Acta technologica agriculturae 2
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2010, s. 29–32

OVERENIE PLATNÝCH EMISNÝCH FAKTOROV V CHOVOCH HOSPODÁRSKYCH ZVIERAT

VERIFYING AMMONIA EMISSIONS FACTORS CURRENTLY VALID IN BREEDING OF LIVESTOCK

Jana ŠVENKOVÁ,[1] Martin DĚDINA,[2] Eva MATEJKOVÁ[1]

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre[1]
Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i. Praha[2]

Ammonia leakage belongs among others to the most important pollutants from agricultural buildings and it causes soil and surface water acidification. More than 90 % of ammonia leakage comes from agriculture. Approximately 97 % of ammonia emissions originate from livestock breeding and related activities, where 50 % out of this is released into atmosphere. The aim of this study was verification of meeting the requirements set by currently valid legislation on air protection in pigs and poultry breeding in the Czech Republic and Slovakia. The work also deals with the issue whether the ammonia emissions factors for pigs and poultry breeding are realistic to achieve and could be fulfilled through implemented housing technologies. Measured values were compared with references values to accomplish these aims.

Key words: pigs and poultry breeding, ammonia emissions, environment protection

Pozitívny vplyv živočíšnej výroby na životné prostredie môžeme pozorovať pri utváraní kultúrnej krajiny, úprave priestoru pre faunu a flóru, pri zvyšovaní biologickej diverzity a estetického rázu prostredia, v procese asimilácie odpadov, cyklu živín a v neposlednom rade aj pri zvyšovaní úrodnosti pôdy. Vysoká koncentrácia zvierat, výrobné technológie, neracionálne využívanie prírodných zdrojov, plynné, tekuté a pevné odpady vstupujúce do prírodných systémov v koncentráciách, ktoré už nemôžu byť začlenené do prírodných kolobehov to všetko vedie k narušaniu rovnováhy životného prostredia čoho dôsledkom je jeho znížená kvalita.

Všeobecne známy fakt je, že ustajňovacie priestory pre hospodárske zvieratá prispievajú k znečisťovaniu ovzdušia škodlivými látkami. Jedným z najdôležitejších kontaminantov maštaľného ovzdušia je amoniak, ktorý má negatívny vplyv na kvalitu vnútorného i vonkajšieho ovzdušia. Pre spracovanie objemu celkovej amoniakálnej emisie z chovu hospodárskych zvierat sa používa metóda celkovej bilancie v súlade podľa Emision Inventory Guidebook, 15. February 1996 b 1040-1. Metóda celkovej bilancie je založená na priemerných emisných faktoroch, počte a druhu zvierat (v kg NH_3.zviera^{-1}za rok). Dôležitý legislatívny predpis v Slovenskej republike pre právnické a fyzické osoby v poľnohospodárstve je vestník MŽP SR čiastka 6/1999, ktorý stanovuje emisné faktory pre amoniak pri chovoch hospodárskych zvierat a technológiách spracovania a aplikácie tekutých a tuhých maštaľných hnojív. Vestník je základným vodidlom pri spracovaní podkladov pre priznanie poplatkov za emisie NH_3, ktoré nie sú našim prvovýrobcov z hľadiska ich výšky ľahostajné. Platná legislatíva v ochrane ovzdušia stanovuje od 1. 1. 2000 poplatkovú povinnosť 66,38 €.t^{-1}.rok^{-1} vyprodukovaných emisií. V Českej republike je rovnako pre emisnú bilanciu NH_3 z chovov hospodárskych zvierat používaná kombinovaná metodika spájajúca spracovanie ohlásených údajov s výpočtom emisií pomocou emisných faktorov. Na rozdiel od SR znečisťovanie emisiami amoniaku tam spoplatnené nie je. V Českej republike sú emisné faktory legislatívne zakotvené v prílohe č. 2 Nariadenia vlády č. 615/2006 Sb. o stanovení emisných limitov a ďalších podmienok prevádzkovania ostatných stacionárnych zdrojov znečisťovania ovzdušia. Pre inventarizáciu národných emisných bilancií sa rovnako používajú vyššie uvedené metodiky.

Cieľom tejto práce bolo zistiť plnenie emisných faktorov stanovených platnou legislatívou Českej a Slovenskej republiky v chovoch hospodárskych zvierat. Podstatou bolo na základe experimentálnych meraní vypočítať skutočné emisné faktory a porovnať ich s emisnými faktormi stanovenými v legislatíve oboch štátov a na základe týchto výsledkov zhodnotiť, či sú legislatívne zakotvené emisné faktory v chovoch hydiny a ošípaných aktuálne, reálne splniteľné a či sú plnené pomocou inštalovaných technológií. Výsledkom celého hodnotenia je porovnanie nameraných hodnôt s referenčnými hodnotami.

Materiál a metódy

Od roku 2004 boli v ČR a SR uskutočnené experimentálne merania a autorizované merania emisií amoniaku a mikroklimatických parametrov. Experimentálne merania a hodnotenia boli uskutočnené na 61 farmách chovu hydiny a ošípaných. V chovoch ošípaných na výkrm bolo uskutočnených 31 meraní a 28 meraní bolo uskutočnených v chovoch kuracích brojlerov z toho 2 merania sa uskutočnili v chove nosníc. Vzhľadom na to, že výsledky meraní sú pre podmienky, v ktorých sa experimenty uskutočnili, považované za dôverné, bolo každému meranému zariadeniu chovu hydiny či ošípaných pridelené iba číselné označenie.

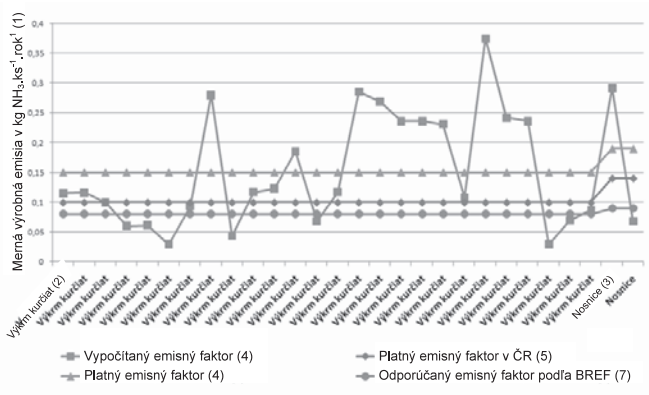
Na meranie koncentrácie amoniaku (NH_3) bol použitý merací systém zložený z ústredne ASIN DL 8M od firmy ASEKO a elektrochemických snímačov GTE NH_3. Teplota vzduchu a jeho relatívna vlhkosť boli kontinuálne merané a zaznamenávané registračným prístrojom COMMETER D3120 a COMMETER D 3121. Hodnoty relatívnej vlhkosti slúžili na korekciu výpočtu koncentrácie amoniaku. Okrem metódy merania s využitím elektrochemických snímačov bol pre meranie koncentrácie amoniaku použitý plynový analyzátor INNOVA 1312 pracujúci na princípe využívajúcom infračervenú optoakustickú metódu. Zariadenie bolo doplnené o prepínač

meraných miest INNOVA 1309. Prietok vzduchu bol stanovený na základe merania rýchlosti vzduchu anemometrom TESTO 445. Pre meranie a analýzu veličín nutných na zistenie emisného faktora a tým aj na zistenie požadovaného zníženia emisií v ustajňovacom objekte je nutné rozdelenie merania do niekoľkých miest. Snímače boli v ustajňovacom priestore umiestnené v **zóne ventilácie** – v priestore odkiaľ odchádzajú emisie amoniaku do ovzdušia, v **zóne zvierat** – v časti ustajňovacieho priestoru vymedzenom medzi podlahou stojiska a výškou stojaceho zvieraťa, alebo stropu klietky a v zóne obsluhy – v časti ustajňovacieho priestoru určeného pre pohyb obsluhujúceho personálu. Meranie sa uskutočňuje v zóne dýchania stojaceho človeka.

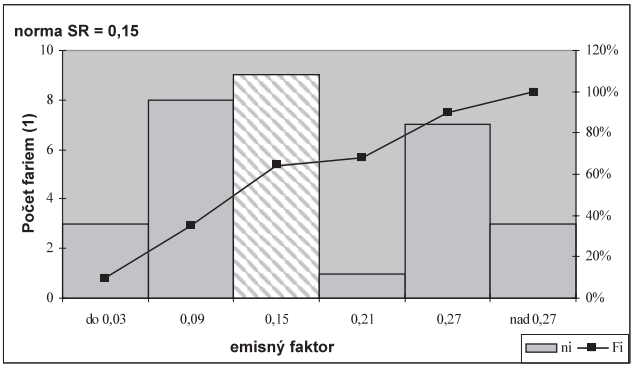
Pri overovaní zhody nameraných emisných faktorov s normou sme použili štatistické testy, konkrétne išlo o test zhody strednej hodnoty so známou konštantou, kde známa konštanta predstavovala stanovený právny predpis. Vychádzali sme z dvoch variantov: v jednom prípade sme porovnávali namerané hodnoty so stanovenou normou v Slovenskej republike a v druhom prípade s normou pre Českú republiku.

Výsledky a diskusia

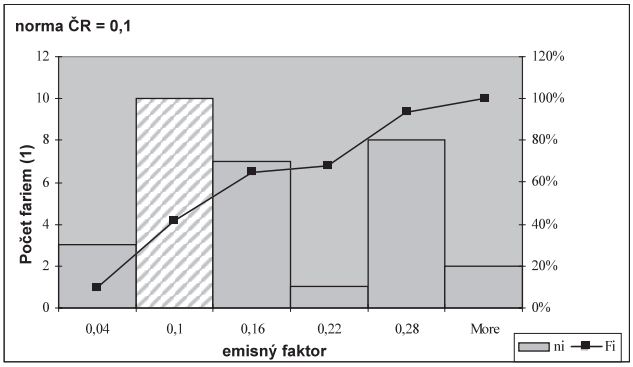
Na základe experimentálnych meraní na jednotlivých farmách chovu ošípaných a hydiny boli vypočítané emisné faktory, ktoré boli následne porovnané s príslušnými legislatívnymi predpismi. Je nutné zdôrazniť, že ide o čiastkové emisné faktory pre ustajňovacie objekty, nie o celkové emisné faktory. Rovnako bolo uskutočnené porovnanie nameraných hodnôt s emisnými faktormi pre príslušné technológie ustajnenia hydiny a ošípaných uvedených v Referenčnom dokumente o najlepších dostupných technikách (BREF). Čo sa týka emisných faktorov uvedených v BREFe, je nutné zdôrazniť, že ide o odporúčané hodnoty, ktoré by síce mali byť v zariadení chovu pri využití príslušnej chovateľskej technológie dosahované, ale nie sú to hodnoty vyžadované, alebo právne záväzné, ako je to pri zákonom stanovených emisných faktoroch. Na obrázku 1 je graficky znázornené porovnanie vypočítaných emisných faktorov v chovoch hydiny s emisnými faktormi stanovenými v príslušných legislatívnych predpisoch ČR a SR a v BREF dokumente.



Obrázok 1 Porovnanie mernej výrobnej emisie amoniaku v chovoch hydiny so súčasnými platnými emisnými faktormi
Figure 1 Comparison of ammonia emissions measured in the stable of poultry breeding with currently valid ammonia emissions factors
(1) specific production emission, (2) poultry breeding, (3) layers, (4) calculated emissions factor, (5) ammonia emissions factor currently valid in CZ, (6) ammonia emissions factor currently valid in SK, (7) emissions factor recommend by BREF)



Obrázok 2 Porovnanie vypočítaného EF s normou platnou v SR
Figure 2 Comparison of the calculated emission factor with standard valid in Slovakia Republic
(1) number of farms



Obrázok 3 Porovnanie vypočítaného EF s normou platnou v ČR
Figure 3 Comparison of the calculated emissions factor with standard valid in Czech Republic
(1) number of farms

Pri porovnaní vypočítaných emisných faktorov (ďalej len EF) sme zistili, že 64,29 % EF je v súlade so zákonom stanoveným EF pre amoniak v ČR a v 35,71 % prípadoch bol právne záväzný EF prekročený. Podobné hodnoty boli dosahované i pri porovnávaní s menej prísnou hodnotou platného emisného faktora pre amoniak v SR, kde vypočítané hodnoty boli v súlade na 64,28 %. V prípade porovnávania s BREF dokumentom, kde je uvádzaná najprísnejšia hodnota EF pre amoniak potom odporúčaných hodnôt dosahuje 39,28 % nameraných a vypočítaných hodnôt zistených v chovoch kuracích brojlerov a v 60,71 % bola táto hodnota prekročená. Je ale potrebné uviesť, že pri hodnotení emisného faktora vždy treba brať do úvahy geografickú polohu, klimatické podmienky a technológie chovu dostupné a využívané na sledovaných farmách, preto emisné faktory v BREF dokumente nie sú právne záväzné a majú len odporúčací charakter. V prípadoch, kde došlo k prekročeniu platného emisného faktora do 20 %, boli merania rovnako považované za splnené, nakoľko pri vyhodnocovaní údajov treba brať do úvahy i neistotu nameraných hodnôt spôsobenú nepresnosťou meracích prístrojov. Na obrázkoch 2 a 3 je uvedené štatistické vyhodnotenie porovnania emisných faktorov s normou platnou v SR a ČR v chove kuracích brojlerov.

Namerané hodnoty emisných faktorov v chove kuracích brojlerov boli roztriedené do intervalového rozdelenia početnosti tak, aby platná norma (SR = 0,15, ČR = 0,10) tvorila krajnú (hornú) hranicu niektorého z intervalov. Ako vyplýva z obrázku 2, v prípade SR išlo o tretí interval (tretí stĺpec v gra-

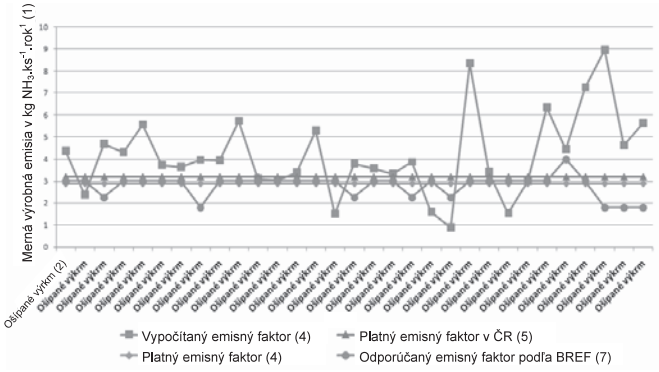
fe), v obrázku 3 (ČR) to bol druhý interval. Je zjavné, že slovenskú normu spĺňalo 64,52 %, t. j. 20 analyzovaných fariem. V porovnaní s českou normou, ktorá je prísnejšia, dosahovalo normu len 41,94 % fariem (13 fariem).

V rámci analýzy emisných faktorov sme následne overovali pomocou štatistických testov splnenie noriem. Bol použitý test strednej hodnoty so známou konštantou, kde H_0 hypotéza predpokladala dodržanie normy. Pokiaľ ide o normu v Slovenskej republike môžeme konštatovať, že normy emisných faktorov v chove kuracích brojlerov boli dodržané (H_0 hypotézu sme nezamietli). V prípade normy v Českej republiky, bol predpoklad zhody s normou potvrdený na hladine významnosti 0,01, t. j. hypotézu sme na hladine významnosti 0,05 zamietli, čiže rozdiel medzi nameranými hodnotami a normou je štatisticky preukazný, nie však vysokopreukazný.

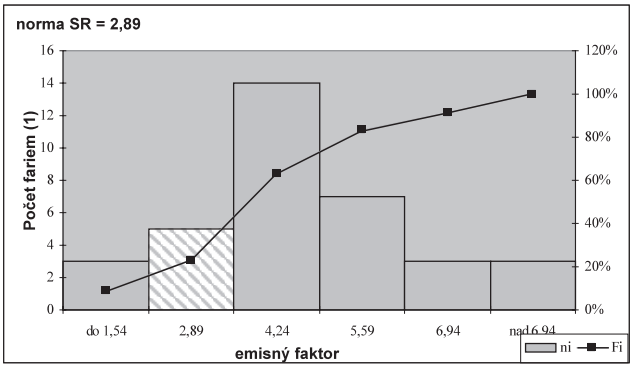
Na obrázku 4 je grafické porovnanie vypočítaných emisných faktorov v chovoch ošípaných na výkrm s emisnými faktormi stanovenými v príslušných zákonoch ČR a SR a v BREF dokumente.

Hodnoty emisných faktorov získaných výpočtom na základe nameraných koncentrácii emisií amoniaku v chove výkrmových ošípaných sú v súlade s českým právnym predpisom v 48,38 % prípadov. Na Slovensku vzhľadom na prísnejšie hodnoty platných emisných faktorov pre amoniak bolo v súlade 16,21 % prípadov. Rovnaká situácia nastala aj pri porovnaní s BREF dokumentom. Tento údaj je potrebné brať do úvahy ako orientačný, pretože v mnohých prípadoch nebolo jednoduché k prevádzkovanej technológii v ČR a SR priradiť vhodný emisný faktor uvedený v BREF dokumente. V prípadoch kde došlo k prekročeniu platného emisného faktora do 20 % boli merania rovnako považované za splnené, nakoľko pri vyhodnocovaní údajov treba brať do úvahy i neistotu nameraných hodnôt spôsobenú nepresnosťou meracích prístrojov. Na obrázkoch 5 a 6 je uvedené štatistické vyhodnotenie porovnania emisných faktorov s normou platnou v SR a ČR v chove kuracích brojlerov.

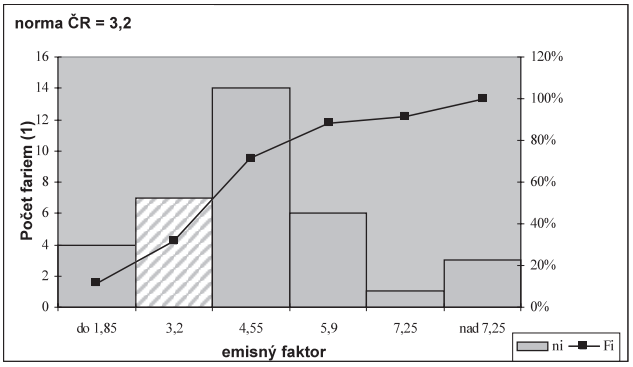
Podobne ako v prípade chovu brojlerov, aj v chove ošípaných boli farmy rozdelené do intervalového rozdelenia početnosti (obrázky 5, 6). V obidvoch obrázkoch bola norma reprezentovaná druhým intervalom (druhý stĺpec), čiže pri porovnaní so slovenskou normou spĺňalo normu 22,86 % podnikov (8 fariem) a pri porovnaní s českou normou 31,43 % podnikov (11 fariem).



Obrázok 4 Porovnanie mernej výrobnej emisie v chovoch ošípaných s platnými emisnými faktormi
Figure 4 Comparison of ammonia emissions measured in the stable of pigs breeding with currently valid ammonia emissions factors
(1) measure production emission, (2) pig breeding, (3) calculate of emissions factors, (4) currently valid ammonia emissions factors in CZ, (5) currently valid ammonia emissions factors in SK, (6) recommend emissions factor of BREF)



Obrázok 5 Porovnanie vypočítaného EF s normou platnou v SR
Figure 5 Comparison of the calculated emissions with the regulation factor valid in Slovakia
(1) number of farms



Obrázok 6 Porovnanie vypočítaného EF s normou platnou v ČR
Figure 6 Comparison of the calculated factor with the regulation valid in Czech Republic
(1) number of farms

Pri štatistickom testovaní zhody s normou, v obidvoch prípadoch sme H_0 hypotézu zamietli, čiže namerané hodnoty štatisticky vysokopreukazne presahovali českú aj slovenskú normu.

Do súboru sledovaných chovov neboli zaraďované iba chovy s dobrou, či zlou úrovňou technologického vybavenia, kde by sa dali očakávať pozitívne alebo naopak negatívne výsledky, ale vo vzorke boli zastúpené obe skupiny. Návštevou fariem a zhodnocovaním používaných technológií bolo zistené, že na väčšine fariem sú používané systémy ustajnenia, ktoré sú v súčasnosti považované za najlepšie dostupné techniky (BAT). Avšak bolo zistené, že na mnohých farmách nebola za celé roky uskutočnená ani základná údržba technologických celkov, čo bolo zdokumentované napr. znečistenými ventilačnými systémami, ventilátormi buď úplne nefunkčnými alebo s poškodenými lopatkami, silne znečistené snímače maštaľnej klímy, silne skorodovanými alebo opotrebenými roštami čiastočne roštových podláh, silne znečistené podroštové kanály so silnými nánosmi usadenej hnojovice na stenách, brániacich voľnému odtoku hnojovice do skladovacích nádrží, kvapkajúce napájačky a pod. Tieto popísané skutočnosti majú významný vplyv na tvorbu emisií amoniaku a rovnako vplyv na mikroklímu v ustajňovacích objektoch a zdravotný stav chovaných zvierat. Tento stav samozrejme nezodpovedá hodnotám pre vhodné ustajňovacie parametre welfare zvierat, ktoré boli projektovo navrhnuté a sú pochopiteľne iné. Mnohé z fariem, v ktorých boli realizované experimentálne merania, boli postavené pred mnohými rokmi a do mnohých z nich v priebehu uplynulých ro-

kov neboli investované finančné prostriedky na modernizáciu technologických celkov.

