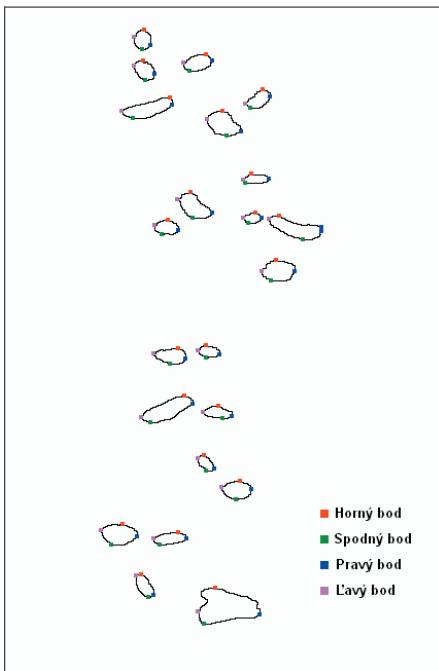
Obr. 5 Zosnímaný obraz pilín a jeho úprava inverziou farieb

V tomto binárnom obraze sa následne zistujú hrany objektov (Obr. 6). Hrany sa hľadajú podľa váhového algoritmu. Pre každý bod, ktorý patrí objektu v obraze, sa zistí jeho 8 susedov v okolí a priradia sa im váhy: tomuto bodu sa váha zväčší o 8 a okolitým bodom sa váhy zmenšia o 1. Týmto algoritmom sa odstránia všetky body patriace objektu, ktoré ležia vo vnútri objektu, teda majú celé okolie patriace objektu a neležia na jeho okraji.



Obr. 6 Úprava obrazu prahovaním s prahom 150 a nájdenie hrán objektov

Po nájdení hrán objektov sa každý objekt prechádza po vytvorenej hrane (okraji objektu) a zistuje sa jeho obvod a hraničné body hrany. Tieto hraničné body predstavujú najspodnejší a najvrchnejší bod hrany, a tiež bod umiestnený najviac vpravo a vľavo.



Obr. 7 Nájdené krajné body objektov

Pomocou týchto štyroch nájdených bodov a pomocou vypočítaného obvodu daného objektu je možné určiť rozmerы tohto objektu, v tomto prípade piliny.

3. ZÁVER

Pomocou vytvoreného programu je možné zistovať rozmerы pilín v obrazu. Tento obraz môže byť zosnímaný kamerou, ale môže byť tiež vytvorený ako statická snímka danej vzorky pilín. V oboch prípadoch sa vyhodnocujú len dva rozmerы pilín.

Pri spracovaní dynamickej snímky zhotovenej kamerou je táto snímka ovplyvnená rýchlosťou padania pilín, takže piliny na zosnímaných obrazoch môžu byť oproti skutočnej veľkosti predĺžené alebo skrátené.

Pri spracovaní statickej snímky sú piliny zachytené v skutočnej veľkosti, a teda vyhodnotené rozmerы pilín môžu slúžiť ku kalibrovaniu veľkosti objektov snímaných v dynamickom režime.

Vydanie článku je podporované riešením projektu VEGA MŠ SR No. 1/0150/09.

4. LITERATÚRA

[1] GigE Vision Dual Line Scan Camera, Spyder 3 Camera User's Manual

Kontaktná adresa:

Ing. Pavol Koleda

Katedra informatiky a automatizačnej techniky

Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26, 960 53 Zvolen

+421 455 206 637

xkoleda@is.tuzvo.sk

doc. Ing. Lubomír Naščák, CSc.

Katedra informatiky a automatizačnej techniky

Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26, 960 53 Zvolen

+421 455 206 572

nas@vsld.tuzvo.sk

PODOBNOŠŤ SIMULAČNÝCH MODELOV ABSORPČNEJ CHLADIACEJ JEDNOTKY A PELTIEROVHO MODULU

SIMILARITY OF SIMULATION MODELS OF ABSORPTION COOLING UNIT AND PELTIER MODULE

Vladimír KOCÚR – Jozef ŠURIANSKY

ABSTRACT: The article deals with two different thermal systems – absorption cooling unit and Peltier module. Both these systems are used for purpose of cooling, but they differ from each other mainly by physical principle of their operation, as well as by size, or by input powers. The article is aimed to refer to possibility of their equivalence, wherein Peltier module can be used for experimental laboratory purposes as well as possibility of simulation in equivalence with cooling unit.

Keys words: absorption cooling unit, Peltier module, similarity of absorption cooling unit

ABSTRAKT: Článok popisuje dva odlišné tepelné systémy – absorpčnú chladiacu jednotku a Peltierov článok. Obidva tieto systémy sa používajú za účelom chladenia, predovšetkým sa však odlišujú fyzikálnym princípom svojej činnosti, ako aj veľkosťou, či výstupnými výkonomi. Článok si kladie za cieľ poukázať na možnosť ich ekvivalencie, pričom Peltierov modul je potom možné využiť pre experimentálne laboratórne účely ako aj možnosti simulácie v ekvivalencii s chladiacou jednotkou.

Kľúčové slová: absorpčná chladiaca jednotka, Peltierov modul, podobnosť absorpčnej chladiacej jednotky

1. ÚVOD

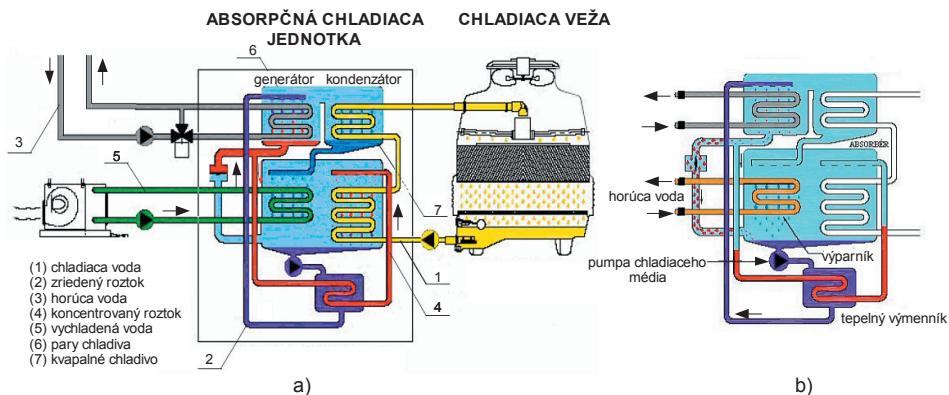
Výroba chladu a jeho následné využitie pre potreby klimatizácie výrazne prispieva k zlepšeniu komfortu života človeka. Pre produkciu chladu sa bežne využívajú kompresorové chladiace zariadenia. Tieto chladiče využívajú pary chladiva, najbežnejšie ide o chladivo čpavok. Ďalší často používaný spôsob produkcie chladu je využitie sorpčných chladiacich jednotiek. Tie môžu pracovať na absorpčnom, adsorpčnom, resorpčnom, prípadne difúznom princípe. Podstatným rozdielom oproti kompresorovému chladeniu je vo využití tepelného obehu namiesto kompresie, pričom chladivo ako použitá pracovná látka je pohltenej inou látkou a tak dopravované medzi výmenníkmi [3]. Vstupom do sorpčného chladiča môže byť teplo vo forme teplej vody, para, prípadne plynu. Ďalším veľmi známym princípom produkcie

chladu je výroba prostredníctvom termoelektrického prvku využívajúceho Peltierov efekt, tzv. Peltierovo článku. V tomto prípade sa ale dosahujú podstatne menšie tepelné výkony, a preto sa neuplatňujú za účelom klimatizovania priestorov, ale hlavne ako aktívne chladacie prvky elektronických súčiastok (napríklad pri chladení procesorov v počítačoch) alebo v prenosných chladničkách. Peltierove články však súčasne vyrábjajú aj teplo. Ich využitie preto našlo uplatnenie aj v prípade lokálneho ohrevu. Vstupom do tohto prvku je elektrická energia a v závislosti od nej sa mení aj množstvo vyprodukowanej energie. Pokiaľ by sme chceli vytvoriť model sorpčnej chladiacej jednotky pre experimentálne potreby a prípadne ho aj simulovať, ekonomicky vhodným ekvivalentným riešením bude práve Peltierov prvok. Článok poukazuje na podobnosti týchto dvoch systémov, pričom sa uvažuje s využitím absorpčnej chladiacej jednotky na báze pracovných látok H₂O/LiBr.

2. ABSORPČNÁ CHLADIACA JEDNOTKA

Absorpčná chladiaca jednotka využíva pre svoju činnosť absorpčný obeh, v ktorom sa na pochode absorpcie a vypudzovania zúčastňuje chladivo a kvapalný absorbent. Pre nadnulové teploty sa využíva voda ako chladivo a bromid lítny /LiBr/ ako absorbent.

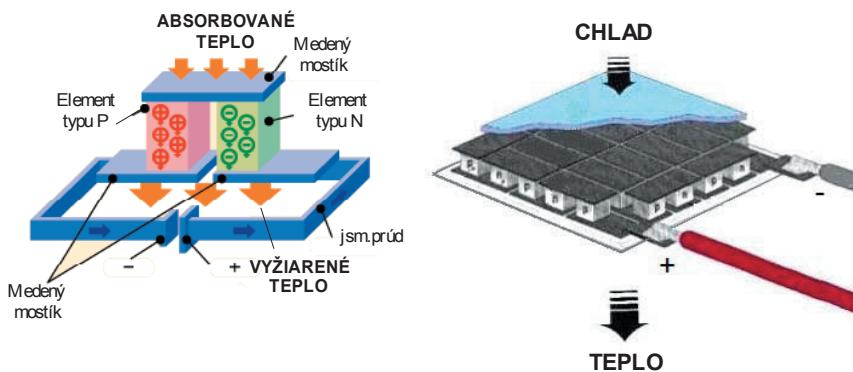
Na obrázku 1 sa nachádza schéma činnosti takéhoto chladiaceho zariadenia. Jeho základom sú tri okruhy, medzi ktorými prebieha výmena tepla. Prvý okruh /1/ je tvorený chladiacou vodou a prechádza absorbérom a kondenzátorom. Tento okruh je následne uzatvorený v chladiacej veži, ktorá zabezpečí jeho konštantnú chladiacu teplotu (chladiaci okruh). V absorbéri sú pary chladiacej látky absorbované absorbentom, čím vzniká zriedený roztok /2/ a chladiaca voda odvádzá absorpčné teplo. Zriedený roztok je čerpaný čerpadlom cez výmenník tepla do generátora, ktorým prechádza okruh horúcej vody /3/. Generátor slúži ako ohrievač, pretože horúca voda, ktorá v ňom cirkuluje, je zdrojom tepla pre dosiahnutie varu roztoru chladiacej látky a absorbantu. Roztok vo vákuu sa vyparuje, pary chladiacej látky sú v ohrievači uvolňované a kvapôčky koncentrovaného roztoru sa takto prenesú s chladiacimi parami do primárneho separátora, pričom dochádza k zahušťovaniu absorbantu – nazývame ho koncentrovaný roztok /4/. Koncentrovaný roztok sa vracia naspäť do absorbéra a súčasne je prechladený vo výmenníku tepla pred vstupom do absorbéra. V generátore sa vzniknuté vodné pary dostanú do kondenzátora, a keďže je kondenzátor chladený chladiacou vodou, pary chladiacej látky kondenzujú. Voda sa ďalej dostáva cez dýzu do výparníka. Nízkym tlakom vo výparníku dochádza k odpareniu chladiacej látky. Teplo z chladnej vody prechádza do chladiacej látky, ktorú odparuje. Precirkulujúci vodný chladič je ochladený približne na 7 °C a pary chladiva sú vtiahnuté do absorbéra. Vákuum v absorbéri je udržované chemickou príbuznosťou koncentrovaného roztoru z generátora s chladiacimi parami tvorenými vo výparníku. Tretí okruh (okruh vychladenej vody) je uzatvorený klimatizačnou jednotkou, ktorou prúdi vychladená voda do priestoru, ktorý sa má ochladzovať /5/. Okrem režimu chladenia je možné zabezpečiť aj režim ohrevu. Ten dosiahneme odpojením okruhu chladiacej vody a otvorením ventili pre prítok koncentrovaného roztoru z generátora do výparníka. Potom namiesto vychladenej vody v okruhu /5/ získame vodu horúcu (obrázok 1b) [6].



