

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



**OPTIMALIZACE TVARU KRYTU MULČOVAČE  
Z HLEDISKA PROUDĚNÍ VZDUCHU PŘI RŮZNÉM  
USPOŘÁDÁNÍ OSTŘÍ**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Petr Novák, Ph.D.

Autor práce: Bc. Lukáš Mihula

PRAHA 2016

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Lukáš Mihula

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

**Optimalizace tvaru krytu mulčovače z hlediska proudění vzduchu při různém uspořádání ostří**

Název anglicky

**Optimizing the shape of the mower's cover in terms of airflow at different arrangement of blades**

---

**Cíle práce**

Cílem bude vyhodnotit energetickou náročnost pohonu mulčovače s vertikální osou rotace na základě měření na laboratorním modelu mulčovače v definovaných podmínkách.

**Metodika**

Na základě soudobé tuzemské i cizojazyčné literatury vytvořit přehled problematiky mulčovačů s vertikální osou rotace a jejich uspořádání. V praktické části práce prezentovat data získaná měřeními na laboratorním modelu mulčovače s elektrickým pohonem ve vztahu k vnitřnímu uspořádání. Data budou náležitě statisticky zhodnocena.

**Doporučený rozsah práce**

55 stran

**Klíčová slova**

mulčovač, proudění vzduchu, tlak, tvar krytu

---

**Doporučené zdroje informací**

HAWKER, M. F. J. ; KEENLYSIDE, J. F. Horticultural machinery. Vydání třetí. New York : Longman Inc., 1985. ISBN 0-582-40807-5.

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.

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. Hay and Forage Harvesting. Engineering principles of agricultural machines, American Society of Agricultural Engineers. 325, 2006.

VÝZKUMNÝ ÚSTAV ZEMĚDĚLSKÉ TECHNIKY. Zemědělská technika a biomasa: sborník přednášek, Praha, 2007. ISSN 978-80-86884-25-7

---

**Předběžný termín obhajoby**

2015/16 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Petr Novák

**Garantující pracoviště**

Katedra zemědělských strojů

---

Elektronicky schváleno dne 3. 11. 2015

**prof. Dr. Ing. František Kumhála**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 5. 1. 2016

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2016

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Optimalizace tvaru krytu mulčovače z hlediska proudění vzduchu při různém uspořádání ostří“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použité literatury.

V Praze dne

---

Lukáš Mihula

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Novákovi, Ph.D. za cenné rady, odborné vedení a pomoc při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu při studiu.

## **Optimalizace tvaru krytu mulčovače z hlediska proudění vzduchu při různém uspořádání ostří**

### **Abstrakt**

Cílem této diplomové práce je vytvoření soudobého přehledu týkající problematiky mulčování s využitím soudobé české i zahraniční literatury. V kapitole „Mulčování“ je popsána tato technologie a také rozdělení mulčovačů a teoretický princip jejich funkce a možné způsoby využití. Kapitola „Metodika“ obsahuje již samotný popis konstrukce modelu mulčovače s vertikální osou rotace a teoretický popis měření tlaku pomocí tlakových pásků na krytu mulčovače. Samotným výsledkům měření a jejich vyhodnocení se věnuje kapitola „Výsledky měření“. Následné porovnání naměřených hodnot je uvedeno v kapitole „Porovnání výsledků“. V poslední kapitole „Ekonomické zhodnocení“ je proveden výpočet jednotkových nákladů soupravy mulčovače s energetickým prostředkem.

**Klíčová slova:** mulčovač, proudění vzduchu, tlak, tvar krytu

## **Optimizing the shape of the mower's cover in terms of airflow at different arrangement of blades**

### **Summary**

The aim of this thesis is to create a contemporary overview on the issue mulching using contemporary Czech and foreign literature. In the chapter "Mulching" is described in this technology and distribution mulchers and theoretical principle of their function and possible uses. The section "Methodology" already contains the actual description of the construction of the model shredder Vertical axis and a theoretical description of the pressure measurement using pressure strips on the mower housing. The actual results of the measurements and their interpretation, see chapter "Measurement Results". Subsequent comparison of measured values is described in "Comparison of results". In the last chapter, "Economic assessment" is a calculation of unit costs set mower with energy means.

**Key words:** mulching machines, air circulation, pressure, case design

# OBSAH

1	Úvod.....	8
2	Mulčování.....	9
2.1	Mulčovače.....	10
2.2	Rozdělení mulčovačů.....	11
2.2.1	Mulčovače s horizontální osou rotace.....	12
2.2.2	Mulčovače s vertikální osou rotace.....	15
2.3	Výkon a ztráty mulčovacích zařízení.....	18
2.3.1	Výkon žacích zařízení.....	18
2.3.2	Řezná síla.....	20
2.3.3	Ztráty žacích zařízení.....	23
3	Cíl práce.....	25
4	Metodika.....	26
4.1	Konstrukce laboratorního modelu mulčovače.....	26
4.1.1	Typy krytů modelu mulčovacího stroje.....	27
4.1.2	Typy použitých mulčovacích nožů.....	28
4.2	Metodika měření.....	29
4.2.1	Zařízení použita při měření.....	30
4.2.2	Tlakové pásky.....	30
5	Výsledky měření.....	34
5.1	Rovné kryty.....	34
5.1.1	Uspořádání – čtveřice travních nožů.....	34
5.1.2	Uspořádání – dvojice kukuřičných nožů.....	37
5.2	Kryty tvaru „kapka“.....	40
5.2.1	Uspořádání – čtveřice travních nožů.....	40
5.2.3	Uspořádání – dvojice kukuřičných nožů.....	43

5.3	Kryty tvaru „boule“ .....	46
5.3.1	Uspořádání – čtveřice travních nožů .....	46
5.3.2	Uspořádání – dvojice kukuřičných nožů .....	49
6	Porovnání výsledků a diskuze.....	52
7	Ekonomické zhodnocení.....	56
7.1	Jednotkové náklady mulčovacího stroje.....	56
7.2	Jednotkové náklady energetického prostředku.....	57
8	Závěr .....	58
9	Seznam použitých zdrojů.....	59
9.1	Seznam použité literatury .....	59
9.2	Seznam obrázků .....	61
9.3	Seznam tabulek.....	63



