

**Slovenská poľnohospodárska univerzita
v Nitre**

Technická fakulta



SPU·TF
Technická
fakulta

TECHNOFORUM 2023

***New Trends in Machines and Technologies
for Biosystems***

***Nové trendy v technike a technológiách
pre biosystémy***

Zborník vedeckých prác

Scientific papers

2023

DOI: <https://doi.org/10.15414/2023.9788055226033>

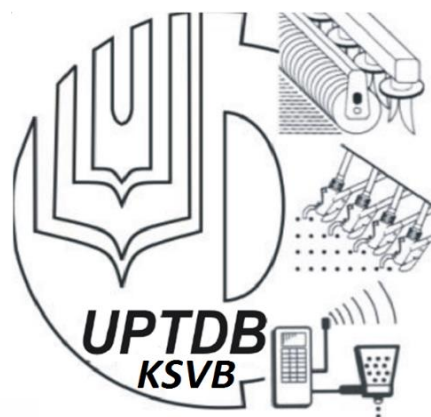
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Technická fakulta

***Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky
(Katedra strojov a výrobných biosystémov)***



SPU·TF
Technická
fakulta



Zborník vedeckých prác

Scientific papers

TECHNOFORUM 2023

***New Trends in Machines and Technologies
for Biosystems***

***Nové trendy v technike a technológiách
pre biosystémy***

2023

TECHNOFORUM 2023

New Trends in Machines and Technologies for Biosystems

Nové trendy v technike a technológiách pre biosystémy

Zborník vedeckých prác

Scientific papers

Recenzenti:

doc. Ing. Richard Hnilica, PhD., *Katedra výrobných technológií a manažmentu kvality, Fakulta techniky, Technická univerzita Zvolen, 960 01 Zvolen*

doc, Ing. Juraj Ružbarský, PhD., *Fakulta výrobných technológií so sídlom v Prešove, Technická univerzita v Košiciach, Štúrova 31, 080 01 Prešov*

Editor prof. Ing. Ján Jobbágy, PhD.
Grafická úprava prof. Ing. Ján Jobbágy, PhD.

Vydala Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

Za odbornú a jazykovú úroveň textu sú zodpovední autori jednotlivých príspevkov.
V zborníku sú publikované pôvodné vedecké práce.

Schválila rektorka Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre dňa 17. 5. 2023
ako zborník recenzovaných vedeckých prác v elektronickej online forme.

Všetky práva vyhradené. Žiadna časť textu ani ilustrácie nemôžu byť použité na ďalšie
šírenie akoukoľvek formou bez predchádzajúceho súhlasu autorov alebo vydavateľa.

© 2023, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

This work is published under the license of the Creative Commons Attribution
NonCommercial 4.0 International Public License (CC BY-NC 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



ISBN 978-80-552-2603-3

DOI: <https://doi.org/10.15414/2023.9788055226033>

OBSAH

PREDHOVOR	6
ANALÝZA VPLYVU TECHNOLÓGIÍ POZBEROVÉHO SPRACOVANIA NA POŠKODENIE OSIVA KUKURICE	7
MICHAL ANGELOVIČ, MAREK ANGELOVIČ, PAVOL FINDURA, JÁN LOBBÁGY, KOLOMAN KRIŠTOF	7
METODIKA POSTUPOV SPRACOVÁVANIA POTRAVINOVÉHO ODPADU – APLIKÁCIA NA KOMPOSTOVATEĽNÉ POTRAVINOVÉ OBALY	14
ANNA BÁREKOVÁ, MARTINA SLÁVIKOVÁ, ANA HAULIKOVÁ.....	14
METODIKA VYUŽITIA ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU BIOMASY – EXPERIMENTÁLNA IDENTIFIKÁCIA TEPELNOENERGETICKÝCH PARAMETROV	19
MONIKA BOŽIKOVÁ, MATÚŠ BILČÍK, VLASTA VOZÁROVÁ, ANA HAULÍKOVÁ, MAROŠ SZENTESI.....	19
COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS YOLOV5 AND YOLOV8 FOR APPLICATION IN AGRICULTURAL TECHNOLOGIES.....	24
ROMAN BUMBÁLEK, TOMÁŠ ZOUBEK, LUCIE ŠTINDLOVÁ, ZBYNĚK HAVELKA, PAVEL OLŠAN, PETR BARTOŠ, RADIM KUNEŠ, RADIM STEHLÍK, ANTONÍN DOLAN	24
KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE ZARIADENIA NA DÁVKOVÉ TESTY TERMOCHEMICKÉJ KONVERZIE BIOMASY	35
JÁN GADUŠ, TOMÁŠ GIERTL	35
USE OF SUPPORT VECTOR MACHINE ALGORITHM IN YIELD PREDICTION FROM RGB IMAGES.....	41
TOMÁŠ GAJDACZEK, JAKUB PERNICA, JIŘÍ ČUPERA	41
METODIKA TERMOCHEMICKÉJ KONVERZIE APLIKOVATEĽNÁ NA SPRACOVANIE ODPADU Z POĽNOHOSPODÁRSTVA A AGROPOTRAVINÁRSTVA	45
TOMÁŠ GIERTL, JÁN GADUŠ	45
DIAĽKOVO OVLÁDANÉ A AUTONÓMNE MECHANIZMY INTEGROVANEJ LESNÍCKEJ ŤAŽBOVEJ TECHNOLÓGIE	53
MILAN HELEXA	53
ZHODNOTENIE KVALITY PRÁCE ZOSTAVY ÚSPORNEJ TECHNOLÓGIE ZÁVLAHY.....	59
JÁN JOBBÁGY, MARTIN HODÚL, ADAM TKÁČ, MICHAL ANGELOVIČ	59
ZHODNOTENIE KVALITY PRÁCE ŠIROKOZÁBEROVÝCH ZAVLAŽOVAČOV FREGAT	67
JÁN JOBBÁGY, MAREK KRAJANEC, KOLOMAN KRIŠTOF, TATIANA BULLOVÁ	67
ZHODNOTENIE VÝROBY ELEKTRICKEJ ENERGIE VO VYBRANEJ VODNEJ ELEKTRÁRNI	74
JÁN JOBBÁGY, ANDREJ MESIARIK	74
ZHODNOTENIE VÝROBY ELEKTRICKEJ ENERGIE V SOLÁRNOM PARKU	82
JÁN JOBBÁGY, JÁN BLAHO	82
ZHODNOTENIE VÝKONOVÝCH PARAMETROV LINKY VO VINÁRSKOM PODNIKU	89
JÁN JOBBÁGY, JANA VAŇOVÁ, JANA GALAMBOŠOVÁ	89
ANALYSIS OF THE FAILURE RATE OF SELECTED CHAINSAWS	96
JÁN KOVAČ, IGOR GREGOR	96
EFFECT OF SOIL AERATION ON SOIL PENETRATION RESISTANCE	101
TOMÁŠ KRAJÍČEK, PETR MARADA, JAN MAREČEK	101
VYVAŽOVANIE SEKACIEHO MECHANIZMU BUBNOVEJ SEKAČKY	104
JOZEF KRILEK, MIKULÁŠ KUPČOK	104
TECHNICKÝ A TECHNOLOGICKÝ NÁVRH POZBEROVEJ LINKY ZRNÍN.....	114
KOLOMAN KRIŠTOF, MARTIN LUKÁČ, JÁN JOBBÁGY, MICHAL ANGELOVIČ	114
METODIKA VYUŽITIA ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU BIOMASY - MECHANICKÉ VLASTNOSTI, ANALÝZA VLHKOSTI, TERMOGRAVIMETRIA	139
ĽUBOMÍR KUBÍK, MATÚŠ BILČÍK, VIERA KAŽIMÍROVÁ, DANIELA KUNECOVÁ	139

ODHAD ZOSTATKOVEJ ŽIVOTNOSTI HYDRAULICKÉHO OLEJA NA ZÁKLADE STUPŇA JEHO DEGRADÁCIE	147
MARIÁN KUČERA, JAKUB DRMLA	147
VÝPOČET TECHNICKÝCH PARAMETROV PRI PELETOVANÍ A NÁVRH PELETOVACIEHO LISU	155
TOMÁŠ KUVIK	155
THE INFLUENCE OF THE CHOICE OF AGRICULTURAL TIRES ON SOIL COMPACTION	162
ERIK LAVRÍK, MAKSIM STANKEVYCH, PAVOL FINDURA, IVAN BELOEV, URSZULA MALAGA-TOBOLA, MIROSLAV PRÍSTAVKA, JOZEF REDL	162
POROVNANIE PÁSOVEJ A RIADKOVEJ SEJBY OZIMNÉHO JAČMEŇA V TECHNOLÓGII CTF	168
MIROSLAV MACÁK, JANA GALAMBOŠOVÁ	168
POSSIBILITIES OF DETERMINING THE FRACTION OF WOOD CHIPS BY IMAGE ANALYSIS	176
MARTIN MADĚRA, FRANTIŠEK KUMHÁLA	176
MOŽNOSTI ENERGETICKÉHO VYUŽITIA ODPADOVEJ BIOMASY Z VINOHRADOV	184
JURAJ MAGA	184
ROZDELENIE ZÁKLADNÝCH ŠTIEPACÍCH STROJOV A ZARIADENÍ	189
JÁN MELICHERČÍK	189
COMPARISON OF THE EFFENCY OF DIFFERENT TOOLS USED FOR STUBBLE CULTIVATION ON A HEAVY TEXTURED SOIL	197
PÁL NAGY, GÉZA TUBA, GYÖRGYI KOVÁCS, JÓZSEF ZSEMBELI	197
EFFECT OF TEMPERATURE AND PRINTING POSITION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PLA MATERIAL PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING	204
JAKUB PERNICA, PAVEL ČERNÝ, TOMÁŠ GAJDACZEK, PETR DOSTÁL	204
STANOVENÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY DESKOVÝCH FILTRŮ PŘI FITRACI OLEJE	211
JIŘÍ SOUČEK, PETR PLÍVA, MARTIN DĚDINA, JOSEF ŠIMON, VERONIKA TOMÁNKOVÁ, SOŇA FRESLOVÁ	211
MODIFIKACE PĚSTEBNÍCH POSTUPŮ ZA ÚČELEM EFEKTIVNÍHO HOSPODAŘENÍ NA POZEMCÍCH	216
FRANTIŠEK TOŠOVSKÝ, MILAN KROULÍK, VÁCLAV BRANT, JOSEF CHÁRA, JIŘÍ DREKSLER	216
AWARENESS OF PACKAGING WASTE AMONG CZECH STUDENTS	223
SHURAN ZHAO, VLASTIMIL ALTMANN, PETR ŠAŘEC	223

PREDHOVOR

Posledná konferencia zameraná na modernizáciu a inovácie v oblasti poľnohospodárskej techniky z ktorej vyšiel aj zborník prác pod názvom Technoforum 2020 sa mala uskutočniť v roku 2020. Avšak nepriaznivá situácia nám to dovolila až po troch rokoch. Som veľmi rád, že aj tento rok sa nám podarilo dať do finálnej verzie zborník vedeckých prác, ktorý napomôže nielen mnohým študentom, ale aj mladým vedeckým pracovníkom. V oblasti poľnohospodárstva pokračuje vývoj moderných technológií a techniky s cieľom dosiahnuť efektívnejšie pestovanie poľných plodín a zvýšenú ochranu krajiny. Predpokladom zvyšovania úrovne konkurenčne schopného a rozvíjajúceho sa poľnohospodárstva je aj rozvoj výrobných technológií. Výsledkom týchto trendov je neustále zdokonaľovanie technických parametrov strojov, uplatňovanie elektronických aplikácií v konštrukcii ako aj prienik sofistikovaných informačných technológií. V poslednom období sa zvyšuje úroveň vybavenia mechatronickými zariadeniami, ktoré umožňujú následné nasadenie informatizácie a nových druhov materiálov.

Prínosom zborníka vedeckých prác pod názvom "TECHNOFORUM 2023" by práve preto mali byť výsledky výskumov, zameraných na oblasť pozberové spracovania, sejby, utláčania, vlhkostného režimu, závlah, zberu plodín a pod. Novodobými oblasťami je aj sledovanie nasadenia vplyvu modernej techniky na vlastnosti pôdy a životné prostredie. Popri tom je zaujímavá aj oblasť techniky a technológií nasadených vo sfére lesníctva (vlastnosti, výkonnosti), obnoviteľných zdrojov a bioenergetiky (energetické plodiny, spracovanie biomasy, vlastnosti výstupných produktov). Nielen naša katedra, ale aj spolupracujúce pracoviská sa zaoberajú s uvedenou problematikou už viac ako 60 rokov, kde výstupné výskumné vedecké práce prinášajú každým rokom nové informácie. Implementácia získaných výsledkov jednotlivých kolegov do praxe prebieha aj prostredníctvom iných publikačných aktivít.

prof. Ing. Ján Jobbágy, PhD.
zástupca ústavu
Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy
a bioenergetiky
za Katedru strojov a výrobných biosystémov
Technická fakulta SPU v Nitre

ANALÝZA VPLYVU TECHNOLOGIÍ POZBEROVÉHO SPRACOVANIA NA POŠKODENIE OSIVA KUKURICE

MICHAL ANGELOVIČ, MAREK ANGELOVIČ, PAVOL FINDURA, JÁN LOBBÁGY,
KOLOMAN KRISTOF

Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, SPU v Nitre

Abstract: The aim of this research was to monitor the influence of the mechanisms on maize seed damage during post-harvest processing. Micro and macro damage of maize seed were monitored in each operation of the post-harvest treatment. Samples of grain were collected from each mechanism or equipment. The measurements were done through a period of 2 years on three maize seed hybrids. It was found that cobs coming through the post-harvesting line at moisture contents of 25 - 38 % were damaged from 1,6 to 1,8 %, according to each hybrid. In each post-harvesting line, the critical place is the dryer. Maize grain damage increased to 5,8 % after drying. The final critical part in the monitored post-harvesting line is the sheller, where we recorded an increase in total damage of 12,3 %. Based on measurements, the effect of the hardness property of grain is that maize grain shows different inclination to damage which is influenced by their different hardness on impact.

Keywords: maize seed, post-harvest processing, grain damage

ÚVOD

Zber a pozberová úprava kukurice predstavuje záverečnú fázu výrobného procesu, v ktorej sa ešte v značnej miere môže ovplyvniť kvalita a množstvo zberaného produktu. Viacerí autori (Šatilov et al., 1981, Le Ford, Russell, 1985) uvádzajú, že kukuričné zrno je v procese pozberovej úpravy prevažne vystavované úderovému zaťaženiu, stláčaniu a treniu. Tieto faktory spôsobujú poškodenie zŕn a závisí to od ich vlhkosti a hybridu.

Kukuričné zrno z hľadiska tvaru a rozmerov je mnohotvárne. Táto mnohotvárnosť je zosilňovaná chemickým zložením zrna ako aj veľkosťou škrobových zŕn a ich vzájomnou väzbou. Endosperm kukuričného zrna je krehký a drobivý, pričom tieto vlastnosti sú ešte zvýraznené jeho značnou citlivosťou na zmenu vlhkosti a pôsobení tepla pri jeho mechanickom namáhaní. Zmeny teploty sa prejavujú hlavne v poškodzovaní kukurice v procese sušenia. Je to spôsobené objemovými zmenami v dôsledku straty vody, čo vedie k vzniku napätia vo vnútri zŕn. Toto je príčinou praskania endospermu zrna. Pre tento jav je možné použiť výraz „napätové lomy“ (Náplava, Weingartnan, 1993). Zvlášť vážne sú následky poškodenia zŕn osivovej kukurice, ktoré sa prejavujú zvýšeným odpadom (poštiepané zrná) a znížením poľnej vzhádzavosti v dôsledku mikropoškodenia zŕn.

Prvotné mechanické poškodenie vzniká už pri zbere kukurice zberačmi na poli čo má negatívne dôsledky na pozberovú úpravu. V procese pozberovej úpravy (odlišťovanie, sušenie, odzrňovanie, čistenie, triedenie) jednotlivé pracovné operácie spôsobujú nárast poškodenia, čo sa prejaví vo výslednej kvalite produktu (Ševčovič et al., 1982; Janda et al.; 1982, Spittell, 1984)..

MATERIÁL a METÓDY

Úlohou experimentálnych meraní bolo sledovanie vplyvu mechanizmov na poškodenie zrna osivovej kukurice v procese pozberovej úpravy.

Experimentálne merania za účelom hodnotenia kvality práce strojov pozberovej linky boli vykonané v plnej prevádzke na vybranom podniku v pestovateľskej oblasti Galanta (obr. 1).

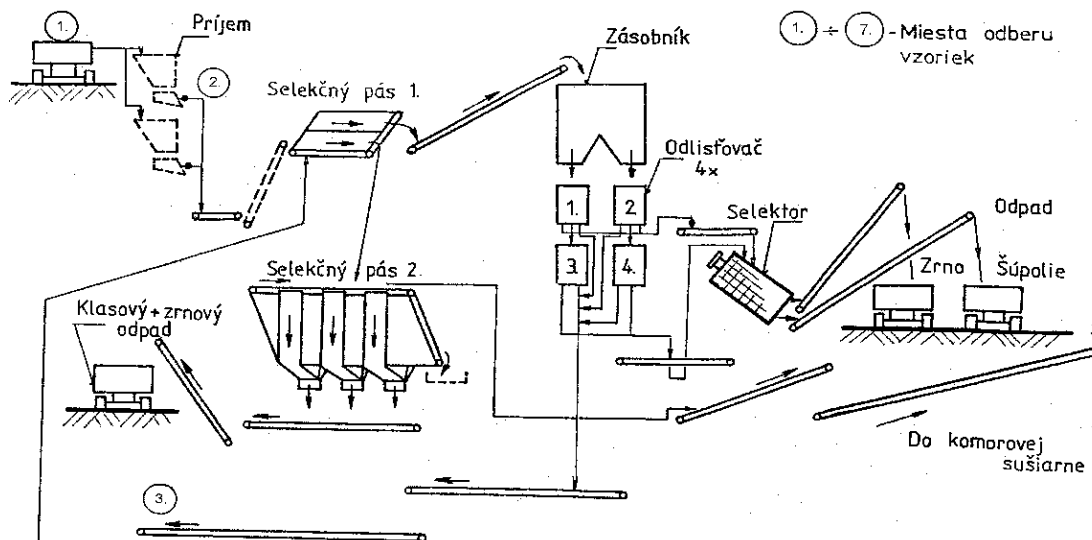
Materiálom výskumu bolo osivo kukurice (ZEA MAYS L.). Tri hybridy osivovej kukurice pestovanej v SR, rôzne skupiny skorosti (podľa FAO) - skorý CE-215 polozub, poloskorý CE-265 polozub a neskorý hybrid TO-455 konský zub.

a) Kvalita osiva

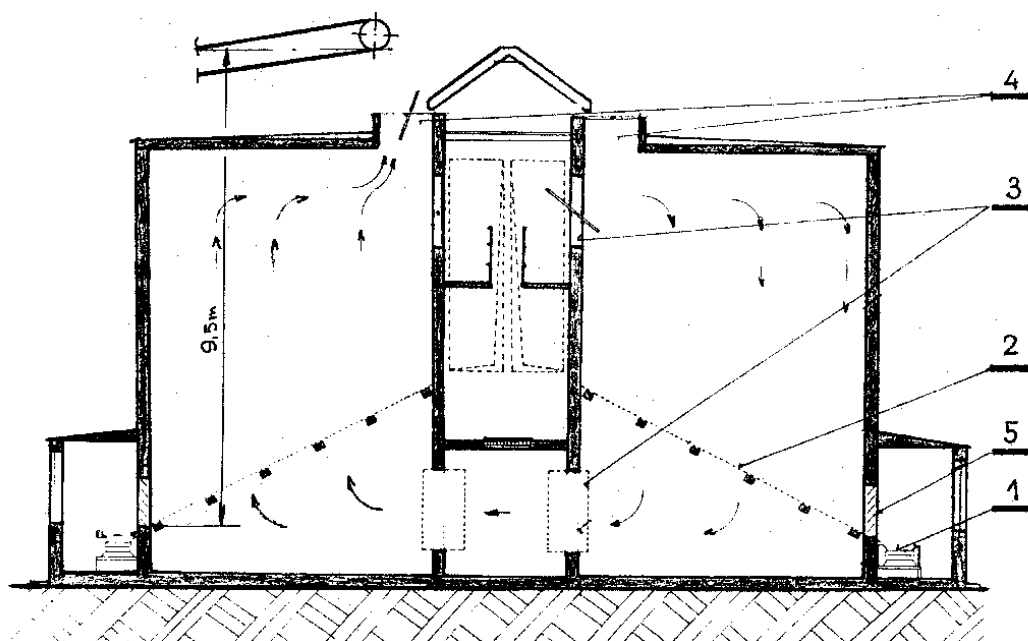
Sledovali sme jeden z ukazovateľov hodnotenia kvality osiva (makro a mikro poškodenie zŕn). Poškodenie bolo hodnotené po týchto pracovných operáciách:

1. príjem materiálu - neodlistené šúľky,
2. príjem materiálu - čiastočne odlistené šúľky

3. stacionárne doodlist'ovanie šúľkov (predselekcia),
4. sušenie šúľkov,
5. odzrňovanie - šúľky + zmes vymrveného zrna (Š+Z) po procese sušenia - pôvodné riešenie,
6. odzrňovanie - iba šúľkov (Š) po odseparovaní vymrveného zrna zo zmesi (Š+Z) - návrh separácie,
7. predčistenie zrna.



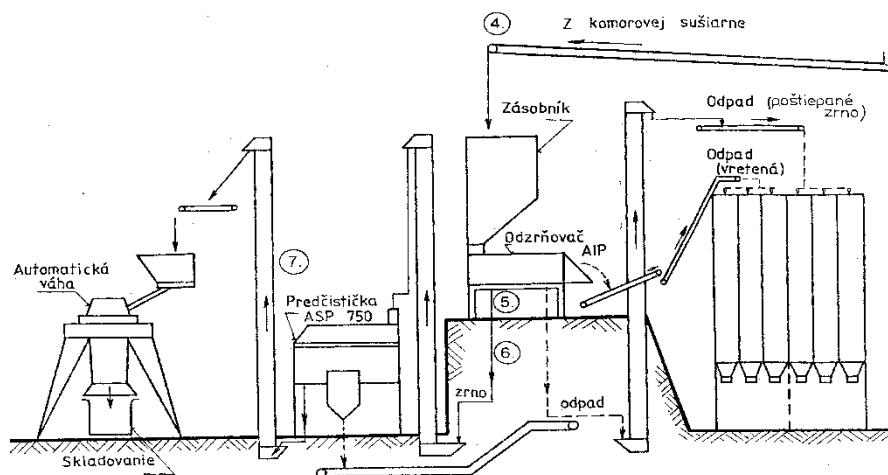
Obrázok 1 Technologická schéma linky strojov na pozberovú úpravu osiva kukurice na SEMA Sládkovičovo – prvá časť linky (príjem, selekcia)



Obrázok 2 Technologická schéma komorovej sušiarne na SEMA Sládkovičovo – druhá časť linky: 1 – pásový dopravník vysušeného materiálu, 2 – perforované dno sušiarne, 3 – systém kanálov pre rozvod teplého vzduchu, 4 – násypka, 5 – výstup usušeného materiálu

b) Voľba odberných miest

Vzorky osiva kukurice boli odoberané zo základného materiálu pred úpravou na pozberovej linke, ďalej na vstupe a výstupe zo strojov a zariadení pozberovej linky (obr.1-3). Pre zabezpečenie čo najobjektívnejších meraní boli vzorky zrna odoberané vždy z presne označeného množstva kukurice, ktoré v procese pozberovej úpravy postupovalo od príjmu až po čistenie. Vlhkosť zrna na príjme až po sušiareň bola v rozsahu 25 až 38 %, v druhej časti linky, t.j. od sušenia až po čistenie 12 až 14 %.



Obrázok 3 Technologická schéma linky strojov na pozberovú úpravu osiva kukurice na SEMA Sládkovičovo – tretia časť linky (odzrňovanie, predčistenie, váženie)

c) Odber vzoriek a zisťovanie poškodenia zŕn

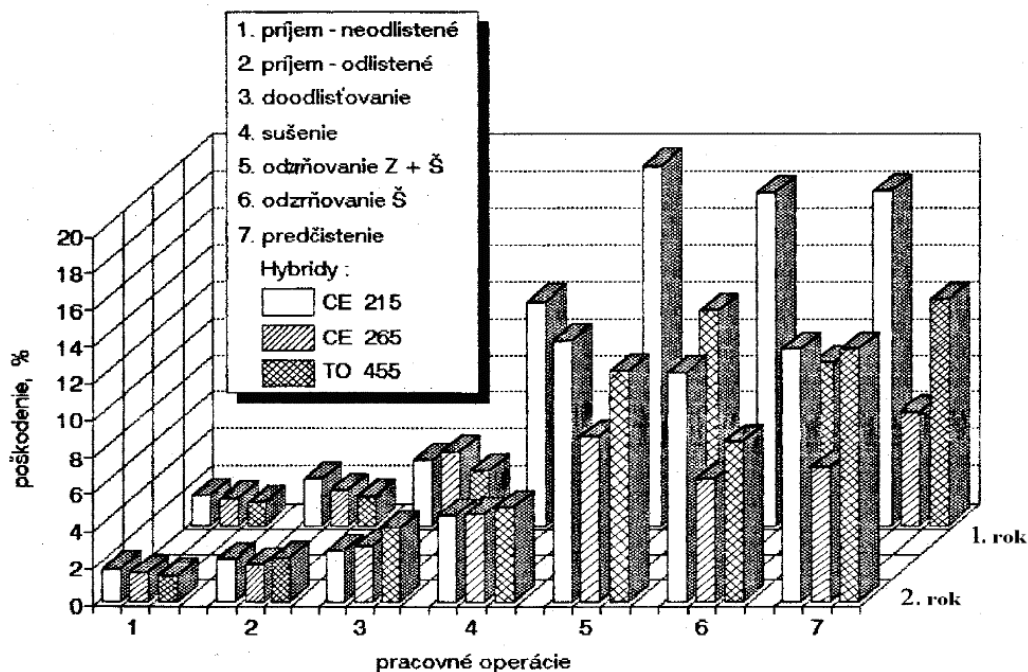
Hmotnosť vzoriek pre určovanie kvality osiva podľa STN 46 0610 je 0,5 kg. Počet zŕn pre určovanie charakteristiky zrnového materiálu (hmotnostné a rozmerové) je minimálne 300. Merania sme robili v troch opakovaníach. Poškodenie zŕn sme hodnotili vizuálne s členením na makropoškodenie (MA - poštiepané zrná, celé zrná s viditeľným poškodením voľným okom, polovičky zŕn, úlomky zŕn) a mikropoškodenie (MI - zrná s oderkami, poškodenie osemenia, klíčku, vnútorné poškodenie vo forme lomov). Mikropoškodenie sa sledovalo lupou so 6 - násobným zväčšením a pomocou diafanoskopu DP - 1 (prístroj na zisťovanie sklovitosti zŕn).

d) Použité metódy vyhodnocovania experimentu

Výsledky meraní boli spracované pomocou PC s využitím programov Statgraphics, QuatroPro. Na testovanie základných súborov a analýzu v rámci súboru sme použili *F*-test a Scheffeho test.

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Výsledky meraní kvality pozberovej úpravy osiva kukurice boli hodnotené poškodením zrna po jednotlivých pracovných operáciách a sú uvedené na obr. 4 a tab. 1.



Obrázok 4 Vplyv pracovných operácií na poškodenie osiva kukurice v procese pozberovej úpravy

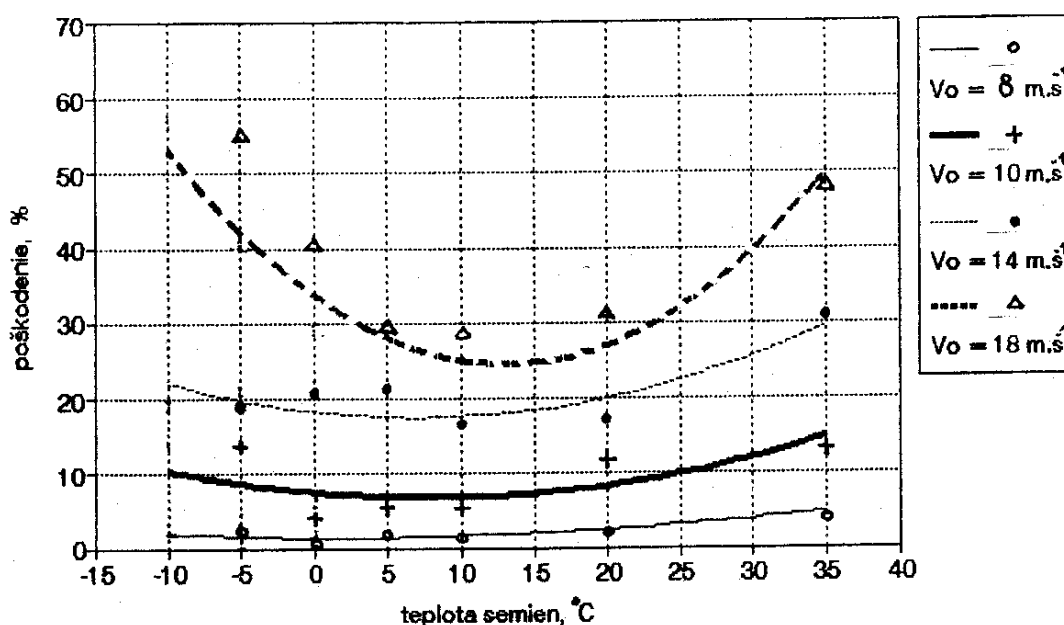
Tabuľka 1 Poškodenie osiva kukurice po jednotlivých operáciách v percentách

Pracovné operácie	Hybrid	Rok	Druh poškodenia	CE-215						CE-265						TO-455								
				opakovania			$\bar{x}$	nárast poškodenie	Mi + Ma	Celkový nárast poškodenia	opakovania			$\bar{x}$	nárast poškodenie	Mi + Ma	Celkový nárast poškodenia	opakovania			$\bar{x}$	nárast poškodenie	Mi + Ma	Celkový nárast poškodenia
				1.	2.	3.					1.	2.	3.					1.	2.	3.				
Príjem	neodlíšené šulky	1. rok	Mi	1,3	1,4	1,0	1,2	1,7	1,6	1,6	0,9	1,4	1,0	1,3	1,3	1,43	1,43	0,6	1,5	0,6	0,9	0,9	1,2	1,2
		Ma	0,5	0,3	0,4	0,4	0,4				0,4	0,3	0,3	0,33	0,33			0,2	0,4	0,4	0,3	0,3		
	2. rok	Mi	0,8	2,1	1,2	1,4	1,4	1,8	1,8		1,2	0,8	1,3	1,1	1,1	1,5	1,5	0,7	0,9	1,6	1,1	1,4	1,4	
	Ma	0,35	0,4	0,5	0,5	0,4				0,5	0,4	0,3	0,4	0,4			0,1	0,5	0,2	0,3	0,3			
Doodlistovanie	odlíšené šulky	1. rok	Mi	1,5	1,7	2,0	1,73	0,53	2,49	0,89	1,2	1,7	1,4	1,43	0,13	1,86	0,43	0,9	0,6	1,5	1,0	1,5	0,3	
		Ma	0,7	0,6	1,0	0,76	0,33				0,5	0,4	0,4	0,43	0,1			0,6	0,4	0,6	0,5	0,2		
	2. rok	Mi	1,4	1,8	1,3	1,5	0,1	2,3	0,5	2,3	0,5	1,7	1,5	1,2	1,5	2,0	0,5	1,4	1,8	1,2	1,5	0,4	1,0	
	Ma	1,1	0,6	0,7	0,8	0,4				0,3	0,7	0,6	0,5	0,1			0,7	1,1	0,9	0,9	0,6			
Sušenie		1. rok	Mi	2,0	2,3	3,2	2,5	0,77	3,5	1,01	1,6	1,5	1,4	1,5	0,07	3,96	2,1	1,0	1,3	2,2	1,5	0,5	1,4	
		Ma	0,9	1,1	1,0	1,0	0,24				2,0	3,1	2,3	2,46	2,03			1,3	1,2	1,7	1,4	0,9		
	2. rok	Mi	1,8	2,4	1,7	1,8	0,3	2,7	0,4	2,7	0,4	1,9	1,8	1,6	1,8	3,0	1,0	3,0	2,8	3,5	3,1	1,6	1,63	
	Ma	1,0	0,9	0,8	0,9	0,1				0,7	1,4	1,3	1,2	0,7			1,2	0,9	0,7	0,93	0,03			
Odzrňovanie	zmes zrno + šulky	1. rok	Mi	6,7	15,1	10,7	10,9	8,4	12,1	8,6	1,6	1,8	1,4	1,6	0,1	4,13	0,17	3,6	2,8	2,5	2,76	1,26	4,19	1,56
		Ma	1,5	1,1	1,2	1,2	0,2				2,4	2,7	2,5	2,53	0,07			1,2	1,9	1,2	1,43	0,03		
	2. rok	Mi	4,4	3,6	2,4	3,5	1,7	4,6	1,9	4,6	1,9	3,3	2,5	2,6	2,8	4,8	1,8	3,2	4,1	3,1	3,4	5,1	1,07	
	Ma	1,0	0,9	1,4	1,1	0,2				2,3	2,2	1,5	2,0	0,8			1,5	1,7	1,8	1,7	0,77			
Predčistenie	iba šulky	1. rok	Mi	23,2	11,4	16,1	16,9	6,0	19,5	7,46	4,8	3,7	3,9	4,13	2,53	7,19	3,06	8,4	9,0	8,1	8,5	5,74	11,6	7,34
		Ma	2,5	2,7	2,8	2,66	1,46				3,1	2,9	3,2	3,06	0,53			3,2	2,8	3,3	3,1	1,67		
	2. rok	Mi	12,3	13,1	13,4	12,9	9,4	14,2	9,6	14,2	5,2	5,8	4,7	5,3	2,5	8,9	4,1	8,7	10,1	9,5	9,4	6,0	12,5	7,4
	Ma	1,5	1,4	1,2	1,36	0,26				3,2	3,4	4,2	3,6	1,6			3,4	2,6	3,2	3,1	1,4			
		1. rok	Mi	16,2	14,4	18,8	16,4	-0,5	18,0	-1,5	3,9	3,1	2,1	3,03	-1,1	5,79	-1,4	6,2	7,2	6,9	6,7	-1,8	8,83	-2,77
		Ma	1,6	1,2	1,7	1,6	-1,06				3,6	2,1	2,6	2,76	-0,3			2,1	2,4	1,9	2,13	-0,97		
	2. rok	Mi	9,7	11,9	12,0	11,2	-1,7	12,4	-1,8		3,7	4,1	3,9	3,9	-1,4	6,7	-2,2	5,5	7,8	6,6	6,5	-2,9	8,7	-3,8
	Ma	0,9	1,3	1,5	1,23	-0,13				2,8	3,4	2,1	2,8	-0,8			2,4	2,0	2,2	2,2	-0,9			
		1. rok	Mi	16,8	15,2	16,4	16,1	-0,3	16,1	0,1	3,7	4,2	4,4	4,16	1,1	6,12	1,9	10,7	9,6	9,6	9,9	3,2	12,2	3,3
		Ma	1,9	1,7	2,2	1,93	0,33				1,7	2,2	2,0	1,96	-0,8			2,6	2,8	1,5	2,3	0,17		
	2. rok	Mi	13,2	12,1	12,3	12,5	1,3	13,7	1,3	13,7	4,9	5,2	5,9	5,4	1,5	7,3	0,6	9,1	9,8	13,8	10,9	4,4	13,7	5,0
	Ma	0,8	0,9	1,9	1,2	-0,1				1,7	2,4	1,6	1,9	-0,9			2,8	3,1	3,5	2,8	6,6			

Z obr. 4 a tab. 1 je vidieť, že po pracovnej operácii zber, t.j. na príjme materiálu na pozberových linkách majú zrná rozdielne hodnoty poškodenia na šúľkoch pri zbere úplne alebo čiastočne odlistených. Z porovnania údajov je vidieť, že zrná zo šúľkov pri zbere úplne odlistených sú viac poškodené (Mi, Ma), ako zrna z čiastočne odlistených šúľkov.

Nárast poškodenia po operácii "doodlist'ovanie", pre všetky sledované hybridy a ročníky bol v priemere o 1,2 % čo je spôsobené viacnásobným prechodom šúľkov cez odlisťovacie ústrojenstvo.

Nárast poškodenia zŕn je možno vidieť po operácii sušenie, a to najmä v mikropoškodení v priemere o 2,2 %. Počas meraní sme zistili, že teplota zrna po sušení v komorovej sušiarňi má vplyv na jeho poškodenie pri odzrňovaní. Preto sme pre hlbšie poznanie procesu vykonali laboratórne merania, v ktorých sme zrna pri určitých teplotách (-10 až +35 °C) a vlhkosti dynamicky namáhali rázom - úderom. Tieto výsledky sú publikované v práci (Angelovič, 1995).. Na obr. 5 je znázornená závislosť poškodenia zŕn v závislosti na teplote zŕn.



Obrázok 5 Vplyv teploty a obvodovej rýchlosti pri ráze na poškodenie osiva kukurice

Z uvedených výsledkov jednoznačne vyplýva, že teplota má vplyv na poškodenie zŕn kukurice pri dynamickom namáhaní. Táto skutočnosť sa na pozberových linkách zatiaľ nerespektuje. Zrno po sušení je potrebné ochladiť pod 15 °C.

Najvyšší nárast poškodenia, v priemere (6,4%), bol zistený po pracovnej operácii "odzrňovanie". Táto pracovná operácia najviac poškodzuje zrno a môže výrazne zvýšiť percento nežiadúceho odpadu vo forme poštiepaných zŕn a znižuje osivovú hodnotu mikropoškodenými zrnami.

Z výsledkov meraní vidieť, že u hybridov citlivých na mechanické poškodzovanie zrna (pri našich meraniach CE 215), je nárast poškodenia významný pri všetkých operáciách. Namerané hodnoty poškodenia zrna pri odzrňovaní platia za predpokladu, že pracovná operácia "sušenie" sa robí pri dodržiavaní maximálnej technologickkej disciplíny a zrno sa nepresuší pod $Wz=12\%$.

Počas experimentálnych merní sme zaznamenali, že pri pozberovom spracovaní, najmä v procese sušenia a dopravy materiálu dochádza k vymrveniu zrna zo šúľkov, ktoré potom spolu so šúľkami postupuje do odzrňovača, kde je zbytočne vystavované dynamickým účinkom odzrňovača. Percento vymrvených zŕn predstavuje 12%.

Pri praktických meraniach sme zaznamenali mierny nárast poškodenia po prechode zrna predčističkou. Je to spôsobené opakovaným úderom zŕn o pracovné elementy predčističky. Hlavný podiel na poškodzovaní má pohyb zŕn po kmitajúcich sitách a rozhrňovacia závitovka na vstupnej časti predčističky.

Na základe uvedeného rozboru pozberovej linky vyplýva, a je štatisticky preukazný nárast poškodenia zŕn od zberu kukuričných šúľkov na poli až po konečné predčistenie zŕn po odzrnení.

Vplyv jednotlivých pracovných operácií na poškodenie je preukazný pri testovaní súboru ako celku pomocou F - testu ($P < 0.01$). Pri testovaní analýzou rozptylu vo vnútri súboru pomocou Scheffého testu

je preukazný rozdiel v poškodzovaní zrna medzi príjmom materiálu a sušením a tak tiež medzi príjmom materiálu a odzrňovaním kukurice ($P < 0,05$).

Podľa štatistického zhodnotenia, na rozdiel od laboratórnych meraní rozdiely v poškodzovaní jednotlivých hybridov sú nepreukazné ($P > 0,05$) a tak tiež sú nepreukazné rozdiely v sledovaných ročníkoch.

Na procese zníženia osivárskej hodnoty kukurice sa podieľajú jednotlivé mechanizmy zaradené do technologického procesu (obr. 1-3).

Prvým kritickým miestom v linke je doodlistovanie na príjmovej časti pozberovej linky.

Vo vlastnej pozberovej linke kritickým miestom je proces sušenia, ktorý je veľmi náročný na dôsledné poznanie fyzikálno-mechanických a tepelných vlastností zŕn kukurice, ako aj na poznanie fyziologických a biologických vlastností jednotlivých hybridov kukurice. Tento proces si vyžaduje citlivú reguláciu teploty sušiacieho média v závislosti od vlhkosti zrna (vretien) a času sušenia. Ďalej sme zistili, že pri odzrňovaní šúľkov s teplotou nad 200°C sa zvyšuje poškodenie zŕn. Je nutné schlaďiť zrna po sušení. Tento nárast je možno vysvetliť objemovými zmenami v dôsledku straty vody, a to vedie k vzniku napätia vo vnútri zŕn. Toto je príčinou praskania endospermu. Pre tento jav je možné použiť výraz "napätové lomy". Pri sledovaní zmien v štruktúre zrna vplyvom teploty podobným záverom dospeli (Náplava, Weingartnan, 1993; Spittell, 1984; Angelovič, 1995).

Posledným kritickým článkom v sledovanej pozberovej linke je odzrňovač, ktorého konštrukcia a pracovné parametre výrazne ovplyvňujú poškodenie zŕn kukurice.

V odzrňovacích mechanizmoch kukuričné zrno je vystavované úderovému zaťaženiu, stláčaniu a treniu, ktoré spôsobuje poškodenie zŕn a závisí od ich vlhkosti a teploty. Hranica optimálnych obvodových rýchlostí je medzi 7 až 12 m.s⁻¹ (Le Ford, 1985; Angelovič, 1995).

V procese pozberovej úpravy osiva kukurice, najmä pri sušení, dochádza k vymrveniu zrna zo šúľkov. Na dopravnom páse sa nachádza zmes zrna a šúľkov, ktorá vstupuje do odzrňovača, kde dochádza k jeho zbytočnému poškodzovaniu. Po odseparovaní vymrveného zrna pred vstupom do odzrňovača sme namerali zníženie poškodenia v priemere o 2,6 % pre všetky sledované hybridy a ročníky.

Je potrebné zdôrazniť, že nasledujúce závery môžeme konštatovať na základe experimentálnych meraní pozberovej linky, ale aj na základe nami vykonaných rozsiahlych meraní agrofyziálnych vlastností osivovej kukurice v laboratórnych podmienkach a sú obsiahnuté v nasledovných prácach (Angelovič, 1995 a, b).

ZÁVER

Na základe dosiahnutých výsledkov môžeme urobiť nasledovné závery:

- Z rozboru práce pozberovej linky vyplýva, že poškodenie zŕn narastá od zberu kukuričných šúľkov na poli až po konečné predčistenie zŕn po odzrnení (obr.4).

- Zrno kukurice je veľmi citlivé na rýchle zmeny teploty v procese sušenia, ktoré spôsobujú mikrotrhliny v endosperme zrna. Z našich výsledkov jednoznačne vyplýva, že zrno kukurice po skončení sušenia je potrebné bezpodmienečne schlaďiť na teplotu 15 maximálne na 20 °C, aby nedochádzalo k nežiaducemu poškodeniu.

- Jednotlivé hybridy vyžadujú pre zníženie poškodzovania zrna pri odzrňovaní odlišný pracovný režim odzrňovača. Pracovný režim odzrňovača je nastaviteľný - možnosť regulácie obvodovej rýchlosti bubna a intenzity odzrňovania. V našich podmienkach pri odzrňovaní šúľkov sa najlepšie výsledky dosiahli pri obvodových rýchlostiach v rozmedzí 7 až 12 m.s⁻¹.

- Na základe našich meraní pevnostných vlastností zŕn, ako aj meraní technologického procesu sme dospeli k poznatku, že vymrvené zrno zo šúľkov je nutné oddeliť pred vstupom do odzrňovača. Týmto zásahom v technologickom procese znížime percento poškodených zŕn pri odzrňovaní o 2,6 %.

Literatúra

1. ANGELOVIČ, M. 1995. Vplyv mechanizácie pozberového spracovania kukurice na kvalitu osiva. In.: *Kandidátska dizertačná práca*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 1995, 120 s.
2. ANGELOVIČ, M. 1995. Vplyv niektorých faktorov na poškodenie zrna osivovej kukurice. In.: *Zemědělská technika*, 4. 1995 (4), s. 137 - 140.
3. JANDA, J. et al. 1982. *Kukurica*. Bratislava: Príroda, 1982, s.152-157.

4. LEFORD, D. R. – RUSSELL, W. A. 1985. Evolution of Physical Grain Quality in the BS 17 and BS 1/HS/C1 Synthetics of maize. In.: Crop science, 1985 (3), p. 471 – 476.
5. NÁPLAVA, V. – WEINGARTNAN, R. 1993. Napätové lomy počas sušenia osivovej kukurice. In.: *Zborník abstraktov z vedeckej konferencie konanej dňa 12. - 13.10. 1993*. Nitra: VŠP, 1993, s. 39.
6. SPITTELL, A. 1984. Untersuchungen über die Auswirkung dynamischer Beanspruchungen auf die Keimfähigkeit von Maissaatgut. In.: *Inaugural – Dissertation*. Dortmund, 1984, s. 21 - 39.
7. ŠEVČOVIČ, R. et. al. 1982. Systémy pestovania kukurice. Bratislava: Príroda, 1982, 98 s.

Príspevok vznikol s finančnou podporou v rámci projektu VEGA-1/0102/21: Znižovanie chemického zaťaženia a degradácie poľnohospodárskych a lesných pôd voľbou vhodných agrotechnológií s ohľadom na klimatické zmeny.

Kontaktná adresa:

Ing. Michal Angelovič, PhD. (michal.angelovic@uniag.sk),
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika
doc. Ing. Marek Angelovič, PhD. (marek.angelovic@uniag.sk),
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika

METODIKA POSTUPOV SPRACOVÁVANIA POTRAVINOVÉHO ODPADU – APLIKÁCIA NA KOMPOSTOVATELNÉ POTRAVINOVÉ OBALY

ANNA BÁREKOVÁ, MARTINA SLÁVIKOVÁ, ANA HAULIKOVÁ

Fakulta záhradníctva a krajinného inžinierstva, SPU v Nitre

Výskumné centrum Agrobiotech, SPU v Nitre

Abstract: From July 2021, a ban on the use of certain single-use plastic products applies in EU member states. Many of them are therefore gradually being replaced by compostable products. In the packaging industry the so-called bioplastics are used more and more, and therefore it was necessary to look for possibilities to process the relevant packaging together with food waste and to find out the optimal technological conditions of the entire process with the aim of returning the output compost to the soil at the place of its origin, or in the given region. Our intention was to assess the biological decomposition of selected disposable bioplastic products in the real conditions of a municipal composting plant. The goal of the research was to evaluate the effectiveness of the chosen recycling technology in the process of degradation of biodegradable packaging materials used in the food chain and, based on the information obtained, to formulate a methodology for their processing procedures.

Keywords: bioplastics, decomposition, food waste

ÚVOD

Slovensko sa zaviazalo, že do roku 2030 obmedzí produkciu potravinového odpadu a zároveň zakázalo jeho zneškodňovanie na skládkach odpadov. Reštaurácie a supermarkety sú povinné potraviny nevhodné na konzumáciu zhodnotiť, či už materiálom kompostovaním, alebo energeticky v bioplynových staniciach. To prináša zvýšenie nákladov na technológiu oddeľujúcu obaly od potravín a problém s následnou recykláciou znečistených plastových obalov, ktoré potom končia v spaľovniach, prípadne na skládkach odpadov. V obalovom priemysle sa však čoraz viac využívajú tzv. bioplasty, preto je žiadúce preskúmať možnosti spracovávania takýchto obalov spolu s potravinovým odpadom a zistiť optimálne technologické podmienky celého procesu s cieľom navrátiť výstupný kompost do pôdy priamo v mieste jeho vzniku, prípadne v danom regióne.

Pojem „bioplasty“ je stále nedostatočne definovaný. Zahŕňa materiály vyrobené z obnoviteľných surovín, materiály, o ktorých sa predpokladá, že sa prirodzene rozkladajú (biologicky odbúrateľné), alebo oboje. V súčasnosti nie je jasné, či tie materiály na rastlinnej báze, ktoré sú často zmesami so syntetickými materiálmi (napr. celulóza a materiály na báze bambusu), patria do tejto kategórie. V každom prípade sú vyrábané tak, aby plnili rovnakú funkciu ako plastové materiály a spotrebiteľom sa tak javili (Zimmermann et al., 2020). Nový akčný plán obehového hospodárstva, ktorý bol prijatý v marci 2020 (EC, 2020), zaväzuje Európsku komisiu, aby vypracovala politický rámec pre získavanie, označovanie a používanie bioplastov a biodegradovateľných alebo kompostovateľných plastov.

Biologicky rozložiteľné a kompostovateľné materiály je možné rozložiť pomocou mikroorganizmov na vodu, oxid uhličitý, minerálne soli a novú biomasu v rámci stanoveného časového obdobia. Či sa biologicky rozložiteľný alebo kompostovateľný plastový predmet biologicky rozkladá a ako rýchlo sa to udeje, veľmi záleží od podmienok, ktorým je počas spracovania vystavený. Patria sem teplota, dĺžka trvania, prítomnosť mikroorganizmov, živín, kyslíka a vlhkosti (De Wilde et al., 2013; van den Oever et al., 2017).

Európska norma EN 13432 „požiadavky na obaly zhodnotiteľné kompostovaním a biodegradáciou“ vyžaduje okrem iného, aby bola v laboratórnych podmienkach dosiahnutá minimálne 90% dezintegrácia tohto materiálu pri 58 °C za dvanásť týždňov. Ide o štandard pre biologicky rozložiteľné obaly určené na spracovanie v priemyselných kompostovacích zariadeniach a anaeróbnej digescii. Akékoľvek tvrdenie o kompostovateľnosti alebo biologickej rozložiteľnosti by malo byť presné a jasné čo sa týka podmienok, za ktorých sa tieto vlastnosti uplatňujú. Certifikácie zaručujú, že výrobok vyhovuje stanovenej norme alebo súboru podmienok definovaných certifikačnou agentúrou. Skutočné podmienky sa však môžu líšiť od týchto podmienok a brániť biologickej rozložiteľnosti (Hilton et al., 2020).

Kontaminácia konvenčnými plastmi predstavuje čoraz väčšiu výzvu pre kvalitu kompostu (EEA, 2020). Nahradenie konvenčných plastov za certifikované kompostovateľné plasty vo výrobkoch, ktoré sa často miešajú s potravinovým odpadom alebo sa k nim pridávajú, môže pomôcť znížiť kontamináciu bežnými plastmi (Crippa et al., 2019; Hilton et al., 2020).

Cieľom výskumu bolo zhodnotiť účinnosť zvolenej recyklačnej technológie v procese degradácie biologicky rozložiteľných obalových materiálov využívaných v rámci potravinového reťazca a na základe získaných informácií sformulovať metodiku postupov ich spracovávaní.

MATERIÁL a METÓDY

Výskum prebiehal na mestskej kompostárni v Krškanoch, kde sú spracovávané biologicky rozložiteľné komunálne odpady (BRKO) z územia mesta Nitra. Skúmané vzorky výrobkov (viď tabuľka 1) boli na začiatku pokusu zvážené a fotograficky zdokumentované.

Tabuľka 1 Charakteristika testovaných vzoriek kompostovateľných produktov

Názov/značka výrobcu	Využitie	Materiálové zloženie	Označenie vzorky	Hmotnosť vzorky Mi (g)
Na:Pac	miska	cukrová trstina/PLA	A1	6,732
			A2	6,918
			A3	10,992
Na:Pac	viečko	celulóza/cukrová trstina	B1	20,706
			B2	19,845
			B3	22,426
ingeo	viečko	PLA	C1	5,082
			C2	4,998
			C3	5,021
Biotrem	tanier	pšeničné otruby	D1	68,898
			D2	70,382
			D3	73,102
Biotrem	vidlička	PLA/pšeničné otruby(10%)	E1	7,862
			E2	7,802
			E3	7,949
naturesse	vidlička	CPLA	F1	5,054
			F2	5,159
			F3	4,999
vegware	tanier	cukrová trstina	G1	10,738
			G2	10,639
			G3	11,187
vegware	miska	celulóзовý kartón/PLA	H1	4,122
			H2	4,468
			H3	5,221
Filtročný papier	referenčná vzorka	delená buničina	I1	0,520
			I2	0,517
			I3	0,524

Ako referenčná vzorka bol použitý celulóзовý nespevnený filtročný papier (vzorky označené písmenom I). Všetky výrobky boli v troch vyhotoveniach (exemplároch), pričom sme sledovali rozklad 8 výrobkov od 5 výrobcov. Všetky produkty boli na trh ponúkané ako 100% kompostovateľné v priemyselnej kompostárni.

Vzorky označené číslom 3 (t.j. A3, B3, C3 ...) boli zapuzdrené do plastovej sieťky s priemerom oka 2 x 2 mm. Zvyšné vzorky (označené číslami 1 a 2) sa zabalili do puzdra zo sklotextilnej sieťky s priemerom oka 4 x 4 mm. Takto pripravené vzorky boli následne vložené a upevnené medzi dve vrstvy testovacieho poplastovaného pletiva. Pletivo so vzorkami malo rozmer 1 x 2 m a priemer oka na pletive bol 10 x 10 mm.

Kompostovacia základka v objeme cca 11m³ umiestnená v zastrešenom boxe bola tvorená homogénnou zmesou týchto troch druhov čerstvých BRKO:

- drevná štiepka (10%obj.),

- odpad zo záhrad rodinných domov zbieraný do bionádob (50%obj.),
- tráva z verejnej zelene (40%obj.).

Do pripravenej zakládky bolo vložené pletivo so vzorkami, pričom cca 60%obj. pripraveného substrátu sa nachádzalo pod pletivom a zvyšok substrátu slúžil na prikrytie testovaných vzoriek. Počas celého priebehu výskumu boli priamo pod testovacím pletivom umiestnené 3 sondy na meranie teploty a vlhkosti substrátu. Ďalšia sonda zaznamenávala vonkajšiu teplotu vzduchu. Namerané hodnoty boli dataloggerom zaznamenávané v hodinových intervaloch. Z údajov získaných sondami boli následne vypočítané priemerné hodnoty teploty a vlhkosti za každý týždeň experimentu. Priemerná vlhkosť substrátu za celé sledované obdobie bola 35%obj. a priemerná teplota substrátu za celé sledované obdobie bola 62,6 °C. Priemerná teplota vzduchu v exteriéri bola 22 °C.

Počas 84 dní trvania výskumu bolo v pravidelných intervaloch vykonaných 8 kontrol testovaných vzoriek (vrátane zahájenia a ukončenia experimentu). Pletivo so vzorkami bolo pri kontrole odkryté, vybrané zo zakládky, pričom vždy prebehla fotodokumentácia vzoriek a ich vizuálna kontrola. Celá kompostovacia základka bola v priebehu experimentu dva krát prekpaná.

Po uplynutí stanovenej doby (12 týždňov) sa skúmaný materiál vybral z testovacích obalov. Následne sa očistil od kompostu a vysušil pred konečným vážením. Výsledná hmotnosť zvyškov vzoriek sa zaznamenala a porovnala s počiatočnou hmotnosťou. Pre kvantifikáciu stupňa dezintegrácie jednotlivých vzoriek sme použili nasledovný vzorec:

$$D = \frac{(M_i - M_r)}{M_i} \cdot 100 \quad (1)$$

kde:

D – stupeň dezintegrácie/rozkladu (%),

M_i - hmotnosť vzorky na začiatku experimentu (g),

M_r - hmotnosť vzorky na konci experimentu (g).

Vzorky, ktoré dosiahli stupeň rozkladu minimálne 90%, boli považované za dostatočne rozložené

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Celkový počet vzoriek A až I označených číslicou 1 a 2, teda v puzdre s okom 4 x 4 mm, bol 18 (vrátane filtračných papierov). Z výsledných hodnôt stupňa rozkladu týchto vzoriek uvedených v tabuľke 2 vyplýva, že tesne pod požadovanou hranicou 90% skončilo len viečko značky Na:Pac, konkrétne vzorky B1 a B2. Obe referenčné vzorky filtračného papiera (I1 a I2) sa rozložili na 100%.

Tabuľka 2 Stupeň rozkladu vzoriek v puzdrách s okom 4 x 4 mm

Výrobca	Na:Pac		Eco-product	Biotrem		Naturesse	Vegware		Filtračný papier
Vzorky	A1+A2	B1+B2	C1+C2	D1+D2	E1+E2	F1+F2	G1+G2	H1+H2	I1+I2
Stupeň rozkladu (%)	92,73	89,37	100	97,29	100	100	100	100	100

Obal zo sieťky s rozmerom oka 2 x 2 mm mali všetky testované vzorky A až I označené číslicou 3 (viď tabuľka 3). V nej uvedené výsledky ukazujú, že pri danom zapuzdrení mali najmenšie úbytky hmotnosti produkty od značky Na:Pac (vzorky A3 a B3). Viečko zložené z celulózy a cukrovej trstiny (vzorka B3) malo celkovo najhorší výsledný stupeň rozkladu, a to len 34,28%. Výrobky značky Vegware (vzorky G3 a H3) a tanier od značky Biotrem (vzorka D3) pri testovaní v danej sieťke tiež nedosiahli požadovanú hranicu 90%, ale stupeň ich rozkladu bol väčší ako u produktov značky Na:Pac. Referenčná vzorka filtračného papiera (I3) sa aj pri takomto zapuzdrení rozložila na 100%.

Až 13 z 24 testovaných vzoriek sa za 12 týždňov v priemyselnom komposte úplne rozložilo, teda dosiahlo 100% stupeň rozkladu. Požadovanú hranicu 90% dosiahlo 17 z nich.

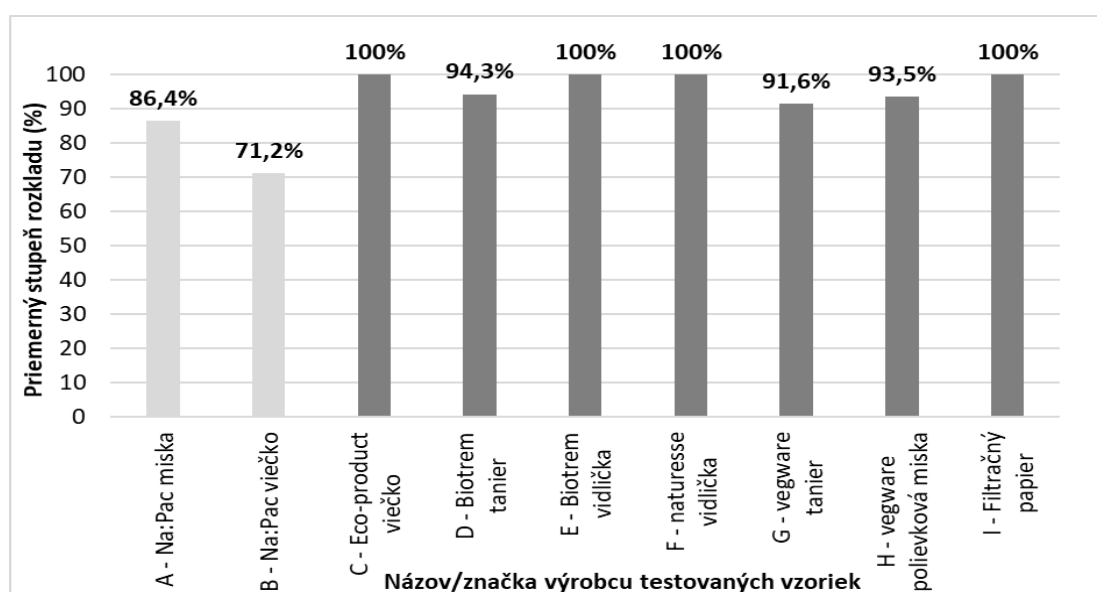
Z uvedených výsledkov vyplýva, že na trhu dostupné kompostovateľné náhrady jednorazových plastov nepreukážu vždy aj v reálnych podmienkach kompostárne požadovanú schopnosť rozkladu. Je

však pravdepodobné, že pri bežnej prekopávke kompostu by bioplasty boli vystavené mechanickým vplyvom, ktoré by podporili biodegradáciu, a tým by sa zvýšil aj výsledný stupeň rozkladu.

Tabuľka 3 Stupeň rozkladu vzoriek v puzdrách s okom 2 x 2 mm

Výrobca	Na:Pac		Eco-product	Biotrem		Naturesse	Vegware		Filtračný papier
Vzorky	A3	B3	C3	D3	E3	F3	G3	H3	I3
Stupeň rozkladu (%)	73,99	34,28	100	88,24	100	100	74,77	80,56	100

Graf na obrázku 1 znázorňuje konečné porovnanie všetkých testovaných výrobkov. Do výpočtu ich priemerných úbytkov hmotnosti boli zahrnuté všetky 3 vzorky daného produktu zabalené v sieťke 2 x 2 mm, ale aj 4 x 4 mm. Z grafu vyplýva, že minimálnu hranicu rozkladu 90% dosahujú všetky skúmané výrobky okrem viečka a misky značky Na:Pac. Za 12 týždňov degradácie bioplastov kompostovaním sa každý výrobok čiastočne, alebo úplne rozložil. Aj keď výrobky značky Na:Pac nedosiahli požadované hodnoty, je vysoko pravdepodobné, že za dlhší časový úsek a pri obdobných podmienkach v substráte by sa nakoniec dané bioplasty úplne rozložili.



Obrázok 1 Priemerný stupeň rozkladu testovaných vzoriek (%)

ZÁVER

Náš výskum bol zameraný na zhodnotenie rozložiteľnosti potravinových obalov z bioplastov v reálnych podmienkach priemyselnej kompostárne. Testované produkty sú na trhu bežne dostupné a sú označené ako kompostovateľné, takže existuje vysoká pravdepodobnosť, že sa dostanú spolu so zvyškami potravy do triedeného zberu BRKO. Vedecké publikácie sa bežne zaoberajú sledovaním správania sa biologicky odbúrateľných polymérov v laboratórnych podmienkach simulujúcich proces kompostovania. Naproti tomu výskum vedený v reálnych podmienkach lokálneho spracovateľa BRKO je (nie len na Slovensku) ešte stále ojedinelý. Laboratórne podmienky nedokážu nasimulovať všetky faktory vplývajúce na priebeh rozkladu, preto je takýto výskum nevyhnutný a pre budúce spracovávanie potravinového odpadu spolu s kompostovateľnými obalmi nenahradiťelný.

Na základe nášho výskumu sme dospeli k nasledujúcim záverom a odporúčaniam:

- Rýchlosť rozkladu jednotlivých druhov kompostovateľných produktov je v reálnych podmienkach kompostárne rozdielna a závisí nie len od materiálového zloženia konkrétneho výrobku, ale aj od zloženia kompostovacej základky, použitej technológie kompostovania, priebehu teploty a vlhkosti v základke a od prítomnosti a zloženia mikroorganizmov.
- Pre dostatočné posúdenie schopnosti rozkladu konkrétneho bioplastu v reálnych podmienkach vybranej kompostárne odporúčame použiť na testované vzorky puzdrá s okom 2 x 2 mm.

- Kompostáren mesta Nitra môže všetky testované výrobky bez problémov spracovávať, pretože prípadné nerozložené kúsky sú počas osievania výsledného kompostu odseparované a vrátené späť do kompostovacieho procesu.
- Aplikácia kompostu z rozložiteľných bioplastov na poľnohospodársku pôdu je však vhodná len v prípade, ak ide o bioplasty 100% z obnoviteľných zdrojov, ktoré prešli testom fytotoxicity podľa normy STN EN 13432 Požiadavky na obaly zhodnotiteľné kompostovaním a biodegradáciou.
- Aby mohol byť proces spracovávania takýchto produktov kontrolovateľný, je potrebné zaviesť mechanizmus rozšírenej zodpovednosti výrobcov aj pre obaly z bioplastov. To znamená, že ten kto poskytuje zákazníkom potraviny v takýchto obaloch, bude povinný zabezpečiť a finančne prispievať na zber a zhodnotenie odpadov z týchto obalov v kompostárni, prípadne bioplynovej stanici.
- Náhrada jednorazových plastov rozložiteľnými bioplastami je podmienená predovšetkým zavedením jednotného značenia takýchto výrobkov v celej EÚ a masívnou kampaňou, ktorá by obyvateľov informovala o nadchádzajúcich zmenách a ich význame.

Literatúra

1. CRIPPA, M., DE WILDE, B., KOOPMANS, R., LEYSSENS, J., MUNCKE, J., RITSCHKOFF A-C., VAN DOORSSELAER, K., VELIS, C., WAGNER, M. 2019. A circular economy for plastics: insights from research and innovation to inform policy and funding decisions, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2019, 244 p. ISBN 978-92-79-98429-7
2. DE WILDE, B., MORTIER, N., VERSTICHEL, S., BRIASSOULIS, D., BABOU, M., MISTRIOTIS A., HISKAKIS, M. 2013, Report on current relevant biodegradation and ecotoxicity standards, Deliverable 6.1, OWS, Ghent, Belgium. 93-181 p.
3. EC, 2020, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - A new circular economy action plan for a cleaner and more competitive Europe (COM(2020) 98 final).
4. EEA, 2020, Bio-waste in Europe — turning challenges into opportunities, EEA Report No 4/2020, European Environment Agency.
5. HILTON, M., HANN, S., SCHOLLES, R., MOLTENO, S., HILTON M., FAVOINO, E., JAKOBSEN, L.G. 2020. Relevance of biodegradable and compostable consumer plastic products and packaging in a circular economy, Project conducted under Framework Contract No ENV.B.3/FRA/2017/005 for the European Commission DG Environment. 158 p. ISBN 978-92-76-17851-4
6. VAN DEN OEVER, M., MOLENVELD, K., VAN DER ZEE, M., BOS, H. 2017. Bio-based and biodegradable plastics: facts and figures — focus on food packaging in the Netherlands, Report No 1722, Wageningen University, Wageningen. 65 p. ISBN 978-94-6343-121-7
7. ZIMMERMANN, L., DOMBROWSKI, A., VÖLKER, C., WAGNER, M., 2020, Are bioplastics and plant-based materials safer than conventional plastics? In vitro toxicity and chemical composition. Environment International. Volume 145, December 2020, 106066, ISSN 0160-4120.

ACKNOWLEDGEMENTS

This publication was supported by the Operational Program Integrated Infrastructure within the project: Demand-driven research for the sustainable and innovative food, Drive4SIFood 313011V336, cofinanced by the European Regional Development Fund.

Contact address:

Ing. Anna Báreková, PhD.
Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Tr. A. Hlinku 2,
949 76 Nitra, Slovakia, anna.barekova@uniag.sk

METODIKA VYUŽITIA ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU BIOMASY – EXPERIMENTÁLNA IDENTIFIKÁCIA TEPELNOENERGETICKÝCH PARAMETROV

MONIKA BOŽIKOVÁ¹, MATÚŠ BILČÍK¹, VLASTA VOZÁROVÁ¹, ANA HAULÍKOVÁ²,
MAROŠ SZENTESI²

¹Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky Technická fakulta SPU v Nitre

²Výskumné centrum AgroBioTech SPU v Nitre

Abstract: The article deals with thermoenergetic properties of pellets. *Miscanthus*, poppy capsules pellets and mixed pellets were examined. Physical parameters as combustion heat, calorific value, thermal conductivity, thermal diffusivity and volume specific heat were experimentally detected. Drying curves were measured by moisture analyser Radwag MAC 210. The combustion heat was measured by calorimetric system IKA C5000. Thermal conductivity and diffusivity were measured by dynamic plane source method. Five samples of pellets with different proportions of *Miscanthus* and poppy capsules in the input material were measured. Results pointed to the higher values of thermal conductivity and diffusivity for pellets made from poppy capsules. The next experiments were focused on combustion heat and calorific value investigation. Experimental results declare better thermoenergetic parameters of pellets made from poppy capsules.

Keywords: thermal parameters, energetic parameters, *Miscanthus*, poppy capsules, pellets

ÚVOD

Poznanie termofyzikálnych a tepelnoenergetických parametrov peliet je dôležité z pohľadu teoretického, ale najmä z pohľadu praxe. Tepelná vodivosť a teplotná vodivosť sú dva zo základných termofyzikálnych parametrov materiálov, ktoré môžu byť využité pri determinácii ostatných tepeleenergetických parametrov ako sú objemová tepelná kapacita, hmotnostná tepelná kapacita a tepelná kapacita. V súčasnosti sa na experimentálnu identifikáciu tepelných parametrov materiálov používajú prechodové metódy, najmä metóda horúceho drôtu (HW metóda) a metóda plošného zdroja (DPS metóda) v závislosti od štrukturálnych charakteristík meraných vzoriek. Uvedené experimentálne metódy sa používajú aj pri meraní termofyzikálnych parametrov biologických materiálov alebo produktov z nich vyrobených, napr. peliet, brikiet a pod. Problematika skúmania termofyzikálnych parametrov peliet je veľmi aktuálna a bola prezentovaná v štúdiách autorov Guo a i. (2013), Barboutis a Lykidis (2014), ktoré priniesli množstvo nových poznatkov. Energetické parametre – spalné teplo a výhrevnosť peliet vyrobených z biomasy boli experimentálne skúmané a výsledky výskumu boli prezentované v literatúre (Carroll a Finnan, 2012, Gravalos a i., 2010).

MATERIÁL A METÓDY

Meranie termofyzikálnych parametrov peliet bolo realizované prístrojom Isomet 2104 (Applied Precision s.r.o., Slovensko). Pri meraní vzoriek peliet bola použitá metóda dynamického plošného zdroja (DPS metóda) popísaná autormi Malinarič a Dieška (2009). Pre účely experimentu je potrebné vyrobiť aspoň dve vzorky biologického materiálu – peliet s identickými rozmermi v tvare valca, ktoré sú vložené do meracej sondy zodpovedajúcich geometrických rozmerov. Z pohľadu termofyzikálnej teórie je potrebné zabezpečiť: ideálny tepelný zdroj (plošný s kruhovým prierezom), ideálny kontakt medzi tepelným plošným zdrojom a meranou vzorkou, veľmi malý tepelný odpor medzi povrchom meranej vzorky a kontaktným materiálom meracej sondy, takmer nulové tepelné straty cez bočné steny vzoriek. Meracia procedúra: V čase $t=0$ s začne tepelný zdroj pôsobiť konštantným tepelným výkonom q na jednotku plochy. Teplotný rozdiel v závislosti od času a vzdialenosti môžeme vyjadriť rovnicou (1) (Karawacki a i., 1992):

$$\Delta T(x, t) = \frac{q\sqrt{a}}{\lambda\sqrt{\pi}}\sqrt{t} \quad (1)$$

Kde: q – je tepelný výkon zdroja, a – je teplotná vodivosť, λ – je tepelná vodivosť, T – je termodynamická teplota (K) a t – je čas (Malinarič, 2004).

Energetické parametre ako spalné teplo a výhrevnosť boli merané kalorimetrickým systémom IKA C5000 (obr. 1). Približne 1 g vzorky sa odváži do skleneného téglíka a umiestni sa do meracej cely z

nehrdzavejúcej ocele. Rozkladná nádoba tzv. bomba je naplnená kyslíkom (kvalita 3,5: technický kyslík 99,95 %) (Maglič a i., 1992). Pri experimentálnom určovaní spalného tepla peliet sa používa adiabatická meracia procedúra a výsledné spalné teplo $H_{0\text{adiab}}$ je definované vzťahom (2):

$$H_{0\text{adiab}} = \frac{c\Delta T - Q_f}{m} \quad (2)$$

Kde c – je hmotnostná tepelná kapacita vzorky, ΔT – je zmena teploty, Q_f – je teplo a m – je hmotnosť.

Princíp merania: Vzorka sa zapáli prostredníctvom bavlnenej nite, ktorá je v kontakte s meranou vzorkou a je pevne spojená so zapáľovacím drôtom a umiestnená v bombe. V priebehu meracej procedúry dochádza k zapáleniu, horeniu a následnému spáleniu meranej vzorky (Klančík a i., 2010).



Obrázok 1 Kalorimetrický systém IKA C5000

Počas spaľovania môže teplota jadra v tégliku dosiahnuť až 1000 °C a dochádza k nárastu tlaku v meracej cele. Za týchto podmienok sa všetka organická hmota spaľuje a oxiduje. Teplo vznikajúce počas procesu horenia je možné určiť adiabaticky (Veselský a Zámečník, 2000). V priebehu adiabatického procesu je teplota vo vonkajšej nádobe rovná teplote vnútornej nádoby počas doby trvania celého experimentu. Vplyvy vonkajšieho prostredia sú eliminované prostredníctvom systému teplotnej stabilizácie. Výsledkom merania je hodnota spalného tepla. Kalorimeter IKA C5000 neposkytuje v našom prípade možnosť priameho merania výhrevnosti, preto bola výhrevnosť stanovená výpočtom podľa literatúry (Gravalos a i., 2010). Výsledok merania pri vzorkách peliet vyrobených z biologických materiálov a odpadových materiálov je determinovaný fyziologickými, ale najmä fyzikálnymi a chemickými procesmi, ktoré prebiehajú v skúmanom materiáli. Hodnota spalného tepla peliet je dôležitá z pohľadu hodnotenia ich kvality a energetickej bilancie.

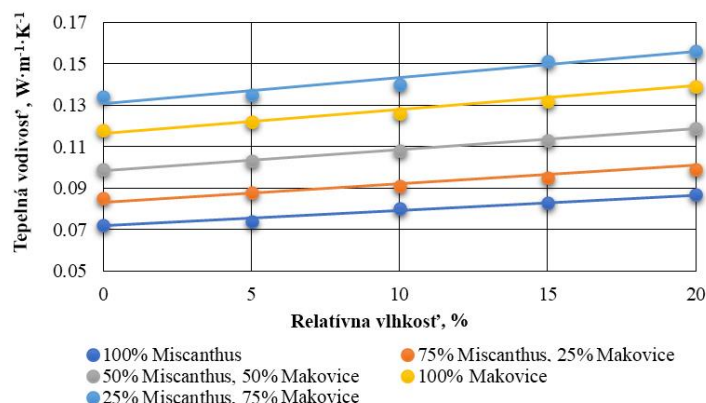
VÝSLEDKY A DISKUSIA

V rámci prezentácie výsledkov získaných aplikáciou uvedenej metodiky merania termofyzikálnych parametrov uvádzame výsledky merania tepelnej a teplotnej vodivosti pre vzorky peliet vyrobených z *Miscanthus* a agropotravinárskeho odpadu – makovic. Každý bod v prezentovaných závislostiach predstavuje aritmetický priemer z 30 meraní, pričom relatívne pravdepodobné chyby boli z intervalu (0.121 – 0.372)%. Experimentálne sledované grafické závislosti sú znázornené na obr. 2 – 4. Regresnou analýzou boli získané regresné rovnice. Pre závislosť tepelnej vodivosti od relatívnej vlhkosti pre vzorky peliet s rozdielnym podielom obsahu *Miscanthus* a makovic ako vstupnej suroviny boli identifikované lineárne rastúce priebehy funkčných závislostí, ktoré možno matematicky popísať regresnou rovnicou (3) v tvare:

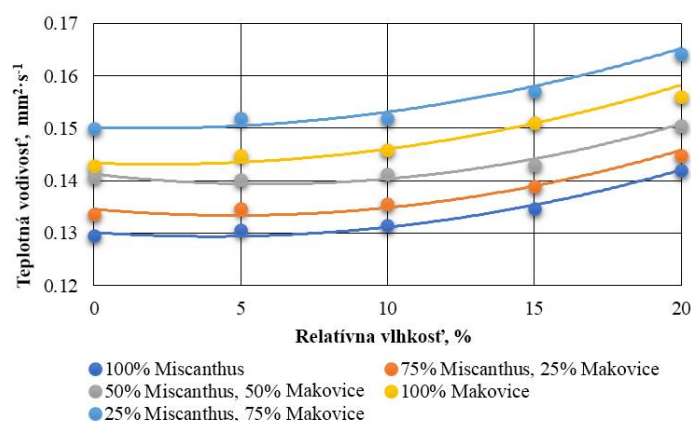
$$\lambda = A + B \cdot MC \quad (3)$$

Tepelná vodivosť peliet so simulovanou relatívnou vlhkosťou od 0% do 20% (obr. 2) bola pre palety vyrobené zo 100% *Miscanthus* (0.074 – 0.081) $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a pre pelety so zložením 75% *Miscanthus*, 25% makovice) v intervale (0.083 – 0.099) $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Vzorky s 50%-ným podielom *Miscanthus* a makovic mali tepelnú vodivosť od 0.098 do 0.118 $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Pelety so zvýšeným podielom maku vo vstupnej surovine (75% makovic, 25% *Miscanthus*) mali tepelnú vodivosť (0.117 – 0.132) $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a pelety vyrobené iba z makovic vykazovali hodnoty (0.131 – 0.152) $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Hodnoty tepelnej

vodivosti peliet z *Miscanthusu* sú v dobrej zhode s výsledkami prezentovanými v publikácii (Mason a i., 2016, Huang, 2014).



Obrázok 2 Závislosti tepelnej vodivosti od relatívnej vlhkosti pre palety vyrobené z *Miscanthusu* a makovic



Obrázok 3 Závislosti teplotnej vodivosti od relatívnej vlhkosti pre palety vyrobené z *Miscanthusu* a makovic

Pre teplotnú vodivosť boli skúmaním pomocou analyzátoru termofyzikálnych parametrov získané nelineárne závislosti. Teplotná vodivosť peliet rastie so zvyšujúcou sa relatívnou vlhkosťou, čo popisuje rovnica (4):

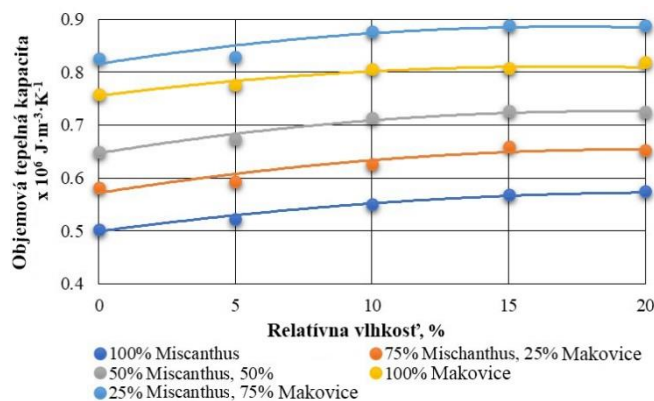
$$a = C \cdot \omega_{rel}^2 + D \cdot \omega_{rel} + E \quad (4)$$

Regresné koeficienty C , D a E a koeficienty determinácie R^2 pre závislosť $a = f(\omega_{rel})$ mali hodnoty uvedené v Tab. 1. Teplotná vodivosť vzoriek s relatívnou vlhkosťou v intervale (0 – 20)% bola pre pelety zo 100% *Miscanthusu* (0,127 – 0,135) $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 75% *Miscanthus*, 25% makovic (0,129 – 0,137) $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, pelety – 50% *Miscanthus*, 50% makovice mali teplotnú vodivosť (0,138 – 0,144) $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, 25% pelety – *Miscanthus*, 75% makovic mali hodnoty (0,140 – 0,146) $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ a pelety vyrobené iba z makovic mali teplotnú vodivosť (0,147 – 0,157) $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Objemová tepelná kapacita bola vypočítaná ako podiel tepelnej a teplotnej vodivosti. Výsledky boli porovnané s hodnotami zistenými experimentálne analyzátorom Isomet 2104.. Rozdiely medzi hodnotami objemovej tepelnej kapacity boli menšie ako 0,16%. Grafické závislosti pre objemovú tepelnú kapacitu vzoriek peliet od relatívnej vlhkosti sú znázornené na obr. 4 a možno ich atematicky popísať funkčnou závislosťou (3):

$$c\rho = F \cdot \omega_{rel}^2 + G \cdot \omega_{rel} + H \quad (3)$$

Z dôvodu komplexnej teoretickej interpretácie výsledkov bola realizovaná regresná analýza, pričom vypočítané koeficienty determinácie boli z intervalu (0,9718 – 0,9987).



Obrázok 4 Závislosti objemovej tepelnej capacity od relatívnej vlhkosti pre palety vyrobené z *Miscanthusu* a makovíc

Tabuľka 1 Výsledky regresnej analýzy pre závislosti tepelnej a teplotnej vodivosti

Tepelná vodivosť					Teplotná vodivosť			
Koefficienty regresnej rovnice		A (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹) ·(%) ⁻¹	B (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	R ²	C x 10 ⁻⁵ (mm ² s ⁻¹) (%) ⁻²	D x 10 ⁻⁴ (mm ² s ⁻¹) (%) ⁻¹	E (mm ² s ⁻¹)	R ²
Vzorka								
Miscanthus	Makovice							
100%	0%	0.0008	0.0741	0.9917	4	-4	0.1272	0.9763
75%	25%	0.0007	0.0830	0.9831	4	-5	0.1293	0.9789
50%	50%	0.0009	0.0982	0.9987	5	-6	0.1381	0.9814
25%	75%	0.0011	0.1171	0.9844	5	-3	0.1404	0.9927
0%	100%	0.0012	0.1316	0.9718	5	-3	0.1472	0.9952

Tabuľka 2 Výsledky merania tepelnoenergetických parametrov pre vzorky peliet

Vzorka		Spalné teplo $kJ \cdot kg^{-1}$	Výhrevnosť $kJ \cdot kg^{-1}$
Miscanthus	Makovice		
100%	0%	18 074	16 935
75%	25%	18 409	17 249
50%	50%	18 473	17 309
25%	75%	19 063	17 862
0%	100%	19 115	17 910

Výsledky merania tepelnoenergetických parametrov peliet sú sumarizované v Tab. 2. Z hodnôt je evidentné, že vzorky peliet s vyšším obsahom makovíc vo vstupnej surovine vykazovali vyššie hodnoty spálneho tepla a výhrevnosti ako vzorky s majoritným podielom *Miscanthusu*. V publikáciách (Fusi a i., 2020, Barglowicy a i., 2021, Huang, 2014, Kamperidou a i., 2017) je prezentovaný interval výhrevností peliet $16 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1} - 17 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$. Uvedený fakt potvrdili aj nami realizované merania energetických parametrov peliet, ale je potrebné zohľadniť, že výhrevnosť je signifikantne závislá od zloženia vstupnej suroviny a tiež spôsobu spracovania. Experimentálne výsledky potvrdili pozitívny efekt použitia makovíc ako vstupnej suroviny na výrobu peliet na ich výhrevnosť.

ZÁVER

Jedným z prínosov výskumu bola identifikácia vplyvu zmien relatívnej vlhkosti peliet na ich termofyzikálne parametre pre vzorky peliet vyrobených z neštandardnej kombinácie *Miscanthusu* a makovíc. Hodnoty tepelných a tepelnoenergetických parametrov peliet vyrobených z makovíc možno považovať za originálne a inovatívne vzhľadom na fakt, že doteraz neboli publikované. Výsledky

potvrdili relevantný vplyv zloženia vstupnej suroviny na vlastnosti peliet. Tepelné parameter môžu byť využité na popis tepelného transport v peletách, ktorý však nemožno oddeliť od transport vlhkosti vzhľadom na to, že sa jedná o biologický materiál. Experimenty preukázali signifikantný vplyv zmien vlhkosti na tepelnú vodivosť, teplotnú vodivosť a objemovú tepelnú kapacitu peliet. Matematicky závislosť tepelnej vodivosti od vlhkosti popisuje lineárna funkcia, naopak pre závislosť teplotnej vodivosti a objemovej tepelnej kapacita od relatívnej vlhkosti boli získané nelineárne funkčné závislosti. Prezentované výsledky možno využiť pri predikcii správania sa peliet počas spracovania a skladovania. Výsledky merania energetických parametrov potvrdili významne pozitívny vplyv vyššieho obsahu makovic vo vstupnej surovine na výrobu peliet na ich energetické parametre. Zároveň bolo potvrdené, že oba biologické materiály sú vhodné na výrobu peliet. Výsledky výskumu môžu prispieť k optimalizácii podmienok skladovania a manipulácie s peletami, aby sa zabezpečila ich požadovaná kvalita.

Literatúra

1. BARBOUTIS, I. – LYKIDIS, C. 2014. The effects of bark on fuel characteristics of some Mediterranean forest species. In *Proceedings of the 57th SWST International Convention in conjunction with the 7th Wood Structure and Properties and the 6th European Hardwood Conference: "Sustainable Resources and Technology for Forest Products"*, 2014, p. 533-540
2. BARGŁOWICZ, J. – SŁOWIK, T. – ZAJĄC, G. – BLICHARZ-KANIA, A. – ZDYBEL, B. – ANDREJKO, D. – OBIDZIŃSKI, S. 2021. Energy Parameters of Miscanthus Biomass Pellets Supplemented with Copra Meal in Terms of Energy Consumption during the Pressure Agglomeration Process. In *Energies*, MDPI, 14, 2021.
3. CARROLL, J. – FINNAN, J. 2012. Physical and chemical properties of pellets from energy crops and cereal straws, In *Biosystems Engineering*, Elsevier, 112, 2012, p. 151-159.
4. FUSI, A. – BACENETTI, J. – PROTO, A.R. – TEDESCO, D. – PESSINA, D. – FACCHINETTI, D. 2020. Pellet Production from Miscanthus: Energy and Environmental Assessment. In *Energies*, MDPI, 14, 2020.
5. GRAVALOS, I. – KATERIS, D. – XYRADAKIS, P. – GIALAMAS, T. – LOUTRIDIS, S. – AUGOUSTI, A. – GEORGIADIS, A. – TSIROPOULOS, Z. 2010. A study on calorific energy values of biomass residue pellets for heating purposes, In *Formec*, 1, 2010, p. 1-9.
6. GUO, W. – LIM, J. – BI, X. – SOKHANSANJ, S. – MELIN, S. 2013. Determination of effective thermal conductivity and specific heat capacity of wood pellets. In *Fuel*, Elsevier, 103, 2013, p. 347-355.
7. KAMPERIDOU, V. – LYKIDIS, CH. – BARMPOUTIS, P. 2017. Assessment of the thermal characteristics of pellets made of agricultural crop residues mixed with wood. In *BioResources*, NC State University, 12, 2017, p. 9263-9272.
8. KARAWACKI, E. – SULEIMAN, B.M. – UL-HANG, I. – NHI, B.T. 1992. An extension to the dynamic plane source technique for measuring thermal conductivity, thermal diffusivity and specific heat of Solids. In *Review of scientific instruments*, 63, 1992, p. 4390-4397.
9. MAGLIĆ, K.D. – CEZAIRLIYAN, A. – PELETSKY, V.E. 1992. Compendium of Thermophysical Property Measurements Methods. In *Recommended Measurement Techniques and Practices*, 2, 1992.
10. MALINARIČ, S. 2004. Parameter Estimation in Dynamic Plane Source Method. In *Measurement Science and Technology*, IOP Publishing, 15, 2004, p. 807-813.
11. MALINARIČ, S. – DIEŠKA, P. 2009. Dynamic Measurements of the Temperature Coefficient of Resistance in the Transient Plane Source Sensor. In *International Journal of Thermophysics*, Springer, 30, 2009, p. 1557-1567.
12. MASON, P. – DARVELL, L.I. – JONES, J.M. – WILLIAMS, A. 2016. Comparative Study of the Thermal Conductivity of Solid Biomass Fuels. In *Energy & Fuels*, ACS Publications, 30, 2016.
13. VESELSKÝ, J. – ZÁMEČNÍK, J. 2000. Measurement of Thermal Properties of Gravel. In *Physical Properties of Materials*. In *Proceedings of International Workshop Physical Properties of Materials*, 2000, p. 89-90.

Podakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Kontaktná adresa:

doc. RNDr. Monika, Božíková, PhD. Katedra fyziky, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, SR +421 37 641 4711, monika.bozikova@uniag.sk

COMPARISON OF THE PERFORMANCE OF CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORKS YOLOV5 AND YOLOV8 FOR APPLICATION IN AGRICULTURAL TECHNOLOGIES

ROMAN BUMBÁLEK¹, TOMÁŠ ZOUBEK¹, LUCIE ŠTINDLOVÁ^{1,2}, ZBYNĚK HAVELKA¹, PAVEL OLŠAN¹, PETR BARTOŠ^{1,2}, RADIM KUNEŠ¹, RADIM STEHLÍK¹, ANTONÍN DOLAN¹

¹Faculty of Agriculture and Technology, University of South Bohemia in Ceske Budejovice, Department of Technics and Cybernetics, Na sádkách 1780, 37005 České Budějovice, Czech Republic

²Faculty of Education, University of South Bohemia, Department of Applied Physics and Technology, Jeronýmova 10, 37115 České Budějovice, Czech Republic

Abstract: Modern technologies with the potential to automate or greatly facilitate work are increasingly being applied in agriculture. In crop production, in particular, convolutional neural networks can assist in crop health monitoring and assessment. In this work, different types of convolutional neural networks (YOLOv5 and YOLOv8) were compared in detecting and classifying classes in radish images. Subsequently, the YOLOv8n model was selected to investigate the effect of hyperparameter settings on the training results.

Keywords: convolutional neural network, augmentation, automatisation

INTRODUCTION

With the rapid development of computing power, artificial intelligence algorithms are also gaining importance, including machine vision methods (Zhang et al., 2022), which are applied in many fields, such as healthcare, where they are used to diagnose dermatological problems (Tsakalidou et al., 2022), or lung diseases, where, in particular, in 2020-2021, automatic detection of the COVID-19 virus was developed and implemented from X-ray images (Al-Falluji et al., 2021). These technologies have wide industrial applications, especially in the automotive sector, where they are the basis for autonomous cars (Parotta et al., 2022) or intelligent traffic management (Hao et al., 2022). Computer vision has also found applications in remote sensing of the Earth, using drones to detect and control forest fires at an early stage so that they can be extinguished in time before they spread (Bouguettaya et al. 2022), in astronomy (Karypidou et al. 2021), or even in sport, for example, to automatically analyse the performance of a particular athlete (Host et al. 2020).

The use of artificial intelligence is also expanding in agriculture, where it is finding applications in livestock production, such as analysing poultry behaviour (Li et al., 2020) and diagnosing livestock health problems (Zhao et al., 2018), which can be detected at an early stage by assessing their daily activity (Matthews et al., 2016). Deng et al. (2021) reported a trained convolutional neural network (CNN) model that was able to assess sheep positions such as standing, eating, and lying with 92.47% accuracy. With the increasing automation in crop production, which is particularly challenging compared to industrial automation due to the variety of field submoments as well as considerable environmental variability, there is a growing need for automated tracking and analysis of plants and their fruits at a high level (Kirkpatrick, 2019). Proper detection and location of such objects are critical components for monitoring, robotics, and autonomous farming systems (Duckett et al., 2018). Computer vision has been applied to predict yield (Misra et al., 2022), identify seed damage (Monteiro et al., 2021), or detect plant diseases and water stress (Iqbal et al., 2018; Vishnoi et al., 2020; Butte et al., 2021). Convolutional neural network type algorithms are also essential for fruit detection in plants, and their implementation in robotic systems can automate the harvesting of tomatoes, citrus fruits (Magalhaes et al., 2022), or apples, significantly reducing the need for labour, which is severely scarce in agriculture (Zhang et al., 2020).

The application of computer vision can be broadly divided into image classification, object detection, and image segmentation. In classification, a supervised image is assigned to a class according to the highest probability that its content will match the defined categories, which is determined by the neural network based on extracted features and optimised synaptic weights during the training process. A more advanced task is the localisation of the individual objects present in the image and their subsequent categorisation, i.e. detection. The main difference from image classification, where only one class is identified within the whole image, is the ability to classify a more significant number of objects

present in the image and also to determine their location, which is marked by a rectangle, called a bounding box, which delimits the location of the boundaries of the detected object (Khanday et Sofi, 2021).

The basis of image recognition networks is a convolutional network, which extracts individual features from the input image in the same way as detection. This part called the convolutional backbone, is followed by the so-called neck, which contains individual symptom maps of different levels, where different map depths correspond to different information about the features contained. The backbone of flags contains more detail due to its higher resolution, while the high-level, low-resolution group of flags carries more semantic information. By merging feature information from different layers, the detection and recognition efficiency of small objects can be effectively increased (Ma et al., 2019). The localisation and subsequent classification are then performed by applying neural layers called detection head (head). The most used convolutional backbones include AlexNet, VGG-19, ResNet, or DarkNet-19 (Amjoud and Amrouch, 2020), and a typical representative of the head is the Feature Pyramid Network (FPN) (Dhillon and Verma, 2020).

Currently, many pre-trained neural networks are freely available with detailed descriptions of their structure. These include complex neural networks developed by large companies as well as by various research teams at universities and research institutes (Bhat et al., 2021; Dhillon and Verma, 2020). To train a convolutional neural network well, a considerable amount of data, called the dataset, is required. However, collecting and annotating data can be time consuming and costly. For example, even though most of the images in the ImageNet dataset are not related to the selected group of images, a model trained on this dataset can extract more general image features that can help identify edges, textures, shapes, and composition of objects. These similar features can also be effective in recognising established categories that are not present in the original dataset (Kim and MacKinnon, 2018; Zhang et al., 2021). Currently, large training datasets, such as the ImageNet database, which contains more than 15 million categorised and labeled images (Sobti et al., 2021), or the Open Images dataset from Google (Alphabet inc.), which contains 9.2 million annotated images, are publicly available (Kuznetsova et al., 2020). The only part that remains inaccessible in many cases is highly specialised data on which the neural network has been trained to detect or segment objects of specific categories (Xu et al., 2022; Wang et al., 2022). This illustrates the importance of generating large datasets to retrain the neural network for the chosen purpose.

MATERIAL and METHODOLOGY

Training dataset

The input images were first annotated with polygonal mask annotations using CVAT software and then augmented, expanding the dataset to 15,100 training images and 2,000 evaluation images containing more than 260,000 individual instances, of which 46.2% are radish labels, 51.1% are weed labels, and 2.7% are labels representing a group of radishes as a fully connected stand. The operations used to augment the original images may include resizing, cropping a portion of the image, scattering pixels into the environment, blurring using filters (such as BLUR and SMOOTH), focussing and defocusing, changing contrast, over-lighting, changing colours, rescaling from the left or top edge, changing perspective, and rotating. The reason for augmenting the original data set is to increase the variety and generality of the data on which the neural network is trained.

Augmentation is built directly into some neural networks as the last step before learning begins. For our purposes, however, it was more appropriate to proceed with a custom algorithm that augments the original data. We decided to do this mainly to better control and understand the changes to the original dataset. In the case of modification of our dataset, the following augmentation operations were used, as listed in Table 1.

Table 1 Selected data augmentation steps

step	modification
1	creation of cutouts with dimensions w, h (landscape)
2	creation of cutouts with dimensions h, w (portrait)

3	image resize
4	image rotation
5	perspective warp
6	image blur
7	histogram equalization
8	contrast change
9	brightness change
10	noise addition
11	color shift

The first step in augmentation is to resize the original images to a user-defined size. Some neural networks require images of a specific size. For other neural networks, shrinking the images in the dataset is used to reduce the size of the dataset and allow the neural network to process the images more quickly. For our purposes, an image size of 1280x720 pixels seems to work best, as it stores our image information in sufficient quality for neural network training, and it is also a significant data saving compared to the original image size; choosing a lower resolution would already result in a loss of information about the location of the weeds, which often have a much lower resolution in the image compared to the radishes. Next, 3 sections are created from the original unreduced image. In addition to the images, the annotations also need to be modified. When generating the clippings, a minimum ratio between the area of each modified annotation and the original annotation must be set to preserve its uniqueness; in this dataset, annotations that lose more than 70% of their original content are not written to the new annotation file.

Subsequently, the reduced input images and cutouts are rotated three times, by 90°, 180°, and 270°. Then, for each image, its perspective is adjusted three times. The coordinates of the corner points are randomly selected. The coordinates of the left corner are from the intervals $x \in \langle 0; \frac{1}{4} \cdot w \rangle$, $y \in \langle 0; \frac{1}{4} \cdot h \rangle$, the right corner coordinates are from the intervals $x \in \langle \frac{3}{4} \cdot w; w \rangle$, $y \in \langle 0; \frac{1}{4} \cdot h \rangle$, the coordinates of the bottom left corner are from the intervals $x \in \langle 0; \frac{1}{4} \cdot w \rangle$, $y \in \langle \frac{3}{4} \cdot h; h \rangle$, and the coordinates of the bottom right corner are from the intervals $x \in \langle \frac{3}{4} \cdot w; w \rangle$, $y \in \langle \frac{3}{4} \cdot h; h \rangle$, where w is the width, and h is the height. The next modification is to blur the image using the Gaussian Blur type, where the blur radius is 7, and histogram modification using the CLAHE method, where the color image is first converted to HSV color space, and then the Value channel is equalized. This is followed by contrast modification where 128 is subtracted from the values of all pixels of the images, the result is multiplied by a selected coefficient from the range of 0.5 to 1.5, and then the value 128 is added again. The contrast decreases if the coefficient is less than 1 and increases if the coefficient is greater than 1. The brightness change is made by adding the product of 255 with a constant from the interval $\langle -0.5; 0.5 \rangle$ to each pixel. After performing this summation, a new value is assigned to each pixel. If the value is greater than 255, it is automatically set to 255, and similarly, if the value obtained is less than 0, the value is set to 0.

The final modifications include adding noise, where the value of randomly selected pixels of the RGB channels is changed as the original pixel value is rapidly increased, and shifting the colour gamut, where after converting the image to HSV, a randomly selected value from the interval -20 to 20 is added to the values of channel H. The final step is to rename all the images in the newly modified dataset. As part of the renaming process, the images are also automatically shuffled so that the neural network cannot learn the order of the individual image changes and cannot continue to predict these adjustments, thus negatively affecting the outcome of its learning. After renaming, the names of all images are numeric from the interval $\langle 1, n \rangle$, where n is the number of images in the dataset.

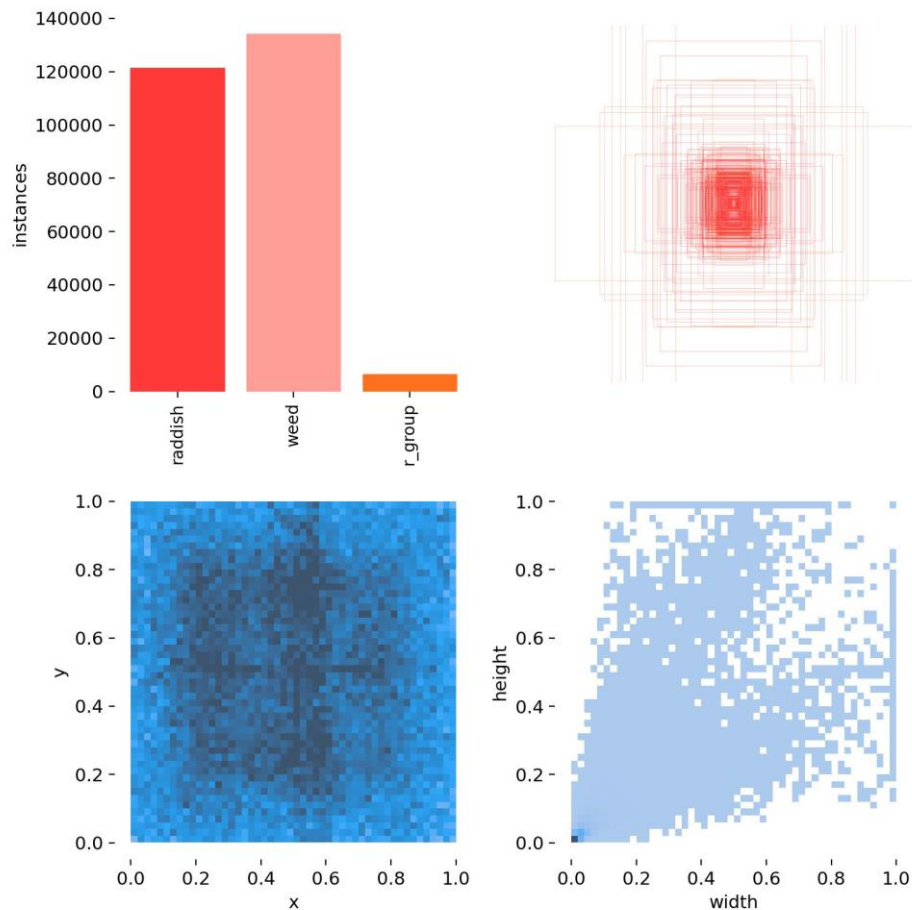


Figure 1 Representation of the properties of the observed objects in the input dataset. Top left corner - Number of instances of each class; top right corner - visualization of bounding box shapes; bottom left corner - visualisation of occurrence of observed objects; bottom right corner - representation of relative sizes of bounding boxes to the image

Applied CNN

YOLO (You Only Look Once) is one of the most popular model-based neural network recognition architectures. The advantage of this architecture is the speed with which it traverses the images. This aspect allows YOLO to be used in real-time, for example, in autonomous cars. Since the first release of the YOLO system in 2016, many other versions have been created. The first three versions were presented by Joseph Redmon between 2016 and 2018. These versions are called YOLOv1, YOLOv2, and YOLOv3. Each new version differed from the previous one mainly in its higher frame rate. Accuracy was also improved (Zarei et al., 2022). Redmon did not continue development, but new versions continued to be produced. YOLOv4 uses the new BOF (Bag of Freebies) method. This is a set of methods or training procedures whose application leads to improved model accuracy (Kirthika et Sargunam, 2021). The YOLOv5 model was released shortly after the release of the fourth version. It is the first of the models written in the PyTorch framework (a framework for training neural networks). Compared to the previous version, it is easier to use from the user's point of view (Kisaezehr et al., 2023). The following versions, YOLOv6 and YOLOv7, outperformed their predecessors not only in terms of speed but also in terms of hardware requirements (Yung et al., 2022). The latest of the models, YOLOv8, is enhanced with new features that increase speed and accuracy and also allow it to be used for object detection, image segmentation, and image classification (Terven et Cordova-Esperanza, 2023). The structure of YOLOv5, which consists of parts such as the Focus module, the CBL module, the CSP module, the SPP module, the Concat module, the Upsample module, and the Conv module, is shown in Figure 2.

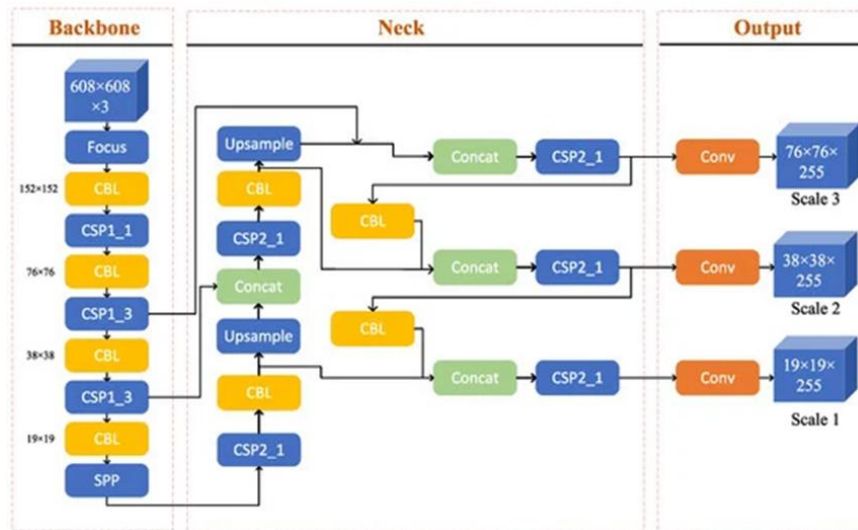


Figure 2 Scheme of the YOLOv5 architecture (Zhu et al., 2021)

For training, the convolutional neural networks YOLOv5 and YOLOv8 were selected, which comprise several models of different sizes that share the same architecture but have different numbers of parameters. We focused on comparing models of type n, which contains 1.9 million parameters in version 8, type m with 5 and 3.2 million parameters in version 8, type m with 21.2 and 25.9 million parameters, respectively, and type x, which is the largest model in this architecture with 86.7 and 68.2 million parameters. First, the training process was implemented for all the models mentioned with the hyperparameter learning rate (Lr) set to 0.01 and the batch size (Bs) set to 6. Then, to compare the influence of the selected hyperparameters, the YOLOv8n model was trained with Lr set at 0.1, 0.01, 0.001, when the batch size was equal to 36, and the set also with Lr 0.01 and Bs at 3, 6, 12, 36. Each training run was performed in 100 epochs.

RESULTS and DISSCUSION

The trained YOLOv5 (n, m, x) and YOLOv8 (n, m, x) network models were evaluated using selected Precision, Recall, mAP50, and mAP50-95 metrics. The value of the Precision metric indicates the accuracy of the predictive model in terms of the proportion of correctly detected objects out of all detections made. In this respect, a trend can be seen in Figure 3, where a higher Precision value is achieved with a more robust network. For the YOLOv8 network, this trend is more pronounced, as there is a jump of about 5% in the improvement between the models. The differences between the models of the YOLOv5 network are diametrically opposed. There is an increase of almost 10% between the YOLOv5n and YOLOv5m models, but the difference between the YOLOv5m and YOLOv5x models is marginal, namely 0.18%. For the recall metric, which gives the proportion of correctly predicted objects out of all objects present in the image, the trend is the same as for the previous metric. There is again a noticeable improvement between the YOLOv8 network models, but only 2.1% between the m and x models. The other metrics used to compare the results obtained are mAP50 and mAP50-95. To introduce it more detail, we must first mention that the area bounded by the curve in the coordinate system, where Precision denotes the vertical axis and Recall the horizontal axis, is called Average Precision. The mean of the average Precision of all target categories is mAP. These metrics follow the same trend as Precision and Recall. Summarising the results of these selected metrics in all six trained models, YOLOv8x performs best in all categories. The most exciting finding was the very similar results of the v5m and v8m models in all observed metrics, although the v8m model has 2.7 million more parameters and is a modified version of the original v5m. This result could be due to the specific dataset and the use of hyperparameters in training the networks, where the same hyperparameters are used for all models, but the use of different hyperparameters could be more optimal for the v8m network and achieve better results than v5m.

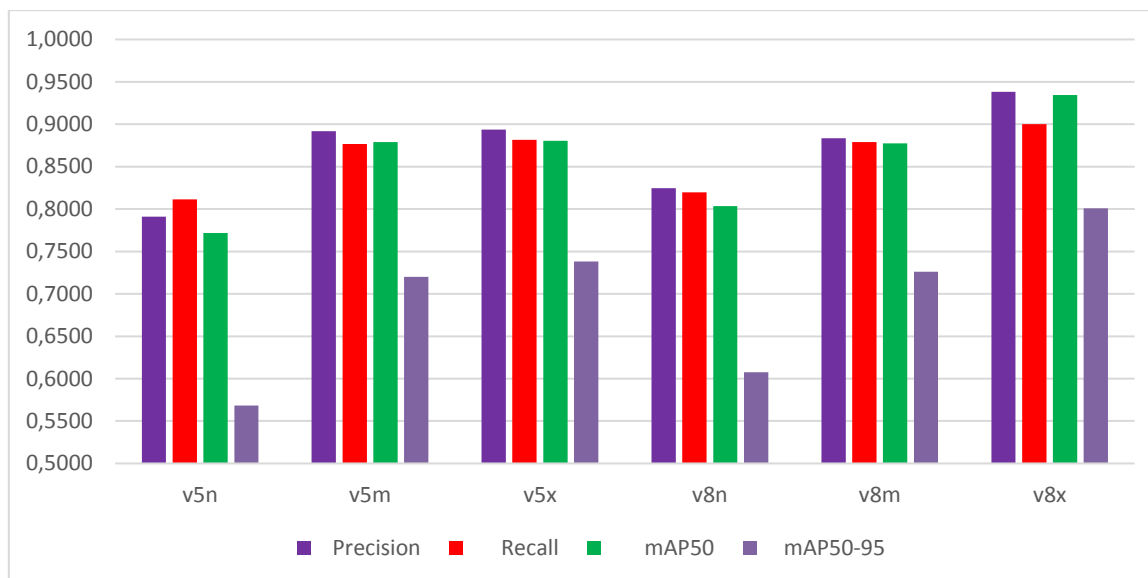


Figure 3 Comparison of results by selected metrics

A significant issue in training convolutional neural network models is the computational power required. Therefore, part of the results is devoted to comparing the trained models in terms of average training time per epoch and maximum GPU memory utilisation. Specifically, the GPU memory usage values indicate the amount of memory used per card. Three graphics cards were used for training, so the total use tripled. The longest training times per epoch were observed for the most robust v5x and v8x models, with v5x being the outlier in both categories and clearly the most computationally intensive. Given the vast differences from the other models, especially the more robust v8x model, an explanation is offered for the progression of other GPU-using processes unrelated to the process trained by this model. In general, the trend of increasing computational intensity with increasing model robustness is again evident. In addition, in this category, it is interesting to note the substantial similarity of the data obtained from the training process of the v5m and v8m models.

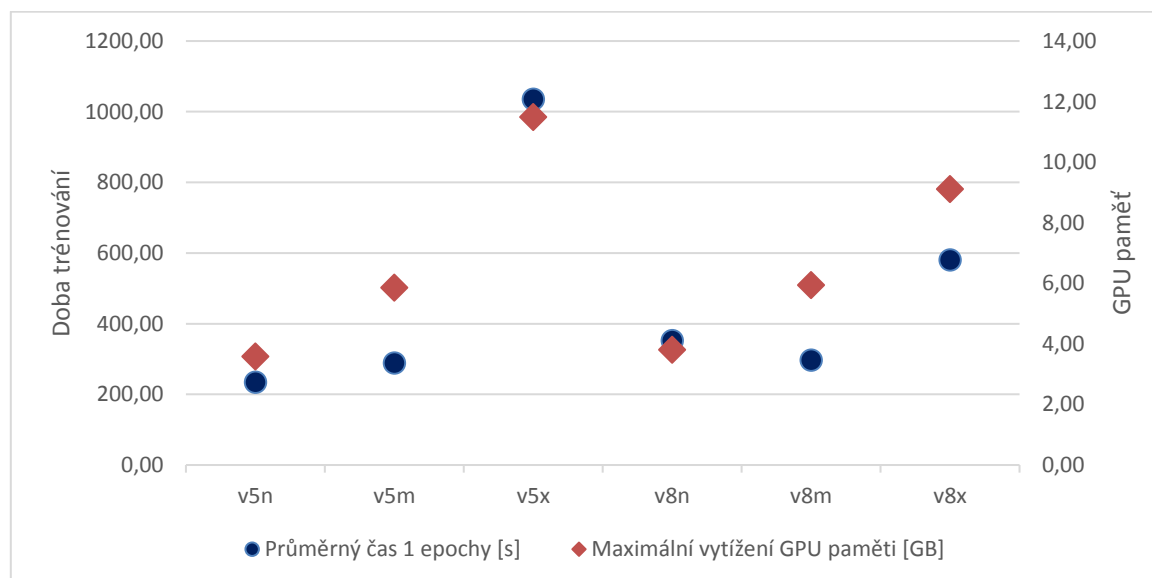


Figure 4 Comparison of results by time per epoch and use of a GPU memory

Based on the previous results, the YOLOv8n model was chosen mainly due to its low computational requirements and, therefore, less time-consuming to train with different metrics. Specifically, the effect of the hyperparameter's learning rate and batch size on the metrics precision, recall, mAP50, and mAP50-95 was investigated. The first part of Figure 5 shows the data when the batch size is set to 36, and three different learning rates are used namely 0.1, 0.01, and 0.001. From the

results obtained, the highest level of influence is observed for Precision, where the best value was obtained using a learning rate of 0.01. Similar results were obtained for the Recall metric. However, the difference in the values obtained is not as significant. For the last two metrics, the resulting values are comparable. For mAP50, there is a difference of less than 2% between the highest and lowest value obtained, and for mAP50-95, there is a difference of less than 1.5%. The second half of Figure 5 illustrates the effect of batch size on observed metrics, using a learning rate of 0.01 for all variants. For better illustration, the model trained with a batch size of 36 and a learning rate of 0.01 hyperparameters is also shown here, although it has already been shown once in this figure. The data obtained illustrate the effect of batch size on the observed metrics. For all metrics, higher values were obtained with increasing batch size.

