

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



**Uspořádání mulčovače s vertikální osou rotace z hlediska
energetické náročnosti**

Diplomová práce

Autor práce: Filip Nikl

Vedoucí práce: Ing. Petr Novák Ph.D.

© 2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra zemědělských strojů

Technická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Filip Nikl

Zemědělská technika

Název práce

Uspořádání mulčovače s vertikální osou rotace z hlediska energetické náročnosti

Název anglicky

Construction modifications mulchers with vertical axis rotation

Cíle práce

Cílem práce bude vytvořit soudobý přehled poznatků z oblasti mulčování s využitím soudobé tuzemské i cizojazyčné literatury. Dále zhodnocení měření provedených pomocí laboratorního modelu mulčovače s elektrickým pohonem.

Metodika

Literární rešerše bude obsahovat shrnutí poznatků z oblasti mulčování, teorie řezu nástrojů a energetické náročnosti v závislosti na použitém pohonu. Praktická část práce bude obsahovat výsledky měření provedených na laboratorním modelu mulčovače s elektrickým pohonem. Zejména se bude jednat o zkoumání použitých nožů, uspořádání krytu mulčovací komory a možnosti změny těchto parametrů.

Doporučený rozsah práce

55 stran

Klíčová slova

mulčování, kvalitativní parametry mulčování, energetická náročnost

Doporučené zdroje informací

- Mcrandal, D. M. a McNulty, P. B. 1978a. Impact Cutting Behavior of Forage Crops .1. Mathematical-Models and Laboratory Tests. Journal of Agricultural Engineering Research. 1978a, Sv. 23, 3, stránky 313-328.
- Persson, Sverker. 1987. Mechanics of cutting plant material. St. Joseph : American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 1987. ISBN 0-916150-86-0.
- Srivastava, A. K., Goering, C. E. a Rohrbach, R. P. 2006. Hay and Forage Harvesting. Engineering principles of agricultural machines, American Society of Agricultural Engineers. 325, 2006.

Předběžný termín obhajoby

2015/05 (květen)

Vedoucí práce

Ing. Petr Novák

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2015

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Uspořádání mulčovače s vertikální osou rotace z hlediska energetické náročnosti jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 3. 4. 2015

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Petrovi Novákovi Ph.D. za cenné rady, odborné konzultace a vedení při psaní této diplomové práce.

Uspořádání mulčovače s vertikální osou rotace z hlediska energetické náročnosti

Construction modifications mulchers with vertical axis rotation

Abstrakt

Cílem této práce je vytvoření souborného přehledu poznatků z oblasti energetické náročnosti mulčování s využitím soudobé české i cizojazyčné literatury. V kapitole "Mulčování a mulčovače" jsou popsány jednotlivé typy mulčovačů, teoretický princip jejich funkce a možné způsoby užití. Kapitola "Metodika" se zabývá průběhem konstrukce modelu mulčovače a přípravou k měření zatížení elektromotoru. Samotné výsledky měření jsou zaznamenány v kapitole "Měření", jejich vyhodnocení pak v kapitole "Diskuze". Práce je ukončena závěrem.

Klíčová slova: mulčování, kvalitativní parametry mulčování, energetická náročnost

Abstract

The aims of this work is to create an overview of knowledge in the field of energy performance mulching using contemporary Czech and foreign literature. Chapter "Mulching and Mulchers" describes the different types of mulchers, theoretical principle of their function and possible ways of use. The section "Methodology" deals during the construction of the model shredder and preparing for measuring electric load. The actual measurement results are reported in the chapter "Measurements", their evaluation is completed in "Discussion". Work is completed at the end.

Keywords: mulching, quality of mulching, energy requirements

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Mulčování a mulčovače	2
2.1	Princip mulčování.....	2
2.2	Rozdělení mulčovačů	4
2.3	Konstrukce mulčovačů.....	5
2.3.1	Mulčovače s horizontální osou rotace.....	5
2.3.1.1	Pracovní orgány	6
2.3.2	Mulčovače s vertikální rotace	7
2.3.2.1	Pracovní orgány	8
2.3.3	Překonávání překážek.....	10
2.4	Výkon a ztráty na mulčovacím zařízení.....	11
2.4.1	Výkon žacích strojů	11
2.4.2	Ztráty na žacích strojích	16
3	Cíl práce	20
4	Metodika.....	21
4.1	Konstrukce modelu sekce mulčovacího stroje	21
4.1.1	Kryty modelu mulčovacího stroje.....	21
4.1.2	Konstrukční řešení rámu modelu mulčovacího stroje.....	23
4.2	Postup měření na elektrickém pohonu mulčovače	31
5	Výsledky měření.....	34
5.1	Měření 03. 12. 2014 - Bez zakrytování	34
5.1.1	Uspořádání (4) – 2L.....	34
5.1.2	Uspořádání (5) – 4L.....	35
5.1.3	Uspořádání (3) – nože 2L+2K	36
5.1.4	Uspořádání (2) – nože 2K.....	38
5.1.5	Uspořádání (1) – Bez nožů	39
5.2	Měření 05. 12. 2014 - Se zakrytováním	39
5.2.1	Uspořádání (5) – 4L + úplné zakrytování	40
5.2.2	Uspořádání (4) – 2L+ úplné zakrytování	41
5.2.3	Uspořádání (3)- nože 2L+2K + úplné zakrytování	42
5.2.4	Uspořádání (2)- nože 2K + úplné zakrytování.....	43
5.2.5	Uspořádání (2)- nože 2K + úplné zakrytování shora , strany z 3/4.....	44
5.2.6	Uspořádání (3)- nože 2L+2K + úplné zakrytování shora, strany z 3/4	45
5.2.7	Uspořádání (4)- nože 2L + úplné zakrytování shora, strany z 3/4	46
5.2.8	Uspořádání (5)- nože 4L + úplné zakrytování shora, strany z 3/4	47
6	Diskuze.....	49
7	Závěr	53
8	Seznam použité literatury, obrázků a tabulek.....	54
8.1	Seznam použité literatury.....	54
8.2	Seznam obrázků.....	57
8.3	Seznam tabulek.....	60

1 Úvod

Mulčovače jsou skupinou strojů, u kterých lze předpokládat růst poptávky po těchto strojích. Tento předpoklad lze opřít o trend neustálého snižování počtu kusů dobytka, který již v současné době nestačí na spásání celkových ploch trvalých travních porostu. Tyto plochy je však stále nutné udržovat, zejména kvůli zachování biodiverzity, snižování počtu alergenů a zachování estetického charakteru krajiny.

Dále pak žadatelé o přímé platby musí dle stanovených podmínek pro rok 2015 zajistit, aby se po 31. říjnu kalendářního roku na půdním bloku, popřípadě jeho dílu s kulturou travní nenacházel porost vyšší než 300 mm, pokud jiný právní předpis nestanoví jinak. Mulčování se na těchto plochách jeví jako výhodné řešení, jelikož je podrcená biomasa rovnoměrně rozvrstvena na povrchu porostu a odpadají tak náklady na její odvoz a zároveň slouží jako zásoba organického materiálu.

I nárůst pěstování kukuřice, zvyšuje poptávku po mulčovačích. Velké množství posklizňových zbytků kukuřice jednak ztěžuje následné zpracování půdy. Navíc tyto zbytky zůstávají na pozemku i několik let a slouží zde jako útočiště škůdcům a nemocím pokud nejsou náležitě zpracovány.

Dalším využitím mulčovačů je samozřejmě údržba okrajů cest, silnic, využití v komunální technice a podobně.

2 Mulčování a mulčovače

Mulčovače jsou zařízení nesená v tříbodovém závěsu traktoru. Jejich rotor je vybaven pohyblivými kladivy různého tvaru, která jsou schopna rozvláknit drobné dřeviny a byliny a při jednom průjezdu vyčistí pruh v závislosti na šířce záběru. Mulčovače lze připevnit na přední i zadní část traktorů, pokud je k dispozici vývodový hřídel pro jejich pohon. [20]

Jsou určeny zejména k likvidaci částí rostlinné biomasy rostoucí nad povrchem půdy (bylin a jiného organického materiálu), se současným zpracováním biomasy na hmotu vhodných vlastností s následným rovnoměrným rozprostíráním této biomasy na povrchu půdy. Před rozprostíráním předchází promísení jednotlivých částí biomasy; k likvidaci rostoucích i odumřelých dřevních náletů stromů a dřevin a odumřelých travin v místech, kde jsou jako pokryv půdy nežádoucí (hráze, příkopy, okolí cest). Mulčováním je omezen jejich další růst, a je tak snížena četnost ošetřovacích zásahů. Díky tomu je mulčování stále oblíbenější způsob údržby nepravidelně sečených travních ploch. [20]

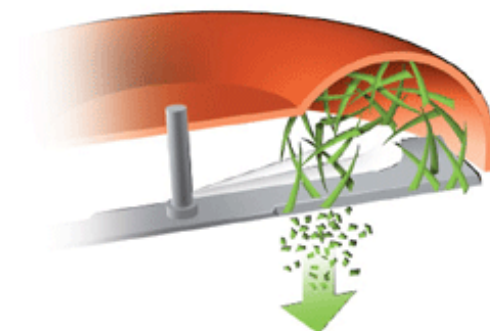
2.1 Princip mulčování

Princip spočívá v tom, že travní porost speciálně tvarovaný nůž rozdrtí na drobné kousky, které zůstanou ležet na pozemku, a tím odpadá starost kam s travním odpadem. Mulčovací zařízení nemají komín pro odvedení uříznutého materiálu z prostoru rotoru mulčovacího zařízení, proto je materiál řezán znovu a znovu. Mulčovací žací ústrojí mají větší prostor nad rotujícím nožem, aby byl vytvořen větší prostor pro řezání materiálu, který cirkuluje v prostoru nože a tím je nařezán na menší řezanku. Odřezky materiálu zůstávají v prostoru řezu díky ventilačnímu účinku nože, dokud nejsou tak malé, že je ventilační účinek nezachytí. Nařezaný materiál je rozprostírán na povrch půdy pod pracovním mechanismem mulčovače (obr. 1). [11]

Mulčovat se mohou v podstatě veškeré udržované travní plochy, přerostlou travu, plevel, nálety a ostatní biologický odpad (likvidace bramborových natí, chmelového odpadu atd.), sady. Mulčovače jsou tedy vhodné i pro komunální služby.

Při mulčování neudržovaných ploch, kde roste plevel, nálety a podobný odpad při pravidelném a správném systému mulčování dochází k rekultivaci pozemku.

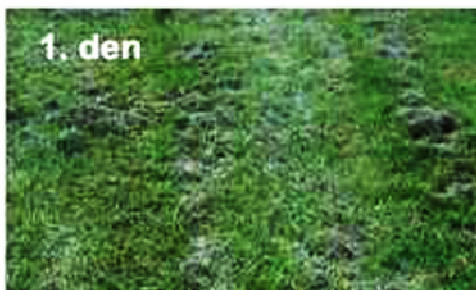
Obr. 1 Princip mulčování



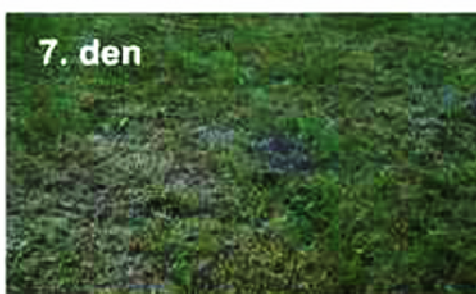
Zdroj: [7]

Obr. 2 Zmulčovaný trávník

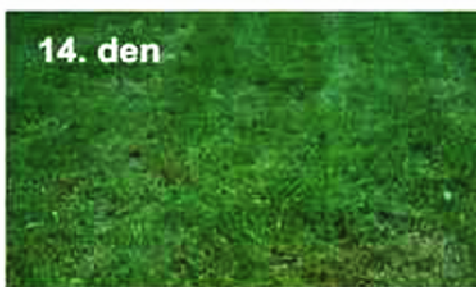
pohled na trávník krátce po mulčování tráva je mulčovačem rozsekaná na drobné kousky a ponechána napovrch



posekaná tráva propadla strništěm, travní mulč se suší a rozkládá, nová tráva již začala růst



travní mulč je prakticky rozložen a nová tráva dále roste



Zdroj: [13]

Mulčovač je konstruován tak, za předpokladu, že jsou na pozemku drobné nerovnosti tyto nerovnosti vyrovnal. Drobné kousky mulčované trávy, které jsou ponechány na pozemku zetlí a působí jako hnojivo pro obnovení nebo zlepšení kvality porostu (Obr. 2). Rovněž po určitou dobu zadržují vláhu. Na pravidelně udržované travní plochy je hezký pohled a jsou součástí krajiny tvorby

Při špatném mulčování může dojít k navršení mnoha neprodyšných vrstev na sebe, a tak může dojít k přemokření půdy a úhynu kořenů.

2.2 Rozdělení mulčovačů

Dle polohy osy rotace:

- S vodorovnou osou rotace.
- Se svislou osou rotace.

Dle připojení:

- Nesené.
- Návěsné.

Dle počtu pracovních mechanismů:

- Jednorotorové.
- Vícerotorové.

Dle počtu a umístění nožů (pracovních řezacích nástrojů):

- S jedním nebo více noži.
- V jedné nebo dvou pracovních rovinách.

Dle upevnění nožů (pracovních řezacích nástrojů):

- Volně umístěné nože (nižší poškození při nárazu do překážky).
- Pevně umístěné nože.

2.3 Konstrukce mulčovačů

2.3.1 Mulčovače s horizontální osou rotace

Horizontální mulčovače jsou opatřeny jedním nebo více nosnými hřídeli s letmo uchycenými pracovními orgány. Tyto volně uložené pracovní orgány mají různý tvar a zaměřují se podle typu mulčované plodiny. Pracovní orgány se po roztočení nosného hřídele ve směru pohybu stroje vlivem odstředivé síly dostávají do pracovní pozice a odřezávají stébla rostlin, která jsou ventilačním účinkem dopravena ke krytu stroje. Zde dochází k jejich drcení. Pro lepší drticí účinek mohou být kryty vybaveny vhodným protiostrím nebo jsou řešeny jako dělené s možností různého nastavení (Obr. 3). [16]

Obr. 3 Mulčovač s horizontální osou rotace a jedním hřídelem



Zdroj: [18]

Nosný hřídel je pro konstrukční záběry do 3 m vyroben jako jeden celek. Mulčovače s větším pracovním záběrem (4 m až 9 m) jsou pak ve většině případů konstrukčně řešené jako sekční s několika nosnými hřídeli, přičemž jednotlivé sekce lze

pro transport po pozemních komunikacích hydraulicky sklopit. Z důvodu kvalitní práce takového stroje je nutné, aby se jednotlivé sekce vzájemně překrývaly, čímž se zamezí vzniku neošetřených pásů. Další významnou částí horizontálních mulčovačů jsou nivelační a kopírovací kola, případně ocelový válec, po kterém se mulčovač při práci pohybuje. Díky tomu je dosaženo nejen vynikajícího kopírovacího efektu, ale jednoduchým způsobem lze nastavit i pracovní výšku stroje. Výkonnost mulčovačů s horizontální osou rotace ovlivňuje zejména výška drčeného porostu (intenzita drčení) a terén, ve kterém stroj pracuje (reliéf, množství překážek). [16]

2.3.1.1 Pracovní orgány

Především jde o nože, kladívka nebo řetězy, které se používají k mulčování travních porostů, plevelných náletů či porostů s velkým výskytem překážek. Mezi nejčastěji používané nože patří pracovní orgány tvaru L, obráceného písmene Y a T (Obr. 4; 5; 6; 7).

