

**A
F
T**

**ACTA
FACULTATIS
TECHNICAЕ**



TECHNICKÁ UNIVERZITA VO ZVOLENE

1

ROČNÍK: XX

ZVOLEN 2015

OBSAH

VEDECKÉ ČLÁNKY

UNIFIKÁCIA A VYUŽITIE LENÝCH KOLESOVÝCH ŤAHAČOV

UNIFICATION AND USE OF FOREST WHEELED SKIDDER

Richard HNILICA – Valéria MESSINGEROVÁ – Michaela HNILICOVÁ –

Miroslav DADO7

VPLYV KONCENTRÁCIE OXIDU UHOĽNATÉHO V AKTÍVNO M PROSTREDÍ CO₂ LASERA NA VÝSTUPNÝ VÝKON ZVÄZKU ŽIARENIA

THE INFLUENCE OF CARBON MONOXID CONCENTRATION

IN CO₂ LASER ACTIVE REGION ON OUTPUT POWER OF EMITED BEAM

Rastislav IGAZ – Milada GAJTANSKA17

STOCHASTICKÝ MODEL TAHAČE OPTIMALIZUJÍCÍ JEHO PARAMETRY Z HLEDISKA ENERGETIKY A TĚŽEBNĚ-DOPRAVNÍ EROZE

STOCHASTIC MODEL OF SKIDDER OPTIMIZING ITS PARAMETERS

FROM POINT OF VIEW OF ITS POWER SERIOUSNESS

AND FELLING-TRANSPORATIONAL EROSION

Adolf Janeček – Milan Mikleš25

NÁVRH LABORATÓRNEHO ZARIADENIA NA MERANIE RELATÍVNEJ VLHKOSTI VZDUCHU

DESIGN OF LABORATORY DEVICE FOR RELATIVE

AIR HUMIDITY MEASURING

Peter Koleda – Pavol koleda37

PRESNOST' VÝPOČTU PRIEHYBU ODSUPŇOVANÉHO HRIADEĽA METÓDOU REDUKCIE PRIEMEROV

ACCURACY OF A DEFLECTION COMPUTATION AT THE STEP SHAFT

BY THE METHOD OF DIAMETER REDUCTION

Stanislav KOTŠMÍD – Ján Marienčík – Pavel BEŇO – Marián MINÁRIK43

MERANIE KVALITY WI-FI SIETE PRE BEZDRÔTOVÉ RIADENIE MODELOV A PROCESOV

MEASURING QUALITY WIFI NETWORK FOR WIRELESS

CONTROL MODELS AND PROCESSES

Romuald MOZDÍK – Ľubomír NAŠČÁK55

MOŽNOSTI VYUŽITIA ROBOTICKÝCH STAVEBNÍC V PEDAGOGIKE A VO VEDECKO-VÝSKUMNEJ ČINNOSTI FEVT

ROBOTICS KITS APPLICATION POSSIBILITIES IN PEDAGOGIC

AND SCIENCE-RESEARCH ACTIVITIES OF FEVT

Elena Pivarčiová – Tibor Csongrády65

MOŽNOSTI A VYUŽITIE MIKROZDROJOV ENERGIE

OPTIONS AND UTILIZATION MICROSOURCES OF ENERGY

Nadežda PONDUŠOVÁ – Ľubomír NAŠČÁK71

REFERÁTY

VÝSKUM METÓD ZVYŠOVANIA ŽIVOTNOSTI NÁSTROJOV PRE RAZENIE MINCÍ

RESEARCH OF METHODS FOR INCREASING THE LIFETIME OF COINING DIES

Rudolf KAŠTAN – Daniela KALINCOVÁ – Miroslava ŤAVODOVÁ83

VÝSKUM K MODELOVANIU PREDMETU PRÁCE PRE RACIONALIZÁCIU VYBRANÝCH LESNÍCKYCH MECHANIZMOV

RESEARCH OF MODELING AN OBJECT OF WORK TOWARD

RATIONALIZATION CHOOSE FOREST MECHANISMS

Juraj Mikleš95

VEDECKÉ ČLÁNKY

UNIFIKÁCIA A VYUŽITIE LESNÝCH KOLESOVÝCH ŤAHAČOV

UNIFICATION AND USE OF FOREST WHEELED SKIDDER

**Richard HNILICA – Valéria MESSINGEROVÁ – Michaela HNILICOVÁ –
Miroslav DADO**

ABSTRACT: The present article summarizes the results of the problem solution more utilization forest wheeled skidder on forest establishment and timber stand improvement. The design and innovation of appropriate mechanisms we oriented our efforts especially on soil preparation, undesirable advance growth and post harvest residues with a mechanism for cableway technology. The results are mechanisms mulcher LD 2000, rotary cultivators LF 1000 and cableway LL 200.

Key words: rotary cultivators, mulcher, cableway, adapter, forest wheeled skidder

ABSTRAKT: Predložený príspevok sumarizuje výsledky riešenia úlohy rozširovania využiteľnosti lesných kolesových ťahačov pri zakladaní a výchove lesa. Pri návrhoch a inováciách vhodných mechanizmov sme naše úsilie zamerali hlavne na prípravu pôdy, odstránenie nežiaducich nárastov a poťažbových zbytkov spolu s mechanizmom pre technológiu lanovkového približovania. Konkrétnymi výsledkami sú mechanizmy drvič nežiaducich nárastov LD 2000, pôdna fréza LF 1000 a lanovková nadstavba LL 200.

Kľúčové slová: pôdna fréza, drvič nežiaducich nárastov, lanovka, adaptér, lesný kolesový ťahač

ÚVOD

V súčasnej dobe lesnícka výroba zahŕňa veľmi široký súbor výrobných technológií a pracovných postupov pri ktorých je už v súčasnosti možné využiť najnovšie progresívne technické prostriedky. Výskum a vývoj technických riešení dosiahne požadovaný výsledok ak technické riešenia vychádzajú z požiadaviek prírodných, technologických, ekonomických a ergonomických.

Uvedené skutočnosti nás viedli k návrhu mechanizmov, ktorých technické riešenie umožní adaptovanie na bazový stroj. Vychádzajúc z predpokladu, že v lesníckej prevádzke sa vyskytujú odlišné činnosti a tým aj diferenciacia nasadenie rôznych mechanizmov pri jednotlivých činnostiach. Prakticky neexistuje univerzálne riešenie nasadenia rôznych mechanizmov pre jednotlivé činnosti v lesníckej prevádzke.

Navrhované technické riešenia mechanizmov zabezpečí univerzálnosť riešenia pri rôznych činnostiach, pričom sa vychádza z faktu, že máme jeden bázový stroj (lesný kolesový ťahač), ktorý je možné adaptovať navrhnutými adaptérmi pri zachovaní pôvodnej funkcie bázového stroja. Percentuálne zastúpenie lesných kolesových ťahačov v lesníckej prevádzke je v súčasnosti vysoký. Táto skutočnosť viedla k myšlienke návrhu drviča nežiaducich nárastov LD 2000, pôdnej frézy LF 1000 a lanovkovej nadstavby LL 200, ako unifikovaných adaptérov na lesné kolesové ťahače. Výsledkom je skutočnosť, že uvedené adaptéry je možné využiť na jednom bázovom stroji pri zachovaní jeho pôvodných funkcií.

DRVIČ NEŽIADUCICH NÁRASTOV LD 2000

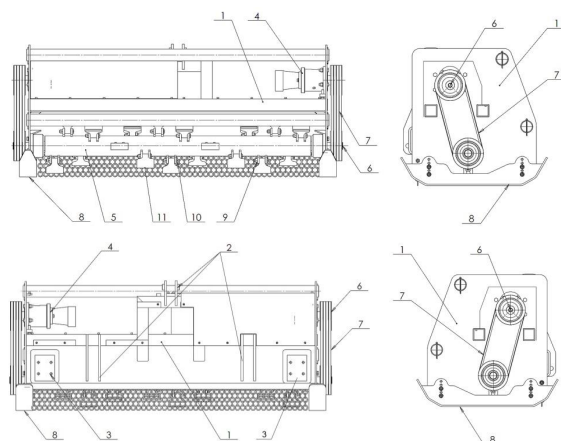
Navrhnutý drvič nežiaducich nárastov sa bude používať na likvidáciu nežiaduceho drevinového, alebo burinového nárastu na viacročných holinách, prípadne iných plochách, ktoré je potrebné následne zalesniť. Predpokladaná hrúbka likvidovaného nárastu je maximálne 10 cm. Následné využitie vidíme aj pri likvidácii poťažbových zvyškov. Drvič je prídavným zariadením neseným na zadnom štíte alebo na trojbodovom závese lesného kolesového ťahača pričom môže pracovať v terénoch dostupných pre príslušný bázový stroj.

Základné podmienky, ktoré konštrukcia drviča nežiaducich nárastov spĺňa:

- Pevná konštrukcia, ktorá zaručí dlhú životnosť, minimálne prestoje a takmer bezporuchovú prevádzku.
- Nástroje sú špeciálne a vysoko odolné, s dobrou účinnosťou pri likvidácii nežiaducich nárastov alebo poťažbových zvyškov. Ich výmena je jednoduchá a rýchla, najlepšie pomocou skrutkových spojov, u ktorých je predpoklad jednoduchšej manipulácie. Pracovné nástroje sú vymeniteľné aj jednotlivé.
- Celý rotor drviča je dostatočne odolný a pevný, poháňaný hydromotorom cez vysoko-výkonné remenice, ktoré zabezpečia dokonalú synchronizáciu.
- Synchronizácia zabezpečuje optimálny a vyvážený chod hnacieho hriadeľa a zabraňuje torzným kmitom v pohone.
- Konštrukčný typ pohonu zabezpečuje účinné drvenie vegetácie pri minimálnom opotrebení jednotlivých častí adaptéra, ako aj nástrojov.

Konštrukčné riešenie drviča je znázornené na obrázku 1. Nosnou časťou adaptéra je robustný rám, ktorý plní súčasne funkciu krytu, aby sa zabránilo vyhadzovaniu drevného a burinového materiálu prípadne skál do okolia. Robustný nosný rám 1 je vybavený trojbodovým uchycovacím zariadením 2 a pevným dvojbodovým uchycovacím zariadením 3 pomocou ktorého sa pripája na lesný kolesový ťahač. Na nosnom ráme 1 sú uchytené dva hydromotory 4, ktoré prenášajú krútiaci moment na horizontálne uložený rotujúci valec 5 cez remenice 6 a klinové remene 7. Výška osi horizontálne uloženého rotujúceho valca a tým výška záberu drviča nežiaducich nárastov nad terénom je daná nastavením vodiacej lyže 8. Pohon celého zariadenia je pomocou hydrostatického prenosu energie od hydrogenerátora lesného kolesového traktora cez hydraulický okruh na dva synchrónne zapojené

hydromotory 4. Horizontálne rotujúci valec 5 je vybavený závesmi 9, na ktorých sú uchytané pomocou skrutiek 10 vymeniteľné pracovné nástroje 11.



Obrázok 1 Drvič nežiaducich nárastov LD 2000.

1 – rám, 2 – trojbodové uchycovacie zariadenie, 3 – dvojbodové uchycovacie zariadenie, 4 – hydromotor, 5 – rotor, 6 – remenica, 7 – klinový remeň, 8 – vodiaca lyža, 9 – záves, 10 – skrutka, 11 – pracovný nástroj

Uvedený drvič nežiaducich nárastov je priamo navrhnutý na najnovšiu radu lesných kolesových ťahačov, konkrétne LKT 82. Bázové stroje, ktoré je možné použiť sú aj existujúce staršie typy lesných kolesových ťahačov LKT 82 C, LKT 81 ITL a LKT 81 T vyrábané slovenským výrobcom LKT, s.r.o., Trstená. Výber konkrétneho typu bude závisieť od prevádzky. Traktory by mali byť vybavené zadným trojbodovým závesom a hydraulickými hadicami na pripojenie pohonu drviča nežiaducich nárastov. Daný adaptér je však možné pripojiť na akýkoľvek uvedený lesný kolesový traktor po vykonaní určitých drobných konštrukčných zásahov na zadnom štíte.

Na pohon drviča sa využije hydraulický okruh bázového stroja. Keďže sa uvažuje s remeňovým prevodom 1:1, tak prepojenie hydromotorov bude paralelné, ktoré budú napájané z dvoch sekcií (2 x 100 l) prídavného rozvádzača ovládaného elektricky z kabíny.

Základné technické parametre LD 2000

Dĺžka	982 mm
Šírka	2350 mm
Výška	915 mm
Šírka záberu	2000 mm
Bázový stroj	LKT 82 príp. LKT 81 ITL, LKT 81 T
Otáčky rotora drviča	2 700 min ⁻¹
Rýchlosť pojazdu	2,5 km.h ⁻¹
Výkon na rotore drviča	30 ÷ 60 kW
Umiestnenie na bázovom stroji	zadný trojbodový záves, zadný štít
Hmotnosť	790 kg
Pracovné nástroje	vymeniteľné kladivá 20 ks

Navrhnutý adaptér bol po skonštruovaní funkčne odskúšaný a následne bol úspešne nasadený aj do prevádzkových podmienok, kde bol odskúšaný pri plnom zaťažení (Obrázok 2). Originalita tohto riešenia spočíva v konštrukčných parametroch, ktoré umožňujú využiť adaptér ako prídavné zariadenie na lesný kolesový traktor. Ďalším originálnym konštrukčným prvkom je jeho rýchle adaptovanie priamo na zadný štít, čím sa jeho použitie unifikuje.



Obrázok 2 Skúšky LD 2000 na bázovom stroji LKT 82.

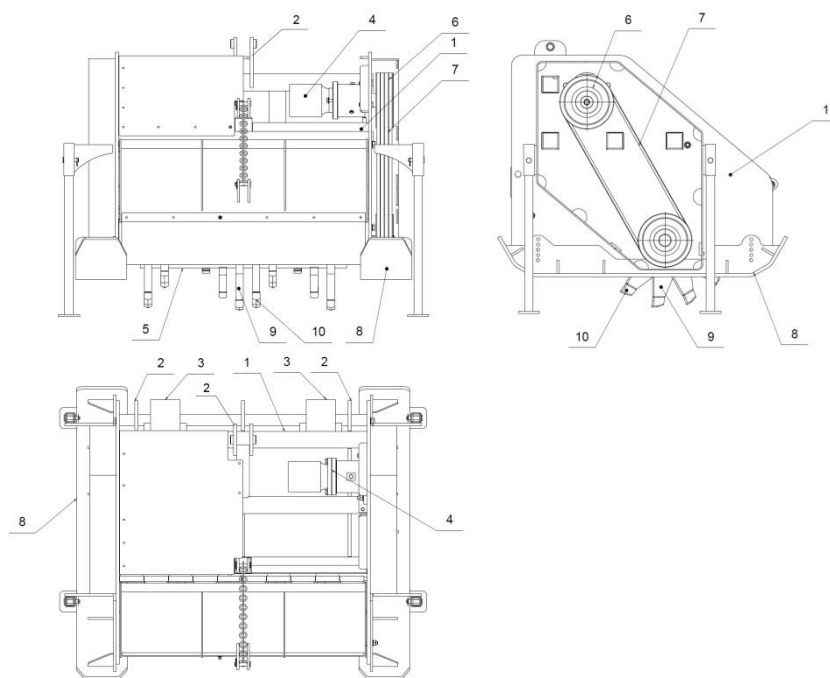
PÔDNA FRÉZA LF 1000

Pôdna fréza LF 1000, ako zariadenie adaptované na lesný kolesový ťahač sa používa na prípravu pôdy pri obnove horských lesov, resp. ako viacúčelový adaptér je ju možné využiť aj pri iných činnostiach v lesníctve. Využíva sa hlavne na prípravu pôdy v pásach (pruhoch) rôznej dĺžky a hĺbky, v ktorých je zemina frézovaná, premiešaná, prekyprená a uložená vo frézovanom pruhu v požadovanej hĺbke (výške) alebo rozptýlená v určitej šírke aj mimo frézovaného pruhu. To sa využíva hlavne pri príprave pôdy pred umelou alebo prirodzenou obnovou, ale výhodne sa táto operácia dá využiť napr. aj pri likvidácii koreňovej výmladnosti, zapracovaní vápna alebo iných hnojív do zeme, úpravách pláne na zemných cestách a pod.

Konštrukčné riešenie pôdných fréz vhodných pre použitie v náročných podmienkach lesníckej prevádzky, vyžaduje robustnú konštrukciu a kvalitnejšie materiály v porovnaní s poľnohospodárskymi a komunálnymi adaptérmi. Pracovná šírka týchto adaptérov, pracujúcich v lesníckej prevádzke, z hľadiska priechodnosti terénom nesmie presiahnuť šírku bázového stroja.

Základné podmienky, ktoré konštrukcia frézy spĺňa:

- Pevná konštrukcia, ktorá zaručí dlhú životnosť, minimálne prestoje a takmer bezporuchovú prevádzku.
- Nástroje budú špeciálne a vysoko odolné, s dobrou účinnosťou pri úprave pôdy. Ich výmena musí byť jednoduchá a rýchla. Pracovné nástroje musia byť meniteľné aj jednotlivo.
- Celý rotor frézy musí byť dostatočne odolný a pevný, poháňaný hydromotorom cez vysokovýkonné remenice alebo silové pásy, ktoré zabezpečia dokonalú synchronizáciu.
- Synchronizácia musí zabezpečiť optimálny a vyvážený chod hnacieho hriadeľa a musí zabrániť torzným kmitom v pohone.
- Konštrukčný typ pohonu musí zabezpečiť účinnú úpravu pôdy pri minimálnom opotrebení jednotlivých častí adaptéra ako aj nástrojov.



Obrázok 3 Pôdna fréza LF 1000.

1 – rám, 2 – trojbodové uchycovacie zariadenie, 3 – dvojbodové uchycovacie zariadenie, 4 – hydromotor, 5 – rotor, 6 – remenica, 7 – klinový remeň, 8 – vodiaca lyža, 9 – rameno, 10 – pracovný nástroj

Základnú koncepciu riešenia pôdnej frézy (Obrázok 3) tvorí robustný nosný rám 1, ktorý vybavený trojbodovým upevňovacím zariadením 2 a pevným dvojbodovým upevňovacím zariadením 3 pomocou ktorého sa pripája na lesný kolesový ťahač. Na nosnom ráme 1 sú uchytené dva hydromotory 4, ktoré prenášajú krútiaci moment na horizontálne uložený rotujúci valec 5 cez remenice 6 a vysokovýkonné klinové remene 7. Výška osi

horizontálne uloženého rotujúceho valca a tým hĺbka záberu pôdnej frézy je daná nastavením vodiacej lyže 8. Pohon celého zariadenia je pomocou hydrostatického prenosu energie od hydrogenerátora lesného kolesového ťahača cez hydraulický okruh na dva synchrónne zapojené hydromotory 4. Horizontálne rotujúci valec 5 je vybavený ramenami 9, na ktorých sú pevne uchytené pracovné nástroje 10, ktoré je možné vymeniť.

Základné technické parametre LF 1000

Dĺžka	1 389 mm
Šírka	1 650 mm
Výška	1 100 mm
Šírka záberu	960 mm
Hĺbka záberu	250 mm
Bázový stroj	LKT 82 a LKT 150
Otáčky rotora frézy	1 250 ÷ 1 700 ot.min ⁻¹
Rýchlosť pojazdu	2,5 km.h ⁻¹
Výkon na rotore frézy	55 ÷ 75 kW
Umiestnenie na bázovom stroji	zadný trojbodový záves, zadný štít
Hmotnosť	1 150 kg
Pracovné nástroje	vymeniteľné zuby 24 ks

Funkčný vzor pôdnej frézy LF 1000 bol vyrobený a funkčne vyskúšaný v priestoroch firmy LKT s.r.o., Trstená. Daný adaptér bol následne nasadený do prevádzkových podmienok, kde bol odskúšaný pri plnom zaťažení na bázových strojoch LKT 82 C a LKT 82 (Obrázok 4). Originalita technického riešenia pôdnej frézy je v možnosti adaptácie lesného kolesového ťahača a možnosti využitia jeho energetického potenciálu na prípravu pôdy v ťažkých a skeletných pôdach.



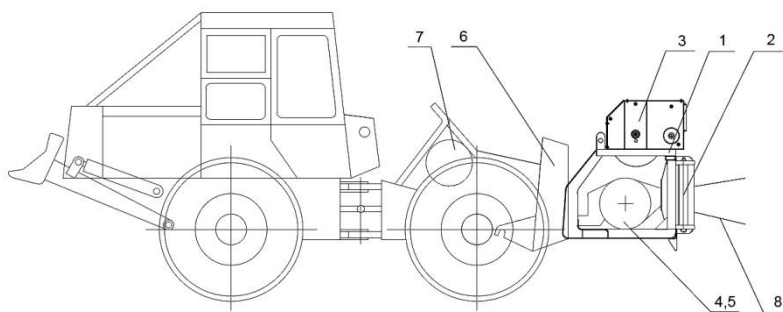
Obrázok 4 Skúšky pôdnej frézy LF 1000 na bázovom stroji LKT 82.

LANOVKOVÁ NADSTAVBA LL 200

Navrhnutá inovovaná lanovková nadstavba LL 200 využíva pre svoj pohon nový lesný kolesový ťahač LKT 82 vybavený motorom IVECO N45. K uvedenému prevedeniu sa dospelo na základe konzultácií s firmou LKT s.r.o., Trstená. LKT 82 je predstaviteľom modernizácie v oblasti ergonómie a výkonu lesného stroja zameraného na využitie pokrokových technológií ťažby a približovania dreva.

Lanovková nadstavba LL 200 je nadstavbou lesného kolesového ťahača, ktorej konštrukcia spĺňa nasledovné požiadavky:

- Je adaptovaná na LKT 82 a je schopná približovať kmene, výrezy prípadne stromy z neprístupných terénov.
- Čas potrebný na montáž a demontáž je krátky.
- Umožňuje približovať drevo v smere nahor aj nadol do dĺžky svahu 200 m a viac pri minimálnej ťažnej sile 20 kN.
- Zabezpečuje prácu aj bez nosného lana.
- Ovládanie pohonu je možné z trasy lanovky diaľkovo, ale aj núdzovo priamo z kabíny ťahača.
- Funkčnosť sa dá rozšíriť aj na väčšie vzdialenosti, ako aj na systém s montážou nosného lana, botiek a pod.
- Po demontáži, je ťahač možné nasadiť do klasického navijakového približovania, pri minimálnych zásahoch v hydraulike a elektrike.



Obrázok 5 Lanovková nadstavba LL 200.

Základ lanovkovej nadstavby LL 200 (Obrázok 5) je tvorený z nosnej konštrukcie 1, ktorá je uchytená na zadný sklopný štít 6 lesného kolesového ťahača. Na spodnej časti nosnej konštrukcie 1 je umiestnený dvojhubnový navijak pozostávajúci z navijacieho bubna 4 a lanovnice 5. Zadná časť nosnej konštrukcie 1 je tvorená vodiacimi kladkami 2 a na hornej časti nosnej konštrukcie 1 je umiestnený pomocný bubon s ukladačom lana 3 slúžiaci na prepravu obežného lana 8. Systém pracuje na princípe ľahkého obežného lana 8, ktoré je poháňané lanovnicou 5. Vyťahovanie dreva z porastu na linku a zdvihová sila sa sprostredkuje napínaním systému nekonečného lana, pomocou druhého bubna navijaka 7 klasického konštrukčného prevedenia.

Aby bolo možné využívať lesný kolesový ťahač ako bazový stroj pre pohon lanovkovej nadstavby, bolo nutné vykonať úpravu hydraulických vývodov ťahača. Zároveň s úpravou hydraulických vývodov bola vykonaná aj montáž diaľkového ovládania upraveného dvojhubového navijaka. Diaľkové ovládanie umožňuje okrem ovládania lanovky aj ovládanie celého bazového stroja (pojazd, riadenie a pohyb štítu). Po odpojení lanovkovej nadstavby je, pri minimálnych zásahoch v hydraulike a elektrike, lesný kolesový ťahač schopný pracovať pri zachovaní pôvodných prevádzkových vlastností.

Navrhnutý a odskúšaný adaptér v kombinácii s odvoznými cestami je takmer ideálnym modelom približovania drevnej hmoty, predovšetkým v horských lesoch, podmáčaných a zosuvných územiach. Činnosť lanovkovej nadstavby sa overila počas funkčných skúšok v prevádzkových podmienkach (Obrázok 6), z ktorých vyplynulo, že uvedená technológia lanovkového približovania bude možné využiť hlavne pri relatívne malých koncentráciách drevnej hmoty ($50 \div 200 \text{ m}^3$).



Obrázok 6 Skúšky lanovkovej nadstavby LL 200 na bazovom stroji LKT 82.

ZÁVER

Prezentované konštrukčné riešenia prototypov rozširujú možnosti využitia lesných kolesových ťahačov, čím do značnej miery unifikujú ich využitie v lesníckej prevádzke. Táto cesta v súčasnosti sa ukazuje ako dobrá, či už z pohľadu zvýšenia konkurencieschopnosti domáceho výrobcu lesných kolesových ťahačov, ako aj z požiadaviek lesníckej odbornej verejnosti.

LITERATÚRA

- HNILICA, R., MESSINGEROVÁ, V., STANOVSKÝ, M., HNILICOVÁ, M., DADO, M. 2013. Forest Mulcher of Undesirable Advance Growth LD-2000 as an Adapter for Mechanization of Works in Forest Establishment and Tending. In *Użytkowanie maszyn rolniczych i leśnych* redakcja wydawnictwa Prace Komisji Nauk Rolniczych Lesnych I Weterynaryjnych, Monografia Tom IV, Kraków 2013, ISSN 1733-5183

- HNILICA, R., MESSINGEROVÁ, V., STANOVSKÝ, M., DADO, M., HNILICOVÁ, M., FERENČÍK, M., SLUGEN, J. 2014. *Drvič nežiaducich nárastov ako adaptér lesného kolesového traktora : prihláška úžitkového vzoru č. 22-2014*. Vestník ÚPV SR č. 12/2014. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky, 2014. 3 s. Dostupné na internete: <<http://registre.indprop.gov.sk/registre/pdf/puv/2014/20140022.pdf>>
- HNILICA, R., MESSINGEROVÁ, V., STANOVSKÝ, M., DADO, M., HNILICOVÁ, M., FERENČÍK, M., SLUGEN, J. 2014. *Lanovková nadstavba ako adaptér lesného kolesového traktora : prihláška úžitkového vzoru č. 91-2014*. Vestník ÚPV SR č. 11/2014. Banská Bystrica : Úrad priemyselného vlastníctva Slovenskej republiky, 2014. 3 s. Dostupné na internete: <<http://registre.indprop.gov.sk/registre/pdf/puv/2014/20140091.pdf>>
- HNILICA, R., STANOVSKÝ, M., MESSINGEROVÁ, V., HNILICOVÁ, M., DADO, M. 2013. Aplikácia drviča nežiaducich nárastov ako adaptéra pre lesné kolesové traktory. In *Acta facultatis technicae : vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. ISSN 1336-4472, 2013, roč. 18, č. 1, s. 57-64. APVV-0145-10.
- HNILICA, R., SLUGEN, J., MESSINGEROVÁ, V., LÍŠKAY, T. 2013. Pôdna fréza ako viacúčelový mechanizmus pre mechanizáciu prác pri zakladaní lesa. In *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, roč. 56, č. 1, 2014, ISSN 0231-5785, s. 97 – 112.
- HNILICOVÁ, M., MESSINGEROVÁ, V., DADO, M. 2013. Aplikácia pôdnej frézy ako adaptéra pre lesné kolesové traktory. In *Acta facultatis technicae : vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. ISSN 1336-4472. roč. 18, č. 2 (2013), s. 67-74. APVV-0145-10.
- HNILICOVÁ, M., MESSINGEROVÁ, V., DADO, M., BEŇO, P. 2014. Aplikácia lanovkovej nadstavby ako adaptéra pre lesné kolesové traktory. In *Acta facultatis technicae : vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. - Zvolen : Technická univerzita vo Zvolene, 2014. ISSN 1336-4472, 2014, roč. 19, č. 1, s. 25-34. APVV-0145-10.
- Firemná stránka LKT s. r. o., Trstená. [online] [cit. 2015-01-15.] Dostupné na internete: <<http://www.lktrstena.sk/>>.

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu APVV-0145-10 „Vývoj adaptérov pre mechanizáciu prác pri zakladaní a výchove lesa“.

Kontaktná adresa:

Ing. Richard Hnilica, PhD.

Ing. Miroslav Dado, PhD.

Katedra výrobných technológií a manažmentu kvality,

FEVT, TU vo Zvolene, Študentská 26, 960 53 Zvolen

tel.: +421 45 5206 596, e-mail: hnilica@tuzvo.sk, dado@tuzvo.sk

prof. Ing. Valéria Messingerová, CSc.

Katedra lesnej ťažby, logistiky a meliorácii

Lesnícka fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

T. G. Masaryka 24, 960 53 Zvolen, e-mail: slugen@tuzvo.sk, tel.: +421 45 5206 262

Ing. Michaela Hnilicová, Katedra mechaniky, strojnictva a dizajnu

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26, 960 53 Zvolen

e-mail: michaela.hnilicova@gmail.com, tel.: +421 45 5206 381

VPLYV KONCENTRÁCIE OXIDU UHOĽNATÉHO V AKTÍVNO M PROSTREDÍ CO₂ LASERA NA VÝSTUPNÝ VÝKON ZVÄZKU ŽIARENIA

THE INFLUENCE OF CARBON MONOXID CONCENTRATION IN CO₂ LASER ACTIVE REGION ON OUTPUT POWER OF EMITED BEAM

Rastislav IGAZ – Milada GAJTANSKA

ABSTRACT: The main purpose of submitted work was to determine the influence of carbon monoxide contamination on several beam parameters of CO₂ laser. Measurement of selected parameters was realized with the experimental laser tube. The laser tube was specially modified to in order to enable simple exchange of contaminated gas mixture according to the experimental needs. For each concentration the laser beam output power and the Volt-Ampere characteristics of the laser tube gas discharge was measured. The data obtained during the measurement were used to specify the relation between the contaminants in laser gas mixture and the parameters of CO₂ laser beam.

Key words: CO₂ laser, carbon monoxide, laser gas mixture, contamination, concentration

ABSTRAKT: Cieľom výskumu bolo stanovenie vplyvu kontaminácie laserovej zmesi oxidom uhoľnatým na vybrané parametre laserového zväzku generovaného CO₂ laserom. Meranie vybraných parametrov bolo realizované pomocou experimentálnej laserovej trubice, ktorá slúžila ako optický zosilňovač. Laserová trubica bola upravená tak, aby umožňovala jednoduchú výmenu kontaminovanej plynovej zmesi. Pre kontaminovanú zmes bolo určované zosilnenie laserového žiarenia po jednom prechode experimentálnou trubicou a voltampérová charakteristika elektrického výboja v laserovej trubici. Namerané výsledky sú použité na určenie vzájomných závislostí medzi koncentráciou kontaminantu v laserovej plynovej zmesi a parametrami lúča CO₂ lasera.

Kľúčové slová: CO₂ laser, oxid uhoľnatý, laserová zmes plynov, kontaminácia, koncentrácia

1. ÚVOD

Laserové zariadenia na báze oxidu uhličitého patria vo svete k najviac rozšíreným laserovým zariadeniam využívaným v priemysle. Podľa štatistík tvoria asi 40% celkového podielu na trhu s priemyselnými laserovými zariadeniami (OPTECH CONSULTING, 2009). Ich využitie je relatívne široké, najmä v procesoch obrábania materiálov. Bežne

nachádzajú uplatnenie v technologických operáciách rezania, zvárania, vŕtania, gravírovania, popisovania alebo legovania. Ich veľkou prednosťou je univerzálnosť, pretože umožňujú opracovávať široké spektrum priemyselne využívaných materiálov.

Ich prvenstvo vyplýva v prvom rade z nízkych nákladov na jednotku výstupného výkonu a vysokej účinnosti, ktorá dosahuje až 30%. Významnou výhodou je jednoduchá konštrukcia, a z nej vyplývajúca jednoduchá a lacná údržba. Popri uvedených prednostiach ponúkajú vysokú kvalitu výstupného laserového zväzku (WEBB a kol., 2004a, 2004b, POWELL, 1998). K ďalším výhodám patrí široký interval výstupných výkonov, ako aj variabilita TEM módov generovaného laserového zväzku. Významnou prednosťou je vlnová dĺžka generovaného žiarenia (zvyčajne 10,6 mm), ktorá je veľmi málo absorbovaná atmosférou, ale je výrazne absorbovaná priemyselne spracovávanými materiálmi ako sú drevo, kovy a ich zliatiny, papier, keramika, plasty a mnoho iných (DEMARIA, HENNESSEY, 2010)

Správna funkcia CO₂ laserového systému je podmienená okrem iných faktorov najmä čistotou použitých laserových plynov. Aktívne prostredie CO₂ lasera tvorí zmes dusíka (N₂), oxidu uhličitého (CO₂) a hélia (He). Na čistotu používaných plynov sú v súčasnosti kladené veľmi vysoké nároky (LINDE GAS, 2005). Minimálna čistota laserových plynov pre CO₂ lasery, akceptovaná väčšinou výrobcov laserových zariadení je pre dusík, oxid uhličitý aj hélium 99,996%, teda s objemovým podielom nečistôt menším ako 5 ppm (1 ppm = 0,0001%).

Cieľom prezentovaného výskumu bolo stanovenie vplyvu kontaminácie laserovej zmesi oxidom uhoľnatým na vybrané parametre CO₂ lasera. Sledovanými parametrami bolo zosilnenie zväzku žiarenia a budiace napätie pri konštantnom prúde.

2. METODIKA EXPERIMENTU

Metodika výskumu vplyvu koncentrácie kontaminantu na výkonové parametre generovaného zväzku žiarenia bola vytvorená na základe metódy využívajúcej dve, na experiment prispôbosené laserové trubice – zdrojovú trubicu (referenčnú) a zosilňovaciu trubicu (optický zosilňovač). Toto usporiadanie zabezpečuje, že experimentálny zväzok laserového žiarenia má stabilné parametre, ktoré zostávajú konštantné počas celého experimentu. Referenčná laserová trubica nie je ovplyvňovaná zmenou množstva kontaminantu a zabezpečuje stabilné okrajové podmienky počas experimentu.