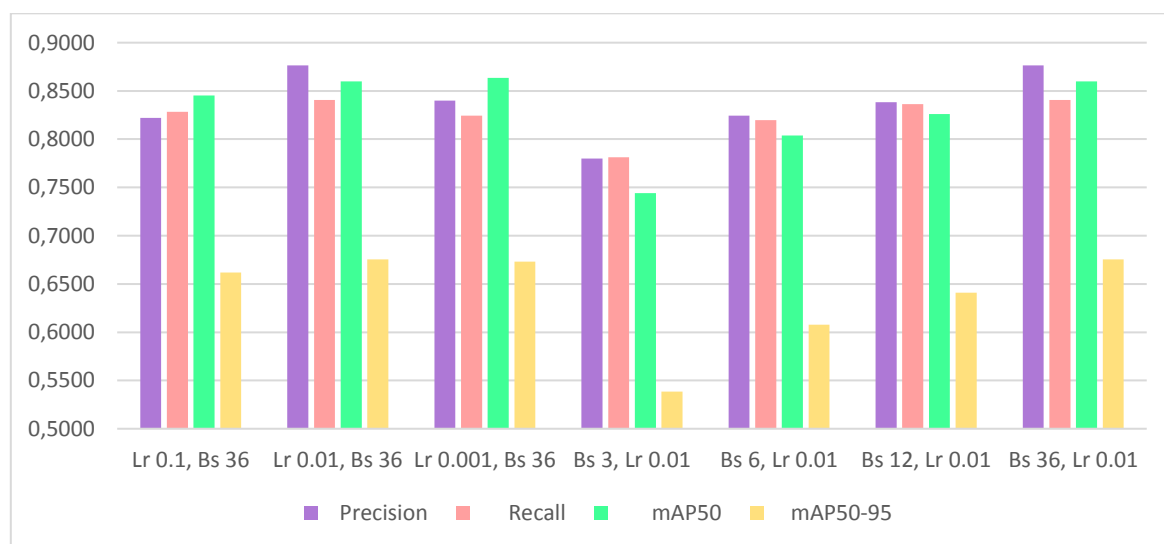


Figure 5 Comparison of YOLOv8n results with different hyperparameter settings according to selected metrics

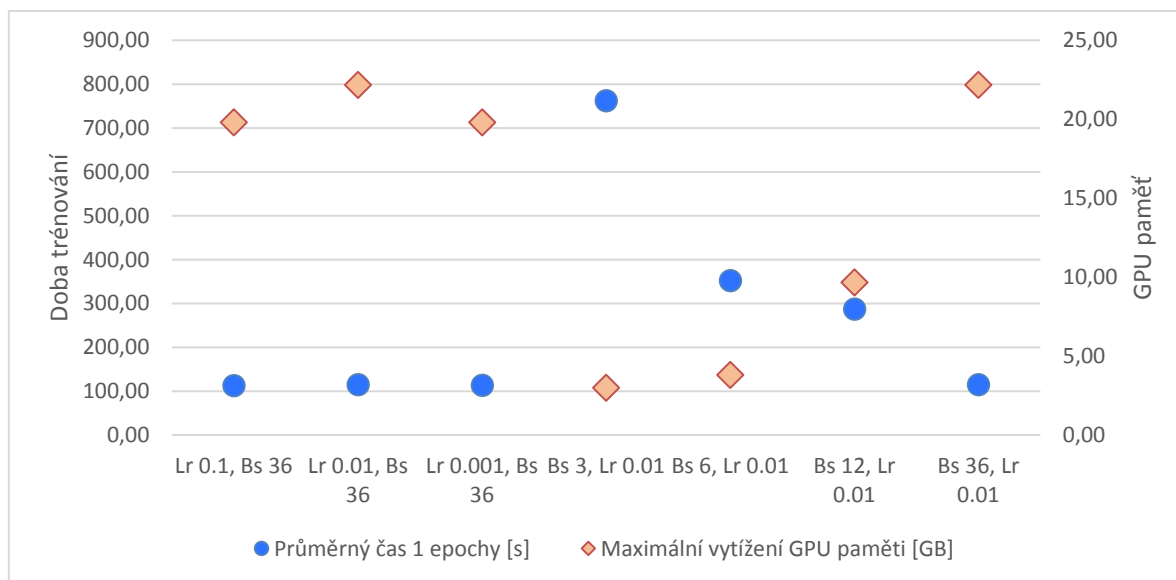


Figure 6 Comparison of YOLOv8n results with different hyperparameter settings by time per epoch and use of a GPU memory

Data were also recorded to demonstrate the demanding nature of the training in terms of computational power to compare the effect of the selected hyperparameters on the observed metrics. Observing the effect of the Learning Rate setting, there were minimal differences in the average time required to train an epoch; specifically, the difference between the slowest and fastest time was 2.3 s. For the maximum GPU memory utilisation, the differences were more noticeable. For learning rates of

0.1 and 0.001, the usage was identical at 19.8 GB, but for learning rates of 0.01, the usage was 22.18 GB, the highest of all trained models. Two expected trends were confirmed when considering the effect of batch size on computational effort during the training process. The first is the decreasing average time to train an epoch as batch size increases, and the second is the increasing maximum GPU memory usage due to the higher computational demands of larger batch sizes.

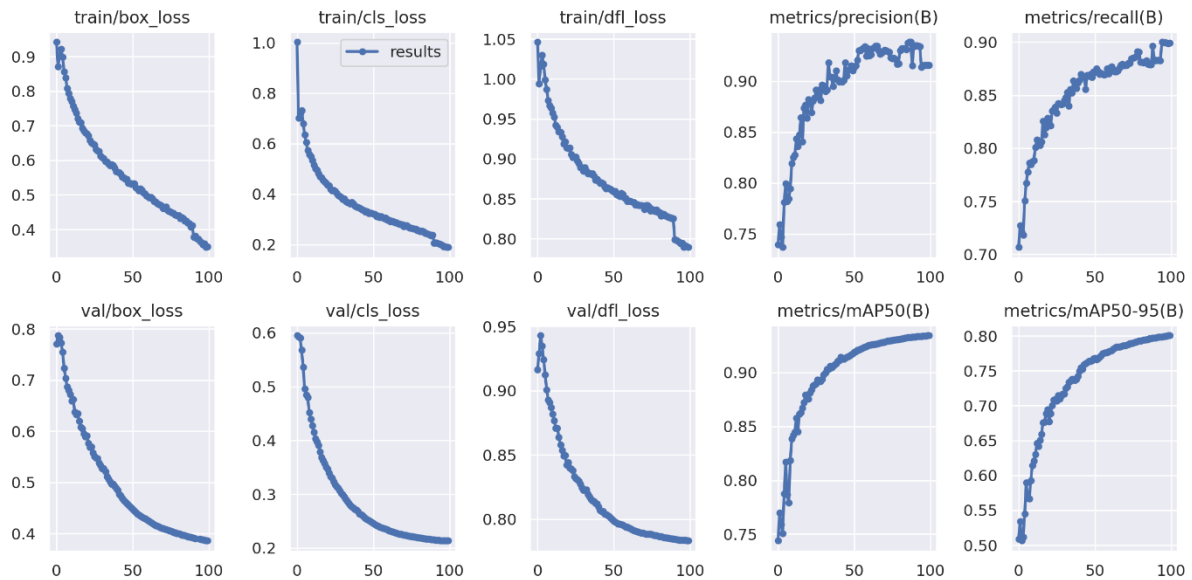


Figure 7 Plots of the observed metrics obtained during the training of the YOLOv8x network with Lr 0.01 and Bs 6



Figure 8 Demonstration of radish detection by applying the trained YOLOv8x network model

From all the models presented, it is possible to obtain information about their training process, as shown in Figure 7, where the learning progress of the YOLOv8x network is illustrated using the parameters learning rate 0.01 and batch size 6. The metrics against which the trained models were compared are concentrated in the right part of the figure. The graphical representation of the learning curve clearly shows an initial almost linear improvement in the results, with a more gradual increase in the recorded values thereafter around the 30th stage. Gradually, as we approach the final 100th stage,

there is a slight stagnation or oscillation in the values. For some models, better values of the metrics being compared could be achieved by using more epochs for training. However, for the sake of comparability, we proceeded with a value of 100 epochs for each trained model. Figure 8 is an illustration of radish detection by applying the trained YOLOv8x network model.

CONCLUSIONS

To find the optimal network applicable to the detection and classification of the three classes (radish, radish group, and weed), the network models YOLOv5 and YOLOv8, namely YOLOv5n, YOLOv5m, YOLOv5x, YOLOv8n, YOLOv8m, and YOLOv8x, were trained with the hyperparameters Learning Rate 0.01 and Batch Size 6. Based on the comparison of the obtained from the observed metrics precision, recall, mAP50, and mAP50-95, the YOLOv8x model achieves the best results in all metrics. However, its disadvantage is the second highest computational complexity. Due to its low computational requirements, the YOLOv8n model was subsequently selected to investigate the effect of hyperparameter settings on training results. (I) The ideal learning rate for the training process in our dataset seems to be 0.01. (II) All metrics showed higher values with increasing batch size, therefore, the optimal batch size for training on the dataset was found to be 36. In terms of average training time per epoch, the effect of the chosen learning rate proved to be minimal, in contrast to the chosen batch size value, whereas the value increases, the time required per epoch decreases, but at the same time, the maximum GPU memory usage increases.

References

1. AL-FALLUJI, R. A., KATHEETH, Z. D., ALATHARI, B. 2021. *Automatic detection of COVID-19 using chest X-ray images and modified ResNet18-based convolution neural networks*. Computers, Materials, & Continua, 2021, 66, 2, 1301-1313. ISSN: 1546-2226.
2. BENALI AMJOUR, A., AMROUCH, M. 2020. Convolutional Neural Networks Backbones for Object Detection. Image and Signal Processing. In: *Image and Signal Processing, ICISP 2020*, Marrakesh, Morocco, 2020-07-08. Springer Cham, 2020, 282–289. ISBN 978-3-030-51935-3.
3. BHATT, D., PATEL, CH., TALSANIA, H., PATEL, J., VAGHELA, R., PANDYA, S., MODI, V., GHAYVAT, H. 2021. *CNN Variants for Computer Vision: History, Architecture, Application, Challenges and Future Scope*. Electronics, 2021, 10, 20, ISSN 2079-9292.
4. BOUGUETTAYA, A., ZARZOUR H., TABERKIT A. M., KECHIDA, A. 2022. *A review on early wildfire detection from unmanned aerial vehicles using deep learning-based computer vision algorithms*. Signal Processing, 2022, 190. ISSN 0165-1684.
5. BUTTE, S., VAKANSKI A., DUELLMAN K., WANG H., MIRKOU EI A. 2021. *Potato crop stress identification in aerial images using deep learning-based object detection*. Agronomy Journal, 2021, 113, 5, 3991-4002. ISSN 0002-1962.
6. DENG, X., YAN, X., HOU, Y., WU, H., FENG, CH., CHEN, L., BI, M, SHAO, Y. 2021. *DETECTION OF BEHAVIOUR AND POSTURE OF SHEEP BASED ON YOLOv3*. INMATEH Agricultural Engineering, 2021, 64, 2, 457-466. ISSN 2068-2239.
7. DHILLON, A., VERMA, G. K. 2020. *Convolutional neural network: a review of models, methodologies and applications to object detection*. Progress in Artificial Intelligence, 2020, 9, 2, 85-112. ISSN 2192-6352.
8. DUCKETT, T., PEARSON. S., BLACKMORE. S., GRIEVE, B., CHEN, W. H. et al. 2018. *Agricultural robotics: The future of robotic agriculture*. ArXiv, 2018. ISSN 2398-4414.
9. YANG, H. F., LING, Z., KOPCA, C., RICORD, S., WANG, Y., 2022. *Cooperative traffic signal assistance system for non-motorized users and disabilities empowered by computer vision and edge artificial intelligence*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 145. ISSN 0968-090X.
10. IQBAL, Z., KHAN, M. A., SHARIF, M., SHAH, J. H., UR REHMAN, M. H., JAVED, K. 2018. *An automated detection and classification of citrus plant diseases using image processing*

- techniques: A review.* Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 153, 12-32. ISSN 0168-1699.
11. KARYPIDOU, S., GEORGOUSIS, I., PAPAKOSTAS, G. A. 2021. Computer Vision for Astronomical Image Analysis. In: *2021 IEEE International Conference on Progress in Informatics and Computing (PIC)*. Shanghai, China, 2021-12-17. IEEE, 2021, 94-101. ISBN 978-1-6654-2655-8.
 12. KHANDAY, N. Y., SOFI, S. A. 2021. *Taxonomy, state-of-the-art, challenges and applications of visual understanding: A review.* Computer Science Review, 2021, 40. ISSN 1574-0137.
 13. KIM, D. H., MACKINNON, T. 2018. *Artificial intelligence in fracture detection: transfer learning from deep convolutional neural networks.* Clinical Radiology, 2018, 73, 5, 439-445. ISSN 0009-9260.
 14. KIRKPATRICK, K. 2019. *Technologizing agriculture.* Communications of the ACM, 2019, 62, 2, 14-16. ISSN 0001-0782.
 15. KIRTHIKA, N., SARGUNAM B. 2021. YOLOv4 for Multi-class Artefact Detection in Endoscopic Images. In: *2021 3rd International Conference on Signal Processing and Communication (ICPSC)*. Coimbatore, India, 2021-5-13. IEEE, 2021, 73-77. ISBN 978-1-6654-2864-4.
 16. KISAEZEHRA, UMER FAROOQ, M., ASLAM BHUTTO, M., KARIM KAZI, A. 2023. *Real-Time Safety Helmet Detection Using Yolov5 at Construction Sites.* Intelligent Automation & Soft Computing, 2023, 36, 1, 911-927. ISSN 1079-8587.
 17. KUZNETSOVA, A., ROM, A., ALLDRIN, N., UIJLINGS, J., KRASIN, I. et al. 2019. *The Open Images Dataset V4.* International Journal of Computer Vision, 2020, 128, 1956–1981. ISSN 1573-1405.
 18. LI, N., REN, Z., LI, D., ZENG, L. 2020. *Review: Automated techniques for monitoring the behaviour and welfare of broilers and laying hens.* Animal, 2020, 14, 3, 617-625. ISSN 1751-7311.
 19. MA, L., XIE, W., HUANG, H. 2020. *Convolutional neural network based obstacle detection for unmanned surface vehicle.* Mathematical Biosciences and Engineering, 2020, 17, 1, 845-861. ISSN 1551-0018.
 20. MAGALHÃES, S. A., MOREIRA, A. P., SANTOS F. N., DIAS J. 2022. *Active Perception Fruit Harvesting Robots — A Systematic Review.* Journal of Intelligent & Robotic Systems, 2022, 105, 1, 14. ISSN 0921-0296.
 21. MATTHEWS, S. G., MILLER, A. L., CLAPP, J., PLÖTZ, T., KYRIAZAKIS, I. 2016. *Early detection of health and welfare compromises through automated detection of behavioural changes in pigs.* The Veterinary Journal, 2016, 217, 43-51. ISSN 1090-0233.
 22. MISRA, T., ARORA, A., MARWAHA, S., RANJAN JHA, R., RAY, M., KUMAR, S., KUMAR, S., CHINNUSAMY, V. 2022. *Yield-SpikeSegNet: An Extension of SpikeSegNet Deep-Learning Approach for the Yield Estimation in the Wheat Using Visual Images.* Applied Artificial Intelligence, 2022, 36, 1. ISSN 0883-9514.
 23. MONTEIRO, R. C. M., GADOTTI, G. I., MALDANER, V., CURI, A. B. J., BÁRBARA NETO, M. 2021. *Image processing to identify damage to soybean seeds.* Ciência Rural, 2021, 51, 2. ISSN 1678-4596.
 24. PARROTTA, G., TROPEA, M., DE RANGO F. 2022. *A Computer Vision Approach to Predict Distance in an Autonomous Vehicle Environment.* In: *Proceedings of the 12th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications.* Lisbon, Portugal, 2022-7-14. SCITEPRESS, 2022, 348-355. ISBN 978-989-758-578-4.

25. SOBTI, P., NAYYAR, A., NIHARIKA, NAGRATH, P. 2021. *EnsemV3X: a novel ensembled deep learning architecture for multi-label scene classification*. PeerJ Computer Science, 2021, 7, e557. ISSN 2376-5992.
26. TERVERN, J., CORDOVA-ESPARZA, D. 2023. *A Comprehensive Review of YOLO: From YOLOv1 to YOLOv8 and Beyond*. ArXiv, 2023, abs/2304.00501.
27. VISHNOI, V. K., KUMAR, K., KUMAR, B. 2021. *Plant disease detection using computational intelligence and image processing*. Journal of Plant Diseases and Protection, 2021, 128, 1, 19-53. ISSN 1861-3829.
28. WANG, K., CHEN, K., DU, H., LIU, S., XU, J. et al., 2022. *New image dataset and new negative sample judgment method for crop pest recognition based on deep learning models*. Ecological Informatics, 2022, 69. ISSN 1574-9541.
29. XU, K., JIANG, Z., LIU, Q., XIE, Q., ZHU, Y., CAO W., NI, J. 2022. *Multi-modal and multi-view image dataset for weeds detection in wheat field*. Frontiers in Plant Science, 2022, 13. ISSN 1664-462X.
30. YUNG, N. D. T., WONG, W. K., JUWONO, F. H., SIM, Z. A. 2022. *Safety Helmet Detection Using Deep Learning: Implementation and Comparative Study Using YOLOv5, YOLOv6, and YOLOv7*. In: *2022 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST)*. Miri Sarawak, Malaysia, 2022-10-26. IEEE, 2022, 164-170. ISBN 978-1-6654-8663-7.
31. ZAREI, N., MOALLEM, P., SHAMS, M., 2022. *Fast-Yolo-Rec: Incorporating Yolo-Base Detection and Recurrent-Base Prediction Networks for Fast Vehicle Detection in Consecutive Images*. IEEE Access, 2022, 10, 120592-120605. ISSN 2169-3536.
32. ZHANG, Y., WANG, Z., SONG, R., YAN C., QI, Y. 2022. *Detection-by-tracking of traffic signs in videos*. Applied Intelligence, 2022, 52, 7, 8226-8242. ISSN 0924-669X.
33. ZHAO, K., BEWLEY, J. M., HE, D., JIN, X. 2018. *Automatic lameness detection in dairy cattle based on leg swing analysis with an image processing technique*. Computers and Electronics in Agriculture, 2018, 148, 226-236. ISSN 0168-1699.
34. ZHU, L., GENG, X., LI, Z., LIU, CH. 2021. *Improving YOLOv5 with Attention Mechanism for Detecting Boulders from Planetary Images*. Remote Sensing, 2021, 13, 18. ISSN 2072-4292.

Contact address:

Ing. Mgr. Pavel Olšan, Ph.D.

olsan@fzt.jcu.cz

University of South Bohemia in České Budejovice, Faculty of Agriculture and Technology, Department of Technics and Cybernetics, Na sádkách 1780, 370 05 České Budějovice, Czech Republic

KONŠTRUKČNÉ RIEŠENIE ZARIADENIA NA DÁVKOVÉ TESTY TERMOCHEMICKÉJ KONVERZIE BIOMASY

JÁN GADUŠ, TOMÁŠ GIERTL*

SPU v Nitre, FEŠRR, Ústav environmentálneho manažmentu

* SPU v Nitre, TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky

Abstrakt: Článok sa venuje popisu a návrhu zariadenia na testovanie konverzie biomasy drevín a bylín dávkovým (batch) spôsobom, využívajúc termochemickú konverziu. Výstupom výskumov využívajúc toto zariadenie je kvantitatívne, ale aj kvalitatívne zhodnotenie vhodností jednotlivých vstupných materiálov, resp. ich zmesí na získavanie energonosičov s vyššou energetickou hodnotou v tuhej, kvapalnej a plynnej fáze. Predmetom skúmania je aj hľadanie optimálnych parametrov procesu pre termochemický rozklad tej ktorej biomasy so zreteľom na uprednostňované množstvá jednotlivých fáz výstupných produktov. Navrhnuté zariadenie umožňuje realizovanie aplikovaného výskumu termochemického rozkladu vstupných materiálov v objeme skúmanej dávky 15 litrov a s plynulou elektronickou reguláciou teploty elektrického ohrevu do 600 °C.

Kľúčové slová: bioenergia, biomasa, termochemická konverzia, pyrolýzne zariadenie pre dávkové testy, biouhlie, syntézny plyn, bioolej

ÚVOD

Biomasa je jedným z kľúčových obnoviteľných zdrojov energie (OZE) a je významným faktorom pri dosahovaní európskych klimatických cieľov do roku 2030, keď 32 % spotreby energie v Európskej únii (EÚ) by malo pochádzať z obnoviteľných zdrojov. Členské štáty EÚ sledujú špecifické cesty k splneniu svojich povinností, ktoré sú definované v národných akčných plánoch podľa príslušných energetických trhov a dostupných zdrojov. V roku 2018 predstavoval podiel obnoviteľných energií v EÚ 18,9 % hrubej konečnej spotreby energie (Eurostat, 2020). S podielom viac ako 58 % na spotrebe energie z obnoviteľných zdrojov energie predstavuje biomasa hlavný obnoviteľný zdroj energie v EÚ.

Obnoviteľné zdroje energie (OZE) zohrávajú dôležitú úlohu v boji proti zmene klímy, pretože napomáhajú znižovať emisie skleníkových plynov. Obnoviteľná energia tiež znižuje závislosť od dovážaných fosílnych zdrojov energie. Prechod na ekologickejšiu energiu vytvára pracovné miesta a zvyšuje aj hospodársky rast v EÚ. To sú dôvody, prečo sa EÚ zaviazala zvýšiť podiel svojej spotreby energie z obnoviteľných zdrojov na 20 % do roku 2020. V mnohých prípadoch sa biomasa najlepšie využíva v miestnych systémoch zásobovania a spotreby energie a to je dôvod, prečo je cieľ EÚ v oblasti obnoviteľných zdrojov energie dobrou správou pre vidiecke oblasti EÚ, keďže stimuluje vytváranie pracovných miest, inovácie, obchodné príležitosti a prosperitu na vidieku. Bioenergia je zďaleka najdôležitejším typom obnoviteľnej energie v EÚ, pričom v súčasnosti produkuje dve tretiny všetkých obnoviteľných zdrojov energie v EÚ.

Biomasa je jeden z významných obnoviteľných zdrojov energie ako v celosvetovom, tak aj v európskom meradle. Ako zdroj energie môže byť použitá priamo, napríklad drevo, slama, alebo môže byť spracovaná do inej formy palív, napríklad biopalív či bioplynu a až následne využitá na energetické účely.

Bioenergia je obnoviteľná energia získavaná z prírodných biologických zdrojov. Cennými zdrojmi môžu byť mnohé prírodné zdroje, ako sú rastliny, zvieratá a ich vedľajšie produkty. Moderná technológia dokonca robí zo skládok alebo zón odpadu potenciálne bioenergetické zdroje. Môže sa použiť ako udržateľný zdroj energie, ktorý poskytuje teplo, plyn a palivo. Pretože energia obsiahnutá v zdrojoch, ako sú rastliny, sa získava zo slnka prostredníctvom fotosyntézy, môže sa sústavne obnovovať a teda považovať za nevyčerpatel'ný zdroj.

Využívanie bioenergie má potenciál znížiť našu uhlíkovú stopu a prispieť tak ku skvalitneniu životného prostredia. Aj bioenergia pri konverzii biomasy produkuje určité množstvo oxidu uhličitého ako pri tradičných fosílnych palivách, ich vplyv sa môže minimalizovať, ak sa nahradí lesná biomasa rýchlorastúcimi drevinami a energetickými bylinami. Rýchlorastúce stromy a energetické byliny sú preto východiskovou surovinou v bioenergetike.

Využívanie bioenergie je možné charakterizovať dvomi hlavnými kategóriami: „tradičné“ a „moderné“. Tradičné využitie sa týka spaľovania biomasy v takých formách, ako je drevo, živočíšny odpad a tradičné drevené uhlie. Medzi moderné technológie v oblasti bioenergetiky patria výroba kvapalných biopalív väčšinou zo zámerne pestovanej biomasy v bioraфинériách; bioplynové zariadenia, kde je bioplyn produkovaný anaeróbnou digestiou predovšetkým zvyškov a vedľajších produktov z poľnohospodárstva a potravinárstva, ako aj komunálnej sféry; systémy vykurovania na drevné štiepky a pelety; a ďalšie technológie, napr. pyrolýza.

Približne tri štvrtiny svetovej spotreby energie z obnoviteľných zdrojov predstavuje bioenergia, pričom viac ako polovica z toho je zabezpečené tradičnými technológiami využívania biomasy.

Biomasa má teda významný potenciál a môže sa priamo spaľovať na účely vykurovania alebo výroby energie, alebo sa môže konvertovať na náhrady ropy alebo plynu. Kvapalné biopalivá, ktoré sú vhodnou obnoviteľnou náhradou za benzín a naftu, sa väčšinou používajú v odvetví dopravy.

Slovensko by sa malo podľa schváleného akčného plánu sústrediť najmä na využívanie biomasy. V súčasnosti Slovensko využíva z obnoviteľných zdrojov najmä vodnú energiu. Pri projekcii využívania obnoviteľných zdrojov energie sa zohľadnil princíp minimalizácie nákladov pri integrovanom prístupe využívania obnoviteľných zdrojov energie a zníženia emisií skleníkových plynov.

MATERIÁL a METÓDY

Technológie pre termochemickú konverziu

Pyrolýza je termický rozkladný proces, ktorý prebieha bez prístupu kyslíka alebo iného oxidovadla, pričom dochádza k štiepeniu organických látok a uvoľňovaniu prchavých látok zo suroviny. Je to technológia známa už stovky rokov a vo veľkom sa využívala na výrobu dreveného uhlia (MOHAN, D., 2006). Záujem o výskum v oblasti pyrolýzy neustále narastá nielen preto, že pyrolýza je samostatne prevádzkovateľný proces, ale je to aj prvou fázou pri spaľovaní a splyňovaní paliva (BABU, B., 2002). Pyrolýza pozostáva z veľkého počtu chemických reakcií, pri ktorých vzniká veľké množstvo produktov. Časť uvoľnených prchavých látok je skondenzovateľných a predstavujú kvapalný produkt pyrolýzy známy ako pyrolýzny olej (pri pyrolýze biomasy bioolej). Neskondenzovateľný podiel predstavujú permanentné plyny ako oxid uhoľnatý (CO), oxid uhličitý (CO₂), vodík (H₂), metán (CH₄) a iné plynné uhľovodíky. Plynné produkty sa taktiež označujú ako pyrolýzny alebo syntézny plyn. Tuhý neprchavý zvyšok, ktorý ostáva po pyrolýze sa nazýva pyrolýzny koks, pri pyrolýze biomasy biouhlie.

Primárne produkty pyrolýzy (uvoľnené prchavé látky) môžu byť ďalej vplyvom vysokej teploty krakované, pričom vznikajú jednoduchšie molekulové reťazce, ale aj zložitejšie v podobe polycyklických uhľovodíkov alebo až koksu. Krakovanie prchavých podielov z primárnej pyrolýzy sa označuje ako sekundárna pyrolýza alebo aj krakovanie dechtov. Zastúpenie produktov pyrolýzy závisí okrem typu a zloženia suroviny aj od reakčnej teploty a tlaku v pyrolýznom reaktore, doby zdržania plynnej a tuhej fázy v reaktore, od typu použitého hnacieho plynu a od prítomnosti katalyzátora. Pri teplote 400 - 500 °C a dlhej dobe zdržania pár v reaktore dochádza k zvýšeniu výťažku tuhej zložky. Vysoká teplota v reaktore (800 – 1 000 °C) a dlhý čas zdržania pár v reaktore má za následok navýšenie výťažku pyrolýznych plynov. Stredne vysoká teplota v reaktore (500 - 600 °C) a krátka doba zdržania pár má za následok vysoký výťažok tekutej zložky. Prítomnosť katalyzátora na báze oxidu horečnatého (MgO), oxidu vápenatého (CaO) alebo oxidu hlinitého (Al₂O₃) znižuje výťažok kvapalného podielu v prospech pyrolýzneho plynu.

Pyrolýzu možno vo všeobecnosti rozdeliť na pomalú, kedy vzniká najmä koks a pyrolýzny plyn, a na rýchlu, kedy vzniká najmä pyrolýzny olej. Rýchla pyrolýza sa dosiahne krátkym časom zdržania tuhej aj plynnej fázy v reaktore a použitím čo najjemnejšie pomletej suroviny, ktorá bola vopred zbavená vlhkosti, aby sa do pyrolýzneho oleja dostalo čo najmenej vody. Pyrolýza je endotermický proces, ktorý vyžaduje, aby bolo teplo dodávané surovine z vonkajšieho zdroja. Teplo môže byť dodávané elektrickým ohrevom, horúcimi spalinami alebo pomocou mikrovlnného žiarenia.

Postup meraní

Pri realizovaní porovnávacích meraní využívajúc experimentálne batch zariadenie vstupných materiálov zložených z rôznych druhov biomasy budú využívané rovnaké metodiky pre určovanie nasledovných východiskových parametrov:

- Hmotnosť biomasy, vrátane hmotnostných podielov jednotlivých komponentov zmesových materiálov, precíznym vážením,
- Obsah suchej hmoty, využívajúc automatické sušínové váhy
- Obsah organickej suchej hmoty, prostredníctvom muflovej pece a štandardných postupov,
- Hodnotu pH.

Predmetom skúmania budú aj parametre procesu:

- Procesná teplota, meraná a regulovaná elektronicky, on-line,
- Doba zdržania materiálu v reaktore, meraná elektronicky,
- Objem produkovaného syntézneho plynu, meraný on-line plynomerom.

Merané budú aj množstvá tekutej a tuhej frakcie vychádzajúcej z reaktora.

Analýzam bude podrobený aj uhlík. Prostredníctvom elementárneho analyzátora budú zisťované zložky:

- Uhlík – C (%),
- Vodík – H (%),
- Dusík – N (%),
- Síra – S (%),
- Kyslík – O (%) výpočtom).

Výhrevnosť bude stanovená výpočtom využitím Dulongovho vzťahu:

$$(\text{kJ kg}^{-1}) = 337 C + 1419 (H - 1/8 O) + 93 S + 23,26 N \quad (1)$$

kde hodnoty C, H, N, S, O zodpovedajú zisteniam elementárnej analýzy vzorky biouhlia.

Zloženie syntézneho plynu bude analyzované prenosným analyzátorom plynu a precíznejšie analýzy budú realizované chromatograficky.

Postup pri realizovaní experimentov je nasledovný:

- Uvedenie zariadenia do prevádzky a ohrev na nastavenú procesnú teplotu, 2 hodiny,
- Realizovanie termochemickej konverzie požadovanej biomasy, 1 - 5 hodín, pri nastavených konštantných prevádzkových parametroch, t. j. procesnej teplote a doby zdržania, pri dodržaní dávky 15 l (hmotnosť podľa konkrétnej sypkej hmotnosti podrvenej biomasy),
- Základné štatistické vyhodnotenie,
- Uvedenie zariadenia do vypnutého stavu postupným ochladzovaním, 2 hodiny.

Po uskutočnení merania a bilancie sú formulované závery a odporúčania pre aplikáciu konkrétneho zmesového alebo sólového vstupného materiálu pre optimalizáciu procesu jeho termochemickej konverzie.

Každá realizovaná analýza biomasy, resp iného vstupného materiálu, ako aj vznikajúceho plynu bude opakovaná minimálne dva krát. Celý cyklus experimentov s určitým konkrétnym vstupným materiálom je opakovaný tiež minimálne dvakrát pri určitých nastavených prevádzkových parametroch a to s cieľom dosiahnutia vyššej objektívnosti získaných výsledkov.

Ako vedľajšie charakteristiky, ktoré môžu ovplyvniť proces termochemickej konverzie a aj generovanie výstupov sú vyhodnocované aj veľkosti partikulárnych častíc vstupujúcej biomasy.

Súčasťou záznamu z experimentu je vždy aj fotodokumentácia charakterizujúca vstupnú biomasu, ale aj jednotlivé výstupné tekuté a tuhé frakcie biopaliva.

VÝSLEDKY

Popis navrhnutého zariadenia pre dávkové testy termochemickej konverzie biomasy

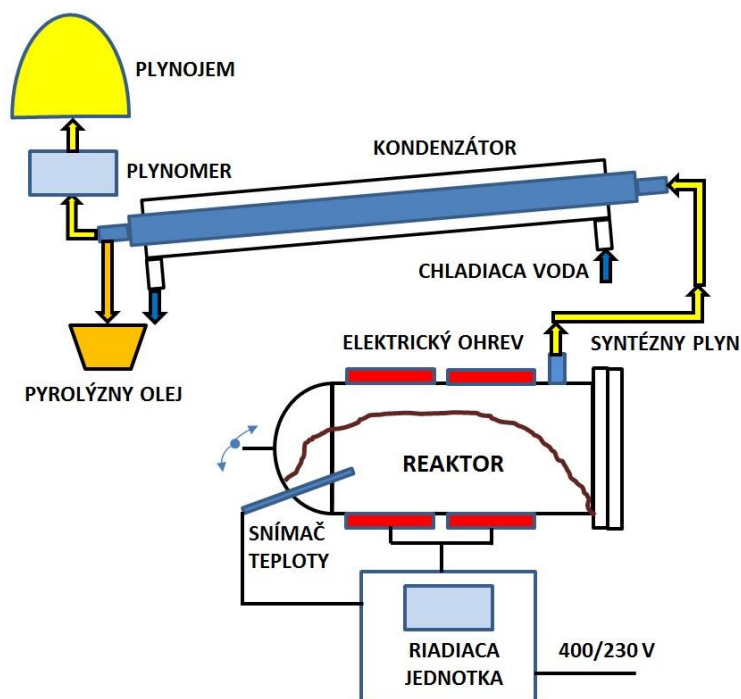
Zariadenie pre dávkové (batch) testy termochemického rozkladu biomasy bolo navrhnuté pre zefektívnenie a urýchlenie realizovania aplikovaného výskumu termochemického rozkladu rôznych

vstupných materiálov, resp. ich kombinácií. V porovnaní s prototypom pyrolýznej jednotky nainštalovanej v Laboratóriu splyňovania biomasy Výskumného centra AgroBioTech, toto zariadenie dokáže poskytovať spoľahlivé výsledky pri výrazne nižšej spotrebe energií, ale aj testovaného materiálu.

Jadrom zariadenia je reaktor s celkovým vnútorným objemom 32 litrov vyrobený z nehrdzavejúcej ocele. Ohrev je riešený dvomi keramickými ohrevnými telesami nainštalovanými z vonka reaktora, ktoré sú chránené izoláciou (o hrúbke 50 mm). Snímač teploty je v chráničke zavedený až do vrstvy skúmaného materiálu a slúži pre presnú elektronickú reguláciu požadovanej teploty s presnosťou $\pm 0,5$ °C. Celý reaktor je uložený v ložisku a podpornej obruči a je umožnený kývavý pohyb počas procesu (za účelom premiešania obsahu v reaktore).

Kondenzátor vyrobený tiež z nehrdzavejúcej ocele pozostáva z dvojitého plášťa, kde sa privádza chladiaca voda a samotný syntézny plyn prúdi vnútornou rúrou, kde sa vyvráža vodná para a jednotlivé komponenty pyrolýzneho oleja. Takto ochladený plyn je vedený cez plynomer, kde sa zaznamenáva objem vyprodukovaného syntézneho plynu a zhromažďuje sa v plynojem. Zloženie plynu je potom hodnotené analyzátorom a presnejšie plynovým chromatografom.

Reaktor je uložený v kovom ráme, umožňujúcim ľahkú manipuláciu pri plnení, vyprázdňovaní a samozrejme aj pri samotnom procese pyrolýzy. Hlavné časti zariadenia (bez rámu) ukazuje Obrázok 1 a reálny vzhľad je vidieť na fotografii Obrázok 2.



Obrázok 1 Schéma experimentálnej pyrolýznej jednotky pre dávkové testy

Príklad experimentu s tuhým alternatívnym palivom

Popísané zariadenie už bolo využité na viacero experimentov. Ako príklad pre zdokumentovanie funkčnosti zariadenia uvádzame zhodnotenie triedeného a predspracovaného komunálneho odpadu, tzv. tuhého alternatívneho paliva Obrázok 3. Výhodou, ako je to vidieť z Obrázka 4 je oddelenie hliníkových fólií pri kompozitných materiáloch používaných napr. ako nápojové obaly. Už z takejto zmesi ako vidieť na fotografii je veľmi jednoduchým spôsobom, napr. preosievaním cez sitá, možné získať materiál hliník a zvyšok ako uhlík na ďalšie použitie. Okrem toho je ihneď k dispozícii syntézny plyn a pyrolýzny olej, z ktorého ďalším spracovaním (krakovaním) je možné získať náhradu za benzín a naftu.

Tuhý výstup z procesu termochemickej konverzie ukazuje fotografia Obrázok 4. Je zreteľne vidieť oddelenú hliníkovú fóliu, ktorú po odseparovaní je možné materiálovo recyklovať.

Parametre procesu boli nasledovné: vstupná dávka materiálu (TAP) 1 kg, teplota bioreaktora 500 °C, dĺžka trvania rozkladu 1 hod. Kvantitatívne ukazovatele jednotlivých výstupných frakcií sú uvedené v Tabuľke 1.



Obrázok 2 Fotografia experimentálnej pyrolýznej jednotky



Obrázok 3 Fotografia TAP pred nadávkovaním do pyrolýzneho zariadenia



Obrázok 4 Fotografia TAP po procese termochemickej konverzie

Teda tuhá zložka predstavovala 48 % z množstva vstupného materiálu a tekutá frakcia 14,2 %. Zvyšok sa prekonvertoval na syntézny plyn obsahujúci najmä metán, (CH_4), oxid uhoľnatý (CO), vodík (H), vyššie uhlíkovodíky a oxid uhličitý (CO_2)

Tabuľka 1 Kvantitatívne ukazovatele získaných výstupov z pyrolýzneho procesu

Parameter	Množstvo
Vstup - zmes materiálov TAP, kg	1,00
Výstup - zmes (uhlík + hliník), kg	0,480
Výstup - pyrolýzny olej, kg	0,142
Výstup – syntézny plyn, l	39,00

ZÁVER

Navrhnuté pyrolýzne zariadenie na realizovanie dávkových experimentov svojim objemom 32 litrov umožňuje efektívne a za krátky čas získavať relevantné informácie pre posúdenie vhodnosti skúmaného materiálu k termochemickej konverzii na hodnotnejšie materiály a hlavne energonosiče.

V súčasnom období sa veľký dôraz kladie na možnosti využitia obnoviteľného zdroja energie ktorým je biomasa. Vo svete sa hlavný dôraz (aj výskumu) kladie na biomasu pochádzajúcu z drevín a poľnohospodárskych plodín, kde základ tvorí celulóza, ligníny a hemicelulóza. Takto získané palivá v plynnej, tuhej ako aj kvapalnej fáze je možné označovať ako biopalivá II. generácie.

Napriek všetkej snahe o čo najekonomickejšie spracovanie biomasy, ešte stále energia z nej získaná nemôže konkurovať tej, ktorá je generovaná z fosílnych palív.

Termochemická konverzia, ako to je zdokladované aj na príklade využitia navrhnutého experimentálneho zariadenia, je veľmi efektívne použiteľná pri zhodnotení triedeného komunálneho odpadu predspracovaného na tuhé alternatívne palivo (TAP). Aj z takéhoto zmesového vstupného materiálu je možné získať zaujímavé výstupné produkty v podobe tuhých látok (uhlík, hliník), ale aj syntézneho plynu a pyrolýzneho oleja. Okrem efektívneho zhodnotenia pri tomto procese prebehne aj dokonalá hygienizácia (väčšinou sa používa procesná teplota 500 °C).

Literatúra:

1. BABU, B. V., CHAURASIA, A. S. 2002 *Modeling & simulation of pyrolysis: effect of convective heat transfer & orders of reactions*, Int. Symp. 55th Annu. Sess. IChE. CHEMCON, pp. 105–106, 2002.
2. MOHAN, D., PITTMAN, C. U., STEELE, P. H. 2006 *Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: A critical review*, Energy and Fuels, vol. 20, no. 3, pp. 848–889, 2006.
3. CHENG, B.-H., et al., 2020. *Bio-coal: A renewable and massively producible fuel from lignocellulosic biomass*. In: SCIENCE ADVANCES 2020; 6 : eaay0748 3 January 2020.
4. DEMO, M., HÚSKA, D., JUREKOVÁ, Z., MIKLÓS, N. 2013. *Ozdobnica čínska (Miscanthus sinensis A.) ako zdroj biomasy pre energetické účely*, Nitra 2013, 42 s., ISBN 978-80-552-0978-4.
5. GIERTL, T., HAUPTVOGL, M. 2019. *Verifikácia možností využívania rýchlorastúcich drevín na výrobu biopalív*, Nitra 2019, 71 s., ISBN 978-80-552-2052-9,
6. JANÍČEK, F., DARUĽA, I., GADUŠ, J., et al., 2009. *Renewable energy sources 1: technologies for a sustainable future*, Pezinok - Renesans, 2009. 174 s., ISBN 978-80-89402-05-2, (2009).
7. OCHODEK, T., NAJSER, J., HORÁK, J. 2009. *Splyňovanie biomasy*, SlovGas 4/2009 (2009) 28 – 31.
8. *Bioenergy*, Dostupné z <https://www.irena.org/bioenergy>.
9. *Renewable Energy Statistics 2019*, Dostupné z: <https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Renewable-energy-statistics-2019>.

PodĎakovanie:

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Kontaktná adresa:

Prof., Ing., PhD., Ján Gaduš

SPU v Nitre, Fakulta európskych štúdií a regionálneho rozvoja, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovakia

USE OF SUPPORT VECTOR MACHINE ALGORITHM IN YIELD PREDICTION FROM RGB IMAGES

TOMÁŠ GAJDACZEK, JAKUB PERNICA, JIŘÍ ČUPERA

Mendel University in Brno, Department of Technology and Automobile Transport

Abstract: This publication focuses on the use of unmanned aerial vehicles (UAV) and the application of support vector machine (SVM) algorithm in agriculture for supervised classification of raster data. The objective is to detect the land cover of winter wheat (*Triticum aestivum*) by image analysis of RGB images taken by the UAV, damage detection and determination of the extent of uninvolved area. Based on the results obtained, a theoretical yield prediction is made according to yield data from previous years.

Keywords: Precision agriculture, UAV, support vector machine, supervised raster classification

INTRODUCTION

Modern technology is making inroads in agriculture as in other sectors. Geographical information technologies, which have their application in agriculture, have undergone significant development in the last half century. The success of these technologies is based both on rapidly developing computing technology, the increasing amount of data being processed, and the integration of new mobile and non-contact measurement tools such as just unmanned aerial systems [1]. Visible radiation is the most exploited part of the spectrum, that all conventional methods work with, including RGB cameras [1]. The sensing chip of an RGB camera records in three channels - red (R), green (G) and blue (B). Subsequent mixing of these primary colours produces the final colour [2]. However, this radiation can only be detected during the day and does not pass through clouds and fog. [1]. Support vector machine computer algorithm is one machine learning model that can deal with classification of large volume of data. Although it is mathematically complex and computationally intensive at the same time [3]. According to Zhi Hong Kok et al. [4], the applications in precision agriculture can include six main areas: nutrient estimation, disease detection, crop cover determination, yield prediction, crop quality assessment, and weed recognition.

MATERIAL and METHODOLOGY

The measurements were carried out on 15th February 2023 on a plot of land near the village of Zářičí, located in the Zlín Region, Kroměříž District. The plot was planted with winter wheat on 14th October 2022. Four days before the measurement (i.e. on 11th February 2023), spring fertilisation was performed with Urea Stabil at a rate of 150 kg per hectare. As the plot is located in the Aerodrome Traffic Zone (ATZ) of Přerov Airport (LKPO), the measurement was carried out in coordination with the Aerodrome Flight Information Service (AFIS).

The DJI Mavic 2 Enterprise Dual unmanned aerial vehicle was used for the measurements. It is a quadcopter equipped with two types of sensors, namely a classical RGB camera and a thermal camera. The carried RGB camera, which was used for the map creation, has a 4K resolution (3840 px × 2160 px) at 30 frames per second, and a maximum resolution of 4056 px × 3040 px (4:3 aspect ratio) or 4056 px × 2280 px (16:9 aspect ratio) for photos. It is a relatively compact UAV, with a size of 322 mm × 242 mm × 84 mm, a maximum take-off weight of 1100 g, a maximum speed of 72 km/h and a flight time of up to 30 minutes per charge.

The flight altitude, when measured, was 100 meters above ground level (AGL), the flight speed was 10 m/s, the lateral overlap was 70 %, and the frontal overlap was 75 %. A total of 232 photographs were taken, in a time of 10 minutes and 6 seconds, with a distance flown of 4948 metres. With these parameters and the sensor used, the ground sample distance (GSD) was 3.13 cm/px.

Pix4Dmapper photogrammetric software was used to process the photographs into an orthophotomap. This software offers several presets for processing, including those designed for use directly in precision agriculture. The Ag RGB preset, which is optimized for precision agriculture orthophotomaps, was used to create the base map. Since the used UAV and the camera were of serial

production, the whole process was done automatically after selecting the images from the source location based on the metadata. The generated orthophotomap is depicted in Figure 1.

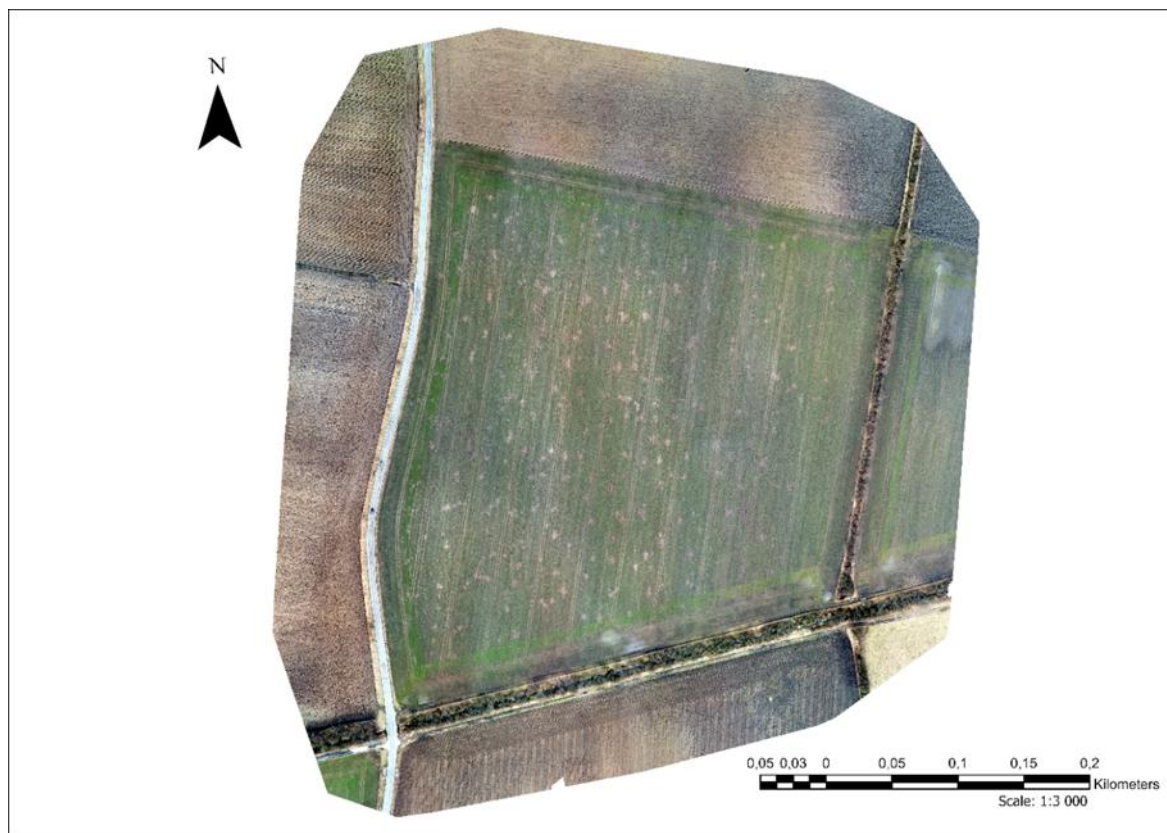


Figure 3 Orthophotomap of analysed plot

For further data processing and analysis, the desktop geographic information system ArcGIS Pro from Esri was used, which is applied in the field of cartography and enables image analysis. The support vector machine classifier is capable of processing segmented raster data or standard images. It is less sensitive to noise, correlated bands, and unbalanced training data number or size [5]. Since this is a supervised classification, training samples had to be manually selected. Two categories of samples were created, the first labelled "wheat" and the second labelled "soil". For each of these categories, 10 samples were selected from different parts of the plot to ensure as much variability as possible. After the actual classification was performed, the resulting map was cropped according to the visual boundaries of the plot. The calculation of the area of each category is based on the data provided in the attribute table. These are the pixel side size and number of pixels for each category. The resulting area is given in hectares and is calculated based on the following formula (1):

$$\text{area} = \frac{(\text{pixel size})^2 * \text{pixel count}}{10000} [\text{ha}]. \quad (1)$$

RESULTS and DISCUSSION

The resulting classification map is shown in Figure 2. The category 'wheat' is marked in yellow and the category 'soil' in blue. In the case of the 'soil' category, it is of course possible to see the track lines created by the agricultural machinery during the interventions associated with growing the crop. A large proportion of the blue colour can also be seen in the southern part of the plot where the water was retained. The circular formations found throughout the plot were physically identified on site as damage caused by the field vole (*Microtus arvalis*).

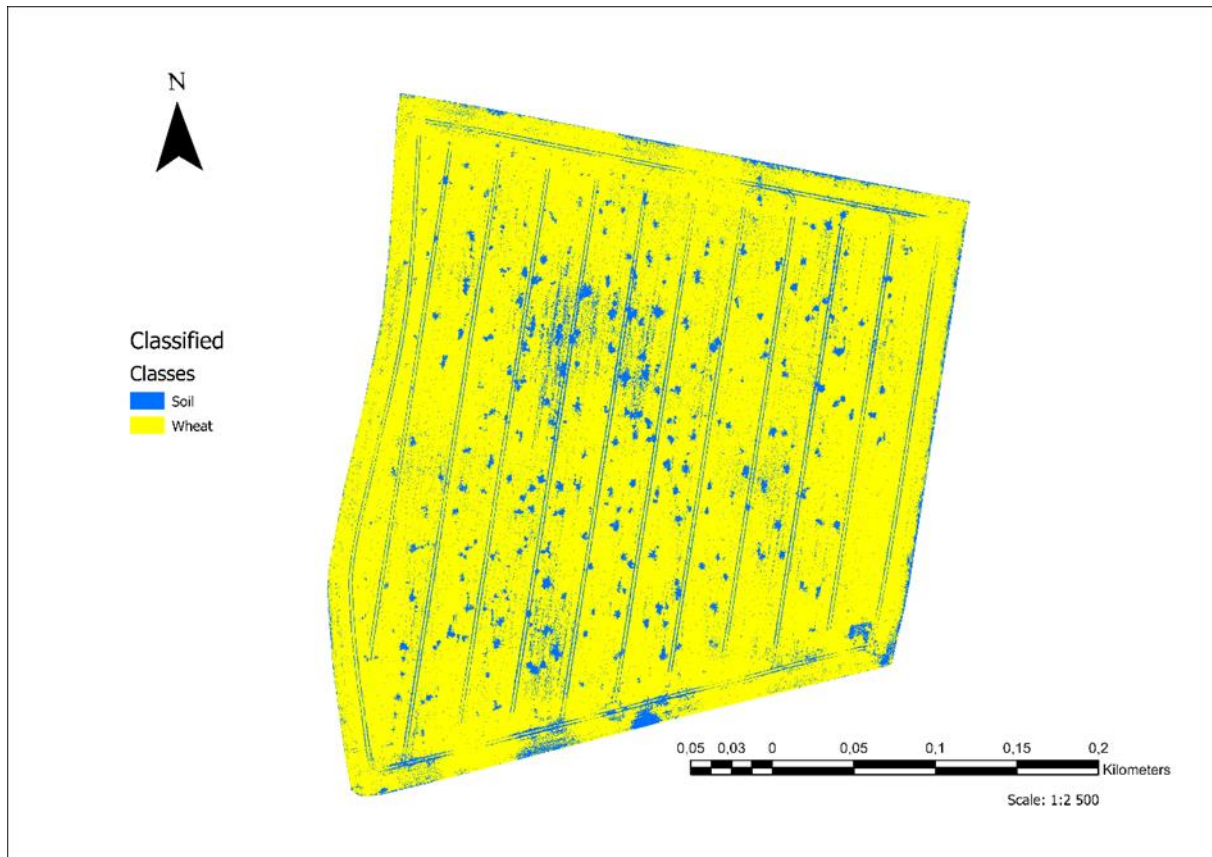


Figure 4 Classification map

The classification results show that the land category occupies 13,748,227 pixels and the soil category occupies 115,740,340 pixels. The pixel size in this case was 0.03126 meters, so the area of one pixel is 0.000977 square meters. After calculation using the formula above, the resulting area for the 'soil' category is 1.34 ha and for the 'wheat' category is 11.31 ha. The results are shown in table number 1.

Table 1 Classification results

	Pixel count	Area in ha	%
Soil	13748227	1,34	10,62
Wheat	115740340	11,31	89,38
Total	129488567	12,65	100,00

For the prediction of the yield based on the area coverage of the crop, data from the Czech Statistical Office for the Zlín Region for the years 2017-2021 were used. The year 2023 was calculated using the arithmetic average of these yields.

Table 2 Yield calculation and prediction

Wheat	2017	2018	2019	2020	2021	2023
Tonnes per hectare	5,82	5,34	5,72	6,08	6,38	5,87

The estimated yield of the measured area based on the above findings, where the area coverage is 11,31 ha, is 66,39 t.

In ArcGIS Pro software, which was used for image data classification, other classifiers for supervised classification can be found – maximum likelihood and random trees classifier. Among all of them, support vector machine was chosen due to its highest accuracy. This is also mentioned in

the publication on supervised classification process by Khatami et al. [6], who identified this algorithm as the most accurate, while the random trees classifier is the least accurate. The use of image analysis for yield prediction has been addressed in many publications. Ayub et al. [7], for example, discusses the analysis of multispectral data from the Sentinel-2 satellite. The support vector machine algorithm itself can be used in agriculture not only for yield prediction, but also, for example, for prediction and management of agricultural consumption, as reported by Li et al. [8].

CONCLUSION

The use of modern technologies, including unmanned aerial vehicles, has an unquestionable presence in agriculture. The actual mapping with the help of unmanned vehicles is a complicated process with a large number of factors that can influence the outcome. In this paper, one possible application of the support vector machine algorithm in agriculture has been described. Sensing the area sown with winter wheat using an unmanned vehicle, served both to determine the sown area and the area without crop cover, and also to locate areas damaged by field vole. Based on the guided classification and using statistical data on wheat yield in the Zlín Region, the expected yield this year was calculated at 66,39 t from an area of 11,31 ha.

ACKNOWLEDGEMENT: The research has been supported by the project AF-IGA2023-IP-070 Development of an unmanned aerial vehicle for precision agriculture

References

1. JANATA, Přemysl, Martin KLIMÁNEK, Vojtěch LUKAS, Martin MACHALA, Tomáš MIKITA, Jiří NEDOROST a Václav ŽDÍMAL. *Využití dálkově pilotovaných leteckých systémů v zemědělství, lesnictví a krajinné ekologii: Remotely piloted aircraft systems usage in agriculture, forestry and landscape ecology*. Vydání: první. V Brně: Mendelova univerzita, 2016. ISBN 978-80-7509-462-9.
2. GONZALEZ, Rafael C. a Richard E. WOODS. *Digital image processing*. Fourth edition. New York: Pearson, 2018. ISBN 978-1292223049.
3. SUTHAHARAN, Shan. Support Vector Machine. In: SUTHAHARAN, Shan. *Machine Learning Models and Algorithms for Big Data Classification* [online]. Boston, MA: Springer US, 2016, s. 207-235 [cit. 2023-04-24]. Integrated Series in Information Systems. ISBN 978-1-4899-7640-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4899-7641-3_9
4. KOK, Zhi Hong, Abdul Rashid MOHAMED SHARIFF, Meftah Salem M. ALFATNI a Siti KHAIRUNNIZA-BEJO. Support Vector Machine in Precision Agriculture: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021, **191**. ISSN 01681699. Dostupné z: doi:10.1016/j.compag.2021.106546
5. ESRI. Classify: ArcGIS Pro 3.1. In: *Esri* [online]. California, USA: Esri Headquarters, 2023 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/classify.htm>
6. KHATAMI, Reza, Giorgos MOUNTRAKIS a Stephen V. STEHMAN. A meta-analysis of remote sensing research on supervised pixel-based land-cover image classification processes: General guidelines for practitioners and future research. *Remote Sensing of Environment* [online]. 2016, **177**, 89-100 [cit. 2023-04-24]. ISSN 00344257. Dostupné z: doi:10.1016/j.rse.2016.02.028
7. AYUB, Maheen, Najeed Ahmed KHAN a Rana Zeeshan HAIDER. Wheat Crop Field and Yield Prediction using Remote Sensing and Machine Learning. *2022 2nd International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)* [online]. IEEE, 2022, 158-164 [cit. 2023-04-24]. ISBN 978-1-6654-6896-1. Dostupné z: doi:10.1109/ICAI55435.2022.9773663
8. LI, You-zhu a Shan-shan YANG. Application of SVM optimized by genetic algorithm in forecasting and management of water consumption used in agriculture. In: *2010 The 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*. IEEE, 2010, s. 625-628. ISBN 978-1-4244-5569-0. Dostupné z: doi:10.1109/ICCAE.2010.5451325

METODIKA TERMOCHEMICKÉJ KONVERZIE APLIKOVATEĽNÁ NA SPRACOVANIE ODPADU Z POĽNOHOSPODÁRSTVA A AGROPOTRAVINÁRSTVA

TOMÁŠ GIERTL, JÁN GADUŠ*

SPU v Nitre, TF, Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky

*SPU v Nitre, FEŠRR, Ústav environmentálneho manažmentu

Abstract: The methodology of thermochemical conversion of biomass points to the irreplaceable place of bioenergy in replacing primary fossil energy sources. The use of biomass for energy purposes already represents one of the most significant contributions to the protection of the environment in the EU countries, as well as worldwide, by replacing traditional fossil energy sources. Thermochemical conversion technology is currently among the intensively developing methods of obtaining biogenic fuels, but also the so-called biochemicals and biomaterials. Similar technologies using batch or continuous methods of thermochemical conversion of biomass are currently becoming the core of emerging biorefineries. The methodology briefly describes the main parts of the unique gasification unit with the designation UNIPYR SPU-1 as well as the measurement procedure in applied research on the thermochemical conversion of various types of biomass and on the specific example of the thermal decomposition of crushed biomass of the energy herb Chinese Giganteus (*Miscanthus sinensis* Giganteus) grown on the SPU experimental plantation in Nitra proves the high efficiency of the method used in the conversion of biomass into energy carriers with high energy densities.

Keywords: bioenergy, biomass, thermochemical conversion, biochar, methodology

ÚVOD

Obnoviteľné zdroje energie (OZE) vzhľadom na možnosť pomerne exaktnej predikcie ich produkcie, okrem environmentálneho prínosu, zvyšujú aj sebestačnosť a tým aj energetickú bezpečnosť krajiny. Preto zvyšovanie podielu OZE na spotrebe energie je jednou z priorit, deklarovaných aj v novom znení „Energetickej politiky Slovenskej republiky“, prijatých vládou ešte v októbri 2014 (MHRSR, 2014). Najväčší energetický potenciál z OZE na Slovensku má biomasa s teoretickým potenciálom 120 PJ. Biomasa predstavuje tak aj dôležitý potenciál pre rozvoj regionálnej a lokálnej ekonomiky.

Vo všetkých strategických dokumentoch prijímaných v nedávnej minulosti v orgánoch a inštitúciách Európskej únie (EÚ) medzi témami obsiahnutými v kľúčových politikách týkajúcich sa výroby energie z obnoviteľných zdrojov, dosiahnutia cieľov v oblasti ochrany životného prostredia, rozvoja systémov obehového hospodárstva a podpory tzv. čistej mobility, nájdeme význame podporený rozvoj bioenergií.

V Smernici 2018/2001 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov (2018) na nasledujúce desaťročie z júna 2018 je zakotvený právne záväzný cieľ pre celú EÚ týkajúci sa energie z obnoviteľných zdrojov do roku 2030 a to dosiahnuť jej podiel na 32 % s doložkou o možnej revízii smerom nahor v roku 2023, ako aj cieľmi pre jednotlivé odvetvia vrátane ročného zvýšenia o 1,3 % v prípade obnoviteľnej energie v oblasti vykurovania a konečný cieľ 14 % obnoviteľných zdrojov energie v sektore dopravy. Cieľom tohto programu je podporovať ďalšie zavádzanie elektrickej mobility, ale zahŕňa aj čiastkový cieľ vo výške 3,5 % pre vyspelé biopalivá a bioplyn. Vo všeobecnosti je Smernica pozitívnym krokom smerom k rozsiahlemu využívaniu obnoviteľného plynu v nasledujúcom desaťročí. Uľahčí prístup biometánu k rozvodnej sieti zemného plynu, rozšíri záruky pôvodu z obnoviteľnej elektrickej energie na obnoviteľný plyn a uľahčí cezhraničný obchod s biometánom. Táto Smernica mala byť transponovaná do vnútroštátneho práva vo všetkých členských štátoch EÚ do 30. júna 2021.

Biomasa je jedným z kľúčových obnoviteľných zdrojov energie a je významným faktorom pri dosahovaní európskych klimatických cieľov do roku 2030, keď 32 % spotreby energie v Európskej únii by malo pochádzať z obnoviteľných zdrojov. Členské štáty EÚ sledujú špecifické cesty k splneniu svojich povinností, ktoré sú definované v národných akčných plánoch podľa príslušných energetických trhov a dostupných zdrojov. V roku 2018 predstavoval podiel obnoviteľných energií v EÚ 18,9 % hrubej konečnej spotreby energie (Eurostat, 2020). S podielom viac ako 58 % na spotrebe energie z obnoviteľných zdrojov predstavuje biomasa hlavný obnoviteľný zdroj energie v EÚ.

Biomasa je jeden z významných obnoviteľných zdrojov energie ako v celosvetovom, tak aj v európskom meradle. Ako zdroj energie môže byť použitá priamo, napríklad drevo, slama, alebo môže byť spracovaná do inej formy palív, napríklad biopalív či bioplynu a až následne využitá na energetické účely.

Podľa Svetovej asociácie pre bioenergiu (WBA - World Bioenergy Association), ktorá každoročne vydáva Globálnu štatistiku bioenergie: v celosvetových dodávkach energie stále dominujú ako zdroje fosílnych palív (WBA, 2021). Až 81 % celkových dodávok primárnej energie pochádza z uhlia, ropy a zemného plynu. Technológie obnoviteľnej energie a to solárnej, veternej, vodnej, geotermálnej, energie biomasy, atď. mali v roku 2019 celkový podiel 14,1 % na dodávkach primárnej energie.

Slovensko by sa malo podľa schváleného akčného plánu sústrediť najmä na využívanie biomasy. V súčasnosti Slovensko využíva z obnoviteľných zdrojov najmä vodnú energiu. Pri projekcii využívania obnoviteľných zdrojov energie sa zohľadnil princíp minimalizácie nákladov pri integrovanom prístupe využívania obnoviteľných zdrojov energie a zníženia emisií skleníkových plynov.

Prvé splyňovanie biomasy začal človek používať s cieľom získania tepla – cielené spaľovanie dreva za prítomnosti vzdušného kyslíka, pričom konečnými produktmi spaľovania boli oxid uhličitý, voda, sadze a popoloviny – takýto spôsob je teda starý už možno desiatky tisícročí. Pyrolýzu biomasy s jej čiastočným spálením za účelom získania dechtových zložiek v spalinách využíva ľudstvo už tiež niekoľko tisícročí pri údení potravín.

V odbornej literatúre nájdeme za posledných desať rokov obrovské množstvo článkov, zaoberajúcich sa pyrolýzou a/alebo splyňovaním rôznych substrátov: komunálny odpad, komunálny odpad s biomasou rôzneho pôvodu, odpad z poľnohospodárskej výroby, celulóza a drevo, recyklovaný papier, plasty a biomasa a ďalšie materiály.

Základné princípy splyňovania biomasy sú známe od začiatku 19. storočia. Táto technológia bolo natoľko univerzálna a spoľahlivá, že počas 2. svetovej vojny sa na európskych cestách pohybovalo niekoľko miliónov vozidiel so splyňovacím agregátom vyrábajúcim drevoplyn spaľovaný v motore vozidla. Nástupom širokého využívania ropných produktov záujem o túto technológiu postupne opadol. Oživenie nastalo až po ropnej kríze v 70-tych rokoch.

Splyňovanie je proces, pri ktorom sú produkované horľavé plyny ako vodík, oxid uhoľnatý, metán a niektoré nehorľavé produkty.

MATERIÁL a METÓDY

Zostava splyňovacej jednotky slúži pre výskum energetickej efektívnosti alternatív a variantov produkcie plynu, tekutého a tuhého biopaliva vznikajúceho termochemickou katalytickou konverziou biomasy v splyňovanom reaktore. Medziproduktom zostavy je plyn, ktorý je následne ďalej využitý ako palivo pre pohon kogeneračnej jednotky a tuhé biopalivo (uhlík), ktorý môže byť ďalej energeticky využívaný ako palivo pre kotle.

Objektom experimentov bude hľadanie vhodných zmesí vstupnej biomasy a sledovanie ich vplyvu na množstvo a kvalitu vznikajúceho plynného, tekutého (biopalivá 2. generácie) a tuhého biogénneho paliva. Experimentálne budú overované aj parametre procesu (teplota reaktora, rýchlosť posuvu materiálu v bioreaktore) pre hľadanie optimálneho nastavenia pre tú ktorú zmes vstupných materiálov za účelom dosahovania čo najvyššej kvality produkovaných biogénnych palív.

Technológia splyňovania biomasy je umiestnená v priestoroch budovy Pavilónu Q. Laboratórna splyňovacia jednotka typu UNIPYR SPU-1, pozostáva zo súboru zariadení na výrobu plynu a biogénnych pohonných hmôt. Ohrev predreaktora aj reaktora je zabezpečený keramickým ohrevným plášťom s max. súhrnným príkonom ohrevu plášťov 20 kW. Príkon motorov zostavy 8,8 kW (zostava spolu $P = 28,8$ kW). Princípom činnosti zariadenia je kontinuálny tepelný rozklad biomasy a dendromasy, prípadne iných hmôt organického pôvodu (papier, textil,...), zbavených inertných prímiesí (kov, sklo, zemina, piesok...), s kapacitou spracovania surovín do 20 kg/hod. Tepelným spracovaním organickej hmoty v reaktorovej zostave dôjde k rozkladu vstupných surovín na tri hlavné výstupné zložky, a to: plyn (plynná fáza), pyrolýzny olej (tekutá fáza) a zvyšnú časť spracovaných predstavuje zuhoľnatená časť vstupných surovín - uhlík (tuhá fáza).

Prijem vstupných surovín

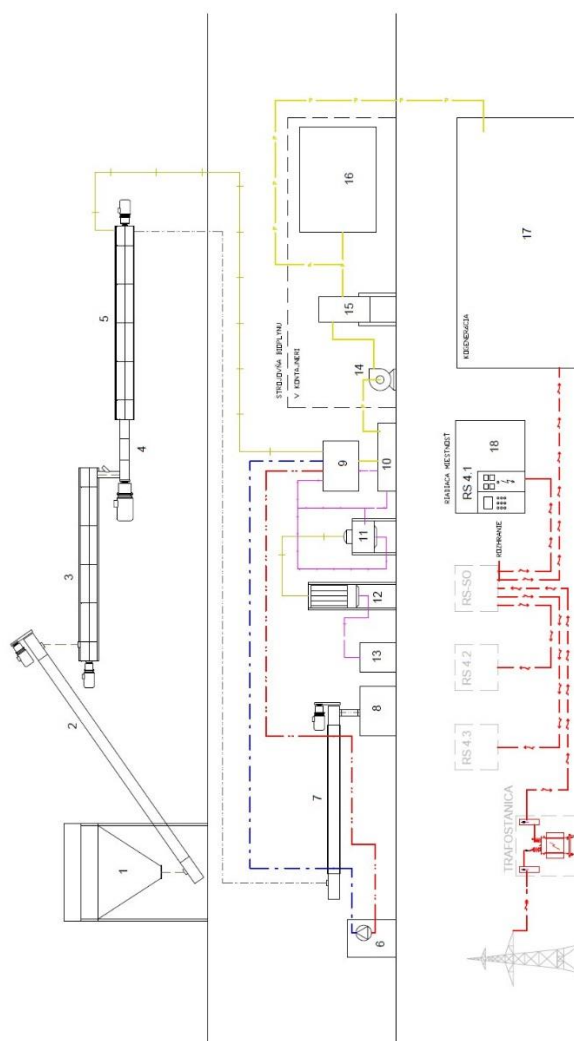
Vstupné suroviny je potrebné pred ich vstupom do zariadenia predpraviť podľa potreby

rezaním a sušením tak, aby priemerná vlhkosť suroviny bola nižšia než 15 % a maximálny rozmer partikulárnych častíc suroviny bol menší ako 10 - 15 mm. So surovinou upravenou do podoby rezanky je možné jednoducho manipulovať pomocou závitovkových dopravníkov, ktorými je zostava vybavená. Príjem vstupných surovín určených na spracovanie v splyňovacej jednotke je uskutočňovaný cez násypku (1) (Obrázok 1) naskladňovacieho závitovkového dopravníka (2). Týmto dopravníkom budú vstupné suroviny dopravované do predreaktora jednotky (3), v ktorej začne proces splyňovania surovín.

Technológia splyňovania biomasy, výroba plynu a biooleja

Technologická linka výroby pozostáva z nasledovných hlavných častí: Naskladňovací dopravník s násypkou (1, 2 – Obrázok 1), ktorým bude zabezpečené naskladňovanie vstupných surovín určených na spracovanie, do technologickej zostavy splyňovania biomasy.

Technologická zostava je ďalej tvorená predreaktorom (3), v ktorom je surovina predohriata na teplotu 100 až 180 °C a dôjde k jej vysušeniu, resp. extrudérom (4), v ktorom môže byť surovina zhutnená pred jej vstupom do reaktora (5), v ktorom dôjde pri teplote do 550 °C k procesu rozkladu (depolymerácie) suroviny na plynú fázu (reaktorový zmesný plyn) a zvyšná časť suroviny zostane v tuhej fáze v podobe popola, resp. uhlíka, ktorý je z reaktora odvádzaný vynášacím dopravníkom (7), kde zároveň je zabezpečované aj ochladzovanie uhlíka vystupujúceho z reaktora (5). Chladenie vynášacieho dopravníka je zabezpečované ochladzovacou jednotkou (6). Ochladený uhlík je vynášacím dopravníkom (7) dopravovaný do zásobníka uhlíka (8), kde je zhromažďovaný a následne využívaný na výskumné účely.



Obrázok 1 Technologická schéma splyňovacieho zariadenia

Plynná fáza rozloženej hmoty (reaktorový plyn) je z reaktora (5) odvádzaná do kondenzátora reaktorového plynu (9), v ktorom je ochladzovaná, pričom dochádza k jej čiastočnému vyzrážaniu do kvapalnej fázy (tzv. reaktorového oleja - biooleja), čím zároveň prebieha aj čistenie reaktorového plynu. Vyzrážaný reaktorový olej je zhromažďovaný v zbernom zásobníku oleja (10), odkiaľ je ďalej odvádzaný cez destilačnú odparku (11) do kondenzátora PHM (12) kde dochádza k úprave jeho kvalitatívnych parametrov. Vyrobené biogénne palivo po výstupe z kondenzátora je zachytávané v zásobníku biooleja (13). Zásobník biooleja je typizovaný plechový sud určený pre skladovanie PHM. Je vybavený stavoznakom a je ku kondenzátoru PHM (12) pripojený palivovodným potrubím, vybaveným závitovými spojmi, poistným a uzatváracím ventilom.

Plyn vznikajúci v technologickom procese nízko-teplotného rozkladu biomasy, je z reaktorovej zostavy odvádzaný plynovodným potrubím do distribučného dúchadla bioplynu (14), ktorým je odsávaný. Plyn je distribučným dúchadlom dopravovaný k úprave (odvodenie a odsírenie) do jednotky úpravy bioplynu (15), z ktorej je ďalej dopravovaný k dočasnemu uskladneniu v plynovom zásobníku (16) a ďalej do kogeneračnej jednotky (17). Takto vytvoreným technologickým procesom je vyriešené bez-zvyškové spracovanie biomasy. Všetky komponenty, ktoré vznikajú pri spracovaní, sú užitočné. Pohľad na splyňovaciu jednotku ukazujú Obrázok 2.



Obrázok 2 Splyňovacia jednotka

VÝSLEDKY

Pri realizovaní porovnávacích meraní využívajúc technológiu splyňovania vstupných materiálov zložených z rôznych druhov biomasy budú využívané rovnaké metodiky pre určovanie nasledovných východiskových parametrov:

- Hmotnosť biomasy, vrátane hmotnostných podielov jednotlivých komponentov zmesových materiálov, precíznym vážením,
- Obsah suchej hmoty, využívajúc automatické sušínové váhy
- Obsah organickej suchej hmoty, prostredníctvom muflovej pece a štandardných postupov,
- Hodnotu pH.

Predmetom skúmania budú aj parametre procesu:

- Procesná teplota, meraná elektronicky, on-line (cez riadiaci program systému),
- Rýchlosť posuvu materiálu v reaktore, meraná elektronicky, on-line,
- Objem produkovaného plynu, meraný on-line.

Merané budú aj množstvá tekutej a tuhej frakcie vychádzajúcej z reaktora.

Analýzam bude podrobený aj uhlík. Prostredníctvom elementárneho analyzátoru budú zisťované zložky:

- Uhlík – C (%),
- Vodík – H (%),
- Dusík – N (%),
- Síra – S (%),
- Kyslík O (%) (výpočtom).

Výhrevnosť bude stanovená výpočtom využitím Dulongovho vzťahu:

$$(kJ\ kg^{-1}) = 337\ C + 1419\ (H - 1/8\ O) + 93\ S + 23,26\ N \quad (1)$$

kde hodnoty C,H,N,S,O zodpovedajú zisteniam elementárnej analýzy vzorky biouhlia.

Zloženie plynu bude analyzované prenosným analyzátorom plynu a precíznejšie analýzy budú realizované chromatograficky.

Postup pri realizovaní experimentov je nasledovný:

- Uvedenie zariadenia do prevádzky a ohrev na nastavenú procesnú teplotu, 4 hodiny,
- Realizovanie termochemickej konverzie požadovanej biomasy, 1 - 5 hodín, pri nastavených konštantných prevádzkových parametroch, t. j. procesnej teplote a posuvu materiálu, pri dodržaní dávky $20\ kg\cdot h^{-1}$,
- Meranie a záznam produkovanej elektrickej a tepelnej energie kogeneračnej jednotky pri spaľovaní zmesi biopalív,
- Základné štatistické vyhodnotenie,
- Uvedenie zariadenia do vypnutého stavu postupným ochladzovaním, 3 hodiny.

Po uskutočnení merania a bilancie budú prijaté závery a odporúčania pre aplikáciu konkrétneho zmesového alebo sólového vstupného materiálu pre optimalizáciu procesu jeho termochemickej konverzie.

Každá realizovaná analýza biomasy, ako aj vznikajúceho plynu bude opakovaná minimálne dvakrát. Celý cyklus experimentov s určitým konkrétnym vstupným materiálom bude opakovaný tiež minimálne dvakrát pri určitých nastavených prevádzkových parametroch a to s cieľom dosiahnutia vyššej objektívnosti získaných výsledkov.

Ako vedľajšie charakteristiky, ktoré môžu ovplyvniť proces termochemickej konverzie a aj generovanie výstupov budú vyhodnocované aj veľkosti partikulárnych častíc vstupujúcej biomasy.

Súčasťou záznamu z experimentu bude aj fotodokumentácia charakterizujúca vstupnú biomasu, ale aj jednotlivé výstupné tekuté a tuhé frakcie biopaliva.

Dokumentácia z každého experimentu bude uchovávaná v elektronickej podobe na vhodnom nosiči.

Výsledky experimentov pyrolýzy podrvenej suchej hmoty ozdobnice čínskej

Pre zdokumentovanie efektívnosti termochemickej konverzie biomasy uvádzame ako príklad výsledky experimentov, kde ako vstupná surovina bola použitá podrvená suchá hmota energetickej byliny: ozdobnice čínskej *Giganteus* (*Miscanthus sinensis Giganteus*) dopestovanej na experimentálnej plantáži SPU v Nitre v Koliňanoch (Obrázok 3). Pre pokus boli použité procesné teploty bioreaktora: 400 a 500 °C, doba zdržania 10 minút a ostatné parametre uvedené v Tabuľke 1. Z experimentov s uvedeným vstupným materiálom boli získané pri zvolených procesných teplotách priemerné množstvá biogénnych palív uvedené v Tabuľke 2.

Tabuľka 1 Vstupná biomas

Parameter	Podrvená biomas ozdobnice čínskej
Dávka vstupnej biomasy ($kg\cdot h^{-1}$)	20,00
Obsah suchej hmoty (SH) (%)	91,99
Obsah organ. suchej hmoty (OSH ako % SH)	90,61

Pre ilustráciu uvádzame na Obrázok 4 ukážku biouhlia získaného tepelným rozkladom ozdobnice čínskej a reaktorový olej (bioolej, Obrázok 5).



Obrázok 3 Vstupný materiál – podrvená biomasa ozdobnice čínskej



Obrázok 4 Výstupné tuhé palivo – biouhlie (400 °C)



Obrázok 5 Výstupná tekutá zložka – reaktorový olej (400 °C)

Elementárna analýza (Tabuľka 2) vyprodukovaného biouhľia bola realizovaná využitím elementárneho analyzátoru vario MACRO cube vo Výskumnom centre AgoBioTech SPU v Nitre.

Výhrevnosť (Tabuľka 3) bola stanovená výpočtom využitím Dulongovho vzťahu:

$$(kJ\ kg^{-1}) = 337\ C + 1419\ (H - 1/8\ O) + 93\ S + 23,26\ N \quad (1)$$

kde hodnoty C,H,N,S,O zodpovedajú zisteniam elementárnej analýzy vzorky biouhľia.

Tabuľka 2 Vyprodukované biogénne palivá z podrvenej biomasy ozdobnice čínskej

Pokus	1	2
Teplota reaktora °C	500	400
Dávkovanie biomasy, kg/čas	0,5 kg/90 s 20 kg/h	0,5 kg/90 s 20 kg/h
Trvanie pokusu, h	1	1
Celkové množstvo použitej biomasy, kg	20	20
Max. prietok plynu pri 1 dávke, m ³ /h	5,5 m ³ /h kontinuálne	3,5 m ³ /h kontinuálne
Celkový objem vyprodukovaného plynu, m ³	5,5	3,5
Množstvo vyprodukovanej kvapalnej zložky, kg	6,5	8,6
Podiel kvapalnej zložky z použitej biomasy, %	32,5	43
Množstvo vyprodukovaného biouhľia, kg	4,8	4,7
Podiel biouhľia z použitej biomasy, %	24	23,5

Tabuľka 3 Elementárna analýza biouhľia podrvenej biomasy ozdobnice čínskej

Parameter	Teplota reaktora 500 °C	Teplota reaktora 400 °C
Uhlík - C (% _{hmot.})	80,70	77,90
Vodík - H (% _{hmot.})	3,02	3,34
Dusík - N (% _{hmot.})	0,49	0,55
Síra - S (% _{hmot.})	0,18	0,16
Kyslík - O (% _{hmot.}) - výpočtom	16,05	18,05
Výhrevnosť (MJ.kg ⁻¹) - výpočtom	28,66	27,82

Výhrevnosť vyprodukovaného biouhľia získaného pri oboch procesných teplotách dosahovalo hodnoty porovnateľné ako pri fosilnom čiernom uhlí.

Pokusy s podrvenou suchou biomasou ozdobnice čínskej *Giganteus* (*Miscanthus sinensis* *Giganteus*) boli zamerané aj na hľadanie optimálnych pomerov, najmä procesnej teploty a rýchlosti posuvu materiálu. Experimenty preukázali, že skúmaná biomasa je veľmi vhodnou surovinou pre termochemickú konverziu na biopalivá, ale tuhá výstupná zložka – biouhlie môže nájsť aj celý rad ďalších uplatnení, napr. vďaka svojim špecifickým vlastnostiam ako pôdne aditívum.

Veľmi vysoký obsah uhlíka pri oboch aplikovaných procesných teplotách pyrolýzy (400 a 500 °C) predurčuje aj energetické využitie biouhľia ako náhrady za vysokokvalitné kamenné čierne uhlie s predpokladanou výhrevnosťou od 20 do 28 MJ.kg⁻¹). Toto biouhlie je možné využívať v stávajúcej podobe, ale aj ako pelety, resp. brikety, t.j. ako tvarované biopalivo.

Využívanie zuhoľnatej biomasy pre agronomické účely nie je trendom posledných desaťročí. Už v roku 1929 John Morley zmieňuje v časopise *The National Greenkeeper* pozitíva aplikácie hnedého uhlia a popisuje následné zlepšenie pôdnej štruktúry. V šesťdesiatych rokoch boli potom popísané územia v Amazónii, kde spolupôsobenie spálenej biomasy a ďalších organických materiálov viedlo k vytvoreniu veľmi úrodných pôd označovaných dnes ako terra preta. V dôsledku neustáleho zvyšovania koncentrácie CO₂ v atmosfére sa novodobu začalo uvažovať, že aplikáciou materiálov s vysokým obsahom uhlíka akým je biouhlie sa časť uhlíka môže dlhodobo ukladať v pôde. Americkí vedci vo svojej štúdii vypočítali, že by bolo možné pyrolýzou biomasy, kde by sa získaval syntézny plyn a bioolej pre energetické účely a biouhlie by bolo použité pre pôdne aplikácie, dosiahnuť sekvestraciu až 10 % ročných emisií z fosilných palív.

ZÁVER

Laboratórium splyňovania biomasy svojim poloprevádzkovým zariadením na nízкотеплотný rozklad biomasy s následným bezprostredným využívaním plynu a časti tekutej fázy vyrábaného biopaliva druhej generácie v kogeneračnej jednotke umožní realizovanie veľkého počtu experimentov s rôznym zložením vstupnej biomasy, ale aj s rôznymi prevádzkovými parametrami samotných reaktorov (najmä procesná teplota a rýchlosť posuvu materiálu).

Zariadenie je koncepčne navrhnuté na kontinuálnu prevádzku v dvoch režimoch riadenia: ručnom a automatickom, pričom rozhodujúce parametre procesu sú kontrolované a zabezpečené pri oboch systémoch práce.

Prínosom experimentálnych prác bude zisťovanie optimálnych parametrov zloženia vstupného materiálu pre dosahovanie žiaducich parametrov a charakteristík všetkých troch fáz vznikajúcich biogénnych palív a to plynnej, kvapalnej aj tuhej.

Na základe verifikovaných charakteristík bude možné spracovať odporúčania pre prax pre termochemickú konverziu na základe požadovaného zloženia vstupných surovín určovať optimálne prevádzkové parametre splyňovacej (pyrolýznej) jednotky. Výhodou zariadenia je vysoká flexibilita nastavovania prevádzkových parametrov, čo umožní verifikovať optimálnu oblasť pre dosahovanie čo najlepších parametrov produkovaných biopalív.

V rámci spolupráce laboratórii VC AgroBioTech je možné tekuté biopalivá testovať pri simulovaných prevádzkových podmienkach na testovacom zariadení Laboratória bioenergetických zdrojov ich aplikáciou v mobilnej technike a porovnať dosahované výkonové parametre so stávajúcimi pohonnými hmotami vyrábanými z ropy.

Literatúra:

1. CHENG, B.-H., et al., 2020. *Bio-coal: A renewable and massively producible fuel from lignocellulosic biomass*. In: SCIENCE ADVANCES 2020; 6 : eaay0748 3 January 2020.
2. DEMO, M., HÚSKA, D., JUREKOVÁ, Z., MIKLÓS, N. 2013. *Ozdobnica čínska (Miscanthus sinensis A.) ako zdroj biomasy pre energetické účely*, Nitra 2013, 42 s., ISBN 978-80-552-0978-4.
3. GIERTL, T., HAUPTVOGL, M. 2019. *Verifikácia možností využívania rýchlorastúcich drevín na výrobu biopalív*, Nitra 2019, 71 s., ISBN 978-80-552-2052-9,
4. JANÍČEK, F., DARUĽA, I., GADUŠ, J., et al., 2009. *Renewable energy sources 1: technologies for a sustainable future*, Pezinok - Renesans, 2009. 174 s., ISBN 978-80-89402-05-2, (2009).
5. OCHODEK, T., NAJSER, J., HORÁK, J. 2009. *Splyňovanie biomasy*, Slovagas 4/2009 (2009) 28 – 31.
6. *Bioenergy*, Dostupné z: <https://www.irena.org/bioenergy>.
7. *Renewable Energy Statistics 2019*, Dostupné z: <https://www.irena.org/publications/2019/Jul/Renewable-energy-statistics-2019>.
8. MH SR 2014, *Energy Policy of the Slovak Republic* Dostupné z: <https://www.mhsr.sk/uploads/files/47NgRIPQ.pdf?csrt=546801020033657543>
9. *Smernica Európskeho parlamentu a rady (EÚ) 2018/2001 o podpore využívania energie z obnoviteľných zdrojov*. Úradný vestník Európskej únie. 2018. 128 s.
10. WBA. *Global bioenergy statistics 2021*. World Bioenergy Association. 2021. 51 s.

PodĎakovanie:

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Kontaktná adresa:

Prof. Ing., PhD., Ján Gaduš

SPU v Nitre, FEŠRR, Ústav environmentálneho manažmentu, jan.gadus@uniag.sk

DIAĽKOVO OVLÁDANÉ A AUTONÓMNE MECHANIZMY INTEGROVANEJ LESNÍCKEJ ŤAŽBOVEJ TECHNOLOGIE

MILAN HELEXA

Fakulta techniky, Katedra environmentálnej a lesníckej techniky

Abstract: Physical work in the forest is very strenuous and dangerous. The challenge in the development of the mechanisation of logging activities is therefore the gradual elimination of heavy manual labour and the gradual humanisation of these activities. The article is focused on the description of the level of current harvesting and transport machines designed especially for work in coniferous stands. These machines have achieved a high degree of automation in recent years and enable virtually comprehensive processing of forest biomass, including logging waste. An essential issue for their further development is to solve the problems with their navigation on the workplace and the transmission of control, performance and diagnostic signals directly from the stand to the owner or telemetric communication directly between the machines deployed in the stand. These issues are not currently addressed at the required technical level and can be expected to develop further in the future in connection with the robotization of forestry harvesting machines.

Keywords: tree harvester, forwarder, forest harvesting, automatic control, technical diagnostics

ÚVOD

Manuálna práca v lese je fyzicky veľmi namáhavá. To sa týka predovšetkým ťažbovej činnosti. Pracovníci sú tu vystavení vplyvu rôznych negatívnych faktorov, či už biologického alebo mechanického charakteru v podobe rôznych úrazov, častokrát aj smrteľných, prípadne trvale invalidizujúcich (Suchomel et al., 2008). Úlohou v rozvoji mechanizácie ťažbových činností je preto postupné odbúravanie ťažkej manuálnej práce a postupná humanizácia jednotlivých činností (Visser, 2017). Aj keď sa za prvý a hlavný dôvod zvyšovania úrovne mechanizácie lesníckych činností uvádzajú predovšetkým dôvody ekonomické (vysoké náklady, nízka produktivita práce a nízke ceny dreva na trhu) otázka humanizácie a ochrany ľudského zdravia pri práci by nemala zostávať nepovšimnutá. Nová mechanizácia a rozvoj technologických činností by jednoznačne mali viesť k znižovaniu fyzického a psychického zaťaženia pracovníkov v lesnom hospodárstve a k zvýšenej ochrane ich zdravia. Zároveň by mali zabezpečiť zníženie úrovne poškodzovania prírodného prostredia, či už porastu, podrastu alebo samotnej lesnej pôdy. Tieto otázky sú dnes kľúčové a venuje sa im pomerne intenzívna pozornosť.

Najväčší pokrok dosiahla mechanizácia ťažbových činností vo forme tzv. integrovanej ťažbovo-dopravnej techniky, ktorá našla svoje široké uplatnenie najmä v ťažbe a spracovaní ihličnatých porastov (Lukáč, 2005). Táto v súčasnosti umožňuje komplexné spracovanie predovšetkým nadzemnej drevnej suroviny ihličnatých drevín, počínajúc spiľovaním stromov až po mechanizované spracovanie ťažbového odpadu (obr.1). Ďalší rozvoj tejto modernej integrovanej technológie bezprostredne súvisí s pojmom „precízne lesníctvo“.

PRECÍZNE LESNÍCTVO

Z historického hľadiska sa lesnícky sektor nechal inšpirovať poľnohospodárstvom, ktoré definovalo termín „precízne poľnohospodárstvo“, už v polovici 20. storočia (Rataj et al., 2014). K jeho rozmachu došlo na konci uvedeného storočia s prudkým rozvojom geoinformačných technológií. Precízne poľnohospodárstvo sa riadi zásadou „vykonať pestovateľský zásah v pravý čas na správnom mieste a so správnou intenzitou“.

Aj precízne lesníctvo je možné definovať obdobným spôsobom, teda „precízne lesníctvo je princíp hospodárenia, kedy je zásah vykonaný v pravý čas na správnom mieste, so zodpovedajúcou intenzitou, s minimálnymi negatívnymi dopadmi na životné prostredie a súčasne s maximálnou efektivitou výroby...“. Tento zásah je plánovaný na základe hlbokého interdisciplinárneho poznania a multikriteriálnej analýzy situácie (Neruda et al., 2013).



Obrázok 1 Integrovaná ťažbovo-dopravná technológia

Tento princíp hospodárenia je výrazne spojený s používaním nových technológií predovšetkým GPS a GIS, a tiež DPZ (diaľkový prieskum zeme), podporených multikriteriálnou analýzou. Precízne lesníctvo vďaka detailným znalostiam rozdielnych stanovištných podmienok je schopné pristupovať k zásahom úplne individuálne. Tím môže dôjsť k výraznému zníženiu vstupov a súčasne aj nákladov. Ďalej je možné očakávať výrazne šetrnejší prístup k životnému prostrediu (Tuček et al., 2011).

Charakteristiku precízneho lesníctva môžeme inými slovami, než ako bolo uvedené vyššie, formulovať ako plánovanie a prispôsobovanie činnosti na základe detailných informácií o podmienkach lokality, za účelom zvyšovania kvality dreva, zníženia škodlivých vplyvov a zvýšenia ziskovosti z lesnej pôdy, pri trvalo udržateľnom hospodárení v lese. V prevádzkovej praxi lesného hospodárstva je možné tieto princípy v súčasnej dobe práve najviac využiť v oblasti tzv. plne mechanizovanej (alebo harvesterovej) ťažby dreva, realizovanej pomocou harvesterových uzlov (kombinácia harvester a forwarder).

HARVESTEROVÉ TECHNOLOGIE

Tieto tzv. harvesterové technológie lesnej ťažby dosiahli takú technickú a organizačnú úroveň, že umožňujú

1. Využiť plánovaný ťažbový zásah s priamym využitím (digitálnych) mapových podkladov,
2. Realizovať ťažbový zásah s priamym využitím (digitálnych) mapových podkladov,
3. Realizáciu pestovných opatrení so zameraním sa na lokalitu a strom,
4. Optimalizovať sortimentáciu dreva, prispôbovať riadiaci softvér konkrétnemu porastu, ukladať a spracovávať dáta, odosielať dáta on-line, využívať dáta pre svoju činnosť,
5. Hardvérové a softvérové systémy umožňujú užívateľovi prehliadať podrobnosti o stroji alebo získať zo stroja údaje o jeho pohybe či ich do nich zasielať. Podrobné informácie sú k dispozícii napr. o tom, ako bol stroj používaný v danom mesiaci, aká bola jeho celková a priemerná spotreba paliva v prepočte na 1 m³ vytáženého dreva a pod.,
6. Uskutočniť vysoko vyvinuté technológie a metódy ťažby, šetrné k prostrediu a bezpečné pre človeka, s presnou evidenciou sortimentácie a transportu dendromasy.

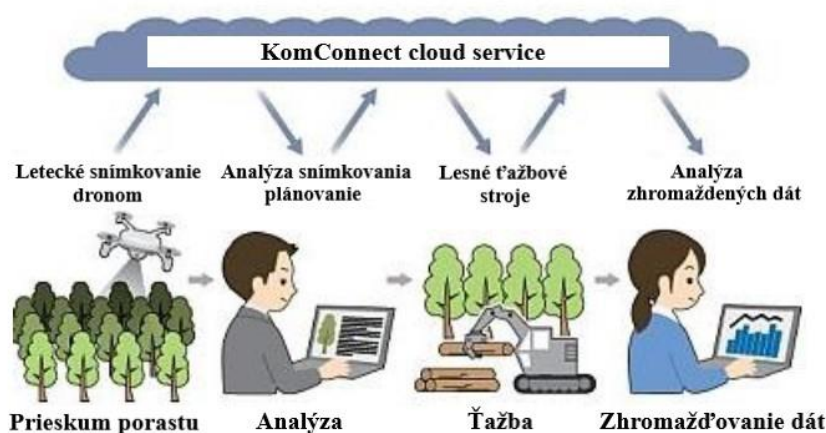
Harvester i forwarder sú vybavené sústavou snímačov a záznamových uzlov, ktoré snímajú a registrujú veľkostné parametre spracovávaného dreva, objem a štruktúru, ako aj polohu stroja, stav jednotlivých komponentov stroja, spotrebu pohonných hmôt, čas práce a pod. Potrebné dáta môžu byť on-line odovzdávané prostredníctvom internetu alebo mobilného telefónu, napr. do ústredia firmy, kde dôjde k ich ďalšiemu spracovaniu. Obdobným spôsobom môžu tieto dáta využiť, popri prípade získať aj iné stroje, napr. forwardéry. Systém hardvérovej telematiky sa skladá z jednotky pre spracovanie dát a komunikačnej jednotky

1. Ovládač modulárnej telematickej brány (MTG),
2. Satelitný modul,
3. Satelitná anténa,
4. Nízko profilová anténa MTG,
5. GPS anténa.

Okrem už uvedeného systému telematiky poskytujú moderné ťažbovo-dopravné stroje možnosť vykonávať počiatočnú diagnostiku, kontrolovať diagnostické chybové kódy alebo preprogramovať zbernice a ovládače stroja, ktorý je vzdialený mnoho kilometrov od centrály v teréne. Diaľková diagnostika pomáha pri príprave na servisný zásah u majiteľa stroja a znižuje náklady a čas potrebný pre odstránenie poruchy. Systém umožňuje merať a registrovať spotrebu paliva na každú operáciu samostatne. Potom je možné identifikovať problematické operácie, ktoré daný operátor zvláda napr. horšie ako iné.

Príkladom takejto vyspelej technológie v procese lesnej ťažby je aj systém firmy Komatsu prezentujúci víziu využitia dronov, komunikačných technológií a cloudových služieb na zlepšenie efektivity zberu informácií z ťažbovo-dopravných strojov (obr.2).

Úspešná implementácia autonómnych zariadení v lesníctve závisí od ich produktivity a prevádzkových nákladov. Vzhľadom na to, že pracovná sila zvyčajne predstavuje približne 30 % prevádzkových nákladov (Hellström, 2009), autonómny mechanizmus môže byť menej produktívny, no stále môže byť nákladovo efektívnejší. Je však potrebné zvážiť aj ďalšie faktory. Štúdia McEwana (2017) zdôraznila zohľadnenie dodatočných faktorov týkajúcich sa zdravia a bezpečnosti práce, životného prostredia, kvality práce ale aj sociálnych aspektov. Aj keď sú moderné ťažbovo-dopravné stroje dobre navrhnuté s ohľadom na ergonómiu, ukázali sa postupne iné zdravotné riziká pri práci s týmito technológiami (Nicholls et al., 2004). Napríklad od operátorov harvesterov pri prebierke sa vyžaduje, aby vykonali približne 4 000 riadiacich operácií za hodinu, čo môže rýchlo viesť k únave. Vyšší stupeň autonómie ťažbovo-dopravných strojov by mohol tieto typy rizík znížiť.



Obrázok 2 Vízia využitia dronov, komunikačných technológií a cloudových služieb na zlepšenie efektivity získavania informácií z lesníckych ťažbovo-dopravných strojov podľa firmy Komatsu

AUTONÓMNE ŤAŽBOVO-DOPRAVNÉ STROJE

Vývoj lesníckych ťažbovo-dopravných strojov logicky smeruje k vývoju autonómnych mechanizmov. To si do budúcnosti bude vyžadovať predovšetkým vytvorenie veľmi vyspelého softvérového prostredia pre riadenie týchto technológií. Treba však poznamenať, že aj autonómne systémy si budú vyžadovať schopnosť diaľkového ovládania operátorom a to najmä vtedy, keď si softvér nebude istý rozhodnutím. Môže to byť predmet, ktorý nedokáže identifikovať na svojej zvolenej ceste, neistota v súvislosti s kmeňom a jeho správnou sortimentáciou alebo jednoducho kmeň, ktorý spadne z manipulačného zariadenia stroja a bráni mu v pohybe. Úlohy, ktoré je ťažké plne automatizovať, môžu vyžadovať určitý dohľad opísaný ako „poloautonómne“ alebo „nepretržité asistenčné systémy“ (Vachálek & Takács, 2014). Operátor efektívne preberá úlohy pomocou diaľkového ovládania, aby prekonal ťažkosti.

Zber poľnohospodárskych plodín sa zvyčajne uskutočňuje na relatívne rovnej pôde bez prekážok, čo je jednoznačne výhodné pre automatizáciu. Lesné prostredie sa často vyznačuje zložitými cestami so zvyškami ťažby na povrchu pôdy a veľmi premenlivými charakteristikami terénu. Úloha presunu vyrobených sortimentov dreva z miesta ťažby na odvozné miesto vyžaduje informácie o polohe stroja v reálnom čase, schopnosť identifikovať a vyzdvihnúť materiál a súradnice pre nakladanie v lese a vykladanie na odvoznom mieste, detekciu a vyhýbanie sa prekážkam. Skupina výskumníkov vo Švédsku vyvinula a otestovala schopnosť autonómneho mechanizmu (forwardera) v lese sledovať vytýčenú trasu (Ringdahl et al., 2011 – obr.3). Pomocou laserového skenera dokáže stroj identifikovať lesnú trasu alebo približovaciu linku. Ďalším krokom vo vývoji autonómneho forwardera je detekcia vyrobených sortimentov dreva na zemi určených pre prepravu.

Určitým krokom k ďalšiemu rozvoju autonómneho riadenia ťažbovo-dopravných strojov je použitie dronov k ich navigácii v lesnom teréne. Dron s názvom „pushbroom stereo“ vyvinutý výskumníkmi z laboratória počítačovej vedy a umelej inteligencie MIT (CSAIL) je schopný lietať rýchlosťou 50 km.h⁻¹ a je schopný vyhnuť sa prekážkam pomocou systému detekcie prekážok. Softvér vyvinutý výskumníkmi umožňuje dronu detekovať objekty a zostaviť úplnú mapu svojho okolia v reálnom čase.

Skupina švajčiarskych výskumníkov z univerzity v Zürichu a NCCR Robotics tiež vyvinula technológiu, ktorá umožňuje dronu autonómne navigovať lesnícke mechanizmy pred tým „nevidenou lesnou cestou“ pomocou snímok z jej palubných kamier. Zatiaľ ide len o testovaciu fázu týchto systémov, ale už dnes vieme povedať že, ide o dôležitý technologický pokrok, ktorý možno nasadiť v autonómnych lesných strojoch na efektívnu navigáciu v zložitom lesnom teréne.



Obrázok 3 Forwarder Valmet 830 testovaný na autonómnú detekciu lesných ciest

Aby sa autonómne harvestory v lesníckej praxi stali realitou, musia byť schopné identifikovať jednotlivé stromy. Oregonská štátna univerzita, podporovaná USDA Forest Service vyvíja systém videnia na identifikáciu stromov. Stereo kamerové systémy namontované na harvestore detekujú a merajú stromy v reálnom čase s presnosťou laserového vyhľadávača. Prvou aplikáciou tejto technológie je selekcia stromu v reálnom čase a mapovanie kmeňov počas operácií prebierky. Táto technológia je v súčasnosti určená na označovanie stromov pred ťažbou a kontroly po ťažbe, ale v konečnom dôsledku môže poskytnúť „oči“ ťažobným strojom, ktoré im umožnia byť úplne autonómne v zmysle myslenia, kontroly a pohybu (Westerberg & Shiriaev, 2013).

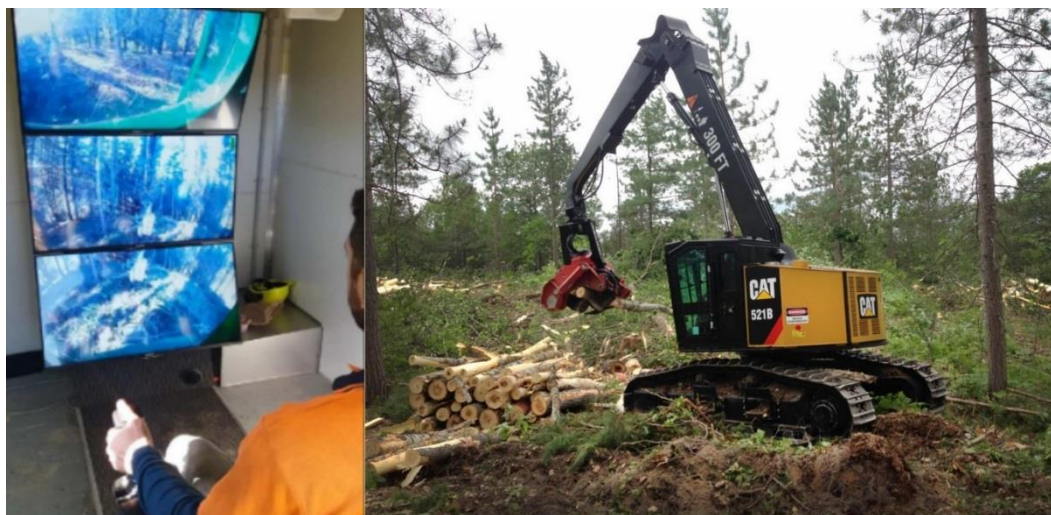
DIAĽKOVÉ OVLÁDANÉ ŤAŽBOVO-DOPRAVNÉ STROJE

Diaľkové ovládanie ťažbovo-dopravných strojov má tú nevýhodu, že je vždy ťažšie realizovateľné a menej efektívne z pohľadu produktivity práce než manuálne ovládanie daného mechanizmu. Je však v určitých činnostiach nevyhnutné ako napr.

1. Vykonávaná technologická činnosť je pre operátora nebezpečná a preto nie je vhodné aby sa zdržiaval v kabíne operátora,
2. Od mechanizačného prostriedku sa nevyžaduje nepretržitá prevádzka,
3. Operátor musí vykonávať pracovnú činnosť mimo stroj a pritom využíva jeho jednotlivé mechanizmy.

Aj keď sa s diaľkovo ovládanými strojmi dá manévrovať aj po zväznici a sú propagované ako rýchlejšie a bezpečnejšie, nie sú v literatúre dostupné žiadne informácie o tom, že prevádzka výhradne ako diaľkové ovládanie lesníckych mechanizmov je životaschopnejšou alternatívou k ovládaniu priamo z kabíny stroja.

Spoločnosť Applied Research Associates vyvinula technológiu diaľkového ovládania relevantnú pre automatizáciu lesníckych operácií s názvom Modular Robotic Appliqué Kit (M-RAK). Operátorská riadiaca jednotka M-RAK poskytuje video z prevádzky aj okolitého prostredia v rozsahu cca 2,4 km. Aplikáciou M-RAK v oblasti lesníctva je diaľkovo ovládaný ťažobný (spilovací) stroj Caterpillar 521B používaný v armádnom areáli Fort Bragg v USA na odpratávanie dreva na strelniciach bez toho, aby boli pracovníci ohrození nevybuchnutou muníciou (obr.4).



Obrázok 4 Diaľkovo riadený spilovací stroj Caterpillar 521B

Dodatočné vybavenie existujúceho stroja diaľkovým ovládaním prirodzene zvyšuje náklady. Pri strojoch, ktoré je skutočne potrebné ovládať iba na diaľku, je možné dosiahnuť značných úspor navrhovaním diaľkového ovládania pre vybrané pracovné zariadenia tohto stroja a vyhnúť sa tak úplnému diaľkovému ovládaniu všetkých funkcií stroja. Lesnícky ťažbovo-dopravný stroj s diaľkovým ovládaním všetkých pripojených riadiacich systémov zvyčajne zvýši náklady na jeho prestavbu približne o 100 000 až 150 000 amerických dolárov (Visser, 2017).

ZÁVER

Ako najväčší problém autonómneho riadenia lesníckych ťažbovo-dopravných strojov sa ukazuje autonómne riadenie hydraulických manipulačných zariadení pre nakladanie a skladanie dreva a z neho vyrobených sortimentov. Ukazuje sa, že riešenie tohto problému nie je triviálne a bude si vyžadovať vývoj relatívne vyspelého riadiaceho softvéru.

Ďalším problémom s ktorým je potrebné sa vysporiadať do budúcnosti je otázka šírenia sa riadiaceho a komunikačného signálu v lesnom prostredí ako aj otázka efektívneho navádzania lesníckych mechanizačných prostriedkov v tomto prostredí. Lesné porasty ovplyvňujú šírenie týchto signálov jednak tým, že stromy vytvárajú prekážku pre príjem signálu a jednak tým, že tieto objekty spôsobujú tzv. viaccestné šírenie signálu. V riešení tohto problému sa ukazuje efektívne nasadenie dronov umožňujúcich jednak mapovanie lesného terénu ako aj vynesenie komunikačných antén nad lesný porast čo má za následok zlepšenie šírenia riadiacich, navigačných a komunikačných signálov pre efektívne ovládanie lesníckych ťažbovo-dopravných strojov.

Predpoklady a očakávania pre uplatnenie všetkých zásad a očakávaní precízneho lesníctva nie sú súčasnými možnosťami techniky naplnené. Preto je možné očakávať ďalší pokrok vychádzajúci z vedecko-výskumných aktivít producentov týchto strojov najmä na úsekoch konštrukcií samotných strojov, vzťahu človek – stroj, vzťahu stroj – strom prípadne vzťahu stroj – terén a ďalšieho rozvoja telekomunikačných systémov.

References:

1. HELLSTRÖM, T., LÄRKERYD, P., NORDFJELL, T., RINGDAHL, O. 2009. *Autonomous Forest Vehicles: Historic, envisioned, and state-of-the-art*. In: International Journal of Forest Engineering, Vol. 20, 2009, No.1, pp. 31-38. ISSN 1913-2220
2. <https://doi.org/10.1080/14942119.2009.10702573>
3. LUKÁČ, T. 2005. *Viacoperačné stroje v lesnom hospodárstve*. Vedecká monografia. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2005. 137s. ISBN 80-228-1348-6
4. McEWAN, A. 2017. *Forecasting the technology drivers of harvesting systems for fast growing Eucalyptus and Acacia plantation forestry*. PhD thesis, University of Florence, Italy, 2017, 160p.
5. NERUDA, J. et al. 2013. *Technika a technologie v lesnictví. Časť 2*. Brno: MZLU Brno, 2013, 300s. ISBN 978-80-7375-840-0
6. NICHOLLS, A., BREN, L., HUMPHREYS, N. 2004. *Harvester Productivity and Operator Fatigue: Working Extended Hours*. In: International Journal of Forest Engineering, Vol. 15, 2004, No.2, pp. 57-65. ISSN 1913-2220 <https://doi.org/10.1080/14942119.2004.10702497>
7. RATAJ, V. et al. 2014. *Presné poľnohospodárstvo. Systém – Stroje – Skúsenosti*. Praha: Profi Press, 2014, 160s. ISBN 978-80-86726-64-9
8. RINGDAHL, O., LINDROOS, O., HELLSTRÖM, T., BERGSTRÖM, D., ATHANASSIADIS, D., NORDFJELL, T. 2011. *Path tracking in forest terrain by an autonomous forwarder*. In: Scandinavian Journal of Forest Research, Vol. 26, 2011, No.4, pp.350-359. ISSN 1651-1891
9. <https://doi.org/10.1080/02827581.2011.566889>
10. SUCHOMEL, J., BELANOVÁ, K., VLČKOVÁ, M., IVAN, Ľ. 2008. *Analýza pracovných úrazov v lesoch SR, š.p.* Vedecká monografia. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2008. 136s.
11. ISBN 978-80-228-1979-4
12. TUČEK, J. et al. 2011. *Geoinformatika a geoinformačné technológie v precíznom lesníctve*. Vedecká monografia. Zvolen: Vydavateľstvo TU, 2011, 166s. ISBN 978-80-228-2345-6
13. VACHÁLEK, J., TAKÁCS, G. 2014. *Robotika*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2014, 166s. ISBN 978-80-227-4163-7
14. VISSER, R. 2017. *Next generation timber harvesting systems: Opportunities for remote controlled and autonomous machinery*. In: Final report received by FWPA in November 2017, 34s.
15. ISBN 978-1-925213-78-2
16. WESTERBERG, S., SHIRIAEV, A. 2013. *Virtual Environment-Based Teleoperation of Forestry Machines: Designing Future Interaction Methods*. In: Journal of Human-Robot Interaction, Vol.2, 2013, No.3, pp.84-110. ISSN 2163-0364 <https://doi.org/10.5898/JHRI.2.3.Westerberg>

Publikácia vznikla za finančnej podpory projektu Kultúrnej a edukačnej grantovej agentúry MŠVVaŠ SR, KEGA 007 TU Z-4/2023 „Inovácia a edukačná podpora predmetov v oblasti technickej diagnostiky poľnohospodárskej a lesníckej techniky s orientáciou na prax“.

Kontaktná adresa:

Ing. PhD., Milan Helexa

Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta techniky, Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Študentská 26, 960 01 Zvolen, Slovenská republika, e-mail: milan.helexa@tuzvo.sk

ZHODNOTENIE KVALITY PRÁCE ZOSTAVY ÚSPORNEJ TECHNOLOGIE ZÁVLAHY

JÁN JOBBÁGY, MARTIN HODÚL, ADAM TKÁČ, MICHAL ANGELOVIČ

Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, SPU v Nitre

Abstract: In the present work we aimed to evaluate the quality of the selected saving irrigation technology. Between saving technologies we include microsprayer, drip irrigation and a point irrigation. The measurements we have focused at Mr. Kiripolsky who manages to land with an area of 7 ha. The main cultivated crop was cabbage, where in addition it is engaged in the cultivation other brassica vegetables such as cauliflower, broccoli, kale, and besides that also growing melons. Drip irrigation in these field conditions consisted of pump, pipes, valves, filters and dripping tube which were divided into 5 sections (We measured flow rate to 50 pieces drippers). Gravity method of irrigation (1,2 m elevation, without pump) we achieved flow rates of $0,79 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ with the value of the quality of work from 90,22 to 91,43% (by section), which represents a value above 90% and meets the standards required value. In evaluating the quality of work and the average flow rate with the pump involved, we achieved an increase in average flow dripping up to five times (values by section ranging from 4,00 to $4,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$). The coefficient of dripping uniformity Cu reached values ranging from 91,03 to 93,25 %. Overall, we can say that drip irrigation is saving technology and by us measured results meet the required quality of work.

Keywords: saving irrigation technology, drip irrigation, coefficient Cu

ÚVOD

Historicky možno povedať, že zavlažovanie siaha až do roku 6000 pred naším letopočtom (Historia, 2011). V podmienkach SR sa okrem klasickej závlahy postrekom uplatňujú aj iné spôsoby zavlažovania a to z dôvodu deficitu kvalitnej vody, ktorá je potrebná na zavlažovanie. V tomto storočí by sa malo na závlahách ušetriť približne 20% spotreby vody. Je to možné realizovať technológiami zavlažovania, ktoré sú úsporné, ako sú napríklad mikrozavlažovače (kvapková závlaha, mikropostrek) (Simoník, Ružička, Jobbágy, 2009). Rastliny je vhodné zavlažovať v ranných hodinách, kedy je pôda ešte chladná, prípadne večer. Je to kvôli tomu, aby rastliny neutrpeľ tepelný šok, voda sa pri nižších teplotách odparuje pomalšie a lepšie vsiakne do zeme. Pri rannom zavlažovaní sa môžu rastliny kropiť aj na listy, ale večer je vhodné ich zavlažovať priamo ku koreňom. Zabráni sa tak šíreniu hubových ochorení (závlaha 02, 2016). Úsporná technológia závlahy je spôsob zavlažovania, pri ktorom sa voda aplikuje výtokom alebo kvapkaním v prízemných vrstvách pôdy. Voda je aplikovaná v malých množstvách počas dlhších časových intervaloch (Mikrozávlaha, 2015).