*Obr. 4
Kladívka se hodí pro
mulčování travin, listí a
křovin*



Zdroj: autor

*Obr. 5
Y - nože jsou vhodné pro
mulčování kukuřice, travin a
vinné révy*



Zdroj: autor

*Obr. 6
Y - nože s plochým ostřím
uprostřed jsou vhodné pro
mulčování posklizňových
zbytků*



Zdroj:autor

*Obr. 7
Y - nože s nožovým ostřím
uprostřed jsou vhodné pro
mulčování křovin a
kukuřičných, slunečnicových a
dalších strnišť*



Zdroj:autor

2.3.2 Mulčovače s vertikální rotace

Vertikální mulčovače určené zejména pro pravidelnou údržbu travnatých ploch jsou často označovány jako „trávníkové sekačky“ a to i přesto, že kromě vlastního sečení provádí i následné drcení posečené hmoty. Přesto je využití vertikálních mulčovačů daleko širší. Především modely s větším záběrem nacházejí uplatnění i v zemědělství a lesnictví.

Pracovní ústrojí vertikálních mulčovačů tvoří rotor nebo rotory podle typu a záběru stroje. Hřídel je u komunálních a menších mulčovačů poháněný přímo

řemenicí, u větších a robustnějších modelů úhlovou převodovkou. Na konci hřídele je umístěn unášec tvořený držákem nožů a kluzným diskem, případně je takového tvaru, který mu umožňuje jak rotační pohyb, tak pohyb ve směru jízdy trakčního prostředku (Obr 8). Některá provedení nejsou kluzným diskem osazena a nože se montují na spodní část unášeče.

Obr. 8 Mulčovač s vertikální osou rotace - uložení pracovních orgánů a pohony

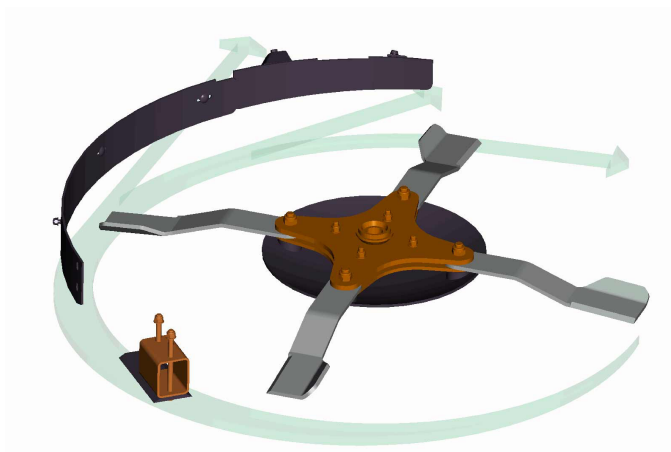


Zdroj: [2]

2.3.2.1 Pracovní orgány

Rotující nůž obdélníkového tvaru s pevným nebo pohyblivým ostřím na konci. Tento nůž je připevněn na svislém čepu. Toto řešení zlepšuje ochranu ostří při najetí na pevnou překážku (Obr. 9).

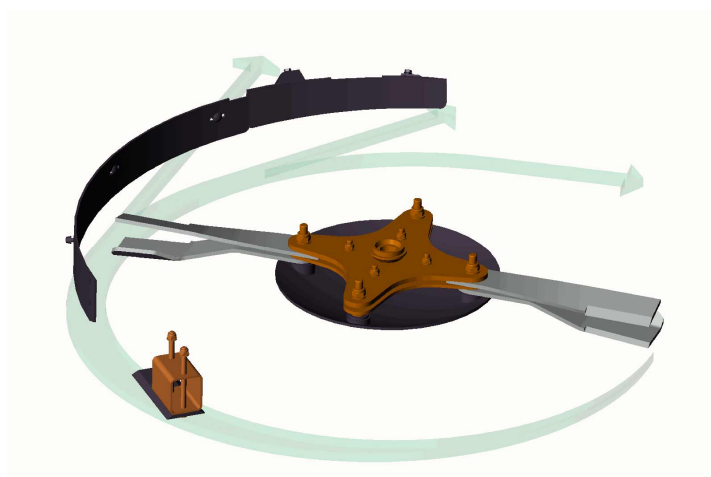
Obr. 9 Uchycení nožů



Zdroj: [2]

Existuje i řada řešení, především u velkoplošných mulčovačů, kdy je nosný hřídel osazen větším počtem čepelí, často stupňovitě uspořádaných (Obr. 10). Takové řešení je určeno pro nasazení v zemědělství od orné půdy přes pastviny až po louky.

Obr. 10 Stupňovité uchycení nožů



Zdroj: [2]

Tyto stroje bývají často vybaveny na spodní části rotoru ochranným diskovým plazem. Část nože za ostřím pracuje jako drtící hrana a často bývá formována do tvaru lopatky pro zvýšení jeho ventilačního účinku (Obr. 11).

Kryt rotoru, který v případě vertikálních mulčovačů má za úkol nejen zpomalit pohyb odříznuté hmoty, ale pomocí směrovacích plechů nasměrovat rozdrčenou rotující hmotu ven ze stroje zpět na pozemek, nebo do dopravního kanálu směrem k zásobnímu koši. Kryt rotoru slouží také jako nosič pohonu rotoru, ať už jde o úhlové převodovky, klínové řemeny nebo jiné pohonné jednotky.

Kryt vertikálních mulčovačů je vybaven obdobným příslušenstvím jako kryty horizontálních modelů. Také zde nalezneme různé typy ochranných krytů, clon a zábran. V závislosti na pracovním záběru jsou vertikální mulčovače vyráběny v provedeních s jedním nebo více rotory. Počet rotorů je závislý na pracovním záběru mulčovače. Obecně se uvádí maximální záběr na jeden rotor do 2 m.

Vertikální mulčovače nacházejí díky nízké stavební výšce uplatnění tam, kde je nutné sečení a drcení trávy ve výškově omezených prostorech, jako například pod ohradníky, svodidly, pod zábradlím a podobně. [17]

*Obr. 11 Tvary nožů pro mulčování
(zleva: nízká plachetka, vysoká plachetka, střední plachetka, recyklační plachetka,
"atomic" nůž)*



Zdroj: [11]

2.3.3 Překonávání překážek

U těchto strojů je potřebné zajistit, aby „obcházely“ překážky v podobě kúlů, sloupů a podobně. Toho lze dosáhnout vychylováním stroje.

Vychylování stroje se ovládá mechanicky nebo elektrohydraulicky. Při mechanickém ovládní je hmatač spojen pomocí táhel s hydraulickým rozvaděčem, který ovládá posun přímočarého hydromotoru, a tím i vychylování nosného ramene.

Při elektrohydraulickém ovládní je využito prvků elektroniky. Stroj 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 dán pokyn k přestavení elektrohydraulického rozvaděče následně 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.

2.4 Výkon a ztráty na mulčovacím zařízení

2.4.1 Výkon žacích strojů

Požadavek výkonu na rotační žací stroje a mulčovače jsou obvykle 2 - 4 krát větší než u prstových žacích strojů se stejnou šířkou záběru. Zjištěné požadavky na palivo pro bubnové žací stroje jsou vyšší než u diskových žacích strojů (Rotz, a další, 1984). (CASE, 2011) informuje o požadavcích na výkon 5,0 kW/m šířky řezu. Požadovaný příkon pro žací stroj s kondicionérem je 8,0 kW/m. Jiné studie uvádějí ještě vyšší energetické požadavky, s 11 až 16 kW/m na žací stroj při 15 km/h (Srivastava, a další, 2006). (Tuck, a další, 1991) uvádí požadavky na výkon 10 - 12 kW/m při opotřebovaném ostří. (Mcrandal, a další, 1978b) oznámil spotřeby energie 3,5 - 6,5 kW/m pro žací mačkače a 5 kW/m prosečení bez mačkače. V jiné studii, sekání a úprava vyžaduje v průměru 8,0 kW/m, s rozsahem 5,6 - 10,4 kW/m (Srivastava, a další, 2006). (Persson, 1987) navrhuje následující vztah pro výkonové požadavky rotačních žacích strojů:

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

kde:

P_{mow} - celkový požadavek na výkon (kW)

P_{LS} - ztráty (vzduch, strniště, převodové ztráty) (kW/m)

E_{SC} - energie řezu (kJ/m²)

v_f - pojezdová rychlost (m/s)

B_p - šířka záběru (m)

Konkrétní výkonové ztráty P_{LS} jsou v rozsahu od 1,5 do 4,0 kW/m, přičemž bubnové žací stroje mají vyšší ztráty než diskové (Persson, 1987). Konkrétní ztráty řezu E_{sc} závisí především na ostroti nožů a hodnoty se pohybují od 1,5 do 2,1 kJ/m². Řeznou energii (ENCS) [kJ/kg] lze získat použitím vzorce:

$$ENCS = 1000 \cdot \frac{ENC1}{\frac{LTS \cdot LWC \cdot MDS}{LLP}} \quad (2)$$

kde:

ENC1 – řezná energie pro jeden řez (J)

LTS – tloušťka řezaného materiálu (mm)

LWC – šířka záběru (mm)

MDS – měrná hmotnost pevného materiálu (mg/mm³)

LLP – délka řezanky (mm)

Pokud se jedná o celkový výkon pro řez (POC) [kW], lze jej vypočítat ze vzorce:

$$POC = ENCSAE \cdot VLF \cdot LWD \quad (3)$$

kde:

ENCSAE – konkrétní řezná energie na jednotku oblasti (kJ/m²)

VLF – rychlost vkládání materiálu/rychlost nože vzhledem k materiálu (m/s)

LWD – šířka záběru (m)

Přičemž energie na jednotku oblasti (ENCSAE) lze vypočítat jako násobek řezné energie (ENCS viz. rovnice 2) s počtem plodin na jednotku oblasti (MAFAE) suchého materiálu [kg/m²]

Síla od nože ve směru jízdy (FOX)[N] dle (Persson, 1987) je počítána přes vzorec (Přičemž je síla od nože kolmo na směr jízdy (FOZ) rovno nule:

$$FOX = FOE + 2 * FOWN * \left[\sin\left(\frac{ANE}{2}\right) + CF * \cos\left(\frac{ANE}{2}\right) \right] \quad (4)$$

kde:

ANE – úhel ostří

FOWN – normálová kontaktní složka síly na straně čepele (N)

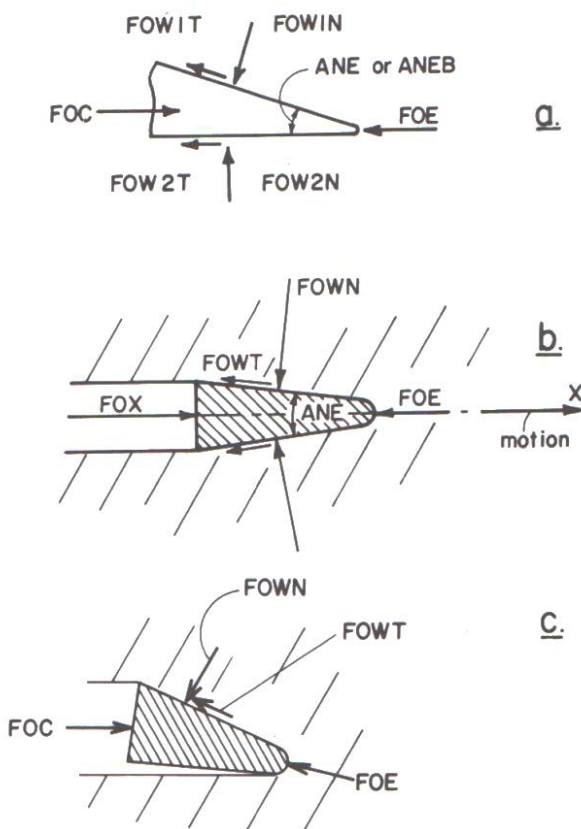
CF – koeficient tření = FOWT / FOWN

FOWT – tangenciální třecí složka (N)

FOE – síla ostří (n)

(Obr. 12) vysvětluje působení sil na ostří nože, které jsou popsány v rovnici 4.

Obr. 12 Elementární složky síly působící na ostří nože (Persson, 1987)
A – obecný případ, B – symetrický nůž, C – nůž s kontaktem pouze na jedné straně
FOWN, FOWIN, FOW2N – normálové složky síly klínu, FOWT, FOWIT, FOW2T
– tangenciální složky síly klínu, FOE – síla nože, FOX = FOC – řezná síla



Zdroj: [8]

Řeznou sílu (FOC)[N] lze vypočítat z následujícího vzorce:

$$FOC = \frac{MA \cdot \frac{VLK}{DTI} \cdot LHM + FOB \cdot LHCU}{LHCU} \quad (5)$$

kde:

MA – hmotnost řezaného materiálu (kg)

VLK – rychlost nože (m/s)

DTI – čas řezu (s)

LHCU – výška řezu nad zemí (m)

LHM – výška těžiště rostlin nad zemí (m)

LD – průměr (stonků) řezaného materiálu (mm)

FOB – tuhost v ohybu ve výšce řezu (N)

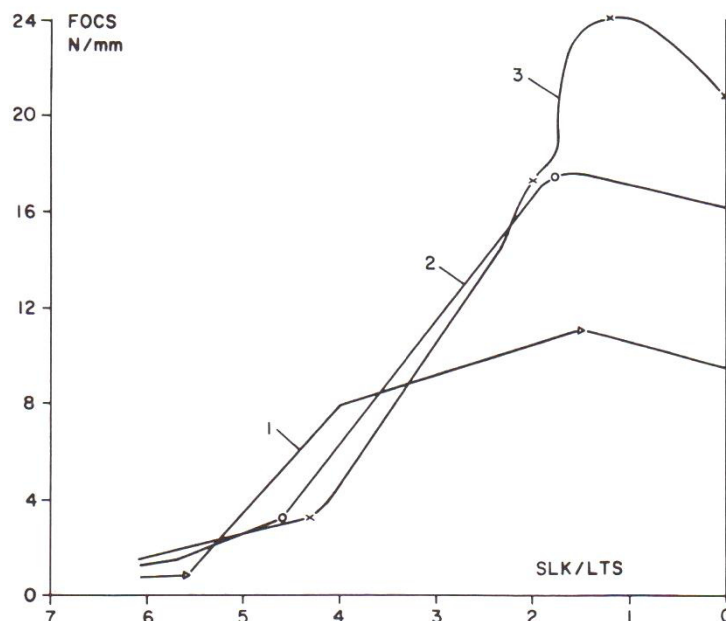
přičemž čas řezu lze vypočítat ze vzorce:

$$DTI = \frac{LD}{VLK \cdot 100} \quad (6)$$

Diagram řezných sil při řezu jílků lučního je na (Obr. 13) při použití tří různých tloušťek materiálu. Z obrázku je zřejmé, že s větší tloušťkou materiálu stoupá i potřebná řezná síla nože. Toto tvrzení podporuje i (Obr. 14A).