Záver

V príspevku sú uvedené výsledky hodnotenia reálne nameraných a vypočítaných emisných faktorov v chovoch výkrmových ošípaných a kuracích brojlerov. Výsledok je obrazom reálnej emisnej situácie v chovoch ošípaných a hydiny. Svojím rozsahom ide o jedinečný súbor nameraných hodnôt v chovoch hospodárskych zvierat, ktorý môže slúžiť pre bližšiu analýzu stavu mikroklimatických a ustajňovacích parametrov, využiteľných pre projektantov novo budovaných alebo rekonštruovaných zariadení. Predložený súbor meraní preukázal, že v chovoch hydiny boli EF splnené v 64,28 % prípadov, avšak EF odporúčaný v BREF dokumente bol splnený len v 39,28 % prípadov. V chovoch ošípaných bol EF v súlade s českým právnym predpisom v 48,38 % prípadov a vzhľadom na prísnejšie hodnoty platných emisných faktorov pre amoniak v SR bolo v súlade 16,21 % prípadov. Rovnaká situácia nastala aj pri porovnaní s BREF dokumentom. Z uvedeného vyplýva, že legislatívne zakotvené emisné faktory v chovoch hydiny a ošípaných sú reálne splniteľné a sú plnené pomocou inštalovaných technológií. Ako už bolo uvedené, do súboru meraní boli zaraďované farmy s vyššou, ale i nižšou kvalitou chovu, ktoré aj napriek tomu EF spĺňali, ale za porušenia kvality prostredia v ustajňovacích objektoch. Môžeme predpokladať, že za dodržiavania správnej technológie chovu, welfare zvierat a pri správnej údržbe technologických celkov by naši farmári dokázali vo veľkej miere spĺňať emisné faktory stanovené nielen v legislatíve Slovenskej a Českej republiky, ale dokázali by, aj za využitia nízkoemisných techník, spĺňať prísne hodnoty EF odporučené v BREF dokumente. BREF dokument má síce len odporúčací charakter a nie je právne záväzný, ale Slovenská inšpekcia životného prostredia z neho vychádza pri stanovovaní záväzných podmienok prevádzkovania chovu hospodárskych zvierat. V súčasnej dobe sú emisné faktory SR prehodnocované a v blízkej dobe môžeme očakávať ich zmenu. Súčasne prebieha i revízia BREF dokumentu, ktorej cieľom je spresnenie odporúčaných emisných faktorov.

Súhrn

Únik amoniaku patrí medzi najvýznamnejších znečisťovateľov z poľnohospodárskych budov a spôsobuje okyslenie pôdy a povrchových vôd. Viac ako 90 % úniku amoniaku pochádza z poľnohospodárstva a okolo 97 % úniku z poľnohospodárstva pochádza z domácich zvierat a príbuzných aktivít a z toho okolo 50 % je vypúšťaných z ventilačného skladu a hnojiska. Cieľom tejto práce bolo zistiť plnenie emisných faktorov stanovených platnou legislatívou na ochranu ovzdušia Českej a Slovenskej republiky v chovoch ošípaných a hydiny. Príspevok sa zaoberá hodnotením či sú emisné faktory pre amoniak v chovoch hydiny a ošípaných reálne splniteľné a či sú plnené pomocou inštalovaných technológií. Výsledkom celého hodnotenia je porovnanie nameraných hodnôt s referenčnými hodnotami.

Kľúčové slová: poľnohospodárstvo, chov ošípaných, chov hydiny, biotechnologické prípravky, amoniak, emisie, skleníkové plyny, životné prostredie

Práca bola riešená v rámci medzinárodnej spolupráce Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre s Výzkumným ústavem zemědělské techniky, v.v.i. v Praze, pri riešení Výzkumného záměru VÚZT MZE0002703102 „Výzkum efektivního využití technologických systémů pro setrvalé hospodaření a využívání přírodních zdrojů ve specifických podmínkách českého zemědělstvi“ a v rámci projektu Vega č. 1/0625/03 „Znižovanie emisií škodlivín plynov úpravou technických a technologických systémov v chove hospodárskych zvierat“ a projektu Vega č. 1/3476/06 „Výskum technológií v chove hospodárskych zvierat znižujúcich emisie škodlivých plynov negatívne ovplyvňujúcich životné prostredie“.

Literatúra

KAI, P. a i. 2007. Reduction of ammonia emissions from pig housing, slurry storage and applied slurry through acidification of slurry. In: Monteny, G. J. – Hartung, E. Ammonia emissions in agriculture. 2007. Wageningen Academic Publisher The Netherlnads. 2007. 403 p. ISBN 978-90-8686-029-6

JELÍNEK, A. a i. 2002. Problematika měření emisí amoniaku a dalších zátěžových plynů z podestýlky hospodářských zvířat ve fermentorech. In: Technika v procesech trvale udržitelného hospodaření a produkce bezpečných potravin. Brno : MZLU Brno, 2002. s. 238–247. ISBN 80-7158-604-2.

JELÍNEK, A. a i. 2003. Vývoj emisií amoniaku z intenzívnich chovů hospodářskych zvířat do roku 2010. Zpráva o činnosti 2002. Praha : VUZT 2003. s. 45–50. ISBN 80-903271-2-5

LYON, L. a i. 2007. Farm-scale evaluation of three cover systems for reducing ammonia emissions from swine manure stores and subsequent land spreading. In: Monteny, G. J. – Hartung, E. Ammonia emissions in agriculture. 2007. Wageningen Academic Publisher The Netherlnads. 2007. p. 226–227. ISBN 978-90-8686-029-6

ŠVENKOVÁ, J. – KOVÁČ, Š. 2006. The Reduction of Ammonia Emission in Stables Of Pig Breeding. In: Recent Advances in Agriculture, Food Procesing and Waste Policy. International scientific student's konference. Nitra : SPU, 2006, s. 65–71. ISBN 80-8069-690-X

ŠVENKOVÁ, J. 2007. Znižovanie emisií škodlivých plynov úpravou technických a technologických systémov v chove hospodárskych zvierat. Dizertačná práca : Nitra : SPU, 2007, 150 s.

Kontaktná adresa:
Ing. Jana Švenková, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta, Katedra výrobnej techniky, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, tel: + 421 37 641 4302, e-mail: Jana.Svenkova@uniag.sk; Ing. Martin Dědina, PhD., Výzkumný ústav zemědělské techniky, Drnovská 507, 161 01 Praha 6, ČR, tel.: + 420 233 022 456, e-mail: Martin.Dedina@vuzt.cz
Ing. Eva Matejková, PhD., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Fakulta ekonomiky a manažmentu, Katedra štatistiky a operačného výskumu, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, +421 37 641 4148, e-mail: Eva.Matejkova@uniag.sk

Acta technologica agriculturae 2
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2010, s. 33–35

POROVNÁNÍ MODELŮ SYNCHRONNÍHO STROJE

COMPARING THE SYNCHRONOUS MACHINE MODELS

Zbyněk VONDRÁŠEK

Česká zemědělská universita v Praze

The paper is focused on modelling the transients on synchronous machine, especially short-circuit. The states in AC-windings have a effects the exciting winding. First of all, the an current-stress of exciting circuit is kept in view. The computer-model of synchronous machine is designed in the Famulus environment (version 3.5). The output of simulation is a time-response of current in axes d, q as well as in the exciting circuit. The results of 1-damper-winding- model and 2-damper-winding-model are compared. It is paradox case, when the result of the simpler model is better than result of more complex model.

Key words: electrodynamical system, synchronous machine, short-circuit, transient state, modelling, Famulus

Při modelování jakýchkoliv systémů vznikají specifické problémy. Důležitým aspektem je možnost úprav modelu obzvlášť tak, aby případné nepřesnosti byly eliminovány, nebo se minimalisoval jejich vliv. Simulační experimenty dávají možnosti tvorby alternativních modelových forem a jejich struktur tak, aby se výsledky modelu shodovaly značnou měrou s chováním reálného elektrodynamického systému (např. synchronní stroj pracující do samostatné sítě). Nástrojem je programové prostředí Famulus vytvořené na Universitě Karlově. Oproti světově rozšířeným simulačním prostředkům Matlab a z něj odvozených má výhodu podstatně nižší hardwarové náročnosti, ale i nevýhodu v podobě nutnosti částečné znalosti principů programování. Na příkladu trojpólového zkratu synchronního stroje provedeno porovnání simulačních výsledků modelových struktur s různými počty tlumicích obvodů.

Materiály a metody

Model synchronního stroje je proveden pomocí Parkovy transformace souřadnic do složek *d*, *q*, 0. Za podmínky linearity byl podobný model vytvořen *T.* Laiblem a popsán v literatuře (Lajble, 1957), který bude upraven podle systému M. Canaye (Canay, 1968). V nejzákladnějším případě je nezbytný popis pomocí napětí, proudů a spřažených magnetických toků, případně ještě převodními vztahy mezi fázovými a složkovými veličinami.

Popis synchronního stroje v systému *d*-*q*-0 pomocí poměrných veličin realisuje v souladu s obr. 1 následující soustava rovnic (1) pro napětí a proudy. Zahrnuje i přídavné spojové prvky mezi strojem a zkratovištěm – r_V a x_V.

$$u_d = -(r_V + r_a) i_d - \frac{d\psi_d}{dt} + n\psi_q$$

$$u_q = -(r_V + r_a) i_q - \frac{d\psi_q}{dt} + n\psi_d$$

$$u_o = -(r_V + r_a) i_o - \frac{d\psi_o}{dt}$$

$$u_f = r_f \times i_f + \frac{d\psi_f}{dt}$$

$$0 = r_{D1} = r_{D1} \times i_{D1} + \frac{d\psi_{D1}}{dt} \quad (1)$$

$$0 = r_{D2} = r_{D2} \times i_{D2} + \frac{d\psi_{D2}}{dt}$$

$$0 = r_{Q1} = r_{Q1} \times i_{Q1} + \frac{d\psi_{Q1}}{dt}$$

$$0 = r_{Q2} = r_{Q2} \times i_{Q2} + \frac{d\psi_{Q2}}{dt}$$

Tento systém se nijak podstatně měnit nebude oproti systému vytváření spřažených magnetických toků, který určitou variabilitu má. Pro modelování je využit Canayův systém (Canay, 1968), který umožňuje v lineárním přiblížení s výhodou využít maticový zápis:

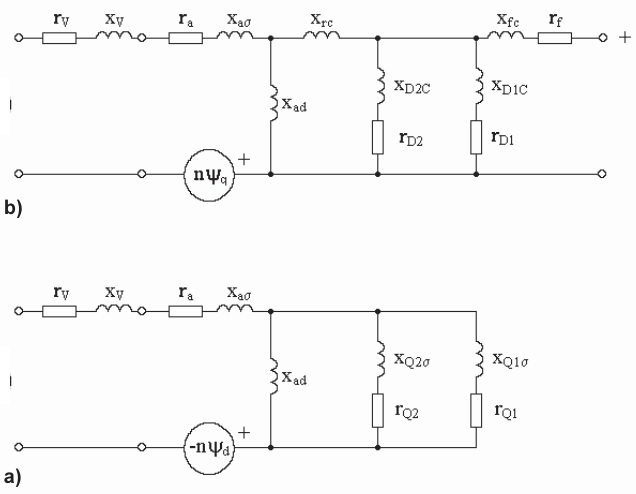
$$\begin{bmatrix} \psi_d \\ \psi_{D1} \\ \psi_{D2} \\ \psi_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_V + x_{a\sigma} + x_{ad}) & x_{ad} \\ x_{ad} & (x_{ad} + x_{rc} + x_{D1c}) \\ x_{ad} & (x_{ad} + x_{rc}) \\ -x_{ad} & -(x_{ad} + x_{rc}) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_{ad} & -x_{ad} \\ (x_{ad} + x_{rc}) & -(x_{ad} + x_{rc}) \\ (x_{ad} + x_{rc} + x_{D2c}) & -(x_{ad} + x_{rc}) \\ -(x_{ad} + x_{rc}) & (x_{ad} + x_{rc} + x_{fc}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_d \\ i_{D1} \\ i_{D2} \\ i_f \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} \psi_q \\ \psi_{Q1} \\ \psi_{Q2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (x_V + x_{a\sigma} + x_{aq}) & x_{aq} & x_{aq} \\ x_{aq} & (x_{aq} + x_{Q1\sigma}) & x_{aq} \\ x_{aq} & x_{aq} & (x_{aq} + x_{Q2\sigma}) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_q \\ i_{Q1} \\ i_{Q2} \end{bmatrix}$$

$$\psi_0 = (x_V + x_0) \times i_0$$

Způsob řešení je následovný. Napěťové rovnice (1) jsou upraveny na tvar, v němž na jedné straně jsou časové derivace spřažených magnetických toků a na druhé straně zbývající části. To kvůli tomu, že spřažené magnetické toky se nemění skokově na rozdíl od ostatních obvodových veličin. Při zkratu vi-



Obrázok 1 Schematické uspořádání náhradních obvodů synchronního stroje s větším počtem tlumicích obvodů
a) podélná osa, b) příčná osa

Figure 1 Diagrams of substitute network of synchronous machine with multiple damping circuit in rotor
a) logitudinal axis, b) transversal axis

nutí se toto snaží zachovat stálou velikost spřaženého magnetického toku, který však mění svou velikost oproti okamžiku zkratu. Lze vyčíslit velikost změny spřažených magnetických toků popsanou pomocí soustavy (3), která vzniká úpravou soustavy (1):

$$\begin{aligned}
\frac{d\psi_d}{dt} &= -u_d - (r_V + r_a) i_d + n\psi_q \\
\frac{d\psi_q}{dt} &= -u_q - (r_V + r_a) i_q + n\psi_d \\
\frac{d\psi_0}{dt} &= -u_0 - (r_V + r_a) i_0 \\
\frac{d\psi_f}{dt} &= u_f - r_f \times i_f \\
\frac{d\psi_{D1}}{dt} &= -r_{D1} \times i_{D1} \\
\frac{d\psi_{D2}}{dt} &= -r_{D2} \times i_{D2} \\
\frac{d\psi_{Q1}}{dt} &= -r_{Q1} \times i_{Q1} \\
\frac{d\psi_{Q2}}{dt} &= -r_{Q2} \times i_{Q2}
\end{aligned} \qquad (3)$$

Získané časové derivace jsou numericky integrovány pomocí numerických metod pro získání nových hodnot spřažených magnetických toků. Za podmínky linearity a reciprocity systému, která je pro zjednodušení předpokládána, lze relativně jednoduše určit ze spřažených magnetických toků proudy pomocí inversních matic. Pro zmíněné matematické operace existují v prostředí Famulus standardní procedury (např. metoda Runge – Kutta, LU – dekomposice popř. inverse matic).

Výsledky a diskuse

Řešení je provedeno pro synchronní alternátor Škoda předpokládaného typového výkonu 250 MVA, který je využíván ke zkratovým zkouškám a jehož známé parametry udává tabulka 1.

Tabulka 1 Parametry synchronního stroje Škoda (typ HB 644862/2)

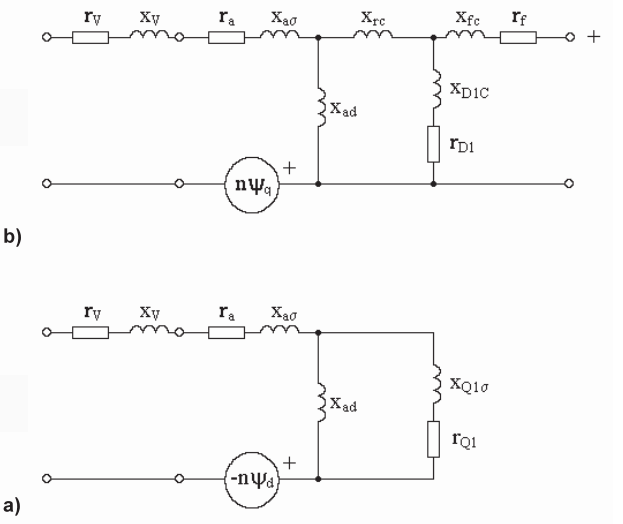
S = 250 MVA	U_{1n} = 13 kV	I_{1n} = 11,1 kA
n_n = 3 000 min^{-1}	f_n = 50 Hz	GD^2 = 19 t.m2
U_f = 139 V	I_f = 700 A	R_f = 0,197 Ω
R_a = 1,985 mΩ	Z_n = 0,67595 Ω	X_d = 1,0806 Ω
X_d' = 0,0825 Ω	X_d" = 0,0635 Ω	X_0 = 0,05766 Ω
X_2 = 0,659 Ω	T_d" = 0,026 s	T_d' = 0,647 s
T_a = 0,091 s	T_{d0}' = 8,473 s	

Table 1 Parameters of synchronous machine Škoda (HB644862/2 – type)

Ve zkratové soustavě jsou zahrnuty parametry spojového prvku X13 pro těžší zkrat – reaktance X_V = 0,086168 Ω, a odpor R_V = 1,44 mΩ. Zmíněné parametry jsou v simulačním programu převedeny do poměrných veličin (P.U.) a veškeré časové veličiny převedeny na úhlové v radiánech pro jmenovitou frekvenci a otáčky alternátoru. Pro výpočet simulace je použito metody Rungeovy-Kuttovy, která většinou dává výsledky přesnější (standardní procedura). Jiná alternativa výpočtu je přírůstková metoda Gaussova, která nedosahuje přesnosti výše uvedené metody, ale lépe umožňuje rozšíření modelu o další vlivy.

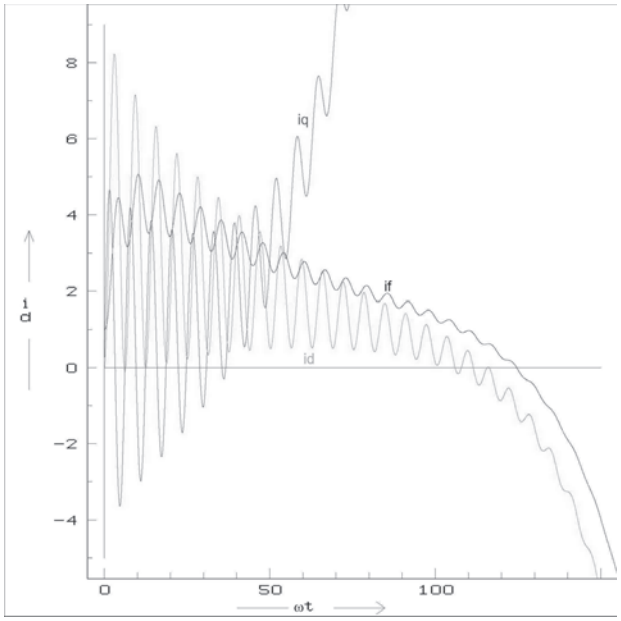
Výpočty proudů během zkratu jsou provedeny za podmínky stálých otáček stroje (n = konst) a konstantního budicího napětí v případě těžšího zkratu – použití spojové impedance X13 podle testu 62198. Pro zjednodušení byl uvažován pouze 3-fázový souměrný zkrat, při němž nedochází k vývinu netočivé složky proudu i_0 a celý výpočet poměrů při zkratu je nejjednodušší možný.

Obrázek 3 zachycuje časové průběhy proudů podélné a příčné osy a budicího proudu po přepočtu na jednotkové výchozí hodnoty nabuzení při použití složitější struktury dle obr. 1. Výsledek numerické simulace cca po 0,1 sekundě zkratu diverguje. Divergence nejprve postihuje příčnou složku statorových proudů, krátce poté i ostatní sledované proudy.



