

Summary

This doctoral dissertation thesis deals with rotary mowers, specifically with the issue of effect of operational and constructional parameters on energy intensity and quality of work of mulcher
With vertical axis of rotation

In the theoretical part the reader is being familiar with the technology of mulching and its importance. Further, the individual types of mulchers and its advantages and disadvantages are described. In following part the literary analysis of energy intensity of rotary mowers is stated. Further, there are also analyzed the parameters influencing energy demands of the mulcher. These parameters include the type and condition of the plants, cutting conditions, the shape and condition of the cutting tools and energy losses.

In the first experimental part the results of measurement of the energy intensity of the mulcher with vertical axis of rotation are presented. The dependency of input power, specific energy consumption and fuel consumption on mass performance of the machine are created. It was found that the mulcher operates most effectively at the mass performance of approximately 30 t/h. Furthermore, the energy intensity was determined, while mulcher was working continuously at the permanent grassland. It was found that in given conditions the mulcher takes the average power of 80 kW, while the peak power is approximately 150 kW. During the measurement of the energy losses it was found that the mulcher at operating rotation speed while idle takes the power of approximately 30 kW, while approximately 80 % of these losses are consumed by the ventilation effect of the blades.

In the second experimental part the effect of modification of operational and constructional parameters on the energy intensity and quality of work of the mulcher wit vertical axis of rotation is studied. From the constructional parameters the shape of working tool, especially cloth angle and rake angle of the tool, and shape of the cover of the mulcher workspace is modified. From the operational parameters the cutting speed and mass performance according to conditions is modified. It was found that proposed modification of the working tool has a positive effect on energy intensity reduction, while the proposed shapes of the cover of the mulcher workspace required higher energy intensity. Reduction of the cutting tool also resulted in lowering of the energy intensity. Almost all of the tested variants showed during measurement worse quality of work than original setup, especially the uniformity of distribution of the chopped grass matter in the whole width of the machine.

Publikace

Jsem autorem či spoluautorem celkem **18** publikací citovaných v databázi Web of Science nebo SCOPUS a dalších **7** recenzovaných vědeckých publikací.

5 nejvýznamnějších publikací:

Pexa, M., Čedík, J., Höinig, V., Pražan, R. 2016. Lignocellulosic Biobutanol as Fuel for Diesel Engines. *Bioresources* **11**(3) (Article in press)

Čedík, J., Pexa, M., Pražan, R., Kubín, K. and Vondříčka, J. 2015. Mulcher energy intensity measurement in dependence on performance. *Agronomy Research* **13**(1): 46–52

Čedík, J., Pexa, M., Chyba, J., Vondrášek, Z., Pražan, R. 2016. Influence of blade shape on mulcher blade air resistance. *Agronomy Research* **14**(2):337–344

Pexa, M., Čedík, J., Kumhála, F., Pražan, R. 2016. Estimation of mulching energy intensity. *Agronomy Research* **14**(2): 540–546

Pexa, M., Aleš, Z., Pavlů, J., Čedík, J. 2015. Impact of viscosity of motor oil on the wear of plain bearings. *Manufacturing Technology*, **15**(4), 670–674

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Cíle práce	2
3.	Metodika	3
3.1.	Určení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace	3
3.2.	Navržení možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače.....	4
3.3.	Experimentální ověření navržených možností a vyhodnocení vlivu na kvalitu práce	4
4.	Experimentální část.....	6
4.1.	Určení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace	6
4.1.1.	Měření v polních podmínkách	6
4.1.2.	Měření v laboratorních podmínkách.....	7
4.2.	Návrh možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače	9
4.2.1.	Tvar žacího nástroje	9
4.2.2.	Tvar zakrytování pracovního prostoru.....	9
4.2.3.	Řezné podmínky	9
4.3.	Experimentální ověření navržených možností ke snížení energetické náročnosti s vyhodnocením kvality práce.....	10
4.3.1.	Měření v laboratorních podmínkách.....	10
4.3.2.	Měření v polních podmínkách	12
5.	Diskuze a závěr	15
6.	Literatura	17

1. Úvod

Mulčování je technologický proces, při kterém se podrcené rostlinné zbytky nechávají ležet na povrchu pozemku. Primárně se používá na posečení a rozdrcení zelených rostlinných zbytků, staré trávy na trvalých travních porostech a pro ošetřování úhorových ploch. Mulčování lze také využít k likvidaci posklizňových zbytků na orné půdě. [2, 23, 33, 36].

Mulčovač patří mezi rotační žací stroje, jejichž energetickou náročnost již zjišťovala řada autorů, ovšem jejich výsledky se od sebe výrazně odlišují. V literatuře lze najít hodnoty od 3,5 do 23 kW/m [1, 3, 25, 31, 32, 35,]. Energetická náročnost je velice úzce spjata se spotřebou paliva. Syrový a kol. [33] uvádí průměrnou jednotkovou spotřebu paliva při mulčování v závislosti na podmínkách 7,5-9,5 l/ha.

Úhly na žacím nástroji mohou výrazně ovlivnit energetickou náročnost práce. Jedná se zejména o úhel broušení nástroje a úhel čela nástroje. Tyto úhly ovlivňují především energii řezu.

Úhel čela nástroje je v současné době u mulčovačů se svislou osou rotace většinou 0°, což znamená kolmý řez. Úhel čela je v literatuře studován v rozmezí 0 – 50°. Nejeftektivnější řez bývá v rozmezí 15° – 30° [17, 21, 27, 28] v závislosti na ostatních parametrech řezu, jako je např. řezná rychlost. Chattopadhyay a Pandey [8] pozorovali nejnižší vyžadovanou energii při úhlu čela 40°.

Řezný nástroj může být také optimalizován z hlediska aerodynamiky [38]. Ventilační efekt, vytvářený pracovními nástroji, má významný vliv na energetickou náročnost a kvalitu práce mulčovače s vertikální osou rotace. Chon a Amano [11] konstatují významný vliv žacího nástroje na proudění vzduchu a ventilační efekt. Jun a kol. [16] měřil u rotačního žacího stroje výstupní rychlost vzduchu a zjistil, že pro spolehlivou funkci je zapotřebí úhel plachetky větší než 20° (úhel plachetky vysvětlen v kapitole 3.2).

Tvar zakrytování má velmi významný vliv na proudění vzduchu v pracovním prostoru mulčovače. Proudění vzduchu v pracovním prostoru žacích strojů, které způsobuje ventilační efekt, se doposud věnovalo relativně málo autorů [38, 4, 10, 11, 12, 13, 16]. Hagen a kol. [4] prohlašuje, že tvar zakrytování má stejně významný vliv na proudění vzduchu, jako tvar žacího nástroje. Chon a Amano [10] zjistili, že rychlost proudění narůstá od středu rotoru směrem k obvodu, dále zjistili, že v oblastech interakce dvou rotorů může být rychlost proudění nestabilní.

Dalším významným parametrem, ovlivňujícím energetickou náročnost mulčovače je řezná rychlost. Vliv řezné rychlosti na parametry řezu byl již zkoumán v mnoha studiích [5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 34, 35, 37]. Výsledky většiny těchto studií vypovídají o nejnižší potřebné energii pro impaktní řez při řezných rychlostech v rozmezí 60-90 m/s, tedy vysoko nad kritickou rychlostí. O'Dogherty [29] uvádí typickou řeznou rychlost pro diskové a rotační žací stroje 71-84 m/s.

Energetickou náročnost mulčovače s vertikální osou rotace ovlivňují také jeho energetické ztráty. Identifikovanými energetickými ztrátami u rotačních žacích strojů jsou akcelerace materiálu na výstupní rychlost, překonání třecích sil mezi materiálem a krytem žacího ústrojí, dále k překonání třecích sil mezi nožem a strništěm/zeminou, nepřetržitý pohyb vzduchu v oblasti řezu (ventilační efekt), k překonání mechanických třecích sil hnacího mechanismu a případného vkládacího mechanismu a další parazitní ztráty. Celkové ztráty mohou být větší, než je skutečný řezný výkon [27, 30]. Experimenty s žacími stroji se svislou osou rotace bylo prokázáno, že 50 % vstupní energie je použito pro "převahu" rostlin, zatímco pouze 3 % vstupní energie je využito na samotný stříh stonků rostlin [24].

2. Cíle práce

Práce je zaměřena na řešení možného snížení energetické náročnosti mulčování při zachování či zlepšení kvality práce úpravou pracovních mechanismů, pohonu a provozních parametrů stroje. Energetická náročnost se může výrazně projevit v ekonomice nasazených strojů a je tedy cílem ji snižovat a to ve všech oblastech zemědělské techniky.

Obecným cílem práce je ověřit hypotézu, že úpravou konstrukčních a provozních parametrů mulčovače s vertikální osou rotace lze dosáhnout snížení energetické náročnosti mulčování při zachování kvality práce a tím přispět k ekonomice a ekologii zemědělského provozu, snížit spotřebu paliva a produkci škodlivých emisí. Obecného cíle bude dosaženo prostřednictvím dílčích cílů:

- určit energetickou náročnost mulčovače s vertikální osou rotace,
- navrhnout možnosti snížení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace,
- experimentálně ověřit navržené možnosti ke snížení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace a vyhodnotit jejich vliv na kvalitu práce mulčovače.

3. Metodika

V této kapitole je popsána obecná metodika disertační práce. Podrobná metodika měření a zpracování výsledků a podrobné informace o použitém měřicím vybavení jsou uvedeny v příslušné kapitole výsledků (4.1, 4.2 a 4.3).