Skúmaný kontaminant je kontrolovane dávkovaný len do experimentálnej trubice, ktorá má funkciu optického zosilňovača. Na začiatku experimentu bola do trubice privádzaná čistá, nekontaminovaná laserová zmes, ktorá bola v priebehu experimentu kontaminovaná zvyšujúcou sa koncentráciou oxidu uhoľnatého. Aktuálne zloženie laserovej zmesi v zosilňovacej trubici bolo priebežne vyhodnocované s využitím kvadrupólového hmotnostného analyzátoru. Takto bolo možné priebežne sledovať koncentráciu kontaminantu, aj jeho vplyv na výkonové parametre laserového systému.

Na stanovenie vplyvu koncentrácie kontaminantu na zosilnenie žiarenia pri prechode zosilňovacou trubicou bola použitá metóda vytvorená pri výskume zosilnenia slabých

signálov v trubici CO₂ lasera (DESAULTES a kol., 2003). Ide o metódu určovania zosilnenia žiarenia pri jednom prechode laserového zväzku optickou dutinou zosilňovača. Laserový zväzok so známym výkonom P_{in} vstupuje do optického zosilňovača a po jedinom prechode aktívnym médiom vystupuje z dutiny zosilňovača. Následne dopadá na detektor merača výkonu, ktorým je zmeraný výstupný výkon P_{out} . Z nameraných hodnôt výkonu je možné určiť zosilnenie G_0 aktívneho média podľa vzťahu (1):

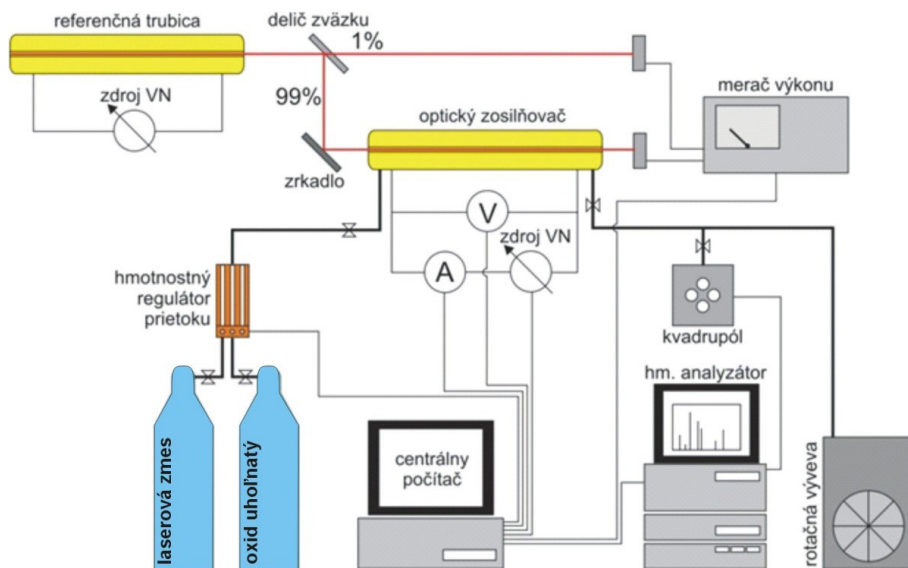
$$G_0 = \frac{P_{out}}{P_{in}}. \quad (1)$$

Experimentálne získané výsledky zosilnenia slúžia ako porovnávacie kritérium na určenie vplyvu koncentrácie kontaminantu na sledované parametre laserového zväzku. Pre zovšeobecnenie výsledkov výskumu bolo zosilnenie prepočítané na relatívnu úroveň.

2.1 Experimentálna zostava

Usporiadanie experimentálnej zostavy umožňuje presný záznam sledovaných veličín v reálnom čase, spolu s aktuálnou koncentráciou kontaminantu v laserovej zmesi. Jednotlivé prvky použitej experimentálnej zostavy sú schematicky znázornené na Obr. 1.

Laserové žiarenie je generované v referenčnej zdrojovej trubici. Po výstupe z trubice je zväzok laserového žiarenia rozdelený deličom do dvoch vetiev. Malá časť (1%) pôvodného výkonu zväzku dopadá ako referenčný zväzok na detektor merača výkonu. Zvyšná časť laserového zväzku (99%) je vedená do optického zosilňovača. Zosilňovačom je trubica CO₂ lasera, ktorá bola pôvodne skonštruovaná ako zatavená. Pre potreby experimentu bola trubica upravená na trubicu s pomaly prúdiacim plynom. Ako aktívne médium je do zosilňovacej trubice privádzaná zmes čistého laserového plynu (výrobcom namiešaná zmes so známym zložením a čistotu plynov) a kontaminantu (oxidu uhoľnatého). Koncentrácia kontaminantu v zmesi sa mení podľa požiadaviek experimentu hmotnostným prietokomerom a vyhodnocuje sa priebežne v kvadrupólovom hmotnostnom analyzátore. Pôvodné koncové zrkadlá zosilňovacej trubice boli nahradené 100% priepustnými optickými okienkami vyrobenými zo selenidu zinočnatého (ZnSe). Experimentálny laserový zväzok prechádza trubicou (optickým zosilňovačom) a po výstupe dopadá na druhý detektor merača výkonu. Zaznamenávaný je tiež priebeh volt-ampérovej charakteristiky elektrického výboja v optickom zosilňovači.



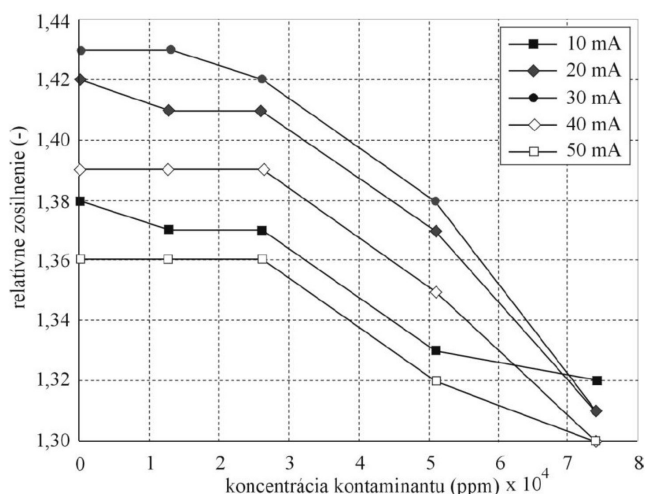
Obr. 1 Bloková schéma experimentálnej aparatury

3. VÝSLEDKY

Zosilnenie výkonu v závislosti od koncentrácie kontaminantu (CO) bolo experimentálne skúmané pri piatich hodnotách budiaceho prúdu v rozsahu 10 – 50 mA. Výrobcom odporúčaná hodnota budiaceho prúdu pre použitý typ laserovej trubice je 30 mA, čo predstavuje optimálny pracovný bod z pohľadu generovania zväzku laserového žiarenia.

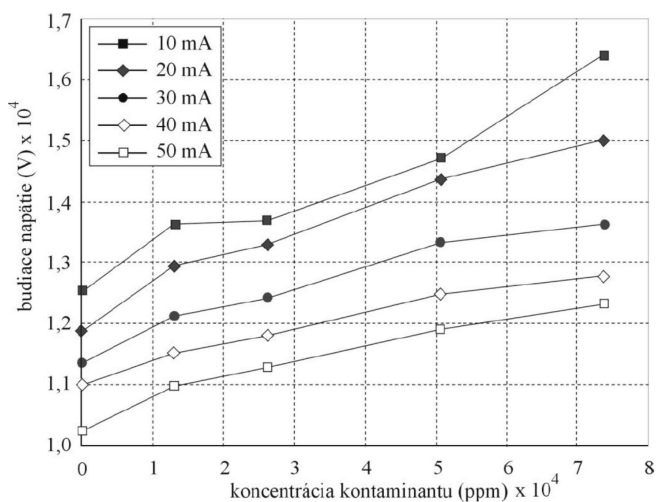
Z experimentálne stanovených závislostí zobrazených na Obr. 2 je možné určiť, že pri koncentráciách CO menších ako cca. $2,7 \cdot 10^4$ ppm (2,7%) nedochádza k významnému poklesu zosilnenia (pri všetkých skúmaných úrovniach budiaceho prúdu). Pokles výkonu pri uvedenej koncentrácii dosahoval maximálne 0,7%. Pri ďalšom zvyšovaní koncentrácie kontaminantu je pokles výkonu výraznejší. Vo všeobecnosti je možné vplyv kontaminácie CO na zosilnenie zväzku žiarenia považovať za relatívne malý, pretože k poklesu zosilnenia o 5% dochádza pri budiacom prúde 30 mA až pri koncentrácii okolo $6 \cdot 10^4$ ppm (6%). Pri ostatných hodnotách budiaceho prúdu je vplyv koncentrácie CO na zosilnenie veľmi podobný. Z grafu poklesu zosilnenia vidieť, že veľkosť budiaceho prúdu nemá významný vplyv na závislosť zosilnenia od koncentrácie kontaminantu.

Ďalšou informáciou, ktorá je zrejماً z grafu na Obr. 2 je významný vplyv budiaceho prúdu na hodnotu zosilnenia zväzku žiarenia pri prechode experimentálnu trubicou. Z experimentálnych výsledkov je zrejmé, že najväčšie hodnoty zosilnenia sú dosiahnuté pri budiacom prúde 30 mA. Zvyšovaním aj znižovaním budiaceho prúdu dochádza k poklesu zosilnenia, pričom tento jav je výraznejší pri náraste budiaceho napätia. Tento fakt súvisí pravdepodobne s konštrukciou laserovej trubice, ktorá je konštrukčne riešená na pracovný budiaci prúd 30 mA. Bez ohľadu na koncentráciu CO si rezonátor zachováva najväčšiu efektívnosť premeny elektrickej energie na energiu žiarenia pri budiacom prúde 30 mA.



Obr. 2 Závislosť zosilnenia od koncentrácie CO pri konštantnom budiacom prúde

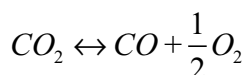
Na Obr. 3 je grafické znázornenie závislosti budiaceho napätia od koncentrácie kontaminantu pri konštantnom prúde. Z grafu je vidieť takmer lineárny trend nárastu budiaceho napätia s rastúcou koncentráciou kontaminantu. Zo získaných závislostí je možné vyvodit' záver, že s rastúcim podielom molekúl CO v laserovej zmesi sa zvyšuje jej odpor, a na dosiahnutie konštantného výstupného výkonu lasera je potrebné neustále zvyšovať budiace napätie. Následkom prítomnosti molekúl CO teda dochádza k poklesu efektívnosti premeny elektrickej energie na energiu zväzku laserového žiarenia.



Obr. 3 Závislosť budiaceho napätia od koncentrácie CO pri konštantnom prúde

4. DISKUSIA

Molekuly oxidu uhoľnatého sa v plynovej zmesi vyskytujú najmä ako prirodzený dôsledok disociácie molekúl CO_2 vyvolávanej budiacim elektrickým výbojom. Podľa výskumu v rôznych typoch priemyselných laserov disociuje od 10 až do 30% molekúl CO_2 (HOKAZONO, FUJIMOTO, 1987). Disociácia molekúl CO_2 je vratný proces prebiehajúci podľa nasledovnej rovnice (KARUBE, YAMAKA, 1970):



Z uskutočnených experimentálnych meraní a z nich stanovených závislostí je možné určiť, že oxid uhoľnatý pri malých koncentráciách (asi do $2,7 \cdot 10^4$ ppm (2,7%)) nespôsobuje významný pokles zosilnenia. S rastúcou koncentráciou kontaminácie sa však relatívny pokles zosilnenia zväčšuje. Vo všeobecnosti je vplyv kontaminácie oxidom uhoľnatým na zosilnenie relatívne malý, pretože k poklesu zosilnenia o 5% dochádza až pri koncentrácii okolo $6 \cdot 10^4$ ppm (6%). Podľa dostupných zdrojov je významnejší vplyv disociáciou vznikajúcich molekúl kyslíka. Ten spôsobuje pokles zosilnenia o 5% už pri koncentrácii cca. $3 \cdot 10^4$ ppm (3%) (HOKAZONO, FUJIMOTO, 1987).

Disociáciou molekúl CO_2 vzniká v laserovej zmesi koncentrácia CO molekúl na úrovni niekoľko tisíc ppm (desatiny %) (BRUCK, 1988). V porovnaní s molekulami ostatných plynov prítomných v plynovej zmesi, molekuly CO_2 v oveľa väčšej miere podliehajú disociácii. Potvrdzuje to aj fakt, že disociačná energia molekúl CO_2 je 3,75 eV, zatiaľ čo disociačná energia N_2 je 9,80 eV a pre CO je to 11,1 eV. V laserovej trubici prebieha neustály proces disociácie CO_2 na CO a O_2 a opätovnej rekombinácie. Podiel disociovaných molekúl sa po dosiahnutí rovnovážneho stavu medzi disociáciou a rekombináciou nemení. Rovnovážny stav je závislý od parametrov elektrického výboja v trubici. Pri zmene parametrov výboja dochádza k posunu rovnovážneho stavu. Keďže však molekuly kyslíka miznú v kontakte so stenami trubice alebo s elektródami (pri pohltení alebo chemickej reakcii s molekulami stien), proces disociácie a rekombinácie nie je v rovnováhe a postupne ubúda podiel CO_2 molekúl v zmesi (CHERNIKOVA, YANCHARINA, 1996). Z vyššie uvedených faktov vyplýva, že prítomnosť nižších koncentrácií CO a O_2 ako kontaminantov v laserovej zmesi nie je významná, keďže tieto dva plyny vznikajú v samotnom rezonátore. Ich negatívny vplyv sa prejavuje pri vyšších koncentráciách, keďže vtedy dochádza k porušeniu disociačnej rovnováhy. Tieto procesy sa výraznejšie prejavujú v zatavených laserových trubiciach. V prípade laserov s prúdiacim plynom (plyn sa recykluje alebo úplne odvádza) sa negatívny vplyv molekúl CO a O_2 ako kontaminantov neprejavuje (KARUBE, YAMAKA, 1970). Tento poznatok je možné potvrdiť aj výsledkami získanými experimentálnym výskumom v prezentovanej práci.

5. ZÁVER

Experimentálne získaná závislosť poklesu zosilnenia potvrdzuje, že kontaminácia laserovej zmesi oxidom uhoľnatým nespôsobuje pri malých koncentráciách (do cca. 3%) významný pokles výstupného výkonu zariadenia. Oxid uhoľnatý vzniká ako prirodzená súčasť laserového plynu v procese disociácie molekúl CO_2 , jeho koncentrácia však prirodzenou disociáciou dosahuje iba niekoľko desiatín percenta. Pri tejto koncentrácii je jeho vplyv na pokles zosilnenia zväzku žiarenia zanedbateľný. Významnejšie sa jeho vplyv na pokles zosilnenia prejavuje až pri koncentráciách nad $3 \cdot 10^4$ ppm (3%). V prípade, ak koncentrácia CO stúpa nad túto hranicu, zvyšuje sa jeho vplyv na pokles výstupného výkonu. Pokles zosilnenia na úrovni 5% spôsobuje kontaminácia oxidom uhoľnatým pri koncentrácii okolo $6 \cdot 10^4$ ppm (6%).

LITERATÚRA

- BRUCK, G. 1988. Influence of Gaseous Impurities in the CO_2 Lasers Cavity. *Proceedings of the 7th International Congress on Applications of Lasers and Electrooptics ICALEO'88*.
- CHERNIKOVA, E.V. – YANCHARINA, A.M. 1996. Influence of inert and molecular gas impurities on the lasing efficiency of a neon – hydrogen plasma laser operating at 585,3 nm He. In: *Russian Physics Journal*, Vol. 39, No. 4, 337-341.
- DEMARIA, A. - HENNESSEY, T. 2010. *The CO_2 laser: The workhorse of the laser material processing industry*. [online]. [cit. 2014.11.10.] Dostupné na internete: <<http://spie.org/x38563.xml>>.
- DESAULTES, G.L. – DANIELS, D. – BAGFORD, J.O. – LANDER, M. 2003. High power large bore CO_2 laser small signal gain coefficient and saturation intensity measurements. In: *Journal of Optics: Pure and Applied Optics*. Vol. 5 (2003), p. 96-101.
- HOKAZONO, H. – FUJIMOTO, H. 1987. Theoretical analysis of the CO_2 molecule decomposition and contaminants yield in transversely excited atmospheric CO_2 laser discharge. In: *J. Appl. Phys.* Vol. 62, No. 5, p. 1585-1594.
- KARUBE, N., YAMAKA, E. 1970. Mass spectrometric studies of a sealed CO_2 laser. In: *J. Appl. Phys.* Vol. 41, pp 2031-2042.
- LINDE GAS. 2005. *Plyny pre laser*. [online]. [cit. 2014.11.15.] Dostupné na internete: <www.linde.com/international/web/lg/sk/like35lgsk.nsf/docbyalias/ind_mv_laser2>.
- OPTECH CONSULTING, 2009. Laser materials processing - Marked data. [online]. [cit. 2012.06.10.] Dostupné na internete: <<http://www.optech-consulting.com/html/laserprocessingmarkets.html>>.
- POWELL, J. 1998. *CO_2 Laser Cutting. 2nd edition*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, New York.
- WEBB, C. – JONES, J. 2004. *Handbook of laser technology and applications. Vol.1: Principles*. Bodmin: MPG Books. 301 s. ISBN 0-7503-0960-1.
- WEBB, C. – JONES, J. 2004. *Handbook of laser technology and applications. Vol.2: Laser design and laser systems* Bodmin: MPG Books. 860 s. ISBN 0-7503-0963-6.

Kontaktná adresa:

Ing. Rastislav Igaz, PhD., doc. RNDr. Milada Gajtanska, CSc.

KFEAM DF TUZVO, Masaryka 24, 960 53 Zvolen, igaz@tuzvo.sk, gajtanska@tuzvo.sk

STOCHASTICKÝ MODEL TAHAČE OPTIMALIZUJÍCÍ JEHO PARAMETRY Z HLEDISKA ENERGETIKY A TĚŽEBNĚ-DOPRAVNÍ EROZE

STOCHASTIC MODEL OF SKIDDER OPTIMIZING ITS PARAMETERS FROM POINT OF VIEW OF ITS POWER SERIOUSNESS AND FELLING-TRANSPOR- TATIONAL EROSION

Adolf JANEČEK – Milan MIKLEŠ

Abstrakt: Matematický model tahače umožní výpočet energetické náročnosti, ekologické čistoty práce i ekonomiky práce. Model je koncipován hybridně (zčásti deterministicky a z části stochasticky). Konstrukce modelu umožňuje optimalizaci kritériální funkce při změnách parametru charakterizující: fyzikálně geometrické parametry funkce, fyzikálně mechanické parametry cesty a technicko ekonomické parametry tahače.

Klíčová slova: tahač, matematický model, eroze, břemeno

Abstract: A mathematical model of skidder which allows computation of power seriousness, ecological cleanliness of work and economics of work. The model is designed hybridly (one piece is deterministically based, the other one is stochastically based). Construction of the model enables optimization the criteria of functions with changes of parameters characterizing: physical and geometric parameters of function, physical and mechanical parameters of forest road and technical and economic parametrs of skidder.

Key words: skidder, mathematical model, erosion, load

ÚVOD

Tahače jsou motorová vozidla, která nemají ložnou plochu a mohou přepravovat náklad jen ve spojení s návěsem jízdní soupravy. Tahač návěsů má na zadní části rámu návěsné zařízení, točnici, do které zapadne čep návěsu. Na točnici dosedá přední část návěsu a tím podstatná část hmotnosti návěsu se přenáší na tahač a zlepšuje jeho adhezni vlastnosti.

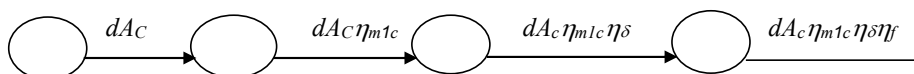
Konstrukce modelu umožňuje optimalizaci kritériální funkce při změnách parametrů charakterizujících:

- fyzikálně geometrické parametry funkce;
- fyzikálně mechanické parametry lesní cesty;
- technicko ekonomické parametry tahače.

Z praktického hlediska model umožní uživateli správný výběr tahače pro dané podmínky charakterizující lesní závod z hlediska přírodně klimatických podmínek, tj. správné nasazení tahače ve vhodném období a z hlediska org. technických podmínek.

1. FORMULACE MATEMATICKÉHO MODELU TAHAČE

Pro formulaci matematického modelu tahače je nutné vykonat odvození rovnice pro měrnou práci.



Obr. 1.1 Blokové schéma přenosu energie

$$dA_c \eta_{mlc} h_d h_f = dA_H + dA_{vz}; dA_H = dA_{vt} + dA_{vzt}$$

Zavedení jednotlivých elementárních prací v [J]:

- dA_c – celková elementární práce, nutná k zajištění práce automobilu;
- dA_{vz} – elementární práce nutná k překonání odporu vzduchu;
- dA_{mlc} – elementární práce na překonání celkových pasivních odporů trakčního ústrojí;
- dA_v – elementární práce k překonání vnějších odporů energetického měniče tahače;
- dA_{δ} – elementární práce potřebná na energii ztracenou prokluzem;
- dA_H – elementární práce na háku tahače;
- dA_{vzt} – elementární práce nutná k překonání odporu vzduchu návěsu event. přívěsu;
- dA_{vt} – elementární práce nutná k překonání valivých odporů přívěsu event. návěsu.

1.1 Celková účinnost sériového přenosu energie trakčním ústrojím tahače

Vyjádříme jednotlivé elementární práce:

$$dA_{mlc} = dA_c (1 - h_{mlc}); dA_{\delta} = dA_c (1 - h_{\delta}) h_{mlc}; dA_v = dA_c (1 - \eta_p) h_{mlc} h_d$$

- h_{mlc} – účinnost přenosu mechanických event. hydraulických převodů tahače;
- h_{δ} – prokluzová účinnost tahače;
- h_f – valivá účinnost tahače.

Vyjádřením celkové účinnosti h_c dostáváme:

$$\eta_C = \frac{dA_{vzt} + dA_{vt} + dA_{vz}}{dA_{mlc} + dA_{\delta} dA_v dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}} = \eta_{mlc} \eta_{\delta} \eta_f \quad (1.1)$$

$$\eta_{mlc} = \frac{dA_{\delta} + dA_v + dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}}{dA_{mlc} + dA_{\delta} + dA_v + dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}} \quad (1.2)$$

$$\eta_{\delta} = \frac{dA_v + dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}}{dA_{\delta} + dA_v + dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}} \quad (1.3)$$

$$\eta_f = \frac{dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}}{dA_v + dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}} \quad (1.4)$$

$$dA_H = dA_{vzt} + dA_{vt} \quad (1.5)$$

1.2 Celková účinnost přenosu energie pomocí působících sil

Pro sílu odporu vzduchu tahače (energetického měniče) platí:

$$F_{vz} = p_{vz}(v) \cdot S_T \quad [\text{N}] \quad (1.6)$$

$p_{vz}(v)$ – měrná energie potřebná k překonání vzduchu energetického měniče systému tahače při jízdě systému [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$];

$$p_{vz}(v) = k \cdot v^2 \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (1.7)$$

F_{vz} – síla odporu vzduchu tahače [N];

k – měrný odpor vzduchu energetického měniče tahače [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2$]; [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^2$]

S_T – čelní plocha energetického měniče tahače [m^2];

v – rychlost pohybu tahače [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Pro sílu odporu valení tahače platí:

$$F_v = p_v(v) \cdot S_{vt} \quad (1.8)$$

F_v – valivý odpor tahače [N];

$P_v(v)$ – měrná energie nutná k překonání valivých odporů tahače [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$]

S_{vt} – průřez stopy pneumatiky energetického měniče tahače [m^2].

$$F_{vzt} = p_{vzt}(v) \cdot S_{TN} \quad (1.9)$$

F_{vzt} – síla odporu vzduchu návěsu [N];

$p_{vzt}(v)$ – měrná energie na překonání odporu vzduchu při jízdě systému [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$].

$$p_{vzt} = k \cdot v^2 \quad (1.10)$$

S_{TN} – čelní plocha návěsu (přívěsu) tahače [m²];
 v – rychlost pohybu tahače [m.s⁻¹].

$$F_{vt} = p_{vt}(v) \cdot S_{vtt} \quad (1.11)$$

F_{vt} – valivý odpor návěsu (přívěsu) tahače [N];
 $p_{vt}(v)$ – měrná energie, nutná k překonání val. odporů návěsu (přívěsu) [J.m⁻³];
 S_{vtt} – průřez stopy pneumatiky návěsu (přívěsu) tahače [m²].

$$F_H = F_{vt} + F_{vzt} \quad (1.12)$$

F_H – tahová síla energ. měniče tahače [N].

Dosazením vztahů (1.2) a (1.3) do rovnice (1.1) obdržíme:

$$\begin{aligned} \eta_C &= \frac{dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}}{dA_v + dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}} \cdot \eta_{m1c} \eta_\delta = \\ &= \frac{dA_{vz} + dA_H}{dA_{vz} + dA_v + dA_H} \cdot \eta_{m1c} \eta_\delta \end{aligned} \quad (1.13)$$

Pro elementární práci, kterou vykonávají síly F_{vz} , F_v , F_{vzt} , F_{vt} platí:

$$\begin{aligned} dA_{vz} &= F_{vz} \cdot ds = p_{vz}(v) \cdot S_T \cdot ds & [J] \\ dA_v &= F_v \cdot ds = p_v(v) \cdot S_{vt} \cdot ds & [J] \\ dA_{vzt} &= F_{vzt} \cdot ds = p_{vzt}(v) \cdot S_{TN} \cdot ds & [J] \\ dA_{vt} &= F_{vt} \cdot ds = p_{vt}(v) \cdot S_{vtt} \cdot ds & [J] \\ ds &\text{ – element dráhy} & [m]. \end{aligned} \quad (1.14)$$

Dosazením rovnic (1.14) do vztahu (1.13) pro celkovou účinnost η_c systému tahače platí:

$$\eta_C = \frac{p_{vz}(v) \cdot S_T + p_{vzt}(v) \cdot S_{TN} + p_{vt}(v) \cdot S_{vtt}}{dA_v + dA_{vz} + dA_{vzt} + dA_{vt}} \cdot \eta_{m1c} \eta_\delta \quad (1.15)$$

Z definice příkonu pro tahač platí:

$$P_e = P_c / h_c \quad [W] \quad (1.16)$$

P_c – příkon tahače na překonání odporu vzduchu energet. měniče a návěsu tahače [W];-

P_e – efektivní příkon tahače [W].

Dosadíme-li do rovnice (16) vztah:

$$P_c = (p_{vz}(v) \cdot S_T + p_{vzt}(v) \cdot S_{TN} + p_{vt}(v) \cdot S_{vtt}) \cdot v \quad (1.17)$$

Obdržíme:
$$P_e = \frac{\frac{p_v(v) S_v}{S_H} + \frac{p_F(v) S_T}{S_H} + \frac{p_{vzt}(v) S_N}{S_H} + \frac{p_F(v) S_{vtt}}{S_H}}{\eta_{mlc} \cdot \eta_\delta} \cdot v$$

v – rychlost tahače [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

S_H – průřez materiálového toku vyvozovaný tahačem [m^2].

Pro konstrukční výkonnost tahače platí :

$$\begin{aligned} W &= v \cdot S_H \Rightarrow S_H = W / v \\ W &= V_O \cdot k_O / T_c \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}] \end{aligned} \quad (1.18)$$

V_O – objem ložné plochy tahače [m^3];

k_O – koeficient objemového zaplnění ložné plochy tahače [-];

T_c – doba cyklu tahače [s].

$$T_c = S_1/v_1 + S_2/v_2 + t_1 + t_2 \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (1.19)$$

S_1 – dráha tahače s nákladem [m];

S_2 – dráha tahače bez nákladu [m];

v_1 – rychlost tahače s nákladem [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

v_2 – rychlost tahače bez nákladu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$];

t_1 – čas nakládání tahače [s];

t_2 – čas skládání tahače [s];

W – průměrná konstrukční výkonnost tahače [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

$$S_H = W/v \quad v = (v_1 + v_2) / 2 \quad [\text{m}^2] \quad (1.20)$$

Vztáhneme-li celkovou práci vykonanou tahačem za jednotku času na výkonnost tahače vztaženou na jednotku času, dostáváme:

$$Q = \frac{\frac{p_v(v) S_v}{S_H} + \frac{p_F(v) S_T}{S_H} + \frac{p_{vzt}(v) S_N}{S_H} + \frac{p_F(v) S_{vtt}}{S_H}}{\eta_{mlc} \cdot \eta_\delta} \quad [\text{J} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (1.21)$$

Q – měrná energie vložená do systému tahače vztažená na jednotku objemu převezeného materiálového toku [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$].

1.3 Stanovení komponent funkce Q

Pro hodnotu valivého odporu tahače platí vztah:

$$F_t = p_v(v) \cdot S_{vt} = 2 (F_{tA} + F_{tB}) \quad [\text{N}]$$

F_{tA} – valivý odpor předního kola energetického měniče tahače [N];

F_{tB} – valivý odpor zadního kola energetického měniče tahače [N].

Ztráty vzniklé deformací podložky“.

$$F_{tA,B} = f \cdot Y_{A,B} \quad (1.22)$$

f – valivý odpor tahače [-];
 $Y_{A,B}$ – zatížení přední, zadní nápravy tahače.

$$F_{vz} = p_{vz}(v) \cdot S_T = k \cdot S_T \cdot v^2 \text{ [N]}; \quad (1.23)$$

$$F_{vzt} = p_{vzt}(v) \cdot S_{TN} = k \cdot S_{TN} \cdot v^2 \text{ [N]}; \quad (1.24)$$

$$F_{vt} = p_{vt}(v) \cdot S_{vtt} = 2(F_{tAN} + F_{tBN}) \text{ [N]}; \quad (1.25)$$

F_{tAN} – valivý odpor přední nápravy návěsu [N];
 F_{tBN} – valivý odpor zadní nápravy návěsu [N];
 δ – prokluz [-].

$$\eta_\delta = (1 - \delta); \quad \eta_\delta = \frac{a1 \cdot \mu^2 - b1 \cdot \mu + c1}{d1 \div \mu} \quad (1.26)$$

μ – zobecněná tahová síla;
 F_{vt} – valivý odpor návěsu [N];
 F_{vz} – síla odporu vzduchu tahače [N];
 F_{vzt} – síla odporu vzduchu návěsu [N];
 $p_{vz}(v)$ – měrná energie odporu vzduchu tahače [J m^{-3}];
 $p_{vzt}(v)$ – měrná energie odporu vzduchu návěsu [J m^{-3}];
 S_T – čelní plocha tahače [m^2];
 S_{TN} – čelní plocha návěsu [m^2].

2. APLIKACE TEORIE ENERGETICKÝCH MĚNIČŮ PŘI STANOVENÍ FUNKCE MĚRNÉ PRÁCE

Dosazením vztahů (1.22) a (1.23) do rovnice pro měrnou energii obdržíme:

$$Q = \frac{2 \cdot (F_{tA} + F_{tB}) + k \cdot S_T \cdot v^2 + k \cdot S_{TN} \cdot v^2 + 2 \cdot (F_{tAN} + F_{tBN})}{S_H \cdot \eta_{mlc} \cdot \eta_\delta} \quad [\text{J} \cdot \text{m}^{-3}] \quad (2.1)$$

Pro valivé odpory předního a zadního kola energetického měniče platí vztah (23). Při výpočtu reakcí Y_A , Y_B vycházíme z rozměrového a silového schématu tahače (viz. obr.2.1).

Pro naše účely vycházíme z momentových výjimek k bodům A,B. Z momentové výjimky k bodu A obdržíme:

$$L \cdot Y_B - b \cdot G_{TM} - h_{H1} \cdot F_{vz} - (L - l_{H1}) \cdot F_{vz} \cdot \operatorname{tg} \theta_1 - M_f + \\ - h_{H2} \cdot F_H - (l_{H2} + L) \cdot F_H \cdot \operatorname{tg} \theta_2 = 0 \quad (2.2)$$

G_{TM} – tíha energ. měniče tahače [N].

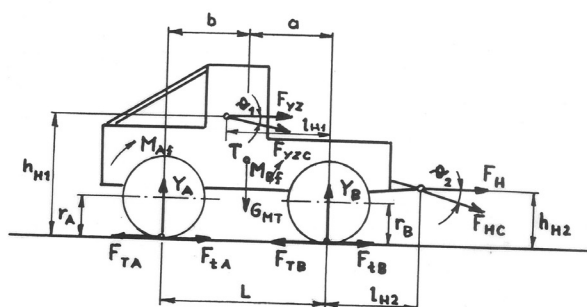
$$F_H = F_{vzt} + F_{vt} \quad [\text{N}] \quad (2.3)$$

Z momentové výminky k bodu B obdržíme:

$$-L \cdot Y_A + G_{MT} \cdot a + l_{H1} \cdot F_{vz} \cdot \operatorname{tg} \theta_1 - h_{H1} \cdot F_{vz} - M_f - h_{H2} \cdot F_H - l_{H2} \cdot F_H \cdot \operatorname{tg} \theta_2 = 0 \quad (2.4)$$

Pro moment odporu valení M_f platí:

$$M_f = M_{Af} + M_{Bf} = 2 \cdot (r_A \cdot F_{tA} + r_B \cdot F_{tB}) \quad (2.5)$$



Obr. 2.1 Rozměrové a silové schéma tahače

Úpravou rovnic (2.2) a (2.4) dostáváme vztahy:

$$Y_B/2 = 1/2 [\lambda_B \cdot G_{TM} + \lambda_{H1} \cdot k \cdot S_T \cdot v^2 + (1 - \lambda_{H1}) \cdot k \cdot S_T \cdot v_2 \cdot \operatorname{tg} \theta_1 + F_t \cdot l_r + \\ \lambda_{H2} \cdot (k \cdot S_{TN} \cdot v^2 + F_{vt}) + (1 + \lambda_{H2}) \cdot (k \cdot S_{TN} \cdot v^2 + F_{vt}) \cdot \operatorname{tg} \theta_2] \quad (2.6) \\ Y_A/2 = 1/2 [(1 - l_b) \cdot G_{TM} + \lambda_{H1} \cdot k \cdot S_T \cdot v^2 \cdot \operatorname{tg} \theta_1 - \lambda_{H1} \cdot k \cdot S_T \cdot v^2 - F_t \cdot l_r + \\ - \lambda_{H2} (k \cdot S_{TN} \cdot v^2 + F_{vt}) \cdot \operatorname{tg} \theta_2 - \lambda_{H2} (k \cdot S_{TN} \cdot v^2 + F_{vt})] \\ \lambda_b = b/L \quad l_{H1} = h_{H1}/L \quad \lambda r = R_d/L \quad l_{H2} = h_{H2}/L$$

Zavedeme-li do rovnic vztah pro objem ložného prostoru návěsu (přívěsu):

$$G_N = V_o \cdot \gamma_l \cdot k_o \\ G_{NI} = G_{TN} + G_N \quad (2.7)$$

G_{TN} – tíha návěsu tahače [N];

G_N – tíha nákladu návěsu (přívěsu) [N];

γ_1 – měrná hmotnost nákladu [N.m⁻³];
 V_0 – objem ložného prostoru návěsu [m³];
 k_0 – koeficient zaplnění návěsu [-];
 G_{N1} – tíha návěsu včetně nákladu [N].