# 1 ÚVOD

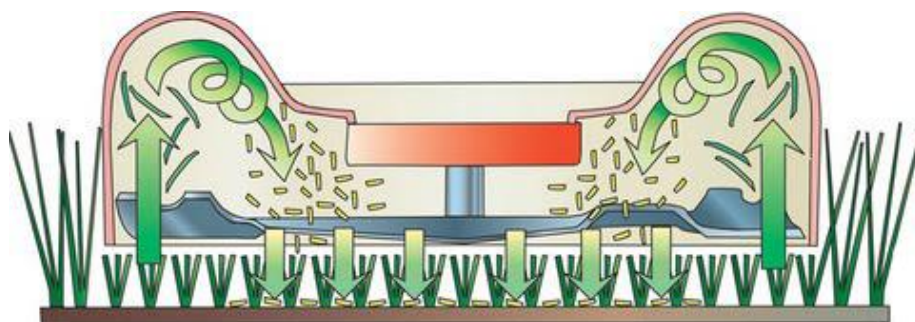
S předpokládaným nárůstem ploch půd uváděných do klidu nebo ponechaných ladem se předpokládá rozšíření postupů ošetřování a likvidace nežádoucích porostů. Jednou z variant je mulčování, u kterých je očekávaný nárůst poptávky. Tento předpoklad podporuje i trend neustálého snižování počtu kusů dobytka, který již nestačí na celkové spásání trvalých travních porostů, které je potřeba udržovat. V těchto situacích mulčování představuje jak z ekonomického tak i energetického hlediska značné výhody. Při tomto způsobu likvidace porostů dochází k sečení a následně se rozdrčená biomasa ponechává rozprostřena na povrchu půdy a odpadají tak náklady na její odvoz. Hlavní výhodou mulčování spočívá v opakovaném využití živin obsažených v mulči a povrch půdy je tak chráněn proti možným erozím.

S rostoucími požadavky na stroje pro likvidaci porostů lze u těchto strojů očekávat i zvyšování energetické náročnosti. Pro budoucí vývoj mulčovacích strojů se je třeba zaměřit na oblast možností snížení energetické náročnosti. Cílem této práce je zjistit jaký vliv má použití krytů různých tvarů při různém uspořádání mulčovacích nožů na průběh ventilačních účinků a tím i na možný způsob ovlivnění energetické náročnosti.

Mulčování nachází využití v zemědělství, lesnictví i trávníkářství. V zemědělství se mulčování využívá pro posečení a rozdrčení zelených zbytků rostlin. Může být také využita pro drčení posklizňových rostlinných zbytků (např. kukuřice) před jejich následným zapravením do půdy.

## 2 MULČOVÁNÍ

Princip mulčování spočívá v posečení biomasy a její následné nadrcení a zapravení zpět na posečenou plochu. Mulčovací žací ústrojí má prostor nad rotujícím nožem větší proto, aby byl vytvořen větší prostor pro řezání materiálu, který je postupně rozřezáván na menší řezanku. Odřezky řezaného materiálu zůstávají v prostoru řezu. Ventilacním účinkem nože tak zůstávají odřezky materiálu v prostoru řezu tak dlouho, dokud nejsou tak malé, že je ventilační účinek nezachytí (viz Obr. 1) Mulčovat lze veškeré travní plochy i přerostlou travu, plevel, pícniny, posklizňové zbytky nebo i dřeviny. Ponecháním této posečené biomasy na povrchu travního drnu dochází k dekompozici, tedy k rozkladu na povrchu travního drnu. Využití nachází např. v zemědělství při udržování trvalých travnatých ploch, péči o krajinu, silnice apod. [1]



Obr. 1: Princip mulčování [2]

Mulčování je proces k ekologické likvidaci přerostlé trávy a plochách, které je nutné udržovat především kvůli zachování biodiverzity, snižování počtů alergenů a zachování estetického charakteru krajiny. Mulčování je na těchto plochách výhodné řešení, jelikož nadrcená biomasa slouží jako zásoba organického materiálu a také odpadají náklady na její odvoz.

Významný vliv na složení mulčovaného porostu má také frekvence sečení. Snižováním frekvence mezi jednotlivým sečením se snižuje počet míst nepokrytých porostem. Mulčování vzrostlého porostu na loukách a pastvinách zpravidla probíhá koncem června. U silně zaplevelených pozemků dochází v srpnu až září k dalším zpracováním. U ploch ležících ladem se mulčování doporučuje alespoň jednou v roce a to z důvodu potlačení rozšiřování plevelů.

Avšak i tento proces může mít negativní vliv na trvalý travní porost. Tento stav může nastat v případě, že velké množství malých částic biomasy zakryje povrch porostu a tím zabrání přístupu vzduchu a světla. Důsledkem je pak vyhynívání porostu a celková degradace travního porostu. [3]

*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*



*Obr. 2: Průběh mulčování trávníku [4]*

## 2.1 Mulčovače

Mulčovače patří do skupiny žacích strojů s rotačním pohybem pracovních nástrojů. Žací stroje uskutečňují v soupravě s energetickým prostředkem první operaci sklizně pícnin, kterou je sečení porostu. Píce je po posečení ukládána na řádek nebo rozprostírána na pozemku. Tyto stroje mohou pracovat samostatně nebo jsou zařazeny do funkční skupiny dalších sklízecích strojů. Žací ústrojí žacích strojů rotačních pracuje na principu řezu bez opory, kdy na volně stojící porost působí svým břitem pouze aktivně se pohybující řezný nástroj. Základem k odříznutí stébel je dostatečně vysoká rychlost řezu, která je ovlivňována odporem porostu a ostrostí nástroje. Čím větší klade porost odpor nebo je břit nástroje tupější, tím musí být řezná rychlost vyšší. Žací nástroj koná rotační pohyb po kružnici, podle jejíž polohy roviny, v níž tato kružnice leží, rozdělujeme rotační žací stroje na nožové (horizontální) a cepové (vertikální). [5] [6]

Mulčovače jsou stroje, které slouží k drcení veškeré zeleně. Rovněž nacházejí využití v zemědělství pro drcení rostlinných zbytků píce, obilovin apod. a také v komunální technice pro udržování okrajů silnic, příkopů či k údržbě sportovních areálů.