3.1. Určení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace

Pro určení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace byl zvolen mulčovač MZ6000 od firmy BEDNAR FMT, s.r.o. (obrázek 1). Tento mulčovač má pracovní záběr 6 m otáčky rotoru 1000 1/min.



Obrázek 1 Zvolený mulčovač Mulcher MZ 6000

Pro určení energetické náročnosti byla provedena měření při práci mulčovače v polních podmínkách na trvalém travním porostu. Byla provedena měření nedaleko města Žamberk (rok 2013) a nedaleko města Rychnov nad Kněžnou (rok 2014). Při měřeních byly sledovány otáčky, točivý moment a výkon, přenášený přes vývodový hřídel pomocí snímače točivého momentu MANNER Mfi 2500Nm_2000U/min (přesnost 0,25 %). Spotřeba paliva byla sledována pomocí průtokoměru AIC VERITAS 4004 (chyba měření 1%, 2000 puls/l) a pro určení polohy soupravy a stanovení její rychlosti byl na střechu traktoru umístěn GPS přijímač Qstarz BT-Q1000XT.

Při prvním měření nedaleko města Žamberk byly uskutečněny měřicí jízdy při rychlostech 3, 6 a 9 km/h s novými a opotřebovanými žacími nástroji. Pro stanovení podmínek měření byly z každého zkušebního úseku odebrány tři vzorky posečeného porostu (stanovení výnosu travní hmoty a jejího podílu vlhkosti). Výsledkem měření jsou především průměrné hodnoty příkonu, jednotková spotřeba energie a jednotková spotřeba paliva pro jednotlivé rychlosti a hmotnostní výkonnosti.

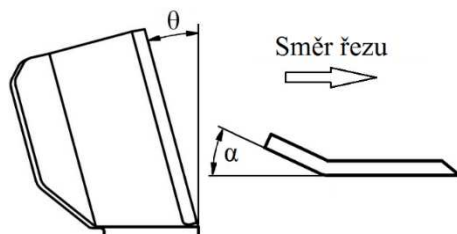
Při druhém měření nedaleko města Rychnov nad Kněžnou byly, kromě výše zmíněných veličin, snímány také škodlivé emise (CO_2 , CO, NO_x a HC) a součinitel přebytku vzduchu. Pomocí palubní diagnostiky bylo snímáno zatížení motoru, otáčky motoru, teplota a tlak nasávaného vzduchu, stav EGR ventilu a teplota chladiva a paliva. Při tomto měření se jednalo o souvislé mulčování pozemku s trvalým travním porostem o rozloze přibližně 1,25 ha. Průměrná rychlost soupravy byla 8 km/h se směrodatnou odchylkou 1,8 km/h. Pro podmínky měření byla na části pozemku vytvořena síť bodů, kde byly odebrány vzorky pro určení podílu vlhkosti a výnosu travní hmoty. Výsledkem tohoto měření jsou opět údaje o průměrném příkonu, jednotkové spotřebě paliva, vyprodukovaných emisích a také vytvořené mapy zatížení

motoru, výnosu, přenášeného výkonu apod. Při obou měřeních byl pro agregaci použit traktor John Deere 7930 o jmenovitém výkonu přibližně 130 kW.

Pro určení energetických ztrát mulčovače bylo provedeno měření při rozběhu a běhu naprázdno. Měření se odehrálo ve výrobní hale firmy BEDNAR FMT, s.r.o. v Doudlebech nad Orlicí. Při měření byl sledován výkon a točivý moment motoru, přenášený přes vývodový hřídel a otáčky vývodového hřídele a spotřeba paliva. Při měření byly odpojovány rotory a demontovány nože, aby bylo možno upřesnit původ naměřených ztrát (ventilační ztráty, ztráty v převodech). Výsledkem měření je především závislost točivého momentu a výkonu motoru na otáčkách mulčovače s namontovanými žacími nástroji a bez nich (pouze převody).

3.2. Navržení možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače

Na základě literární rešerše a naměřených dat byly navrženy možnosti ke snížení energetické náročnosti mulčování trvalého travního porostu. Tyto návrhy se vztahují na zmíněný mulčovač s vertikální osou rotace Mulcher MZ 6000. Při postupu návrhů možností byly vzaty v úvahu provozní i konstrukční parametry, Na základě měření a literárního rozboru byly vzaty v úvahu tvary žacích nástrojů, především úhel plachetky a úhel čela nástroje (obr. 2), tvar zakrytování pracovního prostoru mulčovače a řezná rychlost.



Obrázek 2 Schematicky znázorněné úhly na žacím nástroji (θ – úhel čela, α – úhel plachetky)

3.3. Experimentální ověření navržených možností a vyhodnocení vlivu na kvalitu práce

Při měření v laboratorních podmínkách bylo zjištěno, že při běhu naprázdno tj. při pracovních otáčkách a bez sečení, mulčovač potřebuje téměř 30 kW pouze pro pohon samotného pracovního ústrojí. Pro lepší pochopení těchto energetických ztrát a jejich závislosti na různých parametrech byl ve spolupráci s katedrou zemědělských strojů na TF ČZU v Praze zkonstruován model jednoho rotoru mulčovače (obr. 3). Model má možnost výměny nebo odstranění krytů. Při měření byly měněny pracovní nástroje a tvary zakrytování pracovního prostoru (popsané v kapitole 4.2). Model je poháněn asynchronním elektromotorem o výkonu 22kW, s frekvenčním měničem Siemens na 30 kW. Snímán byl mechanický točivý moment a příkon a elektrický proud a výkon před a za frekvenčním. Dále byl snímán tlak v pracovním prostoru mulčovače pomocí tlakových pásek, umístěných vždy na vnitřní straně krytu radiálně k ose rotace.

Pro stanovení vlivu navržených tvarů pracovních nástrojů na **energetickou náročnost** mulčovače při práci bylo provedeno měření v polních podmínkách. K měření byl využit mulčovač s vertikální osou rotace Mulcher MZ 6000 od firmy Bednar FMT, s.r.o. v soupravě s traktorem FENDT 818. Měřicím pozemkem byly pastviny u obce Bojanov, nedaleko Chrudimi. Pro stanovení podmínek měření (vlhkost porostu) byly pro každý tvar nožů a použité otáčky rotorů odebrány 2 vzorky.

Na pozemku bylo provedeno celkem 42 měřicích jízd (obr. 4). Při měřicích jízdách byly měněny pracovní nástroje (originální a 6 navržených), otáčky rotoru (1000 1/min – řezná rychlost 105 m/s, 850 1/min – řezná rychlost 89 m/s a 750 1/min – řezná rychlost 79 m/s)

a pracovní rychlost soupravy (9 a 12 km/h). Při měření byl snímán točivý moment a příkon, přenášený přes vývodový hřídel traktoru, spotřeba paliva, poloha soupravy a její skutečná rychlost pomocí GPS.



Obrázek 3 Laboratorní model s kryty ve tvaru „toroid“

Pro určení reálných energetických ztrát bylo pro každý tvar pracovního nástroje a použité otáčky provedeno měření naprázdno nad strništěm při dodržení pracovní výšky mulčovače přibližně 50 mm.



Obrázek 4 Trasy provedených měřících jízd

Pro vyhodnocení vlivu jednotlivých tvarů nástroje na **kvalitu práce** byly z každé jízdy odebrány vzorky. Kvalita práce je pro tyto účely definována, jako rovnoměrné rozložení hmoty v celém záběru stroje a co nejkratší délka řezanky. Za tímto účelem bylo na dvou místech z každé měřící jízdy za pomoci rámečku o ploše $0,45 \text{ m}^2$ napříč celým záběrem odebráno 8 vzorků (celkem 672 vzorků). Tyto vzorky byly zváženy na laboratorní váze Vibra AJ 6200 (přesnost 0,1 g) a byla stanovena průměrná délka jejich řezanky. Pro porovnání kvality práce byla využita hodnota směrodatné odchylky hmotnosti jednotlivých vzorků v záběru stroje, hodnota směrodatné odchylky je udávána v procentech, aby bylo možné mezi sebou jednotlivé měřící jízdy porovnat. Data byla dále použita také ke stanovení průměrného výnosu travní hmoty z každého měřícího úseku.

4. Experimentální část

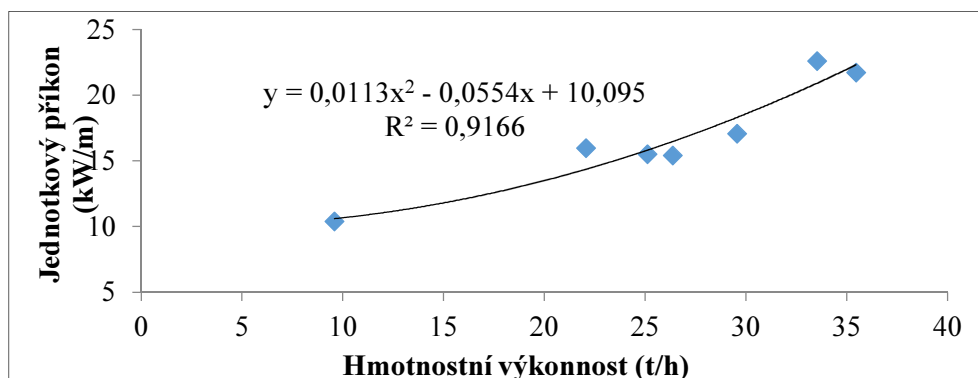
V této části jsou popsány výsledky měření za účelem naplnění cílů, stanovených v kapitole 2. Výsledky jsou prezentovány ve stejném pořadí, jako stanovené cíle.