Obdržíme pro valivý odpor návěsu vztah:

$$F_{vt} = f \cdot G_N \quad (2.8)$$

F_{vt} – valivý odpor návěsu tahače [N].

Pro zobecnělou tahovou sílu platí:

$$\mu = (F_B + F_t + F_{vz}) / (Y_A + Y_B) - \text{platí pro tahač s pohonem na obě nápravy} \quad (2.9)$$

$$\mu = (F_H + F_t + F_{vz}) / Y_B - \text{platí pro tahač s pohonem na zadní nápravu} \quad (2.10)$$

Pro konstrukční výkonnost platí vztah:

$$W = \frac{V_0 \cdot \gamma_1 \cdot k_0}{S_1 / v_1 + S_2 / v_2 + t_1 + t_2} \quad (2.11)$$

γ_1 – měrná hmotnost nákladu [kg m⁻³];

k_0 – koeficient zaplnění ložného prostoru [-].

Pro provozní výkonnost a další provozní charakteristiky platí vztah:

$$h_c = h_{m1c} \cdot h_\delta \cdot h_t \quad (2.12)$$

Pro výkon platí:

$$P = \frac{(F_t + F_H + F_x) \cdot v}{\eta_{m1c} \cdot \eta_\delta} \quad (2.13)$$

P – příkon energetického měniče [W].

$$F_t = 2 \cdot (F_{tA} + F_{tB}) \quad [\text{N}]$$

$$F_H = F_{vt} + F_{vzt} \quad [\text{N}]$$

$$F_{vz} = k \cdot S_T \cdot v^2 \quad [\text{N}]$$

$$F_{vzt} = k \cdot S_{TN} \cdot v^2 \quad [\text{N}]$$

$$P_\kappa = \frac{(F_t + F_H + F_x) \cdot v}{\eta_{m1c} \cdot \eta_\delta \cdot \kappa} \quad (2.14)$$

P_κ – příkon energetického měniče s ohledem na vyřízení motoru [W].

$$h_\delta = (1 - \delta) \quad (2.15)$$

3. VÝPOČET TVOŘENÍ STOPY TAHAČEM

Výchozí rovnice udávající vztah mezi středním kontaktním tlakem p_s v dosedací ploše pneumatiky a jejím zahloubením vzhledem k povrchu porostu je uvažována ve tvaru:

$$p_s = K \cdot t^n / 100$$

- p_s – střední kontaktní tlak pneumatiky tahače [m];
 n – exponent závislý na stupni plasticity zemin povrchu porostu [-].
 t – hloubka zaboření [m];
 k – součinitel závislý na stupni plasticity zeminy.

3.1 Hloubka zaboření pneumatiky tahače

Pro funkční závislost mezi zatížením pneumatik tahače $Y_{A,B}$ a hloubkou vytvoření stopy pneumatiky $t_{A,B}$ vycházíme ze vztahů (JANEČEK 1992)

$$t_{A,B} = \sqrt{\frac{Y_{A,B}}{2 \cdot b_{A,B} \cdot k \cdot l_{A,B}}} \cdot \frac{1}{100} \quad [\text{m}] \quad (2.16)$$

- $b_{A,B}$ – šířka pneumatiky [m];
 $t_{A,B}$ – hloubka zaboření pneumatiky [m];
 $Y_{A,B}$ – normalová reakce na přední, zadní nápravu tahače [N];
 $l_{A,B}$ – délka otisku pneumatiky [m];
 k – součinitel závislý na stupni plasticity zeminy (viz tab. č. 2.1.)

$$l_{A,B} = 2^{n+1} \sqrt{\frac{D^n Y_{A,B}}{b_{A,B} \cdot k}} \quad [\text{m}] \quad (2.17)$$

Pro tlaky vyvozené trakčním ústrojím tahače plyne:

$$p_{s\ A,B} = \frac{Y_{A,B}}{2 \cdot b_{A,B} \cdot l_{A,B}} \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2.18)$$

Vyjádříme-li délku otisku pneumatiky pomocí koeficientu:

$$\lambda_r = \frac{D/2}{L} = \frac{R_d}{L} \quad [-] \quad (2.19)$$

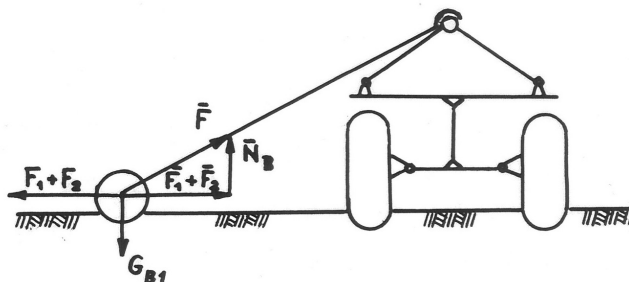
- L – rozvor tahače [m];
 D – průměr zadní, přední pneumatiky tahače [m].

obdržíme:

$$l_{A,B} = 2^{n+1} \sqrt{\frac{(2 \cdot \lambda_r \cdot L)^n \cdot Y_{A,B}}{b_{A,B} \cdot k}} \quad [\text{m}] \quad (2.20)$$

4. VLASTNOSTI VLEČNÉHO BŘEMENE

Zaboření a jím způsobená dopravní eroze při nakládání břemene viz obr. 2.2.



Obr. 2.2 Zaboření při nakládání břemene

$$\begin{aligned} N_B &= G_{B1} \\ F &= G_{B1} \cdot f \cdot k_1 = F_1 + F_2 \quad [N] \\ P &= F + G_{B1} \quad [N] \end{aligned} \quad (2.21)$$

G_{B1} – tíha břemene [N];

F – síla působící proti pohybu břemene G_{B1} [N];

F_1 – síla působící proti pohybu břemene G_{B1} způsobená vlečným třením [N];

F_2 – síla působící proti pohybu břemene G_{B1} způsobená hnutím zeminy [N];

f – koeficient vlečeného a valivého tření [-];

P – síla působící ve zdvihadím zařízení na břemeno G_{B1} (vektor) [N];

k_1 – koeficient zvyšující třecí sílu $G_{B1} \cdot f$ o účinek hnutí zeminy [-].

Hloubka zaboření je dána vztahem:

$$t_B = k \cdot p_{sB}^n = k \cdot \left[\frac{G_{B1}}{l_{B1} \cdot l_B} \right]^n \quad [m] \quad (2.22)$$

t_B – hloubka zaboření jednoho běžného metru surového kmene [m].

Dopravní eroze způsobená nakládáním břemene na tahač je určena vztahem:

$$V_{E1} = t_B \cdot S_1 \cdot l_B = k \cdot \left[\frac{G_{B1}}{l_{B1} \cdot l_B} \right]^n \cdot S_1 \cdot m \cdot l_B \quad [m^3] \quad (2.23)$$

G_{B1} – průměrná tíha běžného metru biomasy (surového kmene) při nakládání [N];

l_{B1} – délka stopy běžného metru surového kmene [m];

l_B – délka surového kmene [m];

S_1 – průměrná vzdálenost nakládané biomasy [m];

m – koeficient dopravní eroze [-];

V_{E1} – dopravní eroze způsobená nakládáním [m³].

5. DOPRAVNÍ EROZE ZPŮSOBENÁ POJÍŽDĚNÍM TAHAČE PO LESNÍ CESTĚ

Dopravní eroze způsobená pojížděním tahače po lesní cestě je dána vztahem:

$$V_{E2} = t_{A,B} b_{A,B} S_D m \quad [\text{m}^3] \quad (2.24)$$

S_D – průměrná vzdálenost dopravy biomasy tahačem po lesní cestě [m];

$t_{A,B}$ – hloubka zaboření pneumatiky automobilu do povrchu porostu [m];

$b_{A,B}$ – šířka pneumatiky [m];

m – koeficient dopravní eroze [-].

Celková dopravní eroze je dána vztahem:

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

V_E – celková dopravní eroze způsobená tahačem během jednoho cyklu [m³];

V_{E1} – dopravní eroze způsobená nakládáním biomasy během jednoho cyklu [m³];

V_{E2} – dopravní eroze způsobená pojížděním tahače po lesní cestě [m³].

Vyjádříme-li dopravní erozi způsobenou tahačem na lesní cestě váhově obdržíme:

$$G_{EC} = V_E \gamma_p \quad (2.25)$$

G_{EC} – tíha dopravně erodované zeminy lesní cesty [N];

γ_p – měrná tíha erodované zeminy lesní cesty [N m⁻³].

ZÁVĚR

Matematický model tahač umožňuje optimalizovat pracovní režim tahače s ohledem na kritérium energetické, ekologické (dopravní eroze) a ekonomické. Optimalizace prováděná pomocí matematického modelu bude odrážet realitu v případě, že uživatel objektivně změří a využije v modelu vstupní parametry.

Dílčí citlivostní analýza ukázala, že podstatný vliv na velikost měrné energie či dopravní erozi mají parametry systému tahače tíha, velikost ložného objemu, pracovní rychlost. energetické parametry tahače tíha a velikost ložného objemu tahače, pozitivně rychlost. Změny tíhy a ložného objemu řádově o 5 – 10 % ovlivní energetiku o 30 – 40 %. Dopravní eroze se výše uvedenou změnou zvýší o 10 – 20 %.

Výrazný vliv mají fyzikálně mechanické konstanty charakterizující povrch terénu či lesní cesty. Změna hodnot těchto parametrů o 5 – 10 % ovlivní negativně energetické parametry pracovního systému o 20 – 40 % a dopravní erozi o 10 – 40 %.

LITERATURA

- JANEČEK, A: Optimalizace struktury a postupů lesních výrobních systémů v lesním hospodářství, LF ČZU Praha, 1996
- DVOŘÁK, J.: Citlivostní analýza výběru racionální varianty pro VS z hlediska energetického a ekologického v podmínkách LS Horní Blatná. Dipl.práce, LF ČZU Praha, 1998.
- DVOŘÁK, J. Wertoptimierung von technologischen Nutzungsfaktoren, die spezifische Schäden entstehende durch Einsatz von Maschinen bei Erziehungsnutzungen beeinflussen. Sborník : Forest and wood technology vs. environment – mezinárodní konference na MZLU Brno, 2000, s. 93-101.
- SIMANOV, V.:Nový návrh terénní klasifikace a technologické typizace. Lesnictví – Forestry roč.39/1993, s. 422-428
- Mikleš, J.: Ťahové skúšky a vlastnosti špecialneho lesného traktora. In: Acta Facultatis Technicae, XVI, 2011 (1): 95 -105, ISSN 1336 – 4472
- Mikleš, J.: Metóda výpočtu potrebného výkonu pre prácu elektrických pohonov drevo-o-brábacích strojov, založená na modelovaní a simulácii. In: Trendy lesníckej,drevárskej a environmentálnej techniky a jej aplikácie vo výrobnom procese,TU Zvolen, 2006.s.139 -142, ISBN 80-228-1648-5
- MIKLEŠ, J. 2009. Určenie veľkosti nákladu pre pásový traktor pri približovaní dreva In: COYOUS 2009 : konference mladých vedeckých pracovníkov : Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009. ISBN 978-80-213-1934-9. S. 167-172

Kontaktná adresa:

Prof. Ing. Adolf Janeček, DrSc.
Česká zemědělská univerzita
Fakulta lesnická drevařská
Kamýcká ul. 129, 165 21 Praha 6 – Suchbátka

Prof. Ing. Milan Mikleš, DrSc.
Katedra environmentálnej a lesníckej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
T. G. Masaryka 24
960 53 Zvolen
E-mail: mikles@tuzvo.sk

NÁVRH LABORATÓRNEHO ZARIADENIA NA MERANIE RELATÍVNEJ VLNKOSTI VZDUCHU

DESIGN OF LABORATORY DEVICE FOR RELATIVE AIR HUMIDITY MEASURING

Peter KOLEDA – Pavol KOLEDA

ABSTRACT: The article deals with the design of laboratory device for relative air humidity measuring. The principle is based on the psychrometric measuring by means of two thermometers. The measuring chain consists of microprocessor system and resistive thermal sensors connected as bleeder resistors. Measured transfer characteristic of voltage to temperature allows to compute actual temperature and is programmed in microprocessor. Laboratory device is a demonstration of psychrometer function.

Key words: Relative air humidity, thermoresistor, psychrometer

ABSTRAKT: Článok sa zaoberá návrhom laboratórneho zariadenia na meranie relatívnej vlhkosti vzduchu. Princíp merania je založený na psychrometrickom meraní pomocou dvoch teplomerov. Merací reťazec je tvorený mikroprocesorovým systémom s odporovými senzormi teploty, ktoré sú zapojené ako napäťový delič. Odmeraná prevodová charakteristika veľkosti napätia na teplotu umožňuje výpočet aktuálnej teploty a je naprogramovaná v mikroprocesore. Laboratórne zariadenie je demonštráciou funkcie psychrometra.

Kľúčové slová: relatívna vlhkosť vzduchu, termorezistor, psychrometer

1 ÚVOD

Vlhkosť vzduchu je základný meteorologický prvok popisujúci množstvo vodnej pary vo vzduchu. Vyjadruje sa pomocou rôznych vlhkosťných charakteristík ako napríklad absolútna vlhkosť, sýtosťný doplnok, merná vlhkosť, relatívna vlhkosť, tlak vodnej pary, zmiešavací pomer, deficit teploty vodnej pary a ďalšie (Tužinský, 2002).

Absolútna vlhkosť vzduchu je charakteristika, ktorá udáva hmotnosť vodnej pary v gramoch obsiahnutej v jednotke objemu vlhkého vzduchu:

$$\rho_v = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

m – hmotnosť vodnej pary [kg],
 V – objem vlhkého vzduchu [m³].

Relatívna vlhkosť vzduchu je charakteristika vlhkosti vzduchu bežne meraná na meteorologických staniciach. Udáva pomer skutočnej absolútnej vlhkosti vzduchu k absolútnej vlhkosti, aká by bola pri danej teplote vo vzduchu nasýtenom. Obvykle sa vyjadruje v [%] a popisuje stupeň nasýtenia vzduchu vodnou parou. Relatívna vlhkosť sa dá vyjadriť dvomi vzťahmi:

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_{v \max}} = \frac{m}{M}, \quad (3)$$

m – hmotnosť vodnej pary obsiahnutej vo vzduchu [kg],

M – hmotnosť vodnej pary, ktorou by bol rovnaký objem vzduchu za danej teploty nasýtený [kg].

$$\varphi = \frac{e}{E}, \quad (4)$$

e – tlak vodnej pary [Pa],

E – tlak vodnej pary, ktorou by bol rovnaký objem vzduchu za danej teploty nasýtený [Pa].

Vlhkosť sa definuje pomocou koncentrácie molekúl vody v priestore vyplnenom vlhkým plynom. Na určenie vlhkosti sa vo všeobecnosti používajú tieto parametre:

- parciálny tlak vodnej pary,
- absolútna vlhkosť (hmotnosť vodnej pary na jednotku objemu),
- relatívna vlhkosť,
- teplota rosného bodu, zvyčajne sa skráteno označuje ako rosný bod.

2 MATERIÁL A METÓDY

Existuje mnoho spôsobov na meranie vlhkosti. Všetky metódy využívajú určité fyzikálne alebo chemické vlastnosti molekuly vody, čím sa umožňuje rozlíšenie medzi vodou a ostatnými zložkami vlhkého plynu (Regtien, 2005):

- metódy využívajúce odstraňovanie vodnej pary,
- saturačné metódy,
- parametrické metódy,
- absorpčné metódy.

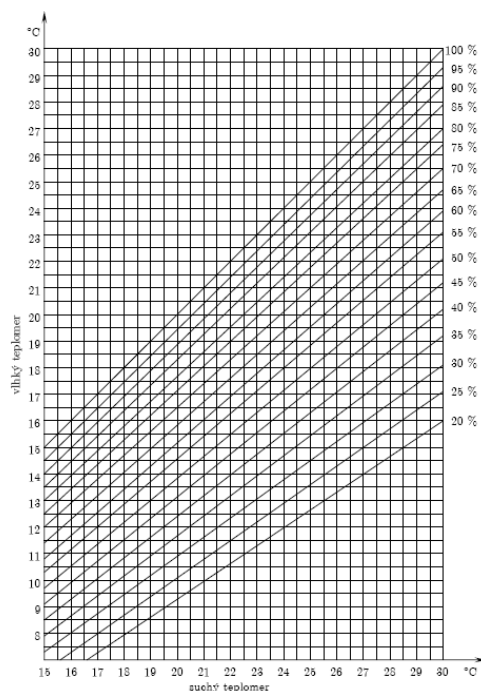
Relatívnu vlhkosť sa dá merať aspiračným psychrometrom z údajov dvoch rovnakých ortuťových teplomerov. Banka jedného teplomeru je obalená tkaninou. Ochranný kryt teplomeru, ktorého banka je obalená, býva označený modro. Pred začiatkom sa táto tkanina dokonale navlhčí destilovanou vodou pomocou sklenej trubičky (sklená trubička naplnená vodou sa zasunie do ochrannej trubice teplomeru). Tento teplomer sa nazýva „vlhký“, druhý teplomer „suchý“. Suchý teplomer udáva teplotu atmosférického vzduchu.

Odparovaním vody z tkaniny vlhkého teplomeru ukazuje tento teplomer nižšiu teplotu. Pre urýchlenie odparovania vody z vlhkého teplomeru sa nasáva vzduch ventilátorom, ktorý je poháňaný motorčekom umiestneným v hlavici prístroja. Vzduch prúdi okolo oboch teplomerov rýchlosťou asi 2 m.s^{-1} . Približne po 5 minútach sa hodnoty na teplomeroch ustália a dajú sa použiť pre vyhodnotenie (Regtien, 2005). Digitálny psychrometer je zobrazený na obr. 1.



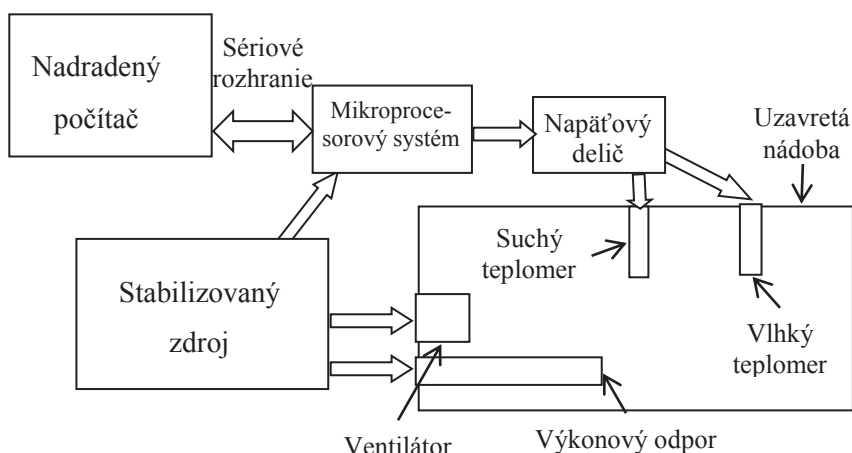
Obr. 1 Digitálny psychrometer (Forestry Suppliers, Inc., 2015)

Z ustálených hodnôt oboch teplomerov môžeme určiť relatívnu vlhkosť, tlak vodných pár a rosný bod výpočtom alebo pomocou psychrometrických tabuliek (obr. 2).



Obr. 2 Nomogram psychrometrických tabuliek relatívnej vlhkosti

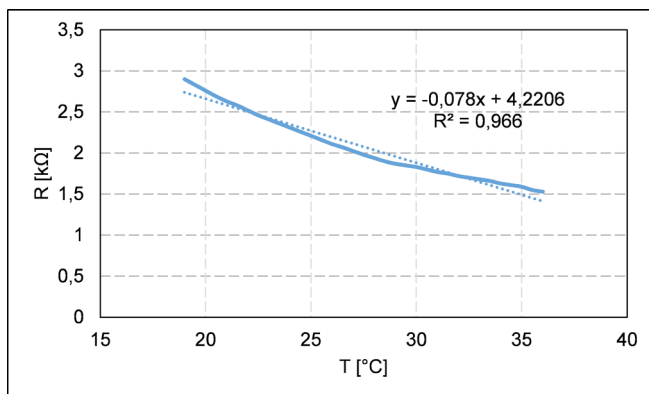
Experimentálne zariadenie na meranie relatívnej vlhkosti vzduchu (obr. 3) sa skladá z uzatvorenej nádoby, v ktorej sú umiestnené dva termorezistory – jeden ako suchý a druhý ako mokrý teplomer obalený navlhčenou gázou. Termorezistory sú zapojené do napäťového deliča a výstupné napätie je privedené do A/D prevodníka vývojového kitu s procesorom ATmega. (Atmel Corp., 2009). Prúdenie vzduchu zabezpečuje ventilátor umiestnený v nádobe s teplomeri, vzduch sa ohrieva pomocou výkonového rezistora.



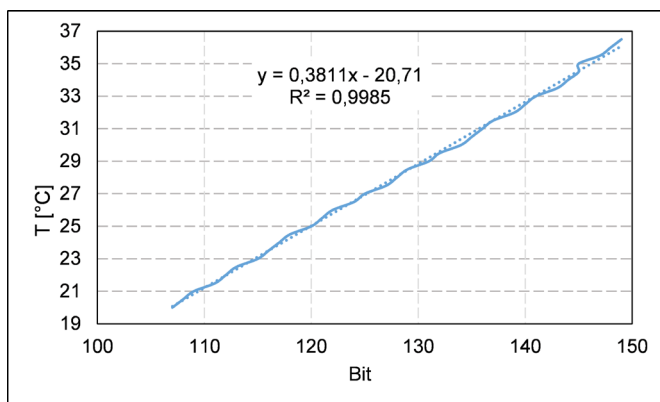
Obr. 3 Bloková schéma laboratórneho zariadenia

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

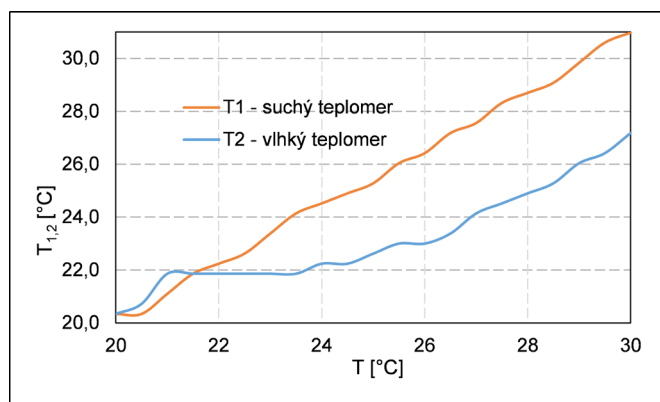
Pre odčítanie údajov z nomogramu bola odmeraná prevodová charakteristika použitého termorezistora (obr. 4) a prevodová charakteristika D/A prevodníka (obr. 5) pre prepočet číselnej informácie v procesore späť na teplotu.



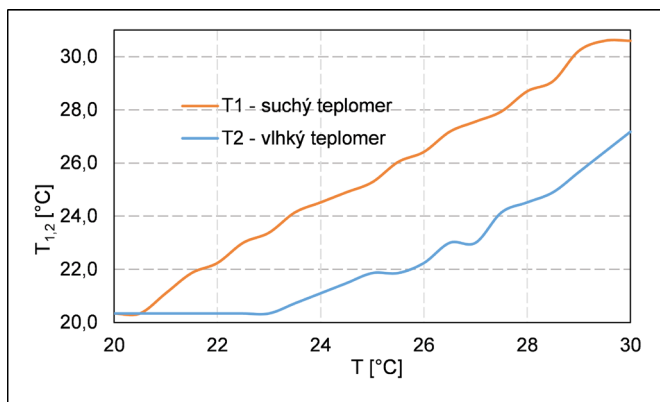
Obr. 4 Závislosť odporu termistora na teplote



Obr. 5 Charakteristika D/A převodníka



Obr. 6 Priebeh teplôt pri meraní bez navlhčenej tkaniny



Obr. 7 Priebeh teplôt pri meraní s pridaním navlhčenej tkaniny

Naprogramovaním odmeraných charakteristík do mikroprocesora je možné zistiť teplotu suchého a vlhkého teplomeru. Po odčítaní z nomogramu je potom možné určiť približnú relatívnu vlhkosť prostredia.

Zo všetkých meraní v danom prostredí pri teplote 25 °C je vlhkosť prostredia približne 75 %. Podmienky pri opakovaných meraniach boli rôzne, pretože sa nedá zaistiť rovnaká vlhkosť vo vlhkom prostredí termistora T2 a aj vlhkosť navlhčenej tkaniny.

4 ZÁVER

Navrhnuté experimentálne zariadenie poskytuje demonštračnú realizáciu psychrometrického meracieho prístroja na meranie relatívnej vlhkosti vzduchu. Problém nastáva pri porovnaní zistenej hodnoty s presným meracím prístrojom z dôvodu komplikácií pri dodržaní konštantnej vlhkosti prostredia v miestach merania. Meraním vlhkosti vzduchu, pri namodelovaných podmienkach (uzatvorená nádoba bez a s navlhčenou tkaninou pre zvýšenie vlhkosti) pri teplote vzduchu vo vnútri nádoby 25 °C, sa zistila relatívna vlhkosť vzduchu približne 75 %.

LITERATÚRA

- Atmel Corp. 2009. *8-bit AVR Microcontroller with 32K Bytes In-System Programmable Flash*. Technická dokumentácia.
- Forestry Suppliers, Inc. 2014. Bacharach Pocket-Size Sling Psychrometer with Built-in Scale. Dostupné na internete <http://www.forestry-suppliers.com>. [cit. január 2015.]
- REGTIEN, P. 2005. Meranie vlhkosti. In *Technické meranie – učebné texty z projektu METRO-MEDIA-ONLINE*. Ing. Peter Juriga – Grafické štúdio, Bratislava, 2005. s. 455-466. ISBN 80-89112-04-8. Dostupné na internete <http://www.kam.sjf.stuba.sk/katedra/publikacie/leonardo/ucebnica/17s.pdf>. [cit. január 2015]
- TUŽINSKÝ L. 2002. Bioklimatológia, skriptum TU vo Zvolene, 140 strán.

Kontaktná adresa:

Ing. Peter Koleda, PhD.
Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky
Fakulta environmentálnej a výrobnéj techniky Technickej univerzity vo Zvolene
Študentská 26, 960 53 Zvolen
email: peter.koleda@tuzvo.sk

PRESNOŠŤ VÝPOČTU PRIEHYBU ODSTUPŇOVANÉHO HRIADEĽA METÓDOU REDUKCIE PRIEMEROV

ACCURACY OF A DEFLECTION COMPUTATION AT THE STEP SHAFT BY THE METHOD OF DIAMETER REDUCTION

Stanislav KOTŠMÍD – Ján MARIENČÍK – Pavel BEŇO –
Marián MINÁRIK

ABSTRACT: The paper deals with a deflection computation at the step shaft in a defined place by the method of diameter reduction. This method was analytically studied on the step shaft at different variants of diameters and individual span lengths. Obtained values of deflections were being compared with the values obtained by Vereshchagin method. Accuracy of Vereshchagin method was verified by numerical computing in PTC Creo Simulate software; thereupon the values obtained by this method were selected as exact. The paper interprets the percentage errors which appear by using of the reduction method. It deals with design of limiting conditions for using of this method which are not always met in practice. Thereupon, the failures appear there, on which the paper points to.

Keywords: shaft, deflection, stress, method of diameter reduction layer, analysis

ABSTRAKT: Článok pojednáva o výpočte priehybu odstupňovaného hriadeľa v definovanom mieste použitím metódy redukcie priemerov. Táto metóda bola analyticky skúmaná na odstupňovanom hriadeľi pri rôznych variantoch priemerov a dĺžok jednotlivých polí. Získané hodnoty priehybov boli porovnávané s hodnotami získanými pomocou Vereščaginovej metódy. Presnosť Vereščaginovej metódy bola overená pomocou numerického výpočtu v softvéri PTC Creo Simulate, následkom čoho boli hodnoty získané pomocou tejto metódy zvolené za exaktné. Článok znázorňuje percentuálne chyby, ktoré vznikajú použitím metódy redukcie. Zaoberá sa aj návrhom obmedzujúcich podmienok pre použitie tejto metódy, ktoré nie sú v praxi vždy dodržané. Následkom toho sa vyskytujú nedostatky, na ktoré článok poukazuje.

Kľúčové slová: hriadeľ, priehyb, napätie, metóda redukcie priemerov, analýza

1 ÚVOD

Jednou zo základných úloh riešených v pružnosti a pevnosti je odpovedať na otázku, ako vypočítať rozmery konštrukčného prvku, aby spoľahlivo odolával zaťaženiu po-

čas jeho prevádzky. Cieľom je nepripustiť možnosť vzniku medzných stavov, a to straty únosnosti, prípadne sťaženiu štandardného používania konštrukcie, akým je nadmerný priehyb.

V praxi sa môžeme stretnúť s viacerými prípadmi, kde pri dimenzovaní zohráva väčšiu úlohu priehyb jednotlivých častí prvku ako jeho samotná pevnosť. Jedným z nich je hriadeľ, ktorý ako základná súčiastka umožňuje rotačný pohyb a prenos krútiaceho momentu (Sekereš, 2011). Pri pevnostnom dimenzovaní dostávame rozmery, ktoré síce vyhovujú podmienke pevnosti, avšak priehyb spôsobený vonkajšími silami môže byť natoľko veľký, že poškodí ostatné prvky mechanizmu, ako sú ozubené kolesá a ložiská, ktorých hriadeľ je nosným elementom (Málik, 2009). Navyše pri aplikáciách obrábania telies, kde pracujeme s presnosťou rádovo v stotínach milimetrov, nemôžeme tento aspekt zanedbať, pretože priehyb hriadeľa má vplyv na pozíciu rezných hrán voči obrobku, a teda na presnosť obrábania (Ramesh, 2000). Preto kontrola na priehyb a natočenie priehybovej čiary v určitých miestach hriadeľa je dôležitá.

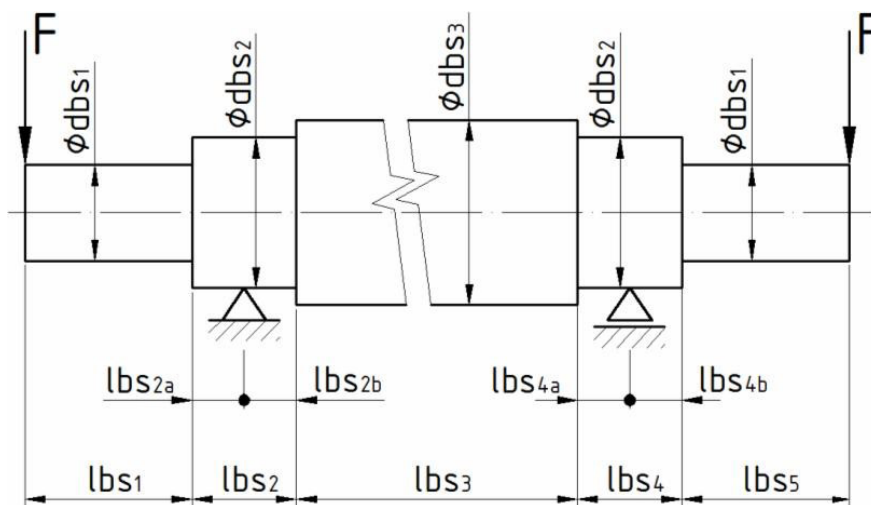
V praktických aplikáciách sa vyskytuje väčšinou odstupňovaný hriadeľ (Childs, 2004). Pre výpočet jeho deformácií sa používajú rozličné metódy, ako napríklad využitie Castiglianovej vety, Vereščaginovej metódy, prípadne použitie približnej diferenciálnej rovnice priehybovej čiary (Doghri, 2000). Pri riešení úloh mechaniky je veľmi užitočnou aj metóda konečných prvkov, ktorá je založená na numerickom riešení s využitím matematických algoritmov.

V literatúre je možné nájsť ako jednu z foriem zjednodušenia výpočtu metódu redukcie priemerov. Táto metóda spočíva v tom, že sa jednotlivé priemery úsekov hriadeľa redukujú na jeden zvolený priemer, čím sa úloha výrazne zjednoduší. Pri tomto zjednodušení sa však vplyvom nedodržania určitých podmienok dopustíme veľkých chýb. V článku budú predstavené rôzne priemerové a dĺžkové varianty konkrétneho tvaru hriadeľa, pričom uvedieme výpočet deformácií bez aj s použitím redukcie. Článok prinesie znenie podmienok, pri ktorých je možné použiť metódu redukcie, aj s percentuálnym vyjadrením chýb výpočtového modelu.

2 MATERIÁL A METÓDY

2.1 Motivácia

Redukcia priemerov odstupňovaného hriadeľa je jednou z metód, ako zjednodušiť výpočtový model. Pri tejto metóde ide o prepočet odstupňovaného hriadeľa na hriadeľ s jednotným priemerom, pričom dochádza k zmene dĺžok jednotlivých polí. Odstupňovaný hriadeľ volíme v tvare podľa Obr. 1.