Tyto stroje se používají při likvidaci nedopasku, sklizni nedorostlých sečí, kde výnosy jsou malé a klasické sečení je ekonomicky nevýhodné. Využití nacházejí také v sadech, kde slouží pro drcení větví, které jsou ponechány volně na meziřádcích. [1]

## 2.2 Rozdělení mulčovačů

### **Dle osy rotace pracovního orgánu:**

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

### **Dle připojení k energetickému prostředku:**

- nesené,
- návěsné.

### **Dle počtu pracovních mechanismů:**

- jednorotorové,
- dvourotorové,
- vícerotorové.

### **Dle počtu a umístění pracovních nástrojů (nožů):**

- s jedním nebo více noži,
- v jedné nebo ve dvou pracovních rovinách.

### **Dle upevnění pracovních nástrojů:**

- pevně umístěné nože,
- volně umístěné nože.

### 2.2.1 Mulčovače s horizontální osou rotace

Horizontální mulčovače jsou vybavené pracovním rotorem nebo rotory s vodorovnou osou rotace, se kterými se setkáváme u mulčovačů plošných, bočních i speciálních. Hlavní konstrukční část pracovního ústrojí je vodorovný rotor různého průměru osazený pracovními nástroji. Hřídel rotoru je uložena prostřednictvím ložisek v zesílených oporách, které jsou součástí konstrukce skeletu. Rotor je poháněn zpravidla od vývodového hřídele energetického zařízení přes řemenové převody, které slouží rovněž jako pojistka proti přetížení. U mulčovačů pro komunální účely se využívá pohon hydraulický.

Mulčovače o větším záběru než 3 m jsou osazeny dvěma pracovními rotory vedle sebe. U takových modelů je potřeba vyřešit likvidaci porostu v mezeře, která vzniká mezi rotory. U mulčovačů s jednou sekcí záběrem 3 až 5 m, nebo dvěma sekcemi na sklopném rámu se záběrem 6 až 9 m je umístěn mezi rotory hydraulicky poháněný disk, který slouží k likvidaci porostu mezi nimi. U modelů s více sekcemi, zpravidla se záběrem 6 až 9 m, kdy jsou sekce osazeny tak, aby se vzájemně překrývaly a nedocházelo ke vzniku neposečeného porostu.

Rotor je osazen různými typy nožů, kladiv, nebo i řetězy, které se mohou kombinovat s různými typy čepelí. Volba nástroje spočívá na druhy vykonávané práce, kterou je potřeba provést. Nože jsou přizpůsobené pro travní porosty, ale také pro likvidaci obilné a kukuřičné slámy. Kladiva se uplatňují především při likvidaci porostu s větším množstvím cizích těles nebo v lesnictví. [3]



Obr. 3: Mulčovač s horizontální osou rotace [7]

### **2.2.1.1 Konstrukce**

Skelet, který se skládá z masivních plechů navzájem svařených, tvoří nosnou konstrukci mulčovačů a zároveň je také pracovním prostorem, kde dochází k drcení hmoty. Horizontální mulčovače mohou být osazeny skeletem otevřeným, uzavřeným nebo otevíratelným. Konstrukce s uzavřeným skeletem jsou vhodné především pro využití v zahradnictví nebo komunálním sektoru, kde je porost menšího vzrůstu. Skelet otevřený umožňuje zpracovat velké množství materiálu a tak jeho využití je především v lesním hospodářství, kde se předpokládá práce v tvrdších podmínkách. Mulčovače s otevíratelným skeletem lze použít jak při mulčování pastvin, tak při drcení slámy. Při práci v travním porostu je skelet uzavřený a dochází k preciznímu rozměňování hmoty, zatímco při drcení slámy se skelet otevře. Otevíratelný kryt je vybaven rozptylovacími plechy, které umožňují rovnoměrně rozptýlit drcenou slámu po povrchu pozemku. [8]

Součástí skeletu je také příslušenství, kdy se jedná nejčastěji o kopírovací a polohovací válec nebo kopírovací kola různé konstrukce a rozměru. Skelet je také osazen různými typy protiostrů, které napomáhá ke zlepšení kvality drcení a zpracování travnatých porostů či posklizňových zbytků. Důležitým konstrukčním prvkem je ochranný kryt umístěný v místech vstupu materiálu do mulčovacího prostoru. Jedná se zejména o plechové záklopy nebo řetězové clony v celé šířce záběru. Pro určení výšky stniště se používají různé typy splazů. Některé modely horizontálních mulčovačů se dají kombinovat s různými mulčovacími disky s vertikální osou rotace, které mohou být výkyvné, a slouží tak k sečení porostu kolem překážek jako jsou stromy, sloupky apod. [9]

### **2.2.1.2 Pracovní nástroje**

Pracovní ústrojí je tvořeno horizontálně uloženým rotorem. Pracovními nástroji jsou především nože, kladívka nebo řetězy, které se využívají k mulčování travních porostů či porostů s velkým množstvím překážek. Nejčastěji se setkáváme s noži tvaru L, Y a T. Na pevném krytu jsou obvykle uložena protiostrů, která slouží k lepšímu drcení sečeného materiálu.