Obrázok 1 Absorpčné chladiace zariadenie: a) funkcia chladenia, b) funkcia ohrevu [6]

3. PELTIEROV MODUL

Princíp Peltierovho článku je možné vysvetliť na obrázku 2. Peltierov článok pre svoju činnosť využíva Peltierov jav. Ten spočíva v tom, že ak priviedieme medzi dva rôzne kovy alebo polovodiče, ktoré sú na konci spojené, jednosmerný elektrický prúd, vznikne na spojoch týchto materiálov rozdielna teplota. Takže na jednom konci sa spoj ohreje a na druhom ochladí. Peltierove články môžu pracovať aj na opačnom princípe, kedy ak zabezpečíme rozdielnu teplotu spojov, dokážeme produkovať elektrický prúd. Vtedy hovoríme o Seebeckovom jave. Spojením viacerých termoelektrických článkov medzi keramické platne vytvoríme termobatériu (obrázok 2 vpravo) [5].



Obrázok 2 Princíp činnosti Peltierovho článku (vľavo) a termobatéria (vpravo) [5]

4. PODOBNOSŤ UVEDENÝCH SYSTÉMOV

Napriek tomu, že princípy opisovaných zariadení sú odlišné, existuje medzi nimi istá zhoda. Táto zhoda sa týka porovnania z hľadiska výkonov (prípadne energií) do systémov

vstupujúcich a zo systémov vystupujúcich. Potom môžeme tieto systémy blokovo vyjadriť podľa nasledovných obrázkov:



Obrázok 3 Energetická schéma absorpčnej chladiacej jednotky



Obrázok 4 Energetická schéma Peltierovho modulu

Ako je zrejmé, vstupom do absorpčnej chladiacej jednotky je tepelná energia a výstupom chlad, prípadne opäť teplo. V prípade Peltierovho modulu je vstupom elektrická energia a výstupom sú na jednej strane teplo a na druhej chlad.

Vzájomné porovnania medzi opisovanými systémami boli uskutočnené na základe známych závislostí absorpčnej chladiacej jednotky na báze LiBr a nami vykonanými simuláciami Peltierovho modulu v programe Matlab. Simulácie boli vytvorené s využitím matematického modelu Peltierovho článku a boli vykonané pre Peltierov modul typu TEC1-12730 pozostávajúceho zo 127 článkov. Technická špecifikácia použitého modulu udávaná výrobcom je uvedená v nasledovnej tabuľke:

Tabuľka 1 Parametre Peltierovho modulu TEC-12730 udávané výrobcom
(* Q_{max} sa dosiahne pri $\Delta T = 0$)

Teplota teplej strany [°C]	Q_{max}^* [W]	ΔT_{max} [°C]	I_{max} [A]	V_{max} [V]	R_{modulu} [Ω]
25	257	68	30,5	15,6	0,27
50	282	79	30,5	17,8	0,31

Základné vzťahy matematického modelu [2], z ktorého sme vychádzali sú:

$$\Delta T = T_h - T_c; \quad (1)$$

$$Q_c = (S_M \cdot T_C \cdot I) - (0,5 \cdot I^2 \cdot R_M) - (K_M \cdot \Delta T); \quad (2)$$

$$U = (S_M \cdot \Delta T) + (I \cdot R_M); \quad (3)$$

$$P_{IN} = U \cdot I; \quad (4)$$

$$Q_H = P_{IN} + Q_C; \quad (5)$$

$$COP = \frac{Q_C}{P_{IN}}; \quad (6)$$

$$COP_H = \frac{Q_h}{P_{IN}}; \quad (7)$$

kde:

$I \Rightarrow$ elektrický prúd [A],

$U \Rightarrow$ elektrické napätie [V],

$K_M \Rightarrow$ tepelná vodivost' [$W \cdot K^{-1}$],

$P_{IN} \Rightarrow$ elektrický príkon [W],

$R_M \Rightarrow$ elektrický odpor modulu [Ω],

$S_M \Rightarrow$ Seebeckov koeficient modulu [$V \cdot K^{-1}$],

$T_h \Rightarrow$ teplota teplej strany modulu [K],

$T_c \Rightarrow$ teplota chladnej strany modulu [K],

$Q_h \Rightarrow$ tepelný výkon modulu [W],

$Q_c \Rightarrow$ chladiaci výkon modulu [W],

$COP \Rightarrow$ výkonové číslo v režime chladenia [-],

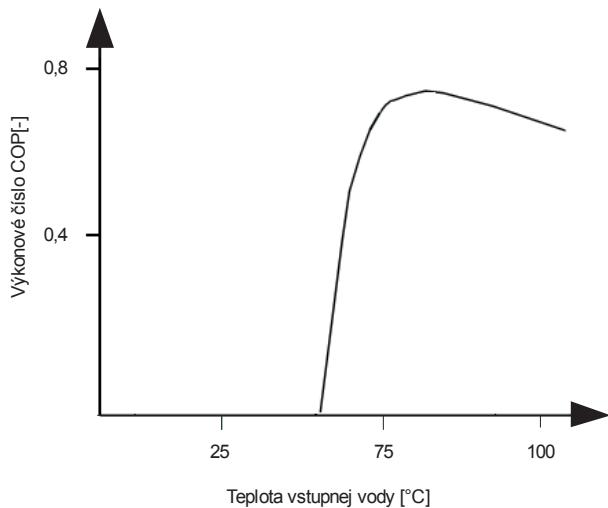
$COP_H \Rightarrow$ výkonové číslo v režime vyhrievania [-].

4.1. Porovnanie z hľadiska výkonového čísla a vstupnej energie systému

Pre vyjadrenie efektívnosti takýchto systémov je vhodné využitie koeficientu, tzv. výkonového čísla COP (*Coefficient of Performance*). Tento koeficient vyjadruje pomer medzi energiou (resp. výkonom), ktorá je zo systému získaná a energiou do systému dodávanou. Ide o jeden z hlavných parametrov poukazujúcich na efektívnosť činnosti systému. Keďže je to pomer dvoch rovnakých druhov veličín, jedná sa o bezrozmerné číslo. Tento parameter nie je konštantný ale premenlivý a preto bude mať iné hodnoty pri rôznych typoch systémov.

a) Absorpčná chladiaca jednotka

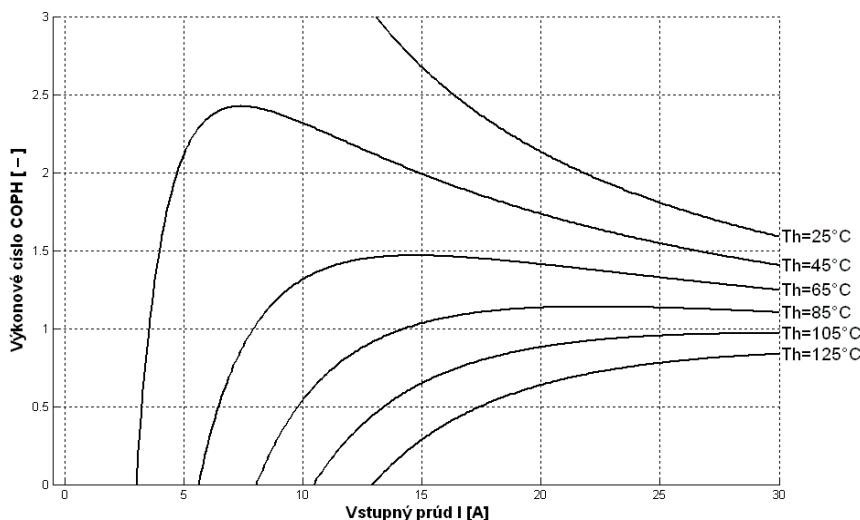
Závislosť výkonového čísla COP od vstupnej teploty absorpčnej chladiacej jednotky je zobrazená na obrázku 5. Hodnota výkonového čísla chladiacej jednotky je okolo 0,7, čo predstavuje účinnosť systému 70 %.



Obrázok 5 Závislosť výkonového čísla COP od vstupnej teplote absorpčnej chladiacej jednotky na báze LiBr [4]

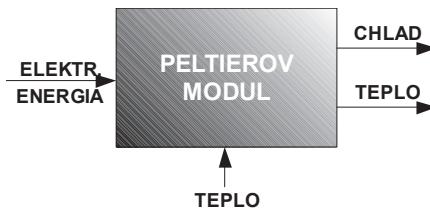
b) Peltierov modul

Simulácie boli vykonalé pre rôzne teploty teplej strany Peltierovho modulu. V grafе je T_c označené ako teplota chladnej strany a T_h ako teplota teplej strany Peltierovho modulu.



Obrázok 6 Závislosť výkonového čísla COP_H od vstupného prúdu v režime vyhrievania Peltierovho modulu TEC1-12730 ($T_c = 25^{\circ}\text{C}$)

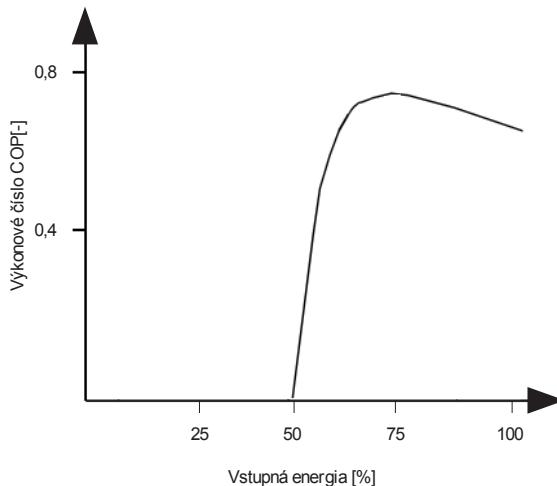
Čo sa týka Peltierovho modulu, pri väčšine podmienok teploty T_h vyšlo výkonné číslo väčšie ako 1. Vyplýva to z rovnice (5), kde vidieť, že tepelný výkon je súčtom elektrického výkonu a absorbovaného tepla. To znamená, že vstupom do systému nie je len nami privedená elektrická energia, ale aj teplo, ktoré je odoberané z okolia. Na základe toho aj množstvo vyrobenej energie je väčšie, ako množstvo privedenej elektrickej energie a to mnohonásobne. Takto môžeme získať vysokú účinnosť. Pre Peltierov modul je potom vhodné prekresliť energetickú schému z obrázku 4 nasledovne:



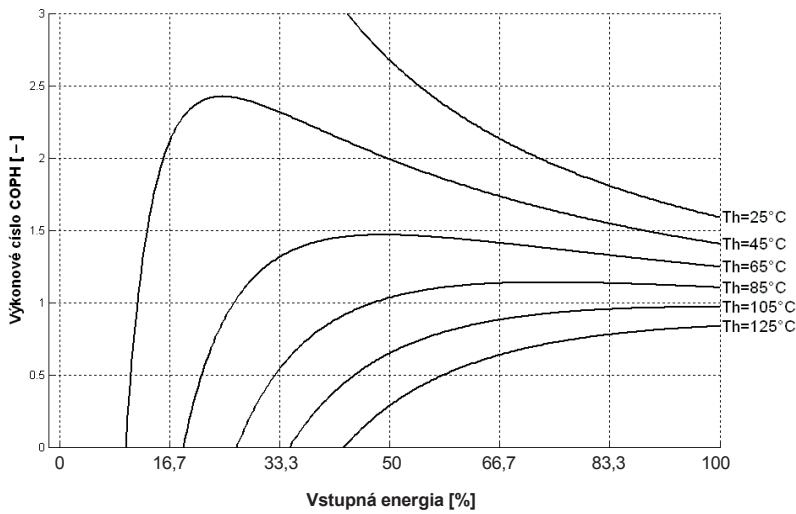
Obrázok 7 Energetická schéma Peltierovho modulu

V tomto prípade ale teplo, ktoré sa v systéme absorbuje a podľa obrázku 7 ho uvažujeme taktiež ako vstupnú veličinu, vlastne zabezpečí úbytok tepla v okolí jednej strany modulu, čím súčasne získavame aj výstupnú veličinu – chlad (ten ale uvažujeme s opačným znamienkom).