Obr. 1 Výpočtová schéma odstupňovaného hriadeľa

Nutnou podmienkou je zachovanie rovnakej hodnoty druhej derivácie funkcie priehybovej čiary, pričom vychádzame zo vzťahu (1) vzťahujúceho sa pre vybraný úsek.

$$\frac{M_{bs}}{E \cdot J_{bs}} = \frac{M_{rp}}{E \cdot J_{rp}} = w'' \quad (1)$$

Kde:

M_{bs} – funkcia ohybového momentu pred redukciou (Nm),

M_{rp} – funkcia ohybového momentu po redukcii (Nm),

E – modul pružnosti v ťahu (Pa),

J_{bs} – funkcia momentu zotrvačnosti pred redukciou (m^4),

J_{rp} – funkcia momentu zotrvačnosti po redukcii (m^4),

$w''(x)$ – druhá derivácia funkcie priehybovej čiary pre vybraný úsek (m^{-1}).

Úpravou vzťahu (1) odvodíme vzťah (2) použitý pre úpravu dĺžok jednotlivých polí,

$$l_{rp} = \sum_{i=1}^n l_{rpi} = \sum_{i=1}^n \left[l_{bs} \cdot \left(\frac{d_{rp}}{d_{bsi}} \right)^4 \right] \quad (2)$$

kde:

l_{rp} – celková dĺžka hriadeľa po redukcii (m),

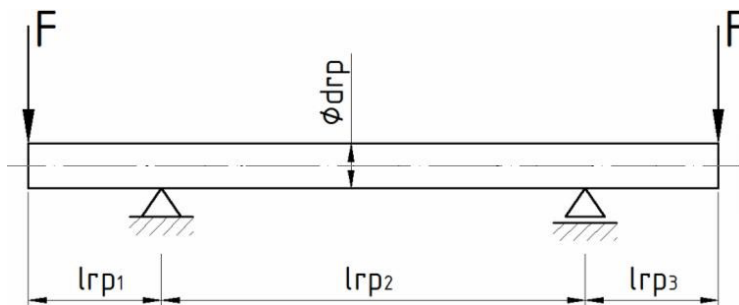
l_{rpi} – dĺžka i-teho úseku hriadeľa po redukcii (m),

l_{bsi} – dĺžka i-teho úseku hriadeľa pred redukciou (m),

d_{rp} – priemer hriadeľa po redukcii (m),

d_{bsi} – priemer i-teho úseku hriadeľa po redukcii (m).

Po redukcii má hriadeľ tvar podľa (Obr. 2).



Obr. 2 Tvar redukovaného hriadeľa

Pričom môžeme priehyb v miestach pôsobenia vonkajšieho zaťaženia vypočítať zo vzťahu (3):

$$w_F = \frac{F \cdot l_{rp1}^3}{3EJ} + \frac{F \cdot l_{rp1}^2 \cdot l_{rp2}}{2EJ} \quad (3)$$

kde:

F – zaťažujúca sila (N),

J_i – funkcia momentu zotrvačnosti (m^4).

Ako je možné vidieť zo vzťahu (3), redukovaná dĺžka tu vystupuje v tvare tretej mocniny. Táto redukovaná dĺžka však oproti pôvodnej zmení svoju hodnotu rádovo, a to v závislosti od hodnôt priemerov. Táto hodnota l_{rp1} po umocnení na tretiu výrazne zväčšuje hodnotu priehybu w_F . Vzniká teda otázka, akou mierou sa zmení priehyb w_F pri redukcii na rôzne priemery d_1 , d_2 a d_3 .

Pri výpočte priehybov sme použili graficko-analytickú metódu tzv. Vereščaginovu, pričom sme zohľadnili aj vplyv priečných síl. Pri vhodne zvolených rozmeroch prvku nemajú polomery zaoblenia prechodov príliš veľký vplyv na deformácie a tak ich môžeme vo výpočte zanedbať (Shigley, 2004). Priehyb je možné vyjadriť pomocou Vereščaginovej metódy v tvare:

$$w_i = \sum_{i=1}^n \frac{1}{E \cdot J_i} \cdot A_{Mi} \cdot m_{oTi} + \frac{\kappa}{G \cdot A_i} \cdot A_{Ti} \cdot m_{iT_i} \quad (4)$$

kde:

J_i – funkcia momentu zotrvačnosti i-teho prierezu (m^4),

A_{Mi} – plocha pod momentovou krivkou v i-tom priereze (Nm^2),

m_{oTi} – moment od jednotkovej sily v mieste polohy ťažiska i-tej plochy (m),

κ – Timošenkov koeficient pre zohľadňovanie vplyvu priečnej sily (m^{-1}),

A_{Ti} – plocha pod silovou krivkou v i-tom priereze (Nm),

m_{iT_i} – priečna sila spôsobená jednotkovou silou v mieste ťažiska i-tej plochy (-),

G – modul pružnosti v šmyku (Pa),

A_i – plocha i-teho prierezu (m^2).

Hodnoty priehybov vypočítaných bez použitia metódy redukcie sme považovali za exaktné. Následne sme hodnoty priehybov vypočítali pomocou softvéru PTC Creo Simulate a navzájom porovnali.

2.2 Návrh matematického modelu zaťažovacieho stavu hriadeľa

Pri porovnávaní priehybu spôsobeným vonkajším zaťažením bolo možné vykonať množstvo variantov priemerov a dĺžok jednotlivých častí hriadeľa. Z tohto dôvodu bolo nutné zaviesť viacero obmedzujúcich podmienok. Tvar analyzovaného hriadeľa bol navrhnutý na základe existujúcich hriadeľov vyskytujúcich sa v rôznych aplikáciách konštrukčnej praxe. Pozostával z piatich polí, pričom obsahoval dva previsnuté konce a bol uložený na dvoch podperách. Pri zostavovaní výpočtovej schémy podľa obr. 1 vzhľadom na uloženie hriadeľa uvažujeme s kinematickými dvojicami (klb a posuvné lôžko), ktoré odoberajú telesu stupne voľnosti podľa (Minárik, 2013). Obmedzujúce podmienky boli volené nasledovne: $d_{bs1} = d_{bs2}$; $d_{bs2} = d_{bs4}$; $l_{bs1} = l_{bs5}$; $l_{bs2a} = l_{bs2b} = l_{bs4a} = l_{bs4b}$.

Tieto podmienky zabezpečovali existenciu symetrického hriadeľa, čo sa týka rozmerov aj pôsobiacich síl. Z toho vyplýva, že postačovalo výpočet realizovať v jednej rovine a priehyb určiť len na jednom previsujúcom konci.

2.3 Voľba variantov hriadeľa

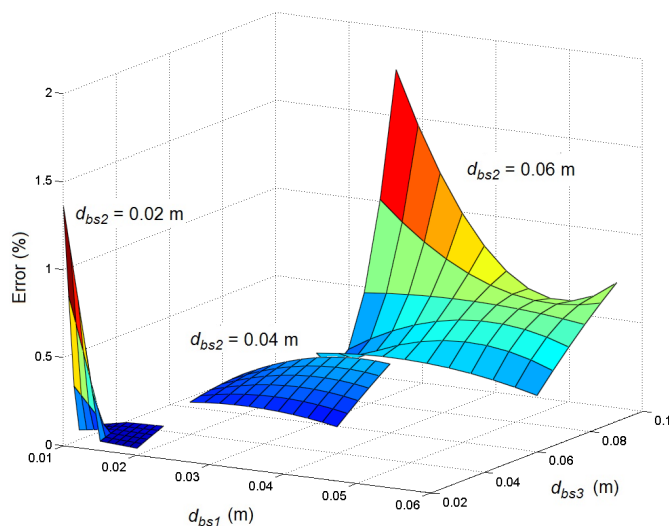
Rozmery d_{bs1} , d_{bs2} , d_{bs3} , l_{bs1} , l_{bs2a} , l_{bs3} a sila F boli volené na základe reálnych parametrov vyskytujúcich sa v konštrukčnej praxi. Celkovo bolo vykonaných 6 variantov výpočtu. V prvých troch variantoch boli za priemery d_2 zvolené hodnoty podľa vyrábaných typov ložísk, a to 20, 40 a 60 mm. Podľa týchto rozmerov boli dĺžke l_{bs2} priradené hodnoty 12, 15 a 18 mm. Pri každom rozmere d_{bs2} sme vykonali 121 variantov, zároveň sme menili priemery d_{bs1} a d_{bs3} , pričom sme dodržiavali podmienky $d_{bs1} \leq d_{bs2}$ a $d_{bs2} \leq d_{bs3}$. Pri každom variante sme postupne vykonali redukcii priemerov hriadeľa na bázu d_{bs1} , d_{bs2} a d_{bs3} .

V ďalších variantoch sme menili dĺžky l_{bs1} , l_{bs2} a l_{bs3} a to podľa pravidiel dodržania rozsahu $l_{bs1} = 50 \div 150$ mm a $l_{bs3} = 200 \div 400$ mm, taktiež boli menené aj priemery d_{bs1} , d_{bs2} a d_{bs3} a dĺžku l_{bs2} sme menili podľa predchádzajúceho prípadu. Zo získaných hodnôt sme vyjadrili percentuálne chyby jednotlivých metód, ktoré sme znázornili aj graficky na Obr. (5) až (10). Z týchto grafických záznamov sme zostavili súbor predpokladov, z ktorých je zrejma možnosť použiť redukcie na jednotlivú bázu.

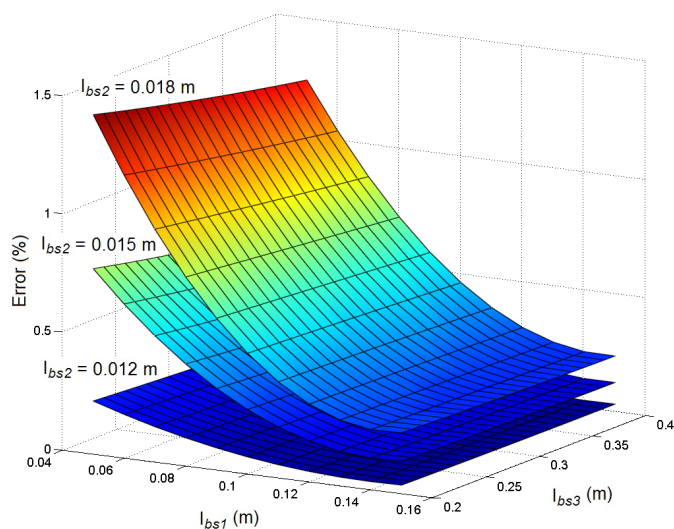
3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Po dosadení zvolených hodnôt priemerov a dĺžok jednotlivých polí hriadeľa do vzťahov (2) až (4) dostávame konkrétne hodnoty priehybov hriadeľa. Po porovnaní hodnôt hriadeľov podľa metódy bez redukcie a s redukciami môžeme vypočítať percentuálne vyjadrenie chýb. Najprv však porovnáme pomocou numerického výpočtu, že naša exaktná hodnota priehybu naozaj do istej miery zodpovedá analytickému výpočtu, o čom sa pre-

svedčíme hodnotami vypočítanými softvérom PTC Creo Simulate. Vyjadrenie percentuálnych chýb pre jednotlivé varianty môžeme vzhladnuť z grafov Obr. (3) a (4). Z grafov je zrejmé, že chyby sa pohybujú rádovo v desatinách percenta, čo znamená, že exaktné hodnoty sú naozaj tými skutočnými.

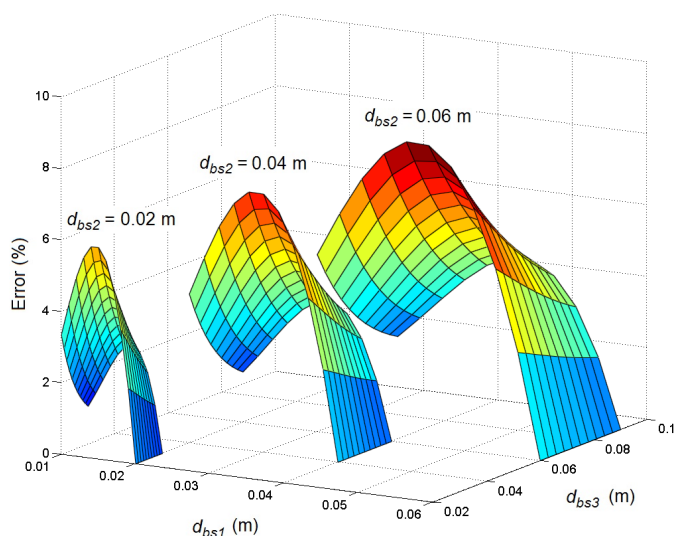


Obr. 3 Závislosť percentuálnej chyby numerického výpočtu pre $d_{bs2} = 20, 40$ a 60 mm

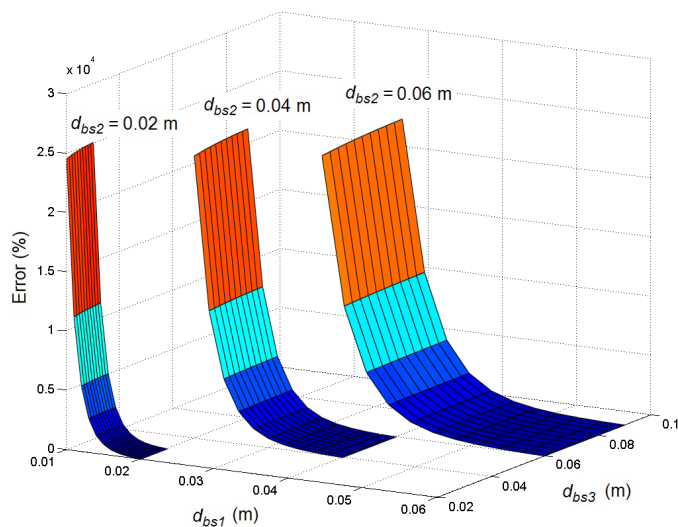


Obr. 4 Závislosť percentuálnej chyby numerického výpočtu pre $l_{bs2} = 12, 15$ a 18 mm

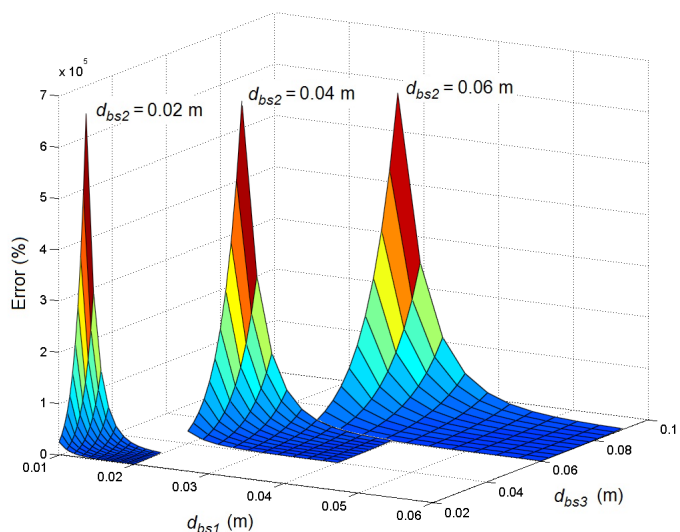
Grafy Obr. (5) až (7) znázorňujú závislosť percentuálnej chyby metódy redukovania na bázy d_{bs1} , d_{bs2} a d_{bs3} s použitím $d_{bs2} = 20, 40$ a 60 mm od zmeny priemerov d_{bs1} a d_{bs3} .



Obr. 5 Závislosť percentuálnej chyby metódy redukovania na bázu d_{bs1} pre $d_{bs2} = 20, 40$ a 60 mm od zmeny priemerov d_{bs1} a d_{bs3}

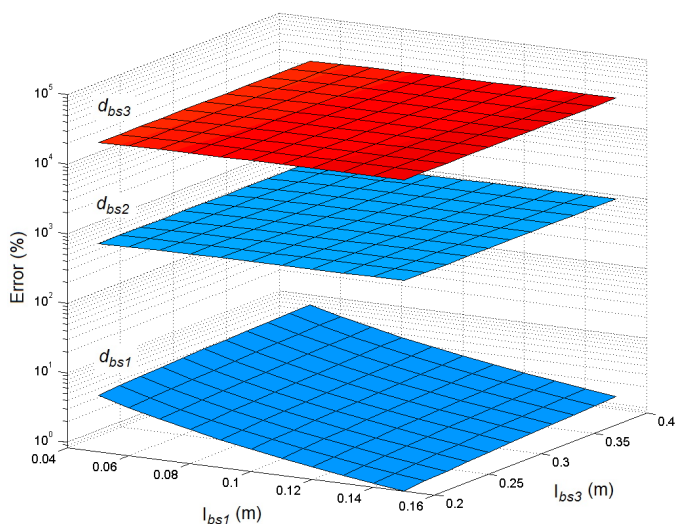


Obr. 6 Závislosť percentuálnej chyby metódy redukovania na bázu d_{bs2} pre $d_{bs2} = 20, 40$ a 60 mm od zmeny priemerov d_{bs1} a d_{bs3}

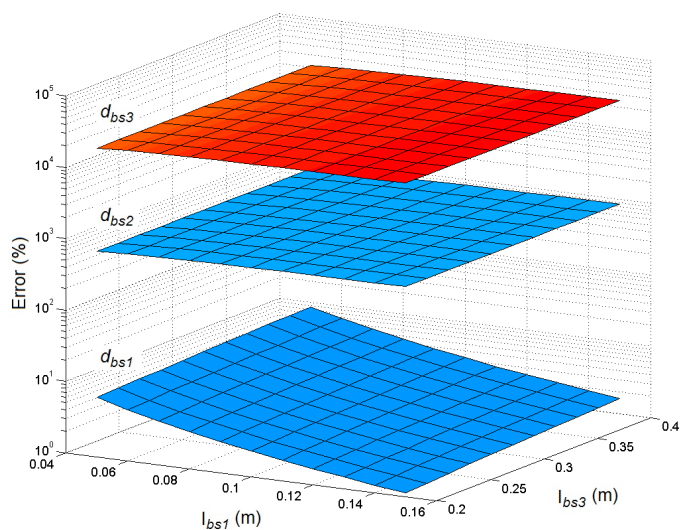


Obr. 7 Závislosť percentuálnej chyby metódy redukovania na bázu d_{bs3} pre $d_{bs2} = 20, 40$ a 60 mm od zmeny priemerov d_{bs1} a d_{bs3}

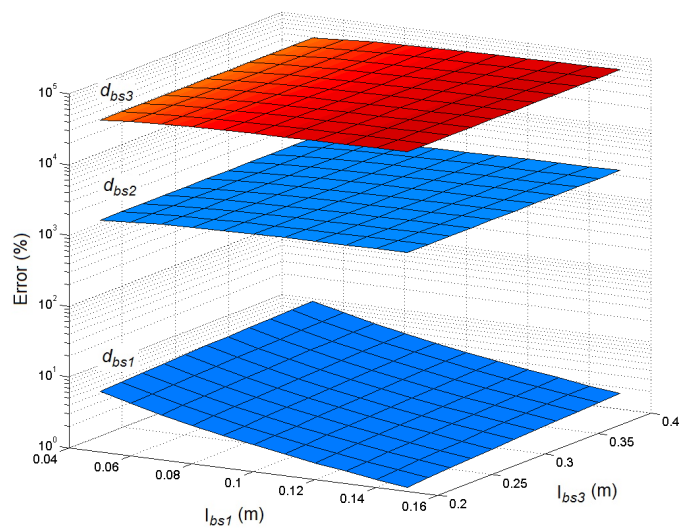
Nasledovné grafy znázorňujú logaritmickú závislosť percentuálnej chyby metódy redukovania na bázy d_{bs1} , d_{bs2} a d_{bs3} pre $l_{bs2} = 12, 15$ a 18 mm od zmeny dĺžok l_{bs1} a l_{bs3}



Obr. 8 Logaritmická závislosť percentuálnej chyby metódy redukovania na bázu d_{bs1} , d_{bs2} a d_{bs3} pre $l_{bs2} = 12$ mm od zmeny priemerov l_{bs1} a l_{bs3}



Obr. 9 Logaritmická závislosť percentuálnej chyby metódy redukovania na bázu d_{bs1} , d_{bs2} a d_{bs3} pre $l_{bs2} = 15$ mm od zmeny priemerov l_{bs1} a l_{bs3}



Obr. 10 Logaritmická závislosť percentuálnej chyby metódy redukovania na bázu d_{bs1} , d_{bs2} a d_{bs3} pre $l_{bs2} = 18$ mm od zmeny priemerov l_{bs1} a l_{bs3}

4 VYHODNOTENIE

Ako sme sa mohli presvedčiť, pri nevhodnom použití redukcie priemerov hriadeľa sa dopúšťame obrovských chýb. Na základe grafických výstupov môžeme konštatovať, že len pri obmedzených podmienkach sa nedopustíme chyby väčšej ako 5%.

Z grafu 5, kde sme hodnotili závislosť percentuálnej chyby od variability parametrov d_{bs1} a d_{bs3} pri rozličných veľkostiach d_{bs2} vyplýva, že chyba sa zväčšuje so znižujúcim sa rozmerom d_{bs1} , avšak od určitého bodu znovu klesá. So vzrastajúcim rozmerom d_{bs3} klesá chyba na celom intervale. Pri zvolených rozmeroch d_{bs1} , d_{bs2} , d_{bs3} , l_{bs1} , l_{bs2} a l_{bs3} sme nepresiahli chybu väčšiu ako 9%. Z grafu môžeme ďalej tvrdiť, že so zväčšujúcimi sa hodnotami priemerov narastá aj chyba, s čím súvisia aj pomery priemerov k dĺžkam príslušných častí, keďže tieto so zväčšujúcimi sa hodnotami priemerov narastajú. Z toho vyplýva že pomery medzi priermi a dĺžkami príslušných častí musia byť čo najmenšie.

Z grafu 6, kde sme redukovali priemery na bázu d_{bs2} vyplýva, že chyba narastá so znižujúcim sa priemerom d_{bs1} . Chyba zároveň narastá s narastajúcim priemerom d_{bs3} , avšak tento aspekt nie je štatisticky významný. Chyba, ktorej sa dopustíme je však už pri malých rozdieloch priemerov relatívne veľká, a to rádovo v desiatkach percent, v závislosti od jednotlivých hodnôt geometrických parametrov. Z grafu 7, kde bola vykonávaná redukcia priemerov na bázu d_{bs3} dostávame závislosť, že chyba narastá pri znižovaní priemeru d_{bs1} a zväčšovaní priemeru d_{bs3} . Pri tejto redukcii sa obdobne ako pri redukcii na bázu d_{bs2} dopúšťame chýb rádovo v desiatkach až tisícoch percent.

Z grafov 8, 9 a 10 vyplýva, že pri redukcii priemerov na bázu d_{bs1} chyba so znižovaním dĺžky l_{bs1} narastá, tak isto aj pri zväčšovaní dĺžky l_{bs3} , avšak nie významne. Pri redukcii na priemer d_{bs2} prípadne d_{bs3} sa chyba znižuje s klesajúcou dĺžkou l_{bs1} a vzrastajúcou dĺžkou l_{bs3} . Znova platí obdobné pravidlo, ako pri výsledkoch z grafov 5, 6 a 7. Redukovaním priemerov na bázu d_{bs1} sa dopúšťame chýb rádovo v jednotkách percent, pričom redukovaním na bázu d_{bs2} , či d_{bs3} je to rádovo v stovkách až tisícoch percent.

Ďalším faktom, ktorý sme zaznamenali, sú samotné hodnoty priebehov. Pri redukcii priemerov na bázu d_{bs1} je vypočítaný priebeh vždy menší, ako priebeh vypočítaný analytickým výpočtom. Redukovaním na bázy d_{bs2} a d_{bs3} je vypočítaný priebeh väčší. U prvého prípadu (náhrada na d_{bs1}) môže nastať stav poddimenzovaný, u druhého a tretieho prípadu stav predimenzovaný.

Na základe predošlého môžeme zaviesť nasledovnú podmienku, ktorej splnením sa môžeme vyvarovať chybám. Z výsledkov teda vyplýva, že redukcia odstupňovaného hriadeľa na priemer d_{bs2} a d_{bs3} nie je pre praktické použitie vhodná. V praxi len ťažko nájdeme hriadeľ, ktorého rozmerové parametre spĺňujú podmienku veľmi minimálneho rozdielu medzi priermi, čo si redukcie na bázy d_{bs2} a d_{bs3} bezpodmienečne vyžadujú. Pri redukcii na bázu d_{bs1} sa dopúšťame najmenších chýb a v niektorých prípadoch teoreticky aj akceptovateľných. Najmenšie chyby dosiahneme, ak budú rozdiely medzi priermi čo najväčšie, alebo čo najmenšie, pričom dĺžka l_{bs1} by mala byť omnoho dlhšia ako dĺžka l_{bs2} .

5 ZÁVER

Ako sme v tomto článku preukázali, metóda redukcie odstupňovaného hriadeľa je pri nesprávne zvolenom postupe nevhodná pre výpočet deformácií nosníkov a obdobných prvkov. V článku sme podrobili rozboru odstupňovaný hriadeľ, ktorý pozostával z piatich polí a obsahoval tri rozličné priemery a dĺžky. Vereščinovou metódou sme vypočítali priehyb vo vopred určenom mieste na koncoch hriadeľa, pričom sme túto metódu položili za základ správneho výsledku. Túto teóriu sme porovnávali prostredníctvom výpočtového softvéru PTC Creo Simulate, kde sme simulovali jednotlivé varianty hriadeľa. Vzniknuté chyby medzi numerickým a analytickým výpočtom sú v hraniciach tolerancie 5% a súvisia s výpočtovým algoritmom samotného softvéru. Ako vyplýva z predchádzajúceho textu, podarilo sa nám dokázať nevhodnosť metódy redukcie priemerov, pokiaľ neredukujeme na najmenší priemer, a to z dôvodu chýb prekračujúcich 5%, ktorých sa zvolenou metódou dopustíme. V prípade redukcie priemerov na báze väčších priemerov sa už pri malých rozdieloch medzi priermi dopúšťame relatívne veľkých chýb, v prípade rozdielu 1 mm je to chyba rádovo v desiatkach percent a ďalej stúpa. Chyby nenastanú jedine v prípade hriadeľa s priemerom konštantným po celej jeho dĺžke, pri ktorom však nie je potrebné metódu redukcie priemerov vykonávať. Jediným vhodným variantom je teda redukcia na bázu najmenšieho priemeru. Tu sme sa v jednotlivých prípadoch dopustili chyby nie väčšej ako 9 %. Ak však chceme chyby minimalizovať, je potrebné stanoviť podmienky, pri ktorých je toto kritérium splnené. Na základe predchádzajúceho textu a výsledkov zobrazených na grafoch môžeme vysloviť hypotézu, že redukcia priemerov je vhodná pre hriadeľ, kde sú rozdiely medzi jednotlivými priermi významne veľké a dĺžka vyčnievajúceho konca je omnoho väčšia ako dĺžka časti pod ložiskom.

V súčasnej dobe využívania metódy konečných prvkov a obzvlášť výpočtovej techniky, ustupujú klasické analytické metódy výpočtu deformácie do úzadia. Vzhľadom na túto skutočnosť sa s touto metódou nestretávame často, respektíve existujú iné ručné metódy, ktoré sú svojim charakterom jednoduchšie, alebo rýchlejšie pre výpočet. Existuje len málo literárnych zdrojov, ktoré o tejto metóde pojednávajú, preto nebolo možné naše vyhodnotenie porovnať s inými autormi. Považujeme však za dôležité upozorniť na obmedzené podmienky jej použitia, aby pri navrhovaní nedošlo k prípadným závažným chybám, ktoré by mali negatívny dopad na bezpečnosť a spoľahlivosť konštrukcie.

LITERATÚRA

- DOGHRI, I.: 2000. Mechanics of deformable solids linear, nonlinear, analytical and computational aspects. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2000, 579 s. ISBN 978-3-642-08629-8.
- CHILDS, P. R. N.: 2004. Mechanical design. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004, 358 s. ISBN 978-0-7506-5771-5.
- MÁLIK, L. a kol.: 2009. Konštruovanie II. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2009, 510 s. ISBN 978-80-807-0971-6.
- MINÁRIK, M., TUHÁRSKA, Z.: 2013. Statika v slovenčine a nemčine. Banská Bystrica: Univerzita Mateja Bela, 2012, 133 s. ISBN 978-80-557-0406-7.

- RAMESH, R., MANNAN, M. A., POO, A. N.: 2000. Error compensation in machine tools – a review. International journal of machine tools and manufacture, 2000, vol. 40, 9, 1235-1256 s. ISSN 0890-6955. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0890695500000092>
- SEKEREŠ, J., MIKLEŠ, M., TURIS, J.: 2011. Základy konštruovanie. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2011, 200 s. ISBN 978-80-228-2235-0.
- SHIGLEY, J. E., MISCHKE, Ch. R., BUDYNAS, R. G.: 2004. Mechanical engineering design. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2004, 1030 s. ISBN 978-0-072-52036-1.

Kontaktná adresa:

Ing. Stanislav Kotšmíd
Ing. Ján Marienčík, PhD.
doc. Ing. Pavel Beňo, PhD.
Ing. Marián Minárik, PhD.
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
Študentská 26, SK – 960 53 Zvolen
e-mail: xkotsmid@tuzvo.sk, jan.mariencik@tuzvo.sk, pavel.beno@tuzvo.sk, minarik@tuzvo.sk,

MERANIE KVALITY WI-FI SIETE PRE BEZDRÔTOVÉ RIADENIE MODELOV A PROCESOV

MEASURING QUALITY WIFI NETWORK FOR WIRELESS CONTROL MODELS AND PROCESSES

Romuald MOZDÍK – Ľubomír NAŠČÁK

ABSTRACT: The article deals with the implementation of wireless control of an experimental model and analysis of the quality of the transmitted and received signal. Part of the article is a brief theory of operation principle of the wireless network and its distribution according to international standards. The main part of the article is devoted to the selected experimental model control by means of various wireless devices that have different quality depending on surrounding conditions. The range of received signal was measured at free space and through the wall, whereas these parameters have the greatest impact on the quality, radius of wireless control and values of signal delay.

Keywords: signal, WiFi, ping, dBm, packet router, smartphone

ABSTRAKT: Článok sa zaoberá realizáciou bezdrôtového riadenia experimentálneho modelu a analýzou kvality vysielaného a prijímaného signálu. Súčasťou práce je stručná teória o princípe fungovania bezdrôtovej siete WiFi a rozdelenie podľa normy. Hlavná časť práce sa venuje riadeniu vybraného experimentálneho modelu prostredníctvom rôznych bezdrôtových zariadení, ktoré majú rozdielnú kvalitu v závislosti od okolitých podmienok. Meraný bol dosah prijímaného signálu na voľnom priestranstve a cez stenu, nakoľko tieto parametre majú najväčší vplyv na kvalitu, dosah bezdrôtového riadenia a hodnoty dopravného oneskorenia systému.

Kľúčové slová: signál, WiFi, ping, dBm, paket, router, smartfón

1 ÚVOD

V súčasnosti je stále aktuálnejšia téma bezdrôtových technológií nielen pre domácnosti a verejnosť, ale aj priemyselný sektor. Bezdrôtové technológie ponúkajú výhody oproti klasickým káblovým spojeniam hneď v niekoľkých príkladoch. Umožňujú vybudovať LAN bez káblov a znížiť tým náklady na vytvorenie siete, kompaktnosť pri zmene miesta pripojenia, široko dostupné produkty rôznych značiek, jednotná norma, environmentálny vplyv a pod. Medzi základné nevýhody patrí bezpečnosť šifrovania a obmedzený dosah, ktorý sa líši v závislosti od použitých zariadení a okolitých podmienok. Z hľadiska diagnostiky bezdrôtových sietí je dôležité poznať hodnoty intenzity vysielaného

signálu a doby odozvy medzi serverom s klientom. Ak sú hodnoty dostatočne priaznivé, je možné zabezpečiť takú kvalitu prenosu, ktorá zodpovedá kvalite klasických káblových spojení. V našom prípade sme merali intenzitu signálu a dobu odozvy bezdrôtovej siete Wi-Fi na rôznych zariadeniach.

2 BEZDRÔTOVÁ SIEŤ WI-FI

Wi-Fi je súbor štandardov pre bezdrôtové lokálne siete LAN (WLAN) v súčasnosti založených na špecifikácii IEEE 802.11 (Tab.1). Wi-Fi bolo navrhnuté pre bezdrôtové zariadenia a lokálne siete, ale dnes sa často používa na pripojenie k internetu. Umožňuje osobe so zariadením s bezdrôtovým adaptérom (PC, notebook, smartphone) pripojenie k serveru v blízkosti prístupového bodu (*access point*). Fyzická oblasť pokrytá jedným alebo niekoľkými prístupovými bodmi sa nazýva *hotspot*. (Hanus, 2003)

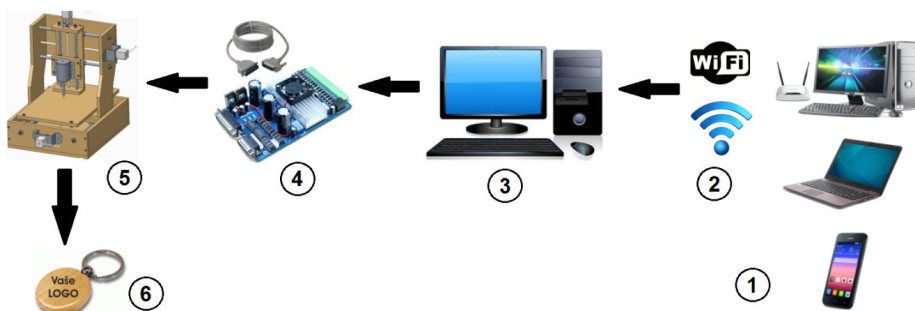
Typická Wi-Fi sieť obsahuje jeden alebo viac prístupových bodov a jedného alebo viacerých klientov. AP vysielajú svoj SSID (Service Set Identifier – sieťové meno) prostredníctvom paketov, ktoré sú vysielané väčšinou každých 100 ms rýchlosťou 1 Mbps (najnižšia rýchlosť Wi-Fi). To zaručuje, že klient prijímajúci signál z AP, môže komunikovať rýchlosťou aspoň 1 Mbps. Na základe nastavení (napr. podľa SSID) sa klient môže rozhodnúť, či sa k AP pripojí. Ak sú napr. v dosahu klienta dva prístupové body s rovnakým SSID, klient sa podľa intenzity signálu môže rozhodnúť, ku ktorému AP sa pripojí. Wi-Fi štandard ponecháva pripojovacie kritériá a roaming úplne na klienta. V budúcnosti budú bezdrôtové adaptéry viac riadené operačným systémom. Hoci sa Wi-Fi prenáša vzduchom, má rovnaké vlastnosti ako neprepínaný ethernet. Dokonca sa môžu objaviť aj kolízie podobne ako v neprepínaných ethernetových sieťach. 802.11 používa ako metódu prístupu na médium povinne DCF. (Zandl, 2003)

Tab. 1 Prehľad Wi-Fi štandardov IEEE 802.11

Štandard	Rok vydania	Pásmo [GHz]	Maximálna rýchlosť [Mbps]	Fyzická vrstva
IEEE 802.11	1997	2,4	2	DSSS
IEEE 802.11a	1999	5	54	OFDM
IEEE 802.11b	1999	2,4	11	DSSS
IEEE 802.11g	2003	2,4	54	OFDM
IEEE 802.11n	2009	2,4 alebo 5	600	DM
IEEE 802.11y	2008	3,7	54	
IEEE 802.11ac	2013	5	1000	DM
IEEE 802.11ad	2014	2,4,5 a 60	7000	

3 MODEL A METÓDY

Na analýzu kvality prenosu bolo použité meranie odozvy a intenzity signálu bezdrôtovej siete. Pre demonštráciu bola zvolená experimentálna CNC gravírovacia frézovačka, ktorej ovládanie je realizované pomocou VPN protokolu. Na Obr.1 sa nachádza bloková schéma bezdrôtového ovládania modelu, ktorý je riadený z personálneho počítača priamo cez paralelný LPT port (Centronics). Riadiaci PC je možné ovládať pomocou nástroja na vzdialenú správu prostredníctvom Wi-Fi siete. Operátor prostredníctvom PC a routra, notebooku alebo smartfónu (Obr.1_1) vytvorí lokálnu sieť Wi-Fi (Obr.1_2) cez ktorú sa spojí s riadiacim PC pomocou protokolu VPN. Riadený PC je spojený s krokovými motormi pomocou riadiacej dosky TB6560 (Obr.1_4). CNC frézovačka (Obr.1_5) gravíruje tvary vo formáte 2D (Obr.1_6) alebo 3D do rôznych materiálov (drevo, plast, hliník, oceľ).