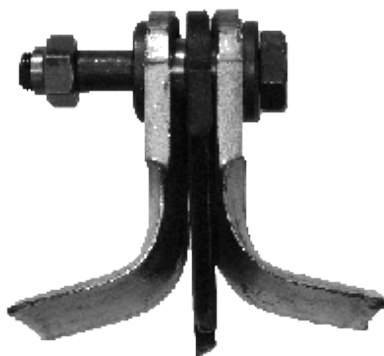
*Obr. 4: Mulčovací kladívko [10]*



*Obr. 5: Y nůž vhodný pro mulčování kukuřice a travin [10]*



*Obr. 6: Y - nože se středovým kladívkem [10]*



*Obr. 7: Y - nože s nožovým ostrím uprostřed [10]*



### 2.2.2 Mulčovače s vertikální osou rotace

Pracovní část tohoto mechanismu tvoří jeden či více rotorů se svislou osou rotace, na kterém jsou otočně připevněny dva až čtyři mulčovací nástroje v jedné nebo více rovinách. Nože jsou připevněny pevně nebo volně. Volně uložené nože mají výhodu v tom, že omezují riziko poničení zařízení při nárazu na překážku.

Vertikální typy mulčovačů můžeme rozdělit na dvě základní skupiny. Podle způsobu agregace s energetickým prostředkem jsou modely nesené a závěsné. Mulčovače s vertikální osou rotace se vyrábí v pracovních záběrech od 2 do 12m. V zemědělské praxi se však setkáváme především s modely o záběru 3 až 8 m. Modely s menším záběrem (méně jak 3 m) se vyrábí jako nesené, větší modely pak jako závěsné.

Závěsné modely se agregují pomocí oka do spodních ramen třibodového závěsu a jsou osazeny různým typem otočných čepů pro kopírování stopy energetického prostředku. Tažná oj je nastavitelná pro výšku strniště a sklon pracovních rotorů. V praxi se také využívají mulčovače se speciální konstrukcí. Tyto modely jsou určeny pro zavěšení na speciální ramena a slouží k likvidaci porostu podél cest. [9]



Obr. 8: Mulčovač s vertikální osou rotace [11]



### 2.2.2.1 Konstrukce

Základním konstrukčním prvkem je skelet, který tvoří nosný rám a jsou na něm připevněny ostatní komponenty. Přední strana skeletu je konstruována tak, aby bylo možné pojmout co největší množství hmoty, zatímco zadní strana má za úkol rovnoměrné rozptýlení drčeného materiálu po povrchu pozemku. Rozmělnění hmoty zajišťuje jeden nebo více rotorů.

Konstrukční provedení tohoto typu mulčovače je řešeno tak, že se rotory pohybují po celou dobu stejnou rychlostí nezávisle na rychlosti tažného zařízení, proto mulčovače s vertikální osou rotace nejsou tolik závislé na příkonu energetického prostředku a pojezdové rychlosti. Pohon točivého momentu zajištěn od vývodového hřídele energetického prostředku k hlavní převodovce. Pohon rotorů je řešen přes soustavy kardanových hřídelů, které přenášejí točivý moment od hlavní převodovky mulčovače a úhlových převodovek, které jsou usazeny na zesílených nosnících skeletu. [3]

Pro zlepšení drtícího efektu lze opatřit spodní stranu skeletu a prostor pracovních rotorů protiostrží nebo usměrňovacími plechy. Rovnoměrné rozmístění mulčovaného materiálu po pozemku je zajištěno pomocí mulčovacích clon, které jsou umístěny v přední části skeletu. Součástí konstrukce vertikálních mulčovačů jsou také různé typy podvozků, kopírovacích a nivelačních kol, pomocí kterých se reguluje výška mulčovače.

Velkou výhodou těchto mulčovačů je velká pojezdová rychlost a velké pracovní záběry, což umožňuje rychlejší likvidaci porostů a šetří tak čas potřebný pro obdělání celého pozemku. [3]



*Obr. 9: Konstrukce mulčovače s vertikální osou rotace [12]*

*1- závěs, 2- rozvodovka, 3- skelet, 4- podpěrná kola*

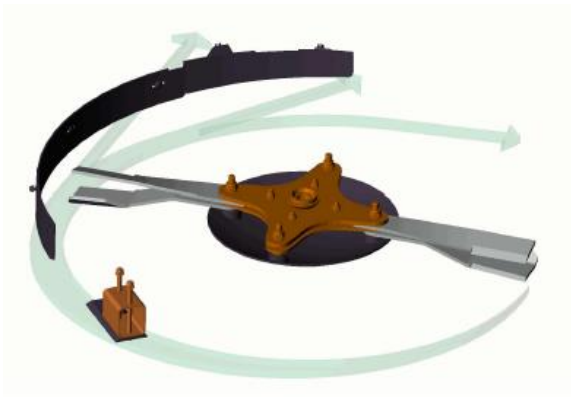
#### **2.2.2.2 Pracovní nástroje**

Rotor mulčovačů s vertikální osou rotace lze osadit dvěma až šesti noži různého tvaru (obr. 10) a konstrukce a mohou být umístěné v jedné nebo i více rovinách (obr. 11 a 12). Rotující nůž obdélníkového tvaru s pevným nebo pohyblivým ostřím na konci, který je připevněn na svislém čepu, zlepšuje ochranu ostří při najetí na pevnou překážku.

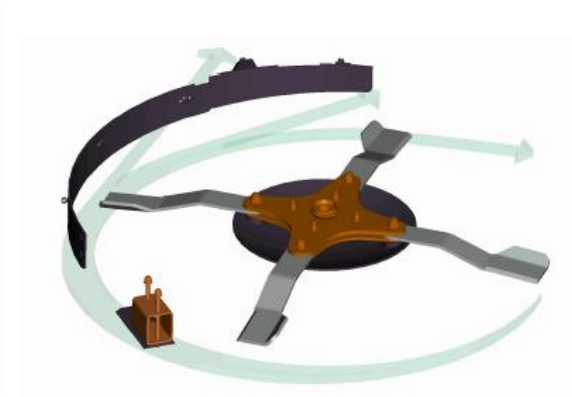


*Obr. 10: Tvary nožů pro mulčování [13]*

*(zleva: střední plachetka, obrysový nůž – vhodný pro suché a písčité půdy, nízká plachetka, vysoká plachetka, nůž Shredder – vhodný pro drcení suchého listí)*



Obrázek 11: Uchycení nožů [14]



Obr. 12: Stupňovité uchycení nožů [14]