4.1. Určení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace

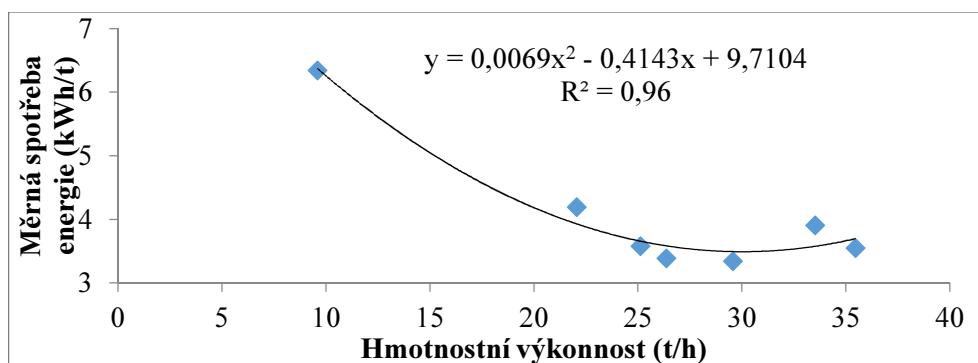
V této kapitole je stanovena energetická náročnost mulčovače s vertikální osou rotace v závislosti na hmotnostní výkonnosti a dalších parametrech, je stanovena průměrná hodnota příkonu a dalších parametrů při souvislé práci stroje a jsou stanoveny energetické ztráty stroje.

4.1.1. Měření v polních podmínkách

Nejprve byla určena **energetická náročnost mulčovače při práci v polních podmínkách**. Při prvním měření nedaleko města Žamberk byly na pozemku vyznačeny měřicí úseky o délce cca 100–180 m. Na obrázku 5 je uveden jednotkový příkon stroje a na obrázku 6 energetická spotřeba v závislosti na výkonnosti mulčovače. Je vidět, že nejnižší hodnoty energetické spotřeby bylo dosaženo přibližně při hmotnostní výkonnosti 30 t/h.

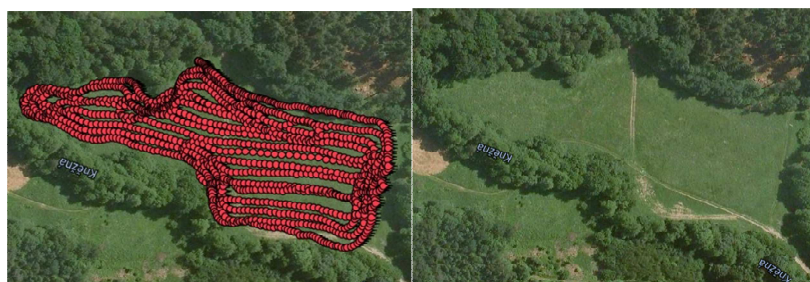


Obrázek 5 Jednotkový příkon mulčovače v závislosti na hmotnostní výkonnosti



Obrázek 6 Měrná spotřeba energie

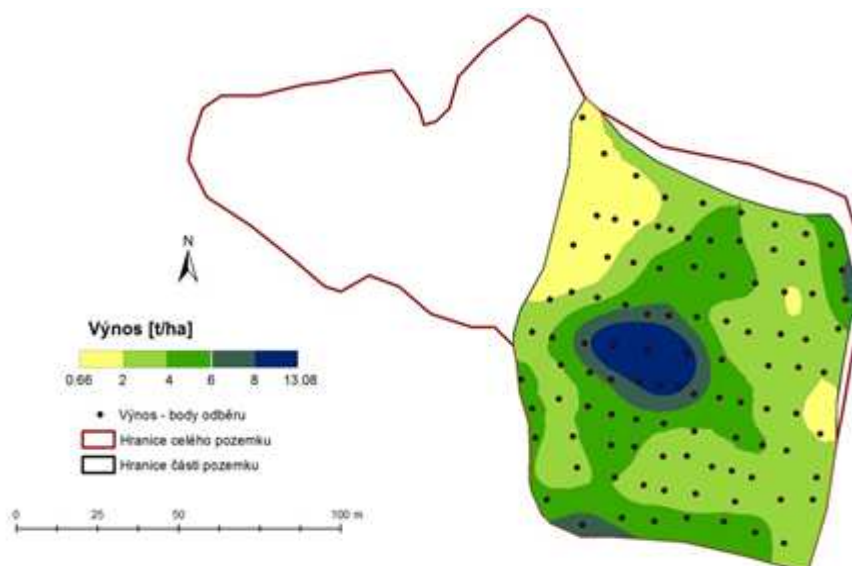
Další měření se odehrálo nedaleko města Rychnov nad Kněžnou. Jednalo se o souvislé mulčování vybraného pozemku (obrázek 7). Z části zkoušeného pozemku byla vytvořena výnosová mapa travní hmoty a stanoven její podíl vlhkosti. Rychlost soupravy nebyla nijak regulována, aby bylo docíleno podmínek shodných s praxí.



Obrázek 7 Zkušební pozemek se záznamem trasy

Průměrný příkon stroje byl přibližně 80 kW, což činí 13,8 kW/m záběru stroje. Tato hodnota odpovídá hodnotám, uváděným v literatuře. Výnos travní hmoty dosáhl až 13 t/ha, jak je vidět na obrázku 8 [31]. Dále byla určena jednotková spotřeba paliva v l/ha na 9,99 l/ha, tato hodnota je o přibližně 0,5 l/ha vyšší, než udává literatura [33].

Kromě výnosové mapy travní hmoty části pozemku (obrázek 8) byly ze získaného záznamu dat dále vytvořeny mapy výkonu, přenášeného přes vývodový hřídel (obrázek 9), otáček motoru, hodinové spotřeby paliva a produkce NO_x. Tyto mapy byly vytvořeny za použití programu ArcGIS.



Obrázek 8 Výnosová mapa části zkušebního pozemku

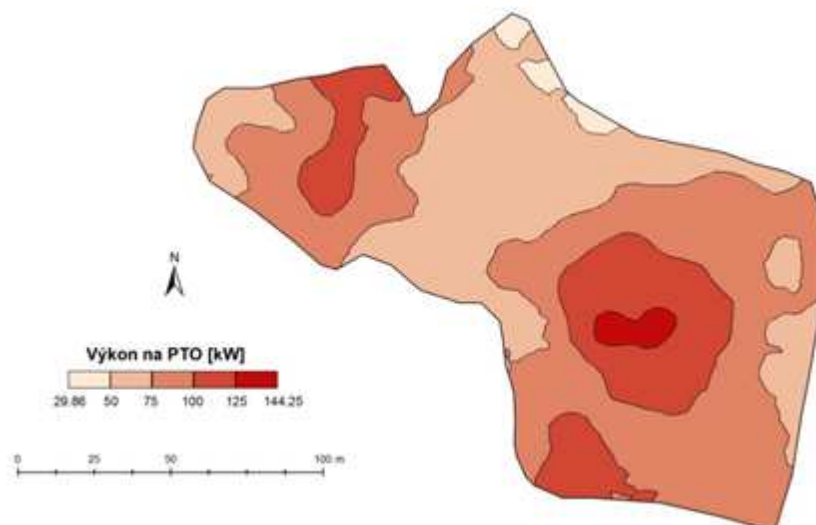
Z výsledků vyplynulo, že v místech s vysokým výnosem travní hmoty, patrných na obrázku 8, znatelně stoupá přenášený výkon přes vývodový hřídel, klesají otáčky rotoru, zvyšuje se hodinová spotřeba paliva a produkce škodlivých emisí.

4.1.2. Měření v laboratorních podmínkách

Pro určení **energetických ztrát mulčovače** byl tento měřen při běhu naprázdno nad betonovým povrchem ve výšce přibližně 50 mm. Měření probíhalo při 500, 600, 700, 800, 900 a 1000 1/min, což při přepočtu na obvodovou rychlost nožů odpovídá přibližně rozsahu 52-105 m/s. Po nastavení příslušných otáček probíhalo po dobu cca 60 s vlastní měření, kdy byl s frekvencí 400 Hz zaznamenáván točivý moment, příkon a spotřeba paliva (měření 1).