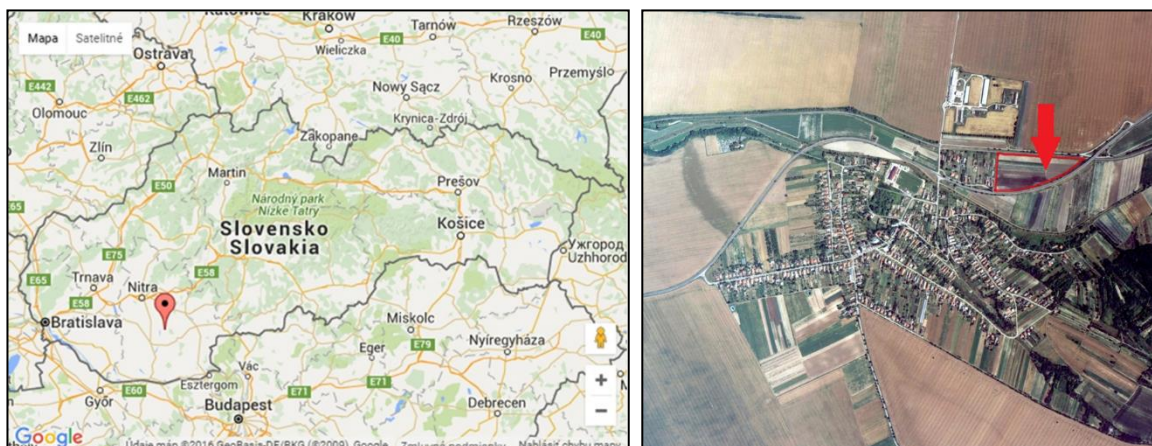
Cieľom predkladaného príspevku bolo zhodnotiť kvalitu práce vybranej úspornej technológie závlah. V našom prípade sa jednalo o zostavu pozostávajúcu z kvapkovej závlahy.

MATERIÁL a METÓDY

Charakteristika záujmovej oblasti

V predkladanom príspevku sme sa rozhodli zhodnotiť kvalitu práce vybranej úspornej technológie závlah u vybraného samostatne hospodáriaceho roľníka. Pán Kiripolský hospodári na výmere 7 ha v katastrálnom území obce Radava. Obec Radava sa nachádza na juhozápadnom Slovensku na území Nitrianskeho kraja a patrí okresu Nové Zámky. Obec sa rozkladá na menších vrškoch a rovinách a leží 10 kilometrov od mesta Šurany (Radava: $48^{\circ}05'39''\text{S}$ $18^{\circ}18'07''\text{V}$). Radava leží v nadmorskej výške 145 m.n. m., s počtom obyvateľov 778. V obci Radava je vo veľkej miere rozvinuté poľnohospodárstvo. Dá sa najmä vinohradníctvu, pestovaniu zeleniny a rôzneho druhu ovocia. Poľnohospodár je zameraný najmä na pestovanie karfiolu, kapusty, brokolice, kalerábu a melónov. Na zavlažovanie používa klasickú závlahovú techniku postrekom a úspornú technológiu závlahy, konkrétne kvapkovú závlahu. Pestovaniu zeleniny a jej následnému predaju sa venuje už približne 15 rokov. Pozemky sú rozdelené na menšie parcely, pričom pod závlahou je

väčšina z nich. Merania sme absolvovali na ploche s rozlohou 0,152 ha. Zaujímavé územie je znázornené na obr. 1.



Obrázok 1 Zameraná lokalita (Google maps, 2016)

Charakteristika úspornej závlahovej sústavy

Úsporná technológia závlahy bola v našom prípade tvorená kvapkovými hadicami, nádržou, filtrom, ventilmi a čerpadlom. Zavlažovanou plodinou boli melóny vodné. Najkritickejším obdobím vegetačného obdobia vybranej plodiny sú mesiace júl a august. Zasadou u vybraného podniku je, že nikdy sa nezavlažujú počas horúcich dní. Ideálnym časovým horizontom sú ranné, alebo večerné hodiny. Celková vlhková potreba predstavuje počas vegetácie u melónov 400 až 500 mm. Hlavným zdrojom vody pre kvapkovú závlahu bola studňa (obr. 2). Z nej sa voda prečerpáva do sekundárneho zdroja, ktorý je tvorený kovovou nádržou o objeme 3000 l. Výstup z nádrže tvorí rozvodná hadica s tlakomerom značky *Prema* a čerpadlom značky *Orlando* (typ ST-1311). Parametre čerpadla sú uvedené v tab. 1. V rámci závlahovej sústavy je osadený diskový filter značky *Azud* (obr. 3) a hlavný uzatvárací ventil. Rozostupy medzi sekciami boli 3,8 m, dĺžka jednotlivých vetví bola 100 m. Rozostupy boli prispôbené riadkovaniu pestovanej plodiny. Kvapkovacie hadice ostávajú zakryté pod fóliou počas celého závlahového obdobia. Na jednej vetve bolo umiestnených až 300 kvapkovačov (merania 50 ks).



Obrázok 2 Závlahová sústava, jednotlivé komponenty: S-studňa s čerpadlom, Č1, Č2-čerpadlo, ZN-zberná nádrž, HV-hlavný ventil, F-filter, V-ventily vetiev, K-kvapkovače, I až V – sekcie

Tabuľka 1 Technické parametre čerpadla Orlando ST-1311

Parameter	Hodnoty
Prietok, m ³ .h ⁻¹	2,5
Príkon, kW	0,75
Otáčky, min ⁻¹	2900
Max. výtlak, m	72
Max. ponor, m	150

**Obrázok 3** Závlahová sústava, ostatné komponenty – diskový filter Azud, ventil sekcie, detail hadice*Hodnotenie kvality prác závlahovej sústavy*

Vzhľadom nato, že závlahová sústava pozostávala aj zo sekundárnej nádrže, v ktorej bolo umiestnené čerpadlo a nádrž bola umiestnená s prevýšením 1,2 m nad terénom, mohli sme merania uskutočniť pri dvoch možných variantoch:

- Merania sme uskutočnili pri zapnutom čerpadle, ktoré bolo umiestnené v sekundárnej nádrži.
- Merania sme vykonali bez aplikácie čerpadla, využili sme len prevýšenie nádrže (1,2 m).

Najviac rozšírená je metóda hodnotenia rovnomernosti postreku koeficientom rovnomernosti Cu podľa Christiansena. Hodnotenie závlahy podľa tejto metódy podmieňuje aj norma STN ISO 7749-2 (Látečka, 1999; Látečka, 2000; Jobbágy, 2011). Výpočet sa uskutočňuje podľa nasledovného vzťahu:

$$Cu = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=m}^n |q_i - \bar{q}|}{n \cdot \bar{q}} \right], \quad \% \quad (1)$$

kde:

$\bar{q}_i$ - dávka vody na elementárnych plochách, mm

$\bar{q}$ - priemerná dávka vody, mm

n - počet rovnako veľkých elementárnych plôch, na ktoré sa zavlažovaná plocha rozdelí, pričom plochy musia byť rovnako veľké, ks,

$\sum_{i=m}^n |q_i - \bar{q}|$ - absolútna suma odchýliek od priemernej dávky.

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Zhodnotenie kvality práce zostavy úspornej technológie závlahy sme uskutočnili na pozemkoch spadajúcich pod samostatne hospodáriaceho roľníka. Ak sme uviedli, na pozemkoch je teda vybudovaná závlahová sústava, pozostávajúca z kvapkovej závlahy, ktorá je rozdelená do piatich sekcií. Výhodou uvedenej zostavy pre zavlažovanie prevažne zeleniny je, že každú sekciu je možné ovládať nezávisle (na začiatku každej z nich sa nachádza uzatvárací ventil). Celková dĺžka sekcií bola približne 100 m s počtom kvapkovačov 300. Rozstupy boli prispôbené riadkovaniu pestovanej plodiny. Ako sa uviedlo v metodike, merania sa realizovali nielen pri zapnutom čerpadle, ale aj bez jeho aplikácie (gravitačným spôsobom).

a) Kvalita práce – pripojené čerpadlo

Merania sme uskutočnili počas 1 h prevádzky kvapkovej závlahy, pod tlakom 0,4 MPa. Grafické zhodnotenie výsledkov pre jednotlivé sekcie je uvedené na obr.4. Z popisnej štatistiky vyplýva, že priemerná hodnota prietoku bola u prvej sekcie najvyššia a to $4,33 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. V rámci jednej sekcie sme testovali 50 kvapkovačov. Maximálna hodnota prietoku dosiahla $5,16 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota bola $3,6 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (sekcia I). Variačný koeficient bol niečo cez 10 %, čo možno považovať za výbornú rovnomernosť. Rovnomernosť u závlahovej techniky hodnotená koeficientom rovnomernosti postreku podľa Chriastiansena. dosiahla u prvej sekcie $C_u = 91,03 \%$. Z popisnej štatistiky možno vyčítať, že priemerná hodnota prietoku na druhej sekcii bola $4,00 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Maximálna hodnota prietoku dosiahla $4,56 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota bola $3,60 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Variačný koeficient dosiahol necelých 8 %, z čoho vyplýva lepšia rovnomernosť, ako pri prvej sekcii. Hodnota koeficientu rovnomernosti pri druhej sekcii závlahy dosiahla 93,25 %. Priemerná hodnota prietoku na tretej sekcii dosiahla $4,11 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Maximálna hodnota prietoku bola $4,92 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota dosiahla $3,48 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Variačný koeficient dosiahol hodnotu 8,36 %. Túto hodnotu možno považovať za veľmi dobrú, pretože bola vyššia oproti druhej len o 0,46 %. Hodnota koeficientu rovnomernosti postreku C_u na tretej sekcii závlahy dosiahla 93,13 %. U štvrtej sekcii dosiahla priemerná hodnota prietoku $4,17 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Maximálna hodnota prietoku dosiahla $5,16 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota bola $3,60 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Variačný koeficient dosiahol niečo cez 8,5 %. Hodnota koeficientu rovnomernosti kvapkovania C_U u štvrtej sekcii závlahy dosiahla 92,98 %. Z popisnej štatistiky možno vyčítať, že priemerná hodnota prietoku na piatej sekcii bola $4,10 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Maximálna hodnota prietoku dosiahla $4,92 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota bola $3,48 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Variačný koeficient dosiahol necelých 8,5 %. Hodnota koeficientu rovnomernosti kvapkovania C_U v piatej sekcii dosiahla 92,74%.

Tabuľka 2 Popisná štatistika, sekcia I až V, prevádzka s čerpadlom

Parameter	Sekcie				
	I	II	III	IV	V
Priemerná hodnota, $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	4,33	4,00	4,11	4,17	4,10
Medián, $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	4,32	3,96	4,08	4,08	4,14
Modus, $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	4,80	3,72	3,72	3,84	3,84
Smerodajná odchýlka, $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	0,45	0,32	0,34	0,36	0,35
Špicatosť,	-1,22	-1,05	-0,56	-0,01	-0,75
Šikmosť,	0,02	0,46	0,35	0,69	0,33
Minimum, $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	3,60	3,60	3,48	3,60	3,48
Maximum, $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	5,16	4,56	4,92	5,16	4,92
Súčet, $\text{dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	216,30	200,10	205,68	208,68	204,96
Počet, ks	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
Variačný koeficient, %	10,32	7,90	8,36	8,62	8,48
C_u , %	91,03	93,25	93,13	92,98	92,74

b) Kvalita práce – pripojené čerpadlo

Grafické zhodnotenie výsledkov pre jednotlivé sekcie bez aplikácie čerpadla je uvedené na obr. 5. Z popisnej štatistiky vyplýva, že priemerná hodnota prietoku na prvej sekcii bola $0,79 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Počet testovaných kvapkovačov na prvej sekcii bol ako pri ostatných meraniach 50 ks. Maximálna hodnota prietoku dosiahla $0,97 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota bola $0,53 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Variačný koeficient dosiahol 11,29 %, z čoho vyplýva výborná rovnomernosť. Hodnota koeficientu rovnomernosti postreku C_u na prvej sekcii dosiahla 90,81 %. Priemerná hodnota prietoku kvapkovačov na druhej sekcii bola $0,79 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Maximálna hodnota prietoku dosiahla $0,95 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota bola $0,56 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Variačný koeficient dosiahol niečo cez 10,5 %. Hodnota koeficientu rovnomernosti postreku C_u u druhej sekcii dosiahla 91,43 %. Priemerná hodnota prietoku na tretej sekcii bola $0,80 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Maximálna hodnota prietoku dosiahla $0,97 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota bola $0,54 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Variačný koeficient dosiahol niečo cez 12 %. Hodnota koeficientu rovnomernosti postreku C_u pri tretej sekcii závlahy dosiahla 90,22 %. Priemerná hodnota prietoku na štvrtej sekcii bola $0,79 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Maximálna hodnota prietoku dosiahla $0,98 \text{ dm}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a minimálna hodnota bola

0,55 dm³.h⁻¹. Variačný koeficient dosiahol necelých 11,5 %. Hodnota koeficientu rovnomernosti postreku Cu na štvrtej sekcii závlahy dosiahla 90,81 %. Priemerná hodnota prietoku na piatej skúmanej sekcii dosiahla 0,79 dm³.h⁻¹. Maximálna hodnota prietoku dosiahla 0,95 dm³.h⁻¹ a minimálna hodnota bola 0,54 dm³.h⁻¹. Variačný koeficient dosiahol necelých 11 %, z čoho vyplýva výborná rovnomernosť. Hodnota koeficientu rovnomernosti postreku CU v piatej sekcii závlahy dosiahla 90,99 %.

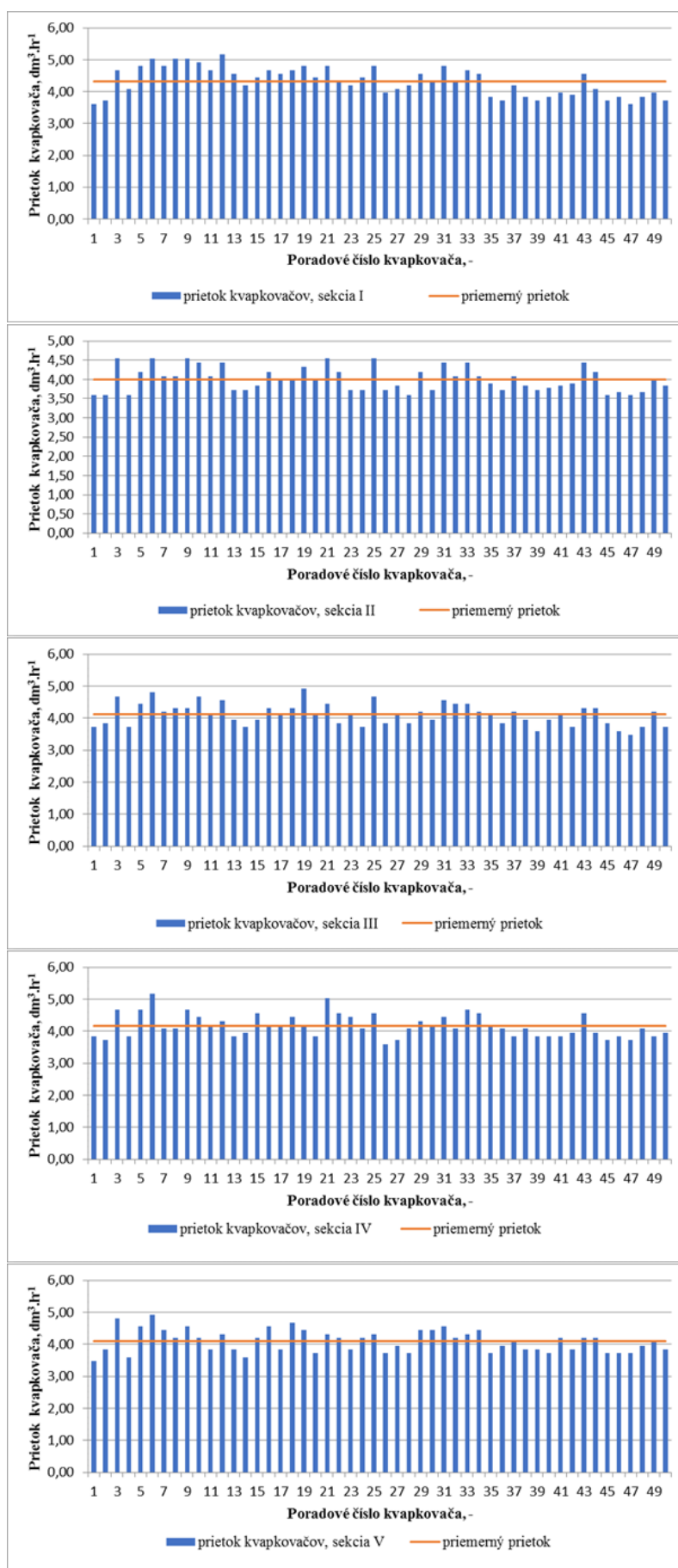
Tabuľka 2 Popisná štatistika, sekcia I až V, prevádzka bez čerpadla

Parameter	Sekcie				
	I	II	III	IV	V
<i>Priemerná hodnota, dm³.h⁻¹</i>	0,79	0,79	0,80	0,79	0,79
<i>Medián, dm³.h⁻¹</i>	0,80	0,80	0,82	0,79	0,80
<i>Modus, dm³.h⁻¹</i>	0,77	0,76	0,82	0,84	0,85
<i>Smerodajná odchýlka, dm³.h⁻¹</i>	0,09	0,08	0,10	0,09	0,09
<i>Špicatosť,</i>	0,24	0,08	-0,08	0,03	0,10
<i>Šikmosť,</i>	-0,44	-0,43	-0,39	-0,32	-0,39
<i>Minimum, dm³.h⁻¹</i>	0,53	0,56	0,54	0,55	0,54
<i>Maximum, dm³.h⁻¹</i>	0,97	0,95	0,97	0,98	0,95
<i>Súčet, dm³.h⁻¹</i>	39,70	39,72	39,89	39,74	39,65
<i>Počet, ks</i>	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00
<i>Variačný koeficient, %</i>	11,29	10,55	12,06	11,41	10,89
<i>Cu, %</i>	90,81	91,43	90,22	90,81	90,99

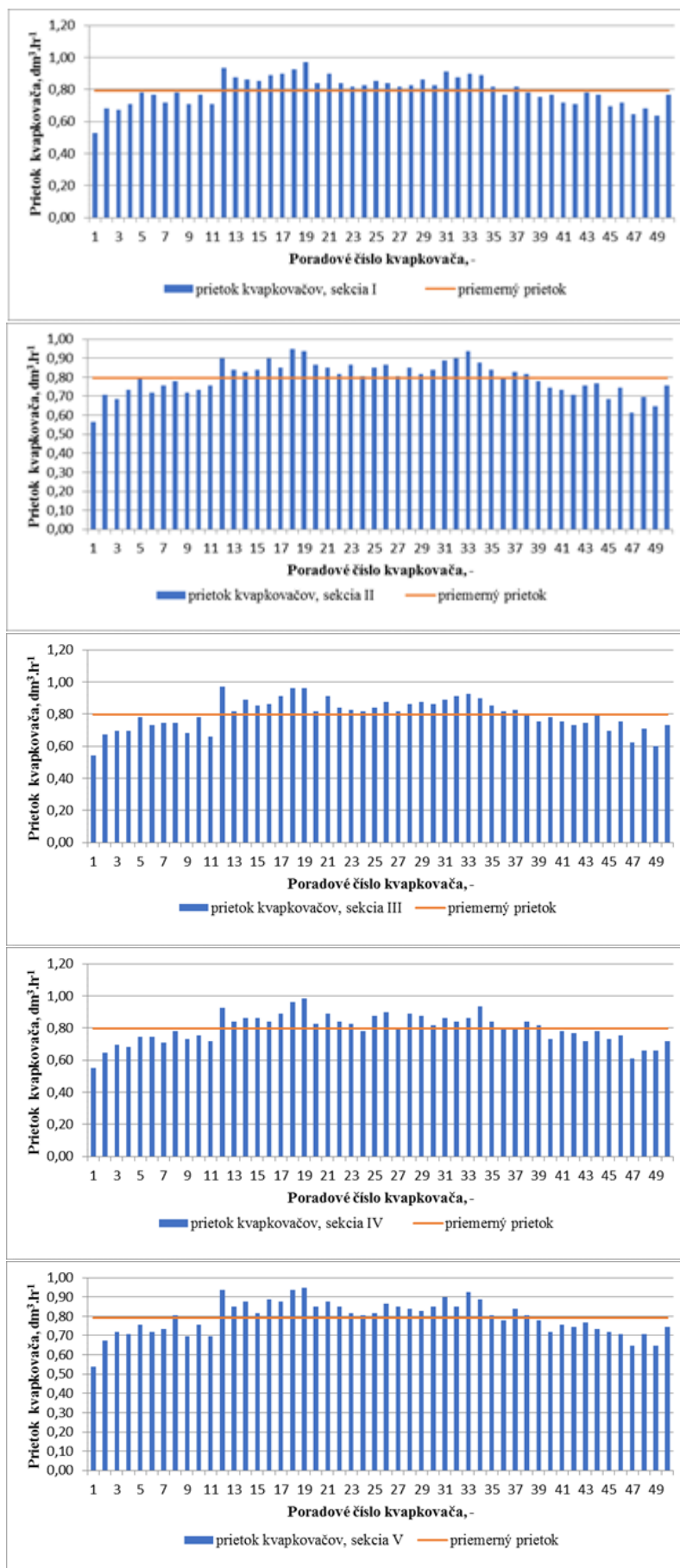
Zhodnotenie výsledkov

Koeficient rovnomernosti postreku Cu dosiahol v oboch prípadoch, teda pri meraní so zapnutým čerpadlom, a aj pri meraní bez aplikácie čerpadla, na všetkých sekciách hodnoty nad 90 %, čo možno považovať za vyhovujúcu kvalitu práce úspornej technológie závlahy. Celkovo možno povedať, že na sekcii 1 pri meraní s aplikovaným čerpadlom a aj bez čerpadla, boli najväčšie percentuálne rozdiely medzi maximálnymi a minimálnymi hodnotami prietokov. Zároveň možno zhodnotiť, že najmenšie percentuálne rozdiely medzi maximálnymi a minimálnymi hodnotami prietokov pri meraní s aplikovaným čerpadlom a aj bez neho prezentovala sekcia 2. V prípade, že by koeficient rovnomernosti Cu vyšiel s hodnotami pod 90%, bolo by potrebné zrealizovať určité zmeny na vstupoch a následne znovu zhodnotiť kvalitu práce zostavy úspornej technológie závlahy.

Pretože sa zavlažovanie praktizuje predovšetkým v južnej Európe, je v drvinej väčšine spojené s veľkým počtom malých podnikov. Často sa stáva, že práve zavlažovanie je rozhodujúce pre životaschopnosť týchto poľnohospodárskych podnikov. Preto by nemal byť podceňovaný sociálno-ekonomický význam zavlažovania v poľnohospodárstve v rámci EÚ. V členských štátoch ako je Bulharsko, Malta a Rumunsko je podiel podnikov v závlahovej oblasti okolo 80%. Na druhej strane najväčšie poľnohospodárske podniky nad 10 ha sú v Dánsku, tvoria 51,6%. (Agri-environmental indicator, 2016). Vo všeobecnosti platí, že zavlažovanie by sa malo aplikovať len tam, kde je nevyhnutne potrebné, či už ide o niektorú z členských krajín EÚ alebo konkrétne o Slovensko. Slovenskí poľnohospodári čerpajú vodu na zavlažovanie z riek a potokov, ktorá by inak z našej krajiny odtiekla. Je dobre známe, že Slovensko bolo ešte pred štvrtstoročím sebestačnou krajinou, čo už v dnešnej dobe neplatí a takýmto opatrením by sa táto situácia mohla ešte zhoršovať. (Zavlaha 01, 2016). Systém kvapkovej závlahy je mimoriadne adaptabilný pre potreby presného zavlažovania. Je však investične najnáročnejší. Veľkosť závlahovej dávky sa rieši dĺžkou doby zavlažovania zavlažovacích vetiev alebo blokov siete kvapkovacieho potrubia (Jobbágy a kol., 2017). Aplikáciou kvapkovej závlahy sa zaoberala nejedna záverečná práca. V jednom prípade išlo o nasadenie pre zavlažovanie zemiakov v podniku SLOV – MART, s. r. o. Merania sa uskutočnili v dvoch sekciách, kde sme po prvom meraní dosiahli rovnomernosť postreku sekcie 1 (Cu 85,11 %) a pri druhej sekcii iba (Cu 62,11 %). Po následnej údržbe systému a závlahových komponentov sme zvýšili hodnotu koeficientu rovnomernosti u oboch sekcií (Jantošková, 2017).



Obrázok 4 Závlahová dávka kvapkovačov, sekcie I až V, s čerpadlom



Obrázok 5 Závlahová dávka kvapkovačov, sekcie I až V, bez čerpadla

ZÁVER

V príspevku sme sa zamerali na zhodnotenia kvality práce zostavy úspornej technológie závlahy. Merania sme absolvovali v obci Radava. Na vybranom pozemku boli pestované melóny vodné. Kvapková závlaha bola rozdelená do piatich vetiev a na každej z nich sme realizovali výskumné práce. Pre zhodnotenie kvality práce sme použili metódu výpočtu rovnomernosti zavlažovania podľa Christiansena. Prínosom bolo potvrdenie nielen normou, ale aj praxou požadovanej kvality práce pre poľnohospodára.

Z nameraných údajov možno vyvodiť záver, že táto kvapková závlaha dostatočne postačuje na zavlažovanie pestovaných melónov. Pre zvýšenie kvality práce kvapkovej závlahy možno navrhnúť dôkladné prečistenie všetkých komponentov závlahy, najmä kvapkovačov a kvapkovacích hadíc, ale aj dôkladné prečistenie závlahovej vody a to ešte pred vstupom do systému.

Literatúra

1. Agri-environmental indicator irrigation. 2017 [online].[cit 2017-03-27]. Dostupné na: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Agri-environmental_indicator_-_irrigation
2. Google maps. [cit. 2016-03-12] Dostupné na: <https://www.google.sk/maps/place/941+47+Radava/@48.5062857,19.063301,8.42z/data=!4m2!3m1!1s0x476b1da64ae57f19:0x400f7d1c696ea30>
3. Historia. [2015] [cit. 2016-05-02] [online] Dostupné na internete: www.irrigationmuseum.org
4. Jantošková, J. 2017. Zhodnotenie rôznych úsporných technológií závlah vo vybranej lokalite. Diplomová práca, SPU, 2017, 73 s.
5. JOBBÁGY, Ján - KRIŠTOF, Koloman - BÁREK, Viliam. 2017. *Meliorácie v poľnohospodárstve : vlastnosti pôdy, odvodňovanie a zavlažovanie*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2017. 253 s. ISBN 978-80-552-1676-8.
6. LÁTEČKA, M. 1999. Rovnomernosť postreku širokozábberových zavlažovačov. In: Hydromeliorácie Slovenska na prahu 21. storočia. Bratislava.: VÚMKI, 1999, s.233-237.
7. LÁTEČKA, M. 2000. Rovnomernosť postreku pri závlahy otáčavými postrekovačmi. In: Monografia. Nitra, 2000. 58 s. ISBN 80-7137-678
8. Mikrozávlaha [online] [cit. 2016-03-18]. Dostupné na:: <http://zavlahyacerpadla.sk/automaticke-zavlahy-a-cerpadla/sposoby-zavlazovania/mikrozavlahy>
9. SIMONÍK, J. – RUŽIČKA, M. - JOBBÁGY, J. 2009. *Stroje pre zemné a závlahové práce*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2009. 202 s. ISBN 978-80-552-0251-8.
10. STN ISO 7749-2. 1999. Poľnohospodárske zavlažovacie zariadenia – Otáčivé postrekovače. 2.časť. rovnomernosť zavlažovania a skúšobná metodika.
11. Závlaha 02.[2011-11-25] [online] [cit. 19-02-2016]. Dostupné na: <https://index.sme.sk/c/6907903/voda-na-zavlazovanie-uz-nemusi-byt-zadarmo.html>

„Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „URANOS - Údajová a vedomostná podpora pre systémy rozhodovania a strategického plánovania v oblasti adaptácie poľnohospodárskej krajiny na klimatické zmeny a minimalizáciu degradácie poľnohospodárskych pôd“ (kód ITMS2014+313011W580), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

Contact address: prof. Ing. Ján Jobbágy, P.hD. Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering, Department of Machines and Production systems, Tr. A. Hlinku 2, Nitra 949 76, Slovak Republic
phone: : + 421 37 641 4796, e-mail: Jan.Jobbagy@uniag.sk

ZHODNOTENIE KVALITY PRÁCE ŠIROKOZÁBEROVÝCH ZAVLAŽOVAČOV FREGAT

JÁN JOBBÁGY¹, MAREK KRAJANEC¹, KOLOMAN KRIŠTOF¹, TATIANA BULLOVÁ²¹Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, TF, SPU v Nitre²Ústav ekonomiky a manažmentu, FEM, SPU v Nitre

Abstract: This article is focused to the issue of modernization of the Fregat pivot irrigation machine. Before proposing improvements for sprinklers, we were supposed to take some measurements to find out how these sprinklers work. Mentioned measurements were taken in agricultural cooperative Chtelnica. For irrigation we used sprinklers of Fregat DMU 362 type with 13 chassis. Measurements of work quality were evaluated according to the norm by the Uniformity Coefficient for spraying (CuH) by Herrmann and Hein. Based on the results we can say that work quality of a whole machine did not achieve the value required by the norm (90%) in any of measurements. The first sprinkler reached the work quality values of 59,77% and 77,08%. The second sprinkler reached better work quality on average, which means 74,07% and 84,74%. It follows that the complete maintenance of irrigation technologies and settings of particular sprays have to be performed to reach the higher work quality. Measured data serve as an accurate basis for the modernization and improvement of sprinklers' work efficiency.

Keywords: irrigation, pivot irrigation machines, modernization

ÚVOD

Celosvetový rozvoj mikrozávlah je datovaný do šesťdesiatych rokov 20. storočia v aridných rozvinutých oblastiach sveta (Izrael, Austrália, USA a Južná Amerika). Dynamický rast pokračuje do súčasnosti. Zabezpečuje ho vysoká kvalita takto dodanej závlahy pri značnej energetickej úspore (Bárek, 2005). Výskumné aktivity v štátnom podniku Hydromeliorácie v rámci riešenia vedeckých projektov boli zamerané na prehlbovanie poznatkov o procesoch, ktoré sa podieľajú na kvantitatívnych a kvalitatívnych zmenách vodného režimu a o pohyboch vody v otvorenom fyzikálnom systéme (Hydromeliorácie, 2016). Vzhľadom na klimatické zmeny, ktoré nás v posledných rokoch zasahujú, musia podporné orgány riešiť zmenu stratégie dotačnej politiky. V podmienkach SR ide o niekoľko podporných schém, ktoré sú dostupné na stránkach ministerstva, alebo Pôdohospodárskej platobnej agentúry (PPA) (Podporné schémy, 2022). Novodobým cieľom je znižovanie spotreby vody, zameraním sa na nové technológie a tým dosiahnuť úspešnejšie pestovanie plodín a to aj v slabších vstupných podmienkach. V súčasnosti platia u nás zaužívané pravidlá a legislatíva, podľa ktorej vodu ako zložku životného prostredia nemožno vlastniť (s vodou a jej vlastníctvom však treba byť opatrný, pretože výsledkom môže byť neudržateľnosť dostupnosti pre všetkých) (Jobbágy, 2023). V prípade pivotových strojov môže byť zdrojom pohonu napr. elektromotor, hydromotor (s olejom) alebo hydromotor s vodou. (Rehák. a kol., 2015).

Závod na výrobu závlahových zariadení FREGAT bol založený v roku 1970 v meste Stavropol' v bývalom ZSSR. Za obdobie svojej existencie až do súčasnosti vyrobili v tomto závode viac ako 3500 ks závlahových zariadení FREGAT rôznych modifikácií. Tieto stroje našli uplatnenie najmä v ZSSR, ale aj v ďalších štátoch: ČSSR, Kuba, Sírnia, NDR. Celkovo inštalované zavlažovače FREGAT pokrývali plochu viac ako 210 000 ha (Agref, 2016).

Kvalita zavlažovania sa posudzuje správnou intenzitou a rovnomernosťou zavlažovania. Intenzita nám vyjadruje množstvo vody v mm dodané zavlažovačom za časovú jednotku. Rovnomernosť zavlažovania vyjadruje rovnomernosť aplikácie závlahovej dávky. Závisí od správnej činnosti zavlažovačov a najmä od

- vhodného výberu otvoru dýzy zavlažovača,
- tlaku vody v prúdnici,
- vhodnej voľby sponu a vzdialenosti susedných stanovišť (Jobbágy a kol., 2017).

Cieľom príspevku bolo posúdiť kvalitu práce modernizovaného širokozáberového zavlažovača Fregat.

MATERIÁL a METÓDY

Charakteristika záujmovej oblasti

Zamerané pozemky spadajú pod poľnohospodárske družstvo PD Chtelnica. Predmetom činnosti družstva je poľnohospodárska výroba, výroba a predaj poľnohospodárskych výrobkov, požičiavanie strojov a poľnohospodárske práce a iná poľnohospodárska činnosť. Poľnohospodárske družstvo bolo založené na ustanovujúcej členskej schôdzi konanej dňa 14.3.1991 (Výpis z obchodného registra, 2016). Základným bohatstvom každého poľnohospodárskeho podniku je pôda. Spoľahlivým meradlom kvality bývajú technické plodiny, pretože sú spravidla najnáročnejšie na pestovanie. Hektárová úroda cukrovej repy na úrovni 100 t je snom pestovateľov. V PD Chtelnica pokorili túto hranicu v roku 2014, a to pri 16 % cukornatosti buliev. Dlhodobé dobré výsledky, a nielen v pestovaní cukrovej repy, ale aj obilnín, kde napríklad pšenica dáva štandardne 7 t.ha⁻¹ a v dobrých ročníkoch aj o 1 či 2 t viac, alebo plejáda dobrých výsledkov v pestovaní osivovej kukurice presvedčivo hovoria o precíznej agrotechnike, výžive a ochrane.

Charakteristika zavlažovača Fregat DMU 362

Pre zavlažovanie vybraných plodín sa použili dva rovnaké zavlažovače Fregat DMU 362, ktoré boli zmodernizované v oblasti distribútorov závlahovej vody – dýz, rozstrekovačov a v oblasti hydraulickej ochrany zavlažovača. Plnoautomatizované závlahové zariadenie FREGAT je určené na závlahu všetkých druhov poľnohospodárskych plodín. Zariadenie vykonáva zavlažovanie v pohybe do kruhu okolo pivota a po malej úprave sa môže pohybovať aj v sektore. Pohyb je zabezpečený tlakovou vodou podzemným alebo povrchovým prívodom od čerpadla k pivotu a následne k hydromotorom umiestnených na jednotlivých vozíkoch. Rovnomernosť a kvalita závlahy je dosahovaný sektorovými postrekovačmi alebo nízkotlakovými dýzami. Ochrana zariadenia proti poškodeniu počas prevádzky je zabezpečená systémom hydraulickej a mechanickej ochrany. Prípadná porucha je signalizovaná formou odoslanej SMS na mobilný telefón mechanika. Veľkosť závlahovej dávky je nastaviteľná v širokom rozmedzí. To vytvára možnosť využitia zariadenia v rôznych pôdno-klimatizačných podmienkach a zohľadňuje rôzne požiadavky pestovaných plodín na ich vlhkovú potrebu. Závlahové zariadenie FREGAT môže pracovať na 2 a viacerých pozíciách. Inštalovaným prihnojovacím zariadením sa môže dodať spolu so závlahou až 400 l kvapalného hnojiva za hodinu do hlavného vodného potrubia.



Obrázok 1 Zavlažovač Fregat, modernizácia - rozstrekovač

Zariadenie na hydraulickú ochranu bolo navrhnuté firmou Agref Komárno. O týchto zmenách ale nie sú vedené žiadne záznamy. Tieto zmeny boli robené takpovediac „na kolene.“ Priemery dýz boli vítané podľa subjektívneho názoru vykonávateľa úpravy. Technické parametre sú uvedené v tabuľke 1.

Tabuľka 1 Technické a prevádzkové parametre zavlažovača Fregat 362

Parameter	Hodnoty
<i>Celková dĺžka, m</i>	362
<i>Počet podvozkov, -</i>	13
<i>Zavlažovaná plocha, ha</i>	74
<i>Tlak, MPa</i>	0,7
<i>Prietok vody, l.s⁻¹</i>	40 až 50
<i>Zavlažená plocha, ha</i>	47,1
<i>Minimálna dávka, mm</i>	12,4
<i>Krakorec</i>	áno
<i>Zavlažovanie v sektore</i>	áno
<i>Hydraulická ochrana</i>	áno
<i>Mechanická ochrana</i>	áno

Kvalita práce

Merania boli vykonané v katastrálnom území obce Chtelnica na vybraných poľnohospodárskych pozemkoch. Rovnomernosť postreku pri závlahy pivotnými širokozáberovými zavlažovačmi sa hodnotí podľa D. F. Heermanna a P. R. Heina. Takúto metódu hodnotenie vyžaduje aj medzinárodná norma ISO/TC 23/SC 18 N 190 (in Jobbágy a kol., 2017).

$$CuH = 100 \cdot \left[1 - \frac{\sum_{i=m}^{n_2} Si \cdot |Vi - \bar{V}|}{\sum_{i=m}^{n_2} Vi \cdot Si} \right], \quad \% \quad (1)$$

$$\bar{V} = \frac{\sum_{i=m}^n Vi \cdot Si}{\sum_{i=m}^n Si}, \quad \text{mm} \quad (2)$$

kde:

CuH - koeficient rovnomernosti podľa Heermanna a Heina,

n_2 - počet zrážkomerných nádob, ks

i - číslo určené pre identifikáciu určitej zrážkomernej nádoby so začiatkom $i = 1$ pre nádobu, ktorá je najbližšie pri pivote a končiace $i = n$ pre zrážkomernú nádobu, umiestnenú najďalej od pivota,

Vi - závlahová dávka v i -tej zrážkomernej nádobe, mm

Si - vzdialenosť i -tej zrážkomernej nádoby od pivota, m

$\bar{V}$ - priemerná závlahová dávka, mm

$|Vi - \bar{V}|$ - absolútna hodnota odchýliek od priemernej dávky.

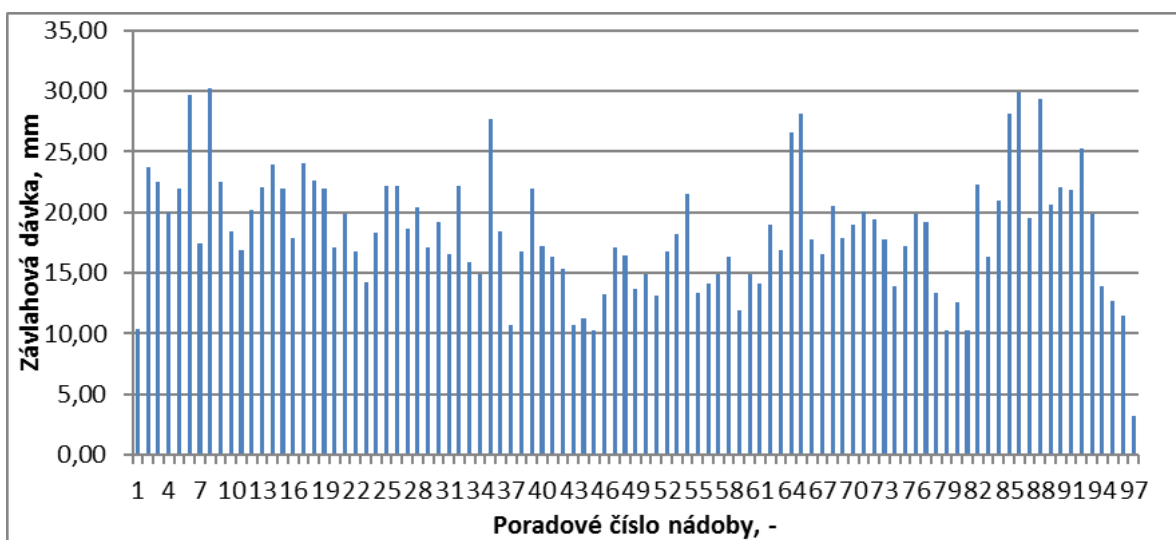
Ak sa vo výpočte použijú hodnoty od všetkých zrážkomerných nádob $m = 1$. Pri vylúčení údajov 20 % z dĺžky od pivota, sa $m = p$, kde p je najbližšie celé číslo pre 0,20.n. Meranie rovnomernosti postreku pri závlahy si vyžaduje najmä z dôvodov medzinárodnej štandardizácie a normalizácie postupovať podľa medzinárodnej normy ISO (Látečka, 2000).

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Merania prebiehali na vybranom pozemku pri zavlažovaní kukurice na osivo (zavlažovač 01), alebo pri zavlažovaní cukrovej repy (zavlažovač 02). Závlahové zariadenie bolo modernizované, pričom ide o 13 podvozky s krakorcom. Počas merania rýchlosť vetra neprekročila normou stanovené limitné hodnoty.

Zavlažovač 01

Merania prvého širokozáberového zavlažovača (pravý a ľavý lúč) sa vykonali pri zavlažovaní rovnakej plodiny a v ten istý deň. Celkový počet zrážkomerných nádob bol 97 pričom ich rozostup bol 4 m. Pri meraniach pravého lúča je vidieť, že sa už nevyskytujú extrémne hodnoty ako v prvom prípade. Bolo to spôsobené aj tým, že nádoby sa umiestnili opäť v rozostupe 4 m, ale pri podvozkoch sa zabránilo vplyvu odtekajúcej odpadovej vody. Týmto spôsobom sa dosiahli relevantnejšie výsledky. V porovnaní s prvým meraním nám klesla hodnota variačného koeficienta skoro až o 27 %. Grafické zobrazenie výsledkov je uvedené na obr. 2 (pravý lúč) a obr. 3 (ľavý lúč). Na obr. 3 je vidieť, že pri meraní prvého zavlažovača 01 (ľavý lúč) sa nám objavili dva extrémny, a to konkrétne pri nádobe 5 (59, 41 mm) a pri nádobe 39 (54,5 mm). Tieto extrémny mohli byť spôsobené tým, že nádoby boli umiestnené príliš blízko kola, pretože pri pohybe zariadenia sa práve pri kolese rozstrekuje najväčšie množstvo odpadovej vody z hydraulického valca pojazdu. Popisná štatistika výsledkov oboch lúčov je uvedená v tabuľke 2. Hodnota variačného koeficienta dosiahla hodnotu u zavlažovača 01 (ľavý lúč) 54,45 %. V tabuľke 3 sú uvedené rovnomernosti postreku každého jedného podvozku samostatne. Hodnoty u ľavého lúča dosiahli hodnoty v rozmedzí od 57,51 % do 85,86 %. Hodnoty u pravého lúča sa pohybovali od 65,16 % do 95,37 %. Výsledky poukazujú na viditeľné zvýšenie hodnoty kvality práce a to prevažne pri prvých sekciách.



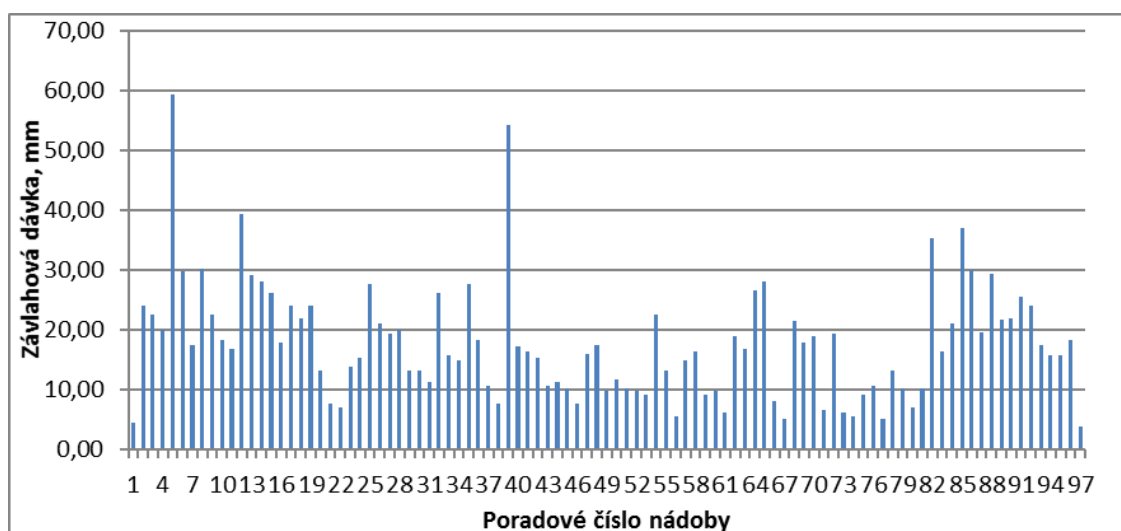
Obrázok 2 Závlahová dávka, zavlažovač 01, pravý lúč

Tabuľka 2 Popisná štatistika, zavlažovač 01 - Fregat 362, pravý a ľavý lúč

Parameter	Hodnoty	
	Pravý lúč	Ľavý lúč
Str. hodnota, mm	18,35	17,80
Smer. odchýlka, mm	5,01	9,69
Minimum, mm	3,18	3,99
Maximum, mm	30,21	59,41
Súčet, mm	1779,50	1726,54
Počet, -	97,00	97,00
Variačný koeficient, %	27,28	54,45
CuH, %	77,08	59,77

Tabuľka 3 Popisná štatistika, zavlažovač 01 - Fregat 362, pravý a ľavý lúč

Podvozok	1	2	3	4	5	6	7
CuH, %, pravý	83,16	81,04	91,64	86,81	91,77	77,78	78,24
CuH, %, ľavý	57,51	66,53	58,65	64,59	74,28	85,86	70,49
Podvozok	8	9	10	11	12	13	krakorec
CuH, %, pravý	88,15	92,02	78,37	95,37	78,45	80,75	65,16
CuH, %, ľavý	76,27	91,76	81,22	82,54	84,30	72,14	57,14



Obrázok 3 Závlahová dávka, zavlažovač 01, ľavý lúč

Zavlažovač 02

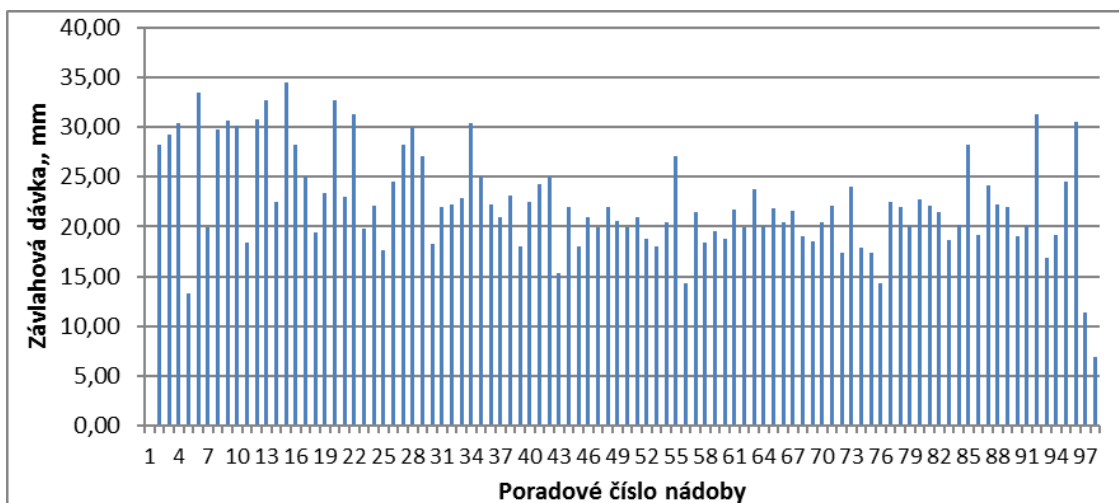
Merania druhého širokozáberového zavlažovača (pravý a ľavý lúč) sa vykonali pri zavlažovaní cukrovej repy v ten istý deň. Celkový počet zrážkomerných nádob bol 98 pričom ich rozostup bol 4 m. Podmienky merania vyhovovali normou predpísanej rýchlosti vetra, teplota dosiahla až 31 °C. V porovnaní s prvým meraním nám klesla hodnota variačného koeficienta o viac ako 20 %. Grafické zobrazenie výsledkov je uvedené na obr. 4 (pravý lúč) a obr. 5 (ľavý lúč). Na obr. 5 je vidieť, že pri meraní druhého zavlažovača (ľavý lúč) sa nám objavilo viac extrémov ako pri prvom zavlažovači. Niektoré extrémne mohli byť spôsobené tým, že nádoby boli umiestnené príliš blízko kolesa, tak ako v prvom prípade. Popisná štatistika výsledkov oboch lúčov je uvedená v tabuľke 4. Hodnota variačného koeficienta dosiahla u druhého zavlažovača (ľavý lúč) hodnotu 49,37 %. V tabuľke 5 sú uvedené rovnomernosti postreku každého jedného podvozku samostatne. Hodnoty u ľavého lúča dosiahli hodnoty v rozmedzí od 57,14 % do 91,76 %. Hodnoty u pravého lúča sa pohybovali od 67,82 % do 94,51 %. Výsledky poukazujú na viditeľné zvýšenie hodnoty kvality práce. Pri meraniach pravého lúča je vidieť, že sa už nevyskytujú extrémne hodnoty ako v prvom prípade, pričom priemerná hodnota závlahovej dávky dosiahla 22,19 u ľavého lúča a 24,6 mm u pravého lúča.

Tabuľka 4 Popisná štatistika, zavlažovač 02 - Fregat 362, pravý a ľavý lúč

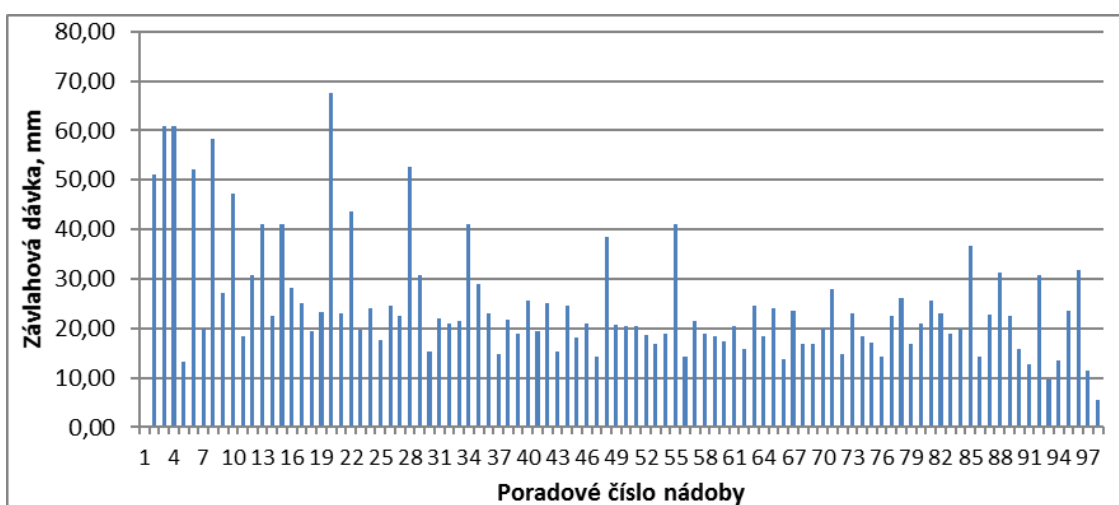
Parameter	Hodnoty	
	Pravý lúč	Ľavý lúč
Str. hodnota, mm	24,60	22,19
Smer. odchýlka, mm	12,15	5,52
Minimum, mm	0,00	0,00
Maximum, mm	67,50	34,41
Súčet, mm	2411,24	2174,64
Počet, -	98,00	98,00
Variačný koeficient, %	49,37	24,88
CuH, %	74,07	84,74

Tabuľka 2 Popisná štatistika, zavlažovač 02 - Fregat 362, pravý a ľavý lúč

Podvozok	1	2	3	4	5	6	7
CuH, %, pravý	67,82	81,87	83,02	83,93	87,46	92,63	90,16
CuH, %, ľavý	57,51	66,53	58,65	64,59	74,28	85,86	70,49
Podvozok	8	9	10	11	12	13	krakorec
CuH, %, pravý	88,32	94,51	93,28	88,22	90,53	87,58	72,09
CuH, %, ľavý	76,27	91,76	81,22	82,54	84,30	72,14	57,14



Obrázok 4 Závlahová dávka, zavlažovač 02, pravý lúč



Obrázok 5 Závlahová dávka, zavlažovač 02, ľavý lúč

Rovnomernosť postreku a samozrejme aj jej hodnotenie patrí medzi najzákladnejšie vlastnosti kvality zavlažovania.

Efektívnosť závlah závisí taktiež aj od rovnomernosti postreku. Z tohto dôvodu je potrebné vykonávať skúšky resp. merania. Tieto merania sú však ovplyvňované rôznymi faktormi ako napríklad rýchlosť vetra alebo výkyvmi tlaku v rozvodovom potrubí (Ružička, Simoník, 1998). Rovnomernosť postreku pri závlahe širokozáberovými zavlažovačmi sa hodnotí podľa vzťahu Heermanna a Heina, kde je požiadavka, aby koeficient rovnomernosti $CuH > 90\%$ (Látečka, 2000). Pri postrekovači FREGAT DMU-A-229-32 bol koeficient rovnomernosti CuH stanovený na 63,75 %. Tento výsledok nezodpovedá kvalite práce zavlažovača. Vo väčšine prípadov sa požaduje, aby táto hodnota bola minimálne 70 % (Simoník, 1997). Avšak iný názor z hľadiska praktických skúseností uvádza Ružička (1996), že pri tejto hodnote, t.j. 70 % je rovnomernosť postreku dostačujúca. Klementova a Hanige (1999) zas uvádzajú, že táto hodnota by mala byť minimálne 80 %. Servuk (1967) uvádza, že rovnomernosť je dostačujúca, ak pri rýchlosti vetra do $3,5 \text{ m.s}^{-1}$ je koeficient rovnomernosti $CuH \geq 85\%$. Mistrík (2011) uskutočnil meranie na poľnohospodárskom podniku Agromačaj, s.r.o., pričom cieľom bolo stanoviť koeficient rovnomernosti postreku CuH podľa Heermanna a Heina. Pri praktických skúškach dosiahol rovnomernosť postreku maximálne 85,79 %. Z vyhodnotených výsledkov možno konštatovať, že výsledky korešpondujú s požiadavkami mnohých autorov.

ZÁVER

Používanie závlah resp. závlahových systémov je v tejto dobe jeden z hlavných parametrov pre dosiahnutie maximálnej úrody. Pre stanovenie opatrení na zlepšenie efektívnosti a modernizácie závlahového zariadenia sme vykonali merania na zavlažovači Fregat DMU 362. Meranie sme vykonali na parcelách patriace pod PD Chtelnica. Na základe výsledkov môžeme zhodnotiť, že pre zefektívnenie práce zavlažovačov by bolo treba zosúladiť veľkosti otvoru dýz. V tom prípade by sa zlepšila aj činnosť celého zariadenia. Tak isto je treba aj zabrániť výkyvom tlaku v rozvodovom potrubí. Na základe stanoveného koeficientu rovnomernosti vidíme aj to, ktoré dýzy pracujú najhoršie, ktoré treba vymeniť resp. prečistiť a naopak, ktoré pracujú veľmi dobre. V prípade, že sú v potrubí rôzne tlaky, tak aj činnosť jednotlivých dýz je rôzna. Všetky namerané výsledky sme zaslali aj do PD Chtelnica.

Literatúra

1. AGREF. Fregat. [online] [2016] [cit. 02-01-2016]. Dostupné na internete: http://www.agref.sk/fregat---koma_97.html
2. BÁREK, V. 2005. Návod na cvičenia zo závlah. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2005. 143 s. ISBN 8080695334
3. HYDROMELIORÁCIE. História podniku.[online] [2015] [cit. 09-01-2016]. Dostupné na internete: <http://www.hydromelioracie.sk/main.php?informacie-o-podniku/historia-podniku>
4. JOBBÁGY, Ján. Inovácie v oblasti vybraných melioračných zariadení. In *Moderná mechanizácia v poľnohospodárstve*. ISSN 1335-6178, 2023, roč. 26, č. 2, s. 16-21.
5. JOBBÁGY, Ján - KRIŠTOF, Koloman - BÁREK, Viliam. Meliorácie v poľnohospodárstve : *vlastnosti pôdy, odvodňovanie a zavlažovanie*. 1. vyd. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2017. 253 s. ISBN 978-80-552-1676-8.
6. KLEMENTOVÁ, E. – HEINIGE, V. 1999. Hydromeliorácie Slovenska na prahu 21. storočia. In : *Závlaha postrekom pásovým zavlažovacom*. Bratislava : SEMISOFT, s.r.o., 1999, s. 231.
7. LÁTEČKA, M. 2000. Rovnomernosť postreku pri závlaha otáčavými postrekovačmi. Nitra : SPU, 2000. 58 s. ISBN 80-7137-678.
8. MISTRÍK, T. 2011. Kvalita práce širokozáberových zavlažovačov v manažmente zavlažovaní. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2011. 76 s.
9. PODPORNÉ SCHÉMY. [online] [15-11-2022] [cit. 10-01.2023] <https://www.mpsr.sk/aktualne/mprv-sr-navysuje-podporu-potravinarom-a-farमारom/18411>
10. REHÁK, Štefan - BÁREK, Viliam - JURÍK, Ľuboš - ČISTÝ, Milan - IGAZ, Dušan - ADAM, Štefan - LAPIN, Milan - SKALOVÁ, Jana - ALENA, Ján - FEKETE, Václav - ŠÚTOR, Július - JOBBÁGY, Ján. Zavlažovanie poľných plodín, zeleniny a ovocných sádov. 1. vyd. Bratislava : Veda, 2015. 640 s. ISBN 978-80-224-1429-6.
11. RŮŽIČKA, M. 1996. Technika a kvalita zavlažování: *Studijní informace ÚZPI*. Praha : Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1996. 50 s. ISSN 0862-3562.
12. RŮŽIČKA, M. – SIMONÍK, J. 1998. Simulačné modelovanie rovnomernosti postreku. In : *Technika a technológie pre udržateľné poľnohospodárstvo*. Nitra: SPU, 1998, s.98
13. SEVRUK, B. 1967. Závlaha postrekom za vetra. In : *ÚVTI-Zemědělská technika*, Praha, 1967, č. 2
14. SIMONÍK, J. 1997. Hodnotenie kvality práce zavlažovačov Fregat po viacročnej prevádzke. In: *Acta technol. Agric.*, roč. 38, 1997, s. 147. ISBN 80-7137-392-3.
15. Výpis z obchodného registra. [online] [2016] [cit. 2016-02-07]. Dostupné na internete: <http://www.orsr.sk/vypis.asp?ID=53&SID=7&P=1>

„Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „URANOS - Údajová a vedomostná podpora pre systémy rozhodovania a strategického plánovania v oblasti adaptácie poľnohospodárskej krajiny na klimatické zmeny a minimalizáciu degradácie poľnohospodárskych pôd“ (kód ITMS2014+313011W580), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

Contact address: prof. Ing. Ján Jobbágy, P.hD. Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering, Department of Machines and Production systems, Tr. A. Hlinku 2, Nitra 949 76, Slovak Republic
phone: : + 421 37 641 4796, e-mail: Jan.Jobbagy@uniag.sk

ZHODNOTENIE VÝROBY ELEKTRICKEJ ENERGIE VO VYBRANEJ VODNEJ ELEKTRÁRNI

JÁN JOBBÁGY, ANDREJ MESIARIK

Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, TF, SPU v Nitre

Abstract: This article deals with the assessment of the electricity production in Small Scale Hydropower Velke Kozmalovce in 2014 where we carried out measurements on waterworks which includes the Small Scale Hydropower. The measurements were carried out on three kaplan knee turbines 4-KPK-10 which joint installed power is 5,32MW. Turbine TG1 has installed power 0,52 MW and turbines TG2, 3 have installed power 2,4 MW. Turbines can absorb 84 m³.s⁻¹ and height gradient varies depending on the level in the tank for TG1 from 3 m to 5,4 m and for TG2, 3 from 4,8 m to 7,7 m. Power plant was designed for middle water stream with the production 14 GWh. However, our measurement shows that power plant produced 15,3 GWh in 2014. Furthermore, we examine what influences electricity production. We found out that rainfall influences the amount of electricity water, resp. amount of the water that flows into tanks through turbines. Our measurements show that 681,7 mm atmospheric rainfalls fell onto the area of waterworks Velke Kozmalovce within one year.

Keywords: water, energy, SSH, powerplant, turbine

ÚVOD

Energia, ktorá pochádza z OZE (obnoviteľné zdroje energie) sa považuje za čistú energiu z prírodných zdrojov Zeme. Medzi tieto zdroje energie patrí slnečné žiarenie, voda, vietor, biomasa a geotermálne teplo (Piszczałka, Jobbágy, 2012). Vodná energia, tak ako aj ostatné OZE, vzniká za pomoci slnečnej energie, ktorá spôsobuje vyparovanie vody z vodných tokov, morí, jazier a oceánov. Voda vo forme vodnej pary je v atmosfére v neustálom pohybe a presúva sa nad zemských povrchom, kde sa ochladzuje, kondenzuje a následne vznikajú zrážky. Zrážky zaisťujú neustály vznik potenciálnej energie vysoko položených zdrojov vody, kde sa potom mení na kinetickú energiu pohybom vody v riekach (Rybár a kol., 2011). Prvá slovenská vodná elektrárňa bola postavená na vodnom toku v Košiciach, v roku 1886, a bola osadená Francisovou turbínou (Janíček a kol., 2007). Vodné elektrárne sa rozdeľujú z hľadiska rôznych kritérií. Najčastejšie sa rozdeľujú podľa inštalovaného výkonu, využívaného spádu, možnosti hospodárenia a využitia vody. Napr. podľa veľkosti inštalovaného výkonu môžu byť malé vodné elektrárne (s výkonom do 10 MW), stredné vodné elektrárne (s výkonom od 10 MW do 200 MW) a veľké vodné elektrárne (s výkonom nad 200 MW) (Dušička, Šulek, 2012). vodná elektrárňa je zložená z komponentov ako turbíny s príslušenstvom a komponenty s elektrickými generátormi (Hodák, 1987). Turbíny môžu byť riešené ako Bánkiho, Peltonova, Kaplánová alebo Francisova (Dušička, 2003). Hlavným cieľom príspevku a výskumných prác bolo zhodnotiť stav a výkonnostné parametre vybranej malej vodnej elektrárne vo Veľkých Kozmálovciach.

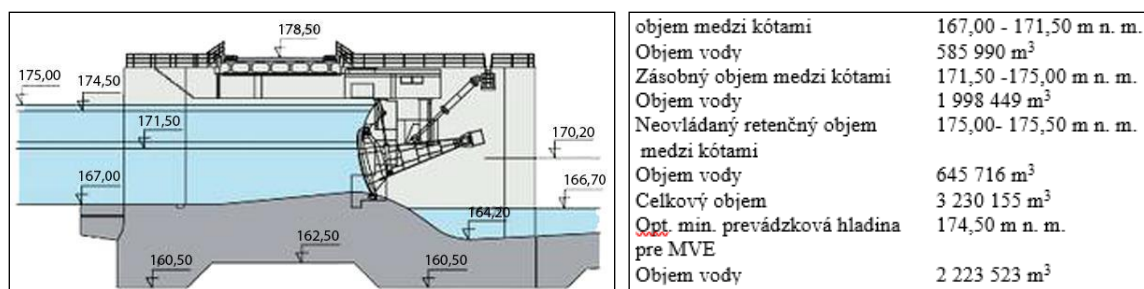
MATERIÁL a METÓDY

Charakteristika záujmovej oblasti - malá vodná elektrárňa vo Veľkých Kozmálovciach

Malá vodná elektrárňa (MVE) je súčasť vodného diela, ktoré je taktiež dôležité pre správne fungovanie elektrárne a dosahovanie čo najväčších možných výkonov. Merania sme vykonávali na vodnom diele v priebehu roka 2014 a taktiež aj v MVE na 3 turbínach 4-KPK- 10, kde jedna turbína má výkon 0,52 MW a ďalšie dve majú výkon 2,4 MW.

Vodná stavba VD Veľké Kozmálovce je vybudovaná na rieke Hron v r.km 73,500. Vodoprávne povolenie o prípustnosti stavby bolo vydané ZsKNV-OPLVH Bratislava pod č.j.PLVH - 4/2022/1983-2 zo dňa 6. 4. 1984. Stavba bola začatá v máji v roku 1984. Podľa harmonogramu výstavby boli objekty VS Kozmálovce odovzdávané prevádzkovateľovi pri preberacom konaní 26. 6. 1988. Za prevádzku vodnej stavby V. Kozmálovce zodpovedá SVP. š. p.

odštepny závod Povodie Hrona, B. Bystrica - závod Levice. Priama zodpovednosť je prenesená na správu vodnej stavby.



Obrázok 1 Schéma vodného diela s vyznačenými výškami vodnej hladiny v m n. m.

Vodná stavba VD Veľké Kozmálovce na Hrone je riečnou nádržou na dolnom toku Hrona, pri obci Veľké Kozmálovce a v katastroch ďalších obcí: Malé Kozmálovce a Tlmače. Hlavným účelom zdrže je:

1. Zabezpečenie dostatku vody pre jadrovú elektrárňu v Mochovciach (EMO), a to až do max $Q=1,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, zabezpečenosť odberu 99 %.
2. Zabezpečenie vody pre kanál Perec. Tento odber predstavuje sanačný prietok $MQ_{\min}=0,200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Max.odber do Pereca vo vegetačnom období pre priemysel a závlahy je $3,200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, mimo vegetačného obdobia je $1,200 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
3. Zabezpečenie odberu pre rieku Hron, zabezpečuje min. sanitárny prietok $MQ=6, \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, s mierou zabezpečenia 99 %, ďalšie odbery pre priemysel a závlahy s mierou 95 %.
4. Energetické využitie cez MVE vodná elektrárňu vybudovanú po ľavej strane hate využívajúca potenciálnu energiu zadržanej vody na výrobu elektrickej energie.
5. Chov rýb a športové rybárstvo
6. Rekreačia a vodné športy

Pre zabezpečenie vyššie uvedených požiadaviek na vodnú stavbu je potrebné v nádrži dodržiavať nasledovné limitné hladiny: minimálna prevádzková hladina 171,50 m n. m., maximálna prevádzková hladina 175,00 m n. m., maximálna dovolená hladina 175,50 m n. m. a bezpečná hladina 172,00 m n. m.

Maximálny povolený odber zo zdrže pre EMO je do max $Q=1,80 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Veľkosť odberu závisí od kúpnej zmluvy, ktorá je každoročne uzatváraná medzi odberateľom a prevádzkovateľom zdrže.



Obrázok 2 Vodné dielo Veľké Kozmálovce, hat'

a) Hlavné časti vodnej stavby

Vodná stavba Veľké Kozmálovce na dolnom Hrone v r.km 73,50 vzdúva vodu a vytvára menšiu nádrž. Z geologického hľadiska je záujmové územie tvorené sedimentmi kvartéru a neogénu. Povrchovú vrstvu tvoria hliny hrúbky 2 až 3 m malej priepustnosti, pod nimi sa

nachádzajú zahlinené štrky. Vodná stavba pozostáva z nasledovných objektov (akumulačná nádrž, hať, vodná elektrárňa, ľavostranná a pravostranná hrádza nad VS, rekonštrukcia kanála Pereca, odberné objekty pre závlahy a do Pereca, ľavostranná a pravostranná hrádza pod VS, čerpacia stanica vnútorných vôd Lipník, odberný objekt ČS EMO, úprava koryta pod VS, priesakové kanále, objekty pre riadenie vodohospodársky stav).

Nádrž. Je vytvorená vzdutím hladiny Hrona pohyblivou haťou, na ktorú sa napájajú po oboch stranách obvodové hrádzne prechádzajúce do inundačných hrádz pri obci Veľké Kozmálovce v r.km 73,400.

Hať. Hať vodnej stavby tvoria tri polia hradené segmentmi s nadsadenými klapkami. Jej hlavné funkcie sú: zadržiavať a vzdúvať vodu v zdrži, pomocou manipulácie hradiacimi zariadeniami neškodne prepúšťať prebytočnú vodu pod hať.

Ľavostranná hrádza nádrže. Bola vybudovaná dosypaním pôvodnej inundačnej hrádz. Má dĺžku 1759 m, niveleta koruny je vodorovná na kóte 176,00 m n. m.

Pravostranná hrádza nádrže. Je pokračovaním premostenia hate a MVE. Celková dĺžka je 1696 m. Niveleta je vodorovná na úrovni 176,00 m n. m. Stabilizačná časť, tesnenie, jej usporiadanie, prísypy a sklony svahov sú také isté ako na ľavej hrádzi.

Priesakové kanále. Priesakové kanále sú vedené popri hrádzach nádrže a vyúsťujú pod vodnú stavbu.

Úprava Pereca pod vodnou stavbou. Pod VS je upravené koryto Pereca po napojenie na pôvodné koryto na kapacitu $12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, dĺžka úpravy 1600 m. Šírka koryta má na dne 4 m, v korune 12 m, sklon svahov je 1:2 a sú opevnené kamennou nahádzkou. Max. kapacita Pereca pod úpravou je 6,0. Na pravom brehu, 240 m pod haťou, je na koryte limnigraf. Kalibrovaný je hydrometrovaním.

b) Charakteristika MVE (Malej vodnej elektrárne) Veľké Kozmálovce

MVE je umiestnená na ľavej strane, tesne vedľa hate s turbínami 4-KPK-10, priamoprietočné, z ktorých dve väčšie vyúsťujú do Hrona a jedna menšia do Pereca. Celková maximálna hĺtnosť je $84,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Malú vodnú elektrárňu Veľké Kozmálovce tvoria štyri základné súbory:

Vtoky. Pritekajúca voda do turbín musí prejsť hrubými hrablicami a nornou stenou, čistiacimi strojmi, jemnými hrablicami a hradením vtokov s tabuľovými uzávermi.

Strojovňa. Je tvorená s jedným menším (TG 1) a dvoma väčšími (TG 2, 3) turboagregátmi s kompletným pomocným zariadením.

Výtoky. Sú tvorené hradením TG 1 rýchlouzáverom a TG 2, 3 tabuľovými uzávermi.

Priľahlá budova. V nej sa nachádzajú 6 kV a 22 kV rozvodne, akumulátorovňa 24 V a 110 V, usmerňovače 24V a 110V, stanovisko transformátorov a príručný sklad.

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Na základe stanoveného cieľa práce a dostupných údajov z elektrárne sa zhodnotili vybrané ukazovatele, ktoré majú vplyv na výkon elektrárne.

Udržiavanie výšky vodnej hladiny

Udržiavanie výšky vodnej hladiny je dôležité pre vodohospodárov, nakoľko by mali udržiavať 175,4 m n. m., aby bol dostatok vody na zásobovanie EMO. Ako možno vidieť z obr.4, výška vodnej hladiny sa mení len minimálne, a to pri prítoku vody, ktorý môžu spôsobovať dažde, topenie snehu a ľadu. Udržiavanie optimálnej kóty vodnej hladiny je kľúčové pre vodohospodárov, keďže hlavným účelom vodného diela Veľké Kozmálovce je zásobovať vodou jadrovú elektrárňu v Mochovciach.

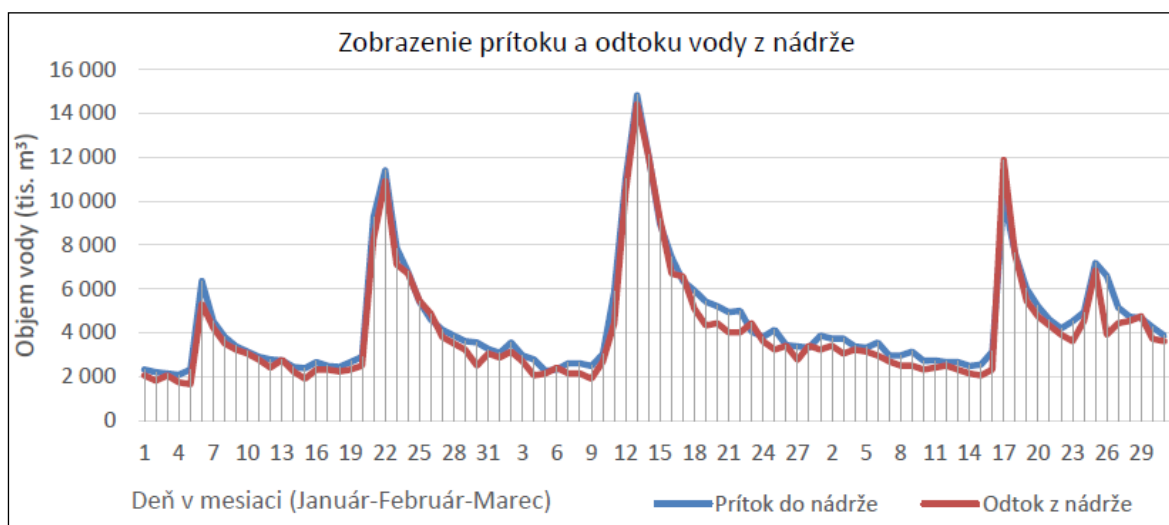
V prípade, že do nádrže priteká malé množstvo vody a chod elektrárne by mohol pohltiť veľa vody, čím by klesla hladina, musí byť znížený výkon elektrárne a môže dôjsť aj k úplnému odstaveniu turbín. Hladina môže klesnúť maximálne o 3 m.

Keď dochádza k prívalovým dažďom a v priebehu jedného či dvoch dní pritečie do nádrže veľké množstvo vody, musí dôjsť k otvoreniu jednej alebo aj viacerých hatí, aby sa voda, ktorá je

nadbytočná a ktorú nedokážu vodné turbíny pohltiť odvieť preč. Z obr. 4 je evidentné, že výška vodnej hladiny sa mení len minimálne. Tieto hodnoty boli namerané počas zimných mesiacov (január, február a marec), kedy dochádzalo k topeniu snehu a ľadu, čím prichádzalo do nádrže viac vody ako počas letných, jarných a jesenných mesiacov. Na ďalšom obr. 5 možno vidieť, že voda ktorá prítiekla do nádrže je hneď pohlcovaná turbínami alebo vypúšťaná, čo udržiava stabilnú výšku hladiny. Ako bolo spomínané, turbíny dokážu pohltiť maximálne $84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a v prípade, že vody pritekajú do nádrže viac, musí byť táto voda vypúšťaná cez haťové ústrojenstvo.



Obrázok 4 Zmena výšky vodnej hladiny za mesiac január až marec



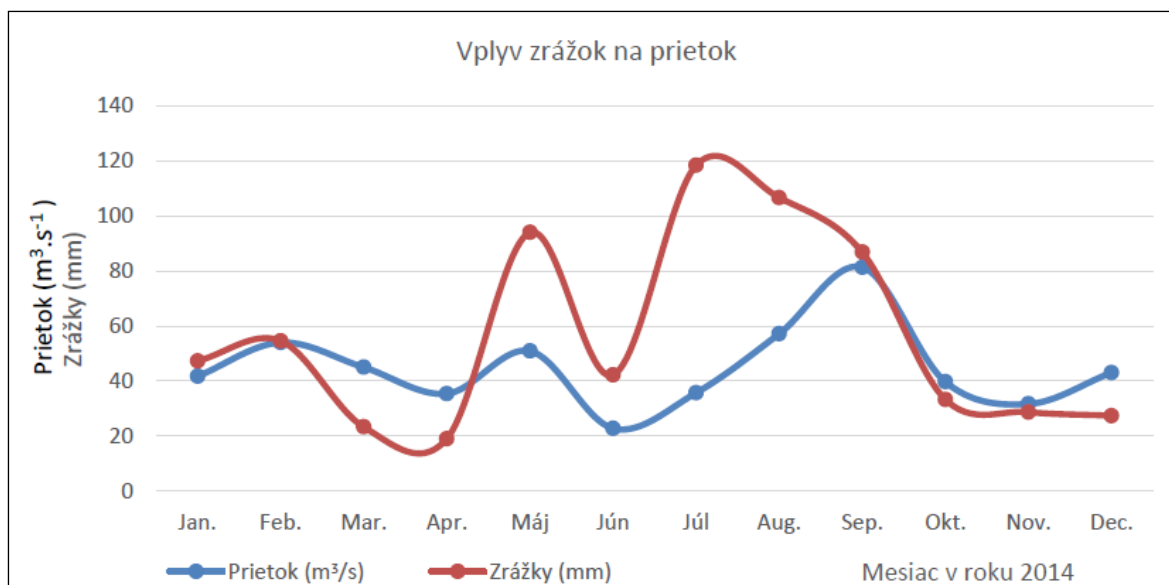
Obrázok 5 Prítok a odtok vody z nádrže

Prietok vody a zrážky

Počas meraní sme zaznamenávali aj padnuté zrážky, či už vo forme snehu alebo dažďa a zisťovali sme, ako vplývajú na prítok vody do nádrže, a tým pádom aj na prietok cez turbíny. Z nameraných hodnôt a následným porovnaním s prítokom vody do nádrže sme zistili, že zrážky veľmi výrazne vplývajú na prítok vody. Taktiež sme zistili, že najväčšie množstvo vody sa dostane do nádrže približne po 3 dňoch od zrážok.

Priemerný ročný prietok je $44,9 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ čo pri možnom maximálnom prietoku $84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ predstavuje využitie potenciálu turbín na 53,5 % čo znamená, že turbíny boli za celý kalendárny rok vyťažené len na 53,5 % a ďalších 46,5 % nebolo využitých. Samozrejme nie je možné, aby boli turbíny využité počas celého roka na 100 %.

Keďže je prietok turbín regulovaný podľa výšky hladiny, zrážok a prítoku vody do nádrže, nie je možné nijako rapídne tento výkon zlepšiť. Na konci zimného obdobia, kedy dochádza k topeniu snehovej pokrývky je vody viacej a niektoré dni idú turbíny na 100 % svojho výkonu. Avšak počas letných mesiacov, keď je málo zrážok sa využitie turbín môže dostať až na 9,4 % ako tomu bolo 18. júna 2014, kedy bolo dlhšie obdobie sucha a prítok do nádrže klesol, tým pádom muselo dôjsť k rapídne zníženiu výkonu a odberu vody pre turbíny.



Obrázok 6 Vplyv zrážok na prietok vody

Množstvo vyrobenej elektrickej energie za rok 2014

Z výsledkov možno povedať, že v mesiaci september bol nameraný najväčší priemerný prietok vody a dôvodom tohto prietoku boli zrážky. Za tento mesiac padlo 86,8 mm, čo malo za následok prítok až 243 067,20 tis. m^3 vody za celý mesiac. Kde odtok z nádrže presiahol 84 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ musela byť voda vypúšťaná cez hať, čím dochádzalo k jalovému výkonu, keďže táto voda nebola vôbec využitá.

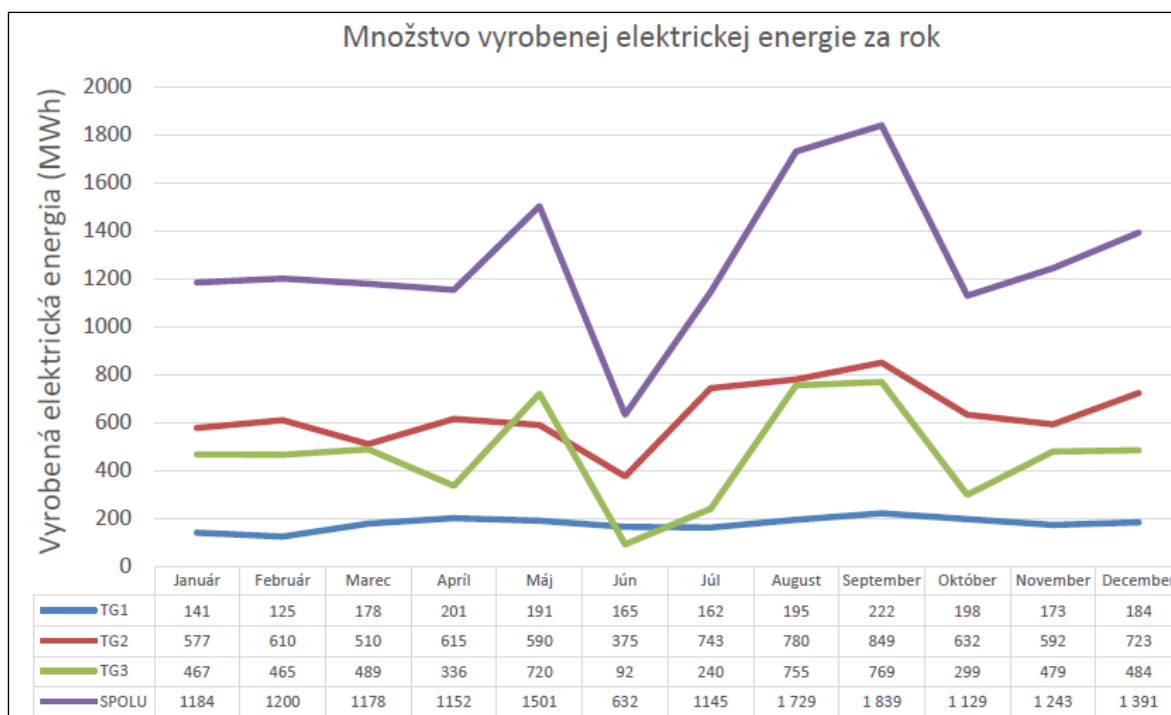
Keby elektrárne chceli túto vodu využiť na prepad cez vodné turbíny na výrobu elektrickej energie, tak by mohlo dôjsť k zvýšeniu vodnej hladiny a vyliatu Hrona zo svojho koryta. Za rok 2014 táto malá vodná elektráreň s inštalovaným výkonom 5,32 GW vyrobila 15,3 GWh, čo je viac ako tabuľkový priemer tejto elektrárne, ktorý činí 14 GWh. A to bol využitý potenciál len na 53,5 %.

Na obr. 7 množstva vyrobenej elektrickej energie je vidieť, že výkon turbíny TG 1, ktorá má výkon 0,52 MW je stabilnejší v porovnaní s TG 2 a TG 3, ktoré majú obe po 2,4 MW. Je to spôsobené tým, že turbínami TG 2 a TG 3 sa dá lepšie regulovať výška vodnej hladiny ako cez turbínu TG 1, ktorá má maximálny prietok 12,0 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Turbíny TG 2, 3 majú maximálny prietok 36 $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ a v prípade potreby sa dá výška hladiny cez tieto dve turbíny lepšie regulovať.

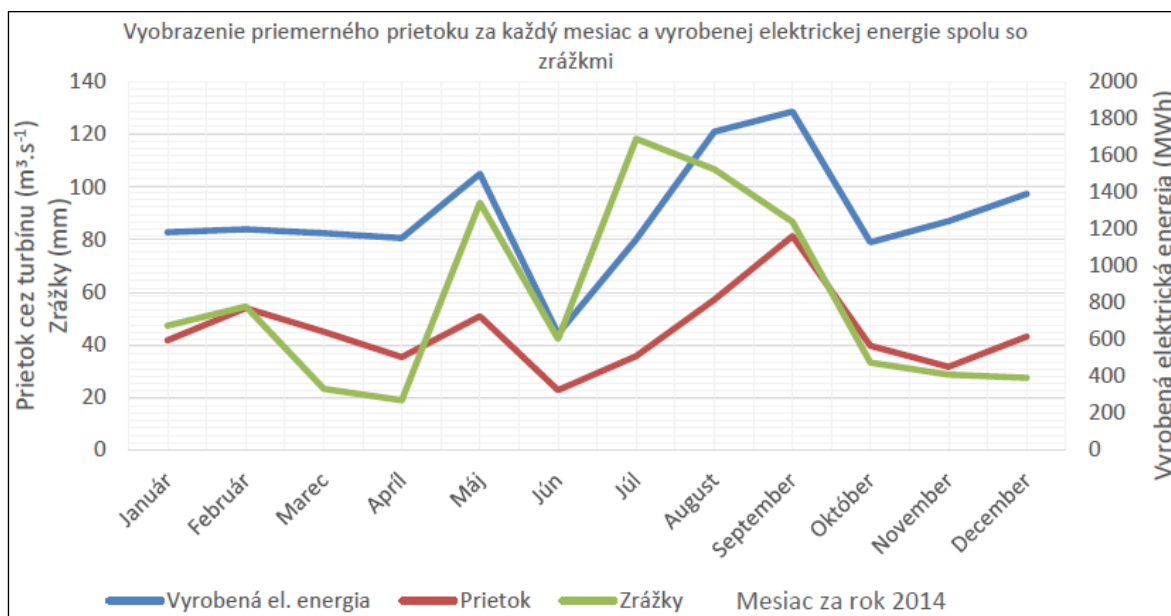
Keď porovnávame výkony jednotlivých turbín, možno povedať, že turbína TG 2 dosahuje vyššie výkony ako TG 3, aj keď sú to rovnaké turbíny s rovnakým inštalovaným výkonom 2,4 MW. Toto tvrdenie neplatí jedine v mesiaci máj, kedy TG 3 vyrobila viac MWh ako spomínaná turbína TG 2. Tento jav mohol byť zapríčinený poruchou turbíny TG 2 a jej nútením odstavením na niekoľko dní, počas ktorých došlo k jej údržbe a náprave.

Na obr.8 možno pozorovať čo najviac vplyva na množstvo vyrobenej elektrickej energie. Z grafu možno vyčítať, že výrobu el. energie ovplyvňujú hlavne zrážky a podľa nich sa samozrejme mení aj prietok cez turbíny, keďže voda sa musí dostať preč z nádrže. Pokiaľ to nie je nevyhnutné, tak prechádza len cez turbíny a až v prípade potreby sa otvára hať, kde vzniká jalový výkon. Takéto riešenia sa praktizujú len ak do nádrže priteká veľké množstvo vody po výdatných zrážkach a turbíny nedokážu pohltiť túto vodu aj pri svojom 100 % výkone. Táto regulácia prebieha v

riadiacom centre v Trenčíne, kde dokážu obsluhovať elektrárne do 14:00 každý pracovný deň a po pracovnej dobe prechádza elektrárne do plne automatizovaného režimu. Riadiaci systém sám rozhoduje o tom či je nutné otvoriť hať alebo stačí len prestaviť obežné kolesá na turbínach, aby pohltili viac vody.



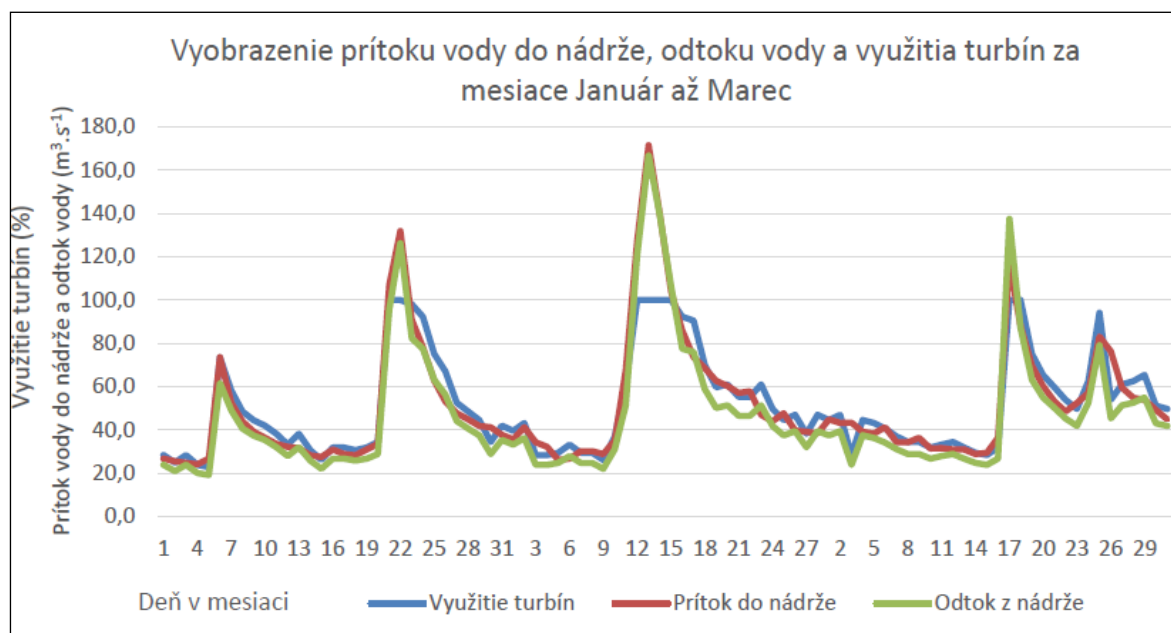
Obrázok 7 Porovnanie ročnej výroby el. energie



Obrázok 8 Faktory ovplyvňujúce výrobu el. energie

V grafickom zobrazení (obr. 9) možno pozorovať ako sa všetky krivky (prítok do nádrže, odtok z nádrže, využitie turbín) prekrývajú. Avšak krivka, ktorá znázorňuje využitie turbín v percentách dosahuje len svoju maximálnu hranicu, ktorá činí $84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ktorú v tomto grafe reprezentuje hodnota 100%. Ako možno z grafu vidieť, v niektorých dňoch dosahuje využitie turbín vyššiu hodnotu ako je prítok do nádrže. Tento jav je spôsobený tým, že turbíny využívajú ešte vodu z minulých dní, ktorá nebola vypustená cez haťové ústrojenstvo. Tento manažment vypúšťania

vody cez haťové ústrojenstvo treba dobre zvládnuť, aby sa zbytočne nevypúšťala voda, ktorá môže byť využitá na pohon turbín



Obrázok 9 Znáznornenie závislosti odtoku vody, využitia turbín od prítoku do nádrže

To, že elektrárne vyrobila viac elektrickej energie bolo zapríčinené výdatnejšími zrážkami, a tým pádom väčším množstvom použiteľnej vody v nádrži na výrobu. Podľa našich meraní za rok 2014 padlo až 681,7 mm zrážok, priemerná výška vodnej hladiny bola 174,79 m. n. m. a maximálna výška neprekročila 175 m n. m., keďže regulácia je automatická. Do nádrže sme namerali maximálny prítok o hodnote $360,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a v ten istý deň (15. 9. 2014) bol nameraný aj najväčší odtok z nádrže $296 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Veľké množstvo tejto vody muselo byť vypúšťané naprázdno, keďže turbíny dokážu pohltiť len $84 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Na základe týchto zistení možno konštatovať, že výkonová charakteristika vodnej elektrárne je závislá od počasia.

Boleman, Fiala (2009) uvádzajú, že jedna z nevýhod vodnej elektrárne je závislosť na počasi, čo môžeme potvrdiť aj my na základe našich meraní. V našom prípade to bolo ešte znásobené o to, že musel byť dostatok vody na zásobovanie EMO a v suchšom období, keď pritekalo málo vody, musel byť znížený výkon elektrárne. Elektrárne by mohla dosahovať aj lepšie výkony, keby boli použité výkonnejšie turbíny, resp. turbíny s väčšou účinnosťou. V tom prípade by však mohlo dôjsť k tomu, že by turbíny pohltili veľké množstvo vody, ktorá je potrebná pre EMO. A taktiež by sa tým pádom mohlo stať, že by nebol využitý potenciál týchto turbín a investičné náklady by sa vracali dlhšie. Vilem (2001) uvádza, že voľba počtu generátorov pri projektovaní vodnej elektrárne závisí od stanoveného maximálneho prítoku, geologických a situačných vlastností, typu turbín, hospodárnosti riešenia a. i. Všetky tieto body treba osobite preskúmať, aby riešenie bolo čo najhospodárnejšie.

ZÁVER

V danej článku sme sa zamerali na zhodnotenie výroby elektrickej energie na MVE Veľké Kozmálovce. Na základe nameraných hodnôt, ktoré nám boli poskytnuté vieme skonštatovať, že elektrárne bola využívaná v danom roku na 53,5 % svojho celkového potenciálu, ktorý ponúka. Avšak zvýšenie tejto percentuálnej hodnoty by sa dosahovalo veľmi ťažko, a aj to len v malých intervaloch, nakoľko výkon elektrárne je ovplyvnený počasím, a to snehovými alebo dažďovými zrážkami. Na to, aby bola elektrárne využitá ešte viac, by muselo do nádrže pritekať také množstvo vody, ktoré by stíhali turbíny pohltiť a vyrobiť z nej elektrickú

Keďže elektrárne je súčasťou vodného diela, ktorého hlavnou úlohou je zásobovať vodou jadrovú elektrárne v Mochovciach (EMO), ktorá využíva túto vodu na chladenie, tak sa musí

udržiavať určitá výška hladiny, aby mala atómová elektráreň dostatok vody. Tým pádom je výroba elektrickej energie druhoradá.

Literatúra

1. BOLEMAN, T. – FIALA, J. 2009. Obnoviteľné zdroje energie. Trnava, 2009, ISBN:978-80-89422-07-4. <http://www.prirodnejavy.eu/sub/energia.pdf>
2. DUŠIČKA, P. a kol. 2003. Malé vodní elektrárny. Bratislava : Jaga group, v.o.s., 2003. 175 s. ISBN 80-88905-45-1.
3. DUŠIČKA, P. – ŠULEK, P. 2012. Energetické využívanie vodných zdrojov. Bratislava : Nakladateľstvo STU, 2012. 90 s. ISBN 978-80-227-3647-3.
4. HODÁK, J. 1984. Využitie vodnej energie. Bratislava : Slovenská vysoká škola technická v Bratislave, 1984. 350 s.
5. JANÍČEK, F. a kol. 2007. Obnoviteľné zdroje energie 1 : Technológie pre udržateľnú budúcnosť. Bratislava : Renesans, s.r.o., 2007. 171 s. ISBN 978-80-969777-0-3.
6. PISZCZALKA, J. - JOBBÁGY, J. 2012. Bioenergetika zelená energia. Nitra : Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2012. 149 s. ISBN 978-80-552-0813-8.
7. RYBÁR, R. – TAUŠ, P. – HORBAJ, P. 2011. Technológie alternatívnych zdrojov : Vodná energia a biomasa. Košice : Fakulta BERG Technickej univerzity v Košiciach, 2011. 93 s. ISBN 978-80-553-0693-3.
8. VILEM, J. 2001. Projektovanie vodných elektrární. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2001. 223 s. ISBN 80-227-1468-2.

Contact address: prof. Ing. Ján Jobbágy, P.hD. Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering, Department of Machines and Production systems, Tr. A. Hlinku 2, Nitra 949 76, Slovak Republic
phone: : + 421 37 641 4796, e-mail: Jan.Jobbagy@uniag.sk

ZHODNOTENIE VÝROBY ELEKTRICKEJ ENERGIE V SOLÁRNOM PARKU

JÁN JOBBÁGY, JÁN BLAHO

Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, TF, SPU v Nitre

Abstract: This article deals with the production of electricity in photovoltaic systems. We take the evaluated data of PV system contained in the Nitra location. It is a system of "Grid on" which means that it is connected directly to make a distribution network. Photovoltaic power plants with an installed capacity 0,99MW do is connect 22kV networks. Preliminary PV system, the double film photovoltaic panels with effect 7.69%. The first part described the main part of the selected PV process in volving them. There were also carried out measurements in the personal reputation of days foreach season. Parameters were observed intensity of exposure, ambient temperature, surface temperature of the panel, results flowing from inverters total output of inverters. The measured values are processed in the form of tables and graphs. The results were then collected from the compared data obtained through PVGIS solar database that serve as an aid in the design of solar collector system. From the measured results show the in PVGIS solar database is both instrumental orientation prepared a very precise, useful in the design of the PV system.

Keywords: photovoltaics, solar radiation, solar, photovoltaic power plant

ÚVOD

Slnko je najbližšia je najdôležitejšia hviezda pre našu planétu, nakoľko je zdrojom svetla a tepla a zvlášť má zásadný význam ako zdroj energie pre život a ľudskú spoločnosť. Žiarenie dopadajúce na Zem je takmer ako žiarenie putujúce mimo zemskú atmosféru. V literatúre je možné nájsť rôzne hodnoty ktoré sa môžu mierne líšiť v závislosti na meracej technike alebo okolnostiach merania. World Radiation Center, prijala hodnotu 1367 W.m^{-2} (Sick, Erge, 1996). Množstvo slnečného žiarenia dopadajúceho na zemský povrch, závisí na stave atmosféry a zemepisnej šírke (Gordan, 2012). Z dôvodu veľmi širokého rozsahu hodnôt TSI bol zavedený výraz „Solárna konštanta“ a používa sa vo väčšine aplikácií. Americká spoločnosti pre testovanie a materiály udáva solárnu konstantu $1366,1 \text{ W.m}^{-2}$ (Lysko, 2006). Energia v našich zemepisných podmienkach dopadajúca na vodorovnú plochu 1 m^2 dosahuje hodnotu $1000 \text{ až } 1250 \text{ kW.hrok}^{-1}$ (približne 5 GJ). Teoreticky by sme teda pri stopercentnej účinnosti využitia tejto energie z plochy $3 \times 3,3 \text{ m}$ mohli získať dostatok energie na pokrytie celoročnej spotreby tepla a teplej vody v priemernej slovenskej domácnosti. (Iliaš, Fáber, 2010).

Fotovoltaika je čoraz rozšírenejšou technológiou, ale je aj čoraz menej závislou na podpore štátov. V Španielsku, Portugalsku, južnom Taliansku, na Havajských ostrovoch, ale aj Dánsku, Holandsku, Rakúsku a niektorých regiónoch Nemecku začína byť výroba elektriny fotovoltaickými panelmi rentabilná aj bez štátnych dotácií. Podobný vývoj sa začína prejavovať aj na Slovensku. Vo výsledku teda fotovoltaika znižuje náklady, prináša dodatočné výnosy a ešte aj chráni životné prostredie.

Sériovo vyrábané články môžu dosiahnuť maximálnej účinnosti 20 %. Vyššej účinnosti (25 %) bolo dosiahnuté zatiaľ len v laboratórnych podmienkach. V súčasnosti však spaľovacie motory nedosahujú vyššiu účinnosť. Pri výrobe fotovoltaického článku má mimo zvolených materiálov rozhodujúci vplyv aj kvalita. Pri spojení jednotlivých fotočlánkov do fotovoltaických modulov vzhľadom k nevyhnutným medzi priestorom medzi článkami a medzi rámami modulu poklesne jeho účinnosť. Koncentrátorové články, ktoré slnečné svetlo zrkadlia a sústreďujú šošovkami, dosahujú však vyššej účinnosti ale sú výrazne drahšie ako kremíkové články (Quaschnig, 2008).

Cieľom práce bolo zhodnotiť výrobu elektrickej energie vo vybranom solárnom parku. Výsledky sa následne porovnajú s PVGIS.

MATERIÁL a METÓDY

Praktická časť práce bola vykonávaná na FVE (fotovoltaická elektrárňa) o výkone 0,99 MW. Zapojenie je riešené ako 2 x 500 kW. Jedná sa o dve vetvy z vlastnými meničmi a rozvádzačmi. Celkový počet panelov vo FVE je 8986 kusov. Elektrická energia je distribuovaná do siete 3 AC 50Hz, 22kV/IT.

1.1 Charakteristika záujmovej oblasti

DC strana

Elektrická energia z fotovoltaických panelov s celkovým počtom 8986 ks je solárnymi káblami Hikra uloženými na povrchu privádzaná do zlučovača (obr.1). Sú to špeciálne káble určené pre FV (fotovoltaické) systémy, pomáhajú znižovať straty vo vedení. Za zlučovačom (Fronius string control) sa nachádza rozvodná skriňa Box max. Rozvodnice Box max sú namontované na konštrukcii panelov. Zo skrinky Box Max je hlavný napájací rozvod DC káblami zaústený do rozvádzačov RP1, RP2. V rozvádzačoch je istenie (+) uzemnený (-)pol a prepäťová ochrana FVE. Z rozvádzačov RP1, RP2 sú prepojené meniče Vacon (obr.1).



Obrázok 1 FVE, Box max, rozvádzač

AC strana

Rozvody AC strany sa nachádzajú v transformačnej stanici typu EH1 ktorá je rozdelená medzistenou na časti VN 22kV, NN 280V a transformátorovú časť. V transformačnej stanici sa nachádza rozvádzač strany VN R1, rozvádzače strany NN RH1 RH2, ochrany a transformátor. Dispozične má transformačná stanica samostatnú rozvodňu NN a VN a stanovisko transformátora. Na strane NN sa nachádzajú rozvádzače RH1, RH2 ktoré obsahujú istenie z meniča WR1 a istenie z vývodu na trafo T, a rozvádzač RVS1 pre vlastnú spotrebu. Z rozvádzača RVS1 je napájaný technologický objekt, obvody osvetlenia, zásuvkové obvody potrebné pre prevádzku transformačnej stanice a vypínacie cievky ističov a pripojenie zdroja vlastného napájania. Ochrana siete je zabezpečená samostatným zariadením na strane VN. Použitá je univerzálna sieťová ochrana SEPAM, sleduje a zabezpečuje odpojenie od distribučnej siete v prípade že, vyrobená el. energia bude mimo predpísaných parametrov. Prepäťová ochrana reaguje na zvýšenie napätia nad stanovenú hodnotu voliteľným oneskorením. Medze napätia je možné voliť pre každú fázu zvlášť. Ďalšie ochrany sú podpäťová, nadfrekvenčná, podfrekvenčná a nadprúdová. Na distribúciu el. energie je použitý hermetizovaný olejový transformátor firmy AREVA typ TNOSN s výkonom 1250 kVA.

Použité FV panely

Na premenu slnečnej energie sú použité mikromorfné dvojvrstvové panely Heliosphera HS 110 (obr. 2). Sú to dvoj vrstvové (tenkovrstvové) panely vyrobené technológiou a-Si/ μ c-Si tandem. Ide o technológiu dvojvrstvovú z amorfného a mikrokryštalického kremíku. Namontované sú na ocelevej konštrukcii zo sklonom 26° a smerovaním na južnú stranu s azimutom -3°. Panely sú zapojené do tzv. stringov po 15 panelov podľa obr. 14. Štyri takéto stringy sú potom zapojené paralelnevoči sebe, tieto tvoria tzv. 1 kanál. Jednotlivé kanály sú monitorované zariadením Fronius Stringcontrol, ktoré má pre každý kanál poistku. Každá z poistiek je monitorovaná a teda pri

prípadej poruche je možné poruchovú vetvu ľahko detekovať poruchu. Meniče napätia Vacon sú výkonné trojfázové meniče s beztransformátorovou topológiou premeny DC na AC. To znamená že na transformáciu používajú výkonné elektronické súčiastky. V projekte sa nachádzajú konkrétne 2 meniče Vacon model a to NXI 11505 každý s inštalovaným výkonom 499 kW pri napätíovej úrovni 280V AC (obr. 2).



Obrázok 2 Panely Heliosphaera HS 110, Menič Vacon, Informačný display

Databáza PVGIS

PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) je výskumný, nástroj na geografické posúdenie energetických solárnych zdrojov v rámci integrovaného riadenia distribuovanej výroby energie. PVGIS spája skúsenosti z laboratórneho výskumu, monitorovania a testovania s geografickými poznatkami za účelom analyzovať technické, environmentálne a sociálno-ekonomické faktory slnečnej energie. Na výpočty PVGIS je použitá metodika na báze výpočtu slnečného žiarenia pri danom sklone povrchu pre akúkoľvek geografickú oblasť a pre daný časový interval prípadne okamih. Tento postup bol implementovaný na softvér a je založený na využití slnečného žiarenia modelu **r.sun** a techniky priestorovej interpolácie (JRC, 2015).

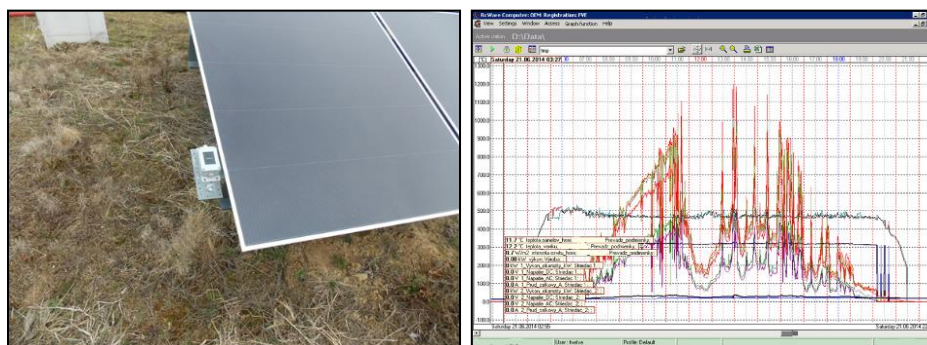
Algoritmus modelu **r.sun** berie do úvahy rozptýlené a odrazené zložky slnečného žiarenia, oblačnosť, úroveň a sklon terénu. Celková denné žiarenie (Wh.m^{-2}), sa vypočíta integráciou hodnôt intenzity osvetlenia (W.m^{-2}) vypočítanej v pravidelných časových intervaloch počas celého dňa od východu do západu slnka. (Solar radiation and GIS, 2015).

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Dispečing

Pre ukladanie a monitorovanie dát slúži zariadenie Datalogger Web-Fronius. Toto zariadenie disponuje možnosťou pripojenia k počítačovej sieti a pomocou internetového rozhrania umožňuje sledovať fotovoltaičné zariadenia a výrobu el. energie. Zariadenia Fronius Stringcontrol sú pospájané dátovým káblom do zbernice dataloggeru pre potreby monitorovania. V technickej miestnosti je počítač s modemom cez ktorý je možné uložené dáta prenášať na centrálny portál Fronius a monitorovať tak výrobu vo FVE.

Údaje boli získavané pomocou počítačového monitorovacieho softvéru ktorý zaznamenával výkon od panelov. Ďalej boli zaznamenávané intenzita osvetlenia panelov, teplota povrchu panelov a teplota okolia pomocou snímačov upevnených na konštrukciách panelov (obr.3).

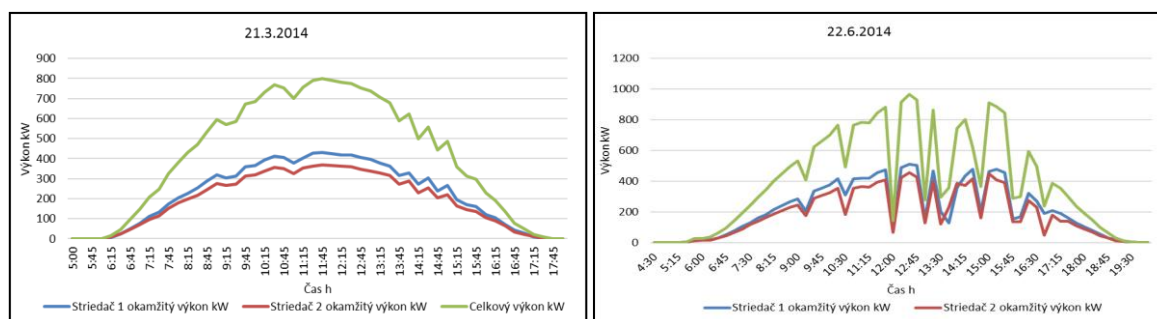


Obrázok 3 Snímač intenzity osvetlenia, Monitorovací softvér

Merania v teréne

Prvé meranie bolo uskutočnené vybraný deň, 21.03.2014 (obr. 4a, obr. 5a a obr. 6a) v časovom intervale od 5⁰⁰h. do 17⁴⁵h. Výkon od striedačov začal prúdiť v čase medzi 6⁰⁰h a 6¹⁵h o hodnote 16 kW keď bola intenzita osvetlenia 33,1 W.m⁻². Počas dňa jeho hodnota stúpala s rastúcou intenzitou osvetlenia o 9⁰⁰h a o 11⁰⁰h možno pozorovať menší pokles výkonu a osvetlenia čo bolo spôsobené zatienením pozemku mrakom. Po jeho prechode mimo pozemok FV elektrárne hodnoty výkonu opäť začali stúpať. Podobný jav možno pozorovať aj v čase od 13¹⁵h o 15¹⁵h kedy už intenzita osvetlenia klesala. Najvyšší výkon bol zaznamenaný o 11⁴⁵h a jeho hodnota dosahovala 800 kW. Výkon od striedačov prestal prúdiť o 17⁴⁵h. Striedače pracovali v režime „master - slave“. Teplota okolia sa počas dňa pohybovala od 7,7 °C do 20 °C, maximum dosahovala v čase okolo 15¹⁵h. Teplota panelov sa ráno pohybovala v rovnakých hodnotách ako teplota okolia, avšak počas dňa stúpala rýchlejšie a teda dosahovala vyšších hodnôt ako teplota okolia. Maximálna teplota panelov bola zaznamenaná o 12⁴⁵h a v čase o 17⁴⁵h klesla na rovnakú hodnotu ako teplota okolia. Intenzita osvetlenia bola zaznamenávaná v W.m⁻². Minimálna hodnota osvetlenia pri ktorej začína od striedačov prúdiť výkon je 30 W.m⁻². Namerané hodnoty sa pohybovali v rozpätí od 0,8 do 857,6 W.m⁻².

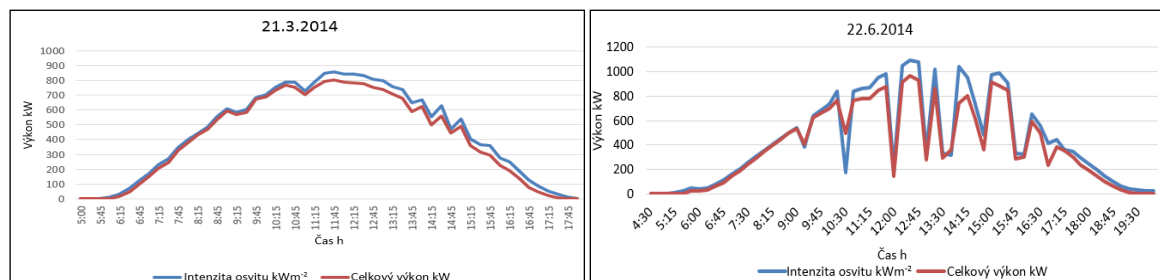
Druhé meranie bolo uskutočnené 22.6.2014 (obr.4b, obr. 5b, obr. 6b) v čase od 4³⁰h do 20⁰⁰h. Výkon od striedačov začal prúdiť o 4³⁰h, kedy bola hodnota intenzity osvetlenia panelov 27,5 W.m⁻² a hodnota výkonu od striedačov 4 kW. Maximálny výkon 965 kW bol zaznamenaný o 12³⁰h a od striedačov prestal prúdiť o 19⁴⁵h. Kolísanie nameraných hodnôt bolo spôsobené zvýšenou oblačnosťou, tento jav však nie je pre toto obdobie typický. Najvyšší pokles možno pozorovať v čase 12⁰⁰h. kedy výkon od striedačov prudko poklesol z 881 kW na 143 kW a počas nasledujúcich 15 minút narástol na hodnotu 914 kW. Striedače pracovali v režime „master - slave“. Ranná teplota okolia v čase 4³⁰h. dosahovala hodnotu 14,2 °C kedy bola intenzita osvetlenia 1,3 W.m⁻² pri maximálnej intenzite osvetlenia 1096,8 W.m⁻² o 12³⁰h. kedy teplota okolia bola 23,1 °C. Teplota na povrchu panelov ráno bola 13,8 °C a v čase 14¹⁵h. dosiahla svoje maximum 41,6 °C. Na priebehu teploty panelov sa tiež prejavila premenlivá oblačnosť. Najväčší výkyv nastal v čase od 14⁰⁰h do 14⁴⁵h.