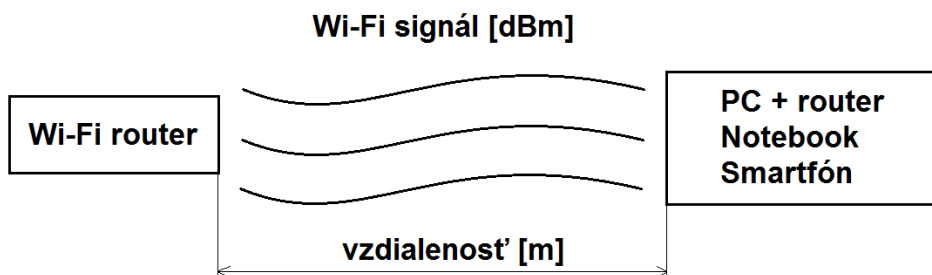
Obrázok 1 Bloková schéma bezdrôtového riadenia CNC gravírovacej frézovačky

Meranie bolo realizované na tomto modeli za účelom zistenia dosahu siete, pri ktorom ešte bolo možné realizovať riadenia a zabezpečiť požadovanú úroveň regulácie základných veličín. Na porovnanie boli zvolené tri zariadenia, ktoré dokážu vytvoriť bezdrôtovú sieť. Prvým zariadením je klasicky používaná zostava personálneho počítača s pripojeným širokopásmovým routrom TP-LINK WR-741ND (2010), notebook ASUS K55N a smartfón Huawei Y550. Úlohou bolo zistiť, ktoré zariadenie dosahuje najlepšie výsledky z hľadiska dosahu vytvorenej siete a tiež kvalitu prenosu, ktorej ukazovateľom je doba odozvy – *ping*.

4 MERANIE KVALITY SIGNÁLU

Táto časť sa venuje meraniu signálu a odozvy na laboratórnom modeli experimentálnej CNC gravírovacej frézovačky. Model je spojený s riadiacim PC prostredníctvom vytvorenej Wi-Fi siete na routery. Každá bezdrôtová sieť má však iba obmedzený dosah na kvalitu a rýchlosť prenosu, z ktorej vyplývajú rôzne faktory, ako napr. fyzická prekážka (dvere, stena, tienidlo), vlhkosť vzduchu, prítomnosť silných elektromagnetických polí (od servomotorov) a pod. Úlohou tohto merania je zistiť, aká vzdialenosť je ešte po-

užiteľná pre riadenie laboratórnych modelov. Na Obr.2 môžeme vidieť blokovú schému merania intenzity signálu (dBm) a doby odozvy (ms). Wi-Fi router s vytvorenou sieťou sa inštaluje na referenčné miesto a sleduje sa hodnota signálu a odozvy v rôznych vzdialenostiach po 10m až do úplného výpadku signálu a prerušení spojenia.



Obrázok 2 Bloková schéma merania signálu a odozvy

Podmienky merania:

- prostredie voľné a s prekážkou (stena)
- vlhkosť vzduchu 52 %
- teplota okolia 18 °C
- použitý router TP-LINK WR-741ND
- použité programy cmd, ping, inSSIDer Office

4.1 Meranie doby odozvy – ping

Program *ping* (*Packet InterNet Groper*) umožňuje preveriť funkčnosť spojenia medzi dvoma sieťovými rozhraniami (počítača, sieťového zariadenia) v počítačovej sieti, ktorá používa rodinu protokolov TCP/IP. Ping pri svojej činnosti periodicky odosiela IP datagramy a očakáva odozvu protistrany (zariadenia). Pri úspešnom obdržaní odpovede vypíše dĺžku odozvy (latencie) a na záver štatistický súhrn. Trvanie odozvy meria v milisekundách.

Služba *ping* sa spustí cez príkaz *cmd* (*command*) a napíše sa v tvare:

ping (IP Adresa) -t > C:\ping_stena_30m.txt. Prípona „-t“ nám určuje prerušenie merania stlačením klávesovej skratky CTRL + C a *ping* sa ukladá do textového súboru.

Príklad výpisu zo služby ping:

Pinging 192.168.0.1 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.0.1: bytes=32 time=2ms TTL=64

Ping statistics for 192.168.0.1:

Packets: Sent = 38, Received = 38, Lost = 0 (0% loss)

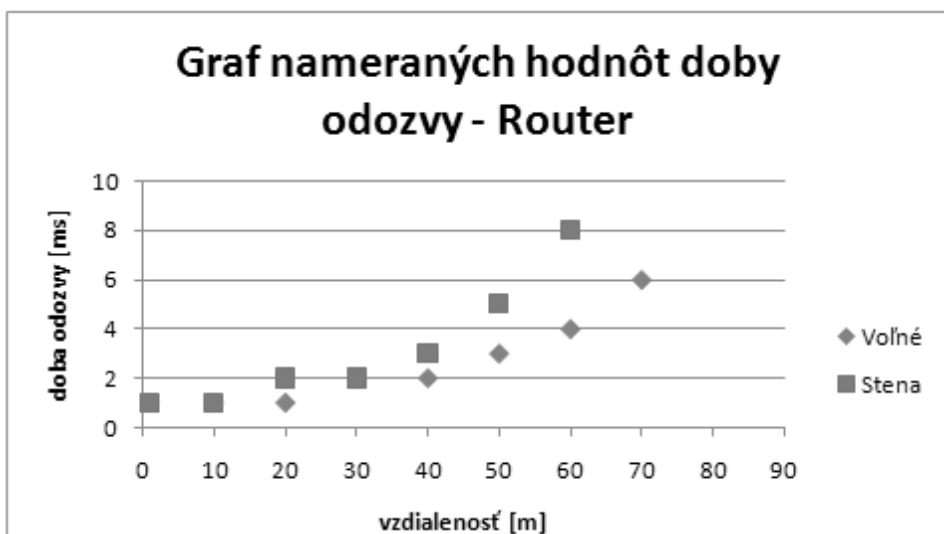
Approximate round trip times in milli-seconds:

Minimum = 2ms, Maximum = 4ms, Average = 3ms

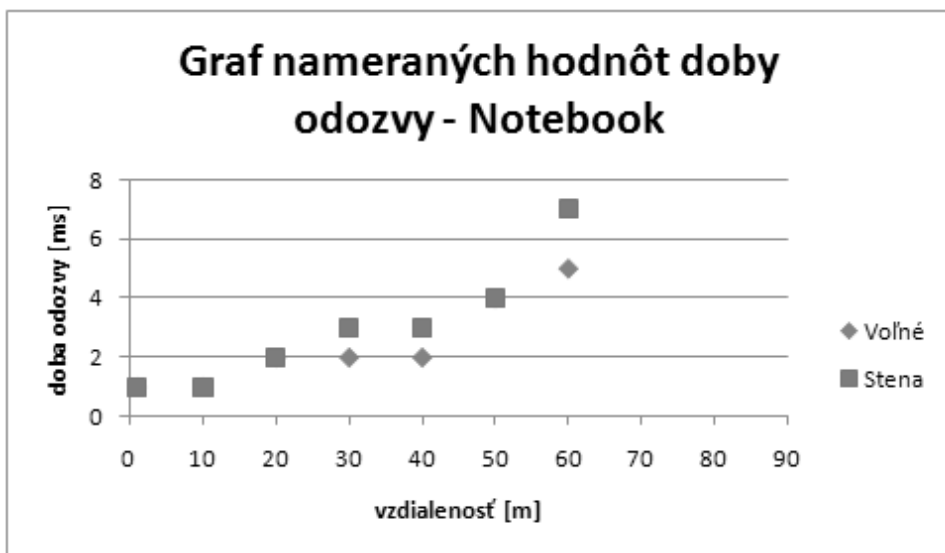
Tab. 2 Tabuľka nameraných hodnôt doby odozvy

Vzdialenosť [m]	Doba odozvy [ms]					
	Router		Notebook		Smartpón	
	Voľné	Stena	Voľné	Stena	Voľné	Stena
1	1	1	1	1	1	1
10	1	1	1	1	1	1
20	1	2	2	2	1	2
30	2	2	2	3	2	2
40	2	3	2	3	2	2
50	3	5	4	4	3	4
60	4	8	5	7	3	5
70	6				5	
80						

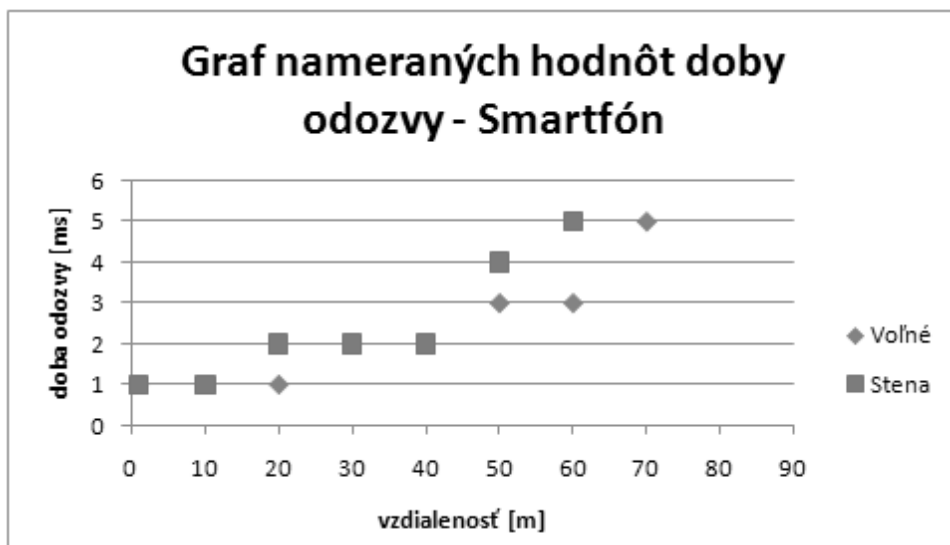
Z uvedeného príkladu môžeme vidieť, že priemerná hodnota odozvy pri meraní cez stenu vo vzdialenosti 40 m bola iba 3 ms, čo sa pokladá za dobrý výsledok. Rovnakým spôsobom boli namerané všetky hodnoty odozvy, ktoré sú uvedené v Tab.2. Výsledky merania boli spracované do grafov (Obr.3, Obr.4 a Obr.5) a vyhodnotené v kapitole záver.



Obrázok 3 Graf nameraných hodnôt doby odozvy – Router



Obrázok 4 Graf nameraných hodnôt doby odozvy – Notebook



Obrázok 5 Graf nameraných hodnôt doby odozvy – Smartfón

4.2 Meranie intenzity signálu

Na meranie intenzity signálu sa používa jednotka dBm (decibel na miliwatt). dBm (dBmW) je skratka pre jednotku pomeru v decibeloch (dB) meranej sily vzťahujúcej sa

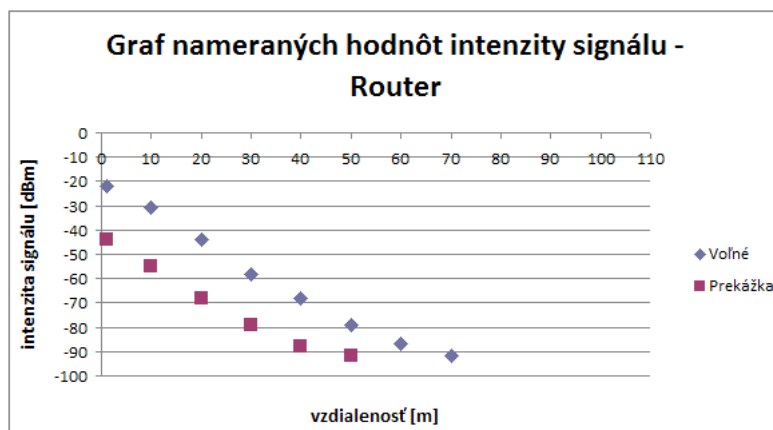
k jednotke mW. Používa sa v rozhlasových, mikrovlnných a optických sieťach ako výhodné vyjadrenie absolútneho výkonu, pretože dokáže vyjadriť veľmi veľké aj veľmi malé hodnoty v skrátenej forme. Vzhľadom k tomu, že sa odvoláva na watt, je to absolútna jednotka používa sa pri meraní absolútneho výkonu (vyžarovania, signálu, atď.). (Adámek, 2006)

Pre porovnanie, decibel (dB) je bezrozmerná jednotka, ktorá sa používa pre kvantifikáciu pomeru medzi dvoma hodnotami, ktorými je pomer signálu k šumu. V súčasnosti existuje mnoho aplikácií a programov, ktoré sú schopné sledovať, aké Wi-Fi siete sa nachádzajú v okolí, aký majú vysielač kanál, či sa navzájom nerušia a aký majú signál. Na meranie intenzity signálu použijeme freeware inSSIDer Office.

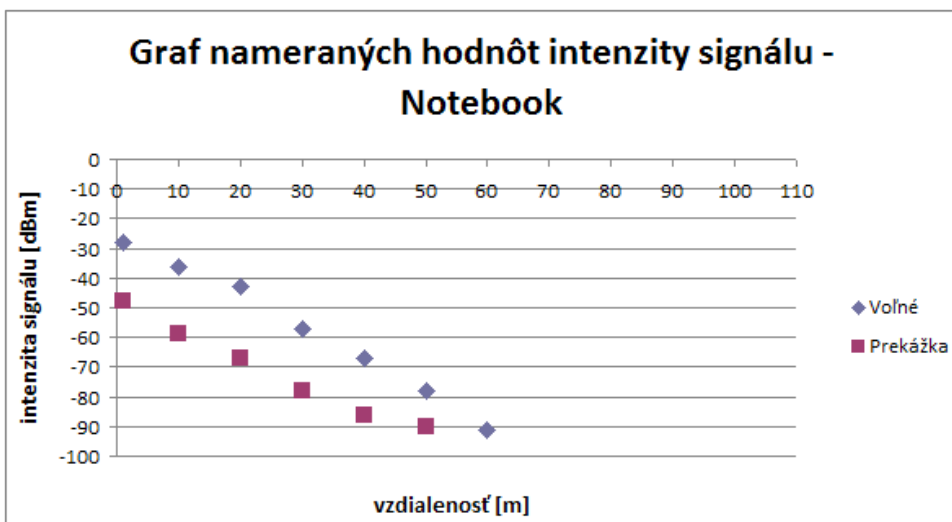
Podmienky merania boli rovnaké, ako pri meraní doby odozvy a to meranie na voľnom priestore a meranie cez prekážku (dvere). Namerané hodnoty sa nachádzajú v Tab.2. Výsledky merania boli spracované do grafov (Obr.6, Obr.7 a Obr.8) a vyhodnotené v závere

Tab. 3 Tabuľka nameraných hodnôt intenzity signálu

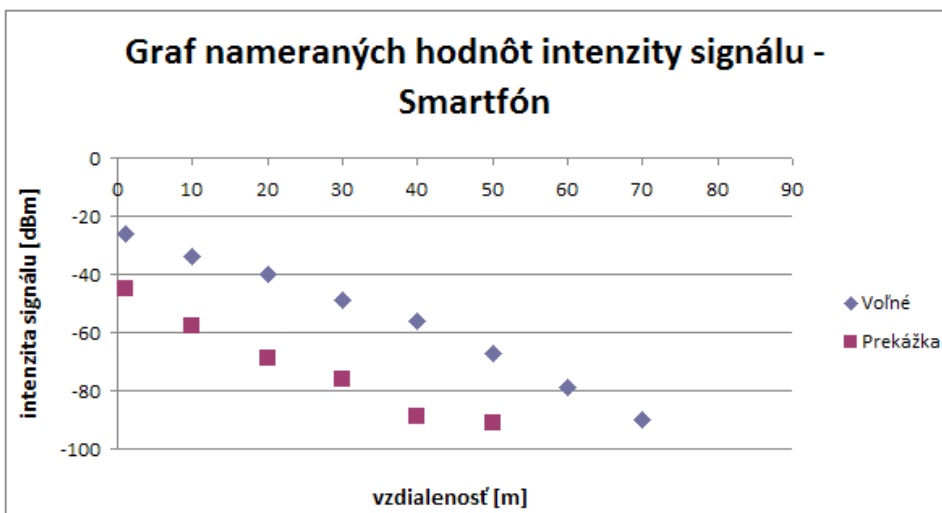
Vzdialenosť [m]	Intenzita signálu [dBm]					
	Router		Notebook		Smartpón	
	Voľné	Stena	Voľné	Stena	Voľné	Stena
1	-22	-44	-28	-48	-26	-45
10	-31	-55	-36	-59	-34	-58
20	-44	-68	-43	-67	-40	-69
30	-58	-79	-57	-78	-49	-76
40	-68	-88	-67	-86	-56	-89
50	-79	-92	-78	-90	-67	-91
60	-87		-91		-79	
70	-92				-90	
80						



Obrázok 6 Graf nameraných hodnôt intenzity signálu – Router



Obrázok 7 Graf nameraných hodnôt intenzity signálu – Notebook



Obrázok 8 Graf nameraných hodnôt intenzity signálu – Smartfón

5 ZÁVER

Cieľom práce bolo zhodnotiť vplyv vzdialenosti a použitého zariadenia na kvalitu bezdrôtového riadenia vybraných modelov a procesov. Pre náš prípad bol použitý model experimentálnej CNC gravírovacej frézovačky, ktorá bola riadená pomocou personálneho počítača s pripojeným routrom, notebookom a smartfónom.

Pri meraní odozvy na zariadení PC s pripojeným routrom na otvorenom priestore boli dosiahnuté hodnoty ping-u od 1ms vo vzdialenosti 1m až 20m po hraničnú hodnotu výpadku spojenia 6ms vo vzdialenosti 70m. Nad 70m už došlo k strateniu vysielaných paketov a tým sa prerušilo spojenie. Môžeme teda prehlásiť, že maximálna vzdialenosť, na ktorú je možné ovládať model na otvorenom priestore pri použití Wi-Fi routra TP-LINK741ND je maximálne 70 metrov. Pri meraní cez prekážku, ktorou bola stena (s hrúbkou 75mm), boli namerané hodnoty od 1ms vo vzdialenosti do 10m, cez 5ms vo vzdialenosti 50m, kde už dochádzalo k výpadkom spojenia až po trvalé prerušenie vo vzdialenosti 60m s hodnotou odozvy 8ms. Notebook vykazoval v meraní horšie výsledky, pretože neposkytuje tak kvalitné vysielanie ako anténa routra. Najnižšie časy odozvy boli dosiahnuté so zariadením Huawei Y550, kde nastali výpadky pri 70m s hodnotou 5ms na voľnom priestranstve a 60m s hodnotou 5ms cez prekážku. Moderné smartfóny disponujú kvalitnými anténami, ktoré sú v súčasnosti výkonnejšie ako staršie routre alebo sieťové karty notebookov.

Môžeme povedať, že zo zvyšujúcou sa vzdialenosťou sa zvyšuje aj doba odozvy systému, čo má za následok vznik tzv. dopravného oneskorenia. Dopravné oneskorenie sa prejavuje tým, že daný systém reaguje na zmenu vstupnej veličiny až po určitej dobe.

V našom prípade sa táto doba skladá z času vyslania, času prenosu a času spracovania u konečného prijímača. Nami meraná odozva (*ping*) je vlastne dvojnásobkom času prenosu, pretože čas odozvy sa skladá z času vyslania a času prijatia (paket sa odrazí od prijímača). Nulové dopravné oneskorenie sa dá dosiahnuť iba teoreticky. V skutočnosti sa v prípade nízkeho dopravného oneskorenia jeho vplyv zanedbáva. Pri riadení veľmi rýchlych dejov (regulácia dynamických procesov) je použitie rádiovkej komunikácie na riadenie nevhodné, pretože aj relatívne nízke časy dopravného oneskorenia (1 – 5ms) nám môžu spôsobiť nepresnosť v riadení a dosiahnuté dopravné oneskorenie nám spôsobuje „spomalenie“ systému.

Pri meraní intenzity signálu zariadení PC s pripojeným routrom na otvorenom priestore boli dosiahnuté hodnoty od -22 dBm vo vzdialenosti 1m až po hraničnú hodnotu vzdialenosti 70m, kedy bola hodnota signálu už len -92 dBm a po prekročení tejto vzdialenosti došlo k prerušeniu spojenia. Môžeme teda prehlásiť, že maximálna vzdialenosť, na ktorú je možné ovládať model na otvorenom priestore pri použití Wi-Fi routra TP-LINK741ND je maximálne 70 metrov. Pri meraní cez prekážku boli hodnoty od -44 dBm vo vzdialenosti 1m až po -92 dBm pri 50m, kde došlo k výpadku signálu.

Notebook poskytuje takmer rovnaké výsledky, ako router s rozdielom niekoľko dBm. Najlepšiu kvalitu signálu na vzdialenosť mal smartfón, ktorý na voľnom priestranstve aj vo vzdialenosti 50m a 60m vysielal -67 dBm a -79 dBm, čo je viac, ako router, ktorý v rovnakých vzdialenostiach vysielal -79 dBm a -87 dBm. Týmto môžeme povedať, že staršie routre je možné nahradiť vysokovýkonnými smartfónmi so zabudovanou anténou, ale iba v prípade priamej viditeľnosti. Veľkou nevýhodou je, že nedokážu spracovávať viac vysielaných a prijímaných signálov v porovnaní s routrom, ktorý dokáže fungovať aj ako switch pre viacerých užívateľov.

LITERATÚRA

- ZANDL, P. 2003. *Bezdrátové síte WiFi*. Praha: Computer Press, 2003. 204 s. ISBN 80-7226-63-22
- HANUS, S. 2003. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. Praha: RadioMobil a.s., 2003. 134 s. ISBN 80-214-1833-8
- ADÁMEK, J. 2006. *Bezdrátový přenos dat* : diplomová práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006. 103 s.
- CHUDÝ, V., PALENČÁR, R. 1999: *Meranie technických veličín*. STU Bratislava, Bratislava, 1999. ISBN 80-227-1275-2
- HORST, J. 2004. *Informační a telekomunikační technika*. Praha, BEN, 2004. ISBN 80-86706-08-7.
- TP-LINK. 2013. *TP-LINK WR-741ND – manual* [online]. China: Shenzhen, 2013. 106 s. [cit. 3.2.2015]. Dostupné na internete: <http://www.tp-link.com/Resources/document/TL-WR740N_741ND_User_Guide.pdf>

Kontaktná adresa

Ing. Romuald Mozdík
Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
Študentská 26, 96053 Zvolen
Email: romuald.mozdik@gmail.com

doc. Ing. Ľubomír Naščák, CSc.
Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky
Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky
Technická univerzita vo Zvolene
Študentská 26, 96053 Zvolen
Email: lubomir.nascak@tuzvo.sk

MOŽNOSTI VYUŽITIA ROBOTICKÝCH STAVEBNÍC V PEDAGOGIKE A VO VEDECKO- VÝSKUMNEJ ČINNOSTI FEVT

ROBOTICS KITS APPLICATION POSSIBILITIES IN PEDAGOGIC AND SCIENCE-RESEARCH ACTIVITIES OF FEVT

Elena PIVARČIOVÁ – Tibor CSONGRÁDY

ABSTRACT: The paper describes the most used Lego Mindstorms worker robotic kits application possibilities at present, in education process and research. The Lego Mindstorms education kit is proper as a educational tool and motivation means for students. Students can try the basics of creative engineering and research work by more specific problematic disciplines including tasks solving and they can get deeper in the informatics, the automation, the mechatronics and the robotics areas. The kit, considering its equipment, can offer various possibilities of research, i.e. in the robotics, signals processing and real time scanners data evaluation areas, as well as a space orientation and trajectories optimalization.

Key words: robot, Lego Mindstorms, educational kit, programming

ABSTRAKT: Príspevok popisuje možnosti využitia v súčasnosti najviac rozšírených robotických stavebníc Lego Mindstorms, vo vyučovacom procese a vo výskume. Edukačná stavebnica Lego Mindstorms je vhodná ako výukový nástroj a motivačný prostriedok pre študentov. Riešením konkrétnych problémových úloh, zahŕňajúcich problematiku niekoľkých disciplín, si študenti vyskúšajú podstatu tvorivej inžinierskej a výskumnej práce a preniknú hlbšie do odborov informatiky, automatizácie, mechatroniky a robotiky. Stavebnica, vzhľadom na vybavenie, ponúka rôzne možnosti výskumu, napr. v oblasti robotiky, spracovania signálov a vyhodnocovania údajov zo snímačov v reálnom čase, či orientácie v priestore a optimalizácie trajektórií.

Kľúčové slová: robot, Lego Mindstorms, edukačná stavebnica, programovanie

1 ÚVOD

Robotické systémy v súčasnosti predstavujú nielen jednu z najvýznamnejších oblastí inovácie výrobných liniek a výrobných systémov, ale dostávajú sa aj do ďalších oblastí nášho života, napr. prieskum neprístupných, alebo zdraviu škodlivých priestorov, vyko-

návanie operačných či iných činností v medicíne, funkčná náhrada poškodených orgánov v ľudskom tele, alebo ako pomôcky pre vykonávanie rutinných prác vo výrobe, alebo v bežnom živote.

Mobilná robotika a autonómne systémy sú aj predmetom záujmu osnôv inžinierskych odborov, pretože majú stále väčší význam v popredných výskumných a priemyselných trendoch.

Implementácia a najmä využívanie školských robotických stavebníc vo vyučovacom procese zahŕňa procesy aktívneho uplatnenia inžinierskej analýzy problémov, návrhu dizajnu, konštrukcie, programovania a testovania vlastných riešení. Interaktívny prístup podporuje motiváciu študentov, ochotu skúmať a objavovať, ako aj formulovať hypotézy a riešenia na základe rozvoja vlastných schopností a rozširovania možností. Aktivita v rámci edukačnej robotiky rozvíja kompetencie potrebné pre osvojenie si princípov a návrhu konštrukcie, ako aj následnej stavby funkčného robota, používaniu senzorov, zberu a interpretácii experimentálnych dát, porozumeniu princípom pohybu objektov, plánovaniu, testovaniu, vyhodnocovaniu a odstraňovaniu chýb v riešeníach.

Pre moderné vyučovanie robotiky, algoritmickej a programovania je vhodné zaviesť samostatný vyučovací predmet „Programovanie robotov“, ktorý bude motivovať študentov, vzbudí záujem o robotiku, algoritmickej a programovanie, rozvinie schopnosti potrebné pre vývojovú a výskumnú prácu a aktívnu skupinovú spoluprácu. Cieľom predmetu je vzbudiť záujem o odbor, o jeho hlavné myšlienky a motivovať študentov, aby sa pýtali a tešili na ďalšie štúdium (Hlinovský, 2015). Predmet zároveň umožní zvýšiť odbornosť a flexibilitu študentov spojením medzipredmetových vzťahov medzi teoretickými a odbornými technickými disciplínami. Študenti si prakticky vyskúšajú podstatu tvorivej inžinierskej a výskumnej práce. Získaná motivácia pomôže študentom lepšie spracovať náročné teoretické (matematické) a odborné (technické) problémy aj v ďalších odborných disciplínach.

Použitím robotov LEGO Mindstorms majú študenti možnosť preniknúť do základov rozhodovania a plánovania, spracovávať správanie robota v rôznych situáciách a využívať prvky umelej inteligencie. Môžu ovládať robota v reálnom čase, vyskúšať paralelné spracovanie náročnejších úloh, či nechať komunikovať a spolupracovať viac robotov naraz.

Interaktívnosť výukového procesu a s ňou spojené „učenie hrou“, kedy študenti ihneď môžu vidieť výsledok svojej práce, ich vedie k aktívnemu zapájaniu sa do riešenia danej problematiky a teda aj k jej rýchlejšiemu pochopeniu. Prípadné chyby sa jednoducho odstraňujú (ladia), pretože vo väčšine prípadov ihneď vidieť, kde nastal problém.

Predpokladáme, že edukačná robotika v pedagogickom procese umožní študentom zapojiť predstavivosť, analytické aj syntetické myslenie, rozvíjať tvorivý prístup k problému, hľadanie vlastného a originálneho riešenia problémov rôznej náročnosti.

Vzájomná spolupráca študentov v skupinách vedie pri práci na spoločných projektoch k rozvoju komunikácie a rozvíjaniu nových pracovných postupov.

Cieľom je navrhnúť model modernej výučby interaktívneho a systematického programovania s využitím mobilných robotov, ich vstupno-výstupných zariadení, využitím bez-

drôtovej komunikácie, zdieľania informácií pomocou sietí využitím bežne používaných inteligentných komunikačných prostriedkov (smartfón, tablet ...) a súčasne vzbudiť záujem o robotiku, ale aj o algoritmizáciu a programovanie.

Stavebnice LEGO Mindstorms vo vyučovaní sa využívajú napr. na Univerzite Komenského v Bratislave (Kabátova, 2010), ČVUT Fakulta elektrotechnická (Hlinovský, 2015), ČVUT Fakulta Strojní (Jura, 2014).

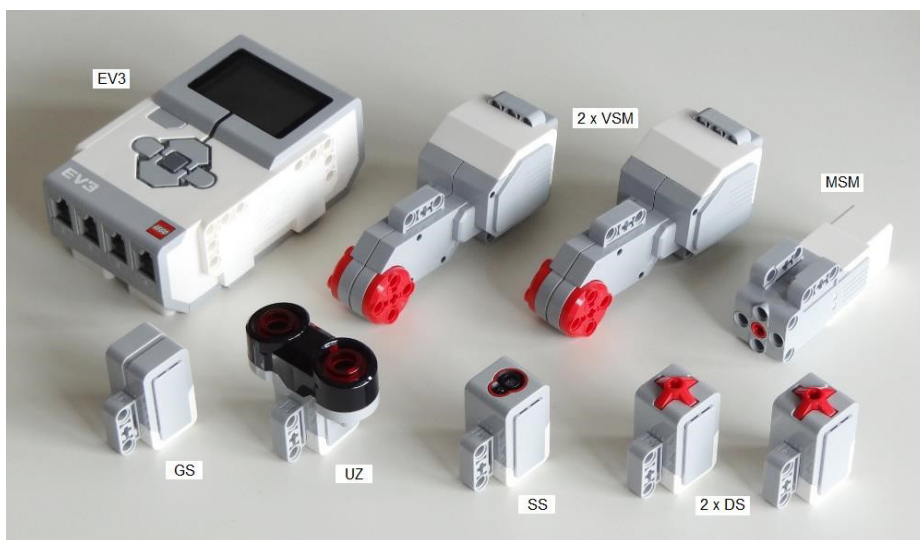
Robotická stavebnica je vhodná nielen na výučbu, ale aj pre vývoj a výskum v oblasti teórie riadenia, nasadenia robotických systémov do výrobných procesov a pritom ponúka široké možnosti testovania existujúcich a vývoj nových algoritmov riadenia.

2. STAVEBNICA LEGO MINDSTORMS EV3

Stavebnica LEGO Mindstorms EV3 (Obrázok 1) kombinuje programovateľnú „inteligentnú kocku“ so vstupnými senzormi, výstupnými akčnými prvkami, komunikačným prostredím a programovým softvérom. Jadro robota predstavuje inteligentná kocka s mikroprocesorom ARM 9 (Harvardskej architektúry) na báze operačného systému Linux, so 64 MB RAM a 16 MB Flash pamäťou, s čítačom Mini SDHC karty až do 32 GB pre rozšírenie pamäte, so štyrmi vstupnými bránami pre zber dát do 1000 vzoriek za sekundu, so štyrmi výstupnými portmi pre realizáciu príkazov, s možnosťou komunikácie cez rozhranie USB, WiFi a Bluetooth a s vysoko kvalitným zvukovým výstupom. V základnej zostave pre vstup informácií sa dodávajú dotykové, zvukové, ultrazvukové a svetelné senzory, ako výstupné prvky interaktívne servomotory (so zabudovanými rotačnými senzormi) a grafický programový softvér. Základnú zostavu je možné rozšíriť ďalšími špeciálnymi senzormi, pneumatickými prvkami alebo doplnkami využívajúcimi obnoviteľné zdroje energie a pod.