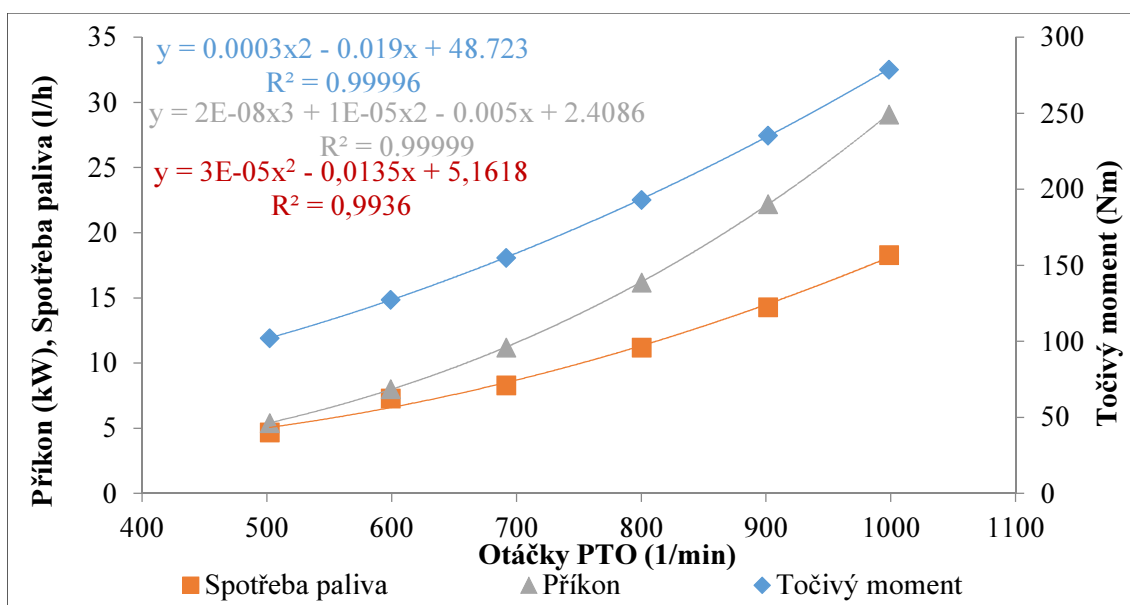
Po dokončení tohoto měření byl z mulčovače odpojen pravý rotor a opakovalo se měření v rozsahu otáček PTO 500 až 1000 1/min (měření 2). Další část měření byla provedena po

odpojení i levého rotoru (měření 3). V poslední fázi zkoušení mulčovače MZ 6000 byl opět připojen levý rotor, ale tentokrát bez nožů (měření 4).



Obrázek 9 Mapa výkonu, přenášeného přes vývodový hřídel během měření (PTO – Power Take Off)

Grafické znázornění výsledků měření 1 je na obrázku 10. Z průběhů závislosti energetických ukazatelů mulčovače na otáčkách vývodového hřídele je patrné, že točivý moment i spotřeba paliva rostou s druhou mocninou otáček PTO, zatímco příkon roste s třetí mocninou otáček PTO. Dále je z výsledků zřejmé, že značná část (až 29,15 kW) příkonu mulčovače, je spotřebována pouze na pohon mulčovacího ústrojí a víření vzduchu. Při průměrné měrné spotřebě paliva 280 g/kWh se jedná o spotřebu přibližně 8,2 kg/h.



Obrázek 10 Průběh točivého momentu, příkonu a spotřeby paliva v závislosti na otáčkách

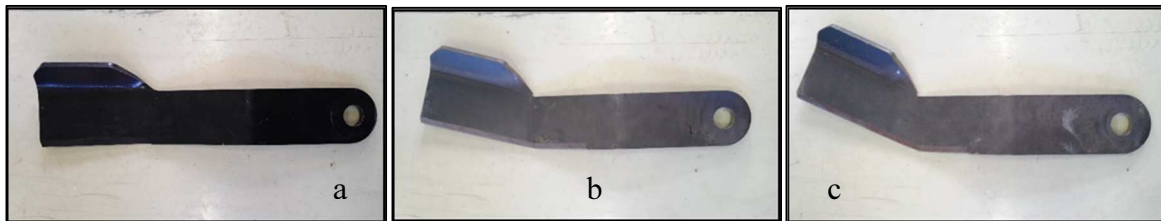
Při měření 4 byl stanoven vliv aerodynamického odporu žacíh nástrojů připojením levého rotoru bez nástrojů. Odpor nástrojů byl poměrově dopočten pro celý stroj a celkový příkon mulčovače naprázdno. Výsledky ukázaly, že aerodynamický odpor nástrojů vyžaduje při pracovních otáčkách 1000 1/min přibližně 79,2 % celkové energie.

4.2. Návrh možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače

V této podkapitole jsou popsány návrhy ke snížení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace, které vycházejí především z poznatků ostatních autorů, uvedených v literární rešerši a dat, získaných během prováděných měření.

4.2.1. Tvar žacího nástroje

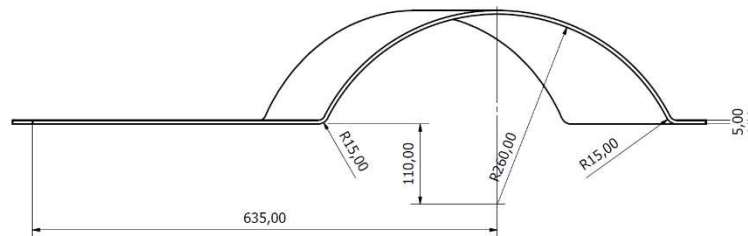
Bylo navrženo celkem šest variant nástrojů (ukázka nástrojů na obr. 11). U navržených nástrojů byl volen úhel čela (θ) 0° , 15° a 25° a úhel plachetky (α) 25° a 35° . Úhel čela ovlivňuje především energii řezu a podle literatury je nejvýhodnější v rozmezí $15^\circ - 30^\circ$ a úhel plachetky ovlivňuje především aerodynamický odpor nástrojů změnou čelní plochy nástroje. Délka ostří byla volena 312 mm pro nástroje s úhlem čela 0° , 319,5 mm pro nástroje s úhlem čela 15° a 333,9 mm pro nástroje s úhlem čela 25° . Originální nástroje, dodávané výrobcem, mají úhel plachetky 45° a úhel čela 0° a délku ostří 205 mm. Nástroje jsou označeny jako úhel čela X úhel plachetky (např. 0X35 – úhel čela 0° a úhel plachetky 35°).



Obrázek 11 Originální a navržené nástroje (a – 0X45 – originální, b – 15X35, c – 25X35)

4.2.2. Tvar zakrytování pracovního prostoru

Tvar zakrytování má podle [4] stejný vliv na proudění vzduchu v pracovním prostoru žacího stroje, jako pracovní nástroje. Ve spolupráci s katedrou zemědělských strojů byly za účelem snížení energetické náročnosti a zlepšení kvality práce navrženy a vyrobeny dva tvary krytů pracovního prostoru mulčovače. Tvar zakrytování by měl vytvořit turbulentní proudění, čímž by mohl zabezpečit opakovaný kontakt materiálu s nástroji i při využití nástrojů s nižším úhlem plachetky nebo při využití nižších řezných rychlostí. Navrženými tvary jsou „toroid“ (obr. 12) a „kapka“ (obr. 13). Z bezpečnostních a finančních důvodů byly tyto tvary krytů testovány pouze na laboratorním modelu a nikoliv v polních podmínkách.

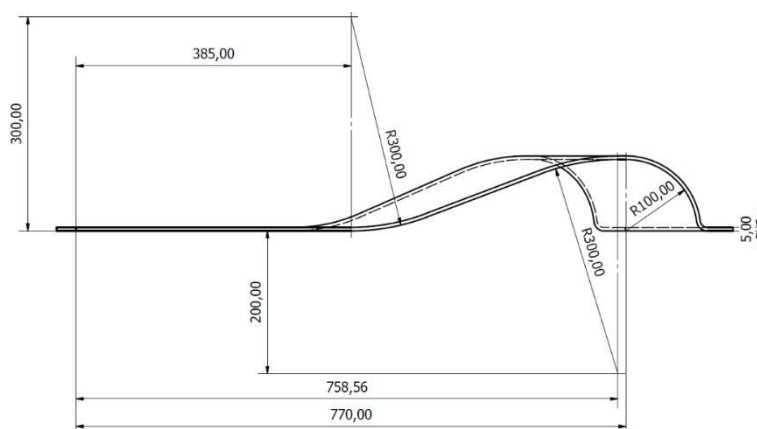


Obrázek 12 Navržený tvar zakrytování – „toroid“

4.2.3. Řezné podmínky

Mezi řezné podmínky patří především řezná rychlost a v neposlední řadě také průchodnost materiálu, daná rychlostí pojezdu a okamžitým hmotnostním výnosem travní hmoty. Při měření na laboratorním modelu byla měřena řezná rychlost od cca 21 m/s do cca 105 m/s. Pro měření v polních podmínkách byla na základě literární rešerše a výsledků měření

volena řezná rychlost 79 m/s (750 1/min), 89 m/s (850 1/min) a 105 m/s (1000 1/min). Průchodnost materiálu lze ovlivnit rychlostí pojezdu, proto byla volena rychlost 9 km/h a 12 km/h.



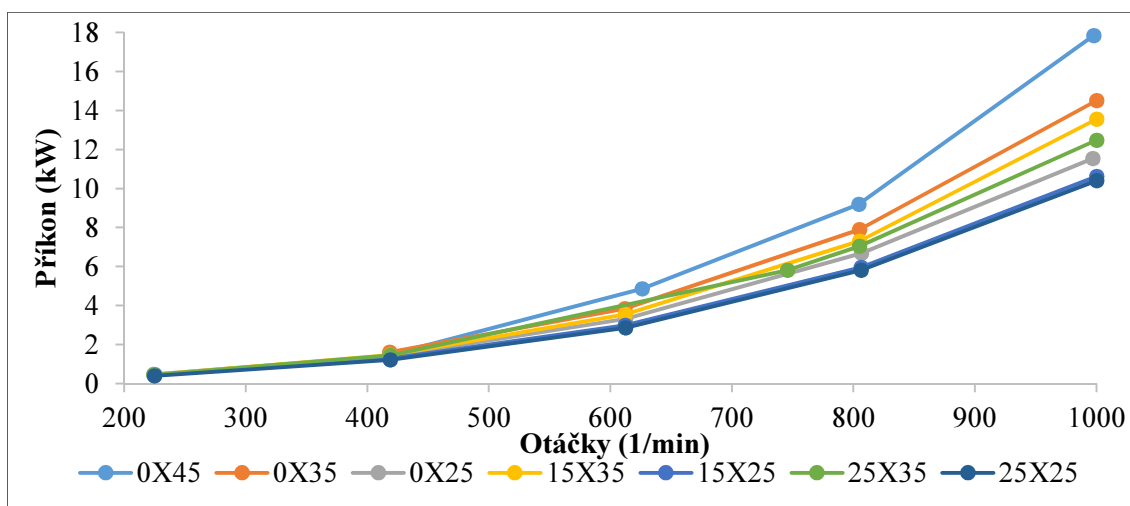
Obrázek 13 Navržený tvar zakrytování – „kapka“

4.3. Experimentální ověření navržených možností ke snížení energetické náročnosti s vyhodnocením kvality práce

V této kapitole je popsán vliv navržených možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače. Je vyhodnocen vliv na energetické ztráty, energetickou náročnost stroje při práci a kvalitu práce.