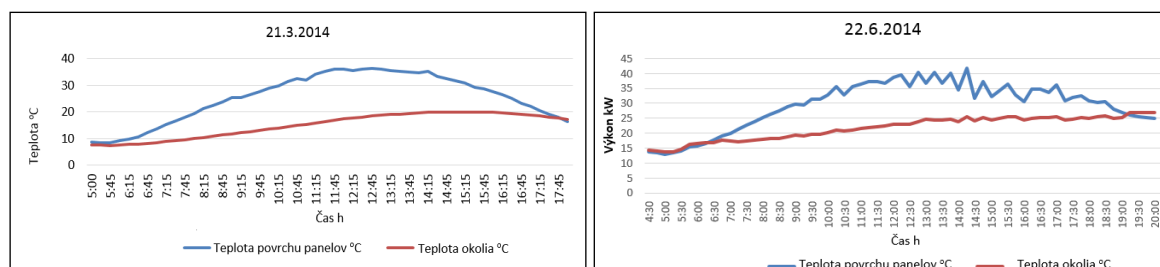
Obrázok 4 Priebeh výkonu na striedačoch, vybraný deň, marec a jún

Tretie meranie bolo vykonané 21.9.2014 (obr.7a, obr.8a, obr.9a) v čase od 6⁰⁰h do 19⁰⁰h. Toto obdobie je charakteristické premenlivou oblačnosťou ktorá sa výrazne prejavila na nameraných hodnotách. O 7⁰⁰h. začal od striedačov prúdiť výkon 8 kW pri intenzite osvetlenia 28,5 W.m⁻², a o 7¹⁵h. znova poklesol na 0 kW aj napriek tomu že vtedy bola intenzita osvetlenia už 44 W.m⁻². Od 7¹⁵h do 9¹⁵h. hodnoty výkonu kolísavo stúpali od 0 do 195 kW, potom nastal prudký nárast a v čase 10¹⁵h. bol výkon 650 kW. Ďalšie výrazne poklesy výkonu nastali o 10³⁰h, 11¹⁵h, 13⁰⁰h. a najvýraznejší pokles nastal o 13³⁰h kedy výkon od striedačov prudko klesal zo 717 kW do 14⁰⁰h. na 127 kW. Následne sa obloha znovu rozjasnila a od 14⁰⁰h do 14³⁰h hod výkon znovu prudko vzrástol na 656 kW. O 15³⁰h nastal ďalší prudký pokles kedy behom hodiny výkon klesol z 582 kW na 0 kW. O 16⁰⁰h sa ešte objavil výkon ktorý o 17⁰⁰h dosiahol hodnotu 95 kW ale postupne už potom klesal. Striedače sa vypli o 18³⁰h. Denná teplota sa pohybovala od 16,7°C do 23,6°C. Teplota panelov ráno mala približne rovnakú hodnotu ako ovzdušie a od 7⁰⁰h. začala narastať prudšie ako teplota okolia. Najvyššia teplota panelov bola zaznamenaná o 13¹⁵h. kedy bola 38,7 °C. Premennivá

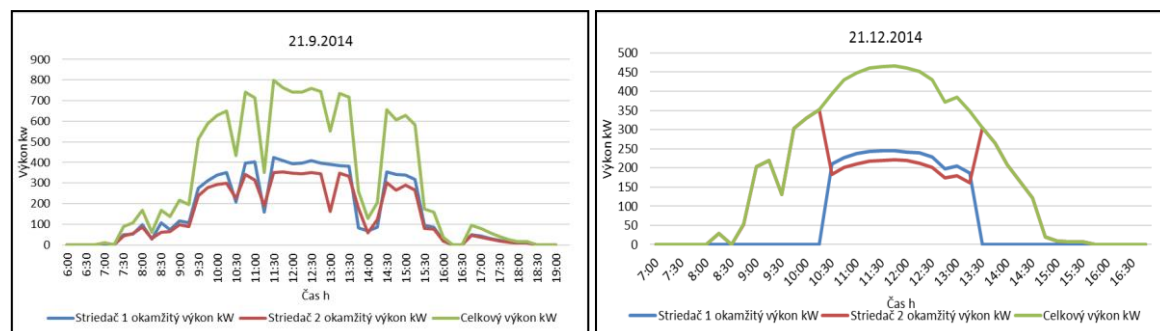
oblačnosť sa prejavila aj tu ale nie až tak výrazne, najväčšie zakolísanie možno pozorovať od 13¹⁵h do 15¹⁵h.



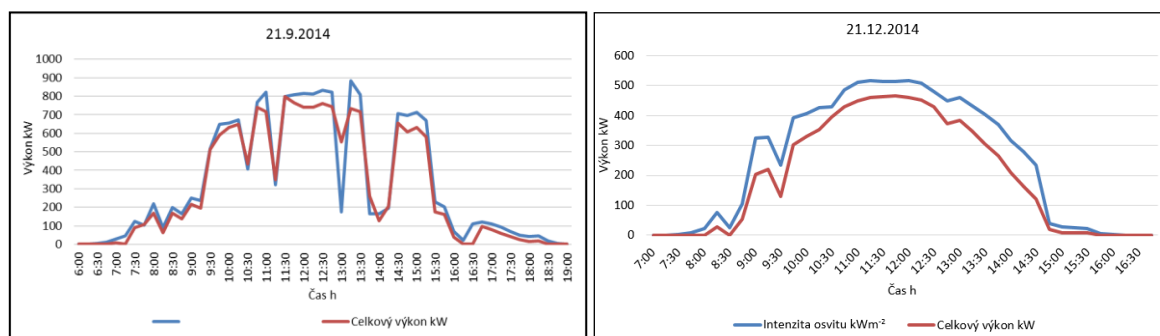
Obrázok 5 Priebeh intenzity osvetlenia a celkového výkonu, vybraný deň, marec a jún



Obrázok 6 Priebeh teplôt, vybraný deň, marec, a jún



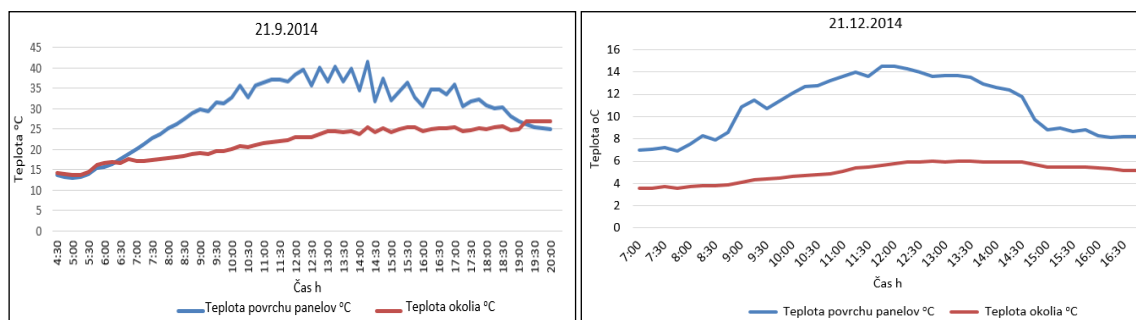
Obrázok 7 Priebeh výkonu na striedačoch, vybraný deň, september a december



Obrázok 8 Priebeh intenzity svetla a celkového výkonu, vybraný deň, september a december

Meranie za zimné obdobie bolo vykonané dňa 21.12.2014 (obr.7b, obr.8b, obr. 9b) v čase od 7⁰⁰h do 16⁴⁵h. Výkon do striedačov začal prúdiť o 8¹⁵h. o hodnote 29 kW pri intenzite osvetlenia 77 W.m⁻². Z dôvodu nižšej oblačnosti nastal chvíľkový pokles na 0 kW zaznamenaný o 8³⁰h. keď intenzita osvetlenia klesla z hodnoty 77 W.m⁻² na 24,6 W.m⁻². 30,9 W.m⁻². Maximálny nameraný výkon prúdiaci do striedačov bol v čase 11⁴⁵h. o hodnote 466 kW. Počas dňa pracovali striedače v režime „master - slave“, striedač 2 ako „master“. Hranica pre zopnutie pomocného striedača je 400 kW. Po prekročení tejto hodnoty sa výkon od FV panelov rozdeľuje medzi striedače. Minimálna hodnota pre zopnutie pomocného striedača bola prekročená v čase medzi 10¹⁵h a 10³⁰h. Ráno dosahovala

teplota okolia hodnotu Maximálna teplota počas dňa dosahovala 6°C. Najvyššia teplota panelov bola pozorovaná v čase 11⁴⁵h a 12⁰⁰h. a nepresiahla hodnotu 14,5°C.



Obrázok 9 Priebeh teplôt, vybraný deň, september a december

Porovnanie nameraných hodnôt s databázou PVGIS

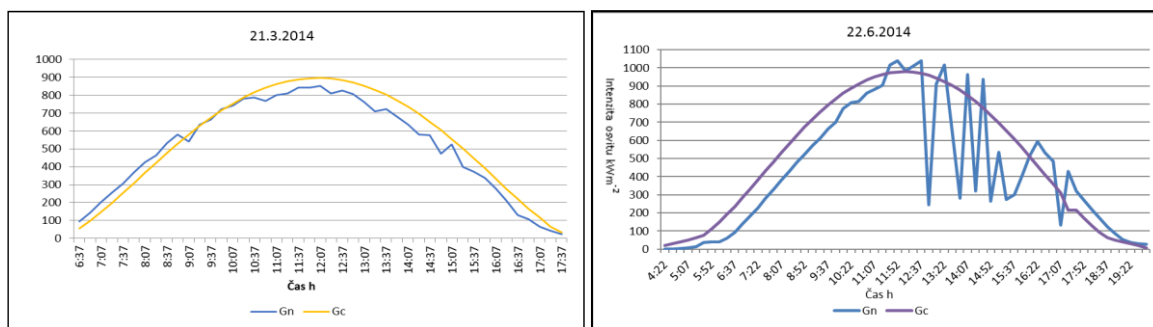
Údaje z PVGIS boli získané prostredníctvom interaktívnej mapy a prepočítané pre danú lokalitu a zvolené obdobie (mesiac). Prepočítané údaje pre jeden deň vo vybranom sú potom zobrazené v tabuľke (príloha) v 15 minútových časových intervaloch. Namerané hodnoty osvitu G_n z FVE v danej lokalite boli porovnávané s hodnotami vypočítanými pomocou PVGIS databázy (G_n - žiarenie namerané na vybranej FVE, G_c - žiarenie dopadajúce na vodorovnú plochu za predpokladu jasnej oblohy). Krivka nameraných hodnôt zo dňa 21.3.2014 (obr.10a) je svojim tvarom veľmi podobná krivke G_c . od rána do 9⁰⁷h hodnoty G_n mierne prevyšovali hodnoty G_c a od 9²²h do 10²²h tieto krivky takmer splývajú. Zvyšok dňa sa hodnoty G_n držali mierne pod hodnotami G_c čo bolo spôsobené miernou oblačnosťou. Výstupy z PVGIS pre tento deň teda možno považovať za pomerne presné.

Na priebehoch z 22.6.2014 (obr.10b) možno pozorovať veľmi veľké výkyvy G_n po 12³⁷h spôsobené premenlivou oblačnosťou. Avšak nebyť tejto oblačnosti kopírovala by celá krivka G_n krivku G_c s oneskorením o 1 hodinu. Aj napriek veľkým výkyvom teda možno povedať že údaje z PVGIS pre tento deň celkom presne vystihujú priebeh slnečného žiarenia za predpokladu jasnej oblohy s chybou o jednu hodinu dopredu.

Práca podobného charakteru bola vykonávaná na FVE LEFANTOVCE II. s výkonom 0,99 MW, kde sa tiež popísalo zloženie a funkčnosť jednotlivých častí vybranej FVE. Merania sa vykonali za letné a zimné obdobie, a sledovanými parametrami boli: celkový výstupný výkon, výkon jednotlivých striedačov, intenzity žiarenia, dennej teploty a teploty modulov. Výsledné hodnoty sa porovnali a zhodnotili vo forme grafických priebehov a tabuliek, a následne sa zhodnotili ekonomické aspekty (Daubner, 2012).

Ďalšia diplomová práca s cieľom popísať situáciu v oblasti využívania FV energie, bola vykonávaná na konkrétnom príklade FVE Vojany s inštalovaným výkonom na DC strane 0,95 MW. V práci je spracovaná celková analýza projektu FV elektrárne, od investičného zámeru, realizácie, ekonomického zhodnotenia až po konečnú fázu, ako aj porovnaním s podobnými projektmi v Českej republike (Boleman, 2012).

Tento problematike sa venuje aj diplomová práca Hodnocení provozních aspektů fotovoltaických systémů (autor: M. Malínek, 2014). Diplomová práca sa venuje problematike hodnotenia prevádzkových aspektov fV systémov, ktoré sú významné z pohľadu praxe. Metodika práce je zameraná na popis vybranej FVE a jej najdôležitejších častí. Výsledky vlastnej práce obsahujú vyhodnotenie stacionárnych fV panelov s rôznym typom orientácie a uhlom sklonu (Malínek, 2014).



Obrázok 10 Porovnanie s PVGIS za marec a jún

ZÁVER

V príspevku sa spracovali výsledky z FVE o výkone 0,99 MW. Z grafických priebehov vyplýva, že v letnom mesiaci od striedačov prúdil takmer dvoj násobne vyšší výkon ako v zimnom mesiaci, napriek tomu sa však v letnom mesiaci vyskytovali omnoho väčšie výkyvy slnečného svitu ako v zimnom mesiaci. Maximálne hodnoty z jari a jesene sa príliš nelíšia avšak v jesennom mesiaci možno pozorovať omnoho väčšie výkyvy intenzity slnečného svitu, čo je spôsobené tým že pre jesenné obdobie je typické premenlivé oblačné počasie. Priebehy zo zimného a jari mesiaca možno považovať za typické pre dané obdobie.

Priebehy zo všetkých 4 mesiacov boli následne porovnané z hodnotami získanými z databázy PVGIS. Vstupnými údajmi pre získanie hodnôt z databázy boli vybraný mesiac, uhol sklonu panelov, typ článku, zemepisná poloha a azimut. Z grafických priebehov možno usúdiť že databáza PVGIS je veľmi presná. Pri projektovaní FV systému je PVGIS vhodným nástrojom pre posúdenie solárnych podmienok a teda aj vhodnosti zemepisnej polohy zvolenej lokality či zvolenej technológie. Taktiež môže táto databáza poslúžiť pri smerovaní fV článkov či kolektorov.

Literatúra

1. BOLEMAN, A. P. 2012, Fotovoltaická elektráreň Vojany: Diplomová práca, Košice: TU
2. DAUBNER, M., 2012, Posúdenie využitia slnečnej energie a ekonomické zhodnotenie: Diplomová práca, Nitra: SPU
3. GORDAN, I. M.; GORDAN, C. E. akol. 2012. Modern Method used for Measuring the Intensity of Solar Radiations, Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium, ISBN 978-3-901509-91-9, ISSN 2304-1382
4. ILIÁŠ, I., a kol. 2010. Slnko k službám, Energetické centrum Bratislava 2010, ISBN 978-8-096-96461-1
5. LYSKO M. D. Measurement and Models of Solar Irradiance, 2006 ISBN 82-471-8069-3
6. MALÍNEK, M., 2014, Hodnotenie prevádzkových aspektov fotovoltaických systémov: Diplomová práca, Nitra: SPU
7. SICK, F., ERGE, T. 1996. Photovoltaics in Buildings: A Design Handbook for Architects and Engineers, International Energy Agency, Paris, France, ISBN 978-1-849-71192-0
8. JRC, FAQ about PVGIS [online]. [s.a.]. [cit. 2015-3-20]. Dostupné na <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/info/faq.htm>
9. PVGIS, [online]. [s.a.]. [cit. 2015-2-28]. Dostupné na: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php?lang=en&map=europe>
10. Solar radiation and GIS [online]. [akt. 2012-2-10]. [cit. 2015-4-4]. Dostupné na <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solres/solmod3.htm>
11. QUASCHNING Volker. 2008. Erneuerbare Energien und Klimaschutz, Carl Hanser Verlag München. ISBN 978-3-446-43809-5
12. Zákon č. 180/2005 Zb., o podpore výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov

Contact address: prof. Ing. Ján Jobbágy, Ph.D. Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering, Department of Machines and Production systems, Tr. A. Hlinku 2, Nitra 949 76, Slovak Republic
phone: : + 421 37 641 4796, e-mail: Jan.Jobbagy@uniag.sk

ZHODNOTENIE VÝKONOVÝCH PARAMETROV LINKY VO VINÁRSKOM PODNIKU

JÁN JOBBÁGY, JANA VAŇOVÁ, JANA GALAMBOŠOVÁ
Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky, TF, SPU v Nitre

Abstract: In the article we focused on evaluation of qualitative parameters of selected filtration lines. The filtration devices were evaluated by filterability index and by modified filterability index of wine enterprise Château Topolčianky. Measurements were performed on the following nine varieties: Pinot Gris, Sauvignon, Neronet, Saint Laurent Rose, "Frankovka" (Blafränkisch) Rose, Veltliner Green, Chardonnay, Müller Thurgau and "Zamocka Sviecka Biela" (Cuvée). Differences occurred in the filtration according to method of filtration, variety of wine and order of measurement. The results proved the measured values meet the required parameters that the enterprise accepts and that comply with its regulations. The quality of filterability is measured by two instruments that measure filterability index and modified filterability index. One of the devices is Filtertest which we use manually and the other device is a computer-controlled system Master Mind QFT. We filled the measured values into formulas where it was determined whether the wine qualifies for further processing according to results. Pinot Gris showed us the best values in the first experiment and Chardonnay in the second. Wine which showed unacceptable values has had to be re-filtered.

Keywords: technological equipment, filtration, wine, filterability index.

ÚVOD

Vinič hroznorodý patrí medzi najstaršie kultúrne rastliny na svete. Archeologické nálezy dokazujú, že vinič hroznorodý je starší ako človek. Rástol už v druhohorách (pred 150 miliónov rokov). Pôvod viniča nie je celkom objasnený. Najstaršie nálezy viniča druhu Vitis spochádzajú z dnešného Kazachstanu a Sachalinu. Vznikli pred sto miliónmi rokmi. Prvý európsky druh druhu rodu Vitisbol objavený vo Francúzsku v okolí Champagne (Polacek, 2014). Šetrným spracovaním hrozna modernou technológiou a pod vedením skúsených technologov prinášajú vína, ktoré sa vyznačujú ľahkým, sviežim, odrodovo typickým charakterom. V portfóliu vín je zastúpená široká škála bielych a červených odrôd v kategóriách akostných vín a vín s prívlastkom, ktoré sú známe nie len na Slovensku ale aj v zahraničí (najvino, 2014). Filtrácia je predposledný krok výroby vína. Víno sa filtruje, aby nadobudlo iskru, aby sme zachytili prípadnú nečistotu, alebo kvasinku, ktorá by nám mohla vo fľaši narobiť problémy (vino, 2014).

Cieľom mojej práce bolo zhodnotiť výkonné parametre filtračnej linky vo vinárskom podniku „Château Topolčianky“.

MATERIÁL a METÓDY

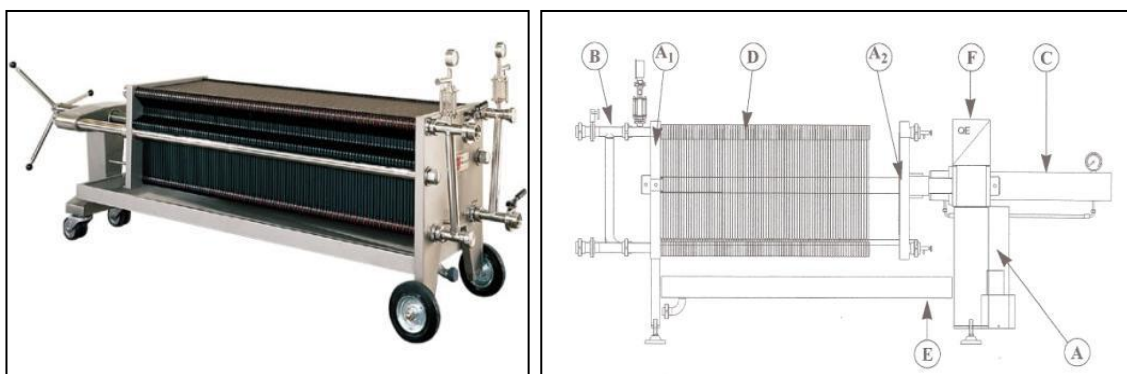
Charakteristika záujmovej oblasti

Vinárske závody Topolčianky patria k popredným producentom vín v Nitrianskej vinohradníckej oblasti s dlhodobými skúsenosťami a tradíciou. Spoločnosť bola založená v roku 1993, nadväzujú na úspešnú tradíciu a svoje výrobky predávajú pod ochrannou známkou „Château Topolčianky“ (vinotop, 2014).

Súčasnosť - v roku 1993 sa pivnice stávajú súkromnou spoločnosťou. Spoločnosť začínala len so šiestimi zamestnancami, jej filozofiou bolo nadviazať na hlboké korene miestneho vinárstva. Dnes je vinárstvo „Château Topolčianky“ dokonalým reprezentantom citlivo oživej tradície siahajúcej do prvej Československej republiky. O ďalší úspešný priebeh výroby vín sa starajú skúsení enológovia, ktorí dohliadajú na všetky štádiá procesu, v ktorom sa hroznová šťava kvasením prirodzene mení na víno. V roku 2000 „Château Topolčianky“ investovala do prvých viníc v Pavlovej a Modranoch a momentálne obhospodaruje viac ako 420 ha (vinotop, 2014).

Filtračné zariadenia

V podniku sa nachádzajú tri samostatné filtračné zariadenia. Prvým filtračným zariadením je **Filter MasterInox Model 60x60**. Filter Master s olejovo – tlakovým zatváraním pozostáva z rámu (A), ktorý je vyrobený z kvalitnej ocele pozostávajúcej z dvoch platní jedna je fixná a druhá mobilná. Rám je nastaviteľný. V ďalšom pozostáva z prietokového systému (B) (pozostáva z plniacich a výtokových rúr, ku ktorým je vzduchová armatúra pripojená na mobilnú a fixnú platňu a na manometer na kontrolu tlaku). Súčasťou zariadenia je aj zatvárací systém (C) – obsahuje olejovo-tlakovú jednotku a olejovo-tlakovú nádobu. Olejovo-tlaková jednotka pozostáva z nádržky a vzduchotesného uzáveru. Nachádza sa tu aj piestové hydraulické čerpadlo pre vysoké tlaky je umiestnené vo vnútri nádrže. Čerpadlo má výstup $1,6 \text{ l.min}^{-1}$ a maximálny tlak 50 MPa. Nádrž je vybavená výstražnými svetlami, odtokom oleja a plniacim otvorom. Manometer je nainštalovaný na nádobe na kontrolu zatváracieho tlaku a spätná klapka je nainštalovaná na olejovo-tlakovom potrubí na okamžité uvoľnenie tlaku. Súčasťou sú aj Platne (D), pričom od ich nastavenia závisí správnosť filtrovania a zjednodušuje čistiace operácie. Platne sa skladajú z filtračných komôrok a zo štyroch dier každá v jednom rohu, dve na prívod tekutiny dve na odvod. Tie na odvod majú tesnenie na dosiahnutie perfektnej tesnosti a skladajú sa z filtračných papierikov. Platne sú dostupné plastové a oceľové (Plastické (Noryl) – sú vyrobené a odolné pre parnú sterilizáciu; Nerezová oceľ (AISI) – platne sú vhodné pre časté sterilizácie vo vysokých teplotách). Nádobu na odkvapkávanie (E) je z nehrdzavejúcej ocele je umiestnená pod rámom za účelom zachytávania odkvapov, ktoré vznikajú počas filtrácie alebo z platní keď je filter otvorený.



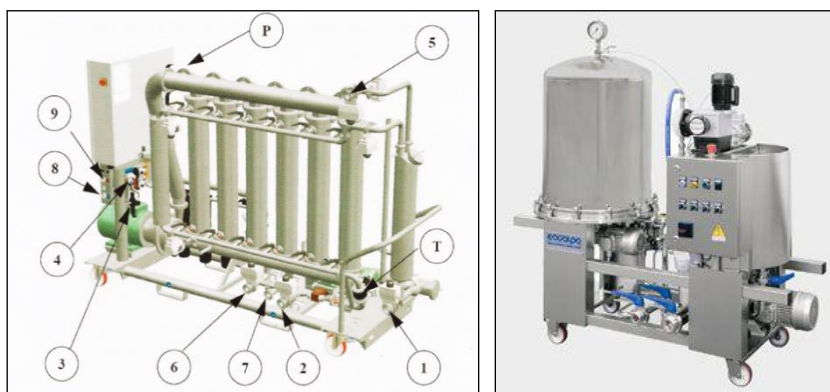
Obrázok 1 Filter MasterInox Model 60x60 (padovan, 2014; dokumentácia Vinárske závody Topoľčianky, 2014), A-rám, A₁-predné čelo platne, A₂-zadné čelo platne B-prietokový systém, C-zatvárací systém s olejovo-tlakovou jednotkou, D-platne, E-nádržky na odkvapkávanie, F-elektrická rozvodňa

Druhým filtračným zariadením je **filter FX 6** s automatickým umývaním, dávkovacími čerpadlami a turbidimetrom. Princíp tangenciálnej filtrácie – čerpadlo nasáva víno na filtráciu do filtračného modulu, ktorý obsahuje mikroporózne rúrkovité membrány. Do obvodu čerpadla (reziduálny okruh) je privádzané nefiltrované víno z nádrže pomocou čerpadla. V dôsledku tlaku vytvoreného čerpadlom preteká nefiltrované víno cez kapiláry membrán a takto sa filtruje. Rýchlosť prietoku vína v reziduálnom okruhu zabraňuje okamžitému zaneseniu membrány nečistotami, ktoré sú vo víne určenom na filtráciu. Prefiltrované víno sa odvádza do nádrže s filtrovaným vínom. Tlak filtrovaného vína a tlak reziduálnom okruhu sa merajú. Prietok a objem filtrovaného vína sa merajú a hodnoty sa zobrazujú na displeji.

V závislosti od druhu vína a jeho znečistenia sa filtračný modul zanesie v rôznom čase. Filtračný modul sa pravidelne prečisťuje pomocou procesu, zvaného retrofiltrácia. Retrofiltráciou sa z kapilár vyplavia kaly. Tieto možno zachytávať v pomocnej nádrži alebo sa môžu vrátiť do materského tanku alebo sa môžu priviesť do nádržky filtra pre spätnú filtráciu a následne automaticky reťitovať. Kaly obsiahnuté vo víne zostávajú vo filtri. Tieto sa skoncentrovávajú a v istých časových intervaloch v prípade automatického režimu vypúšťajú. Objem vypúšťaných kalov sa zobrazuje na monitore.

Princíp tangenciálnej filtrácie filtračného retentátu (opcia) – princíp tejto filtrácie je identický s tangenciálnou filtráciou. Pod pojmom filtračný retentát sa myslia zahustené kaly. Bežný kal pochádzajúci z retrofiltrácie je možné bez obáv filtrovať aj s kapilármi Ø 1,5 mm (to sú tie čo sú v štandardnom filtri).

V poradí tretím filtrom je **horizontálny kremelinový naplavovací filter C31**. Skonstruované sú tak, aby dokonale riešili problémy pri filtrácii vína, dokonca už aj malých množstiev. Samočistiaci horizontálny diskový filter C31 je výsledkom štúdie s ohľadom na požiadavky. Zabezpečuje rovnaký výkon, aký poskytuje najdokonalejší kremelinový filtre. Doskové kremelinové filtre majú ako jediné dostupné na trhu, vnútorný rozvod vody. Majú motorizovaný pohon doskových sít a nie je potrebné po skončení filtrácie demontovať nerezový zvon, čo prináša časovú úsporu a menšie riziká poškodenia sít. Zariadenie sa odporúča demontovať raz za 2 až 3 mesiace z dôvodu kontroly nerezových sít.



Obrázok 2 Filter FX6 (Vinárske závody Topoľčianky, 2014), 1.vino na filtráciu – vstup, 2. filtrované víno – výstup, 3. vstup stlačeného vzduchu, 4.vstup inertného plynu, 5. kal z retrofiltrácie, 6. odpad na kanál, 7. zaustený kanál, 8.studená voda, 9. teplá voda, P. dávkovacie čerpadlá umývacích činidiel, T. turbidimeter; Horizontálny naplavovací filter (vinagro, 2014)

1.3 Výkonnostné parametre filtračnej linky

V rámci sledovania výkonnostných parametrov filtračných zariadení sme sa zamerali na výpočet *indexu filtrovateľnosti IF* a *modifikovaného indexu filtrovateľnosti IFM*.

$$IF = tv_1 - 2.tv_2 \quad (1)$$

Kde:

tv_1 – je čas v sekundách nameraný počas pretečenia 400 ml vína,

tv_2 – je čas nameraný po pretečení 200 ml vína.

$$IFM = (tv_3 - tv_2) - 2.(tv_1 - tv_2) \quad (2)$$

Kde:

tv_1 – je čas v sekundách nameraný počas pretečenia 400 ml vína,

tv_2 – je čas nameraný po pretečení 200 ml vína,

tv_3 – je čas nameraný počas pretečenia 600 ml vína

Merania sa vykonávajú na dvoch zariadeniach, Filtertest a MASTERMIND QFT. MASTERMIND QFT - je integrovaný systém pre vykonávanie testov filtrovateľnosti, ktorý je určený pre stanovenie indexu filtrovateľnosti vína (Q.F.T) a indexu koloidného a mechanického znečistenia vody (S.D.I.). Test je založený na stanovení času potrebného k filtrácii určitého daného objemu vína pomocou referenčnej membrány stanoveného celkom trikrát za sebou. Zo získaných filtračných časov sú následne výpočty pomocou empirických rovníc hodnoty indexu filtrovateľnosti (IF), modifikovaného indexu filtrovateľnosti (IFM.) a Maximálneho filtrovateľného objemu (V_{max}).

Test je prevádzaný pomocou membrány vyrobenej z esteru celulózy s pórovitosťou 0,65 mikrónov a priemerom 25 mm s nasledovnými prevádzkovými podmienkami:

- filtračný tlak 0,2 MPa,
- teplota 20 °C,
- začiatkový objem 80 ml.



Obrázok 3 MASTERMIND QFT (dokumentácia Vinárske závody Topoľčianky, 2014), MasterMind QFT (vason, 2014)

FILTERTEST

Popis činnosti pracovníka vykonávajúceho prácu má povinnosť:

- dodržiavať osobnú hygienu pred a počas vykonávaní,
- pri práci používa ochranné zariadenia a ochranné pomôcky,
- dodržiava predpisy a pokyny bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci.

Pred začatím filtertestu sa celé zariadenie prepláchnie vodou. Medzi 2 sitká sa vloží filtračný papier (biele 0,45 a pre červené 0,60) skrutkou sa zariadenie spojí a cez otvor sa naleje minimálne 0,65 litra skúšaného vína. Otvor sa zatvorí a vytvoríme v zariadení tlak 2 MPa. Každých 100 ml pretečeného vína cez filtračný papier zmeriame pre potreby výpočtu 2 indexov. Tlak v nádobe vytvoríme plynom (vzduch, dusík,...). Po pretečení 600 ml vína zariadenie odtlačujeme, opláchneme a pripravíme na ďalšie používanie. Namerané hodnoty potrebujeme k výpočtom indexov IF, IFM. Oba výpočty indexov musia byť menšie než číslo 10, ak nie sú treba test zopakovať alebo víno ešte raz prefiltrovať. Vzorky boli odobrané priebežne počas filtrácie cez degustačný kohútik priamo počas filtrácie vína.

VÝSLEDKY a DISKUSIA

V danej pivnici sa nachádza viac ako 40 sudov umiestnených v štyroch radoch. Filter F1 – horizontálny kremelinový naplavovací filter C31 sa nachádza v prednej časti miestnosti. F2 - Filter MasterInox a F3- Filter FX6 sa nachádza v prostriedku miestnosti. Odoberali sme vzorky prefiltrovaného vína z týchto troch filtračných jednotiek, ktoré má podnik k dispozícii. Každú odobratú vzorku prefiltrovaného vína sme kontrolovali na prístrojoch Filtertest a MasterMind QT, kde sme kontrolovali kvalitu prefiltrovaného vína.

Prípustná hodnota indexu filtrovateľnosti musí vychádzať od 1 do 10 v závislosti od vína. U červeného vína by sa mali hodnoty pohybovať do 10 a u bieleho do 5. Ak by nameraná hodnota presiahla desať nemôžu sa použiť do predaja, ale následne sa ešte raz prefiltrujú.

Meranie sme uskutočňovali na dvoch kontrolných meracích prístrojoch, ktoré používajú vinárske závody Topoľčianky, kde sme merali index filtrovateľnosti a modifikovaný index filtrovateľnosti na filterteste a na MasterMind QFT.

MASTERMIND QFT - je integrovaný systém pre vykonávanie testov filtrovateľnosti. Test je založený na stanovenom čase potrebného pre filtráciu 3 frakcií o objemu 200 ml. Ide o čas:

- T1 : čas, ktorý je potrebný k prefiltrovanie 200 ml vína potom, čo došlo k prefiltrovaní 150 ml počiatočného roztoku (t.j. čas potrebný pre prefiltrovanie od 80 do 280 ml),
- T2 : čas, ktorý je potrebný pre prefiltrovanie 200 ml potom, čo už bolo prefiltrovaných 280 ml (t.j. čas potrebný pre prefiltrovanie od 280 ml do 480 ml),
- T3 : čas, ktorý je potrebný pre prefiltrovanie 200 ml potom, čo už bolo prefiltrované 480 ml (t.j. čas potrebný pre prefiltrovanie od 480 do 680 ml).

Pre výpočet Indexu filtrovateľnosti (IF), Modifikovaného indexu filtrovateľnosti (IFM) a Maximálneho filtrovateľného objemu ($V_{\max}$) sú nakoniec použité nasledujúce rovnice:

$$IF = T_2 - 2 \cdot T_1 \quad (3)$$

$$IFM = (T_3 - T_1) - 2 \cdot (T_2 - T_1) \quad (4)$$

$$V_{\max} = (T_2 - T_1) / [(T_2/V_2) - (T_1/V_1)] \quad (5)$$

V tabuľke 1 sú zahrnuté experimentálne podmienky a výsledky testu filtrovateľnosti.

Tabuľka 1 Filtrovateľnosť – červené víno – cross-flow (príklad)

Parameter	Hodnota
Vzorka	Filtrované červené víno (membránová cross – flow filtrácia)
Spúšťači objem, ml	80
Objem každej frakcie, ml	200
Teplota, °C	20
Tlak, MPa	0,2
Časové úseky	
Čas T_1 , s	47,03
Čas T_2 , s	100,04
Čas T_3 , s	158,11
Výsledky filtrácie	
IF	5,98
IFM	5,06
$V_{\max}$	3546

Namerané hodnoty – prvé meranie - MasterMind QFT

Pri prvom meraní (merania zariadením na hodnotenie filtrovateľnosti vína - MasterMind QFT) sa uviedli výsledky v tabuľke 2. Merania prebiehali na odrodách ako Zámocká sviečka biela (ZSB – zmesné víno), rulandské šedé (RŠ), Sauvignon (SAU), Neronet (NER), Svätovavrinské ružové (SV ROSE) a boli vzorky odoberané z filtračných zariadení. Z tabuľky je zrejmé, že najvyššia hodnota parametra IF bola u odrody Sauvignon. Najnižšia hodnota pri prvom meraní bola u odrody Rulandské šedé.

Tabuľka 2 Výsledky filtrácie vína, IF, IFM - - meranie systémom MasterMind QFT

	ZSB	RŠ	SAU	NER	SV ROSE
200 ml	42	33	45	42	46
400 ml	87	67	97	89	98
600 ml	136	102	154	138	154
IF	3,85	0,61	6,13	4,16	5,53
IFM	2,82	0,59	4,35	2,95	4,11

Namerané hodnoty - prvé meranie - Filtertest

V tabuľke 3 (prvé meranie) sa uviedli výsledky merania zariadením na hodnotenie filtrovateľnosti vína (Filtertest). Odrody Zámocká sviečka biela (ZSB – zmesné víno), rulandské šedé (RŠ), Sauvignon (SAU), Neronet (NER), Svätovavrinské ružové (SV ROSE) sa odoberali z filtračných zariadení. Pri posudzovaní kvality filtrovaného vína s ručným Filtrestom sme dosiahli opäť najvyššie hodnoty u odrody SAU (IF=4) a najnižšiu hodnotu u odrôd (RŠ, ZSB).

Tabuľka 3 Výsledky filtrácie, IF, IFM - meranie ručným systémom Filtrertestom

	ZSB	RŠ	SAU	NER	SV ROSE
100 ml	15	18	20	22	18
200 ml	31	36	41	45	36
300 ml	47	55	63	68	55
400 ml	63	73	86	92	75
500 ml	80	91	109	116	95
600 ml	96	110	133	141	121
IF	1	1	4	2	3
IFM	1	0	2	2	7

Namerané hodnoty – druhé meranie - MasterMind QFT

Pri druhom meraní sme hodnotili na rozdiel od prvého merania iné odrody. V tabuľke 4 sme uviedli výsledky merania zariadením na hodnotenie filtrovateľnosti vína (MasterMind QFT). Odrody Frankovka modrá rose (FR-ROSE), Veltlínske zelené (VZ) , Chardonnay (CHARD), Müller Thurgay (MT) sa odoberali z filtračných zariadení. U týchto nových odrôd sme dosiahli najvyššie hodnoty IF u odrody Veltlínske zelené (VZ, IF=8,3) a najnižšie u Chardonnay (CHARD, IF=4,59).

Tabuľka 4 Výsledky filtrácie vína, IF, IFM- meranie systémom MasterMind QFT

	FR ROSE	VZ	CHARD	MT
200 ml	47	59	44	45
400 ml	99	126	93	96
600 ml	157	202	146	153
IF	5,02	8,3	4,59	5,75
IFM	5,91	8,2	4,05	5,61

Namerané hodnoty - druhé meranie - Filtrertest

V tabuľke 5 sa uviedli výsledky merania zariadením na hodnotenie filtrovateľnosti vína (Filtrertest). Odrody Frankovka modrá rose (FR-ROSE), Veltlínske zelené (VZ) , Chardonnay (CHARD), Müller Thurgay (MT) sa odoberali z filtračných zariadení.

Tabuľka 5 Výsledky filtrácie, IF, IFM- meranie ručným systémom Filtrertestom

	FR ROSE	VZ	CHARD	MT
100 ml	50	52	35	40
200 ml	101	105	71	82
300 ml	153	160	107	124
400 ml	206	218	145	168
500 ml	261	278	183	213
600 ml	318	340	224	259
IF	4	8	3	4
IFM	7	9	5	5

Keď porovnáme merania z tabuliek 2 a 3, tak výsledky kvality prefiltrovaní vína vyhoveli norme firmy. Zistili sme, že fyzické meranie Filtrertestom nie sú také presné výsledky ako počítačom riadené meranie na MasterMinde QT. Keď porovnáme merania z tabuľky 4 a 5, tak výsledky kvality prefiltrovaní vína vyhoveli norme firmy. Zistili sme, že fyzické meranie Filtrertestom nie sú také presné výsledky ako počítačom riadené meranie na MasterMinde QT.

Pod filtráciou rozumieme oddeľovanie dvoch fáz pomocou priepustného materiálu, ktorý umožňuje prechod len jednej z fáz. Zvyčajnej oddeľujeme tuhú fázu od kvapalnej (filtrácia kvapalín) alebo od plynnej fázy (filtrácia plynov). Ak oddeľujeme roztok od rôznych tuhých nečistôt, tak využívame filtráciu ako čistiacu metódu.

Pri filtrácii zachytávame tuhú látku najčastejšie na filtračnom papieriku rôznej pórovitosti. Rýchlosť filtrácie závisí od hustoty filtračného papierika, hustoty a viskozity kvapaliny, veľkosti

účinnnej filtračnej plochy, množstva a zrnitosti tuhej látky a od pretlaku filtrovanej kvapaliny – filtrátu (analytika, 2014).

Tóth a kol. (2008) uvádza, aby sa čírosť vína získaná filtráciou udržala, musí sa víno pred filtráciou ošetriť. Ošetrením vína rozumieme jeho čírenie. Čírením sa odstránia prebytočné látky, časť dusíkatých látok a katiónov. Čírenie vína a filtrácia sa navzájom dopĺňajú. Stupeň vyčistenia vína pôsobí zároveň na filtráciu. Čím viac zákalových častíc sa koaguluje a prechádza do sedimentu, tým je filtrácia jednoduchšia a rýchlejšia. Jobbágy, Findura (2013) a Mrázová (2008) uvádzajú, že kremelinové filtre sa vyznačujú väčšou výkonnosťou ako cross-flow filtre.

My sme zistili pri meraní filtrovateľnosti vína, že dané vzorky odobraté z filtračných zariadení spĺňali požadované hodnoty, ktoré sme namerali ručným prístrojom Filtertest a počítačom riadeným systémom MasterMind QFT. Pri meraní sme prefiltrované víno odoberali degustačným kanálkom, ktorým sme následne kontrolovali kvalitu prefiltrovaného vína cez filtračný papierik 0,60 µm pre červené víno a 0,45 µm pre biele víno.

ZÁVER

V príspevku sme sa zaoberali meraním výkonnostných parametrov filtračných zariadení. Vzorky sme odoberali s troch filtračných jednotiek, ktoré sa nachádzali vo Vinárskom podniku Château Topolčianky. Výstupom boli výsledky filtrovateľnosti a filtrovanie sme realizovali pomocou kontrolných zariadení MasterMind QFT a Filtertest. MasterMind QFT je počítačom riadený systém, ktorý riadi počítač na rozdiel od filtertestu, kde sme meranie uskutočňovali ručne. Zhodnotili sme index filtrovateľnosti a modifikovaný index filtrovateľnosti.

Keďže nie každá odroda má rovnaké chemické a fyzikálne parametre ako napr. konzistencia, hustota a pod. aj koeficienty IF a IFM majú rozdielne výsledky. Dôležité je sledovať hraničnú hodnotu 10, ktorá je daná podnikovou normou. Zistili sme, že dané namerané hodnoty spĺňali rozsah (IF, IFM). Výsledky sa od seba líšili v závislosti od: spôsobu filtrácie a od odrody.

Literatúra

1. BOLEMAN, A. P. ANALYTICA, 2014 [online], [citované 11. 10. 2014] dostupné na internete: <http://www.analytika.sk/VIZLAB/zlo/41f.html>
2. Padovan. [online], [citované 11. 10. 2014] dostupné na internete: http://www.padovan.com/eng/prodotti.asp?idProd=536&id_sec=2&id_pag=143#top.%202014
3. JOBBÁGY, J. - FINDURA, P. Mechanizácia vinárstva. 1.vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2013. 165 s. ISBN 978-80-552-0996-8
4. MASTERMIND QFT [online], [citované 11. 10. 2014] dostupné na internete: <http://www.vason.it/ita/prodotti.php?sector=juclas&cat=37&product=276>
5. Mrázová, L. 2008 Vplyv filtrácie na kvalitu červeného vína. diplomová práca 2008, 80 s.
6. Naj víno, 2014[online], [citované 07. 08. 2014] dostupné na internete: <http://www.najvino.sk/category/63-chateau-topolcianky.aspx>
7. Polacek, 2014. [online], [citované 10. 10. 2014] dostupné na internete: <http://www.slpk.sk/eldo/2010/zborniky/008-10/polacek2.pdf>
8. TÓTH, P. – FINDURA, P. – TÓTH, Ž. Technické a technologické aspekty výroby hroznového vína. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2008. 158 s. ISBN 978-80-552-0160-3
9. Vinárske závody Château Topolčianky[citované 08. 08. 2014]
10. VÍNO, 2014. [online], [citované 11. 10. 2014] dostupné na internete: <http://www.vino.sk/aktuality/domace/vyroba-bieleho-vina/>
11. VINOTOP 1, 2014. [online], [citované 11. 10. 2014] dostupné na internete: <http://www.vinotop.sk/pages/sk/profil/tradicia.php>

Táto publikácia vznikla vďaka podpore projektu **Vega 1/0102/21** pod názvom „Znižovanie chemického zaťažovania a degradácie poľnohospodárskych a lesných pôd voľbou vhodných agrotechnológií s ohľadom na klimatické zmeny.“

Contact address: prof. Ing. Ján Jobbágy, P.hD. Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering, Department of Machines and Production systems, Tr. A. Hlinku 2, Nitra 949 76, Slovak Republic
phone: : + 421 37 641 4796, e-mail: Jan.Jobbagy@uniag.sk

ANALYSIS OF THE FAILURE RATE OF SELECTED CHAINSAWS

JÁN KOVAČ, IGOR GREGOR

Technical University in Zvolen, Faculty of Technology, Department of Environmental and Forestry Machinery

Abstract: Article deals with the analysis of the most frequent malfunctions of chainsaws. Part of the work is a comprehensive assessment of the individual parts of the chainsaw and the current state. In the introduction, chainsaws and their construction are presented, at the same time, the work also includes the division of saws into categories according to use, drive, power or weight, etc. In the next part of the article, the theory of reliability and failure rate is analyzed, where it follows on from the main part of the article, which concerns the processing of analysis of failure rate and reliability. Individual brands of chainsaw manufacturers such as (STIHL, HUSQVARNA, JONSERED, DOLMAR) became the subject of comparison.

Keywords: chainsaw failure rate, chainsaw construction, reliability analysis

INTRODUCTION

Currently, machines and devices are mainly used to facilitate human work in almost all sectors of the economy (KOVÁČOVÁ, MARKO, 2008). To achieve the goal, which is currently in the forestry sector also the care of machines and equipment used for forest restoration and harvesting, the maintenance of machines and equipment used in this process is used (ŠTOLLMANN, SLUGEN, 2009).

An important role in the operation of machines and equipment is currently determined by reliability and promptness. Reliability is a general feature of a machine/equipment consisting in the ability to fulfil the required functions while maintaining the performance indicators within the given limits in a certain time according to the specified technical conditions (VALENČÍK, 2012). Reliability indicators that have a probabilistic nature are used for quantitative (numerical) reliability assessment of the object. Quantification numbers are statistical quantities and have an informative value mainly in mutual comparisons.

Reliability is one of the basic properties of every product. We can use it as one of the parameters of product quality. Many products with a higher purchase value are bought with reliability in mind (LEGÁT, JURČA, 1999). The buyer is informed about the price of spare parts, about the possibility of keeping the given product in operable condition while observing the maintenance intervals (LEGÁT, STÁVEK, ALEŠ, 2014).

It can be stated that the chain saw is currently no longer an interesting topic and has been researched many times, the opposite is true. Because today's chainsaw can be considered a relatively complex work device full of design innovations compared to its predecessors, and therefore it can be safely said that there are more than enough interesting things about today's chainsaws. However, today's more complex designs of saws can lead to various malfunctions when used carelessly and sparingly, which in some cases are difficult for an ordinary user to repair due to their more complex designs, and because of this, they often must seek out a specialized service. The progress over the last 50 years is more than considerable, especially in the engine area, but the area of design and ergonomics is not far behind (KUNT, 2012).

Chainsaws are adapted to the requirements of both professionals and private users with progressive construction, powerful engines, and favourable weight. All chainsaws work on the same principle, where an uncovered endless saw chain is used to achieve the desired cutting effect, which rotates at a peripheral speed above 20 m.s^{-1} . From the point of view of work safety, the chainsaw therefore belongs to the category of risky tools, and its use can be very dangerous for inexperienced users. For the safety of the operator as well as people in other parts of the workplace, it is necessary to observe the basic principles of occupational safety, also because chainsaws are, although less and less, still used to a large extent for primary logging directly in the field, which it itself brings certain security risks. Cold, damp and vibration are the most common causes of problems for forestry workers using chainsaws. We can divide chainsaws according to several aspects, the basic division can be according to the type of end user and thus into professional, semi-professional and hobby saws (JOBBÁGY, KOVÁČ, 2014).

A more precise division is according to the volume of the cylinder, the power of the engine and the weight of the saw (KOVÁČ, et al., 2017):

1. *class 40 cc(33-45 cm³)* low volume engines, engine power 1.2-2.3 kW, light saws 3.5-4.9 kg, suitable for cuttings,
2. *class 50-70 cc(51-72 cm³)* medium-volume engines, power 2.4-3.8 kW, medium-heavy saws 5.0-6.9 kg, suitable for pre-cutting and back-cutting operations,
3. *class above 80 cc(80-125 cm³)* high volume engines, engine power 4.0-6.8 kW, heavy saws 7.0-11.0 kg, suitable for harvesting especially strong hardwoods, in handling warehouses.

MATERIAL and METHODOLOGY

Chainsaw users often criticize their model for not "lasting" anything, but some of them do not realize that they are treating the machine completely badly and then attribute the errors to the manufacturers (LUKÁČ, 2005). We can thus say that owners of chainsaws often blame themselves for malfunctions on their own saws. However, it goes without saying that sometimes the malfunction is a matter of a manufacturing error or simply the fault of a failed model. Despite this, the failure rate since the production of current saws is very small, because the manufacturers pay attention to the quality and reliability of the products. None of the manufacturers wants to hear bad reviews about their products, so they are constantly being innovated and improved to prevent unwanted malfunctions, which, however, cannot be completely minimized during use.

Subject to the reliability of gasoline chainsaws, individual brands of manufacturers have become more and less well-known.

The goal and main topic is the development of analysis of the failure rate and reliability of chainsaws, which summarize the materials and information obtained for individual brands of chainsaw manufacturers. The most frequent intervals of replacement or adjustment of problem parts of the given saws are selected, and I evaluate them tabularly and graphically. The aim of the comparison will be some, especially well-known or less well-known brands of manufacturers such as (HUSQVARNA, STIHL, JONSERED, DOLMAR).

Table 1 Technical parameters of Stihl chainsaws (<https://stihl.sk/>)

Model	He managed MS 261	He managed MS 362
Drive	Gasoline	Gasoline
Weight, kg	4.9	5.8
Power, kW	3.0	3.5
Engine volume, cm ³	50.2	59
Sound power level (L _{WA}), dB	113	114
Sound pressure level (L _{pA}), (dB)	102	103

Table 2 Technical parameters of Husqvarna chainsaws (<http://www.husqvarna.com/sk/>)

Model	Husqvarna 236	Husqvarna 550XP
Drive	Gasoline	Gasoline
Weight (kg)	4.7	5.5
Power (kW)	1.4	3
Engine volume (cm ³)	38.2	50.1
Sound power level (L _{WA})(dB)	113	117
Sound pressure level (L _{pA}) (dB)	100.7	105

Table 3 Technical parameters of Jonsered chainsaws (<https://www.hornbach.sk/>)

Model	Jonsered CS 2238 S	Jonsered CS 2245 S
Drive	Gasoline	Gasoline
Weight, kg	4.7	4.9
Power, kW	1.5	2.1
Engine volume, cm ³	38	45.7
Sound power level (L _{WA}), dB	118	115
Sound pressure level (L _{pA}), dB	101	103

Selected brands of chainsaw manufacturers are compared using the replacement intervals or settings of the individual most stressed parts, which are given by the manufacturers in the manuals for the chainsaws. Of course, the replacement intervals of individual parts also depend on their quality, handling and maintenance.

Table 4 Technical parameters of the DOLMAR chainsaw (<https://www.dolmar.sk/>)

Model	Dolmar PS-420 SC
Drive	Gasoline
Weight (kg)	4.9
Power (kW)	2,2
Engine volume (cm ³)	42.4
Sound power level (L _w A)(dB)	111.8
Sound pressure level (L _p A) (dB)	100.8

RESULTS and DISCUSSION

I will compare the selected brands of chainsaw manufacturers using the replacement intervals or settings of the individual most heavily loaded parts, which are given by the manufacturers in the manuals for chainsaws. Manuals for the operation of individual brands are listed in the list of used literature. The replacement intervals of individual parts also depend on their quality, handling and maintenance methods, and are processed in tabular form (table 5 and 6).

Table 5 Intervals for replacing parts of chainsaw manufacturers

Model	STILL	HUSQVARNA
	Replacement intervals (hours in operation/years, months/ min. dimensions of exchange)	
Ignition replacement interval candles	100 hours	1 year
Guide rail replacement interval	min. 4 mm	min. 4.5 mm
Drive replacement interval sprocket	min. 0.5 mm	min. 0.5 mm
Saw chain replacement interval	min. 4.5 mm	min. 4 mm
Air filter replacement interval	100 hours	1 year
Fuel filter replacement interval	100 hours	1 year
Fuel line replacement interval, gasket under the lid fuel tank	3 years	3 years
Suction head replacement interval (v fuel tank)	1 year	2 years

Table 6 Intervals for replacing parts of chainsaw manufacturers

Model	JONSERED	DOLMAR
	Replacement intervals (hours in operation/years, months/ min. exchange dimensions)	
Spark plug replacement interval	1 month	100 hours
Guide rail replacement interval	min. 4.5 mm	min. 4 mm
Drive replacement interval sprocket	min. 0.6 mm	min. 0.5 mm
Saw chain replacement interval	min. 4 mm	min. 4.5 mm
Air filter replacement interval	2 months	100 hours
Fuel filter replacement interval	2 months	100 hours
Fuel line replacement interval, gasket under the lid fuel tank	2 years	3 years
Suction head replacement interval (v fuel tank)	2 years	4 years

The tables contain several units from which they were processed into two graphs (Figure 1 and 2), which contained exchange intervals in mm and intervals in hours. However, the conversion of the given months and years into hours in operation had to be done.

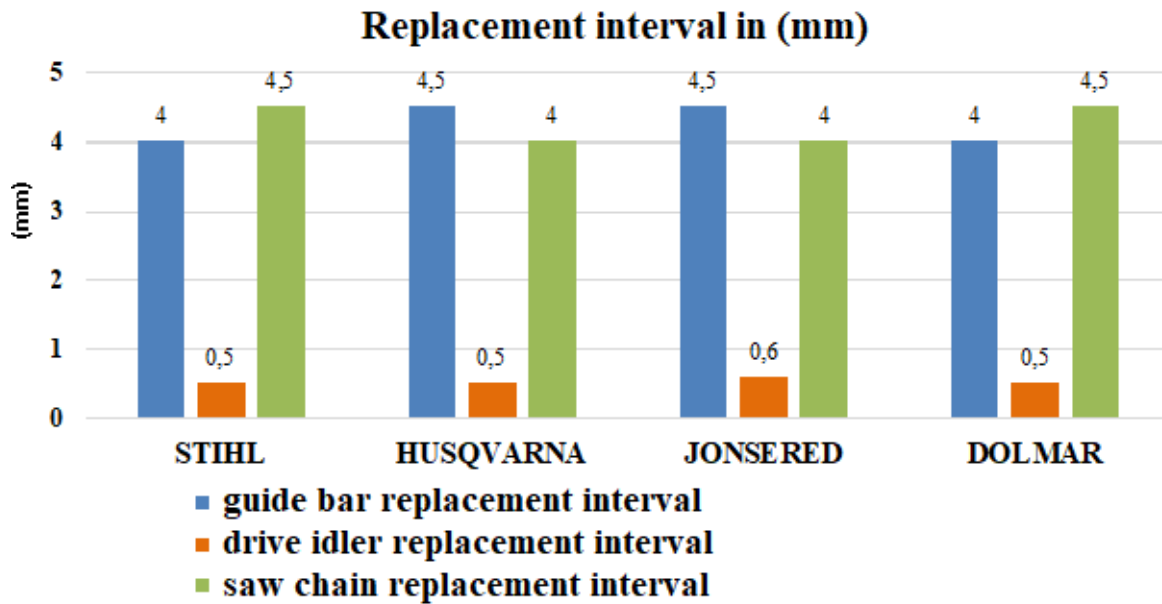


Figure 1 Graph of the interval of replacement of parts in (mm).

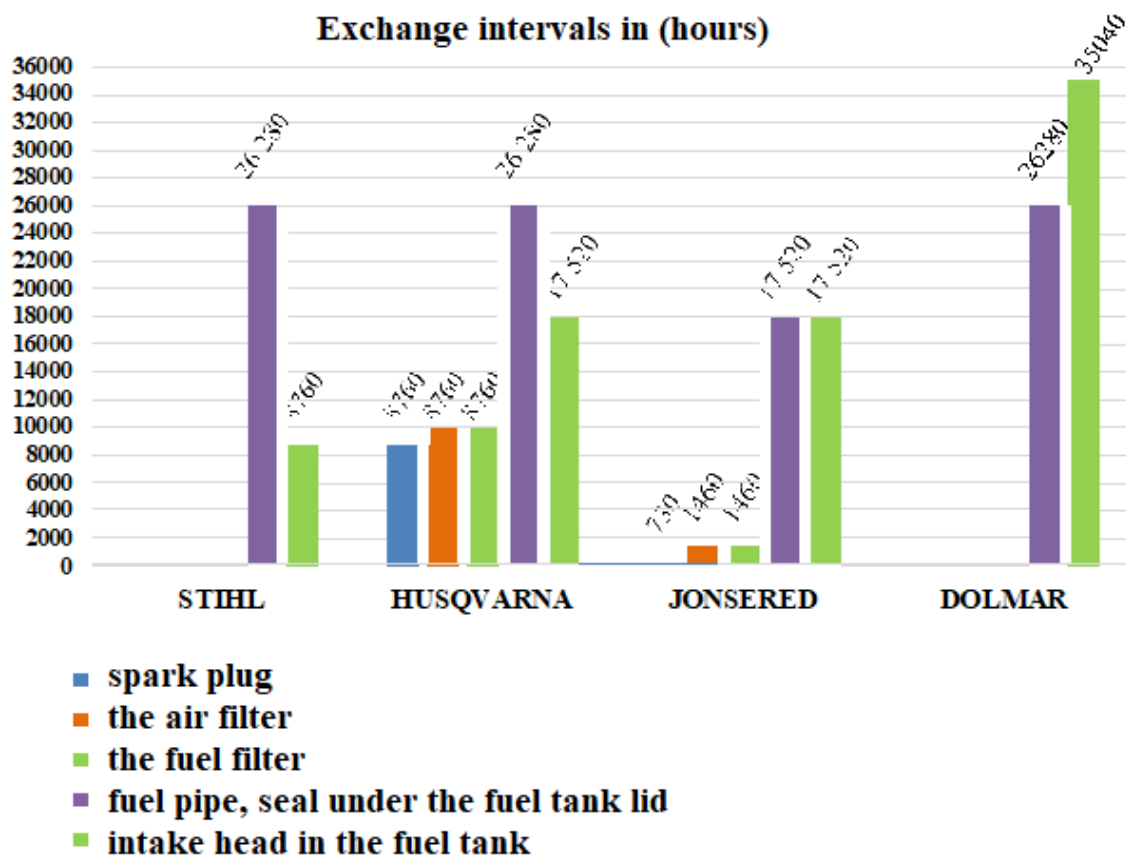


Figure 2 Graph of the replacement interval in hours.

In the reliability analysis, selected brands of chainsaw manufacturers were compared. Advantages and disadvantages were evaluated. Since the brands of saws that are selected for comparison are at the same performance level, the replacement interval figures given were not very different. Each of the mentioned brands has specific products of individual parts of high quality. In addition to the

tabular overview of the intervals, the data is also processed graphically, where we can easily compare the individual exchange intervals.

CONCLUSION

Operational reliability is an incredibly broad topic. Due to the monitoring of only some operational reliability parameters, additional space is opened for the investigation of other parameters as well as equipment manufacturers and subsequent possible comparison of the achieved results. In conclusion, I will just summarize that it has been confirmed that the manufacturers of the brands Stihl, Husqvarna, Dolmar and Jonsered are clearly the leading manufacturers of chainsaws. Their saws are notorious for their reliability and quality.

References

1. JOBBÁGY, J., KOVÁČ, J. 2014. Construction machinery and forest technology. Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2014, ISBN 978-80-552-1233-3
2. KOVÁČ, J. et al. 2017. Technology and mechanization in forestry: university textbook.
3. Zvolen: Technical University of Zvolen, 2017. 354p. ISBN 987-80-228-3021-8.
4. KOVÁČOVÁ, K. – MARKO, J., 2008. The RCM method and its implementation in the maintenance and operation of LKT. In COYOUS 2008: conference of young scientists, 2 April 2008. Prague: 2008, p. 126–134. ISBN 978-80-213-1778-9.
5. KUNT, L., 2012. New trends in chainsaws. České Budějovice 2012. Bachelor thesis. University of South Bohemia in České Budějovice. Faculty of Agriculture. Department of agricultural transport and handling technology. 86 p.
6. LUKÁČ, T. 2005. Chainsaw: operation, maintenance, technique and work technology. Zvolen: Institute for Education and Training of Workers LVH SR, 2005. ISBN 80-89100-10-4.
7. LEGÁT V., JURČA V., 1999. Quality Management in Maintenance. Monograph, Czech Society for Quality, Prague, 1999.
8. LEGÁT, V., STÁVEK, M., ALEŠ, Z.: 2014. Preventive maintenance - the way to higher quality and production efficiency. In: Proceedings of the Quality 2014 conference, Ostrava 2014.
9. ŠTOLLMANN, V., SLUGEN, J., 2009. Forest mechanization tools. Zvolen: TU Publishing House in Zvolen, 2009. 213 p. ISBN 978-80-228-2065-3.
10. VALENČÍK, Š., 2012. Current topics in machine maintenance (2). ATP JOURNAL, [online] [cit. 2021.03.20] Available online: <https://www.atpjournals.sk/buxus/docs/54-55.pdf>.
11. <http://stihl.cz>/available online, cited on 2/25/2023.
12. <https://stihl.sk>/available online, cited on 2/25/2023.
13. <http://www.husqvarna.com/sk>/available on the Internet, cited on 2/27/2023.
14. <http://www.nr.edu/cadd/pages/projectimages.html>available on the Internet, cited on 2/27/2023.
15. <https://www.dolmar.sk/userfiles/navody/PS-350%20SC,%20PS-420%20SC.pdf>available online, cited on 2/25/2023.
16. <http://www.oregonchain.eu>/available online, cited on 2/25/2023.
17. <https://www.jonsered.com/us/products/chainsaws/cs-2245/967208803/>available on the Internet, cited on 10.3.2023.
18. <https://www.hsquintec.sk/technicke-listy/retazove-pyly>available on the Internet, cited on 10.3.2023.

This research was funded by VEGA project no. 1/0364/21 "Research of forestry machines working mechanisms regarding the new constructional parameters and working principles."

Contact address:

doc. Ing. Ján Kováč, PhD., Ing. Igor Gregor, Department of Environmental and Forestry Machinery, Faculty of Technology, Technical University in Zvolen, TG Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia, e-mail: xgregor@is.tuzvo.sk , kovac@tuzvo.sk .

EFFECT OF SOIL AERATION ON SOIL PENETRATION RESISTANCE

TOMÁŠ KRAJÍČEK, PETR MARADA, JAN MAREČEK

The Faculty of AgriSciences, the Department of Agricultural, Food and Environmental Engineering,
Mendel University in Brno, the Czech Republic

Abstract: This work is about the effect of deep soil aeration on soil penetration resistance. The research was carried out on plots in the municipalities of Želetice and Žďánice, where sites for this measurement were selected in advance. The land in the village of Želetice was standard arable land, on the land in the village of Žďánice sheep were kept and the effect of aeration on the land compacted by animals is monitored. The results showed a positive effect of aeration on soil penetration resistance on both plots.

Keywords: soil aeration, soil compaction, penetration resistance, pedocompaction

INTRODUCTION

Na půdu působí velkým množstvím vnějších vlivů. Jedním z těchto vlivů je pojezd výkonných, ale těžkých strojů, které se používají kvůli stále zvyšující se intenzifikaci zemědělství (Williamson, Neilsen 2000; Nawaz, Bourrié, Trolard 2013). Odolnost půdy vůči utužení, resp. pedokompakci je ovlivněna především strukturou a texturou půdy, obsahem organické hmoty, popř. vlhkostí (Javůrek, Vach 2008).

V České republice je asi 49 % zemědělských půd ohroženo utužením, což může vést k snížení výnosů. Z tohoto množství asi 30 % je citlivých na genetické utužení, které může nastat v důsledku tvorby zajilených iluviálních a případně oglejených horizontů, zatímco více než 70 % půd čelí tzv. technogennímu utužení (Situační výhledová zpráva - půda, 2018).

Na zemědělských pozemcích jsou utužením nejvíce poškozovány souvratě, vlivem většího pohybu souprav (vjezd na pozemek), popř. otáčení souprav při polních pracích. Právě na těchto plochách dochází v době intenzivních srážek ke kumulaci vody, která se však nevsakuje (Javůrek, Vach 2008). Dále k tomuto utužení může dojít na pastvinách, vlivem koncentrovaného pohybu zvířat, např. u krmišť nebo u vchodů na pastvinu (Drewry, Cameron, Buchan, 2008).

Cílem tohoto výzkumu bylo ověření technologie provzdušňování půdy, která by snížila penetrační půdní odpor, a tím zvýšila retenční schopnosti půdy.

MATERIAL and METHODOLOGY

Hloubkové vysokotlaké provzdušňování půdy, za účelem snížení penetračního půdního odporu, bylo prováděno prototypem nástroje, který byl vybaven jehlou. Touto jehlou byl vtlačován vzduch do hloubky 1,5 m, pod tlakem 7 až 10 bar.

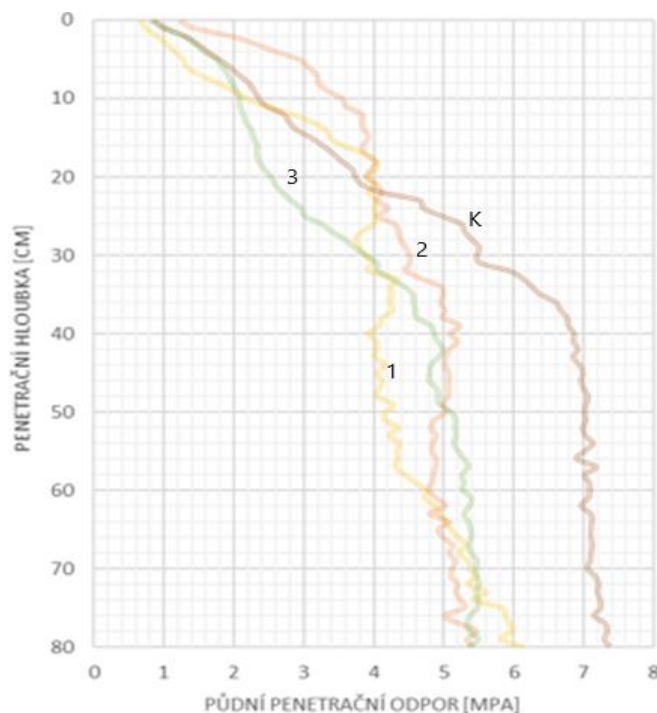
Toto provzdušňování bylo prováděno na modelových pozemcích v k.ú. Želetice a v k.ú. Žďánice v okrese Hodonín v Jihomoravském kraji v České republice. Na prvním zmiňovaném pozemku v k.ú. Želetice je standardní orná půda, kde byla vytipována lokalita pro měření. Byly zde provedeny 3 vpichy penetrometru v provzdušněném prostoru a dále byl proveden kontrolní vpich na neprovzdušněném místě pro porovnání. Na druhém pozemku v k.ú. Žďánice byly provedeny dva vpichy penetrometru s provzdušňováním a dále byl proveden kontrolní vpich na neprovzdušněném místě pro porovnání.

Ke stanovení penetračního půdního odporu (PPO) se použil penetrollogger společnosti Eijkelkamp s využitím metodiky vyvinuté firmou Eijkelkamp Agrisearch Equipment. Penetrační tyč byla opatřena kuzelem o ploše 1 cm² a úhlem 60°. Penetrační rychlost byla zvolena na základě doporučení výrobce přístroje na 2 cm·s⁻¹. Tento konkrétní přístroj zaznamenává PPO až do hloubky 80 cm, a to s centimetrovým rozlišením. Velmi snadno se programuje pro konkrétní zkoumané plochy a je schopný zaznamenat stovky měření v rámci jednoho datasetu. Navíc je penetrollogger osazen velmi přesným snímačem GPS, což při vyhodnocování výsledků měření velmi usnadňuje práci. Samotný logger je pak velice snadné připojit k PC, kam se výsledky dají za pomoci specializovaného softwaru stáhnout a následně zpracovávat.

Vyhodnocení naměřených výsledků probíhalo ve specializovaném softwaru Penetroviewer od výrobce měřicího zařízení, ze kterého se data převedly do tabulkového procesoru MS Excel k dalšímu zpracování. Takto jsme schopni získat body se souřadnicí GPS a k nim tlak nutný k proražení půdy v MPa (PPO) a povrchovou PV v procentech. Tyto body jsou následně zobrazeny v ArcGIS (geografický informační systém). Po zobrazení bodového pole probíhá v prostředí tohoto softwaru také statistická analýza pro rastrové zobrazení do mapového souboru. Pro tyto účely byla využita Krigova metoda interpolace, která při využití modelování hodnot gaussovským procesem podle apriorních kovariancí dává nejlepší lineární nestrannou předpověď střední hodnoty.

RESULTS and DISCUSSION

Na obrázku 1 je znázorněna grafická závislost penetračního půdního odporu na penetrační hloubce pro variantu bez provzdušnění (K - kontrola) a varianty 1–3 s provzdušněním, v lokalitě k.ú. Želetice.



Obrázek 1 Graf závislosti penetračního půdního odporu na penetrační hloubce na sledované ploše v k.ú. Želetice

Na obrázku 2 je zobrazena grafická závislost penetračního půdního odporu na penetrační hloubce ve třech variantách, v oblasti k.ú. Želetice. Bez provzdušnění (K) a dvě varianty s provzdušněním.

U variant bez provzdušnění je možné vidět povrchové v povrchové vrstvě několika centimetrů hodnot 2 MPa. Následný průběh penetračního půdního odporu v horní části půdního horizontu má charakter lineárního nárůstu až do hloubky 80 cm, kde dosahuje hodnot blízkých se maximum i přes 7 MPa, resp. 6,5 MPa u lokality Žďánice.

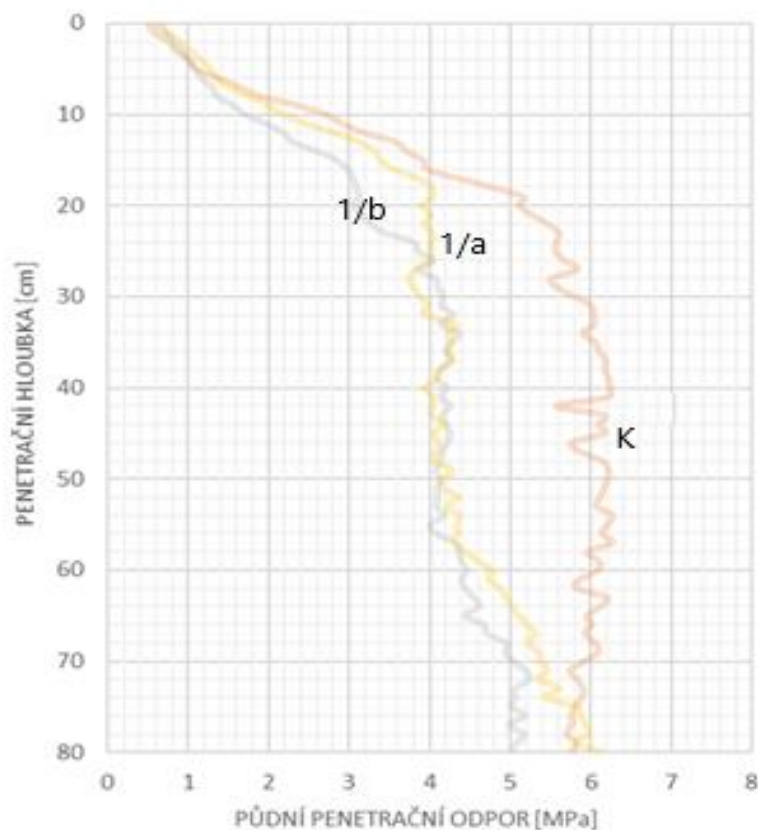
U variant s provzdušněním je patrné snížení penetračního půdního odporu. Kdy na pozemku v k.ú. Želetice je zřejmé, že penetrační odpor u všech tří měření byl menší jak 6 MPa v celé hloubce měření. V lokalitě v k.ú. Žďánice je zřejmé snížení penetračního odporu do přibližně 60 cm hloubky. Dále již penetrační odpor narůstá a blíží se k hodnotám na kontrolním měření.

CONCLUSION

Tato práce měla zhodnotit vliv injektáže vzduchu do půdy na penetrační půdní odpor. Na dvou měřených lokalitách bylo provedeno celkem 5 měření penetrometrem na plochách ošetřených provzdušňováním a 2 měření penetrometrem na plochách bez provzdušnění, které byly vyčleněny jako kontrolní plochy.

Výzkumem byl zjištěn pozitivní vliv hloubkového provzdušňování na penetrační odpor půdy. To může mít pozitivní vliv na infiltraci vody do půdy, podporu půdního edafonu a obecně i růst rostlin. Jedná se však pouze o dílčí část výzkumu, kde nejsou podchyceny veškeré možnosti, které mohou na zemědělské půdě nastat. Bude tak nutné provést další v průběhu roku.

Z prvotních výsledků, které ukazují nižší hodnoty penetračního odporu u provzdušněných lokalit zatím nelze jednoznačně určit vliv provzdušnění na penetrační odpor, a tedy s ním spojené zhutnění. Situaci bude nutné v jarních měsících nadále sledovat a hodnotit.



Obrázek 2 Graf závislosti penetračního půdního odporu na penetrační hloubce na sledované ploše v k.ú. Žďánice

References

- 1 DREWRY, J. J., CAMERON, K. C., BUCHAN, G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing—a review. *Soil Research*, 2008, 46.3: 237-256.
- 2 JAVŮREK, M., VACH, M. Negativní vlivy zhutnění půd a soustava opatření k jejich odstranění. Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2008.
- 3 WILLIAMSON, J. R., NEILSEN, W. A. The influence of forest site on rate and extent of soil compaction and profile disturbance of skid trails during ground-based harvesting. *Canadian Journal of Forest Research*, 2000, 30.8: 1196-1205.
- 4 NAWAZ, M. F., BOURRIE, G., TROLARD, F. Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for sustainable development*, 2013, 33: 291-309. "
- 5 Situační a výhledová zpráva – půda. 1. vyd., Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 2018, 143 s

Tato práce vznikla za podpory projektu č. CZ.01.1.02/0.0/0.0/20_358/0027903 – Výzkum revitalizace poškozených lokalit životního prostředí, jako jeho dílčí část.

Contact address: Ing. Tomáš Krajíček

The Faculty of AgriSciences, the Department of Agricultural, Food and Environmental Engineering, Mendel University in Brno, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno, Czech Republic

VYVAŽOVANIE SEKACIEHO MECHANIZMU BUBNOVEJ SEKAČKY

JOZEF KRILEK, MIKULÁŠ KUPČOK

Department of Environmental and Forestry Machinery, Faculty of Technology, Technical University of Zvolen, Studentská 26, 960 01 Zvolen

Abstract: The article deals with the design of a methodology for vibration measurement on a drum chipping machine. The first part of the paper describes the theoretical analysis of vibration and its measurement in practice. Then, the methodology of vibration measurement and balancing was established and implemented on a Morbark Wood hog 3000XP chipping machine. Experimental measurement confirmed the proposed methodology as functional and fast.

Keywords: balancing, drum chipper, chipping mechanism, vibration, diagnostics

ÚVOD

Vplyvom nehomogenity materiálu, montážnych a výrobných nepresností vzniká u rotujúcich častí takzvaná „nevyváženosť“. Táto nevyváženosť sa prejavuje vznikom dynamických síl a momentov. Tieto sily spôsobujú vibrácie a kmitanie, ktoré dynamicky zaťažujú hriadele, ložiská, spôsobujú hluk a vibrácie celého stroja a iné. Čím väčší je moment zotrvačnosti a najmä čím väčšia je rýchlosť otáčania rotujúcich súčastí, tým viac je dôležité správne vyváženie. V presne vyváženom komponente je hlavná os zotrvačnosti totožná s osou otáčania a prechádza ťažiskom. Vyvažovanie sa prakticky vykonáva pridaním závažia alebo odvrtaním materiálu. Čím vyššie sú otáčky, tým dôležitejšie je správne vyváženie.

Vibrodiagnostika v technickej praxi sa vyvíjala v súlade s aktuálnymi technickými možnosťami a potrebami technikov. Historická prax potvrdzuje také metódy ako priloženie špičky skrutkovača na nerotujúcu časť ústrojenstva a počúvanie ústrojenstva následným priložením ucha k rukoväti. Už táto metóda je archaická ale je reálnym základom pre akustické meranie vibrácie. Akákoľvek vibrodiagnostika pred nástupom počítačovej techniky, bola odkázaná na jednotlivcov s veľkými skúsenosťami a dlhoročnou praxou v obore údržby.

Prvé prístroje na meranie vibrácií (Fig. 1) sa začali konštruovať už okolo roku 1950, avšak až do roku 1970 s postupným rozvojom technológií a pokrokom v spracovaní digitálneho signálu (použitie FFT analýzy) bolo možné prístroje v praxi začať využívať. Prvé prístroje vážili niekoľko desiatok kilogramov tým bolo ich využitie značne obmedzené na účelové nevyhnutné zariadenia ako napríklad jadrové elektrárne. Prvé ľahšie prenosné prístroje začali prichádzať po roku 1980 s nástupom mikroprocesorov. Týmto sa vibrodiagnostika začína využívať vo väčšom a aj na ťažšie prístupných miestach. Avšak najväčší technologický rozmach zažila počas konkurenčných bojov jednotlivých spoločností ktoré dlhodobo prinášajú inovácie v obore Vibrodiagnostiky. Najznámejší výrobcovia vibrodiagnostiky sú: Brüel & Kjær, Prüftechnik, IRD, SKF, Adash, IFM, Acoem ...(Kupčok, 2023)

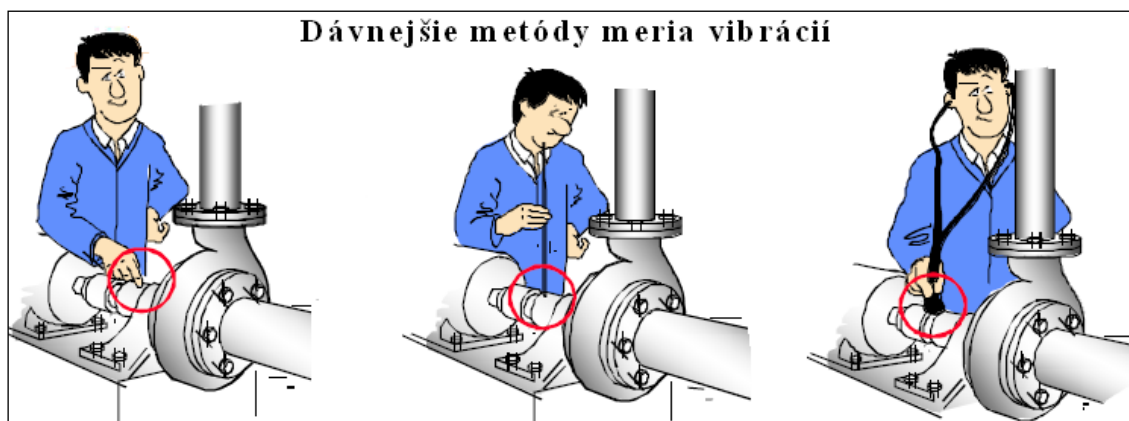


Figure 1 Dávnejšie metódy vibrodiagnostiky (Kupčok, 2023)

Po nástupe výpočtovej techniky sa zmenil celý obor vyvažovania čo znamená že sa začala deliť na:

- Statické,
- Dynamické:
 - Vyvažovanie na špeciálnych zariadeniach,
 - Vyvažovanie mobilným vyvažovacím systémom,
- Momentové.

Vibrodiagnostika ako nástroj modernej údržby

Každá moderná fabrika používa vibrodiagnostiku ako nástroj pre zistenie stavu strojných zariadení. Pomocou vibrodiagnostiky sa dajú zistiť stavy zariadení ako :

- stav ložiska
- stav súosovosti hriadelí
- stav vyváženia zariadenia
- stav základu a rámu strojného zariadenia
- stav ozubení a spojok

Stav ložiska: Vibrodiagnostika nameria poškodenie ložiska už pri najmenšom poškodení ktoré sa dá sledovať a pravidelnými meraniami môžeme určiť čas havárie ložiska (Fig. 2).

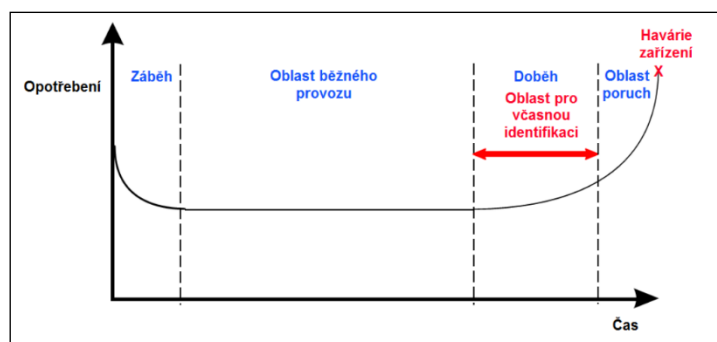


Figure 2 Vaňová krivka, krivka vzniknutá periodickým meraním (Blata, 2014)

V dnešnej dobe máme Bearing Failure Frequenci čo v preklade znamená Frekvencie ložiskového zlyhania, že každé ložisko má svoju význačnú frekvenciu pri ktorej o istej sile havaruje. Pomocou týchto frekvencií vieme zistiť ktorá časť ložiska zlyhá. Jednotlivé frekvencie pre dane časti ložiska sa vypočítajú pomocou vzťahov (Fig. 3):

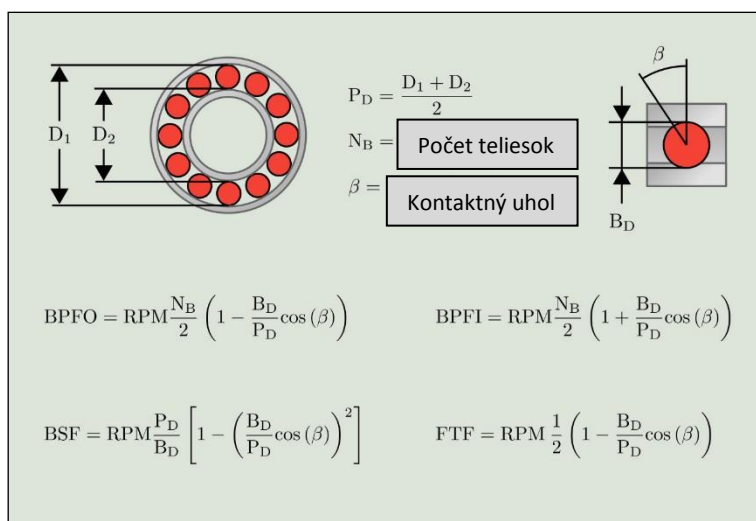


Figure 3 Vzorce s popisom pre výpočet poruchových frekvencií ložísk

BPFO – Frekvencia vonkajšieho krúžku; BPFI – Frekvencia vnútorného krúžku;

BSF – Frekvencia valivých teliesok; FTF – Frekvencia ložiskovej kľetky (Kupčok, 2023)

Pomocou meranej celkovej vibrácie zariadenia vieme zistiť v akom stave je súosovosť zariadenia (Axiálny smer vibrácie), nevyváha (Horizontálny smer vibrácie), poškodenie rámu alebo základu (Vertikálny smer vibrácie).

Princíp funkčnosti vibrodiagnostiky

Meranie vibrácií sa vykonáva podľa STN ISO 10816 v troch základných smeroch (Fig. 4):

A – axiálnom, H – horizontálnom a V – vertikálnom.

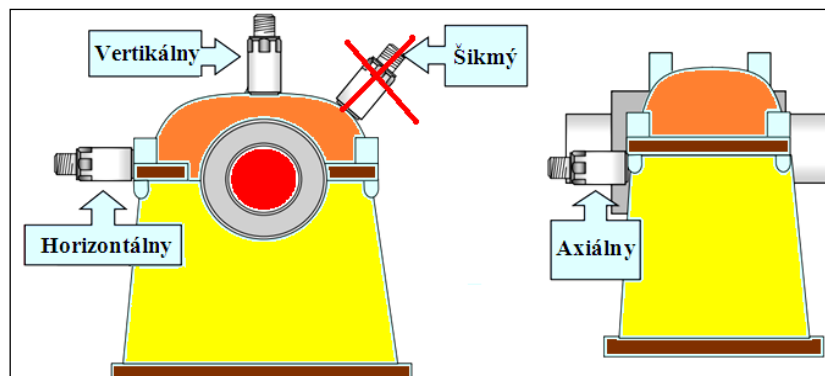


Figure 4 Grafické znázornenie merania podľa STN ISO 10816

Označovanie meracích miest:

Všeobecne sa označenie volí od pohonu stroja (el. motora) smerom k poháňanému stroju (čerpádlu, ventilátoru...).

L - je označenie pre meranie na ložiskovom telese, h -je označenie pre merané na hriadeľi,

n - je poradové číslo meraného ložiskového telesa, hriadeľa,

A, H, V - je označenie smerov merania - A -axiálny smer, H –horizontálny, V -vertikálny,

L1V - je v poradí prvé merané ložiskové teleso pohonu vo vertikálnom smere.

Mobilné vyvažovanie je postavené na základe vibrodiagnostiky a to meraním celkovej vibrácie v horizontálnom smere vibrácie a polohou hriadele za pomoci laserového snímača otáčok (v minulosti to boli snímače približenia). Na základe týchto veličín vie zariadenie vypočítať a určiť polohu nevyváhy.

Postup merania:

1. Zvolenie vyvažovacieho miesta a osadenie snímačov vibrácie (miesto pre vyvažovanie je vždy v horizontálnej polohe a je čo najbližšie k hriadeľi).
2. Osadenie laserového snímača otáčok:
 - a) Beh zariadenia – zistenie počiatočných hodnôt nevyváhy,
 - b) Beh zariadenia – testovacie závažie,
 - c) Beh zariadenia – korekcia nevyváhy (v prípade že korekcia bola dostačujúca tak vyvažovanie ďalej nepokračuje,
3. Demontáž snímačov.

Vyvažovacie zariadenia fungujú na základe vektorového výpočtu. (ATD Vibro II-2019-cuc AA, BB, CC, DD, 2019)

Cieľom príspevku je analýza vibrácií na bubnovom sekacom stroji na výrobu štiepky a navrhnúť systém na vyvažovanie bubnového štiepkovacieho stroja vzhľadom na najefektívnejšiu výrobu a úsporu financií.

MATERIÁL a METÓDY

Pre analýzu sme vybrali strojné zariadenie od spoločnosti Morbark s typovým označením Wood hog 3000XP (Fig. 5). Horizontálna sekačka Morbark 3000X Wood Hog je ideálna pre špecializované trhy, ako je recyklácia komunálneho odpadu, recyklácia paliet, čistenie pozemkov, lesné škôlky a odpad zo starostlivosti o stromy, je ideálna na spracovanie odpadu z dvorov, krovín a iných zmiešaných drevných surovín na predajný produkt. Veľkosť modelu 3000X umožňuje konfiguráciu pre viaceré aplikácie.



Figure 5 Morbark Wood hog 3000XP (Morbak)

V tabuľke 1 sú popísané technické parametre stroja Morbark Wood hog 3000XP. Výrobca na webovej stránke neudáva výkonnosť zariadenia. Zariadenie má pracovný rozsah 650-1000 min. Jedná sa o bubnový sekací stroj na výrobu štiepky, ktorý sa musí vyvažovať v dvoch rovinách z dôvodu, že priemer rotora je menší ako je jeho dĺžka.

Table 1 Technické parametre zariadenia Morbark Wood hog 3000XP (Morbak)

Dĺžka (preprava) (m)	10,66
Dĺžka (prevádzková) (m)	15,88
Výška (preprava) (m)	3,7
Výška (prevádzková) (m)	4,47
Výška (prevádzková) (m)	2,51
Hrubá hmotnosť (približná) (t)	25
Hrubá hmotnosť (približná) (t)	23,6
Motor	CAT C13Tier 4
	alebo elektro
Výkon	577 H P / 430 KW
	Elektro 298 KW
Objem paliva (nádrž) (nafta) (l)	663
Objem paliva (hydraulický olej) (l)	322
Otvor podávania (cm)	145 x 96,5

Pre svoj návrh vyvažovania volíme merací prístroj od spoločnosti Adash s typovým označením VA4 (Fig. 6) jeho technické parametre sú uvedené v tabuľke 2. A4400 - VA4 je jedinečný prístroj na diagnostiku vibrácií strojov. VA4 Pro obsahuje moduly na analýzu, zber údajov a záznam vibračného signálu. Prístroj je rozšírený o moduly na dynamické vyvažovanie, meranie nábehu a dobehu, akustický režim merania, ultrazvukové meranie, monitorovanie a kontrolu mazacieho procesu a počúvanie vibračného signálu pomocou funkcie stetoskopu. Prístroj je vybavený expertným systémom vyvinutým spoločnosťou Adash, ktorý automaticky zisťuje poruchy strojov. Prístroj VA4 Pro je určený pre inžinierov, technikov a výskumníkov, ktorí sa zaoberajú diagnostikou strojov a konštrukcií, ako aj dynamickým vyvažovaním rotačných strojov.



Figure 6 Merací prístroj Adash VA4 so snímačom zrýchlenia (Adash)

Table 2 Technické parametre prístroja Adash VA4 (Adash)

Vstupné kanály:	• 4 AC s možnosťou ICP® napájania • 4 DC pre procesné veličiny • 1 TACHO pre externé spúšťanie	Zpracovanie dát:	• FFT analýza v reálnom čase • ENVELOPE - obálková analýza • ACMT - analýza stavu pomaloběžných ložísk • rádová analýza • marenie v užívateľských pásmach • marenie otáčok • marenie procesných DC veličín
Vstupné rozsahy:	• AC +/-12 V peak-peak • DC +/- 24 V		
AD prevodník:	• 24 bit, 64 bit zpracovanie signálu nie je potreba AutoGain!		
Odstup Signál/Sum:	• 110 dB	Spúšťanie:	• manuálne • externé - tachosonda, TTL úrovně • prekročením zvolené amplitúdy signálu • časovým intervalom • zmenou otáčok
Vzorkovacia frekvencia:	• max. 196 kHz pro 1 kanál • max. 64 kHz súčasne pro 4 kanály • min 64 Hz		
i Synchronizácia:	• plné synchronné meranie na 4 kanáloch	Displej:	• farebný 800 x 600, LCD
Rozsah FFT:	• mín. 100 čiar • max. 25 600 čiar	Rozhranie:	• USB, Ethernet
Režimy merenia:	• Datakolektor – jemné merania • Analyzátor - analytická meranie • Balancer - prevádzkové vyvažovanie strojov • Runllp - meranie rozbehu a dobehu • Recorder - záznam signálu	Teplotný rozsah:	• -10°C až +50°C
Procesor:	• Intel Atom 1,6 GHz	Napájanie:	• akumulátor pro 6 hodín, AC 230 V
Pamäť pre dáta:	• až 120 GB	Rozmery:	• 230 x 140 x 60 mm
		Krytie:	• IP 65
		Váha:	• cca 2000 g

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Pre náš návrh sme použili dva vibrodiagnostické snímače (piezoelektrický - akcelerometer) s dĺžkou kábla minimálne päť metrov a jeden laserový snímač otáčok (trigger). Celé prísľušenstvo musí byť od spoločnosti Adash, aby bolo kompatibilné s meracím prístrojom.

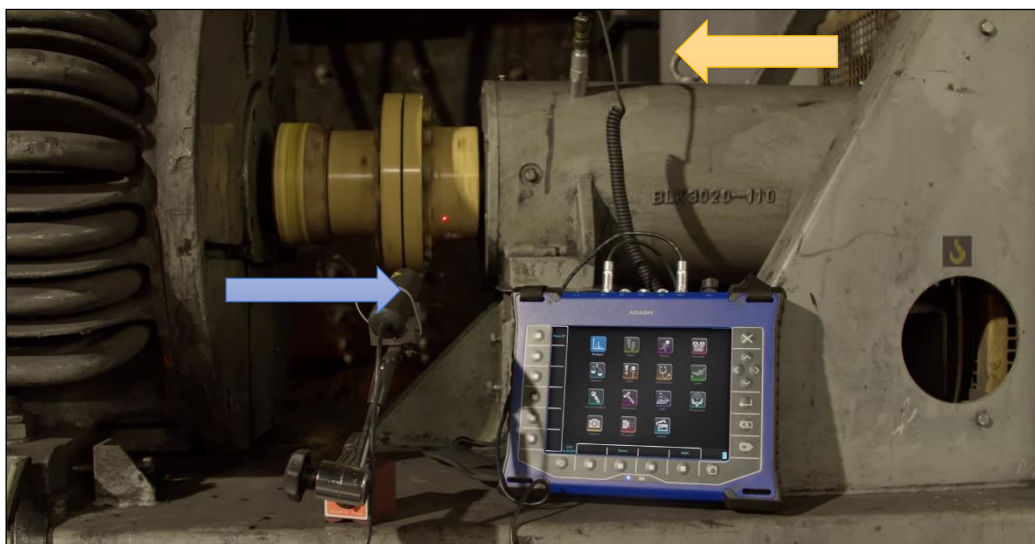


Figure 7 Laserový otáčkomer (modrá šípka) snímač vibrácií Adash A50-B (žltá šípka) (Adash)

Na ľavej strane obrázku môžeme vidieť laserový otáčkomer a na pravej strane obrázku môžeme vidieť typovo novší prístroj od spoločnosti Adash VA5 (Fig. 7).

Ako sme už spomínali tak dané zariadenie sa vyvažuje v dvoch rovinách z dôvodu, že priemer rotora je väčší ako je jeho dĺžka. Poloha snímačov musí byť v horizontálnej rovine, aby sme zabezpečili čo najpresnejšie vyváženie zariadenia (Fig. 8).

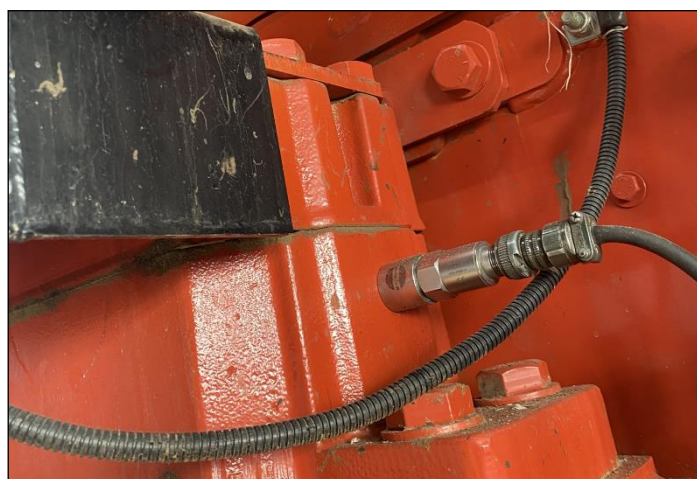


Figure 8 Poloha snímača na zariadení

Priebeh vyvažovania bude postupovať podľa nasledovného postupu.

Postup vyvažovania:

1. Osadíme snímače na zariadenie,
2. Beh zariadenia – zistenie počiatočných hodnôt nevyváhy,
3. Beh zariadenia – privaríme testovacie závažie na 1.rovinu
4. Beh zariadenia – odstránime závažie z 1. roviny a privaríme ho na 2. rovinu,
5. Beh zariadenia – privaríme korekčné závažie a sledujeme zlepšenie nevyváhy a v prípade potreby dovažujeme ďalej.

Vyvažovacie zariadenia fungujú na základe vektorového výpočtu. Nižšie si ukážeme praktický prípad vyvažovacieho procesu s popisom postupnosti merania:

1. Po osadení snímačov meriame 1. Beh – meranie počiatočnej nevyváhy zariadenia (Fig. 9)

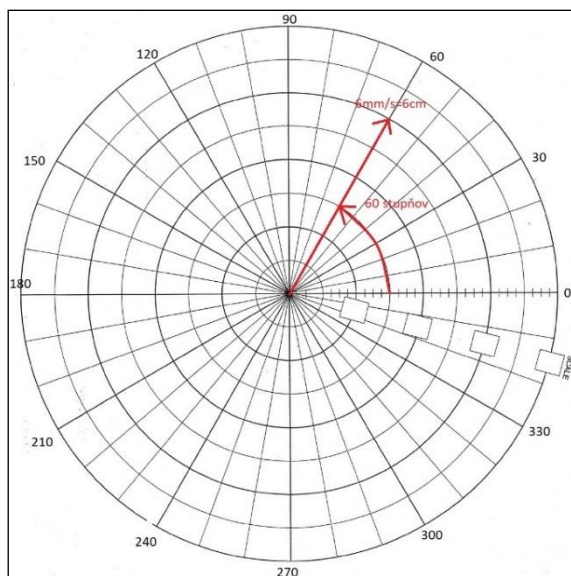


Figure 9 1. Beh vyvažovania

- Namerali sme vibráciu 6mm/s ktorá bola spôsobená nevyváhou na pozícii 60°.
 - Použijeme polárny diagram a nakreslíme úsečku, ktorej dĺžka zodpovedá úrovni vibrácie a smer odpovedá nameranému uhlu.
2. Montáž testovacieho závažia (vo väčšine prípadov sa závažie navára alebo priskrutkováva) , 2. Beh -testovacie závažie (Fig. 10)

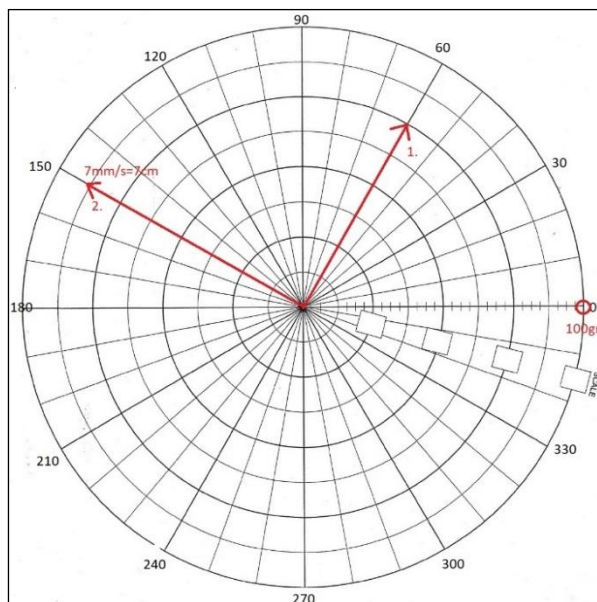


Figure 10 2. Beh vyvažovania

- Založíme test. závažie 100gr.
- Pôvodná nevyváha sa sčítala s nevyváhou spôsobenou závažím a vychádza 7 mm/s² na pozícii 150°.
- Podobne ako predtým nakreslíme do kruhového diagramu novo zistenú vibráciu
- Dĺžka úsečky bude odpovedať úrovni vibrácie a smer odpovedá nameranému uhlu.

3. Po odstránení testovacieho závažia nasleduje osadenie korekčného závažia – 3.Beh korekcia nevyváhy (Fig. 11).

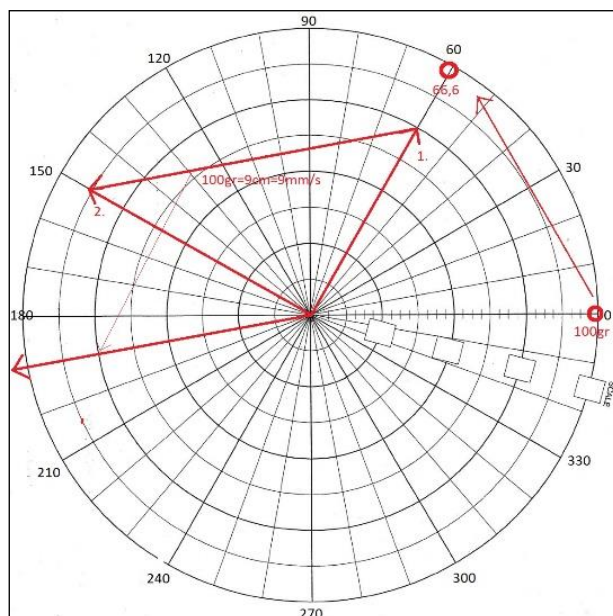


Figure 11 Výpočet korekcie

- Rozdiel medzi vektorom vibrácie nameranej v prvom behu a vektorom vibrácie nameranej v druhom behu musí byť spôsobená skúšobným závažím.
- Výpočet pre vyvažovacie závažie: vektor behu1 x testovacie závažie/vektor beh 2.

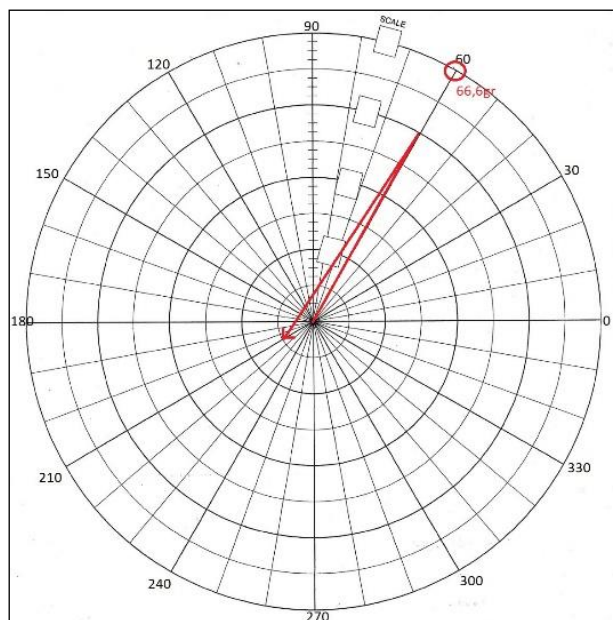


Figure 12 3. Beh korekčné závažie

- Pokiaľ sme všetko spravili správne tak by mala byť nameraná úroveň vibrácie omnoho menšia (Fig. 12).
- Namerali sme vibráciu 1mm/s na pozícii 210°, nakreslíme nový vektor v rovnakom merítku.

- Zbytková nevyváža 1mm/s^2 odpovedá závažiu $1/(\text{test. závažie/vektor beh } 3) =$
 $= \text{zbytková nevyváža } (11,1\text{mm/s}^2)$.

Daný príklad bol pre vyvažovanie v jednej rovine. Vyvažovanie v dvoch rovinách sa vykonáva keď priemer vyvažovacieho rotora je väčší ako jeho dĺžka bez ohľadu na dĺžku hriadele.

Prípustná veľkosť zbytkovej nevyvážy je daná normou ISO 1940.

Pokiaľ budeme takto postupovať ďalej, mali by sme sa dostať až k nulovej vibrácii a tým k ideálnemu vyváženiu. Prečo sa to nikdy nepodarí?

1. Je veľmi ťažké umiestniť skúšobné závažie s presnosťou väčšou ako $\pm 3^\circ$
2. Podobne je veľmi ťažké umiestniť vyvažovacie závažie s presnosťou väčšou ako $\pm 3^\circ$

Tuhosť ložiska a základu stroja nie je lineárna. To znamená, že citlivosť stroja na nevyvážu závisí na úrovni vibrácie. (ATD VibroII-2019-cuc DD, 2019)

Fakt je, že po umiestnení vyvažovacieho závažia nie je stroj dokonale vyvážený, neznamená že sme pracovali nedbalo. Je normálne, že je treba pridať ešte ďalšie malé závažia, pretože na väčšine strojov nie je odozva na nevyvážu lineárna. Podľa Gregu et al. 2019 je aj dôležité poukázanie na veľkosť amplitúdy budenia označenú M_{ki} . Táto amplitúda môže mať v torzne kmitajúcom pohone výrazný vplyv na veľkosť nakmitávania disku štiepkovača. V mnohých prácach autorov (Grega, 2015, 2016), je preukázané, že veľkosť tejto amplitúdy je ovplyvniteľná dynamickými pomermi v samotnom pohone. S blížiacou sa oblasťou rezonancie amplitúda kmitania narastá. Rezonancia je hlavne ovplyvniteľná zmenou torznej tuhosti celého pohonu. Zmenšujúca sa hodnota torznej tuhosti pohonu sa pozitívne prejaví znížením vlastnej frekvencie pohonu. Preto je potrebné hodnotu vlastnej frekvencie sústavy navrhnuť tak, aby nenastala rezonancia od niektorej z harmonických zložiek kmitania ktoré sa v pohone nachádzajú. To sa dá dosiahnuť úpravou dynamických vlastností sústavy (tuhostných, zotrvačných a tlmiacich). Experiment sa vykonával „naprázno“ bez prístupu dreviny. Vibrácie sa nám môžu prejavíť aj počas procesu sekania, kde môžu torzné kmity zhoršovať kvalitu štiepky. Na overenie predpokladu, že na nehomogenosť štiepky vplyva aj torzné kmitanie disku kotúčového štiepkovača, použili matematické formulácie, ktoré boli publikované v (Kaššay et al. 2011) a závery z experimentálnych overovaní publikovaných v (Abdallah et al. 2014).

Po zistení nevyvážy sa vykonalo naváranie závaží priamo na bubon mechanizmu (Fig. 13). Zariadenie sa vyvažuje pomocou navárania závaží medzi podporné kotúče bubna. Zostatková nevyváža musí byť pod hodnotu $1,2\text{ mm/s}^2$.



Figure 13 Poloha navárania závaží na kotúče bubna

ZÁVER

Príspevok je zameraný na popis merania vibrácií s následným návrhom vyvažovania sekacieho bubna. Teoretický rozbor je zameraný na problematiku vyvažovania rotačných zariadení. V istých prípadoch je veľmi ťažké určiť vznik vibrácií. Mnohokrát sa tak deje len na základe subjektívneho názoru prevádzkovateľa. Subjektívny úsudok prevádzkovateľa nie je možné považovať za objektívny parameter technologických zariadení. Na základe popísaných metód bola navrhnutá metodika merania vyvažovania sekacieho bubna na mobilnej sekačke Morbark Wood Hod 3000 XP. Postup sa opakoval pokiaľ sa nedosiahla zostatková nevyváža pod hodnotu $1,2\text{ mm.s}^{-2}$. Dodržaním všetkých postupov

vibrodiagnostiky, zásad a postupov pre vyvažovanie sme dosiahli úspešné vyváženie a vibrodiagnosticky zmerali strojné zariadenie Morbark Wood hod 3000 XP. Príspevok poukazuje na presné stanovenie vibrácií na sekacom bubne. Experimentálne merania potvrdili, že navrhovaná metodika je funkčná a rýchla.

Literatúra

1. ABDALLAH, R, AUCHET, S, MEAUSOONE, P.J., 2014. *A dynamic measurement of a disc chipper cutting forces*, Biomass and Bioenergy 64
2. Adash, [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné na internete: <https://adash.com/portable-vibration-devices/a4500-va5-vibration-analysis-thermal-imaging-ultrasound>.
3. ATD VibroII-2019-cuc AA,BB, CC, DD. Prednáška
4. BLATA, J. 2014. *Technická diagnostika, Termodiagnostika*. [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné na internete: <https://docplayer.cz/14567274-Technicka-diagnostika-termodiagnostika-ing-jan-blata-ph-d-kat-340-vsb-tu-ostrava-ostrava-2014.html>.
5. GREGA, R... [et al.] ., 2016. *Analysis of the impact of flexible couplings on gearbox vibrations*. In: Zeszyty naukowe politechniki Śląskiej: Seria Transport. Vol. 91, ISSN 0209-3324.
6. GREGA, R... [et al.] ., 2015. *Experimental Identification of Failures of High-Pressure Pump Drive*. In: Applied Mechanics and Materials volume 816 : Applied Mechanics and Mechatronics 2. - Zurich : TTP, 2015 P. 421-425. ISSN 1662-7482.
7. KAŠŠAY, P, HOMIŠIN, J, GREGA, R., 2011. *Teoretický rozbor vplyvu torzného kmitania na nerovnomernosť dĺžky štiepky*. In: Acta Facultatis Xylologiae Zvolen. Roč. 53, č. 2. ISSN 1336-3824.
8. KUPČOK M. 2023. *Semestrálny projekt*, Zvolen, 33s.
9. Morbak, [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné na internete: <https://www.morbark.com/product/3000x-wood-hog-horizontal-grinder/>.

Acknowledgments

Autori ďakujú za podporu Kultúrno a edukačnej grantovej agentúre Ministerstva školstva, vedy, výskumu a športu Slovenskej republiky projekt KEGA 007TU Z-4/2023 „Inovácia a edukačná podpora predmetov v oblasti technickej diagnostiky poľnohospodárskej a lesníckej techniky s orientáciou na prax“

Contact address:

prof. Ing. Jozef Krilek, PhD., Mikuláš Kupčok,
Department of Environmental and Forestry Machinery, Faculty of Technology, Technical University of Zvolen,
Študentská 26, 960 01 Zvolen, jkrilek@gmail.com, xkupcok@is.tuzvo.sk

TECHNICKÝ A TECHNOLOGICKÝ NÁVRH POZBEROVEJ LINKY ZRNÍN

KOLOMAN KRIŠTOF, MARTIN LUKÁČ, JÁN JOBBÁGY, MICHAL ANGELOVIČ
 Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky; Technická fakulta; Slovenská
 poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovenská republika

Abstract: The main goal of this study was to approach the process of compiling post-harvest lines (in this case it is a reconstruction of post-harvest line and design PCF – production of compound feeds), which consists of a study of the literature on the latest developments in this area, performance calculations, design of suitable elements of post-harvest adjustment and their distribution, the visualization of the design, the determination of the preliminary investment price and the calculation of the payback period. This study contains the necessary information about the specific company in which the existing post-harvest line, intended for reconstruction, its location and other information related to the approach and clarification of the reconstruction. The result is the complex reconstruction plan for a new post-harvest processing line.

Keywords: post-harvest processing, production of compound feeds, performance calculation.

ÚVOD

Zabezpečiť dostatok zdravej výživy obyvateľstva patrí odjakživa k najdôležitejším úlohám štátov. Dnes je to ešte viac sledovaná téma, kvôli novým, donedávna nepoznaným a stále sa zväčšujúcim problémom ako sú zvyšujúca populácia ľudí a menšia výmera poľnohospodárskej pôdy. Nosnými poľnohospodárskymi plodinami o ktoré sa opiera výživa ľudí a poľnohospodárskych zvierat sú zrniny. Čo sa týka zrnín a ich procesu výroby, jednou z najdôležitejších častí tohto výrobného postupu je pozberová úprava vylúšteného materiálu a jeho následné uskladnenie, ktorým bude venovaná pozornosť v nasledujúcich častiach tejto práce. Pozberová úprava sa vykonáva v pozberových linkách, ktoré sú kľúčovým článkom pri spracovaní, využívaní a znásobení hodnôt, ktoré nám prinášajú tieto poľnohospodárske plodiny. Pozberová linka je sústava zariadení na dopravu, čistenie, sušenie a skladovanie materiálu. Zariadenia na dopravu (dopravníky) sa používajú na presun materiálu medzi jednotlivými pracovnými operáciami pozberovej úpravy, ale tak isto na presun odpadu zo spracovávaného materiálu. Predčistenie je operácia kde sa zrnový materiál vyčistí od rôznych organických a anorganických prímies. Predčistenie a čistenie zrnín sa vykonáva na sitách za pomoci prúdu vzduchu. Následne sa vyčistený materiál dopraví do sušiarne, kde sa pomocou ventilátora privádza sušiacie prostredie (zohriaty vzduch pri nepriamom ohreve), ktoré sušený materiál vysuší na potrebnú vlhkosť (14 %) a odobratú vlhkosť odovzdáva do okolitého prostredia (atmosféry), následne sa vysušený materiál dlhodobo uskladní v plechových silách alebo v podlahových skladoch, alebo sa pripraví na ďalšie spracovanie a umiestni sa do expedičných zásobníkov.

Výzvy, s ktorými sa stretávame pri pozberových linkách je hneď niekoľko. Ide najmä o:

- elimináciu strát na spracovávanom materiáli pri pozberovej úprave a skladovaní (tieto straty môžu vzniknúť pri náraze materiálu o časti dopravníkov, pri čistení, pri cirkulovaní uskladneného materiálu v silách, pri manipulácii s uskladneným materiálom v podlahových skladoch a podobne),
- správny výber druhu paliva, ktoré sa bude používať na ohrev sušiacieho prostredia,
- správny výpočet výkonností jednotlivých pozberových operácií a dopravných ciest medzi nimi,
- zníženie prašnosti prostredia,
- zvýšenie podielu automatizácie a manuálnej práce pri procesoch pozberovej úpravy,
- návratnosť vynaložených nákladov,
- celkovú ekonomickú efektívnosť pozberovej úpravy.

Táto štúdia je venovaná prestavbe už existujúcej pozberovej linky na pozberovú úpravu zrnín, výpočtu a návrhu rekonštrukcie pozberovej linky, doplnenej o výrobu krmných zmesí (VKZ). Čo sa týka existujúcej pozberovej linky, je nevyhovujúca a jej používanie je obmedzené z dôvodu zatekania vody do oblasti príjmu, nevyhovujúcemu technickému stavu dopravných ciest, predčističky a sušiarne, absentujúceho ventilátora nad skladovacím priestorom (oceľovými silami) a následné zrážanie a zatekanie vyzrážanej vody do uskladneného materiálu, nízkej úrovne automatizácie pozberových procesov (tým pádom nutný vyšší počet obsluhujúcich pracovníkov), absencie rekuperácie sušiacieho

prostredia (čo má za následok vyššiu spotrebu paliva), ťažko prístupné časti a miesta údržby niektorých prvkov (pod úrovňou terénu) a podobne.

Návrh a výpočet novej pozberovej linky a VKZ bude vychádzať z terajších technických a technologických riešení, ktoré sa v praxi používajú, ale aj z ekonomických možností podniku. Návrh bude obsahovať výber materiálov použitých na výstavbu pozberovej linky a jej častí, usporiadanie jednotlivých prvkov a operácií pozberovej linky a VKZ, výpočet výkonností a výber vhodných druhov dopravných ciest, predčističky, sušiarne a skladovacích kapacít, grafické zobrazenie, výpočet odhadovaných nákladov a návratnosti vstupných investícií. Návrh novej pozberovej linky a VKZ by mal priniesť podniku istú suverenitu v pestovaní, v následnom pozberovom spracovaní, v skladovaní nimi pestovaných zrnín a následnej výrobe kŕmnych zmesí.

Cieľom tejto práce bolo spracovať ucelený technologický návrh rekonštrukcie jestvujúcej pozberovej linky v poľnohospodárskom podniku PD MIER Dubinné, ktorý bude nahrádzať doterajšiu pozberovú linku. Súčasťou návrhu je aj približný ekonomický výpočet výšky vstupnej investície a doby jej návratnosti.

