

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA



**VÝZKUM VLIVU PROVOZNÍCH A
KONSTRUKČNÍCH PARAMETRŮ NA
ENERGETICKOU NÁROČNOST A KVALITU PRÁCE
MULČOVAČE**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Doktorská disertační práce

ING. JAKUB ČEDÍK

2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto disertační práci vypracoval samostatně pod vedením školitele doc. Ing. Martina Pexy, Ph.D. a uvedl jsem veškerou použitou literaturu. Tištěná a elektronická verze práce se doslovně shodují.

JMÉNO A PŘÍJMENÍ:

DATUM:

PODPIS:

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval svému školiteli doc. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za pomoc a rady při vytváření této disertační práce. Rád bych také poděkoval firmě BEDNAR FMT, s.r.o., jmenovitě především Ing. Jiřímu Vondříčkovi, Ph.D. a Ing. Karlu Kubínovi, Ph.D. a pracovníkům Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v.v.i., jmenovitě především Ing. Radkovi Pražanovi, Ph.D. a Ing. Iloně Gerndtové za veškeré poskytnuté podklady, naměřená data, materiál a pomoc při měření a zpracování dat. Dále bych rád poděkoval pracovníkům katedry zemědělských strojů, jmenovitě především prof. Dr. Ing. Františkovi Kumhálovi, Ing. Janu Chybovi, Ph.D., Ing. Stanislavu Petraskovi, Ph.D., Ing. Petru Novákovi, Ph.D. a doc. Ing. Jiřímu Maškovi, Ph.D. za veškerou pomoc při přípravě a realizaci laboratorních a polních měření, za pomoc při konstrukci a výrobě experimentálního zařízení, za poskytnutí naměřených dat a přístrojů a pomoc při zpracování dat. Rád bych také poděkoval členům katedry elektrotechniky a automatizace, jmenovitě především prof. Ing. Jaromíru Volfovi, DrSc. a Ing. Zbyňku Vondráškovi, Ph.D. a všem ostatním účastníkům projektu TAČR (TA03010138) za veškerou pomoc při přípravě a realizaci měření, za poskytnutí dat a přístrojů a pomoc při zpracování dat. Dále bych rád poděkoval všem členům katedry jakosti a spolehlivosti strojů za poskytnutí naměřených dat, veškerou podporu, pomoc a schovívavost při působení na Technické fakultě ČZU v Praze. Také bych rád poděkoval pracovníkům Studijního a informačního centra ČZU v Praze za pomoc při literární rešerši, jmenovitě především paní PhDr. Lence Peškové. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině za veškerou podporu a pochopení v době studia.

Abstrakt

Tato doktorská disertační práce se zabývá rotačními žacími stroji, konkrétně problematikou vlivu provozních a konstrukčních parametrů na energetickou náročnost a kvalitu práce mulčovače.

V teoretické části je čtenář nejprve seznámen s technologií mulčování a jejím významem. Dále jsou popsány jednotlivé typy mulčovačů a jsou nastíněny jejich výhody a nevýhody. Dále je uveden literární rozbor energetické náročnosti rotačních žacích strojů a jsou rozebrány parametry, ovlivňující energetickou náročnost mulčovače. Mezi tyto parametry patří druh a stav rostlin, řezné podmínky, tvar a stav pracovního nástroje a energetické ztráty.

Jsou uvedeny výsledky měření energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace. Je vytvořena závislost odebíraného výkonu, měrné spotřeby energie a jednotkové spotřeby paliva na hmotnostní výkonnosti stroje. Dále byla určena energetická náročnost mulčovače při souvislé práci na trvalém travním porostu. Mulčovač byl také analyzován z hlediska energetických ztrát.

Je studován vliv úpravy provozních a konstrukčních parametrů na energetickou náročnost a kvalitu práce mulčovače s vertikální osou rotace. Z konstrukčních parametrů je modifikován tvar nástroje, především úhel plachetky a úhel čela nástroje, dále je modifikován tvar krytů pracovního prostoru mulčovače. Z provozních parametrů je upravena především řezná rychlost a v závislosti na podmínkách také hmotnostní výkonnost.

Klíčová slova: Mulčovač, energetická náročnost, trvalý travní porost, žací nástroj, spotřeba paliva

Abstract

This doctoral dissertation thesis deals with rotary mowers, specifically with the issue of mulching.

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. The literary analysis of energy demands of rotary mowers is stated. Further, the parameters influencing energy demands of the mulcher are also analyzed.

The results of measurement of the energy demands 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. Furthermore, the energy demands was determined, while mulcher was working continuously at the permanent grassland. The energy losses of the mulcher were also analyzed.

The effect of modification of operational and constructional parameters on the energy demands 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.

Keywords: Mulcher, energy demands, permanent grassland, mower tool, fuel consumption

Obsah

| | |
|---|-------------|
| Prohlášení | i |
| Poděkování | ii |
| Abstrakt | iii |
| Abstract | iv |
| Obsah | v |
| Seznam obrázků | vii |
| Seznam tabulek | xiii |
| Úvod | 1 |
| 1. Současný stav řešené problematiky | 3 |
| 1.1. Význam mulčování | 3 |
| 1.2. Rozdělení a konstrukce mulčovačů | 4 |
| 1.2.1. Mulčovače s horizontální osou rotace | 4 |
| 1.2.2. Mulčovače s vertikální osou rotace | 7 |
| 1.3. Energetická náročnost rotačních žacích strojů..... | 11 |
| 1.4. Rozbor parametrů, ovlivňujících práci mulčovače a jeho energetickou náročnost | 12 |
| 1.4.1. Druh a stav porostu | 12 |
| 1.4.2. Podmínky řezu | 18 |
| 1.4.3. Pracovní nástroje..... | 25 |
| 1.4.4. Energetické ztráty mulčovače | 28 |
| 2. Cíle práce | 31 |
| 3. Metodika | 32 |
| 3.1. Určení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace | 32 |
| 3.2. Navržení možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače..... | 37 |
| 3.3. Experimentální ověření navržených možností a vyhodnocení vlivu na kvalitu práce | 38 |
| 4. Experimentální část | 44 |
| 4.1. Určení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace | 44 |
| 4.1.1. Měření v polních podmínkách | 44 |
| 4.1.2. Měření v laboratorních podmínkách..... | 52 |
| 4.1.3. Dílčí závěr..... | 56 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 4.2. | Návrh možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače | 57 |
| 4.2.1. | Tvar žacího nástroje..... | 57 |
| 4.2.2. | Tvar zakrytování pracovního prostoru..... | 58 |
| 4.2.3. | Řezné podmínky | 59 |
| 4.2.4. | Dílčí závěr..... | 60 |
| 4.3. | Experimentální ověření navržených možností ke snížení energetické náročnosti s vyhodnocením kvality práce | 60 |
| 4.3.1. | Měření v laboratorních podmínkách..... | 60 |
| 4.3.2. | Měření v polních podmínkách | 69 |
| 4.3.3. | Dílčí závěr..... | 87 |
| 5. | Diskuze..... | 90 |
| 6. | Závěr | 92 |
| | Literatura..... | 94 |
| | Příloha A | 101 |
| | Příloha B | 102 |
| | Příloha C | 103 |

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Princip mulčování [47] | 1 |
| Obrázek 2 Schéma mulčovače s horizontální osou rotace [4] | 5 |
| Obrázek 3 Pracovní ústrojí mulčovače s horizontální osou rotace s noži ve tvaru Y [40] | 5 |
| Obrázek 4 Schematicky znázorněné možnosti agregace horizontálních mulčovačů s energetickým prostředkem: a) přední závěs - plošný, b) přední závěs – bočně nesený, c) zadní závěs – bočně nesený, d) zadní závěs – plošný, e) příkopové rameno [4] | 6 |
| Obrázek 5 Boční mulčovač s horizontální osou rotace [40] | 7 |
| Obrázek 6 Uspořádání čepelí mulčovače řady MZ od firmy BEDNAR FMT (vlevo travní nože, vpravo nože kukuřičné) [5] | 8 |
| Obrázek 7 Schéma mulčovače s vertikální osou rotace [4] | 9 |
| Obrázek 8 Mulčovač MZ 4500 s vertikální osou rotace s pracovním záběrem 4,5 m od firmy BEDNAR FMT [5] | 9 |
| Obrázek 9 Krácející náprava ve střední části mulčovače s vertikální osou rotace [5] . | 10 |
| Obrázek 10 Typický průběh síly, potřebné na přeříznutí stonku rostliny (vlevo [46] jilek vytrvalý, řezná rychlost 0,467 mm/s a úhel ostří 30°; vpravo [42]) | 13 |
| Obrázek 11 Průběh řezné síly v čase při dvojím průchodu skupinou stébel [44] | 14 |
| Obrázek 12 Vliv tří druhů rostlin na energii řezu [18] | 14 |
| Obrázek 13 Porovnání výkonu traktoru při sečení dvou druhů plodin – ozdobnice a proso [32] | 15 |
| Obrázek 14 Vliv podílu vlhkosti na střížnou energii tří druhů pšenice [14] | 15 |
| Obrázek 15 Vliv podílu vlhkosti na pevnost ve stříhu pro vojtěšku v různých úrovních stonku [12] | 16 |
| Obrázek 16 Vliv stáří rostlin jilku vytrvalého na střížnou energii stonků (řezná rychlost 0,467 mm/s, úhel řezu 30°) [46] | 17 |
| Obrázek 17 Vliv odklonu stonků na kritickou řeznou rychlost [49] | 18 |
| Obrázek 18 Řez travního stonku při odklonu 45° (vlevo 35 m/s – nadkritická rychlost, vpravo 15 m/s – podkritická rychlost) [49] | 18 |
| Obrázek 19 Řez travního stonku (A – 35 m/s, B – 15 m/s) [49] | 20 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 20 Vliv kritické řezné rychlosti na měrnou energii řezu (a – ●, - odklon stébel 15°, ▲- odklon stébel 60° [49]; b – [50]) | 20 |
| Obrázek 21 Vliv řezné rychlosti na energii při sečení [45] | 21 |
| Obrázek 22 Vliv řezné rychlosti na příkon stroje ■ a na střední délku strniště ▲ (a – ostré nože, b – tupé nože)[65] | 22 |
| Obrázek 23 Průběh řezné rychlosti za jednu otáčku rotoru (průměr 2 m, otáčky 1000 1/min, jezdová rychlost 12 km/h) | 23 |
| Obrázek 24 Vliv výnosu plodin na energii, spotřebovanou na sečení [45]..... | 23 |
| Obrázek 25 Vliv jezdové rychlosti na příkon na rotoru při řezu bez protiostrí (řezná rychlost 78,1 m/s, čísla označují jednotlivá pole) [45] | 24 |
| Obrázek 26 Vliv průchodnosti materiálu mulčovačem na přímé náklady a spotřebu paliva při mulčování [43] | 25 |
| Obrázek 27 Schematicky znázorněný úhel čela θ [49]..... | 26 |
| Obrázek 28 Karbidový návar na spodní straně břitu pracovního nástroje mulčovače [6] | 27 |
| Obrázek 29 Protiostrí na mulčovači s vertikální osou rotace od firmy BEDNAR FMT, s.r.o. [5] | 28 |
| Obrázek 30 Žací výkon a ztráty na žacím mechanismu v závislosti na průchodnosti materiálu (POC – řezný výkon; POLAC – výkon, potřebný na akceleraci rostlin; POLFR – ztráty, způsobené třením mezi materiálem a žacím mechanismem; POLAI – výkon, potřebný na ventilační efekt; POLMI – ostatní ztráty)[53] ... | 29 |
| Obrázek 31 Energetická bilance žacího stroje v závislosti na řezné rychlosti (1 – průměrný celkový příkon; 1-2 – neidentifikovaná energie; 2-3 – energie na přepravu a urychlení rostlin; 3-4 – ztráty stroje; 4 – řezná energie [45])..... | 29 |
| Obrázek 32 Zvolený mulčovač Mulcher MZ 6000..... | 32 |
| Obrázek 33 Snímač točivého momentu MANNER umístěný na traktoru John Deere 7930 | 33 |
| Obrázek 34 Palivoměr AIC, umístěný na traktoru John Deere 7930..... | 34 |
| Obrázek 35 Traktor John Deere 7930 v agregaci s mulčovačem MZ 600 při práci na pozemku | 35 |
| Obrázek 36 Model jednoho rotoru mulčovače | 37 |
| Obrázek 37 Schematicky znázorněné úhly na žacím nástroji (θ – úhel čela, α – úhel plachetky)..... | 37 |
| Obrázek 38 Laboratorní model s kryty ve tvaru „toroid“ | 38 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 39 Umístění akcelerometru na modelu mulčovače | 39 |
| Obrázek 40 Pracovní souprava - traktor Fendt 818 v agregaci s mulčovačem Mulcher MZ 6000..... | 40 |
| Obrázek 41 Odebraný vzorek pro stanovení druhu mulčovaného porostu | 40 |
| Obrázek 42 Podíl vlhkosti porostu při měření pro jednotlivé tvary nožů a použité otáčky (popisky osy x: tvar nože_otáčky/min)..... | 41 |
| Obrázek 43 Trasy provedených měřících jízd | 42 |
| Obrázek 44 Schéma odběru vzorků pro stanovení kvality práce a výnosu | 43 |
| Obrázek 45 Zkušební pozemek (jízdy 01-04 – opotřebované nástroje; jízdy 05-07 – nové nástroje)..... | 45 |
| Obrázek 46 Jednotkový příkon mulčovače v závislosti na hmotnostní výkonnosti..... | 46 |
| Obrázek 47 Měrná spotřeba energie | 47 |
| Obrázek 48 Jednotková spotřeba paliva | 47 |
| Obrázek 49 Zkušební pozemek se záznamem trasy | 48 |
| Obrázek 50 Výnosová mapa části zkušebního pozemku | 50 |
| Obrázek 51 Mapa výkonu, přenášeného přes vývodový hřídel během měření (PTO – Power Take Off)..... | 50 |
| Obrázek 52 Mapa otáček motoru během měření..... | 51 |
| Obrázek 53 Mapa hodinové spotřeby paliva během měření | 51 |
| Obrázek 54 Mapa produkce oxidů dusíku během měření..... | 52 |
| Obrázek 55 Průběh točivého momentu, příkonu a spotřeby paliva v závislosti na otáčkách | 53 |
| Obrázek 56 Průběh točivého momentu na jednotlivých rotorech | 55 |
| Obrázek 57 Průběh příkonu na jednotlivých rotorech | 55 |
| Obrázek 58 Průběh příkonu, potřebného na překonání aerodynamického odporu nástrojů a příkonu celého stroje při chodu naprázdno..... | 56 |
| Obrázek 59 Originální a navržené pracovní nástroje (a – 0X45 – originální, b – 0X35, c – 0X25, d – 15X35, e – 15X25, f – 25X35, g – 25X25) | 58 |
| Obrázek 60 Navržený tvar zakrytování – „toroid“ | 59 |
| Obrázek 61 Navržený tvar zakrytování – „kapka“ | 59 |
| Obrázek 62 Točivý moment v závislosti na otáčkách – rovný kryt..... | 61 |
| Obrázek 63 Příkon v závislosti na otáčkách – rovný kryt | 61 |
| Obrázek 64 Točivý moment v závislosti na otáčkách – kryt ve tvaru „toroid“ | 62 |
| Obrázek 65 Příkon v závislosti na otáčkách – kryt ve tvaru „toroid“ | 62 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 66 Točivý moment v závislosti na otáčkách – kryt ve tvaru „kapka“ | 63 |
| Obrázek 67 Příkon v závislosti na otáčkách – kryt ve tvaru „kapka“ | 63 |
| Obrázek 68 Porovnání příkonu pro jednotlivé varianty při 1000 1/min (dopočtené hodnoty) | 64 |
| Obrázek 69 Porovnání příkonu pro jednotlivé varianty při 800 1/min | 64 |
| Obrázek 70 Průběh zrychlení vibrací v jednotlivých osách a ve vektorovém součtu při měření originálních nástrojů (0X45) při otáčkách rotoru 200, 400, 600 a 800 1/min | 65 |
| Obrázek 71 Závislost tlaku uvnitř pracovního prostoru modelu mulčovače s rovnými kryty | 66 |
| Obrázek 72 Závislost tlaku uvnitř pracovního prostoru modelu mulčovače s kryty ve tvaru „toroid“ | 66 |
| Obrázek 73 Závislost tlaku uvnitř pracovního prostoru modelu mulčovače s kryty ve tvaru „kapka“ | 67 |
| Obrázek 74 Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu modelu mulčovače – rovné kryty | 68 |
| Obrázek 75 Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu modelu mulčovače – kryty ve tvaru „toroid“ | 68 |
| Obrázek 76 Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu modelu mulčovače – kryty ve tvaru „kapka“ | 69 |
| Obrázek 77 Příkon a hodinová spotřeba paliva při běhu mulčovače naprázdno v polních podmínkách při 1000 1/min | 70 |
| Obrázek 78 Příkon a hodinová spotřeba paliva při běhu mulčovače naprázdno v polních podmínkách při 850 1/min | 70 |
| Obrázek 79 Příkon a hodinová spotřeba paliva při běhu mulčovače naprázdno v polních podmínkách při 750 1/min | 71 |
| Obrázek 80 Porovnání příkonu při běhu naprázdno pro nástroje 0X45, 0X35 a 0X25. 71 | |
| Obrázek 81 Porovnání příkonu při běhu naprázdno pro nástroje 0X35, 15X35 a 25X35 | 72 |
| Obrázek 82 Porovnání příkonu při běhu naprázdno pro nástroje 0X25, 15X25 a 25X25 | 72 |
| Obrázek 83 Průměrná hmotnostní výkonnost při jednotlivých měřících jízdách (tvar nástroje_otáčky (1/min)_rychlost (km/h)) | 73 |
| Obrázek 84 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách v intervalu 3-5 t/h .. | 73 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 85 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 3-5 t/h | 74 |
| Obrázek 86 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 3-5 t/h..... | 74 |
| Obrázek 87 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách v intervalu 5-7 t/h .. | 75 |
| Obrázek 88 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 5-7 t/h | 75 |
| Obrázek 89 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 5-7 t/h..... | 76 |
| Obrázek 90 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách v intervalu 7-9 t/h .. | 77 |
| Obrázek 91 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 7-9 t/h | 77 |
| Obrázek 92 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 7-9 t/h..... | 78 |
| Obrázek 93 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách v intervalu 9-11 t/h | 78 |
| Obrázek 94 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 9-11 t/h | 79 |
| Obrázek 95 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 9-11 t/h..... | 79 |
| Obrázek 96 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách, vyšší než 11 t/h..... | 80 |
| Obrázek 97 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách o hm. výkonnosti vyšší než 11 t/h..... | 80 |
| Obrázek 98 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách o hm. výkonnosti vyšší než 11 t/h..... | 81 |
| Obrázek 99 Směrodatná odchylka procentuálního rozložení hmoty za strojem a průměrná délka řezanky pro pracovní rychlost 9 km/h..... | 83 |
| Obrázek 100 Směrodatná odchylka procentuálního rozložení hmoty za strojem a průměrná délka řezanky pro pracovní rychlost 12 km/h..... | 84 |
| Obrázek 101 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro originální nástroj, pracovní rychlost 9 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min | 84 |
| Obrázek 102 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro nástroj 0X35, pracovní rychlost 9 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min | 85 |
| Obrázek 103 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro nástroj 25X35, pracovní rychlost 9 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min | 85 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 104 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro originální nástroj (0X45), pracovní rychlost 12 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min..... | 86 |
| Obrázek 105 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro nástroj 0X35, pracovní rychlost 12 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min..... | 86 |
| Obrázek 106 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro nástroj 25X35, pracovní rychlost 12 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min | 87 |

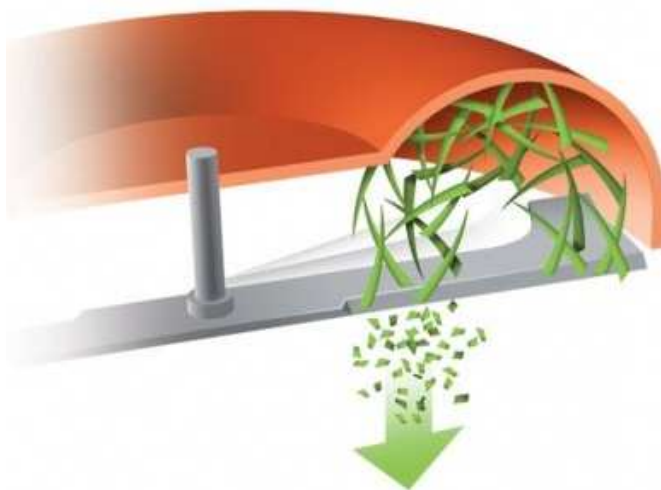
Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| <i>Tabulka 1</i> Základní parametry zvoleného mulčovače MULCHER MZ 6000 | 32 |
| <i>Tabulka 2</i> Parametry emisního analyzátoru VMK [68] | 35 |
| <i>Tabulka 3</i> Parametry tlakových pásků | 39 |
| <i>Tabulka 4</i> Souhrn naměřených výsledků – část 1 | 44 |
| <i>Tabulka 5</i> Souhrn naměřených výsledků – část 2 | 45 |
| <i>Tabulka 6</i> Souhrn naměřených výsledků | 49 |
| <i>Tabulka 7</i> Souhrn naměřených výsledků produkce emisí | 52 |
| <i>Tabulka 8</i> Souhrn naměřených výsledků při měření naprázdno | 54 |

Úvod

S předpokládaným nárůstem ploch půd, uváděných do klidu nebo ponechaných ladem, lze očekávat také rozšíření dalších postupů mechanického ošetření a likvidace nežádoucích porostů kombinacemi postupů sečení nebo mulčování se spásáním popř. i kompostováním. Tyto postupy jsou výhodné jak z ekonomického, tak i z energetického hlediska. Předpokládá se proto, že dojde v brzké době k většímu nárůstu požadavků na stroje pro sečení a mulčování v těchto výrobních oblastech. [3, 43]

Se zvyšujícími se požadavky na stroje pro mechanické ošetření a likvidaci porostů, lze očekávat i vzrůstající energetickou spotřebu tohoto odvětví. To znamená především vyšší nároky na spotřebu paliva. Zvýšená spotřeba paliva zvyšuje i produkci škodlivých emisí. Proto je důležité snižovat energetickou náročnost strojů, určených pro mechanické ošetření a likvidaci porostů na plochách ponechaných ladem, příp. uváděných do klidu. Mezi tyto stroje patří bezesporu také mulčovač (obrázek 1). Spotřeba paliva při mulčování je silně závislá na podmínkách, jako je například stav rostlin, ale i na dalších, ovlivnitelných podmínkách, jako je například pojezdová rychlost. Obecně mulčování jako technologie v závislosti na podmínkách vyžaduje spotřebu 7,5-9,5 l/ha. [62]



Obrázek 1 Princip mulčování [47]

Technologie mulčování lze, mimo údržbu trvalých travních porostů, využít také na likvidaci posklizňových zbytků rostlin na strništi po sklizni (kukuřice, slunečnice, řepka,

atd.), kde zaručí rozdrčení veškeré nadzemní hmoty včetně silných stonků na drobné kousky před jejich následným zapravením do půdy. To je důležitý předpoklad úspěchu v bezorebné technologii. Účinnost tohoto opatření je také fyto-sanitární, protože zabraňuje šíření chorob a parazitů. Dále je tato technologie využitelná při likvidaci odpadní rostlinné hmoty v ovocnářství, na vinicích, jahodových a dalších kulturách v zelinářství a také v komunální oblasti při úpravách parkových a jiných ploch, kde lze mulčovat i náletové dřeviny. [5, 7, 8, 9, 43]

Mezi hlavní požadavky kladené na stroje pro mulčování patří dokonalé podrcení nadzemní části rostlin, možnost snadného nastavení a dodržení pracovní výšky rotoru, rovnoměrné rozprostření podrcené hmoty na povrchu pozemku, snadné připojení k traktoru, ale také co největší výkonnost strojů (záběr stroje, pracovní rychlost a spolehlivost), co nejlepší kvalita práce s nízkou energetickou náročností a nízkými ztrátami. [4, 61]

1. Současný stav řešené problematiky

V této kapitole je popsán současný stav poznání z hlediska rotačních žacích strojů, především mulčovačů. Dále se tato kapitola věnuje popisu faktorů, které ovlivňují práci rotačního žacího stroje, především pak energetickou náročnost a kvalitu práce při řezu bez protiostrů.

1.1. Význam mulčování

Mulčování má, řadu výhod, které z ní činí užitečnou a významnou operaci jak při udržování trvalých travních porostů, tak při likvidaci posklizňových zbytků rostlin či odpadní rostlinné hmoty.

Mulč obecně chrání povrch půdy před vysycháním, zmenšuje potřebu zavlažovat, zabraňuje erozi půdy, brání v růstu plevelům, vytváří mikroklima pro půdní život a kořínky rostlin, rozkládá se na humus a pomáhá vytvářet novou zeminu a bývá ideální formou recyklace rostlinných odpadů a zbytků. [4, 61, 16]

Význam mulčování lze uvést ve dvou odlišných prostředích:

- trvalé travní porosty,
- orná půda.

V případě **trvalých travních porostů** bývá cílem tohoto zásahu rozmělnit materiál, a to v souvislosti s ošetřováním pastvin a luk při velmi malých výnosech hmoty, kdy není ekonomické provádět její klasickou sklizeň. Zpravidla jde o druhé, spíše třetí seče v půdně-klimatických podmínkách, které neumožňují dosahovat požadovaných výnosů a kvality travního porostu. Mulčování také zabraňuje nástupu náletových dřevin jako jasany, akáty nebo javory a snižuje četnost ošetřovacích zásahů. V trvalých travních porostech má mulčování význam i z hlediska péče o krajinu, protože zanedbané plochy krajinu poškozují. [3, 7, 10, 31, 43, 55, 66]

V případě likvidace posklizňových zbytků na **orné půdě** je důležité rozmělnění a narušení hmoty, při němž je získán materiál se velkým aktivním povrchem. Uvedený materiál je ideálním substrátem pro rychlý přístup půdního roztoku obsahující látky organické

a anorganické povahy, které zajišťují následný rozklad rostlinného materiálu. Vhodné množství posklizňových zbytků v půdě přispívá k rozvoji půdního života, který je nezbytný pro trvalé a dlouhodobé hospodaření na orné půdě. Mulčování je také základním předpokladem pro využití bezorebných a jiných půdoochranných technologií. Dalším významem je také účinnost mulče proti plevelům, chorobám a škůdcům, kdy jsou larvy a dospělci škůdců fyzicky ničeni mulčovačem nebo je drcením rostlin ničeno jejich prostředí. Mulčování například zabraňuje šíření zavíječe kukuřičného a houbových chorob obilnin. [7, 16, 31, 43, 55]

1.2. Rozdělení a konstrukce mulčovačů

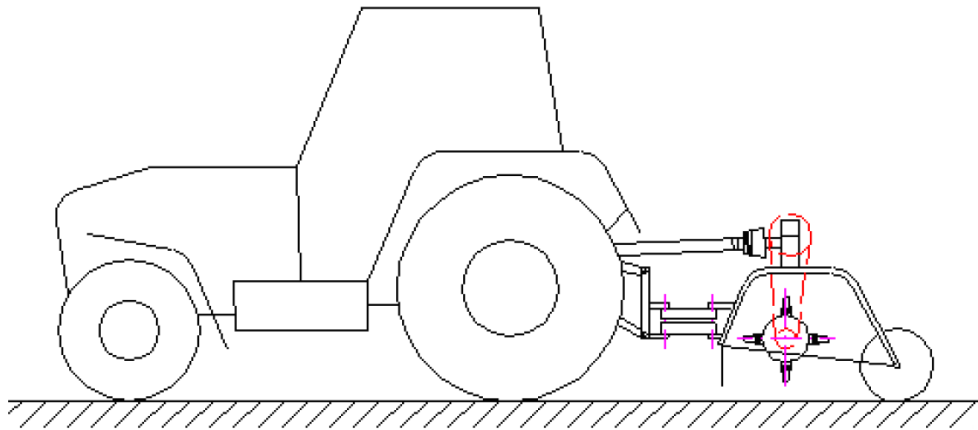
Mulčovače se dají rozlišovat podle celé řady kritérií, ovšem základní rozdělení mulčovačů je podle umístění jejich osy rotace. Mulčovače je tedy možno rozdělit následovně:

- s vertikální osou rotace,
- s horizontální osou rotace.

1.2.1. Mulčovače s horizontální osou rotace

Mulčovače s horizontální osou rotace (obrázek 2) mohou pracovat v nižší výšce nad zemí v porovnání s mulčovači s vertikální osou rotace. Také lépe a intenzivněji drtí travní hmotu a lépe ji distribuují na povrchu pozemku. Tyto mulčovače mívají nejčastěji záběry 0,5–2 m, ovšem mohou mít záběry i přes 8 m [40]. Pracovní nástroj těchto mulčovačů tvoří v závislosti na záběru jeden nebo dva rotující válce. Rotující válec je osazen různým počtem pracovních nástrojů, které mají odlišnou podobu. Jde o kladiva, čepele a nože různého tvaru („I, V, T, L, Y“) (obrázek 3) případně o řetězy či kombinace různých pracovních nástrojů. [7, 31]

U strojů do pracovního záběru asi 2,5 až 3 m se lze setkat s jedním celistvým rotorem a jednou hnací řemenicí (jednoseční). V provedení s dvojicí řemenic se nabízejí mulčovače se záběrem 3 až 3,5 m. Pro větší pracovní záběry jsou použity dva rotory usazené uprostřed a na bocích stroje (vícesekční). [31, 54]



Obrázek 2 Schéma mulčovače s horizontální osou rotace [4]

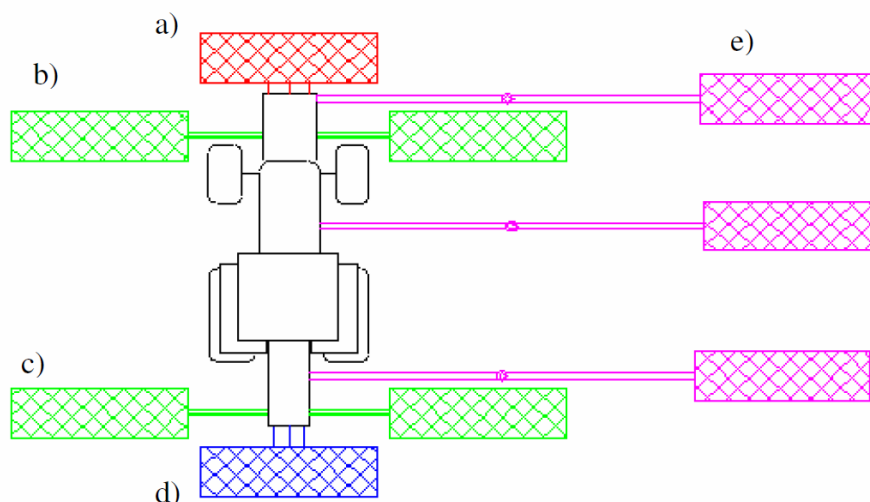


Obrázek 3 Pracovní ústrojí mulčovače s horizontální osou rotace s noži ve tvaru Y [40]

Mulčovače s horizontální osou rotace existují jako nesené nebo návěsné a podle způsobu agregace (obrázek 4) je lze rozdělit na:

- plošné,
- boční,
- speciální (příkopové rameno).

Plošné mulčovače jsou nabízeny mezi horizontálními i vertikálními modely. Tato agregace vypadá tak, že středová osa mulčovače prochází středovou osou trakčního prostředku (obrázek 4a,d). Pohon rotoru zpravidla zajišťuje boční převodovka s řemenicí, která je poháněna přes rozvodovku od vývodového hřídele energetického prostředku. Řemenový převod slouží i jako pojistka proti přetížení. [7, 30, 31, 54]



Obrázek 4 Schematicky znázorněné možnosti agregace horizontálních mulčovačů s energetickým prostředkem: a) přední závěs - plošný, b) přední závěs – bočně nesený, c) zadní závěs – bočně nesený, d) zadní závěs – plošný, e) příkopové rameno [4]

Boční stroje (obrázek 4b,c a 5) lze díky hydraulicky polohovatelnému rameni vychýlit mimo osu traktoru, a to v celém jejich pracovním záběru, či naopak zaklopit mulčovací hlavu přímo za trakční prostředek. Boční mulčovač lze také naklápět vzhledem k horizontální rovině například pro práci na úpatí svahu. Úhel naklopení dosahuje zpravidla -70 až $+90^\circ$. [7, 4, 30, 31, 54]

Další z možností, jak agregovat horizontální mulčovače, zejména v komunální sféře, jsou různé typy ramen. Nejběžnějším typem je tzv. **příkopové rameno** (obrázek 4e), které nabízí rovněž možnost výměny pracovních nástrojů a mulčovacích hlav. Pohon rotujícího válce zde zajišťuje hydrostatický převod, který má zpravidla nižší účinnost přenosu výkonu, než mechanický. Dosah ramene se pohybuje v rozsahu 1,5–14 m. Existují rovněž speciální závěsy s hydraulicky polohovatelnými rameny, které slouží k agregaci plošných mulčovačů a umožňují práci mimo osu traktoru. [7, 30, 31, 54]

Stroje s horizontální osou rotace jsou tvořeny kromě samotného rotoru také nosným krytem, neboli skeletem mulčovače. Tento kryt může být konstruován jako jednoduchý nebo dvojitý, přičemž volba vychází zejména z předpokládaných nároků na zacházení a práci v náročném terénu. Dvojitý kryt se většinou používá u mulčovačů určených do vinic, kde je zapotřebí rozdrtit vinnou révu, větve stromů apod. Zadní část krytu může být

konstruována jako pevná, některé modely nabízejí rovněž možnost otevírání krytu, díky kterému lze výrazně zlepšit kvalitu práce v jednotlivých kulturách. Například při drcení travního porostu je kryt uzavřen a dochází k dokonalému rozdrcení. Naopak při drcení obilné slámy lze kryt otevřít a jeho vnitřní stranu osadit rozprostíracími plechy, díky nimž dochází ke kvalitnímu rozprostření hmoty po povrchu půdy, což usnadňuje následné zapravení. [31, 54]

U mulčovačů s horizontální osou rotace se využívá otáček rotoru přibližně 1800–2700 1/min aby bylo dosaženo potřebné řezné rychlosti přibližně 30-50 m/s [34, 39, 40]. Pracovní rychlosti se u tohoto typu mulčovače pohybují okolo 5-7 km/h [54]. Jiné zdroje uvádí až 11 km/h [4, 69]. Nevýhodou mulčovačů s horizontální osou rotace je především vysoká energetická náročnost ve srovnání s mulčovačem s vertikální osou rotace. Energetická náročnost se u těchto strojů pohybuje přibližně okolo 20-22 kW na metr záběru. [1, 4, 40, 67, 69]



Obrázek 5 Boční mulčovač s horizontální osou rotace [40]

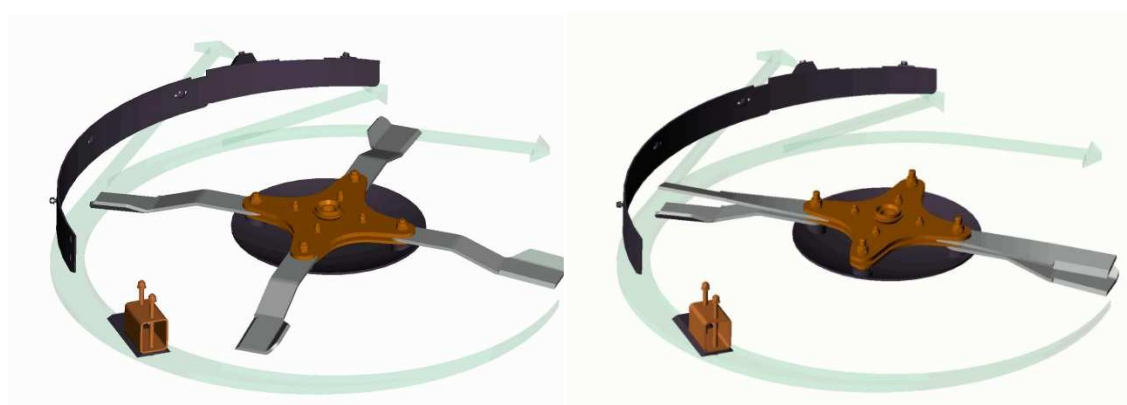
1.2.2. Mulčovače s vertikální osou rotace

V posledních deseti letech se velmi výrazně prosazují mulčovače s vertikální osou rotace, které nacházejí uplatnění zejména u techniky s větším pracovním záběrem či u speciálních strojů pro trvalé kultury a komunální sféru. [32]

Mulčovače s vertikální osou rotace jsou určeny především pro široké záběry, které dosahují zpravidla 4,5 až 8 m, na některých trzích se prosazují i modely atakující hranici 10 m, nebo ji dokonce přesahují. Mulčovače s vertikální osou rotace nacházejí díky

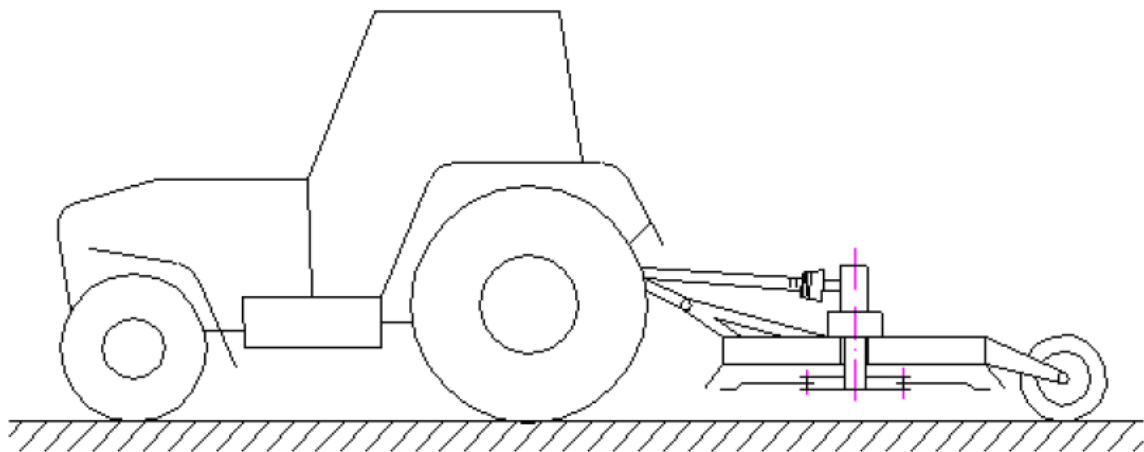
stavební výšce uplatnění tam, kde je nutné sečení a drcení trávy ve výškově omezených prostorech, jako například pod ohradníky, svodidly, pod zábradlím a podobně. [32, 54]

Pracovní nástroj mulčovače s vertikální osou rotace tvoří rotující nůž obdélníkového tvaru s pevným nebo pohyblivým ostřím na konci. Pohyblivý nůž zlepšuje ochranu ostří při najetí na pevnou překážku. Část nože za ostřím pracuje jako drticí hrana a často bývá formována do tvaru lopatky pro zvýšení jeho ventilačního účinku. Existuje i řada řešení, především u velkoplošných mulčovačů, kdy je nosný hřídel osazen větším počtem pracovních nástrojů. Takové řešení je určeno pro nasazení v zemědělství od orné půdy přes pastviny až po louky. Nůž je připevněn k unášeči, který může mít různou podobu. Řada výrobců si unášeče patentuje. Unášeč nese pracovní nože, a to s různou geometrií i uspořádáním. Někteří výrobci používají nože usazené v jedné rovině, jiní upřednostňují tzv. etážové zavěšení ve dvou rovinách, kdy kombinují sací a drticí efekt jednotlivých úrovní. Jiní výrobci nabízejí možnost změny uložení nožů i samotných nožů pro různé plodiny (obrázek 6). Na spodní stranu rotoru umísťuje většina výrobců ochranný kluzný disk. Další částí pracovního ústrojí je kryt rotoru, který v případě mulčovačů s vertikální osou rotace má za úkol nejen zpomalit pohyb odříznuté hmoty, ale pomocí směrovacích plechů nasměrovat rozdrcenou rotující hmotu ven ze stroje zpět na pozemek. Pohon rotoru zajišťuje úhlová převodovka poháněná kardanovým hřídelem od centrální převodovky, umístěné na stroji. U malých modelů a komunální a zahradní techniky je možné rovněž použít pohon klínovými řemeny. [32, 54]



Obrázek 6 Uspořádání čepelí mulčovače řady MZ od firmy BEDNAR FMT (vlevo travní nože, vpravo nože kukuřičné) [5]

U mulčovačů s vertikální osou rotace menších pracovních záběrů bývá použita agregace do předního, nebo zadního tříbodového závěsu, u větších pracovních záběrů slouží k připojení k traktoru klasická oj s tažným okem, či jiným zakončením a mulčovač bývá řešen jako polonesený (obrázek 7). Počet rotorů je závislý na pracovním záběru mulčovače. Obecně se uvádí maximální záběr na jeden rotor do 2 m. Větší záběry bývají řešeny jako vícerotorové se sklopnými křídly (obrázek 8). [32]



Obrázek 7 Schéma mulčovače s vertikální osou rotace [4]



Obrázek 8 Mulčovač MZ 4500 s vertikální osou rotace s pracovním záběrem 4,5 m od firmy BEDNAR FMT [5]

Jednou z výhod mulčovačů s vertikální osou rotace je skutečnost, že lépe kopírují terénní nerovnosti ve srovnání s mulčovači s horizontální osou rotace. Za tímto účelem bývají vybaveny plazy, nivelačními, kopírovacími či kráčejícími koly (obrázek 9), která u velkých mulčovačů slouží také k přepravě. U některých velkoplošných strojů s vertikální osou rotace je rovněž možná montáž pomocných kopírovacích kol do vnějších rohů bočních sekcí mulčovače v jeho přední části místo plazů. [5, 32]

Další využití nachází tato konstrukce u speciálních viničních strojů, setkat se s nimi lze rovněž v případě menších modelů s pracovním záběrem do 4 m. Vertikální osa rotace se také vyskytuje u komunální techniky a zahradních traktorů vyšších výkonových kategorií.