4.3.1. Měření v laboratorních podmínkách

Nejprve byl stanoven vliv navržených možností na **energetické ztráty**. Ztráty mulčovače byly nejprve stanoveny na laboratorním modelu. Na obrázku 14 je zobrazen průběh příkonu v závislosti na otáčkách rotoru pro jednotlivé tvary nástrojů a rovný kryt pracovního prostoru.

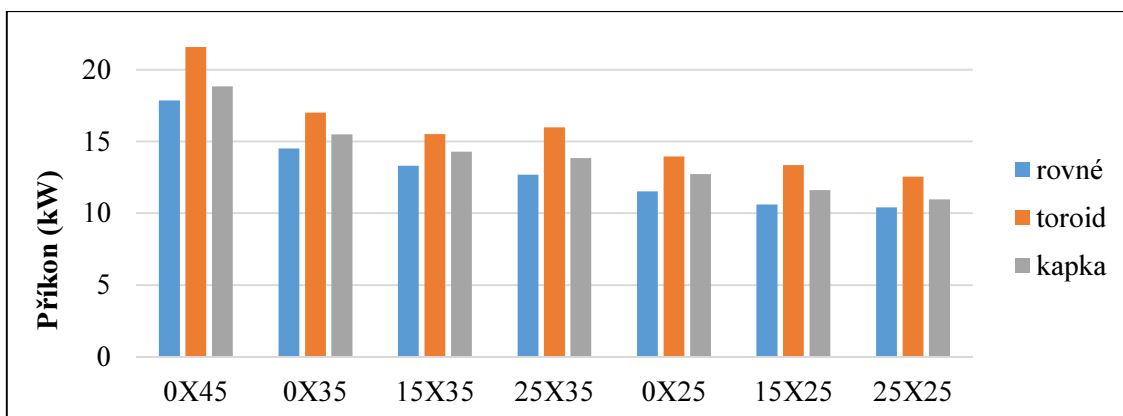


Obrázek 14 Příkon v závislosti na otáčkách – rovný kryt

Při porovnání jednotlivých variant pracovních nástrojů je patrné, že nižší úhel plachetky, znamená nižší ztráty vlivem odporu vzduchu. To je dáno faktem, že menší plachetka tvoří menší čelní plochu, která má zásadní vliv na odpor vzduchu. V případě zvyšujícího se úhlu čela je

také zmenšována čelní plocha a zároveň i součinitel odporu vzduchu C_x , ovšem rozdíl v příkonu není tak výrazný.

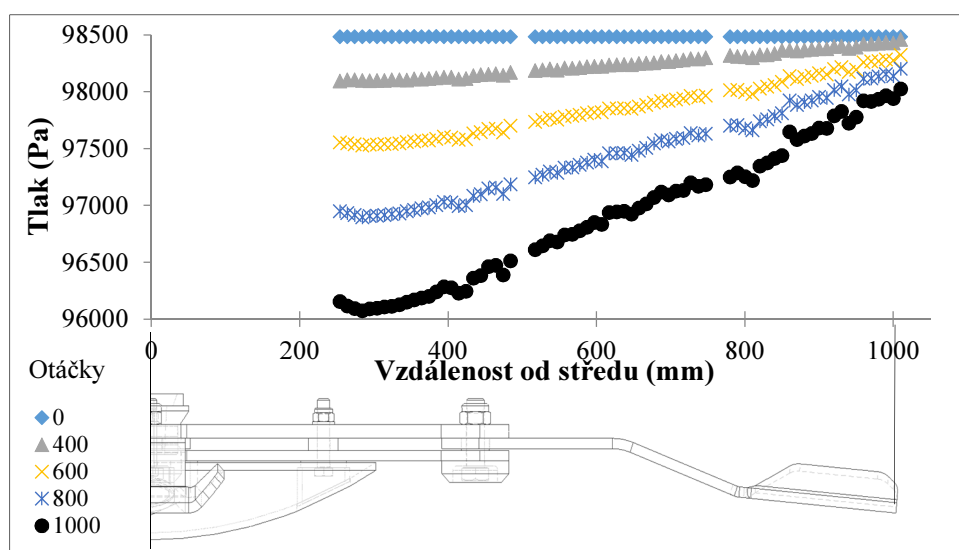
Na obrázku 15 je uvedeno porovnání příkonu pro jednotlivé varianty při 1000 1/min. Z porovnání je vidět, že u všech variant vykázaly nejnižší příkon kryty rovné, to je dáno faktem, že kryty ve tvaru toroidu a kapky mají větší objem vzduchu v pracovním prostoru, který je urychlován pracovními nástroji, a v neposlední řadě umožňují vznik turbulencí. Z pohledu energetické náročnosti jsou tak nejvýhodnější kryty rovné, je ovšem možné, že navržené tvary krytů mohou příznivě ovlivňovat kvalitu práce mulčovače.



Obrázek 15 Porovnání příkonu pro jednotlivé varianty při 1000 1/min (dopočtené hodnoty)

Při měření na laboratorním modelu nebylo z důvodu bezpečnosti možné, u většiny tvarů pracovního nástroje, dosáhnout 1000 1/min, z důvodu vysokého zrychlení vibrací. Hodnoty pro 1000 1/min byly dopočítány pomocí polynomu 2. stupně se spolehlivostí vyšší, než 0,999. Použití polynomu 2. stupně vychází z fyzikální podstaty jevu, jelikož majoritní složkou příkonu je zde energie, potřebná na překonání odporu vzduchu a ten roste s druhou mocninou rychlosti pohybu.

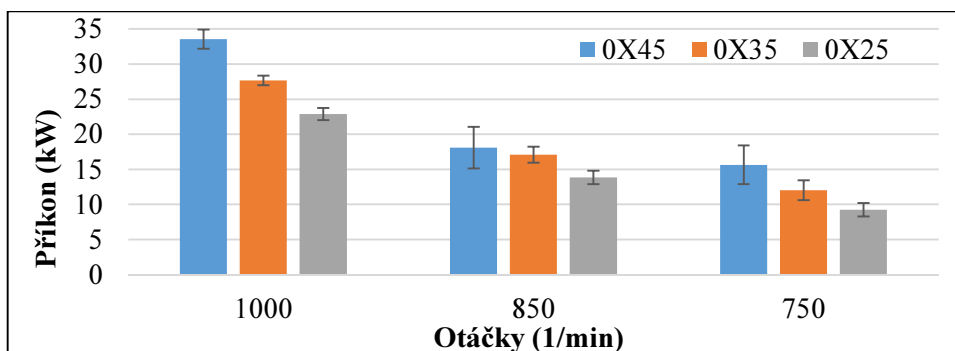
Při měření na laboratorním modelu bylo dále zjištěno, že v pracovním prostoru mulčovače je pohybem pracovních nástrojů tvořen podtlak, který se zvyšuje od obvodu rotoru směrem k jeho středu. Bylo zjištěno, že tlak klesá s druhou mocninou otáček. Dále bylo zjištěno, že tlak se snižuje směrem od obvodu ke středu rotoru téměř lineárně (obr 16).



Obrázek 16 Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu modelu mulčovače – rovné kryty

4.3.2. Měření v polních podmínkách

Na obr. 17 je porovnání běhu naprázdno v polních podmínkách nástrojů s 0° úhlem čela.

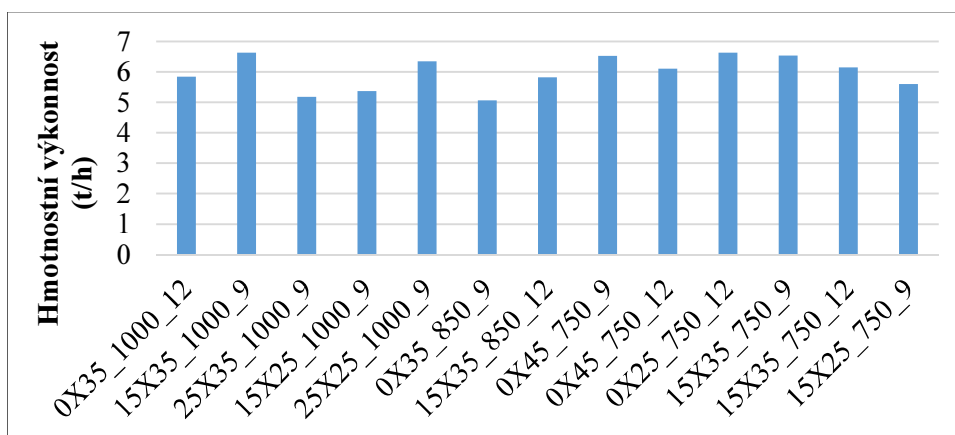


Obrázek 17 Porovnání příkonu při běhu naprázdno pro nástroje 0X45, 0X35 a 0X25

Z obr. 17 je patrné, že nižší úhel plachetky má za následek nižší energetické ztráty. Důvod je stejný, jako u modelu, a to menší čelní plocha nástroje a tím nižší odpor vzduchu. Při porovnání zvyšujícího se úhlu čela byly patrné odchylky od teoretického základu, které jsou pravděpodobně způsobeny nahodilými chybami měření v polních podmínkách. Je zřejmé, že úhel čela již nemá tak výrazný vliv na ztrátový příkon, jako úhel plachetky.