Na závislostiach absorpcnej jednotky a Peltierovho modulu si môžeme všimnúť ich podobu z hľadiska tvaru funkcií. I keď obidva systémy porovnávame na základe rovnačkých premenných, ktorými je výkonné číslo COP , k tomu, aby sme mohli pripodobiť ich vstupné veličiny, budeme uvažovať o nich len všeobecne ako o vstupnej energii (výkone) dodanej do systému a prepočítanej na jednotky – percentá. Potom grafické závislosti z obrázkov 5 a 6 budú vyzerať nasledovne:



Obrázok 8 Závislosť výkonného čísla COP od vstupnej energie absorpcnej chladiacej jednotky na báze LiBr

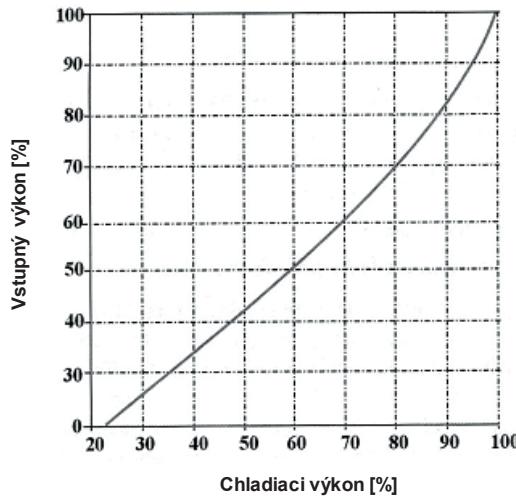


Obrázok 9 Závislosť výkonového čísla COP_H od vstupnej energie
Peltierovo modulu TEC1-12730 / $T_c = 25^{\circ}\text{C}$ /

4.2. Porovnanie z hľadiska závislosti medzi vstupnými a výstupnými výkonmi

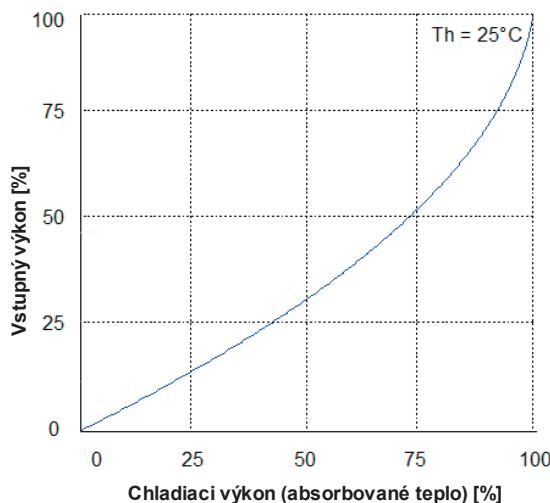
Porovnanie je ďalej možné vykonať pre závislosti medzi vstupným a výstupným výkonom ako je zobrazené na obrázkoch 10 a 11.

a) Absorpčná chladiaca jednotka



Obrázok 10 Závislosť vstupného a výstupného výkonu absorpčnej chladiacej jednotky [1]

b) Peltierov modul



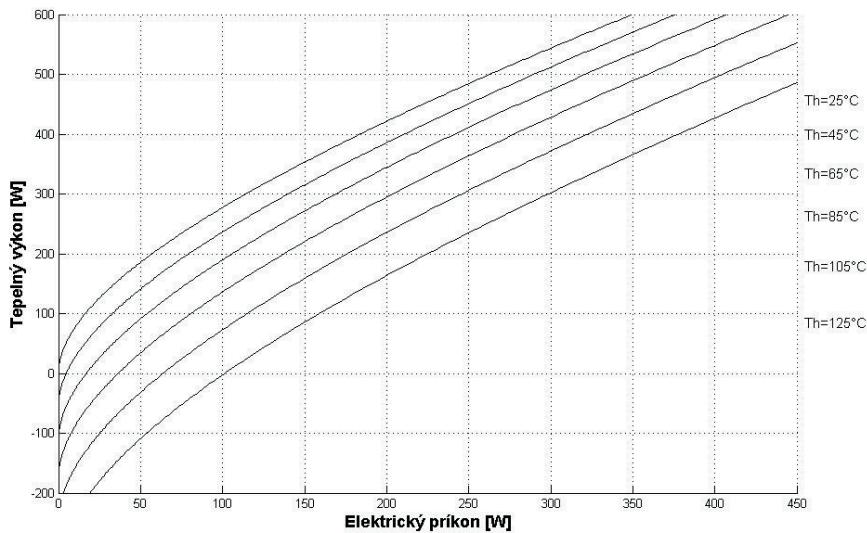
Obrázok 11 Závislosť vstupného a výstupného výkonu Peltierovho modulu pre $Tc = Th = 25^\circ C$

Rovnako ako v predchádzajúcej podkapitole, aj tu sme zovšeobecnení vstupnú veličinu a označujeme ju len ako vstupný výkon (v skutočnosti u absorpčnej jednotky sa jedná o nami privedený tepelný výkon a u Peltierovho modulu o elektrický príkon). Potom z porovania vstupného výkonu v závislosti od výstupného chladiaceho výkonu je vidieť podobnosť týchto závislostí medzi obidvomi systémami.

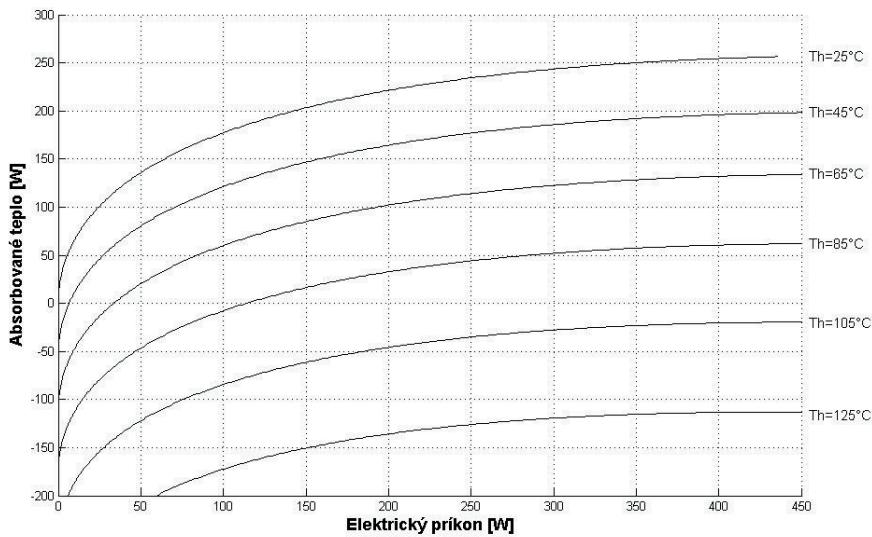
4.3. Porovnanie z hľadiska hodnôt výkonov

Peltierove moduly v porovnaní s absorpčnými chladičmi vo všeobecnosti dosahujú malé výkony. Ich rozsah sa pohybuje len od pár jednotiek wattov po cca. 300W. To sú veľmi nízke výkony na rozdiel od absorpčných chladiacich systémov, ktoré pracujú s hodnotami v kW. Preto musíme pracovať v istej mierke. Pre absorpčnú chladiacu jednotku WFC10 na báze LiBr s výkonom 36kW výrobcu Yazaki Energy Systems, Inc. a Peltierov modul TEC1-12730 sa potom jedná o pomer cca. 1:130.

Pre lepšiu predstavu činnosti použitého Peltierovho modulu boli ďalej vykonané simulácie závislosti jeho tepelného výkonu teplej strany a absorbovaného tepla chladnej strany od elektrického príkonu. Tieto závislosti sa nachádzajú na obrázkoch 12 a 13.



Obrázok 12 Závislosť výstupného tepelného výkonu od elektrického príkonu
Peltierovho modulu TEC1-12730 ($T_c = 25^\circ\text{C}$)



Obrázok 13 Závislosť výstupného chladiaceho výkonu od elektrického príkonu
Peltierovho modulu TEC1-12730 ($T_c = 25^\circ\text{C}$)

5. ZÁVER

Napriek jasným odlišnostiam oboch systémov je možné nájsť ich podobnosť v porovnaní grafických závislostí výstupných a vstupných veličín. Z dôvodu ich veľkého rozdielu vo výkonoch treba však pracovať v mierke. Takéto systémy sice v skutočnosti nemožno vzájomne nahradíť, no pre experimentálne a simulačné záležitosti je možné zložitý systém absorpčnej chladiacej jednotky nahradíť jednoduchším a ekonomickej dostupnejším, Peltierovým modulom.

LITERATÚRA

- [1] DVORSKÝ E., HEJTMÁNKOVÁ P.: 2005. *Kombinovaná výroba elektrickej a tepelnej energie*. BEN – technická literatúra, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [2] FERROTEC.: *Thermoelectric Technical Reference – Mathematical Modeling of TEC Modules*. [online]. Dostupné na internete: <<http://www.ferrotec.com/technology/thermoelectric/thermalRefII/>>, náhľad stránky máj 2010
- [3] INTECH SLOVAKIA.: *Trigenerácia*. [online]. Dostupné na internete: <<http://www.intechenergo.sk/sekcie/kogeneracia/trigeneracia>>, náhľad stránky máj 2010
- [4] RAFFERTY K. D.: *Absorption refrigeration*. [online]. Dostupné na internete: <<http://geoheat.oit.edu/pdf/tp51.pdf>>, náhľad stránky máj 2010
- [5] SOS ELECTRONIC: *Ventilátory a chladiče*, katalóg firmy [online]. Dostupné na internete: <http://www.soselectronic.com/a_info/kat/i35.pdf>, náhľad stránky máj 2010
- [6] YAZAKI ENERGY SYSTEMS, INC.: *Water Fired Chiller/Chiller-Heater, WFC-S Series: 10, 20 and 30 RT Cooling, 12 s.* [online]. Dostupné na internete: <<http://www.yazakienergy.com/docs/SB-WFCS-1009.pdf>>, náhľad stránky máj 2010

Kontaktná adresa:

Ing. Vladimír Kocúr

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky,

Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Študentská 26, 960 53 Zvolen

e-mail: xkocurv@is.tuzvo.sk

prof. Ing. Jozef Šuriansky, CSc.

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky,

Katedra informatiky a automatizačnej techniky, Študentská 26, 960 53 Zvolen

e-mail: surian@vsld.tuzvo.sk

MODELOVANIE PREDMETU PRÁCE PRE VÝROBNÉ SYSTÉMY V LESNÍCTVE

MODELING OF WORK SUBJECT FOR PRODUCTION SYSTEMS IN THE FORESTRY

Juraj MIKLEŠ

ABSTRACT: To position of optimal production systems is necessary know their quantitative and qualitative patterns that can be gained as an result of modeling and research of dynamics activity complicated production systems. Construction of forest machines and their mechanisms is also connected with the need of knowledge work subject of the tree (trunk). It is need to know basic characteristics of the tree like mechanical system.

Key words: centralized log conversion depot, forest machines, delimiting

ABSTRAKT: Pre postavenie optimálnych výrobných systémov je nevyhnutné poznať ich kvantitatívne a kvalitatívne zákonitosti, ktoré môžu byť získané ako výsledok modelovania a výskumu dynamiky činností zložitých výrobných systémov. Stavba lesných strojov a ich mechanizmov je tiež spojená s potrebou znalosti predmetu práce stromu (kmeňa). Je potrebné poznať základné vlastnosti stromu ako mechanického systému.

Kľúčové slová: manipulačno – expedičný sklad (MES), lesné stroje, odvetvovanie

ÚVOD

Vysoký ekonomický efekt výrobného procesu je možný pri podmienke realizácie jeho optimálnych parametrov, jeho zostavných elementov a použitého vybavenia, racionálnej organizácii a optimálneho riadenia výrobných mechanizmov.

Technologický proces v lesnej ťažbe sa značne odlišuje od diskrétnych procesov v iných odvetviach priemyslu predovšetkým značnou premenlivosťou vstupnej suroviny (stromu, kmeňa) a hotovej produkcie. Stromy alebo kmene, postupujúce na opracovanie sa značne odlišujú jeden od druhého rozmerove, druhom dreviny, rozličnými chybami. Výtvarnice kmeňov, koruny stromov sú celkovo veľmi odlišné. Analýza technologických procesov na skladoch ukazuje, že sa v nich prejavuje vplyv rozličných náhodných faktorov, ktoré vypĺývajú z predmetu opracovania.

1 SÚČASNÝ STAV STROJOVÉHO ODVETVOVANIA STACIONÁRNYMI ZARIADENIAMI

Pri stromovej metóde sa odvetvovanie prenáša na MES, kde podmienky práce sú priateľnejšie ako na rúbanisku alebo na odvoznych miestach a tiež preto, že produktivita práce pri odvetvovaní na sklade podstatne vzrástie.

Na MES sa pre odvetvovanie používajú ručné odvetvovacie stroje, mobilné odvetvovacie stroje a stacionárne odvetvovacie mechanizmy.