Obrázek 9 Kráčející náprava ve střední části mulčovače s vertikální osou rotace [5]

Jak bylo zmíněno výše, mulčovače s vertikální osou rotace se využívají, díky své nízké konstrukci, pro mulčování ve výškově omezených prostorech, jako například pod ohradníky, svodidly, zábradlím apod. Zde je potřebné zajistit, aby stroje „obcházely“ překážky v podobě kúlů, sloupů apod. Toho lze dosáhnout vychylováním stroje. Toto vychylování stroje je ovládáno mechanicky nebo elektrohydraulicky. Při mechanickém ovládání je hmatač spojen pomocí táhel s hydraulickým rozváděčem, který ovládá posun přímočarého hydromotoru, a tím i vychylování nosného ramene. Při elektrohydraulickém ovládání je využito prvků elektroniky. Disk je v tomto případě buď osazen hmatačem,

který je spojen s potenciometrem, nebo je využito k identifikaci překážky ultrazvukové čidlo. Na základě vyhodnocení signálů z čidla je řídicí jednotkou dán pokyn k přestavení elektrohydraulického rozváděče a následně dojde, prostřednictvím hydraulického systému, který ovládá rameno s mulčovačem, k jeho vychýlení. Po překonání překážky se stejně jako u mechanického ovládání vrací rameno s mulčovačem do původně nastavené polohy. [54]

1.3. Energetická náročnost rotačních žacích strojů

Rotační žací stroje mají obecně nevýhodu vysoké energetické náročnosti ve srovnání s ostatními technologiemi sečení píce (protiběžná žací lišta, prstová žací lišta) [41]. Požadavek výkonu na rotační žací stroje a mulčovače je obvykle 2-4 krát větší než u prstových žacích strojů se stejnou šířkou záběru. Zjištěné požadavky na spotřebu paliva bubnových žacích strojů jsou vyšší než u diskových žacích strojů [56]. Požadavek na výkon, uváděný ve vědecké literatuře, se v různých zdrojích liší v závislosti na podmínkách i typu stroje.

- ASABE D497.7 [2] uvádí požadavek na výkon 5 kW/m šířky záběru pro žací stroj a 8 kW/m pro žací stroj s kondicionérem.
- Srivastava a kol. [60] uvádí požadavek na výkon 11 až 16 kW/m pro žací stroj při 15 km/h.
- Tuck, a kol. [65] uvádí požadavek na výkon při ostrém řezném nástroji 8-10 kW/m a při opotřebovaném ostří 10-12 kW/m.
- McRandal, a kol. [45] uvádí požadavek na výkon 5 kW/m pro žací stroj a 3,5-6,5 kW/m pro žací stroj s kondicionérem.
- Syrový a kol. [62] uvádí požadavek na výkon přibližně 6,67 kW/m pro rotační žací stroj při průměrné průchodnosti 120 t/h, při použití ostrých nožů pak 5,67 kW/m.

Energetická náročnost je velice úzce spjata se spotřebou paliva. Syrový a kol. [62] uvádí průměrnou jednotkovou spotřebu paliva při mulčování v závislosti na podmínkách 7,5-9,5 l/ha.

Persson [53] navrhl následující vztah (1) pro výkonové požadavky rotačních žacích strojů:

$$P_{mow} = (P_{LS} + E_{SC} \cdot v_f) \cdot B_f \quad (1)$$

P_{mow} – požadavek na výkon (kW)

P_{LS} – ztráty (odpor vzduchu, tření o strniště, převodové ztráty, atd.) (kW/m)

E_{SC} – energie řezu (kJ/m²)

v_f – rychlost soupravy (m/s)

B_f – pracovní záběr (m)

1.4. Rozbor parametrů, ovlivňujících práci mulčovače a jeho energetickou náročnost

Na práci mulčovače, zvláště pak na jeho energetickou náročnost má vliv řada parametrů. Jedním z nich je druh a stav zpracovávaného porostu (střížná energie stonků rostlin), dalšími parametry jsou podmínky samotného řezu, jako rychlost soupravy či řezná rychlost a od nich se odvíjející průchodnost materiálu (hmotnostní výkonnost). Výrazný vliv má stav opotřebení nástrojů, zvláště při nižších řezných rychlostech, v neposlední řadě tvoří nezanedbatelnou složku energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace také jeho energetické ztráty. Podmínky práce mulčovače budou rozebrány v následujícím pořadí:

- druh a stav porostu,
- podmínky řezu,
- pracovní nástroje,
- energetické ztráty.

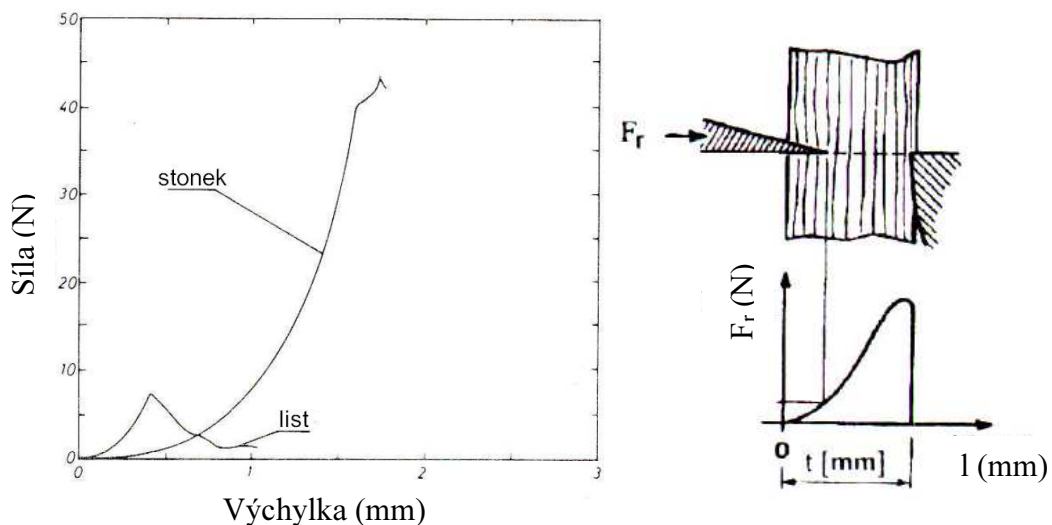
1.4.1. Druh a stav porostu

Druh a stav porostu mají významný vliv na energii, potřebnou k řezu. Tato energie vychází z řezné síly. Složkou řezné síly je síla, potřebná na přestřížení stonků rostlin, typický průběh této síly v závislosti na dráze nože je znázorněn na obrázku 10. Z obrázku 10 je vidět, že síla, potřebná na přeríznutí stonku, se zpočátku progresivně zvyšuje a svého

maxima nabývá na konci dráhy. Průběh této síly je také závislý na tvaru břitu nože. Dále je na obrázku 10 vlevo vidět také průběh řezné síly při řezu listu jílku vytrvalého, lze si povšimnout, že při řezu listu nabývá síla maximální hodnoty přibližně uprostřed své dráhy. [27]

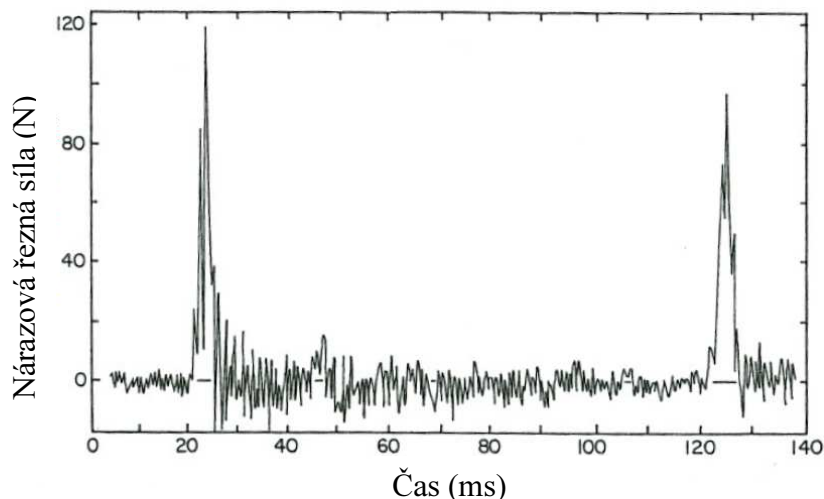
Řez stonkem rostliny nastane, když tlak od břitu dosáhne kritické hodnoty 9-30 N/mm². Prvotní průnik nože vyústí v plastickou deformaci, následovanou boulením při postupu břitu nože. Při pokračujícím průchodu břitu jsou vlákna vychýlena a podléhají napětí. Stonk rostliny je deformován a stlačen před nožem a po jeho stranách. Tyto deformační a kompresní účinky mohou zaujímat 40-60 % celkové řezné energie. [28, 60]

Jiný zdroj [44] uvádí závislost této síly na čase při sečení skupiny travních stébel o celkové šíři 150 mm při řezné rychlosti 60 m/s (obrázek 11). Na obrázku 11 jsou vidět dva pulzy, každý odpovídá jednomu průchodu skupinou stébel. Tento pokus odpovídá lépe podmínkám při mulčování, jelikož se jedná o řez bez protiostří.



Obrázek 10 Typický průběh síly, potřebné na přerýznutí stonku rostliny (vlevo [46]) jílek vytrvalý, řezná rychlost 0,467 mm/s a úhel ostří 30°; vpravo [42])

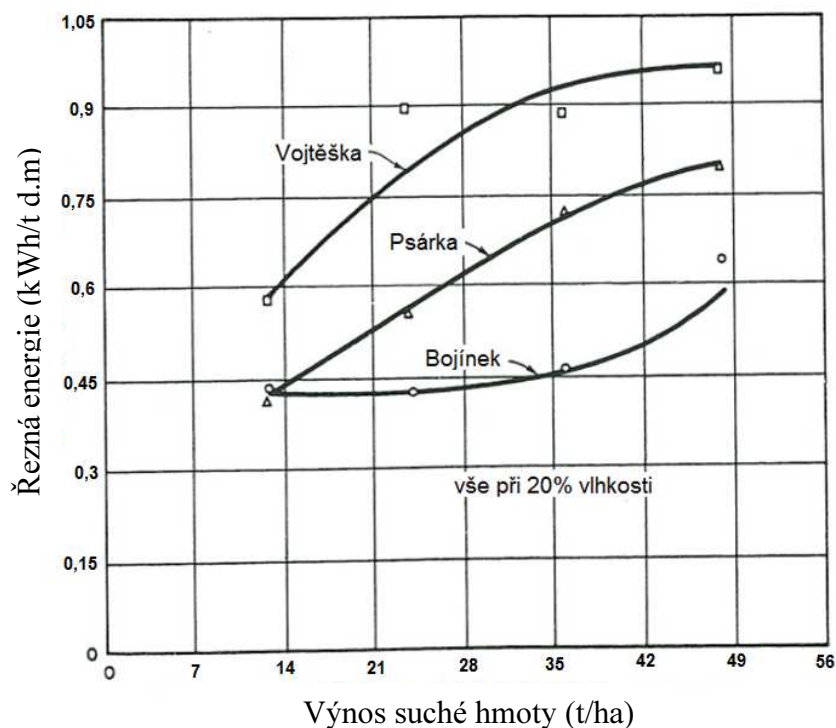
Podmínky, vycházející z druhu, podílu vlhkosti, stáří rostlin, a odklonu stonků nelze konstrukcí ani nastavením parametrů mulčovacího stroje nijak ovlivnit a lze se jim proto pouze přizpůsobit. Dále budou rozebrány vlivy výše jmenovaných proměnných na energetickou náročnost žacích strojů.



Obrázek 11 Průběh řezné síly v čase při dvojitým průchodu skupinou stébel [44]

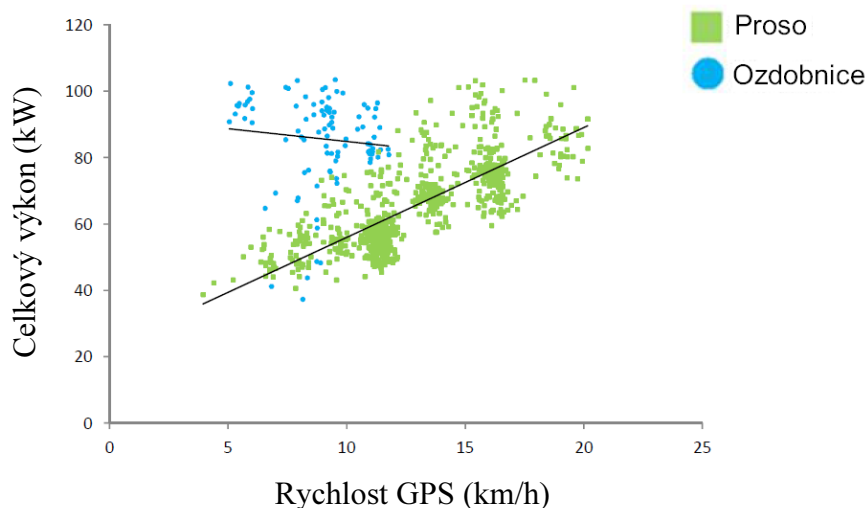
1.4.1.1. Vliv druhu plodin na energii řezu

Různé plodiny mají různé mechanické vlastnosti, proto je druh plodiny zásadní pro energii, potřebnou k řezu stonku. Na obrázku 12 je porovnání měrné energie, potřebné k řezu, na jednotku hmotnosti v závislosti na tloušťce materiálu mezi hranami. Jsou zde porovnány vojtěška, psárka a bojínek. Je vidět, že nejvyšší nároky na energii řezu má vojtěška.



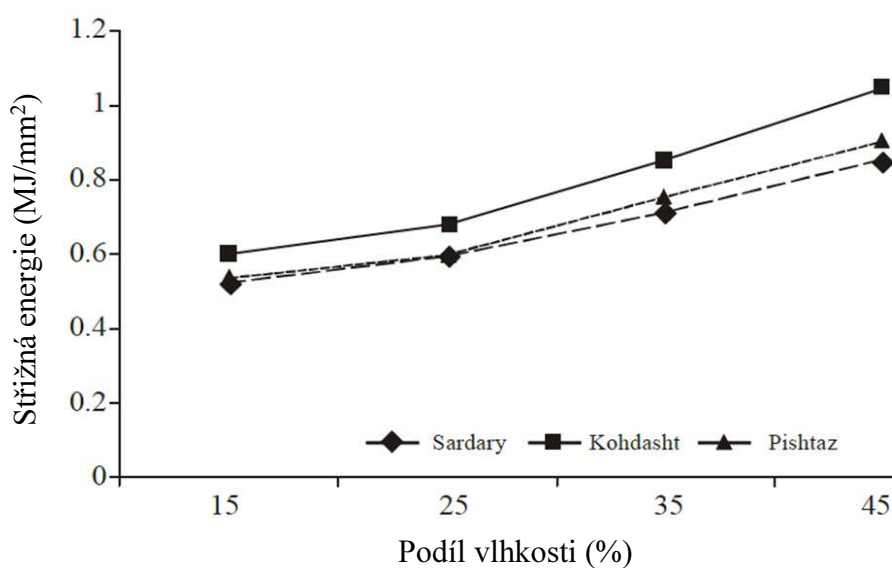
Obrázek 12 Vliv tří druhů rostlin na energii řezu [18]

Rotz a Sprott [56] uvádí při sečení vojtěšky rotačními žacími stroji s kondicionérem spotřebu paliva 1,7-5,4 l/ha při rychlostech 6,9-7,7 km/h a potřebný příkon v rozpětí 2,25-14,07 kW/m. Na obrázku 13 je znázorněn výkon traktoru při sečení ozdobnice a proso. Je zde vidět významný rozdíl, zvláště při nižších rychlostech.



Obrázek 13 Porovnání výkonu traktoru při sečení dvou druhů plodin – ozdobnice a proso [32]

Další příklad vlivu druhu rostlin na střížnou energii je vidět na obrázku 14, kde lze vidět porovnání 3 druhů pšenice, přičemž odrůda „Kohdasht“ má střížnou energii znatelně nejvyšší. [14]



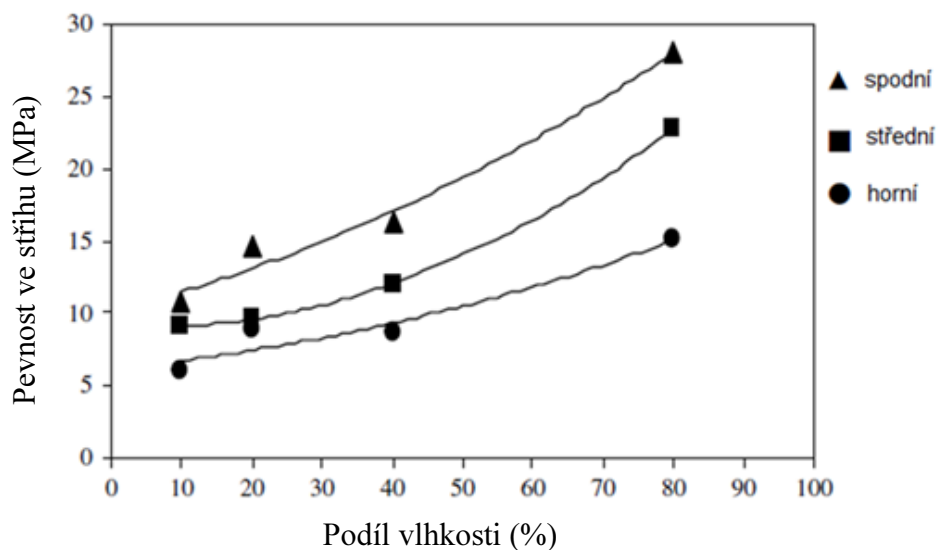
Obrázek 14 Vliv podílu vlhkosti na střížnou energii tří druhů pšenice [14]

1.4.1.2. Vliv podílu vlhkosti plodin na energii řezu

Podíl vlhkosti, obsažené v rostlině zvyšuje její pevnost ve stříhu, jelikož zvyšuje turgor (vnitřní tlak v tkáni rostliny), který brání prvotnímu průniku nože do tkáně, zvláště při vysokých řezných rychlostech [60]. Na obrázku 14 je vidět vliv podílu vlhkosti na střížnou energii tří druhů pšenice (Sandary, Kohdasht, Pishtaz). Je zřejmé, že měrná střížná energie se stoupajícím podílem vlhkosti roste u všech variant pšenice. Hoseinzadeh a kol. [14] také uvádí, že zvýšení podílu vlhkosti o 1 %, zvýší v průměru střížnou energii stébla pšenice o 15 kJ/mm².

Chen a kol. [22] uvádí, že při sečení stébel konopí při podílu vlhkosti 65 %, je vyžadována o 51 % vyšší řezná síla a o 100 % vyšší celková řezná energie než při sečení stébel o podílu vlhkosti 8 %.

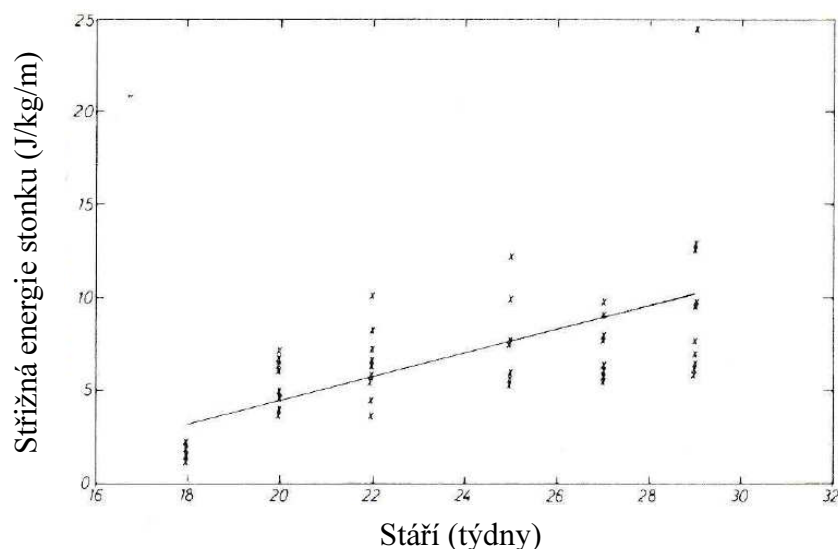
Na obrázku 15 je vidět pevnost ve stříhu stonku vojtěšky v závislosti na podílu vlhkosti pro tři různé úrovně stonku. Opět je zřejmé, že s rostoucím podílem vlhkosti roste energie, potřebná na přestříhnutí stonku ve všech úrovních, nejvíce však pro spodní a střední část stonku. Prakticky totožný efekt podílu vlhkosti lze nalézt také u stonku slunečnice [29]. Shahbazi a kol. [58] potvrdil nárůst měrné střížné energie u světlice barvířské o 52 % při nárůstu podílu vlhkosti z 10 % na 40 %.



Obrázek 15 Vliv podílu vlhkosti na pevnost ve stříhu pro vojtěšku v různých úrovních stonku [12]

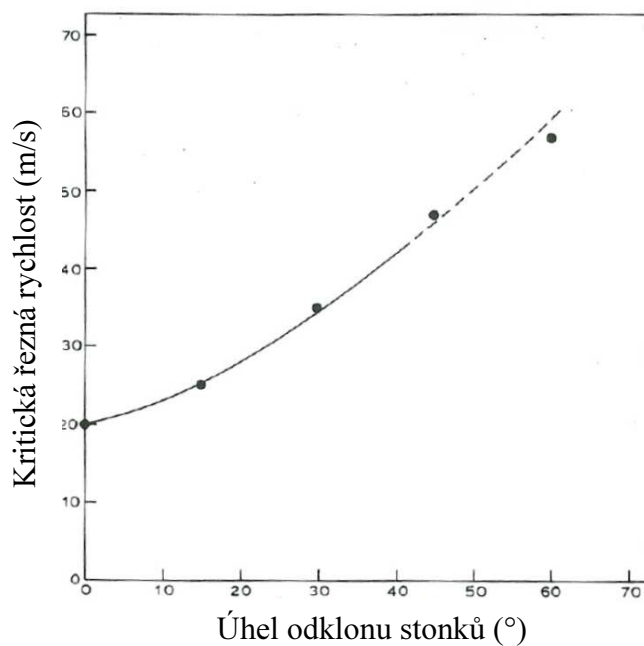
1.4.1.3. Vliv dalších parametrů rostlin na energii řezu

Stáří plodin hraje také velmi významnou roli v energetické náročnosti sečení. Na obrázku 16 je znázorněn vliv stáří jílku vytrvalého na energii stříhu stonků. Z obrázku 16 je vidět, že se stářím se střížná energie zvyšuje.

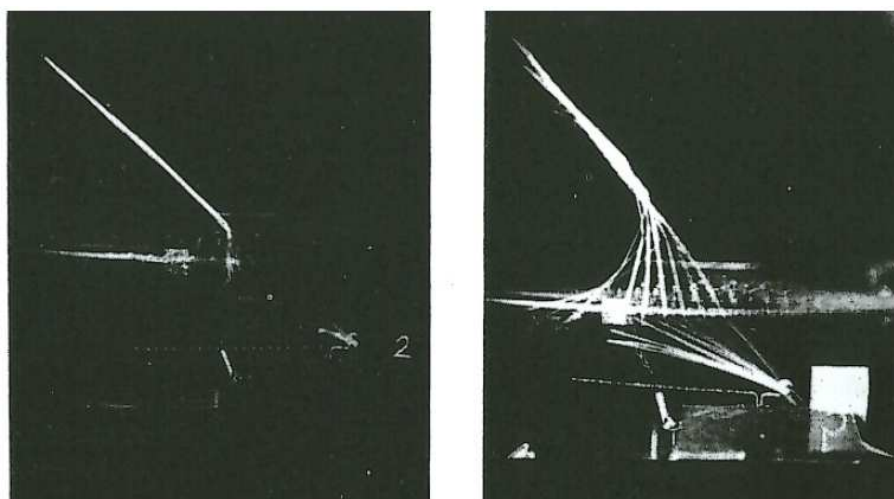


Obrázek 16 Vliv stáří rostlin jílku vytrvalého na střížnou energii stonků (řezná rychlost 0,467 mm/s, úhel řezu 30°) [46]

Dalším faktorem, ovlivňujícím řeznou energii, je **úhel odklonu stonků** od vertikální roviny, jelikož v praxi není zpravidla možné zajistit, aby břit dopadal na stonek kolmo. Na obrázku 17 je uveden vliv odklonu stonků na kritickou řeznou rychlost (kritická řezná rychlost vysvětlena v kapitole 1.4.2.1) Z obrázku č. 17 je patrné, že se zvyšujícím se sklonem stonků se výrazně zvyšuje i kritická řezná rychlost. Při úhlu sklonu stonku 45-60° je přibližná hodnota kritické řezné rychlosti v rozmezí 47-57 m/s. [28, 49]



Obrázek 17 Vliv odklonu stonků na kritickou řeznou rychlost [49]



Obrázek 18 Řez travního stonku při odklonu 45° (vlevo 35 m/s – nadkritická rychlost, vpravo 15 m/s – podkritická rychlost) [49]

Na obrázku 18 je zachycen na vysokorychlostním snímku řez travního stonku při úhlu odklonu 45° od vertikální roviny.

1.4.2. Podmínky řezu

Podmínky řezu, jako je řezná rychlost, pracovní rychlost soupravy, či průchodnost materiálu, jsou do jisté míry ovlivnitelné a mají významný vliv na energetickou náročnost sečení a drcení travní biomasy i na kvalitu a čistotu řezu. [15, 32, 49, 52, 57]

1.4.2.1. Řezná rychlost

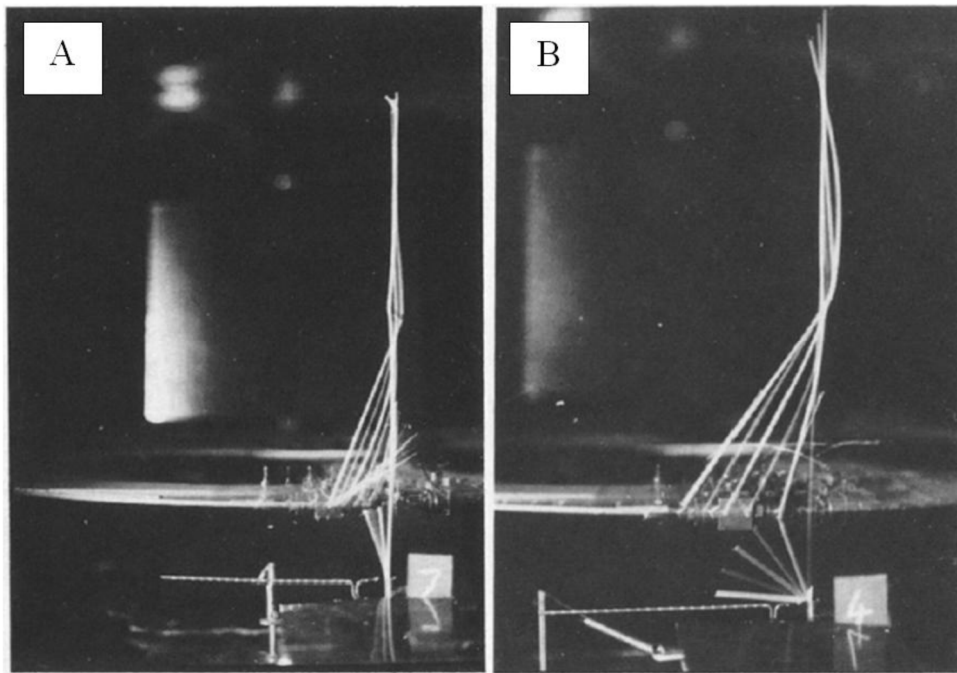
Řezná rychlost je jedním z hlavních parametrů řezu, které ovlivňují energetickou náročnost. Při řezu bez protiostří je reakce na řeznou sílu zachycena strukturální tuhostí nebo setrvačností rostlin. Z toho důvodu může dojít k řezu pouze, pokud tyto odporové síly rostliny překročí sílu, dodanou nožem. [32]

Řezná síla je dána řezným odporem rostlin. Protože obecně u travních stébel řezný odpor klesá s rostoucí řeznou rychlostí [18, 44, 53, 64], je možno definovat takovou řeznou rychlost, při které se řezný odpor rovná reakční síle stonku rostliny (daný její tuhostí nebo setrvačností). Taková řezná rychlost je nazývána **kritickou**. Pro čistý řez je vyžadována řezná rychlost vyšší než rychlost kritická. Pro travní porosty se kritická řezná rychlost pohybuje okolo 25 m/s [32]. Persson a kol. [53] navrhl následující empirický vztah (2) pro kritickou řeznou rychlost, vycházející z rovnosti řezné síly a očekávané tuhosti rostlin:

$$v_k = \sqrt{d_s \frac{F_x - F_b}{m_p} \left(1 + \frac{z_{cg}}{r_g^2}\right)} \quad (2)$$

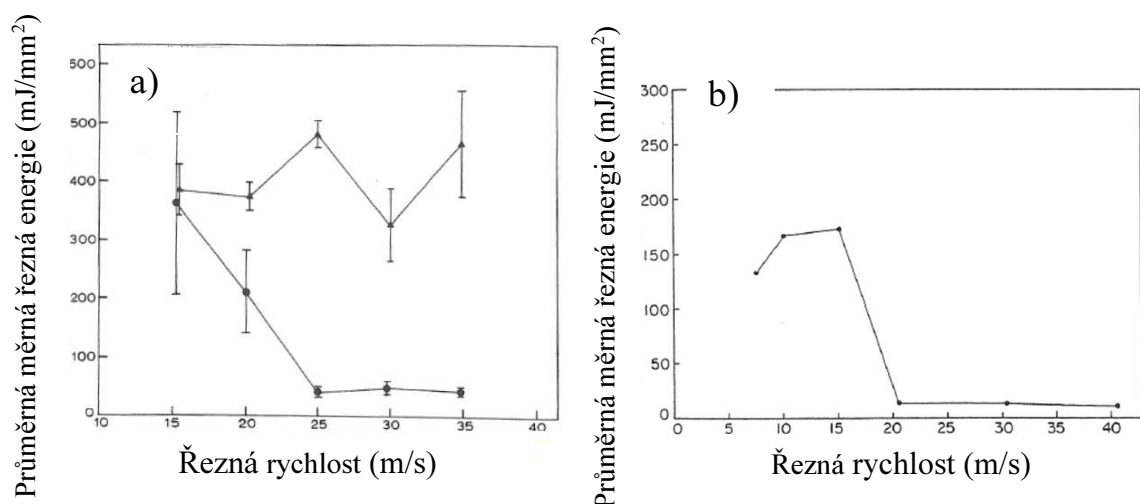
- v_k – kritická řezná rychlost (m/s)
- d_s – průměr stonku (mm)
- F_x – řezná síla (N)
- F_b – ohybový odpor pahýlu (N)
- z_{cg} – výška těžiště rostliny (m)
- r_g – poloměr setrvačnosti oddělené části rostliny (m)
- m_p – hmotnost oddělené části rostliny (kg)

Zjednodušení rovnice (2) lze docílit předpokladem, že se poloměr setrvačnosti oddělené části rostliny rovná výšce těžiště rostliny [59, 60]. Na obrázku 19 je na vysokorychlostní fotografii znázorněn řez pod a nad kritickou rychlostí. U podkritické rychlosti je vidět větší deformace stonků trávy, na kterou je nutné dodat další energii ve srovnání s řezem nadkritickou rychlostí. Stejnou deformaci lze vidět i na obrázku 17. Zde je deformace ještě větší, kvůli odklonu stonku.