Obr. 13

Řezné síly pro jílek luční při obsahu vlhkosti 20 % (Persson, 1987)
 1 – tloušťka 0,94 mm, 2 – tloušťka 1,88 mm, 3 – tloušťka 2,82 mm
 FOCS – konkrétní řezná síla, SLK – koordináty nože, LTS – tloušťka materiálu

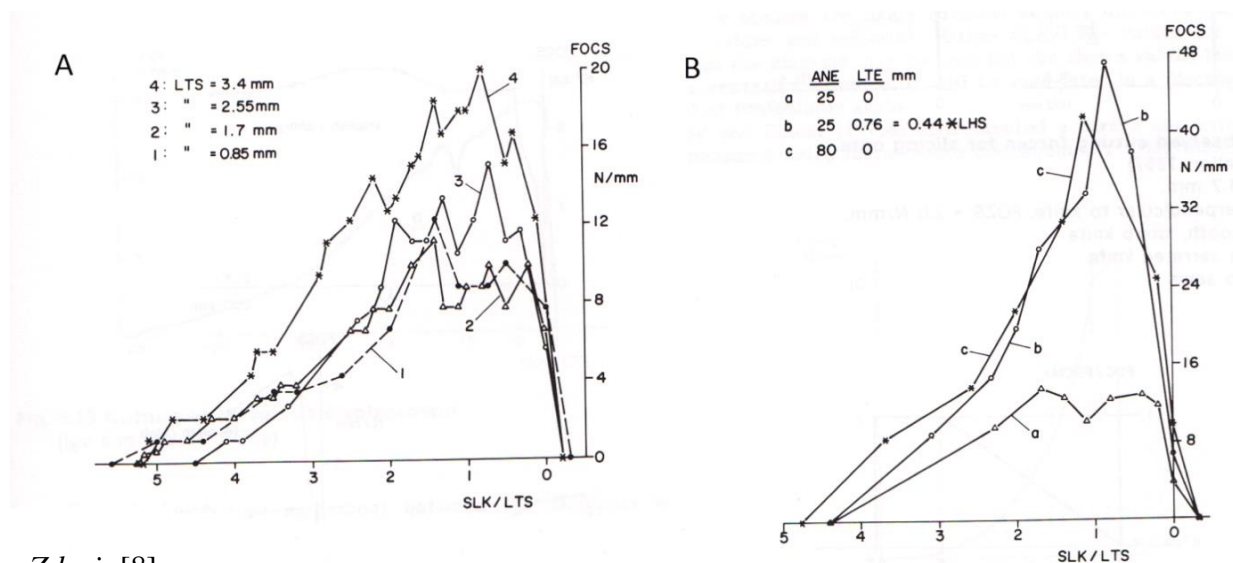


Zdroj: [8]

Na (Obr. 14B) je znázorněná závislost ostroty nože (jeho úhlu) na tloušťce řezaného materiálu. Toto měření je podpořeno (Kroulík, a další, 2008), kde bylo zjištěno, že ostrost nožů může snížit příkon žacího stroje až o 5 kW (Obr. 15).

Obr. 14

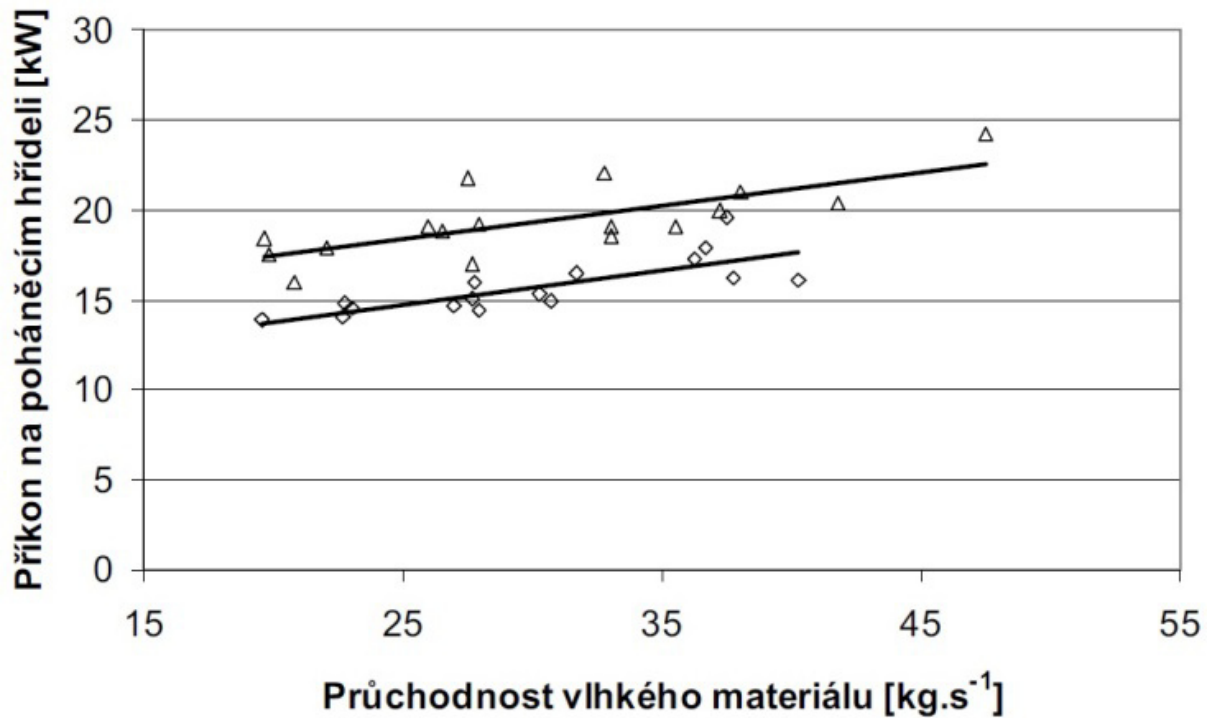
Řezná síla pro různé tloušťky materiálu (A) a pro různé ostroty (úhly) nožů (B) (Persson, 1987)
 FOCS - konkrétní řezná síla, LTE – tloušťka nebo tupost nože měřená po tangentě (mm), ANE – úhel nože, SLK – koordináty nože, LTS – tloušťka materiálu



Zdroj: [8]

Obr. 15
 Porovnání příkonů rotačního žacího stroje o záběru 3 m při použití ostrých
 a tupých nožů (Kroulík, a další, 2008)

△ - tupé nože, ◇ - ostré nože



Zdroj: [4]

2.4.2 Ztráty na žacích strojích

Ztráty na žacích strojích jsou ovlivněny mnoha faktory, jakou jsou například: akcelerace materiálu na výstupní rychlost; k překonání třecích sil mezi materiálem a krytem žacího ústrojí, zatímco je materiál stále tlačěn řezacím ústrojím; 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 (Persson, 1987). Celkové ztráty z těchto zdrojů mohou být větší než je skutečný řezný výkon. Celkové ztráty (POL) [kW] na žacím ústrojí se dají vyjádřit graficky (Obr. 15) následující rovnicí:

$$POL = POL1 + POL2 = POLAC + POLFR + POLAI + POLFE + POLFRM + POLMI$$

(7)

kde:

POL1 – neřezné ztráty (kW)

POL2 – všechny výkonové ztráty, úměrné rychlosti posuvu (kW)

POLAC – řezný výkon (kW)

POLFR – výkon k překonání třecích sil mezi materiálem a krytem žacího ústrojí (kW)

POLAI – výkon pro vytvoření ventilačního efektu (kW)

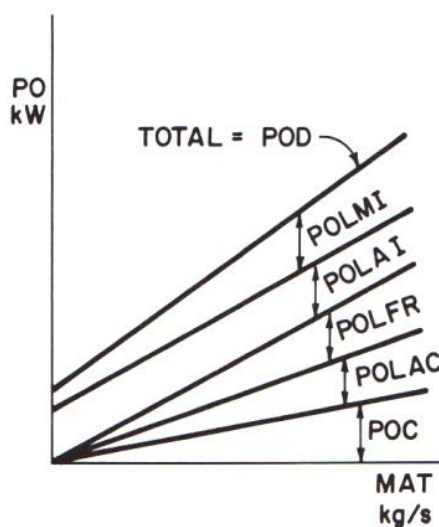
POLFE – výkon pro vkládání materiálu (kW)

POLFRM – výkon k překonání třecích sil hnacího mechanismu (kW)

POLMI – další parazitní ztráty (kW)

Obr. 16

Řezný výkon (POC) a ztráty v závislosti na přísunu řezané hmoty (Persson, 1987)

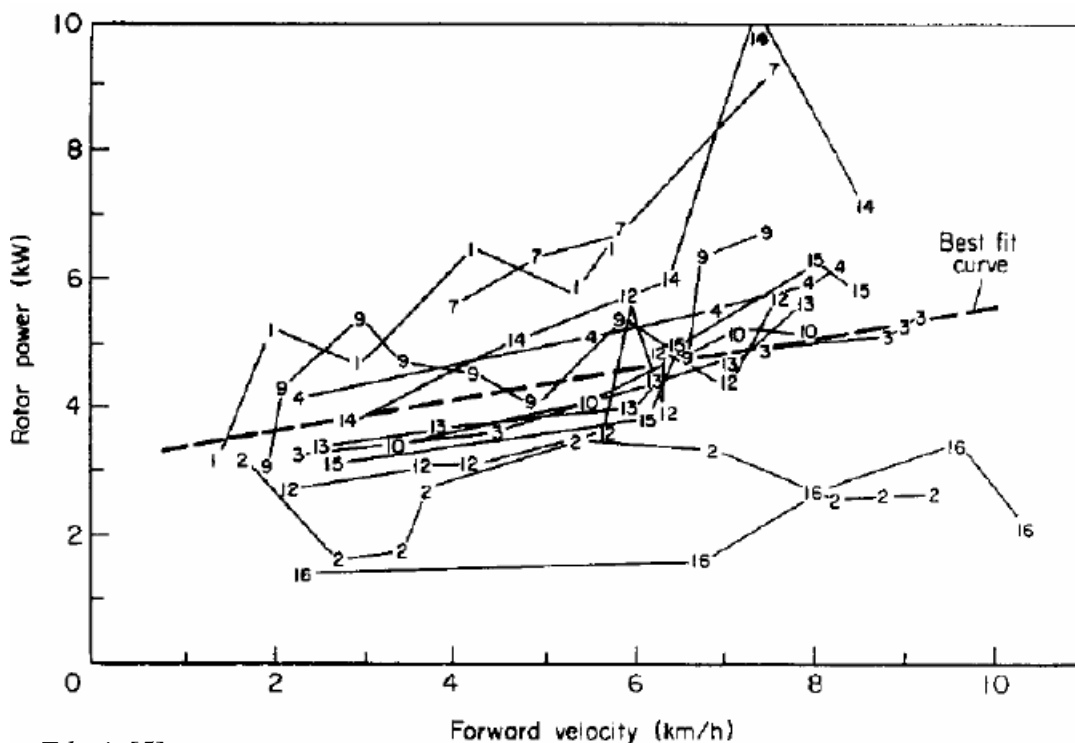


Zdroj: [8]

Identifikované energetické ztráty u rotačních žacích strojů jsou ventilační, tažení žacího stroje, tření v hnacím ústrojí a tření se strništěm pod noži (Mcrandal, a další, 1978b). Experimenty s žacími stroji se svislou osou rotace je uvedeno, že 50% vstupní energie je použita pro "převahu" rostlin, zatímco pouze 3% vstupní energie je použita na stříh stonků rostlin (Mcrandal, a další, 1978a). Tyto experimenty byly prováděny na loukách s rychlostí čepele 78 m/s, rychlost pojezdu 5,5 km/h. Hustota porostu, konkrétně hmotnost plodin na jednotku plochy, byla nejdůležitějším faktorem při určování spotřeby energie, vysvětluje 46% pozorované variace. Stéblová pevnost ve stříhu, počet stébel na jednotku plochy a výška plodiny by měly mít poměrně malý vliv, což představuje 14, 13, 6 a 2% variace výkonu. Sečná síla zvýšená o pojezdovou rychlost (Mcrandal, a další, 1978b)(Obr. 12) může mít vliv na výkonnost stroje. Tento vztah může být v důsledku zvýšení energetických požadavků na tok materiálu, který byl vztážen k druhé mocnině pojezdové rychlosti.

Obr. 17

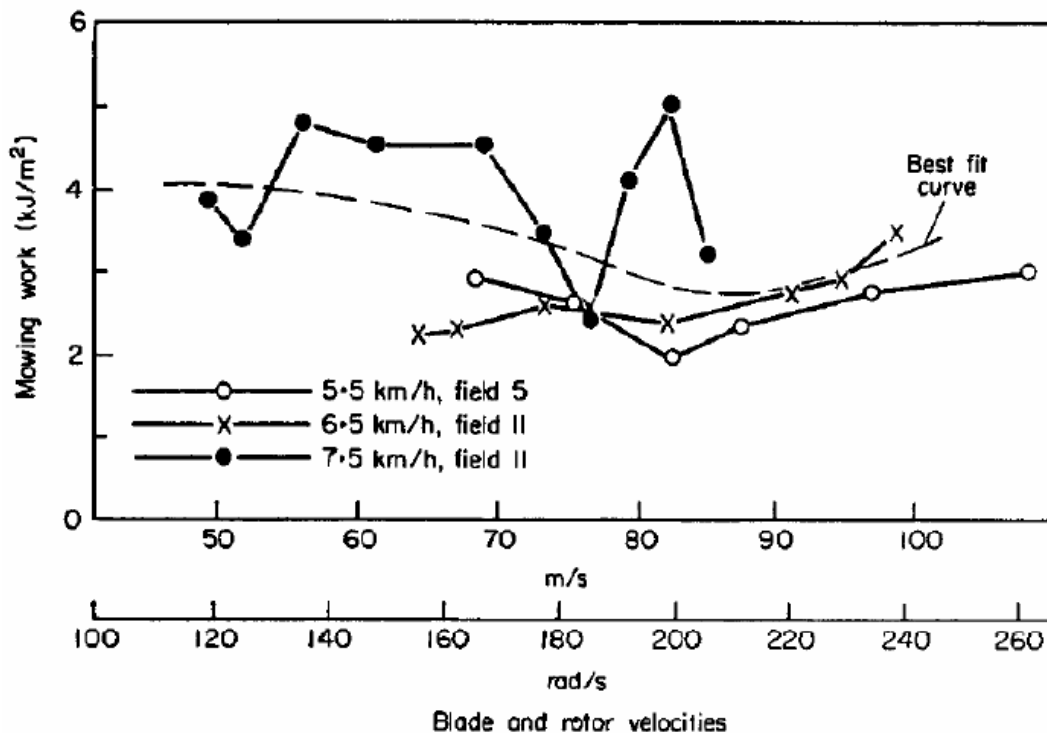
Vliv pojezdové rychlosti na výkon sečení při rychlosti čepele 78 m/s, čísla jsou jednotlivá pole (Mcrandal, a další, 1978b)



Zdroj: [5]

Obr. 18

Závislost řezné a pojezdové rychlosti na práci žacího stroje, každý z bodů je průměr z polních měření (Mcrandal, a další, 1978b)



Zdroj: [5]

Jak je znázorněno na (Obr. 13), příkon na jednotku plochy (kW/m²) klesl s pojezdovou rychlostí v rozsahu 2 - 9 km/h, což znamená, že celková spotřeba energie může být snížena zvýšením pojezdové rychlosti (Mcrandal, a další, 1978b). Tento trend je pravděpodobně způsoben vyšším podílem užitečné práce vykonané za jednotku energie parazitních ztrát.