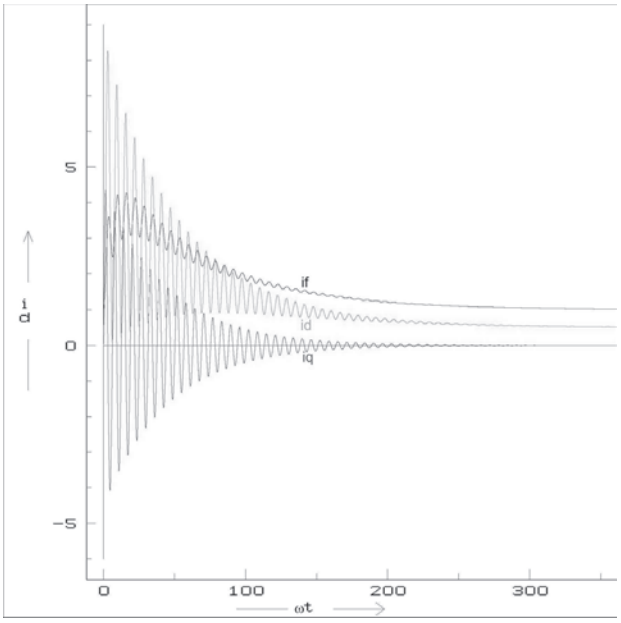
Obrázok 2 Schematická uspořádání náhradních obvodů synchronního stroje s jedním tlumicím obvodem v rotoru
a) podélná osa, b) příčná osa

Figure 2 Diagrams of substitute network of synchronous machine with simple damping circuit in rotor
a) logitudinal axis, b) transversal axis



Obrázok 3 Časové průběhy proudů vinutí statoru v podélné a příčné ose a budicího proudu (i_f) během těžšího provozního zkratu při použití složitější struktury modelu

Figure 3 Time response of stator winding currents in both axes and exciting current (i_f) during harder functional short-circuit with use of more complex model



Obrázok 4 Časové průběhy proudů vinutí statoru v podélné a příčné ose a budicího proudu (i_f) během těžšího provozního zkratu při použití jednodušší struktury modelu

Figure 4 Time responses of stator winding currents in both axes and exciting current (i_f) during harder functional short-circuit with use of simpler model

Změny obvodových parametrů ani zkrácení výpočtového kroku nevedly k jejímu odstranění. Dochází k faktickému znehodnocení výsledků, které se pak zcela odlišují od oscilogramu reálného zkratu.

Obrázek 4 zachycuje časové průběhy proudů budicího a statorových v jednotlivých osách při použití jednodušší struktury modelu dle obr. 2. Porovnáním s reálnými průběhy proudů při zkratové zkoušce na oscilogramu lze konstatovat, že je vypočtený průběh budicího proudu velmi podobný reálnému oscilogramu. Odlišností je velikost maximálního výkmitu budicího proudu, která je při výpočtu cca o 10,5 % vyšší. Pro účely dimenzování prvků budicího okruhu je výhodou částečné „nadhodnocení“ očekávaného proudu oproti skutečnosti kvůli případnému nižšímu riziku destrukce přídavných prvků obvodu. Zároveň se jeví správnou identifikace parametrů náhradních schemat modelu díky zmíněné minimální odlišnosti výsledků simulace od skutečnosti.

Paradoxně lepší výsledky simulace dává jednodušší struktura náhradních schemat modelu. Složitější struktura modelu má problematickou stabilitu výpočtu. Numerická divergence složitější struktury je velmi častá a obtížně odstranitelná.

Souhrn

Příspěvek se zabývá numerickým modelováním přechodových jevů na synchronním stroji, především zkratů. Jevy ve střídavých vinutích zpětně ovlivňují vinutí budicí. Na zřeteli je zde právě proudové namáhání budicího okruhu. Počítačový model je vytvořen v prostředí Famulus – verze 3.5. Na příkladu trojpólového zkratu synchronního stroje jsou sledovány časové průběhy proudů statorových vinutí ve složkách d,q a v budicím okruhu. Jsou porovnávány výsledky modelů s jedním nebo dvěma tlumicími obvody v rotoru. Dochází k paradoxu kdy jednodušší model poskytuje korektnější výsledky než složitější.

Klíčová slova: elektrodynamický systém, synchronní stroj, přechodový jev, modelování, Famulus

Literatura

CANAY, M. 1968. Ersatzschemata der Synchronmaschine sowie Vorausberechnung der Kenngrößen mit Beispielen. These École polytechnique de l'Université de Lausane, 151 p.

HORA, O. a i. 1976. Regulace elektrických strojů. Praha : SNTL, 1976. Teoretická knižnice inženýra, 483 s.

LAJBLEle, T. 1957. Těorija sinchronnoj mašiny pri perechodnych processach. Moskva : Gosudarstvennoje enĕrgetičeskoje izdatělstvo, 1957. 169 p.

FAMULUS Etc. – uživatelské manuály systému Famulus 3.5

Kontaktní adresa:
Ing. Zbyněk Vondrášek, Katedra elektrotechniky a automatizace, Technická fakulta, Česká zemědělská universita v Praze, Kamýcká 129, 16521 Praha 6 – Suchdol, tel. 2 2438 3194, e-mail: vondrasek@tf.czu.cz

Acta technologica agriculturae 2
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2010, s. 36–40

TERMODYNAMIKA SPALÍN Z BIOPLYNU

THERMODYNAMICS OF COMBUSTION GASES FROM BIOGAS

Ivan VITÁZEK, Juraj HAVELKA

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Nowadays, biogas as renewable energy source is used as fuel gas. Slovak University of Agriculture in Nitra developed a new modern appliance for the production of biogas from agricultural materials. Composition of the biogas depends on the used material. Method which uses thermodynamics of gas mixtures and is aimed for calculation of all necessary parameters was elaborated. A computer program for fast and exact realisation of this calculations using Q-Basic was prepared.

Key words: biogas, thermodynamic parameters, characteristic indexes

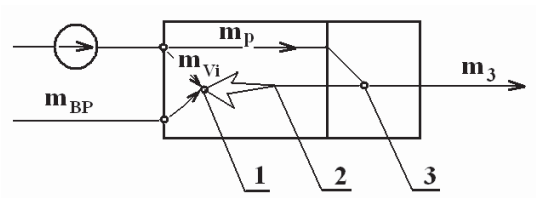
Bioplyn ako významné plynné palivo sa produkuje pri anaeróbnom kvasení biologických materiálov. V súčasnej dobe sa preto javí ako významný obnoviteľný zdroj energie. Na SPU v Nitre bolo vyvinuté v rámci medzinárodnej spolupráce nové moderné zariadenie na produkciu bioplynu z poľnohospodárskych materiálov.

Zloženie bioplynu sa pomerne značne mení podľa druhu použitého materiálu (Gaduš a Kročko, 2006; Gaduš a Šargová, 2005). Určenie jeho parametrov je preto náročné. Autori vypracovali metódu, kde pomocou termodynamiky zmesi plynov a tabuľkových presných parametrov jednotlivých plynných zložiek sa vypočítajú všetky potrebné termodynamické a prevádzkové hodnoty pre bioplyn daného určitého zloženia. Vypracovaný bol aj výpočtový program v Q-Basicu pre rýchle a presné výpočty všetkých potrebných veličín.

Materiál a metódy

Identifikácia sústavy

Autori navrhli jednoduchú schému spaľovacieho zariadenia pre plynné palivo pre spaľovanie s prebytkom vzduchu, v ktorom je vyznačený pohyb hmôt a energií. Pre analýzu priebehu procesu boli použité:



Obrázok 1 Schéma pohybu hmôt v spaľovacom zariadení
m_{BP} – hmotnostný tok bioplybu, m_p – hmotnostný tok prebytku vzduchu, M_{vi} – stechiometrický hmotnostný tok suchého vzduchu
1 – spaľovacia zmes, 2 – stav stechiometrických horúcich spalín, 3 – finálna horúca spalinová zmes (stechiometrické spaliny a prebytok vzduchu)

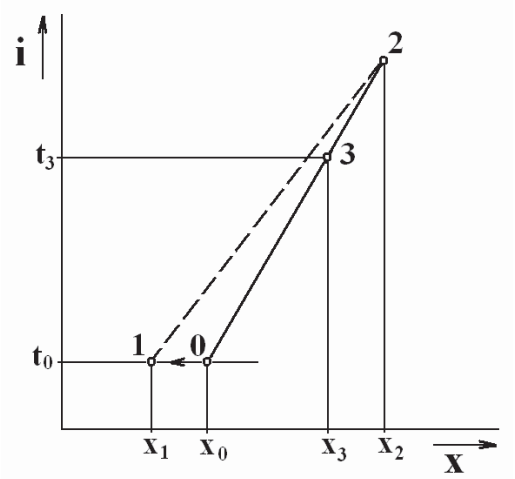
Figure 1 Scheme of the mass flow in the burner chamber
m_{BP} – mass flow rate of biogas, m_p – mass flow of air surplus, m_{Vi} – stechiometric mass flow of dry air
1 – combustion mixture, 2 – stechiometric hot flue gases, 3 – final hot flue gas mixture (stechiometric combustion and excess air)

- termodynamika ideálnych plynov,
- termodynamika zmesi ideálnych plynov,
- termodynamika vlhkého vzduchu (vlhkého plynu)
- tabuľky skutočných špecifických entalpií jednotlivých plynov a lineárna regresia týchto tabuľkových hodnôt.

Autori uskutočnili všetky rozbory a výpočty pre jednotkové hmotnosti plynov v kg, nakoľko tieto vzťahy sú najjednoduchšie.

Na obr.1 je schéma pohybu hmôt a energií pri spaľovaní bioplynu s prebytkom vzduchu v spaľovacom zariadení – horák, kotol a pod. pri konštantnom tlaku.

Na obr. 2 je znázornený priebeh zmien stavu látky v priebehu celého procesu tvorby horúcej zmesi v *i-x* diagrame vlhkého vzduchu (vlhkého plynu).



Obrázok 2 Priebeh zmien stavu tvorby zmesi v *i–x* diagrame vlhkého vzduchu
i – entalpia, *x* – merná vlhkosť, *t* – teplota
0 – stav atmosférického vzduchu, 1 – stav spaľovacej zmesi, 2 – stav stechiometrických horúcich spalín, 3 – stav finálnej horúcej spalinovej zmesi, 0–1 tvorba spaľovacej zmesi, 1–2 horenie bioplynu pri konštantnom tlaku, 2–3 tvorba horúcej spalinovej zmesi

Figure 2 Change of the mixture state in *i-x* diagram of wet air
i – specific enthalpy, *x* – specific humidity, *t* – temperature
0 – state of atmospheric air, 1 – state of combustion mixture, 2 – state of hot stechiometric combustion, 3 – state of flue gas mixtures, 0–1 production of the combustion mixture, 1–2 combustion of biogas in constant pressure, 2–3 production of hot flue gas mixtures

Spaľovanie bioplynu a tvorbu horúcej spalinovej zmesi analyzujeme ako tri postupne prebiehajúce samostatné deje pri konštantnom tlaku.

Bod 0 Stav atmosférického vzduchu, ktorý slúži ako spaľovací vzduch.

Bod 1 Spaľovacia zmes m_1 ako zmes stechiometrického množstva spaľovacieho vzduchu a bioplynu.

Bod 2 Stav stechiometrických horúcich spalín m_2.

Bod 3 Stav finálnej horúcej spalinovej zmesi, ktorá vzniká zmiešaním stechiometrických spalín m_2 (2) a prebytku spaľovacieho vzduchu m_p (0).

Dej 0–1 znázorňuje tvorbu spaľovacej zmesi pri konštantnej teplote a konštantnom tlaku.

Dej 1–2 predstavuje horenie bioplynu pri konštantnom tlaku, ale neznázorňuje tento dej termodynamicky, nakoľko sa pritom zloženie zmesi plynov značne mení.

Dej 2–3 a 0–3 znázorňuje tvorbu horúcej spalinovej zmesi (3), ktorá vzniká zmiešaním stechiometrických spalín (2) a prebytku vzduchu (stav 0).

Metodika výpočtov

Zloženie bioplynu sa vyjadruje pomocou objemových podielov x_{vi}, ktoré sa číselne rovnajú molárnym podielom x_i.
Bioplyn tvorí zmes niekoľkých plynov.
Molárna hmotnosť zmesi M sa vypočíta:

$$M = \frac{m}{n} = \frac{\sum n_i \cdot M_i}{n} = \sum x_i \cdot M_i ; \text{ kg.mol}^{-1} \quad (1)$$

Špecifická plynová konštanta zmesi r sa vypočíta:

$$r = \frac{R_m}{M} = \frac{8\,314}{M} ; \text{ kJ.kg}^{-1} \quad (2)$$

Hmotnostný podiel σ_i jednotlivých plynových zložiek sa vypočíta prepočtom z hodnoty x_i:

$$\sigma_i = \frac{m_i}{m} = \frac{n_i \cdot M_i}{n \cdot M} = x_i \frac{M_i}{M} \quad (3)$$

Výhrevnosť bioplynu Q_n, vztiahnutá na 1 kg zmesi, sa vypočíta podľa STN (9):

$$Q_n = \sum \sigma_i \cdot Q_{ni} ; \text{ J.kg}^{-1} \text{ (kJ.kg}^{-1}, \text{ MJ.kg}^{-1}) \quad (4)$$

Hustota bioplynu ρ_{BP} pre základné podmienky podľa vyhlášky MH SR, t.j. t = 15 °C (288,15 K), p = 101,325 kPa, sa vypočíta pomocou stavovej rovnice ideálneho plynu:

$$\rho_{BP} = \frac{1}{v} = \frac{p}{r \cdot T} ; \text{ kg.m}^{-3} \quad (5)$$

Výhrevnosť bioplynu Q_n, vztiahnutá na 1 m^3 zmesi so základnými podmienkami:

$$Q_n \text{ (J.m}^{-3}) = Q_n \text{ (J.kg}^{-1}) \cdot \rho_{BP} \text{ (kg.m}^{-3}) \quad (6)$$

Relatívna hustota, hutnosť bioplynu d, je pomer hustoty plynu ρ_{BP} a hustoty atmosférického vzduchu ρ_a pri základných podmienkach:

$$d = \frac{\rho_{BP}}{\rho_a} \quad (7)$$

Bioplyn

Bioplyn vzniká zo vstupných surovín činnosťou metanogénnych baktérií bez prístupu vzduchu. Zloženie bioplynu závisí od vstupných surovín.

V literatúre sme zistili niekoľko rôznych zložení bioplynu. Z týchto sme vo svojej práci použili zloženie podľa (Kiss, 1987), kde sa uvádza zloženie v % objemu:

Metán	CH_4	x_{CH4} = 40÷75 % obj.
Oxid uhličitý	CO_2	x_{CO2} = 25÷55 % obj.
Vodná para	H_2O	x_{H2O} = 0÷10 % obj.
Dusík	N_2	x_{N2} = 0÷5 % obj.
Kyslík	O_2	x_{O2} = 0÷2 % obj.
Vodík	H_2	x_{H2} = 0÷1 % obj.
Amoniak	NH_3	x_{NH3} = 0÷1 % obj.
Sírovodík	H_2S	x_{H2S} = 0÷1 % obj.

Podstatnú časť hmotnosti bioplynu tvorí metán CH_4 a oxid uhličitý CO_2. Všetky ostatné plyny sa vyskytujú v tak malých množstvách, že sa pri výpočtoch neuplatnia. Uskutočnili sme preto modelové výpočty pre zloženie bioplynu metán CH_4 a oxid uhličitý CO_2. Pre informáciu uvádzame prepočítané hodnoty pre minimálny a maximálny stav CH_4.

Bioplyn chudobný:

x_{CH4} = 40 % obj.	x_{CO2} = 60 % obj.	M = 32,822 kg.mol^{-1}
r = 253,3 J.kg^{-1}.K^{-1}	σ_{CH4} = 0,195	σ_{CO2} = 0,804
Q_n = 9,764 MJ.kg^{-1}		

Bioplyn bohatý:

x_{CH4} = 75 % obj.	x_{CO2} = 25 % obj.	M = 23,033 kg.mol^{-1}
r = 360,1 J.kg^{-1}.K^{-1}	σ_{CH4} = 0,522	σ_{CO2} = 0,478
Q_n = 26,1 MJ.kg^{-1}		

Horľavá zložka bioplynu metán CH_4 obsahuje prvky C a H podľa chemického zloženia:

12,011 kg C + 4 x 1,008 kg H_2 = 16,04 kg CH_4

z toho:

1 kg CH_4 = 0,74868 kg C + 0,251325 kg H_2

Pre stechiometrické výpočty použijeme hmotnostné podiely:

Uhlík C	c = 0,74868 . σ_{CH4}
Vodík H_2	h = 0,25132 . σ_{CH4}
Oxid uhličitý	co_2 = σ_{CO2}

Atmosférický vzduch

Atmosférický vzduch slúži ako zdroj kyslíka pre spaľovanie bioplynu. Chyský (1997) uvádza nasledovné zloženie atmosférického vzduchu:

dusík	N_2	σ_{aN2} = 0,75524
kyslík	O_2	σ_{aO2} = 0,23144
oxid uhličitý	CO_2	σ_{CO2} = 0,01282
argón + iner. pl.	Ar^+	σ_{aAr} = 0,0005
molárna hmotnosť		M_a = 28,96
špecifická plynová konštanta		r_a = 287,04 J.kg^{-1}.K^{-1}

Hustota atmosférického vzduchu ρ_a pri základných podmienkach (t = 15 °C, p = 101,325 kPa) je ρ_a = 1,225 kg.m^{-3}.

Výsledky

Stechiometrické vzťahy

Ideálne, stechiometrické spálenie bioplynu je popísané chemickými rovnicami pre oxidáciu jednotlivých horľavých zložiek.

Pre 1 kg bioplynu:

$$C + O_2 = CO_2 \quad (8)$$

$$1\ kg\ C + 2{,}26642\ kg\ O_2 = 3{,}6642\ kg\ CO_2 \quad (9)$$

$$2\ H_2 + O_2 = 2\ H_2O \quad (10)$$

$$1\ kg\ H_2 + 7{,}9365\ kg\ O_2 = 8{,}9365\ kg\ H_2O \quad (11)$$

Stechiometrická hmotnosť kyslíka O_2 pre ideálne spálenie 1 kg bioplynu je:

$$m_{O2i} = 2{,}6642 \cdot c + 7{,}936 \cdot h;\ kg \quad (12)$$

Príslušná najmenšia, stechiometrická, hmotnosť suchého vzduchu pre ideálne spálenie 1 kg bioplynu je:

$$m_{Vi} = \frac{m_{O2i}}{\sigma_{aO2}} = \frac{m_{O2i}}{0{,}23144};\ kg \quad (13)$$

Nové plyny vzniknuté oxidáciou pri stechiometrickom spálení 1 kg bioplynu sú:

– oxid uhličitý CO_2: $\Delta m_{CO2} = 3{,}6642 \cdot c;\ kg$ (14)

– vodná para H_2O: $\Delta m_W = 8{,}9365 \cdot h;\ kg$ (15)

Pri spálení 1 kg bioplynu zostáva z bioplynu hmotnosť inertného plynu:

– oxid uhličitý CO_2: $\Delta m_{CO2} = \sigma_{BCO2};\ kg$ (16)

Matematický model spaľovania

Stechiometrické spaliny z 1 kg bioplynu

Ventilátor nasáva atmosférický vzduch m_0 pre stechiometrické spálenie bioplynu.

Zloženie m_0:

– suchá časť $m_{OS} = m_{Vi}$ (17)

– vlhká časť $m_{OW} = m_{OS} \cdot x_0 = m_{Vi} \cdot x_0$ (18)

– celková hmotnosť $m_{OC} = m_{OS} + m_{OW} = m_{Vi}(1 + x_0)$ (19)

V zmiešavači sa k tomuto vzduchu pridá bioplyn m_{BP} a vzniká zápalná zmes m_1:

Zloženie m_1:

– suchá časť $m_{1S} = m_{OS} + m_{BP}$ (20)

– vlhká časť $m_{1W} = m_{OS} \cdot x_0 = m_{Vi} \cdot x_0$ (21)

– celková hmotnosť $m_{1C} = m_{1S} + m_{1W} = m_{Vi}\ (1 + x_0) + m_{BP}$ (22)

– merná vlhkosť $x_1 = m_{1W} / m_{1S}$ (23)

– entalpia $I_1 = m_{1S} \cdot i_{1V} + m_{1W} \cdot i_{1W} + m_{BP} \cdot i_{BP}$ (24)

pričom merná tepelná kapacita:

– pre vzduch $c_{pv} = 1{,}01\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$,

– pre vodnú paru $c_{pw} = 1{,}84\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$,

– pre bioplyn $c_{pBP} = \sigma_{CH4} \cdot 2{,}2 + \sigma_{CO2} \cdot 0{,}83\ kJ.kg^{-1}.K^{-1}$.

V spaľovacom priestore zápalná zmes m_1 zhorí, vznikajú horúce stechiometrické spaliny m_2. Hmotnosť sa nemení.

Zloženie m_2:

– suchá časť $m_{2S} = m_{OS} - m_{O2i} + \Delta m_{CO2} + \sigma_{BCO2}$ (25)

– vlhká časť $m_{2W} = m_{1W} + \Delta m_W$ (26)

– celková hmotnosť $m_{2C} = m_{2s} + m_{2W}\ (\equiv m_{1C})$ (27)

– merná vlhkosť $x_2 = m_{2W} / m_{2S}$ (28)

Chemické zloženie m_2: stechiometrické spaľovanie – všetok O_2 je spotrebovaný:

$$m_{2N2} = m_{os} \cdot \sigma_{aN2} \quad (29)$$

$$m_{2Ar} = m_{os} \cdot \sigma_{aAr} \quad (30)$$

$$m_{2CO2} = m_{OS} \cdot \sigma_{aCO2} + \Delta m_{CO2} + \sigma_{BCO2} \quad (31)$$

$$m_{2W} = m_{OS} \cdot x_0 + \Delta m_W \quad (32)$$

$$m_{2C} = m_{2N2} + m_{2Ar} + m_{2CO2} + m_{2W} \quad (33)$$

Entalpia horúcich spalín m_2:

$$I_2 = I_1 + m_{BP} \cdot Q_n \cdot \eta_h \quad (34)$$

kde:

η_h – účinnosť horáka, zahrňuje všetky straty pri horení

Finálna zmes

Výsledná zmes plynov m_3 je zmes ideálnych spalín m_2 a prídavného atmosférického vzduchu m_p.