Obrázek 19 Řez travního stonku (*A – 35 m/s, B – 15 m/s*) [49]

Dosažení kritické řezné rychlosti je provázeno velmi znatelným úbytkem měrné energie, jak je vidět na obrázku 20. Vlevo je vidět efekt dosažení kritické řezné rychlosti pro odklon stébel 15°, pro úhel 60° je kritická rychlost vyšší než 35 m/s a nebylo jí dosaženo. Je zřejmé, že dosažením kritické rychlosti rapidně klesne měrná energie, zejména proto, že je méně energie spotřebováno na deformaci stébla a na překonání tření mezi ostřím a rostlinou. [49, 50]

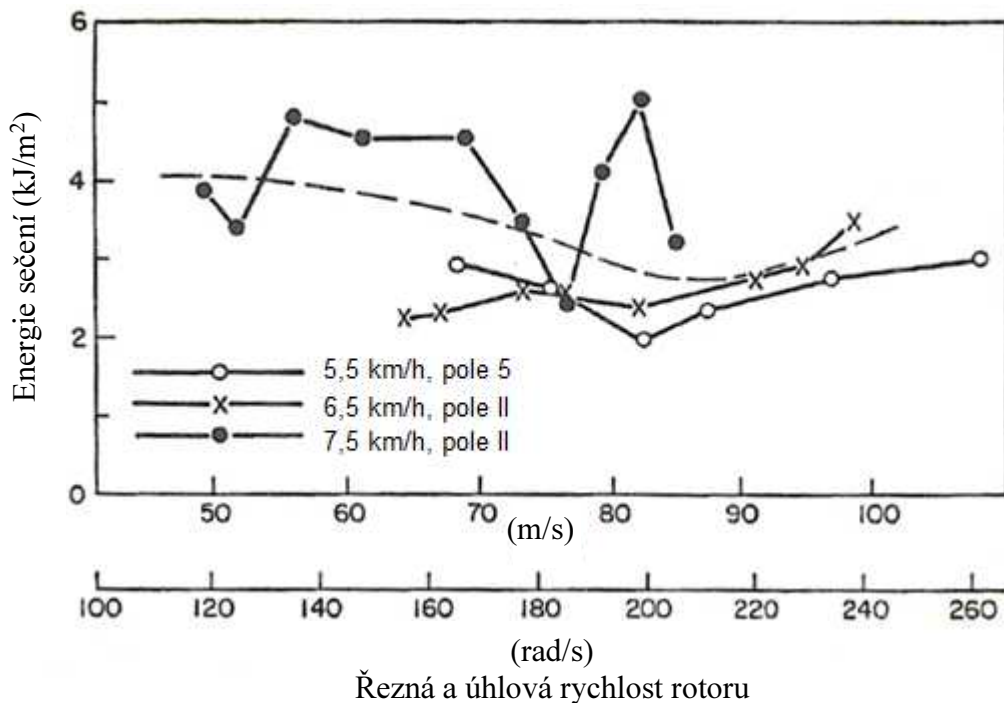


Obrázek 20 Vliv kritické řezné rychlosti na mernou energii řezu (*a – ●, - odklon stébel 15°, ▲- odklon stébel 60°* [49]; *b – [50]*)

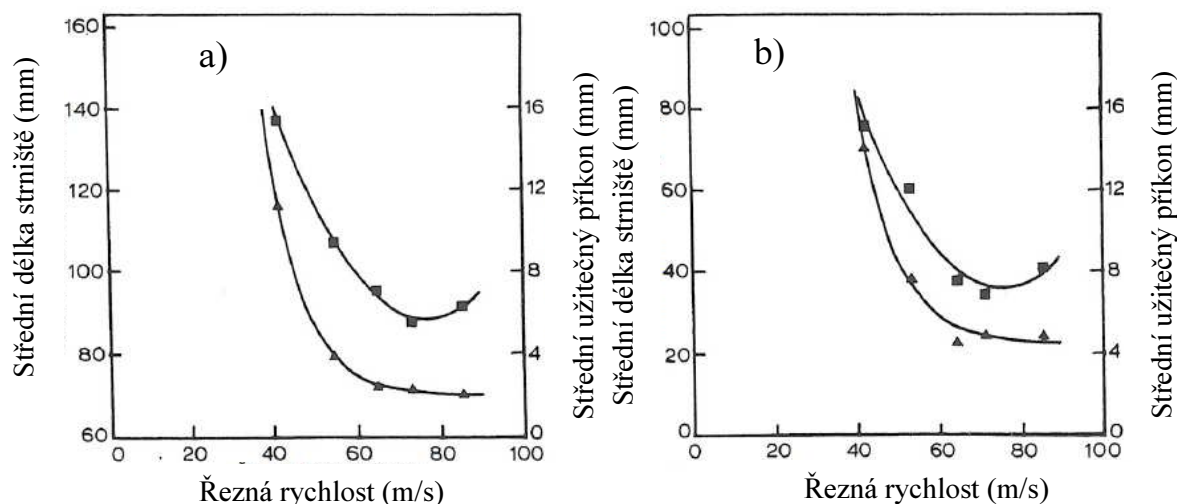
Vliv řezné rychlosti na parametry řezu byl již zkoumán v mnoha studiích [14, 18, 19, 20, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 44, 48, 49, 50, 64, 65, 70]. Výsledky většiny těchto studií vypovídají o nejnižší potřebné energii pro řez bez protiostrí při řezných rychlostech v rozmezí 60-90 m/s, tedy vysoko nad kritickou rychlostí. O'Dogherty [51] uvádí typickou řeznou rychlost pro diskové a rotační žací stroje 71-84 m/s.

Na obrázku 21 je znázorněn vliv řezné rychlosti na celkovou energii sečení na metr čtvereční pozemku. Hodnoty se liší v závislosti na pojezdové rychlosti resp. průchodnosti. Protože při předpokladu stejného průměrného výnosu ovlivňuje průchodnost materiálu pouze pojezdová rychlost. Přes to lze pozorovat znatelný úbytek potřebné energie při řezné rychlost v rozmezí přibližně 80-90m/s.

Dále je na obrázku 22 znázorněn příkon a střední délka strniště v závislosti na řezné rychlosti, je vidět, že minimální příkon je dosažen při řezné rychlosti přibližně 70-80 m/s. Další zvyšování řezné rychlosti má na příkon již opačný efekt. Zmenšování střední délky strniště je způsobeno především nižší deformací rostlin při vyšší řezné rychlosti.



Obrázek 21 Vliv řezné rychlosti na energii při sečení [45]



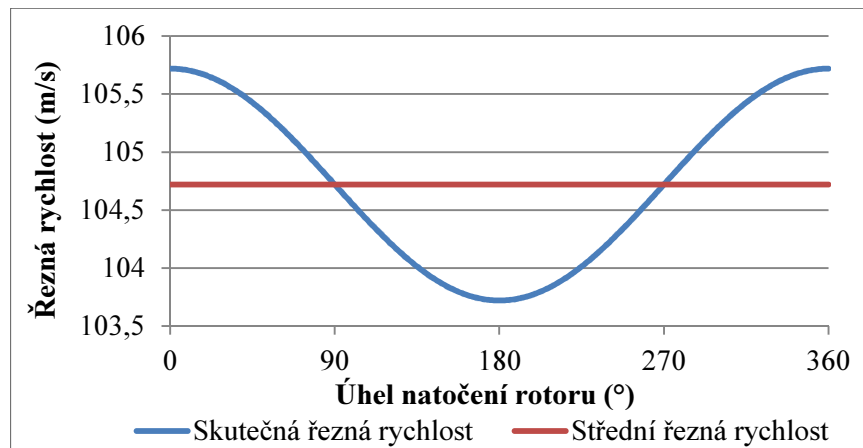
Obrázek 22 Vliv řezné rychlosti na příkon stroje ■ a na střední délku strniště ▲
(a – ostré nože, b – tupé nože)[65]

Řezná rychlost není v průběhu práce rotačního žacího stroje s vertikální osou rotace konstantní. Nůž při sečení koná rotační pohyb kolem osy otáčení stroje, a dále koná přímočarý pohyb společně se soupravou vlivem pojezdové rychlosti. Nůž tedy koná pohyb po prodloužené cykloidě [4]. Překrytí ploch cykloidy je tím větší, čím nižší je pojezdová rychlost. V závislosti na úhlu natočení nože, pojezdové rychlosti a otáček rotoru se řezná rychlost vypočítá podle vztahu (3).

$$v_c = \pi \cdot d \cdot \frac{n}{60} + v_p \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

- v_c – okamžitá řezná rychlost (m/s)
- d – průměr rotoru (m)
- n – otáčky rotoru (1/min)
- v_p – pojezdová rychlost (m/s)
- α – úhel natočení nože (m)

Průběh řezné rychlosti za jednu otáčku rotoru pro mulčovač s průměrem rotoru 2 m, otáčkami 1000 1/min a při pojezdové rychlosti 12 km/h (typické parametry mulčovače MZ 6000 od firmy BEDNAR FMT) je možno vidět na obrázku 23. Z obrázku je vidět, že nerovnoměrnost řezné rychlosti je velmi malá v porovnání s její absolutní hodnotou.

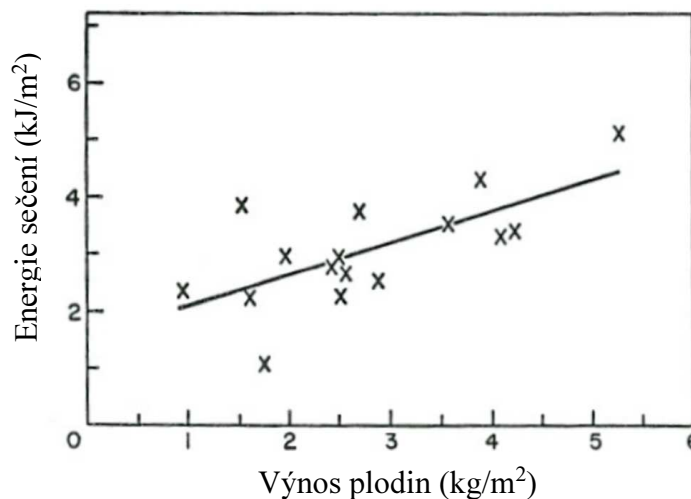


Obrázek 23 Průběh řezné rychlosti za jednu otáčku rotoru (průměr 2 m, otáčky 1000 1/min, jezdová rychlost 12 km/h)

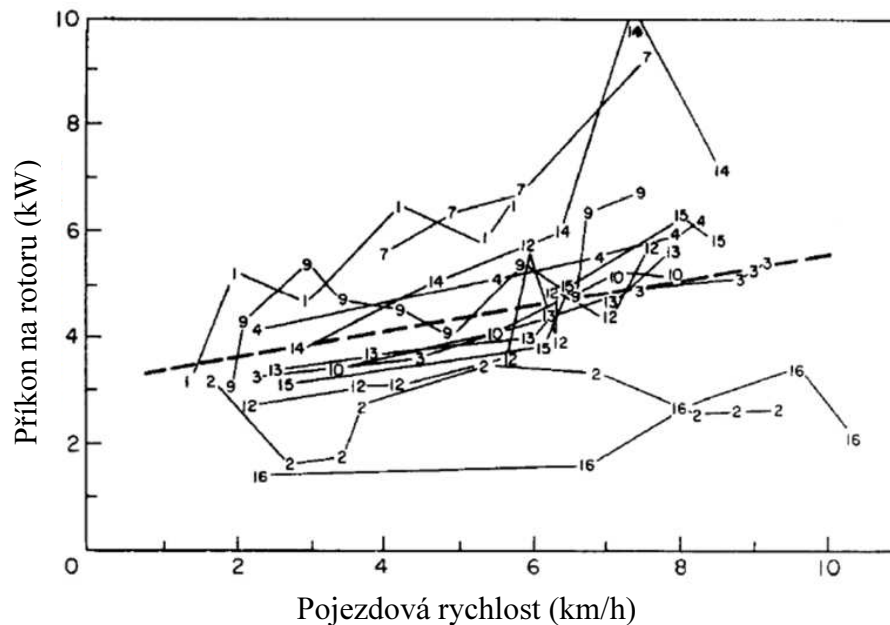
1.4.2.2. Průchodnost materiálu

Průchodností materiálu se rozumí množství zpracovaného materiálu za jednotku času. Závislé je především na výnosu travní hmoty, která se může velmi výrazně lišit v rámci jednoho pozemku, a na jezdové rychlosti. Výnos travní hmoty je neovlivnitelný parametr, který je dán hustou porostu, zatímco jezdová rychlost je velmi snadno ovlivnitelný parametr. Rotační žací stroje a mulčovače dosahují běžně pracovních rychlostí přibližně 3-12 km/h. [8]

Na obrázku 24 je znázorněn vliv výnosu travní hmoty na energii, potřebnou pro posečení jednoho m² pozemku. Z obrázku je vidět zřejmý a očekávaný stoupající lineární trend energie pro sečení s rostoucím výnosem.



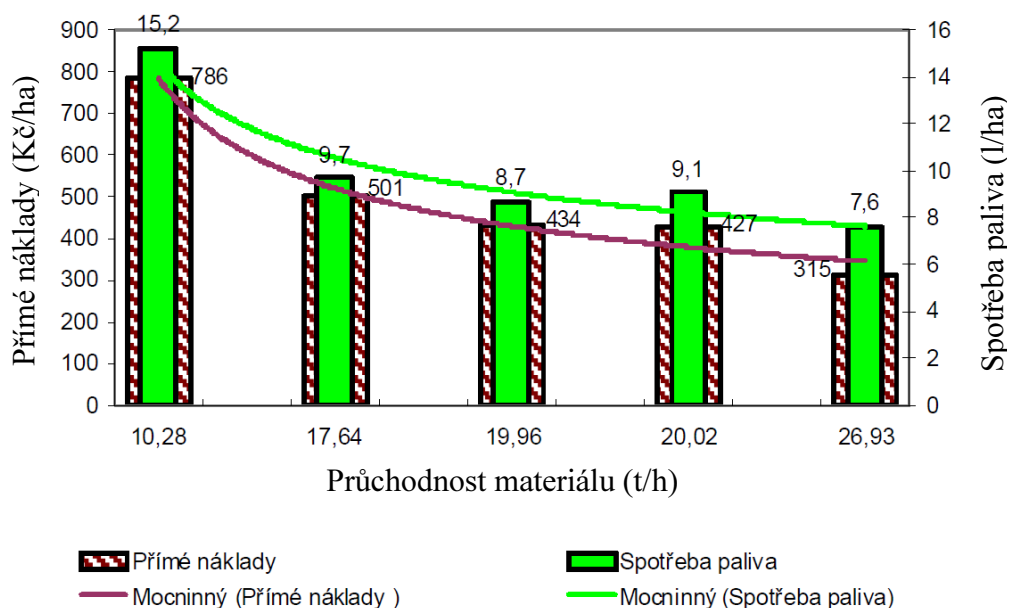
Obrázek 24 Vliv výnosu plodin na energii, spotřebovanou na sečení [45]



Obrázek 25 Vliv pojezdové rychlosti na příkon na rotoru při řezu bez protiostrží (řezná rychlost 78,1 m/s, čísla označují jednotlivá pole) [45]

Na obrázku 25 je znázorněn vliv pojezdové rychlosti při řezu bez protiostrží na příkon, odebíraný rotorem. Lze vidět, že se podle očekávání trend příkonu na rotor zvyšuje se stoupající pojezdovou rychlostí. Přesto zdroj [45] uvádí, že s rostoucí pojezdovou rychlostí klesá množství energie na jednotku zpracované plochy v rozmezí 2-9 km/h. Dále si lze povšimnout velkého rozptylu hodnot. To může být vysvětleno například velkou variabilitou ve výnosu travní hmoty v rámci jednoho pole.

Kombinací pojezdové rychlosti a výnosu lze získat průchodnost zpracovávané biomasy, která mnohem lépe charakterizuje výkonnost stroje a v kombinaci s množstvím vynaložené energie také jeho efektivitu. Na obrázku 26 je znázorněn vliv průchodnosti materiálu na přímých jednotkových nákladech a jednotkové spotřebě paliva. Lze vidět, že spotřeba paliva i přímé náklady klesají s mocninným trendem s rostoucí průchodností materiálu v rozsahu přibližně 10-27 t/h.



Obrázek 26 Vliv průchodnosti materiálu mulčovačem na přímé náklady a spotřebu paliva při mulčování [43]

1.4.3. Pracovní nástroje

Pracovní nástroje mulčovače s vertikální osou rotace byly zmíněny v kapitole 1.2.2. Pracovní nástroje mulčovače s vertikální osou rotace tvoří především samotný žací nástroj (nůž), protiostrí a kryt mulčovacího ústrojí.

1.4.3.1. Žací nástroj

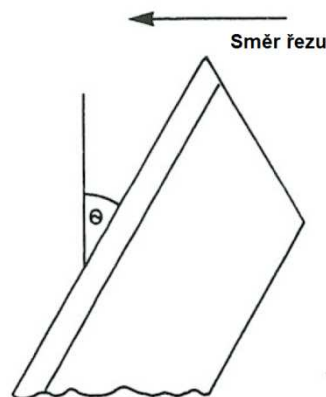
Žací nástroje (nože) mají při mulčování klíčovou funkci, jelikož jejich funkční povrch přichází do kontaktu se zpracovávaným materiálem. Nože mohou ovlivnit energetickou náročnost mulčování dvojitým způsobem:

- konstrukcí,
- opotřebením.

Z hlediska **konstrukce** záleží při řezu bez protiostrí především na úhlech na žacím nástroji a v neposlední řadě na tloušťce nástroje. Především 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. Vliv těchto úhlů byl zjišťován v mnoha studiích [14, 17, 18, 20, 21, 34, 38, 44, 46, 49, 50, 65]. Pro úhel broušení uvádí zdroje hodnoty mezi 10° – 60° ale i více. Přičemž většina studií dosahuje

nejvýhodnějších hodnot úhlu broušení v rozmezí 20° až 30° . Chattopadhyay a Pandey [21] uvádí nárůst měrné energie řezu z $34,1$ na $101,1$ mJ/mm^2 při nárůstu úhlu broušení z 30° na 70° . Úhel čela je v literatuře studován přibližně v rozmezí $0 - 50^\circ$. Nejefektivnější řez bývá ve většině zmíněných zdrojů v rozmezí $15^\circ - 30^\circ$ v závislosti na ostatních parametrech řezu, jako je např. řezná rychlost. U naprosté většiny mulčovačů s vertikální osou rotace bývá úhel čela 0° , což znamená kolmý řez. Schematicky je úhel čela znázorněn na obrázku 27.

Řezný nástroj může být také optimalizován z hlediska aerodynamiky [71]. Ventilační efekt, vytvářený pracovními nástroji, má významný vliv na energetickou náročnost a kvalitu práce mulčovače s vertikální osou rotace. Chon a Amano [24] konstatují významný vliv žacího nástroje na proudění vzduchu a ventilační efekt. Jun a kol. [33] 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)



Obrázek 27 Schematicky znázorněný úhel čela θ [49]

Ve vztahu k **opotřebení** řezného nástroje uvádí Tuck a kol. [65] požadavek na výkon $10-12$ kW/m při opotřebovaném řezném nástroji, při ostrém řezném nástroji potom $8-10$ kW/m , což je úspora přibližně 20% energie. Dále Syrový a kol. [61] uvádí požadavek na výkon při průměrné průchodnosti 120 t/h čerstvé hmoty přibližně $6,67$ kW/m pro rotační žací stroj s opotřebovaným ostřím, při použití nového ostří pak $5,67$ kW/m . Podle této studie tedy lze při použití ostrých řezných nástrojů dosáhnout úspory 15% celkové energie, odebírané strojem.

Ke zmírnění opotřebení nástrojů někteří výrobci používají návary z tvrdého, otěruvzdorného materiálu na spodní stranu břitu (obrázek 28). Tento návar zajišťuje pomalejší degradaci součásti a také tzv. samoostřicí efekt, kdy se spodní část břitu opotřebovává pomaleji než horní.



***Obrázek 28** Karbidový návar na spodní straně břitu pracovního nástroje mulčovače [6]*

1.4.3.2. Zakrytování pracovního prostoru

Tvar zakrytování má velmi významný vliv na proudění vzduchu v pracovním prostoru mulčovače. Proudění vzduchu v pracovním prostoru ovlivňuje energetickou náročnost stroje a jeho kvalitu práce. Směr a rychlost proudění vzduchu v pracovním prostoru má vliv na relativní rychlost vzduchu a nástroje a tím ovlivňuje aerodynamický odpor, dále má vliv na opakovaný kontakt rostlinné hmoty s nástrojem, čímž napomáhá k dokonalému podrcení rostlinné hmoty. V neposlední řadě proudění a tlakové podmínky v pracovním prostoru mulčovače ovlivňují rovnoměrnost rozptýlení podrcené rostlinné hmoty v celém záběru stroje.

Proudění vzduchu v pracovním prostoru žacíh strojů se doposud věnovalo relativně málo autorů [71, 13, 23, 24, 25, 26, 33]. Ve většině zmíněných studií je měřena rychlost proudění za pomoci LDV (Laser Doppler Velocimetry) a rychlokamery, dále je měřen tlak v pracovním prostoru stroje. Hagen a kol. [13] prohlašuje, že tvar zakrytování má stejně významný vliv na proudění vzduchu, jako tvar žacího nástroje. Chon a Amano [23] zjistili, že rychlost proudění narůstá od středu rotoru směrem k obvodu, dále zjistili, že v oblastech interakce dvou rotorů může být rychlost proudění nestabilní.

1.4.3.3. Protiostrří

Protiostrří jsou záležitostí především mulčovačů s horizontální osou rotace, kde výrazně pomáhají ke zvyšování kvality práce, jelikož při práci s protiostrřím lze dosáhnout výrazně kratší řezanky. [4]

U mulčovačů s vertikální osou rotace se protiostrří příliš nepoužívá a podrcení rostlinné hmoty je dosaženo převážně pohybem nožů v kombinaci s ventilačním efektem. Například firma BEDNAR FMT, s.r.o. nabízí možnost montáže protiostrří na přední část mulčovače s vertikální osou rotace (obrázek 29).

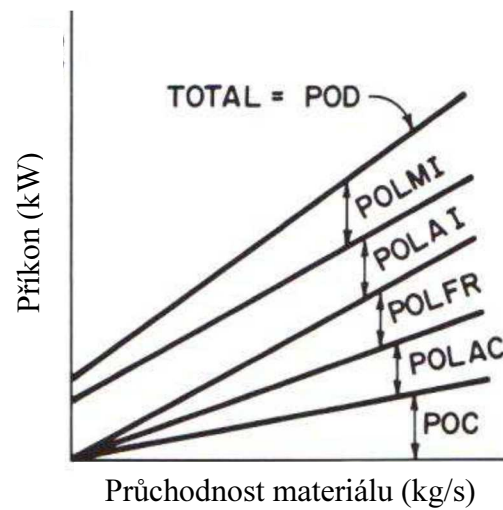


Obrázek 29 Protiostrří na mulčovači s vertikální osou rotace od firmy BEDNAR FMT, s.r.o. [5]

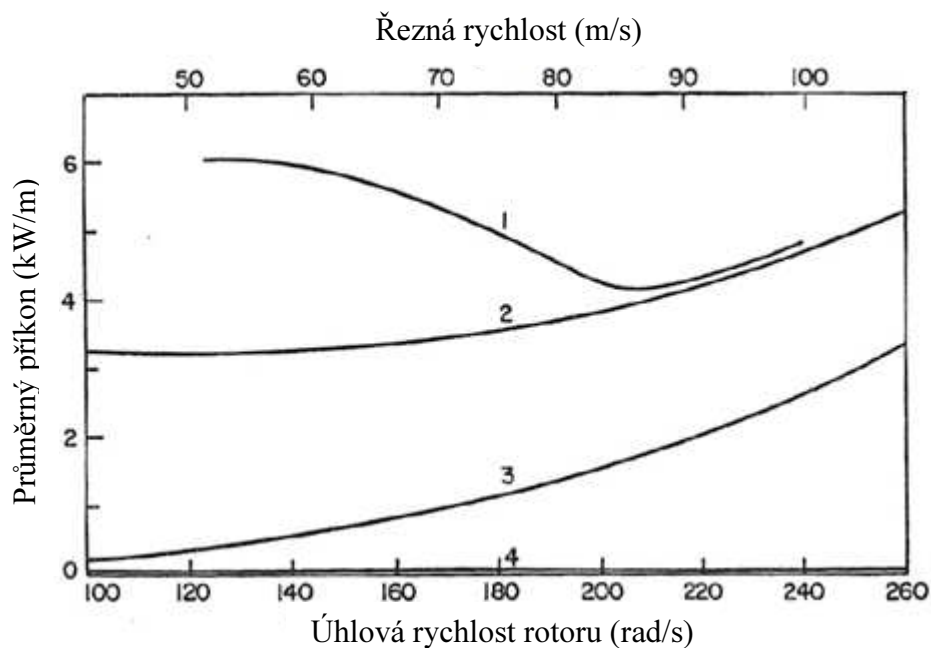
1.4.4. Energetické ztráty mulčovače

Ztráty na žacích strojích jsou ovlivněny mnoha faktory, jako jsou například akcelerace materiálu na výstupní rychlost, překonání třecích sil mezi materiálem a krytem žacího ústrojí, zatímco je materiál stále tlačěn řezacím ústrojím, 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 [53]. Celkové ztráty mohou být větší, než je skutečný řezný výkon, což znamená, že hlavní potenciál ke snížení energetické náročnosti

mulčování je právě v omezování těchto ztrát. Ztráty na žacím ústrojí se dají vyjádřit graficky (obrázek 30).



Obrázek 30 Žací výkon a ztráty na žacím mechanismu v závislosti na průchodnosti materiálu (POC – řezný výkon; POLAC – výkon, potřebný na akceleraci rostlin; POLFR – ztráty, způsobené třením mezi materiálem a žacím mechanismem; POLAI – výkon, potřebný na ventilační efekt; POLMI – ostatní ztráty)[53]



Obrázek 31 Energetická bilance žacího stroje v závislosti na řezné rychlosti (1 – průměrný celkový příkon; 1-2 – neidentifikovaná energie; 2-3 – energie na přepravu a urychlení rostlin; 3-4 – ztráty stroje; 4 – řezná energie [45])

McRandal a McNulty [45] uvádí, že identifikované energetické ztráty u rotačních žacích strojů jsou ventilační, tažení žacího stroje, tření v hnacím ústrojí a tření se strništěm pod noži. 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 [44]. Graficky znázorněný průběh energetické bilance žacího mechanismu v závislosti na řezné rychlosti je na obrázku 31. Z grafu lze vidět, že nejnižší ztráty se nachází přibližně v rozmezí 85-95 m/s.

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 32). Tento mulčovač má pracovní záběr 6 m a jeho základní parametry jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1 Základní parametry zvoleného mulčovače MULCHER MZ 6000

| | | |
|----------------------------------|-------|---------|
| Celková hmotnost | kg | 3 300 |
| Průměr rotoru | m | 2 |
| Počet rotorů | ks | 3 |
| Počet nožů na rotor | ks | 4 |
| Vstupní otáčky | 1/min | 1 000 |
| Doporučený výkon motoru traktoru | kW | 110-150 |



Obrázek 32 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 (50,0565725°N, 16,4375197°E, rok 2013) a nedaleko města Rychnov nad Kněžnou (50,2016822°N, 16,3238167°E, rok 2014). Při měřeních byly sledovány otáčky, točivý moment a výkon, přenášený přes vývodový hřídel traktoru pomocí snímače točivého momentu MANNER Mfi 2500Nm_2000U/min (přesnost 0,25 %) (obr. 33), nainstalovaného na vývodovém hřídeli traktoru. Spotřeba paliva byla sledována pomocí průtokoměru AIC VERITAS 4004 (chyba měření 1%, 2000 puls/l) (obr. 34) a pro určení polohy soupravy a stanovení její rychlosti byl na střechu traktoru umístěn GPS přijímač Qstarz BT-Q1000XT. Všechny snímače byly zapojeny pomocí analogově digitálního převodníku LabJack U6 (rozlišení 18 bit) k měřicímu počítači HP mini 5103, který byl umístěn v kabině traktoru. Data byla zaznamenávána s frekvencí 2 Hz.



Obrázek 33 Snímač točivého momentu MANNER umístěný na traktoru John Deere 7930

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 výkonosti.



Obrázek 34 Palivoměr AIC, umístěný na traktoru John Deere 7930

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 emisního analyzátoru VMK, tento analyzátor byl zkonstruován na základě požadavků katedry vozidel a pozemní dopravy na TF ČZU v Praze a jeho parametry jsou uvedeny v tabulce 2. Pomocí palubní diagnostiky bylo snímáno zatížení motoru, otáčky motoru, teplota a tlak nasávaného vzduchu, stav EGR ventilu a teplota chladiva a paliva. K tomu byl využit systém palubní diagnostiky od společnosti TEXA, NAVIGATOR TXTs. NAVIGATOR TXTs je interface mezi zobrazovací jednotkou a palubní diagnostikou, umožňující, mimo jiné, záznam hodnot z řídicí jednotky traktoru s frekvencí až 4 Hz. 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 (obr. 35).

Tabulka 2 Parametry emisního analyzátoru VMK [68]

| Měřená složka | Rozsah | Rozlišení | Nejistota měření |
|-----------------|----------------|-------------|---|
| CO | 0 - 10 % vol | 0,001 % vol | 0 - 0,67 %: 0,02 % absolutně, 0,67 - 10 %: 3 % z naměřené hodnoty |
| CO ₂ | 0 - 16 % vol | 0,1 % vol | 0 - 10 %: 0,3 % absolutně, 10 - 16 %: 3 % z n.h. |
| HC | 0 - 20 000 ppm | 1 ppm | 10 ppm nebo 5 % z n.h. |
| NO _x | 0 - 5 000 ppm | 1 ppm | 0 - 1000 ppm: 25 ppm, 1000 - 4000 ppm: 4 % z n.h. |
| O ₂ | 0 - 22 % vol | 0,1 % vol | 0 - 3 %: 0,1 % 3 - 21 %: 3 % z n.h. |



Obrázek 35 Traktor John Deere 7930 v agregaci s mulčovačem MZ 600 při práci na pozemku

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 pomocí snímače točivého momentu MANNER a spotřeba paliva pomocí průtokoměru AIC. 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).

Výsledky měření v polních podmínkách odhalily vysoké energetické nároky mulčovače. 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 zrát a jejich závislosti na různých parametrech byl ve spolupráci s katedrou zemědělských strojů na TF ČZU v Praze zkonstruován model jednoho rotoru mulčovače (obrázek 36), kde byl testován vliv různých kombinací stávajících tvarů nástrojů (travní a kukuřičné) na energetickou náročnost. K pohonu modelu byl použit elektromotor MEZ AF544/4A o výkonu 7,5 kW a otáčkách 1465 1/min. Motor má zapojení do trojúhelníku, max. napětí 400 V a max. proud 15,9 A. Napájení motoru bylo provedeno pomocí frekvenčního měniče TECO 7300 určeného pro výkon 7,5 kW se vstupním proudem až 24,5 A a s výstupním proudem pro motor 17,5 A. Pro první měření byly zvoleny otáčky 300, 400 a 500 1/min. Kde to bylo z výkonového hlediska možné, byly otáčky navyšovány až na 700 1/min. Model má možnost výměny nebo odstranění krytů, vyrobených z plexiskla, pro lepší pochopení vlivu tvaru zakrytování na odběr energie. Při měření byl snímán výkon a točivý moment pomocí snímače točivého momentu MANNER. Otáčky bylo nutno snímat ručním otáčkoměrem přímo na elektromotoru, jelikož elektromagnetické pole, generované elektromotorem, velmi výrazným způsobem rušilo signál otáček u snímače MANNER a proto byly údaje o otáčkách od tohoto snímače nepoužitelné. Výsledkem měření je závislost točivého momentu a výkonu na otáčkách pro různé kombinace žacích nástrojů a zakrytování stroje. Z důvodu poddimenzovaného elektromotoru nebylo možno dosáhnout pracovních otáček, na které je mulčovač navržen (1000 1/min), tento problém bude vyřešen zapůjčením silnějšího elektromotoru z Pardubic.

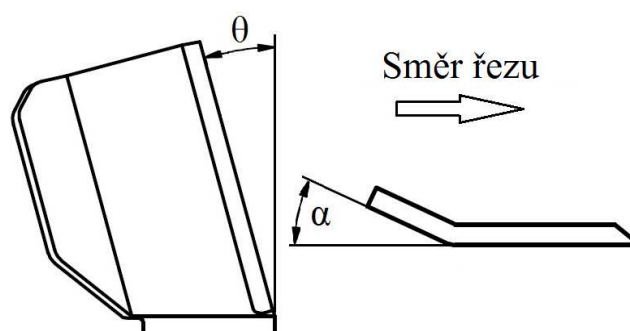
Ke zpracování naměřených dat byl využit program MS Excel, MathCad, ArcGis a GPX Editor.



Obrázek 36 Model jednoho rotoru mulčovače

3.2. Navrzení 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 výsledků, uvedených v kapitole 4.1 a kapitole 1 byly vzaty v úvahu tvary žacích nástrojů především pak úhel plachetky a úhel čela nástroje (obr. 37), tvar zakrytování pracovního prostoru mulčovače a řezná rychlost. Tyto parametry ovlivňují energetickou náročnost stroje a jeho kvalitu práce.



Obrázek 37 Schematicky znázorněné úhly na žacím nástroji (θ – úhel čela, α – úhel plachetky)

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

Pro co nejpřesnější stanovení vlivu navržených pracovních nástrojů na **energetické ztráty**, které tvoří především odpor vzduchu, bylo provedeno měření na laboratorním modelu jednoho rotoru mulčovače (model je popsán v kapitole 3.1). Při měření byly měněny pracovní nástroje a tvary zakrytování pracovního prostoru (popsané v kapitole 4.2). Na obrázku 38 je znázorněn laboratorní model s kryty ve tvaru „toroid“. Model je poháněn asynchronním elektromotorem o výkonu 22kW, s frekvenčním měničem Siemens na 30 kW, což vyřešilo problém, zmíněný v kapitole 3.1 (dosažení 1000 1/min). Snímán byl točivý moment a příkon pomocí snímače točivého momentu MANNER (viz kap. 4.1) elektrický proud a výkon před a za frekvenčním měničem a otáčky rotoru, které byly z důvodu velmi intenzivního elektromagnetického pole, generovaného elektromotorem, snímány optickým snímačem Sick WL4-3N1330 s jedním pulzem na otáčku. Data byla přes A/D převodník LabJack U6 s rozlišením 18bit a modul pro impulsní snímače Papouch Quido 10/1 ukládána na pevný disk měřicího počítače HP mini 5103. Frekvence snímání dat byla 5 Hz. Dále byl snímán tlak v pracovním prostoru pomocí tlakových pásek, vyrobených Společností pro výzkum a vzdělávání, s.r.o. (tabulka 3), umístěných vždy na vnitřní straně krytu radiálně k ose rotace. Data z tlakových pásek byla ukládána na pevný disk PC s frekvencí 2,5 Hz. Veškerá data byla zpracována pomocí programu MS Excel.



Obrázek 38 Laboratorní model s kryty ve tvaru „toroid“

Tabulka 3 Parametry tlakových pásků

| | |
|-------------------------|--------------|
| Tlakový rozsah | 93 – 107 kPa |
| Teplotní rozsah | 15 – 40°C |
| Vzorkovací frekvence | 10 Hz |
| Přesnost | <10 Pa |
| Nelinearita a hystereze | <8 Pa |
| Šum | ±5 Pa |

Dále bylo z bezpečnostního hlediska snímáno zrychlení vibrací ve třech osách a vektorovém součtu na střední části rámu u převodovky akcelerometrem CEM DT-178A (rozlišení 0,000625 g, přesnost ±0,5 g, frekvence 20 Hz) (obr. 39).



Obrázek 39 Umístění akcelerometru na modelu mulčovače

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 (obr. 40), oba stroje byly zapůjčeny od ZD Agro Liboměřice, a.s. Zmíněný mulčovač svou dobou provozu nepřesáhl 200 ha.

Měřícím pozemkem byly pastviny u obce Bojanov, nedaleko Chrudimi (49,430567°N, 15,7102258°E, rok 2015). Pozemek je rovinný a nachází se v nadmořské výšce přibližně 420 m n. m., mulčovaným porostem byly převážně trávy (srha, jílky) se suchým podrostem, z bylin se nejvíce vyskytovaly odkvetlé stonky šťovíku (obr. 41). Pro podmínky měření byly pro každý tvar nožů a použité otáčky rotorů odebrány 2 vzorky pro stanovení podílu vlhkosti porostu. Podíl vlhkosti porostu je znázorněn na obr. 42.

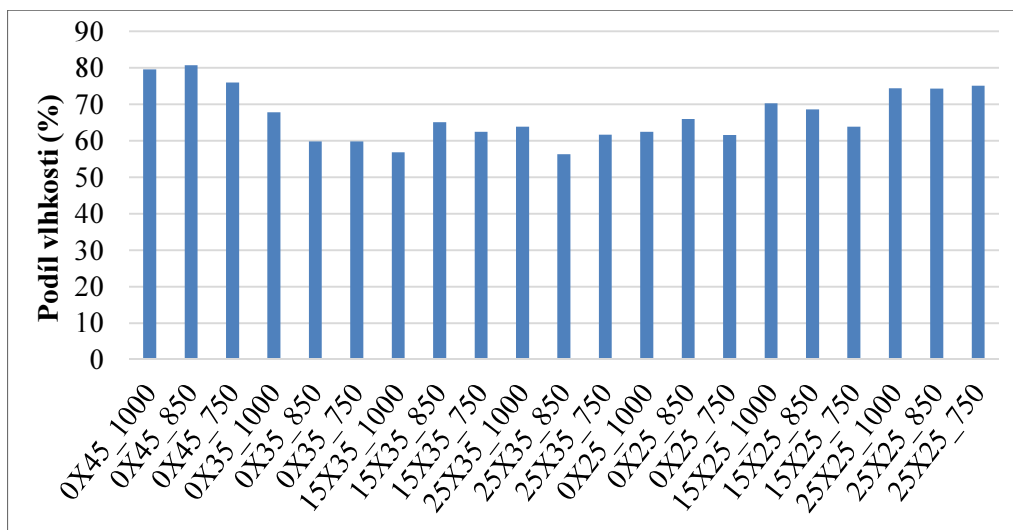
Z obrázku je patrné, že podíl vlhkosti porostu se mezi jízdami lišil, místy byl velmi vysoký, i více než 80 %, naopak místy byl podíl vlhkosti menší než 60 %. Celkově však lze říci, že podíl vlhkosti měl průměrnou hodnotu 67 % se směrodatnou odchylkou 7,3 %.