## 2.3 Výkon a ztráty mulčovacích zařízení

Všechny zemědělské stroje musí splňovat agrotechnické požadavky (ATP), které vypracovává spotřebitel na základě znalostí agrotechniky a technické úrovně výroby zemědělských strojů. Patří sem požadavky technologické, agrotechnické, technické, exploatační a ostatní. [5]

Rotační žací stroje tvoří soupravy s traktory o výkonu motoru větším než 30 kW, nebo mohou být samojízdné. Pojezdová rychlost žacích souprav se pohybuje v rozmezí 6 až 12 km/h a po honu se pohybuje okružním způsobem. Žací ústrojí má vysokou rychlost pohybu do řezu, což umožňuje vyšší pojezdové rychlosti žacího stroje, snadnější posečení porostu s vyššími výnosy, hustší i podélné, avšak jsou energeticky náročnější. Požadavek výkonu na rotační žací stroje jsou oproti prstovým žacím strojům se stejnou šířkou záběru obvykle 2 – 4 krát větší. [15]

### 2.3.1 Výkon žacích zařízení

Celkové požadavky na výkon rotačních žacích strojů se liší jednotlivými studii. Podle (CASE, 2011) uvádí požadovaný výkon 5,0 kW/m šířky řezu a požadovaným příkonem pro žací stroj s kondicionérem 8,0 kW/m. Jiné studie uvádí energetické požadavky mnohem vyšší. Například (Srivastava, a další, 2006) uvádí požadavky na výkon 11 - 16 kW/m při pojezdové rychlosti 15 km/h. [16]

(Person, 1987) navrhl následující vztah pro výkonové požadavky těchto zařízení:

$$P_{mow} = (P_{LS} + E_{SC} \times v_f) \times B_p \text{ [kW]}$$

kde:

$P_{mow}$  – celkový požadavek na výkon [kW]

$P_{LS}$  – ztráty - převodové, vzduch strniště [kW/m]

$E_{SC}$  – řezná energie [kJ/m<sup>2</sup>]

$v_f$  – pojezdová rychlost [m/s]

$B_p$  – šířka záběru [m]

Výkonové ztráty  $P_{LS}$  se pohybují v rozmezí 1,5 – 4,0 kW/m šířky záběru. Hodnoty ztrát v řezu  $E_{SC}$  se pohybují v rozmezí 1,5 – 2,1 kJ/m<sup>2</sup> a jsou závislé především na ostrosti nožů. [17]

Z následujícího vzorce lze vypočítat celkový výkon pro řez POC [kW]:

$$POC = ENCSAE \times VLF \times LWD \text{ [kW]}$$

kde:

ENCSAE – řezná energie na jednotku plochy [kJ/m<sup>2</sup>]

VLF – rychlost vkládání materiálu

LWD – šířka záběru

Energii na jednotku plochy (ENCSAE) lze vypočítat jako násobek řezné energie (ENCS) na jednotku oblasti (MAFEA) suchého materiálu.

$$ENCSAE = ENCS \times MAFEA \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{m}^2} \right]$$

kde:

ENCS – řezná energie [kJ/m<sup>2</sup>]

MAFEA – hmotnost suchého materiálu na jednotku oblasti

Řeznou energii (ENC1) lze vypočíst použitím vztahu:

$$ENC1 = 1000 \times \frac{ENC1}{\frac{LWC \times LTC \times MDB}{LLP}} \left[ \frac{kJ}{kg} \right]$$

kde:

ENC1 – řezná energie pro jeden řez

LWC – šířka záběru [mm]

LTC – tloušťka řezaného materiálu [mm]

MDB – měrná hmotnost suchého materiálu [mg/mm<sup>3</sup>]

LLP – délka řezaného materiálu [mm]

### 2.3.2 Řezná síla

Řezná síla je definována obecným způsobem jako vnější síla, která je vyvolána nožem na materiálu tak, aby so dosáhlo řezu (obr. 12). Řeznou sílu lze také definovat jako výslednici součiny napětí vyvolaného nožem na materiálu a plochy prvku, na kterém vzniká napětí. Tato síla má složku FOX, která působí ve směru pohybu nože a je dána vztahem:

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

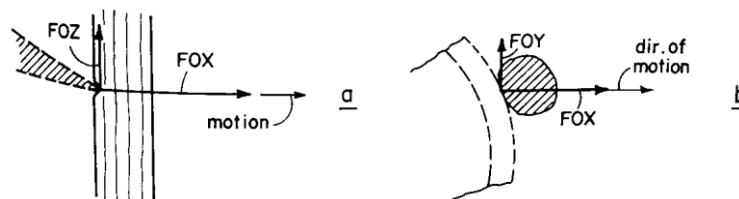
kde:

FOE – síla ostří [N]

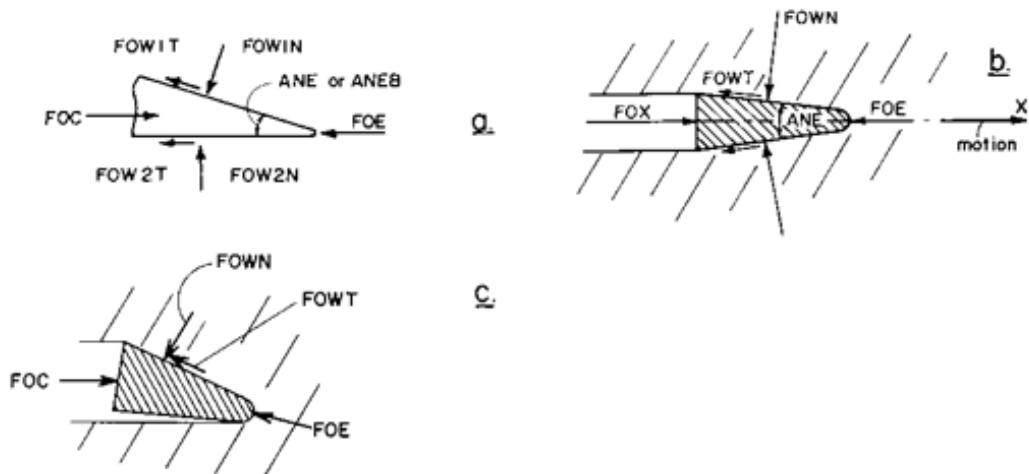
FOWN – normálová složka síly na straně čepele [N]