Celková hmotnosť nasávaného vzduchu:

$$m_{VS} = m_{OS} + m_{ps} = m_{Vi} + m_{ps} \quad (35)$$

Pričom koeficient prebytku vzduchu :

$$\alpha = \frac{m_{VS}}{m_{Vi}} \quad (36)$$

z toho:

$$m_{VS} = \alpha \cdot m_{Vi} \quad (37)$$

$$m_{ps} = m_{VS} - m_{Vi} = m_{Vi}(\alpha - 1) \quad (38)$$

$$m_{pw} = m_{ps} \cdot x_0 = m_{Vi}(\alpha - 1) \cdot x_1 \quad (39)$$

Zloženie m_3:

– suchá časť $m_{3S} = m_{2S} + m_{ps}$ (40)

– vlhká časť $m_{3W} = m_{2W} + m_{pw}$ (41)

– celková hmotnosť $m_{3C} = m_{3S} + m_{3w}$ (42)

– merná vlhkosť $x_3 = m_{3W} / m_{3s}$ (43)

Chemické zloženie m_3:

$$m_{3N2} = m_{2N2} + m_{ps} \cdot \sigma_{aN2} \quad (44)$$

$$m_{3O2} = m_{ps} \cdot \sigma_{aO2} \quad (45)$$

$$m_{3Ar} = m_{2Ar} + m_{ps} \cdot \sigma_{aAr} \quad (46)$$

$$m_{3CO2} = m_{2CO2} + m_{ps} \cdot \sigma_{aCO2} \quad (47)$$

$$m_{3W} = m_{2W} + m_{ps} \cdot x_0 \quad (48)$$

$$m_{3C} = m_{3N2} + m_{3O2} + m_{3Ar} + m_{3CO2} + m_{3W} \quad (49)$$

Molárna hmotnosť M_3:

$$M_3 = \frac{1}{\sum \sigma_i / M_i} = \frac{m_{3C}}{\sum m_{3i} / M_i} \quad (50)$$

Špecifická plynová konštanta r_3:

$$r = 8\ 314 / M_3 \quad (51)$$

Entalpia zmesi m_3:

$$I_3 = I_2 + m_{ps}(1{,}01 + x_0 \cdot 1{,}84)t_0 \quad (52)$$

$$i_3 = I_3 / m_{3C} \quad (53)$$

Teplota t_3 sa vypočíta pomocou vzťahu pre i_3.

Skutočné entalpie jednotlivých plynov sú v tabuľkách (Ražnievič, 1969), kde pre $t = 0$ °C je $i = 0$. Použili sme lineárnu regresiu pre teplotový úsek 1600-2400 °C vo forme:

$$i_i = b_i \cdot t + a_i \tag{54}$$

z toho:

$$I_3 = \sum \sigma_{3i} \cdot i_{3i} = \sum \sigma_{3i}(b_i \cdot t_3 + a_i) \tag{55}$$

Po úprave:

$$i_3 = \sum \left(m_{3i}(b_i \cdot t_3 + a_i) \right) / m_{3C} \tag{56}$$

z toho určíme vzťah pre teplotu t_3:

$$t_3 = \frac{i_3 \cdot m_{3C} - \sum m_{3i} \cdot a_i}{\sum m_{3i} \cdot b_i} \tag{57}$$

Príklad

Ako príklad použitia predloženej metodiky uvádzame termodynamické parametre bioplynu so zložením rovnajúcim sa priemernej hodnote podľa Kiss (1987) pre základný stav $t = 15$ °C, $p = 101{,}325$ kPa predpísaný vyhláškou MH SR č.559/2007.

Zloženie:

- metán CH_4 57 %obj., oxid uhličitý CO_2 43 %obj.

Prepočítané parametre:

- molárna hmotnosť $M = 28{,}067$
- špecifická plynová konštanta $r = 296{,}2$ J.kg^{-1}.K^{-1}
- hmotnostné podiely: CH_4 $\sigma_{CH4} = 0{,}3257$; CO_2 $\sigma_{CO2} = 0{,}67425$
- hustota $\rho = 1{,}187$ kg.m^{-3}
- výhrevnosť $Q_n = 16{,}27$ MJ.kg^{-1}; $Q_n = 19{,}31$ MJ.m^{-3}
- relatívna hustota $d = 0{,}969$
- Wobbe číslo $W_n = 19{,}62$ kJ.m^{-3}
- chemické zloženie: c = 0,2439; h = 0,0818; $CO_2 = 0{,}6743$
- stechiometrická hmotnosť suchého vzduchu pre 1 kg bioplynu $m_{Vi} = 5{,}61$ kg

Pre rýchle a presné výpočty všetkých potrebných termodynamických parametrov spalín z bioplynu sme vypracovali program v Q-Basicu.

Charakteristické ukazovatele

Je daná zmeraná spotreba bioplynu V_{BP} (m^3) za hodinu.
Objemový prietok bioplynu:

$$\nu_{BP} = \dot{V}_{BP} / 3\,600; \ \text{m}^3.\text{s}^{-1} \tag{58}$$

Hmotnostný tok bioplynu – pre základný stav:

$$\dot{m}_{BP} = \nu_{BP} \cdot \rho_{BP}; \ \text{kg.s}^{-1} \tag{59}$$

Objemový tok nasávaného vzduchu – pre základný stav:

$$\nu_a = \frac{m_{Vi} \cdot \alpha(1 + x_0) \cdot \dot{m}_{BP} \cdot r_a \cdot T_0}{p_a}; \ \text{m}^3.\text{s}^{-1} \tag{60}$$

Tepelný výkon spaľovacieho zariadenia:

$$P = \dot{m}_{BP} \cdot Q_n \cdot \eta_h; \ \text{W, kW, MW} \tag{61}$$

Objemový tok horúcej spalinovej zmesi 3 pri teplote t_3 a tlaku p_a:

$$\nu_3 = \frac{m_{3C} \cdot \dot{m}_{BP} \cdot r_3 \cdot T_3}{p_a}; \ \text{m}^3.\text{s}^{-1} \tag{62}$$

Objemové podiely O_2 a CO_2 v zmesi 3:
Kyslík O_2:

$$x_{O2} = \sigma_{3O2} \frac{M_3}{M_{O2}} 100 = \frac{m_{3O2}}{m_{3C}} \frac{M_3}{M_{O2}} 100; \ \% \tag{63}$$

Oxid uhličitý CO_2:

$$x_{CO2} = \sigma_{3CO2} \frac{M_3}{M_{CO2}} 100 = \frac{m_{3CO2}}{m_{3C}} \frac{M_3}{M_{CO2}} 100; \ \% \tag{64}$$

Hmotnostné toky jednotlivých plynov v zmesi 3:

$$\dot{m}_{3i} = m_{3C} \cdot \dot{m}_{BP} \cdot \sigma_{3i}; \ \text{kg.s}^{-1} \tag{65}$$

Wobbe číslo Wn, ktoré vyjadruje podmienky zameniteľnosti plynného paliva:

$$W_n = \frac{Q_n}{\sqrt{d}}; \ \text{kJ.m}^{-3} \tag{66}$$

kde:

Q_n – výhrevnosť vztiahnutá na 1 m^3
d – relatívna hustota, obidve pre základný stav

Diskusia a záver

Bioplyn sa vyrába z rôznych materiálov aj na tom istom zariadení. Jeho zloženie sa podľa toho mení. Tabuľky v literatúre ukazujú, že vo veľmi značnom rozsahu. Preto nie je možná jednoduchá informácia o parametroch bioplynu.

Bioplyn a spaliny z bioplynu tvoria zmes 6 rôznych plynov, pričom sa v priebehu spaľovania zloženie tejto zmesi podstatne mení. Identifikácia zloženia týchto jednotlivých zmesí je obtiažna. Autori venovali preto tejto časti svojej práce mimoriadnu pozornosť.

Všetky plynné zložky spalín z bioplynu so zvýšením teploty zväčšujú svoju mernú tepelnú kapacitu. V predloženej práci sme preto použili lineárnu regresiu pre zvolený úsek teplôt z presných tabuliek, pričom vo všetkých vzťahoch bol dosiahnutý korelačný koeficient lepší ako 0,999.

Autori nepredpokladajú, že prípadný užívateľ bude túto metodiku podrobne študovať. V prípade potreby realizácie výpočtov podľa tejto metodiky tieto uskutoční pomocou existujúceho výpočtového programu v Q-Basicu.

Súhrn

Bioplyn ako zdroj obnoviteľnej energie je v poslednej dobe využívaný ako vykurovací plyn. Produkuje sa pri anaeróbnom kvasení biologických materiálov. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre vyvinula nové moderné zariadenie na výrobu bioplynu z poľnohospodárskych surovín. Zloženie bioplynu závisí od druhu materiálu. Autori vypracovali metódu, kde pomocou termodynamiky zmesi plynov a tabuľkových presných parametrov jednotlivých plynných zložiek sa vypočítajú všetky

potrebné termodynamické a prevádzkové hodnoty pre bioplyn daného určitého zloženia. Pripravili taktiež počítačový program v Q-Basicu pre rýchlu a presnú realizáciu výpočtov.

Kľúčové slová: bioplyn, termodynamické parametre, charakteristické ukazovatele

Poďakovanie

Príspevok je publikovaný vďaka riešeniu grantového projektu VEGA 1/0708/09 „Výskum využitia tepelnej energie z obnoviteľných zdrojov v poľnohospodárskom sušiarenstve s posúdením ekologicko-technických dopadov".

Literatúra

CHYSKÝ, J. 1977. Vlhký vzduch. Praha : SNTL, 1977. 160 s.

GADUŠ, J. – KROČKO, V. 2006. Evaluation of co-fermentation under agricultural biogas plant conditions. In: MOTROL : motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin : Akademia Rolnicza, 2006, s. 125-132. ISSN 1730-8658.

GADUŠ, J. – ŠÁRGOVÁ, S. 2005. Possibilities of biomass co.fermentation. In Využití fytomasy pro energetické účely : sbornik vědeckých publikací z mezinárodního semináře „Nepotravinářské využití fytomasy" České Budějovice : Jihočeská univerzita, 2005, s. 76–80. ISBN 80-7040-833-2.

KISS, E. 1987. Kisüzemi Biogáz. Budapešť: VIZDOK, 1987, 76 s.

RAŽNIEVIČ, K. 1969. Tepelné tabuľky a diagramy. Bratislava : Alfa, 1969, 340 s.

VITÁZEK, I. 2008. Teplotechnika a hydrotechnika. Nitra : SPU, 2008, 104 s.

VITÁZEK, I. 2006. Tepelné procesy v plynnom prostredí – Modifikované i-x diagramy. Nitra : SPU, 2006, 98 s. ISBN 80-8069-716-7

VITÁZEK, I. – TIROL, J. – HAVELKA, J. 2009. Termodynamika spaľovania zemného plynu pri konštantnom tlaku. In: Zborník referátov z medzinárodnej vedeckej konferencie Energetické stroje a zařízení, Termomechanika & Mechanika tekutin 2009. Plzeň : ZČU, 2009, s. 215–222.

STN 01 1303 Veličiny a jednotky v mechanike tekutín a v termomechanike.

STN 07 5806 Horáky na plynné palivá. Skúšanie.

STN 38 5521 Stanovenie spalného tepla a výhrevnosti vykurovacích plynov.

Kontaktná adresa:
doc. Ing. Ivan Vitázek, CSc., Katedra dopravy a manipulácie, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, tel.: +421 37 64 14 756, e-mail: vitazek@mech.uniag.sk

Acta technologica agriculturae 2
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2010, s. 40–44

TECHNICKO-EXPLOATAČNÉ PARAMETRE FILTROV NA VÍNO

TECHNICAL-EXPLOITATION PARAMETERS OF WINE FILTERS

Rudolf OPÁTH, Viera KAŽIMÍROVÁ, Ľubomír GÁBOR

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

The paper deals with the time, material and energy requirements for filtration of wine. A deluging diatomite filter DESTILA SUF 352 and membrane filter ROMICON WF-16 were used. In the case of DESTILA SUF 352 filter, electric consumption of 1.22 kWh.m^{-3}, water consumption of 0.53 dm^3 on the 1 dm^3 of strained wine and specific general working time of 0. 61 s on the 1 dm^3 of wine were evaluated. In case of ROMICON WF-16 filter the electric consumption of 15.57 kWh.m^{-3}, water consumption of 0.13 dm^3 on the 1 dm^3 of wine and specific general working time of 2.45 s on the strained vine were evaluated.

Key words: filtration, wine, diatomite

Jednou z posledných pracovných operácií vykonávaných pred tým, ako sa víno dostane ku spotrebiteľom, je filtrácia. Filtrácia je jednotková operácia patriaca do triedy hydromechanických separačných operácií odlučovania tuhých častíc dispergovaných v tekutinách, najmä kvapalinách (2). Na filtrovanie vín sa používajú hlavne filtre doskové, filtre s naplavovaním pomocného filtračného materiálu, kremeliny, a membránové filtre. Kremelina poskytuje široký interval rozmerov pórov. Používa sa tam, kde sa vyžaduje vysoký stupeň účinnosti zachytávania častíc a pritom vysoký prietok permeátu (1). Filtračná látka musí byť ľahká, aby pri nanášaní na filtračný element nedochádzalo k jej sedimentácii, musí mať mikroskopické póry a také zloženie, aby s vínom chemicky nereagovala.

Pri membránovej filtrácii sú častice tuhých látok, rozptýlené v kvapaline, separované na základe ich veľkosti a tvaru s využitím špeciálne navrhnutých membrán s rozdielnou veľkosťou pórov.

Filtračné materiály musia byť odolné voči pôsobeniu kyselín a etanolu.

Materiál a metódy

Cieľom práce bola analýza technicko-exploatačných parametrov filtračných zariadení na filtráciu vína v prevádzkových podmienkach. Analyzované boli dva filtre, naplavovací kremelinový

sviečkový filter typu DESTILA SUF 352 a membránový filter typu ROMICON WF-16. Zároveň bol zisťovaný vplyv filtrácie na kvalitu filtrovaného vína.

Kremelinový filter sa používa na filtráciu mladých vín. Na membránovom filtri sú filtrované staršie, vyzretejšie vína. Hodnotené filtre obsluhoval jeden pracovník.

Pri meraniach a ich vyhodnocovaní sme postupovali nasledovne:

Analýza časov práce filtračnej linky

Pre analýzu časov práce sme vyhodnocovali nasledovné parametre, pričom sme použili nasledovné vzťahy:

Koeficient využitia operatívneho času:

$$K_{02} = \frac{t_1}{t_{02}}; \text{ I} \quad (1)$$

kde:
t_{02} – čas operatívny, s

pričom: $t_{02} = t_1 + t_2$, s
kde:
t_1 – čas hlavný, kedy mech. zariadenie vykonáva činnosti, na ktoré bolo určené, s
t_2 – čas pomocný, čas na pravidelne sa opakujúcu pomocnú činnosť, ktorá umožňuje plynulý priebeh času hlavného, s

Koeficient využitia produktívneho času:

$$K_{04} = \frac{t_1}{t_{04}}; \text{ I} \quad (2)$$

kde:
t_{04} – čas produktívny, s

pričom: $t_{04} = t_{02} + t_{03} + t_4$, s
kde:
t_{03} – čas na údržbu a nastavenie stroja, s
t_4 – čas na odstránenie poruchy, s

pričom: $t_4 = t_{41} + t_{42} + t_{43}$, s
kde:
t_{41} – čas na odstránenie funkčných porúch, s
t_{42} – čas na odstránenie technických porúch, s
t_{43} – čas čakania na odstránenie poruchy, s

Koeficient technologickej náročnosti:

$$K_{41} = \frac{t_1}{t_1 + t_{41}}; \text{ I} \quad (3)$$

Koeficient technickej spoľahlivosti:

$$K_{42} = \frac{t_1}{t_1 + t_{42}}; \text{ I} \quad (4)$$

Koeficient technickej obsluhy:

$$K_{39} = \frac{t_1}{t_1 + t_{31} + t_{33}}; \text{ I} \quad (5)$$

kde:
t_{31} – čas na zmenovú údržbu, na vykonanie predpísaných úkonov, s
t_{33} – čas na pravidelnú údržbu strojov a sanitáciu, s

Výkonnosť filtračného zariadenia v čase hlavnom:

$$Q_1 = \frac{V}{t_1}; \text{ dm}^3.\text{ s}^{-1} \quad (6)$$

kde:
V – objem prefiltrovaného nápoja v čase t_1, dm^3

Výkonnosť filtračného zariadenia v čase operatívnom:

$$Q_{02} = \frac{V}{t_{02}}; \text{ dm}^3.\text{s}^{-1} \quad (7)$$

Výkonnosť filtračného zariadenia v čase produktívnom:

$$Q_{04} = \frac{V}{t_{04}}; \text{ dm}^3.\text{s}^{-1} \quad (8)$$

Výkonnosť filtračného zariadenia v celkovom čase pracovného nasadenia:

$$Q_{07} = \frac{V}{t_{07}}; \text{ dm}^3.\text{s}^{-1} \quad (9)$$

kde:
t_{07} – celkový čas pracovného nasadenia, s

pričom: $t_{07} = t_{04} + t_5 + t_7$, s
kde:
t_5 – prestávka na jedlo, s
t_7 – stratový čas, s

pričom: $t_7 = t_{71} + t_{72}$, s
kde:
t_{71} – stratový čas zavinený energetickým zdrojom, ktorý nie je súčasťou stroja, s
t_{72} – organizačné prestoje, s

Potreba ľudskej práce na 1 dm^3 prefiltrovaného nápoja:

$$P_p = \frac{N}{Q_{04}}; \text{ s.dm}^{-3} \quad (10)$$

kde:
N – počet pracovníkov obsluhujúcich linku, I

Merný operatívny čas na 1 dm^3 prefiltrovaného nápoja:

$$t'_{02} = \frac{t_{02}}{V}; \text{ s.dm}^{-3} \quad (11)$$

Merný produktívny čas na 1 dm^3 prefiltrovaného nápoja:

$$t'_{04} = \frac{t_{04}}{V}; \text{ s.dm}^{-3} \quad (12)$$

Merný celkový čas nasadenia stroja na 1 dm^3 prefiltrovaného nápoja:

$$t'_{07} = \frac{t_{07}}{V}; \text{ s.dm}^{-3} \quad (13)$$

Zistenie mernej spotreby elektrickej energie

Okamžitý výkon asynchrónneho elektromotora:

$$P = \frac{\sqrt{3} \cdot Us \cdot I \cdot \cos\varphi}{1\,000}; \text{ kW} \quad (14)$$

kde:
Us – napätie medzi krajnými vodičmi, V
I – prúd, A
cos φ– elektrický účinník, -

Elektrická práca:

$$A = P \cdot t; \text{ kWh} \quad (15)$$

kde:
P – okamžitý výkon elektromotora, kW
t – čas práce filtračného zariadenia, h

Merná spotreba elektrickej energie:

$$A_m = \frac{A}{V_f}; \text{ kWh.m}^{-3} \quad (16)$$

kde:
A – elektrická práca, kWh
V_f – objem filtrátu v čase t, m^3

Materiálová náročnosť filtrácie

Spotrebu vody sme zisťovali prietokomerom IVENSYS MT QN10XTN s meracím rozsahom 4–100 $dm^3.min^{-1}$, umiestneným na prívode vody k filtru. Spotrebu kremeliny sme zistili vážením na váhe SMS 50 s rozsahom 2,5–50 kg. Všetky údaje sú prepočítané na 1 dm^3 prefiltrovaného vína.

Hlučnosť filtračného zariadenia

Hlučnosť sme merali hlukomerom Robotron 00014 s meracím rozsahom 30–140 dB za podmienok určených STN 01 1909.

Výsledky a diskusia

Vo filtračnom zariadení DESTILA SUF 352 bol použitý jeden elektromotor s výkonom 14 kW. Pri meraniach pracoval s okamžitým výkonom 12,47 kW. Namerané hodnoty dokazujú, že použitý elektromotor bol zvolený správne. Elektrická práca odobratá elektromotorom počas kremelinovej filtrácie bola 12,26 kWh a merná spotreba elektrickej energie bola 1,22 $kWh.m^{-3}$ prefiltrovaného vína.

Pri filtrácii sa spotrebováva pitná voda, ktorá je potrebná na sanitáciu a čistenie filtra. Priemerná spotreba vody pri použití filtra DESTILA SUF 352 bola 5 200 dm^3, z čoho vyplýva merná spotreba vody 0,53 dm^3 na 1 dm^3 prefiltrovaného vína.