Při měřicích jízdách se hmotnostní výkonnost značně odlišovala (od cca 2,2 t/h do cca 19 t/h), což znemožňuje přímé porovnání jízd, kde byla tato výkonnost výrazně odlišná. To je dáno faktem, že celkový příkon (kW/m), ale i měrná spotřeba energie (kWh/t) je významně závislá na hmotnostní výkonnosti stroje, jak je zřejmé z výsledků v kapitole 4.1 a zdroje [3]. Proto lze mezi sebou porovnat pouze jízdy, kde byla dosažena podobná hmotnostní výkonnost stroje, případně jízdy, kde byl dosažen podobný výnos travní hmoty. Proto byly pro vyhodnocení stanoveny intervaly hmotnostní výkonnosti stroje, ve kterých jsou jednotlivé jízdy mezi sebou porovnávány. Intervaly jsou 3-5 t/h, 5-7 t/h, 7-9 t/h, 9-11 t/h a 11 t/h a více. Porovnávána je především měrná spotřeba energie v kWh/t.

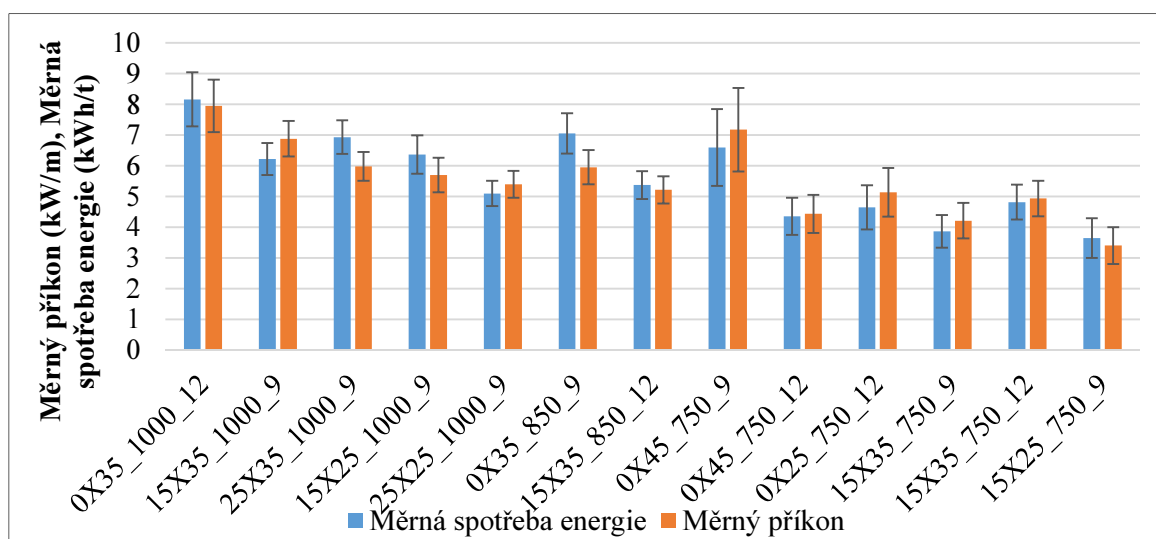
Na obrázku 18 je znázorněna hmotnostní výkonnost stroje z jednotlivých měřicích jízd v intervalu 5-7 t/h. Na obrázku 19 je dále uveden měrný příkon a měrná spotřeba energie při měřicích jízdách v daném intervalu hm. výkonnosti (chybové úsečky znázorňují velikost směrodatné odchylky). Z obrázků je patrné, že při 1000 1/min dosáhl ve stanoveném intervalu hmotnostní výkonnosti nižší energetické náročnosti nástroj 25X25, při otáčkách 850 1/min nástroj 15X35 a při otáčkách 750 1/min dosáhl nižší energetické náročnosti nástroj 15X25, příznivých hodnot dosáhl také nástroj 15X35.



Obrázek 18 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřicích jízdách v intervalu 5-7 t/h

Při snížení otáček rotorů klesá také měrný příkon a měrná spotřeba energie, v závislosti na výkonnosti. Velikost poklesu energetické náročnosti se mezi nástroji liší, důvodem je především rozdílná výkonnost v daném intervalu a také rozdílné podmínky měření, především podíl vlhkosti porostu. Celkový pokles energie je dán nižšími ztrátami, způsobenými odporem vzduchu, ale další příčinou by mohla být nižší energie řezu, jak je popsáno v kapitole 1.

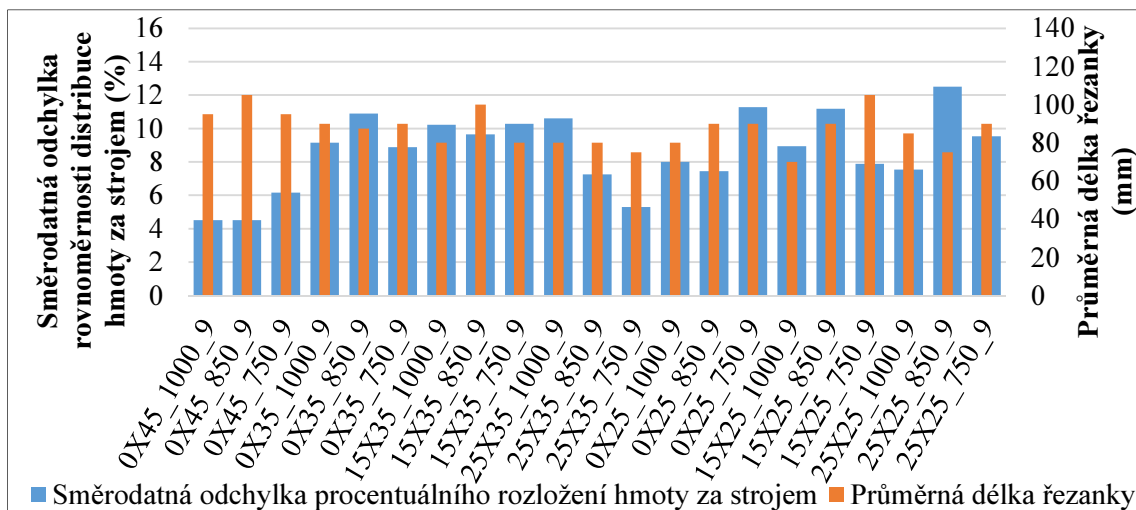
Z výsledků vyplynulo, že se snižujícím se úhlem plachetky energetická náročnost klesá. Při úhlu plachetky 35° poklesla měrná spotřeba energie o přibližně 10,4 % a při úhlu plachetky 25° poklesla o 31,8 % ve srovnání s originálními nástroji (0X45). Měrný příkon se snížil o přibližně 23,8 % v případě plachetky pod úhlem 35° a o přibližně 32 % v případě plachetky pod úhlem 25° ve srovnání s originálním nástrojem. To je dáno především nižším odporem vzduchu.



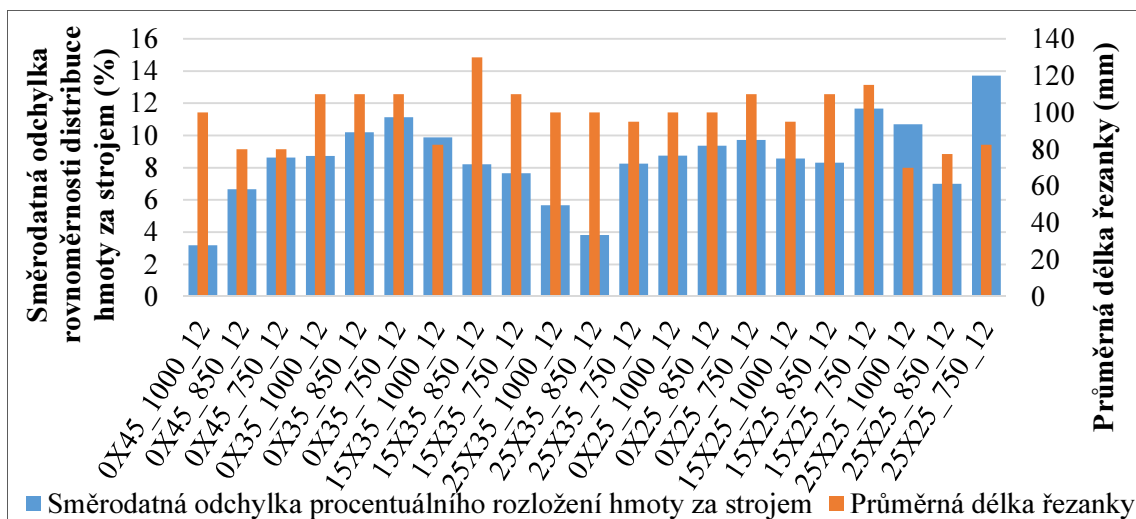
Obrázek 19 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 5-7 t/h

Při zvýšení úhlu čela z 0° na 15° došlo, při řezné rychlosti 89 m/s, ke snížení měrné spotřeby energie o přibližně 9,2 % a měrného příkonu o cca 7,1 %, při zvýšení úhlu čela z 0° na 25° došlo ke snížení měrné spotřeby energie o přibližně 21 % a měrného příkonu o cca 26,3 %. Jelikož je výhodnost tohoto parametru závislá na řezné rychlosti [27, 28], byl tento parametr v rámci možností zhodnocen také při dalších řezných rychlostech. Na laboratorním modelu byl rozdíl v příkonu mezi variantami 0X25 a 25X25 přibližně 9,6 % při 1000 1/min a při 800 1/min byl tento rozdíl cca 13,4 %. Přičemž při měření energetických ztrát v polních podmínkách byl tento rozdíl pouze 5 % při 850 1/min.