Strom ako objekt práce, pri odvetvovaní na sklade dreva je charakterizovaný: priemerom vo vzdialosti 1,3 m od čela kmeňa (priemer v prsnej výške), celkovou dĺžkou l, dĺžkou bezvetvovej zóny l_B , počtom vetiev nc a ich stredným priemerom meraným v mieste votknutia na kmeni (plocha rezu má obyčajne oválnu formu).

Operácia odvetvovania sa môže vykonávať za jeden prechod stromu odvetvovacím mechanizmom, alebo je možné dvojstupňové odvetvovanie: stromy prechádzajú cez odvetvovací mechanizmus, na ktorom sa vykoná hrubé oddelenie vetiev, potom sa kmene skracujú a odstránenie zbytkov vetiev môže sa uskutočniť na vyrobených sortimentoch.

U odvetvovacích mechanizmov pre postupné opracovanie každého stromu s cieľom odstránenia vetiev sa uskutočňuje prechodom cez rezné ústrojenstvo. Hlavnými uzlami takýchto zariadení je rezný, preťahovací a podávací (zásobovací) mechanizmus a taktiež systém riadenia.

2 METÓDY SPRACOVANIA

Výskumu stromu ako objektu opracovania na odvetvovacích strojoch sú zasvätené rozsiahle výskumy. Tieto práce však nedávajú odpoveď ako sú rozložené plochy základov vetiev po výške (dĺžke) stromu. To je však nevyhnutné poznat, napríklad, pre pevnostné výpočty elementov odvetvovacích strojov, pre výpočet energetickej náročnosti procesu odvetvovania.

Výskum sleduje cieľ určiť zákonitosti zmeny plochy votknutia vetiev po dĺžke kmeňov pre hospodárske dreviny s možnosťou objavenia zákonitostí tiež zmeny plochy votknutia vetiev stúpajúcim súhrnom po dĺžke kmeňov.

Štatistickými metódami spracovania výsledkov výskumov musia byť postavené matematické modely rozdelenia plochy votknutia vetiev t.j. výpočtové stromy, ktoré budú slúžiť ako základ pri prevádzkových a pevnostných výpočtoch procesov a elementov odvetvovacích strojov.

Všetky zmerané stromy boli rozdelené do 10 skupín v závislosti od dreviny a priemeru $D_{1,3}$ (tab. 1). rozdelenie bolo vykonané podľa hrúbky kmeňov. Stromy smreka boli zaradené do piatich hrúbkových stupňov podobne ako aj stromy jedle. Bolo skúmaných 58 stromov smreka a 75 stromov jedle.

Tabuľka 1

Hrúbkové stupne v cm	Označenie hrúbkových stupňov podľa dreviny	
	smrek	jedľa
11–20	S1	J1
21–30	S2	J2
31–40	S3	J3
41–50	S4	J4
51–60	S5	J5

3 VÝSKUM PREDMETU PRÁCE AKO PODKLAD PRE PROJEKTOVANIE TECHNOLOGICKÉHO VYBAVENIA LESNÝCH STROJOV

Ihličnaté dreviny spôsobom svojho rastu (rovný priebežný kmeň, pravidelné utváranie praslenov) dávajú lepšie predpoklady pre popisanie rozmiestenia a veľkosti vetiev ako listnaté. Napriek tomu ani pre ne sa v širšom rozsahu neskúmali vzťahy medzi rozmermi kmeňa a vetiev. Ihličnaný sú vhodnejšie aj pre mechanizované odvetvovanie. Pre detailné navrhovanie parametrov odvetvovacích hlavíc je nevyhnutné poznáť ako rozmerové charakteristiky kmeňov, tak aj vetiev. U vetiev má mimoriadny význam rozmiestenie vetiev na kmeni, teda vzdialenosť medzi praslenmi, počet vetiev v praslenoch, dĺžka vetiev a ich hrúbka a z toho vyplývajúca celková prerezávaná plocha pri odvetvovaní. Pretože vetvy neprirastajú pod pravým uhlom, pre určenie veľkosti rezných plôch má význam aj uhol prirastania vetiev ku kmeňu. Významné je tiež usporiadanie vetiev v praslene – ich rozloženie (vzdialenosť medzi najspodnejšou a najvrchnejšou vetvou). Z veľkosti rezných plôch je možné ďalej vypočítať rezné odpory a po určení pasívnych – trecích odporov stanoviť energetickú náročnosť zariadenia.

3.1 Štatistické vyhodnotenie pri použití programu STATISTICA a určenie regresných modelov

Pri spracovaní údajov bol použitý pre získanie základných informácií o dĺžke stromu v závislosti od hrúbkového stupňa pre dreviny jedľa a smrek, bezvetvovej zóny v závislosti od hrúbkového stupňa (obr. 1) pre dreviny jedľa a smrek, vtvovej zóny v závislosti od hrúbkového stupňa (obr. 2) pre dreviny jedľa a smrek, počet praslenov v závislosti od hrúbkového stupňa pre dreviny jedľa a smrek. Možno konštatovať, že hrúbkový stupeň nemá signifikantný vplyv. Pri jedli sa hrúbkový stupeň nepreukázal ako štatisticky významný faktor na veľkosť bezvetvovej zóny. V prvom hrúbkovom stupni nie je signifikantný rozdiel medzi drevinami. Pri drevine smrek je signifikantný rozdiel medzi prvým hrúbkovým stupňom a ostatnými, ale nie je rozdiel príliš významný.

Intervaly vzdialenosťí (obr. 3) a plôch (obr. 4) medzi praslenmi pre jedľu, sú premietnuté do histogramov s naznačením normálneho rozdelenia.

Empirická závislosť priebehu plochy votknutia praslenov po dĺžke vtvovej zóny podľa jednotlivých hrúbkových stupňov pre jedľu.

Regresný model bol použitý v nasledovnom tvare:

$$S = b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 - \text{parabola 2. Stupňa}$$

Model sa ukázal ako vhodný a pre jednotlivé hrúbkové stupne mal tvar:

$$\text{hrúbkový stupeň: } S = 5,5442 + 2,4231 x_i - 0,2684 x_i^2$$

$$\text{hrúbkový stupeň: } S = 12,8379 + 0,6052 x_i - 0,0352 x_i^2$$

$$\text{hrúbkový stupeň: } S = 13,8866 + 1,6147 x_i - 0,0524 x_i^2$$

$$\text{hrúbkový stupeň: } S = 12,9046 + 2,1603 x_i - 0,0671 x_i^2$$

$$\text{hrúbkový stupeň: } S = 11,1661 + 2,2068 x_i - 0,039 x_i^2$$

$$x_i = l_{vz} - \text{vzdialenosť polohy praslenu od začiatku vetvovej zóny}$$

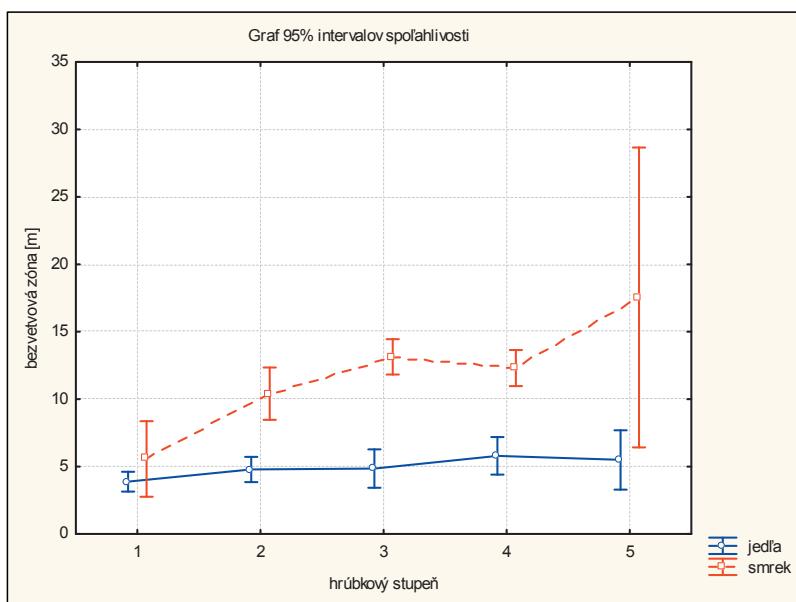
Pre získanie, čo možno najvernejších regresných modelov závislosti plochy v mieste voknutia praslenov na kmeni po dĺžke vetvovej zóny bol použitý aj regresný model: $S = A \cdot \sin(kl_{vz} + q) + c$. Tento model bol použitý v minulosti v zahraničí. Pre ilustráciu uvádzam jeho aplikáciu pre hrúbkové stupne jedle J3, J4, J5. Získané regresné rovnice sú uvedené ďalej a majú nasledovný tvar:

$$3. \text{ hrúbkový stupeň } S = 7,91 \sin(0,21 l_{vz} - 0,33) + 18,51$$

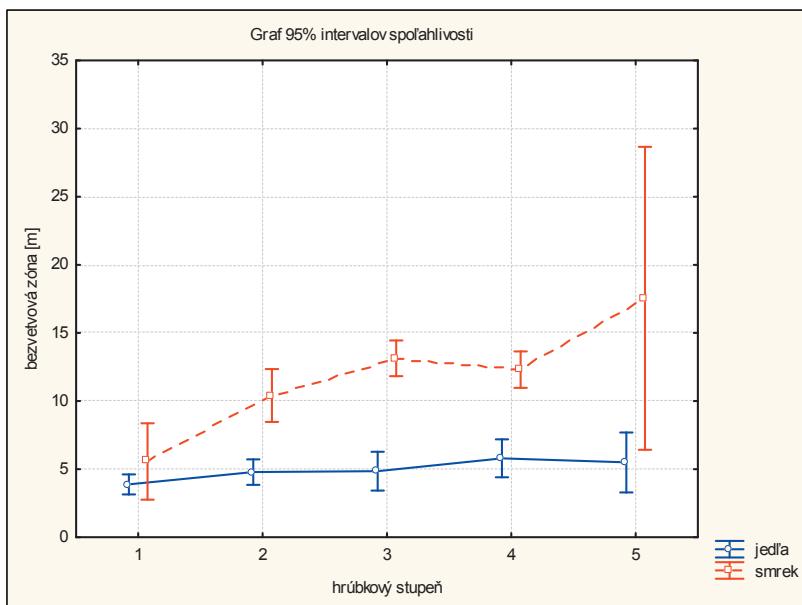
$$4. \text{ hrúbkový stupeň } S = 5,94 \sin(0,25 l_{vz} - 2,42) + 26,27$$

$$5. \text{ hrúbkový stupeň } S = 13,96 \sin(0,11 l_{vz} - 1,35) + 29,58$$

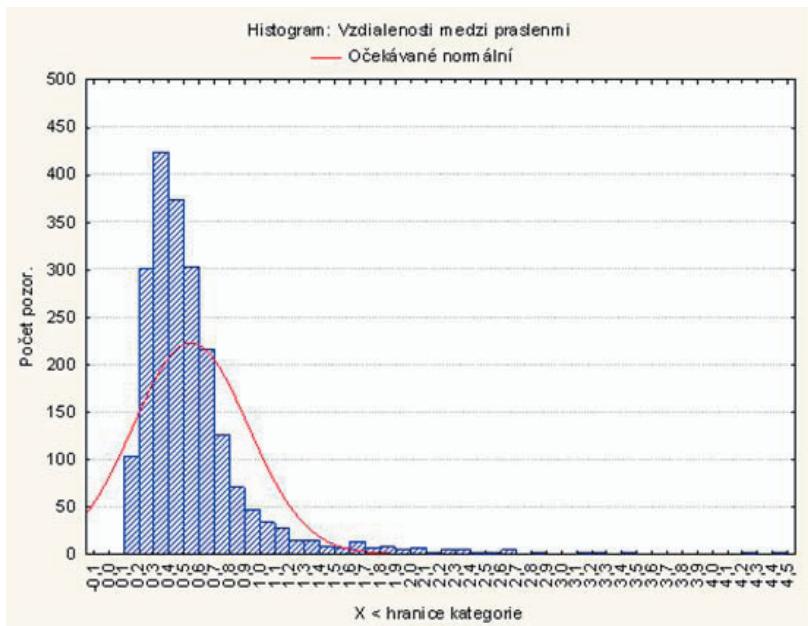
A, k, q, c – koeficienty regresnej rovnice