Priemerná spotreba kremeliny F 50, použitej na naplavenie základnej vrstvy, bola 18 kg a kremeliny F 20, použitej počas filtrácie, bola 27 kg. Táto kremelina sa spotrebovala na prefiltrovanie približne 10 000 dm^3 vína (tab.1).

Počas pracovného nasadenia sa prefiltrovalo 4 995 dm^3 vína. Príprava filtra DESTILA SUF 352 na filtráciu trvala v priemere 1 416 sekúnd. V čase meraní sa vyskytla jedna funkčná a jedna technická porucha. Koeficient využitia operatívneho

Tabuľka 1 Namerané hodnoty časov práce filtra DESTILA SUF 352

Meranie (1)	Parameter (2)							Množstvo filtrátu v dm^3 (3)
	t_1, (7) s	t_{02}, (8) s	t_{03}, (9) s	t_4, (10) s	t_{04}, (11) s	t_7, (12) s	t_{07}, (13) s	
1	3 240	4 680	240	803	5 723	0	5 723	9 700
2	3 540	5 160	307	0	5 467	1 800	9 067	10 000
3	3 420	4 680	310	0	4 990	0	4 990	10 100
4	3 780	5 340	277	0	5 617	0	5 617	10 250
5	3 720	4 920	230	142	5 292	0	5 292	9 900
x (4)	3 540	4 956	273	189	5 418	360	6 138	9 990
s (5)	220,55	292,75	37,01	348,7	289,0	805,0	1 662,6	207,4
V_k, % (6)	6,23	5,91	13,57	184,49	5,33	223,61	27,09	2,08

Table 1 Measured data of work times of filter DESTILA SUF 352
(1) measurement, (2) parameter, (3) filtrate quantities, (4) average, (5) standard deviation, (6) coefficient of variability, (7) propagation time, (8) operative time, (9) proving time, (10) repair time, (11) productive time, (12) idle time, (13) total time

Tabuľka 2 Namerané hodnoty časov práce filtra ROMICON WF-16

Meranie (1)	Parameter (2)							Množstvo filtrátu v dm^3 (3)
	t_1, (7) s	t_{02}, (8) s	t_{03}, (9) s	t_4, (10) s	t_{04}, (11) s	t_7, (12) s	t_{07}, (13) s	
1	21 600	21 876	371	0	22 247	0	22 247	9 600
2	22 320	22 577	360	0	22 937	0	24 737	9 900
3	23 300	23 561	370	0	23 931	0	23 931	10 000
4	23 400	23 660	340	0	24 000	0	25 800	10 100
5	23 640	23 911	317	0	24 228	0	24 228	9 800
x (4)	22 852	23 117	352	0	23 469	0	24 189	9 880
s (5)	862,04	859,38	23,01	0	843,77	0	1 297,6	192,4
V_k, % (6)	3,77	3,72	6,54	0	3,60	0	5,36	1,95

Table 2 Measured data of work times of filter ROMICON WF-16
(1) measurement, (2) parameter, (3) filtrate quantities, (4) average, (5) standard deviation, (6) coefficient of variability, (7) propagation time, (8) operative time, (9) proving time, (10) repair time, (11) productive time, (12) idle time, (13) total time

Tabuľka 3 Výsledky laboratórneho rozboru bieleho odrodového suchého vína odrody Chardonay pred a po filtrácii na filtri DESTILA SUF 352

Parameter (1)	Jednotka (2)	Meranie (3)					Priemer (4)
		1	2	3	4	5	
Pred filtráciou (5)							
Hustota (6)	$g.dm^{-3}$	0,9989	0,9968	0,9974	0,9979	0,9983	0,9979
Alkohol (7)	obj. %	12,14	12,58	11,56	11,34	11,65	11,85
Titrovateľné kyseliny (8)	$g.dm^{-3}$	6,27	6,16	6,22	6,2	6,18	6,2
Prchavé kyseliny (9)	$g.dm^{-3}$	0,3	0,34	0,33	0,31	0,32	0,32
SO_2 voľný (10)	$g.dm^{-3}$	44	39	43	45	45	43
SO_2 celkový (11)	$g.dm^{-3}$	99	102	104	104	106	103
Bezcukorný extrakt (12)	$g.dm^{-3}$	17,94	18,0	17,98	18,03	18,01	17,99
Cukor zvyškový (13)	$g.dm^{-3}$	0,99	0,87	0,88	0,91	0,9	0,91
Celkový extrakt (14)	$g.dm^{-3}$	18,93	18,87	18,86	18,94	18,91	18,90
Po filtrácii (15)							
Hustota (6)	$g.dm^{-3}$	0,9951	0,9934	0,9961	0,9941	0,9937	0,9946
Alkohol (7)	obj. %	12,15	12,63	11,50	11,34	11,10	11,83
Titrovateľné kyseliny (8)	$g.dm^{-3}$	6,11	5,09	6,04	5,90	6,13	6,09
Prchavé kyseliny (9)	$g.dm^{-3}$	0,30	0,28	0,33	0,31	0,29	0,30
SO_2 voľný (10)	$g.dm^{-3}$	44	38	41	39	42	41
SO_2 celkový (11)	$g.dm^{-3}$	101	102	104	104	109	104
Bezcukorný extrakt (12)	$g.dm^{-3}$	17,96	17,93	17,98	18,03	17,78	17,94
Cukor zvyškový (13)	$g.dm^{-3}$	0,99	0,82	0,88	0,91	0,9	0,9
Celkový extrakt (14)	$g.dm^{-3}$	18,95	18,75	18,86	18,94	18,68	18,84

Table 3 Laboratory analysis of white wine Chardonay before and after the filtration by DESTILA SUF 352
(1) parameter, (2) unit, (3) measurement, (4) average, (5) before filtration, (6) density, (7) alcohol, (8) titrate acids, (9) siccative acids, (10) free SO_2, (11) total SO_2, (12) sugar-free extract, (13) residual sugar, (14) total extract

Tabuľka 4 Výsledky laboratórneho rozboru bieleho odrodového suchého vína odrody Chardonay pred a po filtrácii na filtri ROMICON WF-16

Parameter (1)	Jednotka (2)	Meranie (3)					Priemer (4)
		1	2	3	4	5	
Pred filtráciou (5)							
Hustota (6)	$g.dm^{-3}$	0,9928	0,9914	0,9923	0,9941	0,9930	0,9927
Alkohol (7)	obj. %	12,14	12,58	11,43	11,29	11,65	11,82
Titrovateľné kyseliny (8)	$g.dm^{-3}$	6,11	5,85	6,14	6,2	6,0	6,0
Prchavé kyseliny (9)	$g.dm^{-3}$	0,30	0,38	0,37	0,31	0,29	0,33
SO_2 voľný (10)	$g.dm^{-3}$	47	42	44	41	45	44
SO_2 celkový (11)	$g.dm^{-3}$	101	100	99	104	109	103
Bezcukorný extrakt (12)	$g.dm^{-3}$	18,01	17,91	17,99	18,05	17,82	17,97
Cukor zvyškový (13)	$g.dm^{-3}$	0,94	0,79	0,87	0,89	0,86	0,87
Celkový extrakt (14)	$g.dm^{-3}$	18,95	18,70	18,86	18,94	18,68	18,82
Po filtrácii (15)							
Hustota (6)	$g.dm^{-3}$	0,9921	0,9884	0,9923	0,9940	0,9928	0,9916
Alkohol (7)	obj. %	12,14	12,58	11,43	11,10	11,65	11,78
Titrovateľné kyseliny (8)	$g.dm^{-3}$	5,13	5,07	5,19	5,28	5,0	5,10
Prchavé kyseliny (9)	$g.dm^{-3}$	0,45	0,42	0,37	0,47	0,46	0,43
SO_2 voľný (10)	$g.dm^{-3}$	45	41	43	41	44	43
SO_2 celkový (11)	$g.dm^{-3}$	98	100	99	104	95	99
Bezcukorný extrakt (12)	$g.dm^{-3}$	17,79	17,88	18,11	18,17	18,03	18,00
Cukor zvyškový (13)	$g.dm^{-3}$	0,80	0,69	0,75	0,81	0,78	0,80
Celkový extrakt (14)	$g.dm^{-3}$	18,59	18,57	18,86	18,98	18,81	18,80

Table 4 Laboratory analysis of white wine Chardonay before and after the filtration by ROMICON WF-16
(1) parameter, (2) unit, (3) measurement, (4) average, (5) before filtration, (6) density, (7) alcohol, (8) titrate acids, (9) siccative acids, (10) free SO2, (11) total SO2, (12) sugar-free extract, (13) residual sugar, (14) total extract

času bol 0,7. Koeficient využitia produktívneho času bol 0,65. Táto hodnota je relatívne nízka dôsledkom toho, že čas samotnej filtrácie bol v porovnaní s ďalšími zložkami času, najmä času na údržbu a nastavenie stroja, neúmerne nízky. Počas meraní sa vyskytla jedna technická porucha. Koeficient technologickej náročnosti dosiahol hodnotu 0,84. Koeficient technickej spoľahlivosti bol 0,96. Koeficient technickej obsluhy bol iba 0,53. Bolo to zapríčinené vysokým podielom ručnej práce počas sanitácie linky. Výkonnosť filtračnej linky v čase hlavnom bola 2,82 $dm^3.s^{-1}$. Dosiahnutá výkonnosť linky v čase operatívnom bola 2,02 $dm^3.s^{-1}$. Výkonnosť v čase produktívnom bola 1,84 $dm^3.s^{-1}$. Výkonnosť filtračnej linky v celkovom čase pracovného nasadenia bola 1,63 $dm^3.s^{-1}$. Merný operatívny čas na 1 dm^3 prefiltrovaného nápoja bol 0,5 s. Merný produktívny čas na 1 dm^3 prefiltrovaného nápoja bol 0,54 s. Merný celkový čas nasadenia stroja na prefiltrovanie 1 dm^3 prefiltrovaného nápoja bol 0,61 s.

Hladina hluku pri práci filtra DESTILA SUF 352 dosahovala 76 dB.

Membránový filter ROMICON WF-16 mal zabudovaný jeden elektromotor s inštalovaným výkonom 25 kW. Pri meraniach sme počas filtrácie zistili, že pracoval s okamžitým výkonom 24,23 kW. Namerané hodnoty znovu poukazujú na správnosť použitia zvoleného elektromotora. Pri membránovej filtrácii sme zistili, že elektrická práca spotrebovaná na činnosť filtra bola 153,86 kWh a merná spotreba elektrickej energie hodnotu 15,57 $kWh.m^{-3}$.

Na sanitáciu a čistenie filtra ROMICON WF-16 sa spotrebovalo priemerne 1 294 dm^3 vody, čo znamená, že na 1 dm^3 prefiltrovaného vína sa spotrebovalo 0,13 dm^3 vody.

Počas celkového pracovného nasadenia sa prefiltrovalo 49 400 dm^3 vína (tab. 2). Príprava filtra ROMICON WF-16 trvala priemerne iba 261 sekúnd. Zistili sme, že koeficient využitia operatívneho času 0,99 a koeficient využitia produktívneho času 0,97. Obe tieto hodnoty sú vysoké najmä kvôli minimálnym časom potrebným na nastavenie a údržbu filtra. Koeficienty technickej spoľahlivosti a technickej náročnosti dosiahli hodnotu 1, nakoľko sa počas filtrácie nevyskytla žiadna technická ani funkčná porucha. Výkonnosť membránového filtra v hlavnom čase bola 0,43 $dm^3.s^{-1}$. Výkonnosť filtra v čase produktívnom bola 0,42 $dm^3.s^{-1}$ a výkonnosť v celkovom čase pracovného nasadenia bola 0,41 $dm^3.s^{-1}$. Priemerne počas jednej filtrácie bolo prefiltrovaných 9 980 dm^3 vína. Merný operatívny čas na 1 dm^3 prefiltrovaného vína bol 2,33 s a merný produktívny čas na 1 dm^3 prefiltrovaného vína bol 2,38 s. Merný celkový čas nasadenia filtra na prefiltrovanie 1 dm^3 prefiltrovaného nápoja bol 2,45 s.

Hladina hluku pri práci filtra ROMICON WF-16 dosahovala úroveň 82 dB.

Z porovnania výsledkov laboratórnych rozborov vzoriek vín odobratých pred a po filtrácii vyplýva, že pri filtrácii vína síce dochádza k zníženiu hodnôt niektorých jeho sledovaných parametrov (alkohol, titrovateľné kyseliny, voľný oxid siričitý, bezcukorný extrakt, hustota), ale tento úbytok je iba minimálny (tab. 3 a 4).

Súhrn

Práca sa zaoberá časovou, materiálovou a energetickou náročnosťou filtrácie vína, ktoré bolo filtrované pomocou naplavovacieho kremelinového filtra Destila SUF 352 a membránového filtra ROMICON WF-16. V prípade filtra Destila SUF 352 bola zistená merná spotreba elektrickej energie 1,22 $kWh.m^{-3}$ a merná spotreba vody 0,53 dm^3 na 1 dm^3 prefiltrovaného vína. Merný celkový čas práce stroja potrebný na prefiltrovanie 1 dm^3 vína bol 0,61 s. V prípade filtra ROMICON WF-16 bola zistená merná spotreba energie 15,57 $kWh.m^{-3}$ a merná spotreba vody 0,13 dm^3 na 1 dm^3 prefiltrovaného vína. Merný celkový čas práce stroja potrebný na prefiltrovanie 1 dm^3 vína bol 2,45 s.

Kľúčové slová: filtrácia, víno, kremelina

Literatúra

ČERŇANSKÝ, A. – PECIAR, M. 2008. Separačné procesy I. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2008, 277 s. ISBN 978-80-227-2800-3

FEKETE, R. – GUŽELA, Š. – PECIAR, M. 2007. Procesné strojníctvo I. Bratislava : Vydavateľstvo STU, 2007, 197 s. ISBN 978-80-227-2766-2

TÓTH, P. – OPÁTH, R. 2006. Filtrácia piva. Nitra : SPU, 2006, 158 s. ISBN 80-8069-700-0

Kontaktná adresa:
doc. Ing. Rudolf Opáth, CSc., Katedra výrobnej techniky TF SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, tel. 037 641 43 04, e-mail: Rudolf.Opath@uniag.sk

Acta technologica agriculturae 2
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2010, s. 45–48

MĚŘENÍ RYCHLÝCH PRŮBĚHŮ TEPLOTY TERMOČLÁNKY

MEASURING THE FAST TEMPERATURE CHANGES WITH THERMOCOUPLES

Miloslav LINDA,[1] Gunnar KÜNZEL,[1] Ilja MAŠÍK,[1] Dušan HRUBÝ[2]

Česká zemědělská univerzita v Praze, Česká republika[1]
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre[2]

In practice, we often come across the requirement of correct and accurate measurement of fast temperature variation in time. This article shows actual results of grant project, whose aim is to design laboratory site for testing the static and dynamic parameters of different types of thermocouples (including micro-thermocouple with very small time constant) and evaluation of measuring accuracy. Power impulse generator was designed with adjustable power drain and impulse duration. Measurement of heat loaded resistor TR 161 was done using selected thermocouples.

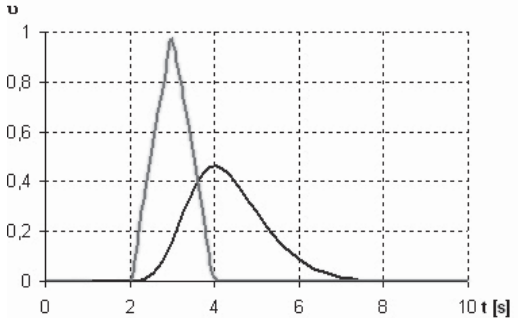
Key words: thermocouple, pulsed source, temperature measurement, model

Termočlánky jsou dnes velmi rozšířené snímače teploty. Jsou univerzální, jejich nelinearitu lze kompenzovat a podle typu je lze použít od teplot -180 °C až k 1 800 °C. Omezení teplotního užití termočlánků je dáno pouze průřezem použitých materiálů. Výrobci dodávají i různé tvary měřících konců. Např. nalepovací termočlánky jsou dodávány jako komplet vlastního termočlánku a nalepovací podložky, která tvoří ochrannou část sondy a slouží jako teplovodný tmel. Nevýhodou při použití termočlánků je jejich malé termoelektrické napětí, které se bez použití zesilovače nedá klasickými způsoby s dostatečnou přesností měřit. Analýza impulsní změny teploty elektrického objektu je použita s ohledem na jeho možné zatížení v elektrotechnice. Informace o časovém průběhu teploty, např. na rezistoru nebo polovodičovém prvku napájecího zdroje nebo spínacího zařízení dává při dlouhodobém sledování údaje, vhodné ke stanovení maximální teploty objektu, k jejich dimenzování nebo diagnostice.

Materiál a metody

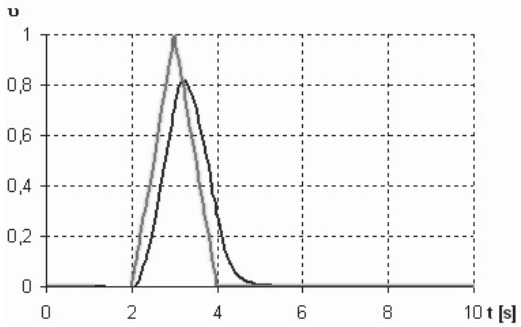
Cílem grantového projektu je vytvoření laboratorního pracoviště pro experimentální určování statických a dynamických parametrů termočlánků a měření impulsních průběhů teplot na vybraných objektech v elektrotechnice. V práci (Linda, 2008) byla provedena analýza chování různých senzorů teploty. Byl simulován průchod ideálního vstupního trojúhelníkového impulsu přenosovou soustavou senzoru teploty, vstupní a výstupní signály byly normovány. Obrázek 1 ukazuje případ dynamického zkreslení, kdy byl použit nevhodný snímač s přenosem $F_s(s)$. Tento snímač zachytí sotva polovinu hodnoty maximální teploty a reaguje se značným zpožděním na vstupní signál. Důsledek použití takového snímače – budou-li na měřeném objektu probíhat rychlé impulsní změny teploty, snímač nemá šanci je zaznamenat.

$$F_s(s) = \frac{1}{(0{,}5s^2 + s + 1)} \qquad (1)$$

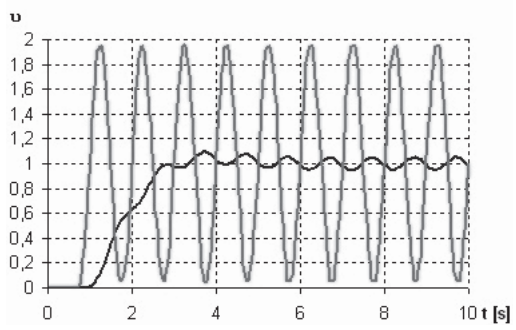


Obrázek 1 Simulovaná odezva na vstupní impuls s dobou trvání 2s
Figure 1 Simulated response on input impulse with 2s duration

Na obrázku 2 je simulována odezva snímače s vhodnějšími dynamickými vlastnostmi, ale stále ještě snímač věrně nepřenese celý vstupní impuls. To by časová konstanta senzoru musela být ještě menší. Kromě časové konstanty je důležitý též koeficient tlumení přenosového kanálu snímače. Pro dokonalejší přenos vstupního impulsu by bylo třeba snímač korigovat například pomocí operačního zesilovače s příslušným filtrem (Künzel st., 1990). Obrázek 3 ukazuje obdobný případ jako obrázek 1, jako vstupní signál je však použit sinusový průběh tep-



Obrázek 2 Simulovaná odezva na vstupní impuls s dobou trvání 2s
Figure 2 Simulated response on input impulse with 2s duration



Obrázek 3 Simulovaná odezva na sinusový vstupní signál (A = 1, f = 1 Hz)
Figure 3 Simulated response on sinus input signal

loty. Z něho je patrné pomalé dosažení střední hodnoty měřeného průběhu. Tento senzor vůbec nedokáže věrně reprodukovat vstupní sinusový signál. Je tedy vhodné volit časovou konstantu podle experimentu nejméně jako desetinu doby pulsu teploty nebo desetinu rychlosti změny vstupního signálu (Ďaďo a Kreidl, 1999).

$$F_s(s) = \frac{1}{(0{,}01s^2 + 0{,}3s + 1)} \tag{2}$$

$$F_s(s) = \frac{1}{(0{,}5s^2 + s + 1)} \tag{3}$$

Z této analýzy lze stanovit zásady pro výběr vhodného typu termočlánku s ohledem na rychlost měřených impulsů teploty a požadované chyby měření. Důležitá je dokonalá znalost měřeného objektu, průběhu teploty, informace o možných špičkách, bezpečnost i ekonomická stránka.

Tato část je důležitá pro optimální návrh celého měřícího systému. Musíme též zakomponovat bezpečnostní prvky, to znamená předvídat, do jaké míry se může měřený průběh měnit v čase (stárnutí systému). Důležitými parametry je také materiál, tvar a jakost povrchů, na kterých má být teplota měřena.