MATERIÁL A METODIKA

1 Popis jestvujúcej pozberovej linky

Vybraný poľnohospodársky podnik sa nachádza na severovýchode Slovenska (okres Bardejov). Špecializuje sa na výrobu mlieka a mäsa z hovädzieho dobytku. Väčšinu plodín na zabezpečenie potravy pre chovaný hovädzí dobytok si pestuje vo vlastnej réžii. Čo sa týka plodín, ktoré je treba pozberovo spracovať, ide najmä o pšenicu, jačmeň, ovos, prípadne sóju a hrach (zrniny).

Predmetná stavba, navrhovaná na rekonštrukciu bola skonštruovaná podnikom AGROSTAV v roku 1986, nachádza sa v areáli prevádzky poľnohospodárskeho družstva MIER Dubinné, v katastrálnom území obce Poliakovce na parcelách:

- 148/2 – zastavaná plocha a nádvorie,
- 147/2 – zastavaná plocha a nádvorie,
- 146/22 – zastavaná plocha a nádvorie,
- 146/12 – zastavaná plocha a nádvorie.



Obrázok 1 Poľnohospodársky dvor s vyznačenou pozberovou linkou

Dotknuté parcely nie sú vo vlastníctve poľnohospodárskeho družstva. Z architektonického hľadiska je objekt pozostáva z troch jednopodlažných hál so sedlovou strechou, z ktorých jedna slúži na príjem a predčistenie, druhá na skladovanie materiálu a v tretej je umiestnený velín.. Haly príjmu a skladovania sú umiestnené pozdĺžne vedľa seba vo vzdialenosti 10 m medzi nimi, kde hala určená na skladovanie tvorí zároveň hranicu poľnohospodárskeho dvora. Hala na príjem a predčistenie má rozmery 16,5×12,2×9,3 m (d×š×v), hala určená na skladovanie má rozmery 36×12,7×10,5 m (d×š×v). Základnú nosnú časť obidvoch hál tvorí modulová oceľová konštrukcia, tvorená oceľovými väzníkmi. Strecha je prekrytá trapézovým plechom. Bočné a štítové steny sú nad podmurovkou vyplnené trapézovým plechom. Hala na skladovanie je prístupná pre dopravné prostriedky cez 3 vstupy o šírke 4 m a výške 3,7 m, do haly na príjem a predčistenie je jeden vstup pre dopravné prostriedky o šírke 4 m a výške 5 m. Podlaha hál je betónová s epoxidovým povrchom.



Obrázok 2 Jestvujúce stavebné objekty (haly)

Čo sa týka technologickej časti jestvujúcej pozberovej linky, ide o koncepciu príjem, predčistenie, sušenie, expedícia a skladovanie. Príjem je riešený podúrovňovým násypným košom, ktorého výsypný otvor je ručne regulovaný a ústi do korčekového dopravníka, umiestneného v betónovej šachte, ktorý dopravuje materiál do predčističky. Na predčistenie sa používa predčistička značky Fortschritt K523 s výkonnosťou 20 t.h^{-1} (obr.č.3). Odpad z predčističky je vyvedený na šikmí pásový dopravník, ktorý ústi do pristaveného dopravného prostriedku mimo haly. Triedy odpadu 2 a 3 sú zlúčené dokopy.



Obrázok 3 Jestvujúca predčistička Fortschritt K523

Aspiračnú časť čistenia tvorí ventilátor, dopravujúci lietavé častice predčisteného materiálu z predčističky cez aspiračné potrubie do odlučovača, v ktorom sú tieto lietavé častice oddelené od prúdu vzduchu, ktorý ich unáša a sú usmernené von, na korbu dopravného prostriedku. Predčistený materiál je dopravovaný prekrytým pásovým dopravníkom s dĺžkou 17 m do nezastrešenej časti, ku dvojcestnej klapke (obr. č.4), ktorá usmerňuje materiál buď do sušiarne (pri nepriaznivej vlhkosti materiálu) alebo na expedíciu alebo skladovanie.



Obrázok 4 Dvojcestná klapka

Pri vyššej vlhkosti materiálu, dvojcestná klapka (obr. č.4) usmerní dopravovaný materiál do korčekového dopravníka, ktorý tým materiálom plní šachtovú sušiareň s kanálikovou vnútornou štruktúrou značky TMS a.s. Pardubice typ SSZ 2 (obr. č.5). Táto sušiareň disponuje dvomi sušiacimi pásmami a jedným pásom chladiacim, ako palivo sa používa zemný plyn. Vyprázdňovanie sušiarne je riešené pásovým dopravníkom, uloženým na zemi, ktorý ústi do korčekového dopravníka, ktorým sa plnia expedičné zásobníky (obr. č.5) o celkovom objeme 45 m³. Vyprázdňovanie expedičných zásobníkov je ručne ovládané pomocou pák a ťahiel.



Obrázok 5 Jestvujúca sušiareň



Obrázok 6 Jestvujúce expedičné zásobníky

V prípade, že vlhkosť materiálu je vyhovujúca, použije sa výpad dvojcestnej klapky (obr. č.4), ktorým sa obíde sušiareň a materiál sa nasmeruje na šikmý závitkový dopravník (obr. č.7), plniaci buď korčekový dopravník, ktorý vynáša materiál do expedičných zásobníkov, alebo do prekrytého pásového dopravníka, dlhého 15 m, smerujúceho do druhej haly na uskladnenie. Usmernenie toku materiálu buď do korčekového alebo do prekrytého pásového dopravníka sa realizuje na dne závitkového dopravníka (obr. č.6) ručne ovládaným výpustom.



Obrázok 7 Šikmý závitkový dopravník

Prekrytý pásový dopravník smeruje z nezastrešenej časti pozberovej linky do skladovacej haly, kde sa nachádzajú 4 silá zo zakrúženého plechu s kužeľovým dnom, s celkovou kapacitou 400 t. Dopravovaný materiál padá z prekrytého pásového dopravníka do korčekového dopravníka, ktorý vynáša materiál hore na silá, kde sa nachádza ďalší pásový dopravník, ktorý dopravuje materiál už do konkrétneho skladovacieho priestoru, sila. Usmernenie toku materiálu z pásového dopravníka do sila je realizované pomocou stieracej lišty, umiestnenej na ručne ovládanom vozíku. Pod silami sú dva šikmé, na seba nadväzujúce pásové dopravníky. Materiál zo sil sa na tieto dopravníky dostáva cez spodné ručne ovládané výpusty a ďalej je dopravovaný do korčekového dopravníka, z ktorého sa materiál vyprázdňuje do korby pristaveného dopravného prostriedku. Uskladnený materiál sa používa aj na šrotovanie a následné skrmovanie pre dobytok. V tomto prípade sa materiál musí vyskladniť zo sil a previesť na dopravnom prostriedku na druhú časť hospodárskeho dvora.

2 Problémy jestvujúcej pozberovej linky

Hlavný problém s jestvujúcou pozberovou linkou spočíva v nie príliš vhodnom rozmiestnení jednotlivých pracovných operácií, z čoho vyplýva aj veľká vzdialenosť dopravných ciest, veľká nezastrešená plocha, kde veľká časť technológie pozberovej úpravy je vystavená počas celého roka poveternostným vplyvom počasia, v umiestnení korčekových dopravníkov do betónovej šachty pod úroveň povrchu (hlavne v nezastrešenej časti pozberovej linky), kde sa vplyv vlhkosti negatívne odráža na životnosti technológie, v nemožnosti naskladnenia expedičných zásobníkov zo sil a v nutnosti prepravy obilnín v rámci poľnohospodárskeho dvora kvôli šrotovaniu. Ďalšie problémy súvisia s technickým a morálnym opotrebením stavebných objektov a technologických prvkov, ako sú zatekanie vody cez strechu do operácií príjmu a skladovania, opotrebovanie dopravných ciest, vysoká prašnosť a hlučnosť a nutnosť potreby väčšieho počtu pracovníkov obsluhy. Z uvedených problémov podnik, disponujúci touto jestvujúcou pozberovou linkou ju nie je schopný využívať v celom rozsahu použitia, na ktorý bola určená a je nútený hľadať iné riešenia alebo alternatívy ako spracovať vyprodukované zrniny, ktoré by inak mohli byť spracované v tejto pozberovej linke.

3 Postup pri návrhu rekonštrukcie pozberovej linky

- a) diskusia s vedením podniku, v ktorom je rekonštrukcia plánovaná - obsahom diskusie bolo zhodnotenie technologických požiadaviek, ktoré podnik požaduje pri návrhu rekonštrukcie pozberovej linky,
- b) zameranie jestvujúcej pozberovej linky – na základe nameraných údajov je možná formulácia a vizualizácia návrhu,
- c) výkonnostný výpočet – výpočet je realizovaný na základe údajov poskytnutých podnikom a to; údaje o výmere zasiatych zrnín, údaje o počte a výkonnostiach obilných kombajnov nasadených na zber zasiatych zrnín, údaje o podieli zrnín určených na predaj a na kŕmne účely,
- d) návrh rekonštrukcie – vychádza z nameraných údajov z jestvujúcej pozberovej linky a z údajov vypočítaných vo výkonnostných výpočtoch, je sformulovaný v softvérovom - vizualizačnom programe AutoCAD, ktorý je zdrojom informácií, potrebných na vytvorenie cenovej ponuky,
- e) zostavenie cenovej ponuky – cenová ponuka zahŕňa všetky technologické požiadavky určené diskusiou s vedením podniku.

4 Výkonnostné výpočty

U kapacitných výpočtov pri návrhu pozberovej linky, hlavnými ukazovateľmi určujúcimi celkovú výkonnosť sú:

- a) počet obilných kombajnov nasadených na zber zasiatych obilnín, $[n, ks]$,
- b) výkonnosť obilných kombajnov nasadených na zber, $[W, ha \cdot h^{-1}]$,
- c) úroda zrna, $[Q, t \cdot ha^{-1}]$,
- d) výmera ha zasiatych obilnín, ktoré treba pozberovo spracovať, $[S, ha]$.

Hodnoty, podľa ktorých sa vypočíta celková výkonnosť pozberovej linky:

- a) počet obilných kombajnov nasadených na zber – 4 ks,
- b) výkonnosť obilných kombajnov: John Deere W 540 C $W = 1,5 ha \cdot h^{-1}$, Fortschritt E 514 $W = 0,7 ha \cdot h^{-1}$, Fortschritt E 514 $W = 0,7 ha \cdot h^{-1}$, Fortschritt E 514 $W = 0,7 ha \cdot h^{-1}$.
- c) priemerná úroda zrna v daných podmienkach (severovýchod Slovenska):

- jačmeň ozimný 4 t.ha⁻¹,
- ovos 3,5 t.ha⁻¹,
- pšenica ozimná 5 t.ha⁻¹.

d) priemerná výmera ha zasiatych obilnín : 160 ha. - jačmeň ozimný 30% z celkovej výmery obilnín [48 ha], ovos 15% z celkovej výmery obilnín [24 ha], pšenica ozimná 55% z celkovej výmery obilnín [88 ha].

Osevné zastúpenie pestovaných obilnín v danom podniku (priemerné):

Celková hodinová výkonnosť obilných kombajnov [Wc]:

$$Wc=WOK1+WOK2+WOK3+WOK4 \text{ [ha.h}^{-1}\text{]} \quad (1)$$

kde:

WOK1 – výkonnosť obilného kombajnu č.1 [ha.h⁻¹],

WOK2 – výkonnosť obilného kombajnu č.2 [ha.h⁻¹],

WOK3 – výkonnosť obilného kombajnu č.3 [ha.h⁻¹],

WOK4 – výkonnosť obilného kombajnu č.4 [ha.h⁻¹].

Potrebná minimálna výkonnosť predčističky, sušičky a dopravných ciest v pozberovej linke WPL]:

$$WPL=Q.Wc \text{ [t.h}^{-1}\text{]} \quad (2)$$

kde:

Q – úroda zrna [t.ha⁻¹]

Wc – celková hodinová výkonnosť kombajnov [ha.h⁻¹].

Výpočet výkonností dopravných ciest v pozberovej linke:

a) reťazový dopravník

$$Q=Sm.v.p.c.\Psi \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \quad (3)$$

kde:

Sm – plocha prierezu materiálu [m²],

v – rýchlosť pohybu reťaze [m.s⁻¹],

p – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m⁻³],

c – koeficient sklonu dopravníka,

Ψ – stupeň zaplnenia žľabu (0,2 – 0,4).

b) korčkový dopravník

$$Q=V1.\Psi.(v/t).pm \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \quad (4)$$

kde:

V1 – geometrický objem korčeka [m³],

pm – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m⁻³]

Ψ – súčiniteľ zaplnenia korčeka,

v – pracovaná rýchlosť [m.s⁻¹],

t – rozstup korčiek na páse [m].

c) závitokový dopravník

$$Q=[\pi.(D2-d2)4].p.s.n.\Psi.k2.k3 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \quad (5)$$

kde:

D – priemer závitovky [m],

d – priemer hriadeľa závitovky [m],

s – stúpanie závitovky [m],

v – dopravná rýchlosť [m.s⁻¹],

n – otáčky závitovky, [s⁻¹],

p – merná hmotnosť dopravovaného materiálu, [kg.m⁻³],

Ψ – súčiniteľ zaplnenia závislý na materiáli,

K₂ – koeficient, pri ktorom sa berie do úvahy sklon dopravníka,

K₃ – koeficient prevedenia závitovky, (plná záv. = 1, obvodová = 0,3 – 0,7).

d) spádové dopravníky (sklzy):

Na približné určenie minimálneho sklonu spádového dopravníky sa používa jednoduchý vzťah:

$$\alpha = a + 10^\circ [^\circ] \quad (6)$$

kde:

a – minimálny sypaný uhol dopravovaného materiálu [°].

VÝSLEDKY A DISKUSIA

1 Výkonnostné výpočty

Podľa metodiky, celková hodinová výkonnosť obilných kombajnov bude:

$$W_c = WOK1 + WOK2 + WOK3 + WOK4 \text{ [ha.h}^{-1}\text{]}$$

$$W_c = 1,5 + 0,7 + 0,7 + 0,7 \text{ [ha.h}^{-1}\text{]}$$

$$W_c = 3,6 \text{ [ha.h}^{-1}\text{]}$$

kde:

WOK1 – výkonnosť obilného kombajnu č.1 [ha.h⁻¹],

WOK2 – výkonnosť obilného kombajnu č.2 [ha.h⁻¹],

WOK3 – výkonnosť obilného kombajnu č.3 [ha.h⁻¹],

WOK4 – výkonnosť obilného kombajnu č.4 [ha.h⁻¹].

Podľa metodiky, potrebná minimálna výkonnosť predčističky (6) (počítame s plodinou, ktorej úroda je najvyššia, v tomto prípade ide o pšenicu) bude:

$$WPL = Q \cdot W_c \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$$

$$WPL = 5 \cdot 3,6 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$$

$$WPL = 18 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$$

kde:

Q – úroda zrna [t.ha⁻¹],

Wc – celková hodinová výkonnosť kombajnov [ha.h⁻¹].

Podľa metodiky, výkonnosť príjmového zalomeného reťazového dopravníka (2) (pri doprave obilia $\rho = 750 \text{ kg.m}^{-3}$) bude:

$$Q = S_m \cdot v \cdot \rho \cdot c \cdot \Psi \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 0,20 \cdot 0,4 \cdot 750 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 12 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 12 \cdot 3600 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 43 \cdot 200 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 43,2 \approx 40 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$$

kde:

S_m – plocha prierezu materiálu [m²],

v – rýchlosť pohybu reťaze [m.s⁻¹],

ρ – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m⁻³],

c – koeficient, pri ktorom sa berie do úvahy sklon dopravníka,

Ψ – stupeň zaplnenia žľabu (0,2 – 0,4).

Podľa metodiky, výkonnosť vyprázdňovacieho zalomeného reťazového dopravníka zospodu síl (26) a šikmého reťazového dopravníka vyprázdňujúceho sušiareň (16a) (pri doprave obilia $\rho = 750 \text{ kg.m}^{-3}$) bude:

$$Q = S_m \cdot v \cdot \rho \cdot c \cdot \Psi \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 0,11 \cdot 0,4 \cdot 750 \cdot 0,9 \cdot 0,4 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 11,88 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 11,88 \cdot 3600 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 42 \cdot 768 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

$$Q = 42,8 \approx 40 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$$

kde:

S_m – plocha prierezu materiálu [m²],

v – rýchlosť pohybu reťaze [m.s^{-1}],
 ρ – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m^{-3}],
 c – koeficient, pri ktorom sa berie do úvahy sklon dopravníka,
 Ψ – stupeň zaplnenia žľabu (0,2 – 0,4).

Podľa metodiky, výkonnosť reťazového dopravníka, plniaceho silá (21) a vyprázdňujúceho sušičku a čističku (13) (pri doprave obilia $\rho = 750 \text{ kg.m}^{-3}$) bude:

$$\begin{aligned} Q &= S m \cdot v \cdot \rho \cdot c \cdot \Psi \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 0,15 \cdot 0,25 \cdot 750 \cdot 1 \cdot 0,4 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 11,25 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 11,25 \cdot 3600 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]} \\ Q &= 40\,500 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]} \\ Q &= 40,5 \div 40 \text{ [t.h}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

kde:

S_m – plocha prierezu materiálu [m^2],
 v – rýchlosť pohybu reťaze [m.s^{-1}],
 ρ – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m^{-3}],
 c – koeficient, pri ktorom sa berie do úvahy sklon dopravníka,
 Ψ – stupeň zaplnenia žľabu (0,2 – 0,4).

Podľa metodiky, výkonnosť korčkových dopravníkov (4, 14, 17) (pri doprave obilia $\rho = 750 \text{ kg.m}^{-3}$) bude:

$$\begin{aligned} Q &= V_1 \cdot \Psi \cdot (v/t) \cdot \rho m \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 0,003 \cdot 1,15 \cdot 2,20,5 \cdot 750 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 11,385 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 40\,986 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]} \\ Q &= 40,986 \div 40 \text{ [t.h}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

kde:

V_1 – geometrický objem korčeka [m^3],
 ρm – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m^{-3}],
 Ψ – súčiniteľ zaplnenia korčeka,
 v – pracovná rýchlosť [m.s^{-1}],
 t – rozstup korčkov na páse [m].

Podľa metodiky, výkonnosť korčkového dopravníka (34) (pri doprave kŕmnych zmesí $\rho = 550 \text{ kg.m}^{-3}$) bude:

$$\begin{aligned} Q &= V_1 \cdot \Psi \cdot (v/t) \cdot \rho m \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 0,002 \cdot 1,1 \cdot 2,20,5 \cdot 550 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 5,32 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 19\,166 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]} \\ Q &= 19,166 \div 20 \text{ [t.h}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

kde:

V_1 – geometrický objem korčeka [m^3],
 ρm – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m^{-3}],
 Ψ – súčiniteľ zaplnenia korčeka,
 v – pracovná rýchlosť [m.s^{-1}],
 t – rozstup korčkov na páse [m].

Podľa metodiky, výkonnosť závitkových dopravníkov na dopravu odpadov z čistenia bude:

a) závitkový dopravník na triedu II. (10) ($\rho = 750 \text{ kg.m}^{-3}$):

$$\begin{aligned} Q &= [\pi \cdot (D_2 - d_2)] \cdot 4 \cdot \rho \cdot s \cdot n \cdot \Psi \cdot k_2 \cdot k_3 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= [3,14 \cdot (0,22 - 0,012)] \cdot 4 \cdot 750 \cdot 0,16 \cdot 1,5 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 1 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \\ Q &= 2,255 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]} \end{aligned}$$

$$Q=2,255 \cdot 3600 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

$$Q=8,118 \pm 8 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$$

kde:

D – priemer závitovky [m],

d – priemer hriadeľa závitovky [m],

s – stúpanie závitovky [m],

v – dopravná rýchlosť [m.s⁻¹],

n – otáčky závitovky [s⁻¹],

ρ – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m⁻³],

Ψ – súčiniteľ zaplnenia závislý na materiáli,

k₂ – koeficient, pri ktorom sa berie do úvahy sklon dopravníka,

k₃ – koeficient prevedenia závitovky (plná záv. = 1, obvodová = 0,3 – 0,7).

b) závitkový dopravník na triedu III. (11) (ρ = 350 kg.m⁻³):

$$Q=[\pi.(D^2-d^2)]4.p.s.n.\Psi.k_2.k_3 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=[3,14.(0,22-0,012)]4 \cdot 350 \cdot 0,24 \cdot 2 \cdot 0,4 \cdot 1 \cdot 1 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=2,1 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=2,1 \cdot 3600 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

$$Q=7,6 \pm 8 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$$

kde:

D – priemer závitovky [m],

d – priemer hriadeľa závitovky [m],

s – stúpanie závitovky [m],

v – dopravná rýchlosť [m.s⁻¹],

n – otáčky závitovky [s⁻¹],

ρ – merná hmotnosť dopravovaného materiálu, [kg.m⁻³],

Ψ – súčiniteľ zaplnenia závislý na materiáli,

k₂ – koeficient, pri ktorom sa berie do úvahy sklon dopravníka,

k₃ – koeficient prevedenia závitovky (plná záv. = 1, obvodová = 0,3 – 0,7).

Podľa metodiky, výkonnosť závitkového dopravníka na šikmú dopravu premixov (31) (ρ = 600 kg.m⁻³) bude:

$$Q=[\pi.(D^2-d^2)]4.p.s.n.\Psi.k_2.k_3 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=[3,14.(0,12-0,0052)]4 \cdot 600 \cdot 0,35 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 1 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=1,64 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=1,64 \cdot 60 \text{ [kg.min}^{-1}\text{]}$$

$$Q=98,7 \pm 100 \text{ [kg.min}^{-1}\text{]}$$

kde:

D – priemer závitovky [m],

d – priemer hriadeľa závitovky [m],

s – stúpanie závitovky [m],

v – dopravná rýchlosť [m.s⁻¹],

n – otáčky závitovky [s⁻¹],

ρ – merná hmotnosť dopravovaného materiálu [kg.m⁻³],

Ψ – súčiniteľ zaplnenia závislý na materiáli,

k₂ – koeficient, pri ktorom sa berie do úvahy sklon dopravníka,

k₃ – koeficient prevedenia závitovky, (plná záv. = 1, obvodová = 0,3 – 0,7).

Podľa metodiky, výkonnosť závitkových dopravníkov na šikmú dopravu krmných zmesí (37, 38) (ρ = 550 kg.m⁻³) bude:

$$Q=[\pi.(D^2-d^2)]4.p.s.n.\Psi.k_2.k_3 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=[3,14.(0,22-0,012)]4 \cdot 550 \cdot 0,4 \cdot 3,5 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 1 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=6,03 \text{ [kg.s}^{-1}\text{]}$$

$$Q=6,03 \cdot 3600 \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$$

$$Q=21,7 \pm 22 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$$

kde:

D – priemer závitovky, [m],

d – priemer hriadeľa závitovky, [m],

s – stúpanie závitovky, [m],

v – dopravná rýchlosť, [m.s⁻¹],

n – otáčky závitovky, [s⁻¹],

ρ – merná hmotnosť dopravovaného materiálu, [kg.m⁻³],

Ψ – súčiniteľ zaplnenia závislý na materiáli,

k₂ – koeficient, pri ktorom sa berie do úvahy sklon dopravníka,

k₃ – koeficient prevedenia závitovky (plná záv. = 1, obvodová = 0,3 – 0,7).

2 Opis stavby

Z technologického hľadiska stavba bude pozostávať z príjmovej časti, ktorá bude riešená podúrovňovým neprejazdným príjmovým košom a zalomeným reťazovým dopravníkom, z 3 ks korčekových dopravníkov, z predčističky, zo sušiarne, zo 4 ks jestvujúcich skladovacích síl, z podjazdného expedičného zásobníka (44 m³) a z výrobné kŕmnych zmesí, ktorá pozostáva z prisavného šrotovníka, vertikálnej miešačky, odlučovača, zásobníka premixov, korčekového dopravníka, 2 ks podjazdných expedičných zásobníkov (2×24 m³) a 3 ks závitkových dopravníkov. Skladovacia kapacita obilných síl bude 400 t. Základný výkon pozberovej linky bude 20 t.h⁻¹. Výkon výrobné kŕmnych zmesí bude 4 – 6 t.h⁻¹.

3 Navrhované riešenie

Návrh rekonštrukcie pozberovej linky, skladovacích kapacít a VKZ bude vychádzať z výmery pestovaných poľných plodín. Využívaná bude výhradne pre potreby podniku.

Navrhuje sa rekonštrukcia jestvujúcej pozberovej linky s tým, že celá nová technológia pozberovej úpravy sa presunie k hale, v ktorej sa nachádzajú skladovacie silá, plus vo vnútri tejto haly sa postaví nová výrobná kŕmnych zmesí (VKZ), ktorá bude slúžiť pre pokrytie vlastnej potreby. Jestvujúca hala na príjem a predčistenie bude slúžiť na skladovanie poľnohospodárskych komodít.

Popis technológie

Podrobne znázornený technologický postup prevádzkového súboru je zrejmý z technologickej schémy (str. č.64, obr. č.10) a špecifikácie strojov a zariadení (str. č.60, tab. č.1), ktoré obsahujú identifikačné čísla jednotlivých prvkov navrhovanej rekonštrukcie pozberovej linky.

3.1 Príjem zrnín

Prevádzkovateľom vypestované alebo nakúpené zrniny privezené dopravnými prostriedkami sa zadným vyklápaním zosypú na neprejazdný rošt zastrešeného, oplášteného presvetleného podúrovňového násypného koša (1) s bočnou plechovou opornou stenou (1a) a prepádajú na zalomený reťazový dopravník (2). Pozdĺžne steny a strecha priestoru príjmového koša o rozmeroch OK 12,6×9 m a minimálnej svetlej výške 7 m budú opláštené. Vstupný štít bude opláštený a opatrený na vstupe ručne ovládanou (RO) krídlovou bránou 4,5×5 m. Pod košom osadený vyprázdňovací zalomený reťazový dopravník (2) s reguláciou výkonu s ručne ovládanou dvojcestnou klapkou (3) dopraví komodity buď do korčekového dopravníka (4), ktorý plní predčističku, alebo do reťazového dopravníka (13), ktorý smeruje k silám (v prípade čistého a ideálne vlhkého materiálu).

3.2 Predčistenie zrnín

Zariadenie BÜHLER Grain Plus 20 bolo vybrané kvôli vysokej miere individualizácie pre ten, ktorý podnik a tiež kvôli výkonnosti, ktorá je pre daný podnik vyhovujúca.

Predčistička s aspiračným okruhom bude umiestnená na obslužnej podpernej plošine. Materiál dopravený do sitovej predčističky (6) sa pomocou sít a aspiračného okruhu s ventilátorom (7) a odstredivým odlučovačom (8) vytriedia na tri frakcie a to: - prvú triedu - druhú triedu (zuziteľné prepady) - tretiu triedu (nezužiteľné prepady). Materiál určený na čistenie je súvislé privádzaný cez spádové potrubie do násypky hornej časti stroja. Prach a ľahké častice sú prúdom vzduchu pomocou radiálneho ventilátora (7) a aspiračného potrubia odvádzané do odstredivého odlučovača (8). Nezužiteľné ťažšie prepady oddelené na sitách (prímеси, časti stebiel, kláskov, plevy a pod.) sú dopravované závitkovým dopravníkom (10) do zásobníka odpadov III. triedy (10a). Odlúčený prach

a tuhé častice z odlučovača (8) padajú do zásobníka odpadov III. triedy (8a). Materiál II. triedy (polámané zrná, malé zrná) sú dopravované závitovkovým dopravníkom (11) do zásobníka odpadov II. Triedy (11a). Čistý, ale vlhký materiál padá z predčističky cez dvojcestnú ručne ovládanú klapku (9) do násypného otvoru korčkového dopravníka (14), ktorý vynáša materiál do výšky 10,3 m, odkiaľ cez dvojcestnú, ručne ovládanú klapku (15) plní sušiareň (16). Cez dvojcestnú klapku (9) je možné v prípade ideálnej vlhkosti nasmerovať tok materiálu z predčističky do skladu.



Obrázok 8 Predčistička BÜHLER Grain Plus 20

3.3 Sušenie zrnín

Navrhnutá sušiareň E 300 od výrobcu Mathews Company jej výhody sú v relatívnej jednoduchosti a v prípadnej možnosti rozšírenia, respektíve zvýšenia výkonnosti pomerne jednoduchými úpravami.

Do sušiarne bude vlhký materiál dopravovaný cez výpad korčkového dopravníka (14) z predčističky (6). Po naplnení sušiarne (vybavenej snímačmi min. a max. hladiny) je vlhký materiál dopravovaný naspäť na príjem ručne ovládanou klapkou (15) a spádovým potrubím. Ako zdroj tepla bude slúžiť horákmi spaľovaný zemný plyn. Nosná oceľová konštrukcia sušiarne bude osadená na železobetónovom základe pred halou so skladovacími silami vedľa predčističky, za príjmom. Sušiareň E 300 disponuje základnými funkciami na ovládanie a monitorovanie sušiacich funkcií na svojom module. Obslužná plošina umožňuje jednoduchý prístup k meracím prístrojom a ovládacím prvkom, ktoré regulujú teplotu zohriateho vzduchu, množstva paliva a množstvo vypúšťaného materiálu. Výpad zo sušiarne ponúka možnosť odberu laboratórných vzoriek. V sušiarňi budú použité odstredivé ventilátory kombinované s horákmi Midco Burnes, umožňujúce nastaviť pomer vzduchu a paliva pre dosiahnutie čo najoptimálnejšieho spaľovania. Každá komora sušiarne má vlastný zmiešavací tunel, ktorý chráni sušený materiál pred kontaktom s plameňom horáka. Táto sušiareň ponúka viacero prístrojov a mechanizmov určených na uľahčenie prevádzky sušiarne, ktoré poskytujú informácie o každej prevádzkovej funkcii sušiarne. Niektoré z týchto prístrojov a mechanizmov sú:

- automatický uzáver pri zrnovej násypke uzavrie sušiareň pri zlyhaní vyprázdňovania,
- snímač spodnej hladiny automaticky vypne prívod prúdu do sušiarne v prípade prerušenia dodávky vlhkého materiálu do násypky,
- každá pretlaková komora je vybavená sondami na snímanie plameňa,
- snímač tlaku vzduchu v každej sušiacej komore zabráni zapáleniu horáka ak ventilátor nebeží,
- čistiaci cyklus elektronického zapaľovania zbaví pretlakovú komoru plynu pred zapálením horáka.

Výpad zo sušiarne je nasmerovaný na šikmý reťazový dopravník (16a), ktorý dopravuje vysušený materiál do ďalšieho reťazového dopravníka (13), ktorý smeruje do haly so skladovacími silami, kde plní násypku korčkového dopravníka (17).



Obrázok 9 Nízko profilová sušiareň od firmy Mathews Company typ Eco Series

3.4 Skladovanie a expedícia zrnín

Na dlhodobé uskladnenie vyčistených a vysušených komodít budú použité jestvujúce oceľové skladovacie silá, kruhového prierezu s priemerom $\varnothing = 6$ m, s kužeľovým dnom (22, 23, 24, 25) a betónovým základom. Plnenie týchto síl zabezpečuje korčkový dopravník (17) s dvojcestnou ručne ovládanou klapkou (18) v kombinácii s reťazovým dopravníkom (21) s diaľkovo ovládanými výpustami (21a, 21b, 21c, 21d) jednotlivo pre každé silo. Skladovacie silá sú usporiadané v jednom rade za sebou, s obslužnou lávkou a rebríkom. Celková kapacita jestvujúcich síl je 400 t. Pod silami sa nachádza stredový obslužný kanál, v ktorom bude umiestnený zalomený reťazový dopravník (26), do ktorého smerujú spodné diaľkovo ovládané výpusty zo síl (22a, 23a, 24a, 25a). Tento vyprázdňovací reťazový dopravník dopravuje materiál do korčkového dopravníka (17), ktorý cez dvojcestnú klapku (18) a šikmý reťazový dopravník (19) plní expedičný zásobník (20).

Pri nedostatku skladovacích kapacít tvorených oceľovými silami bude vyčistený a vysušený materiál prevezený do podlahového skladu, ktorý vznikne z jestvujúcej haly príjmu.

Sila môžu byť naskladňované:

- z príjmového koša (1),
- z procesu čistenia (6),
- z procesu sušenia (16).

Expedičný zásobník (20) môže byť naskladňovaný cez výpad šikmého reťazového dopravníka (19):

- zo všetkých jestvujúcich skladovacích síl (22, 23, 24, 25),
- z procesu čistenia (6),
- z procesu sušenia (16).

3.5 Výroba kŕmnych zmesí

Dávkovanie materiálu

Z jednotlivých síl (22, 23, 24, 25) sú zo spodku, z boku vyvedené diaľkovo ovládané výpusty (22b, 23b, 24b, 25b), ktoré sú so sacím potrubím (27) spojené dvojcestnými klapkami (27a, 27b, 27c, 27d). Sacie potrubie vedie cez lapač kameňov (28a) do prisavného šrotovníka (28).

Drvenie materiálu

Prisavný šrotovník (28) si sám nasaje materiál zo síl, idúci cez lapač kameňov (28a), ktorý zachytí väčšie častice v dopravovanom materiáli, následne je materiál zošrotovaný a tlačný cez odlučovač (29) do vertikálnej miešačky (30).

Miešanie materiálu a dávkovanie premixov

Zošrotovaný materiál bude dopravovaný cez odlučovač (29) do vertikálnej miešačky (30), kde sa bude miešať spolu s premixom. Miešačka (30) bude postavená na tenzometrickej váhe (33), čo umožňuje relatívne presné naváženie zmesi. Premix bude dávkovaný zo zásobníka premixov (31a), do ktorého bude ručne nasypávaný, dávkovaný do miešačky (30) bude šikmým závitkovým

dopravníkom (31). Hotová namiešaná zmes bude postupovať z miešačky ďalej samospádom cez ručne ovládanú dvojcestnú klapku (32), ktorá usmerní tok namiešanej zmesi buď na vrecovanie (35) alebo do násypky korčekaového dopravníka (34).

Skladovanie a expedícia krmnej zmesi

Na dočasné uskladnenie krmných zmesí budú použité 2 ks podjazdných expedičných zásobníkov (39), do ktorých sa hotová krmná zmes dostane korčekaovým dopravníkom (34), cez ručne ovládanú dvojcestnú klapku (36), ktorá rozdelí dopravovanú krmnu zmes do šikmých závitkových dopravníkov (37, 38). Vyprázdňovanie podjazdných expedičných zásobníkov (39) do sa robí pomocou 2 ks ručne ovládaných výpustov (40).

3.6 Doplnkové informácie o rekonštrukcii pozberovej linky

Látková bilancia

Predpokladaná ročná spotreba komodít:

- pšenica 250 t,
- jačmeň 150 t,
- ovos 100 t,
- výlisky z olejní 100 t,
- premixy 60 t.

Predpokladaná ročná produkcia krmných zmesí:

- krmne zmesi pre hovädzí dobytok 660 t

Manipulácia s materiálom

Z popisu technológie a zo znázornenia v technologickej schéme je zrejmé, že manipulácia s materiálom v pozberovej linke ako aj v procese výroby krmných zmesí je plne mechanizovaná, okrem občasného otvárania, resp. zatvárania ručne ovládaných prvkov (klapiiek a výpadov) u korčekaových dopravníkov a expedičných zásobníkov. Pri prijíme materiálu sa bude používať teleskopický manipulátor na prihrňanie materiálu do podúrovňového príjmového koša. Zásobník premixov sa bude dopĺňať ručne – vyspávaním z vriec. Korčekaové dopravníky a spádové dopravné cesty budú slúžiť pre vertikálnu dopravu materiálu a pre horizontálnu dopravu budú slúžiť reťazové a závitkové dopravníky. Spúšťanie strojov, otváranie alebo zatváranie DO výpadov bude ovládané z centrálného rozvádzača na základe signalizácie. Oceľové konštrukcie a pomocné oceľové konštrukcie (OK). Oceľové konštrukcie, podperné OK, závesy potrubia a stojany pod horizontálne dopravné cesty budú vyrobené z bežne valcovaných profilov pri montáži a opatrené náterom.

Pracovné sily

Prevádzku pozberovej linky budú obsluhovať dvaja pracovníci v jednej alebo viacerých pracovných zmenách (podľa potreby). Prevádzku VKZ bude obsluhovať jeden pracovník v jednej pracovnej zmene. Vzhľadom na priestorové rozmiestnenie linky, činnosť obsluhy bude sústredená aj na organizačnú činnosť a kontrolu prevádzky s pohybom po celom priestore linky. Kapacita expedičných zásobníkov na krmne zmesi bude postačovať na osemdňovú súčasnú spotrebu krmných zmesí. Výrobný cyklus VKZ bude prebiehať v osemdňových intervaloch vzhľadom na súčasný stav dobytka. V čase nevýrobného cyklu VKZ sa budú krmne zmesi iba expedovať.

Elektrická energia

Celkový predpokladaný inštalovaný príkon : 97,02 kW. Objekt je vybavený elektrickou prípojkou.

Požiadavky na montáž

Montáž bude vykonávaná obvyklým spôsobom, podľa technických podmienok výrobcov a podľa návodu na montáž zariadení. Jednotlivé spoje výrobných zariadení budú v tesnom vyhotovení kvôli zníženiu prašnosti prevádzky.

Požiadavky na stavebné úpravy

Nutné vykonať stavené úpravy a zhotovenie základov pod technologické zariadenia pred začatím montážnych prác podľa projektovej dokumentácie a technických podmienok výrobcov zariadení. Vytýčiť prípadné inžinierske siete aby nedošlo k ich poškodeniu pri výkopových prácach.

Hlavné stavebné úpravy:

- demontáž jestvujúcej technológie,
- úprava podlahy (zasypanie niektorých jestvujúcich šacht stavebným odpadom a následné zhutnenie),
- zhotovenie šachty pre príjmový násypný kôš a zalomený reťazový dopravník,

- uzavretie nepotrebných otvorov v obvodových stenách pre zabránenie prístupu vtáctva a hlodavcov,
- úprava elektrickej prípojky.

Povrchová ochrana

Dopravníky a expedičné zásobníky budú v pozinkovanom prevedení. Nosné a pomocné konštrukcie budú chránené proti koróznym náterom a to: 1 × základný náter S 2000, 2 × vrchný náter S 2013.

3.7 Vizualizácia návrhu rekonštrukcie a výsledná cena

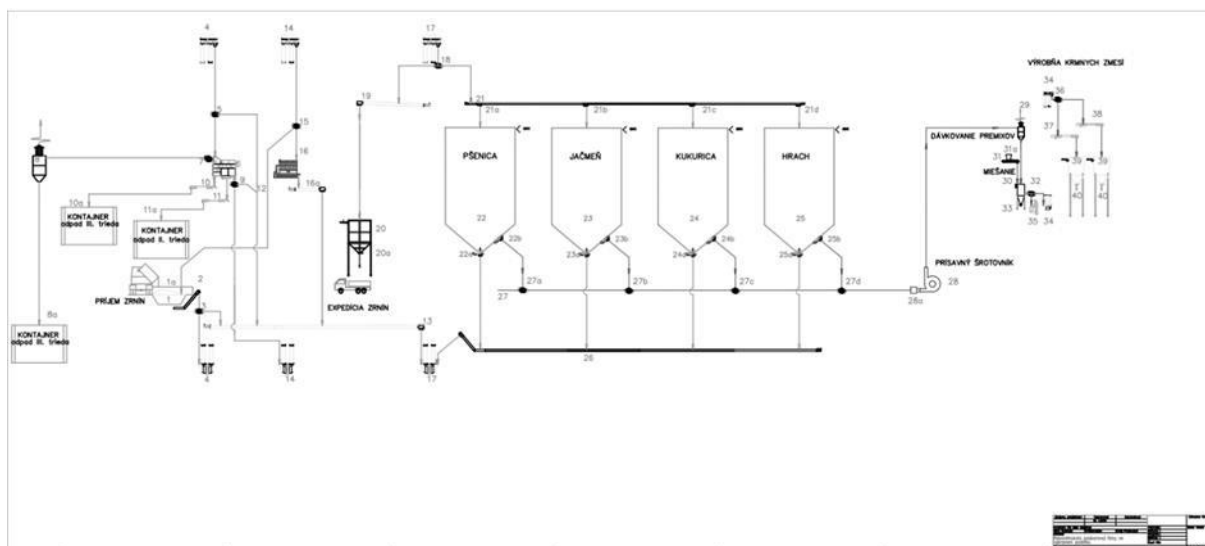
Technologická schéma rekonštrukcie pozberovej linky a VKZ je zobrazená na technickom výkrese (obr. č.10). Špecifikácia strojov a zariadení z technologickej schémy je znázornená v tabuľke č.1. Výkonnosti týchto strojov a zariadení sú vybrané na základe výpočtov uvedených v metodike.

Tabuľka 1 Špecifikácia strojov a zariadení

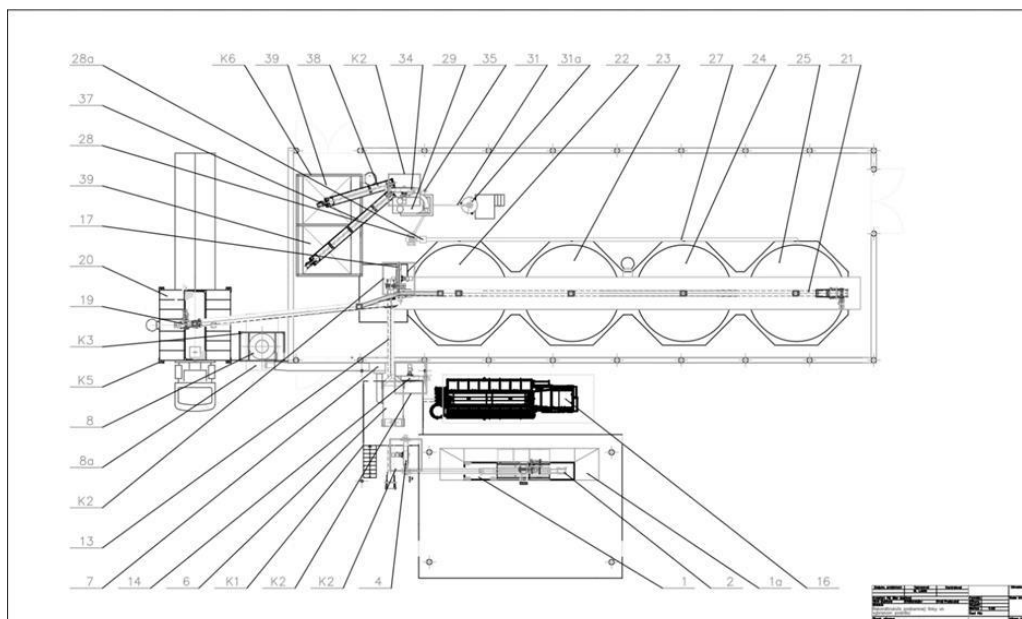
Poz.	Názov zariadenia	Ks	kW	Poznámka
	Pozberová linka			
1	Násypný kôš s neprejazdným roštom 5 x 1,1 m	1		
1a	Oporná stena násypného koša, 11 x 1,5 m	1		
2	Reťazový dopravník zalomený RDVz 250 (35°) Lc= 11 m, Lv - 5 m	1	3	40t.h ⁻¹ , frekvenčný menič, prídavné chladenie
3	Usmerňovací prvok dvojcestný UPD219 - RO	1		
4	Korčekový dopravník KD 5620, h = 10,3 m	1	3,0	40t.h ⁻¹ , snímač otáčok na spodnej hlave,
5	Usmerňovací prvok dvojcestný UPD219 - RO	1		
6	Čistička zrnín BUHLER typ GrainPlus 20, predčistenie 50 t/h, čistenie 25 t/h	1	1,5 + 0,75	
7	Ventilátor RVI 500, Q - 1,2 m ³ /s	1	1,5	
Spiro	Koleno 90° - 0 500	1		
	Koleno 90° - 0 800	1		
	Rúra 0 500 - 1935 mm	4		
	Rúra 0 800 - 1000 mm	3		
	Držiak potrubia 0 350, vč. závesnej OK	4kpl		
8	Odstredivý odlučovač 0 1600	1		
8a	Zásobník odpadov, 6m ³ , trieda III.	1		
9	Usmerňovací prvok dvojcestný UPD219A - RO	1		
10	Závitovkový dopravník DZ 200, L= 2 m	1	1,1	8 t.h ⁻¹
10a	Zásobník odpadov, 3,4m ³ , trieda III.	1		
11	Závitovkový dopravník DZ 200, L= 2 m	1	1,1	8 t.h ⁻¹
11a	Zásobník odpadov, 3,4m ³ , trieda II.	1		
12	Spojovací prvok Y, 0 219	1		
13	Reťazový dopravník RD160, L= 12,5 m	1	1,5	40t.h ⁻¹ , Zaoblenie v napínacej hlave
14	Korčekový dopravník KD 5620, h = 10,3 m	1	3,0	40 t.h ⁻¹ , snímač otáčok na spodnej hlave,
15	Usmerňovací prvok dvojcestný UPD219 - RO	1		
16	Kontinuálna sušička MC typ E300, výkon 5,3 t/hod. pre kukuricu z 25% na 15%- vlhké zrno, palivo zemný plyn.	1	14,5	
16a	Reťazový dopravník Rd 250, L=5m, šikmý, 16°	1	3,0	40 t.h ⁻¹
17	Korčekový dopravník KD 5620, h = 11,5 m	1	3,0	40t.h ⁻¹ , snímač otáčok na spodnej hlave, brzda

18	Usmerňovací prvok dvojcestný UPD219 - RO	1		
19	Reťazový dopravník RDs 250, L=13,5m, šikmý, 19°	1	3	40t.h ⁻¹ , Zaoblenie v napínacej hlave
20	Expedičný zásobník, výsyпка 45°, V- 44 m3	1		4,4 x 4,4 m, výška 10,9 m, podjazd + 4,5 m
20a	Výpad pod expedičný zásobník PV219 - RO pákou	1		
21	Reťazový dopravník RD250, L= 28 m	1	4,00	40t.h ⁻¹ , Zaoblenie v napínacej hlave
21a	Výpad pod reťazový dopravník VPD219 so stierkou - DO	1	0,12	
21b	Výpad pod reťazový dopravník VPD- RD260-219 so stierkou - DO	1	0,12	
21c	Výpad pod reťazový dopravník VPD - RD260-219 so stierkou - DO	1	0,12	
21d	Výpad pod reťazový dopravník VPD - RD260-219 so stierkou - DO	1	0,12	
22	Oceľové silo, 100t, jestvujúce			
22a	Výpad pod oceľové silo VPD 219 DO	1	0,37	
22b	Výpad pod oceľové silo VPD 100 DO	1	0,37	
23	Oceľové silo, 100t, jestvujúce			
23a	Výpad pod oceľové silo VPD 219 DO	1	0,37	
23b	Výpad pod oceľové silo VPD 100 DO	1	0,37	
24	Oceľové silo, 100t, jestvujúce			
24a	Výpad pod oceľové silo VPD 219 DO	1	0,37	
24b	Výpad pod oceľové silo VPD 100 DO	1	0,37	
25	Oceľové silo, 100t, jestvujúce			
25a	Výpad pod oceľové silo VPD 219 DO	1	0,37	
25b	Výpad pod oceľové silo VPD 100 DO	1	0,37	
26	Reťazový dopravník zalomený RDz 250 (16°) L= 26,5 m	1	5,5	40t.h ⁻¹ ,
	Výroba kŕmnych zmesí			
27	Dopravné potrubie 0100 mm, l - 6000mm	7		
27a	Klapka dvojcestná, 0100	1	0,12	
27b	Klapka dvojcestná, 0100	1	0,12	
27c	Klapka dvojcestná, 0100	1	0,12	
27d	Klapka dvojcestná, 0100	1	0,12	
28	Prísavný šrotovník DM3, 4-6 t/h	1	37	Bez výsycky
28a	Lapač kameňov	1		
29	Odstredivý odlučovač 0 800	1		
30	Vertikálna miešacia MKZ 500, 500 kg/ 4-6 minút	1	2,2	ka - 2,8 m, miešateľnosť 1:10000
31	Závitkový dopravník DZT 0 100, L= 3,5 m, (46°)	1	1,5	00 kg.min ⁻¹ .
31a	Zásobník premixov, V- 0,3 m3	1		ranná mriežka
32	Usmerňovací prvok dvojcestný UPD219A - RO	1		
33	Tenzometrické váženie pod miešačku	1 kpl		V
34	Korčekový dopravník KD 5620, h = 9 m	1	2,2	t.h ⁻¹ pre objemovú produktivitu 550 kg.m ⁻³ , na otáčok na spodnej hlave
35	Vrecovanie kŕmnych zmesí	1		

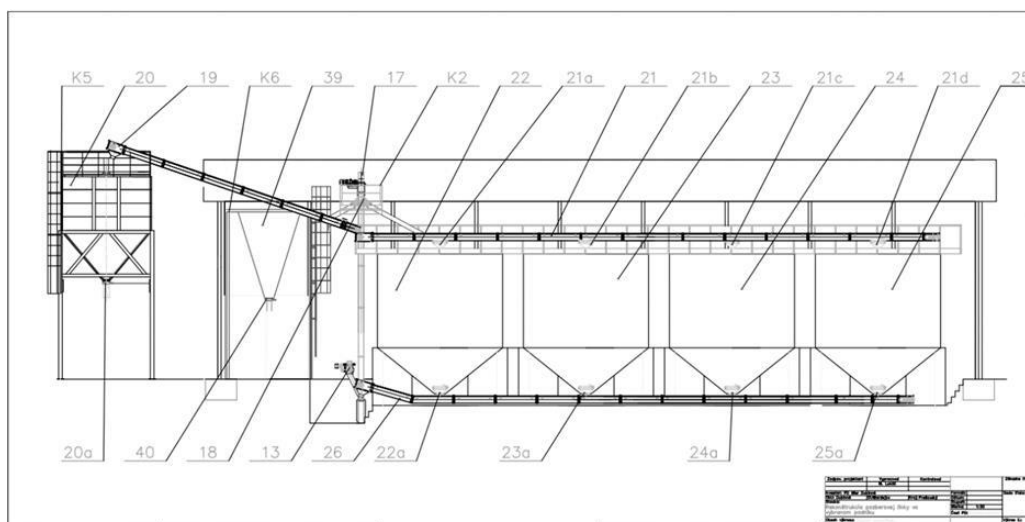
36	Usmerňovači prvok dvojcestný UPD219A - RO	1		
37	Závitovkový dopravník DZ 250, L=6,5m, šikmý, 36°	1		.h ⁻¹
38	Závitovkový dopravník DZ 250, L=4,5m, šikmý, 36°	1		.h ⁻¹
39	Expedičný zásobník výsypka 60°, V- 24 m ³	2		x 3,8 m, výška 8,1 m
40	Výpad pod expedičný zásobník PV300 x 300 mm cez páku	2		ka pojazdu 3,8 m
SD	Prvky spádovej dopravy			
	Spádové potrubie Ø 219x6,3, L= 1000 mm	30		
	Kolená Ø 219	10		
	Redukcie RH 219	2		
	Spojovací prvok dvojcestný SPD A Ø 219	2		
	Sťahovacie pásy Ø 219	10		
	Oceľové konštrukcie			
K1	Obslužná plošina pod čističku	1		0 kg
K2	Obslužná plošina hlavná a pomocná s rebríkom ku KD 5620	4		
K3	Podperná konštrukcia pod odlučovač (poz. úprava)	1		
K4	Podperná konštrukcia pod odlučovač (VKZ)	1		
K5	Podperná konštrukcia pod expedičný zásobník obilia	1		
K6	Podperná konštrukcia pod expedičný zásobník šrotu	2		
K7	Kotvenie korčiekového dopravníka	4		kg
K8	Závesy pod dopravníky	5 kpl		0 kg
K9	OK na prestrešenie prímového koša	1		0 kg
K10	OK na prestrešenie čističky	1		0 kg
K11	Drobný pomocný materiál			0 kg



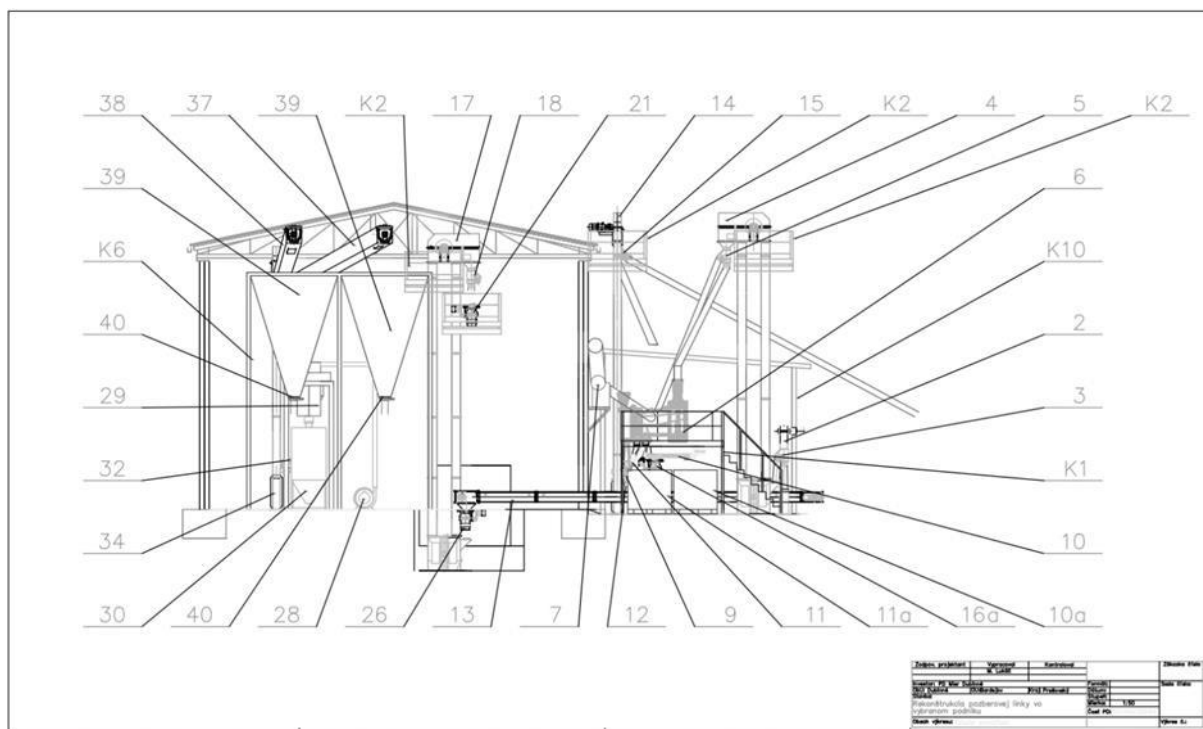
Obrázok 10 Nízkoprofilová sušiareň od firmy Mathews Company typ Eco Series



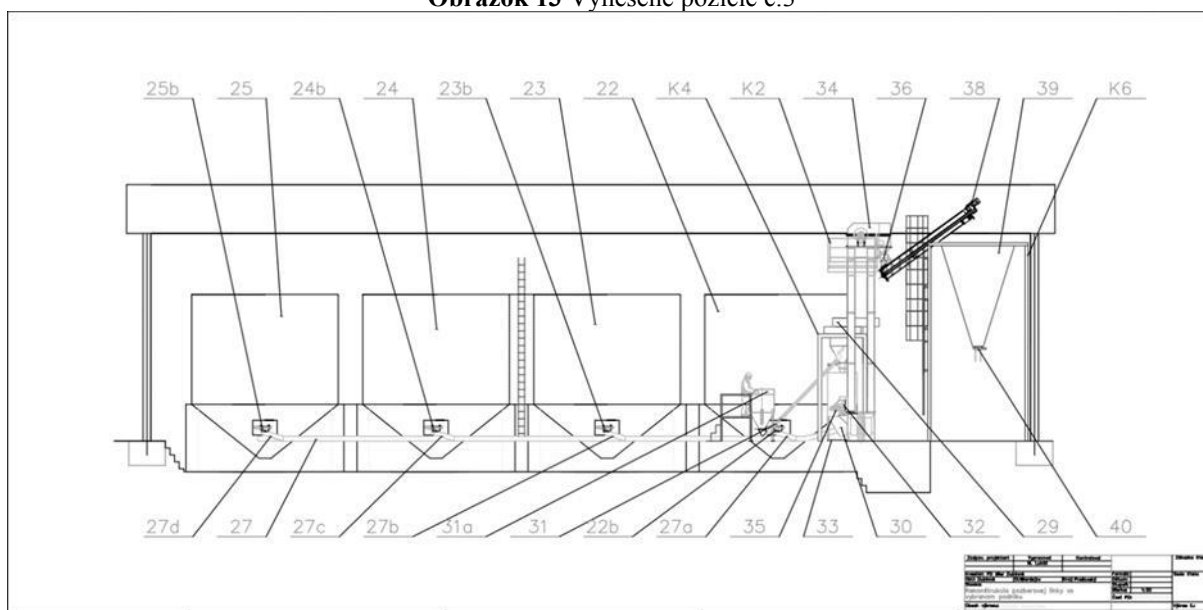
Obrázok 11 Vynesené pozície č.1



Obrázok 12 Vynesené pozície č.2



Obrázok 13 Vynesené pozície č.3



Obrázok 14 Vynesené pozície č.4

Tabuľka 2 Ceny zariadení a ich montáže

Č. pol.	Skrátený popis	Inšt. príkon v kW		Mj.	Množstvo	Cena v eurach			
		za ks	Spolu			Jednotková	Spolu		
						Dodávka	Montáž	Dodávka	Montáž
	Dodávka a montáž novej stg								
1	Násypný kôš s neprejazdným	0,00	0,00	ks	1	2 400,00 €	590,00 €	2 400,00 €	590,00 €
1a	Oporná stena násypného	0,00	0,00	ks	1	6 500,00 €	1 900,00 €	6 500,00 €	1 900,00 €
2	RD250 - Z; L - 10,5m, Q - 40	1,13,00	3,00	ks	1	6 105,00 €	686,40 €	6 105,00 €	686,40 €
3	Usmerňovaný prvok	10,00	0,00	ks	1	498,00 €	35,00 €	498,00 €	35,00 €
4	KD56-20; H - 10,3m, Q - 40	13,00	3,00	ks	1	6 827,00 €	805,00 €	6 827,00 €	805,00 €
5	Usmerňovaný prvok	10,00	0,00	ks	1	498,00 €	35,00 €	498,00 €	35,00 €
6	Čistička a predčistička	10,00	0,00	ks	1	42 000,00 €	746,00 €	42 000,00 €	746,00 €
7	Ventilátor	11,50	1,50	ks	1	2 600,00 €	222,00 €	2 600,00 €	222,00 €
	Koleno 90° 0	0,00	0,00	ks	1	390,00 €	60,00 €	390,00 €	60,00 €
	Koleno 90° 0	0,00	0,00	ks	1	500,00 €	80,00 €	500,00 €	80,00 €
	Rúra 0 500	0,00	0,00	ks	4	650,00 €	62,00 €	2 600,00 €	248,00 €
	Rúra 0 800	0,00	0,00	ks	3	830,00 €	90,00 €	2 490,00 €	90,00 €
	Držiak	0,00	0,00	ks	4	360,00 €	80,00 €	1 140,00 €	360,00 €
8	Odstredivý	10,00	0,00	ks	1	2 100,00 €	264,00 €	2 100,00 €	264,00 €
8a	Zásobník odpadov, 6m³,	10,00	0,00	ks	1	3 700,00 €	573,00 €	3 700,00 €	573,00 €
9	Usmerňovaný prvok	10,00	0,00	ks	1	498,00 €	35,00 €	498,00 €	35,00 €
10	DZ 200, L - 2,0m, Q - 12	11,10	1,10	ks	1	1 401,00 €	98,00 €	1 401,00 €	98,00 €
10a	Zásobník odpadov,	10,00	0,00	ks	1	3 256,00 €	501,00 €	3 256,00 €	501,00 €
11	DZ 200, L - 2,0m, Q - 12	11,10	1,10	ks	1	1 401,00 €	98,00 €	1 401,00 €	98,00 €
11a	Zásobník odpadov,	10,00	0,00	ks	1	3 256,00 €	501,00 €	3 256,00 €	501,00 €
12	Spojovací	10,00	0,00	ks	1	101,00 €	30,00 €	101,00 €	30,00 €
13	RD160; L - 12,5m, Q - 40	11,50	1,50	ks	1	5 184,00 €	653,00 €	5 184,00 €	653,00 €
14	KD56-20; H - 10,3m, Q - 40	13,00	3,00	ks	1	6 827,00 €	805,00 €	6 827,00 €	805,00 €
15	Usmerňovaný prvok	10,00	0,00	ks	1	498,00 €	35,00 €	498,00 €	35,00 €
16	Kontinuálna sušička MC typ	114,50	14,50	ks	1	82 000,00 €	5 500,00 €	82 000,00 €	5 500,00 €
16a	RD250 - S; L - 5,5m, Q - 40	13,00	3,00	ks	1	4 731,00 €	359,00 €	4 731,00 €	359,00 €

17	KD56-20; H - 11,3m, Q - 40	13,00	3,00	ks	1	7 408,00 €	874,00 €	7 408,00 €	874,00 €
18	Usmerňovaný prvok	10,00	0,00	ks	1	498,00 €	35,00 €	498,00 €	35,00 €
19	RD250 - S; L - 13,5m, Q - 40	13,00	3,00	ks	1	6 980,00 €	783,00 €	6 980,00 €	783,00 €
20	EZ - 4x4/3, V - 45 m3	10,00	0,00	ks	1	32 550,00 €	6 355,00 €	32 550,00 €	6 355,00 €
20a	Výpad pod expedičný	10,00	0,00	ks	1	70,00 €	50,00 €	70,00 €	50,00 €
21	RD160 - B; L - 28,5m, Q - 40	14,00	4,00	ks	1	10 424,00 €	1 540,00 €	10 424,00 €	1 540,00 €
21a	Výpad pod RD 160, klasický	10,12	0,12	ks	1	72,00 €	49,00 €	72,00 €	49,00 €
21b	Výpad pod RD 160, klasický	10,12	0,12	ks	1	72,00 €	49,00 €	72,00 €	49,00 €
21b	Výpad pod RD 160, klasický	10,12	0,12	ks	1	72,00 €	49,00 €	72,00 €	49,00 €
21d	Výpad pod RD 160, klasický	10,12	0,12	ks	1	72,00 €	49,00 €	72,00 €	49,00 €
22a	Výpad pod ocelové silo	1,30,37	0,37	ks	1	105,00 €	87,50 €	105,00 €	87,50 €
22b	Výpad pod ocelové silo	1,30,37	0,37	ks	1	95,00 €	81,25 €	95,00 €	81,25 €
23a	Výpad pod ocelové silo	1,30,37	0,37	ks	1	105,00 €	87,50 €	105,00 €	87,50 €
23b	Výpad pod ocelové silo	1,30,37	0,37	ks	1	95,00 €	81,25 €	95,00 €	81,25 €
24a	Výpad pod ocelové silo	1,30,37	0,37	ks	1	105,00 €	87,50 €	105,00 €	87,50 €
24b	Výpad pod ocelové silo	1,30,37	0,37	ks	1	95,00 €	81,25 €	95,00 €	81,25 €
25a	Výpad pod ocelové silo PV 219 - DO	1,30,37	0,37	ks	1	105,00 €	87,50 €	105,00 €	87,50 €
25b	Výpad pod ocelové silo	1,30,37	0,37	ks	1	95,00 €	81,25 €	95,00 €	81,25 €
26	RD250 - Z; L - 26,5m, Q - 40	1,35,50	5,50	ks	1	11 291,00 €	1 840,00 €	11 291,00 €	1 840,00 €
	Výroba krmných zmesí								
27	Spádové potrubie Ø 100	1,30,00	0,00	ks	6	40,00 €	25,00 €	260,00 €	150,00 €
27a	Klapka dvojcestná Ø	1,10,12	0,12	ks	1	1 200,00 €	33,00 €	1 200,00 €	33,00 €
27b	Klapka dvojcestná Ø	1,10,12	0,12	ks	1	1 200,00 €	33,00 €	1 200,00 €	33,00 €
27c	Klapka dvojcestná Ø	1,10,12	0,12	ks	1	1 200,00 €	33,00 €	1 200,00 €	33,00 €

27d	Klapka dvojcestná 0	1,1	0,12	0,12	ks	1	1 200,00 €	33,00 €	1 200,00 €	33,00 €
28	Prísavný šrotovník	1	37,00	37,00	ks	1	6 500,00 €	486,00 €	6 500,00 €	486,00 €
28a	Lapač kameňov	1	0,00	0,00	ks	1	155,00 €	30,00 €	155,00 €	30,00 €
29	Odstredivý odlučovač 0	1	0,00	0,00	ks	1	1 620,00 €	264,00 €	1 620,00 €	264,00 €
30	Vertikálna miešačka MKZ	1	2,20	2,20	ks	1	2 800,00 €	660,00 €	2 800,00 €	660,00 €
31	DZT 100, L - 3,5 m, 46°,	1	1,50	1,50	ks	1	1 350,00 €	85,00 €	1 350,00 €	85,00 €
31a	Zásobník premixov, V-	1	0,00	0,00	ks	1	937,00 €	360,00 €	937,00 €	360,00 €
32	Usmerňovaný prvok	1	0,00	0,00	ks	1	498,00 €	35,00 €	498,00 €	35,00 €
33	Tenzometrické váženie pod	1	0,00	0,00	ks	1	6 200,00 €	1 500,00 €	6 200,00 €	1 500,00 €
34	KD56-20; H - 9,3m, Q - 20	1	1,50	1,50	ks	1	4 027,00 €	654,00 €	4 027,00 €	654,00 €
35	Vrecovanie kŕmnych zmesí	1	0,00	0,00	ks	1	0,00 €	0,00 €	0,00 €	0,00 €
36	Usmerňovaný prvok	1	0,00	0,00	ks	1	498,00 €	35,00 €	498,00 €	35,00 €
37	DZ 250, L - 6,5m, Q - 22	1,1	2,20	2,20	ks	1	2 785,00 €	294,25 €	2 785,00 €	294,25 €
38	DZ 250, L - 4,5m, Q - 22	1,1	1,50	1,50	ks	1	2 061,00 €	221,65 €	2 061,00 €	221,65 €
39	EZ - 4x4/1, V - 24 m3	1	0,00	0,00	ks	2	25 410,00 €	4 961,00 €	50 820,00 €	9 922,00 €
40	Výpad pod expedičný	1,1	0,00	0,00	ks	2	780,00 €	93,50 €	1 560,00 €	187,00 €
	Prvky spádovej dopravy									
	Spádové potrubie 0 219	1	0,00	0,00	ks	30	58,00 €	30,00 €	1 740,00 €	900,00 €
	Koleno 0 219 x 6,3 mm -	1	0,00	0,00	ks	10	115,00 €	35,00 €	1 150,00 €	350,00 €
	Redukčné hrdlo RH 219	1	0,00	0,00	ks	2	35,00 €	16,00 €	70,00 €	32,00 €
	Spojovací prvok	1	0,00	0,00	ks	2	101,00 €	30,00 €	202,00 €	60,00 €
	Sťahovacie pásy 0 219 mm	1	0,00	0,00	ks	12	16,50 €	0,00 €	198,00 €	0,00 €
	Oceľové konštrukcie									
	Výroba nosných a	1	0,00	0,00	kg	2500	3,20 €	0,80 €	8 000,00 €	2 000,00 €

KD56 - 20 - HL obslužná	10,00	0,00	ks	4	1 139,00 €	264,00 €	4 556,00 €	1 056,00 €
Výroba nosných a	10,00	0,00	kg	700	3,20 €	0,80 €	2 240,00 €	560,00 €
Výroba nosných a	10,00	0,00	kg	400	3,20 €	0,80 €	1 280,00 €	320,00 €
Výroba nosných a	10,00	0,00	kg	1200	3,20 €	0,80 €	3 840,00 €	960,00 €
Výroba nosných a	10,00	0,00	kg	1600	3,20 €	0,80 €	5 120,00 €	1 280,00 €
Výroba pomocných	10,00	0,00	kg	150	4,50 €	2,00 €	675,00 €	300,00 €
Výroba pomocných	10,00	0,00	kg	1500	4,50 €	2,00 €	6 750,00 €	3 000,00 €
Oceľová konštrukcia na	10,00	0,00	ks	1	12 500,00 €	6 500,00 €	12 500,00 €	6 500,00 €
Oceľová konštrukcia na	10,00	0,00	ks	1	9 500,00 €	3 500,00 €	9 500,00 €	3 500,00 €
Drobný pomocný	10,00	0,00	kg	150	480,00 €	120,00 €	480,00 €	120,00 €
SPOLU :	97,02	XX	XXX	XXXXXX	XXXXX		404 982,0	63 611,30 €

Ceny uvedené v tabuľke č.2 nezahŕňajú stavebné, zdvíhacie a elektro inštalačné práce.

3.8 Návratnosť investície

Podnik potrebuje pre vlastnú spotrebu a výrobu kŕmnych zmesí priemerne 500 t svojpomocne dopestovaných zrnín. Priemerne však dopestuje celkovo 700 t. Rozdiel priemerne tvorí 200 t zrnín, ktoré sú určené na predaj. Pozberovú úpravu riešil podnik doposiaľ priamym odvozom z poľa do miestneho výkupného strediska v Bardejove na čistenie, prípadne sušenie, uskladnenie a následný odpredaj. Tieto pozberové operácie realizované prostredníctvom služieb predstavujú nemalé náklady, ktoré by sa rekonštrukciou pozberovej linky mohli čiastočne eliminovať. V tabuľke č.3 sú zaznamenané sumy, s ktorými je potrebné počítať pri riešení pozberovej úpravy prostredníctvom služieb.

Tabuľka 3 Približné ročné náklady na externé uskladnenie, čistenie a sušenie

Približné ročné náklady na externé uskladnenie, čistenie a sušenie					
	Čistenie	Sušenie	Naskladnenie	Skladovanie	Vyskladnenie
Suma	3,6 €/t	3,5 €/t/%	4,10 €/t	2,10 €/t	4,10 €/t
Hmotnosť [t]	700	700	500	500	500
Náklady [€]	2 520	3 675	2 870	30 576	2 870
Náklady spolu [€]	42 511				

Tabuľka 4 Približné ročné náklady na pozberovú úpravu po rekonštrukcii pozberovej linky

Približné ročné ná	lady na pozberovú úpravu po rekonštrukcii pozb. linky			
	Pozberová linka	Obsluha	El. energia	Plyn
Tarifa	-	12 €/hod	0,35 €/kWh	0,18 €/kWh
Odpracované h/rok	-	40	40	15
Výkon [kW]	-	-	50,64	1 140
Náklady [€]	500 000	480	709	3 078
Náklady spolu [€]	504 267			

Návratnosť investície vypočítame z údajov z tabuliek č.3 a č.4.

$$t = Nb/Nt \quad [\text{roky}]$$

$$t = 504\,267/42\,511 \quad [\text{roky}]$$

$$t = 11,86 \doteq 12 \quad [\text{roky}]$$

kde:

Nb – náklady budúce (približné),

Nt – náklady terajšie (približné).

Podľa vypracovaného návrhu a výpočtov by návratnosť investície mala prísť po 12 - tich rokoch od realizácie. Linka by sa mohla použiť aj na sprostredkovanie služieb na doťaženie výkonnosti čo by mohlo mať za následok zvýšenie zisku a zároveň zníženie doby návratnosti investície, čo je ale hypotéza.

Základným predpokladom pre správne fungovanie pozberovej linky je výkonnostná nadväznosť jednotlivých prvkov linky a podľa možnosti kontinuálna prevádzka pre rýchlejšie spracovanie vymláteného materiálu.

Jednoduché, univerzálne pozberové linky sa skladajú z týchto častí:

- podúrovňový príjmový kôš,
- predčistička,
- vyrovnávací príjmový zásobník s aktívnym prevzdušňovaním,
- sušiareň,
- čistička a triedička,
- vyrovnávacie, manipulačné zásobníky,
- expedičné zásobníky,
- skladovacie priestory.

Základom pre kontinuálnu prevádzku pozberovej linky je zosúladienie pracovných cyklov čističky a sušiarne. Ako riešenie zosúladienia týchto dvoch pracovných operácií pozberovej úpravy sa používajú vyrovnávacie zásobníky. Dôvod zaradenia vyrovnávacieho zásobníka do sústavy zariadení pozberovej úpravy spočíva v tom, že po naplnení sušiarne sa usmerní tok materiálu idúceho z čističky do medzioperačného zásobníka. Tým pádom môže pokračovať prevádzka pozberovej linky kontinuálne. Po vysušení materiálu a vyprázdení sušiarne sa znovu plní sušiareň materiálom z medzioperačného zásobníka. Treba dbať na správny výpočet kapacity medzioperačného zásobníka aby nedošlo k tomu, že medzioperačný zásobník bude naplnený a v sušiarňi ešte nebude dostatočne vysušený materiál na vyprázdenie.

V navrhovanej rekonštrukcii pozberovej linky tento vyrovnávací zásobník chýba. Tento prvok sa vynechal z dôvodu nižšej výkonnosti a veľkosti pozberovej linky, zachovania technologickej jednoduchosti a ekonomickej efektivity. Náhradou za absenciu vyrovnávacieho zásobníka bude dvojcestná klapka (15) a spádové potrubie, ktoré pri naplnení sušiarne (16) usmernia materiál naspäť na príjem. Z tohto dôvodu nebude prevádzka pozberovej linky pri súčasnej prevádzke sušiarne a predčističky kontinuálna. Treba však poznamenať, že pri dnešných cenách plynu je prevádzka sušiarne značne nákladná a každý podnik sa snaží pozbierať plodiny z poľa s ideálnou vlhkosťou a tým predísť používaniu sušiarne a s tým spojenými nákladmi, avšak nie vždy to poveternostné a technické podmienky dovoľujú.

Rovnako sa v návrhu rekonštrukcie pozberovej linky nenachádza čistička a triedička zrnín, nakoľko sa jedná o linku určenú na spracovanie materiálu predovšetkým na kŕmne účely.

Hypotéza týkajúca sa používania linky v rámci služieb prináša možnosť skrátenia doby návratnosti investície, čo je žiadúce. Služby, ktoré by sa mohli poskytovať sú predčistenie a sušenie zrnín, prípadne šrotovanie a miešanie kŕmnych zmesí a to všetko s dôrazom na zachovanie kvality spracovávaného produktu a práce.

Na kvalitu práce pozberových liniek sú kladené vysoké nároky so zreteľom na znižovanie strát na zrne pri pozberovom spracovaní a následnom skladovaní, čo bolo prioritou aj pri tomto návrhu. Kvôli zníženiu poškodenia zŕn sa uplatňuje používanie plastových komponentov v jednotlivých zariadeniach pozberovej úpravy napríklad plastové korčeky, plastové sitá, plastové dna reťazových dopravníkov a podobne. Na celkovú kvalitu práce pozberovej úpravy však vplyvajú hlavne nastavenie jednotlivých zariadení. Pri návrhu pozberovej linky treba dbať najmä na:

- umiestnenie vpádu a na uhol spádových potrubí u spádových dopravníkov,
- miesto a spôsob plnenia, otáčky a nastavenie ťažného člena s korčekom u korčkových dopravníkov,
- rýchlosť, nastavenie reťaze s unášačmi a sklon dopravníka u reťazových dopravníkov,

- rýchlosť, sklon a druh pásu u pásových dopravníkov,
- stúpanie a dĺžka závitovky s dôrazom na ohyb v strede závitovky u závitkových dopravníkov,
- správny výpočet výkonnosti čističky a dopravných ciest, aby nedošlo k nadmernému zaplneniu sít,
- udržiavanie optimálnej teploty a vlhkosti pri skaldovaní.

Tento návrh rekonštrukcie pozberovej linky prináša pre poľnohospodársky podnik PD MIER Dubinné zníženie závislosti na službách pri pozberovej úprave, s ktorou sú spojené aj značné náklady uvedené v tabuľke č.3, ušpené náklady by mohli byť využité aj na splácanie úveru, použitého na financovanie tohto projektu.

ZÁVER

Hlavným cieľom bolo spracovať návrh rekonštrukcie pozberovej linky spolu s približným odhadom ceny a návratnosťou investície.

Výsledky práce sme dosiahli zameraním jestvujúcich objektov, vypracovaním návrhu pozberovej linky v programe AutoCAD, vykonaním výkonnostných výpočtov podľa vzorcov z použitej literatúry, približným stanovením výšky vstupnej investície s údajmi použitými od spoločnosti PREMETAL MON, s.r.o., výpočet návratnosti vstupnej investície s údajmi použitými z poľnohospodárskeho podniku PD MIER Dubinné a to všetko spojené s odbornými konzultáciami, s vedením spoločnosti PREMETAL MON, s.r.o. a s vedením poľnohospodárskeho podniku PD MIER Dubinné.

Z výsledkov uvedených v príslušnej časti vyplýva, že približná výška vstupnej investície za rekonštrukciu pozberovej linky a za výstavbu výrobných zmesí bude 404 982 € za dodávku technológie a 63 611,3 € za montáž technológie. Výška vstupnej investície spolu predstavuje sumu 468 593,3 €. Táto suma v sebe nezahŕňa náklady na stavebné, zdvíhacie a elektro inštalačné práce avšak poľnohospodárske družstvo je schopné stavebné práce a úpravy zrealizovať vo vlastnej réžii.

Približná výška nákladov na zaobstaranie pozberovej linky 468 593,3 € je vysoká a bude potrebné financovať ju prostredníctvom bankového úveru, za ktorý si banka prirátava úroky a tie sú približne zahrnuté do sumy 500 000 €. Investícia sa začne podniku vracat približne po dvanástich rokoch. Treba brať do úvahy aj fakt, že takýto druh investície býva dotovaný štátom alebo z fondov Európskej únie. Pri poskytnutí dotácie by sa náklady a doba návratnosti znížili zhruba o polovicu.

Literatúra:

- 1 ANGELOVIČ, M. a i. 2006. Vývojové trendy v pozberovej úprave zrnín (čistenie, triedenie, sušenie, skladovanie): Zborník referátov a diskusných príspevkov z vedeckého seminára konaného na Katedre strojov a výrobných systémov Slovenskej poľnohospodárskej univerzity v Nitre, dňa 12. apríla 2005. Nitra Vydavateľstvo SPU v Nitre. 44 s. ISBN 80-89162-25-8.
- 2 ANGELOVIČ, M. – JOBBÁGGY, J. 2010, Mechanizácia rastlinnej výroby, Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre. 179 s. ISBN 978-80-552-0453-6.
- 3 BEZDĚKOVSKÝ, M. – ŠKUBNA, J. – NEVORAL, J. – BŘÍZA, E. – HODKOVÁ, K. 1986, Stroje a zariadenia v rastlinnej výrobe, Bratislava: Príroda, vydavateľstvo kníh a časopisov, n. p., Bratislava.380 s.
- 4 BOUŠKA, J. et al. 2006. Chov dojného skotu, Praha: Nakladatelství Profi Press, s.r.o. 186 s. ISBN 80-86726-16-9.
- 5 FRANČÁK, J. – MIHINA, Š. – ANGELOVIČ, M. – GÁLIK, R. – KORENKO, M. – SIMONÍK, J. – BOTTO, E. – JOBBÁGGY, J. – ŽITŇÁK, M. 2012. Technika v agrokomplexe, Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre.200 s. ISBN 978-80-552-0777-3.
- 6 HLINICA, P. 1995. Vliv rychlosti kladívek a částic na proces a energetickou náročnost mletí. In Zemědělská technika, roč. 41, č.1, s. 10-13.
- 7 JECH, J. 1998. Vývojové trendy v dopravě poľnohospodárskych materiálov. In Doprava a manipulácia s poľnohospodárskymi materiálmi : zborník referátov z vedeckého seminára. Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre. 3-8s. ISBN 80-7137-496-2.
- 8 JECH, J. – ARTIM, J. – ANGELOVIČOVÁ, M. – ANGELOVIČ, M. – BERNÁŠEK, K. – GONZÍK, I. – KVÍZ, Z. – MAREČEK, J. – KRŇÁČOVÁ, E. – POLÁK, P. – PONIČAN, J. – RYBKA, A. – RUŽBARSKÝ, J. – SLOBODA, A. – SOSNOWSKI, S. – SYPULA, M. – ŽITŇÁK, M. 2011, Stroje pre rastlinnú výrobu 3, Praha: Nakladatelství Profi Press, s.r.o., Praha. 368 s. ISBN 978-80-86726-41-0.

- 9 KICHI, R. – JECH, J. 1999, Uplatnenie valcových čističiek a triediacich strojov pri pozberovom ošetrovaní zrnín. Odborný seminár „Pozberové ošetrovanie zrnín a osív“. Zborník referátov. Nitra. S. 37-43. ISBN 80-7137-645-0.
- 10 KRIŠTOF, K. – FINDURA, P. – JOBBÁGGY, J. – ANGELOVIČ, M. – BOĐO, Š. – GÁLIK, R. 2020, Technika v agrokomplexe, Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre. 278 s. ISBN 978-80-552-2196-0.
- 11 LOBOTKA, J. a kol. 1988, Stroje pre živočíšnu výrobu, Bratislava Príroda, vydavateľstvo kníh a časopisov, n. p., v Bratislave. 419 s. SÚKK 121/I-88.
- 12 PISZCZALKA, J. – MAGA, J. 2002, Mechanizácia rastlinnej výroby, Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre. 202 s. ISBN 80-8069-071-5.
- 13 NEUBAUER, K. – FRIEDMAN, M. – JECH, J. – PÁLTIK, J. – PTÁČEK, F. 1989, Stroje pro rostlinnou výrobu, Praha: Státní zemědělské nakladatelství v Praze. 720 s. ISBN 80-209-0075-6.
- 14 OPÁTH, R. – KAŽIMÍROVÁ, V. 2013. Procesná technika skriptá, Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre. 151 s. ISBN 978-80-552-1104-6.
- 15 OPÁTH, R. - KAŽIMÍROVÁ, V. 2015. Stacionárne dopravné zariadenia, Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre. 104 s. ISBN 978-80-552-1355-2.
- 16 PAWLICA, R – KROUPA, P. 1994. Posklizňové ošetrovaní zrna. In Mechanizace zemnedelství – Speciál 4/94 1994. 48s.
- 17 SYROVÝ, O. a i. 2008. Doprava v zemědělství. Praha: Profi Press, ISBN 978-80-86726-30-4.
- 18 VELDA, K. – KONUPČÍK, J. – ŽÁK, K. 1983. Mechanizace rostlinné výroby II., Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n. p., Praha 1. 164 s. ISBN 17-076-83.
- 19 VITÁZEK, I. 2000 Chladienie a chladiarenstvo. Sušenie a sušiarstvo. Nitra: Vydavateľstvo SPU Nitra. 113 s. ISBN 80-7137-711-2.
- 20 VITÁZEK, I, 2004. Prenosové javy pri sušení. Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre. 78 s. ISBN 80-8069-317-X.
- 21 VITÁZEK, I. – JURÍK, I. 2015. Technika pre sušenie a skladovanie zrnín, Nitra: Vydavateľstvo SPU v Nitre. 128 s. ISBN 978-80-552-1419-1.

Funding: This publication is the result of the project implementation “Scientific support of climate change adaptation in agriculture and mitigation of soil degradation” (ITMS2014 + 313011W580), supported by the Integrated Infrastructure Operational Programme funded by the European Regional Development Fund (ERDF).

Contact address: Ing. Koloman Krištof, PhD.; Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky; Technická fakulta; Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Trieda A. Hlinku 2, 94976 Nitra; koloman.kristo@uniag.sk.

METODIKA VYUŽITIA ENERGETICKÉHO POTENCIÁLU BIOMASY - MECHANICKÉ VLASTNOSTI, ANALÝZA VLHKOSTI, TERMOGRAVIMETRIA

EUBOMÍR KUBÍK¹, MATÚŠ BILČÍK¹, VIERA KAŽIMÍROVÁ², DANIELA KUNECOVÁ¹

¹Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky Technická fakulta SPU v Nitre

² Ústav poľnohospodárskej techniky, dopravy a bioenergetiky Technická fakulta SPU v Nitre

Abstract: The mechanical properties of biomass pellets were determined by testing equipment. The dependences of force and stress on deformation made it possible to determine the strength of the pellets between the strengths and the modulus of elasticity. A correlation dependence between the parameters was established. The moisture analysis enabled the controlled determination of moisture during slow or fast drying of biomass. Thermogravimetric analysis made it possible to determine basic thermal parameters for pyrolysis of biomass and application in the energy industry.

Keywords: moisture content, mechanical properties, energetic parameters, pellets

ÚVOD

Mechanické vlastnosti

Duncan (2010), Obenberger & Thek (2010), Macák et al. (2015), Spirchez et al. (2016) sa zaoberali štúdiom kvality peliet. Hodnotenie mechanických vlastností peliet pomocou kompresnej záťaže významne prispieva ku stanoveniu ich základných mechanických parametrov. Výskum bol orientovaný na rozpracovanie poznatkov viacerých autorov najmä Oloso & Clarka (1993), Vursavuša & Özgüvena (2004) a Kubíka et al. (2016). Kvalita peliet je obvyčajne hodnotená pomocou ich hustoty a odolnosti proti poškodeniu, teda trvanlivosti. Nízka trvanlivosť peliet môže spôsobiť zlyhanie tráviaceho systému, emisiu prachu, môže spôsobiť zvýšenie rizika explózie a spôsobiť horenie počas manipulácie a skladovania (Zafari & Kianmehr, 2012). Mechanická pevnosť peliet je ovplyvňovaná mnohými faktormi zahrňujúcimi silu zaťaženia a teplotu pri kompresii, veľkosť častíc biomasy a chemické vlastnosti biomasy (Kaliyan & Morey, 2009).

Analýza vlhkosti biomasy

Výsledná vlhkosť pelety, teda obsah vody je daná technológiou jej výroby (Castellano et al., 2015). Vstupná surovina by pred samotným lisovaním mala byť vysušená na vlhkosť 12 až 14% (Nielsen et al., 2009). Pred samotným dávkovaním do peletovacieho lisu je pilina síce jemne vlhká, ale pri samotnom pretlačení matricou sa výrazne zahreje, takže obsah vody v novej drevenej pelete by sa mal znížiť resp. by nemal presiahnuť 10% (Stahl & Berghel, 2011). Podľa (Samulensson et al. 2012) má najväčší vplyv na kvalitu vlhkosť vstupnej suroviny a podmienky skladovania suroviny pred procesom výroby drevných peliet

Termogravimetria a pyrolýza

Termogravimetrická analýza (TGA) a zisťovanie výhrevnosti biomasy sú základnými metódami na určenie energetického potenciálu odpadnej biomasy. Biomasa je tvorená zmesou hemicelulózy, celulózy, lignínu a iných polymérnych uhlíkovodíkov. TGA je možné použiť pri relatívne veľkom rozsahu rýchlostí ohrevu a tepelného rozsahu, takže je možné určiť všetky procesy vo vzorkách počas zmien teploty. Polymérny materiál a palivá z biomasy obsahujú širokú škálu pyrolyzujúcich druhov (Várhegyi et al., 2011). Pyrolytickým rozkladom jednotlivých zložiek pri TGA je možné identifikovať hmotnostnú premenu, rýchlosť reakcie a množstvo energie doplnením o meranie DTA. Voľná voda sa vyparuje bez energetického príspevku, zatiaľ čo viazaná voda a konštitučná voda tvoria chemické väzby so zložkami drevenej steny (Franceschi et al., 2004). Horľavé plyny, kvapalné a tuhé produkty vzniknuté pyrolytickým ohrevom biomasy, môžu byť použité ako palivo. Ich výhrevnosť je porovnateľná s ropnými produktmi (Ounas et al., 2011). Termogravimetrické metódy poskytujú dobrý základ pre popis kinetiky rôznych pyrolytických procesov. Biomasa vo forme peliet môže byť vhodným adeptom pre komerčné použitie. Spaľovanie drevných peliet je povolené v kotloch určených na spaľovanie drevných peliet, ktoré poskytujú plnohodnotné komfortné automatické vykurovanie domácností, malých a veľkých objektov (biopel, 2022).

Cieľom výskumu je stanovenie mechanických parametrov peliet, za účelom zhodnotenia parametrov ich materiálu, trvanlivosti a výroby. Dôležitým cieľom výskumu bolo zisťovanie vlhkosti biomasy metódou rýchleho sušenia za účelom zistenia vlhkosti peliet v každom časovom okamihu a taktiež pri dlhodobom sušení. Konečným cieľom výskumu bolo energetické zhodnotenie vzoriek termogravimetrickou metódou umožňujúcou rozklad biomasy „stanoviť hodnotu spalného tepla, z ktorého je možné určiť výhrevnosť pri známej relatívnej vlhkosti zložky alebo stanoviť termické parametre pyrolyzovaného materiálu..

MATERIÁL A METÓDY

Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti biomasy boli hodnotené u peliet vyrobených z biomasy. Jednalo sa o rastlinné zvyšky alebo slamu. Biomasa bola rozdrvená na menšie kusy, aby bola vhodná pre spracovanie v zariadení na výrobu peliet. Makovice boli drvené pomocou kladivkového mlyna. Boli hodnotené pelety vyrobené zo pšeničnej slamy, makovic a zvyškov po preosiatí maku, pelety z trávy, repky olejnej a ďateliny. Boli vyrobené pelety troch druhov z makovic a zvyškov po preosiatí makovic v rôznych pomeroch makovic a zvyškov po preosiatí. Pelety boli vyrobené pomocou prístroja Kovo Novák MGL 200 s diskovým peletizérom. Vlhkosť peliet sa pohybovala od 8,89% do 9,77%. Hustota peliet makovej biomasy a slamy bola v rozmedzí od 655,98 kg m⁻³ do 796,3 kg m⁻³. Hustota peliet z trávy, repky olejnej a ďateliny dosahovala hustotu 1200 kg m⁻³.

Meranie kompresie vzoriek peliet bolo realizované experimentálnym trhacím zariadením a zariadením Andilog Stentor 1000.



Obrázok 1 Experimentálne trhacie zariadenie a zariadenie Andilog Stentor 1000

Vzorky boli vystavené kompresnému namáhaniu. Meranie kompresie vzoriek peliet bolo realizované experimentálnym trhacím zariadením a zariadením Andilog Stentor 1000. Experimentálne trhacie zariadenie (trhačka) je zložené z programovateľných logických automatov (PLC) dodaných spoločnosťou B&R a bola vyvinutá na Katedre fyziky a Katedre elektrotechniky a automatizácie Technickej fakulty SPU v Nitre. Riadenie posuvu po osi je vykonávané motorom. Trhačka obsahuje snímače ako sú snímač premiestnenia WDS 500, snímač LT Lutron pre snímanie sily. Počítačovým softvérom je ovládané celé zariadenie. Pevnosť peliet bola hodnotená pomocou quázi-statického axiálneho kompresného testu medzi dvomi rovnobežnými platňami. Výsledkom jednotlivého testu bola záťažová krivka závislosti medzi kompresnou silou F a kompresnou deformáciou ε pelety.

Rýchlosť posuvu zariadenia pri kompresii bola 10 mm min⁻¹. Kompresné krivky boli určené ako závislosti sily od deformácie $F(\varepsilon)$ alebo sily od času $F(t)$. Boli zistené kubické regresné závislosti medzi silou a deformáciou a silou a časom záťaže uvedené ako rovnice (1) a (2).

$$F = a \varepsilon^3 + b \varepsilon^2 + c \varepsilon + d \quad (1)$$

kde: F – kompresná sila, N; ε – kompresná deformácia, mm mm⁻¹; a , b , c , d – regresné koeficienty, N.

$$F = e t^3 + f t^2 + g t + h \quad (2)$$

kde: F – kompresná sila, N; t – čas kompresie, s; e – regresný koeficient, $N s^{-3}$; f – regresný koeficient, $N s^{-2}$; g – regresný koeficient, $N s^{-1}$; h – regresný koeficient, N.

Z nameraných kriviek boli zisťované špeciálne parametre hodnotiace pevnosť peliet, ε_m je maximálna deformácia:

$$\varepsilon_m = \frac{v t_m}{l_0} \quad (3)$$

kde: ε_m – kompresná deformácia v maxime záťažovej krivky $F(\varepsilon)$, $mm\ mm^{-1}$; v – rýchlosť deformácie, $mm\ min^{-1}$; t_m – čas dosiahnutia maxima deformácie, min; l_0 – pôvodná dĺžka vzorky, mm.

Kompresné napätie v maxime záťažovej krivky bolo stanovené pomocou rovnice:

$$\sigma_m = \frac{4 F_m}{\pi d^2} (1 - \varepsilon_m) \quad (4)$$

kde: σ_m – kompresné napätie v maxime krivky $\sigma(\varepsilon)$, MPa; ε_m – kompresná deformácia v maxime krivky $F(\varepsilon)$, $mm\ mm^{-1}$; F_m – sila v maxime krivky $F(\varepsilon)$, N; d – pôvodný priemer vzorky, mm. Youngov modul pružnosti bol vypočítaný pomocou rovníc (5) a (6):

$$E = \frac{4 \Delta F l_0}{v \Delta t \pi d^2} \quad (5)$$

kde: E – Youngov modul pružnosti (MPa), $\Delta F / \Delta t$ – smernica záťažovej krivky $F(t)$ (N/s), v – rýchlosť deformácie ($mm.s^{-1}$), l_0 – originálna výška vzorky (mm), d – originálny priemer vzorky (mm).

Youngov modul pružnosti E_e (MPa) bol graficky stanovený ako smernica lineárnej časti závislosti napätia σ (MPa) a deformácie ε ($mm.mm^{-1}$). Regresná rovnica bola stanovená ako:

$$\sigma = E_e \varepsilon + m \quad (6)$$

kde: σ – kompresné napätie (MPa), ε – kompresná deformácia ($mm.mm^{-1}$), E_e – regresný koeficient – Youngov modul pružnosti (MPa), m – regresný koeficient (MPa), Podobne boli zavedené aj parametre v inflexnom bode ε_{inf} a σ_{inf} .

Analýza vlhkosti biomasy

Meranie vlhkosti vzoriek peliet bolo realizované experimentálnym zariadením a zariadením analyzátor vlhkosti MAC 210/WH (Obr. 2). Analyzátor vlhkosti je určený na stanovenie relatívnej vlhkosti v malých vzorkách rôznych látok. Prázdna čistá hliníková miska sa odváži s presnosťou 0,001 g, následne sa na misku vloží vzorka pelety. Naplnená miska sa odváži s presnosťou 0,001 g. Následne sa vzorka s miskou suší pri teplote $105\ ^\circ C \pm 2\ ^\circ C$ až po dobu kým sa nezmení hmotnosť vzorky počas 240 sekúnd o 1 miligram. V porovnaní s konvenčnými metódami zisťovania vlhkosti rôznych látok aplikácia analyzátoru vlhkosti výrazne skracuje čas merania a zjednodušuje skúšobný postup.

Termogravimetria a pyrolýza

Využitie prístrojov pri energetickom ohodnotení biomasy: TGA/ DSC 1, Mettler Toledo DSC 2, Mettler Toledo, Bombový kalorimeter IKA C 5000, Váhy s presnosťou 0,1 mg ABT Kern Váhy s presnosťou 1 mg Libra, Kalorimeter C 5000 ControlPackage 2, Názov meraných veličín: entalpia, reakčné teplo, spalné teplo látok, Rozsah merania: 40 000J Jednotka merania: $J.kmol^{-1}$, J, K, Presnosť prístroja: $\pm 0,0001K$

Materiál pre využitie na TGA analýzy je možné použiť bez úprav. Je možné realizovať merania na kvapalných a pevných vzorkách pri navážkach od 0,1 g – 1,0 g, pre určenie spalného tepla a od 2 – 200 mg pre TGA a DSC analýzu. Ak sa jedná o nehomogénnu vzorku a pre uvedené nízke hmotnosti analyzovanej vzorky je lepšie použité homogenizátor alebo mlynček so sitom. Analýzy sú deštruktívne, ale pre malé množstvo použitia vzorky to nie je nevýhoda. TGA analýzu je možné použiť aj na

identifikáciu vlhkosti materiálu biomasy, pričom sa tento proces označuje vždy do teploty 150°C. Podľa zvolenej metodiky je možné využiť aj viaceré možnosti zisťovania naviazania vody vo vzorke. Pokles hmotnosti do 150 °C je vždy definovaný ako zbavenie sa kapilárnej alebo viazanej vody vo vzorke. Od teploty 200 °C dochádza k rozkladu jednotlivých zložiek biomasy, pričom definovanie presnej hmotnosti je možné cez deriváciu termogramu (TGA krivky).

Celkový obraz rozkladu biomasy cez TGA je dobré doplniť o hodnotu spalného tepla, z ktorého je možné určiť výhrevnosť pri známej relatívnej vlhkosti zložky alebo prvkovej analýzu vzorky.



Obrázok 2 Analyzátor vlhkosti MAC 210/WH

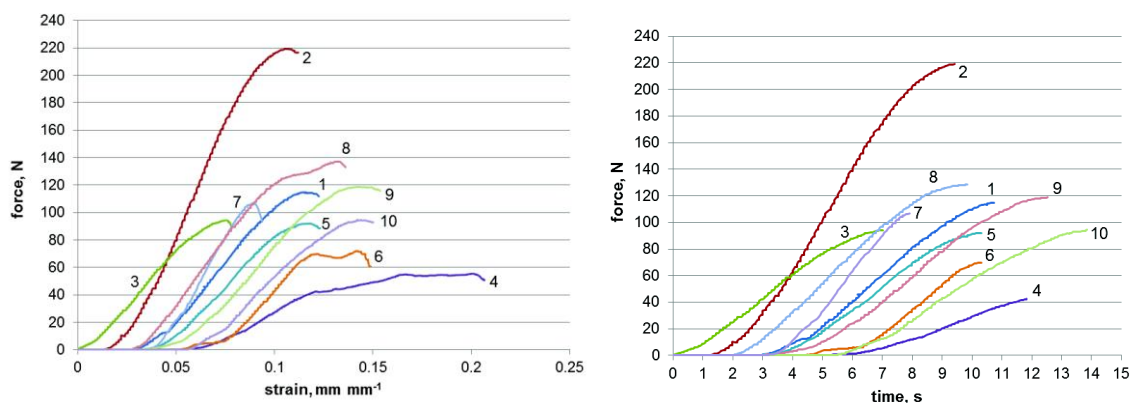


Obrázok 3 Kalorimeter TGA/ DSC 1, Mettler Toledo, Váhy s presnosťou 0,1 mg ABT Kern

VÝSLEDKY A DISKUSIA

Mechanické vlastnosti

Na obrázku 4 sú predstavené závislosti sily od deformácie a času a závislosti sily od deformácie a času.



Obrázok 4 Zátťažové krivky pre pelety vyrobené z makových zvyškov – závislosť $F(\varepsilon)$ a $F(t)$
force=sila, strain=deformácia, time=čas

V tabuľke 1 sú uvedené korelačné koeficienty medzi parametrami peliet. Vysoké korelácie, teda súvis medzi parametrami bol dosiahnutý u veličín vyznačených tučným písmom. d je priemer pelety, L_0 je pôvodná dĺžka pelety, F_{10} je sila pri 10% zaťaženia, F_m je sila v maxime kriviek, ε_{mp} je deformácia na medzi pevnosti, σ_{mp} je napätie na medii pevnosti, ε_m je deformácia v maxime krivky, σ_m je napätie v maxime krivky, E je modul pružnosti, F_{inf} je sila v inflexnom bode krivky, ε_{inf} je deformácia v inflexnom bode krivky, σ_{inf} je napätie v inflexnom bode krivky.

Tabuľka 1 Hodnoty korelačných koeficientov pre parametre hodnotené kompresným testom -peleta typ 1

	d	L_0	F_{10}	F_m	ε_{mp}	σ_{mp}	ε_m	σ_m	E	F_{inf}	ε_{inf}	σ_{inf}
d	1											
L_0		1										
F_{10}			1									
F_m	-0.55		0.90	1								
ε_{mp}					1							
σ_{mp}	-0.61		0.91	1.00		1						
ε_m					0.98		1					
σ_m	-0.62		0.89	0.99		1.00		1				
E	-0.66		0.86	0.96		0.97		0.97	1			
F_{inf}			0.73	0.77		0.73		0.70	0.63	1		
ε_{inf}											1	
σ_{inf}			0.80	0.84		0.82		0.80	0.73	0.98		1

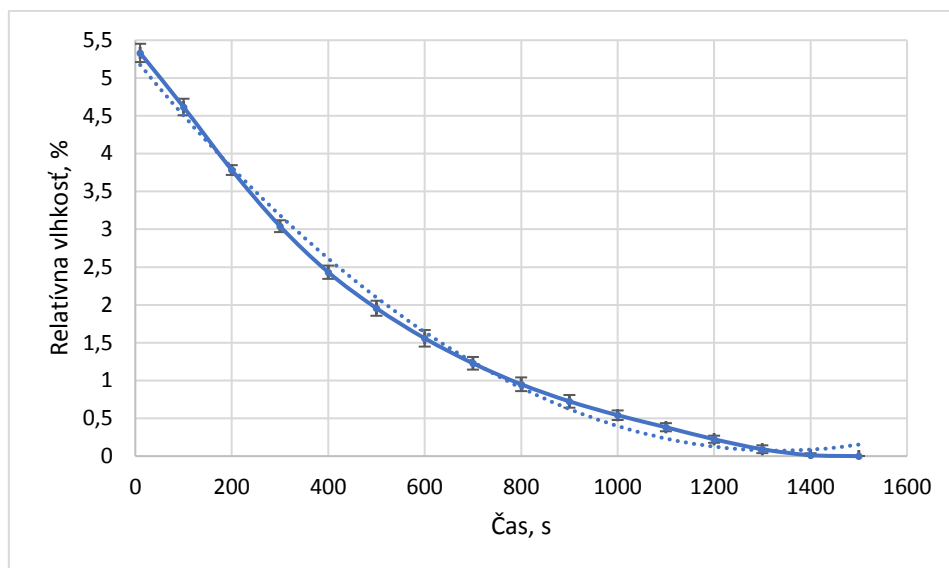
Analýza vlhkosti biomasy

V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty vlhkosti peliet po sušení trvajúcim 10 s až 1500 s., pre vzorky peliet vyrobené z d'ateliny. Ďalej tabuľka 2 prezentuje vypočítané priemerné hodnoty relatívnej vlhkosti a odchýlky.

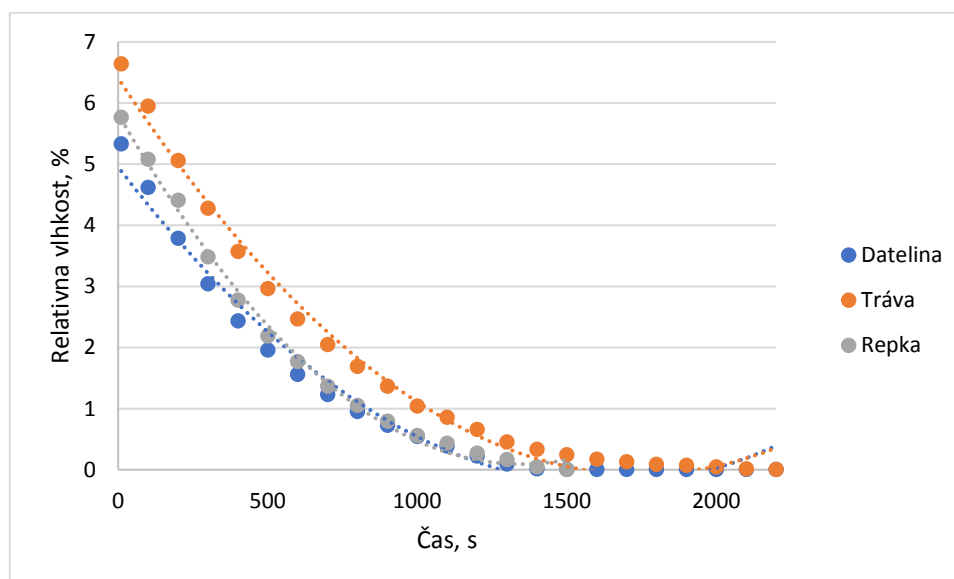
Tabuľka 2 Datelina – vypočítané hodnoty relatívne vlhkosti pre jednotlivé vzorky

Čas, s	Relatívna vlhkosť, %						Odchýlka STDEV
	Peleta 1	Peleta 2	Peleta 3	Peleta 4	Peleta 5	Priemer	
10	5.39	5.417	5.17	5.476	5.207	5.332	0.1210
100	4.61	4.67	4.54	4.791	4.473	4.6168	0.1094
200	3.759	3.798	3.72	3.901	3.738	3.7832	0.0644
300	2.908	3.051	3.026	3.149	3.071	3.041	0.0782
400	2.27	2.428	2.459	2.533	2.47	2.432	0.0879
500	1.773	1.93	2.018	2.053	2.003	1.9554	0.0996
600	1.348	1.557	1.639	1.643	1.602	1.5578	0.1094
700	1.064	1.245	1.261	1.3	1.268	1.2276	0.0837
800	0.78	0.934	1.009	1.027	1.001	0.9502	0.0907
900	0.567	0.747	0.82	0.753	0.734	0.7242	0.0841
1000	0.426	0.56	0.567	0.616	0.534	0.5406	0.0631
1100	0.284	0.374	0.441	0.411	0.401	0.3822	0.0536
1200	0.142	0.249	0.252	0.272	0.2	0.223	0.0469
1300	0	0.125	0.126	0.137	0.067	0.091	0.0517
1400	0	0	0.063	0	0	0.0126	0.0252
1500	0	0	0	0	0	0	0.0000

Z tabuľky 2 je jasné že vzorka č. 4 mala najvyššiu vlhkosť a to konkrétne 5.476 % a k jej vysušeniu prišlo za 1400s. Najnižšiu vlhkosť mala peleta číslo 3, jej vlhkosť bola 5,17 %. Priemerné hodnoty relatívnej vlhkosti spolu s odchýlkami sú zobrazené na obrázku 5.



Obrázok 5 Ďatelina priebeh sušenia



Obrázok 6 Priebehy sušenia pre rôzne typy peliet

Na obrázku 6 sú prezentované priebehy sušenia pre 3 typy peliet vyrobených z poľnohospodárskych surovín. Z grafu je zrejmé, že počiatočná relatívna vlhkosť závisí od typu vstupnej suroviny. Najväčšiu počiatočnú vlhkosť mali pelety vyrobené z trávy a najnižšiu vlhkosť mali ďatelinové pelety. Priebehy na obrázku 6 je možné popísať polynomicou funkciou 2 stupňa. Koeficienty regresnej rovnice sú uvedené v tabuľke 3. Koeficienty determinácie majú vysoké hodnoty (Tab. 3), čiže polynomická funkcia 2 stupňa bola zvolená správne. Regresná rovnica má tvar:

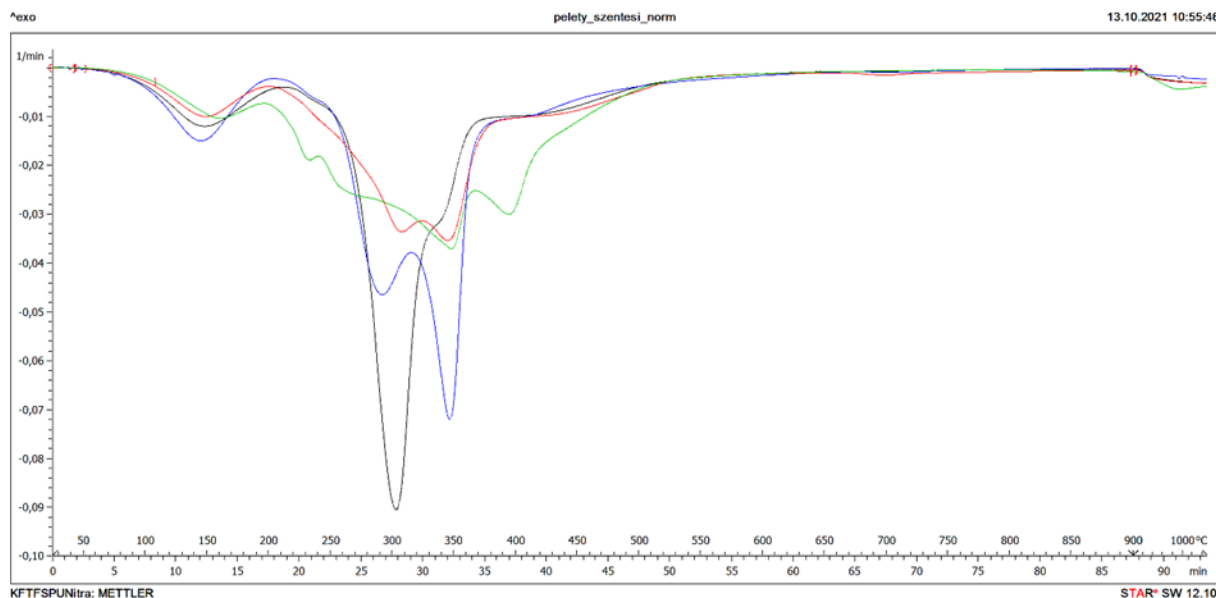
$$y = A \cdot x^2 + B \cdot x + C \quad (7)$$

Tabuľka 3 koeficienty regresnej funkcie, koeficient determinácie

Typ vzorky	Regresné koeficienty			R ²
	A	B	C	
Ďatelina	3 · 10 ⁻⁶	-0.0078	5.251	0.9951
Tráva	2 · 10 ⁻⁶	-0.0074	6.4044	0.9915
Repka	3 · 10 ⁻⁶	-0.0085	5.8228	0.9966

Termogravimetria a pyrolýza

Na presnejšiu identifikáciu zloženia biomasy je lepšie použiť diferenciálnu termickú analýzu (DTG) spracovania termogravimetrickej TGA krivky. Pri tomto zobrazení sa nám presne identifikujú jednotlivé rozklady ako aj ich množstvo. Pri TGA máme zaznamenané iba poklesy hmotnosti, ktoré sa prelínajú.



Obrázok 7 derivačná krivka termogramu pre rôzne pelety z odpadnej biomasy. Červená - datelina, zelená – repka, modrá - kôstky, čierna – travnate semená

Na obrázku 7 je dobre viditeľná strata hmotnosti do 150 °C, ktorá je porovnateľná pre všetky vzorky, rozdiel nepredstavuje 0,01 mg/min. Najrôznorodejšie zloženie biomasy je evidentné pre repku, kde vrchol pre rozklad celulózy, nie je viditeľný alebo je prekrytý zložkami ktoré sa rozkladajú pred teplotou 250 °C. Maximálny obsah celulózy má vzorka trávnaté semená, kde je viditeľný tiež slabý obsah hemicelulózy, ktorý definuje vrchol pri teplote 350 °C. Hemicelulóza a lignín sú zastúpené v porovnateľnom množstve pri vzorke d'ateliny (400 °C).

ZÁVER

Na základe štúdie Blahovec et al. (1988), boli realizované merania a stanovené charakteristické body záťažových kriviek v kompresii. Inflexný bod záťažovej krivky bol stanovený zo záťažovej krivky. Deriváciou bolo stanovené prvé maximum záťažových kriviek ako parameter pevnosti peliet. Kompresná sila, napätie, deformácia v inflexnom bode významne korelovali so silou, napätím, deformáciou a maximom v prvom maxime kriviek. Polomer vzoriek peliet a počiatková pevnosť mali negatívne korelačné koeficienty a ich vplyv a väzba na ostatné mechanické parametre bol nepriamo úmerný. Počiatková pevnosť peliet definovaná silou pri deformácii 10% neovplyvňovala na celkovú pevnosť peliet. Modul pružnosti peliet bol stanovený v rozsahu 4,8 MPa až 56,7 MPa. Sila v prvom maxime bola stanovená v rozsahu od 19,4 MPa do 108,0 MPa.

Analýza vlhkosti umožnila meranie vlhkosti biomasy, ktorá veľmi vplyva na mechanické a energetické vlastnosti biomasy. Počiatková relatívna vlhkosť závisí od typu vstupnej suroviny. Najväčšiu počiatkovú vlhkosť mali pelety vyrobené z trávy a najnižšiu vlhkosť mali d'atelinové pelety.

Termická analýza a hlavne TGA s DTA sú dobrým prostriedkom na určenie charakteru rozkladu biologického materiálu. Taktiež je možné podrobnejšie popísať charakter pyrolýzneho procesu a označenie jeho produktov (Leinweber, 1992; Guo, 2004). Kombináciou TGA a DTA, pozorovaný výsledok nám poskytol zásadné informácie o zložení biomasy a iniciácii degradácie celulózy, hemicelulózy a lignínu. Degradácia pozostáva z dvoch fáz: pozorovaný vrchol na DTG termogramoch medzi 250 °C a 350 °C je spôsobený superpozíciou degradácií lignínu a hemicelulózy (Stanford, 2022). Charakteristická degradácia hemicelulózy a lignínu sa pozoruje v rozmedzí teplôt 250 °C až 420 °C.