ANE – úhel ostří [°]

CF – koeficient tření (= FOWT / FOWN)



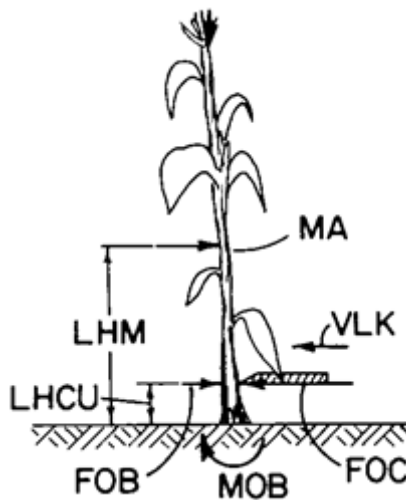
Obr. 13: Řezná síla na materiál; a) boční pohled, b) pohled z vrchu [17]



Obr. 14: Elementární složky síly působící na nůž [17]

- a) Obecný případ, b) symetrický nůž. c) nůž s kontaktem na pouze jedné straně  
*FOWN, FOW1N, FOW2N* – normálové složky klínových sil  
*FOWT, FOW1T, FOW2T* – tangenciální složky klínových sil  
*FOW* – síla nože; *FOX=FOC* – řezná síla

Řezná síla (FOC) je odvozena následujícím vztahem podle (obr. 15):



Obr. 15: Síly na stonku rostliny v místě řezu [17]

$$FOC = \frac{MA \times \frac{VLK}{DTI} \times LHM + FOB \times LHCU}{LHCU} [N]$$

kde:

MA – hmotnost řezaného materiálu [kg]

VLK – rychlost pohybu nože [m/s]

DTI – doba řezu [s]

$$DTI = \frac{LD}{VLK \times 100} [s]$$

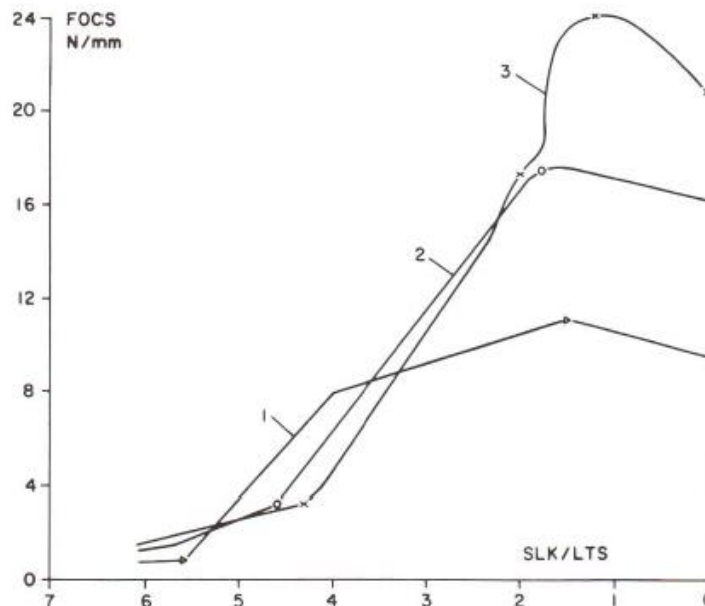
LD – průměr stonků [mm]

LHM – výška těžiště rostliny od země [m]

FOB – tuhost v ohybu ve výšce řezu [N]

LHCU – výška řezu od země [m]

Diagram řezných sil (obr. 16) při řezu jílku lučního při použití tří různých tloušek materiálu, z kterého vychází, že čím větší má řezaný materiál tloušťku, tím je potřeba větší řezná síla nože. [17]

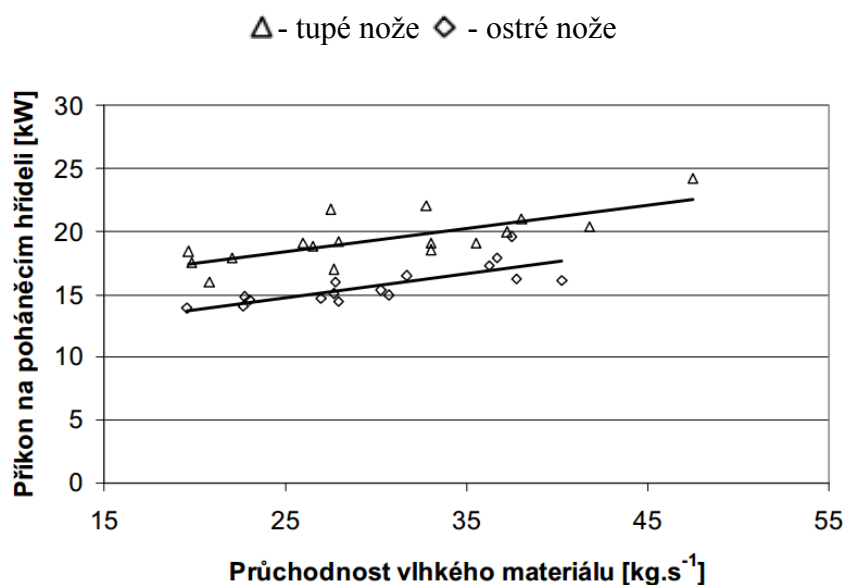


Obr. 16: Diagram závislosti řezné síly pro jílek luční [17]

1 – tloušťka 0,94 mm, 2 – tloušťka 1,88 mm, 3 – tloušťka 2,82 mm

FOCS – řezná síla, SLK – koordinátor nože, LTS – tloušťka materiálu  
materiál o vlhkosti 20 %