Výběr vhodného měřicího prvku

V laboratoři často používáme nepouzdřené termočlánky, které mají nejmenší časovou konstantu. V případě, že to prostředí měření vyžaduje, volíme vhodnou ochranu měřicího členu (jímku, ochranný obal). Ta však zvětšuje časovou konstantu snímače. Podle velikosti teplotního rozsahu volíme vhodný snímač s ohledem na jeho linearitu, která ovlivňuje kvalitu dalšího zpracování. V případě měření ve vysokoteplotních pecích musí průřez přívodních vodičů a jejich izolace odolávat této teplotě. Hlavním faktorem ovlivňujícím volbu termočlánkové sondy jsou rychlosti změn teplot na měřeném objektu a velikost časové konstanty snímače teploty. Ta přímo koresponduje s hmotností a velikostí snímače. Snímač se musí nejprve prohřát, a tudíž odebírá teplo měřenému objektu, takže dojde ke zkreslení výsledků. Termočlánky mají různé teplotní rozsahy a obecně nelineární statické charakteristiky. Lze je použít v různých provedeních (nepouzdřené, izolované, nalepovací a různých rozměrových proporcí). Přesnost termočlánkové sondy je dána činitelem kvality, který je vyjádřen jako poměr naměřené velikosti výstupního napětí k teoretické vstupní měřené velikosti teploty v použitelném rozsahu teplot. Činitel kvality bývá v intervalu 0,98 až 0,995.

Obvody pro zpracování signálu

Malé termoelektrické napětí (podle rozsahu teplot) zesílíme kvalitním stejnosměrným operačním zesilovačem a případně frekvenčně korigujeme pomocí aktivního filtru. Lze též použít měřicí ústřednu.

Záznamové zařízení

Jako nejvhodnější zařízení se používají měřicí karty do počítačů, dataloggery, měřicí ústředny, zapisovače a v laboratorních podmínkách paměťové osciloskopy. U těchto zařízení je důležité vhodně zvolit jejich vzorkovací frekvenci, aby byly zachyceny všechny změny měřené teploty.

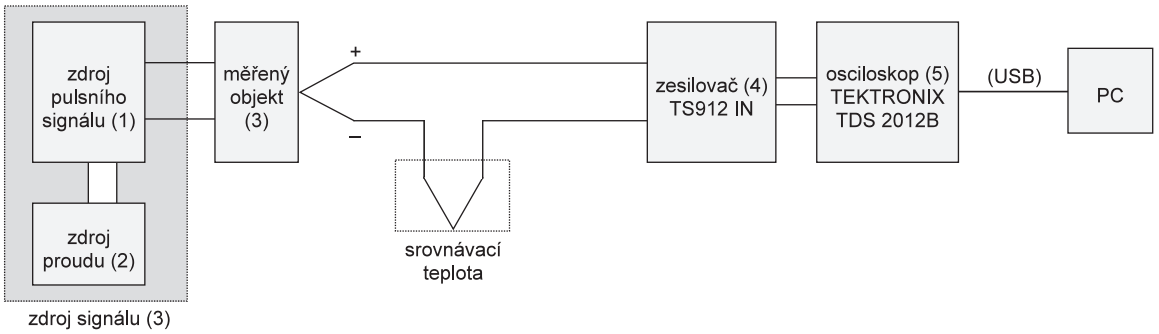
Výsledky a diskuse

Realizované laboratorní pracoviště (obrázek 4) pro měření impulsních průběhů teplot na vybraných objektech zatěžovaných výkonem tvoří:

- impulsní zdroj proudu, který generuje definované impulsní změny tepelného výkonu,
- zatěžovaný objekt (v našem případě byl zvolen rezistor, který je pro své vlastnosti vhodným elektrickým prvkem),
- měřicí zařízení – termočlánková sonda, zesilovač termoelektrického napětí a záznamové zařízení.

Vstupní signál impulsně zatěžovaného objektu je vytvářen zdrojem impulsů o stanoveném výkonu, u kterého budeme měnit zatěžovatele z (lze uvádět též v %):

$$z = \frac{t_1}{T} = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \tag{4}$$



Obrázek 4 Blokové schéma pracoviště
Figure 4 Block diagram of measuring stand
(1) sourse of pulsating signal, (2) source of current, (3) source of signal, (3) measured object, (4) amplifier, (5) oscilloscope

Ten je vyjádřen jako poměr doby trvání impulsu t_1 k periodě $T = t_1 + t_2$, kde t_2 je doby prodlevy mezi impulsy. Dodávaný střední výkon periodických impulsů do zatěžovaného objektu je:

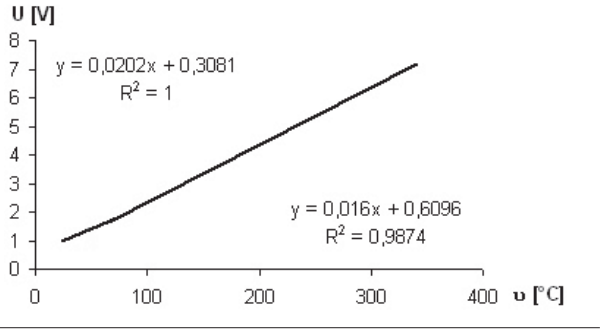
$$\overline{P} = \frac{P_1 t_1}{T} = P_1 z \qquad (5)$$

kde:

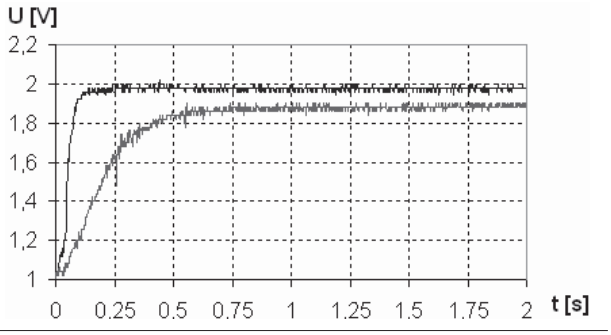
P_1 – konstantní dodávaný výkon (příkon) v čase $0 < t < t1$

Zdroj signálu je procesorový, kde je na výstupním portu spínaný výkonový tranzistor IRF 3710 MOSFET (VDSS = 100 V, RDS(ON) = 23 mΩ, ID = 57 A, který dokáže spínat i impulsy menší než 1 ěs). Jím ovládáme zatěžovací proud z externího proudového zdroje (Manson SDP2405 0-5A). Pro zdroj pulsů je použit mikroprocesor typu PIC 18F242 – I/SP, jehož taktovací frekvence je 40 MHz (s krystalem 10MHz v režimu HS). Celý systém je napájen ze zdroje stabilizovaného napětí (7,5 V, max. 1 A). Vlastní procesor je napájen ze stabilizátoru napětí 7805, který má na výstupu stabilizované napětí 5 V. Proti rozkmitání napájecího napětí, které by vedlo k nestabilitě celého systému, je těsně u napájecích vstupů procesoru umístěn kondenzátor o kapacitě 100 nF. Schéma generátoru impulsů je na obrázku 5. Zesilovač (TS 912IN) je zapojen v neinvertujícím uspořádání. Hodnoty odporů jsou voleny v závislosti na požadovaném zesílení a linearitě. Jako dělící rezistory jsou použity prvky s vysokou přesností 0,1 % typu MFR (Metal Film Resistors). Napájecí napětí zesilovače o velikosti 10 V je dodáváno ze stabilizátoru napětí.

Na vytvořeném generátoru výkonových impulsů lze tedy nastavit hodnoty t_1, t_2 a příkon P_1. Měření probíhalo na klidném vzduchu v laboratorním prostředí s teplotou okolí 24 °C a byl použit termočlánek typu K s průměrem drátu 0,25 mm, typ 5TC-TT-K-30-36. Statická charakteristika snímače včetně vyhodnocovacího obvodu je na obrázku 6. Časová konstanta snímače včetně vyhodnocovacího obvodu je 0,1 s (měřeno v kapalině) a 0,3 s (měřeno na vzduchu), jak vyplývá z obrázku 7. V rozsahu 0 °C až 60 °C je použita regresní rovnice $U = 0{,}016 \cdot \nu + 0{,}6096$ a v intervalu od 60 °C do 340 °C je $U = 0{,}0202 \cdot \nu + 0{,}3081$.

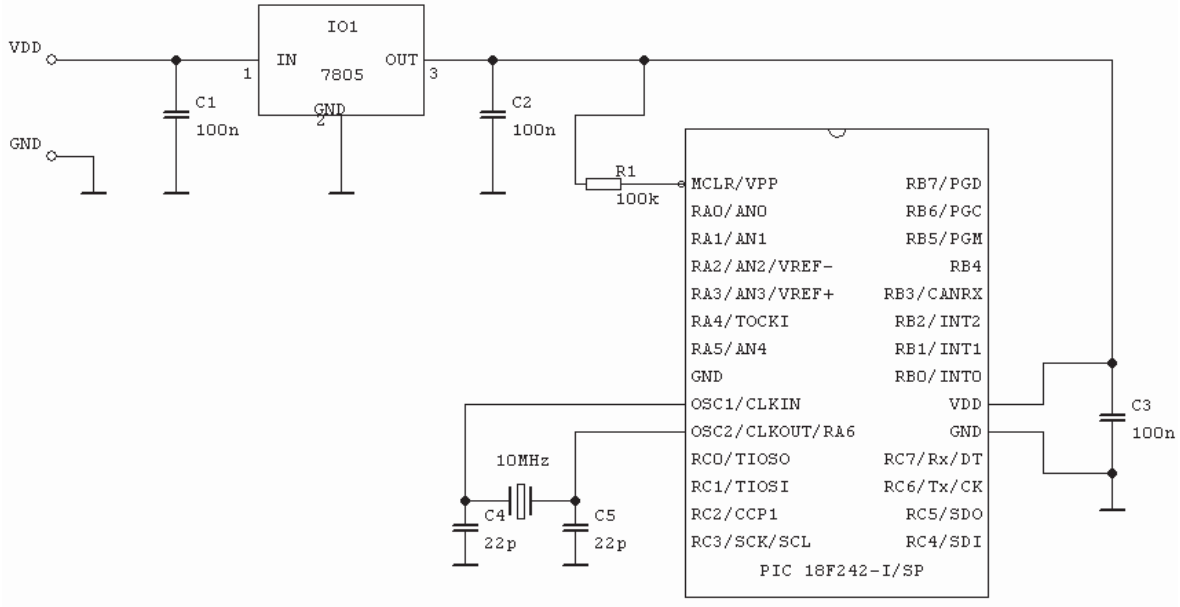


Obrázek 6 Statická charakteristika měřicího řetězce
Figure 6 Static characteristic of the measuring chain

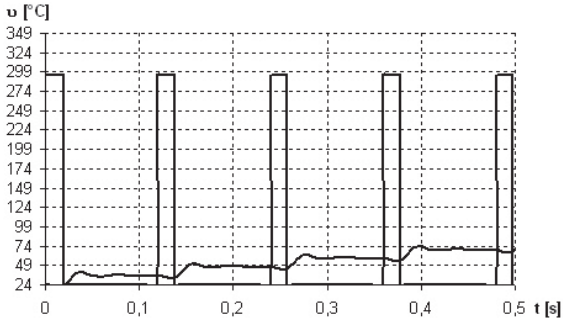


Obrázek 7 Dynamická charakteristika měřicího řetězce
Figure 7 Dynamic characteristic the measuring chain

Obrázek 8 Blokové schéma výkonového zatížení rezistoru
Figure 8 Block diagram of power loaded resistor

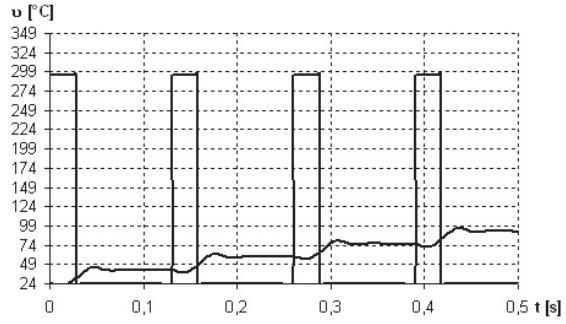


Obrázek 5 Elektrické schéma generátoru impulsů
Figure 5 Electric scheme of impuls generator



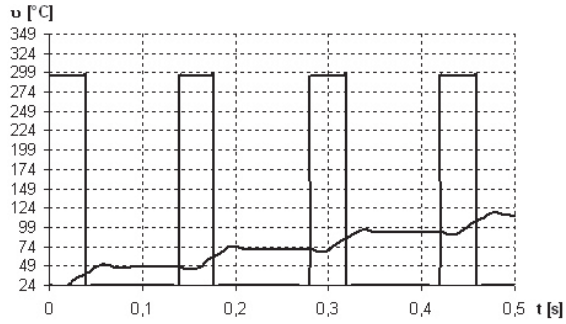
t_1 = 20 ms; T = 120 ms; $z = t_1 / T$ = 0,166

Obrázek 9 Výkonové impulsy a odezva systému
Figure 9 Power impulses and system response



t_1 = 30 ms; T = 130 ms; $z = t_1 / T$ = 0,231

Obrázek 10 Výkonové impulsy a odezva systému
Figure 10 Power impulses and system response



t_1 = 40 ms; T = 140 ms; $z = t_1 / T$ = 0,286

Obrázek 11 Výkonové impulsy a odezva systému
Figure 11 Power impulses and system response

Cílem našich experimentů je změřit časové průběhy teploty na nejteplejším místě impulsně zatěžovaného rezistoru při různém výkonovém zatížení P a zatěžovateli z (Obrázek 5).

Na obrázcích 9, 10, 11 jsou ukázány vytvářené vstupní impulsy výkonu a měřené průběhy výstupní teploty na objektu podle parametrů uvedených v popisce grafů. Doba trvání impulsu byla volena postupně 20, 30 a 40 ms a počet cyklů byl stanoven na 60 opakování. Proto hodnota zatěžovatele byla postupně z = 0,166, 0,231 a 0,286. Z průběhu je patrná odezva snímače a dosažení rovnovážného stavu ohřevu a ochlazení zatěžovaného objektu. Časové intervaly t_1 a t_2 jsou voleny s ohledem na možnosti maximálního zatížení měřeného prvku.

Při teplotě okolo 150 °C už docházelo k poškození lakované vrstvy rezistoru. Po dosažení teploty 267 °C byl ještě rezistor schopen práce, ale byl již natolik poškozený, že se nedaly zaručit jeho parametry. Podmínky zatěžování nejlépe vystihují práci analyzované součástky, která je umístěna uvnitř přístroje a není tedy ovlivňována podmínkami okolí.

Závěr

V příspěvku jsou ukázány přístupy a možné výsledky při měření rychlých průběhů teploty. Výstupem je grafická závislost reakce měřeného objektu na pulsní změnu jeho zatížení. V příspěvku jsou uvedeny zásady pro měření termočlánky, tedy možnosti jejich použití v kontextu s měřeným objektem. Realizovaná měření jsou nesporně zatížena dynamickou chybou, protože doby trvání vytvářených výkonových impulsů jsou značně menší, než je časová konstanta celého měřicího řetězce. Proto v další výzkumné práci budou měření realizována s mikrotermočlánky.

Souhrn

V praxi se často setkáváme s požadavkem správně a přesně měřit rychlé časové změny teplot. Příspěvek ukazuje dosavadní výsledky grantového projektu, jehož cílem je návrh laboratorního pracoviště pro testování statických a dynamických parametrů různých typů termočlánků (včetně mikrotermočlánků s velmi malou časovou konstantou) a stanovení přesnosti měření. Byl vytvořen generátor výkonových impulsů s nastavitelným příkonem a dobou trvání impulsů. Byla provedena identifikace statické a dynamické charakteristiky měřicího řetězce. Pomocí vybraných termočlánků byla realizována měření na tepelně zatěžovaném rezistoru TR 161.

Klíčová slova: termočlánek, impulsní zdroj, měření teploty, model

Tento příspěvek vznikl na základě projektu ČZU: 31200 / 1312 / 313123.

Literatura

ĎAĎO, S. – KREIDL, M. 1999. Senzory a měřící obvody. Praha : ČVUT, 1999. 315s. ISBN 80-01-02057-6.

KÜNZEL, G. st. 1990. Matematické modely sdílení tepla v konstrukcích elektroniky. Praha : Academia nakladatelství Československé akademie věd., 1990.

LINDA, M. 2008. Dynamické vlastnosti různých typů snímačů teploty. Diplomová práce Praha : ČZU, 2008. 72 s.

LINDA, M. – MAŠÍK, I. 2009. Webová podpora k výuce: Počítačové modelování dynamických systémů, Automatizovaného řízení technologických procesů a Teorie automatizovaného řízení.

PECEN, J. a i. 1999. Fyzika. Praha : ČZU – katedra fyziky, technická fakulta, 1999. 543s. ISBN 80-213-0523-1.

Kontaktní adresa:
Ing. Miloslav Linda, Ing. Gunnar Künzel, Ing. Ilja Mašík, Katedra elektrotechniky a automatizace, TF ČZU v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, Česká republika, tel.: 00420-224-383-194, fax: 00420-234-381-828, e-mail: lindamiloslav@seznam.cz, kunzel@tf.czu.cz, dell@email.cz
prof. Ing. Dušan Hrubý, PhD., Katedra elektrotechniky, automatizácie a informatiky, TF SPU v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika, tel: +421 37 6414 750, e-mail: dusan.hruby@uniag.sk

Acta technologica agriculturae 2
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2010, s. 49–52

INTERAKCIA TECHNICKÉHO A EMISNÉHO STAVU MOTORA A VYUŽITIE PALUBNEJ DIAGNOSTIKY OBD PRI KONTROLE EMISNÉHO STAVU MOTORA

INTERACTION OF TECHNICAL AND EMISSIONS ENGINE STATUS AND OBD USAGE TO CHECK ENGINE EMISSIONS

Peter LENĎÁK,[1] Jozef ŽARNOVSKÝ[2]

S-EKA, spol. s r.o., Nitra[1]
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre[2]

The application of OBD method for petrol engine vehicles control caused the raise of emission control output value. This control is a relatively easy, effective and economically modest method for detection the technical status of engine in operation. Its application in practical conditions brings the increase of engines ecological safety as well as detection of failures which are not visible from motor operation and are mostly concealed.

Key words: OBD, emission, motor vehicles

Vývoj vozidiel prešiel od svojho vzniku niekoľkými obdobiami ktoré výrazne ovplyvnili konštrukciu vozidiel. Kým v minulosti dochádzalo vo vývoji vozidiel predovšetkým k postupnému zdokonaľovaniu mechanických komponentov najmä vplyvom zdokonaľovania materiálov, dnes dochádza k masívnemu rozvoju elektronických systémov. Z dôvodu zvyšovania kvality, životnosti motorových vozidiel, ako aj komfortu obsluhy na jednej strane a na druhej strane z dôvodu znižovania ekologickej záťaže prevádzkou vozidiel dochádza k postupnému nahradzovaniu mechanických systémov elektronicky riadenými systémami. Súčasné vozidlá sú vybavené nielen elektronickými systémami podporujúcimi aktívnu a pasívnu bezpečnosť, ale aj elektronickými regulačnými systémami a systémami monitorujúcimi činnosť jednotlivých okruhov. Súčasná úroveň elektronizácie dala vozidlám, popri iných možnostiach, aj schopnosť diagnostikovať vlastné chyby a začali „kontrolovať samé seba“. Daňou za prílišnú elektronizáciu vozidla je fakt, že dnes v bežne vyrábanom vozidle je viac elektroniky ako bolo v Apolle, ktoré pristálo na Mesiaci. Z tohto dôvodu je preto v prevádzke vozidla nutné kontrolovať stav a činnosť jeho elektronických systémov.

Pojednávanie o potrebe takejto miery „elekronizácie“ vo vozidlách a predovšetkým jej prevádzkovej spoľahlivosti, vplyve na riadenie činnosti motora ako aj zabezpečenie dlhodobej v prevádzke udržateľnej miery ekologickej bezpečnosti je predmetom rozsiahlej odbornej diskusie. Preto jedným z cieľov tohto príspevku je poukázať na často zanedbávanú a nadľahčovanú problematiku technického stavu motora v prevádzke ako aj možnosti zabezpečenia dlhodobej ekologicky prijateľnej prevádzky vozidla, ktorá zodpovedá jeho technickým možnostiam. Toto ja aj dôvod prečo sa budeme v tomto príspevku zaoberať produkciou škodlivých emisií motorových vozidiel výlučne z technického pohľadu.