Literatúra

1. CASTELLANO J. M., GOMEZ M., FERNANDEZ M., ESTEBAN L. S., CARRASCO J. E. Study on the effects of raw materials composition and pelletization conditions on the quality and properties of pellets obtained from different woody and non woody biomasses. *Fuel*, vol. 139, 2015, pp. 629-635
2. FRANCESCHI E. - LUCIANO G. - CAROSI F. - CORNARA L. - MONTANARI C. 2004. Thermal and microscope analysis as a tool in the characterisation of ancient papyri. In *Thermochimica Acta*, vol. 418, n. 1-2, pp. 39-45. doi.org/10.1016/j.tca.2003.11.051.
3. GUO, J. 2004. Pyrolysis of wood powder and gasification of wood-derived char. [Phd Thesis 1 (Research TU/e /Graduation TU/e), Applied Physics]. Technische Universiteit Eindhoven. doi.org/10.6100/IR577018.
4. KALIYAN, N. & MOREY, R.V. 2009. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and bioenergy* 33, 337-359.
5. KRIŽAN, P. 2014. Process of wood waste pressing. STU, Bratislava, 197 pp. (in Slovak).
6. KUBÍK, Ľ., ADAMOVSKEÝ, F. & KAŽIMÍROVÁ, V. 2016. Evaluation of mechanical parameters of pellets. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* 64(5), 1593-1601.
8. LEINWEBER P. - SCHULTEN H. P. 1992. Differential thermal analysis, thermogravimetry and in-source pyrolysis-mass spectrometry studies on the formation of soil organic matter. In *Thermochimica Acta*, vol. 200, pp. 151-167, ISSN 0040-6031.
9. MACÁK, M., NOZDROVICKÝ, L. & HUSSEIN, A.O. 2015. Effect of preheating and different moisture content of input materials on durability of pellets made from different phytomass content. *Acta Technologica Agriculturae* 18(1), 22-27.
10. NIELSEN N. P. K., GARDNER D. J., POULSEN T., FELBY C. Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. *Wood Fiber Sci.*, vol. 41, no. 4, 2009, pp. 414-425.
11. OBENBERGER, I. & THEK, G. 2010. The Pellet Handbook. The production and thermal utilisation of biomass pellets. Earthscan Publications, London, 592 pp.
12. OLOSO, A. O. & CLARKE, B. 1993. Some aspects of strength properties of cashew nuts. *Journal of Agricultural Engineering Research* 55(1), 27-43.
13. OUNAS A. - ABOULKAS A. - EL HARFI K. - BACAOUI A. - YAACOUBI A. 2011. Pyrolysis of olive residue and sugar cane bagasse: non-isothermal thermogravimetric kinetic analysis. In *Bioresour Technol*, vol. 102 n. 24. pp. 11234-8. doi: 10.1016/j.biortech.2011.09.010.
14. SAMUELSSON R., LARSSON S. H., THYREL M., LESTANDER, T. A. Moisture content and storage time influence the binding mechanisms in biofuel wood pellets. *Applied Energy*, vol. 99, 2012, pp. 109-115.
15. STAHL M., BERGHEL J. Energy efficient pilot-scale production of wood fuel pellets made from a raw material mix including sawdust and rapeseed cake. *Biomass and Bioenergy*, vol. 35, 2011, pp. 4849-4854.
16. STELTE, W., HOLM, J.K., SANADI, A.R., BARSBERG, S., AHRENFELDT, J. & HENRIKSEN, U.B. 2011. A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources. *Biomass and Bioenergy* 35, 910-918.
17. SPIRCHEZ, C., LUNGULEASA, A. & GRIU (Dobrev), T. 2016. Testing Model for Assessment of Lignocellulose-based Pellets. *Wood Research* 61(2), 331-340.
18. VÁRHEGYI G. - BOBÁLY B. - JAKAB E. - CHEN H. 2011. Thermogravimetric Study of Biomass Pyrolysis Kinetics. A Distributed Activation Energy Model with Prediction Tests. In *Energy Fuels*, vol. 25, pp. 24-32. doi:10.1021/ef101079r.
19. VURSAVUŞ, K. & ÖZGÜVEN, F. 2004. Mechanical behaviour of apricot pit under compression loading. *Journal of food engineering* 65(2), 255-261.
20. ZAFARI, A. & KIANMEHR, M.H. 2012. Effect of Temperature, Pressure and Moisture Content on Durability of Cattle Manure Pellet in Open-end Die Method. *Journal of Agricultural Science* 4(5), 203-208.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

Kontaktná adresa:

doc. RNDr. Ľubomír Kubík, PhD. Katedra fyziky, Ústav elektrotechniky, automatizácie, informatiky a fyziky, Technická fakulta, Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, SR +421 37 641 4711, lubomir.kubik@uniag.sk

ODHAD ZOSTATKOVEJ ŽIVOTNOSTI HYDRAULICKÉHO OLEJA NA ZÁKLADE STUPŇA JEHO DEGRADÁCIE

MARIÁN KUČERA, JAKUB DRMLA

Katedra mechaniky, strojárstva a konštruovania, Technická fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

Abstract: The article presents the results of the evaluation of the information trace in real samples of hydraulic oils used in the hydraulic circuit of woodworking equipment by the application of tribotechnical diagnostics, while the degree of hydraulic oil degradation was estimated. The procedure for taking samples of hydraulic oil is described here, which are subsequently measured to demonstrate the most significant properties of successive oil degradation. In our case, the selected monitoring indicators were kinematic viscosity at 40°C, change of total acid number, degree of oxidative and thermal degradation, cumulative distribution of particles and concentration of abrasive metals (Fe, Cu, Pb and Cr). The tests were carried out on samples of fresh hydraulic oil and on samples of oil taken from the hydraulic system of lines intended for handling wooden logs, which were in operation for 500 h, 1000 h, 1500 h, 2000 h and 2500 h. The correlation analysis confirmed the statistical significance between the level of hydraulic oil pollution and the operating time of the hydraulic equipment.

Keywords: diagnostics, hydraulic oil, degradation, remaining useful oil life prediction.

ÚVOD

Výrobcovia hydraulických komponentov ovládajú takmer všetky odvetvia priemyslu, nevynímajúc odvetvie drevospracujúcich, poľnohospodárskych a lesníckych strojov, priemyselných strojov, dopravníkovej techniky, potravinárskeho, chemického a obalového priemyslu, leteckých a kozmických aplikácií a iných oblastí¹⁾. Hydraulické systémy ponúkajú významné výhody, vrátane veľkého pomeru výkonu k hmotnosti, flexibilného ovládania a rýchlej odozvy²⁾. To sa následne odráža na vyšších hodnotách tlaku, vyšších systémových teplotách a nižších objemoch systémov, ktoré zvyšujú cirkuláciu a tým aj tlak na médium. V dôsledku toho hydraulické oleje čelia čoraz náročnejším mechanickým, tepelným a chemickým podmienkam prevádzky, čo vedie k starnutiu a rýchlemu zhoršovaniu funkčných vlastností olejov, pokiaľ nie sú dostatočne kvalitné a nie sú vhodne použité v komponentoch hydraulických systémoch.

V hydraulických systémoch zaisťuje prenos energie hydraulická kvapalina. Energia sa prenáša na pohon, ovládanie a pohyb³⁾. Vývoj hydraulických kvapalín a ich správne použitie majú obrovský ekonomický význam. Optimálne aplikácie šetria energiu, skracujú intervaly údržby, znižujú opotrebovanie, zvyšujú životnosť zariadení a umožňujú tak efektívne úspory.

Vo všeobecnosti je hydraulická kvapalina tvorená základnou tekutinou, zvyčajne základným olejom a chemickými prísadami – aditívami. Prísady zlepšujú určité vlastnosti, ktoré základná tekutina nemôže poskytnúť, alebo nemôže poskytnúť v požadovanom rozsahu. V súčasnosti sa vo väčšine hydraulických systémov používajú hydraulické oleje triedy kvality ISO HM a HV. Pozostávajú z minerálneho základového oleja a jeho aktívnych aditív a povrchovo aktívnych prísad, ako sú inhibítory oxidácie a korózie, modifikátory trenia, prísady proti opotrebovaniu a detergentno-dispergačné prísady.

Analýza hydraulického oleja v tribosystémoch je stále častejšie používaná v priemyselných a dopravných zariadeniach^{4,5)}. Rozsiahle informácie získané zo skúšok maziva demonštrujú introspektívnu reflexiu o stave maziva i strojného zariadenia⁶⁾. Jedným z najúčinnějších opatrení pre prevenciu a včasnú diagnostiku porúch hydraulického systému je monitorovanie stavu olejovej náplne v pracovnom systéme v reálnom čase^{7,8)}. Degradácia mazív je ovplyvnená najmä prebiehajúcim oxidačným procesom, teplotnou degradáciou a chemickými reakciami, ku ktorým dochádza v skutočných prevádzkových podmienkach strojného zariadenia. Tieto javy sa vyskytujú v kontakte s atmosférickým kyslíkom pri zvýšenej teplote, často v prítomnosti vody, kovových a nekovových nečistôt. Samotný oxidačný proces je sprevádzaný prítomnosťou menej stabilných molekúl, ktoré rýchlo oxidujú a produkujú kyslé produkty⁹⁾.

Znečistenie hydraulických olejov je najbežnejším a najzávažnejším zdrojom porúch a má zásadný vplyv na spoľahlivosť a životnosť komponentov hydraulického zariadenia¹⁰⁾. Hlavnými zdrojmi znečistenia sú častice opotrebovania, kontaminanty vo forme produktov degradačných procesov

prebiehajúcich v mazive, voda z chladiaceho okruhu či ako kondenzát vznikajúci vplyvom výrazných teplotných zmien a prachové častice. Kontaminácia časticami je však považovaná za najničivejšiu tak pre nosič energie ako i stroj¹¹⁾. Pre sledovanie čistoty hydraulických olejov sa používajú najčastejšie metódy založené na klasickej filtrácii, membránovej filtrácii a počítaní častíc (vrátane stanovenia distribúcie veľkosti)^{12, 13)}. Infračervená spektrometria s Fourierovou transformáciou (FT-IR spektrometrie) je veľmi užitočná metóda pri analýze mazív, ktorou je možné identifikovať mazivo, sledovať termicko-oxidačnú degradáciu maziva, sledovať obsah prísad a kontaminantov^{14,15)}. Oxidácia hydraulických kvapalín sa rovnako premieta do zmeny hodnoty čísla kyslosti¹⁶⁾. Voda v mazive spôsobuje emulgáciu, porušenie mazacieho filmu, negatívne pôsobí na prísady a spôsobuje koróziu komponent zariadení. Nováček¹⁷⁾ uvádza, že jej koncentrácia by nemala v hydraulických olejoch prekročiť hodnotu 300 ppm, iní autori¹⁸⁾ dokonca uvádzajú maximálnu prípustnú hodnotu 200 ppm. Obsah vody v oleji sa najčastejšie stanovuje coulometricky či potenciometrickou titráciou podľa Karl Fischera.

V tomto článku bolo na konkrétnom príklade dvoch manipulačno-triediacich vozíkov Baljer & Zembrod experimentálne skúmané správanie použitého hydraulického oleja. Päť vzoriek hydraulického oleja pre diagnostiku aktuálneho stavu oleja a predikciu porúch hydraulického systému bolo analyzovaných na základe vhodne zvolených analytických metód pre každé pracovné zariadenie a porovnané s nepoužitou vzorkou hydraulického oleja. Vytvorená korelačná matica sledovaných parametrov vzoriek hydraulických olejov bola použitá z dôvodu určenia miery závislosti medzi degradáciou, znečistením a opotrebovaním trecích plôch hydraulickou kvapalinou.

MATERIÁL a METÓDY

Na preskúmanie vlastností hydraulického oleja boli vybrané dva vozíky na manipuláciu a triedenie kmeňov (L1 a L2). Technické charakteristiky týchto vozíkov sú uvedené v tabuľke 1. Hydraulický mechanizmus sa skladá z dvoch otvorených a dvoch uzavretých hydraulických okruhov, ktorými cirkuluje tlaková kvapalina. Predmetom skúmania bol hydraulický olej AGIP OSO 46, jeho vlastnosti sú uvedené v tabuľke 2. Vzorky hydraulického oleja s teplotou približne 55 °C boli odoberané z olejovej vane prostredníctvom vákuového vzorkovacieho zariadenia s nasávacou rúrkou Bürkle model MiniSampler PE do vzorkovníc s objemom 250 ml v zmysle požiadaviek stanovených normou STN EN ISO 3170:2005¹⁹⁾. Minimálna doba prevádzky stroja pred každým odberom bola minimálne 2 hodiny.

Tabuľka 1 Základné technické parametre manipulačno-triediaceho vozíka

Parameter	Hodnota alebo údaj
Pohon	elektromotor s upevneným žeriavovým a pojazdovým hydrogenerátorom
Prevádzkové napätie	400 V, 50 Hz
Pohon čerpadla	37/45 kW, výkon 0 až 140 l.min ⁻¹
Rýchlosť pojazdu	0 až 140 m.min ⁻¹
Žeriav	typ OBX IV, neobmedzené otáčanie
Dosah	13,30 m
Nosnosť	2 530 kg pri 13,00 m (bez záťaže)
Max. prevádzkový tlak	30,5 MPa
Objem nádrže pre hydraulickú kvapalinu	270 l
Výmena prevádzkovej kvapaliny	po odpracovaní 2 500 prevádzkových hodín stroja
Doporučené triedy čistoty kvapaliny	18/16/13 podľa ISO 4406:2021 5 podľa NAS 1638
Doporučená triedy viskozity oleja	ISO VG 46

Kvalita hydraulického oleja a nepriamo tiež stav hydraulického systému pracovných zariadení bol sledovaný po dobu 12 mesiacov, čo znamená medzi dvomi výmenami hydraulickej náplne. Namerané hodnoty boli následne porovnané s akceptovateľnými limitmi stanovenými pre hydraulické oleje. Použité normy a špecifikácie testovacích prístrojov pre vybraný sledovaný parameter hydraulického oleja sú zhrnuté v tabuľke 3. Namerané fyzikálno-chemické údaje, ktoré charakterizujú kvalitu oleja, jeho znečistenie buď vodou alebo mechanickými nečistotami a výsledky prvkovej analýzy produktov opotrebovania hydraulického systému dvoch liniek Baljer & Zembrod určených k

manipulácií s drewnou guľatinou boli vyjadrené vo forme matice. Do matice bola zaradená aj doba prevádzky manipulačnej linky a doba prevádzky hydraulického oleja, čiže celkovo bolo sledovaných 13 parametrov pri desiatich odberoch vzoriek hydraulického oleja, čo predstavuje päť vzoriek hydraulického oleja z každej manipulačnej linky s frekvenciou jednotlivých odberov po každých 500 prevádzkových hodinách. Takto vytvorená matica bola podrobená korelačnej analýze. Korelačný koeficient R následne vypovedá o významnosti prípadne nevýznamnosti regresnej závislosti medzi sledovanými parametrami odobraných vzoriek hydraulických olejov. Nadobúda hodnoty z intervalu $(0;1)$ a čím je hodnota bližšie k hodnote 1, tým je závislosť silnejšia. Pre analýzu dát bol použitý tabuľkový procesor Microsoft Excel a program STATISTICA 12.0.

Tabuľka 2 Prehľad fyzikálno-chemických vlastností nového hydraulického oleja

Kinematická viskozita [$\text{mm}^2\cdot\text{s}^{-1}$]		Viskozitný index	Číslo kyslosti [$\text{mmgKOH}\cdot\text{g}^{-1}$]	Obsah vody [ppm]	Hustota pri 15°C [$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$]
40 °C	100 °C				
45	6,8	100	0,592	50,925	0,880
prvky opotrebovania [ppm]		prvky kontaminácie [ppm]		aditívne prvky [ppm]	
Fe	Cu	Si	Al	P	Zn
1	0	2	0,2	342	206
Trieda čistoty podľa ISO 4406:2021		< 21/19/16			

Tabuľka 3 Skúšobná metóda a zariadenie pre analýzu oleja

Parameter	Skúšobná metóda	Model zariadenia
Kinematická viskozita pri 40°C	STN EN ISO 3104 ²⁰⁾	Julabo ME-16G
Číslo kyslosti	ISO 6618 ²¹⁾	SchottTitroline alpha 05 plus
Obsah vody	STN EN ISO 12937 ²²⁾	TitroLine KF trace
Oxidačné produkty	ASTM D7214 ²³⁾	Thermo Nicolet Avatar 330 FT-IR spektrometer
Termické produkty	ASTM D7843 ²⁴⁾	vákuová filtračná jednotka s elektrickým čerpadlom Vacuubrand MZ 1C
Kód čistoty	ISO 4406 ²⁵⁾	čítač častíc LaserNet Fines-C
Častice opotrebovania	ASTM D5185 ²⁶⁾	Optický emisný spektrometer SPECTROIL Q100

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Táto časť príspevku detailnejšie skúma a rozoberá výsledky získané na základe metodických krokov uvedených v predchádzajúcej kapitole. V tabuľke 4 sú uvedené súhrnné výsledky hodnotenia vzoriek hydraulického oleja priebežne odobraných z obidvoch manipulačno-triediacich liniek z pohľadu degradácie hydraulického oleja, v tabuľke 5 z pohľadu znečistenia hydraulického oleja a v tabuľke 6 z pohľadu opotrebovania trecích plôch. Experimentálne analýzy boli vykonané v spolupráci so špecializovanými tribotechnickými laboratóriami InterTribodia, s r. o. v Tlmačoch, ALS Czech Republic, s r.o., a Technickou fakultou Českej zemědělskej univerzity v Prahe. Merania hodnôt kinematickej viskozity, čísla kyslosti a obsahu vody pre každú vzorku hydraulického oleja bolo uskutočnené trikrát a údaje v tabuľke sú uvedené ako priemer $\pm$ štandardná odchýlka.

Za najdôležitejší parameter pracovných kvapalín používaných v hydraulických systémoch je považovaná kinematická viskozita (KV). Každá jej zmena, ktorá prekračuje hornú alebo dolnú medznú hodnotu má negatívny dopad vo forme potenciálnych porúch. Ako uvádza⁷⁾ pre aplikovanú hydraulickú kvapalinu bola ako výstražná limitná hodnota kinematickej viskozity pri teplote 40 °C stanovená zmena $\pm 5\%$ vzhľadom k viskozite nového oleja. Ako je možné vidieť z tabuľky 4, tak ani pri jednom zo sledovaných manipulačno-triediacich vozíkov nebolo pri žiadnom odbere hydraulického oleja zaznamenané prekročenie tejto výstražnej hodnoty. Autori²⁷⁾ uvádzajú zmenu kinematickej viskozity $\pm 10\%$ vzhľadom k viskozite nového hydraulického oleja ako hodnotu kritickú.

Voda prítomná v hydraulickom oleji v každej forme, neprináša nič dobré, nakoľko mení jeho viskozitu, schopnosť prenášať zaťaženie, vytvárať olejový film a spôsobuje koróziu, tvorbu usadenín a kalov. Na stanovenie jej koncentrácie bola použitá titračná metóda, skúška podľa Karl Fischera. V žiadnej z testovaných náplní manipulačných liniek nebola prekročená limitná hodnota.

Tabuľka 4 Výsledky hodnotenia vzoriek hydraulického oleja z pohľadu jeho degradácie

číslo linky	parameter	jednotka	nepoužitý olej	vzorka 500 h	vzorka 1 000 h	vzorka 1 500 h	vzorka 2 000 h	vzorka 2 500 h
L1	KV _{40°}	mm ² .s ⁻¹	45,11 ± 0,13	46,52 ± 0,04	46,43 ± 0,08	46,36 ± 0,09	46,13 ± 0,12	46,04 ± 0,02
L2			45,02 ± 0,11	46,81 ± 0,05	46,95 ± 0,07	46,67 ± 0,04	46,55 ± 0,09	46,63 ± 0,09
L1	ČK	mg KOH.g ⁻¹	0,63 ± 0,01	0,72 ± 0,02	0,78 ± 0,01	0,82 ± 0,04	0,85 ± 0,01	0,84 ± 0,05
L2			0,59 ± 0,02	0,66 ± 0,04	0,68 ± 0,03	0,69 ± 0,02	0,71 ± 0,02	0,79 ± 0,02
L1	° OP	-	mierny	mierny	stredný	vysoký	vysoký	vysoký
L2			mierny	mierny	stredný	stredný	stredný	stredný
L1	° TP	-	mierny	stredný	zvýšený	zvýšený	zvýšený	vysoký
L2			mierny	stredný	stredný	zvýšený	zvýšený	vysoký

Legenda: KV_{40°} - kinematická viskozita pri 40°C; ČK – číslo kyslosti; °OP – stupeň vzniku oxidačných produktov; °TP – stupeň vzniku termických produktov;

Tabuľka 5 Výsledky hodnotenia vzoriek hydraulického oleja z pohľadu jeho znečistenia

číslo linky	parameter	jednotka	nepoužitý olej	vzorka 500 h	vzorka 1 000 h	vzorka 1 500 h	vzorka 2 000 h	vzorka 2 500 h
L1	OV	ppm	52 ± 1,53	63 ± 4,51	57 ± 2,52	63 ± 2,00	71 ± 2,00	78 ± 0,58
L2			49 ± 3,00	58 ± 1,53	59 ± 4,00	59 ± 2,00	73 ± 2,52	85 ± 4,00
L1	KDC	kód	20/18/13	17/16/13	17/16/13	18/16/12	18/17/14	17/16/13
L2			20/18/13	17/16/12	18/17/13	18/16/13	17/16/13	19/17/14

Legenda: OV – obsah vody; KDC – kumulatívna distribúcia častíc;

Tabuľka 6 Výsledky hodnotenia vzoriek hydraulického oleja z pohľadu opotrebovania trecích plôch

číslo linky	parameter	jednotka	nepoužitý olej	vzorka 500 h	vzorka 1 000 h	vzorka 1 500 h	vzorka 2 000 h	vzorka 2 500 h
L1	Fe	ppm	1	12	13	19	22	24
L2			1	14	17	23	35	51
L1	Pb	ppm	0	1	1	2	3	3
L2			1	2	2	3	1	6
L1	Cu	ppm	1	2	3	3	5	5
L2			2	3	8	13	6	21

Legenda: Fe – koncentrácia železa (hraničná hodnota 50 ppm); Cu – koncentrácia medi (hraničná hodnota 25 ppm); Pb – koncentrácia olova (hraničná hodnota 10 ppm);

Ďalším veľmi dôležitým ukazovateľom kvality použitej olejovej náplne je zmena čísla kyslosti. Vypovedá o obsahu voľných kyselín v hydraulickom oleji, ktoré sú výsledkom jeho oxidačných zmien a tak priamo určuje stupeň degradácie oleja. Produkty oxidácie sú okrem karboxylových skupín aj aldehydy a ketóny. Za kritickú hodnotu sa považuje zvýšenie čísla kyslosti o 0,4 mg KOH.g⁻¹ alebo hodnota vyššia ako 50 % vo vzťahu k novému oleju, čo sa pri žiadnom odbere hydraulického oleja pri obidvoch sledovaných linkách nepotvrdilo. Zvýšené hodnoty čísla kyslosti o 0,2 mg KOH.g⁻¹ vo vzťahu k novému oleju boli detekované od 3. odberu v prípade L1 a pri poslednom (piatom) odbere v prípade L2. Tieto výsledky korešpondujú aj s výsledkami FT-IR spektrometrie, ktorou bola hodnotená úroveň oxidačnej a tepelnej degradácie odobratých vzoriek hydraulických olejov²⁸⁾. Prejavom prítomnosti oxidačných produktov je spektrálny pás karboxylovej skupiny –C=O s vrcholom pri 1740 cm⁻¹. Ako sa degradácia zvyšuje, pík absorpcie sa v tejto oblasti zvyší.

Veľmi významným faktorom, ktorý výrazne ovplyvňuje oxidáciu oleja sú nečistoty. Pri 1 % koncentracii kalu v hydraulickom oleji sa rýchlosť oxidácie v porovnaní s olejom bez kalu zdvojnásobuje²⁹⁾. Oxidačný proces a termická degradácia sú podľa Sejkorová et al.¹⁴⁾ príčinou degradácie základového oleja a tvorby mäkkých nečistôt – kalov a lakov (lepkavých živíc), ktoré sa usádzajú na funkčných plochách prvkov pracovných systémov, kde vytvárajú súvislý nerozpustný film. Rýchle stmavnutie hydraulického oleja a zmena jeho prirodzeného pachu bola podnetom k stanoveniu úrovne potenciálu k tvorbe termických degradačných produktov. K termickej degradácii hydraulického oleja dochádza vtedy, keď je dlhodobo tepelne prehrievaný nad teplotu 80 °C³⁰⁾. V niektorých miestach môže teplota oleja vplyvom elektrických výbojov generovaných statickou elektrinou dosahovať hodnoty v rozsahu od 5 000 do 10 000 °C. Treba poznamenať, že iskrové výboje produkujú kovové ióny a vodu³¹⁾. Z výsledkov prezentovaných v tabuľke 4 vyplýva, že v prípade obidvoch manipulačných liniek

bola vysoká úroveň degradačných produktov zaznamenaná pri poslednom piatom odbere vzorky. Olej je vysoko termicky degradovaný a v dôsledku toho sa v ňom vyskytuje kritické množstvo lepiivých usadenín. Najbežnejšou príčinou stmavnutia oleja je popri tepelnom namáhaní oxidácia, ale Soukup³²⁾ uvádza, že ani jeden z týchto ukazovateľov nemusí nevyhnutne znamenať, že je potrebné hydraulický olej vymeniť. Existuje celý rad faktorov, vrátane zloženia, prevádzkových podmienok a nečistôt, z ktorých každý môže spôsobiť výraznú zmenu farvy bez významnej degradácie oleja.

Za väčšinu nedostatkov a porúch hydraulického systému môžu mechanické nečistoty. Prestoje strojov a strojných zariadení so sebou nesú vysoké straty. K meraniu mechanických nečistôt v sledovaných vzorkách hydraulických olejov bol použitý laserový analyzátor a klasifikátor častíc. Prostredníctvom neho bol určovaný kód čistoty podľa normy ISO 4406:2021. Základom ISO 4406 je stanovenie počtu častíc v 1 ml kvapaliny, a to častice o veľkosti väčšej než 4 μm , >6 μm a >14 μm . Pri hodnotení sa vychádzalo z horných výstražných limitov jednotlivých veľkostných tried tejto normy, ktoré sú dané výrobcom manipulačných liniek. Pre zaručenie funkčnosti celého systému je potrebné dodržať triedu čistoty 18/16/13 podľa ISO 4406. Na základe výsledkov uvedených v tabuľke 5 vyplýva, že v linke L1 došlo k miernemu prekročeniu triedy čistoty v 4. odbere hydraulického oleja. Hodnota triedy čistoty pri 5. odbere hydraulického oleja linky L2 prekročila limitnú hodnotu a z hľadiska znečistenia sa táto trieda čistoty hydraulického oleja považuje za nevyhovujúcu.

Vzhľadom k tomu, že zmena triedy čistoty hydraulických olejov bola signálom vzniku častíc, ktoré môžu zhoršovať stav trecích dvojíc manipulačných liniek, pristúpilo sa k spektrálnej analýze oterových častíc. Bola hodnotená koncentrácia Fe, Pb a Cu v oleji. V prípade manipulačnej linky L1 neprekročila koncentrácia oterových kovov limitné hodnoty. V manipulačnej linke L2 bolo pri poslednom (piatom) odbere zaznamenané prekročenie limitnej koncentrácie Fe, ktorého potencionálnym zdrojom môže byť opotrebenie ložísk. Zo sledovaných parametrov najlepšie vystihuje opotrebovanie trecích dvojíc hydraulického mechanizmu nárast koncentrácie Cu a Pb, ktoré sú konštrukčným prvkom púzdiar klzných ložísk. Súčasne bol zistený zvýšený nárast mechanických nečistôt. Pôvod vzniku poškodenia hydraulického zariadenia bol potvrdený identifikáciou laminárnych a únavových častíc, ktoré sú typické pri poškodení ložísk. Koncentrácia Cu sa k limitným hodnotám blížila, to znamená, že je z diagnostického hľadiska potrebné venovať pozornosť hydrogenerátorom. Pri porovnaní výsledkov tejto štúdie s výsledkami iných autorov^{33),34),35)} možno konštatovať, že nárast koncentrácie častíc v závislosti od prevádzkových hodín má podobný trend.

Štatistická významnosť/nevýznamnosť medzi sledovanými parametrami analýzy vzoriek olejov bola vyjadrená korelačnou maticou. Tabuľka 6 predstavuje korelačnú maticu všetkých parametrov, ktorými bola sledovaná závislosť medzi charakteristikami degradácie oleja, znečistením oleja a opotrebovaním trecích plôch a mierou závislosti medzi nimi. Závislosť s R v rozsahu < 0,9–1 > sa považuje za veľmi významnú, s R v rozsahu < 0,8–0,9 > za dosť významnú, a v rozsahu hodnôt < 0,5–0,8 > za stredne významnú závislosť. V prípade, že je hodnota R < 0,5 je táto závislosť považovaná za bezvýznamnú³⁶⁾.

Tabuľka 6 Výberová korelačná matica sledovaných parametrov

parameter	DPL	DPO	KV _{40°}	ČK	°OP	°TP	OV	> 4	> 6	>14	Cu	Pb	Fe
								KDC					
DPL	1	0,3	0,6	-0,5	-0,2	0,1	0,2	0,4	0,3	0,1	0,6	0,8	0,7
DPO	0,3	1	-0,6	0,6	0,7	0,9	0,9	0,4	0,3	0,5	0,6	0,2	0,4
KV _{40°}	0,6	-0,6	1	-0,9	-0,7	-0,6	-0,5	0,1	0,1	-0,2	0,1	0,5	0,3
ČK	-0,5	0,6	-0,9	1	0,7	0,7	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	-0,3	-0,1
°OP	-0,2	0,7	0,7	0,7	1	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,1	-0,1	0,0
°TP	0,1	0,9	-0,6	0,7	0,6	1	0,8	0,3	0,1	0,5	0,6	0,1	0,4
OV	0,2	0,9	-0,5	0,5	0,4	0,8	1	0,4	0,4	0,6	0,6	0,2	0,4
> 4	KDC	0,4	0,4	0,1	0,2	0,3	0,4	1	0,7	0,5	0,8	0,8	0,8
> 6		0,3	0,3	0,1	0,2	0,2	0,4	0,7	1	0,7	0,4	0,6	0,5
>14		0,2	0,6	-0,2	0,3	0,2	0,5	0,5	0,7	1	0,5	0,3	0,5
Cu	0,6	0,6	0,1	0,1	0,1	0,6	0,6	0,8	0,4	0,5	1	0,8	0,9
Pb	0,8	0,2	0,5	-0,2	-0,1	0,1	0,2	0,8	0,6	0,3	0,8	1	0,9
Fe	0,7	0,4	0,3	-0,1	0,0	0,4	0,4	0,8	0,5	0,5	0,9	0,9	1

Poznámka: – štatistická významnosť na hladine $\alpha < 0,05$

Korelačnou analýzou bola zistená štatistická nevýznamnosť medzi parametrami, ktoré charakterizujú degradáciu oleja a parametrami, ktoré charakterizujú stav hydraulického systému. Naopak na hladine významnosti $\alpha < 0,05$ významne medzi sebou korelujú parametre charakterizujúce fyzikálno-chemické degradačné procesy, ktoré sa odohrávajú v energetickom nosiči, napr. číslo kyslosti veľmi významne koreluje s kinematickou viskozitou oleja, a stredne významná je korelácia s parametrami stupeň oxidačných a tepelných produktov. V korelačnej matici je možné tiež vysledovať vzájomnú súvislosť medzi parametrami, ktoré charakterizujú stav hydraulického systému (znečistenie oleja a opotrebovanie trecích dvojíc), napr. Cu významne koreluje s abrazívnymi kovmi (Fe, Pb) a počtom častíc, ktoré majú veľkosť väčšiu ako 4 μm ; stredne významná závislosť bola spozorovaná aj s parametrom obsah vody.

ZÁVER

Z prezentovaného výskumu vyplýva význam sledovania hydraulických olejov používaných v drevospracujúcich výrobných strojoch a zariadeniach, dôležitosť realizácie komplexných rozborov a správna interpretácia nameraných výsledkov ako celku. Korelačnou analýzou bola zistená štatistická nevýznamnosť medzi parametrami, ktoré charakterizujú degradáciu oleja a parametrami, ktoré charakterizujú opotrebovanie hydraulického systému. Na druhej strane bola potvrdená významná korelace medzi dobou prevádzky manipulačného zariadenia, znečistením oleja (počtom častíc, ktoré majú veľkosť $> 4 \mu\text{m}$) a prvkami opotrebovania (Fe, Pb, Cu). Z uvedeného vyplýva, že sledovanie trendov týchto parametrov možno využiť ako diagnostický signál predikcie problémov s ložiskami, púzdrami klzných ložísk či komponentmi hydrogenerátora. Korelačnou analýzou fyzikálno-chemických parametrov oleja bola potvrdená stredne významná závislosť ($R = 0,7$) medzi číslom kyslosti a produktami termicko-oxidačnej degradácie hydraulického oleja. Veľmi významná nepriama závislosť ($R = -0,9$) bola potvrdená medzi číslom kyslosti a kinematickou viskozitou pri 40 °C. Na základe toho môžeme usudzovať, že dochádza k procesu krakovania uhl'ovodíkových molekúl hydraulického oleja, ktorého prejavom je zníženie kinematickej viskozity.

Vzájomným dopĺňaním výsledkov všetkých použitých metód sa podarilo zistiť skutočný režim opotrebovania tribologických uzlov strojového zariadenia. Jednoznačne sa určilo, že v jednej zo sledovaných manipulačných liniek dochádzalo k nadmernému režimu opotrebovania ložísk z dôvodu kritickej úrovne lepivých usadenín nachádzajúcich sa v hydraulickom oleji. Realizácia experimentu tak umožnila včasne odhaliť rozvíjajúci sa nežiadúci proces v tribologickom uzle a uskutočniť nápravné opatrenia skôr, ako nadobudol havarijný charakter.

Referencie

- ¹ASKARI, B., CARLI, R., CAVONE, G., DOTOLI, M. Data-Driven Fault Diagnosis in a Complex Hydraulic System based on Early Classification. *IFAC-PapersOnLine*, 2022, 55 (40), 187-192. ISSN 2405-8963
- ²JEON, H.G., KIM, J.K., NA, S.J., KIM, M.S., HONG, S.H. Application of Condition Monitoring for Hydraulic Oil Using Tuning Fork Sensor: A Study Case on Hydraulic System of Earth Moving Machinery. *Materials*, 2022, 15, 7657. ISSN 1996-1944.
- ³KOPIĽÁKOVÁ, B., TURZA, J., HUJO, Ľ., KOSIBA, J. Evaluation of Hydraulic Resistance in Various Liquids and Temperature. *Tribology in Industry*, 2017, 39(1), 129-135. ISSN 0354-8996.
- ⁴TKAČ, Z., ČORNAK, Š., KOSIBA, J., JANOUŠKOVÁ, R., MICHALIDES, M., VOZAROVÁ, V., CSILLAG, J. Investigation of degradation of ecological hydraulic fluid. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Part C – Journal of Mechanical Engineering Science*, 2021, 235 (24), 7925–7933. ISSN 0954-4062.
- ⁵KRILEK, J., KOVÁČ, J., KUVIK, T., DOBROTOVÁ, L. Analysis of the hydraulic oil to drive band sawmill. *Scientific Bulletin of UNFU*, 2019, 29(10), 89–92. ISSN 1994-7836.
- ⁶SIDDIQUI, M. H. , PAL, S. K., DEWANGAN, N., CHATTOPADHYAYA, S., SHARMA, S., NEKOONAM, S., ISSAKHOV, A. Sludge formation analysis in hydraulic oil of load haul dumper 811MKV machine running at elevated temperatures for bioenergy applications. *International Journal of Chemical Engineering*, 2021, vol.2021,14 s. ISSN 1687-806X.
- ⁷KARANOVIC, V. V., JOCANOVIC, M. T., WAKIRU, J. M., OROŠNJAK, M. D. Benefits of lubricant oil analysis for maintenance decision support: A case study. In: *The 10th International*

- Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering*, Novi Sad, Serbia, 6–8 June 2018, vol. 393. DOI 10.1088/1757-899X/393/1/012013.
8. ⁸KOPČANOVÁ, S., SEJKOROVÁ, M., KUČERA, M., HNILICOVÁ, M. Wear of hydraulic system components assessment based on the analysis of hydraulic oil degradation degree. *Przemysł Chemiczny*, 2020, 99(9), pp. 1000–1004. ISSN 0033-2496.
 9. ⁹ZAJAC, G., GOLEBIEWSKI, W., SZCZEPANIK, M., WOLAK, A., SEJKOROVÁ, M. Analysis of Changes in Soot Content in Engine Oils under Operating Conditions. *Lubricants*, 2023, 11, 89. ISSN 2075-4442.
 10. ¹⁰MAJDAN, R., ABRAHAM, R., UHRINOVÁ, D., NOSIAN, J. Contamination of transmission and hydraulic oils in agricultural tractors and proposal of by-pass filtration system. *Agronomy Research*, 2019, 17(S1), 1107–1122. ISSN 1406-894X.
 11. ¹¹SINGH, M., LATHKAR, G.S., BASU, S.K. Failure Prevention of Hydraulic System Based on Oil Contamination. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, 2012, 269–274. ISSN 2250-0545.
 12. ¹²KARANOVIC, V. V, JOCANOVIC, M. T., BALOŠ, S., KNEŽEVIĆ, D., MAČUŽIĆ, I. Impact of Contaminated Fluid on the Working Performances of Hydraulic Directional Control Valve. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 2019, 65(3), 139–147. ISSN 0039-2480.
 13. ¹³PHILLIPS, W. D., STANIEWSKI, J. W. G. The origin, measurement and control of fine particles in non-aqueous hydraulic fluids and their effect on fluid and system performance. *Lubrication Science*, 2016, 28, 43–64. ISSN 1557-6833
 14. ¹⁴SEJKOROVÁ, M., HURTOVÁ, I., JILEK, P., NOVÁK, M., VOLTR, O. Study of the Effect of Physicochemical Degradation and Contamination of Motor Oils on Their Lubricity. *Coatings*, 2021, 11, 60.
 15. ¹⁵HÖNIG, V., PROCHÁZKA, P., OBERGRUBER, M., KUČEROVÁ, V., MEJSTŘÍK, P., MACKŮ, J., BOUČEK, J. Determination of tractor engine oil change interval based on material properties. *Materials*, 2020, vol. 13(23). ISSN 1996-1944
 16. ¹⁶TIČ, V., LOVREC, D. On-Line Condition Monitoring and Evaluation of Remaining Useful Lifetimes for Mineral Hydraulic and Turbine Oils. Maribor: University of Maribor Press, 2017, 175 p. ISBN 978-961-286-130-8
 17. ¹⁷NOVÁČEK, V. Několik příkladů z proaktivní údržby hydraulických systémů. *TriboTechnika*, 2011, vol. 4 (3), 43–45. ISSN 1338-0524.
 18. ¹⁸MYSHKIN N.K., MARKOVA, L.V. On-line condition monitoring in industrial lubrication and tribology. Springer; 1st ed., 2018, 248 p. ISBN 978-3319611334.
 19. ¹⁹STN EN ISO 3170:2005. Ropné kvapaliny. Ručný odber vzoriek. 60 s.
 20. ²⁰STN EN ISO 3104:2020. Ropné výrobky. Priehľadné a nepriehľadné kvapaliny. Stanovenie kinematickej viskozity a výpočet dynamickej viskozity, 24 p.
 21. ²¹ISO 6618: 1997. Petroleum Products and Lubricants -Determination of Acid or Base Number - Colour-Indicator Titration Method, 16 p.
 22. ²²STN EN ISO 12937: 2003. Ropné výrobky. Určovanie vody. Karl Fischerova coulometrická titračná metóda, 20 p.
 23. ²³ASTM D7214:2020. Standard Test Method for Determination of the Oxidation of Used Lubricants by FT-IR Using Peak Area Increase Calculation, 7 p.
 24. ²⁴ASTM D7843:2018. Standard Test Method for Measurement of Lubricant Generated Insoluble Color Bodies in In-Service Turbine Oils using Membrane Patch Colorimetry, 4 p.
 25. ²⁵ISO 4406:2021. Hydraulic fluid power — Fluids — Method for coding the level of contamination by solid particles, 14 p.
 26. ²⁶ASTM D5185:2018. Standard Test Method for Multielement Determination of Used and Unused Lubricating Oils and Base Oils by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-AES), 9 p.
 27. ²⁷BACZEWSKI, K. – SZCZAWIŃSKI, P. Investigation of the process of ageing of hydraulic oil during its use. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*, 2016, vol. 73(3), pp. 5–18. ISSN 2084-476X.
 28. ²⁸HNILICOVA, M., TURIS, J., HNILICA, R. Application of multidimensional statistical analysis in tribotechnical diagnostics of hydraulic fluids in woodworking equipment. *Materials*, 2021, vol. 14(16). ISSN 1996-1944.

29. ²⁹LIVINGSTONE, G., CAVANAUGH, G. The real reasons why hydraulic fluid fail and strategies to stop problems before they start. *Tribology and Lubrication Technology*, 2015, pp. 44–51. ISSN 1545-858X.
30. ³⁰STOPKA, J. Degradácia mazacích olejov. *Strojárstvo*, 2011, č.3, 64-65. ISSN 1335 – 2938.
31. ³¹STOPKA, J. Tribologické aspekty mazacích olejov. *Tribologické listy*, Žilina: TechPark - vydavateľ časopisu TriboTechnika, 2017, 111-131. ISBN 978-80-972716-0-2.
32. ³²SOUKUP, M. Technická tribodiagnostika v praxi. *Strojárstvo*, 2004, č. 12, s. 25. ISSN 1335-2938.
33. ³³GOŁĘBIEWSKI, W., ZAJĄC, G., ŚARKAN, B. Evaluation of the impact of tractor field works on changes in selected elements of engine oils. *Agricultural Engineering*, 2022, vol.26(1), 1-12. ISSN 2083-1587.
34. ³⁴HUJO, Ł., NOSIAN, J., ZASTEMPOWSKI, M., KOSIBA, J., KASZKOWIAK, J., MICHALIDES, M. Laboratory tests of the hydraulic pump operating load with monitoring of changes in the physical properties. *Measurement and Control*, 2021, vol. 54(3–4), 243–251. ISSN 0020-2940.
35. ³⁵NG, F., HARDING, J. A., GLASS, J. Improving hydraulic excavator performance through in line hydraulic oil contamination monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2017, vol. 83, 176–193. ISSN 0888-3270.
36. ³⁶HURTOVÁ, I., SEJKOROVÁ, M. Analysis of engine oils using modern methods of tribotechnical diagnostics. *Perner' s Contacts*, 2016, vol. 11(4), 47-53. ISSN 1801-674X.

Pod'akovanie: Táto práca vznikla s podporou projektu KEGA 007TU Z-4/2023 Inovácia a edukačná podpora predmetov v oblasti technickej diagnostiky poľnohospodárskej a lesníckej techniky s orientáciou na prax.

Contact address:

doc. Ing. Marián Kučera, PhD.
Technická univerzita vo Zvolene, Fakulta techniky, Študentská 26
kucera@tuzvo.sk

VÝPOČET TECHNICKÝCH PARAMETROV PRI PELETOVANÍ A NÁVRH PELETOVACIEHO LISU

TOMÁŠ KUVÍK

Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Technická fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

Abstract: The article deals with the processing of biomass as a secondary raw material for the production of solid biofuels. When processing biomass, possibilities are being sought for how to efficiently use and process biomass. One such possibility is the production of pellets, where the material is compacted and thus the volume is reduced. The main parameters that must be taken into account when pelletizing biomass are the durability of the pellets and the operating costs of the pellet press. The article describes the calculation of the main parameters during pelleting as well as the construction design implemented on the basis of the calculations.

Keywords: Pelletizing, pellet production, pellet press

ÚVOD

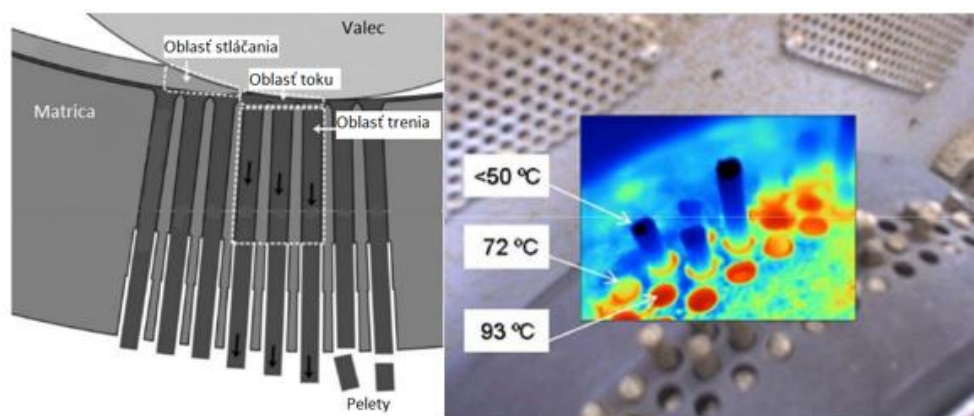
Technológie zhutňovania sú známe už viac ako 130 rokov. Spoločným znakom všetkých technológií je lisovanie materiálu pri vysokom tlaku. (KRIŽAN, J., 2014) Táto technológia sa využíva v poľnohospodárstve, chemickom priemysle, farmaceutickom priemysle a v odpadovom hospodárstve. V poľnohospodárstve sa využíva na zhutňovanie a granulovanie krmných zmesí a hnojív, vo farmaceutickom priemysle sa využívajú na kompaktovanie rôznych liečiv do požadovaných tvarov tabliet a v odpadovom hospodárstve sa využíva hlavne na zmenšenie objemu odpadu. V súčasnosti medzi najpoužívateľnejšie spôsoby zhutňovania patria : peletovanie, briketovanie, kompaktovanie. Spoločným znakom peletovania a briketovania je lisovanie biomasy pod vysokým tlakom (až 120 MPa) a vysokej teplote (90-120 °C), čím sa pri briketovaní dosahuje vysoká hustota výliskov ($> 1,4 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$). Pri lisovaní biomasy sa pôsobením tlaku a teploty uvoľňuje lignín, ktorý pri dostatočnej časovej výdrži stuhne a pôsobí ako pojivo. (M. PUIG-ARNAVAT 2016, C. SERRANO 2011)

Peletovanie je v súčasnosti rýchlo vyvíjajúca sa technológia spracovania rôznych surovín, ktoré je možné ďalej využívať (napr. energeticky zhodnocovať, rôzne využitie v poľnohospodárstve...) Výsledným produktom sú pelety. Sú to vysoko komprimované výlisky výhradne valcovitého tvaru s priemerom maximálne 20 mm. Veľkou výhodou peliet je, že majú niektoré vlastnosti voľne sypaných materiálov, čo umožňuje automatizáciu procesu spaľovania. (HOLUBCIK M., 2012) Nevýhodou peliet je ich nižšia merná hmotnosť a vysoký pomer povrchu a objemu. Tento pomer má vplyv na dĺžku horenia (10 – 20 minút) a súčasne nepriaznivo vplyva na životnosť otvorov lisovacích matric. Nevýhodou peletovania sú aj vysoké vstupné investície na strojné vybavenie a vyššie investície spojené s nákupom spaľovacieho zariadenia (kotol na spaľovanie peliet). Pelletizácia prebieha v peletových mlynoch. V tomto procese sa vykonáva zhutňovanie samotného surového dreva. Drevo sa tlačí cez otvory v matici, čo zvyšuje teplotu v zariadení na 90-110 °C. Pri tejto teplote sa začne uvoľňovať spojivo obsiahnuté v dreve (lignín), ktoré drží pelety v náležitej forme. (W. STELTE, 2011 C. SERRANO, 2011)

Najdôležitejšou zložkou peletovacieho mlyna je matrica. Matrica môže byť plochá alebo valcová v závislosti od stroja. V zásade ide o plochu s otvormi cez ktoré materiál je tlačенý a dostáva formu peliet. Tvar týchto otvorov je daný vlastnosťami východiskového materiálu (hustota, veľkostné frakcie atď.), ich veľkosť určuje priemer peliet. Priemer peliet je v praxi od 6 mm do 10 mm. (HOLUBCIK M., 2012)

Typy peliet sa môžu líšiť v závislosti od použitého dreva (ihličnatého, listnatého) alebo množstva použitej kôry, ktoré možno niekedy pozorovať podľa ich farby. Tmavé pelety sa zvyčajne považujú za menej kvalitné, pretože sú často vyrobené z materiálu s množstvom kôry. Kôra dreva je v kontakte s okolitým prostredím a jej štruktúra je veľmi porézna, takže prirodzene zachytáva z okolia nielen chemikálie, ale aj častice pevných materiálov. Na základe toho možno predpokladať, že tmavé pelety obsahujú viac nežiaducich zložiek, ktoré zhoršujú ich kvalitu (zvýšenie množstva popola). Ak sú pelety ako celok tmavé bez výrazných tmavých škvŕn, nemusia byť vyrobené z kôry. Keď je výrobný proces sprevádzaný vyššími teplotami a pomalším lisovacím postupom, pelety sú zvyčajne tmavšie.

Vlhkosť je parameter, ktorý ovplyvňuje zvädzanie surovín pre pelety a tiež ovplyvňuje výhrevnosť, ktorá je kľúčovým parametrom ako pelety produktu. Obsah vlhkosti v peletách je nižší, tým viac energie môže byť použiteľ horákmi na pelety. Proces granulovania však potrebuje určitú vlhkosť. Na určenie drevených peliet sa používa relatívna vlhkosť ako pri spracovaní dreva. Obsah vody v peletách sa preto pohybuje zo 6 na 12%. Hustota drevených peliet je zvyčajne v rozmedzí 1000 - 1400 kg.m⁻³. Pelety, ktoré sú hustejšie, sú silnejšie a vydržia počas prepravy horšie ošetrovanie. Objemová hustota predstavuje množstvo sypkého materiálu umiestneného v oblasti 1 m⁻³. Objemová hmotnosť drevených peliet je približne 650 kg.m⁻³. Výhrevnosť drevených peliet je jednou z najdôležitejších vlastností peliet, ktoré zaujímajú konečného spotrebiteľa. Určuje sa, koľko energie skutočne obsahujú. Výhrevnosť peliet je vo všeobecnosti v rozsahu od 16 do 19 MJ.kg⁻¹ v závislosti od výrobných surovín. To znamená, že výhrevnosť peliet je porovnateľná s výhrevnosťou hnedého uhlia. Relatívna vlhkosť obsiahnutá v peletách má vplyv aj na ich výhrevnosť. (KRIŽAN, J., 2014)

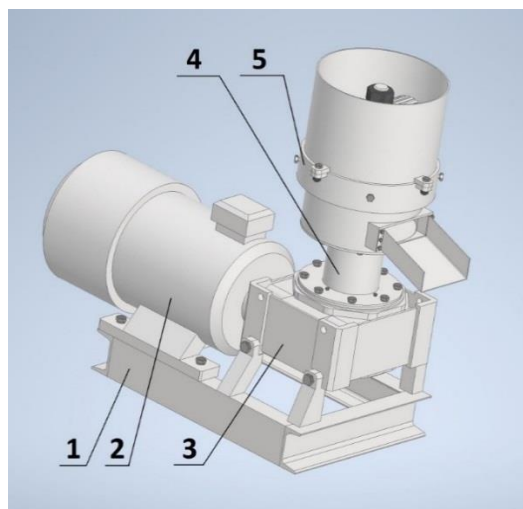


Obrázok 1 Procesy v matici počas lisovania, teplotné pomery pri peletovaní

MATERIÁL a METÓDY

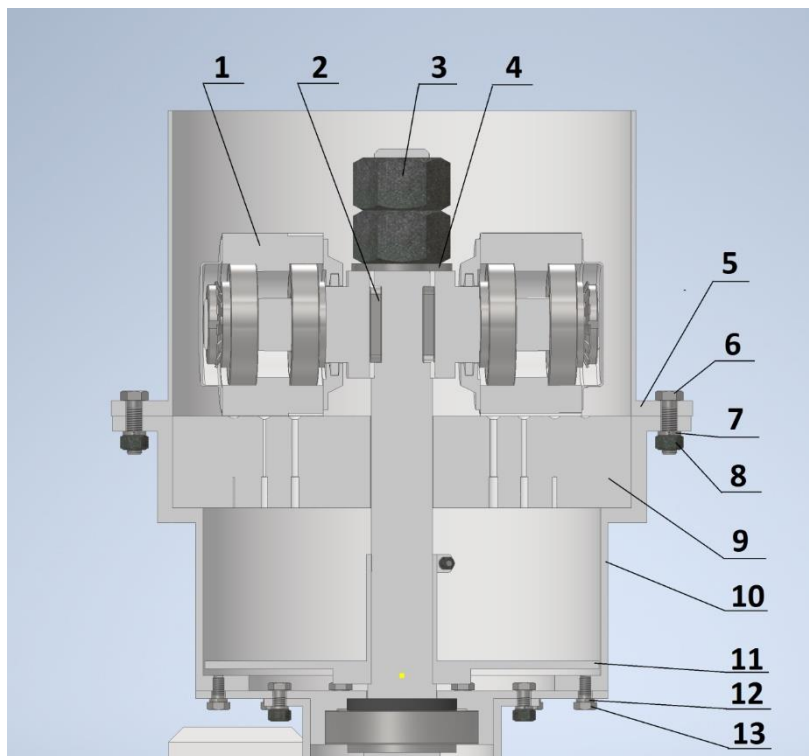
Celková konštrukcia peletovacieho lisu (obr.2) sa skladá z piatich častí. Na stojane lisu (1), je uchytená prevodovka (3) s elektromotorom(2), na prevodovke je pomocou skrutkových spojov uchytený ložiskový domec (4). Na ložiskovom domci je umiestnený lisovací stroj (5), ktorý je o ložiskový domec pripevnený skrutkami.

Konštrukcia lisovacieho priestoru (obr. 3) pozostáva zo strednej časti lisu (10), taniera z odlamovačom (11), matrice (9), zostavy hriadeľa valcov (1), násypu (5) a žľabu (obr.). Stredná časť je spojená ložiskovým domcom pomocou skrutiek ISO 4017 M8 x 16 (13) a podložiek STN 02 1740 Ø 8 (12).



Obrázok 2 Model peletovacieho lisu.

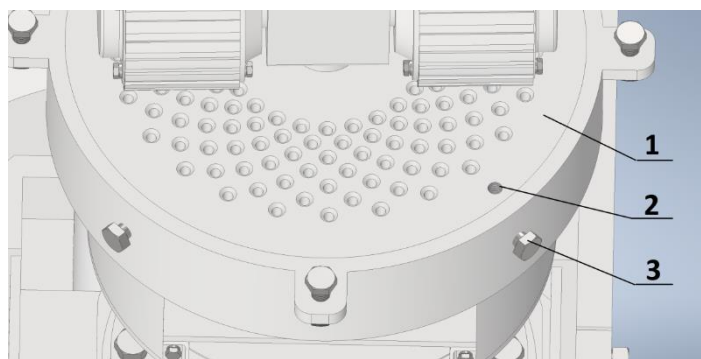
1 - stojan lisu, 2 - motor, 3 - prevodovka, 4 - ložiskový domec, 5 - lisovací stroj.



Obrázok 3 Rez lisovacím priestorom.

1 - zostava hriadeľa valcov, 2 - spojovacie pero, 3 - matica, 4 - podložka, 5 - násyp, 6 - skrutka, 7 - podložka, 8 - matica, 9 - matrica, 10 - stredná časť lisu, 11 - tanier, 12 - podložka, 13 - skrutka.

V osadení strednej časti stroja je umiestnená matrica (1) (obr.4), ktorá je upevnená skrutkami ISO 4017 M10 x 25 (3). Matrica obsahuje 175 dier, ktoré sú rozmiestnené na siedmich kružniciach. Na hornej časti sú dve diery zo závitom (2), ktoré slúžia na montáž matrice do stroja. Na valcovej časti matrice sú štyri diery, určené na upevnenie matrice pomocou skrutiek.



Obrázok 4 Matrica s upevňovacími skrutkami.

1 - matrica, 2 - montážna diera zo závitom, 3 - skrutka.

V hornej časti stroja (obr.) je umiestnená zostava hriadeľa valcov, ktorá je k hlavnému hriadeľu pripevnená pomocou pera STN 02 2562A 10x8x50 (2), podložky ISO 7089 Ø 36 (4) a matic ISO 8674 M36 x 3 (3). Násyp je k strednej časti pripevnený skrutkami ISO 4017 M10 x 35 (6), maticami ISO 4034 M10 (8) a podložkami ISO 4017 M10 x 35 (7).

Rozmery peliet

(1)

$$\begin{aligned} L_{pel} &\leq 5 \times D_{pel} \\ L_{pel} &\leq 5 \times 6 \\ L_{pel} &\leq 30\text{mm} \end{aligned}$$

Kde:

D_{pel} - priemer peliet [mm]

L_{pel} - dĺžka peliet [mm]

Na výpočet objemu peliet sa modeluje ako valec

$$\begin{aligned} V_{pel} &= \pi \cdot r_{pel}^2 \cdot L_{pel} \\ V_{pel} &= \pi \cdot 0,003^2 \cdot 0,03 \\ V_{pel} &= 8,48 \cdot 10^{-7} m^3 \end{aligned} \quad (2)$$

Výpočet teoretického produkčného výkonu

$h_0 = 20\text{mm}$

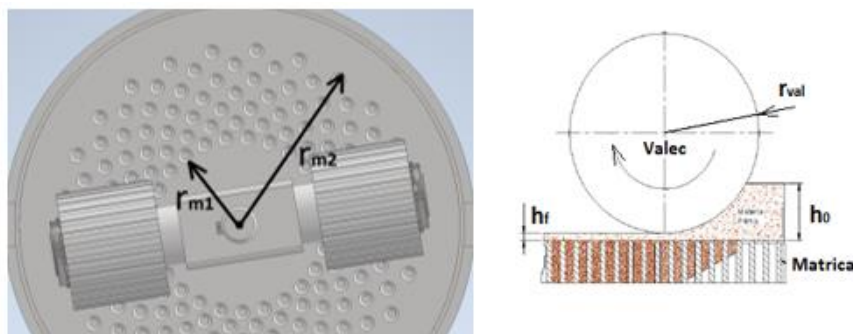
$h_f = 0,3\text{mm}$

$r_{m1} = 55\text{mm}$

$r_{m2} = 125\text{mm}$

$n = 1 \text{ ot.s}^{-1}$

$\rho_{pil} = 160 \text{ kgm}^{-3}$



Obrázok 5 Polomery pracovného priestoru, Výšky biomasy pri lisovaní

Výpočet spracovaného objemu na jednu otáčku

$$\begin{aligned} V_{ot} &= (\pi r_{m2}^2 - \pi r_{m1}^2) \cdot (h_0 - h_f) \\ V_{ot} &= (\pi 125^2 - \pi 55^2) \cdot (20 - 0,3) \\ V_{ot} &= 779806,13 \text{ mm}^3 = 0,00078 \text{ m}^3 \end{aligned} \quad (3)$$

Výpočet pr. výkonu na hodinu

$$\begin{aligned} P_p &= V_{ot} \cdot 3600 \cdot \rho_{pil} \cdot n_{val} \\ P_p &= 0,00078 \cdot 3600 \cdot 160 \cdot 2 \\ P_p &= 898,6 \text{ kg h}^{-1} \end{aligned} \quad (4)$$

r_{m1} - vnútorný polomer pracovného priestoru [mm]

r_{m2} - vonkajší polomer pracovného priestoru [mm]

n_{val} - počet valcov [s^{-1}]

ρ_{pil} - hustota pilin [kgm^{-3}]

h_f - Konečná výška biomasy po prechode valcami [mm]

h_0 - Počiatočná výška biomasy pred prechodom valcami [mm]

Lisovacia sila

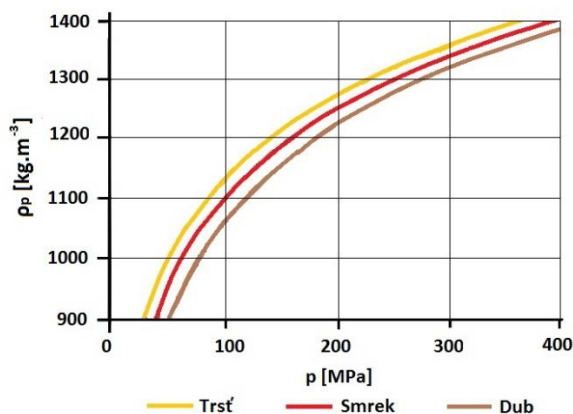
Sila, ktorú valec vyvíja na otvory v matrici. Výpočet je robený pre hustotu peliet

$\rho_{pel} = 1200 \text{ kgm}^{-3}$.

$p_{lis} = 150 \text{ Mpa}$

$n_d = 4$

$r_d = 3 \text{ mm}$



Obrázok 6 Závislosť hustoty peliet od lisovacieho tlaku.

(5)

$$F_{lis} = p_{lis} \cdot n_d \cdot S_{diery}$$

$$F_{lis} = 150 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 3^2$$

$$F_{lis} = 16946,6 \text{ N}$$

F_{lis} - Lisovacia sila [N]
 p_{lis} - Tlak lisovania [MPa]
 S_{diery} - Plocha diery [mm²]
 n_d - počet dier pod valcom [-]

Dĺžka laminácie

Prítlakové sily budú pôsobiť na polovicu dĺžky kontaktu, pretože tu je maximálny tlakový bod.

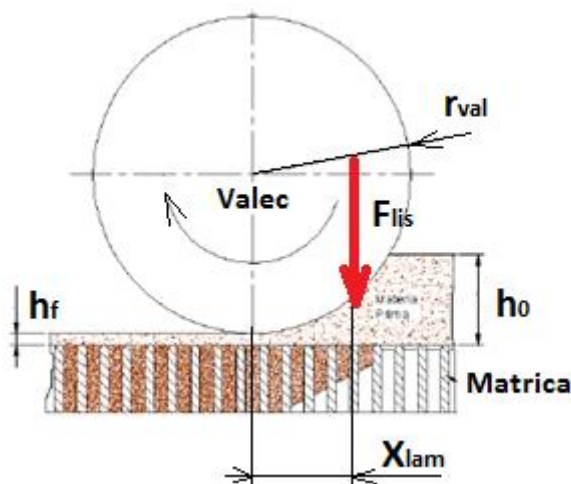
$r_{val} = 0,06 \text{ m}$

(6)

$$X_{lam} \approx \sqrt{r_{val} \cdot (h_0 - h_f)}$$

$$X_{lam} \approx \sqrt{0,06 \cdot (0,02 - 0,0003)}$$

$$X_{lam} \approx 0,034 \text{ m}$$



Obrázok 7 Dĺžka laminácie

X_{lam} - vzdialenosť teoretického centra pôsobiska lisovacej sily od osi valca [m]

r_{val} - polomer lisovacieho valca [m]

Tangenciálna rýchlosť valca

Použitie rovnice tangenciálnej rýchlosti kruhového pohybu

$r' - 84,5 \text{ mm}$

$n_{\text{mot}} - 970 \text{ min}^{-1}$

$i - 15$

$$n_h = \frac{n_{\text{mot}}}{i} = \frac{970}{15} = 64,7 \text{ min}^{-1} = \mathbf{1,08 \text{ s}^{-1}} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} v_{\text{val}} &= \omega_{\text{hr}} \cdot r' \\ v_{\text{val}} &= 2\pi \cdot n_h \cdot 0,0845 \\ v_{\text{val}} &= 2\pi \cdot 1,08 \cdot 0,0845 \\ v_{\text{val}} &= \mathbf{0,57 \text{ ms}^{-1}} \end{aligned} \quad (8)$$

Kde:

i - prevodový pomer prevodovky [-]

n_{mot} - otáčky motora [min^{-1}]

n_h - otáčky hlavného hriadeľa [s^{-1}]

ω_{hr} - uhlová rýchlosť hlavného hriadeľa [rad. s^{-1}]

v_{val} - tangenciálna rýchlosť valca [ms^{-1}]

r' - vzdialenosť od stredu hlavného hriadeľa k stredu valca [m]

Uhlová rýchlosť valcovania

Je to rýchlosť, s akou sa valce otáčajú okolo peletovacej matrice.

$r_{\text{val}} = 0,06 \text{ m}$

$$\begin{aligned} \omega_{\text{val}} &= \frac{v_{\text{val}}}{r_{\text{val}}} \\ \omega_{\text{val}} &= \frac{0,57}{0,06} \\ \omega_{\text{val}} &= \mathbf{9,5 \text{ s}^{-1}} \end{aligned} \quad (9)$$

Kde:

v_{val} - tangenciálna rýchlosť valca [m.s^{-1}]

r_{val} - polomer valca [m]

Výkon valcov vyvíjajúcich tlak

Na výpočet výkonu sa použije táto rovnica, ak sa odhaduje, že sila vyvíja tlak na stred kontaktného oblúka.

$$\begin{aligned} P_{\text{ot}} &= X_{\text{lam}} \cdot F_{\text{lis}} \cdot \omega_{\text{val}} \cdot n_{\text{val}} \\ P_{\text{ot}} &= 0,034 \cdot 16946,6 \cdot 9,5 \cdot 2 \\ P_{\text{ot}} &= \mathbf{10959,13 \text{ W} = 10,96 \text{ kW}} \end{aligned} \quad (10)$$

n_{val} - počet lisovacích valcov [-]

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Drevná biomasa sa zvyčajne peletizuje v maticiach s L/D v rozmedzí z 3–5. (G. THEK, 2012) V práci Bergströma a kol. bola borovica lesná peletovaná pomocou peletovacieho mlyna pre priemyselné prevádzky s produkciou 300 kg/h, kde L/D bolo 6,875 (D = 8 mm). (BERGSTRÖM, S. 2008) Pri peletovaní mäkkého dreva v porovnaní s tvrdým drevom je trecí odpor vo všeobecnosti nižší, čo súvisí s nižšou hustotou suroviny a vyšším obsahom lignínu z mäkkého dreva. (G. THEK, 2012, J.K. HOLM 2006) Monederi a kol. na peletovanie topoľa a borovice použili malý peletovací lis s výkonom 100 kg/h. Používali 6 mm matrice s dĺžkami lisovacích kanálov 17 mm, 19 mm a 21 mm. Pozorovali, že trvanlivosť topoľových peliet sa zlepšila pri prechode zo 17 mm kanála na 19 mm kanál, ale spotreba energie mlyna sa zvýšila, čo spôsobilo zvýšenie teploty formy. Keď sa lisovací kanál zväčšil na 21 mm,

vytvorený odpor bol príliš vysoký na dosiahnutie stabilnej výroby topoľových peliet, čo predstavovalo riziko zablokovania peletovacieho mlyna. (E. MONEDERO, 2015)

Cieľom príspevku bolo priblížiť proces peletovania a konštrukciu peletovacích lisov. Na základe výpočtov bol navrhnutý peletovací lis a vytvorený 3D model. 3D model lisu na pelety umožní ďalšie analýzy a simulácie počas procesu peletovania.

ZÁVER

Dnes sú dostupné rôzne typy lisov na pelety s rôznym účelom, výkonom a konštrukciou. Článok obsahuje popis procesu zhuťňovania a peletovania, popis vlastností drevených peliet a princíp činnosti peletovacieho lisu. 3D model lisu na pelety nám v budúcnosti poskytne ďalšie poznatky, ktoré je možné porovnať s reálnymi nameranými údajmi, čo pomôže pri optimalizácii procesu výroby peliet.

Referencie

1. KRIŽAN, J., 2014. Proces lisovania dreveného odpadu. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave. ISBN 978-80-227-4251-1
2. M. PUIG-ARNAVAT, L. SHANG, Z. SÁROSSY, J. AHRENFELDT, U.B. HENRIKSEN. 2016. From a single pellet press to a bench scale pellet mill - Pelletizing six different biomass feedstocks Fuel Process. Technol., 142 pp. 27-33, [10.1016/j.fuproc.2015.09.022](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.09.022)
3. C. SERRANO, E. MONEDERO, M. LAPUERTA, H. PORTERO. 2011. Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets Fuel Process. Technol., 92 (3), pp. 699-706, [10.1016/j.fuproc.2010.11.031](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.11.031)
4. W. STELTE, J.K. HOLM, A.R. SANADI, S. BARSBERG, J. AHRENFELDT, U.B. HENRIKSEN. 2011. Fuel pellets from biomass: the importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. Fuel, 90 (11) (2011), pp. 3285 - 3290, [10.1016/j.fuel.2011.05.011](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.05.011)
5. HOLUBCIK M., R. NOSEK, J. JANDACKA, 2012. Optimization of the Production Process of Wood Pellets by Adding Additives. International Journal of Energy Optimization and Engineering, 1(2), 20-40
6. BERGSTRÖM, S. ISRAELSSON, M. ÖHMAN, S.A. DAHLQVIST, R. GREF, C. BOMAN, I. W. ÅSTERLUND. 2008. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. Fuel Process. Technol., 89 (12) , pp. 1324-1329, [10.1016/j.fuproc.2008.06.001](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.06.001)
7. G. THEK, I. OBERNBERGER. 2012. The Pellet Handbook: The Production and Thermal Utilization of Biomass Pellets. Routledge
8. J.K. HOLM, U.B. HENRIKSEN, J.E. HUSTAD, L.H. SØRENSEN. 2006. Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hardwood pellets production. Energy Fuel, 20 (6), pp. 2686-2694, [10.1021/ef0503360](https://doi.org/10.1021/ef0503360)
9. E. MONEDERO, H. PORTERO, M. LAPUERTA. 2015. Pellet blends of poplar and pine sawdust: Effects of material composition, additive, moisture content and compression die on pellet quality. Fuel Process. Technol., 132, pp. 15-23, [10.1016/j.fuproc.2014.12.013](https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.12.013)

Príspevok bol vypracovaný v rámci riešenia vedeckého grantového projektu VEGA č. 1/0609/20 “Výskum rezných nástrojov pri spracovaní dendromasy z poľnohospodárskej a lesníckej výroby”.

Contact address:

Ing. Tomáš Kuvík, PhD., Department of Environmental and Forestry Machinery, Faculty of Technology, Technical University in Zvolen, TG Masaryka 24, 960 01 Zvolen, Slovakia, e-mail: t.kuvik14mail.com

THE INFLUENCE OF THE CHOICE OF AGRICULTURAL TIRES ON SOIL COMPACTION

ERIK LAVRÍK¹, MAKSIM STANKEVYCH¹, PAVOL FINDURA¹, IVAN BELOEV³, URSZULA MALAGA-TOBOLA², MIROSLAV PRÍSTAVKA¹, JOZEF REDL¹

¹ Slovak University of Agriculture in Nitra, ²University of Agriculture in Krakow, ³University of Ruse

Abstract: Standard tires on agricultural machines such as tractors or harvesters can cause the soil to be pressed down to a deeper depth and its subsequent degradation. In the case of heavy agricultural machinery, weight is transferred through the tires to the soil, which changes the bulk density of the soil and its porosity. Compacted soil has lower permeability, which reduces the soil's ability to absorb water and nutrients. This can have a negative impact on the development of plants, which may be forced to seek water and nutrients deeper in the soil. It can also have a negative effect on the microorganisms that occur in the soil and that are important for the health of the soil and plants. Many farms in Slovakia use special tires that can help reduce soil compaction. These tires are working on a lower inflation pressure and a wider surface distribution, which reduces pressure on the ground and improves weight distribution over the entire surface of the tire. The aim of the article is to compare two basic types of tires, namely standard tires and low pressure tires.

Keywords: tires, soil compaction, penetrometric resistance, fuel consumption

INTRODUCTION

Degraded soils are a problem not only in Slovakia, but also in other parts of the world. In Slovakia soil degradation manifests itself mainly in the form of erosion, degradation of soil organic content, degradation of soil quality and nutrition, soil pollution and contamination, as well as inappropriate land management. According to estimates, approximately 30% of soils suffer from water and wind erosion. (Redl et al, 2022, Tuba et al, 2021). However, there are different ways to solve problems with degraded soils in Slovakia. Some of these are: Improving soil management. This approach includes the introduction of better and more sustainable land management, such as reducing the number of heavy machinery work operations on agricultural fields, using more appropriate soil conservation technologies for growing crops, or introducing agroecological technologies. (Kocira et al., 2018) Land restoration. This approach involves restoration of degraded soils, such as the use of fertilizers and composts, which increase the organic content of the soil and improve its structure and nutrients. Another method is the use of soil restoration methods such as agroforestry, irrigation, afforestation and soil erosion protection. (Szparaga et al., 2021) The use of soil activators, or biostimulators is also one of the effective solutions, which, in addition to a slight increase in yields, primarily improves the soil condition. (Bajus, 2016) Soil quality monitoring. This approach includes regular monitoring of soil quality and its properties, so that problems can be identified early and measures taken to solve them. (Kocira et al, 2020) Land cultivation is influenced by the properties of the soil, especially the technical ones. The most important technical property of the soil is cohesion, i.e. the cohesion of the soil. The resistance to the action of external pressure on the crushing of aggregates is actually cohesion. This can also create a resistance to the penetration of foreign bodies into the soil and increases the fuel consumption. (Gugala et al, 2019) The physical properties of the soil represent a whole set of properties that are conditioned by the degree of disticity and mutual relations between the solid phase of the soil, soil solution and air in the soil (Noskovič et al., 2005). In the case of penetrometric resistance, we consider the immediate physical state of the soil as an indicator. Measurements are often based on the principles of determining the resistance to the penetration of a penetrating body - a tip into the soil. Evaluation of soil penetrometric resistance is used in the assessment of soil resistance and also in its processing and in the assessment of the degree of difficulty of loosening the soil (Hůla et al., 1989).

MATERIAL and METHODOLOGY

We performed the experiments at AGROTECHNA s.r.o. Michalovce. The company is located in the Košice region, in the Michalovce district, in the cadaster of the village Stretávka. It is an enterprise focused on plant production. The company operates in four cadastral territories. The specifics of the

company's location is that it is located between the confluence of three rivers: Uh, Laborec, and Čierna Voda. The altitude of the village of Stretávka is 102 meters above sea level. The company itself is also affected by ground water, which causes high ground water on some plots of land. In the given conditions, years with a lower amount of precipitation are more favorable for crop production. The soil was cultivated in a conventional manner, while the soil heterogeneity map of the soil block – Stretávka was BPEJ 0311002, H/HP or PH/PH was medium heavy soil. For comparison, one type of the VF tire was inflated to two different pressures and used on a John Deere 8270 R tractor pulling a slurry trailer: Front tires of the tractor: VF600/70R34, rear tires of the tractor: VF710/75R42, trailer tires: VF800/60 R32. Inflated to variant A: pressure 2.5 Bar in the back and 2.2 Bar in the front of the tractor and 3.0 Bar by the trailer tires. And variant B: pressure 1.0 Bar on each tire of the tractor and also on all wheels of the trailer. The load on the front axle of the tractor was 4.050 kg and the load on the rear axle of the tractor was 6.600 kg. The trailer axels where loaded 7.300kg on the first, 6.100kg on the second and 5.100kg on the third axle. We tried to define the impact of the tires through the change in the soil condition and the technical-operational characteristics of the tractor. It was a matter of monitoring the: granular composition of the soil, soil moisture measurement, penetrometric resistance measurement, fuel consumption measurement.

Methodology of granular soil composition

The evaluation of the granular composition of the soil will take place using a sieve analysis on a sieving machine from the FRITSCH Company, while using the entire set of sieves we will obtain detailed information on the soil granularity. Sieving will be carried out using sieving machines with an electromagnetic drive, which creates a 3D oscillating movement and causes oscillations of the suspension system, i.e. the fixed sieves move vertically with a horizontal effect. This 3D effect ensures optimal sieve movement and coverage of the entire surface of the sieve with sifted material.

Methodology of soil moisture detection

A ThetaProbe (ML2x) device with a reading unit HH 2 was used to measure moisture. The volumetric soil moisture is the ratio between the volume of water present and the total volume of the soil sample. It is a parameter that is expressed either in volume percentages (% vol.) or in $m^3 \cdot m^{-3}$ units. This means that 0.0 $m^3 \cdot m^{-3}$ represents completely dry soil, and pure water corresponds to a value of 1.0 $m^3 \cdot m^{-3}$. The device consists of a waterproof housing that contains the electronics and four sharpened stainless steel rods that are inserted into the soil. We also measured the soil moisture using the Kopecky roller method.

Methodology for determining the penetrometric resistance of the soil

The soil profile solidification measurement was performed by a mechanical penetrometer. Penetrometric measurement is based on the determination of the force required to push a standard steel cone into the soil. Measuring penetrometric resistance requires ensuring that the cone needle is pushed evenly into the soil (approximately 3 cm/s). The measurement range of the Penetrologger is 0 - 10 MPa. Penetrometric resistance values were averaged for each monitoring point. The penetrologger allows to record the soil profile up to a depth of 0.6 m, with a depth resolution of 10 mm.

Fuel consumption detection methodology

The measurement of fuel consumption was done in two ways. The first method was by using the EDMeco measuring device, which automatically recorded consumption data for us on a USB transfer memory medium. The second method of measuring fuel consumption consisted in filling the tank with fuel up to the edge of the measuring cylinder, then performing the given work operation on the measuring set. After the end of the operation, the measuring cylinder was filled up to the brim again and the difference between the consumed and filled fuel was the consumption, which was recorded in the tables.



Figure 1 On the left, filling fuel with a measuring cylinder, on the right, measuring penetrometric resistance

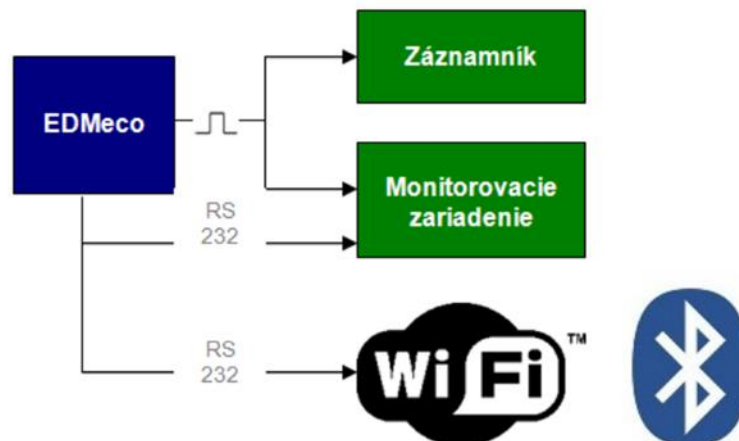


Figure 2 Communication diagram of the EDMeco system with a recorder, monitoring device and remote access

RESULTS and DISCUSSION

Soil moisture is the most significant factor affecting plant growth. It is also one of the most important factors that affect the resistance and quality of soil cultivation. Water contained in soil can completely change its mechanical properties.

Results of measuring soil structure

Soil structure is made up of different particle sizes and pores in the soil. This structure allows plants access to air, water and nutrients essential for their growth and development. Soil compaction can disrupt this structure by compacting the soil and reducing pore volume, thereby reducing access to air and water, thus degrading soil quality.

Table 1 The results of soil structure investigation

Variant	Hĺbka odberu, m	štruktúrne elementy (% hmot.)						koeficient štruktúrnosti
		nad 10	5-10	2-5	0,5-2	0,25-0,5	pod 0,25	
Kontrola	0 – 0,15	38,22	20,22	16,98	15,95	1,69	5,32	1,32
	0,15 – 0,30	42,54	25,63	17,81	11,31	1,32	2,41	1,23
	priemer	40,38	22,92	17,40	13,63	1,50	3,86	1,27

The results show that it was a fine lumpy structure, which was created after the soil was processed with a plow in the fall and a compactor in the spring.

The results of soil moisture measurement

The technique can have a significant effect on moisture and soil compaction. In agricultural work, it may be appropriate to use technologies that minimize soil compaction and ensure an optimal level of moisture in the soil. One of the technologies that can help minimize soil compaction is the use of low pressure tires on agricultural machinery.

Table 2 Results of soil moisture and volumetric weight determination

Variant	Hĺbka dobratia vzorky (cm)	Hmotnosť pôdy pred vysušením (g)	Hmotnosť pôdy po vysušení (g)	rozdiel (g)	vlhkosť (hm%)	Obj.hmotnosť pôdy (t.m ⁻³)
1.	10-15	79,11	67,33	11,78	18,8	1,41
2.	15-20	78,99	66,84	12,15	19,3	1,38
3.	20-25	79,95	67,90	12,05	18,9	1,43
					19,01	1,40

Based on the above results, we can conclude that the measurements were carried out at a humidity of 19.01% and the volume weight of the soil was 1.40 t.m⁻³. The stated results of humidity measurement are identical to the results achieved by electronic humidity measurement.

The results of measuring the penetrometric resistance of the soil

Research has shown that the use of agricultural machinery with low-pressure tires can lead to a reduction in penetrometric resistance, indicating less impact on soil compaction. Of course, the tillage technology also has an effect on the above.

Based on the obtained results, we can conclude that the inflating pressure in the tire is directly proportional to the soil compaction, while at an inflating pressure of 0.1 MPa, the penetrometric resistance rose proportionally and reached a maximum value of 3.2 MPa, so with the variant with an inflating pressure of 0.25 MPa, at a depth of over 30 cm to decrease soil compaction.

Results of fuel consumption measurements

Wheel slip can have a negative effect on fuel economy because it increases the workload on the engine, which has to work harder and use more fuel to overcome the resistance of the wheel slip. However, in some cases, if the tractor is designed for some slip, this can be an advantage in some types of work where maximum traction and speed is not required. In the recalculated measurements of the specific fuel consumption, we found that the consumption of the variant with 0.25 MPa was 282 g/kWh and the variant with 0.1 MPa was found to be 279 g/kWh.

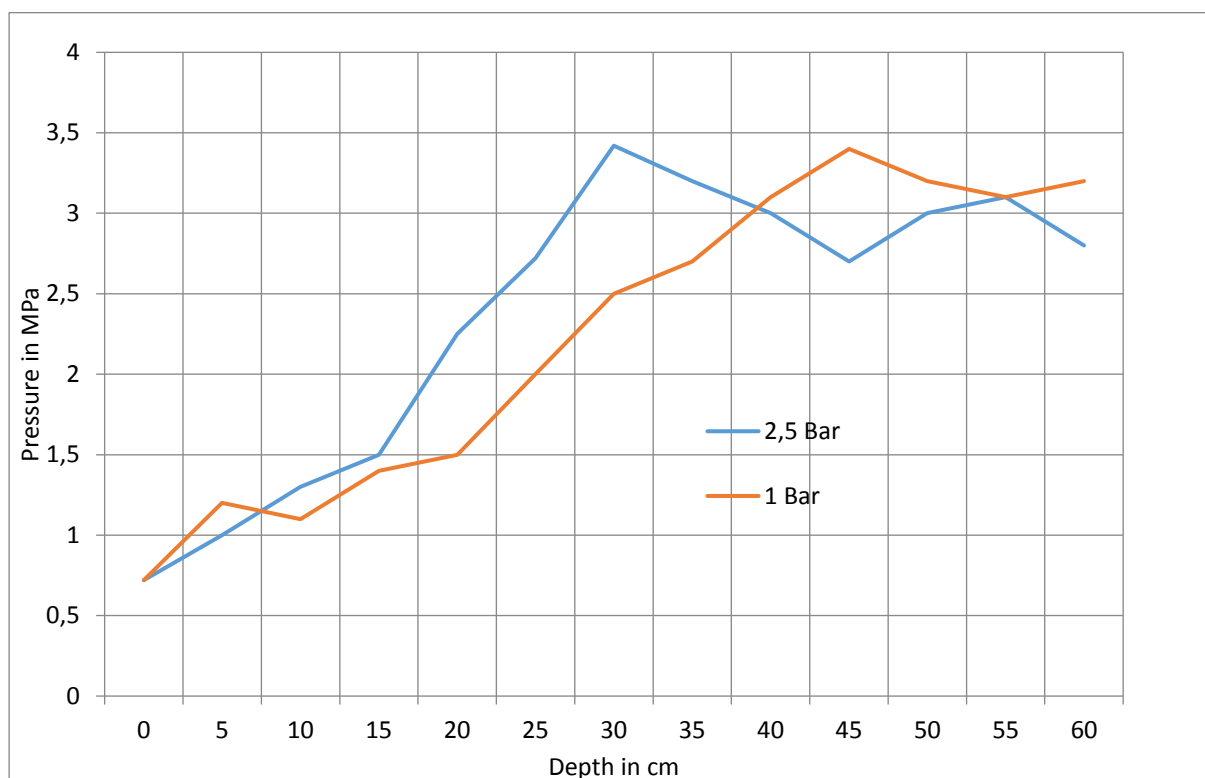


Figure 3 Dependence of tire pressure on soil compaction

CONCLUSION

The contribution deals with the problem of soil compaction in relation to tire inflation. Overall, it is important to use technologies and techniques that minimize soil compaction and ensure that the soil structure is preserved. This can help improve soil quality and ensure good crop yields. We performed the experiments at Agrotechna s.r.o. Michalovce. The soil was cultivated in a conventional way, while the soil map of the heterogeneity of the soil block – Stretávka was BPEJ 0311002, H/HP or PH/PH was medium heavy soil. The results show that it was a fine lumpy structure that was created after the soil was processed with a plow in autumn and a compactor in spring. Based on the obtained results, we can conclude that the inflating pressure in the tire is directly proportional to the soil compaction, while at an inflating pressure of 0.1 MPa, the penetrometric resistance increased proportionally and reached a maximum value of 3.2 MPa, so with the variant with an inflating pressure of 0.25 MPa at a depth of over 30 cm to decrease soil compaction.

This issue was solved thanks to the following projects:

VEGA 1/0102/21. Reducing chemical loads and degradation of agricultural and forestry soils by selecting appropriate agri-technology with regard to climate change.

KEGA 016SPU-4/2021. Implementation of modern educational approaches and tools to enhance creativity and practical skills of graduates with special focus on agricultural and forestry science using. "This publication is the result of the project implementation: „ Scientific support of climate change adaptation in agriculture and mitigation of soil degradation” (ITMS2014+ 313011W580) supported by the Integrated Infrastructure Operational Programme funded by the ERDF."

References

1. BAJUS, P., 2016. Vplyv biostimlačných technológií obrábaia pôdy na efektivnosť pestovania poľných plodín. In: Dizertačná práca, SPU Nitra, s.110-135
2. GUGALA, M. - SIKORSKA, A.- FINDURA, P.- KAPELA, K.- MALAGA-TOBOŁA, U.- ZARZECKA, K.- DOMANSKI, L.

3. Effect of selected plant preparations containing biologically active compounds on winter rape (*Brassica napus* L.) yielding. In *Applied Ecology and Environmental Research*. 17, 2 (2019), s. 2779--2789. ISSN 1589-1623.
4. HŮLA, J., 1989. Vliv přejezdů techniky na půdní prostředí a možnosti minimalizace negativního působení. In *Vplyv techniky na pôdu*. 1. vyd. Banská Bystrica: Dom techniky ČSVTS, 1989, s.54-61. ISBN 80- 230-0005-5.
5. KOCIRA, S. - SZPARAGA, A.- KOCIRA, A.- CZERWIŃSKA, E.- WÓJTOWICZ, A.- BRONOWICKA-MIELNICZUK, U.- KOSZEL, M.- FINDURA, P, 2018. Modeling biometric traits, yield and nutritional and antioxidant properties of seeds of three soybean cultivars through the application of biostimulant containing seaweed and amino acids. In *Frontiers in Plant Science*. 9, 388 (2018), s. 2018. ISSN 1664-462X.
6. KOCIRA, S. - SZPARAGA, A.- FINDURA, P.- TREDER, K. 2020. Modification of yield and fiber fractions biosynthesis in *phaseolus vulgaris* by treatment with biostimulants containing amino acids and seaweed extract. In *Agronomy-Basel*. 10, 9 (2020), s. 2020. ISSN 2073-4395.
7. RÉDL, J. - MAGA, J. - FINDURA, P. - KALÁČSKA, G. - KALANTARI, D. - BANGO, J. 2022. Assessment of ploughing stability. In *Mechanical engineering letters*. Gödöllő: Szent István University, 2022, s. 150-165.
8. SZPARAGA, A.- KOCIRA, S. - FINDURA, P.- KAPUSTA, I. - ZAGUŁA, G. - ŚWIECA, M. 2021.
9. Uncovering the multi-level response of *Glycine max* L. to the application of allelopathic biostimulant from *Levisticum officinale* Koch. In *Scientific Reports*. 11, 15360 (2021), s. 1. ISSN 2045-2322.
10. TUBA, G.- KOVÁCS, G.- SINKA, L.- NAGY, P.- RIVERA-GARCÍA, A.- BAJUSOVÁ, Z.- FINDURA, P.- ZSEMBELI, J. 2021. Effect of soil conditioning on soil penetration resistance and traction power demand of ploughing. In *Agriculture*. 67, 3 (2021), s. 113-123. ISSN 0551-3677.

Contact address: pavol.findura@uniag.sk, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovak University of Agriculture in Nitra

POROVNANIE PÁSOVEJ A RIADKOVEJ SEJBY OZIMNÉHO JAČMEŇA V TECHNOLÓGII CTF

MIROSLAV MACÁK¹, JANA GALAMBOŠOVÁ¹

¹Slovak University of Agriculture in Nitra, Faculty of Engineering, Institute of Agricultural Machinery, Transport and Bioenergy, Tr. A. Hlinku 2, 949 76, Nitra, Slovakia

Abstract. Sejba patrí k základným technologickým operáciám. Jej kvalitné prevedenie vytvára dobré predpoklady pre dosiahnutie ekonomicky rentabilnej výroby. CTF je technológia, ktorá umožňuje minimalizovať technogénne utlačanie pôdy vyvolané pohybom mechanizačných prostriedkov po poli. Utlačenie pôdy je pritom sústredené výhradne do permanentných koľají, kde je sústredené kumulované zhutnenie pôdy prejazdmi strojovej techniky všetkých pracovných operácií. Ak chceme uvedené permanentné koľaje využiť pre rastlinnú produkciu je potrebné tejto pôde venovať patričnú pozornosť zo strany prípravy pôdy a založenia porastu. Experiment bol vykonaný na parcele, kde je od roku 2009 založený udržiavaný dlhodobý experiment CTF (64 % neutlačená pôda, 36 % utlačená pôda). V rámci jedného pestovateľského roka boli porovnávané dva systémy sejby (band and row sowing) pri pestovaní ozimného jačmeňa. Parametre sejby, ako aj všetky ostatné agrotechnické operácie boli počas celého roka pri oboch spôsoboch sejby rovnaké. V rámci analýzy bolo porovnávaných 4 úrodotvorných parametrov. Všeobecne možno konštatovať, že pri pásovej sejbe (v porovnaní s riadkovou) boli zaznamenané pozitívne zmeny pri: úrode (nárast až do 10%), počte klasov na 1 m² (nárast až do 11,4%), a výške rastlín (nárast do 7%). Pokles bol zaznamenaný pri analýze HTZ (do 7,2%). Počet zŕn na jednom klase vykazoval len malé rozdiely.

Key words: pásová sejba, CTF, sejba do riadkov, utlačenie pôdy, obilniny.

ÚVOD

CTF – Riadený systém pohybu strojov po poli patrí v súčasnosti k moderným metódam ktoré sa postupne stávajú súčasťou efektívneho riadenia rastlinnej výroby v presnom poľnohospodárstve (Rataj et al., 2014).

Podstatou tohoto systému je sústredenie jednotlivých dráh pohybu mechnizačných prostriedkov v rámci celej pestovateľskej technológie do jednotnej trajektórie s dodržaním celočíselných násobkov aplikačnej šírky jednotlivých strojov. Pri tom dochádza k zmenšeniu pojazdenej plochy a následne k zlepšeniu pôdnych pestovateľských podmienok v porovnaní s RTF systémom. Opodstatnenosť zavádzania tohoto systému do praxe, vyvoláva aj dlhodobý trend v neustálom náraste veľkosti a hmotnosti poľnohospodárskych strojov (Kutzbach, H.D., 2000.).

Chaiman (2015), Goodwin et. al. (2015), Kroulik et. al. (2011), Kumhala et. al. (2013) a iný uvádzajú, že prvotný efekt plynúci zo zavádzania systému CTF je v zlepšovaní štruktúry pôdy. Autori uvádzajú, že je možné tento systém použiť ako dlhodobý nástroj pre prevenciu zhutnenia pôdy. Dôsledkom zníženia utlačenia pôdy dochádza k zvýšeniu obsahu pórov v pôde, zníženiu objemovej hmotnosti pôdy a k zvýšeniu infiltračnej schopnosti pôdy. Hlavným dopadovým ukazovateľom zmeny týchto fyzikálno mechanických vlastností pôdy sa následne prejavuje na zvýšení úrody pestovaných plodín

Vermeulen G.D. et al. (2010) uvádzajú, že v rámci CTF systému okrem vyššie uvedených benefitov dochádza aj k efektívnejšiemu nasadeniu techniky. Spevnené koľaje CTF systému umožňujú lepší vstup na pozemok pri vlhkejších pôdnych podmienkach. Dochádza k poklesu energetickej náročnosti, menším počtom pracovných operácií, plytším obrábaním pôdy a menšími nárokmi na ťahovú silu traktora.

Systém CTF je úzko spojený s pôdoochrannými technológiami obrábania pôdy prípadne s priamou sejbou. Pri založení technológie CTF sa vytvárajú tzv. dve zóny nepojazdené plochy na ktorých sa pestujú plodiny, a zasiat alebo nezasiat plochy pôdy permanentných koľají (Chamen, 2015). Tento systém môže byť realizovaný aj s podporou klasických poľnohospodárskych strojov t.j. bez ich špeciálnej úpravy (Gutu, 2015).

Ak sa pestovateľ rozhodne využívať koľajové riadky CTF pre sejbu, musí v týchto častiach pozemku počítať so zvýšenými nárokmi na prípravu pôdy, a náročnejšími podmienkami pre uloženie

osiva, nakoľko je v týchto koľajach sústredené zhutnenie pôdy vyvolané centralizovaným prejazdom všetkej techniky v technologickom postupe pestovania (Arslan, et al. 2015).

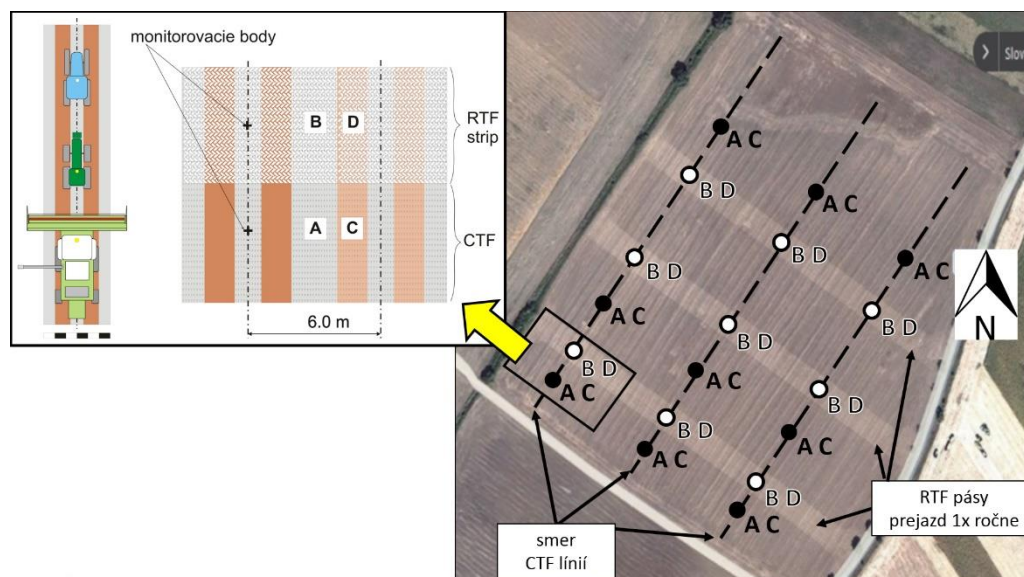
V inom prípade má pestovateľ možnosť využiť špeciálne sejačky (kombinované sejačky s predsejbovou prípravou pôdy alebo sejačky pre priamu sejbu), ktoré dokážu umiestniť osivo do požadovanej hĺbky rovnomerne v celej šírke záberu vrátane zhutnených koľají CTF systému.

Cieľom tejto práce bolo porovnať rozdiely medzi dvoma systémami sejby v technológii CTF prostredníctvom vybraných parametrov porastu s dôrazom na rôznu intenzitu utlačenia pôdy – predovšetkým v zhutnených koľajach.

MATERIÁL a METÓDY

Charakteristika dlhodobého experimentu

V roku 2010 bol založený dlhodobý poloprevádzkový pokus s technológiou Riadeného pohybu strojov po poli (CTF) na Vysokoškolskom poľnohospodárskom podniku v Kolíňanoch. Táto technológia je používaná na parcele s výmerou 20 ha s prachovito hlinitou pôdou (0-35cm) (Hrivňáková et al., 2011). Typ CTF systému je OutTrack so základným modulom o šírke 6m (64 % neutlačenej pôdy, 36 % utlačenej). Pre vykonanie pracovných operácií sa využívajú komerčne dostupné stroje so štandardným rozchodom kolies – tak ako ich dodáva výrobca. Obrábanie pôdy je vykonávané pôdoochrannými technológiami (bez orby) do hĺbky 15cm. Detailnejšie informácie je možné získať v publikovaných prácach (napr. Goodwin et al. 2015; Galambosova et al. 2017; Barat et al. 2017).



Obrázok 5. Satellite image showing 1x passed compacted area for RTF simulation, direction of CTF lines and monitoring points (no. 1 - 30) sampling layout

V rámci jednoročného pokusu sme riešili možnosti uplatnenia pásovej sejby vykonanej sejačkou pre priamu sejbu s kypriacimi radlicami (braker tines). Získané výsledky sme porovnávali s konvenčnou riadkovou sejbou.

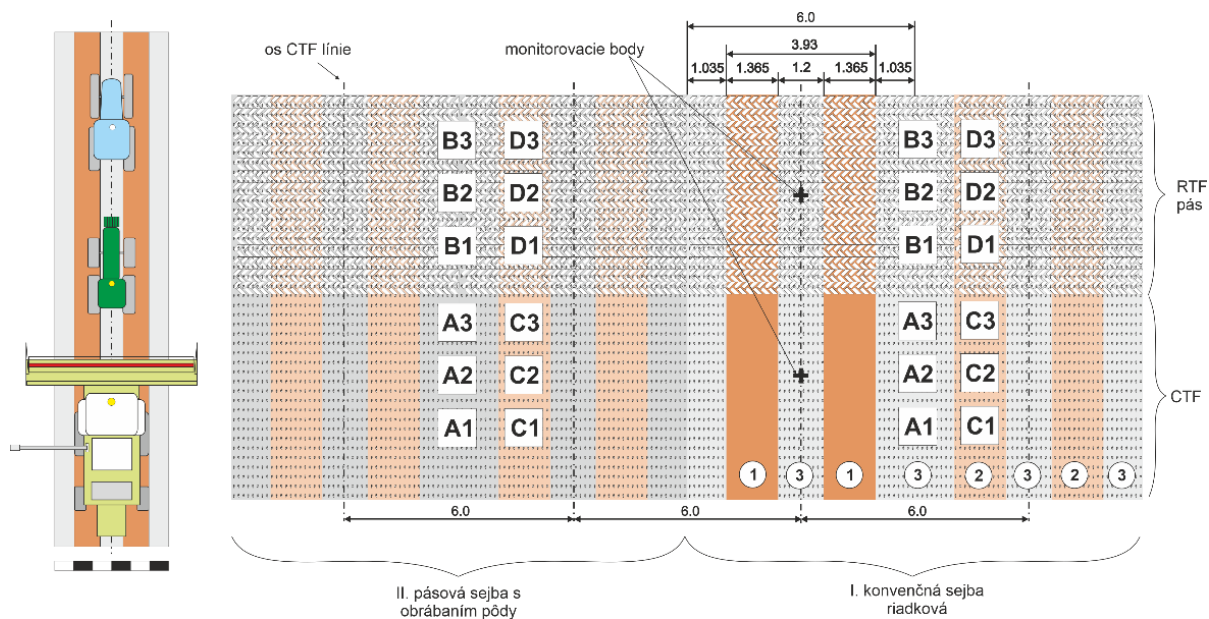
Pri založení experimentálnej matrice bolo potrebné rešpektovať dlhodobý experiment, predovšetkým smer koľajových riadkov systému a simulované pásy RTF systému na výskumnej parcele. Pre riešenie vytýčenej hypotézy bolo založených 18 monitorovacích bodov z toho 9 bodov sa nachádzalo v troch RTF pásoch (Obr. 1.). RTF pásy predstavovali plochy, ktoré boli 1x do roka utlačené prejazdom traktora JD 8230 (tlak pneumatiky 2.0 bar) spôsobom „koleso vedľa kolesa“ a to priečne na smer CTF línií.

Výsledná matrica experimentu bola založená na 4 zónach pozemku s označením A, B, C, D (Obr. 2) ktoré reprezentovali pôdu so 4 úrovňami intenzity utlačenia (Tab. 1). Najmenšie utlačenie pôdy bolo v zone A a najväčšie v zone D. Intenzita utlačenia pôdy bola stanovená pomocou penetrometrického odporu pôdy vo vertikálnej rovine stanovené pomocou penetrometra od firmy Eijkelkamp. Zistené hodnoty penetrometrického odporu (Obr. 3), preukazujú rôznu intenzitu utlačenia

pôdy, ako aj hĺbku dlhodobého obrábania pôdy najmä v zónach B, C, a D, kde bolo zaznamenaná preukázne vyššie zhutnenie pôdy.

Table 1. Označenie variantov experimentu – pôda s rôznou intenzitou utlačenia

Zóna	Pôda vystavená rôznej intenzite prejazdov počas roka	Odkaz na pozíciu v obrázku	Intenzita utlačenia pôdy
A	Pôda bez prejazdov	Obr. 2. pozícia 3 v CTF	+
B	1x do roka pojazdená pôda	Obr. 2 pozícia 3 v RTF páse	++
C	Permanentná koľaj - zasiať	Obr. 2 pozícia 2 v CTF	+++
D	Permanentná koľaj – nezasiť (variant C + pohyb strojov počas veg. obdobia)	Obr. 2 pozícia 1 v RTF páse	++++



Obrázok 2. Experiment design – example of taking yield sampling layout on two monitoring points, 1 – permanentná koľaj CTF systému nezasiata (pohyb postrekovača počas vegetácie) non-cropped multiple-trafficked lanes – sprayer lines (each 24 m), 2 – permanentná koľaj CTF systému zasiať – označenie vzoriek Zone C and D – cropped multiple-trafficked lanes, 3 – location of samples A1-A3 non-trafficked crop beds; samples B1-B3 one pass trafficked crop beds/1 krát pojazdená časť pozemku – označenie vzoriek Zone A and B –, (quote values in picture are present in meters unit).

Sejba bola vykonaná v smere CTF línií striedavo, vždy 2 prejazdy sejačky s riadkovým výsevom a 2 prejazdy sejačky s pásovým výsevom (Obr. 2). Na konci sezóny boli manuálne odobraté vzorky úrody a to tak, že na každom monitorovacom bode boli odobraté 3 vzorky v jednotlivých zónach (A,B,C,D) a to rovnako pri pásovej aj riadkovej sejbe. Týmto spôsobom bolo na každom monitorovacom bode odobratých 12 vzoriek čo spolu na celej parcele činilo 216 vzoriek. V rámci každej vzorky boli odrezané celé nadzemné časti rastlín z plochy 1m².

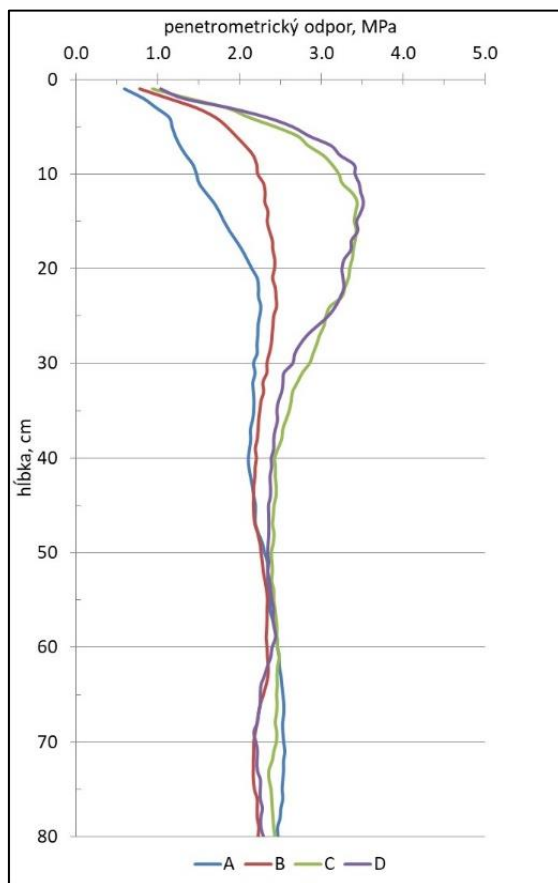
Podmienky v rámci sezóny

V rámci pestovateľských postupov je využívaná pôdoochranná technológia, a využíva sa rotácia plodín ako sú obilniny, repka olejná a kukurica. Na uvedenej experimentálnej parcele prebieha výskum vplyvu zhutnenia pôdy na viacerých úrovniach. Sú tu plochy bez prejazdov a s viacnásobnými prejazdami.

V rámci sezónnej experimentálnej úlohy sme na predmetnej výskumnej parcele riešili hypotézu, či existuje preukázny rozdiel v parametroch porastu ozimného jačmeňa založeného dvoma rôznymi

technológiami sejby. Z tohto dôvodu boli všetky agrotechnické operácie na výskumnej parcele vykonané uniformne s výnimkou sejby.

Prvým spôsobom bola konvenčná sejba (I. – riadková sejba, Obr. 4) založená do riadkov s rozstupom 12,5 cm, strojovou súpravou JD8100 + univerzálna sejačka pre sejbu obilnín Lemken Solitair 9.



Obrázok 3. Intenzita utlačenia pôdy v experimentálnych zónach reprezentovaná penetrometrickým odporom pôdy vo vertikálnej rovine

Pri druhom spôsobe (II. – pásová sejba, Obr. 5) bol porast založený do pásov širokých 15 cm a voľným (nezasiatym) pásom 15 cm, strojovou súpravou Kirovec K7484 + kombinovaná sejačka pre priamu sejbu do nespracovanej pôdy Claydon Hybrid T6.

Hĺbka kypriacich radlíc sejačky pri pásovom výseve bola nastavená na 15 cm, z dôvodu dodržania rovnakej hĺbky prípravy pôdy pre obidva spôsoby sejby. Druh osiva, a parametre nastavenia sejačiek sú zobrazené v Tab. 2.

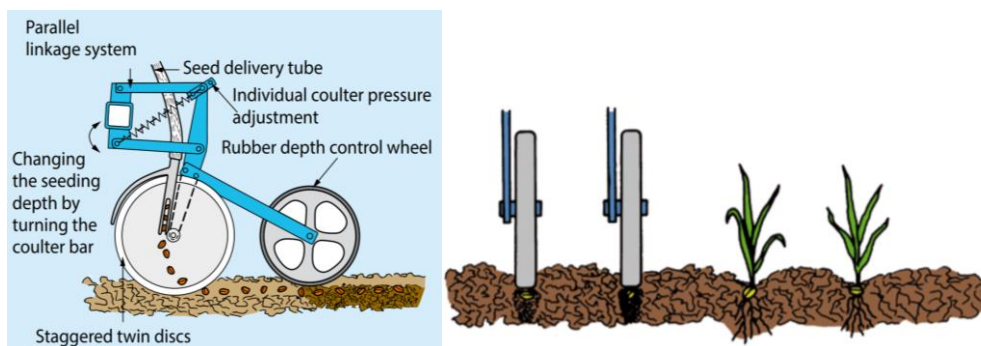


Figure 4. Princíp riadkovej sejby (podľa lemken.com)

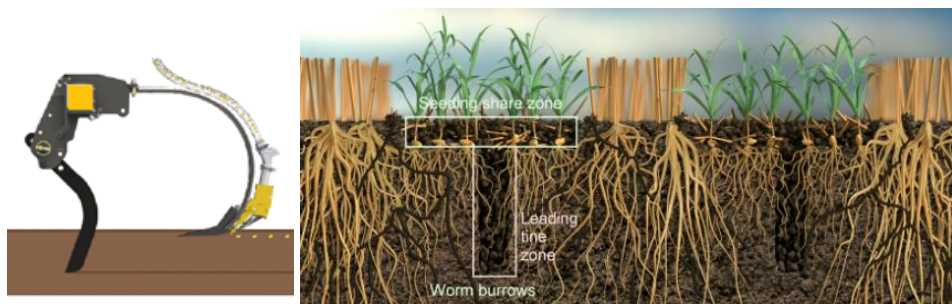


Figure 5. Princíp pásovej sejby (podľa claydon.com)

Tabuľka 2. Parametre osiva, sejby a použitých sejačiek (NA – údaje nie sú dostupné)

Parameter	OSIVO	
Botanický názov plodiny	Hordeum vulgare L. (winter barley)	
Odroda	WINTMALT	
Generácia osiva	C1	
Moridlo	Lamardor 400 FS	
Vydavateľ certifikátu osiva	Central Control and Testing Institute in Agriculture – Slovakia	
Parameter	SEJAČKY	
	Lemken Solitair 9	Claydon Hybrid T6
Šírka záberu, m	6	6
Počet výsevných jednotiek, ks	48	19
Vzdialenosť medzi riadkami/pásmi, cm	12.5	15
Hmotnosť, kg	1600	6500
Parameter	SEJBA	
	I. – riadková sejba	II. – pásová sejba
Výsevok, kg.ha ⁻¹	220	220
Hĺbka sejby, mm	30 - 40	30 - 40
Hĺbka kypriacich radlíc, mm	NA	150

Z odobratých vzoriek bolo analyzovaných nasledovných 6 parametrov: úroda prepočítaná na jednotnú 14% vlhkosť, počet klasov, HTZ (prepočítané na jednotnú 14% vlhkosť, počet zŕn na 1m², počet zŕn v klase a výška rastlín.

Parametre boli stanovené na základe metodických postupov podľa príslušných noriem (STN EN ISO 520, STN EN ISO 24333/AC, STN EN ISO 712, STN 46 1025). Výsledný údaj v každom monitorovacom bode reprezentuje aritmetický priemer dát z jednotlivých vzoriek v rámci 3 opakovaní (etc. A1, A2, A3, . . .) v príslušných zónach matrice experimentu (Obr. 1 a 2). Pre vykonanie párového porovnávania pásovej a riadkovej sejby jednotlivých parametrov bol použitý LSD test.

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Na experimentálnej parcele bolo vykonané porovnanie pásovej a riadkovej sejby. Podmienky experimentu uvedené v metodickom postupe (parametre sejby, osivo, klimatické podmienky) boli pre obidva spôsoby rovnaké. V Tab. 3 sú uvedené vypočítané hodnoty úrodotvorných parametrov pri danej matici experimentu. Cieľom práce bolo zistiť či existuje rozdiel v jednotlivých meraných parametroch v štyroch variantoch experimentu. Zamerali sme sa na posúdenie rozdielu v jednotlivých zónach (A,B,C,D), ktoré reprezentujú jednotlivé úrovne utlačenia pôdy podľa metodického postupu.