Toto měření je podpořeno studií (Kroulík, a další, 2008), ve které proběhlo měření na lučním porostu. Výsledkem tohoto měření bylo porovnání příkonu rotačního žacího stroje při použití ostrých a tupých nožů. Bylo zjištěno, že ostrost nožů může snížit příkon stroje až o 5kW (obr. 17). [18]



Obr. 17: Porovnání příkonu rotačního žacího stroje o záběru 3 m při použití ostrých a tupých nožů [18]

### 2.3.3 Ztráty žacích zařízení

Ztráty na žacích zařízení jsou ovlivňovány mnoha faktory, jedná se zejména o: překonání mechanických třecích sil hnacího a vkládacího mechanismu, překonání třecích sil mezi nožem a sečeným porostem, pohyb vzduchu v oblasti pracovních nožů, překonání třecích sil mezi materiálem a krytem žacího ústrojí, akcelerace materiálu na výstupní rychlost a další výkonové ztráty. Při nedokonalých podmínkách může nastat situace, kdy tyto ztráty mohou být větší než je skutečný řezný výkon. Celkové ztráty (POL) zobrazené na obr. 18 lze vyjádřit následující rovnicí. [17]

$$POL = POL_1 + POL_2 = POL_{AC} + POL_{FR} + POL_{AI} + POL_{FE} + POL_{FRM} + POL_{MI} [kW]$$

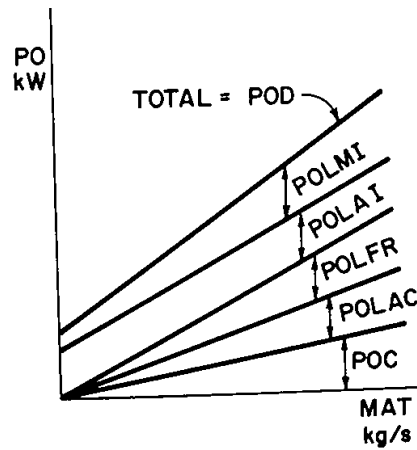
kde:

POL – celkové ztráty, [kW] (= POD – POC )

POL<sub>1</sub> – neřezné ztráty

POL<sub>2</sub> – všechny výkonové ztráty úměrné posuvu





Obr. 18: Řezný výkon a ztráty v závislosti na přísunu řezaného materiálu [17]

POL – celkové ztráty, [kW] (= POD – POC )

POC – řezný výkon

POD – celkový příkon zařízení

POLAC – výkon potřebný k akceleraci materiálu na výstupní rychlost

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

POLAI – výkon potřebný k vytvoření vzduchu v oblasti řezu

POLFE – výkon pro vkládání materiálu

POLFRM – výkon pro překonání třecích sil hnacího mechanismu

POLMI – další výkonové ztráty

### 3 CÍL PRÁCE

Cílem práce je vyhodnotit průběh tlaků působících na různé tvary krytů mulčovače s vertikální osou rotace ve vztahu k vnitřnímu uspořádání na základě měření na laboratorním modelu mulčovače v definovaných podmínkách.

## 4 METODIKA

Na základě soudobé tuzemské i cizojazyčné literatury vytvořit přehled problematiky mulčovačů s vertikální osou rotace. A poté vyhodnotit energetickou náročnost mulčovače s vertikální osou rotace ve vztahu k vnitřnímu uspořádání na modelu, který byl vytvořen ve spolupráci katedry zemědělských strojů a společností Bernar FTM s.r.o.

### 4.1 Konstrukce laboratorního modelu mulčovače

Konstrukce laboratorního modelu byla navrhována tak, aby co nejvíce odpovídala mulčovacímu stroji, který byl používán při měření v polních podmínkách, což umožní použití standardně vyráběných součástí.

Jako další požadavky pro laboratorní model mulčovacího stroje s vertikální osou rotace byly stanoveny:

- možnost výměny krytů modelu mulčovacího stroje (možnost využití různých tvarů),
- možnost výškového nastavení rotoru s noži i krytů vůči podlahové části,
- možnost změny průměru krytů.



*Obr. 19: Laboratorní model mulčovacího stroje*

Zdroj: autor

Konstrukce modelu mulčovače s vertikální osou rotace (obr. 19) vychází z průměru jedné sekce u mulčovacího stroje používaného při polním měření, který činil 2 m. Celá konstrukce je umístěna na základní části, u kterého je možné výškové nastavení celé mulčovací sekce. Na tuto část je namontována deska, která zajišťuje funkci roviny pozemku a velikostně zaujímá celou plochu pod pracovní oblastí rotujících nožů.

Na celou základní část konstrukce je navržena horní část celého rámu, ke které jsou instalovány hlavní prvky mulčovacího stroje, tj. úhlová převodovka, část krytová, část nožová a další. Tato umožňuje výškové nastavení nožové části a to za pomoci podložek pod převodovku. Při návrhu konstrukce se počítalo s možnou výměnou krytů jiných tvarů a proto je tomu přizpůsobena konstrukce ramen hlavní části rámu.

Pro zpevnění celé konstrukce jsou na hlavní části přidány dva prvky zavětrování a také kříž, který zpevňuje střední část horního rámu a slouží pro umístění převodovky.

#### 4.1.1 Typy krytů modelu mulčovacího stroje

Horní kryty modelu mulčovacího stroje se skládají ze čtyř částí, které jsou instalovány na hlavní část rámu pomocí šroubového spoje. Základním tvarem pro měření se používal kryt „rovný“ vyrobený z čirého plexiskla (viz obr. 20) a následně byli vyrobeny kryty tvaru „boule“ (obr. 21) a „kapka“ (obr. 22) ze sklolaminátu. Vzhledem k větším rozměrům rámu modelu mulčovacího stroje byli horní kryty opatřeny žebry, které slouží ke zvýšení celkové pevnosti krytu.



Obr. 20: Model mulčovacího stroje při použití rovných krytů

Zdroj: autor



*Obr. 21: Jedna čtvrtina horního krytu tvaru „boule“*

Zdroj: autor



*Obr. 22: Jedna čtvrtina horního krytu tvaru „kapka“*

Zdroj: autor

Dále se na modelu mulčovacího stroje nachází boční kryty, které jsou také rozděleny na čtyři části a jsou vyrobeny z čírého polykarbonátu. Jejich průměr lze případně změnit pomocí podložek umístěných na hlavní části rámu.