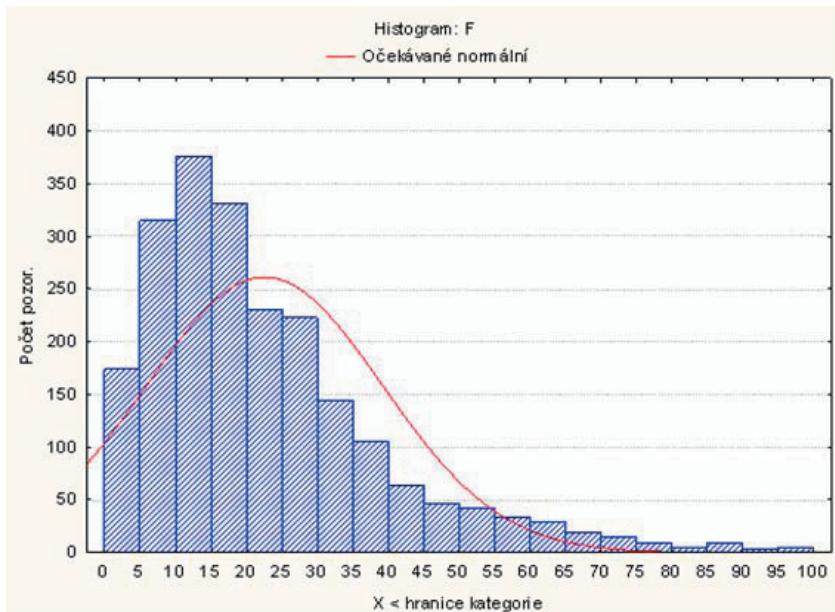
Obrázok 1 – Bezvetvová zóna podľa hrúbkových stupňov pre dreviny jedľa a smrek



Obrázok 2 – Vetvová zóna podľa hrúbkových stupňov pre dreviny jedľa a smrek



Obrázok 3 – Histogram rozdelenia vzdialnosti medzi praslenmi pre jedľu



Obrázok 4 – Histogram rozdelenia plôch praslenov vo vtoknutí pre jedľu

4 ZÁVER

Bol uskutočnený teoretický a experimentálny výskum v oblasti získania podkladov pre vývoj lesných strojov a ich mechanizmov. Výsledky sú použiteľné predovšetkým pre projektovanie odvetvovacích a deliacich mechanizmov, ktoré sú použiteľné ako súčasť manipulačnej linky na manipulačnom – expedičnom sklade, alebo ako súčasť mobilného lesného čažbového stroja. Experimentom získané výsledky pre stromy jedľa a smrek boli zamerané na vytvorenie modelu stromu pre odvetvovanie

LITERATÚRA

- MIKLEŠ, J. Príspevok k modelovaniu predmetu práce a racionalizácií vybraných mechanizmov manipulačnej linky pri výrobe dreva. Dizertačná práca: Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky, 2009. 145 s.
- MIKLEŠ, J. 2007. Štatistický model stromu smreka pre určenie parametrov odvetvovacích mechanizmov. In: Acta facultatis technicae Zvolen, TU Zvolen, 2007. s. 91–99, ISSN 1336-4472

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

Kontaktná adresa:

Ing. Juraj Mikleš, Technická univerzita vo Zvolene, Katedra lesnej a mobilnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky, T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, e-mail: jmikles@vsld.tuzvo.sk, tel. +421 45 5206553.

VPLYV SPEKTRA SVETELNÉHO ZDROJA NA DIGITÁLNY OBRAZ TEXTÚRY DREVA

INFLUENCE OF LIGHT SOURCE SPECTRE ON DIGITAL IMAGE OF WOOD TEXTURE

Jozef ŠURIANSKY – Mária HRČKOVÁ

ABSTRACT: The article deals with methodology of measuring the influence of light source spectre on digital image of wood texture. Special original measurement system was used for creating special wood texture images at various lighting conditions. Structure and principle of functioning of the system are described in the article. In the conclusion a relation between the lighting and wave length on the texture quality is examined using a correlation method.

Key words: wood texture, reflectivness of materials, correlation analysis

ABSTRAKT: Článok sa zaoberá metodikou merania vplyvu spektra svetelného zdroja na digitálny obraz textúry dreva. Na tvorbu špeciálnych obrazov textúry dreva pri rôznych podmienkach osvetlenia bol použitý pôvodný merací systém. Štruktúra a princíp činnosti tohto systému sú v článku popísané. Záverom je korelačnou analýzou skúmaný vzťah intenzity osvetlenia a vlnovej dĺžky na kvalitu textúry.

Kľúčové slová: textúra dreva, odrazivosť materiálov, korelačná analýza

1. ÚVOD

Drevo sa vyznačuje charakteristickou farbou, ktorá je závislá na mnohých činiteľoch ako sú: rastové podmienky, vlhkosť dreva, biotické a abiotické činitele a technologické procesy. Farba dreva je dôležitým makroskopickým znakom na určenie druhu dreviny. Farebnosť dreva nebýva monotónna, ale viac-menej pruhovaná a s rôznymi farebnými segmentmi. Beľové drevo býva svetlejšie, jadro tmavšie. Farebná zmena na hranici beli a jadra je pri niektorých drevinách náhľa, pri iných môže byť pozvoľná. Farbu dreva ovplyvňujú jeho chemické zložky, teda celulóza, hemicelulóza a lignín. Tiež je dôležitým znakom pri určovaní chýb dreva. Farba dreva vo všeobecnosti charakterizuje vzhlad dreva.

Textúra dreva je definovaná ako celkový optický výraz dreva. Je to kresba, ktorá je viditeľná na reze dreva a je daná jeho anatomickou stavbou (póry, letokruhy, dreňové lúče), ďalej farbou, leskom a druhom rezu. Čím je stavba dreva zložitejšia, tým rôznejšia

je aj textúra. Textúra ihličnanov je jednoduchšia, je tvorená predovšetkým kresbou výrazných letokruhov. Listnaté dreviny majú zložitejšiu anatomickú stavbu, výraznejšiu farbu a rozdielny lesk v ploche. Na priečnom reze hranicu ročných kruhov vidieť aj voľným okom. Je tu vidieť hlavný rozdiel medzi ihličnanmi a listnáčmi a to v usporiadaní jarných a letných tracheíd. Na tangenciálnom reze možno pozorovať vlastnosti stržňových lúčov. Radiálny rez ponúka prierez stržňového lúča.

2. MATERIÁL A METÓDY

Farba predmetu

Vnímanie farby určitého predmetu je podmienené spektrálnym zložením žiarenia svetelného zdroja osvetľujúceho predmet ako aj spektrálnym činiteľom odrazu alebo prestopu pozorovaného predmetu. Vplyv spektrálneho zloženia svetelného zdroja na vnímanie farby osvetlených predmetov charakterizuje tzv. podanie farieb. K číselnému hodnoteniu akosti farieb sa využíva index podania farieb, ktorý vyjadruje stupeň zhodnosti vnímania farby predmetu osvetleného uvažovaným zdrojom. Všeobecný index farebného podania R_a sa určuje zo vzťahu:

$$R_a = 100 - 4,6\Delta E_a \quad (1)$$

Špeciálny index podania farieb R_i vzorky i sa počíta zo vzťahu:

$$R_i = 100 - 4,6\Delta E_i \quad (2)$$

ΔE_a a ΔE_i uvedené vo vzťahoch (1) a (2) predstavujú:

$$\Delta E_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i \quad (3)$$

$$\Delta E_i = \sqrt{(U_{oi} - U_{ki})^2 + (V_{oi} - V_{ki})^2 + (W_{oi} - W_{ki})^2}, \quad (4)$$

kde:

- U_{oi}, V_{oi}, W_{oi} sú trichromatické zložky popisujúce v sústave UVW farebný vnem i -tej vzorky pri osvetlení porovnávacím zdrojom,
- U_{ki}, V_{ki}, W_{ki} sú trichromatické zložky popisujúce v sústave UVW farebný vnem i -tej vzorky pri osvetlení skúšaným zdrojom,
- n je počet použitých farebných vzoriek,
- ΔE je celková farebná diferencia.

Pre prácu s trichromatickými súradnicami je možné s ohľadom na vlastnosti farebných vzoriek rovnicu (4) upraviť do tvaru:

$$\Delta E_i = 800 \sqrt{[(u_{oi} - u_o) - (u_{ki} - u_k)]^2 - [(v_{oi} - v_o) - (v_{ki} - v_k)]^2}, \quad (5)$$

kde:

- u_o, v_o sú súradnice bodu popisujúceho spektrum svetla porovnávajúceho zdroja v diagrame zložky,
- u_k, v_k sú súradnice bodu popisujúceho spektrum svetla skúšaného zdroja v diagrame.

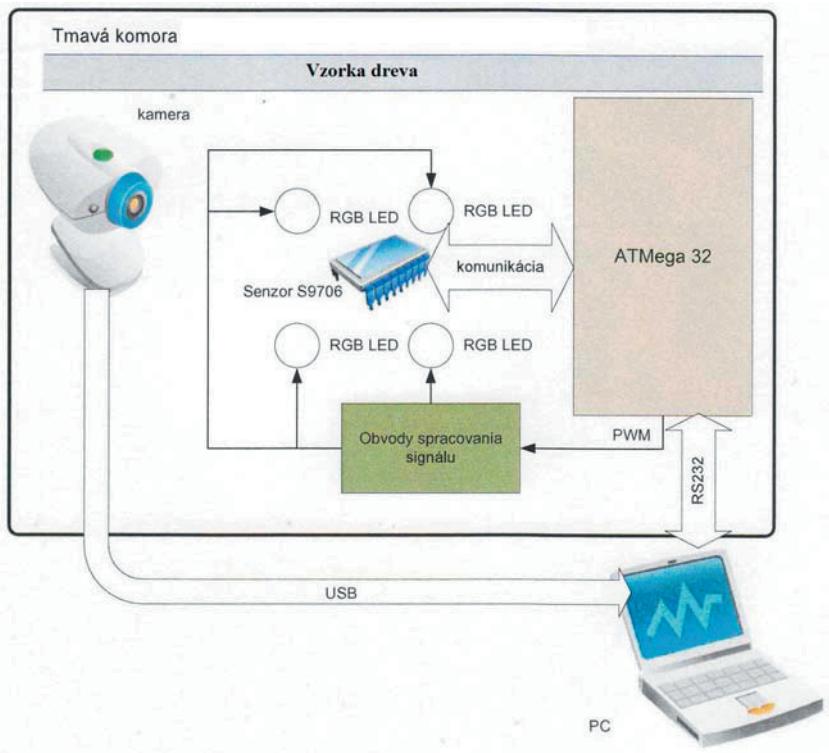
Hodnota indexu podania farieb R_a môže byť v rozmedzí od 0 do 100. Pri osvetlení teplotnými zdrojmi a pri dennom svetle sa farby predmetov vnímajú najvernejšie čomu zodpovedá $R_a = 100$. Naopak v monochromatickom žltom svetle nízkotlakových sodíkových výbojok sa farby nerozlišujú vôbec, a preto je $R_a = 0$. V súčasnosti sa vo väčšine interiérov požaduje $R_a \geq 80$, a to aj vo väčšine pracovných priestorov podľa EN12464. Číselné údaje vystihujúce farebný podnet je možné získať troma spôsobmi merania:

- spektrofotometrickým meraním,
- porovnávacím kolorimetrom,
- fotometrickým kolorimetrom.

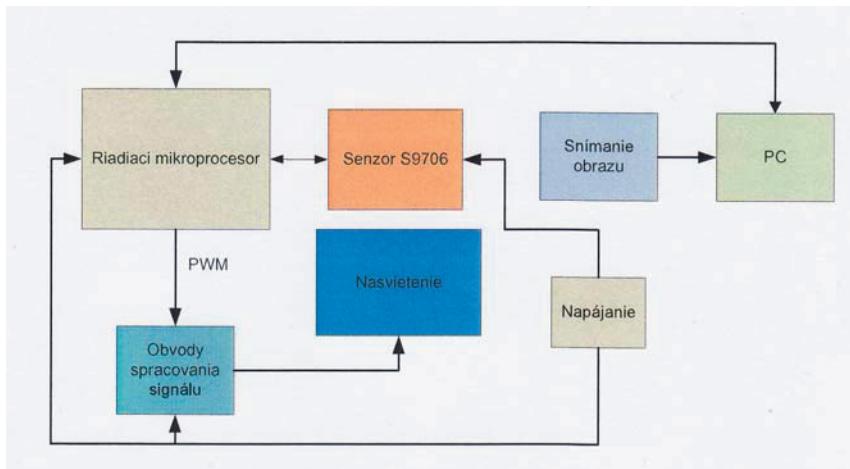
Za základné sa považujú spektrofotometrické merania, pretože výsledky, ktoré poskytujú sú najpresnejšie. Využívajú sa aj pri stanovení etalónov. Uvedené merania sa vykonávajú s využitím monochromátorov, resp. spektrofotometrov so vstavanými monochromátormi. Týmito prístrojmi sa získavajú spektrálne charakteristiky farebného podnetu od sledovaných primárnych alebo sekundárnych zdrojov a z nich sa buď výpočtom alebo použitím integrátora pripojeného k spektrometrom určujú zodpovedajúce trichromatické zložky respektíve súradnice vo zvolenej trichromatickej sústave. Na charakterizovanie farby dreva sa používa trichromatická sústava CIE (Medzinárodná komisia pre osvetlenie) založená na skutočnosti, že miešaním troch základných farebných zložiek (červená – R, zelená – G, modrá – B) môžeme vytvoriť vnuťom akejkoľvek farbu. Každú z týchto zložiek možno popísať kolorimetricou funkciou, ktorá vyjadruje podiel týchto zložiek na výslednej farbe.