Vytipovaná stavebnica LEGO Mindstorms EV3 reprezentuje najnovšiu generáciu robotov LEGO. Existuje komerčné, hračkové LEGO určené pre domácnosti a LEGO Education určené pre vzdelávanie. Takto sú tieto dva produkty odlišované vývojom a výrobou dánskej spoločnosti LEGO Group. Široký rozsah použitia LEGO Mindstorms umožňuje realizáciu relatívne veľkých a z inžinierskeho hľadiska významných projektov. Vďaka množstvu dostupných dielcov je možné postaviť modely rôznych zariadení, od jednoduchých vozidiel, cez manipulátory až po roboty a komplexné výrobné linky.

Stavebnica, vzhľadom na vybavenie, ponúka rôzne možnosti výskumu, napr. v oblasti robotiky, spracovania signálov a vyhodnocovania údajov zo snímačov v reálnom čase, či orientácie v priestore a optimalizácie pohybových trajektórií.



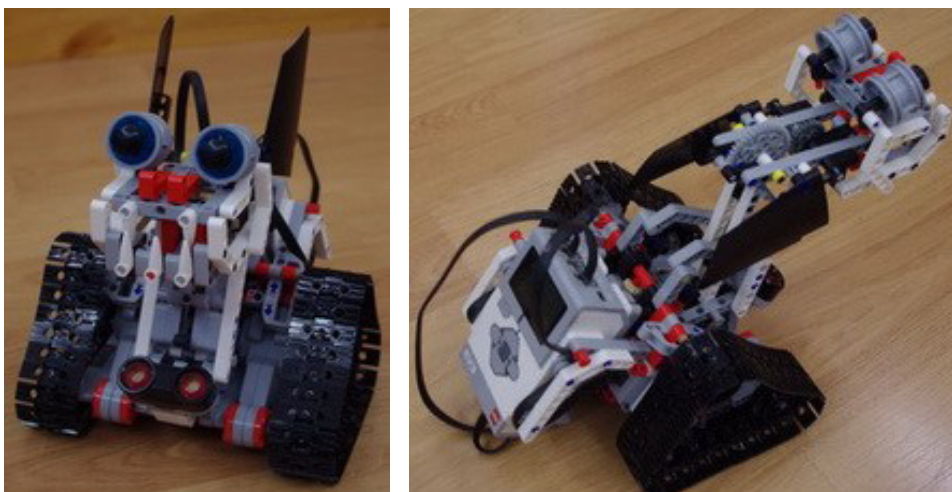
Obrázok 1 LEGO Mindstorms EV3 Education – štandardné vybavenie
 EV3 – inteligentná EV3 kocka, VSM – 2 veľké servomotory, MSM – malý servomotor,
 GS – gyroskopický senzor, UZ – ultrazvukový senzor s červeným LED, SS – svetelný senzor,
 DS – 2 dotykové senzory (Laurens, 2013)

3 UKÁŽKOVÝ EXPERIMENT – APLIKÁCIA

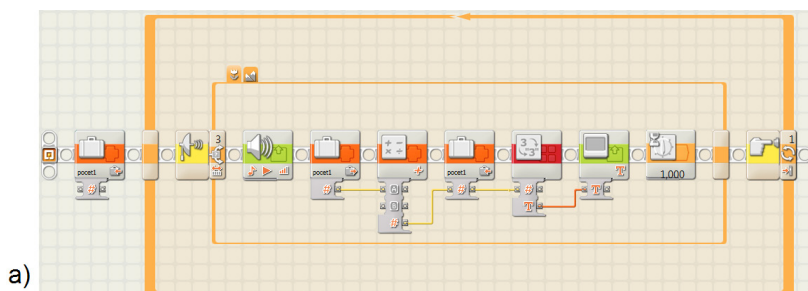
Nasledujúca konštrukcia a softvér je ukážkou možností využitia stavebnice Lego Mindstorms. Aplikácia zisťuje počet prechodov pred ultrazvukovým senzorom. Táto aplikácia má využitie napr. pri sledovaní počtu automobilov cez rampu (príp. po úprave pomocou dvoch ultrazvukových senzorov zistí, či nejaký automobil neostal v areáli), pri sledovaní počtu osôb, ktoré vošli napr. do objektu: napr. možnosť sledovať, koľko návštevníkov obchodu realizovalo nákup, koľko osôb je momentálne v objekte, v dopravnom prostriedku a pod.

Keďže stavebnicu chceme využívať aj pre výskumné účely, považujeme za najvhodnejšie prostredie C++ Mindstorms SDK – API knižnica VPBrick, vývojové prostredie BricxCC, príp. MATLAB-Simulink s knižnicou od spoločnosti MathWorks alebo prostredie LabVIEW, ktoré sa vo vyšších modifikáciách využíva v priemyslových aplikáciách (automatizácia, simulácia, meranie) a vo výučbe na vysokých školách.

Edukačné stavebnice podporujú tvorivosť. Výsledkom môžu byť rôzne konštrukčné riešenia robotov a rôzne programy, pričom všetky riešenia môžu byť originálne a správne. Na Obrázku 3 sú ukážky rôznych riešení úlohy v grafickom prostredí a v prostredí BricxCC.



Obrázok 2 Konštrukčné riešenie robota



b)

```
#define NEAR 100

task main()
{
    SetSensor(IN_1,SENSOR_TOUCH);
    SetSensorLowspeed(IN_3);
    int pocet1 = 0;
    while(SENSOR_1==false)
    {
        if (SensorUS(IN_3)<NEAR)
        {
            pocet1=pocet1+1;
            NumOut(5,5,pocet1);
            wait(800);
        }
    }
}
```

Obrázok 3 Rôzne spôsoby programového riešenia úlohy
a) v grafickom prostredí NXT-G
b) v prostredí BricxCC

4 ZÁVER

Pri riešení komplexného problému tvorby robotického modelu obsahujúceho konštrukciu, návrh a programovanie, študenti využijú a rozvíjajú odborné vedomosti, znalosti a schopnosti ako i hlbšie porozumenie medzipredmetovým súvislostiam. Použitie programovateľných stavebníc robotov LEGO Mindstorms, ktoré sú pre svoju variabilitu, mnohotvárnosť a modifikovateľnosť v súčasnosti najviac rozšírené robotické stavebnice na školách všetkých typov, umožní študentom už v procese vzdelávania získať praktické skúsenosti so stavbou a programovaním robotov, ktoré využijú počas ďalšieho štúdia a v praxi pri navrhovaní a tvorbe zložitých výrobných uzlov a liniek, využitím moderných technológií automatizácie a robotizácie. Tým aktívne prispievajú ku zvýšeniu efektivity a spoľahlivosti výrobných procesov a tým aj k zlepšeniu ekonomických ukazovateľov. Pre študentov je významné získanie vyššieho kreditu na trhu práce.

Predpokladáme, že takýto študijný predmet prispeje k motivácii študentov, vzbudí záujem o robotiku, algoritmizáciu a programovanie, umožní rozvíjať schopnosti potrebné pre konštrukčnú, vývojovú a výskumnú prácu a aktívnu skupinovú spoluprácu.

Predmet zvýši odbornosť a flexibilitu študentov spojením medzipredmetových vzťahov niekoľkých disciplín (informatika, automatizácia, mechatronika, robotika, konštrukcia strojov a zariadení, matematika, fyzika, mechanika, elektronika, riadenie, programovanie, spracovanie obrazov a signálov, neurónové siete, umelá inteligencia, ...) a ich ohodnotenie na trhu práce. Študenti si vyskúšajú princípy tvorivej inžinierskej a výskumnej práce. Získaná motivácia pomôže študentom lepšie spracovať náročné matematické a odborné problémy aj v iných odborných disciplínach. Robotika sa môže stať vhodným východiskom na rozvíjanie vedeckého myslenia študentov.

Zároveň je možné tieto stavebnice využívať pre vedecko-výskumné účely pre učiteľov aj pre študentov pri príprave semestrálnych, bakalárskych a diplomových prác.

LITERATÚRA

- HLINOVSKÝ, M.: 2015. *Předmět Roboti*. Praha: České Vysoké Učení Technické v Praze. 2010–2015. Dostupné on-line: <http://www.robosoutez.cz>
- KABÁTOVÁ, M.: 2010. *Konštrukcionistický prístup vo vyučovaní robotiky v príprave budúcich učiteľov*. Dizertačná Práca. Univerzita Komenského v Bratislave, 2010
- JURA, J.: 2014. *Úvod do řízení robotů*. České Vysoké Učení Technické v Praze. 2014
- LAURENS: 2013. *The Difference Between Lego Mindstorms EV3 Home Edition and Lego Mindstorms Education EV3*. 2013. Dostupné on-line: <http://robotsquare.com/2013/11/25/difference-between-ev3-home-edition-and-education-ev3/>

Kontaktná adresa

doc. Mgr. Elena Pivarčiová, PhD.

Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky, Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky, Technická univerzita vo Zvolene, pivarciova@tuzvo.sk

Ing. Tibor Csongrády, CSc.
cst.0608@gmail.com

MOŽNOSTI A VYUŽITIE MIKROZDROJOV ENERGIE

OPTIONS AND UTILIZATION MICRO SOURCES OF ENERGY

Nadežda PONDUŠOVÁ – Ľubomír NAŠČÁK

ABSTRACT

The most common use of renewable energy is water, wind and solar energy. Compared with primary sources the important fact is they have practical availability and environmental saving. The article deals with the possibilities of using micro-sources of electrical energy using water, wind and solar energy.

Key words: micro-sources, water energy, wind energy, solar energy

ABSTRAKT

Najčastejšie využívanými obnoviteľnými zdrojmi energie je vodná, veterná a slnečná energia. V porovnaní s primárnymi zdrojmi je dôležitá ich praktická dostupnosť a šetrnosť k životnému prostrediu. Článok sa zaoberá možnosťami využitia mikrozdrojov elektrickej energie, využívajúcich vodnú, veternú a slnečnú energiu.

Kľúčové slová: mikrozdroje, vodná energia, veterná energia, slnečná energia

1. ÚVOD

Obnoviteľné zdroje energie v dnešnej dobe majú čoraz väčší význam. Je to následok ubúdania súčasných hlavných prírodných zdrojov a následne rast cien a kladenie dôrazu na životné prostredie. Do popredia sa dostávajú tzv. mikrozdroje elektrickej energie, využívajúce vodnú, veternú a slnečnú energiu. Spôsobov, ako vyrábať elektrickú alebo tepelnú energiu z obnoviteľných zdrojov, je viac.

Vodná energia, ako aj väčšina ďalších obnoviteľných zdrojov energie vzniká v dôsledku slnečnej aktivity, ktorá napomáha odparovaniu z morí, oceánov a vodných plôch, následne tvorbe vodnej pary, oblakov a nakoniec spätnému návratu na zemský povrch vo forme zrážok, čím sa vytvára uzavretý kolobeh vody (vodný cyklus). Energia, ktorá je zahrnutá vo vodnom cykle je obrovská, avšak jej využitie je zložité. Napriek tomu, že existuje viacero spôsobov ako využívať energiu vody, najrozšírenejšia je výroba elektriny vo vodných elektrárnach. Výhodou tejto výroby je, že je to obnoviteľný energetický zdroj

nespôsobilujúci emisie škodlivín do ovzdušia a navyše je možné ho využiť na okamžité pokrytie spotreby t.j. v čase kedy to je potrebné. Nevýhodou sú však vysoké investičné náklady na výstavbu a tiež aj negatívne dopady na okolité životné prostredie, hlavne v prípade veľkých vodných diel.

Veterná energia je forma slnečného žiarenia, ktorá vzniká v dôsledku nerovnomerného ohrievania zemského povrchu. Asi 1 až 2 % slnečnej energie sa premení na energiu vetra. Voda tvorí až 71 % povrchu našej planéty. Ak sa pohybuje v toku a má dostatočný spád, prípadne ak je naakumulované množstvo vody v istom systéme, stáva sa veľmi zaujímavým potenciálnym zdrojom energie. Aj keď vietor ako primárny zdroj energie je zadarmo a je takmer všadeprítomný, ekonomicky výhodne ho možno využiť iba obmedzene v lokalitách s vhodnými poveternostnými charakteristikami.

Elektrickú energiu je možné priamo vyrábať zo slnečného žiarenia napr. pomocou tzv. slnečných (fotovoltaiických) článkov. Nepriamo sa dá slnečná energia využívať, či už vo forme biomasy (rastliny využívajú slnečné žiarenie prostredníctvom fotosyntézy na svoj rast).

Zo všetkých týchto zdrojov je možné vyrábať elektrickú energiu a to pri použití v súčasnosti dostupných technológií.

2. VYUŽITIE MIKROZDROJOV ENERGIE

2.1 Voda ako zdroj energie

Energiu z vody je možné získať premenou jej prúdenia t.j. pohybovej alebo kinetickej energie, tlaku (potenciálnej alebo tlakovej energie) alebo oboch týchto energií súčasne vo vhodnom úseku vodného toku najprv na mechanickú prácu a potom na elektrickú energiu. Kinetická energia je daná rýchlosťou prúdenia vodných tokov, pričom rýchlosť vody závisí od spádu toku. V minulosti kinetickú energiu premieňali vodné kolesá na mechanickú prácu, dnes sa v turbínach typu Bánki a Pelton mení na elektrickú energiu. Potenciálna energia vzniká v dôsledku gravitácie a závisí od výškového rozdielu hladín. Využíva sa pomocou turbín typu Kaplan, Francis, Reiffenstein a rôznych typov vrtulových turbín a čerpadiel v turbínovej prevádzke. Vo vodných elektrárnach sa využíva predovšetkým potenciálna energia, kde voda dopadajúca na lopatky turbíny vytvára točivý moment, ktorý roztáča hriadeľ a tým aj rotorovú časť generátora.

Z fyzikálneho hľadiska je pri využití energie vody rozhodujúci predovšetkým prietok Q , t.j. množstvo/objem vody, ktorý pretečie daným profilom za jednotku času (m^3/s) a vertikálna výška spádu vody H (m), vyjadrujúceho tlak padajúcej vody. Spád pritom môže byť prirodzený, daný sklonitosťou reliéfu resp. môže byť umelo vytvorený (prehradením). V prípade nízkeho spádu (t.j. do 3 metrov, spády pod 0,6 metra sú väčšinou nepoužiteľné) sú tak potrebné vyššie prietoky, čo sa následne prejavuje v potrebe väčších a výkonnejších a teda aj investične náročnejších vodných turbín. Obe uvedené veličiny (t.j. prietok a výška spádu) zohrávajú najdôležitejšiu úlohu pri stanovení hydroenergetického potenciálu danej lokality. Pre výpočet výkonu potom platí nasledujúci vzorec:

$$P = Q \cdot H \cdot \rho \cdot g \quad (1.1)$$

kde:

P – výkon vodného toku [W]

Q – prietok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

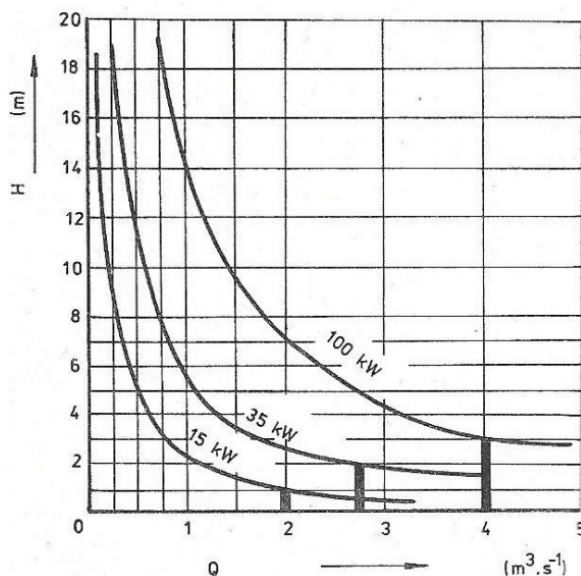
H – výška spádu [m]

ρ – hustota vody [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

g – gravitačné zrýchlenie [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

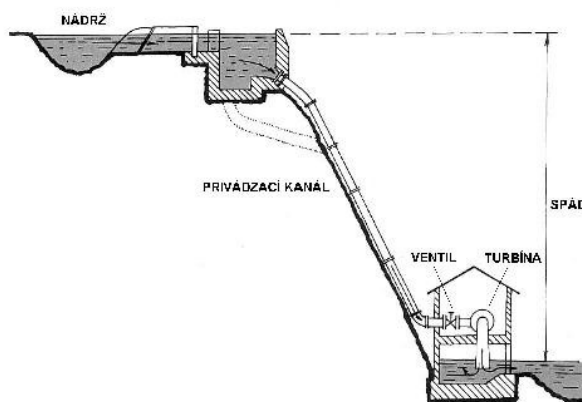
Za environmentálne prijateľné zdroje sa pokladajú vodné elektrárne s menším inštalovaným výkonom (malé vodné elektrárne) do 10 MW. Vodné elektrárne s výkonom do 100kW patria medzi výkonovo najmenšie elektrárne. Do tejto oblasti patria priemyselné vodné mikroelettrárne s výkonom nad 60kW, závodné (družstevné) vodné mikroelettrárne s výkonom nad 35 kW, domáce (občianske) vodné mikroelettrárne (občianske mikrozdroje) s výkonom do 35 kW. V tomto prípade inštalovaných výkonov môže ísť aj o priame mechanické (neelektrické) využitie vodnej energie napr. na čerpanie vody. A mobilné zdroje (občianske mikrozdroje) s výkonom do 2 kW, ktoré možno inštalovať podľa potreby v rozličných vhodných lokalitách. (Kminiak, 1990).

Vodné mikroelettrárne (VME) sú charakteristické tým, že ich výstavba a prevádzka zvyčajne nie je spojená s negatívnymi dopadmi na životné prostredie. Podobne ako veľké vodné elektrárne aj VME sa vyznačujú vysokou účinnosťou využitia vodnej energie. Navyše majú výhodu v tom, že sú tzv. decentralizovaným zdrojom energie. Tým že ich je možné inštalovať v odľahlých oblastiach, poskytujú možnosti rozvoja a často aj energetickej sebestačnosti hlavne na vidieku.



Obrázok 1 Krivky konštantných výkonov vodných mikroelettrární v závislosti od spádu a prietoku (Kminiak, 1990)

Vo svete pracuje mnoho tisíc takýchto zariadení, ktoré majú za sebou niekoľko desaťročí vývoja. V prepočte na jednotku výkonu sú VME však v porovnaní s veľkými o niečo drahšie. Mnohé z nich sú tzv. prietokové t.j. nemajú žiaden rezervoár (voda nie je skladovaná za priehradou) a vyrábajú elektrickú energiu len vtedy keď je vody dostatok. Vo veľkej väčšine prípadov nie sú mikroelektrárne pripojené na verejnú elektrickú sieť. Sú využívané v samostatných objektoch, kde sa elektrina často používa na dobíjanie batérií, z ktorých sa čerpá v prípade potreby. V prípade dostatku energie vyrobenej mikroelektrárnou je možné použiť menič, na zmenu jednosmerného prúdu vyrábaného VME na striedavý, ktorý využíva väčšina bežných elektrospotrebičov. Meranie spádu vody pre mikroelektrárne VME sa vyznačuje veľkou konštrukčnou rôznorodosťou, ktorá zohľadňuje miestne podmienky ako sú spád a prietok vody.



Obrázok 2 Vodná mikroelektrárňa s vysokým spádom

VME, kde je použitý vysoký spád sú bežné v horských oblastiach a keďže na dosiahnutie daného výkonu potrebujú menšie prietoky vody ako VME s malým spádom, sú zvyčajne aj lacnejšie. Riziká spojené s prevádzkou VME sú omnoho nižšie ako v prípade veľkej vodnej elektrárne (pretrhnutie priehrady), nie sú potrebné ani vysoké bezpečnostné opatrenia pri stavbe a použití jednoduchých technológií. Hoci potreby údržby sú nízke, VME si zvyčajne vyžadujú viac pozornosti ako napr. slnečné články alebo veterné elektrárne. Súvisí to hlavne s odstraňovaním nečistôt a pravidelnou údržbou alebo výmenou ložísk turbíny.

Mikroturbíny sú zariadenia s výkonom menším ako 1 000 W. Sú schopné zabezpečiť energiu pre jednu domácnosť vybavenú energeticky úspornými spotrebičmi. Mikroturbíny sa umiestňujú v lokalitách, kde je buď malý spád (do 2 m) alebo nedostatočný prietok vody (do 20 l/s). Využívajú sa v spojení so sadou batérií, ktoré sa dobíjajú elektrickou energiou vyrobenou v turbíne. Môžu mať veľkosť prenosného kufríka vybaveného alternátorom produkujúcim striedavý prúd. Jedným z možných riešení býva vodná mikroelektrárňa využívajúca časť vodného toku privádzanú do zásobníka vody, ktorým môže byť napr. 200 litrový sud. Sud funguje ako usadzovacia nádrž filtrujúca vodné nečistoty. Voda

zo suda je k turbíne privádzaná potrubím s priemerom 5 až 10 cm a po vypustení z turbíny býva odvádzaná späť do vodného toku. Dôležitý je presný výpočet dĺžky a priemeru potrubia, lebo práve tam dochádza k najväčším stratám energie. Použitie dlhých potrubí s malým priemerom v dôsledku zvýšeného trenia zbytočne znižuje výkon zariadenia. Investície do kvalitného potrubia a turbíny sú efektívnejšie než investície do kvalitných batérii. Mikroturbíny sa dodávajú v dvoch prevedeniach. Jedno využíva alternátor podobný zariadeniu v automobiloch, druhé využíva permanentný magnet. Zariadenia s alternátorom sú vhodné pre väčšie systémy (100 až 1000 W), kým permanentné magnety sa používajú pre systémy menšie ako 80 W.



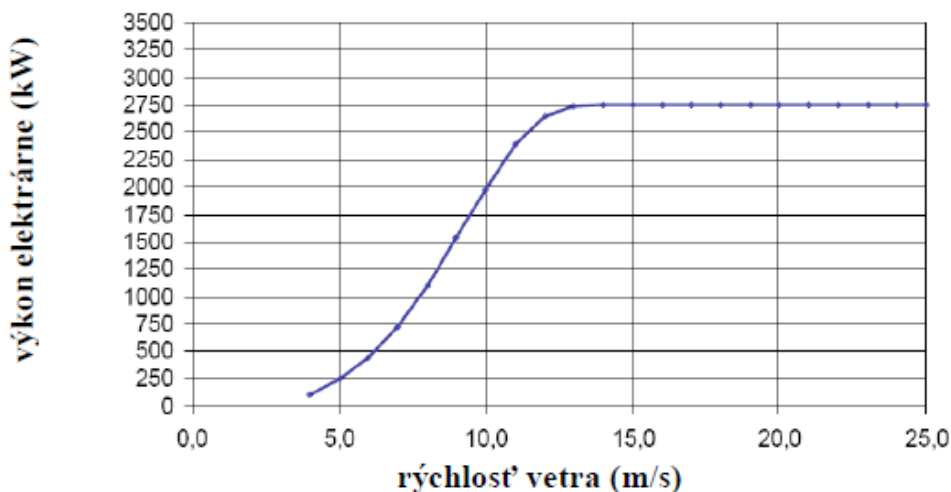
Obrázok 3 Mikroturbína Setur

Energia vyrábaná vodnými mikroelektrárnami, jednoduchými malými turbínami môže byť dodávaná do verejnej rozvodnej siete alebo iba pre vlastnú spotrebu (vykurovanie objektov, ohrev teplej úžitkovej vody, osvetlenie), prípadne môžu byť dodávané do verejnej siete len prebytky energie. Tieto mikrozdroje môžu ďalej slúžiť ako autonómne zdroje bez väzby na verejnú rozvodnú sieť (tzv. ostrovný režim).

2.2 Veterná energia

Vietor sa oddávna používa ako zdroj energie. Veterné elektrárne využívajú energiu prúdenia vzduchu na výrobu elektriny. Systém funguje tak, že vietor roztáča trojlístovú vrtuľu, ktorá prenáša pohybovú energiu do generátora. Tým sa premieňa na elektrickú energiu. Potenciál veternej energie je veľmi veľký. Vhodnými miestami na využitie veternej energie sú také územia, kde je priemerná ročná rýchlosť vetra vo výške merania 60 metrov minimálne 6,0 m/s. Vhodné oblasti pre inštalovanie veterných elektrární ležia v horských oblastiach a na nížinách. Pri navrhovaní turbín je potrebné zistiť koľko energie

potrebujeme a aká je priemerná rýchlosť vetra v danom mieste vo výške rotora turbíny. Veterné turbíny kriticky závisia na polohe a dostatku vetra. Bežne sa umiestňujú na kopcoch a miestach vyčnievajúcich nad okolitým terénom, v smere prevládajúcich vetrov s minimom prekážok v jej okolí.



Obrázok 4 Graf závislosti výkonu veternej turbíny VESTAS V100 od rýchlosti vetra

Výkon turbíny nie je priamoúmerne závislý od rýchlosti prúdenia vetra. Pri $3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ začína turbína vyrábať elektrickú energiu, ale len desatiny kW. Optimálna rýchlosť je $12 - 23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Čím vyššie je turbína na stožiar umiestnená, tým viac energie vyrába. Najväčším problémom pri využívaní energie z vetra je jeho nestabilný výkon. Výkon kolíše vďaka prudkým zmenám rýchlosti a smeru prúdenia vzduchu. Energii prúdenia vypočítame podľa nasledujúceho vzorca:

$$E_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (1.2)$$

E_v – energia vetra [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$]

ρ – hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

v – rýchlosť vetra [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Podľa menovitého (inštalovaného) výkonu rozdeľujeme mikrozdroje veternej energie na mikrozdroje slúžiace k nabíjaniu batérii s rozsahom výkonov $50 - 1500 \text{ W}$ a mikrozdroje s výkonom $2 - 10 \text{ kW}$ (Ježik, 2000).

Mikrozdroje majú priemer vrtúl od $0,5$ do 3 m a sú určené takmer výhradne pre dobíjanie batérii. Sú to malé turbíny, ktoré používali pre nabíjanie batérii jednosmerné dynamá. Sú jednoduchej konštrukcie a pracujú bez obsluhy. Účinnosť energetickej premeny je 25 až 30% . Pracujú obyčajne s jednosmerným napätím $12 - 24 \text{ V}$.

Mikrozdroje vyššej kategórie sú určené pre prácu v ostrovnej prevádzke. Priemer vrtúl býva od 3,5 do 8 m. Pri použití k nabíjaniu batérii turbíny týchto veľkostí narážajú na problém, že napätie 12 V je pre prenos takýchto výkonov už malé. Preto sú ponúkané s výstupným napätím 48 až 220 V. Práve z týchto dôvodov sú takéto turbíny ponúkané aj ako zdroj tepla na vykurovanie, prikurovanie alebo ohrev teplej vody.

Všeobecne platí, že malé veterné elektrárne do 1 kW dodávajú energiu do batérií, väčšie elektrárne nad 2 kW môžu dodávať elektrinu priamo do siete. Veterné elektrárne radu 450 a 750 W vyrábajú energiu ktorá sa uskladňuje do batérií, odkiaľ sa potom ďalej využíva. Sú ideálne na použitie v záhradkách, viniciach, a samotách kde nie je elektrina, rovnako sú vhodné ako záložné zdroje. Vyrábajú sa v prevedení 12, 24 a 48V. Veterná elektráreň o výkone 2,5 kW slúži na výrobu 220 V/50Hz, s možnosťou dodávky priamo do siete – odpredaj, alebo zapojením do domáceho okruhu.

V porovnaní s klasickými elektrárnami je inštalácia veterných turbín jednoduchá a je možné ich v relatívne krátkej dobe postaviť a pripojiť do verejnej siete. Technicky jednoduchý spôsob priamej premeny energie vetra na elektrickú energiu je veľkou výhodou veternej energie na rozdiel napríklad od energie biomasy. Využívanie veternej energie neprodukuje žiadne odpady, neznečisťuje ovzdušie a nemá negatívny vplyv na zdravie ľudí. Vietor ako primárny zdroj energie je zadarmo. Pri budovaní veternej turbíny sa zastavia minimálna plocha, po skončení jej prevádzky sa dá ľahko zlikvidovať bez stôp v krajine, energetická náročnosť vybudovania elektrárne je v porovnaní s inými technológiami veľmi nízka, najmä ak sú turbíny vyrobené priamo v krajine, kde sú inštalované.

Nevýhodou využívania veternej energie je, že výkon turbíny je ovplyvnený intenzitou vetra, elektrárne vplývajú na okolitú krajinu – vtáctvo, netopiere, rastliny tým, že narušajú ich prirodzené biotopy; napríklad zasahujú do oblastí, cez ktoré migrujú vtáky. Veterná energia má malú koncentráciu – treba výstavbu mnohých turbín.

2.3 Slnecná energia

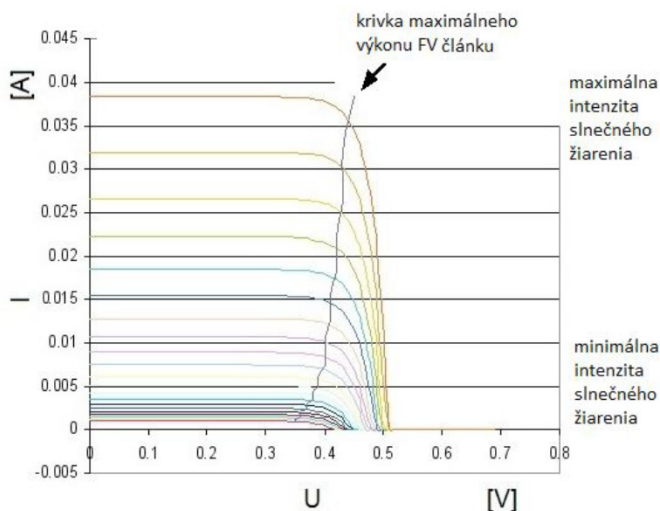
Slnecná energia je z energetického hľadiska mimoriadne zaujímavým zdrojom energie.

Fotovoltaická elektráreň je zariadenie určené na výrobu elektrickej energie zo slnečnej energie. Skladá sa z niekoľkých navzájom súvisiacich komponentov. Fotovoltaické panely sú súčasťou, ktoré zaberajú najväčší priestor a skladajú sa zo sériovo-paralelne pospájaných fotovoltaických článkov. Fotovoltaické panely vyrábajú jednosmerný prúd a napätie, ktoré je závislé od počtu článkov, ktoré sú pospájané, od intenzity dopadajúceho slnečného žiarenia, prevádzkovej teploty a starnutia článkov. Dnes najrozšírenejšie panely sú s výkonomi 150 až 200 W. Fotovoltaický článok s veľkosťou 100 cm² je schopný pri 10 % účinnosti pri jasnom počasí vyrobiť 1 W elektrickej energie (Bedi, 1993).

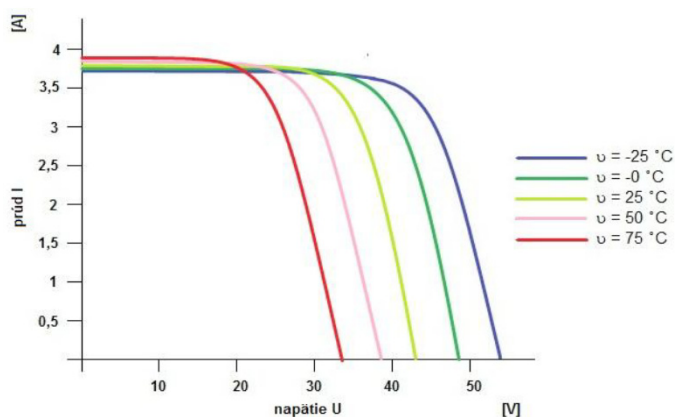
Fotovoltaické články su vyrábané z rôznych materiálov, napríklad z teluridu kadmátového, ale najviac používaným materiálom na ich výrobu je kremík (monokryštalický, polykryštalický alebo amorfný).

Najväčší vplyv na výkon fotovoltaického článku má intenzita slnečného žiarenia. Táto skutočnosť je daná fyzikálnou podstatou premeny dopadajúceho svetelného žiarenia

na elektrickú energiu. Svetlom sa uvoľňujú elektróny pre vedenie elektrického prúdu. Čím väčšia intenzita ožiarenia, tým väčší generovaný prúd.



Obrázok 5 Závislosť napätia a prúdu FV článku od intenzity slnečného žiarenia



Obrázok 6 Závislosť napätia a prúdu FV panelu od teploty

Jednoduchým riešením pre vlastnú výrobu elektrickej energie bez akýchkoľvek dodávok do distribučnej siete je fotovoltaická mikroelektrárň. Jej základ tvorí fotovoltaický panel a mikromenič, ktorý prevádza získaný výkon z panela na sieťové napätie, ktoré je pripravené k okamžitému využitiu v spotrebičoch. Energia vyrábaná mikromeničom sa spotrebováva prednostne. Maximálny dodaný výkon mikromeniča je 195 W, 240 W.

3. ZÁVER

Pre výrobu elektrickej energie je výhodné využívať dostupné, obnoviteľné a relatívne nevyčerpatelne zdroje.

Energiu z vody je možné premeniť na kinetickú energiu a následne na mechanickú prácu a z nej získať elektrickú energiu. Veľké vodné diela zasahujú veľkou mierou do životného prostredia. Z tohto dôvodu sú malé vodné elektrárne lepším riešením. Riešením pre domácnosť môže byť vodná mikroelektrárňa ako doplnkový alebo aj primárny zdroj energie. Využitie má význam na chatách v blízkosti potoka, v domácnostiach na pohon rôznych zariadení alebo môže plne nahradiť energiu zo siete, pri zapojení v ostrovnej prevádzke.

Princíp vetranej elektrárne spočíva v premene pohybovej energie vetra, ktorá otáča lopatkami rotora na energiu mechanickú. Tá je potom prenášaná do generátora, kde sa mení na energiu elektrickú. Malé veterné elektrárne do 1kW dodávajú energiu do batérií, väčšie elektrárne nad 2 kW môžu dodávať elektrinu priamo do siete. Rentabilita a efektívnosť vetrných elektrární veľmi závisí od poveternostných podmienok a členitosti terénu. Na rozdiel od solárnych článkov, ktoré nemajú žiadne pohyblivé časti, mechanické časti vetrných turbín kladú veľké nároky na ich konštrukciu a kvalitu použitých materiálov.