Použití nože je dalším důležitým faktorem pro výkon rotačních žacího stroje. Laboratorní studie prokázaly čisté řezy trávy při rychlostech 25 m/s, zatímco polní žací stroje vyžadují 40 - 60 m/s (Mcrandal, a další, 1978b). Tento rozpor lze vysvětlit pozorováním, že kinetická energie nože byla zcela spotřebovaná v polních podmínkách, kde hustota rostlin a třecí ztráty byly větší.

3 Cíl práce

Cílem práce je vyhodnotit závislost vnitřního uspořádání pracovního prostoru mulčovače s vertikální osou rotace na energetické náročnosti jeho pohonu s využitím elektrického pohonu.

4 Metodika

Pro vlastní ověření byl ve spolupráci katedry zemědělských strojů a Bednar FMT s.r.o. vyvinut laboratorní model mulčovače s vertikální osou rotace a elektrickým pohonem.

4.1 Konstrukce modelu sekce mulčovacího stroje

Pro laboratorní měření elektrifikovaného mulčovacího stroje byly stanoveny následující podmínky.

- Možnost výškového nastavení rotoru s noži i krytů modelu mulčovacího stroje vůči základní (podlahové) části.
- Možnost výškového nastavení rotoru s noži (nožové sekce) vůči horním krytům modelu mulčovacího stroje.
- Možnost výměny krytů modelu mulčovacího stroje (případně různé tvary krytů).
- Možnost změny průměru krytů (nastavitelnost bočních částí krytů) modelu mulčovacího stroje.
- Zajistit čiré kryty pro možnost záznamu průběhu laboratorních zkoušek na vysokorychlostní kameru.

Vzhledem k tomu, že průměr jedné sekce stávajícího mulčovacího stroje (třírotorový mulčovací stroj poháněný vývodovým hřídelem traktoru), který byl používán při polních měřeních je 2 m, bylo rozhodnuto provést konstrukci modelu se stejným průměrem (použít standardně vyráběné součásti) a co nejvíce se přiblížit podmínkám pro daný stroj v laboratorních podmínkách.

4.1.1 Kryty modelu mulčovacího stroje

Jednou ze základních podmínek pro navržení krytů (horních i bočních) pro model mulčovacího stroje je jejich čírost (průhlednost) pro možnost záznamu průběhu laboratorních zkoušek na rychlokameru. Vzhledem k navrženému rámu (viz. následující

kapitola Konstrukční řešení rámu modelu mulčovacího stroje) je vzdálenost mezi vnitřní hranou a vnější hranou horního plochého krytu 730 mm, z tohoto důvodu jsou horní kryty opatřeny žebry, které jsou nalepeny pro zvýšení celkové pevnosti krytu. Veškeré části horního plochého krytu jsou vyrobeny z čirého plexiskla. Pro jednoduchou manipulaci a umístění na hlavní část rámu je horní plochý kryt rozdělen na čtyři části (Obr. 19).

*Obr. 19
Jedna čtvrtina horního plochého krytu s žebry pro zpevnění*



Zdroj: autor

Boční část krytu je také rozdělena na čtvrtiny (Obr. 20) a je vyrobena z čirého polykarbonátu. Požadovaná změna průměru bočních krytů je zajištěna podložkami umístěnými na hlavní části rámu (větší podložení = menší průměr bočních krytů).

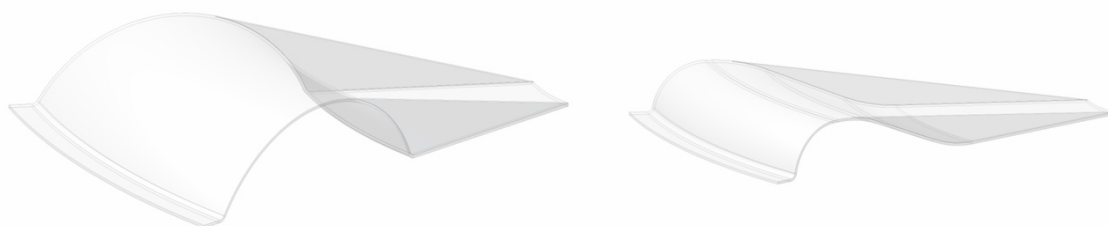
*Obr. 20
Jedna čtvrtina boční části krytu*



Zdroj: autor

Pro budoucí měření a využití potenciálu modelu mulčovacího stroje byly navrženy dva typy horních „tvarovaných“ krytů. Z hlediska výroby ze sklolaminátu a nutnosti výroby forem, jsou tyto navržené kryty rozděleny do dvanácti stejných částí. Základními tvary jsou „boule“ a „kapka“ (Obr. 21).

*Obr. 21 Plánované tvary krytů
(zleva: boule, kapka)*

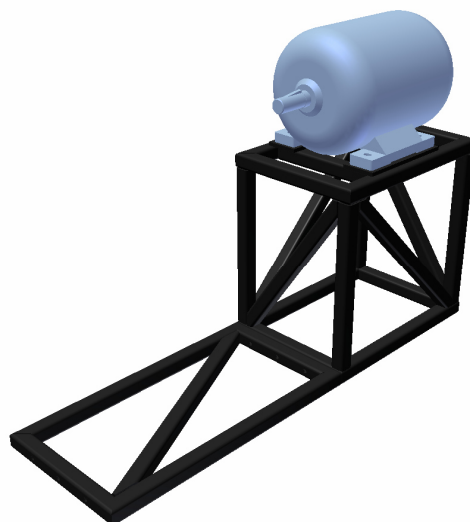


Zdroj: autor

4.1.2 Konstrukční řešení rámu modelu mulčovacího stroje

Pro návrh modelu mulčovacího stroje je předpokládán elektromotor o výkonu 7,5 kW, který přes kardanový hřídel a úhlovou převodovku pohání sekci nožů. Z tohoto důvodu byla navržena stolice (TR 4HR 40x40x4 CSN 11 523) pro uchycení elektromotoru s vhodným odstupem od zbylé konstrukce (úhlové převodovky) (Obr. 22).

Obr. 22 Rám motoru s umístěným motorem

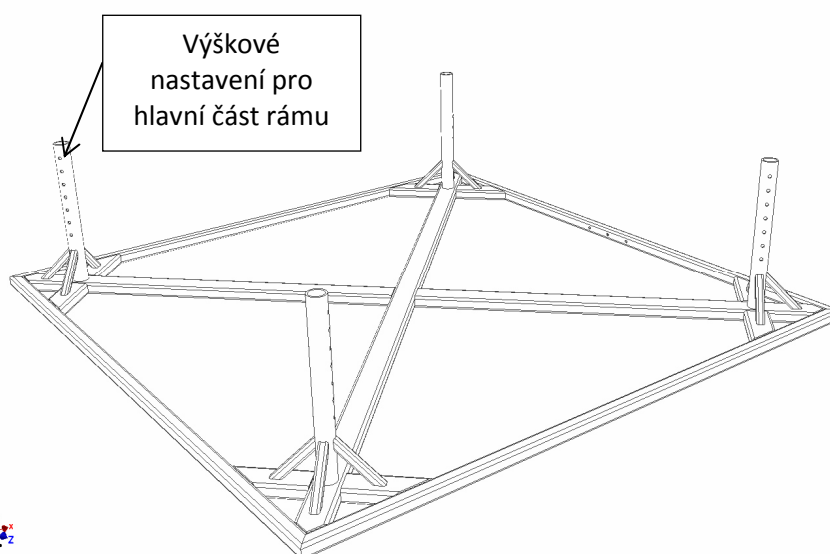


Zdroj: autor



Pro umístění celé konstrukce s možností výškového nastavení celé mulčovací sekce je navržena základní část rámu (TR 4HR 40x40x4; TR OBD 80x40x4 CSN 11 523). Tento rám je opatřen výškovým nastavením ve formě trubek s perforacemi (TR $\varnothing 51,5 \times 5$; CSN 11 523) pro umístění šroubů, dále jsou tyto trubky opatřeny zavětrováním, které zlepšuje soudržnost konstrukce (TR 4HR 25x25x3 CSN 11 523) (Obr. 23).

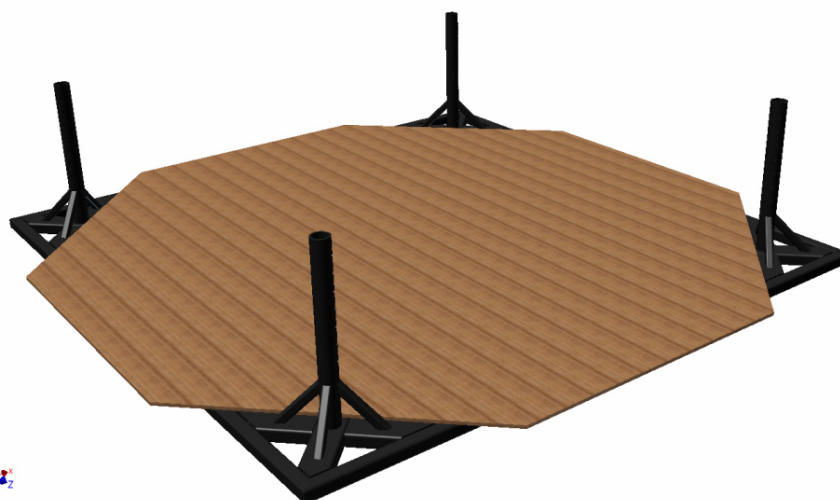
Obr. 23 – Základní část rámu



Zdroj: autor

Na základní konstrukci je umístěna deska, která zajišťuje funkci podlahy / roviny pozemku a je zároveň dostatečně velká, aby zaujala celou plochu pod pohybujiící se částí modelu mulčovacího stroje (Obr. 24).

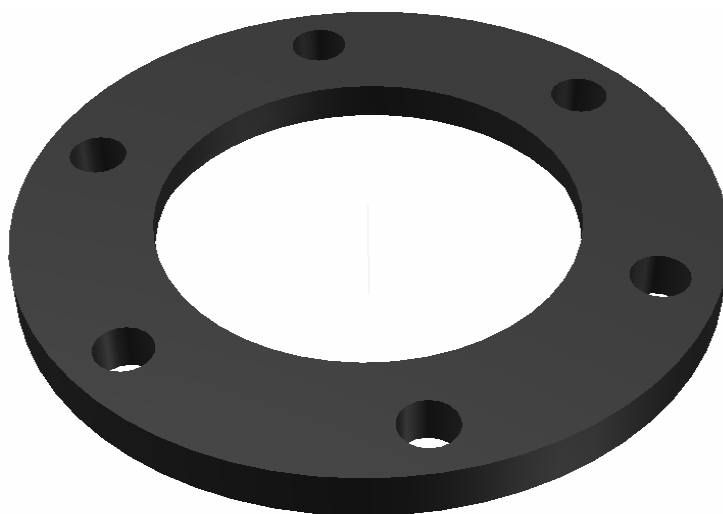
Obr. 24 – Základní část rámu s deskou



Zdroj: autor

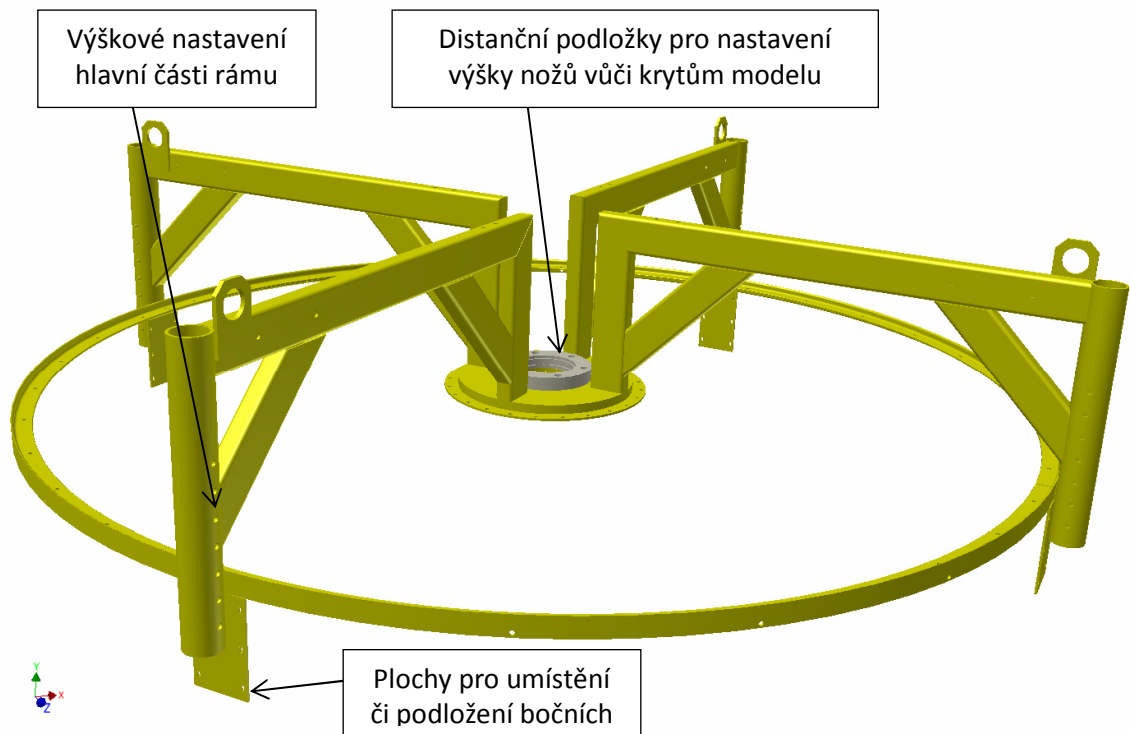
Na celou základní konstrukci je navržena horní část celého rámu, na které jsou umístěny hlavní prvky, jako jsou: úhlová převodovka, nožová část, krytová část atd. Taktéž tato část umožňuje výškové nastavení nožové části vůči krytům podložkami pod převodovku od nulové hodnoty do maximálního rozsahu (Obr. 25), které jsou také upevněny na hlavní části. Hlavní část rámu je také opatřena oky pro snadnější manipulaci při výškovém nastavení celé hlavní části, například manipulátorem, či jeřábem (Obr. 26). Ramena (TR OBD 80x40x4 CSN 11 523) hlavní části rámu jsou řešena tak, aby bylo možné využít dalších možností, jako jsou například tvarované kryty, se kterými se častěji setkáváme u zahradních typů sekaček a mulčovacích strojů. V případě jednodušší konstrukce by bylo možné na modelu usazovat pouze ploché kryty. Horní kryty jsou uchyceny na středovém věnci a na vnějším ohýbaném profilu T tvořící prstenec (T 40 s rovnoběžnou stojnou CSN 11 343). Boční kryty jsou uchyceny na vnějším ohýbaném profilu T a na plochách s podložkami pro změnu průměru (od $\varnothing 2050$ mm do $\varnothing 2250$ mm) bočních krytů (OBD 110x50x187 při změně průměru je tento blok vynechán či nahrazen OBD 110x100x187 WOOD), které jsou umístěny na nohách (TR $\varnothing 70 \times 5$ CSN 11 523) s perforacemi pro zajištění výškového nastavení hlavní části rámu, které zapadá do trubek TR $\varnothing 51,5 \times 5$ ve spodní části rámu.