Obrázek 40 Pracovní souprava - traktor Fendt 818 v agregaci s mulčovačem Mulcher MZ 6000



Obrázek 41 Odebraný vzorek pro stanovení druhu mulčovaného porostu



Obrázek 42 Podíl vlhkosti porostu při měření pro jednotlivé tvary nožů a použité otáčky (popisky osy x: tvar nože_otáčky/min)

Na pozemku bylo provedeno celkem 42 měřících jízd (obr. 43). Při měřících 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). Zmíněný mulčovač je navržen na pracovní otáčky rotoru 1000 1/min. Při měření byl snímán točivý moment a příkon, přenášený přes vývodový hřídel traktoru pomocí snímače točivého momentu MANNER, spotřeba paliva pomocí palivoměru AIC, poloha soupravy a její skutečná rychlost pomocí GPS. Parametry snímačů jsou uvedeny v kapitole 3.1. Frekvence snímání dat byla 5 Hz. Pro porovnání energetické náročnosti byla primárně využita hodnota měrné spotřeby energie, udávaná v kWh/t zpracovaného materiálu, dále hodnota měrného příkonu, udávaná v kW/m záběru stroje, tuto hodnotu je také možné porovnávat s ostatními autory. Porovnávána je také měrná spotřeba paliva na jednotku hmotnosti zpracované hmoty (kg/t) a na jednotku plochy (kg/ha).

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. Naměřená data z jednotlivých měřících úseků a z laboratorního modelu byla načtena do programu MS Excel a dále zpracována.

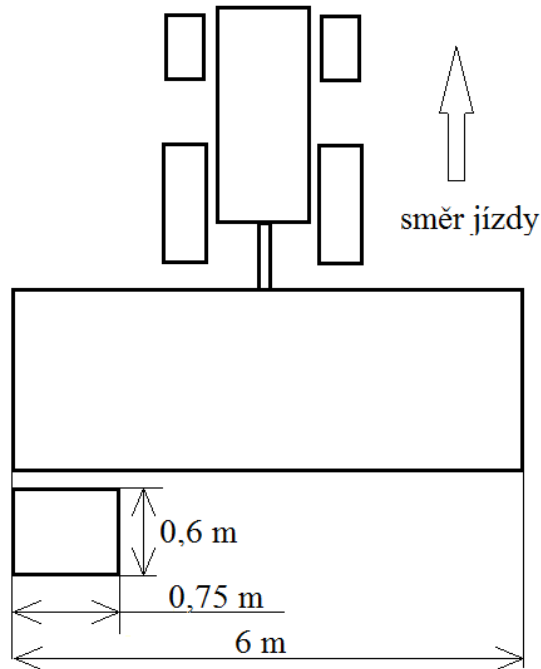


Obrázek 43 Trasy provedených měřících jízd

Pro vyhodnocení vlivu jednotlivých tvarů nástroje na **kvalitu práce** byly z každé jízdy za tímto účelem 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) (obr. 44). Tyto vzorky byly zváženy na laboratorní váze Vibra AJ 6200 (rozsah 6200 g, dílek 0,01 g, kalibrovaný dílek 0,1 g) a byla stanovena průměrná délka jejich řezanky. Pro porovnání kvality práce byla využita hodnota směrodatné odchytky hmotnosti jednotlivých vzorků v záběru stroje, hodnota směrodatné odchytky 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. Hmotnostní výkonnost mulčovače byla vypočítána podle vztahu (4).

$$W_t = 0,1 \cdot v_p \cdot B \cdot \omega \quad (4)$$

- W_t – hmotnostní výkonnost mulčovače (t/h),
 v_p – pracovní rychlost (km/h)
 B – šířka záběru mulčovače (m),
 ω – hektarový výnos travního porostu (t/ha).



Obrázek 44 Schéma odběru vzorků pro stanovení kvality práce a výnosu

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

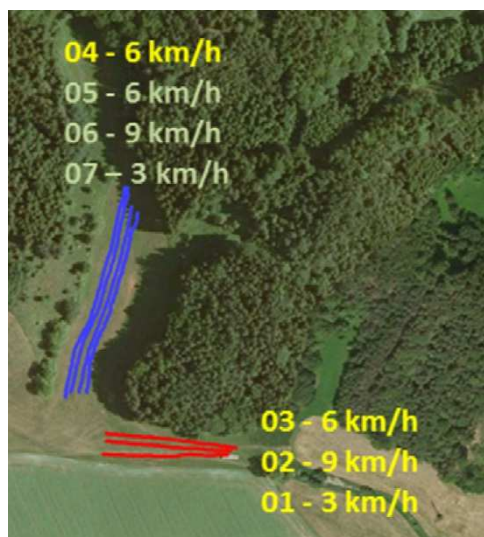
V této kapitole je stanovena energetická náročnost mulčovače s vertikální osou rotace v závislosti na hmotnostní výkonnosti a dalších parametrech, je stanovena průměrná hodnota příkonu a dalších parametrů při souvislé práci stroje a jsou stanoveny energetické ztráty stroje. Pořadí, v jakém jsou prezentovány výsledky, odpovídá kapitole 3.1.

4.1.1. Měření v polních podmínkách

Nejprve byla určena **energetická náročnost mulčovače při práci v polních podmínkách**. Na obrázku 45 je znázorněn zkušební pozemek nedaleko města Žamberk, kde se odehrálo první měření. Na pozemku jsou vyznačeny měřicí úseky o délce cca 100–180 m, žlutě popsané úseky byly měřeny s nástroji, vykazujícími značnou míru opotřebení, zatímco úseky s bílým popisem s nástroji novými. Tabulka 4 a 5 uvádí průměrné naměřené hodnoty. Jako rozhodující pro odběr energie se, podle dosažených výsledků v polních podmínkách, jeví hmotnostní výkonnost mulčovače (budou-li zanedbány neovlivnitelné parametry, jako například druh a podíl vlhkosti rostlin, apod.). Hmotnostní výkonnost mulčovače má v sobě zahrnutou pojezdovou rychlost soupravy i výnos travní hmoty, proto nejlépe charakterizuje objem práce, vykonávané strojem.

Tabulka 4 Souhrn naměřených výsledků – část 1

| Úsek | Rychlos t | Výnos | Výkonos t | Průměrný točivý moment | Průměrný příkon |
|------|--------------|-------|--------------|---------------------------|-----------------|
| | km/h | t/ha | t/h | Nm | kW |
| 1 | 3,4 | 11,2 | 22,06 | 890,3 | 92,55 |
| 2 | 9,34 | 6,2 | 33,52 | 1272,05 | 130,96 |
| 3 | 6,66 | 9,2 | 35,46 | 1194,79 | 125,9 |
| 4 | 6,47 | 6,7 | 25,12 | 870,35 | 89,9 |
| 5 | 6,42 | 7 | 26,37 | 841,7 | 89,32 |
| 6 | 9,28 | 5,5 | 29,56 | 948,78 | 98,89 |
| 7 | 3,49 | 4,7 | 9,58 | 576,68 | 60,8 |



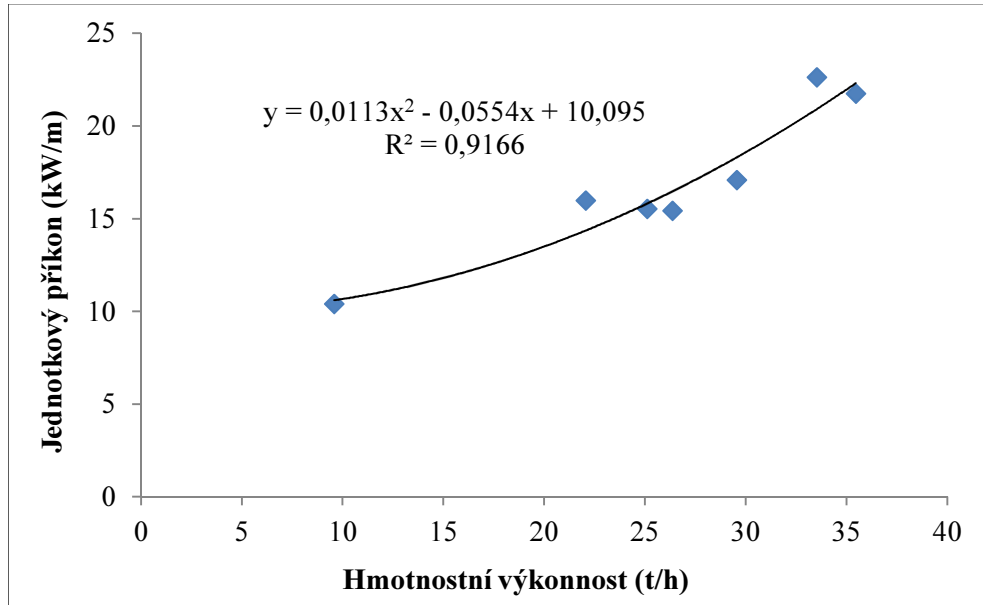
Obrázek 45 Zkušební pozemek (jízdy 01-04 – opotřebované nástroje; jízdy 05-07 – nové nástroje)

Tabulka 5 Souhrn naměřených výsledků – část 2

| Úsek | Jednotkový příkon | Měrná spotřeba energie | Jednotková spotřeba paliva | | |
|------|-------------------|------------------------|----------------------------|-------|------|
| | kW/m | kWh/t | l/ha | kg/ha | kg/t |
| 1 | 15,99 | 4,2 | 16,27 | 13,5 | 1,21 |
| 2 | 22,62 | 3,91 | 7,94 | 6,59 | 1,06 |
| 3 | 21,74 | 3,55 | 10,37 | 8,61 | 0,94 |
| 4 | 15,53 | 3,58 | 10,05 | 8,34 | 1,24 |
| 5 | 15,43 | 3,39 | 10,33 | 8,58 | 1,23 |
| 6 | 17,08 | 3,35 | 8,47 | 7,03 | 1,28 |
| 7 | 10,39 | 6,34 | 14,48 | 12,02 | 2,56 |

Z tabulky 5 je patrné, že jednotková spotřeba paliva v l/ha dosahuje velkého rozptýlu a v maximálních hodnotách dosahuje hodnot podstatně vyšších, než udává literatura (7,5–9,5 l/ha) [62]. Dále je z tabulky 5 a obrázku 46 patrné, že jednotkový příkon, stejně jako příkon v tabulce 4, se pohybuje také v relativně velkém rozpětí a v maximálních hodnotách je opět podstatně výše, než udává literatura (až 16 kW/m) [60]. Důvodem, proč mulčovač vykázal vyšší hodnoty jednotkového příkonu, než udává literatura, může být fakt, že naprostá většina autorů řeší rotační žací stroje obecně, přičemž mulčování má svá specifika oproti rotačním žacím strojům, určeným pro sklizeň píce. Mezi tato specifika patří vysoká rezná rychlost, ventilační efekt, vytvářený pracovními nástroji, vysoké tření mezi strništěm a ochrannými kluznými disky na rotorech a další. Dále byl při tomto

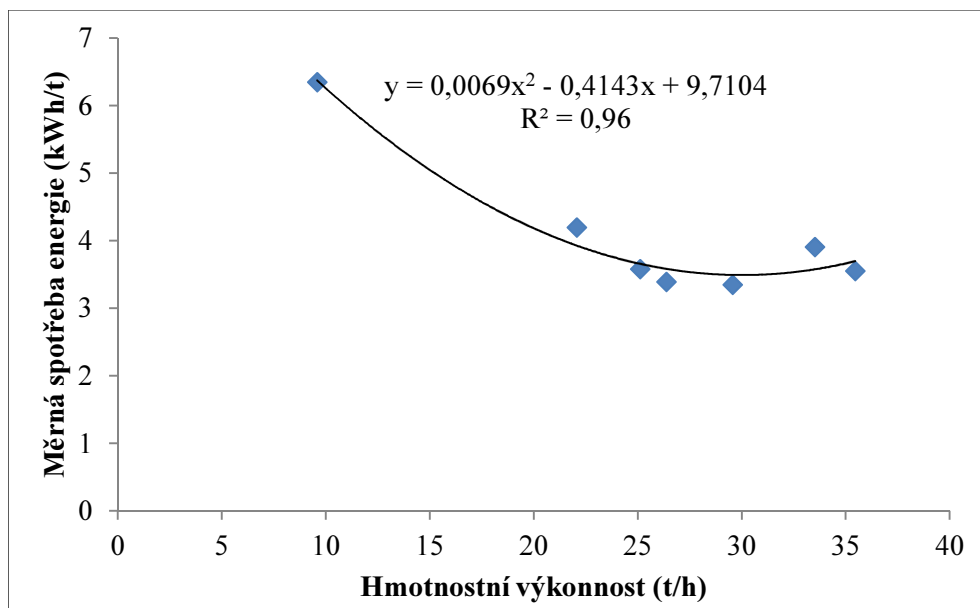
měření požadavek na co nejvyšší výkonnost stroje z důvodu zjištění maximálních hodnot příkonu pro dimenzování elektropohonu pro elektrický prototyp mulčovače, zkonstruovaný v rámci projektu TAČR (TA03010138)



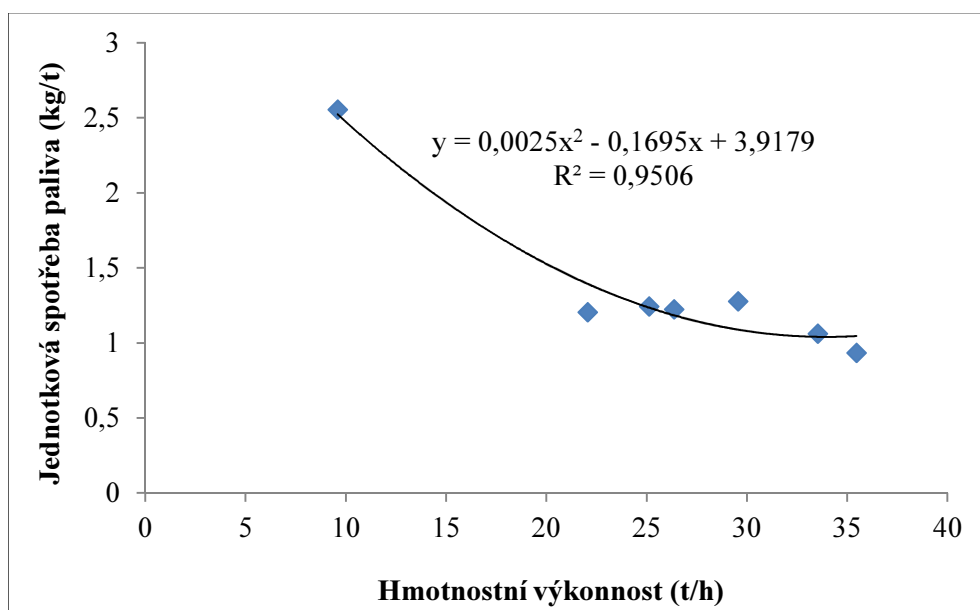
Obrázek 46 Jednotkový příkon mulčovače v závislosti na hmotnostní výkonnosti

Na obrázku 47 je znázorněna energetická spotřeba v závislosti na výkonnosti mulčovače. Je vidět, že nejnižší hodnoty energetické spotřeby bylo dosaženo přibližně při hmotnostní výkonnosti 30 t/h.

Dále je na obrázku 48 znázorněna jednotková spotřeba paliva v kg na tunu zpracovaného materiálu. Podle očekávání jednotková spotřeba paliva s rostoucí hmotnostní výkonností mulčovače klesá. Do spotřeby paliva však, oproti měrné spotřebě energie (obr. 47), vstupuje mnoho dalších faktorů, jako například svažitost terénu, akcelerace traktoru apod.



Obrázek 47 Měrná spotřeba energie



Obrázek 48 Jednotková spotřeba paliva

Pro vyhodnocení vlivu opotřebení nástroje na energetickou náročnost byly vybrány jízdy číslo 4 a 5, kdy bylo dosaženo srovnatelných hodnot hmotnostní výkonnosti i rychlosti soupravy. Z tabulky 4 a 5 je patrné, že výměnou opotřebovaných žacích nástrojů za nové došlo ke snížení požadavku na výkon o přibližně 0,6 %, což je řádově odlišný výsledek od ostatních autorů, kteří zjistili úsporu 15-20 %. [61, 65] To může být způsobeno opět faktem, že při mulčování se na samotný řez rostlin spotřebuje poměrně malá část celkové energie, a proto snížení této části má na celkovou energii pouze malý efekt.

Další měření se odehrálo nedaleko města Rychnov nad Kněžnou. Jednalo se o souvislé mulčování vybraného pozemku (obrázek 49). Z části zkoušeného pozemku byly členy katedry zemědělských strojů odebrány vzorky pro stanovení výnosu a podílu vlhkosti rostlin a vytvoření výnosové mapy travní hmoty. Rychlost soupravy nebyla nijak regulována, aby bylo docíleno podmínek shodných s praxí.



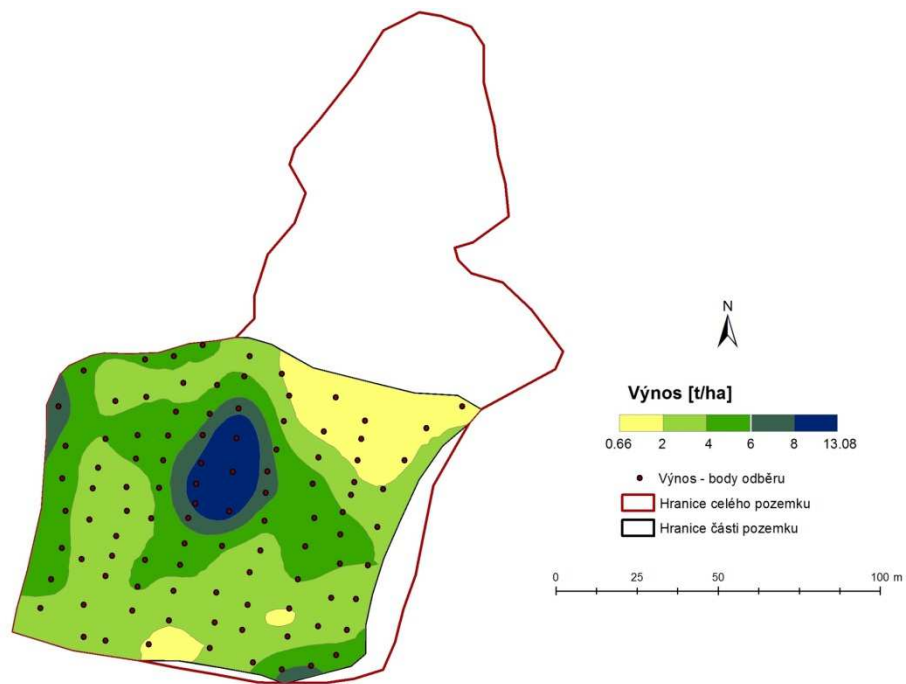
Obrázek 49 Zkušební pozemek se záznamem trasy

Souhrnné výsledky měření jsou zaznamenány v tabulce 6. Z tabulky je vidět, že průměrný příkon stroje byl přibližně 80 kW, což činí 13,8 kW/m záběru stroje. Tato hodnota odpovídá hodnotám, uváděným v literatuře, při tomto měření výnos travní hmoty v maximální hodnotě dosáhl přibližně 13 t/ha, jak je vidět na obrázku 50 [60]. 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 [62].

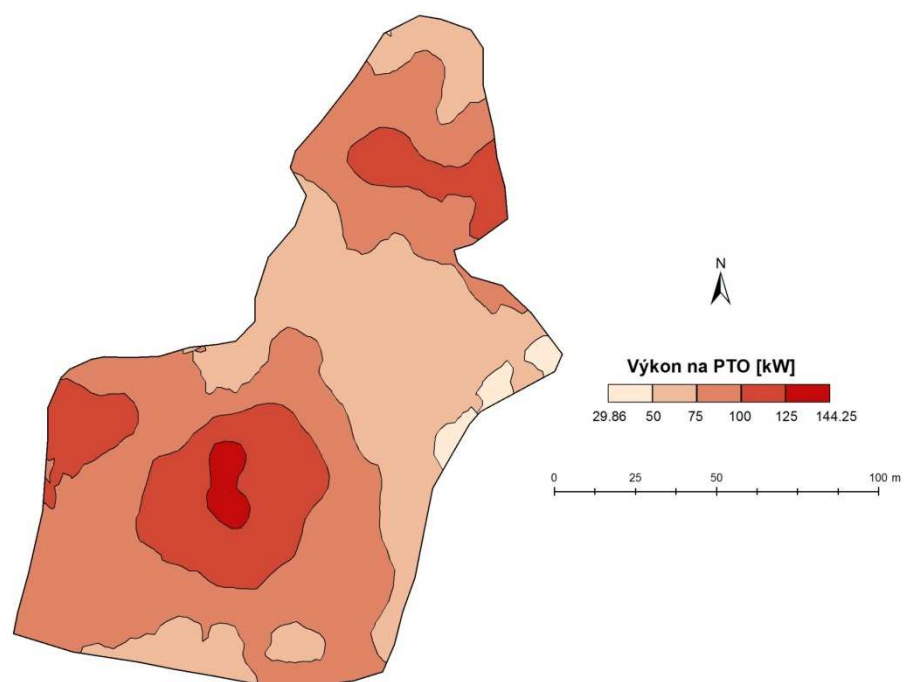
Tabulka 6 Souhrn naměřených výsledků

| Parametr | | Hodnota | Jednotka |
|----------------------|----------------|---------|----------|
| Točivý moment na PTO | průměrný | 760 | Nm |
| | max. | 1399,3 | Nm |
| | min. | 285,3 | Nm |
| | sm. odch. | 210,9 | Nm |
| Otáčky | průměrný | 1951,3 | 1/min |
| | max. | 1988,8 | 1/min |
| | min. | 1796,7 | 1/min |
| | sm. odch. | 16,3 | 1/min |
| Příkon | průměrný | 79,7 | kW |
| | max. | 144,3 | kW |
| | min. | 29,9 | kW |
| | sm. odch. | 21,8 | kW |
| | na metr záběru | 13,8 | kW/m |
| Energetická spotřeba | | 106,87 | MJ |
| | | 29,7 | kWh |
| Spotřeba paliva | průměrná | 27,5 | kg/h |
| | max. | 44,7 | kg/h |
| | min. | 12 | kg/h |
| | celková | 10,3 | kg |
| | sm. odch. | 5,6 | kg/h |
| | měrná | 8,2 | kg/ha |
| 9,99 | | l/ha | |
| Ujetá vzdálenost | | 2954,6 | m |
| Přibližná plocha | | 1,25 | ha |
| Výkonnost | | 3,35 | ha/h |

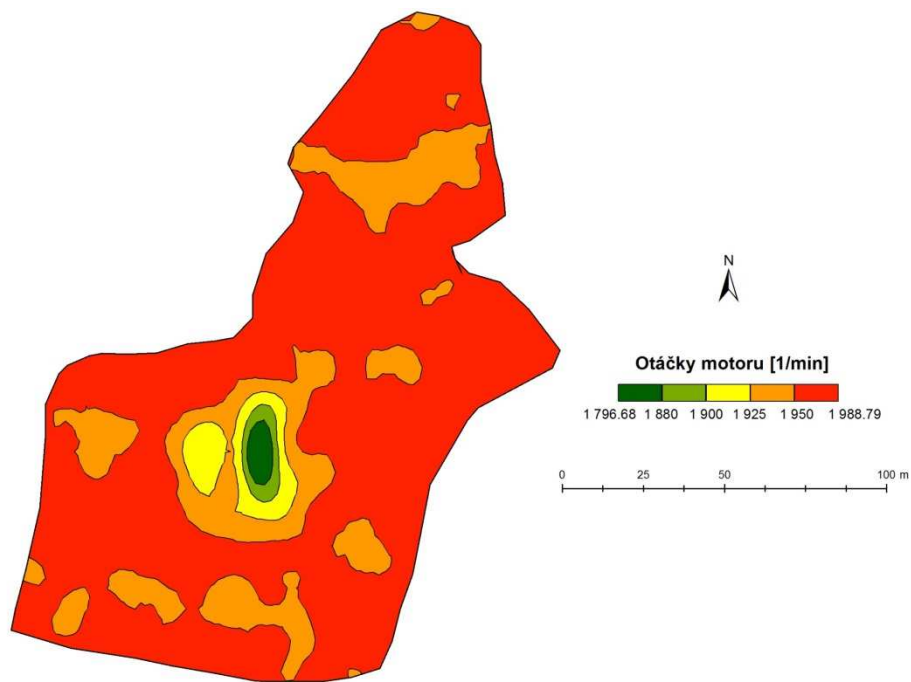
Dále byla vytvořena výnosová mapa travní hmoty části pozemku (obrázek 50). Ze získaného záznamu dat byly dále vytvořeny mapy výkonu, přenášeného přes vývodový hřídel (obrázek 51), otáček motoru (obrázek 52), hodinové spotřeby paliva (obrázek 53) a produkce NO_x (obrázek 54). Tyto mapy byly vytvořeny za použití programu ArcGIS.



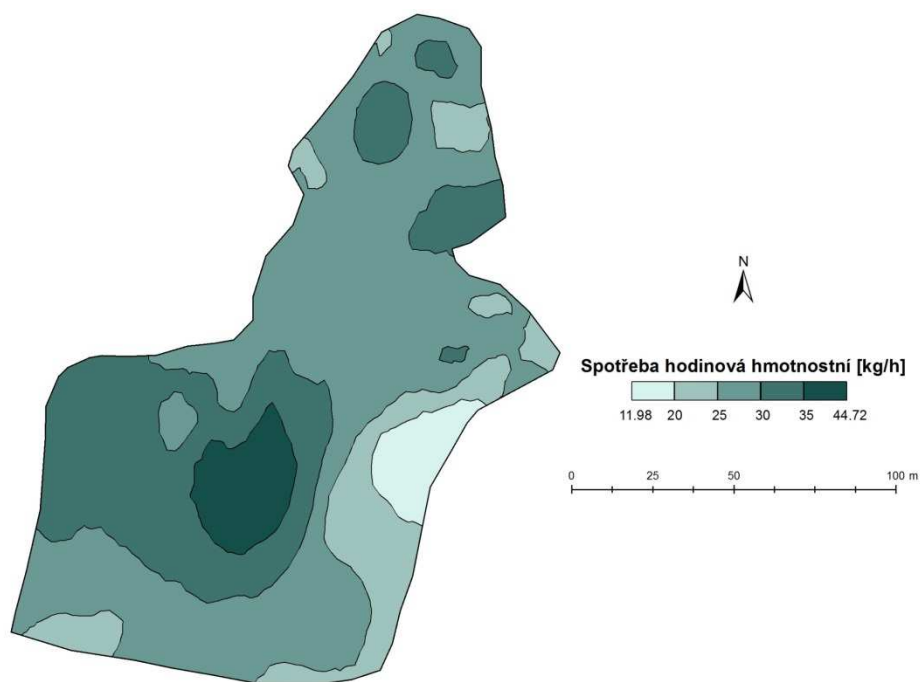
Obrázek 50 Výnosová mapa části zkušebního pozemku



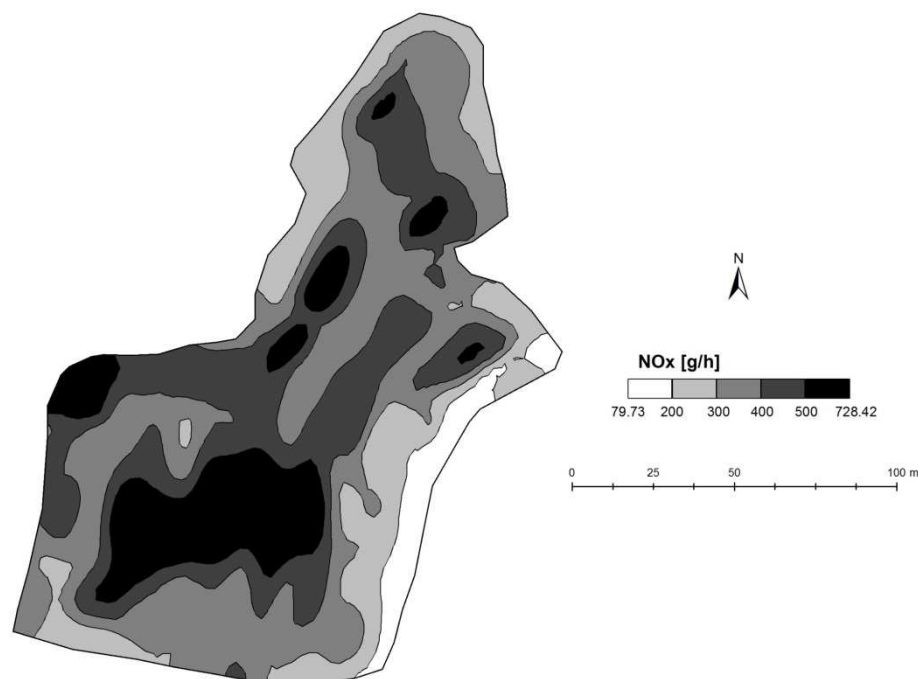
Obrázek 51 Mapa výkonu, přenášeného přes vývodový hřídel během měření
(PTO – Power Take Off)



Obrázek 52 Mapa otáček motoru během měření



Obrázek 53 Mapa hodinové spotřeby paliva během měření



Obrázek 54 Mapa produkce oxidů dusíku během měření

Z obrázků 50 až 53 vyplývá, že v místech s vysokým výnosem travní hmoty, patrných na obrázku 50, ztlačně stoupá přenášený výkon přes vývodový hřídel, v souladu s ním při dosažení maximálního točivého momentu klesají otáčky motoru a zvyšuje se hodinová spotřeba paliva. Dále je z obrázku 54 patrné, že v místech s vysokým zatížením motoru také rapidně stoupá hmotnostní produkce oxidů dusíku. Souhrnné výsledky o vyprodukovaném hmotnostním množství škodlivých emisí jsou v tabulce 7.

Tabulka 7 Souhrn naměřených výsledků produkce emisí

| Vyprodukováno za jízdu | | | | | Doba jízdy | |
|------------------------|-----------------|-------|-------|----------------|------------|------|
| CO | CO ₂ | NO | HC | O ₂ | s | min |
| g | g | g | g | g | | |
| 78,9 | 41633,8 | 136,1 | 2,2 | 29416,2 | 1343 | 22,4 |
| g/kWh | g/kWh | g/kWh | g/kWh | g/kWh | | |
| 2,7 | 1402,5 | 4,6 | 0,07 | 990,9 | | |

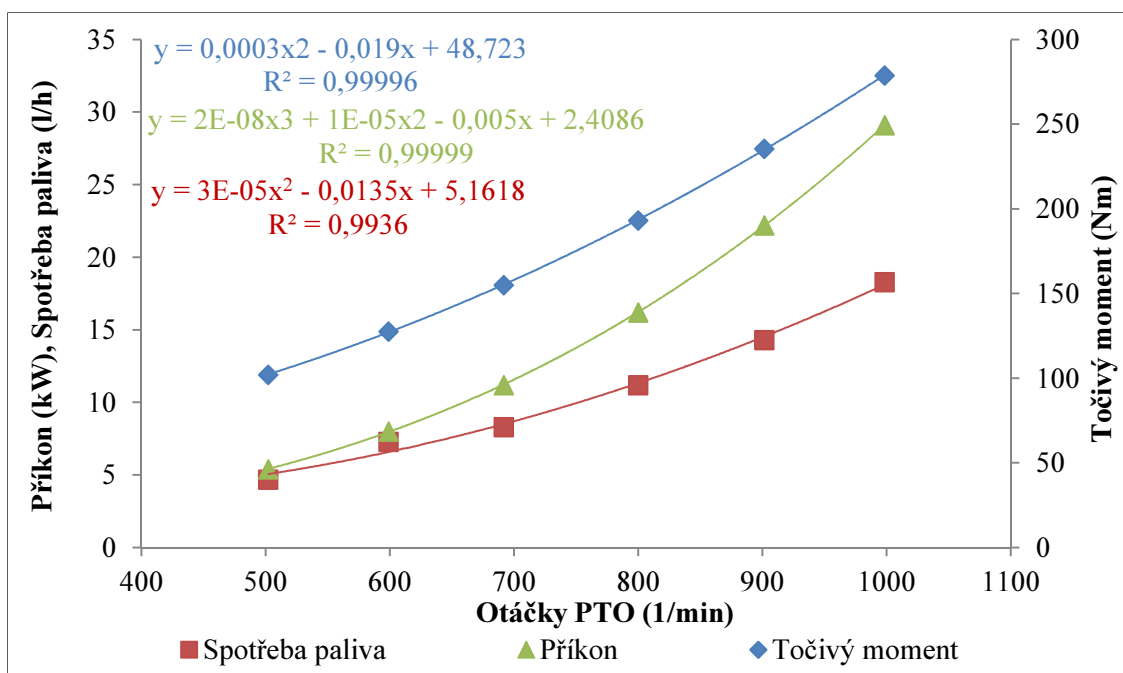
4.1.2. Měření v laboratorních podmínkách

Pro určení **energetických ztrát mulčovače** byl tento měřen při běhu naprázdno nad betonovým povrchem ve výšce přibližně 5 cm. 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).

V tabulce 8 jsou zobrazeny výsledky měření 1. Grafické znázornění výsledků je na obrázku 55. Z průběhů závislostí 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.

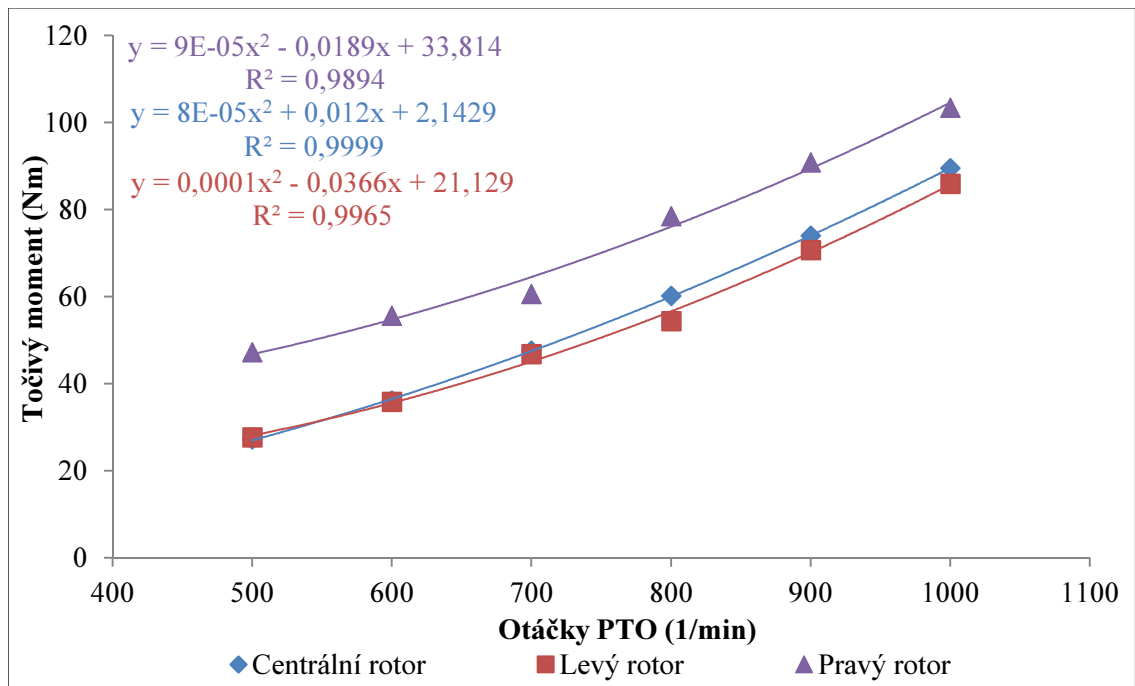


Obrázek 55 Průběh točivého momentu, příkonu a spotřeby paliva v závislosti na otáčkách

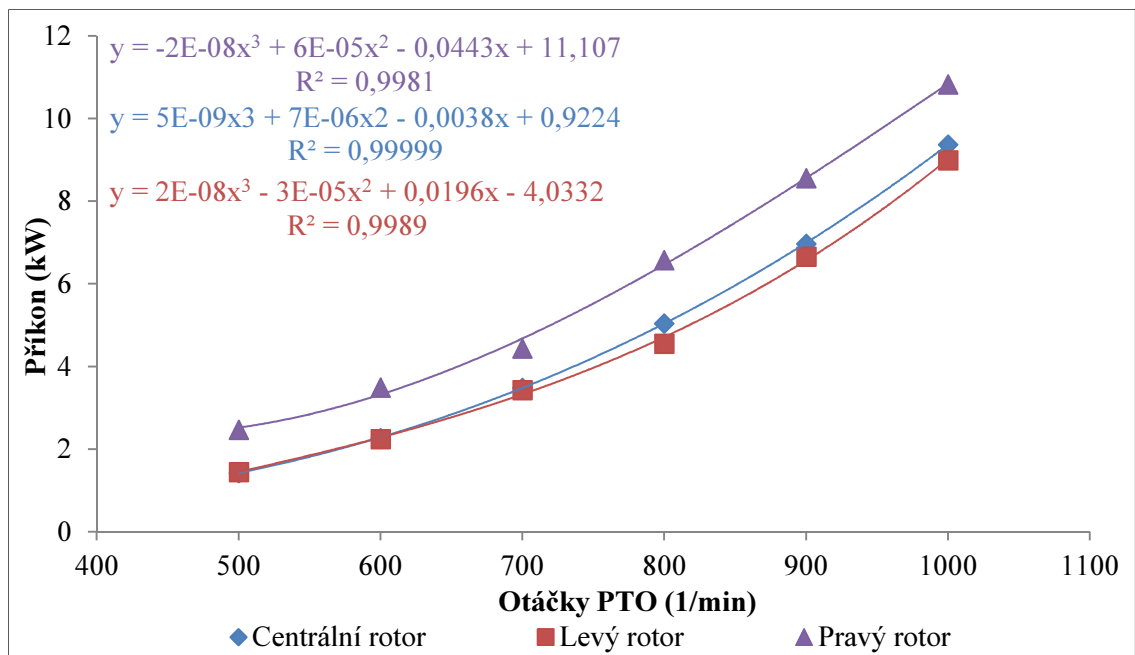
Tabulka 8 Souhrn naměřených výsledků při měření naprázdno

| Parametr | Otáčky PTO (1/min) | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 |
| Čas měření (s) | 61,51 | 59,80 | 62,60 | 64,29 | 61,51 | 61,51 |
| Celková spotřeba paliva (l) | 0,08 | 0,12 | 0,14 | 0,20 | 0,24 | 0,31 |
| Hodinová spotřeba paliva (l/h) | 4,67 | 7,32 | 8,33 | 11,25 | 14,33 | 18,26 |
| Průměrný točivý moment (Nm) | 102,09 | 127,50 | 155,04 | 193,09 | 235,53 | 278,78 |
| Max. točivý moment (Nm) | 107,92 | 143,34 | 162,24 | 204,19 | 242,22 | 288,14 |
| Min. točivý moment (Nm) | 96,79 | 110,68 | 146,98 | 184,40 | 228,08 | 268,00 |
| Směrodatná odchylka toč. momentu (Nm) | 2,01 | 6,22 | 3,11 | 2,91 | 2,57 | 3,80 |
| Průměrné otáčky (1/min) | 502,08 | 599,13 | 691,69 | 800,00 | 901,53 | 998,45 |
| Max. otáčky (1/min) | 509,53 | 608,39 | 699,35 | 808,37 | 911,30 | 1009,58 |
| Min. otáčky (1/min) | 495,44 | 589,98 | 682,68 | 790,69 | 892,83 | 986,54 |
| Směrodatná odchylka otáček (1/min) | 1,75 | 2,52 | 2,16 | 2,64 | 2,35 | 3,04 |
| Průměrný příkon (kW) | 5,37 | 8,00 | 11,23 | 16,18 | 22,24 | 29,15 |
| Max. příkon (kW) | 5,72 | 9,00 | 11,73 | 17,15 | 23,00 | 30,15 |
| Min. příkon (kW) | 5,04 | 6,95 | 10,66 | 15,42 | 21,51 | 28,06 |
| Směrodatná odchylka příkonu (kW) | 0,11 | 0,39 | 0,23 | 0,25 | 0,25 | 0,40 |

Dále byl příkon mulčovače při měření 2 a 3 rozdělen mezi jednotlivé rotory. Na obrázku 56 lze vidět průběh točivého momentu a na obrázku 57 průběh příkonu na jednotlivých rotorech. Při 1000 1/min odebírá pravý rotor o 13,9 Nm a 1,46 kW více než centrální rotor, zatímco levý rotor odebírá o 3,6 Nm a 0,37 kW méně než centrální rotor. Příčinou jsou pravděpodobně rozdílné mechanické ztráty v pohonu rotorů.