Tabuľka 3. Priemerné hodnoty a standardné odchýlky (sd) sledovaných úrodovných parametrov pre riadkovú a pásovú sejbu, (n=9; každá hodnota je vypočítaná ako priemer z plochy 3m²)

Parameter	Zóna	Riadková sejba priemer ± sd	Pásová sejba, priemer ± sd	Rozdiel medzi priemernou hodnotou pásovej a riadkovej sejby	Rozdiel medzi priemernou hodnotou pásovej a riadkovej sejby *, %
Počet klasov, ks.m⁻²	A	913.6 ±180.1	961.3 ±118.2	47.7	5.2%
	B	806.5 ±108.3	1040.4 ±155.9	233.9	29.0%
	C	884.9 ±105.0	974.7 ±98.7	89.8	10.1%
	D	845.6 ±79.9	993.3 ±106.4	147.7	17.5%
Úroda (14%), t.ha⁻¹	A	8.0 ±1.6	8.7 ±1.0	0.7	9.3%
	B	6.9 ±1.1	8.8 ±1.2	2.0	28.8%
	C	7.8 ±0.7	8.1 ±0.7	0.3	3.8%
	D	7.2 ±1.0	8.3 ±1.0	1.0	14.3%
HTZ (14%), g	A	47.7 ±1.8	44.6 ±6.8	-3.1	-6.6%
	B	46.3 ±1.8	45.4 ±3.2	-0.9	-2.0%
	C	46.3 ±1.9	45.1 ±3.7	-1.3	-2.8%
	D	48.3 ±4.3	43.3 ±4.0	-5.0	-10.4%
Výška porastu, cm	A	78.1 ±4.9	83.3 ±3.0	5.1	6.6%
	B	76.1 ±6.2	83.2 ±4.8	7.1	9.3%
	C	82.8 ±4.4	84.9 ±2.0	2.0	2.4%
	D	77.0 ±5.3	82.4 ±3.0	5.3	6.9%

sd = štandardná odchýlka; * riadková sejba je pri výpočte uvažovaná ako základ t.j. 100%

Tabuľka 4. Rozdiely medzi priemernými hodnotami a úroveň signifikancie párového porovnávania, * indikuje rozdiely väčšie ako LSD pri p < 0.1 (*) LSD and p < 0.05 (**); ns = not significant

Parameter	Zóna A	Zóna B	Zóna C	Zóna D
Počet klasov ks.m ⁻²	LSD _{0.05} = 161.44	LSD _{0.05} = 142.24	LSD _{0.05} = 108.04	LSD _{0.05} = 99.74
	LSD _{0.1} = 132.95	LSD _{0.1} = 117.14	LSD _{0.1} = 88.97	LSD _{0.1} = 82.14
	47.70 ns	233.93 **	89.78 *	147.70 **
Úroda, t.ha ⁻¹	LSD _{0.05} = 1.45	LSD _{0.05} = 1.25	LSD _{0.05} = 0.73	LSD _{0.05} = 1.08
	LSD _{0.1} = 1.19	LSD _{0.1} = 1.03	LSD _{0.1} = 0.60	LSD _{0.1} = 0.89
	0.74 ns	1.97 **	0.30 ns	1.04 *
HTZ, g	LSD _{0.05} = 5.31	LSD _{0.05} = 2.72	LSD _{0.05} = 3.15	LSD _{0.05} = 4.39
	LSD _{0.1} = 4.38	LSD _{0.1} = 2.24	LSD _{0.1} = 2.60	LSD _{0.1} = 3.62
	-3.14 ns	-0.92 ns	-1.28 ns	-5.05 **
Výška porastu, cm	LSD _{0.05} = 4.27	LSD _{0.05} = 5.86	LSD _{0.05} = 3.60	LSD _{0.05} = 4.55
	LSD _{0.1} = 3.52	LSD _{0.1} = 4.82	LSD _{0.1} = 2.96	LSD _{0.1} = 3.75
	5.13 **	7.09 **	2.03 ns	5.34 **

Porovnanie vplyvu dvoch spôsobov sejby sme vykonali aplikovaním štatistickej metódy párového porovnávania – LSD test (Last Significant Difference) na všetkých parametroch. Zistené rozdiely v jednotlivých zónach sú zobrazené v Tab. 4.

Z analyzovaných údajov, môžeme konštatovať, že pásová sejba zaznamenala pozitívny nárast (oproti konvenčnej riadkovej sejbe) pri parametroch: **úroda, počet klasov, a výška porastu** na všetkých zónach (A,B,C, and D) reprezentovaných rôznou intenzitou utlačenia pôdy.

Priemerné hodnoty **“počtu klasov na 1m² (head number)”** boli vo všetkých sledovaných zónach pri pásovej sejbe vyššie. Signifikatne bol tento rozdiel vysoko preukázany (p>0.05) v Zónach

B, a D, preukázny ($p > 0.1$) v zóne C. Zóna s najmenším utlačením pôdy (Zone A) tento rozdiel štatisticky preukázne nepotvrdila. Z uvedeného možno vyvodiť záver, že rozmiestnenie osiva v pásach podporilo odnožovacu schopnosť zasiatkej obilniny. Na odnožovacu schopnosť malo zásadný vplyv aj nakyprenie pôdy počas pásovej sejby. Sejačka určená pre pásovú sejbu mala na rozdiel od sejačky pre riadkovú sejbu pred každou výsevnou pätkou umiestnenú samostatnú kypriacu radlicu, ktorá vytvárala ryhu, v našom prípade len do hĺbky 15 cm pozdĺž celého výsevného pásu.

Ako uvádzajú autori Chamen, (2015) a Kroulík et al. (2011) pri CTF systémoch sa všetky prejazdy techniky sústredia do vytvorených permanentných koľají. Utlačenie pôdy v cropped traffic lines spôsobuje rast objemovej hmotnosti pôdy (limitná hodnota $\sim 1.45 \text{ t.m}^{-3}$; Lhotský et al., 1991) čo spôsobuje problémy s rastom koreňovej sústavy.

CTF technológia má potenciál na zvýšení úrody, čo ale závisí od pomeru nepojazdenej plochy voči ploche permanentných koľají (Galambosova et al., 2017).

Z tohoto dôvodu je potrebné venovať zvýšenú pozornosť obrábaniu pôdy, a kvalitnému uloženiu osiva do pôdy (dodržanie hĺbky sejby, vzdialenosť semien v riadku, etc.) predovšetkým v koľajových riadkoch.

I keď pri pásovej sejbe nedošlo k vyrovnaniu rozdielov celkovej úrody v permanentných koľajách (Zone C a D) and neutlačenej pôdy (Zone A), došlo k zvýšeniu odnožovacej schopnosti zasiatkej obilniny (ozimného jačmeňa), čím sa zvýšila úroda v priemere od 3.8% až do 28.8%.

LSD test potvrdil, že tieto rozdiely vyššie uvedených parametrov boli štatisticky signifikantné predovšetkým v zónach so zvýšenou intenzitou utlačenia pôdy.

Z uvedeného možno odporučiť pásovú sejbu vykonanú "kombinovanou sejačkou pre priamu sejbu s čiastočným obrábaním pôdy" ako nástroj zabezpečujúci starostlivosť o permanentné koľaje určené na sejbu v CTF systéme.

Väčšie hodnoty **výšky rastlín** boli zaznamenané pri pásovej sejbe vo všetkých zónach. Tento nárast sa pohyboval od 2.4 % v zóne C po 9.3% v zóne B. Štatisticky signifikantne tento rozdiel potvrdil LSD test ako vysoko preukázny ($p > 0.05$) v zónach A, B a D.

Zistené hodnoty **HTZ** boli vo všetkých zónach pri pásovej sejbe nižšie, avšak štatisticky signifikantne ($p > 0.05$) bol tento rozdiel potvrdený len v Zóne D, ktorú reprezentovala pôda s najväčším utlačením. Pri pásovej sejbe teda došlo síce k tvorbe väčšieho počtu klasov, ale zrná v nich boli menšie. Keďže sa tento rozdiel štatisticky signifikantne nepotvrdil, nemalo to zásadný vplyv na tvorbu celkovej úrody. Zníženie hodnoty HTZ pri pásovej sejbe mohlo byť spôsobené mnohými faktormi, jedným z nich môže byť podpriemerný úhrn zrážok.

ZÁVER

Cieľom uvedenej práce bolo posúdiť, či existuje štatisticky preukázny rozdiel medzi pásovou a riadkovou sejbou na pôde s rôznou intenzitou utlačenia pôdy v systéme CTF. Pre presnosť porovnania boli vytvorené rovnaké podmienky experimentu vo všetkých zónach a variantoch experimentu.

Ozimný jačmeň zasiat kombinovanou sejačkou pre priamy pásový výsev s čiastočným obrábaním pôdy dosahoval vyššie úrody, štatisticky signifikantne preukázne predovšetkým v zónach s vyšším utlačením pôdy. Zásadný vplyv na tvorbu zvýšenej úrody bolo podporenie odnožovacej schopnosti vysiatej obilniny plošným rozmiestnením osiva do pásu. Ďalším faktorom bolo použitie kypriacej radlice umiestnenej na ráme sejačky pred výsevnou pätkou, ktorá kypřila pôdu (v našom prípade) do hĺbky 15 cm.

Uvedený spôsob pásovej sejby s čiastočným spracovaním pôdy je možné použiť ako jednu z možností starostlivosti o zhutnené permanentné koľaje určená sejbu plodiny v CTF systéme. Nastavenie kypriacej radlice môže byť nastaviteľné aj do väčšej hĺbky (napr. v našom prípade sejačka umožňovala rozsah nastavenia hĺbky obrábania od 0 - 30 cm), Túto hĺbku odporúčame nastaviť podľa toho v akej hĺbke sa nachádza zhutnená vrstva pôdy, ktorá korešponduje (vo väčšine prípadoch) s hĺbkou obrábania pôdy počas sezóny. V systéme CTF sa predovšetkým jedná o plytké obrábanie pôdy v pôdoochranných technológiách (bez orby).

Ak stroj umožňuje nastaviť hĺbku každej kypriacej radlice samostatne (napr. väčšiu hĺbku obrábania pre permanentné koľaje určené na sejbu a menšiu hĺbku (prípadne nulovú) pre neutlačenú pôdu (kde má pôda lepšie fyzikálne mechanické vlastnosti), tak je možné očakávať vyrovnanie rozdielov v úrodách medzi zasiatymi koľajami a neutlačenou pôdou, úspory nákladov na palivo, prípadne použiť traktor s menšou ťahovou silou.

Pod'akovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: „Údajová a vedomostná podpora pre systémy rozhodovania a strategického plánovania v oblasti adaptácie poľnohospodárskej krajiny na klimatické zmeny a minimalizáciu degradácie poľnohospodárskych pôd“ (kód ITMS2014+ 313011W580), spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.“

Autori vyjadrujú pod'akovanie zamestnancom Vysokoškolského poľnohospodárskeho podniku v Kolíňanoch ako aj spoločnosti TOKO AGRI za technickú podporu pri realizácii tohto experimentu.

Lieratúra

1. Arslan, S., Misiewicz, P., Smith, E., Underbill, T., Franklin, K., White, D., Godwin, R.J. 2015. The effect of tire tracks on draft force requirements of soil tillage and field traffic systems. In American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2015, 5, pp. 3753-3762. DOI: 10.13031/aim.20152189648 Available on web side: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84951788616&origin=resultslist&sort=plf-f&cite=2-s2.0-84951788616&refid=2-s2.0-33748857187&src=s&imp=t&sid=cf4b71ef9d1989bcbf3cc0f4f088d8f3&sot=cite&sdt=a&sl=0&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm>
2. Barát, M., Rataj, V., Týr, Š., Macák, M., Galambošová, J. 2017. Effect of controlled traffic farming on weed occurrence. In Agronomy Research 15(4), 1484–1490, 2017, <https://doi.org/10.15159/AR.17.005>
3. Chamen, T. 2015. Controlled Traffic Farming – from worldwide research to adoption in Europe and its future prospects. *Acta Technologica Agriculturae* 3, 64–73.
4. Galambošová, J., Macák, M., Rataj, V., Antille, D. L., Godwin, R. J., Chamen, W.C.T., Žitňák, M., Vitázková, B., Ďudák, J., Chlpík, J. 2017. Field Evaluation of Controlled Traffic Farming in Central Europe Using Commercially Available Machinery. In Transactions of the ASABE. vol. 60(3): 657-669, ISSN 2151-0032. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.11833>,
5. Godwin, R., Misiewicz, P., White, D., Smith, E., Chamen, T., Galambošová, J. & Stobart, R. 2015. Results from recent traffic systems research and the implications for future work. *Acta Technologica Agriculturae* 3, 57–63.
6. Gutu, D. 2015. Changes in traffic systems on arable land in agricultural company. *PhD Thesis*. 2015. 158 p. (in Czech).
7. Kroulík, M., Kvíz, Z., Kumhála, F., Hůla, J., Loch, T. (2011). Procedures of soil farming allowing reduction of compaction. In Precision Agriculture, vol. 12(3), 317-333. <http://dx.doi.org/10.1007/s11119-010-9206-1>
8. Kumhála, F., Gutu, D., Hůla, J., Chyba, J., Kovaříček, P., Kroulík, M., Kvíz, Z., Mašek, J. & Vlášková, M. 2013. Technology of Controlled Traffic Farming on fields. *Certificated methodology*. 2013. 40 p. ISBN 978-80-213-2425-1. (in Czech).
9. Kutzbach, H. D. (2000). Trends in power and machinery. *J. Agric. Eng. Res.*, 76(3), 237-247. <http://dx.doi.org/10.1006/jaer.2000.0574>
10. Lhotský, J., Beran, P., Paris, P., & Valigurská, L. (1991). Degradation of soil by increasing compression. *Soil Till. Res.*, 19(2-3), 287-295. [http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90096-G](http://dx.doi.org/10.1016/0167-1987(91)90096-G)
11. Rataj, V., Galambošová, J., Macák, M., Nozdrovický, L. 2014. Precision Agriculture: System – machines – experiences. 160 p. ISBN 978-80-86726-64-9. (in Slovak)
12. STN 46 1025: 2001. Moisture meters for cereal grains and oilseeds. Technical requirements.
13. STN EN ISO 24333/AC: 2010. Cereals and cereal products. Sampling.
14. STN EN ISO 520: 2011. Cereals and pulses - Determination of the mass of 1000 grains.
15. STN EN ISO 712: 2010. Cereals and cereal products. Determination of moisture content. Reference method.
16. Vermeulen G.D., Tullberg, J.N., Chamen, W.C.T. 2010. Controlled Traffic Farming. In: D. Athanasios & T. Bartzanas, eds. *Soil Engineering*, Springer Verlag, Soil Biology series, ISSN 1613-3382, ed Prof. Dr. Ajit Varma, pp 101 – 120.

Contact address:

doc. Ing. Miroslav Macák, PhD.

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Technická fakulta, Ústav poľnohospodárskej techniky dopravy a bioenergetiky, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko

POSSIBILITIES OF DETERMINING THE FRACTION OF WOOD CHIPS BY IMAGE ANALYSIS

MARTIN MADĚRA, FRANTIŠEK KUMHÁLA

University of Life Sciences Prague, Faculty of Engineering, Department of Agricultural Machines

Abstract: This article focuses on the evaluation of the quality of wood chips that are used to produce electricity or heat. The evaluation of the quality of wood chips is carried out by a method based on the image analysis of a colour photograph. The Sedimetrics digital Gravelometr software, which was developed by scientists at Loughborough University and published by MALTAB®, is used for image analysis. The software uses grayscale conversion of the digital photo, then radial optical distortion correction is performed. Threshold values from the brightness histogram are determined, and the entire image is converted to a binary image, from which, according to the number of pixels, the size of the measured particles is converted from pixels to millimetres, according to the photo scale we specified. Measurements by image analysis can only examine the surface of the sample, therefore the entire measurement of one sample consists of 5 digital photos to achieve the most reliable capture of the real state of the wood chips. Thanks to the use of the software, we are able to determine the size of the fraction of the examined sample of wood chips in a matter of minutes.

Keywords: wood chips, image analysis, fractions, fuel quality, biomass power plant

INTRODUCTION

Combustion equipment for solid biomass - from kilowatt furnaces for heating homes to combined production of heat and electricity in the order of megawatts, suffering from the quality of the burned material. When compared to conventional fossil fuels, the quality of the delivered material is very variable with solid biofuels. The low quality of the burned material leads to a low energy value, i.e. the combustion itself is not so efficient and does not provide as much heat and energy. Today, in the industry, the term solid biomass mainly refers to wood biomass, i.e. wood chips. When burning wood chips, it is important to know these parameters such as fraction, moisture content and admixture content. In the countries of the European Union, the ISO 17225 standard even defines the range in which the properties of wood chips must be, which will then be used to produce electricity and heat. Unfortunately, very often there is a non-compliance with the standard and the wood chips that actually burn do not reach these parameters. Due to the bark beetle calamity, which affected most of the forested area of Central Europe, it was allowed to use wood from tree trunks in the production of wood chips, as the trees affected in this way could not be used for standard use. It had to be used for energy purposes only and wood chips produced were of very high quality. This led many manufacturers to try to reduce the quality, in order to achieve the greatest possible volume of weight of the produced wood chips, they began to mix high-quality chips with low-quality or even waste wood. Often even combinations with soil and straw were created. Unfortunately, economic needs often act as a strong force towards cheaper resources, such as the already mentioned residual or waste wood, bushes, bark or straw. As a result, operators often produce mixtures of "high" and "low" quality [1, 2]. Related to this are the complications associated with the maintenance and operability of the entire incinerator, where due to the low quality of individual wood chips being burned, ash is deposited in the chimney part of the furnace, and parts of the equipment are corroded [3, 4]. Due to the influence of the entire combustion device to the incorrect setting of the incomplete combustion process, which leads to a better production of gases and particles, which are then released into the atmosphere [5]. The size of the fraction is therefore an important parameter for perfect combustion of the material. The tests of the samples themselves for the real size of the fraction of wood chips are based only on the estimate of the operator or are taken as authoritative information from the manufacturer and the size of the fraction declared by him. Unfortunately, according to practical experience, this is very often not true and the actual size of the fraction is different. Therefore, network particle size analysis is used, this method is the most used standardized method. The principle of network analysis is that the material examined by us is gradually sifted through a group of networks using a vibrating device, when the first material falls through a group of networks, when the first material falls through, it is with the largest holes, the size of the holes is reduced by the appropriate distance from the hopper. From this the actual fractional composition of the examined material can be

determined. However, this method is time-consuming and is not possible using the methods of examining each supply of material separately and during the transport of the burned material to the boiler. This necessitates the industry's demand for reproducible methods to assess the quality of combustion of the material prior to combustion itself. Currently, the parameters for setting the combustion boiler are adjusted only after the fuel has been burned, and only when there are data on the calorific value and the generation of waste products. However, not only the manufacturer has an influence on the final condition of the wood chips, but also nature itself and the season of the year greatly affect the condition and quality of the wood chips, when, for example, the moisture content of the wood chips can vary during the summer period, when the moisture content is around 25%. Because of this, the moisture content can be around 45% or even within the borderline value of 55% humidity. Another influence on quality is of course the way the material is stored. When wood chips left in an outdoor landfill reach a different quality than wood chips stored in storage halls or bins. So there are a lot of variables that we need to know in order to achieve a perfect and efficient combustion of wood chips. These values, as already mentioned, are very unstable and often change during the process itself from production to burning of wood chips. This is one of the disadvantages compared to the production of energy from fossil fuels such as black or brown coal. The properties of the coal are largely determined by the area and tunnel where the coal is mined, and the entire deposit has these properties.

A promising method for preliminary evaluation of the quality of wood chips is optical analysis (in the most basic case, image capture through photography) followed by image evaluation. Such technology is capable of running continuously without the need for human intervention or interaction (e.g. by monitoring fuel conveyor belts, feeders or chain conveyors). In addition, it is a non-destructive measurement method that can be easily retrofitted into a transport system for transporting solid biomass. This potentially enables and express determination of the real fraction size of the burned raw material. Contactless analysis of biomass raw materials has been the subject of increasing interest in recent years. Swedish researchers reported that continuous image analysis to characterize biomass fuels was too time-consuming and "tiring" [6]. However, due to the increase in computing resources and new technologies, there may have been a significant change from this point of view. The literature shows different image evaluation techniques for different purposes and applications. The authors in [7] provided a good overview of the optical analysis of particle properties; however, they focus on individual particles instead of particles in large ensembles. Rezaei et al. examined individual wood particles using microscopes, scanners and PC technology [8, 9]. However, there have also been ideas that do not consider the size of the wood chip fraction as a key parameter, but the very distribution of the burned material in the combustion boiler [10]. The shortcomings of image analysis lie in two-dimensional analysis, when we omit the third dimension when measuring particles, i.e. the depth of the particle itself [6, 7]. According to Tannous et al. according to the research carried out, can be considered accurate and reliable for the size of the depth of the particle consider a value of 30% of its particle width [11]. The problem cannot be solved by the 3D analysis method already developed today, since the material is transported and stored in bulk, so it is not possible to use 3D analysis to analyse the particles inside the bulk material [12].

Most researchers dealing with the issue of particle size determination, whether for wood chips or other materials, agree that the most promising method in the future is precisely image analysis, which can identify a large number of variable parameters and, based on the information obtained, then mathematically calculate and model the real fraction of the investigated material. It appears from the literature that image analysis in combination with mathematical modelling software can be one of the main non-destructive methods for real and immediate determination of the particle size, i.e. the size of the fraction in wood chips. Currently, we already have some software that is able to determine the particle size of different materials. For example, the Sedimetrics digital Gravelometr software, which is commonly used in research projects investigating the size composition of sediment particles, has good results using image analysis [13, 14].

The main goal of this work is to demonstrate the use of image analysis to determine the fraction size of wood chips using a commercial camera and discriminating graphics software with appropriate accuracy.

MATERIAL and METHODOLOGY

Materials selection and classification

For the experiment, we secured from companies that produce wood chips for energy use. The effort was to ensure as many different samples as possible when it comes to the wood from which the wood chips are then produced, as well as to ensure an extensive size of the wood chip fraction. All of the people we spoke to produced wood chips from wood species that are found in the vicinity of the company's headquarters, so it is not an imported material, but really processing local resources. In practice, according to the companies interviewed, you most often use fractions of 50 mm. We also managed to secure the size of other fractions, but mostly it comes from trees affected by bark beetle calamity, where it is possible to process tree trunks for the production of wood chips. It is therefore not a classically processed material such as branches of low trees and residues from logging. The wood chips for the samples were supplied by the companies: Kovosteel s.r.o., which supplied sample number 1 and 6, the wood comes from the recultivation project of the blind arm of the Morava River, so it is wood species found in the vicinity of rivers. Sawmill Mendl Medlovice supplied samples 2 and 4, these are wood originating from residues after logging in the forest and from residues during further processing at the sawmill. SÚS Uherské hradiště supplied wood chips that come from the processing of wood waste at their collection yard. The last company Lesy ČR, s.p. with headquarters in Buchlovice supplied wood chips from conifers affected by bark beetle blight. Table 1 summarizes the information and parameters found on the investigated wood chip samples.

Table 3 Wood chips samples

Sample number	Type of wood chips	Fraction size [mm]
1.	Linden, Birch	50
2.	Spruce, Pine	50
3.	Waste wood	Not specified
4.	Oak, Beech	30
5.	Spruce – Bark Beetle	10
6.	Invasive trees	50
7.	Spruce	30

Each sample was divided into 5 separate samples due to the proposed methodology.

Image Capturing

For taking photos that were subsequently used for image analysis. There was an effort to create the most realistic conditions for laboratory measurements, which would be as close as possible to the conditions in industry. Widely available camera Canon EOS 600D camera with a resolution of 18 mega pixels was chosen. Thanks to its parameters and capabilities, it is suitable for universal use in heating plants, thermal power plants, and also for smaller combustion devices. All images were taken with natural light from the windows, supplemented by commercial lighting in the room. The sample was laid out in a created grid with known dimensions. The camera was placed above this grid to achieve even distribution of the photo and to avoid distortion of the photo due to the angle of the camera.



Figure 6 Digital photograph showing sample 5, group 1

Image Processing

The Sedimetrics Digital Geavelometer program was chosen for image processing and analysis. Identifying and measuring grains is an eight-step process. The first step is to select the particles and then convert them from a digital image to a grayscale image.

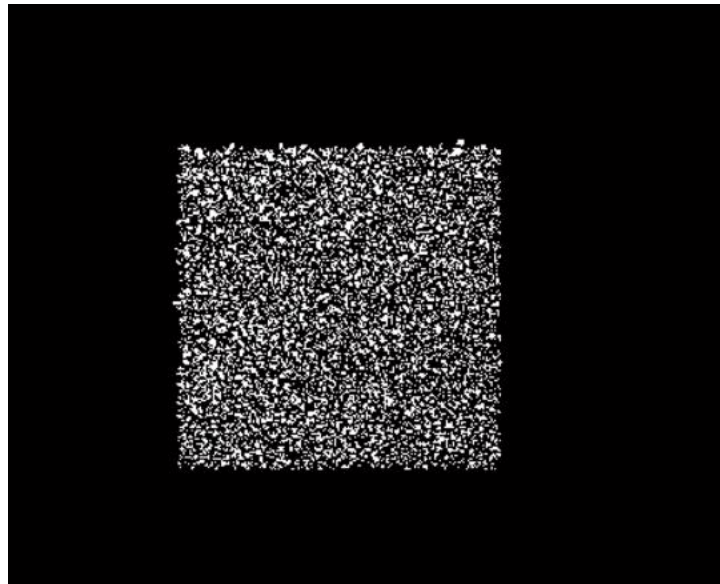


Figure 7 Particle selection and conversion to grayscale

In the second stage, there is a radial correction, which must be applied due to rotation distortion due to the lens in the camera. Radial correction corrects image distortion caused by lens curvature. Radial distortion is the most significant lens distortion associated with non-metric cameras. Distortion varies between cameras and at different focal lengths. While the effect of radial distortion on the inferred article size distribution is likely to be small, it can be significant for some cameras at certain focal lengths. A new grayscale image is created to include this correction.

The third stage applies the projective transformation. A projective transform is applied to the image to correct for a camera axis that is not perfectly vertical over the centre of the sample field. This transformation resamples the image and requires the specification of the sampling resolution (number of pixels and mm) The software automatically calculates a suitable value to keep the image resolution approximately constant. The output of this phase is a rectified image in grayscale.

Stage four converts the grayscale image to a binary (black and white) image in which particles are represented in white and gaps in black. This phase consists of three steps. Digital noise is reduced by using a median filter. The filter size setting is 5 x 5 pixels, but the filter setting can be changed to suit the usage. A larger filter reduces digital noise, but results in a slight blurring of the image. Gaps are enhanced by applying a morphological filter. The filter we set is a disc with a radius of 15 pixels, but the size can be changed. The purpose of the filter is to highlight small dark areas in the image that represent gaps, without highlighting large dark areas, dark-coloured particles may be mistaken for gaps. Increasing the size of the structuring element may increase the number of excluded particles, while decreasing its size may lead to insufficient enlargement of some gaps. The enhanced image is converted into two binary images containing threshold values at two different intensity values. Values are defined as percentiles of the intensity and frequency distribution. A threshold value of 1 is designed to identify all gaps in the image, but is also likely to contain some intra-grain noise. A threshold of 2 is designed to identify only the darkest points in the image that definitely represent gaps. The two binary images are combined to form a third binary image that contains only those gaps from the first image that are associated with gaps in the second image.

In the fifth phase, particles are separated at the point of contact with other particles. It is common for those regions that represent particles in the resulting binary image to actually be two or more connected particles. The binary image is further segmented by applying the watershed transformation. This can lead to significant over-segmentation of the image. An intermediate step in the watershed

transformation is image smoothing by applying the h-minimum transformation. The intensity of this smoothing is controlled by the minimum suppression parameter, whose default value is 1. Decreasing this value will lead to increased oversegmentation of particles, increasing it may result in a failure to separate touching particles. The output of the watershed segmentation is the final binary representation of the particles in the original image.

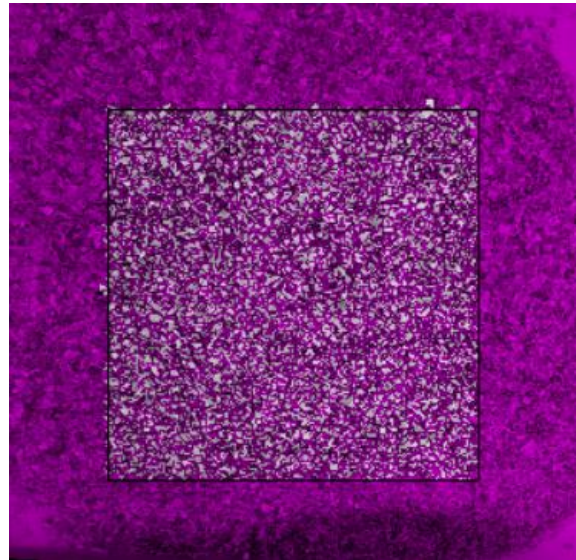


Figure 8 Image after radial correction

Thumbnail



Site name:
1_2
Sample ID:
2
Open image in viewer

Grain measurement information

Processing undertaken: 24-Apr-2023 10:18:30
Duration of processing: 28 seconds
Operator:

Custom/default parameters: Default options selected
Lens correction: None
Pixels per mm: 4.2989 pixels
Median filter size: 5 pixels
Threshold 1: 35 %
Threshold 2: 1 %
Structuring element size: 15 pixels
Minima suppression value: 1
Include grains along: top, left edges

Figure 9 Information for final particle size measurement

The sixth phase focuses on the selection of particles for measurement. Those particles that lie within the measurement area defined by the control points are now selected for measurement. Since either including or excluding all particles crossing the boundary of the sampling region will result in size bias (against and in favor), it is best to include particles crossing half the perimeter and exclude the rest. By default, particles lying along the top and left edges of the sampling area are included. The output of this step is a binary image containing only those particles that are inside the measurement window we set.

In the seventh phase, the particle measurement itself takes place. The selected particles are now measured. Information on particle size, orientation, shape and area is recorded. For now, particles are measured and reported in pixels. The final eighth stage converts particle sizes from pixels to millimeters using a known display scale.

RESULTS and DISCUSSION

The measurement results for all the samples examined by us do not contain serious deviations from the size of the fraction indicated by the manufacturer. The most accurate agreement with the measured values can be observed in sample number 5. The 10 mm fraction is included in the measured sample by approximately 70 %. The majority consists of fractions with a size of 15 and 20 mm. Although, according to the measurements, we get approximate stairs with the size of the fraction declared by the manufacturer. It often matches approximately 50 % of the measured content in most cases. The rest of the sample consists of fractions around the declared fraction. If we consider the surrounding fractions acceptable, our experiment will be around 85 % of the measurement accuracy with the declared values. However, the difference between the size of the fraction seems small, but it is necessary to take into account the overall efficiency of the combustion boiler, when even a deviation from the declared and actual state can cause economic damage, increased wear and tear of the boiler. incinerators or increased production of harmful substances into the air. The Sedimetrics digital Gravelometer software, developed by researchers from Loughborough University, was used for image analysis. The software works on the principle of graphic and mathematical image modeling. Table 9 shows the measured values compared to the declared values from the manufacturer.

Table 2 Table with the percentage representation of the size of the fraction in the 1st sample

	Faction size 1st sample									
measurement	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm
1.	0,00 %	33,92 %	43,47 %	14,81 %	3,50 %	2,55 %	0,64 %	0,80 %	0,16 %	0,16 %
2.	0,00 %	27,14 %	41,03 %	25,78 %	0,16 %	0,00 %	3,67 %	1,11 %	1,11 %	0,00 %
3.	0,00 %	14,30 %	38,79 %	32,02 %	7,55 %	5,11 %	1,91 %	0,16 %	0,16 %	0,00 %
4.	0,00 %	34,81 %	40,19 %	17,16 %	4,82 %	1,02 %	1,86 %	0,07 %	0,00 %	0,07 %
5.	0,00 %	31,43 %	42,68 %	11,99 %	3,80 %	1,17 %	0,69 %	6,47 %	1,49 %	0,10 %
Average	0,00 %	28,32 %	41,23 %	20,35 %	4,00 %	1,97 %	1,75 %	1,85 %	0,59 %	0,07 %

Table 3 Table with the percentage representation of the size of the fraction in the 2nd sample

	Faction size 2nd sample									
measurement	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm
1.	0,00 %	34,41 %	42,09 %	14,27 %	5,88 %	2,28 %	0,84 %	0,12 %	0,12 %	0,00 %
2.	0,00 %	31,70 %	39,87 %	9,39 %	4,18 %	5,41 %	0,72 %	0,26 %	0,00 %	0,25 %
3.	0,00 %	37,18 %	36,65 %	21,60 %	3,17 %	0,70 %	0,70 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
4.	0,00 %	29,61 %	46,12 %	11,86 %	2,93 %	3,29 %	2,11 %	2,08 %	1,56 %	0,34 %
5.	0,00 %	19,49 %	34,50 %	39,07 %	0,43 %	4,15 %	1,36 %	0,00 %	1,00 %	0,00 %
Average	0,00 %	30,48 %	39,85 %	19,24 %	3,32 %	3,17 %	1,15 %	0,49 %	0,54 %	0,12 %

Table 4 Table with the percentage representation of the size of the fraction in the 3rd sample

	Faction size 3rd sample									
measurement	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm	90 mm	100 mm
1.	14,39 %	32,68 %	16,02 %	9,67 %	9,43 %	6,12 %	5,69 %	5,73 %	0,17 %	0,00 %
2.	13,28 %	27,69 %	17,7 %	12,44 %	10,9 %	11,38 %	6,25 %	0,00 %	0,36 %	0,00 %
3.	11,14 %	31,82 %	20,61 %	15,37 %	13,84 %	4,53 %	2,5 %	0,19 %	0,00 %	0,00 %
4.	9,64 %	39,47 %	31,01 %	10,25 %	8,11 %	1,4 %	0,12 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
5.	17,61 %	24,19 %	35,22 %	14,29 %	7,69 %	2,68 %	0,00 %	1,32 %	0,00 %	0,00 %
Average	13,21 %	31,17 %	24,11 %	12,40 %	9,99 %	5,22 %	2,91 %	1,81 %	0,11 %	0,00 %

Table 5 Table with the percentage representation of the size of the fraction in the 4th sample

	Faction size 4th sample									
measurement	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm
1.	53,65 %	23,37 %	10,45 %	4,41 %	3,43 %	1,63 %	1,20 %	0,87 %	0,22 %	0,38 %
2.	45,22 %	29,17 %	9,75 %	6,34 %	6,34 %	2,31 %	0,80 %	0,06 %	0,00 %	0,00 %
3.	51,88 %	27,41 %	12,79 %	5,43 %	2,10 %	0,32 %	0,07 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
4.	47,92 %	22,41 %	11,17 %	7,36 %	4,82 %	4,02 %	1,41 %	0,89 %	0,00 %	0,00 %
5.	50,61 %	30,73 %	8,40 %	5,67 %	3,80 %	0,40 %	0,39 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Average	49,86 %	26,62 %	10,51 %	5,84 %	4,10 %	1,74 %	0,77 %	0,36 %	0,04 %	0,08 %

Table 6 Table with the percentage representation of the size of the fraction in the 5th sample

	Faction size 5th sample									
measurement	10 mm	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm
1.	69,04 %	23,23 %	6,61 %	1,02 %	0,07 %	0,00 %	0,02 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
2.	72,52 %	19,79 %	4,63 %	2,27 %	0,59 %	0,16 %	0,04 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
3.	68,44 %	20,33 %	5,91 %	2,02 %	2,65 %	0,65 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
4.	70,63 %	17,80 %	9,84 %	1,46 %	0,16 %	0,11 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
5.	71,96 %	21,31 %	2,28 %	1,99 %	1,46 %	0,68 %	0,32 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Average	70,52 %	20,49 %	5,85 %	1,75 %	0,99 %	0,32 %	0,08 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Table 7 Table with the percentage representation of the size of the fraction in the 6th sample

	Faction size 6th sample									
measurement	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	45 mm	50 mm	60 mm	70 mm
1.	51,23 %	23,45 %	11,43 %	4,91 %	3,22 %	2,29 %	1,35 %	0,93 %	0,76 %	0,42 %
2.	50,11 %	29,59 %	7,73 %	6,20 %	4,76 %	0,32 %	0,32 %	0,97 %	0,00 %	0,00 %
3.	47,82 %	21,31 %	16,12 %	4,75 %	2,14 %	1,81 %	0,84 %	1,02 %	0,61 %	0,37 %
4.	48,92 %	26,41 %	9,59 %	7,08 %	4,11 %	1,02 %	0,89 %	1,11 %	0,89 %	1,00 %
5.	53,83 %	30,30 %	8,68 %	2,98 %	1,21 %	1,67 %	1,33 %	0,00 %	0,00 %	0,00 %
Average	50,38 %	26,21 %	10,71 %	5,18 %	3,09 %	1,42 %	0,95 %	0,81 %	0,45 %	0,36 %

Table 8 Table with the percentage representation of the size of the fraction in the 7th sample

	Faction size 7th sample									
measurement	15 mm	20 mm	25 mm	30 mm	35 mm	40 mm	50 mm	60 mm	70 mm	80 mm
1.	58,72 %	23,24 %	9,54 %	3,38 %	2,43 %	1,04 %	0,61 %	0,61 %	0,26 %	0,18 %
2.	42,68 %	31,14 %	8,33 %	7,78 %	6,08 %	3,12 %	0,80 %	0,07 %	0,00 %	0,00 %
3.	46,51 %	39,37 %	6,29 %	2,82 %	3,01 %	1,23 %	0,07 %	0,70 %	0,00 %	0,00 %
4.	38,22 %	46,81 %	9,79 %	3,16 %	1,01 %	0,00 %	0,71 %	0,30 %	0,00 %	0,00 %
5.	40,93 %	40,65 %	7,38 %	4,29 %	2,18 %	2,96 %	0,35 %	0,27 %	0,66 %	0,33 %
Average	45,41 %	36,24 %	8,27 %	4,29 %	2,94 %	1,67 %	0,51 %	0,39 %	0,18 %	0,10 %

Table 9 Comparison of measured values with declared values

	Sample number						
Value type	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Declared value	30 mm	30 mm	not specified	20 mm	8 mm	20 mm	20 mm
Measured value (compliance) [%]	89,90 %	89,57 %	68,49 %	76,48 %	91,01 %	87,30 %	89,92 %

CONCLUSION

This paper investigated and demonstrated a method for evaluating size fraction quality in wood chips using image analysis. The method was designed with a view to future application in an industrial environment in which wood chips are processed to produce electricity or heat. The effort was to get as close as possible to the real state of the industrial environment in the laboratory environment and thus take into account possible errors or inaccuracies caused by the environment itself. The overall procedure

and results of the experiment lead us to the conclusion that it is possible to use image analysis to determine the real size of the wood chip fraction in minutes. From seven measurements, all values were measured with approximately 85 % accuracy.

A recommendation for further research is to continue measuring more wood chip samples. Next, try using other software for image analysis, if it is not possible to achieve greater accuracy. Determine the economic impact if we set the boiler combustion parameters with an accuracy of 85% to the real state of the fuel being burned. By how much will the calorific value of wood chips per unit weight decrease and how much will the financial loss be in the event of an imperfect setting of the combustion boiler.

References

1. LOKARE, S.S.; DUNAWAY, J.D.; MOULTON, D.; ROGERS, D.; TREE, D.R.; BAXTER, L.L. Investigation of ash deposition rates for a suite of biomass fuels and fuel blends. *Energy Fuels* 2006, 20, 1008–1014. [CrossRef]
2. ERIKSSON, G.; HEDMAN, H.; BOSTROM, D.; PETTERSSON, E.; BACKMAN, R.; OHMAN, M. Combustion characterization of rapeseed meal and possible combustion applications. *Energy Fuels* 2009, 23, 3930–3939. [CrossRef]
3. PLANKENBUHLER, T.; MULLER, D.; KARL, J. Influence of Fine Fuel Particles on Ash Deposition in Industrial-Scale Biomass Combustion: Experiments and Computational Fluid Dynamics Modeling. *Energy Fuels* 2019, 33. [CrossRef]
4. PLANKENBUHLER, T.; MULLER, D.; KARL, J. Slagging prevention and plant optimisation by means of numerical simulation. In *Proceedings of the 25th European Biomass Conference & Exhibition, Stockholm, Sweden, 12–15 June 2017*; pp. 653–659. [CrossRef]
5. SCHON, C.; KURPTZ, D.; MACK, R.; ZELINSKI, V.; LOEWEN, A.; HRATMANN, H. Influence of wood chip quality on emission behaviour in small-scale wood chip boilers. *Biomass Conv. Bioref.* 2019, 9, 71–82. [CrossRef]
6. PAULRUD, S.; ERIK, J.; NILSSON, C. Particle and handling characteristics of wood fuel powder: Effects of different mills. *Fuel Process. Technol.* 2002, 76, 23–39. [CrossRef]
7. RODRIGUEZ, J.M.; EDESKAR, T.; KNUTSSON, S. Particle Shape Quantities and Measurement Techniques—A Review. *EJGE* 2013, 18, 169–198.
8. REZAEI, H.; LIM, C.J.; LAU, A.; SOKHANSANI, S. Size, shape and flow characterization of ground wood chip and ground wood pellet particles. *Powder Technol.* 2016, 301, 137–146. [CrossRef]
9. IGATHINATHANE, C.; PORDESIMO, L.O.; COLUMBUS, E.P.; BATCHELOR, W.D.; SOKHANSANI, S. Sieveless particle size distribution analysis of particulate materials through computer vision. *Comput. Electron. Agric.* 2009, 66, 147–158. [CrossRef]
10. FERRARI, Lorenzo, Gianluca CAPOSCIUTTI, Martin HIGL, Bernhard MÜLLER, A. KALFAS, L. FERRARI a D. ŠIMURDA. Biomass woodchip tracking by image analysis in a model of a fixed bed combustor. *E3S Web of Conferences*. 2022, 345. ISSN 2267-1242. Dostupné z: doi:10.1051/e3sconf/202234502004
11. K. TANNOUS, P.S. LAM, S. SOKHANSANI, J.R. GRACE, Physical Properties for Flow Characterization of Ground Biomass from Douglas Fir Wood, *Particulate Science and Technology*, 31 (2012) 291-300
12. N.A. RILEY, Projection sphericity, *Journal of Sediment Research*, 11 (1942) 94-95.
13. GRAHAM, D.J., REID, I. & RICE, S.P. Automated Sizing of Coarse-Grained Sediments: Image-Processing Procedures. *Math Geol* 37, 1–28 (2005). <https://doi.org/10.1007/s11004-005-8745-x>
14. L.C. SIME, R.I. FERGUSON; Information on Grain Sizes in Gravel-Bed Rivers by Automated Image Analysis. *Journal of Sedimentary Research* 2003;; 73 (4): 630–636. doi: <https://doi.org/10.1306/112102730630>

Contact address: Ing. Martin Maděra, Department of Agricultural Machines, Faculty of Engineering, Czech University of Life Sciences Prague, Kamýcká 129, 165 00 Prague, Czech Republic; maderam@tf.czu.cz

MOŽNOSTI ENERGETICKÉHO VYUŽITIA ODPADOVEJ BIOMASY Z VINOHRADOV

JURAJ MAGA

Ústav poľnohospodárskej techniky dopravy a bioenergetiky, SPU v Nitre

Abstract: Vinohrady boli súčasťou poľnohospodárstva aj v minulých storočiach. Vinárstvo na Slovensku má významnú históriu a tradíciu. Z hľadiska celkovej rozlohy ornej pôdy vinohrady nám tvoria 1,9 % z celkovej plochy. Kvôli klimatickým podmienkam v jednotlivých regiónoch, pestovanie a úroda sa mierne líši na celom Slovensku. V poslednom období väčšina pestovateľov začína využívať odpadovú biomasu po jarnom reze vinohradov na energetické účely. Najefektívnejšie je možné odrezanú časť viniča spaľovaním premeniť na tepelnú alebo následne na elektrickú energiu. Na takéto využitie sa používajú buď zberové a dezintegračné stroje alebo lisovacie zariadenia. Tento článok sa zaoberá možnosťami využitia odpadovej biomasy po jarnom reze viniča v podmienkach malej firmy na pestovanie viniča Bartal – VIN s.r.o.

Keywords: biomasa, vinič, jarný rez, energetické využitie biomasy

ÚVOD

Odpadová dendromasa, ktorá vzniká pri jarnom reze viniča, je výborným palivom, ktoré v minulosti využívalo vidiecke obyvateľstvo na prevádzku pecí na chlieb a pecí, ktoré vykurovali domy. Lacné a pohodlné fosilné palivá neskôr nahradili tento druh energetickej biomasy. Odpad po jarnom reze viniča tak zostal vo vinohradoch a bol spaľovaný bez energetického využitia. V období veľkovýroby hrozila odpadová dendromasa vinárom značné problémy. Svojho času sa drvil a zapracovával do pôdy v medziríadkoch, aby sa zvýšil obsah humusu v pôde. Neskôr sa ukázalo, že to naozaj nie je dobré riešenie, pretože choroboplodné zárodky, ktoré sa usadili na strapcoch ako aj na prútoch ošetrovanie prežijú a vinič ďalej poškodzujú. Do popredia sa opäť dostalo spaľovanie. V čase jarného rezu sa odrezané prúty viniča z medziríadkov sú vytlačané pomocou radlice traktora, alebo vidlíc na manipuláciu, ktoré možno pripevniť na traktory. Tento materiál sa potom sústredil a vo vhodnom čase sa spálil. Ničili sa tak patogény, ktoré sa usadili na viničných prútoch, ale zároveň znečistili ovzdušie splodinami horenia. Zvyšný popol s relatívne vysokým obsahom draslíka sa zapracuje do pôdy vo vinohrade alebo sa použije na ornej pôde.

MATERIÁL a METODIKA

Pri jarnom reze strihači vynášajú rezané prúty viniča do riadkov z oboch strán. Pri dobrej organizácii práce sa množstvo odrezaných prútov viniča nazbiera v každom druhom riadku. Túto odpadovú biomasu sa oplatí nechať niekoľko dní odležať – najmä ak je vonkajšia teplota priaznivá – pretože prúty viniča môžu pomerne rýchlo vyschnúť, a to je priaznivé z hľadiska ďalšieho využitia. V zatrávnených radoch môžu odrezané prúty zostať v radoch dlhšie, pretože nebráni následným pracovným operáciám, ako v prípade obrábaných riadkov.

Na uvedenej firme sa sledoval jarný rez, zisťovala sa priemerná hmotnosť odrezaných prútov na jeden koreň a následne sa to prepočítalo na jeden hektár. Okrem toho sa zisťovala výhrevnosť tejto odpadovej biomasy, ako aj prvkové zloženie viničného prúti.

VÝSLEDKY a DISKUSIA

Charakteristika podniku Bartal – VIN s.r.o.

Rodinná firma Bartal – VIN s.r.o. sa zaoberá pestovaním viniča vo vlastných vinohradoch, a aj následnou produkciou vlastného vína. Sídlo firmy je zaregistrované vedľa Šamorína, čo sa nachádza medzi Bratislavou a Dunajskou Stredou. Na tomto území Slovenska sa už dávno zaoberajú pestovaním viniča.

Tradícia pestovania vinohradov v Šamorínskom regióne siaha do 50-tych rokov minulého storočia. Nadväzuje na ňu aj spomínaná firma, ktorá bola zaregistrovaná v roku 2003. Napriek tomu, že firma je ešte pomerne mladá, majitelia majú viac ako 25 ročné praktické skúsenosti z oblasti pestovania

viniča a výroby vína. Vďaka kvalitným poľnohospodárskym pôdam pestovatelia majú možnosť pestovať kvalitné hrozno a vyrobiť cenné vína. Výmera vlastných vinohradov je 16,7 ha, kde sú pestované nasledovné odrody:

- Rizling rýnsky (5 ha),
- Frankovka modrá (8,1 ha),
- Zweigeltrebe (1,8 ha),
- Poklad Panónie (1,8 ha).

Spoločnosť má ešte prenajaté viac ako 8 ha pôdy na pestovanie viniča.



Obrázok 1 Firma Bartal - VIN s.r.o.

Rodinné vinárstvo Bartal-VIN s.r.o. hospodári na celkovej výmere 25 ha. Na celej výmere je odpad po jarnom reze rozdrvený. V tomto prípade musia dávať väčší pozor na ochranu rastlín, lebo zostanú plesňové ochorenia na mieste z odrezaných prútov révy vínnej. Podľa spomínaných údajov a merania v podniku produkcia drevného odpadu vo firme dosiahne 2,1 t.ha⁻¹ na výmere 25 ha. S rezervou počítaná minimálna ročná produkcia je 50 t drevného odpadu. V minulosti odrezaný odpad bol spálený na konci radov.

V dnešnej dobe takéto spaľovanie viničných prútov nie je dovolené, a preto musia používať iné spôsoby využitia. Spoločnosť vlastní jedno mulčovacie zariadenie typu Berti TFB/Y 180, ktoré je používané na rozdrvenie vzniknutého odpadu v jarných mesiacoch. Po tejto úprave drevný odpad v medziradiach sa časom rozloží.



Obrázok 2 Jarný rez viniča vo firme Bartal - VIN s.r.o.

Viničné prútie ako odpadová biomasa pre vinohradníctva môže byť významným energetickým zdrojom pre miestne využitie. Výhrevnosť 1 kg tejto biomasy je 17-18 MJ, teda približne 5 kWh, čo

zodpovedá 0,576 m³ zemného plynu, alebo 0,432 kg ropného ekvivalentu, t.j. v príslušnom spaľovacom zariadení. Spálením 1 kg biomasy po reze viniča možno ušetriť 0,576 m³ plynu alebo 0,432 kg vykurovacieho oleja. Jeden m³ zemného plynu sa dá nahradiť v priemere 1,74 kg tejto odpadovej biomasy a 1 liter vykurovacieho oleja zas spálením 2,31 kg tejto biomasy.

Keď sa berie do úvahy, že výmera vinohradov na Slovensku je približne 8000 ha (ešte v roku 1989 to bolo okolo 30 000 ha) a priemerné množstvo drevnej biomasy po jarnom reze je 2,1 t.ha⁻¹. Po úprave dostaneme, že ročná produkcia biomasy vo vinohradoch v SR je takmer 16 800 ton. Takéto množstvo nie je zanedbateľné ani z energetického hľadiska a pri výrobe tepla by bolo schopné nahradiť až 8,35 mil.m³ zemného plynu.

Výhrevnosť čerstvo odrezaných prútov viniča sa nachádza v rozmedzí 13 – 14 MJ.kg⁻¹. Po zbere drevný odpad časom sa vysuší, dôsledkom čoho sa zvýši výhrevnosť na 17 – 18 MJ.kg⁻¹. Výhrevnosť 1 kg odpadu z vinohradov je schopný nahradiť energiu až 0,576 m³zemného plynu alebo 0,432 kg vykurovacieho oleja.

Tabuľka1 Namerané a vypočítané hodnoty energetickej biomasy viniča

Názov	Hodnota
Výhrevnosť pri reze	13-14 MJ/kg / 3,9 kWh/kg
Výhrevnosť v suchom stave	17-18 MJ/kg / 5 kWh/kg
Ekvivalent zemného plynu v suchom stave	0,576 m ³ /kg
Ekvivalent vykurovacieho oleja v suchom stave	0,432 kg/kg
Náhrada zemného plynu	1,74 kg/m ³ zemný plyn
Ekvivalent vykurovacieho oleja	2,31 kg/kg vykurovací olej
Vzniknuté množstvo v rámci SR	15 700 t
Energetická hodnota	195 TJ

Tabuľka2 Prvkové zloženie viničných prútov

Názov – Prvkové zloženie	Hodnota
C	46-47 %
H	6-7 %
O ₂	43-44 %
K	0,25 %
S	0,03 %
Si	0,20 %
Cl	0,006 %
Obsah popola	0,6-1,2 %
Mäknotie popola	1000-1100 °C

Nevyužitý energetický potenciál v podniku

Podľa výpočtov v podniku Bartal – VIN s.r.o. ročne vznikne minimálne 50 t drevného odpadu počas jarného rezu viniča. Keď sa berie do úvahy, že zbieraný odpad bude skladovaný na suchom mieste 2 roky, kým sa dostatočne vysuší a dosiahne približne 20 % vlhkosť môžeme predpokladať, že jeho výhrevnosť sa zvýši aspoň na 16 MJ.kg⁻¹. Z uvedených údajov vyplýva, že v tom malom podniku ročne minimálne 800 GJ tepelnej energie je nevyužitých. Také množstvo by bolo schopné zabezpečiť vykurovanie pre viac ako 8 domácností podľa priemernej ročnej spotreby.

Návrh riešenia

Rodinné vinárstvo Bartal – VIN s.r.o. vedľa vinohradu má aj reštauráciu na víkendové pohostenie. Sídlo firmy sa nachádza mimo mesta, dôsledkom čoho nie je prístupný zemný plyn a v reštaurácii musia používať elektrické kúrenie. Mohli by odpadovú dendromasu spáliť v kotli a vzniknuté teplo využívať na vykurovanie. Majitelia firmy majú taký plán, že vzniknutý odpad z biomasy by chceli využiť ako materiál na spaľovanie v peci a nebolo by potrebné kúpiť palivové drevo. Tým pádom ale firma by musela zabezpečiť lisovací stroj na lisovanie odpadovej biomasy z vinohradov.

Lisy na odpad po jarnom reze viniča

V súčasnosti lisovacie stroje na viničné prúty nie sú veľmi rozšírené na Slovensku. Zariadenia sú schopné lisovať obrovské množstvo odpadu do balíkov, ktoré sa dá jednoducho využiť. Podobne ako aj pre slamu sú vytvorené lisovacie zariadenia na valcové a hranaté balíky. Z konštrukčného hľadiska tieto lisy sú tvorené nosným rámom, jednonápravovým podvozkom, závesom, zberným ústrojenstvom, pracovným a viazacím ústrojenstvom. Pohon funkčných častí je riešený od vývodového hriadeľa a hydrauliky traktora. Lisovacie zariadenie na valcové balíky je schopné po viazaní vytvoriť balíky s priemerom 40 – 60 cm a dĺžkou 60 – 80 cm. Výsledná hmotnosť balíku je závislá od vonkajších parametrov, ktorá je medzi 20 – 35 kg. Z 1 hektára viniča vznikne 70 – 120 balíkov v závislosti od vonkajších rozmerov.



Obrázok 3 Viazaný balík z viničných prútov

Lisovacie stroje na hranaté balíky najčastejšie majú rozmery 1 x 0,5 x 0,5 m s hmotnosťou okolo 45 – 65 kg. V tom prípade z 1 ha vznikne 40 – 55 balíkov. Tieto lisy vyžadujú traktory s minimálnym výkonom 15kW. Pracovná rýchlosť súpravy sa pohybuje okolo 2 – 3 km.h⁻¹ a výkonnosť v závislosti na nastavených podmienkach 0,3 – 0,5 ha.h⁻¹. Vždy podľa daných požiadaviek treba rozhodnúť aké zariadenie by bolo efektívnejšie využívané v danom podniku. Najpoužívannejšie stroje na tieto účely sú: ARBOR (typ – RS 170), CAEB (typ – MP 400 S), CAEB (typ – Quickpower 1234), LERDA (900L), WELGER (RP 320), ABBRIATA.

Viničné prúty majú okrem vysokej výhrevnosti aj vysoký obsah uhlíka (C = 46 – 47 %), kyslíka (O = 43 – 44 %) a veľmi nízky obsah ostatných prvkov: H – 6-7 %, K – 0,25 %, S – 0,03 %, Si – 0,2 %, Cl – 0,006 %.

Lisovací stroj CAEB MP 400 S

Lisovacie stroje CAEB sú vyrábané v talianskej firme. Sú určené na zber odpadov vo vinohradoch a na zber konárov v ovocných sadoch. Zberné zariadenie zbiera a dávkuje odpad do lisovacieho priestoru, kde oceľové valce lisujú materiál do balíkov s priemerom 40 cm a dĺžkou 60 cm. Tento typ je schopný zberať a viazať odrezaný odpad do priemeru 3,5 cm. Pracovný cyklus na vytvorenie jedného balíku je približne 50 sekúnd.

Ročná produkcia drevného odpadu podľa výpočtov v podniku Bartal – VIN s.r.o. je minimálne 50 t. Lisovanie a následné spaľovanie révy je jeden z najlepších foriem využitia. Takou cestou je potrebné vynaložiť menej energie na spracovanie odpadu ako zbieranie po dezintegrácii. Keby bol lisovací stroj nastavený na vytvorenie menších balíkov s hmotnosťou 25 kg, výsledné množstvo balíkov by dosiahlo až 2000 kusov. Také množstvo spaľovacieho materiálu s vlhkosťou 20 % a minimálnou výhrevnosťou 16 MJ.kg⁻¹ by dosiahlo tepelnú energiu až 800 GJ. Pri spaľovaní každého balíka by sa uvoľňovalo 400 MJ tepelnej energie.



Obrázok 4 Lisovací stroj CAEB MP 400 S

ZÁVER

Spoločnosť Bartal – VIN s.r.o. z vyprodukovaného množstva 50 t materiálu na spaľovanie by bola schopná zabezpečiť vykurovanie celej budovy reštaurácie a kancelárie. Najvýhodnejšie by bolo vybudovať kachľovú pec na prízemí reštaurácie a pomocou tepelného výmenníka vytvoriť vykurovací systém na prvom poschodí. Vedľa takého riešenia by vedeli zabezpečiť aj palivo do pece z vlastných zdrojov. Tým spôsobom by bolo zabezpečené aj palivo na nahradenie dreva, ktoré sa v súčasnosti kupuje. Návrhom je zabezpečiť vlastný lisovací stroj CAEB MP 400 S. Pomocou takého riešenia by sa drevný odpad z vinohradov s celkovou energetickou hodnotou 800 GJ jednoducho lisoval, skladoval a vedel by zabezpečiť potrebnú energiu na vlastnú spotrebu.

PodĎakovanie

Táto publikácia vznikla vďaka podpore v rámci Operačného programu Integrovaná infraštruktúra pre projekt: Dopytovo-orientovaný výskum pre udržateľné a inovatívne potraviny, Drive4SIFood 313011V336, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

POUŽITÁ LITERATÚRA

1. ADAMOVSKEÝ, F. – OPÁTH, R. 2012. Ekologické a energetické aspekty využitia biomasy: dizertačná práca. Nitra: SPU v Nitre, 2012. 118 s.
2. MAGA, J. – PISZCZALKA, J. – PEPICH, Š. (2010). Využitie rastlinnej a drevnej biomasy na výrobu tepla. SPU v Nitre. 1. vydanie, ISBN 978-80-552-0511-3.
3. MAGA, J. a kol. 2010. Zelená energia – výzva pre budúcnosť. Nitra: SPU v Nitre, 2010. 133 s. ISBN 978-80-552-0480-2. 0645-5.
4. STAROŇOVÁ, Lenka. 2015. Zariadenia na konverziu biomasy. Nitra: Slovenská Poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2015. 128 s. ISBN 978-80-552-1294-4. 7.
5. OPÁTH, R. – KAŽIMÍROVÁ, V. 2013. Procesná technika. Nitra: Slovenská Poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2013. 152 s. ISBN 978-80-552-1104-6. 8. SOUČEK, J. Drtiče, štěpkovače a řezačky pro úpravu rostlinné biomasy. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. č. 2. 58 s. ISBN 978-80-86884-31-8. 9.
6. ORAVEC, Milan – BARTKO, Martin – SLAMKA, Marián. 2012. Postupy intenzifikácie produkcie drevnej biomasy na energetické využitie [online], 65 s. [cit. 2017-2-15]. Dostupné na: <http14. Energetické centrum Bratislava, OPET Slovensko. Drewný odpad... Čo s ním? [online], 119 s. [cit. 2017-2-26]. Dostupné na:
7. http://ecb.sk/fileadmin/user_upload/editors/documents/Drewný_odpad_a_co_s_nim

Kontaktná adresa:

doc. Dr. Ing. Juraj MAGA
Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre
Tr. A. Hlinku 2, 94901 Nitra
juraj.maga@uniag.sk

ROZDELENIE ZÁKLADNÝCH ŠTIEPACÍCH STROJOV A ZARIADENÍ

JÁN MELICHERČÍK

Katedra environmentálnej a lesníckej techniky, Technická fakulta, Technická univerzita vo Zvolene

Abstract: Heating with solid fuels and mainly wood is one of the traditional and most popular types of heating in cottages, cottages and, of course, homes. Ever-rising energy prices force people to think about other methods of heating even in family houses. Everything looks quite simple until we get to the actual preparation of firewood. Companies dealing with the preparation of firewood ask high sums for its total preparation. Cross-cutting wood in households can be solved either with a motor or electric chainsaw, or with a circular saw (circular saw). But splitting wood requires more physical effort when using classic hand tools such as axes, wedges, etc. Of course, there are machines for this kind of work, and they are wood chippers. They can generate large splitting forces and split any large log, even the most complex shapes. There are wood splitters of various performance categories on the market.

Keywords: wood processing, splitting machines, cutting tool, wood

ÚVOD

Na prípravu palivového dreva potrebujeme silné hrubé, metrové kláty rozštiepať na menšie polená. Na manipulačných skladoch sa používajú štiepačky, pracujúce na princípe zarážania, alebo zatlačovania klinu do dreva v pozdĺžnom smere, čím porušujú súdržnosť drevných vlákien, ktoré sa účinkom tlaku klina oddeľujú. Štiepačky sú mechanické stroje, navrhnuté na štiepanie drevených polien rýchlejšie a bezpečnejšie ako obyčajné sekery. Vo väčšine prípadov fungujú tak, že motorom poháňané čerpadlo vyvíja tlak proti polenu prostredníctvom kovového klinu. Sú bezpečné a jednoduché na obsluhu. Stlačením tlačidla alebo pohybom páky sa ovláda pohyb štiepacieho klinu. Poleno je delené pôsobením tlakovej sily bez potreby rýchleho kinetického pohybu ostria. To je hlavný dôvod prečo je práca s nimi omnoho bezpečnejšia ako pri klasickom ručnom štiepaní. Štiepačky využívajú malé domácnosti ale aj veľké lesnícke drevospracujúce firmy. Štiepačky dreva sa rozlišujú podľa výkonu aký dosahujú, polohy polena pri štiepaní, maximálnej sily akú vyvinú, veľkosti, hmotnosti, mobility, pohonu a veľkosti polena, ktoré je možné spracovať. K správnej a spoľahlivej práci štiepačiek sú rozhodujúce najmä jej výkon, štiepacia sila a konštrukcia stroja. Štiepanie dreva sa uskutočňuje vníkaním symetrického rezného klinu do dreva v smere vlákien. Na začiatku vníkania je klin svojou reznou hranou vtlačaný do dreva a tým rozrezáva vlákna – oddeľuje jednotlivé vlákna od seba. Pri tomto vníkaní rastie sila F_c proporcionálne od hĺbky vníknutia klinu do dreva. V tomto procese štiepania normálové napätie σ_y sa rýchlo zväčšuje (Siklienka a kol. 2012). Pri ďalšom pohybe klinu do dreva sa zväčšuje plocha kontaktu klinu s drevom a stláčanie dreva okolo klinu sa prerušuje. V ohnutých častiach výrezu sa hromadí potenciálna energia.

Keď klin prekoná dĺžku l_0 , drevo sa začína štiepať cestou oddeľovania vlákien a normálové napätie σ_y dosahuje hodnoty medze pevnosti. Ak v ohnutých častiach dreva je potenciálna energia dostatočne veľká, tak v ďalšom štiepaní už netreba tlačiť klin ďalej do dreva, ale drevo sa štiepa do samého konca výrezu. Ak je nedostatočná, je nevyhnutné klin posúvať ďalej do výrezu. Priebeh procesu štiepania závisí od vzťahu hrúbky výrezu k jeho dĺžke.

Štiepacia plocha nie je rovinou, ale plochou povyrývanou a ani odštiepený diel nemá objemovo rovnomerný tvar (jeho povrch je obrazom priebehu vlákien a polohy drevených častíc), v pôvodnom celom dielci. Technologicky je významné, že sa dĺžková väzba vlákien pri štiepaní neporušuje, čo je zvlášť dôležité pri dielcoch namáhaných na ohyb (napr. ohýbaný sedací nábytok, športové náradie, drevené kolesá, sudy, atď.) (Barčík Š. and Gašparík M. 2014, Orłowski K.A., a kol. 2014).

Štiepacie stroje a ich rozdelenie :

Podľa spôsobu premiestňovania sa delia na:

- stacionárne – tvoria štiepaciú linku alebo výrobnú linku.
- prevoznú – po nahromadení drevenej hmoty sa prepraví na miesto štiepania.

Podľa polohy štiepaného kusa:

- horizontálne
- vertikálne
- šikmé

Podľa druhu podávacieho ústrojenstva:

- reťazové
- kľukové
- hydraulické

Podľa spôsobu podávania:

- s priamočiarym vratným pohybom štiepacieho klina
- s pozdĺžnym podávaním štiepaného kusa

Podľa konštrukcie klina ich rozdeľujeme :

- s plochým klinovým nástrojom (sekera)
- s kužeľovým klinom závitovým
- s viacramenným klinom

Štiepacie klíny môžu byť:

- pohyblivé
- pevné
- ploché
- kužeľové
- s rotačným pohybom
- s priamočiarym pohybom
- štiepanie čeľust'ami

Podľa pohonu:

- manuálny – rukou, nohou
- motorový – elektromotor, spaľovací motor
- od iného zariadenia – krútiacim momentom, tlakom z čerpadla inej sústavy

Štiepacie stroje pracujú na princípe ručného štiepania dreva. Je to vlastne vrážanie klina medzi drevné vlákna a ich následné oddeľovanie od seba. Pri ručnom štiepaní sa využíva kinetická energia štiepacej sekery. Pri strojnom štiepaní sa využíva hlavne mechanický tlak, ktorý pôsobí na klin a ten na drevo.

Všetky dnes používané štiepacie stroje využívajú princíp zarážania, zavrtávania, alebo zatlačovania klina do dreva v pozdĺžnom smere, čím porušujú súdržnosť drevných vlákien, ktoré sa od seba v určitej rovine oddeľujú. Pre veľkú súdržnosť drevných vlákien je potrebná aplikácia veľkých hydraulických prietokov. Pri strojovom štiepaní vznikajú rázy, a preto musia mať tieto stroje masívnu konštrukciu. Na manipulačných skladoch prevládajú stacionárne štiepacie stroje. Tvoria štiepacie linky , alebo sú zapojené priamo do výrobné linky. Tu majú väčšie zastúpenie štiepačky s horizontálnou polohou štiepaného výrezu. Vertikálne uloženie štiepaného kusa je výhodnejšie použiť pre menšie dĺžky výrezov ako palivové drevo. Najčastejšie typy štiepacích strojov používajú hydraulické podávacie ústrojenstvo. Ich konštrukcia je jednoduchá a dosahujú sa nimi vysoké tlaky pri potrebe pomerne nízkeho výkonu hnacieho motora hydro-generátora. Reťazové štiepacie stroje nepoužívajú kinetickej energie a k dosiahnutiu vyšších tlakov na kline potrebujú veľmi výkonný hnací motor. Ich konštrukcia musí byť rovnako veľmi masívna. Podľa spôsobu podávania sa najčastejšie štiepacie stroje delia na stroje s priamočiarym vratným podávaním štiepacieho klina a s pozdĺžnym podávaním štiepaného kusa. Prvý spôsob podávania používajú štiepacie stroje hydraulické a kľukové, druhého potom stroje reťazové. Každý typ štiepacieho stroja má určité prednosti a nedostatky, ktoré je nutné dôkladne zvážiť pred jeho zavedením na manipulačný sklad tak, aby boli podľa príslušných podmienok využité predovšetkým jeho prednosti. Štiepacie stroje pracujú na princípe ručného štiepania dreva, t.j. vrážanie klina medzi drevné vlákna a ich oddeľovanie od seba (Mikleš M. a kol.2011) .



Obrázok 1 Vertikálne a horizontálne štiepacie zariadenie (Scheppach HL 1050 .s.r.o)

MATERIÁL a METÓDY

V súčasnosti sa na trhu ponúka veľké množstvo štiepacích strojov a zariadení s rôznymi technickými parametrami, ktoré často zohrajú hlavnú úlohu pri ich výbere. Technické parametre ako štiepaci tlak a hmotnosť, sú pozorované najčastejšie v súvislosti s priemerom štiepanej dreveniny. Priemer štiepanej dreveniny je zohľadňovaný podľa spaľovacieho kotla alebo iného zdroja vykurovania na pevné palivo. Na trhu nájdete horizontálne a vertikálne štiepačky dreva. V niektorých parametroch sú si podobné, no odlišujú sa svojou konštrukciou a tlakom, ktorý dokážu vyvinúť.

Horizontálne štiepačky dreva

Horizontálne štiepačky štiepia drevo vo vodorovnej polohe. Ich motor sa zvyčajne nachádza v prednej alebo v spodnej časti. Na vrchu je miesto pre piest, ktorý tlačí klát na klin. Ide o skladné stroje, ktoré sú zväčša lacnejšie a ľahšie (od 40 do 60 kg). Podstatné je zamerať sa na modely s kolieskami a s pevnou základňou. Odporúčajú sa pre používateľov, ktorí potrebujú štiepať drevo s objemom približne 10 m³ určeného do krbu. Ak chcete predísť ich poškodeniu, nepreťažujte ich. Kláty by nemali mať viac ako 45 cm, priemer by nemal byť väčší ako 25 cm.

Vertikálne štiepačky dreva

Polená sa do vertikálnych štiepačiek vkladajú na výšku a sú štiepané podobne, ako pri sekaní sekerou. Vertikálne štiepačky sú podstatne väčšie a ťažšie ako horizontálne kúsky. Bežne majú cez 100 kg. Majú silnú tlačnú silu, od 7 do 12 ton a príkon nad 3000 W. Poradia si nielen s tvrdým, ale aj s mokrým a objemným drevom. Avšak, vzhľadom na ich vyšší výkon, potrebujete na ich napájanie minimálne trojfázovú zásuvku. Vertikálne štiepačky dreva využijú najmä profesionáli, ktorí pripravujú viac ako 15 m³ dreva.

Typ pohonu štiepačiek

- štiepačky dreva s elektrickým motorom sú zvyčajne lacnejšie, ľahšie a menej hlučné. Ich nevýhodou je nutnosť pripojenia k elektrickej zásuvke. Využijete ich najmä v záhradách či na chatách.
- štiepačky dreva s benzínovým/ dieselovým motorom sú ťažšie stroje, ktoré využijete v teréne bez možnosti pripojenia k elektrickej zásuvke. Sú ťažšie a drahšie, no spracujú aj tvrdé a mokré drevo.
- štiepačky za traktor sú efektívne pri spracovaní dreva priamo v lese. Sú poháňané priamo hriadeľom traktora.
- kombinované štiepačky sú flexibilné stroje, nakoľko disponujú elektrickým pohonom a benzínovým alebo naftovým motorom (Scheppach HL 1050 .s.r.o).



Obrázok 2 Štiepačka dreva (www.lumag.sk)

Tabuľka 4 Databáza vertikálnych štiepacích strojov - elektrických

Číslo	Model	Hmotnosť (kg)	Pohon	Napätie (V)	Max.štiepací tlak (t)	Max.priemer polena (cm)	Max.dĺžka polena (cm)
1	Scheppach Compact 15 T	185,5	elektrické	400	15	45	107
2	Scheppach HL 810 8t	109,9	elektrické	400	8	30	55
3	Scheppach Compact 8 T	125	elektrické	230	7,95	35	107
4	Scheppach Compact 8t	126	elektrické	400	7,95	35	107
5	HECHT 6810	112	elektrické	230	8	40	55
6	Scheppach HL1010	141	elektrické	230	10	40	137,5
7	GüdeGHS 500/8TE	118	elektrické	400	8	34	50
8	Vari 11T	173	elektrické	400	11	30	100,4
9	Vari 11 Ton Super Force	173	elektrické	230	11	30	100,4
10	VARI 8 T SUPER FORCE	110	elektrické	230	8	30	55
11	LUMAG HB8N	121	elektrické	230	8	40	125
12	Hecht 6110	120	elektrické	230	10	30	70
13	Proteco 51.06-SV-3500	108,8	elektrické	400	8	45	55
14	Sharks SH 8t SHK400	125	elektrické	400	8	40	100,6

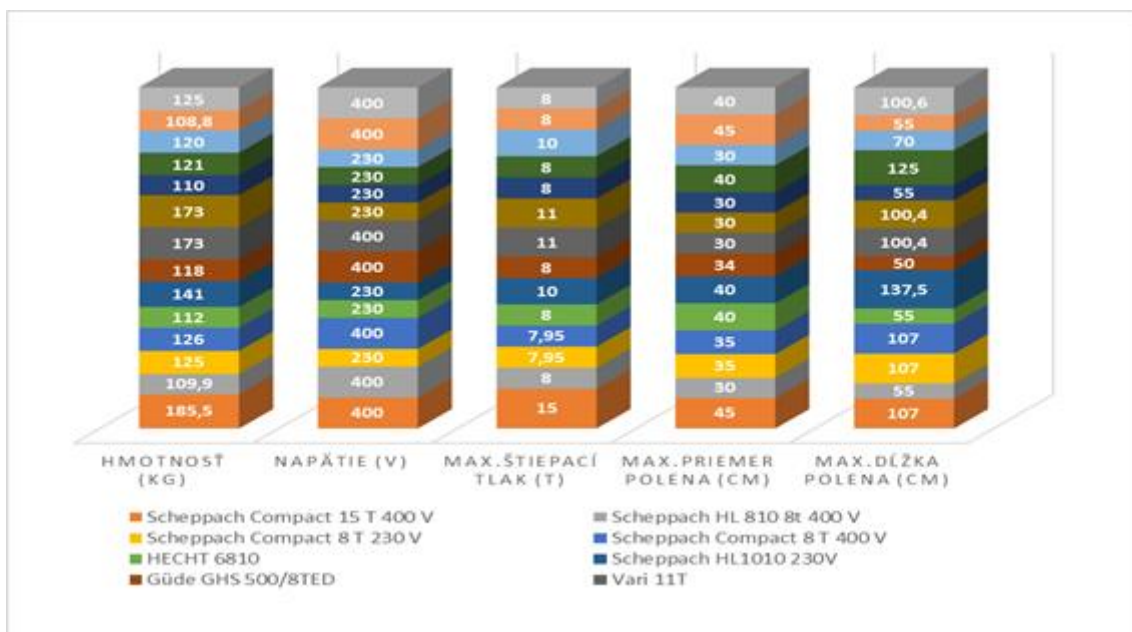
Tabuľka 5 Databáza horizontálnych štiepacích strojov – elektrických

Číslo	Model	Hmotnosť (kg)	Pohon	Napätie (V)	Max.štiepací tlak (t)	Max.priemer polena (cm)	Max.dĺžka polena (cm)
1	Scheppach HL 760 LS 7t	59	elektrické	230	7	25	52
2	Profi Tools PM4T-370	42	elektrické	230	4	25	37
3	AL-KO LSH 4	48	elektrické	230	4	25	37
4	Güde GHS 370/4TE	56	elektrické	230	4	25	37
5	HECHT 6700	54	elektrické	230	4	28	37
6	Scheppach HL 460	49	elektrické	230	4	25	37
7	Güde GHS 500/6,5TE	77	elektrické	230	6,5	25	52
8	Proteco 51.06-SH-2300 7t	75	elektrické	230	7	25	52
9	VARI 5t - 230 V	50	elektrické	230	5	25	50
10	AL-KO LSH 370/4	40	elektrické	230	4	25	37
11	Hyundai HFBE525T	59	elektrické	230	5	25	52
12	Vari 5t super force (230 v)	50	elektrické	230	5	25	52
13	DIGGER - LS-18E	200	elektrické	400	18	40	66
14	Varan Motors - NEELS-04	50	elektrické	230	7	30	52

VÝSLEDKY a DISKUSIA

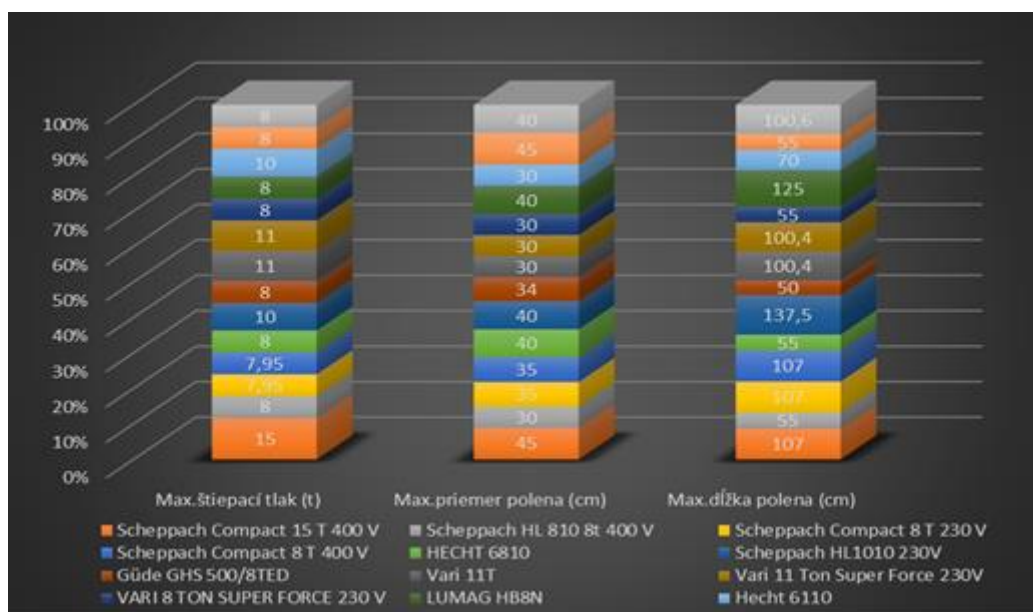
Štiepanie dreva je nevyhnutnou pracovnou činnosťou v domácnostiach so spaľovacím kotlom na tuhé palivo. Pomocníkom v tejto pracovnej činnosti predstavujú horizontálne a vertikálne štiepacie stroje. Pre spracovanie dreva na menšie časti je výhodnejšia horizontálna štiepačka, ktorú je možné postaviť na pracovný stôl alebo na účelový stojan, pričom sa stále drevina ukladá vodorovne. Výkonostné parametre sa odvíjajú od špecifikácií výrobcov a od typu spracovanej dreviny. Tvrdšie drevo ako dub alebo topol sa podľa odporúčania majú spracovať na štiepacích strojov s vyššou tzv. tonážou. Hydraulický piest tlačí poleno proti stacionárnemu klinu, aby rozdelil drevo na 2 kusy, ak sa požaduje menšie kusy dreva, mnoho horizontálnych hydraulických štiepačov dreva sa dodáva aj s možnosťou 4-cestného štiepacieho klinu, ktorý poleno rozdelí na 4 kusy. Väčšina horizontálnych štiepačiek dreva bude elektrická.

Ak je podmienka štiepania dreva s väčšími rozmermi (priemer a dĺžka), hovorí sa o výrobe tzv. metrovice, je potrebné zvoliť vertikálne štiepacie zariadenie. Hlavný rozdiel je v tom, že polená nemusíte dvíhať k štiepačke – jednoducho ich zrolujete na miesto. Štiepací klin je zabudovaný do hydraulického barana a pohybuje sa vertikálne dole cez poleno, aby rozpolil poleno, ktoré bude držané na mieste 2 nastaviteľnými ramenami. Spodná doska bude tiež nastaviteľná, takže ak sú menšie drevá na štiepanie, je možné si podľa toho prispôbiť výšku. Vertikálna štiepačka s hmotnosťou 7 ton dokáže spracovať polená s priemerom 55 cm.



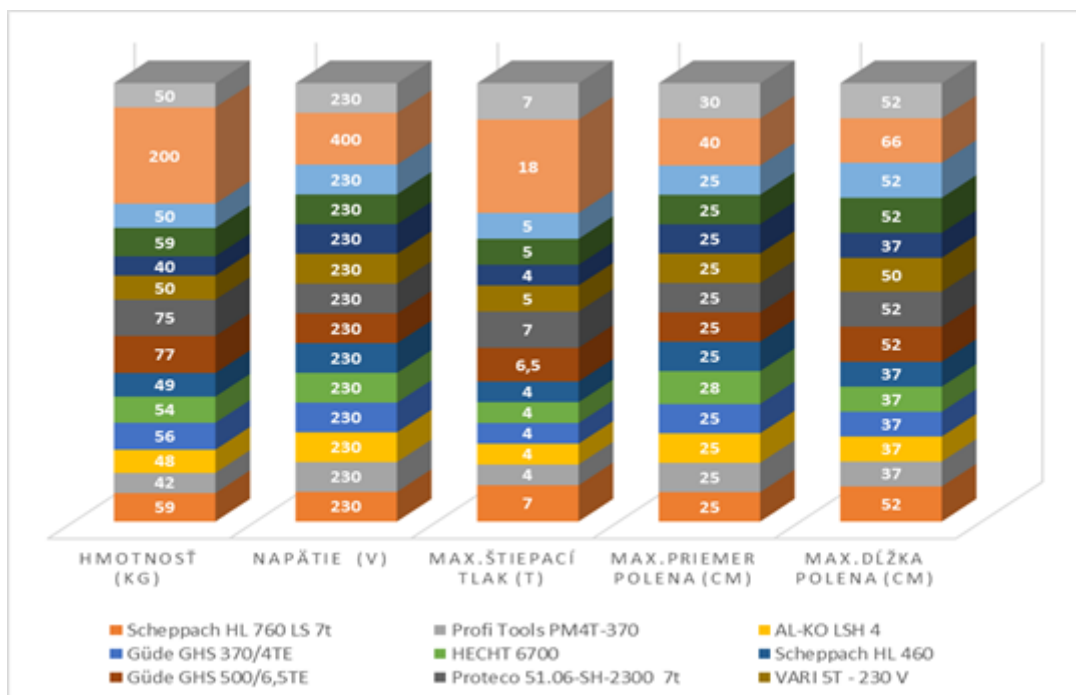
Graf 1 Rozdelenie najpoužívanejších vertikálnych štiepacích strojov podľa základných parametrov

Na grafe č.1 sa porovnali najpoužívanejšie a najlepšie hodnotené vertikálne štiepacie stroje s elektrickým pohonom, ktoré odporúčajú výrobcovia ale aj spokojní zákazníci. Všetky zariadenia sa od seba niečím líšia, vzhľadom na typ, prevedenie, výkonové parametre a manipulačné hodnoty. Najväčšou výhodou možnosti použitia štiepačky dreva vo zvislej polohe je, že môžete štiepať masívne polená bez toho, aby ste ich zdvíhali na štiepačku. Preto je potrebné uľahčiť výber zariadenia pomocou jednoduchého rozdelenia technických parametrov.



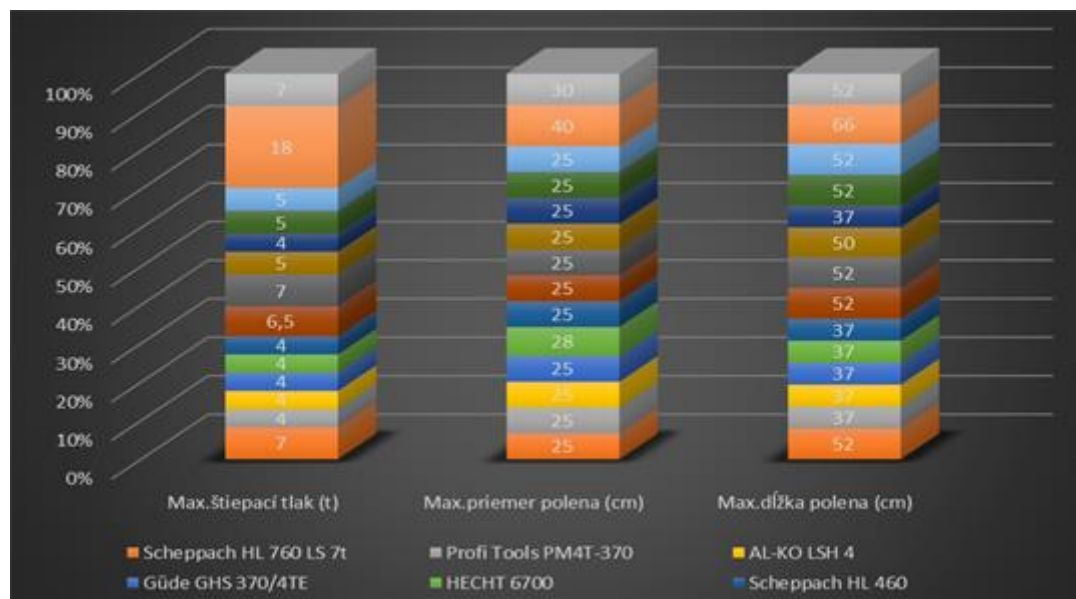
Graf 2 Rozdelenie najpoužívanejších vertikálnych štiepacích strojov podľa technicky najhlavnejších parametrov

Zo všetkých uvádzaných vertikálnych štiepacích strojov, vieme definovať tie najkvalitnejšie podľa nasledovných parametrov : Maximálny štiepací tlak, maximálny priemer a dĺžka polena. Tieto hodnoty ovplyvňujú rozhodnutie zákazníka pri zakúpení takéhoto typu stroja. Z grafu 2 je zrejmé, že najlepšie parametre z uvádzaných značiek vertikálnych štiepacích zariadení má Scheppach Compact 15 T 400V s možnosťou štiepania dreva s priemerom 45 cm a dĺžkou 107 cm.



Graf 3 Rozdelenie najpoužívanejších horizontálnych štiepacích strojov podľa základných parametrov

Na grafe č.3 sa porovnali najpoužívanejšie a najlepšie hodnotené horizontálne štiepacie stroje s elektrickým pohonom, ktoré odporúčajú výrobcovia ale aj spokojní zákazníci. Všetky zariadenia sa od seba niečím líšia, vzhľadom na typ, prevedenie, výkonové parametre a manipulačné hodnoty.



Graf 4 Rozdelenie najpoužívanejších horizontálnych štiepacích strojov podľa technicky najhlavnejších parametrov

Zo všetkých uvádzaných horizontálnych štiepacích strojov, vieme definovať tie najkvalitnejšie podľa nasledovných parametrov : Maximálny štiepací tlak, maximálny priemer a dĺžka polena. Tieto hodnoty ovplyvňujú rozhodnutie zákazníka pri zakúpení takéhoto typu stroja. Z grafu 4 je zrejmé, že najlepšie parametre z uvádzaných značiek horizontálnych štiepacích zariadení má Scheppach Compact HL 760 LS 18t s možnosťou štiepania dreva s priemerom 45 cm a dĺžkou 107 cm.

ZÁVER

V súčasnosti sa na trhu ponúka veľké množstvo zariadení na uľahčenie práce v lesníctve. Účinnosť jednotlivých zariadení závisí od ich prevádzkových parametrov, ktoré by mal poznať každý zákazník. Cieľom tohto príspevku preto bolo uľahčiť zákazníkovi výber štiepacích zariadení od najznámejších výrobcov s popisom základných parametrov. V príspevku je 28 typov zariadení na štiepanie dreva s elektrickým napájaním. Zo všetkých uvádzaných vertikálnych a horizontálnych štiepacích strojov, vieme definovať tie najkvalitnejšie podľa nasledovných parametrov: Maximálny štiepací tlak, maximálny priemer a dĺžka spracovanej dreviny. Tieto hodnoty ovplyvňujú rozhodnutie zákazníka pri zakúpení takéhoto typu stroja. Z grafu 2 je zrejmé, že najlepšie parametre z uvádzaných značiek vertikálnych štiepacích zariadení má Scheppach Compact 15 T 400V s možnosťou štiepania dreva s priemerom 45 cm a dĺžkou 107 cm a z uvádzaných značiek horizontálnych štiepacích zariadení má Scheppach Compact HL 760 LS 18t s možnosťou štiepania dreva s priemerom 45 cm a dĺžkou 107 cm.

POĎAKOVANIE

Túto prácu podporila Agentúra na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-21-0180.

LITERATÚRA

- 1 Barčík, Š., and Gašparík, M. (2014). "Effect of tool and milling parameters on the size distribution of splinters of planed native and thermally modified beech wood," *BioResources* 9(1), 1346-1360. DOI:10.15376/biores.9.1.1346-1360
 - 2 Lumag., [online]. [Cit. 2018-07-5] Dostupné na:< <http://www.lumag.sk/lumag-sk/eshop/12-Stiepace-dreva/0/5/11-Lumag-HOS-9A-Stiepac-dreva>>
 - 3 Mikleš, M. - Danko, M. 1992. *Lesnícke mechanizačné prostriedky II*. Zvolen : Technická Univerzita vo Zvolene, 1992. 229s. ISBN 80-228-0159-3
 - 4 Mikleš, M. a kol. 2011. *Lesnícke stroje a zariadenia*. Vydavateľstvo TU Zvolen, 2011, 294 s. ISBN 978-80-228-2302-9
 - 5 Scheppach., [online]. [Cit. 2023-03-22] Dostupné na:< <https://www.scheppach.com/en>>
 - 6 Siklienka, M., Argay, F., and Kminiak, R. (2012). "Impact of saw blade geometry on surface quality in transverse sawing of grown wood," in: *Chip and Chipless Woodworking*, Technical University in Zvolen, Zvolen, Slovakia, pp. 325-333. (In Slovak)
 - 7 Siklienka, M., Kminiak, R., and Argay, F. (2013). "Effect of saw blade geometry on cutting performance in crosswise cutting of beechwood," *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen* 55(1), 91-99. (In Slovak)
- Thepowersite., [online]. [Cit. 2023-03-22] Dostupné na:< <https://thepowersite.co.uk/>>
- Orlowski, K. A., Ochrymiuk, T., and Atkins, A. (2014). "An innovative approach to the forecasting of energetic effects while wood sawing," *Drvna Industrija* 65(4) 273-281 <https://doi.org/10.5552/drind.2014.1341>

Kontaktná adresa:

Ing. Ján Melicherčík, PhD.
Fakulta techniky,
Študentská 26, 960 01 Zvolen
Technická univerzita vo Zvolene
janmelichercik88@gmail.com

COMPARISON OF THE EFFENCY OF DIFFERENT TOOLS USED FOR STUBBLE CULTIVATION ON A HEAVY TEXTURED SOIL

PÁL NAGY¹, GÉZA TUBA², GYÖRGYI KOVÁCS², JÓZSEF ZSEMBELI²

¹University of Debrecen, Kálmán Kerpely Doctoral School, Debrecen

²Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Research Institute of Karcag

Abstract: Climate change in the Nagykunság region of the Great Hungarian Plain is primarily manifested in the rise in air temperature and the increasing frequency of drought. Agricultural technology, including soil cultivation, must adapt to these changing climatic conditions. In the course of our research work, we set up an experiment on two soil types typical for the region in order to select which tested cultivation tool is more suitable for stubble cultivation on the heavy textured soils of Nagykunság by determining the penetration resistance and moisture content of the soil. We have found that modern combined tools (TopDown, Mulchtiler) are more effective in maintaining the looseness of the soil than the conventionally applied disc. The TopDown cultivation tool created a significantly more favourable soil condition than the other tools on both soils.

Keywords: soil cultivation, penetration resistance, soil moisture content, water preserving tillage.

INTRODUCTION

Climate change is one of the most dangerous phenomena of our time and the coming decades (Khan et al., 2016), the effects of which can now be seen in almost every region of the world. In Hungary, the mean annual temperature increased by 1.2 °C in the last century, the distribution of precipitation changed, and drought sensitivity increased (Zsembeli et al., 2019; Lakatos et al., 2021). Drought years and periods are becoming more frequent (Somfalvi-Tóth, 2021; Kovács et al., 2022a). Due to climate change, water preserving soil cultivation is becoming more and more important, and technological development provides an opportunity to mitigate the harmful effects of weather extremes (Forgács et al., 2005; Kuzucu and Dökmen, 2015; Huzsvai et al., 2020; Kovács et al., 2023). After harvesting, tillage begins with stubble cultivation, the purpose of which is to preserve the moisture content of the soil at an optimal level by cultivating it shallowly and then sealing the surface (Birkás, 2017). For this purpose, initially the plough, later the disc, and in modern times field cultivators and combined cultivation tools are used (Birkás et al., 2021). The soil condition can be considered optimal if the soil is favourably loosened, consequently aerated and has favourable water regime, which provides suitable conditions for the next tillage procedure or the cultivated plant. Field penetrometers are excellent tools for determining the quality of tillage, with which we can quantify the penetration resistance of the soil. Soil resistance is the force exerted by the soil against the operating tool during cultivation, and is composed of the resistance of the soil particles to separation, the friction between the soil and the tool, the friction between the soil particles and the mass of the soil. Penetration resistance varies inversely with the moisture content of the soil and in direct proportion to the bulk density (Champbell and O'Sullivan, 1991), so it is also necessary to determine the actual soil moisture content. Soil resistance measured with a penetrometer is one of the most commonly used parameters for evaluating soil compaction and looseness, the thickness and depth of the compacted layer, as well as the spatial and temporal changes in the physical state of the soil (Koolen and Kuipers, 1983; Bogunovic et al., 2018; Sartori et al., 2021).

The aim of our research work was to determine which of the three studied cultivation tools is the most suitable for stubble cultivation on the compacted soils of the Nagykunság region by determining the penetration resistance and moisture content of the soil.

MATERIAL and METHODOLOGY

Our field trials were carried out in the territory of the Research Institute of Karcag (KRI) of the Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, in the area of Karcag, on heavy textured chernozem and meadow soils with a high clay content characteristic to the region in 2020, after winter wheat harvest. *Table 1* contains some properties of the soils of the investigated plots. In the region of Karcag, three soil types are characteristic: chernozem, true meadow and meadow solonetz. Our

experiment was carried out on a chernozem and a meadow soil, which are the most suitable for crop production (solonetz soils are rarely cultivated as ploughlands and mainly utilized as pastures). The yield of winter wheat in the investigated fields and year was adequate to the level of farming and the type of soil (chernozem 6.1 t/ha; meadow 5.7 t/ha). Harvesting took place on the plots with chernozem soil on July 16, while on the meadow soil on July 21, followed by stubble cultivation on August 3 on both areas.

Table 1 Some soil properties of the investigated plots

	pH _(KCl)	K _A *	Salt content	CaCO ₃	Humus	NH ₂ -NH ₃	P ₂ O ₅	KO
			(m/m)%	(m/m)%	(m/m)%	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Chernozem	4.9	42	<0.02	0.19	3.3	7.4	251	368
Meadow	5.6	49	0.04	0.22	3.1	5.9	246	560

Source: Central Laboratory of KRI; *Plasticity index by Arany

The summer of 2020 was rather rainy, which is why the winter wheat harvest was postponed to the second half of July. Until July 16, about 329 mm of precipitation fell in the year, of which 207 mm fell in the months of June and July. An additional 111 mm of rain fell between stubble cultivation and the date of the last survey, which is much higher than the long-term average for this period in the region (Kovács et al., 2022b).

According to the size of the two experimental sites, the investigated plots were 200 m long and 30 m wide, so their area was 0.6 ha. One plot in each experimental site was left without cultivation as a control. One plot was cultivated with a traditional disc, while two plots were cultivated with modern combined tools based on field cultivators. These were TopDown manufactured by Väderstad and Mulchtiler manufactured by John Deere.

The Kverneland DXG disc we used is a tool with a working width of 6.1 m, which is excellently suited for stubble stripping, basic and shallow cultivation. This tillage tool has an "X" disc arrangement, it is equipped with laced discs at the front and smooth discs at the rear.

The TopDown field cultivator has a working width of 3 m. It is equally suitable for deeper basic cultivation as well as shallow cultivation. The TopDown is a versatile cultivator that combines intensive disc cultivation and deeper soil loosening in a single operation. The discs in two rows shallowly cut the upper soil layer, creating a fine structure, while the hoes mix in the stem residue and loosen the soil. The disc compactor located at the end of the working machine and the closing roller row can adequately level and seal the soil.

The Mulchtiler has a working width of 6 m and is perfectly suited for basic cultivation and stubble stripping. The disc at the front of the device shallowly cuts the top layer of the soil so that the hoes behind it can properly mix the stem residues into the soil and loosen it up to a depth of 25-30 cm. Behind the hoes, there is a harrow suspended on a chain, followed by a row of stick cylinders, which adequately seal the soil, thus reducing moisture loss.

All three devices were operated uniformly at a depth of 22-25 cm, and our measurements were made in the upper 0-30 cm soil layer. We carried out our tests three times after cultivation, on 24th August, 9th September, and 5th October. It rained 73 mm between stubble cultivation and the first measurement, another 8.6 mm by the time of the second measurement, and plus 29 mm between the second and the last measurement.

The penetration resistance of the soil was measured with a "3T System" electronic layer indicator (hereafter penetrometer). The measuring instrument can be effectively used for fast, high-repetition testing of compacted soils with a high clay content (Sinóros-Szabó and Szöllősi, 1999; Tuba et al., 2021). The device continuously measures and records the penetration resistance of the soil expressed in MPa in 1 cm layers down to the depth of 60 cm. The penetrometer measurements were carried out in 5 repetitions per location and occasion. The "3 T System" instrument is not suitable for testing the uppermost soil layer, therefore the data measured for the upper 0-5 cm were not evaluated due to the phenomenon called the soil surface effect in the literature (Rohani and Baladi, 1981). At the same time, soil samples in five repetitions were taken in 10 cm layers in order to determine the actual soil moisture content. Soil moisture content was determined gravimetrically. The data were processed

and evaluated using the "3T System" penetrometer's own processing program, Microsoft Excel 2016 and SPSS 27.0 program packages. During the statistical analysis of the measurement results, we investigated the effect of tillage tools on the penetration resistance and moisture content with a one-way analysis of variance, which was checked with the LSD post hoc test. For the graphical illustration, the averages of the penetration resistance values were shown, while in the case of soil moisture data, in addition to the averages, the standard deviation of the data was also indicated.

RESULTS and DISCUSSION

We took our first measurements 21 days after cultivation, on 24th August. Examining the penetration resistance of the soil, we found that all three cultivation tools reduced the penetration resistance of the upper 0-25 cm deep soil layer compared to the control. In the case of the TopDown treatment, the difference can be considered statistically significant. Regarding the moisture content of the soil, we found that the uncultivated control soil was drier at all three depths than the areas that received stubble removal, despite the high amount of precipitation. However, the soil moisture content of cultivated plots did not differ greatly from one another (*Figure 1*).

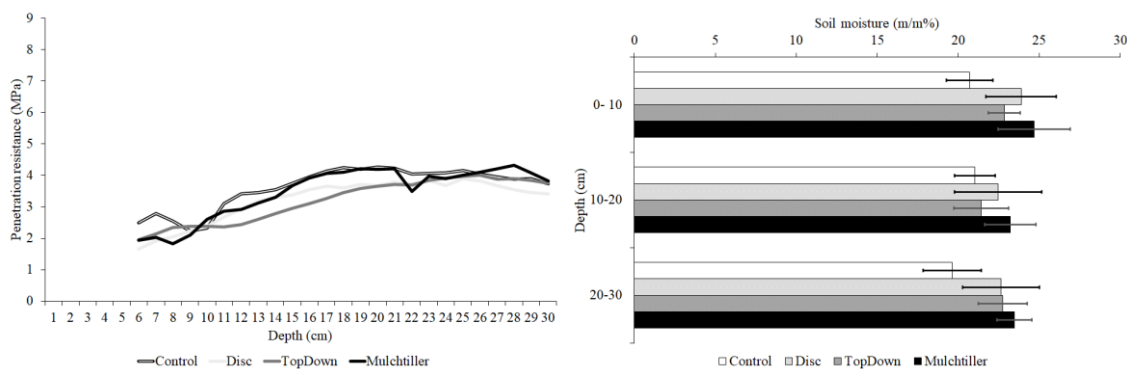


Figure 1 Penetration resistance and moisture content of the chernozem soil (Karcag, 24.08.2020)

Analysing the 0-10, 10-20, and 20-30 cm layers together, we found that there is no significant difference between the treatments in terms of moisture content, while a statistically verifiable difference could be figured out in the penetration resistance of the soil of the control area and the plots cultivated with TopDown (*Table 2*).

Table 2 LSD test results for penetration resistance of the chernozem soil (Karcag, 24.08.2020)

Tools	Tools	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Disc	0.39180	0.20131	0.055	-0.0078	0.7914
	TopDown	0.42205*	0.20131	0.039	0.0225	0.8216
	Mulch tiller	0.13887	0.20131	0.492	-0.2607	0.5385

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

There was also no significant difference in the moisture content of the meadow soil, while the penetration resistances of the control area and the plots cultivated with different tools differed in a manner similar to that of the chernozem (*Figure 2*).

According to the results of the statistical analysis (*Table 3*), all three cultivation tools significantly loosened the upper 30 cm layer of the soil compared to the control, the Mulch tiller had the most favourable effect in this respect.

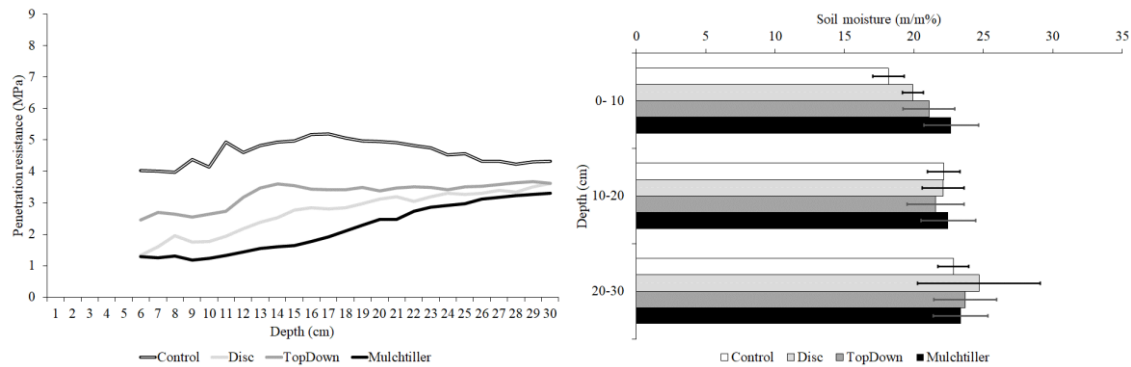


Figure 2 Penetration resistance and moisture content of the meadow soil (Karcag, 24.08.2020)

Table 3 LSD test results for penetration resistance of the meadow soil (Karcag, 24.08.2020)

Tools	Tools	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Disc	1.88600*	0.16460	0.000	1.5593	2.2127
	TopDown	1.32120*	0.16460	0.000	0.9945	1.6479
	Mulch tiller	2.42640*	0.16460	0.000	2.0997	2.7531

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

The second examination date was 2 weeks after the first, on 9th September. The chernozem soil dried out slightly compared to the previous state (*Figure 3*), but no significant difference could be detected between the soil moisture content of the plots. Examining the penetration resistance of the soil, we found that the soil of the treated areas retained its favourable state of loosening, compared to the control, all three cultivation tools significantly reduced the penetration resistance of the cultivated soil layer. Similar to the first measurement, TopDown proved to be the most beneficial tool, which is also confirmed by the results of the variance analysis (*Table 4*).

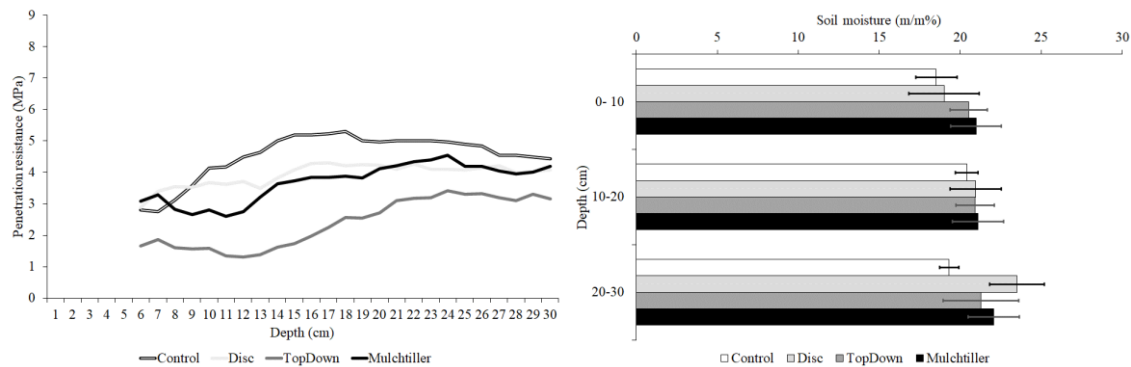


Figure 3 Penetration resistance and moisture content of the chernozem soil (Karcag, 09.09.2020)

Table 4 LSD test results for penetration resistance of the chernozem soil (Karcag, 09.09.2020)

Tools	Tools	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Disc	0.60975*	0.18107	0.001	0.2503	0.9692
	TopDown	2.13383*	0.18107	0.000	1.7744	2.4933
	Mulch tiller	0.84650*	0.18107	0.000	0.4871	1.2059

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

The soil moisture content decrease was lower in the meadow soil than in the case of the chernozem, but we could not detect a significant difference between the cultivation tools and the control in this respect either (*Figure 4*). Examining the looseness, the Mulch tiller application did not cause a significant difference, but the penetration resistance of the upper 30 cm soil layer was significantly reduced due to the impact of the disc and TopDown applications (*Table 5*).

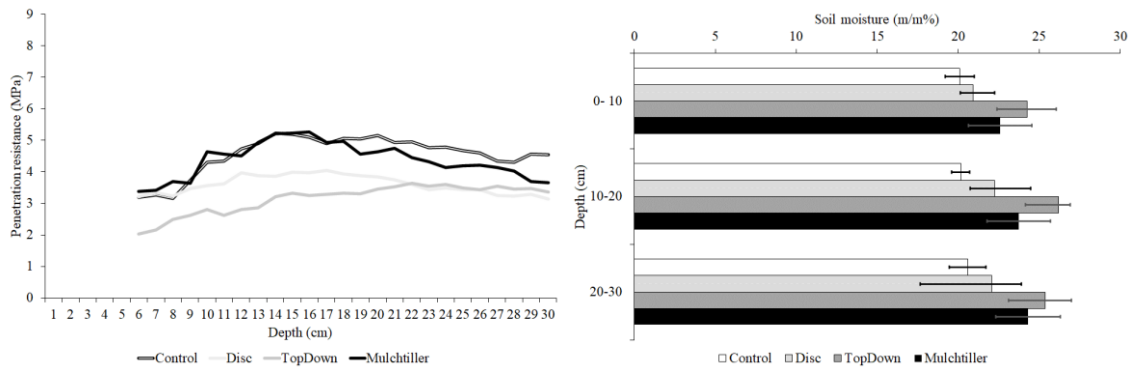


Figure 4 Penetration resistance and moisture content of the meadow soil (Karcag, 09.09.2020)

Table 5 LSD test results for penetration resistance of the meadow soil (Karcag, 09.09.2020)

Tools	Tools	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Disc	0.95760*	0.13526	0.000	0.6891	1.2261
	TopDown	1.40520*	0.13526	0.000	1.1367	1.6737
	Mulch tiller	0.06720	0.13526	0.620	-0.2013	0.3357

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

The last examination date was 5th October. At that time, the moisture content was almost the same on all the plots of the chernozem soil, while the soil resistance differed: the highest value was measured in the upper 18 cm layer in the case of the disc treatment, the lowest ones were obtained in the case of the Mulch tiller application (*Figure 5*).

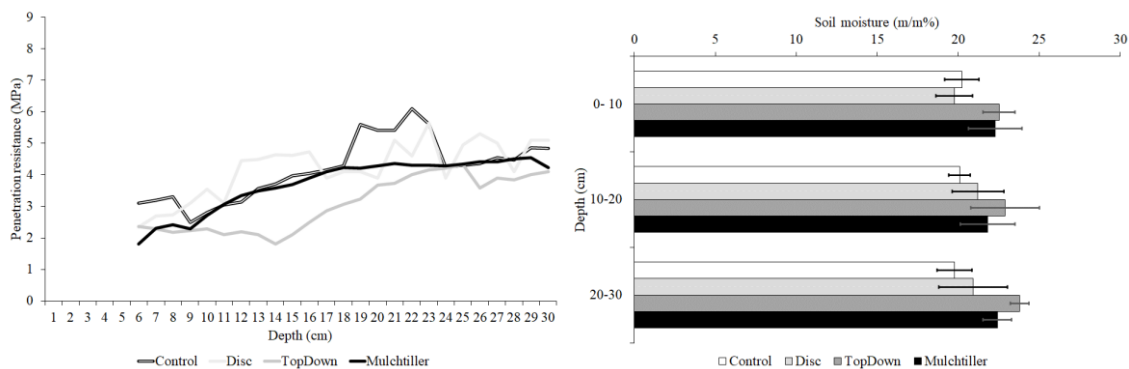


Figure 5 Penetration resistance and moisture content of the chernozem soil (Karcag, 05.10.2020)

The statistical analysis of the penetration resistance data for the entire cultivated layer revealed that disk cultivation was the least favourable, and TopDown resulted in a significantly looser soil than that measured in the control area (*Table 6*).

Table 6 LSD test results for penetration resistance of the chernozem soil (Karcag, 09.09.2020)

Tools	Tools	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Disc	-0.02390	0.25169	0.925	-0.5235	0.4757
	TopDown	1.11144*	0.25169	0.000	0.6118	1.6111
	Mulch tiller	0.46083	0.25169	0.070	-0.0388	0.9604

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

The actual moisture content of the investigated meadow soil was similar to that of the chernozem. The soil of the uncultivated control plot was found to be the most compacted (*Figure 6*). All the three tested cultivation tools significantly improved soil looseness (*Table 7*). TopDown had the

best effect, the disc performed moderately well, while the impact of Mulch tiller was the weakest in this respect.

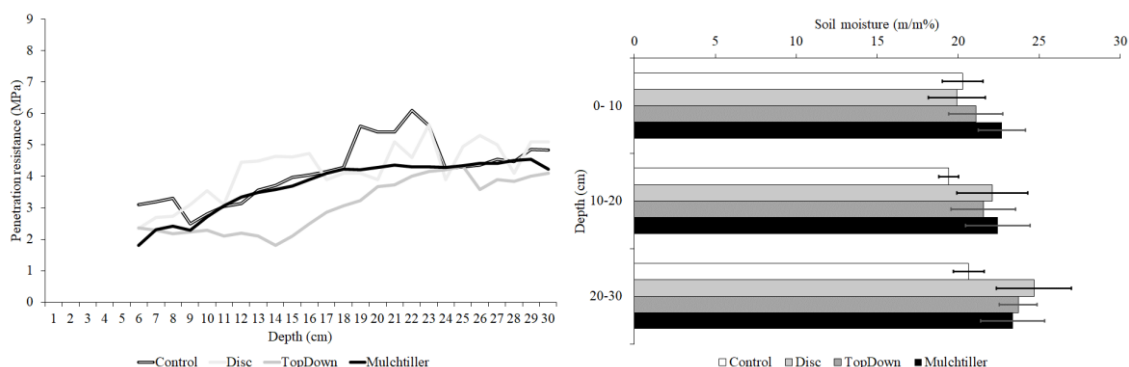


Figure 6 Penetration resistance and moisture content of the meadow soil (Karcag, 05.10.2020)

Table 7 LSD test results for penetration resistance of the meadow soil (Karcag, 09.09.2020)

Tools	Tools	Mean Difference	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Control	Disc	2.63455*	0.37137	0.000	1.8974	3.3717
	TopDown	3.20800*	0.37137	0.000	2.4708	3.9452
	Mulch tiller	1.56914*	0.37137	0.000	0.8320	2.3063

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

CONCLUSION

By means of our measurements carried out three times, we were able to monitor the compaction and moisture status of the soil treated with stubble cultivation with three different tools at the beginning of August over a period of two months. We conducted our measurements after an extremely rainy summer that is unusual in the region of Karcag, so moisture loss typical during that period of the year did not occur. Under these weather conditions, we could not prove a significant difference in the actual soil moisture contents among the cultivation treatments and soil types. Nevertheless, these circumstances ensured a good opportunity to compare the effect of the tested cultivation methods on the compactness of the soil quantified by means of its penetration resistance. We found that stubble cultivation with any of the tested tools increased the looseness of the soil compared to the control.

The TopDown cultivator proved to be the most effective on both investigated soil types as we achieved the least compacted soil with its application. Unexpectedly, the use of the disc on the more compact meadow soil resulted in better soil condition than the cultivation with the Mulch tiller. On the chernozem soil, according to our preliminary assumption, the soil loosening effect of Mulch tiller was close to that of the TopDown and the disc was the least effective. We also conclude that the effect of combined tillage tools that close the soil surface is even more appreciated in drier soil conditions.

References:

1. BIRKÁS, M. 2017. *Talajművelési ABC*. Budapest, Magyarország: Mezőgazda Kiadó, 293 p. ISBN: 9789632867311
2. BIRKÁS, M., BALLA, I., GYURICZA, Cs., KENDE, Z., KOVÁCS, G. P., PERCZE, A. 2021. *Hátráltató és előrevivő tényezők a hazai talajművelésben*. *Agrokémia és Talajtan* 70: 2 pp. 155-170. <https://doi.org/10.1556/0088.2021.00102>
3. BOGUNOVIC, I., PEREIRA, P., KISIC, I., SAJKO, K., SRAKA, M. 2018. *Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia)*. *Catena*, Vol. 160, pp. 376-384, ISSN 0341-8162, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.009>
4. CHAMPBELL, D. J., O'SULLIVAN, M. F. 1991. *The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage*. *Soil Analysis (Physical Methods)* ed: SMITH, K. A., MULLIS, C. E. 399-429 p.