Obr. 25 Podložka pod úhlovou převodovku pro výškové nastavení nožové části o tloušťce 15 mm



Zdroj: autor

Obr. 26 Hlavní část rámu s distančními podložkami pro uchycení převodovky

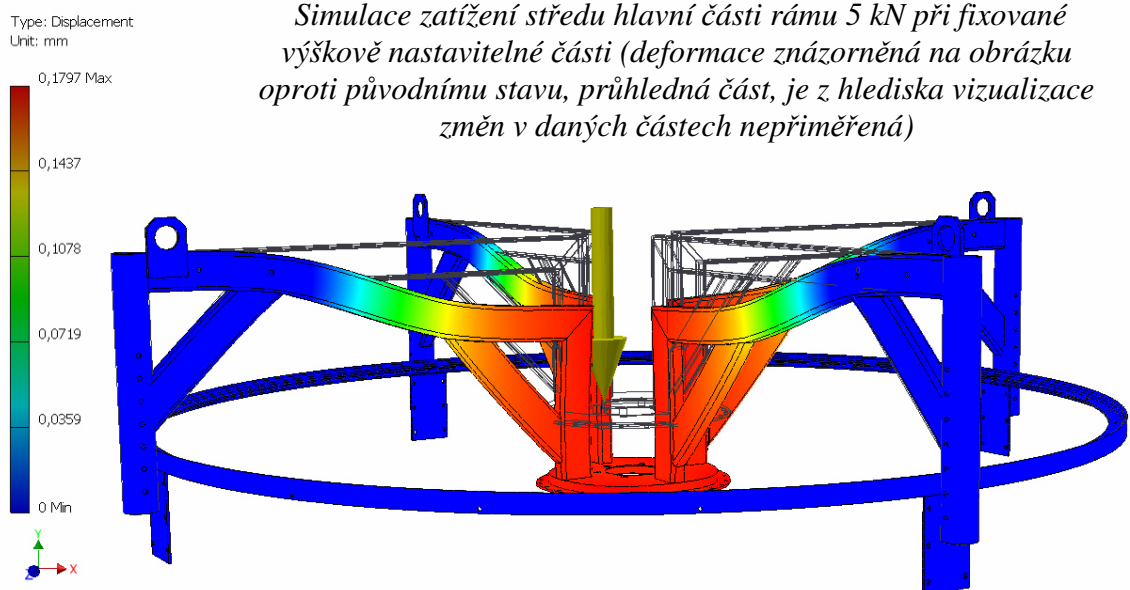


Zdroj: autor

Simulace zatížení středu hlavní části rámu silou 5 kN při fixované výškově nastavitelné části je zobrazeno na (Obr. 27). Z obrázku je patrné, že při daném zatížení, které je více jak pětinasobné oproti reálným podmínkám (nožová část, úhlová převodovka a další komponenty), dochází k maximální deformaci 0,18 mm.

Obr. 27

Simulace zatížení středu hlavní části rámu 5 kN při fixované výškově nastavitelné části (deformace znázorněná na obrázku oproti původnímu stavu, průhledná část, je z hlediska vizualizace změn v daných částech nepřiměřená)

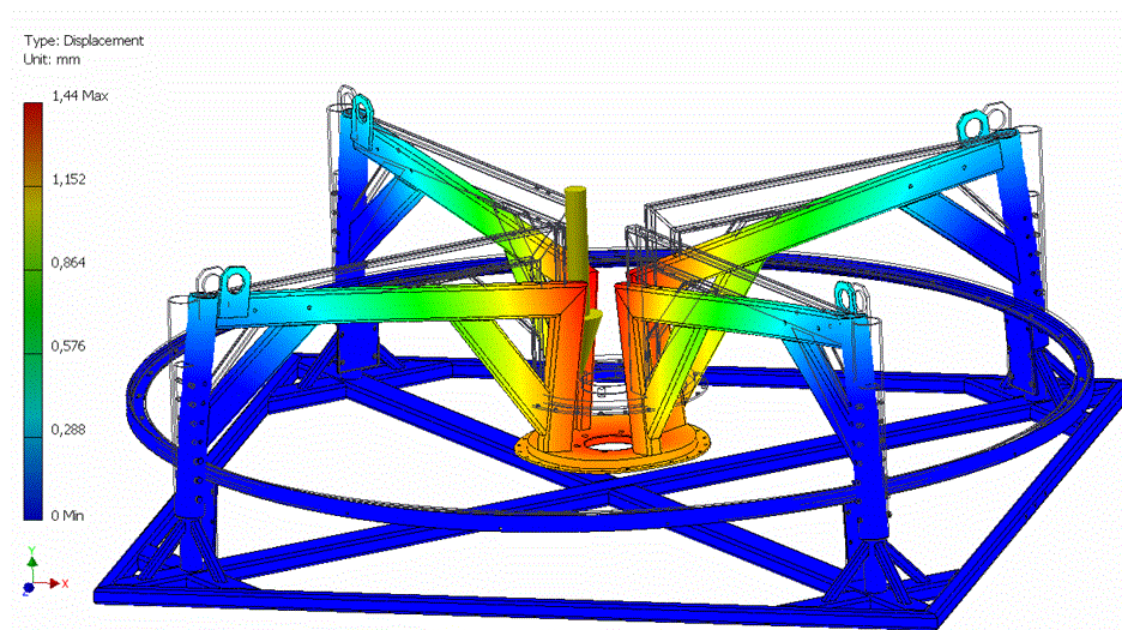


Zdroj: autor

Konstrukční řešení nožové části konstrukce včetně simulace je na (Obr. 28). Oproti předchozímu je znatelná změna místních deformací směřující ke středu konstrukce s maximální deformací 1,44 mm. Pro zpevnění celé konstrukce jsou na hlavní části rámu přidané dva prvky zavětrování (TR OBD 80x40x4 CSN 11 523) (umístěno u úchytných ok) a také kříž (TR 4HR 40x40x4 CSN 11523), který zpevňuje střední část celého horního rámu po umístění převodovky. Po přidání zpevňujícího kříže (Obr. 29) bylo dosaženo maximální deformace 0,094 mm při síle působící na střed konstrukce v místě úhlové převodovky 2 kN.

Obr. 28

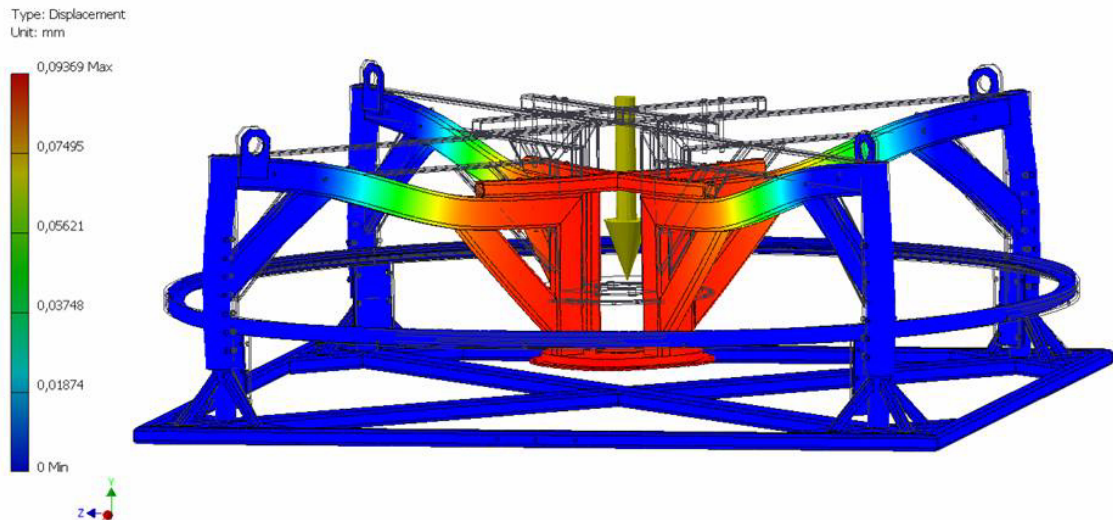
Simulace konstrukce celé nožové části při zatížení středové části 2 kN (deformace znázorněná na obrázku oproti původnímu stavu, průhledná část, je z hlediska vizualizace změn v daných částech nepřiměřená)



Zdroj: autor

Obr. 29

Simulace konstrukce celé nožové části se zpevňujícím křížem při zatížení středové části 2 kN (deformace znázorněná na obrázku oproti původnímu stavu, průhledná část, je z hlediska vizualizace změn v daných částech nepřiměřená)

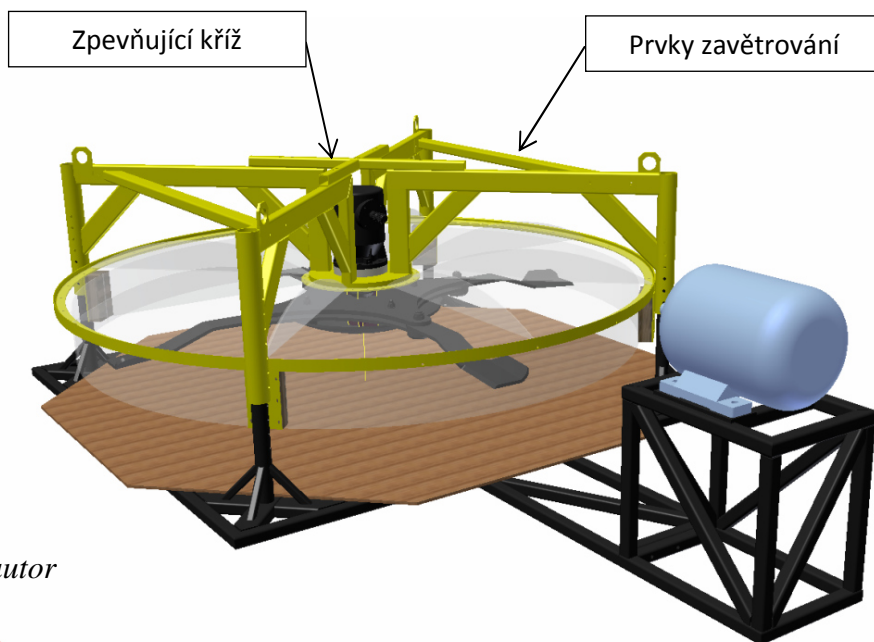


Zdroj: autor

Celé konstrukční řešení včetně horních plochých krytů, bočních krytů ($\varnothing 2060$ mm), úhlové převodovky a nožové sekce je zobrazeno na (Obr. 30).

Obr. 30

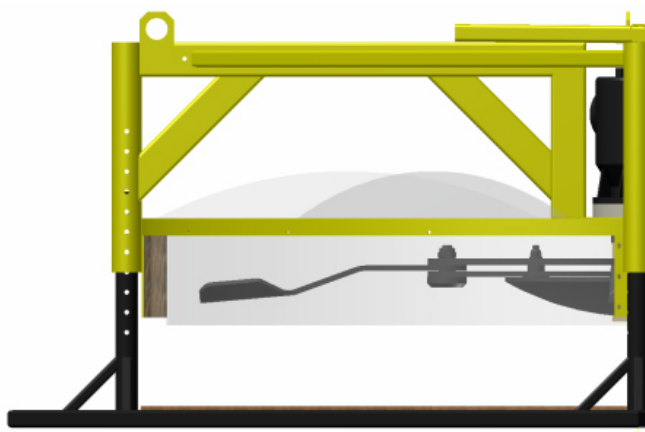
Sestava modelu mulčovacího stroje s plochými horními kryty a bočnicemi tvořící $\varnothing 2060$ mm




Zdroj: autor

Výškové nastavení hlavní části rámu je od 51 mm do 235 mm (vzdálenost mezi deskou a nejnižším bodem nože). Maximální průměr je 2250mm, a minimální průměr omezen průměrem nožové sekce je 2050mm. Výškové nastavení je na (Obr. 31).

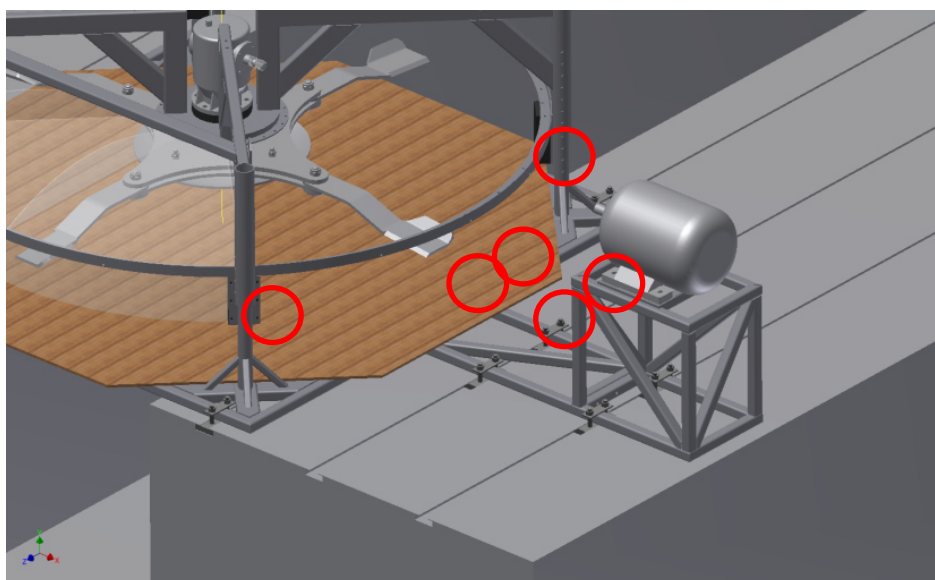
Obr. 31
Zobrazení rozdílů výškového nastavení hlavní části rámu





Zdroj: autor

Celá konstrukce modelu mulčovače bude uchycena do podlahových lišt přepásáním jednotlivých částí či uchycení přes upínky (Obr. 32).

Obr. 32
Uchycení modelu mulčovače do podlahových lišt v laboratorních podmínkách (na obrázku včetně otevřené montážní jámy)




Zdroj: autor

Výsledná reálná konstrukce po svaření a lakování a výsledná sestava která byla opatřena „ochrannou klecí“ na výstupu motoru je na (Obr. 33). Kompletně osazená sestava včetně všech základních krytů je na (Obr. 34).