Metódy a materiál

Vplyv technického stavu motora na jeho emisný stav

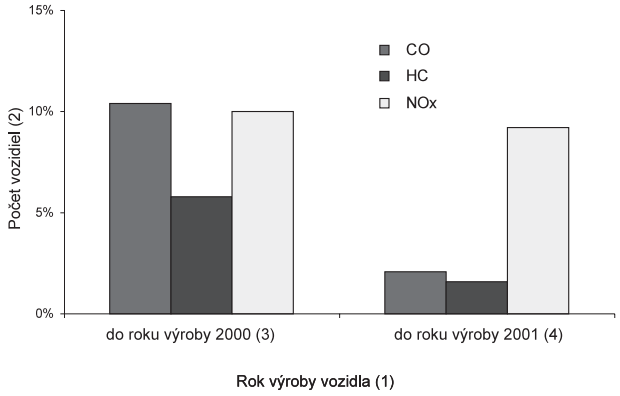
Na produkciu škodlivých emisií z motorového vozidla v prevádzke sa môžeme pozerať v dvoch základných rovinách:

- **spoločenská – ochrana životného prostredia** – spoločnosť má povinnosť chrániť životné prostredie a preto je potrebné minimalizovať produkciu škodlivín z motorových vozidiel a čo možno najviac transformovať škodliviny, ktoré výrazne poškodzujú environment na ekologicky prijateľnejšie škodliviny a následne minimalizovať aj produkciu týchto škodlivín;
- **technická – diagnostika technického stavu motora** – množstvo a predovšetkým zloženie výfukových plynov odráža technický stav motora a čiastočne aj jeho príslušenstva. Takáto informácia o technickom stave motora je dôležitá nielen z pohľadu ekológie prevádzky vozidla ale najmä z pohľadu prevádzkových nákladov na motorové vozidlo (spotreba paliva, životnosť motora a jeho príslušenstva, investície do opráv a pod.).

Zloženie výfukových plynov motora v závislosti od prevádzkových podmienok je veľmi vhodným kvalitatívnym indikátorom priebehu spaľovacieho procesu. Preto analýza výfukových plynov motora je nielen základným parametrom pri homologizácii motorového vozidla, ale aj na zistenie zaťaženia životného prostredia jeho prevádzkou. Je preto zrejmé, že kvalitatívne a kvantitatívne sledovanie výfukových plynov motora (emisný stav motora) a ich analýza je nielen dôležitou súčasťou vývoja a homologizácie, ale je aj potrebným identifikátorom technického stavu motora v prevádzke.

Zabezpečenie ekologickej prevádzky vozidla teda nemusí byť len prioritnou úlohou spoločnosti, ale aj jednotlivca, pretože prevádzkovanie vozidla v zlom technickom stave je nielen ekologicky neprijateľné, ale navyše predstavuje aj zvýšenú ekonomickú záťaž pre prevádzkovateľa. Včasným odhalením takéhoto stavu sa predchádza vážnejším poškodeniam motora a jeho príslušenstva, čo opätovne predstavuje zvýšenú ekonomickú záťaž pre prevádzkovateľa vozidla.

Jedným z hlavných cieľov sledovania emisného stavu motorového vozidla v prevádzke (emisnej kontroly motorového vozidla) je kontrola technického stavu motora metódou, ktorá pri relatívne nízkej technologickej, ekonomickej a časovej náročnosti poskytuje dôveryhodnú informáciu s čo najvyššou výpovednou hodnotou o technickom stave motora a jeho príslušenstva.



Obrázok 1 Počet vozidiel so zvýšenou produkciou škodlivých emisií vplyvom zmeny technického stavu motora a jeho systémov

Figure 1 Number of vehicles with higher production of pollutant emissions caused by the change of technical stage of the motor and its systems
(1) year of vehicle manufacture, (2) number of vehicles, (3) up to the year 2000, (4) from the year 2001

Je zrejmé, že množstvo a zloženie emitovaných škodlivín motorového vozidla sa počas jeho technického života mení. Príčiny týchto zmien môžeme rozdeliť podľa základných vplyvov:

1. Vplyvom opotrebenia súčastí;
2. Vplyvom zmeny technického stavu motora a jeho systémov (obr. 2) zapríčineného:
   a) mechanickým poškodením komponentov motora,
   b) poškodením, nesprávnou funkciou alebo nefunkčnosťou systémov a elektronických systémov prípravy zmesi, korekcie prevádzkových stavov a úpravy výfukových plynov.

Pre zabezpečenie ekologickej bezpečnosti motorových vozidiel v prevádzke ich výrobcovia i legislatíva stanovujú maximálne prípustné hodnoty emitovaných škodlivín, ktoré zodpovedajú nielen emisnej kategórii vozidla, jeho roku výroby, ale aj medznému opotrebeniu jednotlivých komponentov. Týmto je zabezpečená akceptácia prirodzeného opotrebenia, podľa bodu 1. za predpokladu dlhodobo udržiavaného dobrého technického stavu motora a jeho emisne relevantných komponentov. Spoločnosť zabezpečuje povinné periodické sledovanie emisného stavu vozidiel v prevádzke (emisná kontrola), v predpísaných lehotách čím zabezpečuje ochranu životného prostredia pred neprimeraným znečistením. Pri týchto kontrolách nesmú vozidlá v prevádzke produkovať väčšie objemové množstvo škodlivých emisií ako im stanovil výrobca, resp. legislatívna úprava. Z hľadiska zabezpečenia ekologickej bezpečnosti vozidiel v prevádzke je problematické zisťovanie zmeny množstva a zloženia emitovaných škodlivín pri vozidlách podľa bodu 2 (obr. 1).

Výsledky a diskusia

V praxi sú tieto zmeny, predovšetkým podľa 2 b), častokrát prevádzkovateľom nezistiteľné alebo zistiteľné len obtiažne. Z pohľadu ochrany životného prostredia je to však kategória porúch, ktorá najviac negatívne vplýva na stav životného prostredia. Ak rozdelíme vozidlá podľa roku výroby na kategórie, tak môžeme určiť neprimerane zvýšenú produkciu škodlivých emisií produkovaných podľa príčin uvedených v bode 2 nasledovne:

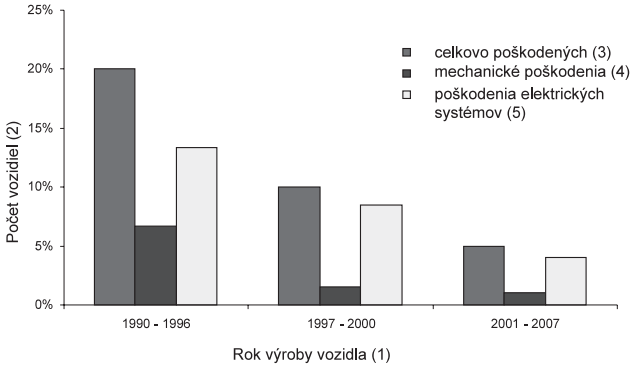
- rok výroby 1990–1996: 20 % motorových vozidiel z toho 30 % podľa 2a) a 70 % podľa 2b),
- rok výroby 1997–2000: 10 % motorových vozidiel z toho 15 % podľa 2a) a 85 % podľa 2b),
- rok výroby 2001–2007: 5 % motorových vozidiel z toho 10 % podľa 2a) a 90 % podľa 2b).

Počet vozidiel v prevádzke so zvýšenou produkciou CO sa pri vozidlách do roku výroby 2000 pohybuje na úrovni okolo 10 % a pri vozidlách od roku výroby 2001 na úrovni približne 2 %. Táto kategória vozidiel predstavuje, aj napriek relatívne nízkemu počtu vozidiel, relatívne veľký vplyv na lokálne znečistenie životného prostredia, pretože pri týchto poruchách často ide o vysoké prekročenie povolenej objemovej koncentrácie prudko jedovatého plynu. Z technického pohľadu je vysoká produkcia CO zapríčinená čiastočnou oxidáciou paliva počas horenia.

Počet vozidiel v prevádzke so zvýšenou produkciou HC je pri vozidlách do roku výroby 2000 nad 6 % a pri vozidlách od roku výroby 2001 na úrovni 2 %. V praxi bez podrobnejšej diagnostiky je obtiažne zistiť či zvýšený podiel HC vo výfukovom plyne je zapríčinený vplyvom primárneho alebo sekundárneho dôsledku. Zaujímavým zistením je ale fakt, že životnosť katalyzátora resp. priebeh jeho degradácie (poklesu jeho účinnosti) nie je funkciou najazdených kilometrov, ale je výrazne závislý predovšetkým od spôsobu prevádzkovania vozidla.

Ak si ale uvedomíme, že takmer 20 % systémov EGR vo vozidlách do roku výroby 2000, čo predstavuje cca 10 % absolútneho počtu vozidiel tejto kategórie, vykazuje nefunkčnosť, alebo obmedzenú funkčnosť systému EGR a tým výrazný nárast podielu NO_x vo výfukovom plyne je tento stav prinajmenšom na zamyslenie. Ešte zaujímavejšie je to z vozidlami vyrobenými od roku výroby 2001. V tejto kategórii je relatívny podiel vozidiel s nefunkčným alebo obmedzene funkčným systémom EGR na úrovni 12 % čo predstavuje cca 8 % absolútneho počtu vozidiel tejto kategórie. Celkovo môžme konštatovať, že približne 10 % vozidiel so zážihovým motorom a zdokonaleným emisným systémom (systémom prípravy zmesi riadeným v závislosti od obsahu voľného kyslíka vo výfukovom plyne) v prevádzke produkuje zvýšené množstvo NO_x.

V súčasnosti je približne až 80 % všetkých porúch vozidiel primárne či sekundárne spojených s elektronickými systémami. Vo vzťahu k produkcií emisií je toto číslo ešte výraznejšie, keď je v prevádzke 5 % motorových vozidiel vyrobených v ro-



Obrázok 2 Podiel počtu vozidiel v prevádzke so zvýšenou produkciou jednotlivých škodlivých emisií

Figure 2 Rate of vehicles in operating with higher production of individual pollutant emissions
(1) year of vehicle manufacture, (2) number of vehicles, (3) number of damages, (4) mechanical damage, (5) damages of electric systems

koch 2001 až 2007 s poškodením, ktoré negatívne vplýva na produkciu škodlivých emisií, z ktorých je 10 % zapríčinených mechanickým poškodením a až 90 % porúch je primárne či sekundárne spojených s elektronickými systémami motora a jeho príslušenstva.

On Board Diagnostic – OBD

Pretože priame meranie obsahu škodlivých látok vo výfukových plynoch (CO, HC, NO_x) nie je počas jazdy možné, bol vyvinutý systém vlastnej diagnostiky pre detekciu chybných stavov a porúch komponentov a systémov, ktoré sa podieľajú na redukcií emisií škodlivých látok z vozidla.

Pod názvom „Systém palubnej diagnostiky vozidla – OBD" rozumieme diagnostické rozhranie vozidla, ktoré je integrované do vlastného systému riadenia motora. Počas celej prevádzky vozidla sa kontrolujú všetky systémy, ktoré ovplyvňujú emisie vo výfukových plynoch a emisie z odparovania paliva. Vzniknuté poruchy sa ukladajú do pamäti riadiacej jednotky a je ich možné vyvolať cez normované rozhranie, tzv. Diagnostický konektor. Okrem toho vážne chybové stavy sa objavujú na prístrojovom paneli prostredníctvom signalizácie MI kontrolky OBD.

Systém palubnej diagnostiky OBD môžeme teda definovať ako jednotný systém monitorovania činnosti emisne relevantných komponentov motora s normovaným výstupom diagnostických údajov z riadiacej jednotky vozidla pre možnosť jednotnej diagnostiky nezávislej od výrobcu vozidla.

Monitorovanie jednotlivých okruhov systémom OBD sa vykonáva prostredníctvom kontroly snímaných hodnôt pri meraní fyzikálnych veličín. Spôsoby ich merania sa líšia v závislosti od použitých snímačov. Takéto monitorovanie činnosti jednotlivých parametrov sa nazýva Comprehensive components monitoring – rozsiahle monitorovanie komponentov. Pri takomto monitorovaní činností jednotlivých komponentov, riadiaca jednotka sleduje:

- pravdivosť vstupných a výstupných signálov,
- skrat na kostru,
- skrat na plus,
- prerušenie elektrického vedenia.

Spôsoby výkonu emisnej kontroly

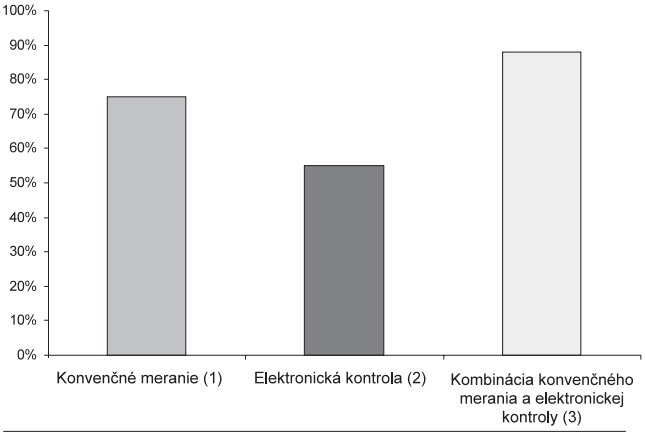
K problematike kontroly emisií motorového vozidla je možné pristupovať dvomi spôsobmi:

- **konvenčným meraním** – meraním obsahu škodlivých látok vo výfukovom plyne a ich vyhodnotením pri statickom meraní motorového vozidla bez záťaže,
- **elektronickou kontrolou** – kontrolou funkčnosti systému palubnej diagnostiky OBD, zosnímaním hodnôt skutočne meraných fyzikálnych veličín, kontrolou systému regulácie zmesi a vyhodnotením uložených chybových hlásení.

Prednosťou konvenčného merania emisií prostredníctvom analyzátora výfukových plynov je jednoduchosť a rýchlosť merania. Konvenčné meranie dokáže pomerne presne diagnostikovať základné poruchy vplývajúce na tvorbu zmesi, odchýlky v zložení zmesi, stav zapaľovania alebo stav katalyzátora.

Nevýhodou tohto spôsobu merania je, že výsledné hodnoty sú pri funkčnom lambda riadení a dobrom stave katalyzátora z veľkej časti „zakryté" a meraním bez záťaže za katalyzátorom v dosť veľkom počte prípadov takýto spôsob merania nedokáže takéto poruchy motora zachytiť.

Prednosťou elektronickej kontroly prostredníctvom komunikácie so systémom OBD je získanie prehľadu o poruchových stavoch v prevádzke vozidla, prehľad o korektnosti hodnôt



Obrázok 3 Podiel záchytov poruchových stavov vozidla – účinnosť kontroly emisného stavu vozidla

Figure 3 Capture rate of failure stage vehicles – efficiency of the vehicle emission stage control
(1) conventional measurement, (2) electronic inspection, (3) combination of the conventional measurement and the electronic inspection

vstupných a výstupných veličín ako aj priama kontrola základného regulačného systému.

Nevýhodou elektronickej kontroly je, že OBD dokáže zistiť problém kontrolovaného systému len od istého presne definovaného stupňa odchýlky hodnoty od požadovaného stavu. Pri takomto spôsobe kontroly stavu vozidla vzniká istá neistota pri vyhodnocovaní medzi funkčným stavom systému a stavom, ktorý elektronika vyhodnotí ako poruchový (obr. 3). Systém OBD, podobne ako každý iný elektronický systém, nemusí vždy poskytovať korektné informácie. Takýto stav môže nastať napríklad pri skrytých nedostatkoch pri programovaní systému u výrobcu. Nemožno tiež vylúčiť zámernú neoprávnenú manipuláciu, ktorej cieľom je znefunkčnenie systému alebo softvérový zásah zapríčiňujúci aby zistené poruchy ostali „skryté". Navyše sú systémy akým je napríklad zapaľovanie, kde systém OBD niekedy nedokáže reálne zaregistrovať a vyhodnotiť niektoré typy porúch.

Preto pre komplexné zistenie technického stavu vozidla je potrebné aby elektronická kontrola (kontrola prostredníctvom systému OBD) dopĺňala základné konvenčné meranie emisií z dôvodu zvýšenia výpovednej hodnoty výsledku emisnej kontroly (obr. 3).

Stav vozidiel so systémom OBD v prevádzke

Pri vozidlách zo zážihovým motorom so zdokonaleným emisným systémom, ktoré nie sú vybavené systémom OBD je poruchovosť vozidiel na úrovni 10–12 %, z ktorých je 90–95 % vozidiel má poruchu motora alebo jeho príslušenstva a vykazuje zvýšený podiel škodlivín vo výfukovom plyne. Pri 5–10 % vozidiel je zistený poruchový stav pri vizuálnej kontrole emisne relevantných komponentov motora a jeho príslušenstva.

Pri vozidlách vybavených systémom OBD je dostupnosť a využiteľnosť systému OBD pri emisnej kontrole približne na úrovni nad 95 %. Z toho vyplýva, že problém s nenaviazaním komunikácie jej zlyhaním alebo nekorektnému načítaniu parametrov dochádza v menej ako 5 % kontrolovaných vozidiel. Poruchovosť vozidiel so zážihovým motorom a systémom OBD je na úrovni 3 až 5 % z čoho viac ako 90 % vozidiel vykazuje poruchový stav systémom OBD a menej ako 8 % vozidiel vykazuje zvýšený podiel škodlivín vo výfukovom plyne zvyšné približne 1 % vozidiel je hodnotených ako poruchových pri vizuálnej kontrole emisne relevantných komponentov motora a jeho príslušenstva.

V praxi sa potvrdzujú odhady poruchovosti vozidiel v prevádzke ako aj štatistiky príčin poruchovosti, ktoré tvrdia, že až 90 % porúch motora a jeho príslušenstva je primárne či sekundárne spojených s elektronickými systémami. Tento jav je dlhodobo pretrvávajúci a alarmujúci.

Z uvedeného textu je zrejmý postupný trend zvyšovania ekologickej bezpečnosti vozidiel v prevádzke prezentovaný poklesom vozidiel s nadmernou produkciou škodlivých emisií, ktoré sú zapríčinené zlým technickým stavom motora. Pozitívnom je fakt, že v priebehu časového obdobia zodpovedajúcemu jednej vývojovej generácii vozidiel (cca 6–7 rokov) dochádza v prevádzke k poklesu počtu vozidiel so zvýšenou produkciou škodlivých emisií.

Záver

Na prvý pohľad sa zdá, že by autá v istom štádiu vývoja skutočne mohli samé kontrolovať svoju technickú spôsobilosť na cestnú premávku. Kombinácia neskorších vývojových stupňov OBD, ktoré by pokrývali viac než len kontrolu emisií, s prehliadkami a opravami vozidiel v značkových servisoch, zdanlivo môže konkurovať terajšiemu systému povinných technických a emisných kontrol. Takýto prístup však v sebe skrýva mnoho rizík. Existujú reálne obmedzenia programov pre diagnostiku chýb. Niektoré komponenty dnešných palubných elektronických systémov, odhadom asi 20 až 30 %, nie je možné efektívne monitorovať.

Súhrn

Zavedenie kontroly OBD vo vozidlách výrazne zvýšilo výpovednú hodnotu emisnej kontroly motorových vozidiel so zážihovým motorom. Takáto kontrola je pomerne jednoduchou, účinnou a ekonomicky nenáročnou metódou zisťovania technického stavu motora vozidla v prevádzke. Jej zavedenie do praxe prináša zvýšenie ekologickej bezpečnosti vozidiel, ako aj odhalenie porúch, ktoré sa priamo neprejavujú na činnosti motora (skryté poruchy) o ktorých prevádzkovateľ zvyčajne nevie. V budúcnosti je potrebné sa zaoberať problematikou ako obdobným spôsobom zabezpečiť zvýšenie výpovednej hodnoty kontroly emisií aj pri vozidlách so vznetovým motorom.

Kľúčové slová: OBD, emisie, motorové vozidlá

Príspevok je publikovaný vďaka riešeniu grantových projektov:
- VEGA NO 1/0214/08 „Vplyv alternatívnych palív získaných z poľnohospodárskych produktov na parametre spaľovacieho motora a životné prostredie“
- VEGA NO 1/0813/10 „Degradácia kovových materiálov v procesoch výroby a exploatácie alternatívnych palív“.

Literatúra

LENĎÁK, P. – ŠVEC, J. – JABLONICKÝ, J. 2006. Aplikácia metód merania emisií pevných častíc vzájemná komparácia. In: Acta technologica agriculturae, roč. 9, 2006, č. 2, s. 29–33. ISSN 1335-2555.

TAKÁTS, M. 2005. Měření emisí spalovacích motorů. Praha : ČVUT, 2005, 111 s. ISBN 80-01-01632-3.

TKÁČ, Z. – GADUŠ, J. – JABLONICKÝ, J. a i. 2008. Alternatívne palivá pre motory. Nitra : SPU, 2008, 100 s. ISBN 978-80-552-0095-8.