Solárne fotovoltaičné panely vyrábajú elektrinu zo slnečnej energie. Fotovoltaičné panely vyrábajú jednosmerný prúd a napätie, ktoré je závislé od počtu článkov, od intenzity dopadajúceho slnečného žiarenia, prevádzkovej teploty a starnutia článkov. Je možné umiestniť na rôzne miesta, väčšinou sa využívajú strechy rodinných domov.

Vzhľadom na rastúcu spotrebu elektrickej energie, využívanie týchto mikrozdrojov energie má stále väčší význam.

CONCLUSION

For the production of electrical energy available, renewable and relatively inexhaustible resources are preferred to use.

Water energy can be converted to kinetic energy and then to mechanical work and so obtain electricity. Large water works extend to a great extent into the environment. For this reason, small power stations are better solution. The solution for a household can be a small power station as additional or primary source of energy. It can be used in cottages near the stream, at home to power various devices or can fully replace energy from the electricity network, when it is operated on the island.

The principle of wind power is to turn the kinetic energy of wind, which rotates the rotor blades to mechanical energy. This is then transmitted to the generator, where it is converted into electrical energy. Small wind turbines up to 1kW power supply batteries, power stations greater than 2kW can supply the grid. Profitability and efficiency of wind turbines is highly dependent on weather conditions and articulation of the terrain. In contrast to the solar cells, which do not have moving parts, mechanical parts of wind turbines, have a great challenge for the design and quality of the materials.

Solar photovoltaic panels generate electricity from solar energy. Photovoltaic panels produce direct current and voltage, which is dependent on the number of cells, the intensity of the incident solar radiation, operating temperature and aging of cells. They can be placed at different locations, mostly roofs of houses are used.

With regard to the increasing electricity consumption, the use of these micro-sources of energy is becoming increasingly important.

LITERATÚRA

- BEDI, E. 1993. Obnoviteľne zdroje energie . Energia bez konca. Bratislava: Slovenský zväz ochrancov prírody a krajiny, Fond pre alternatívne energie, 1993, 96 s. ISBN 80-85453-13-4
- HALIGH, A., ONAR, O.: Energy harvesting: solar, wind, and ocean energy conversion systems. CRC press, 2009.
- JEŽÍK, E. 2000. Vietor a energia. Renenconsulting, 2000. 63s.
- KMINIAK, P. 1990. Vodné mikroelektrárne. Bratislava: Alfa, 1990. 344 s.
- LIBRA, M., POULEK V.: 2010. Fotovoltaika. Praha: Ilsa, 2010, 165 s. ISBN 978-80-904311-5-7
- SAYIGH, A. 2012. Comprehensive renewable energy. Amsterdam: Elsevier, 2012. ISBN 978-0-08-087872-0
- VULLERS, R. J. M., et al. Micropower energy harvesting. Solid-State Electronics, 2009, 53.7: 684-693. <http://www.setur.cz/index.asp?dokument=28&sablona=9999>, 3.2.2015

Kontaktná adresa

Ing. Nadežda Ponderšová
Ňagov 154, 068 01 Medzilaborce
e-mail: ponderšovan@gmail.com
Doc. Ing. Ľubomír Naščák, CSc.
Katedra riadenia strojov a automatizačnej techniky
FEVT, TU vo Zvolene,
Študentská 26, 960 53 Zvolen
e-mail: nascak@tuzvo.sk

REFERÁTY

VÝSKUM METÓD ZVYŠOVANIA ŽIVOTNOSTI NÁSTROJOV PRE RAZENIE MINCÍ

RESEARCH OF METHODS FOR INCREASING THE LIFETIME OF COINING DIES

Rudolf KAŠTAN – Daniela KALINCOVÁ – Miroslava ŤAVODOVÁ

ABSTRACT: The paper is focused on the analysis and research of some factors affecting the quality and lifetime of tools for coinage. It describes research in heat treatment of tool steels for cold work, testing innovative heat treatment processes and their influence to the change of mechanical and structural properties and lifetime of the dies it gives the results of the mechanical and structural properties and impact on the researched lifetime.

Key words: quality, lifetime, coining dies, heat treatment, inovative methods

ABSTRAKT: Príspevok je zameraný na analýzu a výskum niektorých činiteľov vplývajúcich na kvalitu a životnosť nástrojov pre razenie mincí. Opisuje výskum v oblasti tepelného spracovania nástrojových ocelí pre prácu za studena, overenie inovačných postupov tepelného spracovania, ich vplyv na zmenu vlastností a životnosti razidiel. Prináša výsledky hodnotenia mechanických aj štruktúrnych vlastností a dopad na skúmanú životnosť.

Kľúčová slová: kvalita, životnosť razidiel, tepelné spracovanie, inovačné postupy.

ÚVOD

Razenie je najstarší spôsob objemového tvárnenia za studena. Je to práca, pri ktorej vzniká vydutý alebo vypuklý reliéf na povrchu produktu tým, že sa mení hrúbka polotovaru vyplňaním dutiny vymedzenej činnými časťami nástroja (*razníkom a raznicou*). Rozmerová a tvarová presnosť razidiel je určená druhom spracovávaného materiálu a veľkosťou polotovaru. (ŠUGÁR, P., ŠUGÁROVÁ, J., 2009). Kvalita vyrazených mincí závisí primárne od kvality nástrojov – razidiel. Razidlo je párový nástroj uchytený do lisu, ktorý súčasne razí reliéf na obe strany mince. Automatické raziace stroje v prevedení vertikálnom alebo horizontálnom razia mince s frekvenciou až 750 mincí za minútu. Opotrebovanie nástrojov je rýchle, výroba nových nástrojov je drahá. Zvyšovanie životnosti nástrojov v podniku Mincovňa Kremnica š.p. patrí medzi kľúčové úlohy a ciele, aby sa na svetovom trhu podnik mohol uchádzať o veľké zákazky a bol konkurencie schopný. Úlohy spojené so zvyšovaním kvality a životnosti razidiel riešia v spolupráci s výskumnými pracoviskami, aj s vysokými školami.

1. MATERIÁL A METÓDY

Razenie medailí a mincí delíme na:

- razenie s otvorenými nástrojmi v kruhu,
- razenie s otvorenými nástrojmi bez kruhu.

Razenie s otvorenými nástrojmi v kruhu – pri razení nevzniká výronok. Hranu mince a jej tvar určuje raziaci kruh. Môže byť hladká, vrúbkovaná, s drážkou a pod. Tento spôsob razenia sa uplatňuje pri výrobe presných mincí vo veľkosériovej výrobe.



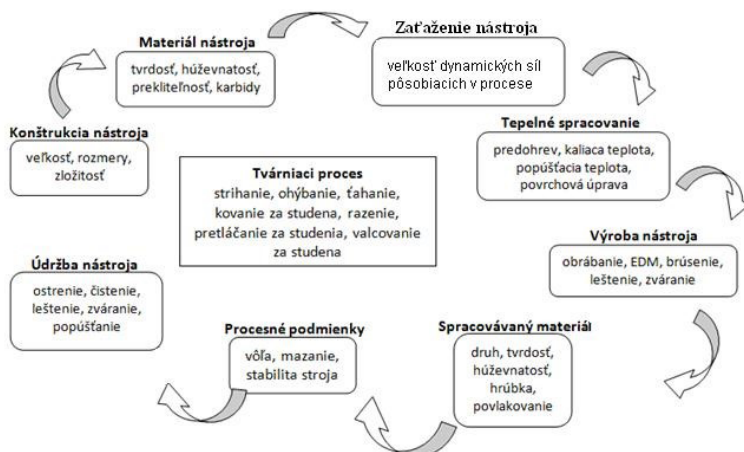
Obr. 1 Pamätné mince

Razenie s otvorenými nástrojmi bez kruhu – používa sa najmä v malosériovej výrobe na razenie medailí a pamätných mincí (obr. 1). Pri tomto postupe vzniká výronok, ktorý sa odstraňuje na sústruhu a hrana medaily je potom hladká. Na hranu sa môže aplikovať vlis s nápisom príj. inou značkou, ako je vidieť na ilustračnom obrázku 2.



Obr. 2 Jedna časť párového nástroja pre razenie mincí

Životnosť nástrojov je ich schopnosť plniť požadované funkcie až do času vyradenia nástroja z výrobného procesu z rôznych príčin. Závisí od mnohých činiteľov, ako vidieť na schematickom obr. č. 3 (ZDRAVECKÁ, E., FESCU, Š., 2010; KALINCOVÁ, D. KAŠTAN, R., 2011).



Obr. 3 Schéma vplyvov na životnosť nástrojov (ZDRAVECKÁ, E., FESCU, Š., 2010)

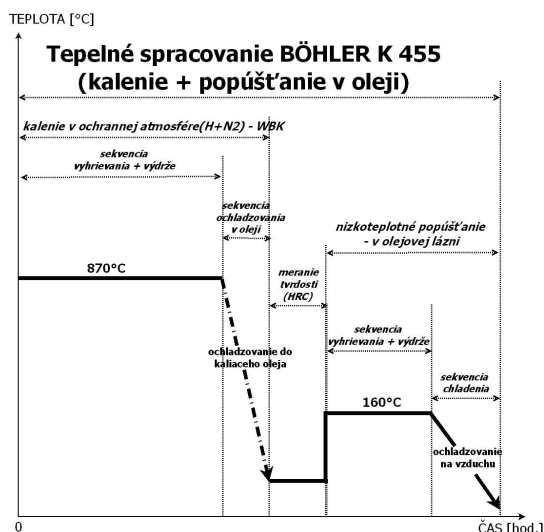
V postupnosti na schéme je vidieť, že životnosť sa formuje už v prvých krokoch výrobného procesu, ktoré sú spojené s konštrukčným návrhom nástroja. Dôležitú úlohu hrá správna voľba materiálu nástroja, jeho tepelné spracovanie, ktoré ovplyvňuje základné mechanické vlastnosti, od nich závisí tuhosť nástroja a kvalita reliéfu – funkčnej časti nástroja. Zaťaženie nástroja v prevádzke je veľké, má charakter rázového cyklického zaťaženia, preto sú prísne požiadavky na kvalitu a vlastnosti nástrojových ocelí (FREMUNT, P., KREJČÍK, J., PODRÁBSKÝ, T., 1994). Nemenej dôležité sú aj ostatné ukazovatele, ako je spracovávaný materiál – čiže polotovár budúcich mincí, procesné podmienky v akých nástroj pracuje, teda aj systém stroj – nástroj, ktoré ovplyvňujú nielen životnosť razidiel, ale aj kvalitu vyrábaných mincí (HANES a kol., 2014).

V príspevku sa budeme venovať jednej oblasti ukazovateľov ovplyvňujúcich kvalitu a životnosť nástrojov a tou je tepelné spracovanie a jeho dopad na životnosť.

2. EXPERIMENT

Nástroje na razenie sa vyrábajú z ocelí K455 od firmy Böhler, sú to ocele vysokej čistoty, nízko legované, vhodné na tvárenie reliéfu, od výrobcu majú predpísané základné parametre tepelného spracovania. Vzhľadom na vysoké dynamické namáhanie razidiel je veľmi dôležité ich tepelné spracovanie. Spracovanie na požadované vlastnosti spočíva v kalení a nízkotepeľnom popúšťaní. Dosahovaná tvrdosť ocele je v intervale od 58 do 60HRC.

Postup je znázornený v diagrame na obr. 4.



Obr. 4 Schéma postupu tepelného spracovania ocele Böhler K455 (BÖHLER K455, 2013)

Postup spracovania sa skladá z nasledných krokov:

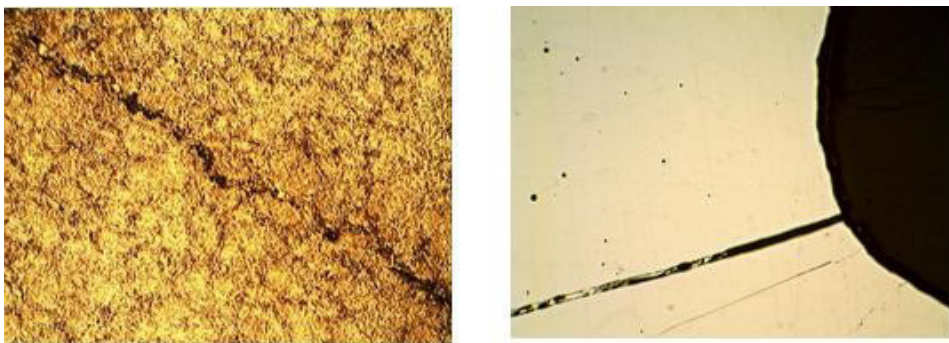
- vyhriatie pece na kaliacu teplotu 870 °C,
- zaplynenie pracovného priestoru pece (zloženie ochrannej atmosféry vodík – dusík H–75%, N–25%) pri teplote nad 750 °C,
- zavedenie vsádzky do pracovného priestoru pece,
- výdrž na teplote 870 °C,
- zakalenie vsádzky do oleja vyhriateho na teplotu 60 – 80 °C,
- popúšťanie nástrojov vo vyhriatom oleji na 160 °C,
- dosiahnutá tvrdosť $59 \pm 2\text{HRC}$.

Týmto spôsobom tepelného spracovania bola v materiáli razidiel dosiahnutá mikroštruktúra nízkopopustený martenzit a zvyškový austenit (obr. 5). Reliéf razidiel bol chrómovaný. Skúmaná životnosť razidiel v prevádzke dosahovala priemerné hodnoty, ktoré boli hlboko pod úrovňou životností dosahovaných s nástrojmi v európskych mincovniach, kde dosahujú životnosti do milióna kusov mincí na jedno razidlo.



Obr. 5 Mikroštruktúra razidla po tepelnom spracovaní

Preto bolo potrebné riešiť tento stav. Navyše dochádzalo aj k praskaniu razidiel v mieste prechodového polomeru ako ukazuje obr. 6.



Obr. 6 Trhlina v telese razidla – prechodový polomer

Výskumom faktorov ovplyvňujúcich životnosť nástrojov sme zistili, že k praskaniu razidiel môže dochádzať aj v dôsledku kumulácie napätí vznikajúcich v telese razidla po tvárnení reliéfu a napätí vznikajúcich pri kalení. Medzi faktory ovplyvňujúce lomové správanie sa materiálov patria hlavne štrukturálne parametre materiálu, kde rýchlosť zaťažovania je jedným z prioritných faktorov (VOJTĚCH, D., 2010). Odporučili sme do výrobného postupu po operácii tvárnenia reliéfu zaradiť žihanie na zníženie vnútorných napätí, ktoré sa má robiť pred trieskovým obrábaním polotovaru na požadovaný tvar razidla a následným kalením a popúšťaním.



Obr. 7 Delené puzdro s polotovarom pred tvárnením reliéfu v lise (Mincovňa kremnica š. p.)

Súbežne sa už v Mincovni riešila zmena technológie tvárnenia reliéfu, nákupom nového lisu s delenou komorou (obr. 7), čo sa prejavilo v podstatnom zvýšení životnosti razidiel, trhliny v telese razidiel sa už nevyskytli, aj keď tieto neboli po tvárnení vyžíhané.

2.1 Inovácia postupov tepelného spracovania

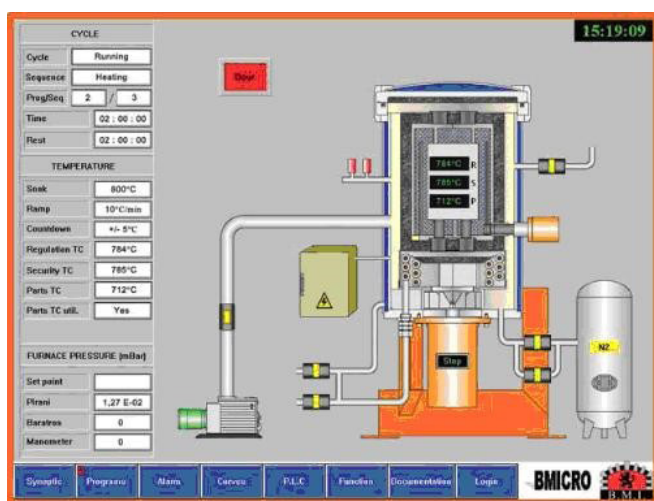
Inovácia postupov tepelného spracovania (TS) vyžadovala zakúpenie novej technológie – vákuovej kaliacej pece – obr. 8. Pôvodná pec s ochrannou atmosférou dusíka je na obr. 8, vpravo.



Obr. 8 Vákuová kaliaca pec a pôvodná kaliaca pec s atmosférou dusíka (Mincovňa kremnica š. p.)

Výskum vplyvu zmeny parametrov kalenia v novej peci na kvalitu materiálov razidiel priniesol ďalšie zvýšenie životnosti a odkryl dosiaľ nepoznané vplyvy.

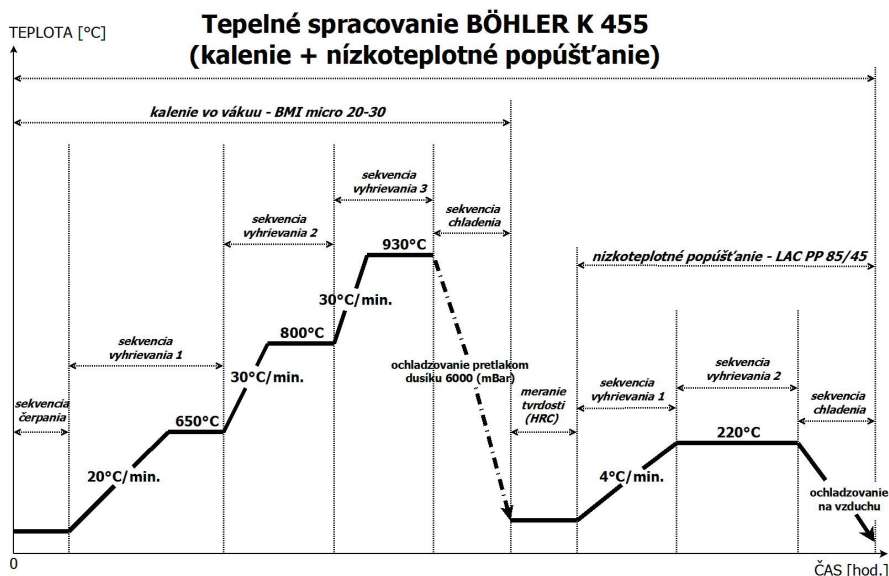
Vákuová pec BMI micro 20-30 – je najmenšia pec tejto rady výrobcu BMI Fours. Je vhodná pre laboratórne použitie, prípadne menšie prevádzky v hodinárskej, zdravotníckej, minciarskej oblasti. Pec je vhodná pre vákuové kalenie s ochladzovaním v prúde N_2 . Plášť a veko pece je chladené vodou. Schéma funkcie je na obr. 9.



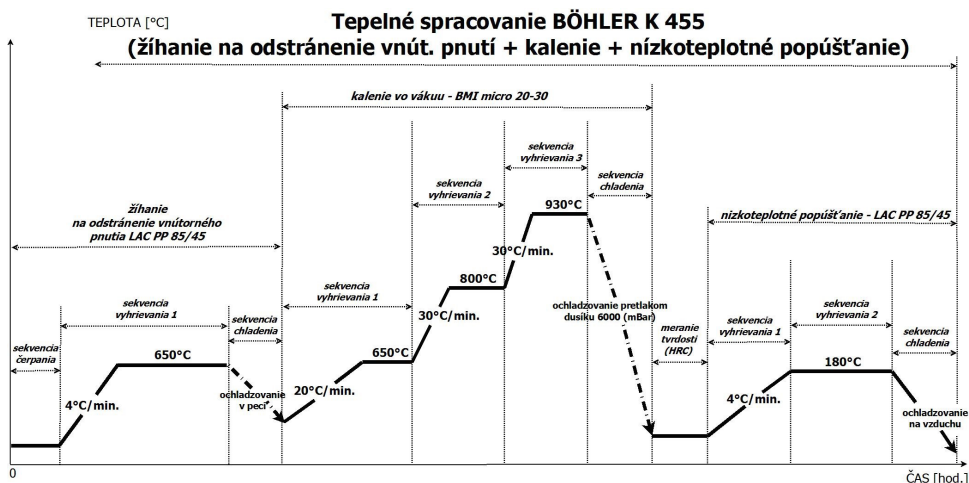
Obr. 9 Schéma funkcie pece –
obrazovka jednotky pro-face siemens vákuovej pece BMI micro 20–30

2.2 Experimentálne kalenie vo vákuovej peci

Pre experiment sme navrhli a odskúšali dva inovované varianty tepelného spracovania pre razidlá z ocele K455. Schematicky sú znázornené na obr. 10 a 11. Spracovávaná oceľ Böhler K 455 má austenitizačnú teplotu v rozmedzí 870 °C – 900 °C, v našich postupoch je teplota austenitizácie nad 900 °C.



Obr. 10 Inovovaný postup tepelného spracovania – variant 1



Obr. 11 Inovovaný postup tepelného spracovania – variant 2

V prvom variante tepelného spracovania sme zvolili austenitizačnú teplotu 930 °C a dva stupne ohrevu a to prvý stupeň – teplota 650 °C a druhý stupeň – teplota 800 °C.

Stupňovitý ohrev je potrebný kvôli rovnomernejšiemu ohrevu jadra, spracovávaného materiálu, čo eliminuje vznik tepelných pnutí, deformácií, prípadný vznik trhlín už pri ohreve. Výdrž na teplote sa robí s cieľom dosiahnuť homogenizáciu austenitu. Ochladzovanie z austenitizačnej teploty prebieha pri pretlaku 6000 mbar (0,6 MPa) v prúde dusíka. Oceľ Böhler K 455 je kaliteľná do oleja a ochladzovanie prúdom plynu nie je dostatočne rýchle pre vznik ideálnej štruktúry po kalení, ktorá má byť tvorená jemnozrnným ihlicovým martenzitom a malým podielom zvyškového austenitu. Po kalení nasleduje nízkoteplotné popúšťanie pri teplote 220°C pre dosiahnutie tvrdosti nástrojov 58±1HRC.

Druhý variant TS obsahoval nasledovnú zmenu. Pred kalením bolo zaradené žihanie na zníženie napätí po tvárnení reliéfu a popúšťacia teplota bola znížená na 180 °C.

Takto tepelne spracované vzorky boli vyhodnotené, zisťovali sme vlastnosti štruktúrne aj mechanické. Určitý počet razidiel bol zaradený do prevádzky na výrobu mincí až do vyradenia a tak sme zistili životnosť razidiel a posúdili vplyv jednotlivých variantných postupov na dosiahnuté hodnoty životnosti.

2.3 Metódy hodnotenia vlastností ocelí po tepelnom spracovaní

Od inovácie postupov tepelného spracovania boli očakávané menšie zmeny v štruktúre, ale mechanické vlastnosti mali byť zachované. V tomto príspevku popíšeme len niektoré metódy hodnotenia materiálových vlastností. Sú to:

1. Meranie tvrdosti HRC v jadre razidiel.
2. Skúška rázom v ohybe.
3. Hodnotenie mikroštruktúry materiálu razidiel pomocou optickej mikroskopie.
4. Hodnotenie lomových plôch po skúške rázom v ohybe – fraktografia.

3. VÝSLEDKY

Po experimentálnom tepelnom spracovaní sme odmerali dosiahnuté mechanické vlastnosti – tvrdosť a rázovú húževnatosť, vyhodnotili stav mikroštruktúry a urobili fraktografiu lomových plôch po rázovej skúške.

3.1. Meranie tvrdosti razidiel

V tab. 1 sú hodnoty tvrdosti materiálu K455 po kalení – obidva varianty postupu.

Tab. 1 – Meranie tvrdosti vzoriek po vákuovom kalení

Vzorka/variant TS	variant TS č. 1	variant TS č. 2
vzorka č. 1	61HRC	60HRC
vzorka č. 2	61HRC	61HRC
vzorka č. 3	60HRC	60HRC
vzorka č. 4	61HRC	61HRC
vzorka č. 5	60HRC	60HRC

Ako vidieť, namerané hodnoty sa pohybujú na všetkých vzorkách v intervale 60-61HRC.

V tab. 2 sú hodnoty tvrdosti HRC po následnom nízko-teplotnom popustení – dva varianty teplôt.

Tab. 2 – Meranie tvrdosti vzoriek po popúšťaní

Vzorka/variant TS	variant TS č. 1	variant TS č. 2
vzorka č. 1	58HRC	59HRC
vzorka č. 2	58HRC	59HRC
vzorka č. 3	58HRC	58,5HRC
vzorka č. 4	57,5HRC	59HRC
vzorka č. 5	58HRC	59HRC

Tvrdosť dosiahnutá popúšťaním na teplotu 220 °C je nižšia o 1 stupeň HRC ako u variantu č. 2, kde bola teplota popúšťania 180 °C, čo je v súlade so zákonitostami fázových premien prebiehajúcich v oceliach pri ohreve martenzitu na popúšťacie teploty.

3.2. Skúška rázom v ohybe

Skúška rázom v ohybe bola robená na vzorkách s vrubom. Použité bolo Charpyho kladivo s nominálnou prácou 300J. Výsledky skúšok sú v tab. 3.

Tab. 3 Výsledky skúšok húževnatosti

<i>Vzorka / proces</i>	<i>Podiel nárazovej práce (KU)</i>		<i>Vrubová húževnatosť (KCU3)</i>	
Vzorka č. 1 – proces č. 1	22	<i>J</i>	31,4	<i>J/cm²</i>
Vzorka č. 2 – proces č. 1	23	<i>J</i>	32,9	<i>J/cm²</i>
Vzorka č. 3 – proces č. 1	23	<i>J</i>	32,9	<i>J/cm²</i>
Priemerná hodnota – proces č.1	22,7	<i>J</i>	32,4	<i>J/cm²</i>
Vzorka č. 1 – proces č. 2	18	<i>J</i>	25,7	<i>J/cm²</i>
Vzorka č. 2 – proces č. 2	21	<i>J</i>	30,0	<i>J/cm²</i>
Vzorka č. 3 – proces č. 2	20	<i>J</i>	28,6	<i>J/cm²</i>
Priemerná hodnota – proces č.2	19,7	<i>J</i>	28,1	<i>J/cm²</i>

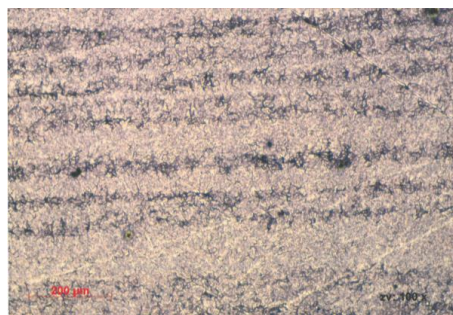
Z nameraných hodnôt vidieť, že vzorky popustené na nižšiu teplotu – variant č. 2 majú nižšiu húževnatosť, čo je v súlade s teplotou popúšťania materiálu.

3.3 Hodnotenie mikroštruktúry materiálu po TS

Mikroštruktúra bola hodnotená na výbrusoch po naleptaní 4% Nitalom kvôli tomu, že sme hodnotili aj veľkosť austenitických zŕn a podiel zvyškového austenitu v martenzite po kalení.



Obr. 12 Mikroštruktúra ocele K455 po tepelnom spracovaní 1. variant – zv.100x

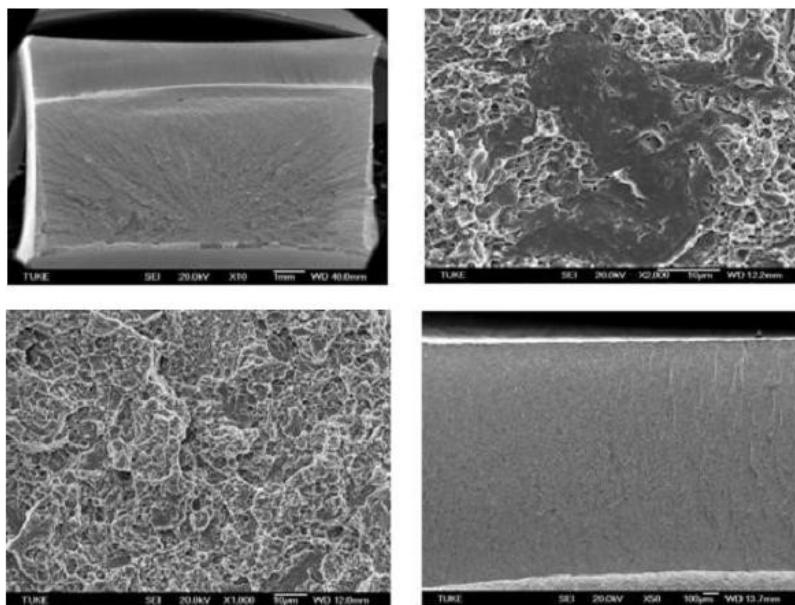


Obr. 13 Mikroštruktúra ocele K455 po tepelnom spracovaní 2. variant – zv.100x

Na obrázkoch mikroštruktúr ocele K455 – obr. 12 a obr. 13 po experimentálnom tepelnom spracovaní sú viditeľné menšie rozdiely v kvalite. Na obr. 13 je výrazná riadkovitosť, ktorá nie je dôsledkom TS, je to nehomogenita tvárneného polotovaru. Materiál má jemnozrnnú martenzitickú štruktúru po kalení a nízkoteplotnom popustení s malým podielom zvyškového austenitu. Rozdiel v štruktúre je takmer neviditeľný pri menšom uvädzanom zväčšení.

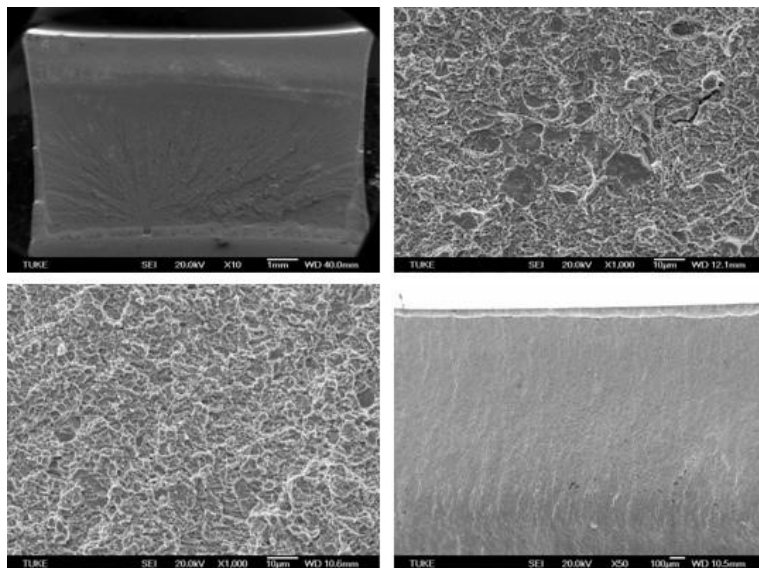
4.4 Hodnotenie lomových plôch – fraktografia

Lomové plochy boli hodnotené metódou elektrónovej mikroskopie. Na obr. 14 vidíme stav lomu na vzorkách po spracovaní variantom č. 1.



Obr. 14 Fraktografia – lomová plocha materiálu spracovaného variantom č. 1

Na obr. 15 vidíme stav lomu na vzorkách po spracovaní variantom č. 2.



Obr.15 Fraktografia – lomová plocha materiálu spracovaného variantom č. 2

Na lome (obr. 14) vidieť hrubšiu štruktúru, čo odpovedá vyššej popúšťacej teplote materiálu a dosiahnutej mikroštruktúre. Lom na obr. 15 má jemnejšiu kresbu, čo vyplynulo z nižšej teploty pri popúšťaní. Výsledky sú v súlade s nameranými hodnotami tvrdosti aj húževnatosti materiálov po TS, ktoré sú uvedené v tab. 2 a 3.

ZÁVER

Razidlá tepelne spracované rovnako ako hodnotené vzorky, boli odskúšané priamo v prevádzke pri razení mincí z antikorózných platničiek. Po vyhodnotení životnosti razidiel v prevádzke bolo zistené, že priemerná životnosť razidiel, ktoré boli spracované inovovaným postupom, variantmi č. 1 a č. 2, stúpila na hodnotu takmer 3x vyššiu, ako bola životnosť dosahovaná pri pôvodných postupoch tepelného spracovania. Medzi razidlami spracovanými dvoma variantmi neboli až také výrazné rozdiely v mechanických vlastnostiach a v dosiahnutej štruktúre.

Na základe experimentov a dosiahnutých výsledkov odporúčame inováciu tepelného spracovania – kalenie vo vákuovej peci s využitím jedného z dvoch experimentálne odskúšaných variantov (obr. 12, obr. 13), čo prinesie výrazný nárast životnosti razidiel a úsporu drahých nástrojových ocelí pre ich výrobu. Pri razení takých veľkých zákaziek, ako bola tá, na ktorej bol robený výskum, to bude mať priaznivý dopad na ekonomiku podniku.

LITERATÚRA

- BÖHLER. 2013. *K 455 – prospekt firmy*. [online]. 2013. [cit. 2013.05.16] Dostupné na internete: http://www.bohler.sk/slovak/files/downloads/023_BOHLER_K455.pdf
- FREMUNT, P., KREJČÍK, J., PODRÁBSKÝ, T., 1994. *Nástrojové oceli*, Dum techniky Brno 1994, 229 s.,
- HANES, T. – KAŠTAN, R. – HRICOVÁ, P. – KOSTÚR, J. 2014. Hodnotenie drsnosti povlakov na razidlách mincí. In *Acta facultatis technicae: vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. ISSN 1336-4472. Roč. 19, č. 1 (2014), s. 167-177.
- KALINCOVÁ, D. – KAŠTAN, R., 2011. Zvyšovanie životnosti reliéfu razidiel chrómovaním, In *Acta facultatis technicae, vedecký časopis Fakulty environmentálnej a výrobnjej techniky*. ISSN 1336-4472. – Roč. 16, č. 2 (2011) s. 57-64.
- ŠUGÁR, P., ŠUGÁROVÁ, J. 2009. *Výrobné technológie: zlievanie, zvarovanie, tvárnenie*. Banská Bystrica DALI-BB, 2009, 291 s. ISBN 978-80-89090-587.
- VOJTĚCH, D., 2010, *Materiály a jejich mezní stavy*, Vysoká škola chemicko-technologická v Prahe, 212 s., ISBN 978-800-7080-741-5
- ZDRAVECKÁ, E., FECSU, Š. 2010. Zvyšovanie životnosti nástrojov pri tvárnení za studena. [online]. 2012. [cit. 2012-11-16] Dostupné na internete: < <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22010/zvysovane-zivotnosti-nastrojov-pri-tvarneni-za-studena.html>>.