*Obr. 33
Reálná konstrukce po svaření a lakování a Celková sestava modelu mulčovače včetně přípravku pro měření otáček a momentu a „ochranné klece“ na výstupu z motoru při minimální výšce nastavení hlavní části rámu*



Zdroj: autor

*Obr. 34
Kompletní sestava modelu mulčovače včetně horních plochých krytů a bočnic nastavených na $\phi 2120$ mm a při minimální výšce nastavení hlavní části*



Zdroj: autor

4.2 Postup měření na elektrickém pohonu mulčovače

Ve dnech 3.12. a 5.12. 2014 byla prováděna měření příkonu sekce mulčovacího stroje v laboratoři katedry zemědělských strojů byl zjišťován elektrický příkon soustavy pohonné jednotky frekvenčního měniče s asynchronním motorem při zatížení různými kombinacemi mulčovacích nožů.

Byly prováděny zkoušky různých uspořádání:

- **(1) bez nožů**
- **(2) s dvojicí nožů na kukuřici (2K)**
- **(3) s kombinací dvojice nožů kukuřičných (2K) a dvojice lopatkových (2L)**
- **(4) s dvojicí nožů lopatkových (2L)**
- **(5) s čtveřicí lopatkových nožů (4L)**

Pohon pokusného zařízení byl realizován asynchronním motorem MEZ AF544/4A, výkonu 7,5 kW, otáčky 1465 min^{-1} , zapojení Δ , 380 V, 15,9 A, r.v. 1963.

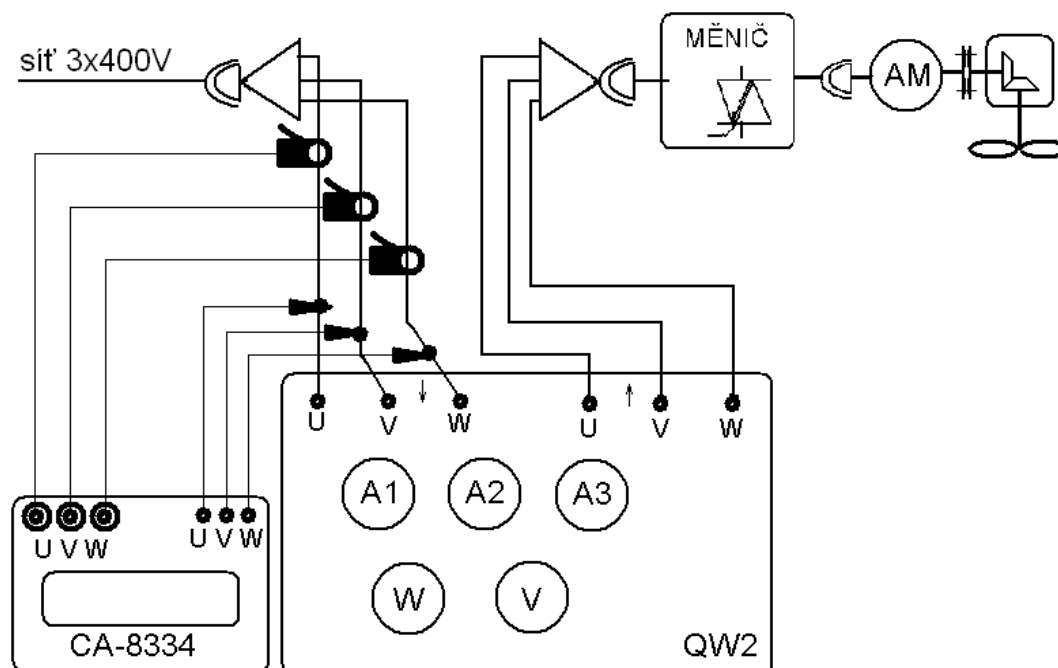
Napájení motoru bylo provedeno pomocí frekvenčního měniče TECO 7300 určeného pro výkon 7,5 kW se vstupním proudem až 24,5 A a s výstupním proudem pro motor 17,5 A.

Měření bylo prováděno duplicitně pomocí měřicí kufrové soupravy Metra QW2 pro třífázovou třívodičovou zátěž s ručním záznamem dat a pomocí elektronického analyzátoru sítě Chauvin-Arnoux CA8334 se záznamem elektronickým. Zmíněný analyzátor CA8334 je určený výlučně do obvodů průmyslového kmitočtu o frekvenci 50 Hz, nebo 60 Hz. S ohledem na to bylo prováděno měření v přívodu síť-měnič. Informace o proudu pro analyzátor je snímána pomocí klešťových proudových transformátorů, napětí je snímáno přímo z fázových přívodů. Pro vyhodnocení údajů analogové soupravy měřidel – obzvláště výkonu bylo nutno na soupravě zjistit konstantu wattmetru a elektrický příkon P_p byl určen vzorcem $P_p = k_w \times \alpha_w$

(předposlední sloupec tabulky). Pro zjištění proudového odběru soustavy ze zdroje (sítě) se prováděl aritmetický průměr údajů ampérmetrů A1, A2, A3 (poslední sloupek tabulky).

Před osazením pokusného mulčovače noži bylo prováděno zkoušení proudového namáhání motoru při rozběhu zařízení. Analogová měřicí souprava byla zařazena do obvodu mezi měnič a motor. Pro frekvenci cca 17,5 Hz a předpokládané otáčky v okolí hodnoty 500 min^{-1} , bylo dosaženo 480 min^{-1} a po dobu rozběhu proud motoru ve všech fázových přívodech dosahoval až 26 A. Těsně před ustálením otáček fázové proudy poklesly na 17,5 A a navíc došlo k výpadku měniče s chybovým hlášením OL1 - přetížení motoru.

Obr. 35
Schéma zapojení



Zdroj: autor

Bylo proto rozhodnuto, že prozatím se omezí frekvence přesahující tuto hranici a tato byla snížena na 17,2 Hz, kvůli získání prvotních dat. Následně došlo k přemístění

analogové soupravy do síťového přívodu měniče podle (Obr. 35). Vedla k tomu i skutečnost snazšího zařazení digitálního analyzátoru. Měnič byl ještě přestaven tak, aby umožňoval zobrazení proudu motorového okruhu na jeho displeji. Nejprve byly zaznamenávány pouze velikosti proudů motorového okruhu jen při rozběhu (údaj I_r), posléze se přistoupilo i k záznamu proudu na motoru v ustáleném stavu (údaj I_u). Případné abnormální stavy během měření jsou slovně zaznamenány u příslušné sady měřicích stupňů napájecí frekvence async- motoru.

5 Výsledky měření

5.1 Měření 03. 12. 2014 - Bez zakrytování

Nejprve byla zkoušena různá uspořádání zátěže bez zakrytování rotační části. Sled měření byl poplatný montážním postupům z důvodu jejich časové náročnosti. Začínalo se s dvojicí lopatkových travních nožů (4).

5.1.1 Uspořádání (4) – 2L

Tab. 1: Nože 2L

		Wattmetr		Ampérmetry:			Ustal.	Příkon	sít'.
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
17,20	515	200	23	9,5	9,5	9,5	-	4600	9,5
13,13	393,5	40	58	5,1	5,1	5,1	13	2320	5,1
10,70	321	40	37	3,4	3,4	3,3	10,5	1480	3,37

Zdroj: autor

V prvopočátku nebylo ustáleno sledování všech veličin uvedených v (Tab. 1) nejprve nebyly sledovány proudy ve fázových přívodech okruhu „měnič - async-motor“ ani ve stavu ustáleném. Po přenastavení měniče na zobrazování těchto proudů se přistoupilo k jejich zaznamenávání. Nejprve v ustálených stavech, posléze i během rozběhu pohonu. Podle podobnosti s pozdějšími měřeními lze dovodit, že během rozběhu mohly tyto proudy dosahovat velikosti kolem 22 – 25 A i podle štítkových údajů měniče. Problematictější se jeví odhad proudového namáhání motoru v ustáleném stavu při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz. Na základě podobnosti s měřením 4 lze ze shodnosti impedance motoru a přepočtení proudu na vstupu měniče odhadovat minimální velikost jeho proudu na 18,9 – 19,4 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat proudové přetížení motoru 12 – 15 %. Vzhledem k tomu, že toto měření proběhlo rychleji, nestihla jej zachytit

zabudovaná ochrana měniče. Vzhledem ke snížení frekvence oproti štítkové a horším ventilačním účinkům při nižších otáčkách nelze motor takto dlouhodobě provozovat.

Aby byl možný dlouhodobější provoz, nesmí proud async-motoru přesáhnout jmenovitou velikost (vyloučeno při 17,2 Hz) a při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru).

5.1.2 Uspořádání (5) – 4L

Tab. 2: Nože 4L

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
17,20	441,1 **)	200	29	14	14	14	-	5800	14
13,13	389 *)	200	20	8,2	8,2	8,2	-	4000	8,2
10,70	319 *)	40	59	5,2	5,2	5,2	14,4	2360	5,2

Zdroj: autor

*) výpadek OL1 – přetížení motoru

***) výpadek OL2 – přetížení měniče

Problematickými byla všechna měření v ustálených stavech kvůli výpadkům možnosti sledování proudu async-motoru. Při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz došlo k výpadku měniče bez dosažení ustálených otáček. Na základě podobnosti s měřením 4 lze z podobnosti impedance motoru a přepočtení proudu na vstupu měniče odhadovat minimální velikost jeho proudu na 25,0 – 28,6 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat proudové přetížení motoru o 48 – 69 %. Oproti štítkovému proudu měniče (17,5 A) nabývá toto přetížení rozdílu 43 – 64 %, zatímco výrobcem dovolené přetížení je o 50 % a to krátkodobě – 1minutu. Kvůli této skutečnosti došlo ke kolapsu indikační funkce displeje měniče a posléze i k jeho úplnému výpadku (chybové hlášení OL2).

Při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz došlo k selhání indikačních funkcí měniče (OL1). Na základě podobnosti s měřením 3 lze z podobnosti impedance motoru a přepočtení proudu na vstupu měniče odhadovat minimální velikost jeho proudu na 14,9 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat, že proudové přetížení motoru by se nemělo vyskytnout. Jediným možným vysvětlením může být nekonstantní velikost proudu async-motoru (docházelo k mechanickým vibracím pohonu) a opakované proudové rázy vyvolaly výpadek měniče typu „OL1“.

Vzhledem ke snížení frekvence oproti štítkové a horším ventilačním účinkům při nižších otáčkách nelze motor takto dlouhodobě provozovat. Aby byl možný dlouhodobější provoz, nesmí proud async-motoru přesáhnout jmenovitou velikost a při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru).

5.1.3 Uspořádání (3) – nože 2L+2K

Tab. 3: Nože 2L+2K

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
17,20	477,2 **)	200	31	13	13	13	-	6200	13
13,13	389,9 *)	200	18	7,3	7,3	7,3	13,2	3600	7,3
10,70	319,2 *)	40	53	4,65	4,65	4,65	13,2	2120	4,65

Zdroj: autor

*) výpadek OL1 – přetížení motoru

***) výpadek OL2 – přetížení měniče

Problematickými byla všechna měření v ustálených stavech kvůli některým výpadkům možnosti sledování proudu async-motoru. Při napájecí frekvenci motoru

17,2 Hz došlo k výpadku měniče bez dosažení ustálených otáček podobně jako v předchozím měření č. 2. Na základě podobnosti s pozdějším měřením č. 4 lze z podobnosti impedance motoru a přepočtení proudu na vstupu měniče odhadovat minimální velikost jeho proudu na 25,0 – 28,6 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat proudové přetížení motoru o 48 – 69 %. Oproti štítkovému proudu měniče (17,5 A) nabývá toto přetížení rozdílu 43 – 64 %, zatímco výrobcem dovolené přetížení je o 50 % a krátkodobě – 1 minutu. Kvůli této skutečnosti došlo ke kolapsu indikační funkce displeje měniče a posléze i k jeho úplnému výpadku (chybové hlášení OL2).

Při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz opět došlo k selhání indikačních funkcí měniče a chybě „OL1“. Porovnáním zjištěného proudu async-motoru (13,2 A) s jeho štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat, že proudové přetížení motoru by se nemělo vyskytnout. Jediným možným vysvětlením opět může být nekonstantní velikost proudu async-motoru (opětný výskyt mechanických vibrací pohonu) a opakované proudové rázy vyvolaly výpadek měniče typu „OL1“.

Stejný případ problému se vyskytl i při nejnižší napájecí frekvenci 10,7 Hz. Proud async-motoru je opět 13,2 A, což by nemělo být proudovým přetížením. Vzhledem ke snížení frekvence oproti štítkové a horším ventilačním účinkům při nižších otáčkách nelze motor takto dlouhodobě provozovat. Aby byl možný dlouhodobější provoz, nesmí proud async-motoru přesáhnout jmenovitou velikost a při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru).

5.1.4 Uspořádání (2) – nože 2K

Tab. 4: Nože 2K

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
17,20	513,5	200	19	7,6	7,6	7,6	15,5	3800	7,6
13,13	393,1	40	48	4,2	4,2	4,2	11,4	1920	4,2
10,70	321,3	40	32	2,9	2,9	2,9	9,1	1280	2,9

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 15,5 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 11,4 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 9,1 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Vzhledem ke snížení frekvence oproti štítkové a horším ventilačním účinkům při nižších otáčkách nelze motor takto dlouhodobě provozovat. Pro dlouhodobější provoz při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru) async-motoru.

5.1.5 Uspořádání (1) – Bez nožů

Tab. 5: Bez nožů

f(Hz)	n (min ⁻¹)	Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal. mot.	Příkon Pp(W)	síť.: I(A)
		kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)			
17,20	516,7	40	29	2,7	2,7	2,7	7,5	1160	2,7
13,13	395	40	20	1,8	1,8	1,8	7,1	800	1,8
10,70	322,2	40	17	1,6	1,6	1,6	7,0	680	1,6

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru. Zjištěné proudy fázových přívodů async-motoru jsou pod 50% jeho jmenovité velikosti a nepřesáhnou 7,5 A.

Vzhledem ke snížení frekvence oproti štítkové a horším ventilačním účinkům při nižších otáčkách nelze motor takto dlouhodobě provozovat. Pro dlouhodobější provoz při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru) async-motoru.

5.2 Měření 05. 12. 2014 - Se zakrytváním

Nejprve byla zkoušena různá uspořádání zátěže s úplným (měření č. 6 - 9) nebo částečným (měření č. 10 - 13) zakrytváním rotační části. Sled měření byl poplatný montážním postupům z důvodu jejich časové náročnosti. Začínalo se se čtveřicí lopatkových travních nožů (5) a úplným zakrytváním shora i ze stran.

5.2.1 Uspořádání (5) – 4L + úplné zakrytování

Tab. 6: 4L + úplné zakrytování

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (d)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
17,20	516	40	75	6,0	6,0	6,0	14,1	3000	6,0
13,13	394,9	40	40	3,5	3,5	3,5	10,0	1600	3,5
10,70	322,1	40	28	2,4	2,5	2,6	8,5	1120	2,5

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 14,1 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 10,0 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 8,5 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Oproti provozu bez zakrytování rotační části zjištěno nižší proudové namáhání async-motoru i menší energetická (příkonová) náročnost, která poklesla na cca 51,7 % původní hodnoty při 17,2 Hz a při nižších otáčkách je konečný podíl ještě nižší. Pro dlouhodobější provoz při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru) async-motoru.