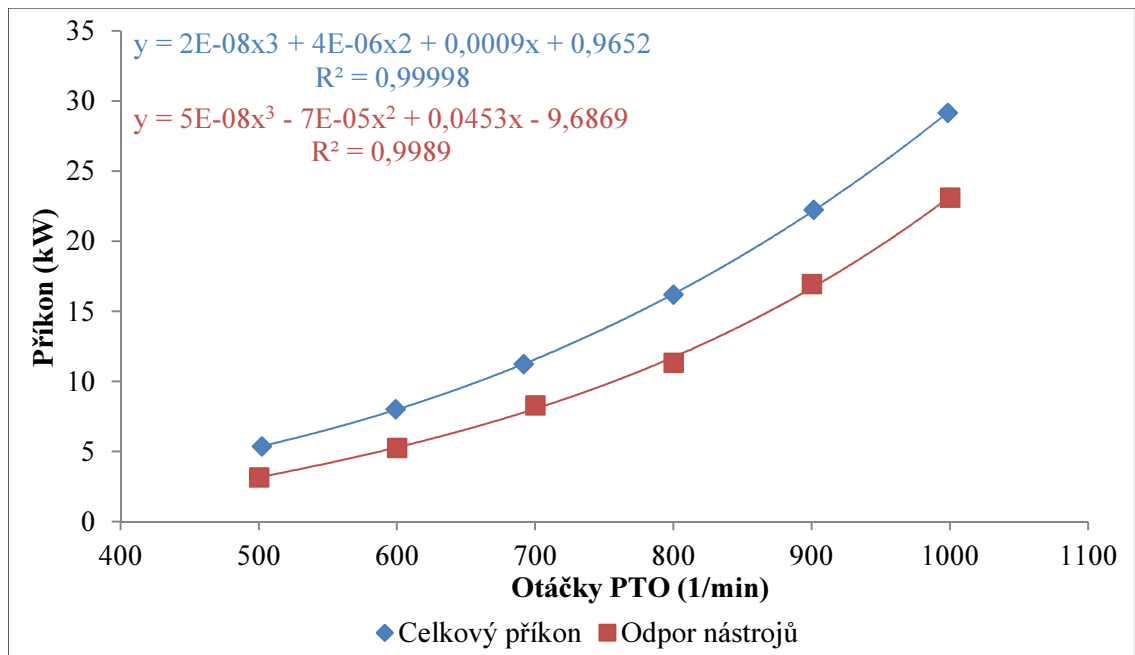


Obrázek 56 Průběh točivého momentu na jednotlivých rotorech



Obrázek 57 Průběh příkonu na jednotlivých rotorech

Při měření 4 byl stanoven vliv aerodynamického odporu žacích nástrojů připojením levého rotoru bez nástrojů. Na obrázku 58 je poměrově dopočtený příkon, potřebný na překonávání aerodynamického odporu žacích nástrojů pro celý stroj a celkový příkon mulčovače naprázdno. Je patrné, že aerodynamický odpor nástrojů vyžaduje při pracovních otáčkách 1000 1/min přibližně 79,2 % celkové energie.



Obrázek 58 Průběh příkonu, potřebného na překonání aerodynamického odporu nástrojů a příkonu celého stroje při chodu naprázdno

4.1.3. Dílčí závěr

V této části práce byla určena **energetická náročnost** mulčovače s vertikální osou rotace. Byla vytvořena závislost odebíraného výkonu, měrné spotřeby energie a jednotkové spotřeby paliva na hmotnostní výkonnosti stroje. Při měřicích jízdách se odebíraný výkon pohyboval v závislosti na podmínkách mezi 10,4 – 22,6 kW/m záběru stroje. Dále byla určena energetická náročnost mulčovače při souvislé práci na trvalém travním porostu. Bylo zjištěno, že průměrná hodnota příkonu za daných podmínek činila přibližně 80 kW, přičemž špičkové hodnoty příkonu dosahovaly téměř 150 kW. Tyto údaje budou využity mimo jiné v projektu TAČR (TA03010138). Dále bylo zjištěno, že za daných podmínek mulčovač pracuje nejefektivněji přibližně při výkonnosti 30 t/h. Na spotřebě paliva se toto ovšem neprojevovalo, jelikož spotřeba paliva závisí na mnoha dalších proměnných. Dále byla zjištěna přímá souvislost mezi výkonností resp. výnosem travní hmoty a odebíraným výkonem z vývodového hřídele, spotřebou paliva a produkcí škodlivých emisí. Tato data budou použita jako referenční při dalších měřeních. Z pohledu snižování energetické náročnosti vyplývá z literární rešerše několik možností. První z nich je snížení řezné rychlosti na úroveň, udávanou v literatuře jako výhodnou, což je v rozmezí 60-90 m/s. Při snížení řezné rychlosti musí být však zachována kvalita práce. Další možností jak snížit energetickou náročnost práce mulčovače s vertikální osou rotace je

modifikace tvaru nástroje. V tomto smyslu byl vzat v úvahu především úhel čela, který by měl zefektivnit řez, čímž by měl přispět ke snížení rezné energie. Literární zdroje uvádějí jako výhodný pro řez bez protiostrí úhel čela $15^\circ - 30^\circ$.

Z pohledu **energetických ztrát** bylo zjištěno, že k jejich pokrytí je v současné době zapotřebí téměř 30 kW, přičemž až 80 % těchto ztrát je při pracovních otáčkách mulčovače spotřebováno pro vytvoření ventilačního efektu. Zde se tedy pravděpodobně nachází největší potenciál ke snížení energetických ztrát a tím energetické náročnosti stroje. Tyto ztráty jsou velice významnou složkou celkového příkonu stroje zvláště při mulčování porostu s nízkým hmotnostním výnosem (např. pastviny). Snížení aerodynamického odporu lze dosáhnout několika způsoby. Snížením obvodové rychlosti pracovních nástrojů, úpravou tvaru nástrojů, především úhlu plachetky, která se nejvyšší měrou podílí na aerodynamických ztrátách, úpravou tvaru krytů k zajištění lepšího proudění v pracovním prostoru mulčovače, případně kombinací přechozích možností.

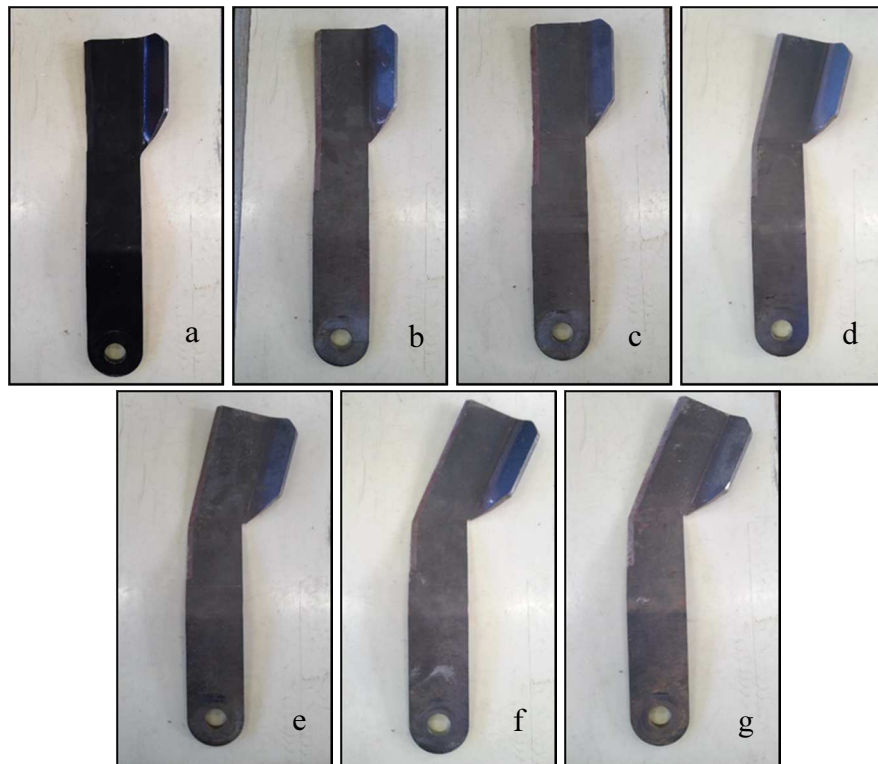
4.2. Návrh možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače

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

Ostatní autoři se z pohledu tvaru žacího nástroje věnují zejména úhlu broušení, úhlu čela nástroje, tloušťce nástroje, případně různým tvarům břitu (viz kapitola 1). Během provedených měření byl zjištěn vysoký aerodynamický odpor žacích nástrojů. Tento účinek je do značné míry připisován plachetce nástroje, která tvoří velkou část čelní plochy nástroje a vytváří ventilační efekt. Z důvodu proveditelnosti experimentálního ověření byly při návrhu vzaty v úvahu pouze úhel čela, úhel plachetky nástroje a prodloužení ostří. Úhel čela ovlivňuje především energii řezu a podle literatury je nejvýhodnější v rozmezí $15^\circ - 30^\circ$, úhel plachetky ovlivňuje především aerodynamický odpor nástrojů změnou čelní plochy nástroje.

Bylo navrženo celkem šest variant nástrojů (obr. 59). U navržených nástrojů byl volen úhel čela (θ) 0° , 15° a 25° a úhel plachetky (α) 25° a 35° (výkresy rozvinutých polotovarů jsou v příloze 1). 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°).

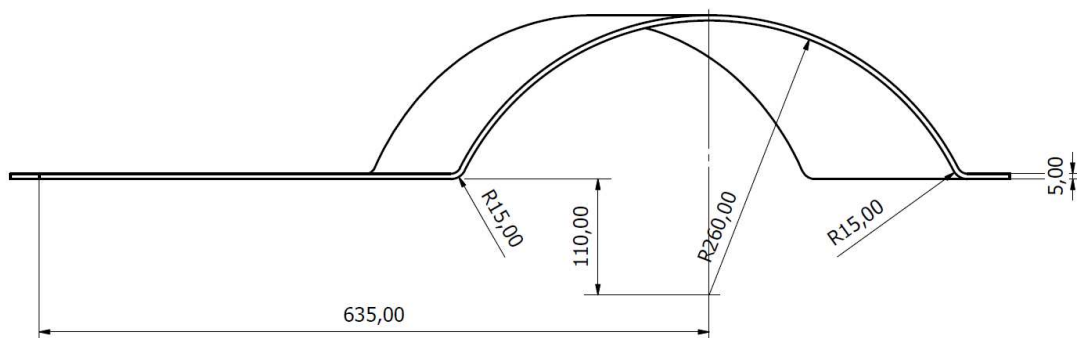


Obrázek 59 Originální a navržené pracovní nástroje (a – 0X45 – originální, b – 0X35, c – 0X25, d – 15X35, e – 15X25, f – 25X35, g – 25X25)

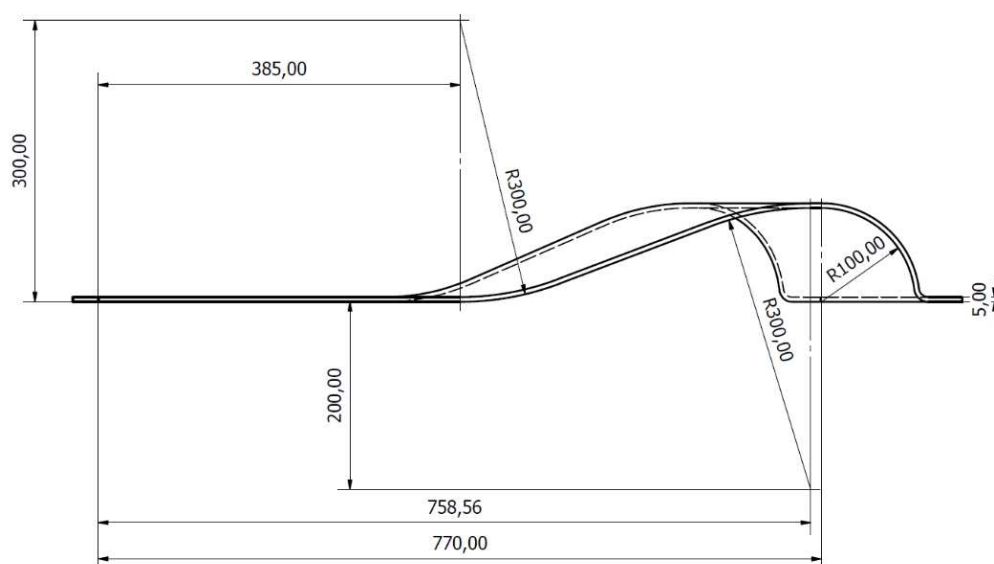
4.2.2. Tvar zakrytování pracovního prostoru

Tvar zakrytování má podle [13] 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 s cílem zlepšit proudění vzduchu v pracovním prostoru. 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. Navržené tvary jsou „toroid“

(obr. 60) a „kapka“ (obr. 61). Z bezpečnostních a finančních důvodů byly tyto tvary krytů testovány pouze na laboratorním modelu a nikoliv v polních podmínkách.



Obrázek 60 Navržený tvar zakrytování – „toroid“



Obrázek 61 Navržený tvar zakrytování – „kapka“

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.

4.2.4. Dílčí závěr

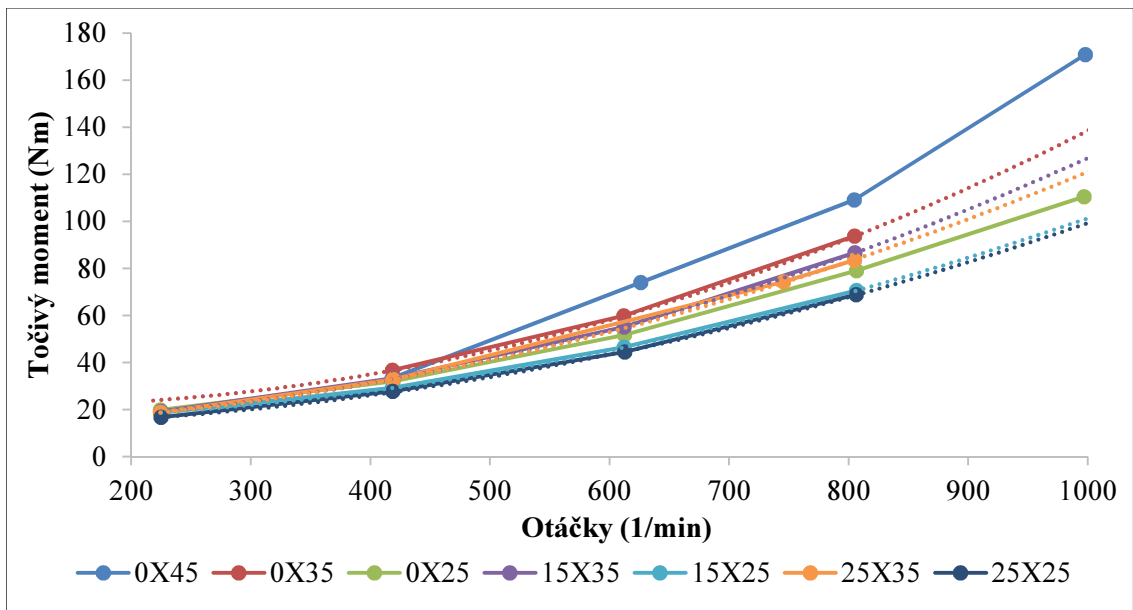
Navržené možnosti ke snížení energetické náročnosti mulčovače jsou zaměřeny na snížení jeho energetických ztrát a snížení energie řezu. Energetické ztráty by měly být sníženy za použití nástrojů s nižším úhlem plachetky, který sníží aerodynamický odpor nástrojů, dále za použití navržených tvarů zakrytování pracovního prostoru, které by měly zlepšit proudění vzduchu v pracovním prostoru mulčovače. Energie řezu by měla být snížena především použitím nástrojů s větším úhlem čela. Řezná rychlost ovlivňuje oba parametry, energetické ztráty i energii řezu.

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

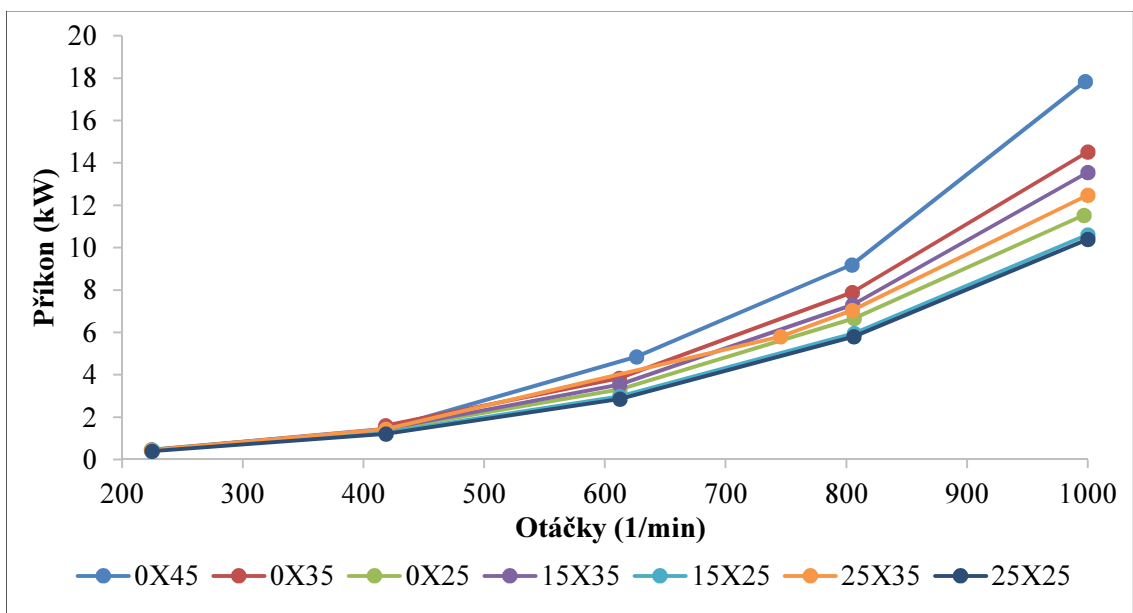
V této kapitole je popsán vliv jednotlivých možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače. Je vyhodnocen vliv na energetické ztráty, energetickou náročnost stroje při práci a kvalitu práce. Pořadí, v jakém jsou prezentovány výsledky, odpovídá kapitole 3.3.

4.3.1. Měření v laboratorních podmínkách

Při experimentálním ověřování navržených možností ke snížení energetické náročnosti mulčovače byl nejprve stanoven jejich vliv na **energetické ztráty**. Ztráty mulčovače byly nejprve stanoveny na laboratorním modelu. Na obrázku 62 je znázorněn točivý moment v závislosti na otáčkách pro jednotlivé tvary pracovních nástrojů a rovné kryty pracovního prostoru. Je patrné, že točivý moment vzrůstá s druhou mocninou rychlosti otáčení, což je dáno odporem vzduchu. Na obrázku 63 je zobrazen průběh příkonu v závislosti na otáčkách rotoru modelu pro jednotlivé tvary nástrojů a rovný kryt pracovního prostoru. Je vidět, že příkon se zvyšuje s třetí mocninou otáček. Dále si lze povšimnout, že u většiny měřených variant nebylo z bezpečnostních důvodů dosaženo 1000 1/min, jelikož zrychlení vibrací na středu rámu dosahovalo ve vektorovém součtu až 12 g (viz níže).

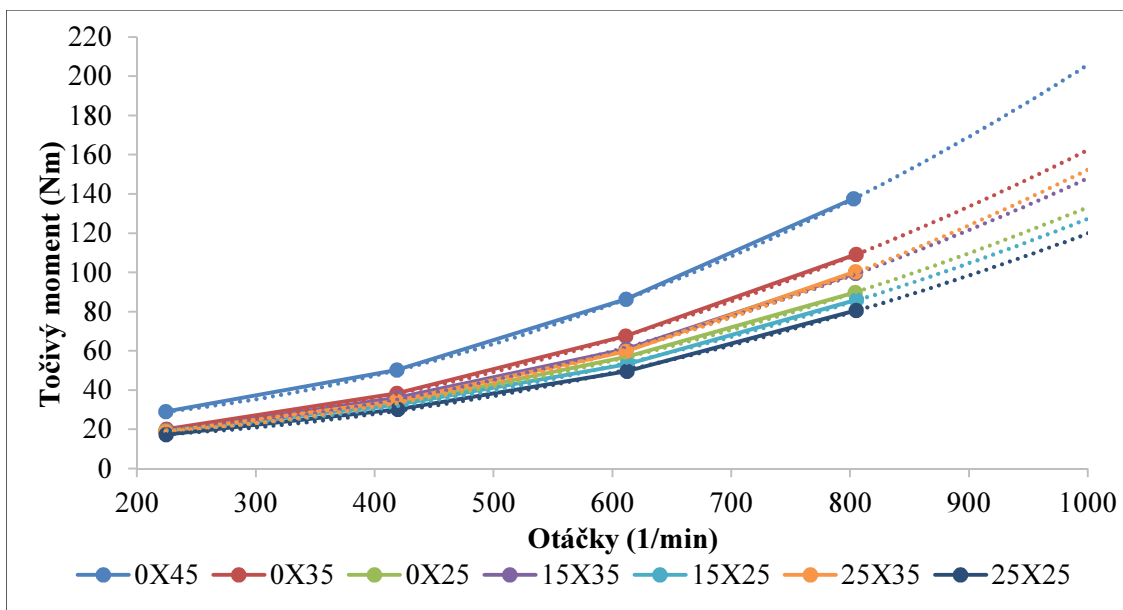


Obrázek 62 Točivý moment v závislosti na otáčkách – rovný kryt

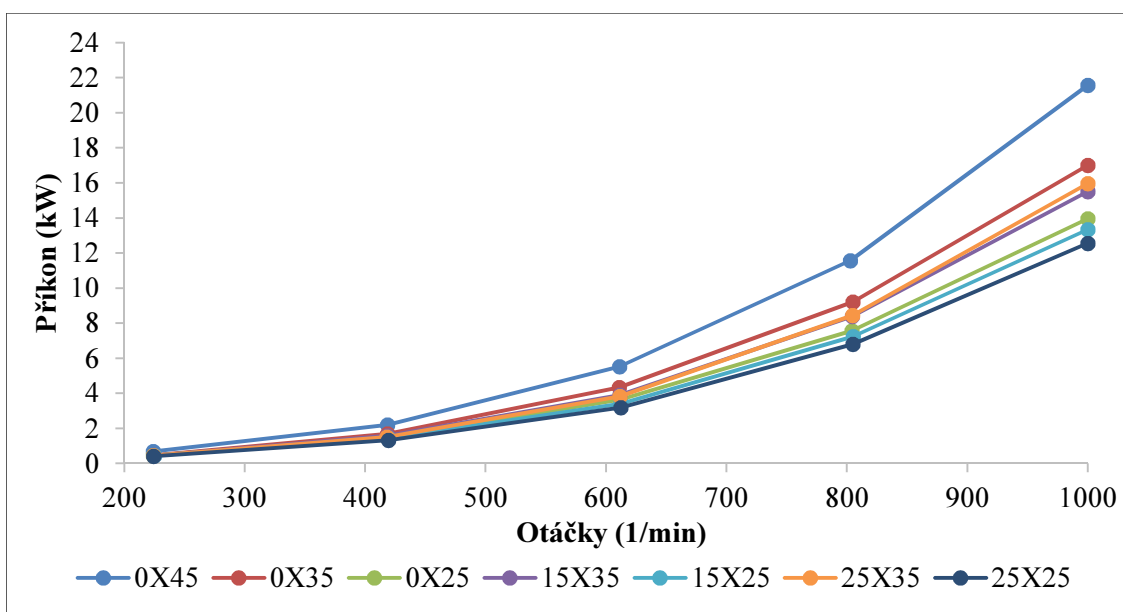


Obrázek 63 Příkon v závislosti na otáčkách – rovný kryt

Na obrázku 64 a 65 je znázorněn průběh točivého momentu a příkonu v závislosti na otáčkách pro tvar krytů ve tvaru „toroid“. Pro tvar krytů ve tvaru „kapka“ je průběh točivého momentu a příkonu v závislosti na otáčkách rotoru znázorněn na obrázku 66 a 67.

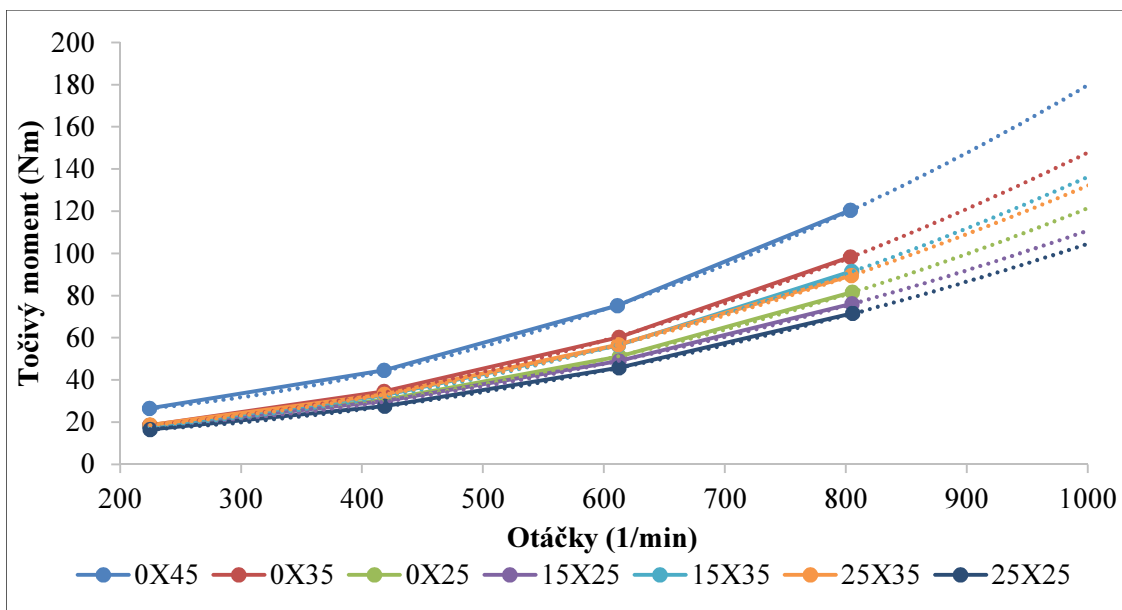


Obrázek 64 Točivý moment v závislosti na otáčkách – kryt ve tvaru „toroid“

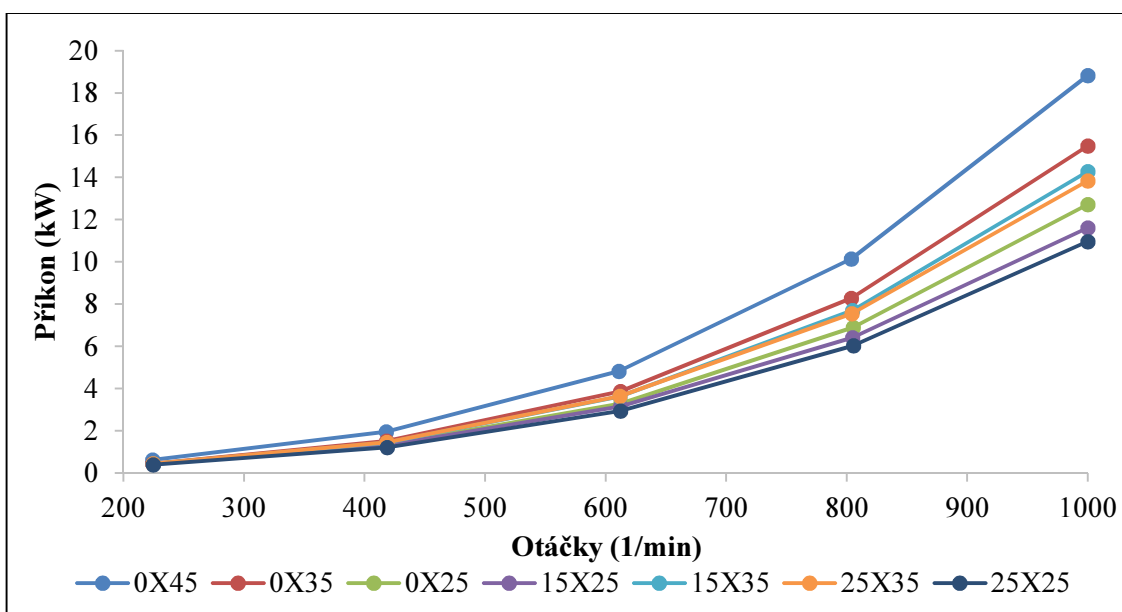


Obrázek 65 Příkon v závislosti na otáčkách – kryt ve tvaru „toroid“

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.

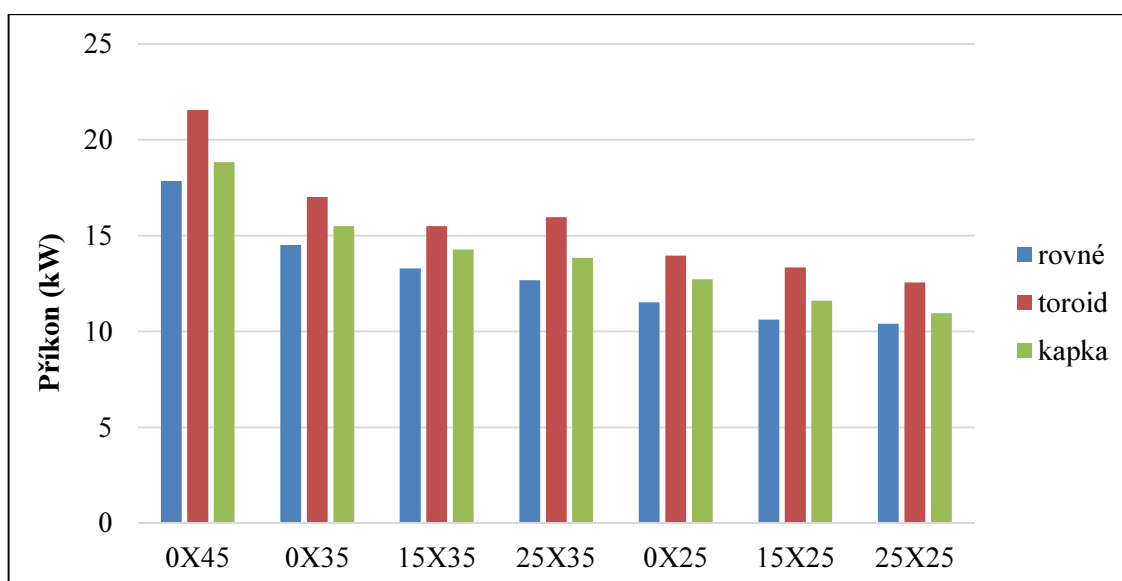


Obrázek 66 Točivý moment v závislosti na otáčkách – kryt ve tvaru „kapka“

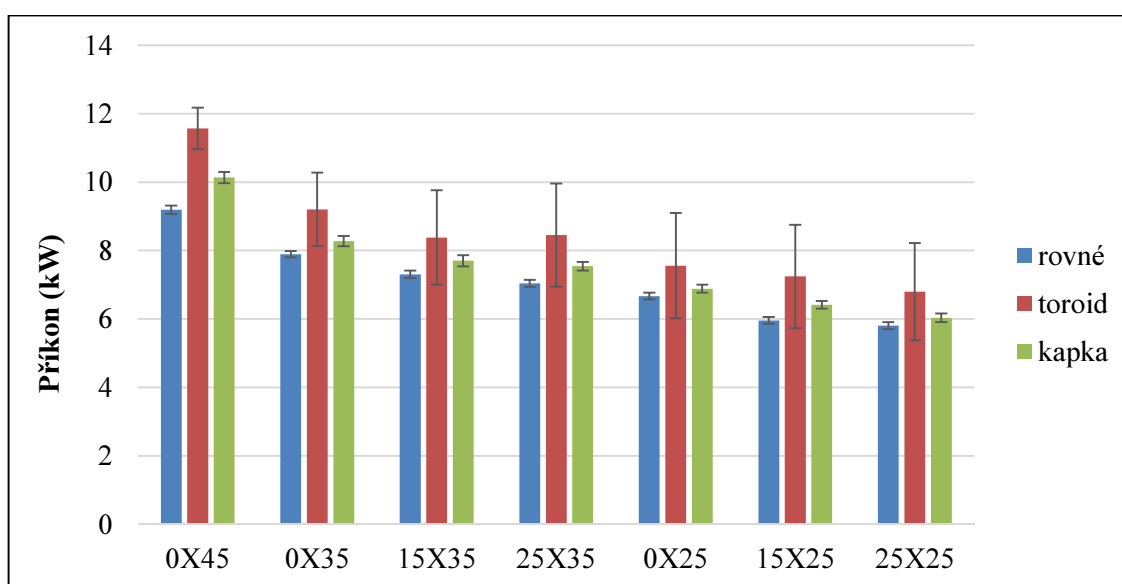


Obrázek 67 Příkon v závislosti na otáčkách – kryt ve tvaru „kapka“

Na obrázku 68 je uvedeno porovnání příkonu pro jednotlivé varianty při 1000 1/min a na obrázku 69 při 800 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 68 Porovnání příkonu pro jednotlivé varianty při 1000 1/min (dopočtené hodnoty)



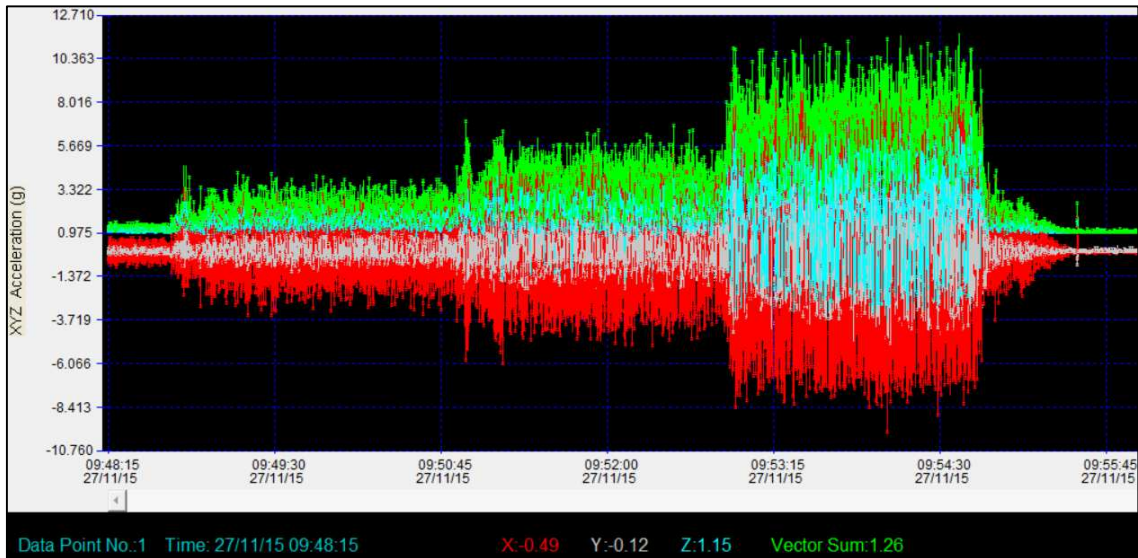
Obrázek 69 Porovnání příkonu pro jednotlivé varianty při 800 1/min

Při měření na laboratorním modelu nebylo z důvodu bezpečnosti možné, u většiny tvarů pracovního nástroje, dosáhnout 1000 1/min, protože zrychlení vibrací rámu dosahovalo ve špičkových hodnotách vektorového součtu více než 12 g (obr. 70). 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 tento odpor roste s druhou mocninou rychlosti pohybu (5).