Kontaktná adresa:
Ing. Peter Lenďák, S-EKA, spol. s r.o., Kupecká 5, 949 01 Nitra, Technická služba emisnej kontroly
Ing. Jozef Žarnovský, PhD., Katedra kvality a strojárskych technológií, TF SPU v Nitre, e-mail: Jozef.Zarnovsky@uniag.sk

Acta technologica agriculturae 2
Nitra, Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae, 2010, s. 53–56

CHEMICKÁ ANALÝZA PRODUKTOV OPOTREBENIA V TRECÍCH STOPÁCH

CHEMICAL ANALYSIS OF WEAR PRODUCTS IN FRICTION MARKS

Milan KADNÁR,[1] Marian KUČERA,[1] Jozef KADNÁR,[2] Juraj RUSNÁK[2]

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre[1]
Slovenská technická univerzita v Bratislave[2]

The article deals with the selection of materials, samples' preparation and the description and evaluation of the experiment results concerning wear resistance in dry friction conditions. The following materials were selected for the experiment: heat-treated steel 12 050 and hardened steel 12 050. The selected materials were compared with well deposits of C 508 and C-64 materials after being welded-on and after heat treatment. The tribological experiment itself was realised on device TE 97/A ranked in the category pin-on-disk testing devices. The results of the test were evaluated according to the laboratory standards. The aim of the article was to evaluate selected materials in term of creation and transfer of wear products, their chemical composition and the description of worn pins and disks. The Spectrophotometer LECO was used for the chemical analysis of all elements except for silicium. The level of this chemical element was defined by the standard wet way. The samples to be chemically analysed were supplied in chippings. Friction marks and wear products were observed on the surface of disks and pins. It was observed that the separation of elements was only on the surface of pins. The separated elements are scale-shaped, having various sizes after multiplied plastic deformation. The results have shown that the weld deposit of C 508 + C 64 indicated the best match with the basic material C 12 050, regardless of heat treatment. The significant fact was to determine the range of hardness for rolling the separated elements back into the surface of pin which is from 350 to 400 HV.

Key words: adhesive wear, pin-on-disk test, wear products

Špecifické podmienky práce strojov vplývajú na ich životnosť, ktorá je niekedy pomerne krátka, ako dôsledok rôznorodých spôsobov porušenia súčiastok a ich povrchov (Kučera, 1991).

Pri riešení problémov životnosti je nevyhnutné poznať základné príčiny a súvislosti, ktoré vedú k vzniku porúch a tým znižujú prevádzkovú spoľahlivosť. Na určenie spoľahlivosti ako komplexnej vlastnosti systému je rozhodujúcim činiteľom analýza prevádzkových podmienok. Prevádzková spoľahlivosť stroja však bezprostredne súvisí s problémami vznikajúcimi v tribologickom uzle stroja. Sú to predovšetkým miesta kde dochádza k interakcii funkčných častí uzla pri súčasnom pôsobení ďalších faktorov (Kučera a Rusnák, 2008).

V prípade potreby obnovy opotrebeného povrchu, je problém ešte zložitejší ako sa navonok javí. Pretože ide o tribologický uzol s návarom, kladú sa zvýšené nároky na znalosť vlastností materiálov, vplyvu legujúcich prvkov a vplyvu technológie navárania na vlastnosti navarených vrstiev (Blaškovič a Čomaj, 2006).

Príspevok sa zaoberá možnosťou predikcie vlastností trecích dvojíc na základe výsledkov tribologického experimentu. Cieľom článku bolo zhodnotiť vybrané materiály z hľadiska tvorby a prenosu produktov opotrebenia, ich chemického zloženia a charakteru povrchov opotrebených čapov a kotúčov, porovnať dosiahnuté výsledky základného materiálu s materiálom navarených vrstiev.

Materiál a metódy

Výber materiálov

Výberu vhodného materiálu sme venovali zvýšenú pozornosť. Zhodnotili sme súčiastky typu hriadeľ resp. čap rôznych poľnohospodárskych strojov (traktory, kombajny, rezačky, samohybné stroje a pod.), ktoré mali opotrebené funkčné plochy valcového tvaru (Kučera, 1991).

Zo súboru 186 súčiastok sme zistili, že na ich výrobu sa využíva spolu 22 druhov ocelí.

Pre potreby vlastného experimentu sme vybrali materiál 12 050, ako predstaviteľa ocelí ktoré sa používajú na výrobu súčiastok typu „hriadeľ" s povrchom zušľachteným ako aj kaleným. Tento materiál bol použitý na výrobu čapov.

Výber skúšobného zariadenia

Skúšky odolnosti proti opotrebeniu boli realizované na zariadení typu TE 97/A, ktoré patrí do kategórie skúšobných strojov „čap – kotúč" s plošným dotykom elementov trecieho uzla. Skúšobné zariadenie je vhodné na porovnávacie skúšky vybraných materiálov. Podstata skúšky spočíva v tom, že na protiľahlé čelné plochy otáčajúceho sa kotúča sú pomocou hydraulických valcov pritláčané konštantnou silou vzorky (skúšobné telieska) v tvare čapu (Blaškovič a i., 1990). Čapy boli vyhotovené z materiálu 12 050 a príslušného návaru, kotúč bol vyhotovený z materiálu 12 020.

Parametre skúšok

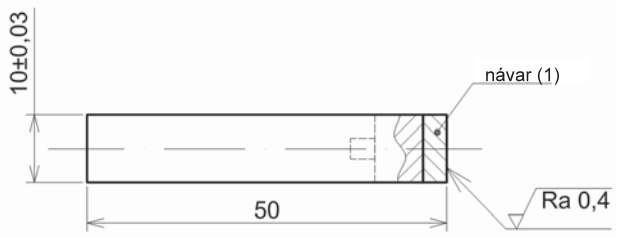
Parametre skúšok boli volené na základe výberu z parametrov skúšok adhézneho opotrebenia bez mazania používaných v tribologickom laboratóriu tak, aby v čo najširšom meradle umožnili porovnať tribologické vlastnosti vzoriek.
Parametre skúšky boli nasledovné:

- tlak v hydraulickom okruhu 1,47 MPa
- prítlačná sila na čap 74,3 N
- obvodová rýchlosť na skúšanom polomere 3,2 $m.s^{-1}$
- doba expozície 15, 30, 45, 75 s
- rozmer vzorky ∅ 10 x 50 mm

Tabuľka 1 Charakteristiky vzoriek pre skúšky opotrebenia bez mazania

Číslo vzorky (1)	Základný materiál (2)	Prídavný materiál (3)	Tepelné spracovanie (4)	Tvrdosť povrchu (HV) (5)
1	12 050	C 508	kalenie (6) 850 °C / voda (7), popúšťanie (8) 170 °C / 1 h / vzduch (9)	554
2	12 050	C 508 + C64	kalenie (6) 850 °C / voda (7), popúšťanie (8) 170 °C / 1 h / vzduch (9)	598
3	12 050	2 × C 508	kalenie (6) 850 °C / voda (7), popúšťanie (8) 170 °C / 1 h / vzduch (9)	527
4	12 050	–	kalenie (6) 850 °C / voda (7), popúšťanie (8) 170 °C / 1 h / vzduch (9)	606
5	12 050	C 508	–	368
6	12 050	C 508 + C64	–	368
7	12 050	2 × C 508	–	256
8	12 050	–	kalenie (6) 850 °C / voda (7), popúšťanie (8) 650 °C / 1 h / vzduch (9)	254

Table 1 Characteristics of samples for wear testing without lubrication
(1) the number of a sample, (2) basic material, (3) additional material, (4) heat treatment, (5) the hardness of a surface, (6) hardening, (7) water, (8) tempering, (9) air



Obrázok 1 Tvar a rozmery skúšobného telieska
Figure 1 The shape and dimension of testing elemenent
(1) weld deposit

Príprava vzoriek

Naváranie vzoriek bolo vykonané na experimentálnom navára-com zariadení ENZ-100 v ochrannej atmosfére CO_2 materiálmi C 508 a C 64. Vzorky pre skúšky odolnosti voči adhéznemu opotrebeniu boli navárané na tyč priemeru ∅ 105 mm z materiálu 12 050 metódou rotačného navárania (Kučera a Rusnák, 2008).

Z každého návaru boli pripravené štyri dvojice skúšobných teliesok. Po tepelnom spracovaní boli telieska upravené podľa obrázku 1.

Uvedený spôsob prípravy vzoriek nám zaručoval, že aktívna časť vzorky, predovšetkým u navarených vrstiev, bude čo najviac zodpovedať z hľadiska svojich vlastností skutočným povrchom, resp. časti ich povrchu.

Charakteristika skúšobných teliesok, stav ich tepelného spracovania a tvrdosť sú uvedené v tabuľke 1.

Výsledky a diskusia

Počas skúšky na zariadení TE 97/A dochádzalo k interakcii dvoch rozdielnych materiálov. Pri kotúči (obr. 2) to bol v každom prípade materiál 12 020 a pri čapoch sa materiál menil v závislosti od použitej vzorky. Medzi materiálmi dochádzalo ku vzájomnej interakcii, čoho dôsledkom bolo pochopiteľne opotrebenie stýkajúcich sa plôch. Možno konštatovať, že je zjavný rozdiel v opotrebení povrchu kotúčov a čapov, bez rozdielu ich následného tepelného spracovania.

Chemická analýza vzoriek bola uskutočnená pomocou spektrofotometra LECO pri všetkých prvkoch okrem kremíka. Obsah tohto prvku bol určený klasickou mokrou cestou. Vzorky na chemickú analýzu boli dodané vo forme triesok.

To, aké chemické zloženie mali oddelené častice po interakcii kotúča s čapom, dokumentuje tabuľka 2.

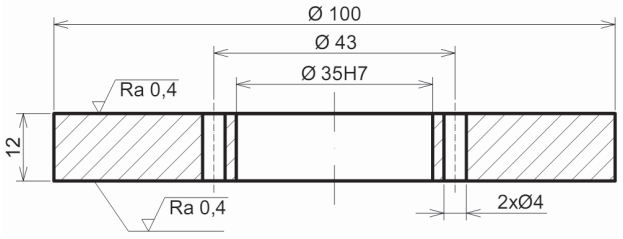
Na základe týchto výsledkov možno konštatovať, že k prenosu z čapu na kotúč dochádzalo v každej zo skúšaných dvojíc.

K prenosu z kotúča na čap dochádzalo len pri tepelne nespracovaných vzorkách. Výnimkou je vzorka návaru kombináciou materiálov C 508 + C 64. Možno to vysvetliť stavom štruktúry na základe metalografického hodnotenia (Kučera, 2006).

Pri kalenej vzorke je štruktúra návaru charakterizovaná stredne jemným martenzitom viazaným vo feriticko-perlitickej matrici. Pri vzorke bez tepelného spracovania je štruktúra charakterizovaná zmesou bainitu s feriticko-perlitickými zložkami. Charakter štruktúry tejto vzorky bol pravdepodobne ovplyvnený väčšou rýchlosťou chladnutia v dôsledku pridávania studeného drôtu s vyšším obsahom uhlíka do tavného kúpeľa.

Opotrebenie kotúčov sa líši od opotrebenia čapov. Prakticky na každom čape vidieť ryhovanie uvoľnenou čiastočkou oteru. Naopak pri kotúčoch pri každej vzorke je vidieť vtlačenú tvrdú časticu, uvoľnenú z čapu, po viacnásobnej plastickej deformácii.

Uvedený chemický rozbor častíc dáva jednoznačnú odpoveď na otázku ich pôvodu.

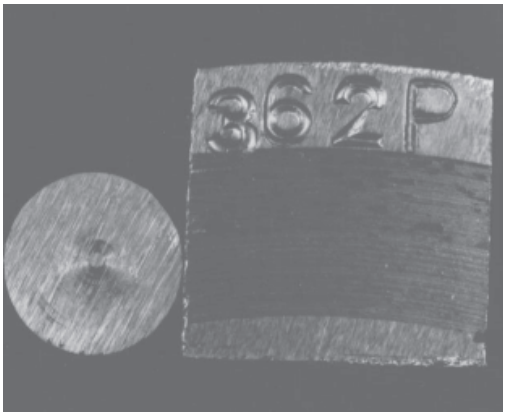


Obrázok 2 Tvar a rozmery kotúča na skúšky adhézneho opotrebenia bez mazania
Figure 2 The shape and dimension of a disk for adhesive wear testing without lubrication

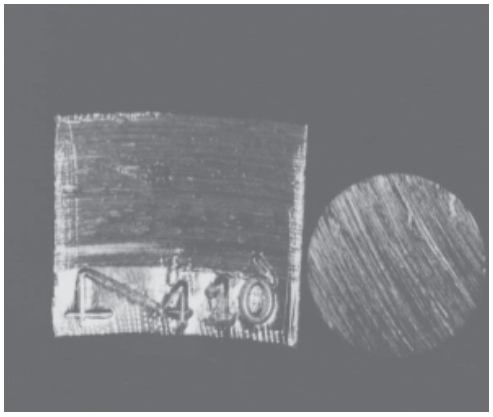
Tabuľka 2 Výsledky chemickej analýzy opotrebenia na povrchoch kotúčov a čapov

Číslo vzorky (1)	Člen dvojice (2)	Materiály dvojice (3)	Tepelné spracovanie čapu (4)	Chemické zloženie prenesených produktov opotrebenia v % (5)			
				Si	Cr	Mn	Fe
1	kotúč (6)	12 020	kalený (8)	1,84	0,93	0,95	96,27
	čap (7)	C 508		bez prenosu (9)			
2	kotúč (6)	12 020	kalený (8)	2,42	0,43	0,46	96,70
	čap (7)	C508+C64		bez prenosu (9)			
3	kotúč (6)	12 020	kalený (8)	1,81	0,22	1,49	96,48
	čap (7)	2 × C508		bez prenosu (9)			
4	kotúč (6)	12 020	kalený (8)	1,81	0,22	1,49	96,48
	čap (7)	12 050		bez prenosu (9)			
5	kotúč (6)	12 020	bez TS (10)	3,15	0,57	0,72	95,55
	čap (7)	C 508		2,24	0,7	0,74	96,32
6	kotúč (6)	12 020	bez TS (10)	2,06	0,57	0,74	96,64
	čap (7)	C 508 + C 64		bez prenosu (9)			
7	kotúč (6)	12 020	bez TS (10)	2,24	0,18	0,72	96,86
	čap (7)	2 × C 508		2,46	0,21	0,83	96,51
8	kotúč (6)	12 020	zušľachtený (11)	1,39	0,19	0,77	97,65
	čap (7)	12 050		bez prenosu (9)			

Table 2 The results of the chemical analysis of disks and pins' wear on the surface
(1) the number of a sample, (2) the part of a pair, (3) the material of a pair, (4) the heat treatment of a pin, (5) the chemical composition of wear, (6) disk, (7) pin, (8) hardened, (9) without transfer, (10) without heat treatment, (11) treated



Obrázok 3a Makropohľad na výrezy kotúčov a opotrebené povrchy čapov
a – čap s návarom prídavným materiálom C 508
Figure 3a Macro-view on the disks' cuts and pins' worn surfaces
a – pin with the weld deposit of additional material C 508



Obrázok 3b Makropohľad na výrezy kotúčov a opotrebené povrchy čapov
b – čap s návarom prídavným materiálom 2 x C 508
Figure 3b Macro-view on the disks' cuts and pins' worn surfaces
b – pin with the weld deposit of additional material 2 x C 508

Z hľadiska predikcie vlastností trecích dvojíc je otázka náchylnosti na tvorbu produktov opotrebenia veľmi dôležitá, pretože má priamy vplyv na prechod od adhézneho k abrazívnemu opotrebeniu a následnej deštrukcii a jej katastrofickému opotrebeniu. To všetko má za následok výrazné zníženie životnosti a spoľahlivosti trecej dvojice.

Príklad vzorky kotúča a čapu zo základných materiálov a prídavných materiálov sú zobrazené na obr. 3.

Záver

Na základe spracovania a vyhodnotenia výsledkov získaných z tribologického experimentu je možné si vytvoriť reálny obraz o niektorých základných tribologických vlastnostiach vybraných prídavných materiáloch nanášaných vybranými technológiami navárania.

Charakteristickým znakom adhézneho opotrebenia je tvar a veľkosť častíc vznikajúcich v priebehu opotrebenia. V prípade adhézneho opotrebenia bez mazania majú tvar šupiniek rôznych veľkostí, ktoré vznikli ako dôsledok viacnásobnej plastickej deformácie, typické pre adhézne opotrebenie. Z vykonanej analýzy produktov opotrebenia vyplýva dôležitý poznatok. K oddeľovaniu častíc opotrebenia dochádza len z povrchu čapov. Po viacnásobnej plastickej deformácii dochádza k ich zatláčaniu do mäkšieho povrchu kotúča a v menšej miere do nekalených povrchov čapov, pri ktorých boli na to vhodné podmienky, predovšetkým dostatočne nízka tvrdosť povrchu.

Z výsledkov chemickej analýzy produktov opotrebenia je vidieť, že pri kombinácii materiálov C 508 + C64 tepelné spracovanie nemá vplyv na prenos materiálu a jeho zatláčanie do čapov. Produkty opotrebenia nachádzajúce sa na povrchoch

čapov pravdepodobne majú určitý abrazívny účinok na dvojicu materiálov. Na tomto základe možno vysloviť hypotézu, že práve absencia produktov opotrebenia je tým faktorom, ktorý priaznivo vplýva na dobré trecie vlastnosti kombinácie materiálov C508 + C 64. Z výsledkov merania tvrdosti možno konštatovať, že tvrdosť v rozmedzí 350 až 400 HV je tou, ktorá je hranicou pre zatláčanie sa voľnej častice opotrebenia do povrchu čapu.

Z hľadiska praktických aplikácií dvojdrôtového navárania a navárania s pridávaním studeného drôtu je dôležitá skutočnosť, že obidva spôsoby sú pomerne ľahko aplikovateľné. Okrem nižšej energetickej náročnosti procesu navárania je z hľadiska prevádzkovej spoľahlivosti rozhodujúca odolnosť navarenej vrstvy proti určitému druhu opotrebenia.

Súhrn

Príspevok sa zaoberá výberom materiálov skúšobného zariadenia, prípravy vzoriek, popisom a hodnotením výsledkov skúšok odolnosti proti opotrebeniu v podmienkach suchého trenia. Pre tento konkrétny experiment boli vybrané tieto materiály: oceľ 12 050 v stave po zušľachtení, oceľ 12 050 v stave po kalení. Vybrané materiály sú porovnávané s návarmi materiálmi C 508 a C-64 v stave po navarení a po tepelnom spracovaní. Vlastný tribologický experiment bol realizovaný na zariadení TE 97/A, ktoré patrí do kategórie skúšobných strojov „čap – kotúč“. Výsledky skúšok boli hodnotené podľa metodiky platnej v skúšobni. Cieľom článku bolo zhodnotiť vybrané materiály z hľadiska tvorby a prenosu produktov opotrebenia, ich chemického zloženia a popisu povrchov opotrebených čapov a kotúčov. Chemická analýza vzoriek bola robená pomocou spektrofotometra pri všetkých prvkoch okrem kremíka. Obsah tohto prvku bol určený klasickou mokrou cestou. Vzorky na chemickú analýzu boli dodané vo forme triesok. Opotrebené povrchy boli pozorované na rastrovacom elektrónovom mikroskope. Na povrchoch kotúčov a čapov boli pozorované trecie stopy a produkty opotrebenia. V podmienkach experimentu bolo zaznamenané, že k oddeľovaniu častíc dochádza len z povrchu čapov. Oddelené častice majú tvar šupiniek rôznych veľkostí po viacnásobnej plastickej deformácii. Z porovnávaných vzoriek najlepšia zhoda so základným materiálom C 12 050 bola dosiahnutá u materiálu návaru C 508+C 64 bez rozdielu tepelného spracovania. Významným poznatkom je tiež určenie oblasti tvrdosti 350–400 HV ako hranice pre zatláčanie uvoľnenej častice do povrchu čapu.

Kľúčové slová: skúška čap – disk, adhézne opotrebenie, produkty opotrebenia

Literatúra

BLAŠKOVIČ, P. a i. 1990. Hodnotenie tribologickej únosnosti návarov. Sympózium Intertribo. Vysoké Tatry, apríl 1990. Bratislava : DT ČSVTS, s. 38–45.

BLAŠKOVIČ, P. – ČOMAJ, M. 2006. Renovácia naváraním a žiarovým striekaním. Bratislava : STU, 2006. ISBN 80-227-2482-3.

KUČERA, M. 1991. Vlastnosti vrstiev navarených v ochrane CO_2 určených pre renováciu v poľnohospodárstve. Nitra : SPU, 1991. 151 s.

KUČERA, M. – RUSNÁK, J. 2008. Štúdium tribologických vlastností materiálov nanesených na povrch vybranými technológiami navárania. Monografia. Nitra : SPU, 2008. 82 s. ISBN 978-80-552-0000-2.

KUČERA, M. 2006. Analýza trecích dvojíc a skúšky opotrebenia materiálov. Analysis of friction pairs and test of wear of materials. In: Zborník vedeckých prác Nové trendy v konštruovaní a v tvorbe technickej dokumentácie 2006, 25. máj 2006, Nitra : SPU, 2006, s. 132–135. ISBN 80-8069-701-9.

Kontaktná adresa:
Ing. Milan Kadnár, PhD., Katedra konštruovania strojov, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, tr. A. Hlinku 2, 949 01 Nitra. e-mail: milan.kadnar@uniag.sk, tel.: 037/ 641 4107