5.2.2 Uspořádání (4) – 2L+ úplné zakrytování

Tab. 7: 2L + úplné zakrytování

f(Hz)	n (min ⁻¹)	Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
		kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
17,20	516	40	57	4,9	4,9	4,8	10,7	2280	4,87
13,13	395	40	32	2,9	2,7	2,7	8,4	1280	2,77
10,70	322	40	23	2,2	1,9	2,1	7,7	920	2,07

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 10,7 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 8,4 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 7,7 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Oproti provozu bez zakrytování rotační části zjištěno nižší proudové namáhání async-motoru i menší energetická (příkonová) náročnost, která poklesla na necelých 49,7 % původní hodnoty při 17,2 Hz. Pro dlouhodobější provoz při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru) async-motoru.

5.2.3 Uspořádání (3)- nože 2L+2K + úplné zakrytování

Tab. 8: 2L+2K + úplné zakrytování

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
17,20	516	40	71	5,7	5,9	5,8	12,5	2840	5,8
13,13	394	40	38	3,4	3,2	3,3	9,4	1520	3,3
10,70	322,1	40	26	2,4	2,3	2,3	8,3	1040	2,33

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 12,5 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 9,4 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 8,3 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Oproti provozu bez zakrytování rotační části zjištěno nižší proudové namáhání async-motoru i menší energetická (příkonová) náročnost, která poklesla na necelých 49,1 % původní hodnoty při 10,7 Hz. Pro dlouhodobější provoz při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru) async-motoru.

5.2.4 Uspořádání (2)- nože 2K + úplné zakrytování

Tab. 9: 2K + úplné zakrytování

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
17,20	516,1	40	53	4,5	4,6	4,4	10,2	2120	4,5
13,13	394	40	30	2,6	2,7	2,6	8,2	1200	2,67
10,70	321,9	40	22	2,05	1,95	1,9	7,6	880	1,97

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 10,2 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 8,2 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 7,6 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Oproti provozu bez zakrytování rotační části zjištěno nižší proudové namáhání async-motoru i menší energetická (příkonová) náročnost, která poklesla na 55,8 – 68,8 % původní hodnoty při 10,7 Hz, nepřímo úměrně provozním otáčkám (při vyšších otáčkách je koncový poměr vůči původnímu příkonu bez zakrytování nižší). Pro dlouhodobější provoz při snížené napájecí frekvenci by bylo nutno použít cizího pohonu chlazení (ventilátoru) async-motoru.

5.2.5 Uspořádání (2)- nože 2K + úplné zakrytování shora , strany z 3/4

Tab. 10: 2K + úplné zakrytování shora , strany z 3/4

f(Hz)	n (min ⁻¹)	Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal. Iu(A) mot.	Příkon Pp(W)	síť.: I(A)
		kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)			
10,70	322,2	40	22	2,1	2,2	1,9	7,6	880	2,07
13,13	394,4	40	31	2,7	2,8	2,6	8,3	1240	2,7
17,2	515,5	40	54	4,7	4,6	4,5	10,3	2160	4,6

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 7,6 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 8,3 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 10,3 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Byl proveden experiment startu na napájecí frekvenci motoru 20,0 Hz, při níž byl proud obvodu async-motoru 11,8 A. Porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru (není možnost srovnání).

Oproti provozu bez zakrytování rotační části zjištěno nižší proudové namáhání async-motoru i menší energetická (příkonová) náročnost, která poklesla na

55,8 až 68,8 % původní hodnoty při 10,7 Hz, nepřímo úměrně provozním otáčkám (při vyšších otáčkách je koncový poměr vůči původnímu příkonu bez zakrytování nižší). Oproti úplnému zakrytování žacího ústrojí došlo k částečnému nárůstu proudového namáhání motoru i příkonové náročnosti.

5.2.6 Uspořádání (3)- nože 2L+2K + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

Tab. 11: 2L+2K + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
10,70	321,1	40	27	2,5	2,4	2,3	8,5	1080	2,4
13,13	393,8	40	40	3,5	3,4	3,3	9,8	1600	3,4
17,2	514,3	40	76	6,0	6,1	6,0	13,0	3040	6,03

Zdroj: autor

Během rozběhů pohonu byly proudy async-motoru tabelárně zachyceny v tabulce „**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**“ a nepřesáhly 24,9 A. Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 8,5 A. motoru, při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 9,8 A, při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 13,0 A. Postupným porovnáním se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Oproti provozu bez zakrytování rotační části zjištěno nižší proudové namáhání async-motoru i menší energetická (příkonová) náročnost, která poklesla na 55,8 až 68,8 % původní hodnoty při 10,7 Hz, nepřímo úměrně provozním otáčkám (při vyšších otáčkách je koncový poměr vůči původnímu příkonu bez zakrytování nižší). Oproti úplnému zakrytování žacího ústrojí došlo k částečnému nárůstu proudového namáhání motoru i příkonové náročnosti.

5.2.7 Uspořádání (4)- nože 2L + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

Tab. 12: nože 2L + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
10,70	322	40	22,5	2,1	1,9	1,9	7,7	1000	1,97
13,13	394,4	40	31	2,8	2,6	2,7	8,3	1240	2,7
17,2	515,1	40	54,5	4,7	4,7	4,6	10,3	2180	4,67

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 7,7 A, při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 8,3 A, při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 10,3 A. Porovnáním těchto naměřených údajů se štítkovým proudem motoru (16,9 A) je nutno konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Oproti provozu bez zakrytování rotační části zjištěno nižší proudové namáhání async-motoru i menší energetická (příkonová) náročnost, která poklesla na 47,4 až 67,6 % původní hodnoty při 10,7 Hz, nepřímo úměrně provozním otáčkám (při vyšších otáčkách je koncový poměr vůči původnímu příkonu bez zakrytování nižší). Oproti úplnému zakrytování žacího ústrojí došlo k částečnému nárůstu proudového namáhání motoru i příkonové náročnosti.

5.2.8 Uspořádání (5)- nože 4L + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

Tab. 13: nože 4L + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

		Wattmetr		Ampérmetry - síť:			Ustal.	Příkon	síť.:
f(Hz)	n (min ⁻¹)	kw (W/d)	alfaw (díl)	I1(A)	I2(A)	I3(A)	Iu(A) mot.	Pp(W)	I(A)
10,70	321,9	40	27	2,6	2,4	2,3	8,4	1080	2,43
13,13	393,6	40	40	3,8	3,5	3,4	9,8	1600	3,57
17,2	513,7	40	77	6,1	6,1	6,1	13,2	2980	6,1

Zdroj: autor

Měření v ustálených stavech proběhla bez výpadků možnosti sledování proudu async-motoru.

Při napájecí frekvenci motoru 10,7 Hz byl proud obvodu async-motoru 8,4 A, při napájecí frekvenci motoru 13,13 Hz byl proud obvodu async-motoru 9,8 A, při napájecí frekvenci motoru 17,2 Hz byl proud obvodu async-motoru 13,2 A. Porovnáním těchto naměřených údajů se štítkovým proudem motoru (16,9 A) lze konstatovat absenci proudového přetížení motoru .

Oproti provozu bez zakrytování rotační části zjištěno nižší proudové namáhání async-motoru i menší energetická (příkonová) náročnost, která poklesla na 45,8 až 51,4 % původní hodnoty při 17,2 Hz, přímo úměrně provozním otáčkám (při vyšších otáčkách je koncový poměr vůči původnímu příkonu bez zakrytování vyšší). Oproti úplnému zakrytování žacího ústrojí došlo k částečnému nárůstu proudového namáhání motoru i příkonové náročnosti.

Úplným závěrem měření se jeví, že použité elektrické součásti pohonu (měnič a async-motor) nejsou vhodně zvoleny s ohledem na snahu o dosažení provozních otáček kolem 1000 min⁻¹. Pro zatím zvolený async-motor by byla nutná napájecí frekvence 33 – 35 Hz. Měnič i async-motor jsou na mezi proudového namáhání již při poloviční frekvenci proudové soustavy. Situaci by vylepšilo použití async-motoru

s vyšším počtem pólů (6) jehož otáčky by při napájení 50-Hz-soustavou byly těsně pod 1000 min^{-1} a vyšší výkonnosti (podle mechanických měření). Při použití rychloběžnějších typů async-motorů musí být tyto motory předimenzovány a vybaveny cizím pohonem chladicí soustavy (ventilátoru).

6 Diskuze

Z naměřených hodnot byly vypočteny skutečné ventilační příkony jednotlivých typů nožů při daném způsobu zakrytování rotoru mulčovače. Dané hodnoty vznikly odečtením příkonu samotného rotoru bez namontovaných nožů (Tab. 5) od příkonů s namontovanými noži při daných napájecích frekvencích.

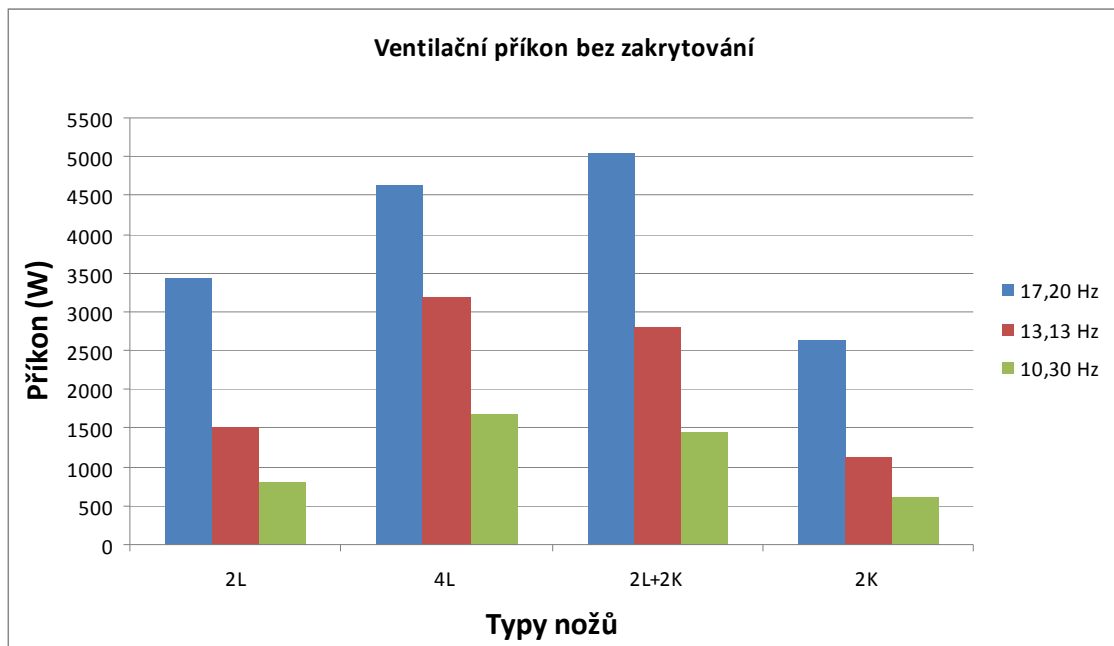
Výsledné hodnoty příkonu bez zakrytování nalezneme v (Tab. 14). Pro lepší znázornění byly hodnoty zpracovány graficky (Obr. 36).

Tab. 14: Příkon nožů bez zakrytování

	Pv (W)			
	2L	4L	2L+2K	2K
17,20 Hz	3440	4640	5040	2640
13,13 Hz	1520	3200	2800	1120
10,30 Hz	800	1680	1440	600

Zdroj: autor

Obr. 36
Graf ventilačních příkonů bez zakrytování



Zdroj: autor

Z výsledků je patrné, že lopatkové nože mají větší ventilační příkon než nože kukuřičné. Tomuto poznatku neodpovídá příkon kombinace nožů 2L + 2K při napájecí frekvenci 17,20 Hz, který je vyšší než příkon čtveřice lopatkových nožů (4L) při stejné napájecí frekvenci. Tato anomálie byla způsobena vyšším příkonem lopatkových nožů, kdy došlo k přetížení pohonu a nepodařilo se dosáhnout tak vysokých otáček jako u kombinace nožů 2L + 2K.

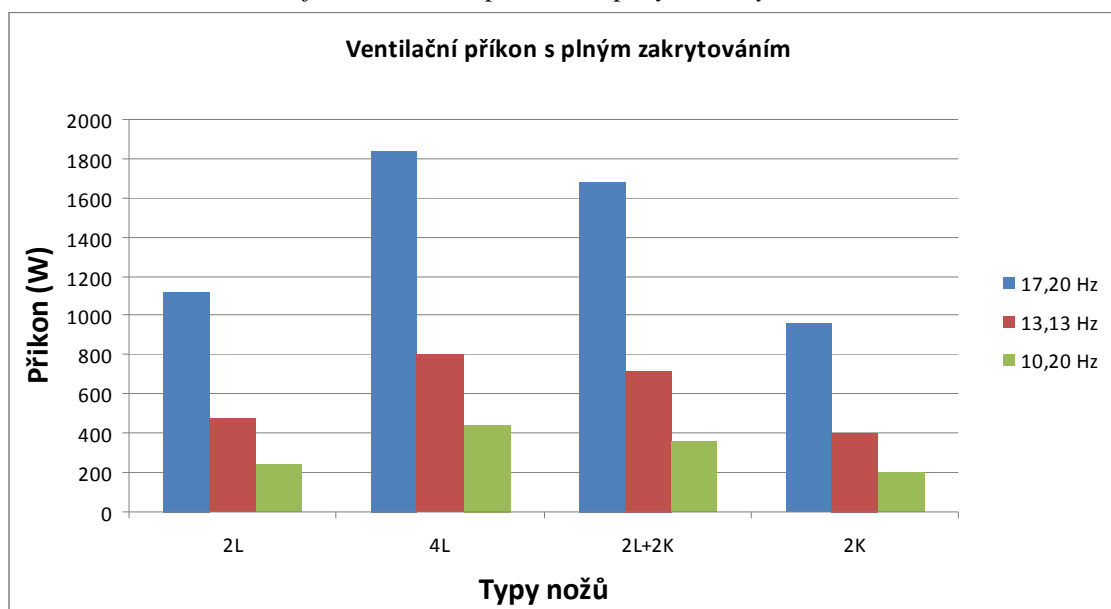
Výsledné hodnoty příkonu s plným zakrytváním nalezneme v (Tab. 15). Pro lepší znázornění byly hodnoty zpracovány graficky (Obr. 37).

Tab. 15: Příkon nožů s plným zakrytváním

	Pv (W)			
	2L	4L	2L+2K	2K
17,20 Hz	1120	1840	1680	960
13,13 Hz	480	800	720	400
10,30 Hz	240	440	360	200

Zdroj: autor

Obr. 37
Graf ventilačních příkonů s plným zakrytváním



Zdroj: autor

Po zakrytování rotoru došlo ke značnému snížení ventilačního příkonu v důsledku částečného zabránění proudění vzduchu rotorem. Díky tomu již nedošlo k problémům s pohonem a větší příkon lopatkových nožů byl patrný ve všech případech.