Pro zhodnocení kvality práce je na obrázku 20 znázorněna směrodatná odchylka procentuálního rozložení hmoty za strojem (záběr byl rozdělen na 8 částí) a průměrná délka řezanky pro pracovní rychlost 9 km/h a na obrázku 21 pro pracovní rychlost 12 km/h. Podle očekávání vykázaly nejrovnoměrnější rozložení hmoty za strojem originální pracovní nástroje, které jsou opatřeny plachetkou pod úhlem 45°. Z navržených nástrojů vykázal příznivé hodnoty nástroj 25X35. Průměrná délka řezanky se pohybovala přibližně okolo 100 mm, přičemž při rychlosti 9 km/h byla tato hodnota u většiny tvarů pracovního nástroje nižší, než při rychlosti 12 km/h.

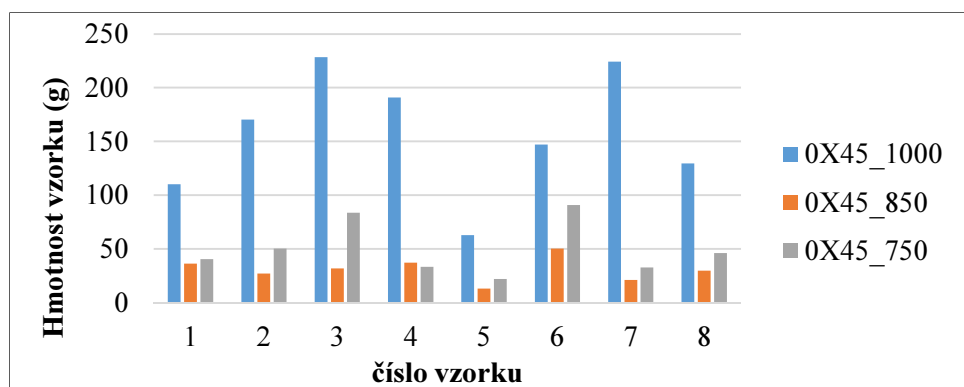


Obrázek 20 Směrodatná odchylka procentuálního rozložení hmoty za strojem a průměrná délka řezanky pro pracovní rychlost 9 km/h



Obrázek 21 Směrodatná odchylka procentuálního rozložení hmoty za strojem a průměrná délka řezanky pro pracovní rychlost 12 km/h

Na obrázku 22 je ukázka distribuce materiálu v záběru stroje pro originální nástroje (0X45) pro pracovní rychlost 9 km/h. Je patrné, že mulčovač má tendenci „řádkovat“ podrcenou travní hmotu, především v oblasti 3. a 6. vzorku, což přibližně odpovídá středům dvou krajních rotorů.



Obrázek 22 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro originální nástroj, pracovní rychlost 9 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min

5. Diskuze a závěr

Byla určena energetická náročnost mulčovače s vertikální osou rotace. Špičkové hodnoty příkonu dosahují téměř 150 kW. Při měření v polních podmínkách v kapitole 4.1 bylo dosaženo měrného příkonu 10,4 – 22,6 kW/m, což je podstatně více, než uvádí většina zdrojů [1, 25, 31, 33, 35]. Tyto výsledky byly publikovány v [3]. Při polním měření v kapitole 4.3 bylo dosaženo měrného příkonu v rozmezí přibližně 3,4 – 12,9 kW/m. Ve srovnání s výsledky, publikovanými ostatními autory, při měření rotačních žacími stroji lze prohlásit, že naměřené hodnoty měrného příkonu v kapitole 4.3 rámcově odpovídají hodnotám, naměřeným ostatními autory, které se pohybují v rozmezí 3,5 – 16 kW/m. Z pohledu dosažených hodnot měrné spotřeby energie vyplývá, že výsledky, dosažené při polním měření v kapitole 4.3 (2 – 10,5 kWh/t), se nacházejí ve větším rozptylu, než bylo publikováno pro stejný typ mulčovače (3,4 – 6,3 kWh/t) v kapitole 4.1 a [3]. To je způsobeno především podstatně rozdílnými podmínkami měření, především vyšším podílem vlhkosti a rozdílným výnosem travní hmoty. Dále bylo zjištěno, že za daných podmínek mulčovač pracuje neefektivněji přibližně při výkonnosti 30 t/h. Z pohledu spotřeby paliva bylo při polním měření v kapitole 4.1 naměřena jednotková spotřeba paliva 7,9 až 16,3 l/ha, zdroj [33] uvádí pro mulčování 7,5 až 9,5 l/ha. Rozdílné maximální hodnoty jsou způsobeny požadavkem, na co nejvyšší výkonnost stroje z důvodu zjištění maximálních hodnot příkonu a spotřeby paliva.

Z pohledu energetických ztrát bylo zjištěno, že k jejich pokrytí je zapotřebí téměř 30 kW, přičemž až 80% těchto ztrát je při pracovních otáčkách mulčovače spotřebováno pro vytvoření ventilačního efektu.

Řezná rychlost měla v laboratorních i polních podmínkách největší vliv na energetickou náročnost. Z pohledu řezné rychlosti bylo při polním měření v kapitole 4.3 dosaženo nejnižších hodnot energetické náročnosti při řezné rychlosti přibližně 79 m/s, což odpovídá [7, 15, 17] a většině ostatních zdrojů, zmíněných v kapitole 1

Z pohledu úhlu plachetky bylo zjištěno, že nižší úhel plachetky znamená nižší ztráty vlivem aerodynamického odporu, jelikož je zmenšována čelní plocha nástroje. Při úhlu plachetky 25° bylo dosaženo snížení příkonu laboratorního modelu při pracovních otáčkách o 35,4 %, v polních podmínkách byl snížen měrný příkon a měrná spotřeba energie o 32 %. Úpravou tvaru řezného nástroje z hlediska aerodynamiky tedy lze docílit úspory energie, což potvrzují také ostatní autoři [38, 11]. Dále bylo zjištěno, že nižší úhel plachetky měl převážně negativní vliv na kvalitu práce. Jun a kol. [16] zjistil, že pro spolehlivou funkci rotačního žacího stroje s bočním vyprazdňováním je zapotřebí úhel plachetky 20°. Výsledky kvality práce, dosažené při uvedeném měření v kapitole 4.3, jsou ale ovlivněny nepříznivými podmínkami měření, především nadměrným podílem vlhkosti travní hmoty.

Při všech testovaných řezných rychlostech bylo dosaženo nejnižší náročnosti při úhlu čela 25°, při řezné rychlosti 89 m/s bylo dosaženo snížení měrné spotřeby energie o přibližně 21 % a měrného příkonu o cca 26,3 %. Tento úhel odpovídá zdrojům [6, 21, 28], kde bylo dosaženo nejnižší energie při úhlech čela 25° – 30°, naopak jiné zdroje [27] uvádí statisticky nevýznamně nižší energii při úhlu čela 15°. Jiný zdroj [8] uvádí nejnižší energii při úhlu čela 40°.

V pracovním prostoru byl naměřen podtlak. Průběh tlaku v pracovním prostoru se při měření zvyšoval od středu k obvodu. Toto je v souladu s [11], kde byl také naměřen zvyšující se tlak od středu rotoru k jeho obvodu. Dále bylo zjištěno, že v pracovním prostoru mulčovače dochází k ovlivnění mezi rotory, jelikož příkon laboratorního modelu jednoho rotoru mulčovače byl podstatně vyšší, než odpovídá 1/3 příkonu celého mulčovače při běhu naprázdno, to podporuje zdroj [10], který konstatoval, že v oblastech interakce dvou rotorů může být rychlost proudění vzduchu nestabilní.

Z hlediska kvality práce, dosažené při polním měření, lze konstatovat, že rovnoměrnost distribuce byla navrženými možnostmi snižování energetické náročnosti v daných podmínkách ovlivněna téměř ve všech případech negativně. Mulčovač má tendenci řádkovat přibližně v oblasti středu dvou krajních rotorů, kde je rovněž tvořen nejvyšší podtlak. Dále bylo zjištěno, že délka řezanky je především závislá na rychlosti pojezdu. Výsledky kvality práce byly ovšem ovlivněny podmínkami měření, jelikož podíl vlhkosti porostu byl vyšší, než je při této operaci obvyklé.