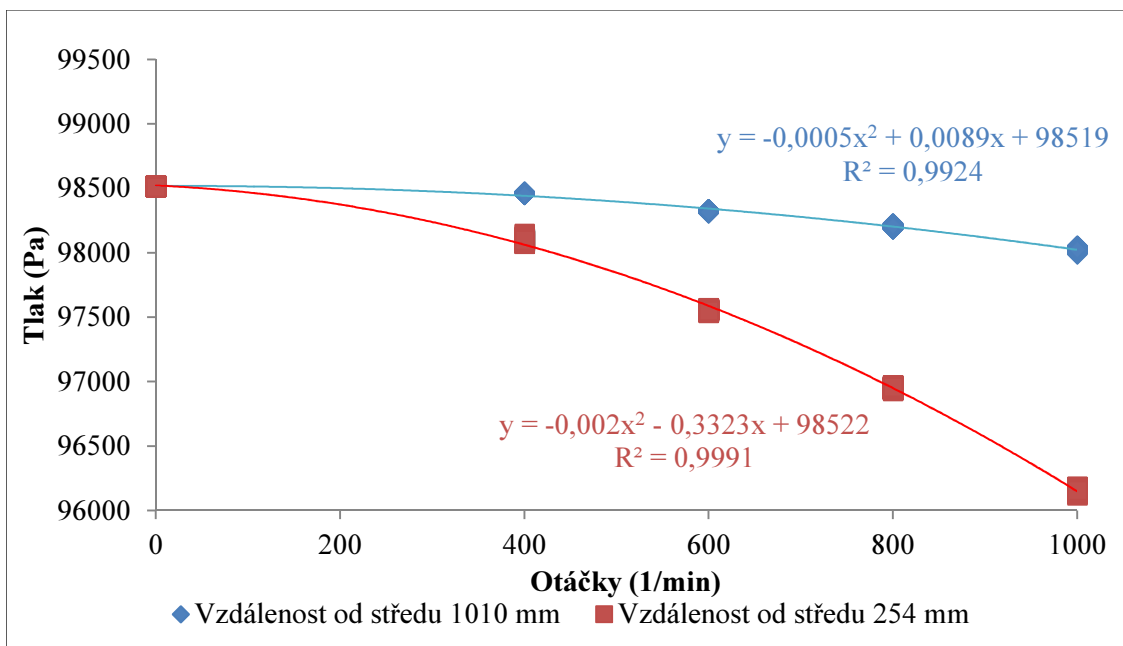
$$F = C_x \frac{1}{2} \rho v^2 S \quad (5)$$

- F – síla odporu vzduchu (N)
- C_x – součinitel odporu vzduchu (-)
- ρ – hustota vzduchu (kg/m^3)
- v – relativní rychlost pohybu vzduchu vůči objektu (m/s)
- S – čelní plocha (m^2)

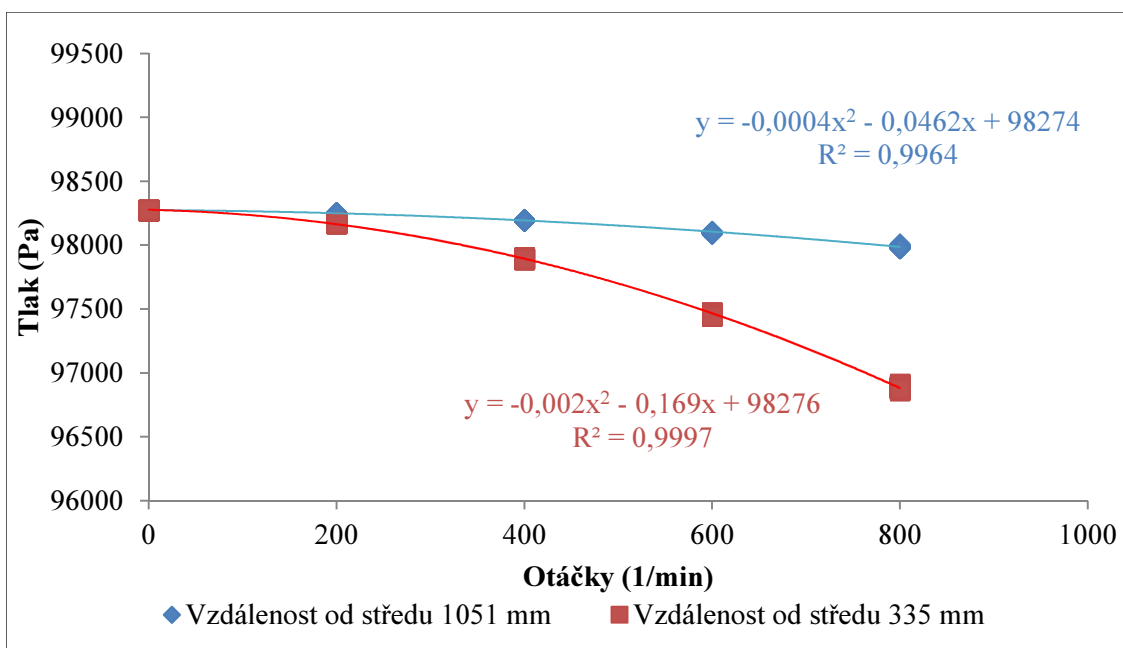


Obrázek 70 Průběh zrychlení vibrací v jednotlivých osách a ve vektorovém součtu při měření originálních nástrojů (OX45) při otáčkách rotoru 200, 400, 600 a 800 1/min

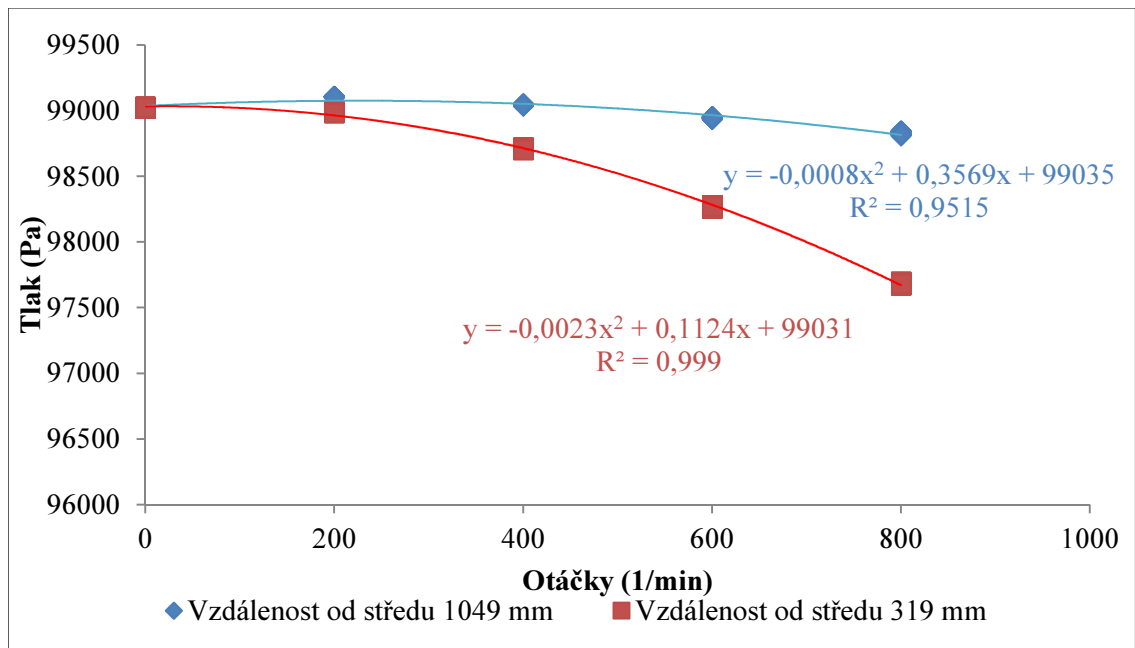
Při měření na laboratorním modelu bylo dále zjištěno, že v pracovním prostoru mulčovače je pohybem pracovních nástrojů tvořen podtlak, který se zvyšuje od obvodu rotoru směrem k jeho středu. Na obrázku 71, 72 a 73 jsou znázorněny závislosti tlaku v pracovním prostoru modelu mulčovače na otáčkách pro kryty rovné, kryty ve tvaru „toroid“ a kryty ve tvaru „kapka“. Je patrné, že nejvyšší podtlak vzniká při použití rovných krytů, přičemž tlak klesá s druhou mocninou otáček.



Obrázek 71 Závislost tlaku uvnitř pracovního prostoru modelu mulčovače s rovnými kryty

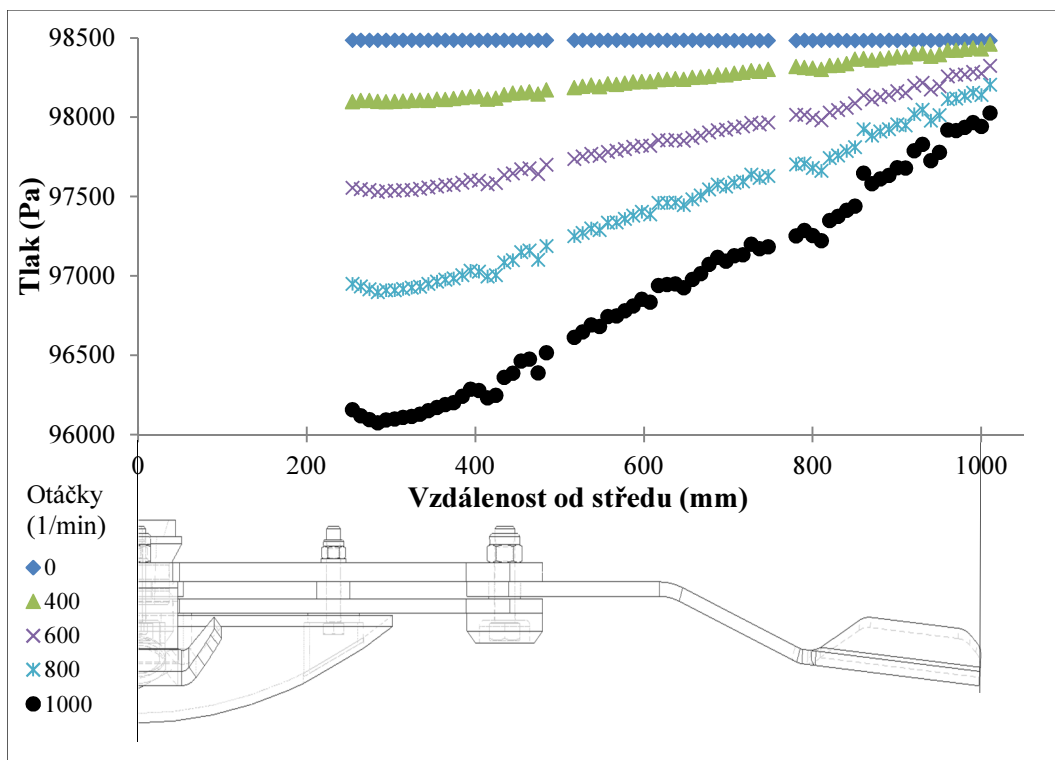


Obrázek 72 Závislost tlaku uvnitř pracovního prostoru modelu mulčovače s kryty ve tvaru „toroid“

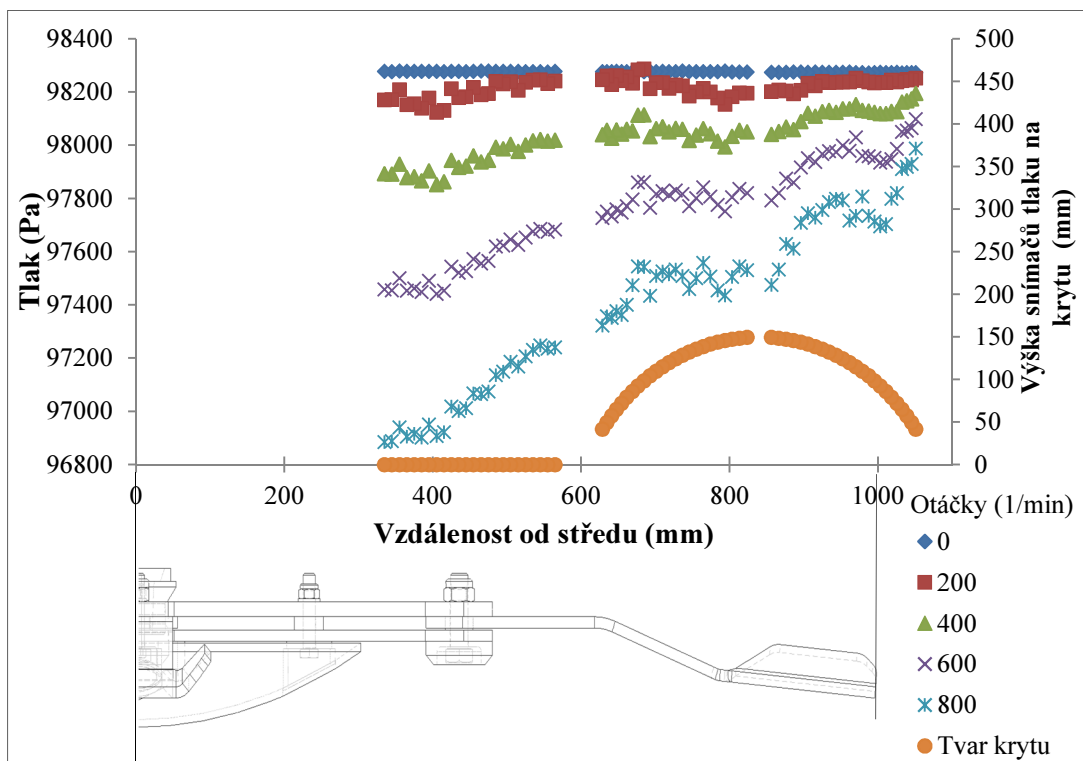


Obrázek 73 Závislost tlaku uvnitř pracovního prostoru modelu mulčovače s kryty ve tvaru „kapka“

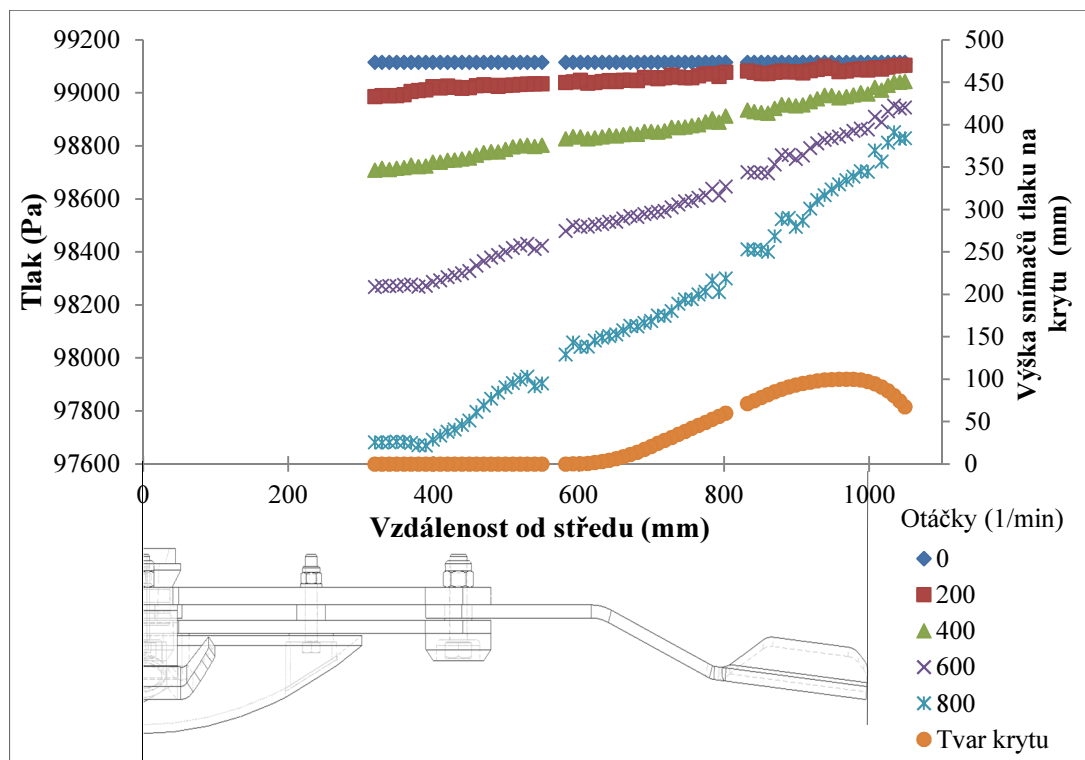
Dále jsou na obrázku 74, 75 a 76 závislosti průměrných hodnot tlaků uvnitř pracovního prostoru mulčovače na vzdálenosti od středu. Je vidět, že tlak se v závislosti na otáčkách snižuje od obvodu směrem ke středu rotoru téměř lineárně s výjimkou krytů ve tvaru „toroid“. Zde pravděpodobně dochází ke vzniku turbulencí. Hodnotu tlaků může také do jisté míry ovlivňovat poloha snímačů, které byly vždy na vnitřní straně krytů. Protože byl při měření rozdílný tvar krytů, byla rozdílná i poloha snímačů. Dále si lze na obrázcích 74, 75 a 76 povšimnout, že tvar křivek průměrného tlaku pro jednotlivé otáčky je pro stejný tvar krytu velice podobný, liší se pouze v absolutních hodnotách tlaku. Při porovnání průběhů tlaku s výkresem pracovního nástroje, umístěného pod grafem, lze vidět vliv jednotlivých prvků na pracovním nástroji na průběh tlaku, např. zalomení nástroje, plachetka, úchytný šroub apod.



Obrázek 74 Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu modelu mulčovače – rovné kryty



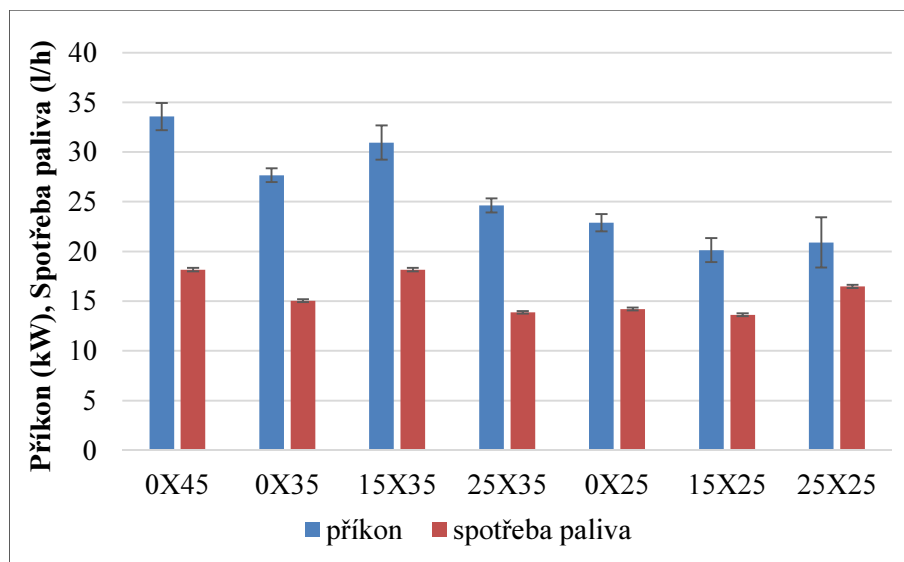
Obrázek 75 Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu modelu mulčovače – kryty ve tvaru „toroid“



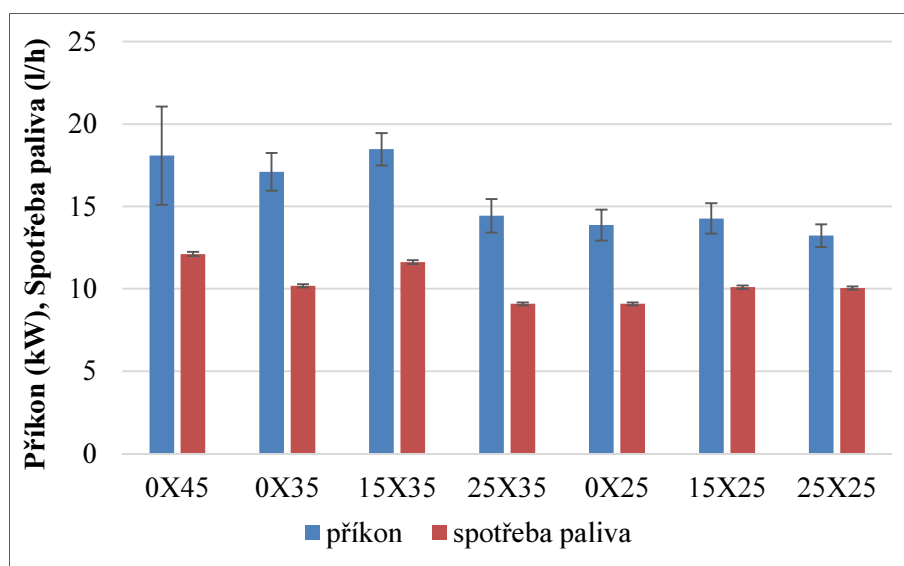
Obrázek 76 Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu modelu mulčovače – kryty ve tvaru „kapka“

4.3.2. Měření v polních podmínkách

Na obrázku 77, 78 a 79 je znázorněn **ztrátový příkon** (chybové úsečky znázorňují velikost směrodatné odchylky) a spotřeba paliva (chybové úsečky znázorňují přesnost přístroje) při běhu mulčovače naprázdno nad strništěm při dodržení pracovní výšky přibližně 5 cm. Průběh výsledků by měl být analogicky shodný s výsledky měření jednotlivých variant nástrojů na laboratorním modelu a měření celého mulčovače při běhu naprázdno, ale lze vidět odchylky, které jsou pravděpodobně způsobeny nahodilými chybami při měření (například hustší strniště, zbytkový materiál v pracovním prostoru mulčovače apod.). Dalším důvodem může být větší spodní plocha u nástrojů s nenulovým úhlem čela, zde může vznikat intenzivnější tření spodní části nástroje o strniště.

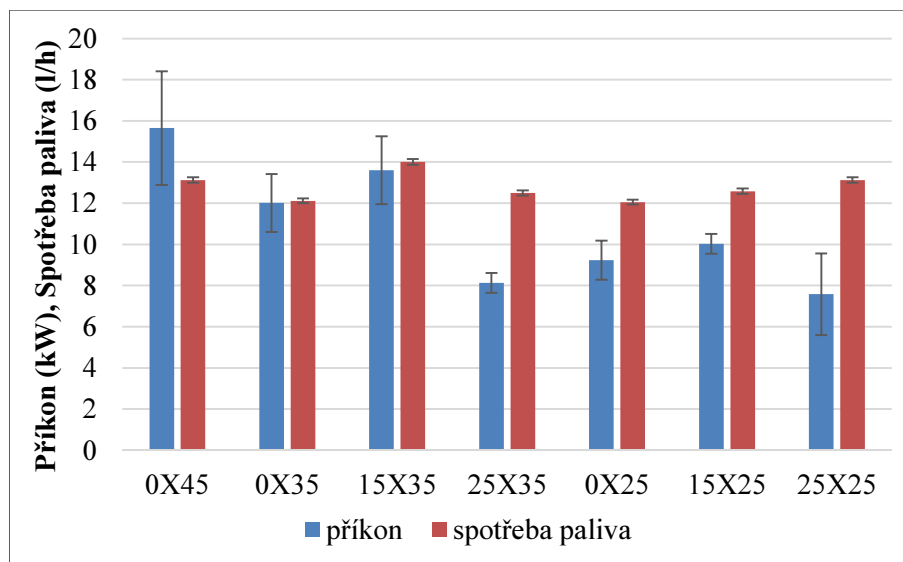


Obrázek 77 Příkon a hodinová spotřeba paliva při běhu mulčovače naprázdno v polních podmínkách při 1000 1/min



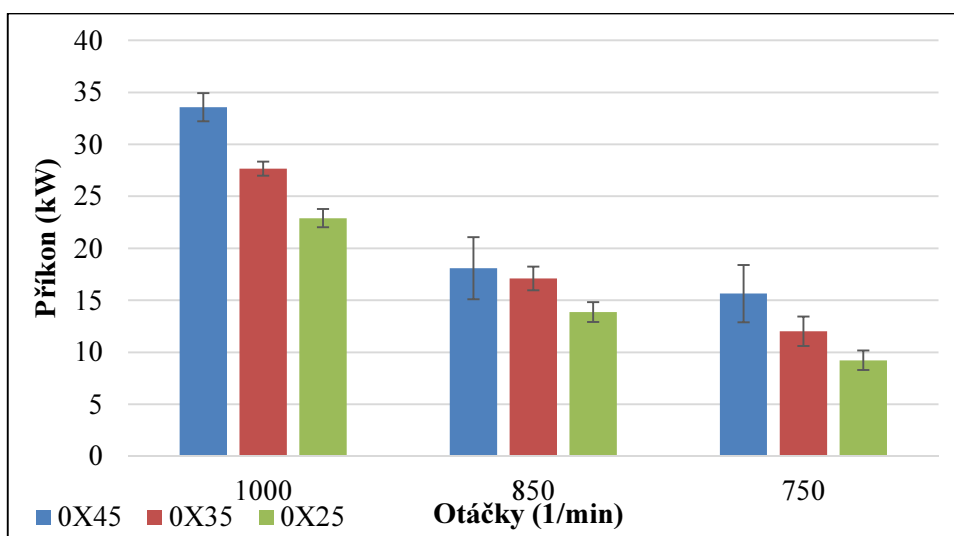
Obrázek 78 Příkon a hodinová spotřeba paliva při běhu mulčovače naprázdno v polních podmínkách při 850 1/min

Spotřeba paliva odpovídá, v závislosti na zatížení a otáčkách motoru, odebíranému výkonu pro pohon stroje. Vyšší spotřeba paliva při otáčkách rotoru 750 1/min (obr. 79) je dána nižším převodovým poměrem od motoru energetického prostředku na jeho vývodový hřídel.

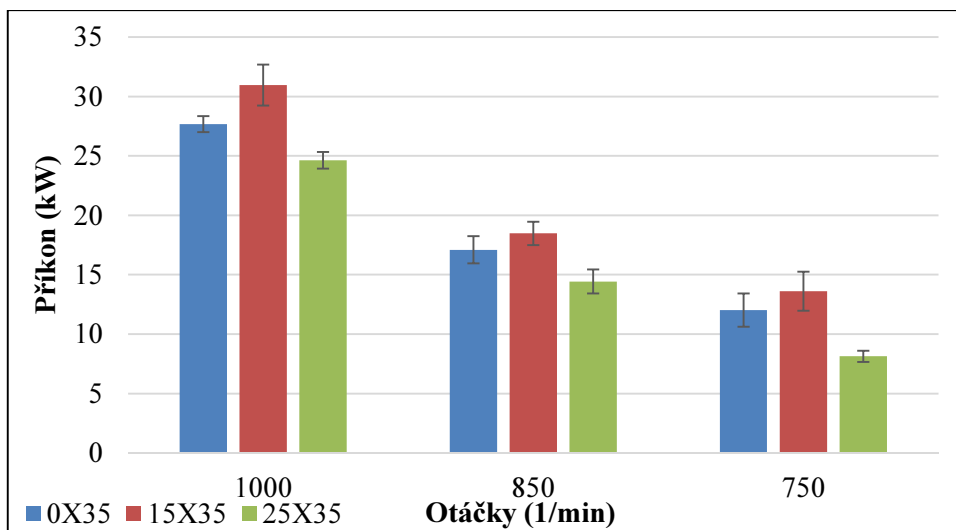


Obrázek 79 Příkon a hodinová spotřeba paliva při běhu mulčovače naprázdno v polních podmínkách při 750 1/min

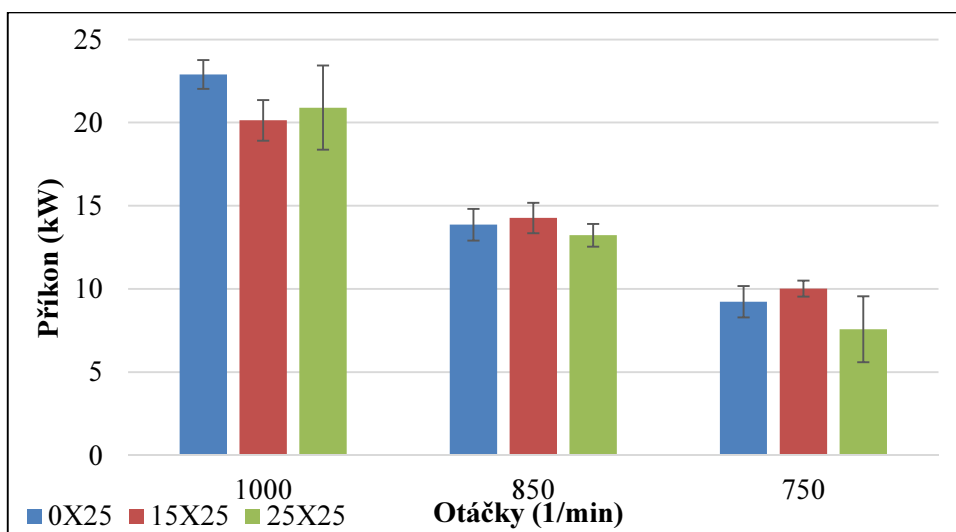
Na obrázku 80 je porovnání nástrojů s nulovým úhlem čela, je vidět, že nižší úhel plachetky má za následek nižší energetické ztráty při všech otáčkách rotoru. Důvod je stejný, jako u laboratorního modelu, a sice menší čelní plocha nástroje a tím nižší odpor vzduchu. Dále je na obrázku 81 a 82 porovnání vlivu zvyšujícího se úhlu čela pro úhly plachetky nástroje 25° a 35°. Zde jsou 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 v daných podmínkách, jako úhel plachetky.



Obrázek 80 Porovnání příkonu při běhu naprázdno pro nástroje 0X45, 0X35 a 0X25

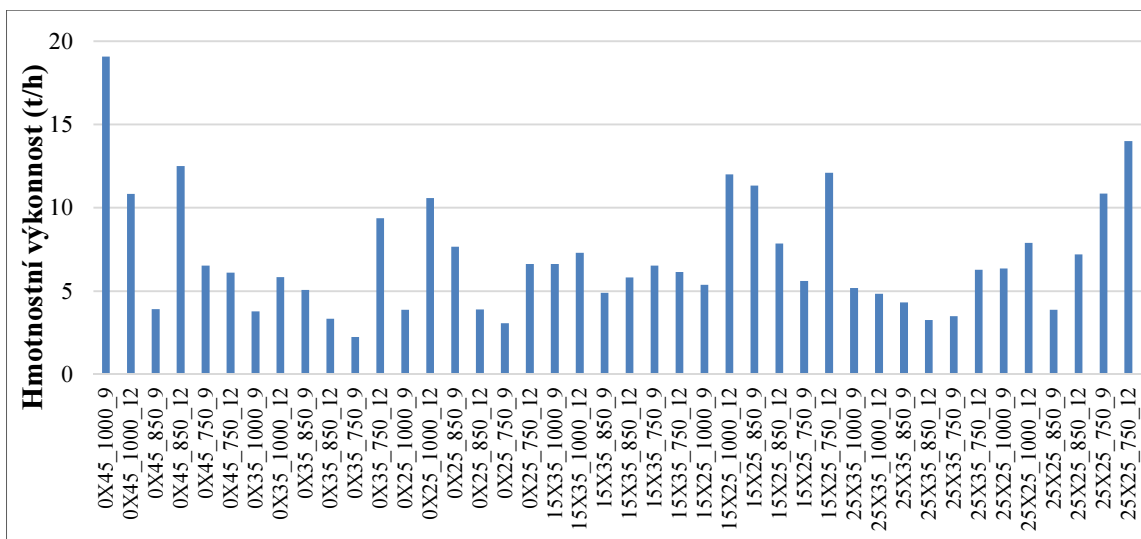


Obrázek 81 Porovnání příkonu při běhu naprázdno pro nástroje 0X35, 15X35 a 25X35



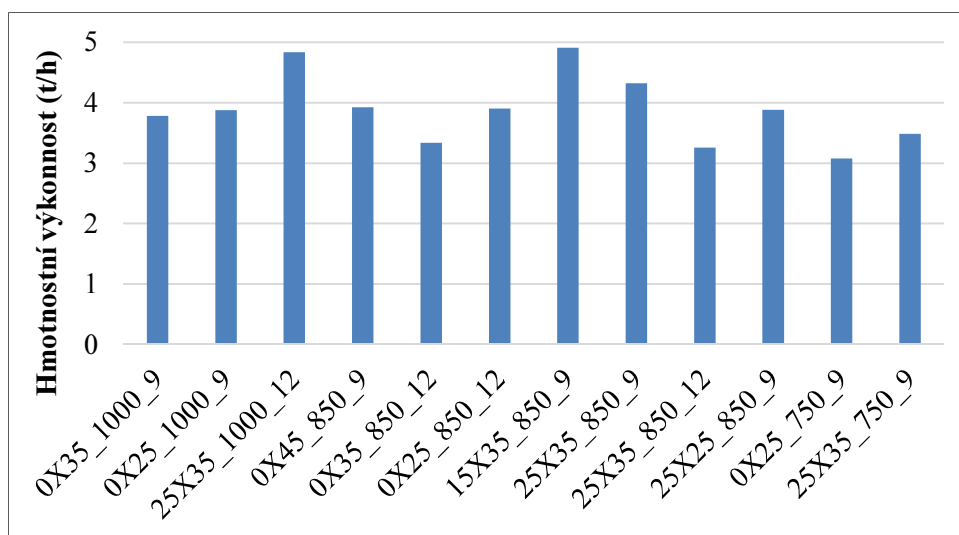
Obrázek 82 Porovnání příkonu při běhu naprázdno pro nástroje 0X25, 15X25 a 25X25

Na obrázku 83 je uvedena dosažená hmotnostní výkonnost z jednotlivých měřících jízd. Je vidět, že hmotnostní výkonnost se při jednotlivých jízdách značně odlišuje, 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 [11]. Proto lze mezi sebou porovnat pouze jízdy, kde byla dosažena podobná hmotnostní výkonnost stroje, případně jízdy, kde byl dosažen podobný výnos travní hmoty.



Obrázek 83 Průměrná hmotnostní výkonnost při jednotlivých měřících jízdách (tvar nástroje_otáčky (1/min)_rychlost (km/h))

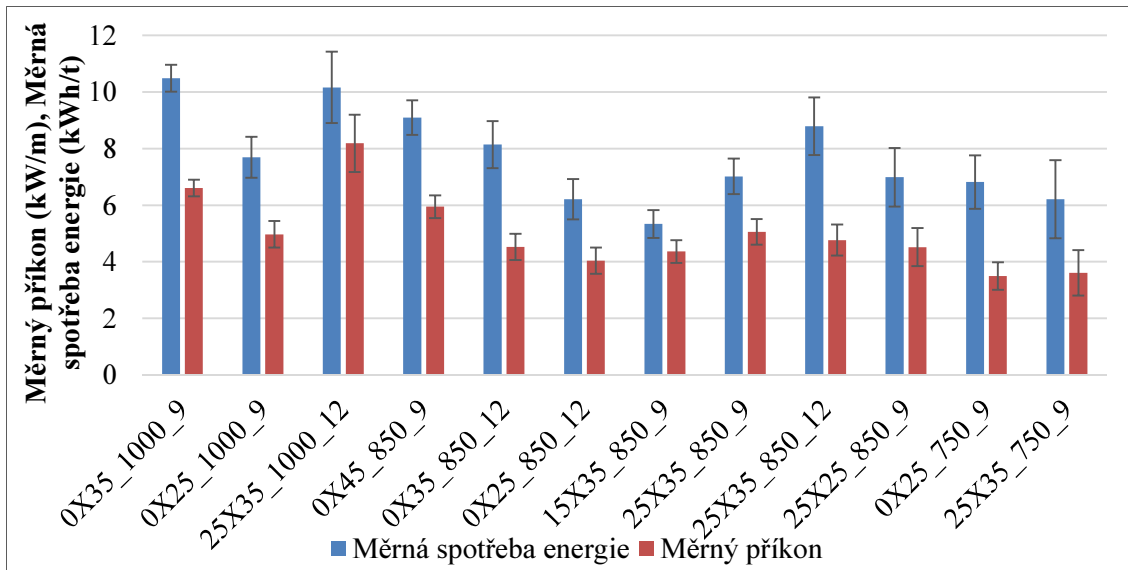
Pro vyhodnocení byly stanoveny intervaly hmotnostní výkonnosti stroje, ve kterých jsou jednotlivé jízdy mezi sebou porovnávány. Intervaly jsou 3-5 t/h, 5-7 t/h, 7-9 t/h, 9-11 t/h a 11 t/h a více. Pod hodnotou výkonnosti 3 t/h se pohybovala pouze jedna varianta (0X35_750_9), proto byla tato varianta z porovnání vyloučena. Porovnávána je především měrná spotřeba energie v kWh/t.