Merací systém snímania digitálnych obrazov textúry dreva

Na tvorbu obrazov s modifikáciou osvetlenia scény bol využitý pôvodný merací systém tvorený senzorom Hamamatsu S9706, ktorý bol riadený mikroprocesorom. Schéma usporiadania systému a bloková schéma sú znázornené na Obrázku 1 a Obrázku 2.

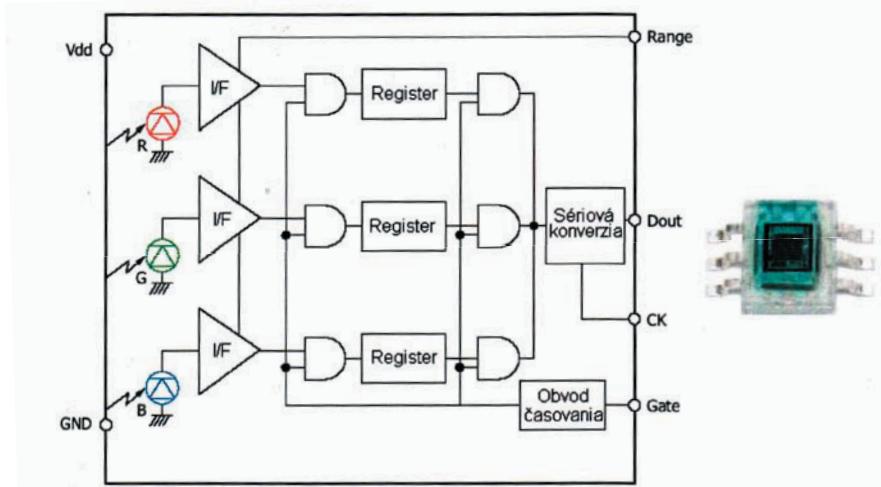


Obrázok 1 Schéma usporiadania senzorického systému



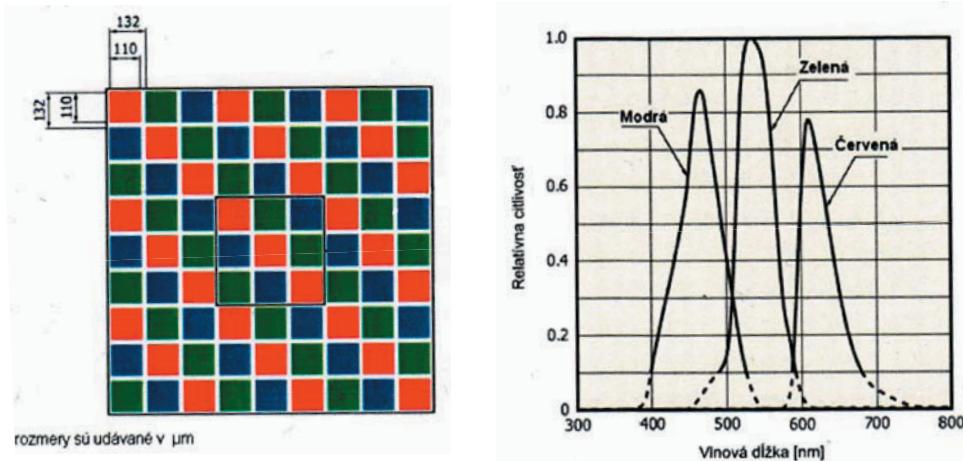
Obrázok 2 Bloková schéma senzorického systému

Snímacím prvkom meracieho systému, ktorý sa využíval na tvorbu špeciálnych obrazov s modifikovaným osvetlením scény je senzor S9706 firmy Hamamatsu. Jedná sa o digitálny senzor s maximálnou citlivosťou červenej zložky s vlnovou dĺžkou $\lambda = 615$ nm, zelenej zložky s vlnovou dĺžkou $\lambda = 540$ nm a modrej zložky s vlnovou dĺžkou $\lambda = 465$ nm. Vnútorná štruktúra ako aj samotný senzor sú znázornené na Obrázku 3.



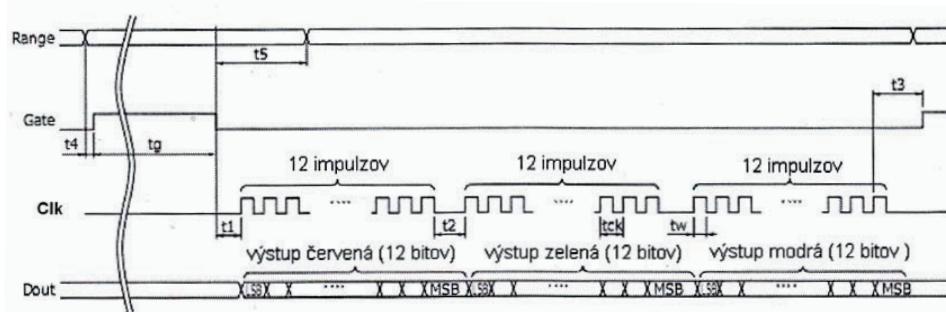
Obrázok 3 Bloková schéma a senzor S9706 [Hamamatsu, 2008]

Snímacími členmi sú fotodiódy nastavené na danú oblasť spektra. Signál každej fotodiódy je v móde merania zosilnený a upravený do tvaru 12-bitového digitálneho výstupného slova. Fotodiódy sú usporiadané do meracieho pola. Usporiadanie snímacích prvkov a oblasti citlivosti na jednotlivé vlnové dĺžky sú na Obrázku 4.



Obrázok 4 Usporiadanie snímacích prvkov a pásma citlivosti senzora S9706
[Hamamatsu, 2008]

Senzor komunikuje s riadiacim mikroprocesorom pomocou sledu inštrukcií, ako je to znázornené na Obrázku 5. Signál CK je generovaný časovačom riadiaceho mikroprocesora, pre nastavovanie a sledovanie úrovní ostatných potrebných signálov sú využívané všeobecné vstupno-výstupné vývody ATMega 32.



Obrázok 5 Komunikácia senzora s riadiacim mikroprocesorom [Hamamatsu, 2008]



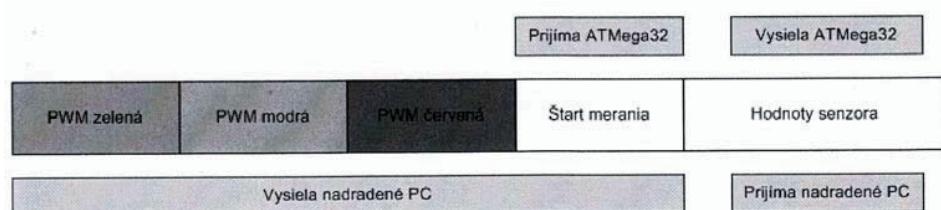
Výstupom aktuálne zosnímaných údajov zo senzora sú signály na kontakte DOUT, ktoré sú privádzané na vstup mikroprocesora a následne spracovávané. Vyžiadanie nameraných údajov sa vykonáva zmenou logickej úrovne signálu vysielaného z mikroprocesora na kontakt Gate senzora. Zmena logickej úrovne na kontakte Gate musí byť sprevádzaná generovaním Clk signálu z čítača mikroprocesora.

Firmvér riadiaceho mikroprocesoru Atmel Mega 32 je možné popísť nasledovným vývojovým diagramom (Obrázok 6).

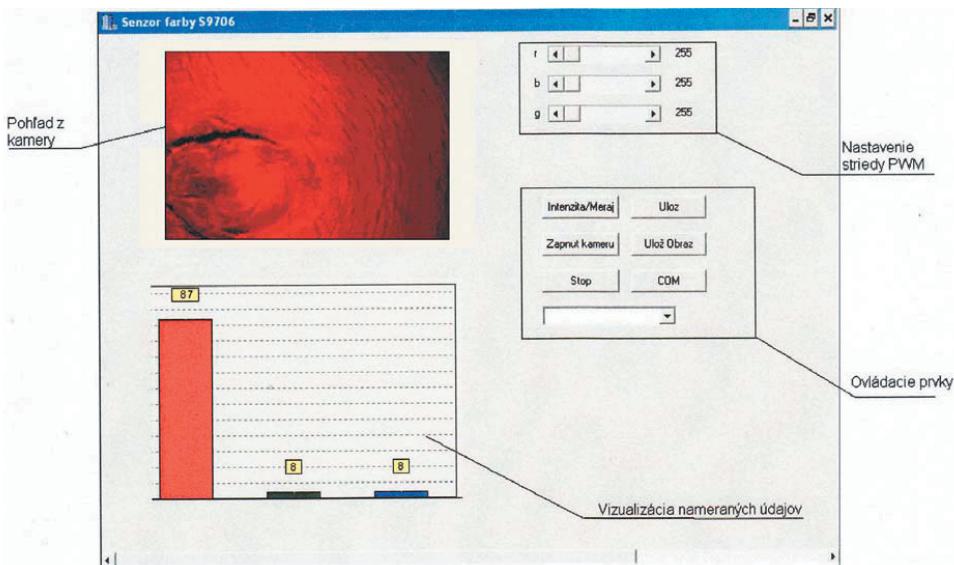
Jednotlivé osvetlenia vzoriek sú realizované štyrmi RGB LED diódami v tmavej komore. Riadiaci mikroprocesor pomocou PWM modulovaného signálu, ktorý je na výstupe z procesora upravovaný obvodmi spracovania signálu nastavuje hodnoty jasu červenej, modrej a zelenej spektrálnej zložky žiarenia emitovaného LED diódami. Snímací prvok S9706 je od zdrojov žiarenia oddelený clonou, takže na jeho snímacie plochy dopadá iba žiarenie odrazené vzorkou. Nastavenie novej hodnoty jasu emitovaného svetla je možné vykonať pomocou obslužného programu, spusteného na pripojenom PC. Táto požiadavka vyvolá prerušenie od USART kanálu riadiaceho mikroprocesora.

Obrázok 6 Vývojový diagram firmvéru riadiaceho mikroprocesora

Riadiaca aplikácia vytvorená v programovom prostredí C++, bežiaca na pripojenom PC slúži na nastavenie svietivosti jednotlivých farebných LED diód (Obrázok 8). Pomocou inštalovanej kamery v tmovej komore máme k dispozícii vizualizáciu a archiváciu zosnímaných vzoriek. Prostredníctvom programu je tiež možné meniť nastavenie intenzity červenej, zelenej a modrej zložky spektra žiarenia. Komunikácia pripojeného PC a mikroprocesora je pomocou zbernice RS232. Najskôr sú vyslané nastavovacie hodnoty PWM modulácie pre RGB zložky svetla LED diód. V ďalšom kroku sa vysiela znak štartu merania a prijíma sa 36 bitov aktuálne zosnímaných RGB zložiek žiarenia. Riadiaci mikroprocesor potom očakáva nové nastavenia PWM modulácie, ale ak prijme znak štartu merania, vyšle aktuálne zosnímané hodnoty. Schematické znázornenie komunikačného protokolu riadiaci mikrokontrolér – pripojené PC je na Obrázku 7.