Z výsledků práce je patrné, že hypotéza, uvedená v kapitole 2., byla částečně potvrzena. Úpravou konstrukčních (úhel čela a plachetky nástroje) i provozních (řezná rychlost) parametrů mulčovače s vertikální osou rotace lze dosáhnout snížení energetické náročnosti mulčování. Při uskutečněných měřeních v daných podmínkách byla tato úspora energie téměř vždy dosažena za cenu snížení kvality práce.

Pro vyřešení problému s podtlakem ve středu pracovního prostoru a kvalitou práce mulčovače je třeba detailnějšího výzkumu proudění vzduchu a tlakových podmínek v jeho pracovním prostoru.

6. Literatura

- [1] American Society of Agricultural and Biological Engineers: *ASABE D497.7. – Agricultural Machinery Management Data*. The American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, 2011
- [2] Andrejs, V.: *Možnosti snížení energetické náročnosti při mulčování ve vazbě na kvalitu práce*. Diplomová práce, ČZU v Praze, Praha, 2006, 57 s.
- [3] Čedík, J., Pexa, M., Pražan, R., Kubín, K., Vondříčka, J.: Mulcher energy intensity measurement in dependence on performance. *Agronomy Research*, 2015, roč. 13, č. 1, s. 46–52.
- [4] Hagen, P. A., Chon, W., Amano, R.S.: Experimental Study of Aerodynamics Around Rotating Blades in a Lawnmower Deck. *American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FED*, 2002, roč. 257, č. 1A, s. 67-76
- [5] Hoseinzadeh, B., Esehaghbeygi, A., Raghani, N.: Effect of Moisture Content, Bevel Angle and Cutting Speed on Shearing Energy of Three Wheat Varieties. *World Applied Sciences Journal*, 2009, roč. 7, č. 9, s. 1120-1123
- [6] Chancellor, W.J.: Energy Requirements for Cutting Forage. *Agricultural Engineering*, 1958, roč. 39, č. 10, s. 633-640
- [7] Chattopadhyay, P., Pandey, K.: Effect of Knife and Operational Parameters on Energy Requirement in Flail Forage Harvesting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, roč. 73, č. 1, s. 3-12
- [8] Chattopadhyay, P., Pandey, K.: Impact Cutting behavior of sorghum stalks using a flailcutter - a mathematical model and its experimental verification. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 2001, roč. 78, č. 4, s. 369-376
- [9] Chen, Y., Gratton, J.L., Liu, J.: Power Requirements of Hemp Cutting and Conditioning. *Biosystems Engineering*, 2004, roč. 87, č. 4, s. 417-424
- [10] Chon, W., Amano, R. S.: Experimental and Computational Investigation of Triple-rotating Blades in a Mower Deck. *JSME International Journal Series B: Fluids and Thermal Engineering*, 2003, roč. 46, č. 2, s. 229–243
- [11] Chon, W., Amano, R. S.: Experimental and computational studies on flow behavior around counter rotating blades in a double-spindle deck. *KSME International Journal*, 2004, roč. 18, č. 8, s. 1401–1417
- [12] Chon, W., Jensen, M., Amano, R.S., Caceres, D., Sunjic, A., Tetzlaff, P.: Investigation of flows around a rotating blade in a lawn mower deck. In: *Proceedings of the 1999 3rd ASME/JSME Joint Fluids Engineering Conference, FEDSM'99*, San Francisco, California, USA, 1999 (CD-ROM), roč. 1.
- [13] Chon, W., Tetzlaff, P., Amano, R. S., Triscari, A., Torresin, J., Johnson, K.: Experimental study of aerodynamics around co-rotating blades in a lawn mower deck. *American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division FED*, 1999, roč. 250, s. 57–64
- [14] Igathinathane, C., Pordesimo, L.O., Schilling, M.W., Columbus, E.P.: Fast and simple measurement of cutting energy requirement of plant stalk and prediction model development. *Industrial Crops and Products*, 2011, roč. 33, s. 518-523
- [15] Igathinathane, C., Womac A.R., Sokhansanj S.: Corn stalk orientation effect on mechanical cutting. *Biosystems Engineering*, 2010, roč. 107, č. 2, s. 97-106
- [16] Jun, H., Choi, Y., Lee, C., Kang, Y.: Development of Side-discharge Type Mid-mower Attached to a Tractor. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2008, roč. 1, č. 1, s. 39–44
- [17] Kakahy A.N.N., Ahmad D. Akhir M.D., Sulaiman S., Ishak A. Pulverization of sweet potato vine at different mower speeds. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 50, 2nd International Conference on Mechanical Engineering Research, 1-4 July 2013; Kuantan, Pahang; Malaysia
- [18] Kakahy, A. N. N., Ahmad, D., Akhir, M., Ishak, A., Sulaiman, S.: Effects of different cutting speeds on Grass pulverizing. In: *International Conference on Green Technology & Ecosystems for Global Sustainable Development 2012, ICGTEC2012*, Univerzity of Tuzla, Bosnia and Herzegovina, 2012

- [19] Kakahy, A. N. N., Ahmad, D., Akhir, M., Sulaiman, S., Ishak, A., Ali, H.: Effects of Types of Slashers and Cutting Speeds on the Quality of Grass Chopping (Pulverizing) at High Moisture Content. In: *International Conference on Mechanical Engineering and Advanced Technology*, ICMEAT2012, Xiamen, China, 2012
- [20] Kakahy, A. N., Ahmad, D., Akhir, M. D., Sulaiman, S., Ishak, A.: Effects of Cutting Speeds and Moisture Content on Grass Chopping (Pulverizing). *Advanced Science Letters*, 2013, roč. 19, č. 9, s. 2533-2535
- [21] Kakahy, A.N.N., Ahmad, D., Akhir, M.D., Sulaiman, S., Ishak A. Effects of Knife Angles and Cutting Speeds on Pulverization of Sweet Potato Vines. In: *Proceedings of USM-AUT International Conference 2012 Sustainable Economic Development: Policies and Strategies*. 2012, roč. 167, s. 45-50
- [22] Kakahy, A.N.N., Ahmad, D., Akhir, M.D., Sulaiman, S., Ishak, A.: Effects of knife shapes and cutting speeds of a mower on the power consumption for pulverizing sweet potato vine. *Key Engineering Materials*, 2014, roč. 594-595, s. 1126-1130
- [23] Mayer, V., Vlášková, M.: Mulčování na půdách uváděných do klidu. *Agritech Science*, [online], 2007, roč. 1, č. 2, s. 1-5, dostupné z: <http://www.agritech.cz/clanky/2007-2-1.pdf>, ISSN 1802-8942
- [24] McRandal, D.M., McNulty, P.B.: Impact cutting behaviour of forage crops I. Mathematical models and laboratory tests. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1978, roč. 23, č. 3, s. 313-328
- [25] McRandal, D.M., McNulty, P.B.: Impact cutting behaviour of forage crops II. Field tests. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1978, roč. 23, č. 3, s. 329-338
- [26] O'Dogherty, M. J. and G. E. Gale.: Laboratory Studies of the Dynamic Behaviour of Grass, Straw and Polystyrene Tube During High-speed Cutting. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1991, roč. 49, č. C, s. 33-57.
- [27] O'Dogherty, M. J., G. E. Gale.: Laboratory Studies of the Effect of Blade Parameters and Stem Configuration on the Dynamics of Cutting Grass. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1991, roč. 49, č. 2, s. 99-111
- [28] O'Dogherty, M.J., Gale, G.E.: Laboratory studies of the cutting of grass stems. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1986, roč. 35, č. 2, s. 115-129
- [29] O'Dogherty, M.J.. A review of research on forage chopping. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1982, roč. 27, č. 4, s. 267-289
- [30] Persson, S.: *Mechanics of cutting plant material*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, 1987, 288 s. ISBN 0-916150-86-0
- [31] Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R.P.: *Engineering principles of agricultural machines*. American Society of Agricultural Engineers, St Joseph, 2006, 588 s., ISBN 978-1892769503
- [32] Syrový O. a kol.: *Úspory energie v technologiích rostlinné výroby*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha, 2008, 100 s., ISBN 978-80-86884-44-8
- [33] Syrový, O., Světlík, M., Pražan, R., Pastorek, Z., Kubín, K., Gerndtová I.: *Mobilní energetické prostředky a orientační hodnoty jednotkových spotřeb paliv a energií*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Praha, 2013, 56 s., ISBN 978-80-86884-79-0
- [34] Tuck, C. R., O'Dogherty, M. J., Baker, D. E., Gale, G. E.: Laboratory Studies of the Performance Characteristics of Mowing Mechanisms. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1991, roč. 50, č. C, s. 61-80
- [35] Tuck, C.R., O'Dogherty, M.J., Baker, D.E., Gale, G.E.: Field Experiments to Study the Performance of Toothed Disk Mowing Mechanisms. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1991, roč. 50, s. 93-106
- [36] Vovk, V.: *Vyhodnocení energetické náročnosti práce konstrukčně rozdílných typů mulčovačů*. Diplomová práce, ČZU v Praze, Praha, 2010, 54 s.
- [37] Yiljep, Y.D., Mohammed, U.S.: Effect of knife velocity on cutting energy and efficiency during impact cutting of sorghum stalk. *Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal*, 2005, roč. 7
- [38] Zu, L., Zhang, L., Wang, H.K.: Optimization design of the lawn mowing vehicle's blade based on aerodynamics. *Advanced Materials Research*, 2011, roč. 199-200, s. 173-181