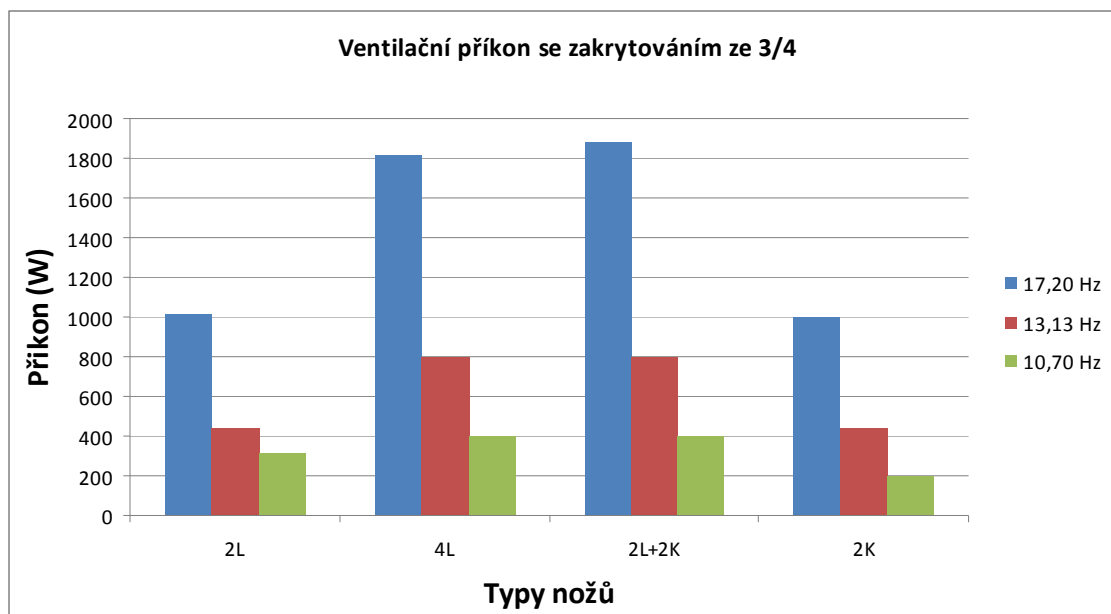
Výsledné hodnoty příkonu se zakrytováním ze 3/4 nalezneme v (Tab. 16). Pro lepší znázornění byly hodnoty zpracovány graficky (Obr. 38).

Tab. 16: Příkon nožů se zakrytováním ze 3/4

	P _v (W)			
	2L	4L	2L+2K	2K
17,20 Hz	1020	1820	1880	1000
13,13 Hz	440	800	800	440
10,30 Hz	320	400	400	200

Zdroj: autor

Obr. 38
Graf ventilačních příkonů se zakrytováním ze 3/4



Zdroj: autor

Odebrání jedné čtvrtiny bočního krytu mulčovače přineslo několik zajímavých úkazů. Prvním bylo drobné snížení příkonu ve většině případů oproti plnému zakrytování. Druhým bylo vyrovnání příkonu kukuřičných a lopatkových nožů. Posledním byl vyšší příkon kombinace nožů 2L + 2K oproti čtyřem lopatkovým nožům (4L) při napájecí frekvenci 17,20 Hz.

Odebrání krytu pravděpodobně zapříčinilo kompletní změnu proudění vzduchu rotorem a možný vnik úplavů a dalších hydrodynamických úkazů, které způsobily výše uvedená zjištění.

7 Závěr

Elektrické pohony zemědělských strojů patří mezi soudobé vývojové trendy. V této oblasti je patrný postupný cíl směrem k unifikaci elektrických pohonů v celé oblasti. Přesto v tuto chvíli nelze hovořit o okamžitém nahrazení ostatních druhů přenosu výkonu (mechanický a hydraulický).

V současné době lze pozorovat vznik prvních prototypů v různých segmentech zemědělské techniky. Rovněž traktory jsou experimentálně osazovány generátory o výkonu desítek až stovek kW. Důvodem vzniku tohoto uspořádání je snaha přenosu většího celkového výkonu z energetického prostředku (zpravidla traktor) na agregované nářadí nebo dopravní prostředek.

V případě realizace elektrického pohonu mulčovače lze narazit na překážky vzhledem k vysoké potřebě výkonu celého stroje. Naměřené hodnoty prokazují, že vhodné vnitřní uspořádání může optimalizovat potřebu výkonu mulčovače. Provedená měření vznikla v rámci řešení výzkumného projektu „ Využití elektromotorů na zemědělských strojích“. Dalším předpokladem vyvozených z měření v této diplomové práci je možnost ovlivnění proudění vzduchu, a tím pádem i energetické náročnosti a kvality práce, tvarem krytu mulčovače.

Další výzkumná práce bude spočívat v osazení modelu mulčovače různým tvarem krytů a dále stavba reálně použitého prototypu mulčovače s elektrickým pohonem.

8 Seznam použité literatury, obrázků a tabulek

8.1 Seznam použité literatury

- [1] CASE. Mower conditioners rotary disc and sickle. [online]. 2015. [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW:
<http://www.caseih.com/en_us/Products/HayForage/Documents/Cutting_Tools/Mower_Conditioners_Rotary_Disc_and_Sicklebar_Brochure.pdf>
- [2] BEDNAR FMT. [online]. 2015. [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW:
<<http://www.bednar-machinery.com/mulcovani/mulcher-mm.html>>
- [3] HAWKER, M. F. J. ; KEENLYSIDE, J. F. *Horticultural machinery*. Vydání třetí. New York : Longman Inc., 1985. ISBN 0-582-40807-5.
- [4] KROULÍK, MILAN, A KOL. 2008. *Možnosti úspory energie při sklizni píče častější výměnou nebo ostřením nožů*. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha, 2008, 3.2.7, stránky 41-42.
- [5] MCRANDAL, D. M. A MCNULTY, P. B. Impact Cutting Behavior of Forage Crops 1. Mathematical-Models and Laboratory Tests. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1978a, Sv. 23, 3, stránky 313-328.
- [6] MCRANDAL, D. M. A MCNULTY, P. B. Impact Cutting Behavior of Forage Crops 2. Field test. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1978a, Sv. 23, 3, stránky 329 - 338
- [7] MOVWITHUS. [online]. 2015. [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW:
<<http://www.mowwithus.com/>>
- [8] PERSSON, SVERKER. 1987. *Mechanics of cutting plant material*. St. Joseph : American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 1987. ISBN 0-916150-86-0.

- [9] ROTZ, C. A. A SPROTT, D. J. Drying Rates, Losses and Fuel Requirements for Mowing and Conditioning Alfalfa. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 1984, Sv. 27, 3, stránky 715-720.
- [10] SRIVASTAVA, A. K., GOERING C. E. A ROHRBACH, R. P. Hay and Forage Harvesting. *Engineering principles of agricultural machines, American Society of Agricultural Engineers*. 325, 2006.
- [11] TORO UNIVERSITY. Basic Rotary Mower. [online]. 2015. [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW: <<http://www.toro.com/customer-care/commercial/education/pdf/09167sl.pdf>>
- [12] TUCK, C. R., A KOL. Field Experiments to Study the Performance of Toothed Disk Mowing Mechanisms. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1991, Sv. 50, 2, stránky 93-106.
- [13] VARI. [online]. 2015. [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW: <<http://www.vari.cz/rady-do-zahrady-zahradni-technika/detail-clanku/mulcovaninejlevnejsi-udrzba-travnatych-ploch.html>>
- [14] JAVOREK, FILIP. Nabídka mulčovačů na českém trhu. [online]. 26.3.2010 [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW: <<http://zemedelec.cz/nabidka-mulcovacu-na-ceskem-trhu/>>
- [15] BENEŠ, PETR. Volba vhodné technologie. [online]. 14.6.2013 [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW: <<http://zemedelec.cz/volba-vhodne-technologie/>>
- [16] JUN, JIŘÍ. Konstrukce a nasazení. [online]. 23.3.2010 [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW: <<http://zemedelec.cz/konstrukce-a-nasazeni/>>
- [17] POSPÍŠIL, JIŘÍ. Dva základní typy, celé řada modelů. [online]. 24.7.2013 [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW: <<http://zemedelec.cz/dva-zakladni-typy-cela-rada-modelu/>>

- [18] AGROWEST. [online]. 2015. [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW: <<http://www.agrowest.com/produkty/agroservis-pavel-salek-2/mulcovac-mul-1300-traverz>>
- [19] VÝZKUMNÝ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÉ TECHNIKY. Zemědělská technika a biomasa: sborník přednášek, Praha, 2007. ISSN 978-80-86884-25-7
- [20] CELJAK, IVO. Využití mulčovačů a žacích strojů. [online]. 23.9.2011 [cit. 2015-04-02] Dostupné z WWW: <http://zemedelec.cz/vyuziti-mulcovacu-a-zacich-stroju/>>

8.2 Seznam obrázků

- Obrázek 1:** Princip mulčování
- Obrázek 2:** Zmulčovaný trávník
- Obrázek 3:** Mulčovač s horizontální osou rotace a jedním hřídelem
- Obrázek 4:** Kladívka se hodí pro mulčování travin, listí a křovin
- Obrázek 5:** Y - nože jsou vhodné pro mulčování kukuřice, travin a vinné révy
- Obrázek 6:** Y - nože s plochým ostřím uprostřed jsou vhodné pro mulčování posklizňových zbytků
- Obrázek 7:** Y - nože s nožovým ostřím uprostřed jsou vhodné pro mulčování křovin a kukuřičných, slunečnicových a dalších strnišť
- Obrázek 8:** Mulčovač s vertikální osou rotace - uložení pracovních orgánů a pohony
- Obrázek 9:** Uchycení nožů
- Obrázek 10:** Stupňovité uchycení nožů
- Obrázek 11:** Tvary nožů pro mulčování
(zleva: nízká plachetka, vysoká plachetka, střední plachetka, recyklační plachetka, "atomic" nůž)
- Obrázek 12:** Elementární složky síly působící na ostří nože (Persson, 1987)
A – obecný případ, B – symetrický nůž, C – nůž s kontaktem pouze na jedné straně FOWN, FOW1N, FOW2N – normálové složky síly klínu, FOWT, FOW1T, FOW2T – tangenciální složky síly klínu, FOE – síla nože, FOX=FOC – řezná síla
- Obrázek 13:** Řezné síly pro jílek luční při obsahu vlhkosti 20 % (Persson, 1987)
1 – tloušťka 0,94 mm, 2 – tloušťka 1,88 mm, 3 – tloušťka 2,82 mm
FOCS – konkrétní řezná síla, SLK – koordináty nože, LTS – tloušťka materiálu
- Obrázek 14:** Řezná síla pro různé tloušťky materiálu (A) a pro různé ostrosti (úhly) nožů (B)(Persson, 1987)

FOCS - konkrétní řezná síla, LTE –tloušťka nebo tupost nože měřená po tangenti (mm) , ANE – úhel nože,SLK – koordináty nože, LTS – tloušťka materiálu

- Obrázek 15:** Porovnání příkonů rotačního žacího stroje o záběru 3 m při použití ostrých a tupých nožů (Kroulík, a další, 2008)
△ - tupé nože, ◇ - ostré nože
- Obrázek 16:** Řezný výkon (POC) a ztráty v závislosti na přísunu řezané hmoty (Persson, 1987)
- Obrázek 17:** Vliv pojzdové rychlosti na výkon sečení při rychlosti čepele 78 m/s, čísla jsou jednotlivá pole (Mcrandal, a další, 1978b)
- Obrázek 18:** Závislost řezné a pojzdové rychlosti na práci žacího stroje, každý z bodů je průměr z polních měření (Mcrandal, a další, 1978b)
- Obrázek 19:** Jedna čtvrtina horního plochého krytu s žebry pro zpevnění
- Obrázek 20:** Jedna čtvrtina boční části krytu
- Obrázek 21:** Plánované tvary krytů zleva: boule, kapka)
- Obrázek 22:** Rám motoru s umístěným motorem
- Obrázek 23:** Základní část rámu
- Obrázek 24:** Základní část rámu s deskou
- Obrázek 25:** Podložka pod úhlovou převodovku pro výškové nastavení nožové části o tloušťce 15 mm
- Obrázek 26:** Hlavní část rámu s distančními podložkami pro uchycení převodovky
- Obrázek 27:** Simulace zatížení středu hlavní části rámu 5 kN při fixované výškově nastavitelné části (deformace znázorněná na obrázku oproti původnímu stavu, průhledná část, je z hlediska vizualizace změn v daných částech nepřiměřená)

- Obrázek 28:** Simulace konstrukce celé nožové části při zatížení středové části 2 kN (deformace znázorněná na obrázku oproti původnímu stavu, průhledná část, je z hlediska vizualizace změn v daných částech nepřiměřená)
- Obrázek 29:** Simulace konstrukce celé nožové části se zpevňujícím křížem při zatížení středové části 2 kN (deformace znázorněná na obrázku oproti původnímu stavu, průhledná část, je z hlediska vizualizace změn v daných částech nepřiměřená)
- Obrázek 30:** Sestava modelu mulčovacího stroje s plochými horními kryty a bočnicemi tvořící $\varnothing 2060$ mm
- Obrázek 31:** Zobrazení rozdílů výškového nastavení hlavní části rámu
- Obrázek 32:** Uchycení modelu mulčovače do podlahových lišt v laboratorních podmínkách (na obrázku včetně otevřené montážní jámy)
- Obrázek 33:** Reálná konstrukce po svaření a lakování a Celková sestava modelu mulčovače včetně přípravku pro měření otáček a momentu a „ochranné klece“ na výstupu z motoru při minimální výšce nastavení hlavní části rámu
- Obrázek 34:** Kompletní sestava modelu mulčovače včetně horních plochých krytů a bočnic nastavených na $\varnothing 2120$ mm a při minimální výšce nastavení hlavní části
- Obrázek 35:** Schéma zapojení
- Obrázek 36:** Graf ventilačních příkonů bez zakrytování
- Obrázek 37:** Graf ventilačních příkonů s plným zakrytváním
- Obrázek 38:** Graf ventilačních příkonů se zakrytváním ze 3/4

8.3 Seznam tabulek

Tabulka 1: Nože 2L

Tabulka 2: Nože 4L

Tabulka 3: Nože 2L+2K

Tabulka 4: Nože 2K

Tabulka 5: Bez nožů

Tabulka 6: 4L + úplné zakrytování

Tabulka 7: 2L + úplné zakrytování

Tabulka 8: 2L+2K + úplné zakrytování

Tabulka 9: 2K + úplné zakrytování

Tabulka 10: 2K + úplné zakrytování shora , strany z 3/4

Tabulka 11: 2L+2K + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

Tabulka 12: nože 2L + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

Tabulka 13: nože 4L + úplné zakrytování shora, strany z 3/4

Tabulka 14: Příkon nožů bez zakrytování

Tabulka 15: Příkon nožů s plným zakrytováním

Tabulka 16: Příkon nožů se zakrytováním ze 3/4