Obrázok 7 Komunikačný protokol prepojenia riadiaceho mikropočítača a personálneho počítača



Obrázok 8 Okno riadiacej aplikácie

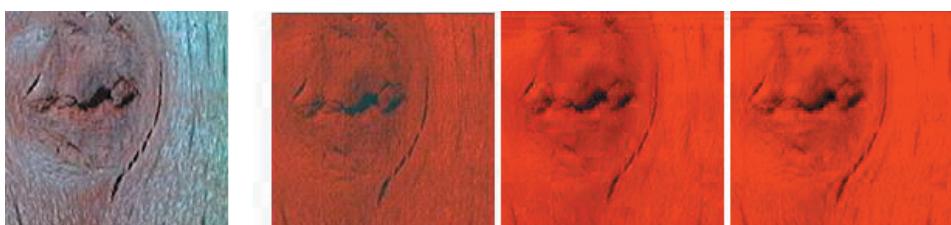
3. VÝSLEDKY

Špeciálne obrazy textúry dreva boli vytvorené z bukových hranolov, ktoré obsahovali rôzne poškodenia, ako napr. hrče, trhliny, nepravé jadro, hnilibu a stopy po rezných nástrojoch. Príklady týchto obrazov sú na Obrázku 9. Vzorky boli vyberané na základe rôznorodosti z hľadiska: chýb dreva, farby dreva, rôzneho druhu kresby dreva atď.

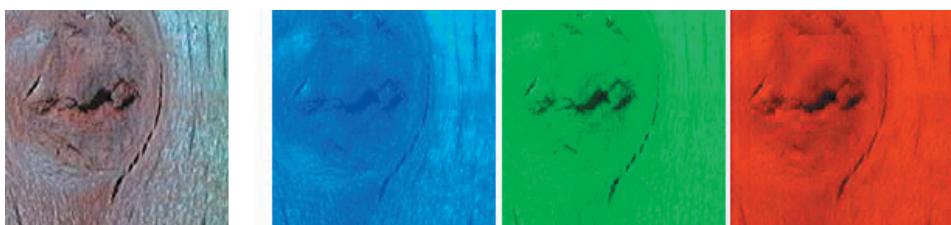


Obrázok 9 Príklady obrazov z rôznych vzoriek dreva

Tieto vzorky boli v meracom zariadení prostredníctvom riadiaceho programu osvetlené rôznymi úrovňami intenzity červenej, zelenej a modrej zložky spektra žiarenia, prípadne ich kombináciou. Získané obrazy boli upravené na jednotné rozlíšenie 256×256 pixelov.

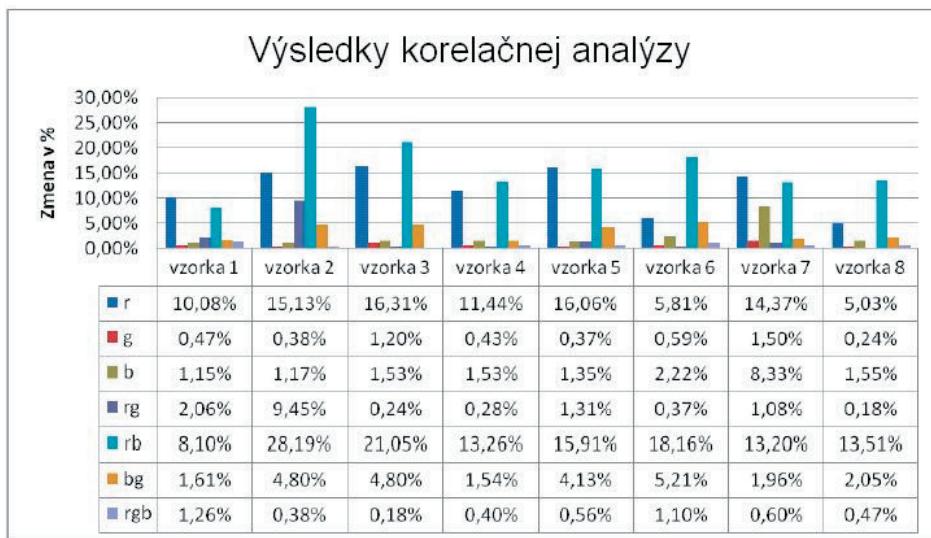


Obrázok 10 Príklady nasvietenia rôznymi úrovňami intenzity červenej zložky



Obrázok 11 Príklady nasvietenia rôznymi farebnými zložkami s rovnakou úrovňou intenzity

Už pri subjektívnom pohľade na uvedené príklady sú v jednotlivých obrazoch tej istej vzorky dreva rozdiely. Napr. pri osvetlení zelenou zložkou je na obraze výraznejšia chyba v centre obrazu a rovnako sú výraznejšie aj línie, ktoré sú súčasťou textúry dreva. Pre objektívne výsledky boli získané špeciálne obrazy vyhodnocované korelačnou analýzou. Obrazy jednotlivých vzoriek boli porovnávané s referenčnou vzorkou. Získané hodnoty boli prevedené na percentá, ktoré vyjadrujú veľkosť vplyvu osvetlenia jednotlivými zložkami spektra žiarenia a rôznych intenzít týchto zložiek. Výsledky sú zobrazené na Obrázku 12.



Obrázok 12 Výsledky korelačnej analýzy

Z dosiahnutých výsledkov je možné konštatovať, že osvetlenie vzoriek rôznymi zložkami spektra žiarenia a ich kombináciami spôsobilo najväčšie zmeny v obrazu pri použití červeného spektra žiarenia a kombinácie červeného a modrého spektra žiarenia. Tieto zmeny boli dvojakého charakteru. V prvom prípade nastalo zvýraznenie čiar textúry, prípadne zvýraznenie chýb dreva, ktoré sa vo vzorke vyskytli. V druhom prípade nastalo potlačenie niektorých menej výrazných znakov textúry dreva. Táto skutočnosť zohráva veľký význam z hľadiska segmentácie obrazu vzorky dreva a následne jej ďalšieho vyhodnocovania či už pri určovaní výskytu chyby dreva a jej druhu, alebo pri rozpoznávaní typu dreva na základe textúry.

4. ZÁVER

Cieľom návrhu meracieho pracoviska so senzorom Hamamatsu S9706 bolo pripraviť prostredie, kde by bolo možné realizovať analýzu dreva z hľadiska farby, textúry a chybostí. Pri experimentoch realizovaných pomocou riadiaceho programu na tomto pracovisku

bola vytvorená databáza špeciálnych obrazov dreva. Na ich vyhodnotenie bola použitá metóda korelačnej analýzy, ktorá preukázala vplyv osvetlenia vzorky dreva rôznom intenzitou farebných zložiek spektra žiarenia a ich kombináciou na výsledný obraz. Optimálizáciou osvetlenia je možné dosiahnuť na obraze zvýraznenie tých znakov, ktoré sú na obraze dreva dôležité z hľadiska jeho ďalšieho spracovania. Na druhej strane realizáciou vhodného nastavenia osvetlenia môžeme dosiahnuť potlačenie detailov, ktoré sú v procese vyhodnocovania obrazu zdrojom nepresnosti. Tieto výsledky je možné aplikovať pri určovaní chýb dreva alebo pri rozpoznávaní a triedení dreva.

LITERATÚRA

- [1] AGOSTON, G. A.: 2006. *Color Theory and its Application in art and design*. Berlin, Heidelberg, New York, Springer Verlag, 2006.
- [2] ČSN 011718: 1991. *Měření barev*. Vydavatelství norem, Praha, 1991.
- [3] HAMAMATSU: 2008. *Katalógový list senzora S9706*. Hamamatsu Photonics k.k, 2008.
- [4] PRATT, W. K.: 2001. *Digital Image Processing*. John Wiley & Sons, New York, 2001. ISBN 0-0-471-37407- 52.

Kontaktná adresa:

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

REFERÁTY

VÝSKUM GEOMETRIE BEZTRIESKOVÉHO REZNÉHO NÁSTROJA HARVESTOROVEJ HLAVICE PRE VÝCHOVNÉ ZÁSAHY

THE RESEARCH OF THE CHIPLESS CUTTING TOOL GEOMETRY OF A HARVESTER HEAD FOR IMPROVEMENT CUTTING

Ján MARKO – Lucia DOBROTOVÁ

ABSTRACT: Higher presence of light machines and adapters for universal base machines are necessary for technical control of young forest coppices sylviculture. In the article there is solved chip less cutting mechanism of cutting head for improvement cutting.

Key words: cutting mechanism, knife, harvesters

ABSTRAKT: Väčšie množstvo ľahkých strojov a adaptérov pre univerzálné bázové stroje je potrebné pre výchovné zásahy mladých lesných porastov. V článku je riešený beztrieskový rezný mechanizmus rezacej hlavy pre zlepšenie rezania.

Kľúčové slová: rezný mechanizmus, nôž, harvestor

ÚVOD

Potrebné je uplatňovať takú techniku pre zabezpečenie racionálneho obhospodarovania lesov, ktorej technologické využitie je v harmonickom súlade so štadiálnym vývojom lesa. Cieľom použitia tejto techniky musí byť zvýšenie efektívnosti výroby, produktivity práce ale aj humanizácie práce. Základným predpokladom pre technické zvládnutie lesných porastov je existencia primeraných strojov a zariadení. Je kladená požiadavka na väčšie zastúpenie ľahkých strojov a adaptérov na univerzálné bázové stroje v porovnaní s doterajším stavom strojov a zariadení používaných pri obhospodarovaní lesov.

S výnimkou prečistiek je podiel mechanizovaných prác v lesopestovnej činnosti celkovo nízky (72 %). V príspevku je skúmaný rezný nástroj zrezávacej hlavice pre výchovné zásahy (prečistky), ktorá ako adaptér zabezpečí efektívnu prácu pri minimálnej fyzickej námaha v porovnaní s motomanuálnou prácou (motorová píla).

1. REZNÝ MECHANIZMUS

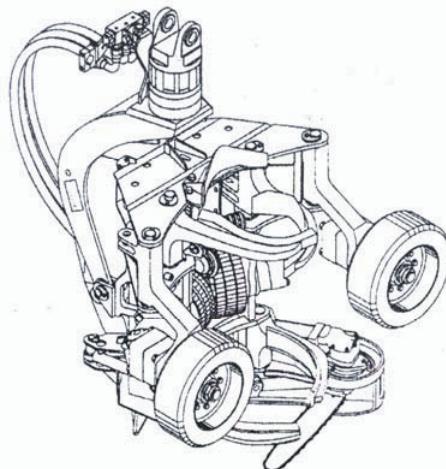
Rozčlenenie porastov a ich sprístupnenie sieťou rozčleňovacích liniek je potrebné pre zabezpečenie požadovaného rozsahu výchovných zásahov. Toto sa vykonáva motorovými píľami, krovinorezmi a harvestormi.

Motorové píľy sa používajú pri spiľovaní, odvetvovaní a skracovaní dreva.

Krovinorezy sa využívajú na vykonávanie prečistiek trás, plôch a hlavne pre vykonávanie výchovných zásahov u mladých lesných porastov.

Harvestory ako samopojazdné viacoperačné stroje uskutočňujú spiľvanie, odvetvovanie, delenie, triedenie a ukladanie. Hlavnými výhodami týchto strojov je veľmi ohľadu plná práca voči stojacim stromom a pôde v poraste, vysoká produktivita práce a ergonomickosť. Nevýhodami harvestorov sú vysoké obstarávacie náklady, potreba dostatočného množstva dreviny a požiadavky na dokonalú organizáciu.

Integrovaná harvestorová hlavica (obr. 1) umožňuje vykonávať operácie spiľovania stromov, odvetvovania, skracovania kmeňov na sortimenty a ich ukladania.



Obrázok 1 Integrovaná harvestorová hlavica

2. BEZTRIESKOVÉ REZANIE DREVA

Perspektívny princíp podrezávacích, odvetvovacích a skracovacích mechanizmov je beztrieskové rezanie dreva, kde sa podstatná časť práce stráca na deformáciu dreva reznými plochami noža. Rezanie prebieha v uzavorennej zóne bez tvorenia triesky. Celý objem dreva, ktorý je nahradený vnikajúcou časťou noža, musí byť zdeformovaný. Touto problematikou sa u nás zaoberali hlavne Jandel, Mikleš, Koreň, Marko. V zahraničí Kočegarov, Leonov, Kempe, Wiklund a mnohí ďalší.

V porovnaní s tradičným spôsobom rezania pílením má tento spôsob rezania mnoho výhod. Rezací mechanizmus je spoľahlivejší, lacnejší, výkonnejší, jednoduchší, menej

hlúčný a náročný na obsluhu a údržbu, rezný nástroj je trvanlivejší a menej citlivý na zvieranie v reze a samotný princíp vylučuje vznik drevného odpadu vo forme pilín. Neuspokojivá kvalita rezu a vysoká energetická náročnosť obmedzuje praktické uplatnenie existujúcich mechanizmov pracujúcich na beztrieskovom rezaní dreva, najmä pri priečnom delení hrubých kmeňov, tvrdých drevín a zamrznutého dreva.