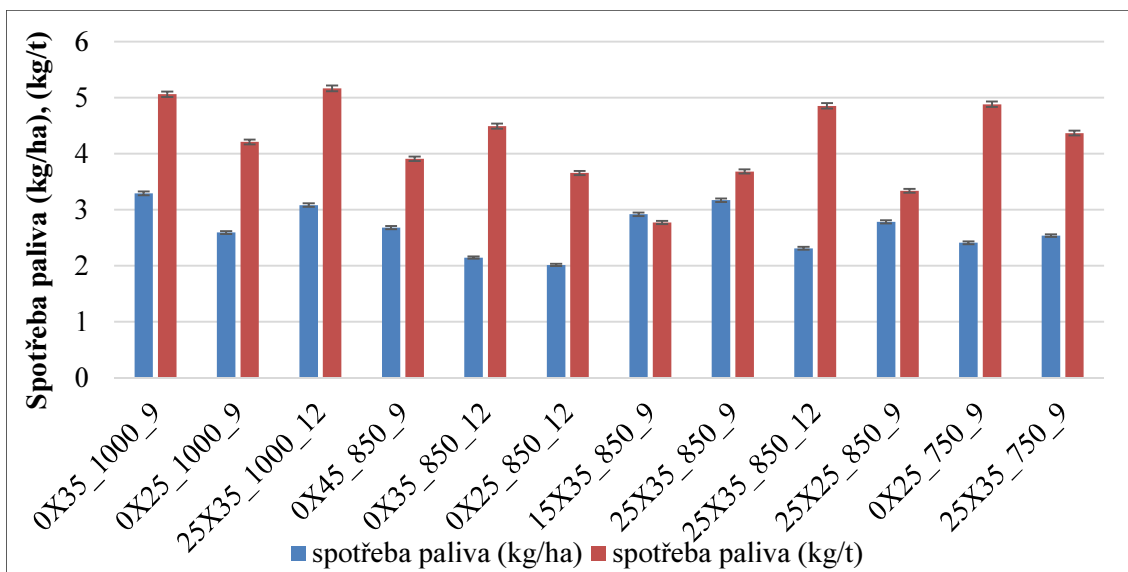
Obrázek 84 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách v intervalu 3-5 t/h

Na obrázku 84 je znázorněna hmotnostní výkonnost stroje při jednotlivých měřících jízdách v intervalu 3-5 t/h. Dále je na obrázku 85 uveden vliv tvaru nožů a otáček rotoru na měrný příkon a měrnou energetickou spotřebu mulčovače (chybové úsečky znázorňují

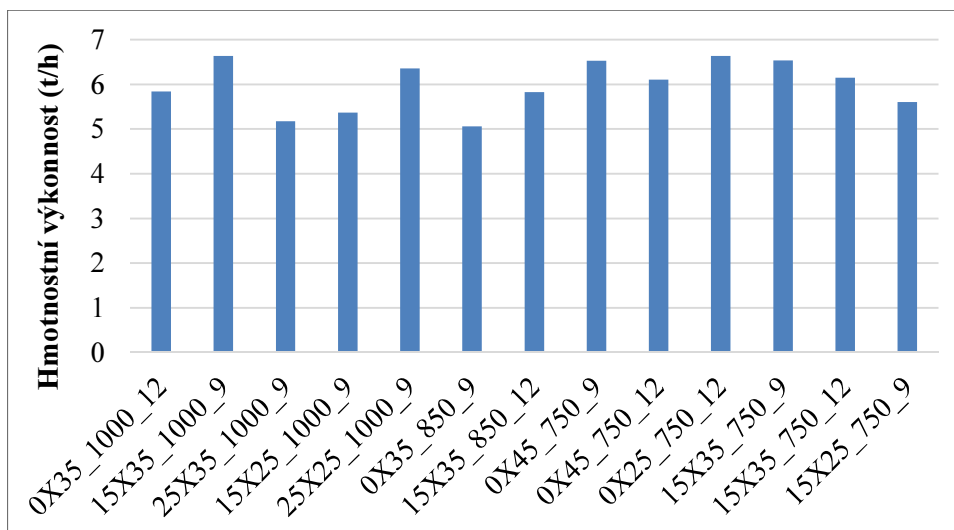
velikost směrodatné odchylky) a na obrázku 86 měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách (chybové úsečky znázorňují přesnost přístroje). Je vidět, že při 1000 1/min dosáhl nižší energetické náročnosti nástroj 0X25, při otáčkách 850 1/min dosáhl nižší hodnoty měrné spotřeby energie nástroj 15X35, při otáčkách 750 1/min byly ve stanoveném intervalu hmotnostní výkonnosti porovnány pouze 2 tvary nástroje, z nichž dosáhl nižší hodnoty měrné spotřeby energie nástroj 25X35.



Obrázek 85 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 3-5 t/h

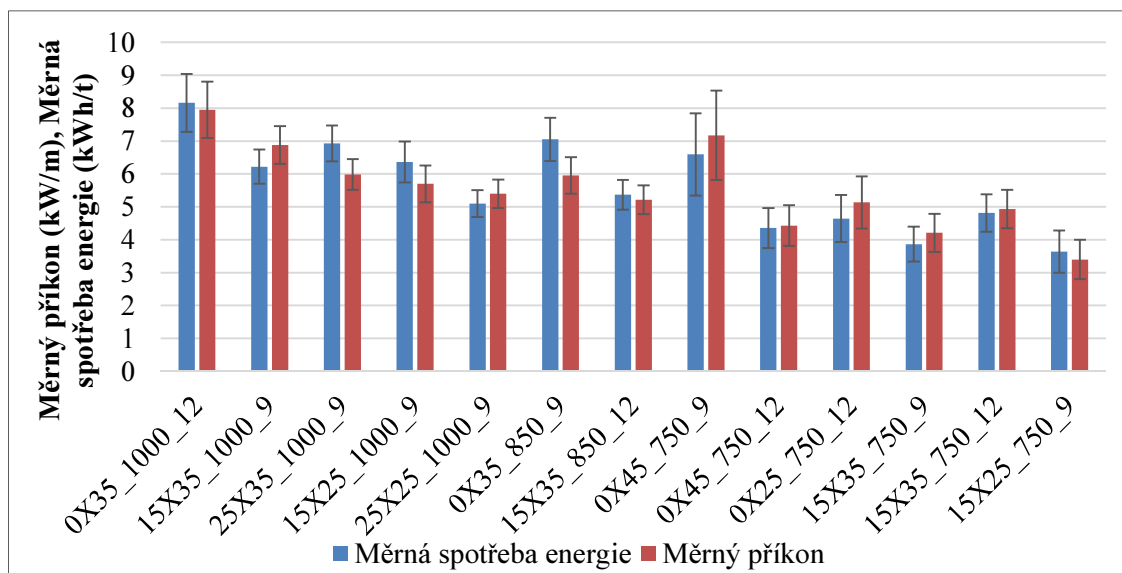


Obrázek 86 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 3-5 t/h



Obrázek 87 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách v intervalu 5-7 t/h

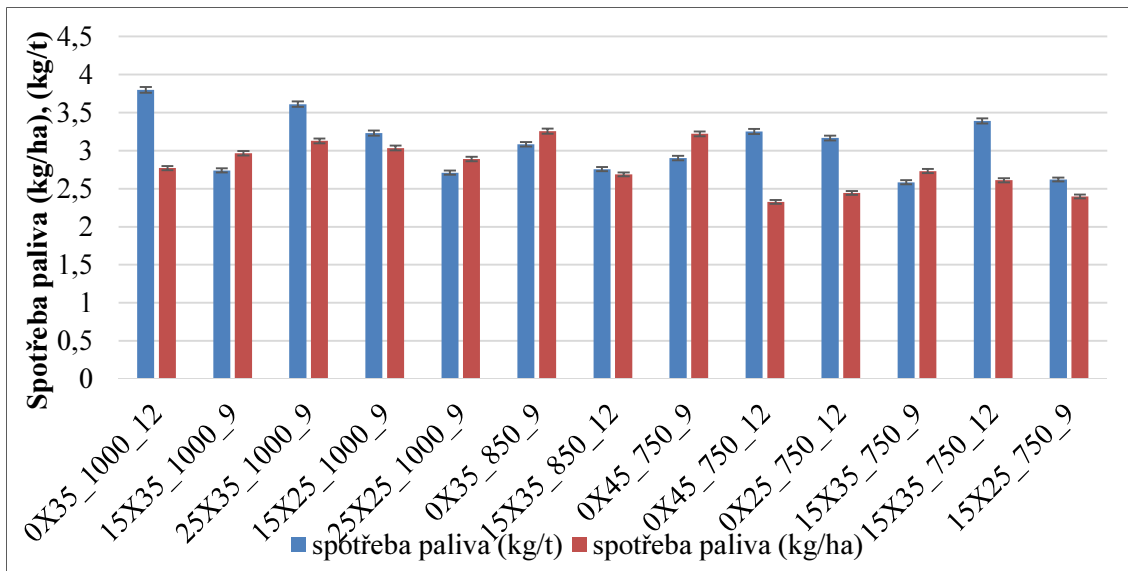
Na obrázku 87 je znázorněna hmotnostní výkonnost stroje z jednotlivých měřících jízd v intervalu 5-7 t/h. Na obrázku 88 je dále uveden měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v daném intervalu hm. výkonnosti (chybové úsečky znázorňují velikost směrodatné odchylky) a na obrázku 89 je měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách (chybové úsečky znázorňují přesnost přístroje).



Obrázek 88 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 5-7 t/h

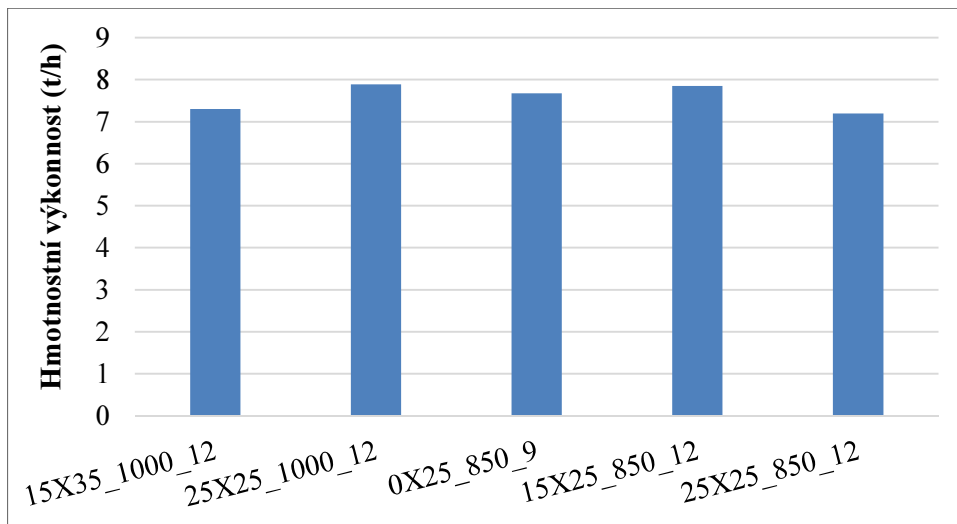
Z obrázků 87, 88 a 89 je patrné, že při 1000 1/min dosáhl ve stanoveném intervalu hmotnostní výkonnosti nižší energetické náročnosti nástroj 25X25, při otáčkách

850 1/min byly ve stanoveném intervalu hmotnostní výkonnosti porovnány pouze 2 tvary nástroje, z nichž dosáhl nižší energetické náročnosti nástroj 15X35, při otáčkách 750 1/min dosáhl nižší energetické náročnosti nástroj 15X25, příznivých hodnot dosáhl také nástroj 15X35.

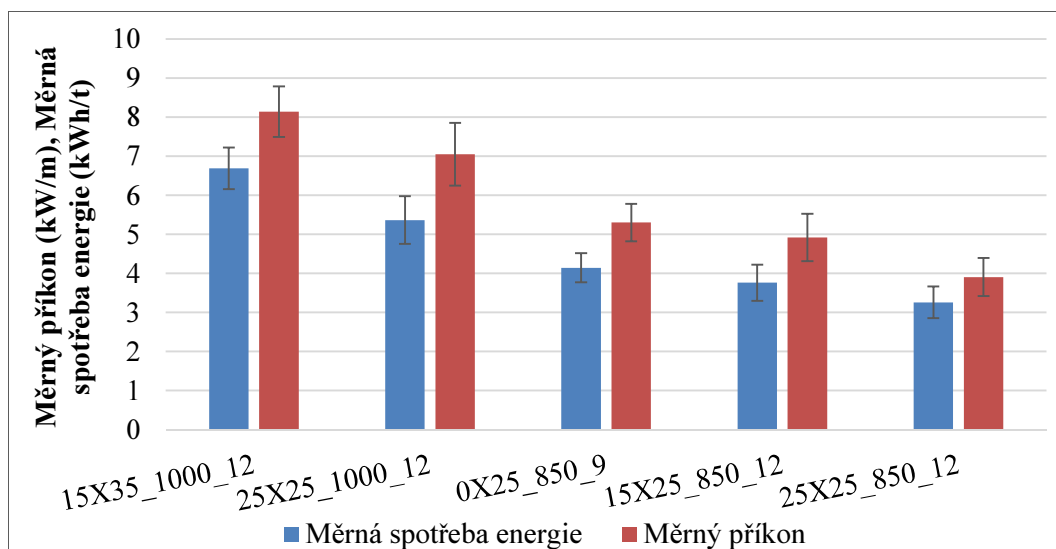


Obrázek 89 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřicích jízdách v intervalu hm. výkonnosti 5-7 t/h

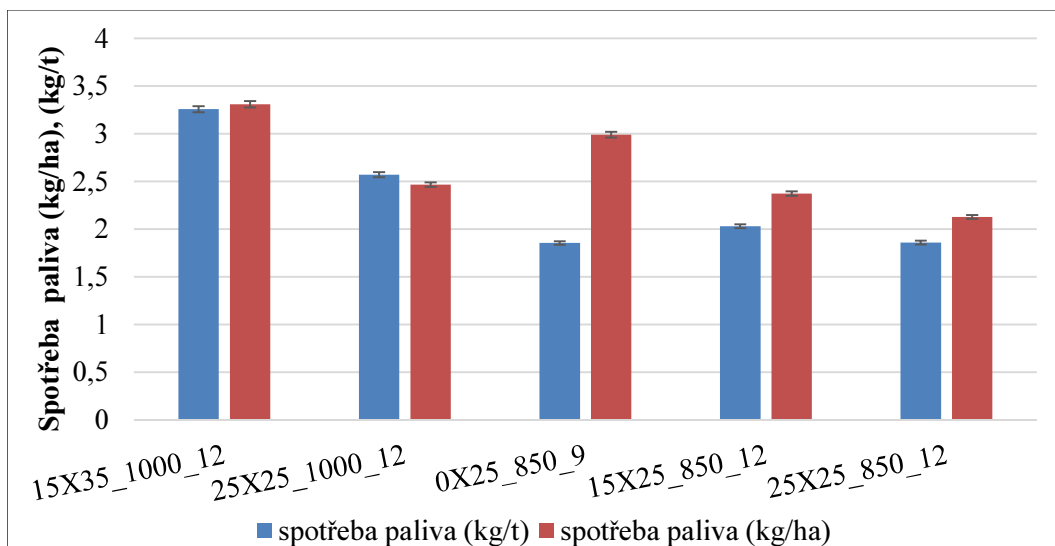
Na obrázku 90 je znázorněna hmotnostní výkonnost stroje z jednotlivých měřicích jízd v intervalu 7-9 t/h. Dále je na obrázku 91 uveden měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřicích jízdách v daném intervalu hm. výkonnosti (chybové úsečky znázorňují velikost směrodatné odchylky) a na obrázku 92 je měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřicích jízdách (chybové úsečky znázorňují přesnost přístroje). Hmotnostní výkonnosti ve stanoveném intervalu bylo dosaženo pouze pro otáčky 1000 a 750 1/min. Při 1000 1/min byly porovnány pouze 2 tvary nástroje, z nichž dosáhl nižší energetické náročnosti nástroj 25X25, při otáčkách 850 1/min dosáhl ve stanoveném intervalu hmotnostní výkonnosti nižší energetické náročnosti také nástroj 25X25.



Obrázek 90 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách v intervalu 7-9 t/h

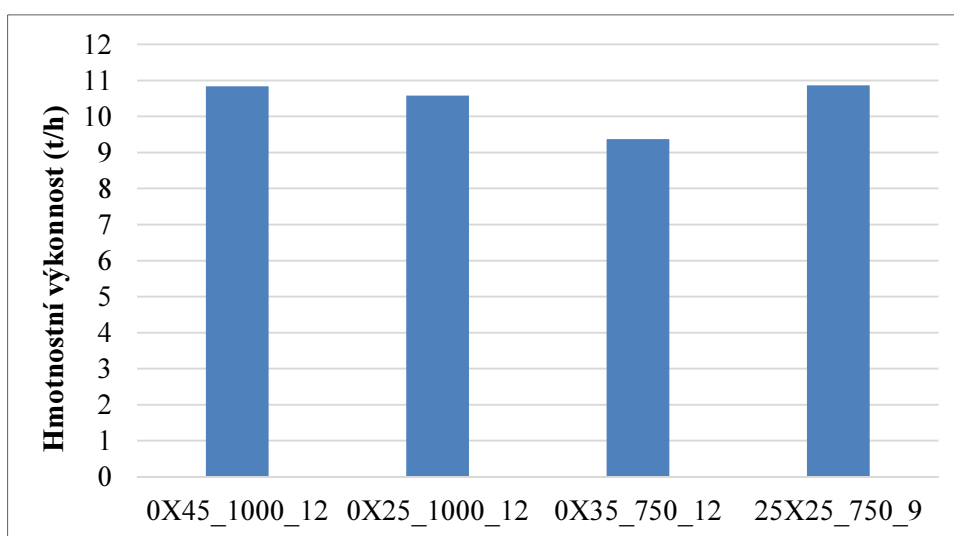


Obrázek 91 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 7-9 t/h

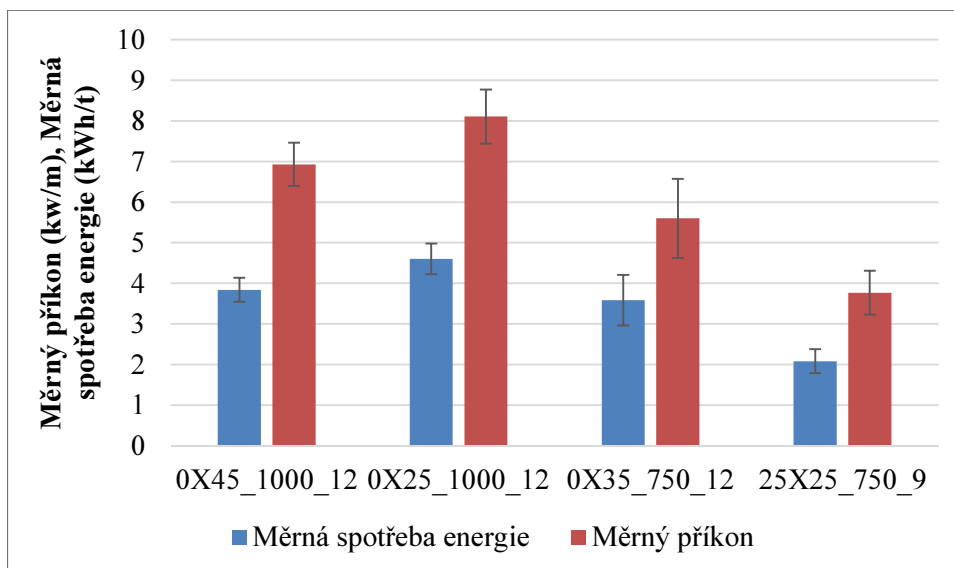


Obrázek 92 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 7-9 t/h

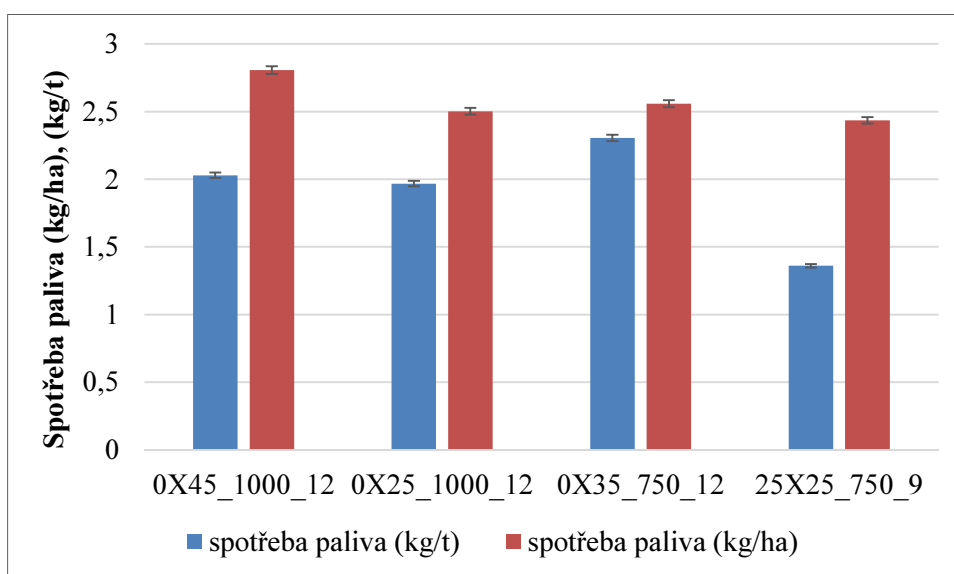
Na obrázku 93 je znázorněna hmotnostní výkonnost stroje při jednotlivých měřících jízdách v intervalu 9-11 t/h. Dále je na obrázku 44 uveden měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v daném intervalu hm. výkonnosti (chybové úsečky znázorňují velikost směrodatné odchylky) a na obrázku 45 je měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách (chybové úsečky znázorňují přesnost přístroje). Hmotnostní výkonnosti ve stanoveném intervalu bylo dosaženo pouze pro otáčky 1000 a 750 1/min. Z obrázků je patrné, že při 1000 1/min dosáhl ve stanoveném intervalu hmotnostní výkonnosti nejnížší energetické náročnosti originální nástroj 0X45, při otáčkách 750 1/min dosáhl nejnížší energetické náročnosti nástroj 25X25.



Obrázek 93 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřících jízdách v intervalu 9-11 t/h



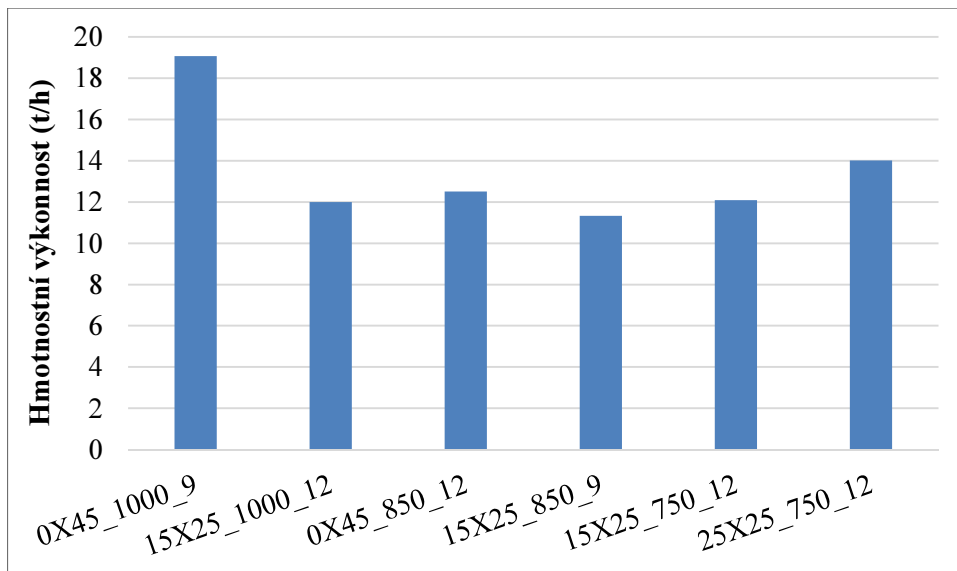
Obrázek 94 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 9-11 t/h



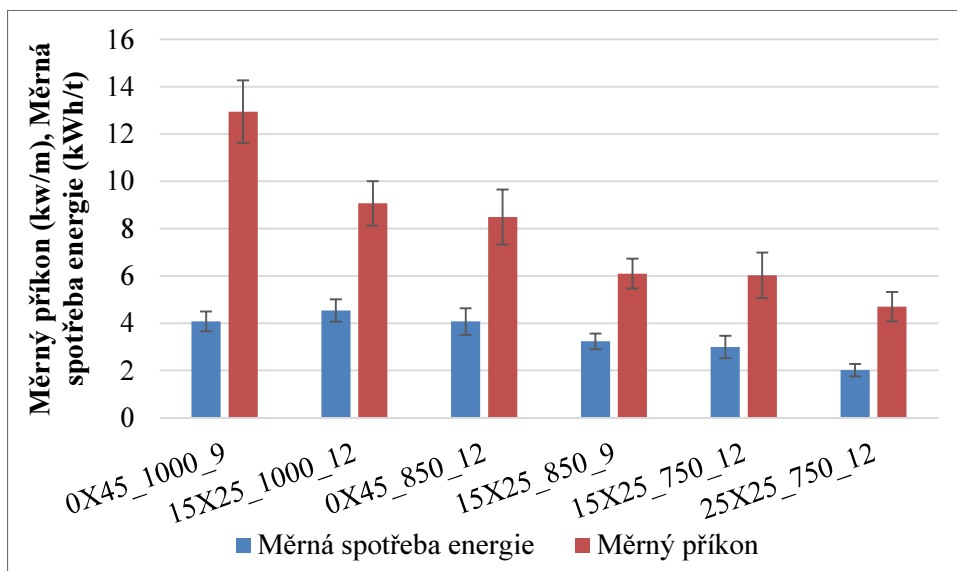
Obrázek 95 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách v intervalu hm. výkonnosti 9-11 t/h

Na obrázku 96 je znázorněna hmotnostní výkonnost stroje při jednotlivých měřících jízdách s hmotnostní výkonností nad 11 t/h. Dále je na obrázku 97 uveden měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřících jízdách v daném intervalu hm. výkonnosti (chybové úsečky znázorňují velikost směrodatné odchylky) a na obrázku 98 je měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách (chybové úsečky znázorňují přesnost přístroje). Z obrázků je patrné, že při 1000 1/min dosáhl ve stanoveném intervalu

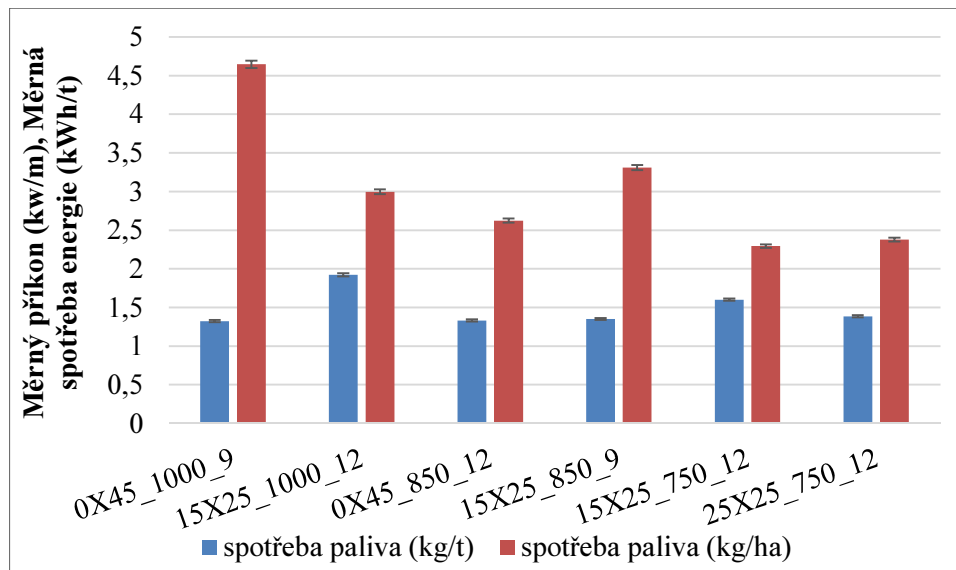
hmotnostní výkonnosti nejnižší hodnoty měrné spotřeby energie nástroj 0X45, to je způsobeno zejména vysokou výkonností stroje při této měřicí jízdě, při otáčkách 850 1/min dosáhl nejnižší energetické náročnosti nástroj 15X25, při otáčkách 750 1/min dosáhl nejnižší energetické náročnosti nástroj 25X25.



Obrázek 96 Dosažená hmotnostní výkonnost při měřicích jízdách, vyšší než 11 t/h



Obrázek 97 Měrný příkon a měrná spotřeba energie při jednotlivých měřicích jízdách o hm. výkonnosti vyšší než 11 t/h



Obrázek 98 Měrná spotřeba paliva při jednotlivých měřících jízdách o hm. výkonnosti vyšší než 11 t/h

Pro vyhodnocení vlivu řezné rychlosti a jednotlivých parametrů pracovního nástroje byly vybrány případy, kde byl rozdílný pouze daný parametr a ostatní parametry byly v rámci možností shodné. Pro vyhodnocení vlivu řezné rychlosti na energetickou náročnost byly vybrány nástroje 0X25 a 25X35 při výkonnosti 3-5 t/h (obr. 85) a 15X35 při výkonnosti 5-7 t/h (obr. 88). Z obrázků lze vidět, že při snížení otáček rotorů klesá také měrný příkon a měrná spotřeba energie, v závislosti na výkonnosti. Výjimku tvoří nástroj 0X25, kde měrná spotřeba energie při poklesu z 850 1/min na 750 1/min stoupne, ale měrný příkon klesne, to je dáno relativně nižší výkonností ve srovnání s otáčkami 1000 a 850 1/min. 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.

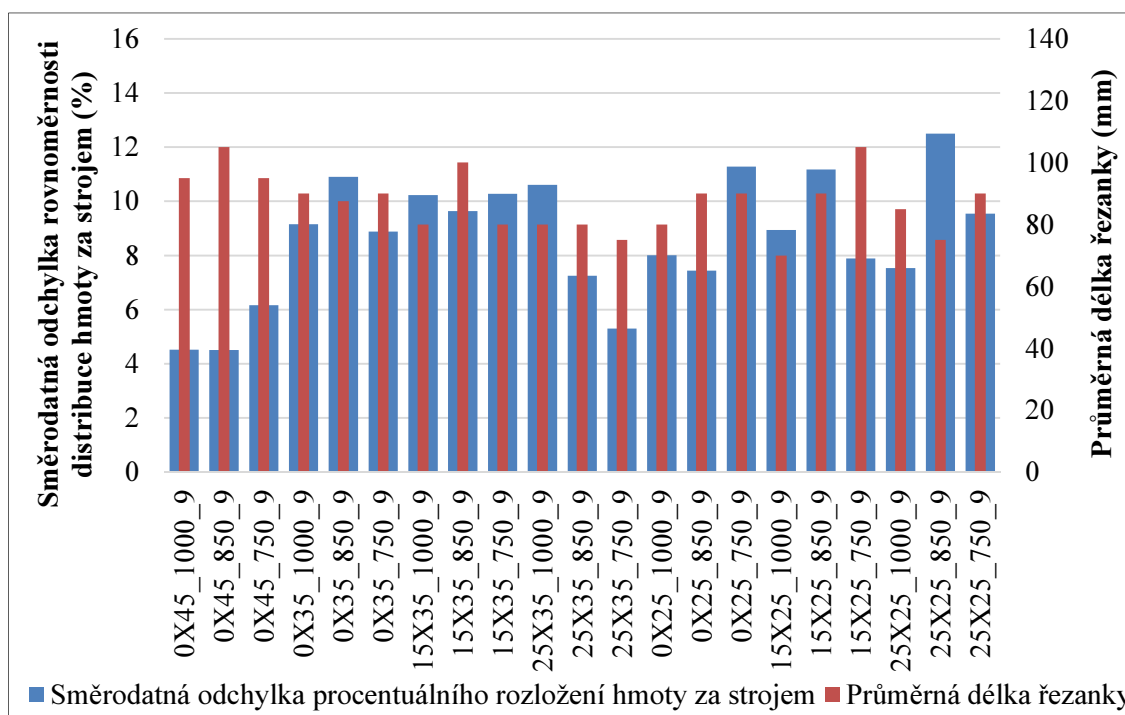
Pro vyhodnocení vlivu úhlu plachetky byly vybrány nástroje 0X45, 0X35 a 0X25 při výkonnosti 3-5 t/h a otáčkách 850 1/min (obr. 85). Je patrné, že se snižujícím úhlem plachetky energetická náročnost klesá. Při úhlu plachetky 35° poklesla měrná spotřeba energie o přibližně 10,4 % a při úhlu plachetky 25° 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 nižšími ztrátami, jak je popsáno v kapitole 4.3.1.

Vliv měnícího se úhlu čela nástroje byl ověřen na nástrojích 0X25, 15X25 a 25X25 při výkonnosti 7-9 t/h a otáčkách 850 1/min, což odpovídá řezné rychlosti 89 m/s. Zde byla dosažena velmi podobná výkonnost, jak je vidět na obr. 90. Při zvýšení úhlu čela z 0° na 15° došlo 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 [49, 50], byl tento parametr v rámci možností zhodnocen také při dalších řezných rychlostech. Na obrázku 88 v intervalu hm. výkonnosti 5-7 t/h při otáčkách 1000 1/min, tedy řezné rychlosti přibližně 105 m/s je možné porovnat nástroje 0X35, 15X35 a 25X35 a nástroje 15X25 a 25X25. U všech těchto nástrojů je možno vidět pokles energetické náročnosti s vzrůstajícím úhlem čela, výjimku tvoří pouze nástroj 25X35, kde vzrostla měrná spotřeba energie z důvodu nižší výkonnosti v porovnání s ostatními nástroji, ale měrný příkon klesl. Pro řeznou rychlost 79 m/s (750 1/min) lze porovnat nástroje 0X25 a 15X25 při výkonnosti 5-7 t/h (obr. 88) a 15X25 a 25X25 při výkonnosti cca 12-14 t/h na obrázku 97, opět si lze povšimnout poklesu obou sledovaných parametrů energetické náročnosti. U druhého zmíněného srovnání lze pozorovat pokles měrného příkonu na m záběru i přes nárůst hmotnostní výkonnosti. Důvodem jsou na jedné straně nižší ztráty odporem vzduchu (viz kapitola 4.3.1) a na druhé straně pravděpodobně nižší energie samotného řezu. 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.

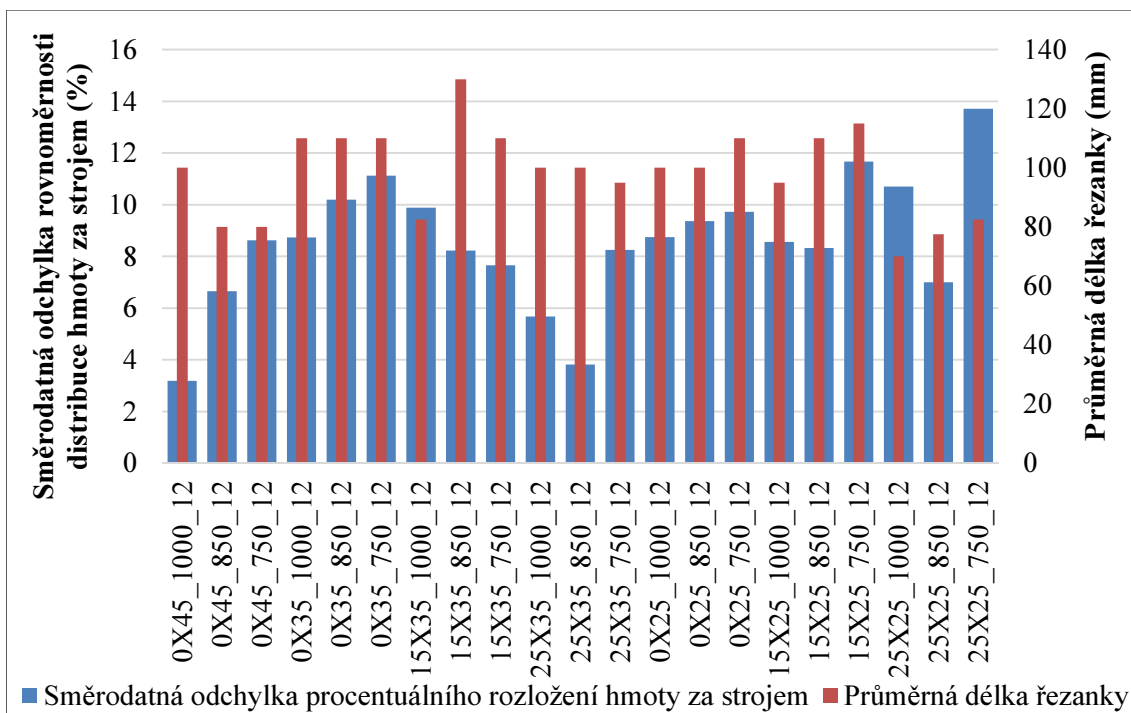
Měrná spotřeba paliva, udávaná v kg/t, rámcově odpovídá měrné spotřebě energie, je ovšem také závislá na množství dalších faktorů, jako odpor valení energetického prostředku a stroje, rychlost a směr větru, svažitost terénu a další. Spotřeba paliva, udávaná v kg/ha je, jak je patrné z výsledků, závislá především na rychlosti soupravy. Dále je spotřeba paliva významně závislá na zařazeném rychlostním stupni a režimu motoru.