5. FORGÁCS, L., ZSEMBELI, J., TUBA, G. 2005. *Examination of a soil protective cultivation method in the Research Institute of Karcag*. In: Realizáciou poznatkov vedy a vyskumu k trvalo udržateľnému poľnohospodárstvu. pp. 64-68.
6. HUZSVAI, L., ZSEMBELI, J., KOVÁCS, E., JUHÁSZ, Cs. 2020. *Can technological development compensate for the unfavorable impacts of climate change? Conclusions from 50 years of maize (Zea mays L.) production in Hungary*. Atmosphere. 11. 1350. <https://doi.org/10.3390/atmos11121350>
7. KHAN, A. A., IJAZ, M., MUHAMMAD, J., GOHEER, A. R., AKBAR, G., ADNAN, M. 2016. *Climate change implications for wheat crop in Dera Ismail Khan District of Khyber Pakhtunkhwa*. Pakistan. Journal of Meteorology. 13: 25 pp. 17–27.
8. KOOLEN, A. J., KUIPERS, H. 1983. *Agricultural soil mechanics*. Springer- Verlag. Berlin. 356 p.
9. KOVÁCS, Gy., TUBA, G., SINKA, L., RIVERA-GARCIA, A., ZSEMBELI, J. 2022a. *Jász-Nagykún-Szolnok megye főbb növényeinek termésátlagai az aszály mértékének függvényében*. Növénytermelés 71: 2 pp. 63-78.
10. KOVÁCS, G. P., SIMON, B., BALLA, I., BOZÓKI, B., DEKEMATI, I., GYURICZA, Cs., PERCZE, A., BIRKÁS, M. 2023. *Conservation tillage improves soil quality and crop yield in Hungary*. Agronomy. 13. 894. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030894>
11. KOVÁCS, Gy., TUBA, G., SINKA, L., NAGY, P., RIVERA-GARCIA, A., ZSEMBELI, J. 2022b. *A klímaváltozás lokális hatásainak értékelése a szélsőséges időjárási helyzetek tükrében*. In: ZSEMBELI, J. (szerk.) *75 éves a Karcagi Kutatóintézet 1947-2022: Válogatás a MATE Karcagi Kutatóintézet kutató-fejlesztő munkájának eredményeiből*. Gödöllő, Magyarország: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem pp. 27-35.
12. KUZUCU, M., DÖKMEN, F. 2015. *The effects of tillage on soil water content in dry areas*. Agriculture and Agricultural Science Procedia. Volume 4. pp. 126-132. ISSN 2210-7843, <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.03.015>
13. LAKATOS, M., BIHARI, Z., IZSÁK, B., SZENTES, O. 2021. *Globális és hazai éghajlati trendek, szélsőségek változása: 2020-as helyzetkép*. Scientia et Securitas 2: 2 pp. 164–171. <https://akjournals.com/downloadpdf/journals/112/2/2/article-p164.pdf>
14. ROHANI, B., BALADI, G. Y. 1981. *Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil*. In: Proc. 7th Int. Conf Int. Soc. Terrain- Vehicle Systems. Vol. 3. Calgary. 959-990 p.
15. SARTORI, F., PICCOLI, I., BERTI, A. 2021. *How tillage systems and cover crops affect soil penetration resistance*. EGU General Assembly, online, 19–30 Apr 2021. EGU21-14424, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-14424>
16. SINÓROS-SZABÓ, B., SZÖLLŐSI, I. 1999. *A 3T SYSTEM alkalmazása és gyakorlati jelentősége*. Gyakorlati Agroforum. X. 7. 15-16 p.
17. SOMFALVI-TÓTH, K. 2021. *Az éghajlatváltozással kapcsolatos kutatások, eredmények, hatások*. In: HOLLÓ, G., PEKÁR, A. (szerk.) *Éghajlatváltozás az agráriumban: Kihívások és megoldások*. Pécs, Magyarország, MTA Pécsi Területi Bizottság, MATE Kaposvári Campus pp. 9-16. https://tab.mta.hu/files/7516/1537/0985/Hollo_Gabriella_Eghajlatvaltozas_az_agrariumban_kihivasok_es_megoldasok.pdf
18. TUBA, G., KOVÁCS, Gy., SINKA, L., NAGY, P., RIVERA-GARCIA, A., BAJUSOVÁ, Z., FINDURA, P., ZSEMBELI, J. 2021. *Effect of soil conditioning on soil penetration resistance and traction power demand of ploughing*. Agriculture (Poľnohospodárstvo), 67(3). pp. 113-123. <https://doi.org/10.2478/agri-2021-0011>
19. ZSEMBELI, J., KOVÁCS, Gy., TUBA, G., CZELLÉR, K., JUHÁSZ, Cs. 2019. *Climate change at local level on the base of the air temperature and precipitation data of the weather station of Karcag*. In: MÁCHAL, P. (ed.) *Creating a platform to address the techniques used in creation and protection of environment and in economic management of water in the soil*. Brno, Csehország: International Visegrad Fund. pp. 43-49.

Contact address:

PhD. József Zsembeli

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Research Institute of Karcag, H-5300 Karcag, Kisújszállási út 166., zsembeli.jozsef@uni-mate.hu

EFFECT OF TEMPERATURE AND PRINTING POSITION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF PLA MATERIAL PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING

JAKUB PERNICA, PAVEL ČERNÝ, TOMÁŠ GAJDACZEK, PETR DOSTÁL
Mendel university in Brno, department of Technology and Automobile transport

Abstract: The publication focuses on testing the mechanical properties of samples produced by the additive manufacturing technology Fused Filament Fabrication (FFF). The tested samples were made of PLA material. The publication deals with the effect of ambient temperature on the mechanical properties of the samples under tensile loading. Apart from the temperature environment of the tested samples, the publication addresses the issue of anisotropic properties in relation to the orientation of sample fabrication in the 3D printer print space. Three temperature environments and two orientations of specimen production orientation were chosen for tensile testing.

Keywords: 3D print, Mechanical properties, temperature environment, tensile test, PLA

INTRODUCTION

Additive manufacturing (3D printing) is described as a very progressive and innovative technology that is undergoing continuous development (Kloski, 2017). Additive manufacturing is constantly expanding to a large range of fields and finds considerable application in them. Additive manufacturing finds great application in the production of prototypes, assembly jigs for subsequent production, and a large number of spare parts. Additive manufacturing can use a variety of technologies and the material used for 3D printing is also related to 3D printing technology. It is these different technology options that will enable the printing of polymer based components in the form of printing strings (filaments) as well as the ability to print metals, photopolymers and many other materials (Hausman, 2014). The most widely used 3D printing methods are stereolithography (SLA), selective laser sintering (SLS). The most widely used technology is considered to be FFF - Fused Filament Fabrication. The filament in the form of a printing string enters the extruder of the 3D printer and in the extruder this string (filament) is fused. After passing through the extruder, where the filament is heated, it is printed on the base of the 3D printer (Prusa, 2019). The FFF printing technology is suitable for a wide range of polymer materials manufacturing. Materials of different compositions and properties are available for FFF technology. The most commonly used polymeric materials: ABS, ASA, PLA, Nylon, etc. The materials can be enriched with different admixtures or additives and can also have different properties at different temperatures. Tensile properties at different temperatures are the subject of this publication.

MATERIAL and METHODS

A samples were made on 3D printer Prusa MK3S+. The samples were made from PLA material and were printed in horizontal and vertical direction. The sample infill was set 100 % filling, the layer thickness was set to 0.2 mm and the direction of layering of each filament was $\pm 45^\circ$.

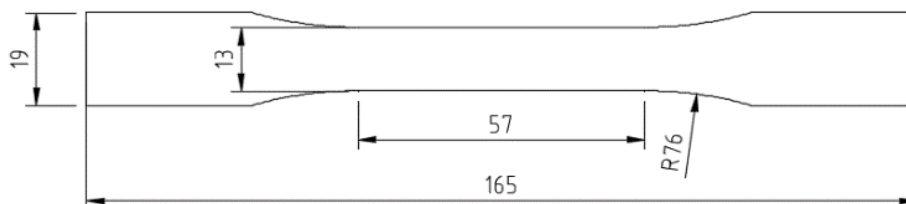


Figure 10 Sample ASTM D638

The printed samples were designed for the tensile force required to break the specimens and to determine the ultimate strength. The specimens were fabricated according to ASTM D638 in 5 mm thickness. A total of 15 specimens were printed from each position and divided into three groups. The first group of specimens (5 specimens longitudinally and 5 specimens vertically) was supercooled to 0°C , the second

group was left at room temperature of 23 °C, and the third group of specimens was heated to 60 °C. All specimens were tested on a uniaxial tearing machine at a load of 5 (mm/min). Figure below. The input table with printing parameters is shown below.

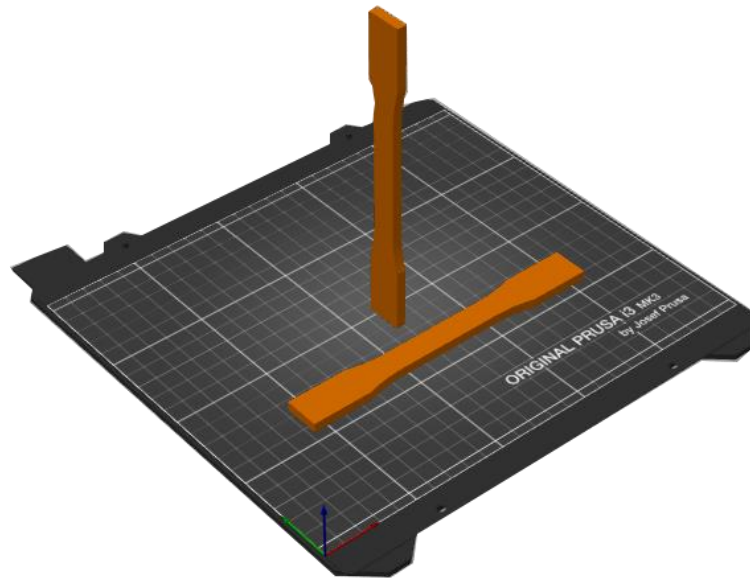


Figure 11 Samples arrangement in 3D printing

Table 6 Samples specifications

TEST ENV.	MARKING OF SAMPLES	POSITION	WIDTH	THICKNESS	LENGTH	TEST ENV.	MARKING OF SAMPLES	POSITION	WIDTH	THICKNESS	LENGTH
			[mm]	[mm]	[mm ²]				[mm]	[mm]	[mm ²]
COOLING	L1	HOR.	13,3	4,99	66,37	COOLING	L16	VERT.	13,21	5,26	69,48
	L2	HOR.	13,17	4,97	65,45		L17	VERT.	13,25	5,2	68,9
	L3	HOR.	13,35	4,98	66,48		L18	VERT.	13,15	5,2	68,38
	L4	HOR.	13,29	4,98	66,18		L19	VERT.	13,18	5,27	69,46
	L5	HOR.	13,25	5	66,25		L20	VERT.	13,22	5,23	69,14
HEAT	L6	HOR.	13,18	4,99	65,77	HEAT	L21	VERT.	13,1	5,26	68,91
	L7	HOR.	13,27	4,97	65,95		L22	VERT.	13,2	5,27	69,56
	L8	HOR.	13,11	4,99	65,42		L23	VERT.	13,19	5,22	68,85
	L9	HOR.	13,18	5	65,9		L24	VERT.	13,2	5,25	69,3
	L10	HOR.	13,26	4,94	65,5		L25	VERT.	13,22	5,21	68,88
STANDARD TEMPERATURE	L11	HOR.	13,23	4,97	65,75	STANDARD TEMPERATURE	L26	VERT.	13,21	5,22	68,96
	L12	HOR.	13,29	4,97	66,05		L27	VERT.	13,17	5,24	69,01
	L13	HOR.	13,29	4,99	66,32		L28	VERT.	13,14	5,28	69,38
	L14	HOR.	13,24	4,95	65,54		L29	VERT.	13,11	5,28	69,22
	L15	HOR.	13,31	4,98	66,28		L30	VERT.	13,18	5,25	69,2

RESULTS and DISCUSSION

From the measured values and the results processed into individual graphs, it can be seen that the highest tensile strength is found in the samples from the group marked L1 - L5. These are the specimens that are printed horizontally and have been cooled to 0 °C. The specimens printed vertically and cooled to 0 °C have the highest tensile strength of the group of vertically printed specimens, but have a lower ultimate strength of approximately 20 (MPa) compared to the horizontally printed specimens. However, it can be observed from the result that if the samples are heated to 60 °C, there is a large drop in the tensile strength. This phenomenon can be observed for both groups of vertically printed specimens and horizontally printed specimens. For the horizontal specimens, the range is from

0,4 MPa to 2,87 MPa. For vertically printed samples, we range from 0.77 MPa to 1.87 MPa. The samples that were tested at standard temperature show values closer to the samples that were cooled. However, the values of these specimens do not exceed the tensile strength limit above 25 MPa for vertically printed and above 40 MPa for horizontally printed. From the results, it can be argued that when the printed parts are cooled, the reduced temperature has a positive effect on the tensile strength. An important observation is that the measurements showed the importance of the orientation of the printed specimens. The difference in ultimate strength of these carriages is up to 25.6 MPa. For specimens printed horizontally, we observe a parabolic curve in the tensile diagram in the region of maximum tensile forces. For specimens printed horizontally, the results show a linear waveform and a sharp decrease in stress at the point of maximum stress.

Table 7 Tensile strength of tested samples

MARK OF SAMPLES	R [MPa]				
L1-L5	49,75	50,19	51,1	52,68	52,11
L6 – L10	0,4	0,71	2,87	1,11	0,57
L11 – L15	38,83	38,54	35,98	39,38	37,92
L16 – L20	25,93	20,61	27,21	22,62	22,35
L21 – L25	1,14	0,8	0,56	0,77	1,87
L26 – L30	23,43	22,16	24,92	22,64	24,38

The measured values of each group of samples were processed into tension diagrams and box plots. Box plots were chosen for statistical evaluation. Box plots statistically verify significant differences in the measured values.

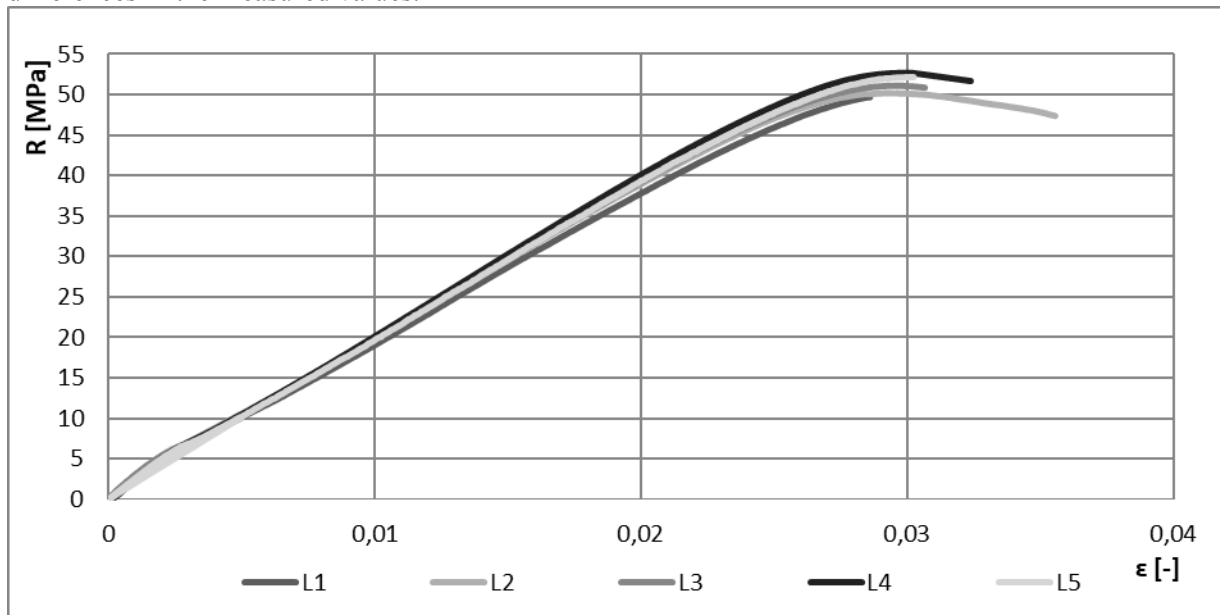


Figure 12 Tensile diagram – cooled samples – horizontal

Samples L1 to L5, printed horizontally and cooled to 0°C, range from 49.75 MPa to 52.68 MPa as shown in box plot 2. Of interest from the sample image is the location of the break. Sample L1 and L5 are broken closer to the mouth of the sample head. In contrast to this, samples L2,L3 and L4 are ruptured more towards the center of the sample prints. In the tensile diagram, the tear test results of each specimen are very similar. The tearing of the samples is gradual.

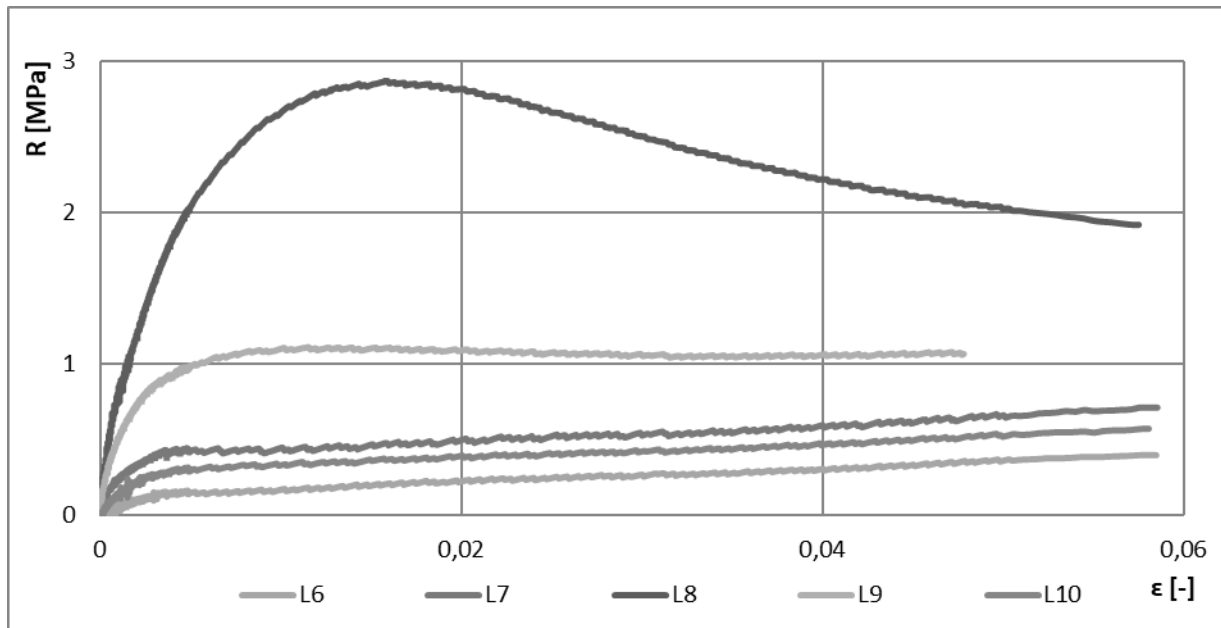


Figure 13 Tensile diagram – heat samples - horizontal

The samples of the second group, i.e. printed horizontally, heated to 60°C, reach significantly lower values of the strength limit than the samples that have been cooled. The strength limits range from 0.4 to 2.87 MPa. The tensile diagram shows an almost identical similarity for the three samples measured. The tensile curves for these specimens follow an identical direction of elongation for increasing loading force. The breaking of the specimens is gradual. This waveform is due to the glass transition limit of the PLA material, which is 60 ° (Hausman 2014). From this result, it can be confirmed that the PLA material processed by additive manufacturing is not suitable for thermally stressed applications.

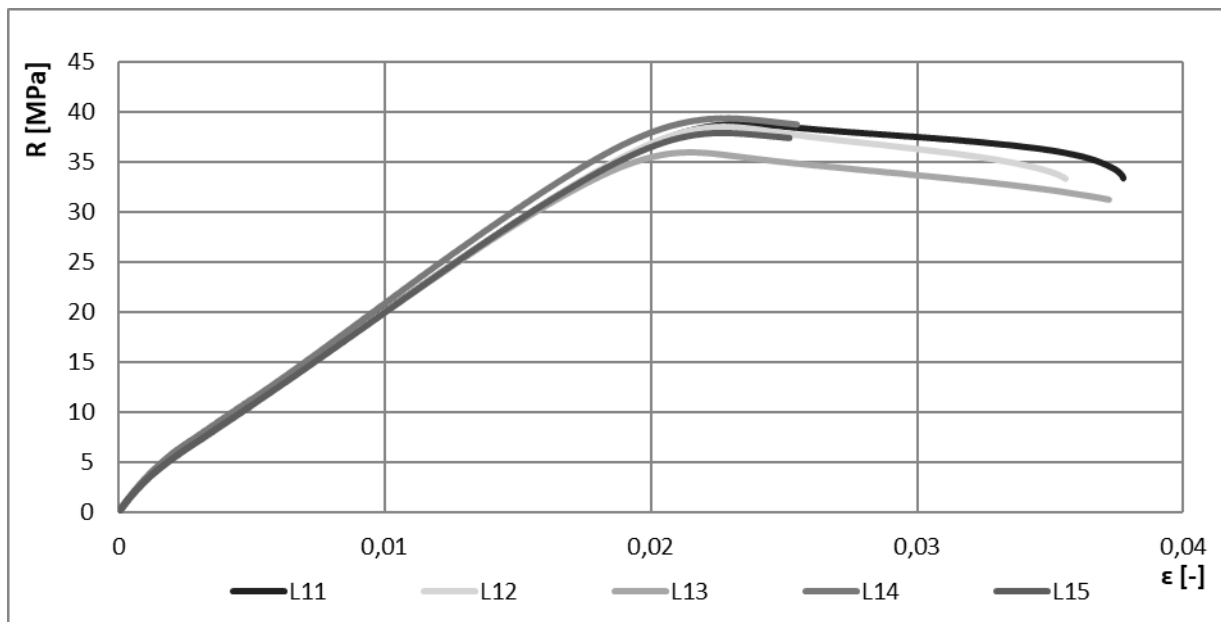


Figure 14 Tensile diagram – standard temp. samples – horizontal

The vertically printed samples and heated to 60°C again achieve significantly lower values of ultimate strength, as was the case with the horizontally printed samples and subsequent heating. The values of these samples ranged from a limit of 0.56 MPa to a limit of 1.87 MPa. The fracture on the tested specimens, as in the previous group, is horizontal. The tested specimens are significantly more warped than the supercooled and room temperature specimens. However, the breakage of the samples

is different. The breakage is gradual. In the tensile diagram it can be observed that the four specimens have very similar progression, but each specimen is at a different level of tensile strength.

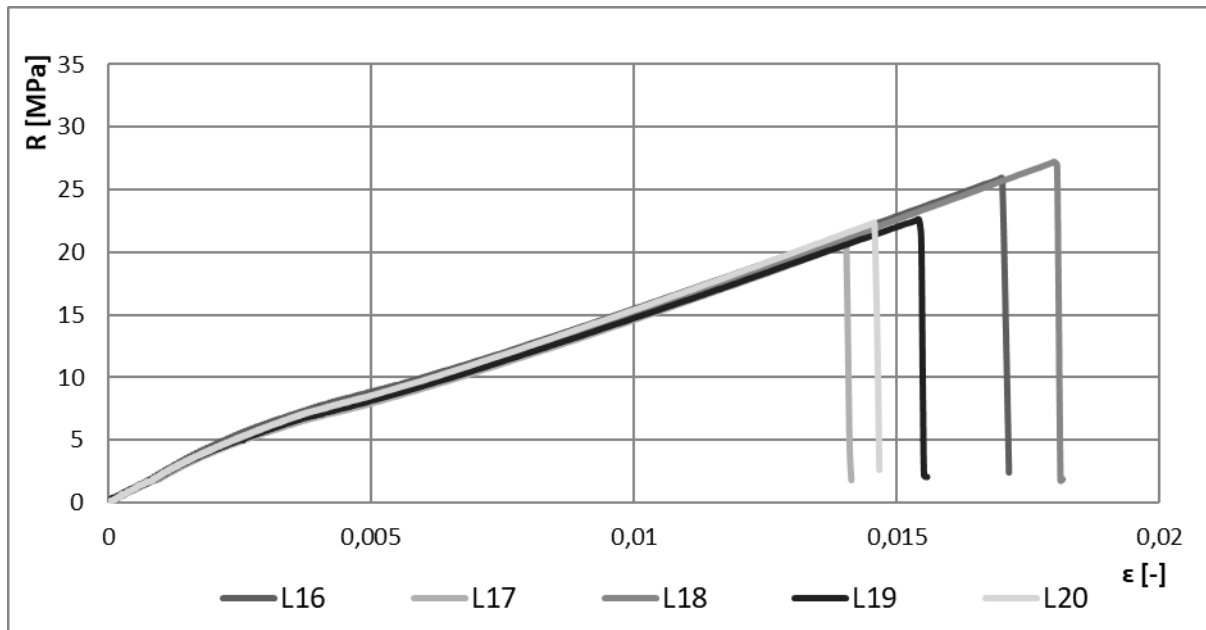


Figure 15 Tensile diagram – cooled samples - horizontal

Samples in the L26 to L30 group are tested at room temperature. The samples were printed vertically, which is reflected in the refraction. Horizontal fracture can again be observed in these samples, as was observed in the previous tests for vertically printed samples. The values obtained range from 22.16 to 24.38 MPa. These values are very close to those of the cooled samples. However, the difference in values is not as significant as it was for the tests with horizontally printed samples in the same temperature groups.

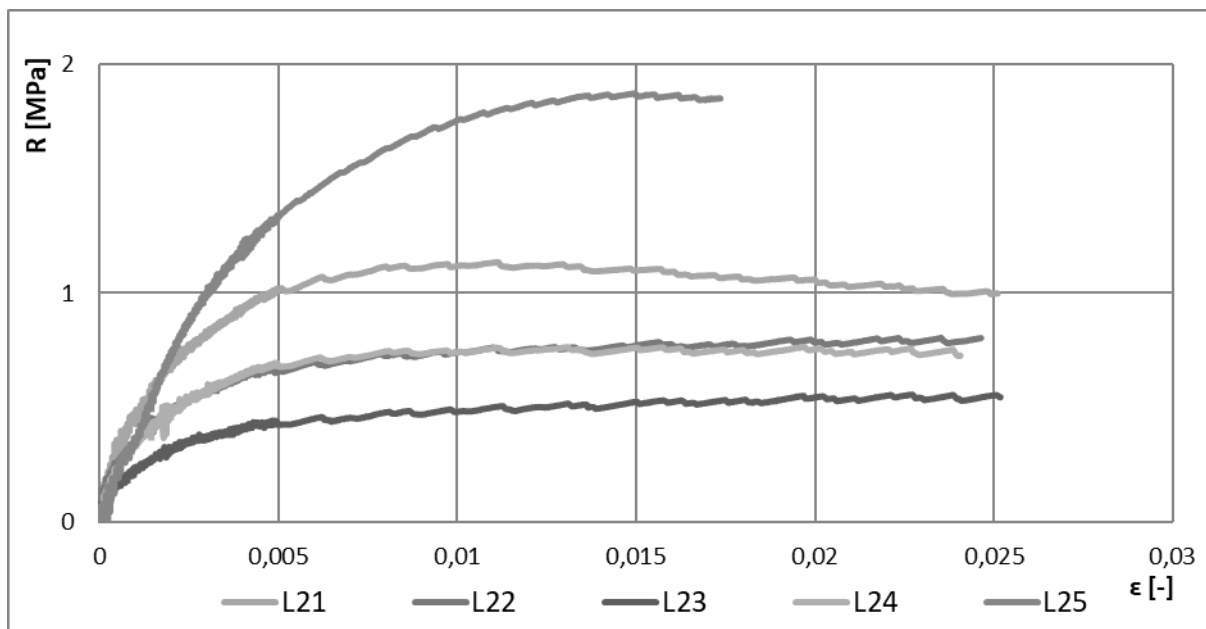


Figure 16 Tensile diagram – heat samples - horizontal

Vertically printed samples and heated to 60°C again achieve significantly lower values of ultimate strength, as was the case for samples printed horizontally and then heated. The values of these samples ranged from a limit of 0.56 MPa to a limit of 1.87 MPa. The fracture on the tested specimens, as in the previous group, is horizontal. The tested specimens are significantly more warped than the

supercooled and room temperature specimens. However, the breakage of the samples is different. The breakage is gradual. In the tensile diagram, it can be observed that the four specimens have very similar progression, but each specimen moves in a different force level.

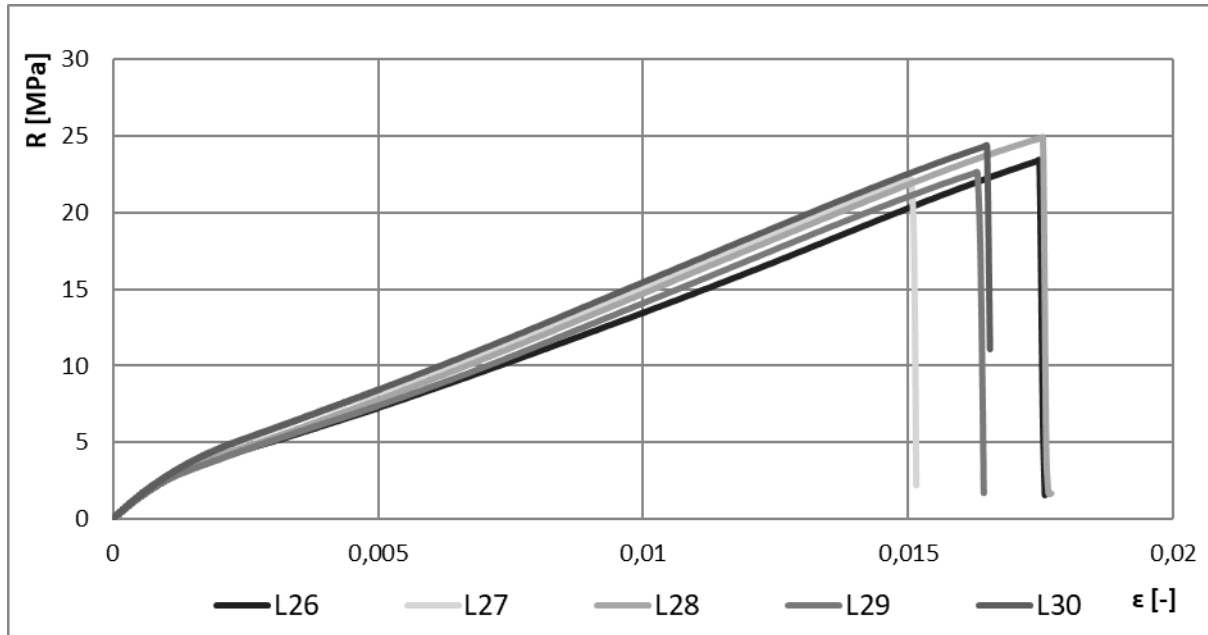


Figure 17 Tensile diagram – standard temp. samples – vertical

Samples from the L25 to L30 group are tested at laboratory temperature. The samples were printed vertically, which is reflected in the refraction. Again, horizontal fracture can be observed in these samples, as it was observed in the previous tests for vertically printed samples. The values obtained range from 22.16 to 24.38 MPa. These values are very close to those of the cooled samples. However, the difference in values is not as significant as it was for the tests with horizontally printed samples in the same temperature groups.

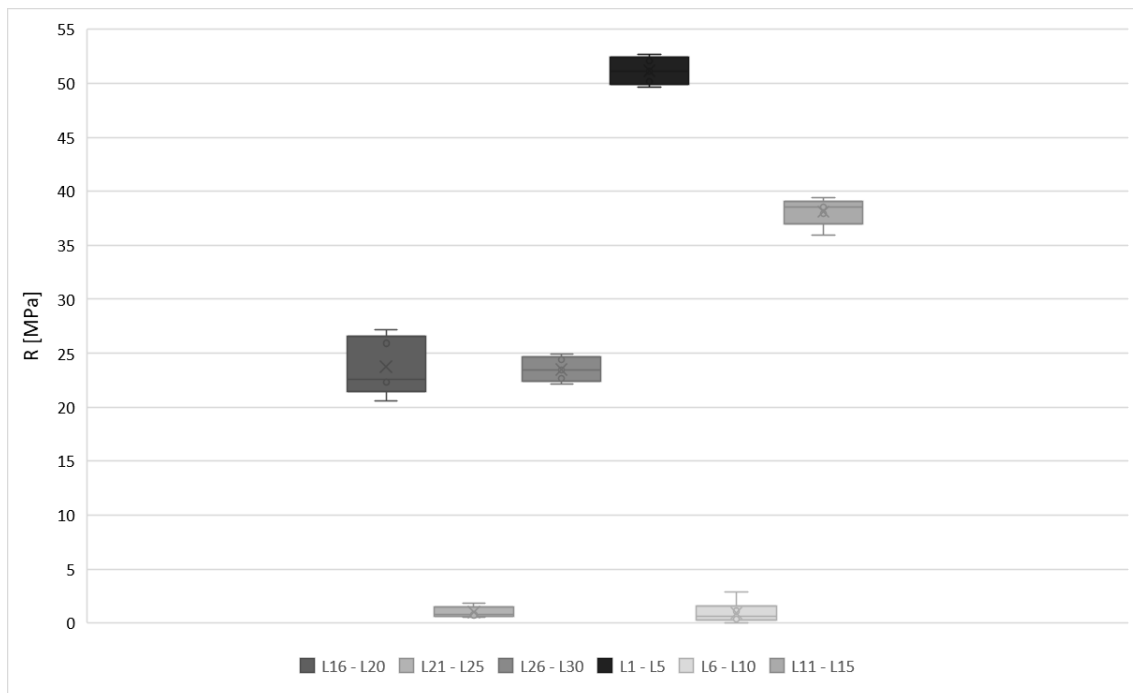


Figure 18 Box plot of tested samples

The box plot compares all tested samples. The highest tensile strength values were found in specimens L1-L5, which were cooled during testing and were printed in the horizontal direction. The second highest value of ultimate tensile strength is shown by specimens L11-L15, which were printed in the horizontal direction and tested at standard temperature. The groups of samples L16-L20 printed in vertical position, tested in cooled condition and L26-L30 printed in vertical direction, tested under standard conditions. Low values were measured for sample sets L21-L25 and L6-L10 due to testing at elevated temperatures in the glass transition region of the PLA material.

CONCLUSION

The measurement results support the assumption that the orientation in additive manufacturing printing has a direct effect on the strength limit. These results are also reported in Influence of the 3 D Printing Process Settings on Tensile Strength of PLA and HT-PLA (Hanon et al., 2020). The samples were produced with a infill setting of 100% with no outer perimeters, a layer thickness of 0.2 mm and a filament layup direction of +/- 45°. Due to the expansion and development of additive manufacturing technology and the evolution of additive manufacturing, it can be expected that more emphasis will be placed on print quality as well as the mechanical properties of additive manufacturing products. As demonstrated in the experimental section of this paper, it can be determined from the result of the tearing machine measurement that the temperature of the sample has an effect on the ultimate strength result. The tensile test also demonstrated differences in ultimate strength as well as significant differences in the ductility of the samples.

ACKNOWLEDGEMENT: The research has been supported by the project AF-IGA2023-IP-065 Development of heat treatment methodology for multimaterial 3D printing products

REFERENCES

1. HAUSMAN, K., HORNE, R., *3D Printing for dummies*, New Jersey: John Wiley, 2014. ISBN 978-1-118-66075-1.
2. KLOSKI L., KLOSKI N., *Začínáme 3D tiskem*, Brno: Computer Press, 2017. ISBN 978-80-251-4876-1.
3. ASTM D638: 2010. *Standard test methods for tensile properties of plastics*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
4. PRŮŠA, J., BACH, M., *Základy 3D tisku* [online]. Praha: Prusa Research, 2019 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.prusa3d.cz/kniha-zaklady-3d-tisku-josefa-prusi/>
5. ZALDIVAR, R. J., WITKIN, D. B., MCLOUTH, T., PATEL, D. N., SCHMITT, K., NOKES, J. P., *Influence of processing and orientation print effects on the mechanical and thermal behavior of 3D-Printed ULTEM® 9085 Material*, Additive Manufacturing, 2017 vol. 13, pp. 71-80.
6. IVIC, F., MITROVIC, S., GRUJOVIC, N., JOVANOVIC, Z., DZUNIC, D., MILENKOVIC, S., *The Influence of the 3D Printing Infill and Printing Direction on Friction and Wear of Polylactic Acid (PLA) under Rotational Sliding*. *Journal of Friction and Wear* [online]. 2021, 42(2), 106-111 [cit. 2023-02-15]. ISSN 1068-3666.
7. HANON, M. M., MARCZIS, R., ZSIDAI, L., *Influence of the 3D Printing Process Settings on Tensile Strength of PLA and HT-PLA*, Periodica Polytechnica Mechanical Engineering [online]. 2020, 65(1), 38-46 [cit. 2023-02-15]. ISSN 1587-379X.
8. SANG, L., HAN, S., LI, Z., YANG, X., HOU, W., *Development of short basalt fiber reinforced polylactide composites and their feasible evaluation for 3D printing applications*, Composites Part B: Engineering [online]. 2019, 164, 629-639 [cit. 2023-02-15]. ISSN 13598368.
9. WEAKE, N., PANT, M., SHEROAN, A., HALEEMB, A., KUMAR, H., *Optimising Process Parameters of Fused Filament Fabrication to Achieve Optimum Tensile Strength*, Procedia Manufacturing, 2020, vol. 51, pp. 704–709.

STANOVENÍ TLAKOVÉ ZTRÁTY DESKOVÝCH FILTRŮ PŘI FITRACI OLEJE

JIRÍ SOUČEK, PETR PLÍVA, MARTIN DĚDINA, JOSEF ŠIMON, VERONIKA TOMÁNKOVÁ,
SOŇA FRESLOVÁ

Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.

Abstract: Rostlinné oleje jsou významným zdrojem vysoce kvalitních složek potravin. Optimalizací procesu zpracování lze významně zvýšit jejich kvalitu a trvanlivost. Důležitou operací při zpracování rostlinných olejů je filtrace. Nevhodné teplotní, tlakové nebo hygienické poměry mohou kvalitu oleje výrazně uškodit. Článek je zaměřen na stanovení tlakových ztrát při využití deskových filtrů. Z experimentálního měření vyplynulo, že výše tlaku měla na průtok filtrem významný vliv do cca 150 kPa. Nad touto hodnotou se pouze zvyšovala tlaková ztráta na filtru bez výrazného navýšení průtoku oleje. Experiment byl realizován s konopným olejem na deskovém filtru N 15-25 při rozsahu teplot 15-20 °C.

Keywords: hemp, pressure loss, filtration rate, oil cleaning

ÚVOD

Prádné rostliny, mezi které patří i konopí seté, jsou tradičními plodinami pěstovanými ve středoevropském prostoru. Jejich význam spočíval historicky ve využívání vláken vhodných pro další zpracování. Podle řady autorů (Mendel et al, 2020) je konopí dobře využitelné v rámci fytořemeslačních postupů nebo jako energetická surovina (Souček & Jasinskas 2020; Malatřáková, J., et al 2021). V současné době je důležitou surovinou konopné semínko. V praxi je nejčastěji používáno jako součást lidské výživy, případně krmiv. Nejčastěji je využíváno v loupané formě, nebo vylisované ve formě konopného oleje a pokrutin. Ceněna je vysoká dietetická hodnota konopného semene, pokrutin i oleje, který obsahuje značné množství nenasycených mastných kyselin. Tato přednost má nevýhodu v nízké oxidační stabilitě (Kyselka et al, 2017). Pro získávání kvalitního oleje jsou hlavními operacemi skladování, lisování a filtrace. Parametry těchto operací mají zásadní vliv na složení a kvalitu oleje. Podle (Tura et al 2022; Vitorovič et al. 2021) je konopný olej ceněn především pro své nutriční vlastnosti, které jsou spojeny s příznivými zdravotními účinky. Konopná semena obsahují až 35 % mastných kyselin, vysoký podíl bílkovin (25 %), sacharidů (30 %) a vlákniny (10 %). Konopný olej je bohatý převážně na kyselinu linolovou a linolenovou ve vhodném poměru pro výživu. Linolenová kyselina dává konopnému oleji vyšší nutriční hodnotu. Hlavní výroba konopného oleje je soustředěna v Kanadě, kde se díky modernějším postupům snižuje nežádoucí obsah psychoaktivní látky THC (angl. Tetra-hydrocannabinol).

Při zachování vhodných podmínek je konopné semeno relativně dobře skladovatelné. Důležité je zajistit správnou teplotu a vlhkost skladovací atmosféry. Vhodné je skladovanou vrstvu semene pravidelně provzdušňovat a při manipulaci zabránit poškození. Následujícím krokem při zpracování je lisování a to zpravidla na šnekových lisech. Teplota oleje na výstupu z lisu by neměla být vyšší než 50 °C.

Oxidační stabilita je v literatuře (Bárta et al., 2021) nejčastěji definována hodnotou peroxidového čísla a číslem kyselosti.

Panenský konopný olej má vysoký obsah nenasycených mastných kyselin. V případě dodržení technologické kázně při jeho zpracování si ponechává všechny nutričně významné látky a neobsahuje psychoaktivní látku THC. Po senzorické stránce má konopný olej lehce oříškovou vůni a světle zelenou barvu. Cílem experimentu bylo ověřit vliv podmínek filtrace na provozní parametry a přispět tak ke zvýšení kvality zpracování rostlinných olejů.

MATERIÁL a METODY

Pro realizaci experimentu byl použit nefiltrovaný konopný olej odrůdy Bialobrzeskie vypěstovaný v obci Částrov (kraj Vysočina, Česká republika). Sklizené semeno bylo podrobeno posklizňové úpravě a skladováno 30 dní. Následně bylo lisováno na malotónážním šnekovém lisu Farnet Duo při teplotě výstupního oleje 43 ± 3.5 °C. Vylisovaný olej byl skladován čtyři dni při teplotě 8 ± 1.2 °C. V průběhu skladování se přirozeně gravitačně oddělila tuhá část (prolis) od části tekuté. V

rámci analytických rozborů (prvkového složení) byly tyto části odděleně analyzovány a následně podrobeny experimentální filtraci.

Pro experimentální stanovení filtračních křivek zkoumaných vzorků bylo použito experimentální zařízení VÚZT, jehož základem je deskový filtr FARMET (Farmet, s.r.o., Česká republika).

U měřených vzorků byly agrochemickou laboratoří VÚZT stanoveny jejich vlastnosti důležité z hlediska dalšího využití.

- Analytické složení (podle EN 15297:2011, ISO 16948:2015) [38,39].
- Mikrobiologické rozbor celkového počtu mikroorganismů, obsahu plísní a kvasinek (ČSN EN ISO 4833, ČSN ISO 21527-1,2, ČSN ISO 16649-2 a ČSN EN ISO 7899-2).
- Oxidační stabilita oleje vyjádřená hodnotou peroxidového čísla (ČSN EN ISO 3960). Hodnota peroxidového čísla byla stanovena ve skladovaném oleji před zahájením experimentů. V testovaném oleji před vstupem do filtru a na výstupu z filtru.
- Stanovení obsahu nečistot mikroskopicky.
- Nejistoty měření jsou stanoveny podle dokumentů ČIA Evropská spolupráce pro akreditaci EA 4/02. Měřicí přístroje splňují podmínky ČSN EN ISO/IEC 17 025.

Experimentální zařízení umožňuje nastavení provozních parametrů a on-line snímání sledovaných fyzikálních veličin v uzlových bodech. Pro rovnoměrný průtok je zařízení vybaveno systémem nastavitelného statického tlaku oleje v rozsahu 0-300 kPa (omezeno konstrukcí filtru).

V průběhu experimentu je olej tlačěn přes membránu statickým tlakem do deskového filtru. Tlak je nastaven před začátkem experimentu na požadovanou úroveň.

Rychlost proudění oleje je určována nastaveným tlakem a tlakovou ztrátou filtru. Rychlost proudění je stanovena hmotnostně pomocí tenzometrické váhy KERN FTC 60K2 s měřicím rozsahem $60 \pm 0,002$ kg s digitálním on-line výstupem.

Tlak oleje před filtrem je měřen pomocí tlakového převodníku Greisinger DMP 331 110 s měřicím rozsahem 0 až $1\,600 \pm 40$ kPa.

Teplota oleje je měřena oplášťovanými termočlánky typu K * 0,25 mm s časovou konstantou * 1 s. Teplota oleje je měřena ve vstupním zásobníku, na vstupu filtru, na výstupu z filtru a ve výstupním zásobníku. Relativní vlhkost a teplota okolního vzduchu je v průběhu realizace pokusů snímána převodníkem teploty a vlhkosti Testo 6651 (přesnost $\pm 0,5^\circ\text{C}$, $\pm 2,5\%$ RH). Všechna uvedená měřidla jsou připojena do měřicí a záznamové ústředny COMET MS6D stejně jako měření hmotnosti.

Všechny údaje jsou snímány pomocí ústředny COMET MS6D s nastaveným intervalem při on-line propojení s PC nebo v záznamovém režimu s následným exportem dat do PC. Data jsou následně zpracována pomocí standardní uživatelské platformy (MS Excel).

Při měření filtračních křivek byl připraven vzorek 15 kg oleje. U připravovaného vzorku bylo provedeno kontrolní měření teploty a byl proveden záznam o původu vzorku dle popisu na nádobě. Vzorek byl ihned po přípravě gravitačně přepuštěn do vstupního zásobníku a po ustálení přepuštěn do akumulární tlakové nádoby. Po nastavení požadované hodnoty tlaku bylo vzorkem (otevřením kulového ventilu) naplněno vstupní potrubí filtru. Pomocí odvězdušňovacího ventilku byl v případě potřeby odstraněn nadbytečný vzduch a následně byl spuštěn záznam hodnot. Měřené hodnoty bylo možné sledovat on-line na PC připojeném k měřicí ústředně. Vzorek materiálu byl považován za přefiltrovaný, pokud byl měřený průtok oleje nulový po dobu 30 sekund.

VÝSLEDKY a DISKUSE

Výsledky analýz jsou v tabulce 1.

Tabulka 1 Složení konopného oleje a prolisu podle analytických rozborů

Obsahovaný prvek, jednotka	hodnoty	
	olej	prolis
C, %	68.07 ± 1.12	77.86 ± 1.14
H, %	10.15 ± 0.45	11.31 ± 0.42
S, %	0.26 ± 0.001	0.08 ± 0.001
N, %	1.82 ± 0.1	0.05 ± 0.001

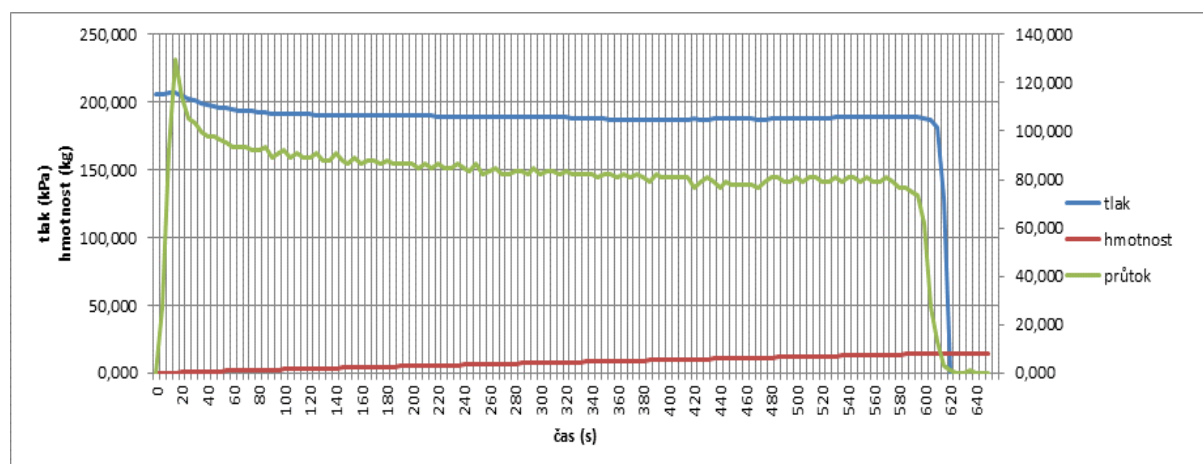
Cl, %	0.069 ± 0.004	26 ± 0.004
Si, %	0.80 ± 0.003	0.24 ± 0.004
Ca, %	0.253 ± 0.025	<0.07
Mn, %	<0.05	<0.04
K, %	0.814 ± 0.016	0.07 ± 0.020
P, %	0.650 ± 0.004	0.005 ± 0.002
Zn, mg/kg	0.002 ± 0.75	0.002 ± 0.75
Cd, mg/kg	<0.2	<0.2
Pb, mg/kg	<0.002	<0.002
Cr, mg/kg	<0.002	<0.002
Cu, mg/kg	<0.001	<0.001

U oleje byly následně provedeny i mikrobiologické rozboru Ty byly provedeny na obsah celkového počtu mikroorganismů, počet kvasinek a plísni, *Escherichia coli* a intestinální enterokoky. Výsledky dle rozboru mikrobiologické laboratoře VÚZT jsou uvedeny v tabulce 2.

Tabulka 2 Výsledky mikrobiologického rozboru oleje

Druh mikroorganismů, jednotka	hodnota
Celkový počet mikroorganismů, KTJ.ml ⁻¹	< 10
Kvasinky a plísňe, KTJ.ml ⁻¹	< 10
<i>Escherichia coli</i> , KTJ.ml ⁻¹	0
Intestinální enterokoky, KTJ.ml ⁻¹	0

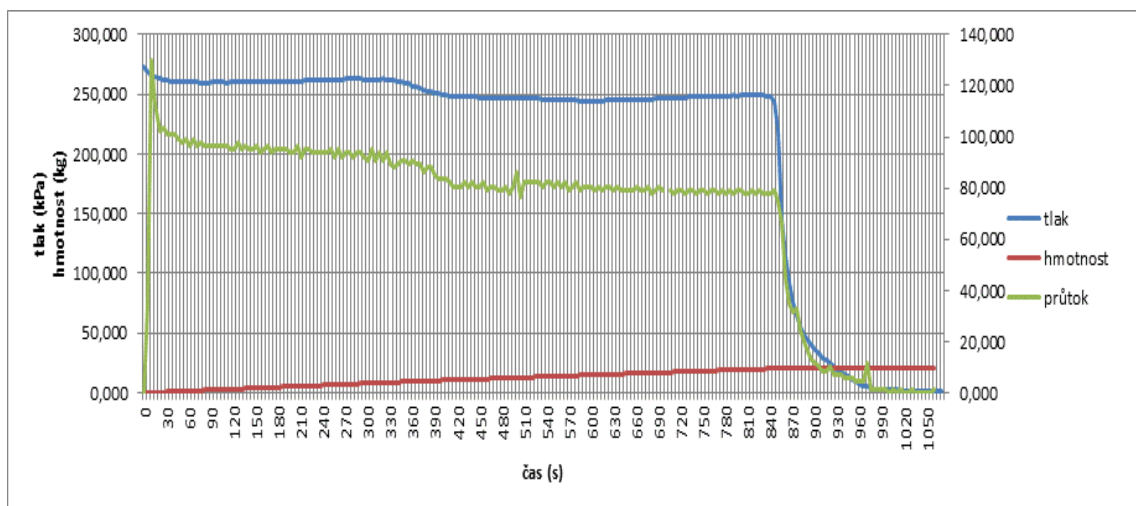
Na obrázcích 1 a 2 je graficky znázorněn průběh filtračních křivek při hodnotách nastaveného tlaku 200 a 250 kPa. Tlak v systému byl udržován na nastavené hodnotě pomocí redukčního ventilu s přesností ± 10 kPa. Teplota vzorku se v průběhu filtrace mírně zvyšovala vlivem zvýšeného tlaku.



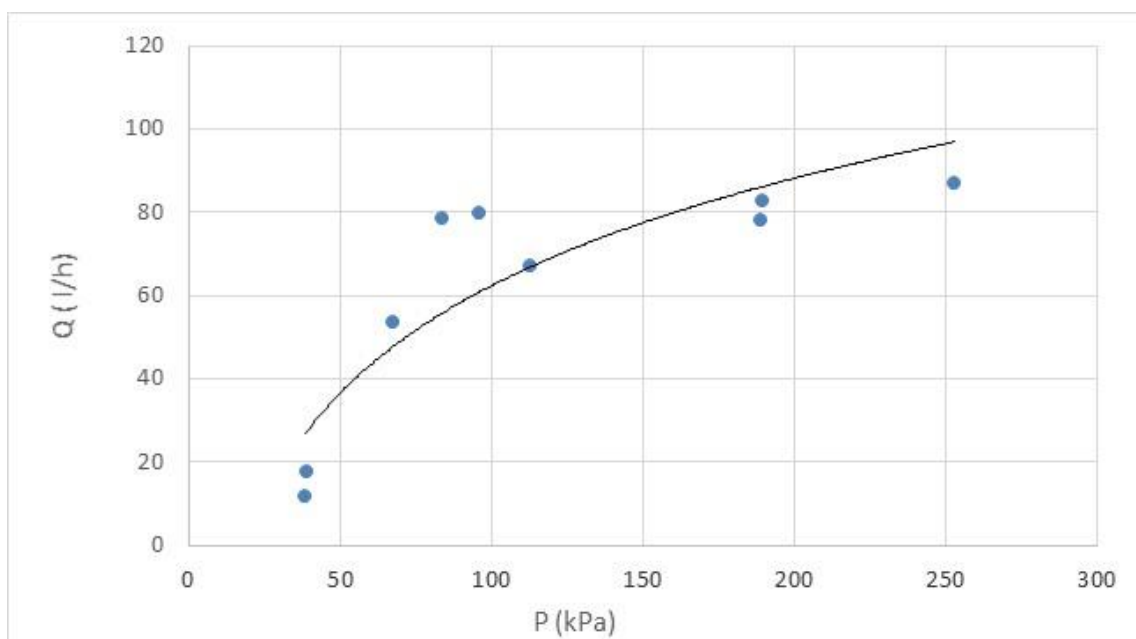
Obrázek 1 Grafické znázornění průběhu tlaku, teploty a průtoku oleje během filtrace – tlak 200 kPa.

Z grafů na obrázcích 1 a 2 je zřejmé, že největší průtok filtrem byl zaznamenán na začátku měření. V průběhu experimentu postupně klesal vlivem zanášení filtračních desek kalem. Naměřená data byla zpracována v programu MS Excel a statisticky vyhodnocena v programu STATISTICA.

Stejným způsobem jako v uvedených příkladech byly stanoveny parametry filtrace pro další hodnoty tlaku v rozmezí 0-250 kPa. Závislost průtoku oleje filtrem na jeho tlaku je znázorněna na obrázku 3.



Obrázek 2 Grafické znázornění průběhu tlaku, teploty a průtoku oleje během filtrace – tlak 250 kPa..



Obrázek 3 Závislost průtoku oleje na nastaveném tlaku - filtr N 15-25

Z výsledků na obrázku 3 je zřejmé, že větší vliv na hodnotu průtoku má změna tlaku na nižší úrovni (do cca 100 kPa). Při změně tlaku nad cca 150 kPa se již změna na průtoku neprojevuje tak výrazně. Drobné nesrovnalosti jsou způsobeny rozdíly v teplotě filtrovaného oleje a úrovni zanesení filtru (tlakové ztráty).

Dalším sledovaným parametrem byla teplota oleje, přičemž ve sledovaném rozmezí 15 – 25 °C neměla teplota na rychlost filtrace významný vliv. Logicky ale lze předpokládat, že při větších rozdílech teplot, se bude výrazněji měnit viskozita oleje a vliv na hodnotu průtoku bude také výraznější. Ověřování bude předmětem dalšího výzkumu.

ZÁVĚR

Požadovaná experimentální měření a jejich vyhodnocení včetně formulace získaných poznatků byla realizována v souladu s plánovaným postupem. Vzhledem k dosažení vytýčených cílů a období, kdy byla převážná část experimentů realizována, byl jako stěžejní pokusný materiál použit konopný olej.

Z výsledků je zřejmé, že v usazené části (prolisu) je významně vyšší podíl některých důležitých prvků (vápníku, draslíku, síry, dusíku, zinku). Je paradoxem, že čištěním oleje jsou tyto cenné prvky od-loučeny.

Pokusy s filtrací oleje přes deskový filtr prokázaly, že filtrace konopného oleje má negativní vliv na jeho oxidační stabilitu. Nárůst peroxidového čísla se pohyboval v rozmezí 4,96 – 6,39. V průběhu experimentů nebyl prokázán vliv tlaku při lisování na zvýšení peroxidového čísla. Vliv teploty ve sledovaném rozmezí byl malý. S rostoucí teplotou se nárůst peroxidového čísla mírně zvyšoval. Lze předpokládat, že v případě filtrace za vysoké teploty, bude i nárůst peroxidového čísla vyšší.

Z hlediska doporučených hodnot peroxidového čísla pro potravinářské využití (max. 15, ideálně do 10 mg O₂.kg⁻¹) je tento nárůst významný. Při správném skladování se peroxidové číslo oleje v semeni pohybuje na úrovni jednotek a i při dodržení technologické kázně (zejména nízká teplota oleje) dochází v průběhu lisování k dalšímu navýšení jeho hodnoty. Další negativní vlastností konopného oleje je, že v průběhu skladování (i při nízkých teplotách) dochází k další oxidaci. V součtu z uvedených skutečností vyplývá, že konopný olej filtrovaný na deskovém filtru má z hlediska uchování v potravinářské kvalitě nižší životnost.

Na druhé straně olej na výstupu z lisu obsahuje vyšší množství tuhé složky, která v průběhu skladování sedimentuje a vytváří v oleji usazeniny. Ty nemusí nutně snižovat jeho kvalitu. Naopak obsahují hodnotné složky. Z estetického a marketingového hlediska ale oleji v současném tržním prostředí neprospívají.

Literatura

1. MENDEL, P., VYHNÁNEK, T., BRAIDOT, E., FILIPI, A., TROJAN, V., BJELKOVÁ, M., VAVERKOVÁ, M. D., ADAMCOVÁ, D., ZLOCH, J., BRTNICKÝ, M., ĐORĐEVIĆ, B. 2020. *Fiber Quality of Hemp (Cannabis sativa L.) Grown in Soil Irrigated by Landfill Leachate Water*. Journal of Natural Fibers, 2022, 19, 9, 3288-3299.
2. BÁRTA, J., BÁRTOVÁ, V., JAROŠOVÁ, M., ŠVAJNER, J., SMETANA, P., KADLEC, J., FILIP, V., KYSELKA, J., BERČÍKOVÁ, M., ZDRÁHAL, Z., BJELKOVÁ, M., KOZAK, M. 2021. *Oilseed Cake Flour Composition, Functional Properties and Antioxidant Potential as Effects of Sieving and Species Differences*. Foods, 2021, 10, 11, 2766.
3. SOUČEK, J., JASINSKAS, A. 2020. *Assessment of the Use of Potatoes as a Binder in Flax Heating Pellets*. Sustainability, 2020, 12, 24, 10481.
4. KYSELKA, J., RABIEJ-KOZIOŁ, D., DRAGOUN, M., KREPS, F., BURČOVÁ, Z., NĚMEČKOVÁ, I., SMOLOVÁ, J., BJELKOVÁ, M., SZYDŁOVSKA-CZERNIAK, A., SCHMIDT, S., ŠARMAN, L., FILIP, V. 2017. *Antioxidant and antimicrobial activity of linseed lignans and phenolic acids*. European Food Research and Technology, 2017, 243, 3, 1633–1644.
5. TURA, M., ANSORENA, D., ASTISARÁN, I., MANDRIOLI, M., TOSCHI, T. G. 2022. *Evaluation of Hemp Seed Oils Stability under Accelerated Storage Test*. Antioxidants, 2022, 11, 3, 490.
6. VITOROVIĆ, J., JOKOVIĆ, N., RADULOVIC, N., MIHAJLOV-KRESTEV, T., CVETKOVIĆ, V. J., JOVANOVIĆ, N., MITROVIĆ, T., ALEKSIĆ, A., STANKOVIĆ, N., BERNSTEIN, N. 2021. *Antioxidant Activity of Hemp (Cannabis sativa L.) Seed Oil in Drosophila melanogaster Larvae under Non-Stress and H₂O₂-Induced Oxidative Stress Conditions*. Antioxidants, 2021, 10, 6, 830.
7. MALAŤÁKOVÁ, J., JANKOVSKÝ, M., MALAŤÁK, J., VELEBIL, J., TAMELOVÁ, B., GENDEK, A., ANISZEWSKA, M. 2021. *Evaluation of Small-Scale Gasification for CHP for Wood from Salvage Logging in the Czech Republic*. Forests, 2021, 12, 11, 1448.
8. YAMAMOTO, K., TODA, Y. 2018. *Numerical Simulation on Flow Dynamics and Pressure Variation in Porous Ceramic Filter*. Computation, 2018, 52, 2, 1-14.
9. GUERRINI, L., ZANONI, B., BRESCHI, C., ANGELONI, G., MASELLA, P., CALAMAI, L., PARENTI, A. 2020. *Understanding Olive Oil Stability Using Filtration and High Hydrostatic Pressure*. Molecules, 2020, 25, 2, 420.

Článek vznikl v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum č. QK21010151 a s využitím institucionální podpory na dlouhodobý koncepční rozvoj VÚZT, v. v. i. RO0623.

Contact address:

Ing. Jiří Souček, Ph.D.

Research Institute of Agricultural Engineering, p. r. i., Drnovská 507, 161 01, Prague 6, Czech Republic

MODIFIKACE PĚSTEBNÍCH POSTUPŮ ZA ÚČELEM EFEKTIVNÍHO HOSPODAŘENÍ NA POZEMCÍCH

FRANTIŠEK TOŠOVSKÝ, MILAN KROULÍK, VÁCLAV BRANT, JOSEF CHÁRA, JIŘÍ DREKSLER

Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, Katedra zemědělských strojů

Abstrakt: Pro vyhodnocení těchto dat došlo k rozdělení pozemků na 3 části, na souvrať 1, souvrať 2 a produkční plochu. Souvraťe byly široké 10,7 m z důvodu 10,7 m záběru sklizecí mlátičky. Zbytek plochy byla produkční plocha. Tyto části byly mezi sebou porovnávány z hlediska výnosu, vlhkosti zrna a spotřeby paliva. Z výsledků je patrné, že na souvraťích sklizeno zrna o nižším výnosu s vyšší vlhkostí oproti produkční ploše. Promítnutím těchto výsledků do mapy, můžeme říci, že dle těchto prvotních výsledků je obhospodařování souvraťí finančně nerentabilní oproti produkční ploše, je ale nezbytné získaná telematická data podrobit hlubšímu šetření.

Klíčová slova: půdní blok; souvrať; dělení pozemků; GPS navigace; utužení půdy

ÚVOD

V souvislosti s nárůstem diskusí, které se vedou okolo požadavků na šetrné hospodaření na půdních blocích, zejména ve vztahu k současnému intenzivnímu způsobu hospodaření, celospolečenskému požadavku na snižování energetických a materiálových vstupů, ekologizaci zemědělství, se tato problematika týká také velikostí půdních bloků, jejich dělení a celkový přístup k jednotlivým částem půdního bloku. Jedním z primárních faktorů rozhodujících o energetické a ekonomické náročnosti výroby na půdním bloku je jeho velikost. Lorenz a Münchhoff (2015) svými pokusy a výzkumy na farmě, kde nejmenší pozemek měl výměru 0,35 ha a největší 16,7 ha, došli k závěru, že principy precizního zemědělství lze efektivně provádět na pozemcích větších než 0,5 ha.

Například cílené dělení a zmenšování dílů půdních bloků je potřeba vnímat také z pohledu organizování jízd pracovních souprav, otáčení souprav, kdy pouhé snížení velikosti půdního bloku ve snaze podpořit protierozní opatření povede k navyšování přejezdů a změně poměru pracovních a nepracovních jízd ve prospěch otoček. Úvahy nad navyšováním souvraťí, případně poměru nepracovních jízd vyvolává oprávněnou otázku zvyšování rizika zhutnění půdy na hlavních pěstebních plochách a především souvraťí (Tošovský et al., 2022).

Za základní klasifikační jednotku hodnocení v precizním zemědělství lze považovat půdní blok. Výměra půdního bloku, tvarové vlastnosti, sklonitost a v neposlední řadě variabilita půdních vlastností se může stát východiskem pro optimalizační postupy. S tím jak přibývají datové podklady spojené s hodnocením variability pozemků a provozních dat strojů, můžeme sledovat řadu souvislostí, které nabízí cestu k hledání materiálových a energetických úspor, případně agroenvironmentálních opatření. Zvýšení tlaku na eliminaci negativních rizik zemědělství na životní prostředí je bezpochyby požadavek oprávněný a podporovaný. Již delší dobu se vede diskuse k optimalizaci jízdních trajektorií, ale také k velikosti a tvaru půdních bloků nebo mimoprodukčních funkcí souvraťí a částí pozemků (Tošovský et al., 2022).

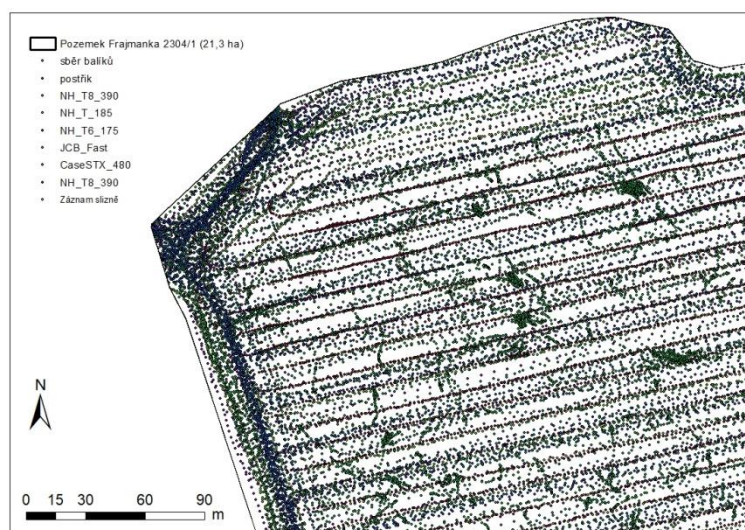
Na změnu velikostních a tvarových parametrů půdních bloků má velký vliv také zabírání zemědělské půdy pro nezemědělské využití nebo jejich přerušování budovanou infrastrukturou, často související omezení přístupnosti a vznik nepravidelných hranic (Brant, Kroulík a kol., 2020).

MATERIÁL a METODIKA

Porovnávaná data byla získána ze zemědělského podniku AGRA Řisuty s.r.o., tyto data jsou výstupy ze strojů, které obdělávají pozemky společnosti. Provozní data byla zaznamenána v sezóně 2018/2019. Výsledky jsou rozděleny do dvou částí, kdy v první části jsou vyhodnocena data získaná ze sklizecí mlátičky. Pro tuto práci bylo vybráno šest pozemků, na kterých byly sklizeny následující plodiny: pšenice ozimá, tritikále ozimé, řepka olejka a hrách setý. Pro zpracování výsledků bylo vybráno právě těchto šest pozemků z důvodu ucelenosti a dostupnosti dat z průběhu sklizně. Sklizeň byla provedena axiální sklizecí mlátičkou New Holland CR 9.90, jež byla osazena žací lištou o pracovním záběru 10,7 m. Z této mlátičky byla získána data o průběhu sklizně. Prezentované výsledky představují zatím část výpočtů a modelů, i tak se dostáváme k zajímavým výstupům. Na variabilitu pozemku se můžeme podívat trochu z jiného pohledu. Pokud pozemek rozdělíme nikoliv podle hodnot, ale vyjdeme

z jednotlivých záběrů strojů, můžeme na souvrati pozemek rozdělit do následujících zón. Jsou to plochy okrajové, které představují přechod mezi pozemkem a okolním prostředím, z hlediska intenzity přejezdů jsou zatěžovány méně, zato jsou vystaveny vyššímu tlaku z okolí pozemku. Plochy intenzivního otáčení souprav, kde se odehrává většina otoček a plochy přechodové, které jsou přejížděny obdobně jako hlavní produkční plocha. Zbylá plocha je již zmíněná hlavní produkční plocha.

Intenzitu přejezdů můžeme posoudit z obrázku 1 detailu části vybraného pozemku, kde byly sledovány provozní ukazatele strojů, především spotřeba pohonných hmot, výnosová data a další ukazatele. Při pohledu na souvratí pozemku jsou patrné intenzivní přejezdy a opakované přejezdy této části pozemku. Na produkční ploše jsou patrná místa, která nebyla zasažena přejezdy, těchto míst je ovšem velice málo.

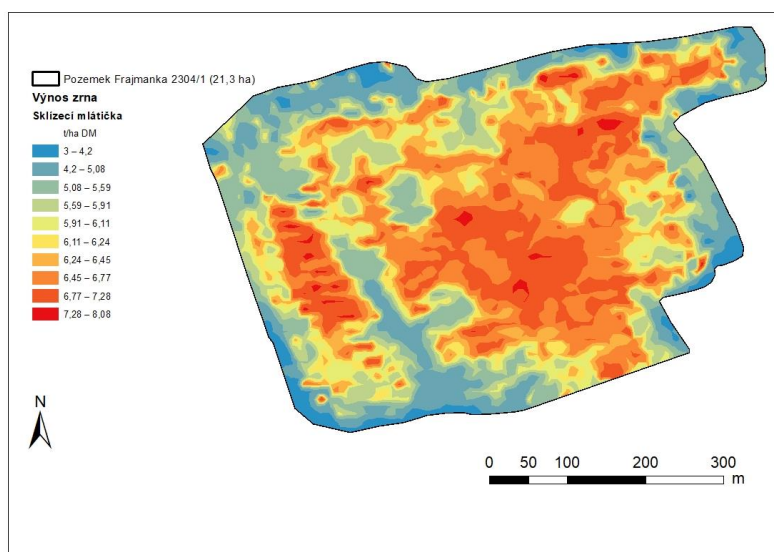


Obrázek 1 Detailní záběr mapy všech přejezdů zemědělské techniky pro celou sezónu.

Výnosová data a výnosové mapy byly jedním z prvních výstupů ve snaze mapovat pozemky. Detailní pohled na výnosy bude hrát významnou roli také v hodnocení v modifikacích pěstebních postupů.

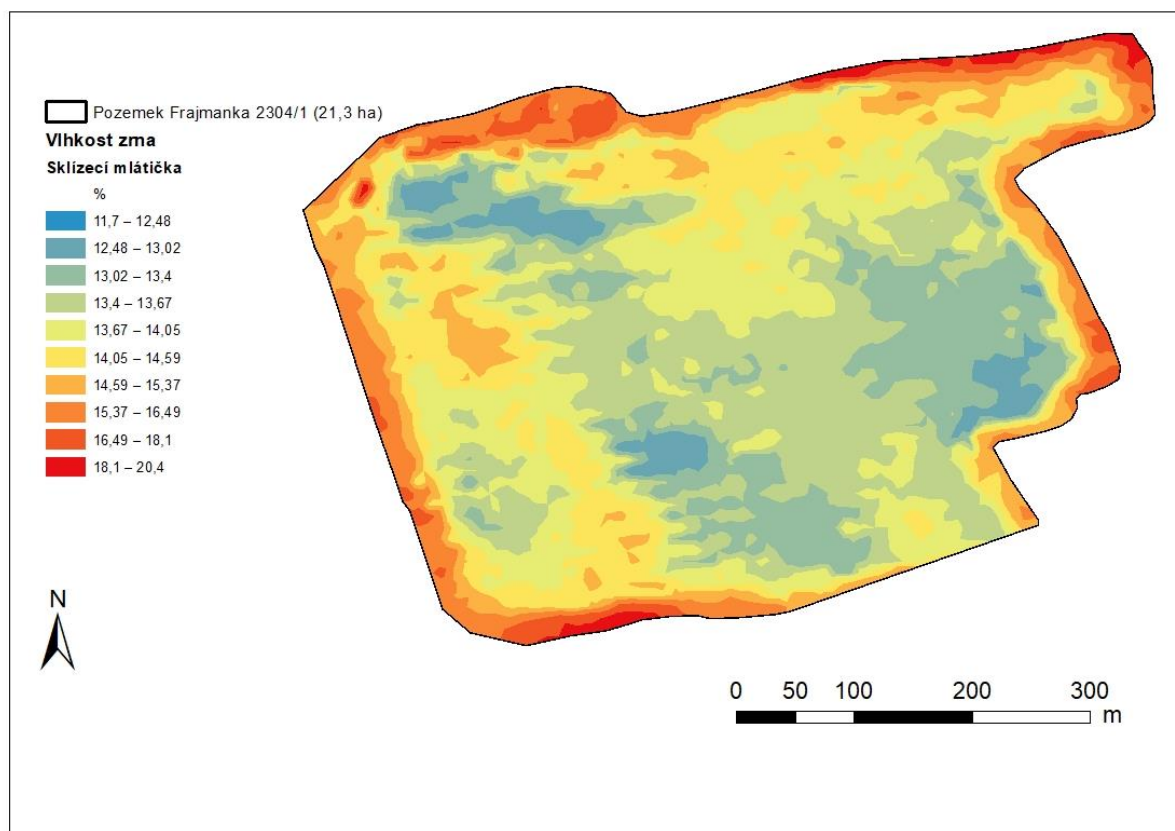
Výsledky a diskuse

Z mapy výnosu obrázek 2 je patrný pokles výnosu na souvratích. Podobnou tematiku rozebírá ve své práci Ward a kol. (2021). Oblasti hlavních produkčních plochy a přechodové souvratě měly tendenci poskytovat lepší ukazatele půdních vlastností a vyšší potenciál výnosu než oblasti okraje pole a oblasti otáčení pro všechny tři sledované plodiny (ozimý a jarní ječmen a ozimá pšenice).



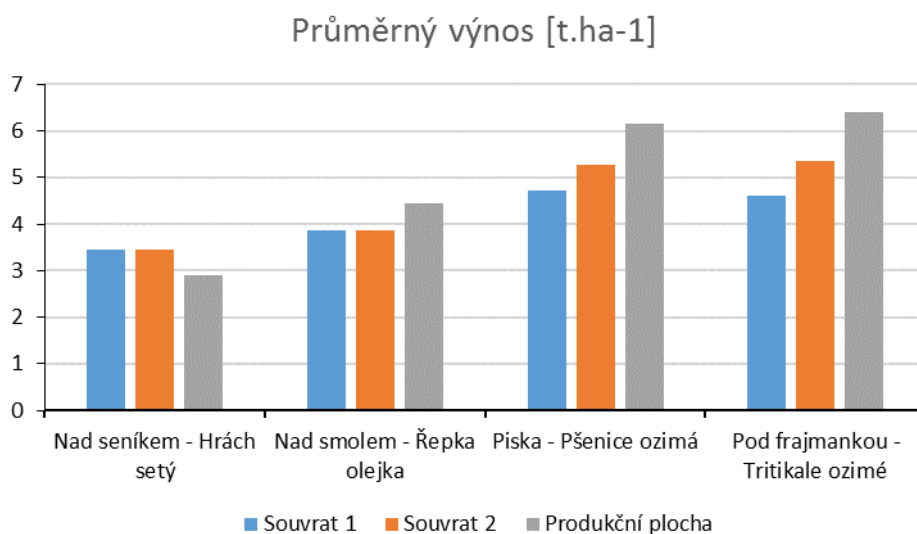
Obrázek 2 Mapa výnosu sklizeného zrna, pozemek Pod Frajmankou.

Z dalších ukazatelů je možné vyčíst vyšší hodnoty vlhkosti zrna. V konečném důsledku, plochy s nižším výnosem a vyšší vlhkostí zrna, často vykazovaly vyšší hodnoty spotřeby pohonných hmot při sklizni. Vyšší vlhkost může mít několik důvodů. Jako podstatný se jeví neustále zmlazování porostu v důsledku intenzivního přejíždění.



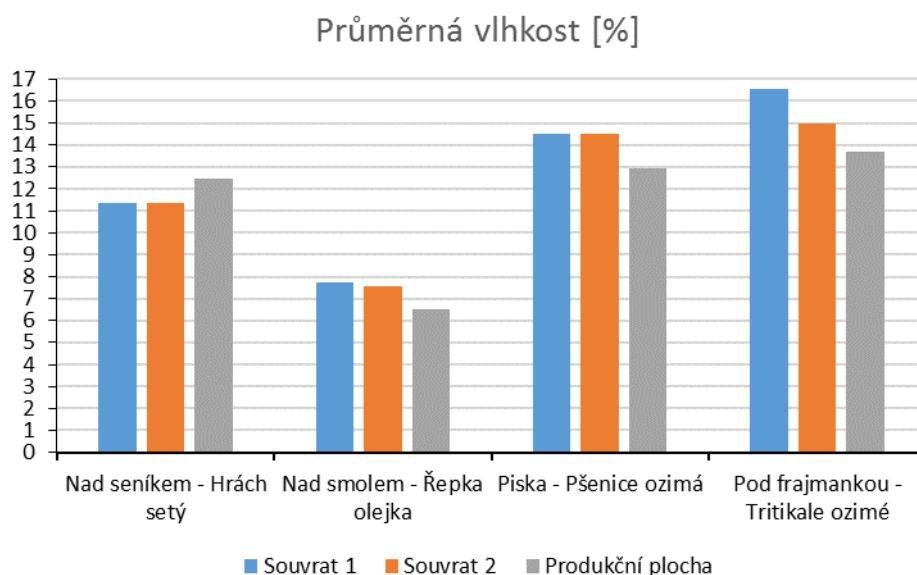
Obrázek 3 Mapa vlhkosti sklizeného zrna, pozemek Pod Frajmankou.

Pokud se podíváme na hodnoty detailněji, můžeme pozorovat uvedený trend ve většině případů na dalších pozemcích. V uvedeném případě již byla data rozdělena do jednotlivých zón. Souvrat 1 je okrajová část a souvrat 2 představuje intenzivně přejížděnou plochu.



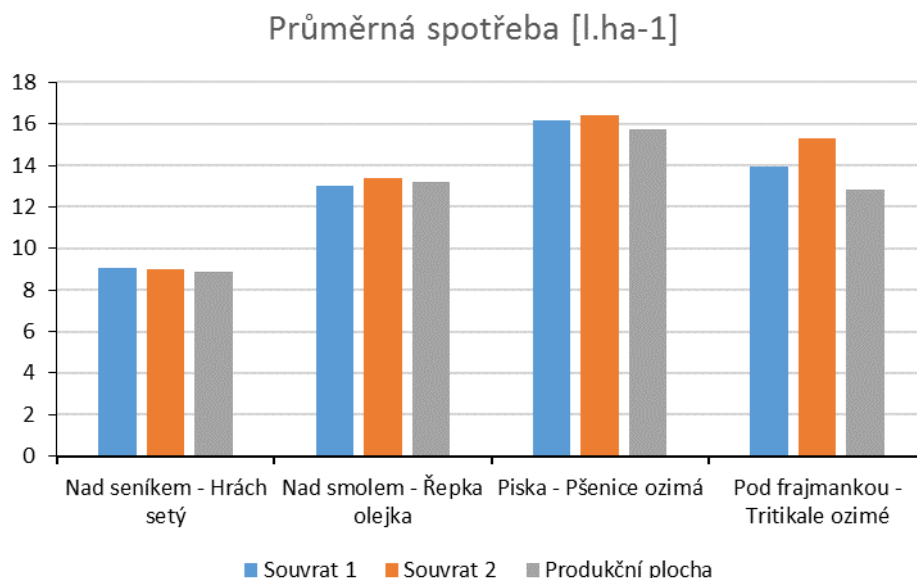
Obrázek 4 Porovnání průměrných výnosů sklizeného materiálu

Nejvyšší výnosy byly zaznamenány na produkční ploše, takřka u všech pozemků. Výjimkou zde je pozemek Nad seníkem, kde byl výnos na produkční ploše výrazně oproti souvratím. Obecně ale můžeme říci, že souvratě 1 mají nejnižší výnos, souvratě 2 vyšší, vyšších výnosů dosáhly produkční plochy.



Obrázek 5: Porovnání průměrné vlhkosti sklizeného materiálu

Z obrázku 6 můžeme vyčíst, že takřka u všech pozemků byla vlhkost zrna nebo semene na souvratích vyšší než na produkční ploše. Jedinou výjimkou je pozemek Nad seníkem, kde byl sklizen hrách. V tomto případě můžeme vidět naprosto opačný efekt, kdy na produkční ploše je vlhkost sklizeného materiálu vyšší oproti souvratím.



Obrázek 6 Porovnání průměrné spotřeby paliva

Z obrázku 7 můžeme vyčíst, že při porovnání spotřeb paliva nebyly pozorovány mezi jednotlivými zónami půdních bloků rozdíly. Výrazné rozdíly ve spotřebě paliva jsou při porovnání jednotlivých plodin, avšak toto není předmětem práce.

Detailní ukazatele pro konkrétní pozemek Pod Frajmankou přináší tabulka 1. Jak je z výsledku patrné, mezi jednotlivými hodnotami byly pozorovány statisticky významné rozdíly.

Tabulka 1 Průměrné hodnoty získané z dat sklizně pozemku Pod Frajmankou – Tritikale ozimé.

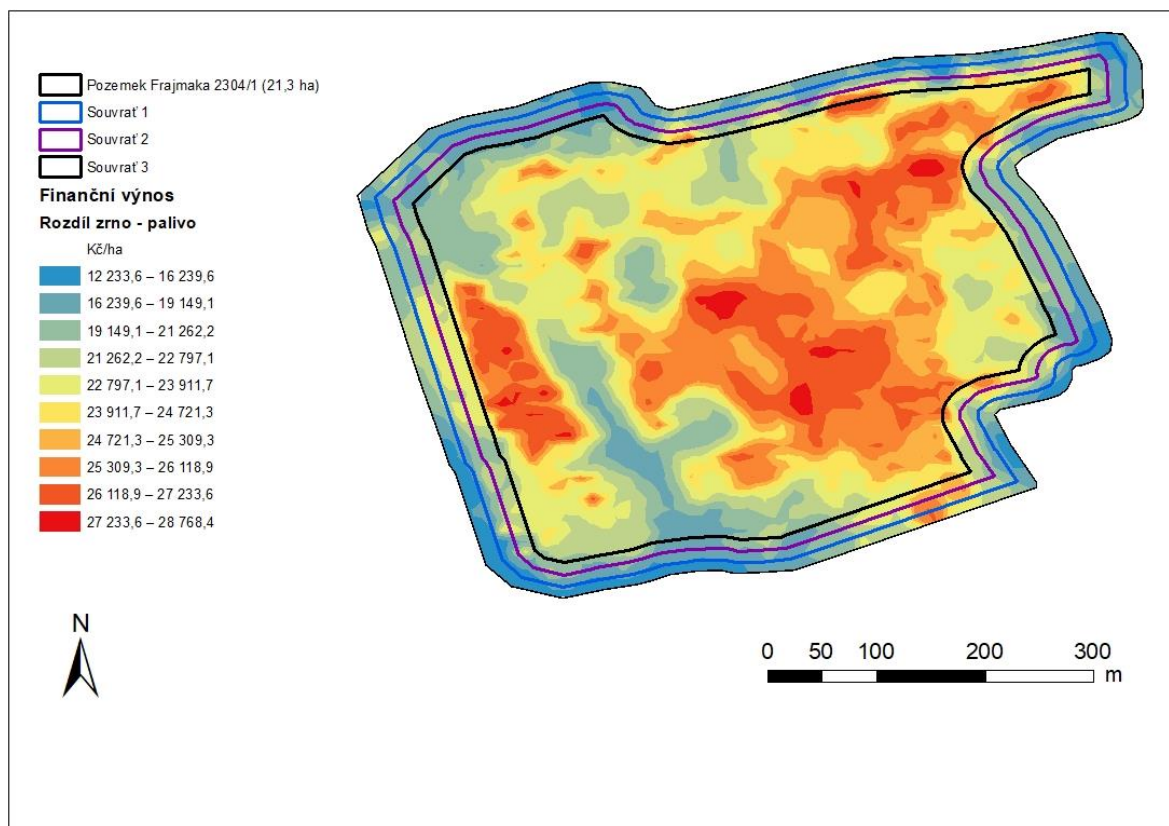
Popisky řádků	Průměrná vlhkost [%]	Průměrný výnos [t.ha ⁻¹]	Průměrná rychlost [km.h ⁻¹]	Průměrná spotřeba [l.ha ⁻¹]
Souvrat' 1	16,53 ^a	4,60 ^a	5,18 ^a	13,92 ^a
Souvrat' 2	14,99 ^b	5,36 ^b	5,10 ^b	15,30 ^b
Produkční plocha	13,68 ^c	6,39 ^c	5,25 ^c	12,86 ^c

Rozdílné indexy dokazují statisticky významné rozdíly na hladině významnosti 0,05.

Podle definic Marshalla (2004) nebo Oksanena (2007) představuje souvrat' oblast okraje pole, ve které dochází k většině otáčení zemědělských strojů. Na problematické ukazatele stavu půdy nebo výnosu plodin poukazuje Ehlers a Goss (2016), Bochtis a Vougioukas (2008) nebo Chamen a kol. (2015).

K obdobným výsledkům, které naznačují nižší výkonnost souvrat'ových ploch dospěl také Ward a kol. (2020). Ve své práci uvádějí, že výnosová data se lišila v závislosti na zóně odběru vzorku, regionu a struktuře půdy. U všech tří sledovaných plodin byly zaznamenány významné ($P < 0,001$) výnosové rozdíly mezi oblastí otoček a hlavní produkční plochou. Výnosy ozimého ječmene byly v zóně otoček sníženy o 1,3 t.ha⁻¹ oproti hlavní ploše, zatímco jarní ječmen a ozimá pšenice měly mezi těmito dvěma polními zónami snížení výnosů o 2,08 a 4,04 t.ha⁻¹.

Z podrobného monitoringu výnosových parametrů porostu vyplývá potřeba zaměřen se na souvratě pozemků a možnosti optimalizování práce na souvratích, včetně možností využití částí souvratí pro environmentálně-technické plochy. V souvislosti s tímto krokem se předpokládá snížení spotřeby PHM a produkce emisí, snížení hnojiv, snížení rizika zhutnění, zvýšení produktivity práce, ekonomická úspora, omezení degradace půdy a vyšší pestrost krajiny. Tato myšlenka může být dále umocněna monitoringem strojů, které na pozemek vstupují.

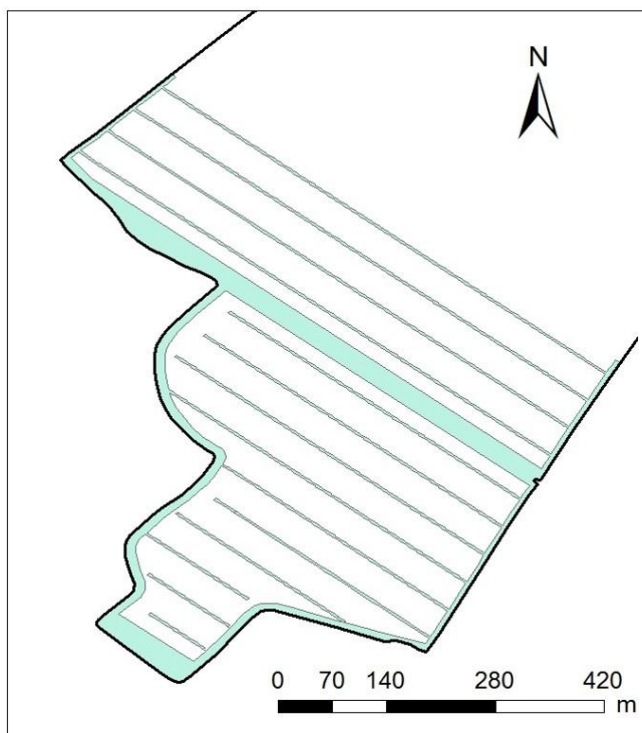
**Obrázek 7** Mapa finančního výnosu pozemku Pod Frajmankou při vyjádření dat ze sklizně a podmítky

Pokud bychom rozvíjely myšlenky na využití souvratí a hledaly cesty k úsporám, můžeme takto pokračovat ve výčtu spotřeb pohonných hmot na pozemcích a ze vzájemného rozdílu vstupů a výnosů,

resp. cen za vstupy a sklizenou produkci získáme detailní ekonomické ukazatele pro konkrétní části pozemků. Na uvedeném příkladu jsou od hodnot tržeb v jednotlivých částech pozemku, kdy jsme vycházeli z aktuálních cen v daném roce, odečteny ceny za pohonné hmoty, spotřebované během sklizně a podmínky. Hodnoty byly platné pro rok 2019. Průměrné výkupní ceny tritikále ozimého v daném roce se pohybovaly okolo 3 900,- Kč.t⁻¹. Průměrná cena motorové nafty v roce 2019 byla 32,- Kč.l⁻¹. I když se jedná o velmi omezený výpočet, už v této fázi jsou rozdíly mezi jednotlivými částmi pozemku jasně patrné.

Ward (2020) uvádí několik kritérií, které ukazují na důvody snížení výkonnosti souvratí. Jedná se o pozemku okolní vegetací, vyšší tlak zaplevelení při nalétávání z okolní vegetace, výrazné navyšování přejezdů v souvislosti s otáčením souprav a s tím spojené vyšší riziko zhutnění a eroze, zvýšený tlak chorob a snížení kvality produkce. Na druhou stranu hrají souvratě významnou roli v podobě zón pro zadržování vody a odtoku vody z pozemků a s vhodným osetím také prostor pro podporu biodiverzity a environmentální přínos. Potřebu plánování k omezení počtu přejezdů a minimalizování přechodových pásů mezi souvratí a produkční plochou dokládá také Plessen (2021).

Na obrázku 11 můžeme vidět jeden z realizovaných modelových návrhů případného ozelenění souvratí a následného dělení pozemku. Světle modrá barva znázorňuje ozeleněná místa, v tomto případě se jedná o souvratě, kolejové řádky pro postřikovač a dělicí pruh, který slouží k dělení pozemku.



Obrázek 8 Modelový a realizovaný návrh ozelenění souvratí, kolejových řádků a možného dělení pozemku.

Tyto stabilní ozeleněné plochy lze využívat jako místa, ze kterých se budou setrvale rozvíjet a šířit volně žijící organismy. Tyto plochy nám také pomohou zvýšit diverzifikaci plochy půdního bloku z hlediska rostlinného pokryvu. Taktéž nelze opomenout jejich vliv na krajinu na její pestrost, ekologický a estetický efekt. Jak již bylo zmíněno ozelenění souvratí, popřípadě ozelenění dělicích pruhů může výrazně snížit následky dopadu vodní eroze. Ozeleněné souvratě lze rovněž využít jako manipulační plochy pro otáčení zemědělské techniky, tento aspekt přispívá, k již zmíněné zvýšené efektivitě.

Závěr

S narůstajícím množstvím telematických dat, které jsme schopni ze zemědělských strojů získat a zpracovat je. Se může do jisté míry změnit dosavadní přístup k obhospodařování pozemků. Z výsledků je patrný značný výnosový propad sklizených plodin na souvratích oproti produkční ploše. Bezpochyby je zapotřebí skutečného systémového řešení, které zohlední veškeré možné dopady navrhovaných řešení a požadavků, tak aby často jednostranný názor ve výsledku nevedl k opačnému efektu. Pokud se na

pozemky podíváme skrze data, mohou zjištění a navrhované změny dostat pádného důvodu. Tyto výsledky mají své uplatnění pro zemědělskou praxi, které mohou napomoci s jiným pohledem na obhospodařovaný pozemek a mohou pomoci s možnou modifikací obhospodařovaných pozemků.

PodĎakovanie:

Výsledky byly získány s podporou projektu Výzkum a vývoj technologií smart farming pro malé a střední zemědělské podniky TH04010494

Použitá literatura:

1. BOCHTIS, D., VOUGIOUKAS, S. (2008): Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. *Biosystems engineering*, 101, 1-12.
2. BRANT, V., KROULÍM, M., KRČEK, V., KRÁSA, J., KAPIČKA, J., HAMOUZ, P., LUKÁŠ, J., ZÁBRANSKÝ, P., ŠKERÍKOVÁ, M., ŠKERÍK, J., JOB, Z., LANG, J., PETRUS, D. *Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby*. České Budějovice: Kurent, s.r.o., 2020. ISBN 978-80-87111-81-9. s. 13-40.
3. EHLERS, W., GOSS M. (2016): *Water dynamics in plant production*, CABI.
4. CHAMEN, W. C. T., MOXEY, A. P., TOWERS, W., BALANA, B., HALLETT P. D. (2015):
5. Mitigating arable soil compaction: A review and analysis of available cost and benefit data. *Soil and Tillage Research*, 146, Part A, 10-25.
6. LORENZ, F., MÜNCHHOFF K. 2015: Teilfl ächren bewirtschaften. Schritt für Schritt. *AgrarPraxis kompakt*, DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
7. MARSHALL, E. (2004): Agricultural landscapes: field margin habitats and their interaction with crop production. *Journal of Crop Improvement*, 12, 365-404.
8. OKSANEN, T. (2007): *Path planning algorithms for agricultural field machines*, Helsinki University of Technology.
9. PLESSEN, M. G. (2021): Freeform path fitting for the minimisation of the number of transitions between headland path and interior lanes within agricultural fields. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 5, 233-239.
10. TOŠOVSKÝ, F., KROULÍK, M., BRANT, V., ŠMÖGER, J. (2022): Přínosy ozelenění trajektorií postřikovačů v porostech kukuřice. *Mechanizace zemědělství*, LXXII, č. 9, s. 36-38.
11. WARD, M. (2020): *The impacts of field headlands on soil structure, crop performance and input application in a cool Atlantic climate*. A thesis submitted to the National University of Ireland in fulfilment of the requirement for the Degree of Doctor of Philosophy in the School of Agriculture and Food Science, University College Dublin.
12. WARD, M., FORRISTAL, P.D., MCDONNELL, K. (2020): Impact of field headlands on wheat and barley performance in a cool Atlantic climate as assessed in 40 Irish tillage fields. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 59(1), 85-97.
13. WARD, M., MCDONNELL, K., METZGER, K., FORRISTAL, P. D. (2021): The effect of machine traffic zones associated with field headlands on soil structure in a survey of 41 tilled fields in a temperate maritime climate. *Soil and Tillage Research*, 210, 104938.

AWARENESS OF PACKAGING WASTE AMONG CZECH STUDENTS

SHURAN ZHAO¹, VLASTIMIL ALTMANN¹, PETR ŠAŘEC¹

Czech University of Life Sciences Prague (CZU), Faculty of Engineering, Department of Machinery Utilization, Kamýcká 129, 165 00, Prague – Suchbátka, Czech Republic

Abstract: The residential sector is responsible for a significant amount of waste generation in the Czech Republic. Given the importance of citizen education in reducing waste, this research aims to examine citizens' awareness of packaging waste to increase their knowledge. A survey was conducted among students at a Czech university, who were asked to estimate the weight of packaging waste presented to them. Different groups of students were surveyed over time, and the results revealed no significant difference in knowledge between the groups. Even during the COVID-19 pandemic, when students were studying from home for an extended period, their knowledge of packaging waste remained consistent. This study verified students' actual knowledge of packaging waste and emphasized the importance of education in waste management.

Keywords: packages, waste recycling, plastics, education

INTRODUCTION

The rapid growth of waste serves as a constant reminder to the European Union to manage it effectively in order to minimise its environmental impact. According to Kaza et al. (2018), waste generation around the world will have significantly outpaced population growth by more than doubling by 2025.

The residential sector is a significant contributor to overall waste production in the Czech Republic, generating up to 14% of the total waste production in 2021 (Czech Statistical Office, CSO 2022). This high percentage makes it imperative to focus on citizen education and awareness about responsible waste management. This study was particularly focused on packaging waste, which makes up to 19% of total municipal waste generation and whose production is diverted by the behaviour of the citizens (CSO 2022). Packaging waste generated by packaging material in EU Member States shows an increasing trend since 2009 and the main compounds are paper and cardboard, plastic, glass, wood and metal. The average production per capita was 177,2 kg in 2020. In comparison, Czech production was approximately 50 kg lower than the EU average (124,2 kg capita⁻¹ yr⁻¹) and the recycling rate on 67 percent of produced packaging was higher than average (Eurostat 2021). Packaging waste is an emerging environmental issue due to its volume, reusability, and recyclability. This problem is a result of the excessive use of packaging materials in consumer goods and contributes to the problem of plastic pollution. Addressing it requires the participation of citizens (Han et al. 2010). The problem of packaging waste is particularly acute in urban areas where the population density is high, and the waste management infrastructure is under pressure. Also, the fast growth of the e-commerce industry affected large production of packaging waste (Wang & Hu 2016). Packaging waste types are highly variable and made of a wide range of compounds. Good knowledge about the packaging waste can lead to more effective sorting at the source, as education and increased awareness among others, are key factors that can influence sorting and recycling rates (Suthar & Singh 2015). People's awareness and knowledge about waste sorting and recycling differ across income levels, geographical, cultural, and socio-economic impacts, reflecting varied patterns of consumption (Kreith 1999; Dehghani et al. 2009; Diaz et al. 2020). Proper management packaging waste, from primary waste collection through recycling and recovery, is needed and requires thoughtful inspection (Chotovinský & Altmann 2018; Kaza et al. 2018; Mimra et al. 2016). Therefore, precious knowledge about packaging waste is essential to increase resource efficiency, target priority areas for the implementation of mitigation policies and then achieve European recycling and circular economy goals (Lebreton & Andrady 2019; Tallentire & Steubing 2020).

The aim of this study was to analyse respondents' awareness and knowledge about packaging waste generated at home over a medium-long period. Time was considered as an important factor that can change people's views on waste generation at the source, and this study was conducted with repeated measurements.

During the experiment, the COVID–19 pandemic emerged and affected people's way of life and work on a large scale for a short period of time. People were forced to stay at home and travel was reduced. At the same time online shopping became prevalent at this time. The whole e–commerce industry reported several–fold increase in orders. Thus, this aspect was included into this experiment as well.

MATERIAL and METHODOLOGY

This experiment examined students' understanding of various types of packaging waste and was conducted in the form of a survey. Research participants involved were students from a university in Prague, Czech Republic randomly across grades and regions of residents. Three independent groups with total of 135 students were compared by an extended period. Students were given the survey that included nine types of commonly used packaging waste. This experiment was carried out several years in a row to capture the changes in perception about packaging waste over time and as well to include the impact of COVID–19 pandemic left on students, as during pandemic in years 2020 – 2021 students were staying at home and having distance learning. Students were divided into 3 groups according to the time period in which they participated: before, during and after pandemic for a better identification. Surveys from students were collected and analysed continuously, with comparisons made within and between groups, as well as against actual values.

Software and statistical analysis

All the statistical analysis were conducted using program IBM SPSS Statistics (IBM Corp. 2021). Due to the fact, that none of collected data showed a normal distribution, the non–parametric method of statistics was applied for the experiment data. Kruskal–Wallis Test (Kruskal & Wallis 1952) was applied for assessing the difference among three student groups over time–span. The Student's t–test's non–parametric equivalent One–Sample Wilcoxon Signed Rank Test (Wilcoxon 1945) were chosen for evaluating the difference of each students' group from the real value.

RESULTS and DISCUSSION

This study had the objective of evaluating the knowledge about packaging waste among students at university from various degrees and regions. Additionally, the emergence of the COVID–19 pandemic presented unique challenges for students, as the form of education shifted to online learning and students spent more time at home. In order to capture the potential impact of the pandemic on students' perceptions and knowledge of packaging waste, data was collected during the pandemic without interruption. This data was then compared to data collected from groups of students prior to the pandemic. Furthermore, each group was evaluated separately and their estimations were compared to the actual values.

Firstly, three groups of students over a period of time, including before, during and after the pandemic were compared to each other. The results of the Kruskal–Wallis Test showed that there was no significant difference in the means of the assessed groups in the time period (p –value > 0.05 , Fig. 1). When comes to the concrete type of packaging, i.e. individual testing of packaging wastes, few differences appeared (Fig. 2 and 3). Particularly in plastic beer bottles, groups during and after showed distinct variations than group before. The possible reason could be associated with the result of other studies carried out on COVID–19 which showed an increased consumption of alcohol during the pandemic, even though the first months showed a decreasing trend in alcohol consumption (Neill et al. 2020; Sidor & Rzymiski 2020; Murthy & Narasimha 2021; Rossow et al. 2021). This suggests that the distance learning and isolation caused by COVID–19 did not appear to have wide impacts on students' knowledge of packaging waste. It is important to note that the composition of waste may have changed during the pandemic, however, this does not seem to have had an impact on the students' understanding of packaging waste.

Next part of experiment was focused on accuracy of students' estimates where each group of students was compared to the actual value of the packaging weight (Fig. 4). According to the results, the most accurate students came from the third group after pandemic, with 6 different types of packaging weight where their estimation was close to the real value. Groups before and during the pandemic had only about one correct estimate less, but it still has more than half of the accurate estimates. All three groups had a good estimate when guessing the weight of the 1.5–liter plastic bottle, as well as the juice

box and the wine glass. The most difficult packaging type for students was 2-liter PET bottle and Champagne bottle, which did not meet success in any of the three groups. Across all groups, the average estimate was higher than the actual level. A similar situation occurred with champagne glasses when the average estimate was higher than the actual weight. On the other hand, students in three groups estimated plastic beer bottles to be lighter than they were. The possible reason might be that PET is a special plastic type and has a different weight than other types of plastic bottles, therefore, even students were successful in both sizes of plastic bottles (0.5 l and 1.5 l), but failed in 2-liter PET. Also the reason might be the unusual size of the PET bottle (2 l), which is not used by students very often for beverages. The same reason is suitable for cans with 0.5 l of volume; this type of packaging is very rarely used for beverages.

The summary demonstrates that students at university had a common level of knowledge and do not differ by academic year. However, the university must continue to encourage and raise awareness on managing the municipal waste including packaging waste. This is important according to (Hines et al. 1987) which suggests that a person's knowledge and awareness, and sense of responsibility influence the amount of consistency between attitude and action toward the environment. Not only students at universities, it is necessary to promote awareness and draw attention to the necessity of recycling materials already among the younger generations (Licy et al. 2013).

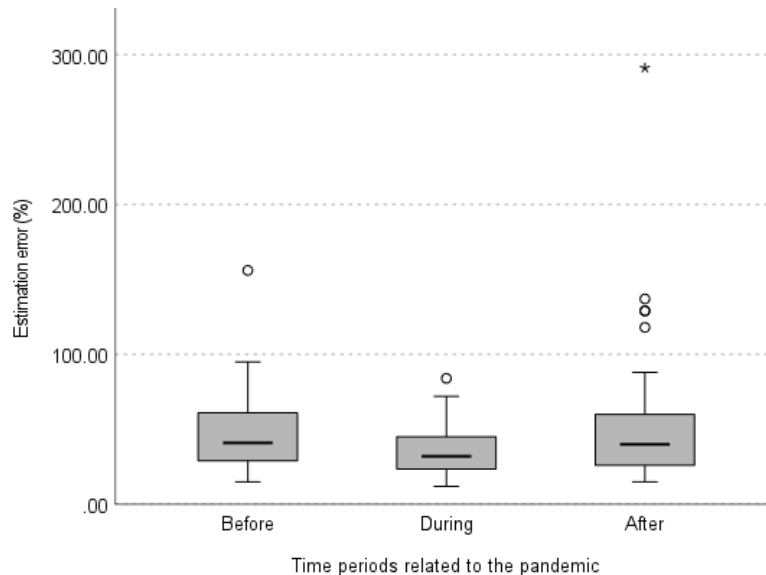


Figure 19 Comparison of 3 independent groups over time span has shown no differences among involved respondents

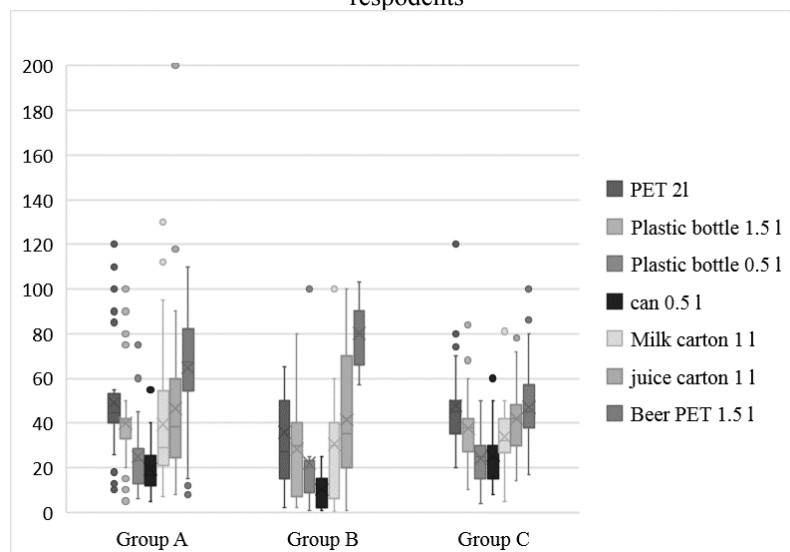


Figure 20 A more detailed look at the comparison between groups by type of packaging waste. Packaging waste Champagne and Wine glass are excluded and depicted separately.

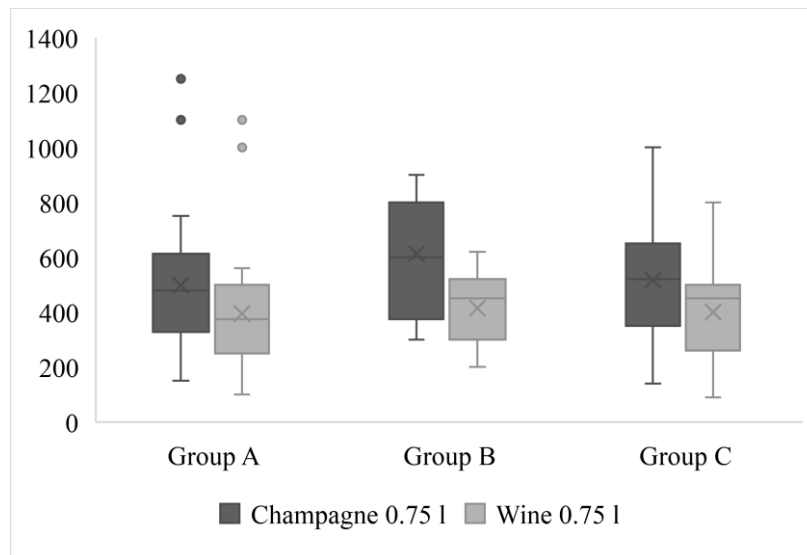


Figure 21 Comparison between groups with packaging wastes separated from the overall data due to their distinct values than others.

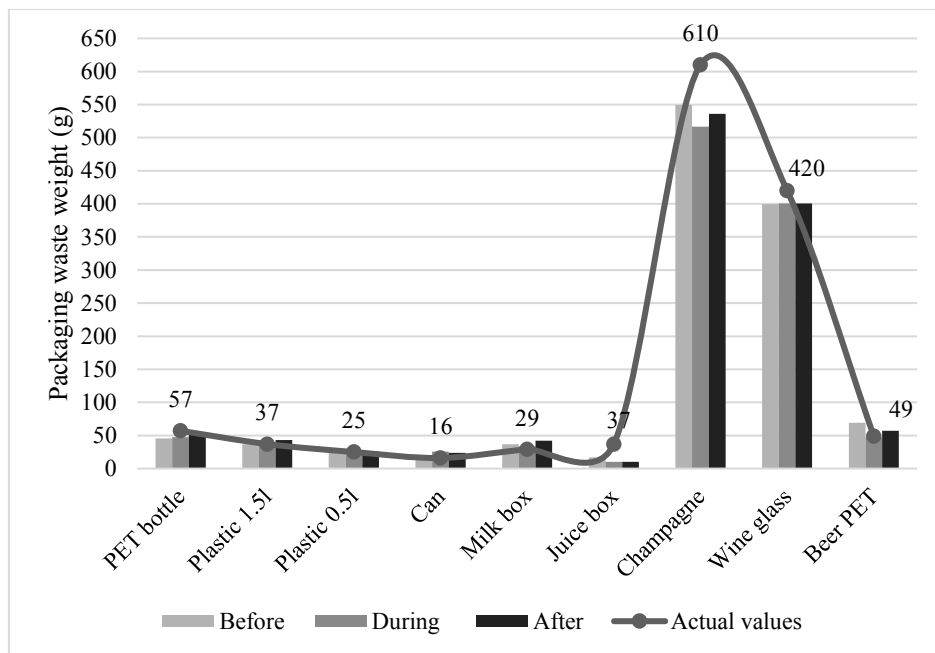


Figure 22 Result of respondents' estimations compared to the actual values.

CONCLUSION

In this study, an application of knowledge testing method was presented. The experiment showed that the actual knowledge of students about packaging waste did not vary in time and pointed out the importance of knowledge of waste management. Further, it suggested to perform this experiment at other educational levels in order to obtain a more thorough and comprehensive evaluation of all age groups. Overall, this study highlighted the need for continued education and awareness-raising efforts in order to improve the public's understanding of increasing packaging waste in circulation and its impact on the environment.

References:

1. Chotovinský, O. & Altmann, V. (2018). A comparative case study of the efficiency of collection systems for paper and biodegradable municipal solid waste. *Agron. Res.*
2. CSO. (2022). Generation, Recovery and Disposal of Waste 2021. Czech Statistical Office.

3. Dehghani, M.H., Dehghanifard, E., Azam, K., Asgari, A.R. & Baneshi, M.M. (2009). A Quantitative and Qualitative Investigation of Tehran Solid Waste Recycling Potential. *Knowl. Health J.*, 4, 40–44.
4. Diaz, L.F., Golueke, C.G., Savage, G.M. & Eggerth, L.L. (2020). *Composting and recycling municipal solid waste*. CRC Press.
5. Eurostat. (2021). *Packaging waste statistics*. Eurostat.
6. Han, G.S.A., Bektaş, N. & Öncel, M.S. (2010). Separate collection practice of packaging waste as an example of Küçükçekmece, Istanbul, Turkey. *Resour. Conserv. Recycl.*, 54, 1317–1321.
7. Hines, J.M., Hungerford, H. & Tomera, A.N. (1987). Analysis and synthesis of research on responsible environmental behavior: A meta-analysis.
8. IBM Corp. (2021). *IBM SPSS Statistics for Windows, Version 28.0*.
9. Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F., Ionkova, K., Morton, J., Poveda, R.A., Sarraf, M., Malkawi, F., Harinath, A.S., Banna, F., An, G., Imoto, H. & Levine, D. (2018). *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. Urban development series. World Bank Group, Washington, DC, USA.
10. Kreith, F. (1999). *Handbook of solid waste management*. McGraw-Hill, New York.
11. Kruskal, W.H. & Wallis, W.A. (1952). Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. *J. Am. Stat. Assoc.*, 47, 583–621.
12. Lebreton, L. & Andrady, A. (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Commun.*, 5, 1–11.
13. Licy, C., Raghavan, V., Saritha, K., Anies, T. & Josphina, C. (2013). Awareness, Attitude and Practice of School Students towards Household Waste Management. *Jouranal Environmmment*, 02, 147–150.
14. Mimra, M., Kavka, M. & Renfus, R. (2016). Analysis and Evaluation of the Waste Management in the Municipality.
15. Murthy, P. & Narasimha, V.L. (2021). Effects of the COVID-19 pandemic and lockdown on alcohol use disorders and complications. *Curr. Opin. Psychiatry*, 34, 376.
16. Neill, E., Meyer, D., Toh, W.L., van Rheenen, T.E., Phillipou, A., Tan, E.J. & Rossell, S.L. (2020). Alcohol use in Australia during the early days of the COVID-19 pandemic: Initial results from the COLLATE project. *Psychiatry Clin. Neurosci.*, 74, 542–549.
17. Rossow, I., Bartak, M., Bloomfield, K., Braddick, F., Bye, E.K., Kilian, C., López-Pelayo, H., Mäkelä, P., Moan, I.S., Moskalewicz, J., Petruzella, B., Rogalewicz, V. & Manthey, J. (2021). Changes in Alcohol Consumption during the COVID-19 Pandemic Are Dependent on Initial Consumption Level: Findings from Eight European Countries. *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, 18, 10547.
18. Sidor, A. & Rzymiski, P. (2020). Dietary choices and habits during COVID-19 lockdown: experience from Poland. *Nutrients*, 12, 1657.
19. Suthar, S. & Singh, P. (2015). Household solid waste generation and composition in different family size and socio-economic groups: A case study. *Sustain. Cities Soc.*, 14, 56–63.
20. Tallentire, C.W. & Steubing, B. (2020). The environmental benefits of improving packaging waste collection in Europe. *Waste Manag.*, 103, 426–436.
21. Wang, F. & Hu, Y. (2016). Research on green express packaging design under the electronic commerce. *Open J. Bus. Manag.*, 4, 621–628.
22. Wilcoxon, F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biom. Bull.*, 1, 80–83.

This study was supported by Intern grant agency of Faculty of Engineering, Czech University of Life Sciences Prague with no. 2021:31180/1312/3104.

Contact address: Ing. Shuran Zhao

Czech University of Life Sciences Prague (CZU), Faculty of Engineering, Department of Machinery Utilization, Kamýcká 129, 165 00, Prague – Suchbát, Czech Republic, zhao@tf.czu.cz

TECHNOFORUM 2023

New Trends in Machines and Technologies for Biosystems

Nové trendy v technike a technológiach pre biosystémy

Scientific papers

Zborník vedeckých prác

Vydanie	prvé
Počet strán	227
Forma vydania	online
Rok vydania	2023
Vydala	Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre v roku 2023

Neprešlo redakčnou úpravou vo Vydavateľstve SPU v Nitre.

Za obsah a jazykovú správnosť príspevkov zodpovedajú autori.

ISBN 978-80-552-2603-3

DOI: <https://doi.org/10.15414/2023.9788055226033>