Kontaktná adresa:

doc. Ing. Daniela Kalincová, PhD.

Ing. Miroslava Ťavodová, PhD.

Katedra výrobnjej techniky a manažmentu kvality

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Technická univerzita vo Zvolene

Študentská 26, 960 53 Zvolen

Ing. Rudolf Kaštan

Mincovňa Kremnica š. p.

VÝSKUM K MODELOVANIU PREDMETU PRÁCE PRE RACIONALIZÁCIU VYBRANÝCH LESNÍCKYCH MECHANIZMOV

RESEARCH OF MODELING AN OBJECT OF WORK TOWARD RATIONALIZATION CHOOSE FOREST MECHANISMS

Juraj Mikleš

ABSTRACT

Weighted-geometric data of the tree is necessary identified for designing of forest machines and their technological equipments. The statistical model of tree give the data about branches cross-section, their quantity and their position for optimization of delimbing process from viewpoint energy consumption and strength computing. This work is elaborated data for spruce and fir tree.

Key words: tool, mechanism, forest machine, statistical model of tree

ABSTRAKT

Hmotnostno-geometrické údaje stromu je potrebné poznať pri projektovaní lesných strojov a ich technologického zariadenia. Pre optimalizáciu procesu odvetvovania z hľadiska energetickej náročnosti a pevnostné výpočty štatistický model stromu poskytuje údaje o priereze vetiev a ich počte v praslene a ich polohe. V práci sú spracované údaje pre drevinu smrek a jedľu.

Kľúčové slová: nástroj, mechanizmus, lesný stroj, štatistický model stromu

1 ÚVOD

Stromy ako predmet práce sa vyznačujú zvlášť veľkou rozmanitosťou čo do veľkosti, tvaru, druhu, drevinu a kvality. Pre technické výpočty je nevyhnutné brať určité výpočtové stromy, parametre ktorých by slúžili ako etalón a odrážali by zvláštnosti celej skupiny ťažených stromov. Oblasť použitia projektovaných strojov (alebo technológia) musí byť čo možno najväčšia, preto pre výber parametrov je potrebné mať údaje o stromoch v hospodárskych lesoch.

Pre projektovanie technologického vybavenia lesných strojov je potrebné mať základné informácie o predmete práce (strom, kmeň). Súčasne sa vyžaduje vymedzenie základných parametrov funkčných častí mechanizmov pre opracovanie stromu (resp. kmeňa). Pre zabezpečenie stínky a následného odvetvovania a skracovania je požiadavka poznať optimálne parametre týchto mechanizmov – hlavíc. Cieľom práce je rozbor a získanie podkladov pre návrh funkčných častí mechanizmov – hlavíc predovšetkým pre odvetvovanie a delenie dreva pri zabezpečení požadovanej kvality.

2 MATERIÁL A METÓDY

Výskumu stromu ako objektu opracovania na odvetvovacích strojoch sú zasvätené rozsiahle výskumy (Radocha 1989, Petráš 1989, Nekresov; Brejter 1987). Tieto práce však nedávajú odpoveď ako sú rozložené plochy základov vetiev po výške (dĺžke) stromu. To je však nevyhnutné poznať, 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 zákonitosti 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.

Skúmali sa ihličnaté dreviny kde sú veľmi dobré predpoklady na kvalitné odvetvovanie vzhľadom na hmotnostno – geometrické parametre – smrek, jedľa s priemerami vo výške $D_{1,3}$ pre smrek od 14 – 56 cm, $d_{1,3}$ pre jedlu 11 – 60 cm.

Miestom experimentálnych meraní bol Odštepňý lesný závod Prešov a Odštepňý lesný závod Slovenská Ľupča.

Na spílených stromoch sa merania vykonávali v dvoch úrovniach:

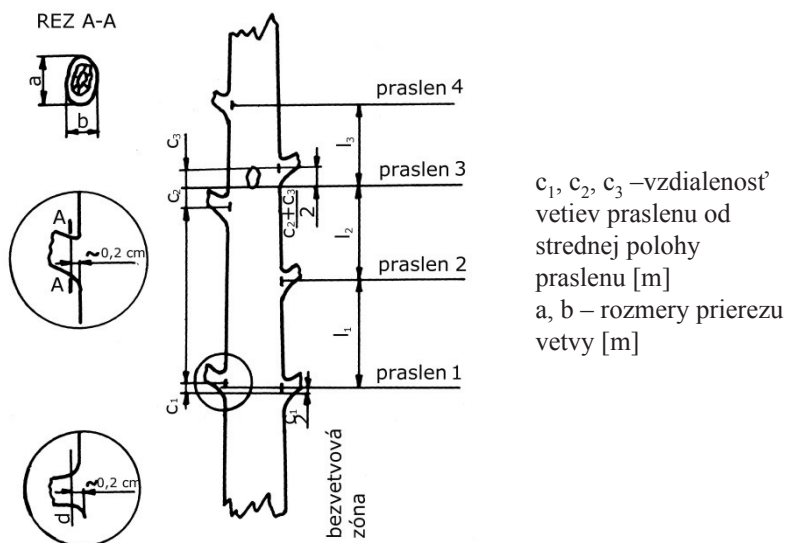
a) Základné taxačné rozmery stromov:

- dĺžka stromov l [m]
- dĺžka vetvovej časti stromov l_v [m]
- priemer stromu $D_{1,3}$ v prsnej výške [m]
- stredný priemer stromu D_s [m]
- počet práslenov m

b) Meranie odvetvovanej časti stromov

- počet vetiev v praslene n
- priemery vetiev v praslene d_i [m]
- vzdialenosť od čela po prvú vetvu l_b [m]
- vzdialenosť medzi jednotlivými práslenmi l_i [m]

Dĺžka stromu sa merala pomocou meracieho pásma od čela kmeňa po vrchovec s presnosťou ± 10 cm. Priemer stromu $D_{1,3}$ sa zisťoval taxačnou priemerkou s presnosťou ± 1 cm. Vzdialenosť od čela kmeňa po prvú vetvu l_b a medzi práslenmi sa merala pásmom s presnosťou $\pm 0,5$ cm. Priemery vetiev v ich votknutí sa merali posuvným merítkom s presnosťou ± 1 mm.



Obr. 1 Metodika a postup merania skúmaných parametrov stromov

Pri meraniach a taktiež pri ďalšom spracovaní údajov boli prijaté nasledovné predpoklady (obr. 1):

- vzdialenosť medzi vetvami sa merala od osi ich votknutia,
- skupina vetiev, vzdialenosť medzi ktorými po dĺžke kmeňa bola menej ako 8 cm, sa brala za jeden praslen,
- k praslenu sa počítali vetvy, ktoré sa nachádzali v jednej výške kmeňa, k rovine prechádzajúcej cez stred vzdialenosti medzi krajnými vetvami (8cm) kolmo k osi stromu,
- vzdialenosť praslenov sa merala ako vzdialenosť týchto rovín.

Tabuľka 1 Rozdelenie do hrúbkových stupňov smrek, jedľa

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

Tabuľka 2 Namerané hodnoty vetiev vo vetvovej časti stromov – príklad Strom č. 1 D1,3 = 49 cm

Číslo praslenu	Vzdialenosť medzi praslennami (m)	Počet vetiev (ks)	Priemer vetví v praslene (cm)	Plocha praslennov (cm ²)	Priemer sklonu vetví v praslene (°)	Vzdialenosť medzi 1. a nasledujúcimi praslennami (m)
1	0,93	7	3,5	67,3	90	
2	0,84	3	3	21,2	85	0,93
3	1,07	3	4	37,7	90	1,77
4	1,04	5	4,5	79,5	95	2,84
5	1,04	7	4	88	90	3,88
6	0,63	6	4,5	95,4	90	4,92
7	0,73	6	5,5	142,6	85	5,55
8	0,83	5	5	98,2	85	6,28
9	0,82	6	4	75,4	90	7,11
10	1,04	4	4	50,3	90	7,93
11	0,9	4	5,5	95	85	8,97
12	1	4	6	113,1	90	9,87
13	0,85	6	5,5	142,6	90	10,87
14	0,81	4	6,5	132,7	85	11,72
15	0,77	5	5	98,2	85	12,53
16	0,63	4	4,5	63,6	80	13,3
17	0,29	4	4,5	63,6	85	13,93
18	0,19	4	5,5	95	90	14,22
19	0,96	6	4,5	95,4	85	14,41
20	0,46	4	5	78,5	85	15,37
21	0,39	5	3,5	48,1	90	15,83
22	0,38	3	3,5	28,9	85	16,22
23	0,38	3	3,5	28,9	85	16,6
24	0,33	4	4	50,3	75	16,98
25		4	4	50,3	75	17,31

Všetky zmerané stromy boli rozdelené do 10 skupín v závislosti od dreveniny 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.

Celkom boli získané podklady o 58 stromoch smreka. Pre navrhovanie parametrov odvetvovacej hlavice sú rozhodujúce pre smrek súbory S2 počet 22, S3 – počet 13, S4 – počet 14. Súbory S1, S5 sú extrémne preto, sa s nimi v ďalších výpočtoch neuvažovalo.

Pre strom jedle boli získané podklady o 75 stromoch, ktoré boli rozdelené do piatich súborov J1 – počet 15, J2 – počet 27, J3 – počet 9, J4 – počet 13, J5 – počet 11.

V tabuľke 2 sú uvedené údaje merania stromu smreka č. 1. Z tabuľky vidieť že strom je s priemerom $D_{1,3} = 49$ cm a je zaradený do skupiny S4, dĺžka zóny bez vetiev je rovná 10,75 m a dĺžka stromu je 28,10 m.

V prvom stĺpci tabuľky 2 sú čísla praslenov a v ďalších stĺpcoch 2,3,4 sú výsledky meraní vzdialeností medzi praslenmi, počet vetiev v praslene, priemer vetiev v praslene. Tak napr. praslen číslo 9 sa nachádza vo vzdialenosti 0,83 m od prasleny 8 a má 6 vetiev s priemerom 4 cm. Experimentálne údaje podliehali matematickému spracovaniu pomocou štatistických metód. Nižšie je opísaná metodika tohto spracovania.

Pre každý praslen sa určovali nasledovné údaje:

a) stredný priemer vetiev v praslene

$$d_s = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} \quad (1)$$

kde d_1 – priemer prvej vetvy v praslene [cm]

d_2 – priemer druhej vetvy v praslene [cm]

d_n – priemer n – tej vetvy v praslene [cm]

n – počet vetiev v praslene, ks

b) plocha každej vetvy v praslene sa počíta podľa vzťahu

$$S = \frac{\pi d^2}{4} [cm^2] \text{ kde } d \text{ – priemer vetvy [cm]} \quad (2)$$

pri výrazne excentrických vetvách sa plocha prierezu počítala ako elipsa podľa vzťahu

kde d_1, d_2 – navzájom kolmé rozmery vetvy, pri oválnom tvare [cm]

c) plocha votknutia vetiev každého praslena

$$S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_i \quad (3)$$

kde S_1 – plocha prvej vetvy, [cm²]

S_2 – plocha druhej vetvy, [cm²]

S_i – plocha i -tej vetvy, [cm²]

d) suma plôch jednotlivých praslenov

$$\sum S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_i \quad (4)$$

kde S_1 – plocha prvého prasleny, [cm²]

S_2 – plocha druhého prasleny, [cm²]

S_i – plocha i -teho prasleny, [cm²]

e) vzdialenosť i -teho praslenu od prvého praslenu narastajúcim spôsobom

$$\sum l_i = l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_i \quad (5)$$

kde: l_1 – 0-ová vzdialenosť

l_2 – vzdialenosť medzi druhým a prvým praslénom, [...]

l_3 – vzdialenosť medzi tretím a druhým praslénom, [...]

l_i – vzdialenosť medzi praslénmi i a $i-1$, [...]

Parametre, získané pre každý strom – počet praslénov, veličina bezvetvovej a vetvovej zóny, sumárna plocha votknutia všetkých vetiev v praslene, počet vetiev v praslene, plocha votknutia vetiev stromu, počet vetiev stromu, plocha praslenu s rovnakým poradovým číslom a jeho vzdialenosť od prvého praslenu pri štatistickom spracovaní boli prijaté za varianty, pre ktoré sa určovali štatistické charakteristiky – aritmetický priemer, smerodajná odchýlka, priemerná odchýlka, variačný koeficient a variačné rozpätie.

Pri vyhodnotení a štatistickom spracovaní bola zostavená matica nameraných údajov pre dreviny smrek a jedľa. Výpočty sa vykonali s cieľom určenia základných štatistických charakteristik na osobnom počítači s bežnými perifériami a v prostredí programového balíka STATISTICA 7.1. s využitím jeho možností.

3. VÝSLEDKY A DISKUSIA

Ihličnaté dreviny spôsobom svojho rastu (rovný priebežný kmeň, pravidelné utváranie praslénov) dávajú lepšie predpoklady pre popísanie rozmiestenia a veľkosti vetiev ako listnaté. Napriek tomu ani pre ne sa v širšom rozsahu neskúmali vzťahy medzi rozmermi kmeňa a vetiev. Ihličnany sú vhodnejšie aj pre mechanizované odvetvovanie. Pre detailné navrhovanie parametrov odvetvovacích hlavíc je nevyhnutné poznať ako rozmerové charakteristiky kmeňov, tak aj vetiev. U vetiev má mimoriadny význam rozmiestenie vetiev na kmeni, teda vzdialenosť medzi praslénmi, počet vetiev v praslénach, 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.

V súčasnosti je programový balík STATISTICA jeden z najlepších pre spracovanie empirických údajov a dáva široké možnosti. Pri spracovaní údajov bol použitý pre získanie základných informácií o dĺžke stromu v závislosti od hrúbkového stupňa (obr. 2) pre dreviny jedľa a smrek, bezvetvovej zóny v závislosti od hrúbkového stupňa (obr. 3) pre dreviny jedľa a smrek, vetvovej zóny v závislosti od hrúbkového stupňa (obr. 4) pre dreviny jedľa a smrek, počet praslénov v závislosti od hrúbkového stupňa pre dreviny jedľa a smrek (obr. 5). 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.

Z výsledkov Duncanovho testu vyplýva (Mikleš, J. 2009), že bezvetvové zóny pre všetky hrúbkové stupne jedle a prvý pri smreku sa štatisticky významne nelíšia. Druhý, tretí a štvrtý hrúbkový stupeň smreku má bezvetvovú zónu štatisticky významne väčšiu. Piaty hrúbkový stupeň smreka má štatisticky významne najväčšiu bezvetvovú zónu. Pokiaľ sa jedná o vetvovú zónu s vekom teda s hrúbkovým stupňom je dĺžka u jedle stále rastie, u smreka vzrastá miernejšie a pri 4. a 5. hrúbkovom stupni stagnuje. Pre počet práslenov grafy vyšli analogické ako u vetvovej zóny akurát sú rozdielne variačné rozpätia.

Intervaly vzdialeností medzi práslenmi a plôch práslenov – votknutie vetiev sú premietnuté do histogramov s naznačením normálneho rozdelenia (červená čiara) obr. 6, 7, 8.

Vyhodnotenie závislosti plochy votknutia práslenov podľa hrúbkových stupňov je na obr. 9 pre jedľu a na obr. 10 pre smrek. Plocha práslenov u jedle hrúbkového stupňa 1,2,3 štatisticky významne rastie, potom nárast po 5. hrúbkový stupeň je mierny. U smreka nebol 1. a 5. hrúbkový stupeň hodnotený pre malý počet meraní (4,5). Z obr. 10, vidieť že priebeh podľa hrúbkových stupňov (hrúbky, veku) je s lineárnou závislosťou.

Empirická závislosť priebehu plochy votknutia práslenov po dĺžke vetvovej zóny podľa jednotlivých hrúbkových stupňov pre jedľu bol použitý regresný model v nasledovnom tvare:

$$S = b_0 + b_1 x_i + b_2 x_i^2 - \text{parabola 2. Stupňa} \quad (6)$$

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

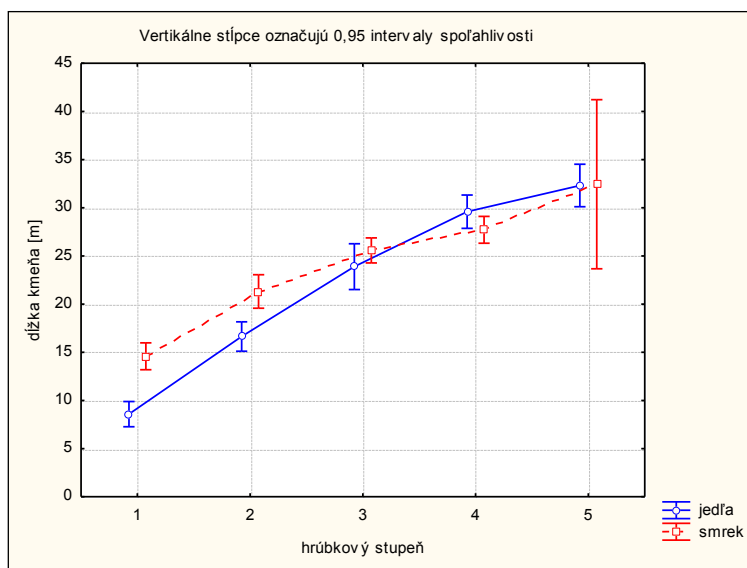
1. hrúbkový stupeň : $S = 5,5442 + 2,4231 x_i - 0,2684 x_i^2$
2. hrúbkový stupeň : $S = 12,8379 + 0,6052 x_i - 0,0352 x_i^2$
3. hrúbkový stupeň : $S = 13,8866 + 1,6147 x_i - 0,0524 x_i^2$
4. hrúbkový stupeň : $S = 12,9046 + 2,1603 x_i - 0,0671 x_i^2$
5. hrúbkový stupeň : $S = 11,1661 + 2,2068 x_i - 0,039 x_i^2$

$$x_i = l_{vz} - \text{vzdialenosť polohy prásleny od začiatku [m]}$$

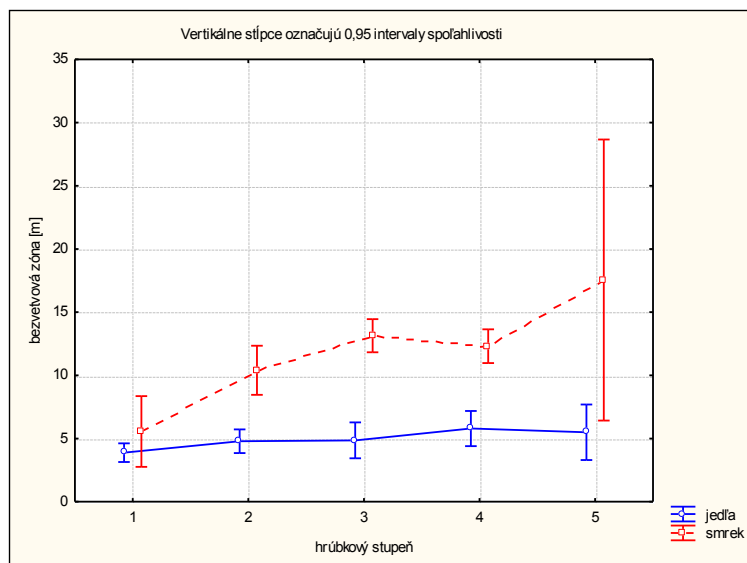
Pre získanie, čo možno najvernejších regresných modelov závislosti plochy v mieste votknutia práslenov na kmeni po dĺžke vetvovej zóny bol použitý aj regresný model: $S = A \cdot \sin(k l_{vz} + q) + c$. Tento model bol použitý v minulosti v zahraničí (Baranovski, Nekrasov 1977). Pre ilustráciu uvádzam jeho aplikáciu pre hrúbkové stupne jedle J3, J4, J5. Získané regresné rovnice sú uvedené na obr. 11, 12, 13 majú nasledovný tvar:

3. hrúbkový stupeň $S = 7,91 \sin(0,21 l_{vz} - 0,33) + 18,51$
 4. hrúbkový stupeň $S = 5,94 \sin(0,25 l_{vz} - 2,42) + 26,27$
 5. hrúbkový stupeň $S = 13,96 \sin(0,11 l_{vz} - 1,35) + 29,58$
- A, k, q, c – koeficienty regresnej rovnice

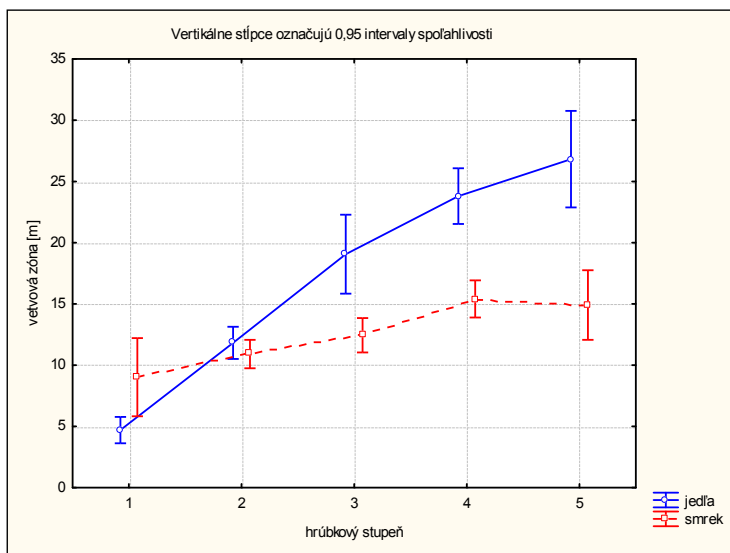
3.1 Vyhodnotenie niektorých parametrov stromov podľa skupín



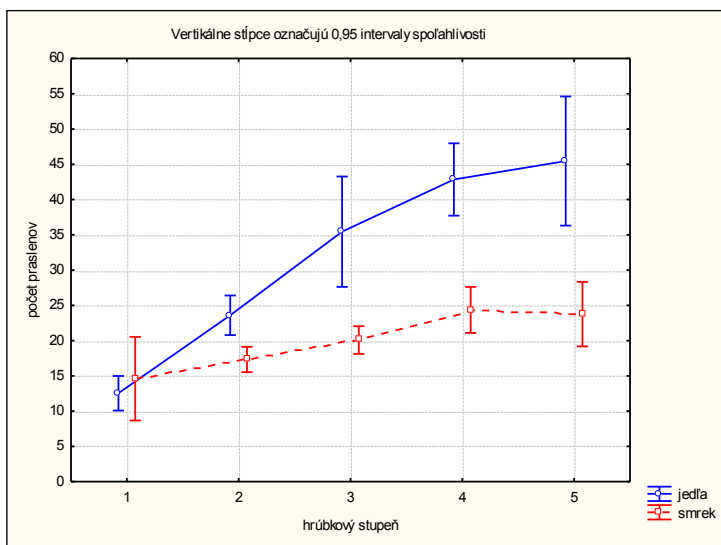
Obr. 2 Dĺžka kmeňa I podľa hrúbkových stupňov pre dreviny jedľa a smrek



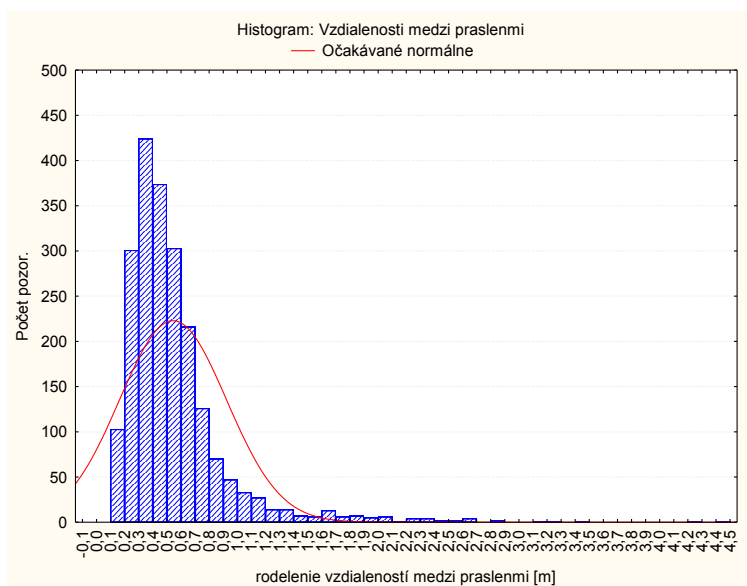
Obr. 3 Bezvetvová zóna podľa hrúbkových stupňov pre dreviny jedľa a smrek



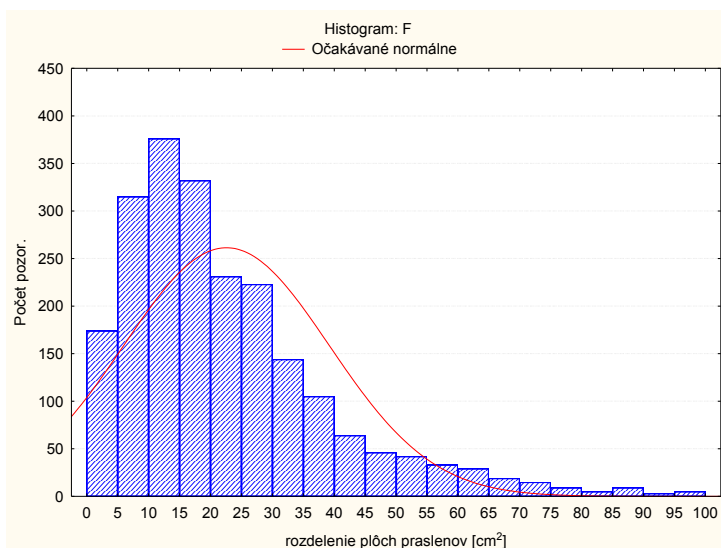
Obr. 4 Vetvová zóna podľa hrúbkových stupňov pre dreviny jedľa a smrek



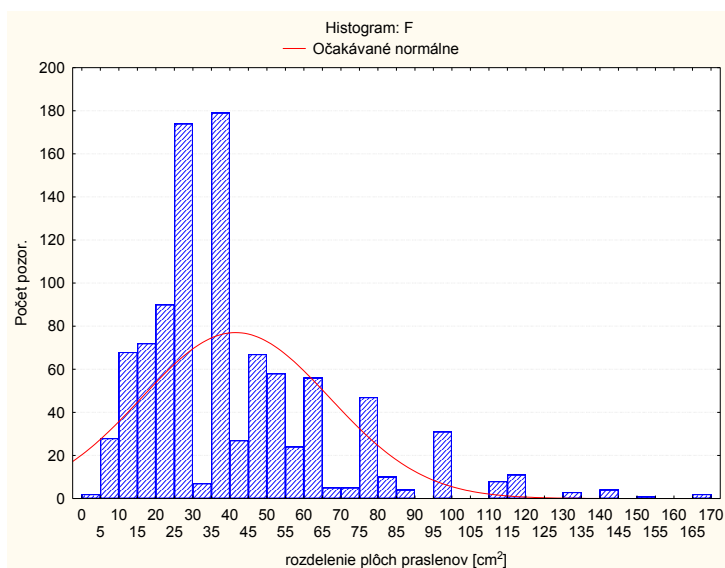
Obr. 5 Počet práslenov podľa hrúbkových stupňov pre dreviny jedľa a smrek



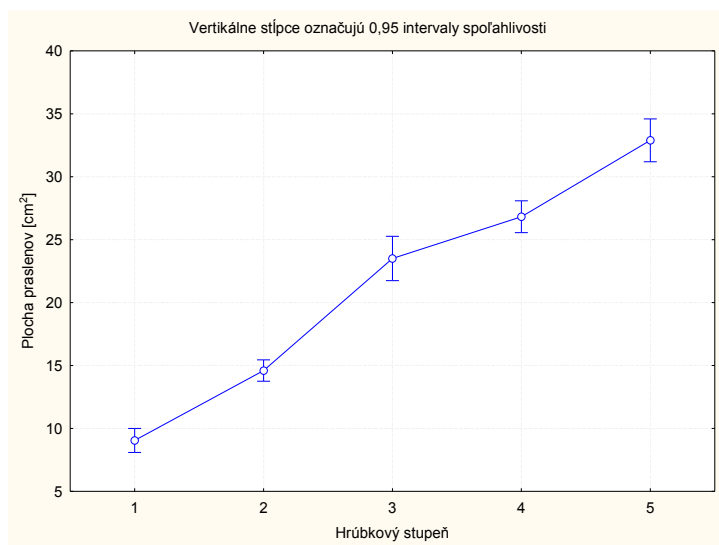
Obr. 6 Histogram rozdelenia vzdialenosti medzi praslenmi pre jedľu



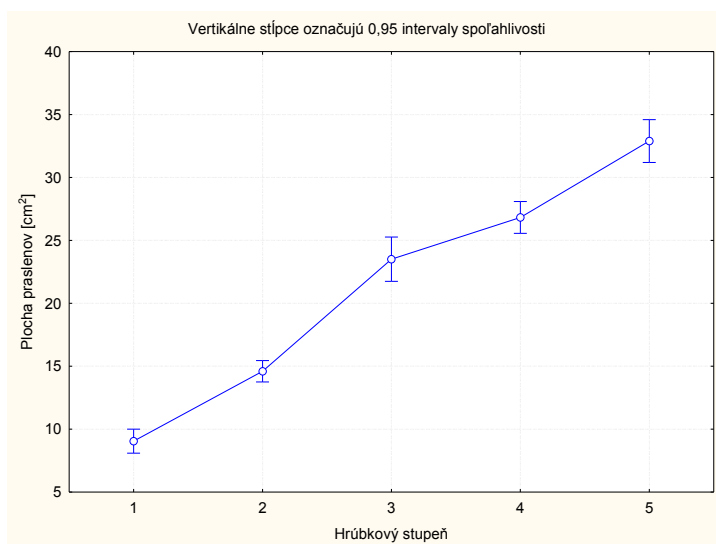
Obr. 7 Histogram rozdelenia plôch praslenov vo votknutí pre jedľu



Obr. 8 Histogram rozdelenia plôch vo votknutí pre smrek



Obr. 9 Závislosť plochy práslenov podľa hrúbkových stupňov pre jedľu



Obr. 10 Závislosť plochy práslenov podľa hrúbkových stupňov pre smrek

4 ZÁVER

Na záver je možné konštatovať, že práca vyriešila len určitú časť problémov z oblasti lesnej mechanizácie. Rozsah práce neumožňuje rozobrať všetky problémy, ktoré sa týkajú odvetvovacích mechanizmov. Preto aj v budúcnosti bude potrebné sa touto problematikou zaoberať.

V budúcnosti sa treba ďalej zaoberať predovšetkým predmetom práce pre získanie ďalších charakteristík a riešením nových princípov adaptérov lesných strojov do predrubných ťažieb.

LITERATÚRA

- ANTOCH, J.; DOHNAL, G.: STATISTICA: Základní příručka, StatSoft CR, Praha, 2002, 130 s. ISBN 80 – 238– 9116 – 2
- GOLOD J. G. 1987. Eksperimental'nyje issledovanije summarnoj vnešnej nagruzki na protaskivajuščij mechanizm sučkovrezných mašin, In: Voprosy mehanizacii lesosečnych rabot, Trudy CNIIME, Chimki, 1987, s. 38–45.
- GROFÍK, R; FLÁK, P. 1990. Štatistické metódy v poľnohospodárstve, Príroda, Bratislava, 1990, 344 s.
- CHAJDIAK J. A KOL.. 1992. Štatistika – Štatistické metódy v programovom systéme STATGRAPHICS, Bratislava, ES VŠE, 1992, 162 s.
- KUČERA, M. – HELEXA, M.: Hydrostatické mechanizmy. Zvolen: ES TU, 2009, 101s. ISBN 978–80–228–2041–7.

- KUČERA, M. – HELEXA, M.: Metodika konštruovania strojov. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2014, 151s. ISBN 978–80–228–2657–0
- HELEXA, M.: Monitoring the impact of tyre inflation pressure on tensile properties of forest tractor. In: Research in agricultural engineering, vol. 60, 2014, No. 4: 127–133. ISSN 1212–9151
- MIKLEŠ, J. 2009: Príspevok k modelovaniu predmetu práce a racionalizácií vybraných mechanizmov manipulačnej linky pri výrobe dreva, Technická univerzita vo Zvolene 2009 (dizertačná práca), 145 s.
- MIKLEŠ M. 1994. Určenie technických parametrov odvetvovacej hlavice, In: Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie – Pokroky v mechanizácii poľnohospodárstva, 1994, s. 131–137
- MIKLEŠ, M. a kol.. 1993. Teória a stavba lesných strojov II, ES TU Zvolen, 1993, 273 s., ISBN 80–228–0281–6
- MIKLEŠ, M.; HOLÍK, J.; MIKLEŠ, J. 2004. Lesné stroje, Vydavateľstvo TU Zvolen, 2004, 331 s. ISBN 80–220–1403–2
- NEKRASOV R. M.; BREJTER V. S. 1987. O postrojení modeli rasčëtного дeрeвa k oбрубкe сушeв, In: Труды CНИИМE, сб. 79, Чимки, 1987, s. 91–118.
- PETRÁŠ R.; NOCIAR V. 1991. Sortimentačné tabuľky hlavných drevín, Bratislava, Veda, 1991, 304 s.
- PETRÁŠ R. 1989. Matematický model tvaru kmeňa ihličnatých drevín, In: Lesnictví, 35, 1989, č. 10., s. 867–878.
- RADOCHA M. 1989. Matematický model stromu pre technické výpočty, In: Využitie výpočtovej techniky na VÚLH Zvolen, Zborník referátov, Zvolen, VÚLH, 1989, s. 47–54.
- ŠTOLLMANN, V.; MIKLEŠ, M. 2001. Lesnícke mechanizačné prostriedky, Vydavateľstvo TU Zvolen, 2001, 286 s. ISBN 80–228–0998–5

Kontaktná adresa:

Ing. Juraj Mikleš, PhD.

Technická univerzita vo Zvolene

Fakulta environmentálnej a výrobnjej techniky

Katedra environmentálnej a lesníckej techniky,

Študentská 26, 960 53, Zvolen, tel.: +421455206553, miklesj@tuzvo.sk