Pro zhodnocení kvality práce je na obrázku 99 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 100 pro pracovní rychlost 12 km/h. Podle očekávání vykazaly 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.

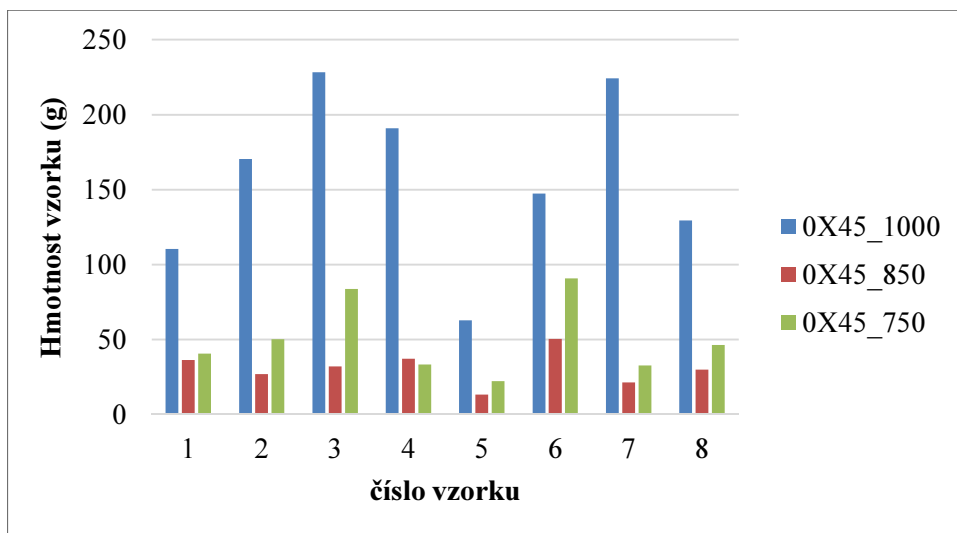


Obrázek 99 Směrodatná odchylka procentuálního rozložení hmoty za strojem a průměrná délka řezanky pro pracovní rychlost 9 km/h

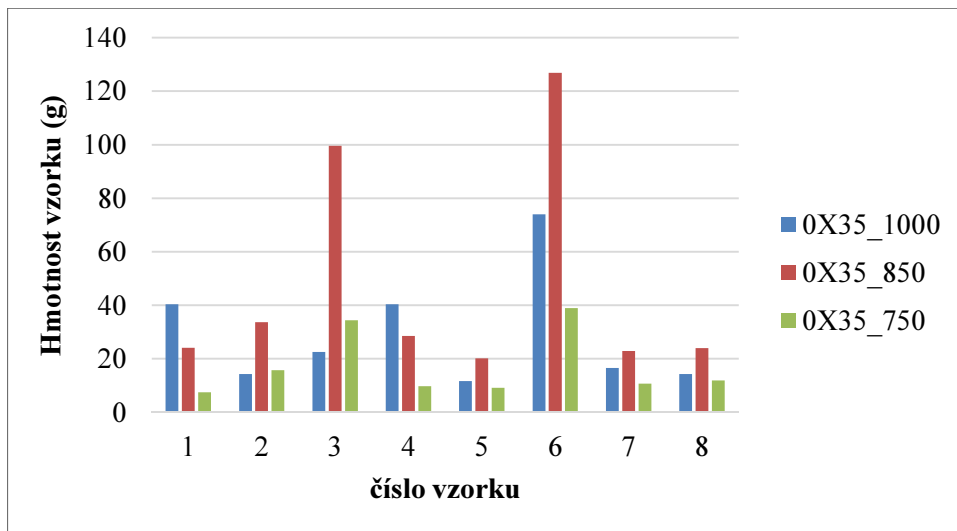
Na obrázku 101 je ukázka distribuce materiálu v záběru stroje pro originální nástroje (0X45), na obrázku 102 je ukázka distribuce materiálu v záběru stroje pro nástroje 0X35, dále je na obrázku 103 zobrazena distribuce materiálu v záběru stroje pro nástroje 25X35, vše pro pracovní rychlost 9 km/h.



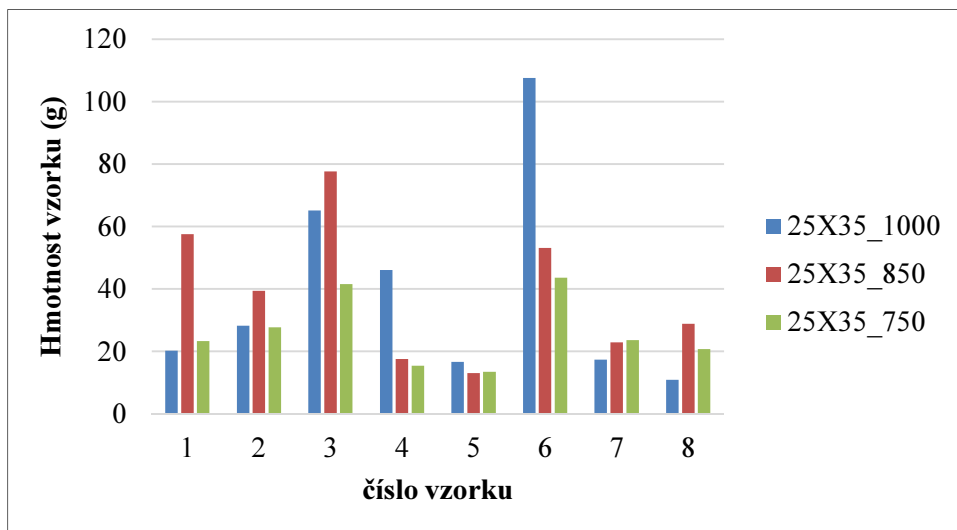
Obrázek 100 Směrodatná odchylka procentuálního rozložení hmoty za strojem a průměrná délka řezanky pro pracovní rychlost 12 km/h



Obrázek 101 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro originální nástroj, pracovní rychlost 9 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min

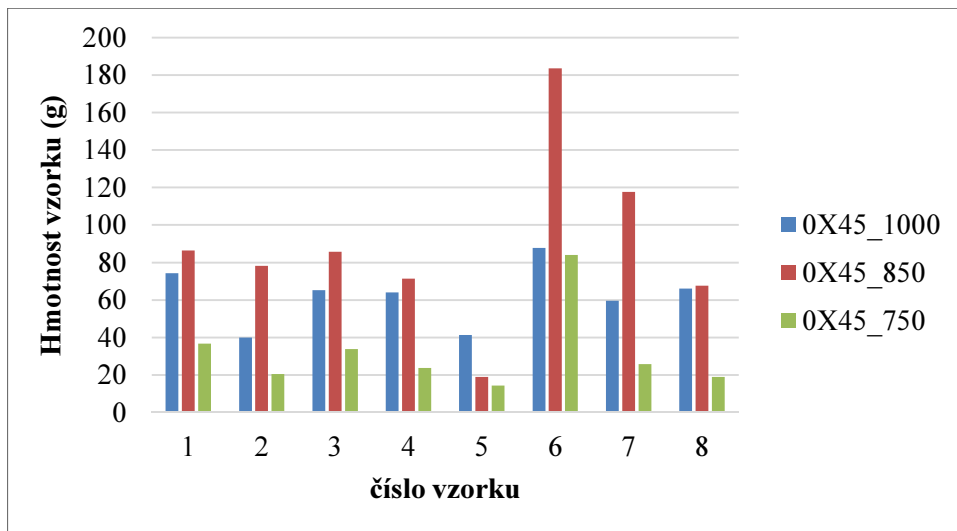


Obrázek 102 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro nástroj 0X35, pracovní rychlost 9 km/h otáčky 1000, 850 a 750 1/min

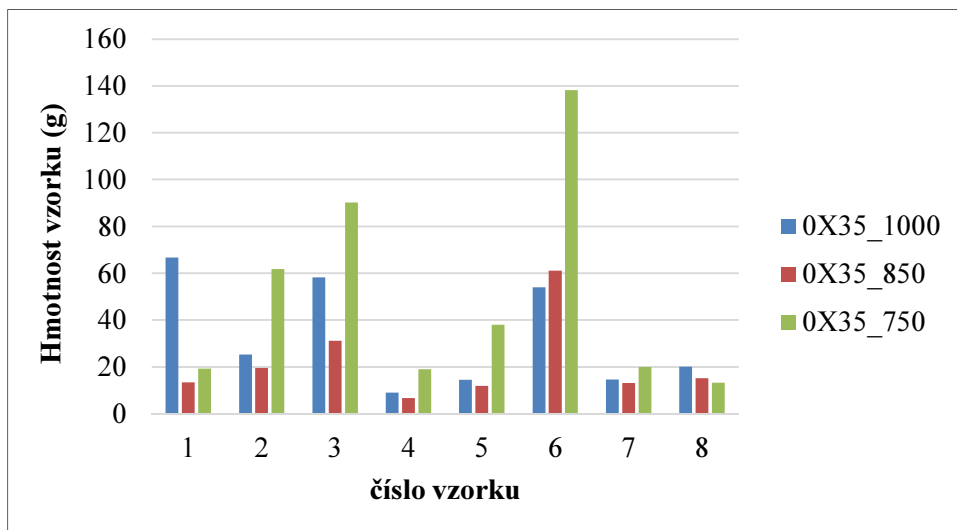


Obrázek 103 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro nástroj 25X35, pracovní rychlost 9 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min

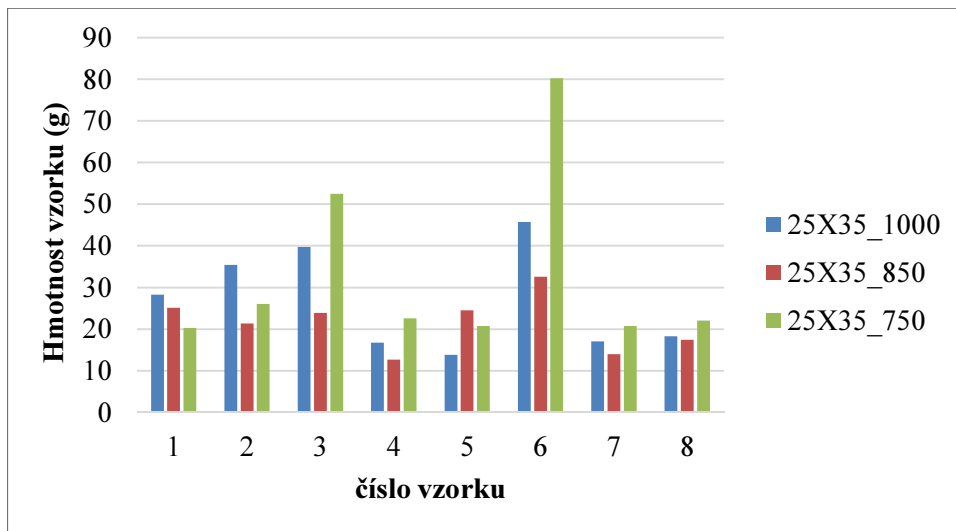
Na obrázku 104, 105 a 106 je ukázka distribuce travní hmoty v záběru stroje při rychlosti 12 km/h pro nástroje originální (0X45), 0X35 a 25X35. Je patrné, že mulčovač má tendenci „řádkovat“ podrcenou travní hmotu, především v oblasti 3. a 6. vzorku, což přibližně odpovídá středům dvou krajních rotorů.



Obrázek 104 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro originální nástroj (0X45), pracovní rychlost 12 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min



Obrázek 105 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro nástroj 0X35, pracovní rychlost 12 km/h a otáčky 1000, 850 a 750 1/min



Obrázek 106 Distribuce travní hmoty v záběru stroje pro nástroj 25X35, pracovní rychlost 12 km/h a táčky 1000, 850 a 750 1/min

4.3.3. Dílčí závěr

Při měření na laboratorním modelu bylo potvrzeno, že snížení úhlu plachetky vede k nižším ztrátám, způsobených odporem vzduchu, jelikož se snižujícím se úhlem plachetky je zmenšována čelní plocha nástroje. Při pracovních otáčkách 1000 1/min lze docílit snížení energetických ztrát až o 35,4 % (nástroj 0X25). Zvýšení úhlu čela nástroje také vede ke snížení aerodynamických ztrát, jelikož je také zmenšována čelní plocha a je ovlivněn součinitel odporu vzduchu. Dále bylo zjištěno, že v mulčovači 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.

Dalším zjištěním je možnost ovlivnění energetické náročnosti změnou tvaru krytů a tím změnou proudění v pracovním prostoru mulčovače. Z pohledu energetické náročnosti se ukázaly navržené tvary krytů jako nevhodné. Lze prohlásit, že čím více prostoru je nad rotorem mulčovače, tím vyšší energie je nutná k pohonu rotoru. To je způsobeno tím, že pracovní nástroje musejí pohybovat větším objemem vzduchu, k čemuž je nutné dodat více kinetické energie. Dalším důvodem je pravděpodobně změna proudění v pracovním prostoru mulčovače, přičemž tento faktor bude podroben dalším měřením. Otázkou ale zůstává vliv těchto navržených tvarů krytů na kvalitu práce stroje.

Při měření ztrát v polních podmínkách byly ověřeny výsledky, plynoucí z laboratorního modelu. Na ztrátový příkon mají vliv zejména otáčky a úhel plachetky, úhel čela již nemá tak významný efekt na snižování energetických ztrát při běhu naprázdno.

Podle získaných výsledků mají největší vliv na energetickou náročnost mulčovače při práci otáčky rotorů mulčovače, především z důvodu nižších ztrát, způsobených odporem vzduchu, a podle teoretického základu, vyplývajícího z kapitoly 1, také nižší energie řezu.

Z výsledků vyplývá, že změnou tvaru nástrojů lze ovlivnit energetickou náročnost, a energetické ztráty mulčovače s vertikální osou rotace při práci v polních podmínkách. Nejvyšší vliv vykázal měnící se úhel plachetky nástroje, který při měření v polních podmínkách snížil měrný příkon a měrnou spotřebu energie o přibližně 32 %. Úhel čela pracovního nástroje ovlivňuje především řeznou energii, jak je popsáno v kapitole 4.3.2 a kapitole 1. Z výsledků vyplynulo, že se zvyšujícím se úhlem čela se snižuje energetická náročnost. Při polním měření bylo dosaženo úspory měrného příkonu přibližně 26,3 % (nástroj 25X25).

Dále z výsledků vyplynulo, že navržené tvary pracovních nástrojů mají převážně negativní vliv na kvalitu práce, především pak na rovnoměrnost distribuce podrcené travní hmoty za strojem. Mulčovač má tendenci „řádkovat“ přibližně v oblasti středu dvou krajních rotorů. Tento výsledek odpovídá měření na laboratorním modelu, kdy bylo prokázáno, že podtlak v pracovním prostoru se zvyšuje směrem od obvodu ke středu rotoru. Pro zlepšení tohoto parametru kvality práce je tedy žádoucí provést opatření, vedoucí ke zvýšení podtlaku na obvodu rotoru, případně zabránit travní hmotě nebo její části v proniknutí do prostoru pod středem rotoru. Tyto výsledky však byly ovlivněny podmínkami při měření, především pak podílem vlhkosti porostu, který byl relativně vysoký a neodpovídal podílu vlhkosti, při kterém se tato operace obvykle provádí v praxi. Při nadměrném podílu vlhkosti má podrcená travní hmota větší soudržnost a je tedy obtížnější jí rovnoměrně distribuovat v celém záběru stroje. Délka řezanky je, jak vyplývá z výsledků, závislá primárně na rychlosti pojezdu soupravy.

Z výsledků je patrné, že snížení energetické náročnosti mulčovače s vertikální osou rotace je možné prostřednictvím snížení řezné rychlosti, snížení úhlu plachetky a zvýšení

úhlu čela pracovního nástroje. Tato dosažená úspora energie byla ovšem při měření v daných podmínkách vždy dosažena za cenu snížení kvality práce.

5. Diskuze

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 [2, 45, 60, 62, 65]. Tyto výsledky byly publikovány v [11]. 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 žacích strojů 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 [11]. To je způsobeno především podstatně rozdílnými podmínkami měření, především vyšším podílem vlhkosti a rozdílným výnosem travní hmoty. Z pohledu spotřeby paliva bylo při polním měření v kapitole 4.1 naměřena jednotková spotřeba paliva 7,9 až 16,3 l/ha, zdroj [62] 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 řezné rychlosti bylo při polním měření v kapitole 4.3 dosaženo nejnižších hodnot energetické náročnosti při řezné rychlosti přibližně 79 m/s, což odpovídá [19, 28, 34] a většině ostatních zdrojů, zmíněných v kapitole 1.4.2.1.

Z pohledu úhlu plachetky bylo zjištěno, že nižší úhel plachetky znamená nižší ztráty vlivem aerodynamického odporu. Úpravou tvaru řezného nástroje z hlediska aerodynamiky tedy lze docílit úspory energie, což potvrzují také ostatní autoři [71, 24]. Dále bylo zjištěno, že nižší úhel plachetky měl převážně negativní vliv na kvalitu práce. Jun a kol. [33] 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°, což odpovídá zdrojům [18, 38, 50], kde bylo dosaženo nejnižší energie při úhlech

čela $25^\circ - 30^\circ$, naopak jiné zdroje [49] uvádí statisticky nevýznamně nejnižší energii při úhlu čela 15° . Jiný zdroj [20] uvádí nejnižší energii při podstatně větším 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 [24], 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 [23], který konstatoval, že v oblastech interakce dvou rotorů může být rychlost proudění vzduchu nestabilní.

6. Závěr

V první praktické části práce byla určena energetická náročnost mulčovače s vertikální osou rotace. Byla vytvořena závislost odebíraného výkonu, měrné spotřeby energie a jednotkové spotřeby paliva na hmotnostní výkonnosti stroje. Dále byla určena energetická náročnost mulčovače při souvislé práci na trvalém travním porostu. Špičkové hodnoty příkonu dosahují téměř 150 kW. Dále bylo zjištěno, že za daných podmínek mulčovač pracuje nejefektivněji přibližně při výkonnosti 30 t/h.

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.

Ve druhé části práce bylo v laboratorních i polních podmínkách potvrzeno, že snížení úhlu plachetky vede k nižším ztrátám, způsobených odporem vzduchu, jelikož se snižujícím se úhlem plachetky 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 %.

Dále byl potvrzen pozitivní vliv většího úhlu čela nástroje na snižování energetické náročnosti mulčovače při práci. Tento úhel má pouze minimální vliv na aerodynamické ztráty a ovlivňuje především energii řezu, jak je zřejmé z výsledků měření v laboratorních i polních podmínkách. Velikost snížení energetické náročnosti je závislé na podmínkách.

Řezná rychlost měla v laboratorních i polních podmínkách největší vliv na energetickou náročnost. Nižší řezná rychlost znamená nižší ztráty odporem vzduchu, přičemž tyto ztráty klesají se čtvercem řezné rychlosti, ale pouze lineárně s čelní plochou. Podle teoretického základu v kapitole 1. řezná rychlost ovlivňuje i energii řezu, přičemž pro řez bez protiostrů je nejvýhodnější řezná rychlost mezi 60-90 m/s. Při polním měření byla dosažena nejnižší měrná spotřeba energie a nejnižší měrný příkon při řezné rychlosti 79 m/s.

Z hlediska celkové energetické náročnosti byl při všech polních měřeních dosažen měrný příkon v rozmezí 3,4 – 22,6 kW/m. Tento velký rozsah měrného příkonu byl zapříčiněn především velkým rozptylem dosažené hmotnostní výkonnosti stroje, která se na trvalých travních porostech vyskytuje.

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.

Literatura

- [1] Agrostroj Pelhřimov a.s.: Mulčovače MAXIO. [online]. [cit-2015-02-02]. Dostupné z: <http://www.agrostroj.cz/index.php?view=436>
- [2] 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
- [3] Andert, D., Mayer, V.: Technika pro mulčování trvalých travních porostů v horských a podhorských podmínkách. *Agritech Science*, [online], 2008, roč. 2, č. 2, s. 1-5, dostupné z: <http://www.agritech.cz/clanky/2008-2-2.pdf>, ISSN 1802-8942
- [4] Andrejs, V.: *Možnosti snížení energetické náročnosti při mulčování ve vazbě na kvalitu práce*. Diplomová práce, ČZU v Praze, Praha, 2006, 57 s.
- [5] BEDNAR FMT s.r.o.: Mulcher MZ - mulčovač. [online], 2013 [cit-2015-02-02]. Dostupné z: <http://www.strom-bednar.com/mulcovani/mulchermz.html>.
- [6] BEDNAR FMT s.r.o.: Zavedení nového Mulcheru MZ 6000 v Kolinci. [online], [cit-2015-04-09]. Dostupné z: <http://www.bednar-machinery.com/zavedeni-noveho-mulcheru-mz-6000-v-kolinci.html>
- [7] Beneš. P.: Volba vhodné technologie. *Zemědělec*, [online], 2013, [cit-2015-02-02], dostupné z: <http://zemedelec.cz/volba-vhodne-technologie-2/>
- [8] Burg, P.: Mulčovače a jejich provozní náklady, *Zemědělec*, [online], 2011 [cit-2015-02-17], dostupné z: <http://zemedelec.cz/mulcovace-a-jejich-provozní-naklady/>
- [9] Burg, P.: Vliv velikosti a struktury vinohradnického podniku na využití mulčovačů. *Agritech Science* [online], 2013, roč. 7, č. 3, s. 1-6. Dostupné z: <http://www.agritech.cz/clanky/2013-3-1.pdf>, ISSN 1802-8942
- [10] Celjak, I.: Využití mulčovačů a žacích strojů. *Zemědělec*, [online], 2011, [cit-2015-02-17], dostupné z: <http://zemedelec.cz/vyuziti-mulcovacu-a-zacich-stroju/> 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.
- [11] 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.

- [12] Galedar N.M., Jafari A., Mohtasebi S.S., Tabatabaeefar A., Sharifi A., O'Dogherty M.J., Rafiee S., Richard G.: Effects of moisture content and level in the crop on the engineering properties of alfalfa stems. *Biosystems Engineering*, roč. 101, č. 2, s. 199-208
- [13] 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
- [14] 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
- [15] Hosseini, S.S., Shamsi, M.: Performance optimization of a rotary mower using Taguchi method. *Agronomy Research*, 2012, roč. 10, č. SPEC. ISS. 1, s. 49-54
- [16] Hůla, J., Procházková, B. a kol.: *Minimalizace zpracování pŕdy*. Profi Press, Praha, 2008, 246 s., ISBN 978-80-86726-28-1
- [17] Chancellor, W.J.: Cutting of Biological Materials. *CRC Handbook of Engineering Agriculture. 1(Crop Production Engineering)*, 1988, s. 35-38.
- [18] Chancellor, W.J.: Energy Requirements for Cutting Forage. *Agricultural Engineering*, 1958, roč. 39, č. 10, s. 633-640
- [19] 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
- [20] 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
- [21] Chattopadhyay, P.S., Pandey, K.P.: Mechanical Properties of Sorghum Stalk in relation to Quasi-static Deformation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1999, roč. 73, č. 2, s. 199-206
- [22] Chen, Y., Gratton, J.L., Liu, J.: Power Requirements of Hemp Cutting and Conditioning. *Biosystems Engineering*, 2004, roč. 87, č. 4, s. 417-424
- [23] 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

- [24] 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
- [25] 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.
- [26] 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
- [27] 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
- [28] Igathinathane, C., Womac A.R., Sokhansanj S.: Corn stalk orientation effect on mechanical cutting. *Biosystems Engineering*, 2010, roč. 107, č. 2, s. 97-106
- [29] İnce, A., Uğurluay, S., Güzel, E., Özcan, M.T.: Bending and Shearing Characteristics of Sunflower Stalk Residue. *Biosystems Engineering*, 2005, roč. 92, č. 2, s. 175-181
- [30] Javorek, F.: Mulčovače a jejich uplatnění v praxi. *Zemědělec*, [online], 2011, [cit-2015-02-17], dostupné z: <http://zemedelec.cz/mulcovace-a-jejich-uplatneni-v-praxi/>
- [31] Javorek, F.: Trendy v konstrukci mulčovačů. *Zemědělec*, [online], 2008, [cit-2015-02-02], dostupné z: <http://zemedelec.cz/trendy-v-konstrukci-mulcovacu/>
- [32] Johnson, P.C.: *Energy requirements and productivity of machinery used to harvest herbaceous energy crops*. Diplomová práce, University of Illinois, Urbana, 2012, 57 s.
- [33] 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
- [34] 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
- [35] 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
- [36] 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
- [37] 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
- [38] 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
- [39] 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
- [40] KUHN CENTER CZ a.s.: Mulčovače s horizontální osou rotace. [online], [cit-2015-02-02]. Dostupné z: <http://www.kuhncenter.cz/cz/range/mulcovani/mulcovace-s-horizontalni-osou-rotace.html>
- [41] Kumhála, F., Heřmánek, P., Mašek, J., Kvíz, Z., Honzík, I.: *Zemědělská technika – stroje pro rostlinnou výrobu*. ČZU v Praze, Praha, 2007, 426 s., ISBN 978-80-213-701-7
- [42] Kumhála, F.: *Nové typy žacíh strojů*. ÚZPI Praha, 1996, 44 s., ISBN 808-51-208-44
- [43] 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

- [44] 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
- [45] 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
- [46] McRandal, D.M., McNulty, P.B.: Mechanical and physical properties of grasses. *Transactions of the ASAE*, 1980, roč. 23, č. 4, s. 816-821
- [47] MovWithUs: The Benefits of Mulching Explained. [online], 2013, [cit-2015-02-02]. Dostupné z: <http://www.mowwithus.com/mulching-explained.html>
- [48] 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.
- [49] 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
- [50] 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
- [51] O'Dogherty, M.J.. A review of research on forage chopping. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1982, roč. 27, č. 4, s. 267-289
- [52] Pasikatan, M.C., Quick, G.R., Salazar, G.C. A low-cost straw and forage chopper. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*, 1997, roč. 28, č. 1, s. 43-46
- [53] Persson, S.: *Mechanics of cutting plant material*. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, 1987, 288 s. ISBN 0-916150-86-0
- [54] Pospíšil, J.: Dva základní typy, celá řada modelů. *Zemědělec*, [online], 2013, [cit-2015-02-02], dostupné z: <http://zemedelec.cz/dva-zakladni-typy-cela-rada-modelu-2/>
- [55] Pospíšil, J.: Nepostradatelné stroje současnosti. *Zemědělec*, roč. 2014, č. 21, s. 13-17
- [56] Rotz, C. A., Sprott, D. J.: Drying Rates, Losses and Fuel Requirements for Mowing and Conditioning Alfalfa. *Transactions of the ASAE*, 1984, roč. 27, č. 3, s. 715-720

- [57] Saeid Hosseini, S., Shamsi, M.: Performance optimization of a rotary mower using Taguchi method. *Agronomy Research*, 2012, roč. 10, č. SPEC. ISS. 1, s. 49-54
- [58] Shahbazi, F., Galedar, M.N., Taheri-Garavand, A., Mohtasebi S.S.: Physical properties of safflower stalk. *International Agrophysics*, 2011, roč. 25, č. 3, s. 281-286
- [59] Shastri, Y., Hansen, A., Rodríguez, L., Ting K.C.: *Engineering and Science of Biomass Feedstock Production and Provision*. Springer Science & Business Media, New York, 2014, 263 s., ISBN 978-1-4899-8014-4
- [60] 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
- [61] 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
- [62] 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
- [63] Taghijarah, H., H. Ahmadi, Ghahderijani M., Tavakoli M.: Shearing Characteristics of Sugar Cane (*Saccharum officinarum* L.) Stalks as a Function of the Rate of the Applied Force. *Australian Journal of Crop Science*, 2011, roč. 5, č. 6, s. 630-634
- [64] 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
- [65] 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
- [66] Velich, J.: *Praktické lukařství*. Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, Praha, 1996, 57 s., ISBN 80-7105-129-2
- [67] Vogel & Noot Landmaschinen GmbH & Co KG: Mulčovače - MasterCut [online]. [cit-2015-02-02]. Dostupné z: http://www.vogelnoot.info/daten/prospekte/schlegelhaecksler/mastercut_cz.pdf
- [68] Vojtíšek, M.: *VMK COx – příručka uživatele*, Praha, VMK s. r.o, 2009

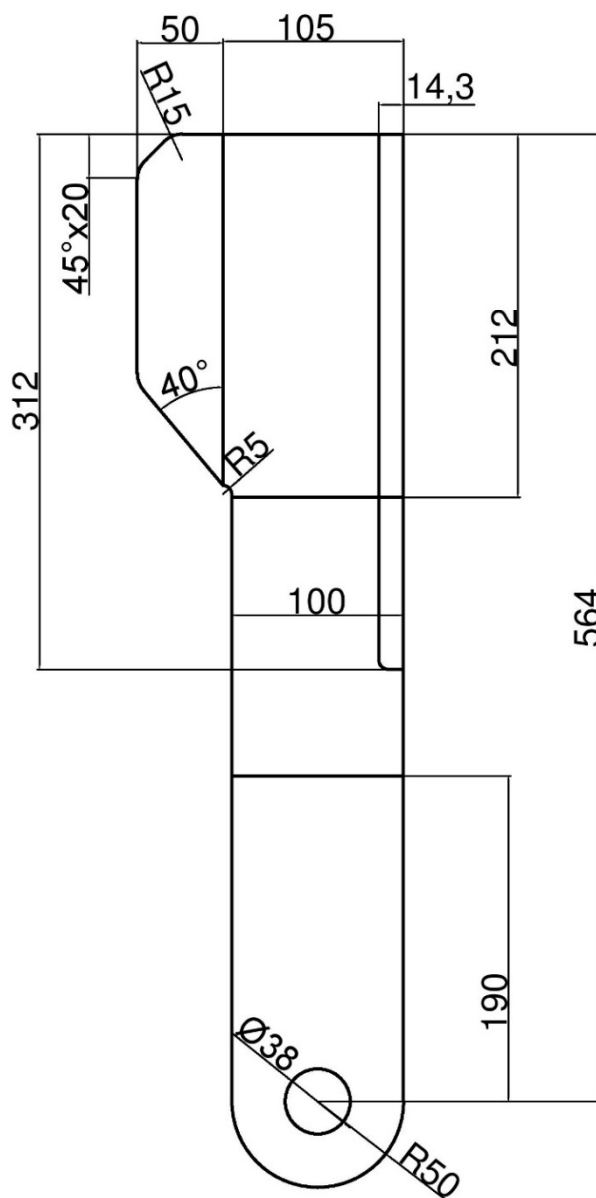
- [69] Vovk, V.: *Vyhodnocení energetické náročnosti práce konstrukčně rozdílných typů mulčovačů*. Diplomová práce, ČZU v Praze, Praha, 2010, 54 s.
- [70] Yiljep, Y.D., Mohammed, U.S.: Effect of knife velocity on cutting energy and efficiency during impact cutting of sorghum stalk. *Agricultural Engineering International: the CIGR EJournal*, 2005, roč. 7
- [71] 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

Příloha A

Rozvinutý polotovar pro nástroje 0X35 a 0X25.

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK



VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

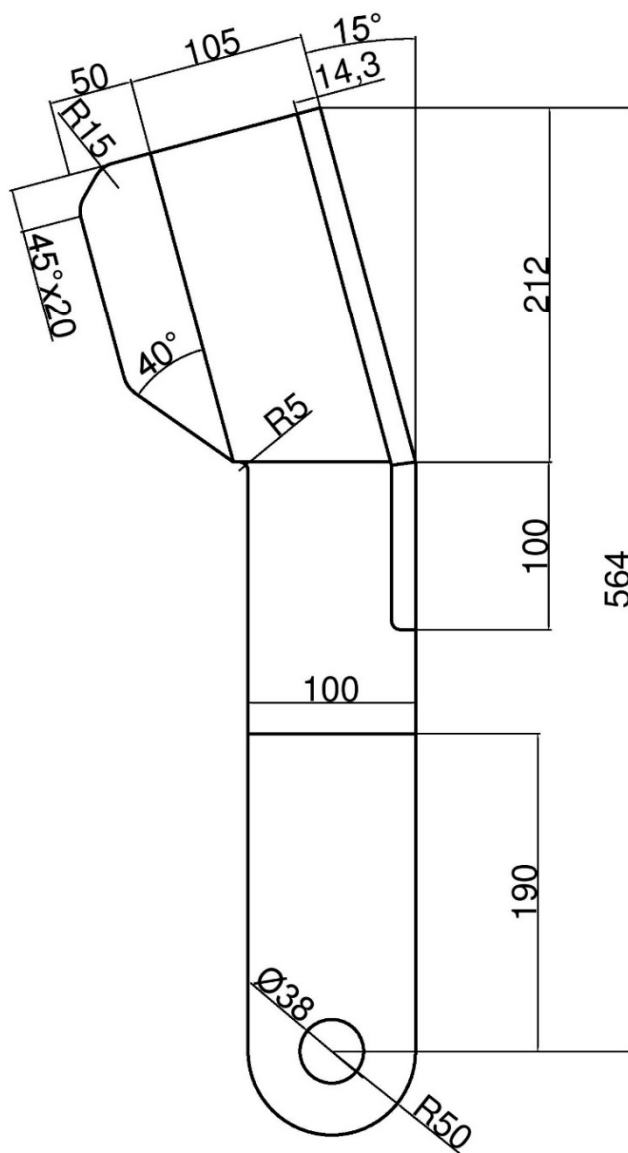
VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

Příloha B

Rozvinutý polotovar pro nástroje 15X35 a 15X25.

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK



VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

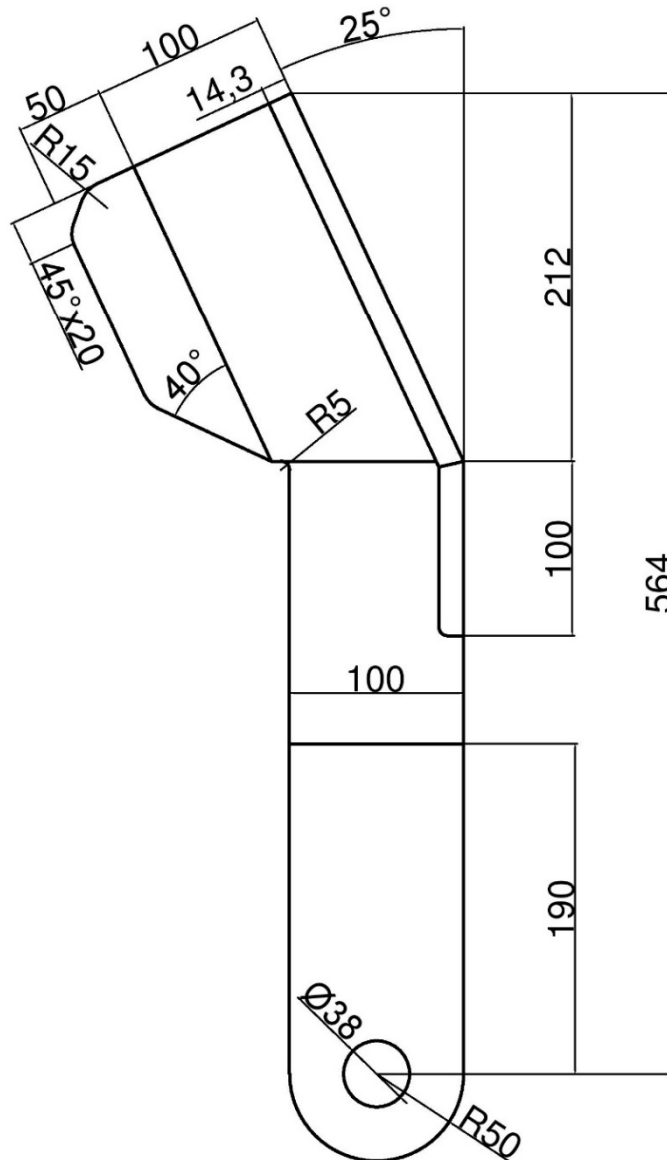
VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

Příloha C

Rozvinutý polotovar pro nástroje 25X35 a 25X25.

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK



VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK

VYTVORENO VE VYUKOVEM PRODUKTU SPOLECNOSTI AUTODESK