Problematika beztrieskového rezania dreva nožovými reznými mechanizmami ostáva aj nadálej predmetom výskumu vzhľadom na viaceré výhody. Vznik trhlín a kvalita rezu pri rezaní kmeňov nie sú limitujúcimi faktormi, čo je dôležité poznať pri návrhu daného typu zrezávacej hlavice. Toto je možné zdôvodniť tým, že maximálny priemer v mieste rezania je 200 mm. Drevná hmota stromov menších priemerov ako je uvedený priemer 200 mm je predovšetkým využívaná na energetické účely (palivové drevo, štiepka) alebo na fyzikálne a chemické spracovanie (výroba DTD, celulóza), poprípade ostáva drevná hmota v poraste.

Proces beztrieskového rezania dreva klinovým nožom v smere nie totožnom so smerom vlákien sa niekedy nazýva aj silovým rezaním, nakoľko pri ňom vznikajú značné sily. Na veľkosť reznej sily majú hlavne vplyv – hustota dreva, hrúbka noža, teplota okolia, tvar reznej hrany, stav dreva. Pri stínke a skracovaní všetky používané nožové mechanizmy sú variantmi dvoch základných typov: jednonožových a dvojnožových. Predmetom záujmu výskumných pracovníkov a odborníkov v lesníckom strojárstve sa v poslednom období stali metódy strihania dreva vysokými reznými rýchlosťami (pomocou vysokých akumulovaných energií). Očakáva sa, že vývojom a následným použitím týchto zariadení pre strihanie dôjde v mnohých prípadoch k zvýšeniu produktivity práce a zhospodárneniu výroby dreva.

3. GEOMETRIA REZNÉHO NÁSTROJA

Pri návrhu geometria rezného nástroja je dôležité zohľadniť predovšetkým analýzu rezného nástroja pre beztrieskové rezanie dreva, ktorá ukázala, že pre tento účel sa najčasťejšie používajú nože so symetrickým ostrím a telesom noža rovnakej hrúbky v ľubovoľnom priereze (MIKLEŠ, 1997).

Podľa konfigurácie rezného nástroja rozlišujeme nože – kotúče a nože – dosky. Pri zadaných parametroch, t.j. prerezávka (resp. prebierka) bukových mladín do hrúbky 200 mm v mieste rezu, volíme nože – dosky.

V rozsahu hrúbky nožov $t = 12\text{--}20 \text{ mm}$ platí, že dvojnásobné zväčšenie hrúbky zvyšuje reznú silu 1,4–1,6 krát. So zväčšovaním hrúbky noža sa zväčšuje hĺbka trhlín a rozštiepenie. Normálové začazenie bočných hrán v medziach jedného druhu nezávisí od noža, ale má vplyv na jeho tuhosť. S ohľadom na použitie daného rezného mechanizmu volíme hrúbku nožov $t = 8 \text{ mm}$. V rozsahu skúmaných uhlov rezného klinu $\beta = 15^\circ\text{--}60^\circ$ sa optimálnymi javia uhly $30^\circ\text{--}40^\circ$, a preto volíme uhol rezného klinu $\beta = 30^\circ$.

Rýchlosť rezania môžeme rozdeliť podľa jej veľkosti na statickú (v_{st}) a dynamickú (v_{dyn}). Rezný mechanizmus bude v danom prípade pracovať v oblasti statickej rýchlosťi (do $0, \text{ m.s}^{-1}$), pretože rezné mechanizmy pracujú pri prerezávaní veľkou rýchlosťou sú v súčasnosti len v oblasti vývoja. Výhodou tohto spôsobu je, že rýchlosť rezania nebude mať vplyv na veľkosť reznej sily, na rozdiel od dynamickej rýchlosťi rezania, kedy pri

rýchlosť nad 25 m.s^{-1} sa rezná sila zvyšuje 1,2–1,3 krát. Rovnako rýchlosť v skúmanom rozsahu ($0,00028$ – $0,4 \text{ m.s}^{-1}$) neovplyvňuje kvalitu rezu. Rýchlosť posuvu rezných nástrojov – nožov bude závisieť od typu použitých hydromotorov.

3.1 Výpočet veľkosti reznej sily

Výpočet reznej sily je pre objektívnosť riešenia vykonaný podľa troch autorov (KOREŇ 1983, MIKLEŠ 1993, MARKO 1997). Jedná sa o výpočet maximálnej reznej sily, podľa ktorej sú potom navrhované ostatné časti rezného mechanizmu.

Vstupné parametre potrebné pre výpočet maximálnej hodnoty reznej sily:

- priemer stromu v mieste rezu: $D = 200 \text{ mm}$,
- uhol rezného klina: $\beta = 30^\circ$,
- hrúbka nožov: $t = 8 \text{ mm}$,
- drevina: buk,
- použitý rezný mechanizmus: dvojnožový.

a) Výpočet maximálnej hodnoty reznej sily podľa KOREŇA (1983):

Autor uvádza pre zadané parametre hodnotu maximálnej reznej sily $F_{REZmax} = 121,581 \text{ kN}$, ktorá bola zistená na základe experimentálnych meraní. Pri rezaní sa drevo nachádzalo v čerstvom stave a teplote okolia $t = 15^\circ$.

b) Výpočet maximálnej hodnoty reznej sily podľa MIKLEŠA (1993):

Určenie výslednej reznej sily autor uvádza podľa nasledovného empirického vzťahu:

$$F_{REZ} = (1,2 \cdot D + 4 \cdot D^2) \cdot (0,2 + 100 \cdot t) \cdot \frac{\beta}{30} \cdot a_p \cdot a_T \cdot 10^5 \quad [\text{N}]$$

kde: D – priemer stromu [m],

t – hrúbka noža [m],

β – uhol rezného klina [$^\circ$],

a_p – koeficient, zahrňujúci vplyv drevinového zloženia na reznú silu, pre buk $a_p = 2,4$,

a_T – koeficient, zahrňujúci vplyv teploty okolitého vzduchu; pre leto je hodnota 1,0; pre zimu 1,2–1,3 pri teplote -10 až -20°C .

Rezná sila v lete:

$$F_{REZ} = (1,2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2^2) \cdot (0,2 + 100 \cdot 0,008) \cdot \frac{30}{30} \cdot 2,4 \cdot 1,0 \cdot 10^5$$

$$F_{REZ} = 96000 \text{ N} = 96 \text{ kN}$$

Rezná sila v zime (pri -20°C):

$$F_{REZ} = (1,2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,2^2) \cdot (0,2 + 100 \cdot 0,008) \cdot \frac{30}{30} \cdot 2,4 \cdot 1,3 \cdot 10^5$$

$$F_{REZ} = 124800 \text{ N} = 124,8 \text{ kN} = F_{REZmax}$$

c) Výpočet maximálnej hodnoty reznej sily podľa MARKA (1997):

Pomocou experimentálnych meraní bola autorom zistená maximálna hodnota mernej reznej sily $F_{m\ max} = 560 \text{ N.mm}^{-1}$. Pri danom priemere stromu v mieste rezu je hodnota maximálnej reznej sily určená vzťahom:

$$F_{REZmax} = F_{m\ max} \cdot D$$

$$F_{REZmax} = 560 \cdot 200 = 112000 \text{ N} = 112 \text{ kN}$$

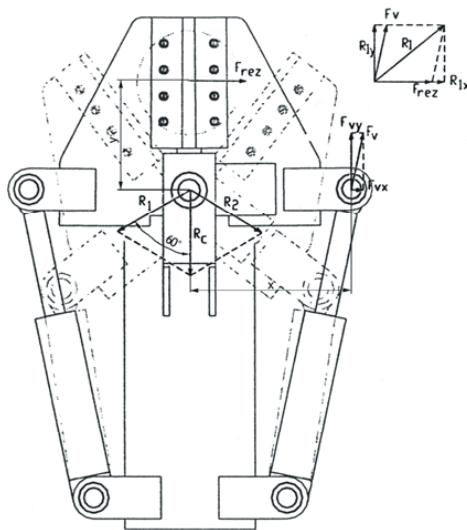
Skúšobné vzorky boli taktiež vybrané z čerstvo zoťatého stromu a teplota okolia bola nad bodom mrazu.

Z uvedených výpočtov bola pre ďalší návrh rezného mechanizmu vybraná maximálna hodnota, t.j. $F_{REZmax} = 124,8 \text{ kN} = 125 \text{ kN}$.

Okrem normállovej reznej sily F_{REZ} v mieste dotyku ostria so stromom možno sledovať existenciu trecej sily, ktorá bráni kĺzaniu noža. Jednako keď neexistuje kĺzanie noža, je táto sila neurčitá. Preto sa pri ďalších výpočtoch nožového rezného mechanizmu berie do úvahy len normállová rezná sila pôsobiaca v strede šírky rezu.

3.2 Kinematická schéma

Kinematická schéma nožového rezného mechanizmu je na obr.2. Obidva rezné nástroje sú s autonómnym pohonom. Prerezanie stromu sa uskutoční na dotyk (zomknutie rezných hrán – zovretie). Pohon rezných nástrojov je hydraulický – priamočiarymi hidromotormi. Nože sa otáčajú okolo spoločného kĺbu.



Obrázok 2 Kinematická schéma nožového rezného mechanizmu a silový rozbor

3.3 Voľba hydromotorov pre pohon rezného mechanizmu

Pre voľbu priamočiarych hydromotorov je nutné poznať veľkosť potrebnej výsuvnej sily hydromotorov. Pri návrhu rezného mechanizmu sa uvažuje s použitím hydraulického systému s prevádzkovým tlakom $p = 20 \text{ MPa}$. Výsuvná sila hydromotorov sa určí z obr. 2 na základe momentovej podmienky rovnováhy.

Pre rovnováhu momentov k bodu 0 platí:

$$\sum M_0 = 0 : F_{REZ} \cdot y - F_{VY} \cdot x_V = 0$$

kde: F_{REZ} – rezná sila,
 F_{VY} – zložka výsuvnej sily hydromotora,
 y, x_V – vzdialenosť pôsobísk súl od bodu 0.

$$F_{VY} = \frac{F_{REZ} \cdot y}{x_V} \quad \text{N}$$

Potom pre výsuvnú silu hydromotora platí vzťah:

$$F_{VY} = \frac{125000 \cdot 0,215}{0,31} = 86693,55 \quad \text{N}$$

$$F_{VY} = \frac{F_{VY}}{\cos \gamma}$$

$$F_{VY} = \frac{86693,55}{\cos 12^\circ} = 88630,34$$

Na základe veľkosti potrebnej výsuvnej sily boli zvolené priamočiare hydromotory HM 1.2 80x40/200 111A111.

ZÁVER

Navrhnutý rezný mechanizmus má za úlohu v procese výchovy rozčlenenie porastov a ich sprístupnenie sieťou rozčleňovacích liniek. Rezný mechanizmus je určený na výchovu bukových porastov, no je ho možné použiť aj pri výchove porastov iných drevín. Zrezávacia hlavica je pri práci umiestnená na univerzálnom bázovom stroji ako adaptér. V pestovnej činnosti sa použitím navrhнутej zrezávacej hlavice zvýši podiel mechanizovaných prác a tým sa vo vhodných terénnych podmienkach zníži podiel prác vykonávaných motomanuálne.

LITERATÚRA

- KOREŇ, J.: Beztrieskové rezanie dreva. Vedecké a pedagogické aktuality č. 6/1983, VŠLD Zvolen, 1983, 105 s.
- MARKO, J.: Problematika hodnotenia rezných mechanizmov pre výchovné zásahy. Vedecké štúdie č. 6/1996/A, TU Zvolen, 1997, 50 s., ISBN 80-228-0568-8
- MIKLEŠ, M.: Teória a stavba lesných strojov II., TU Zvolen, 1993, 274 s.
- MIKLEŠ, M.: Teória technologického vybavenia lesných ťažbových strojov. Vedecké štúdie č. 6/1997/A, TU Zvolen, 1997, 55 s.

Kontaktná adresa:

Marko Ján, doc. Ing. CSc.

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky,
Katedra lesnej a mobilnej techniky, Masarykova 24, 960 53 Zvolen, tel. +421 45 5206 552,
e-mail: marko@vsld.tuzvo.sk

Dobrotová Lucia, Ing.

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta environmentálnej a výrobnej techniky,
Katedra lesnej a mobilnej techniky, Študentská 26, 960 53 Zvolen, tel. +421 45 5206 497,
e-mail: xdobrotoval@is.tuzvo.sk