#### **4.1.2 Typy použitých mulčovacích nožů**

Pro laboratorní měření k diplomové práci byli zvoleni dva typy nožů od společnosti Bednar FMT s.r.o., které se jsou běžně používány. Jedním z typů je nůž travní (obr. 23), který oproti noži kukuřičnému (obr. 24) má navíc konstrukční prvek tzv. plachetku. Plachetka slouží zejména v přilehlých travních porostech, kdy napomáhá lepšímu sečení.





*Obr. 23: Mulčovací nůž kukuřičný*

Zdroj: autor



*Obr. 24: Mulčovací nůž travní*

Zdroj: autor

## 4.2 Metodika měření

V laboratoři katedry zemědělských strojů byla prováděna měření, kde se zjišťoval příkon pohonné jednotky pomocí frekvenčního měniče s asynchronním motorem modelu mulčovacího stroje. Zkoušky probíhaly za použití různých kombinací nožů a krytů (viz kapitola 4.1.1.) při různých otáčkách. Zároveň s tímto měřením probíhala měření, kterými se bude zabývat praktická část této diplomové práce. Byla to měření tlaku na krytu modelu mulčovacího stroje pomocí měřících tlakových pásek.

Kombinace nožů použitých při měření pro tuto diplomovou práci:

1. čtveřice travních nožů,
2. dvojice kukuřičných nožů.

Pro každou kombinaci zmíněných nožů byly měřeny hodnoty tlaku při otáčkách v rozsahu 400 – 1000 ot/min.

#### 4.2.1 Zařízení použita při měření

Pohon modelu mulčovacího stroje zajišťoval asynchronní motor MEZ o výkonu 22 kW a otáčky  $1430/\text{min}^{-1}$ . Od elektromotoru vedl kardanový hřídel až k rozvodovce mulčovacího stroje, která měnila osu otáčení krouticího momentu a poháněla tak rotor osazený mulčovacími noži.

Změna nastavení otáček na požadované hodnoty byla prováděna pomocí frekvenčního měniče Siemens Simovert VC s typovým výkonem 55 kW. Jednotlivé frekvence pro požadované otáčky byly:

- 14 Hz pro 400 ot/min,
- 20,5 Hz pro 600 ot/min,
- 27 Hz pro 800 ot/min,
- 33,5 Hz pro 1000 ot/min.

Při použití rovných krytů s kombinací čtveřice travních nožů byly měřeny hodnoty v rozsahu 400 – 1000 ot/min. Jelikož při otáčkách 1000 ot/min docházelo k vysokým vibracím, musel být rozsah pro zbylá měření omezen do 800 ot/min.

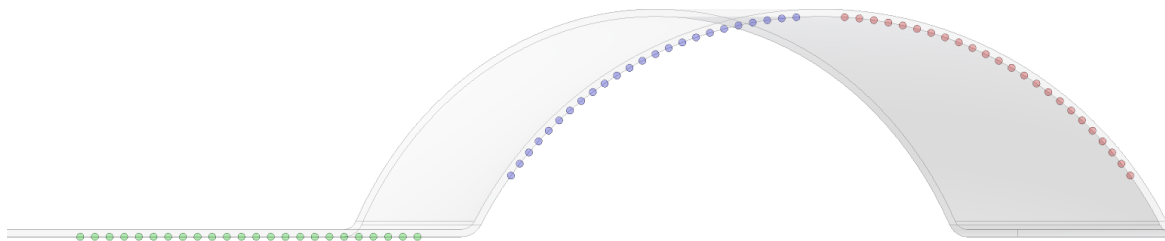
#### 4.2.2 Tlakové pásy

Pro měření tlaku na kryt modelu mulčovacího stroje byli instalovány tlakové pásy na jednotlivé typy krytu (obr. 25, 26 a 27). Každý typ krytu obsahoval tři tlakové pásy, které byli rozmístěny podle jeho tvaru.

---

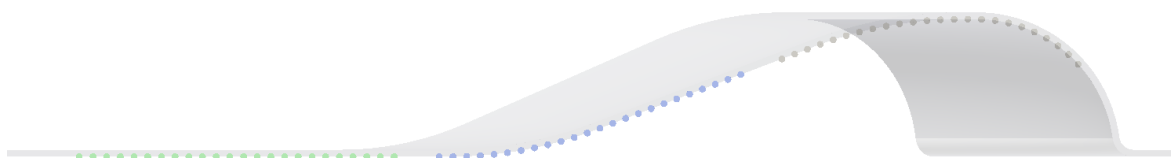
*Obr. 25: Umístění tlakových pásků pro rovný kryt*

Zdroj: autor



Obr. 26: Umístění tlakových pásků pro kryt tvaru koule

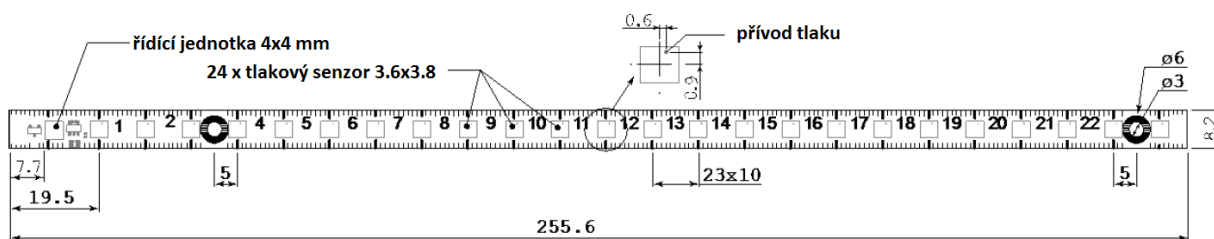
Zdroj: autor



Obr. 27: Umístění tlakových pásků pro kryt tvaru kapka

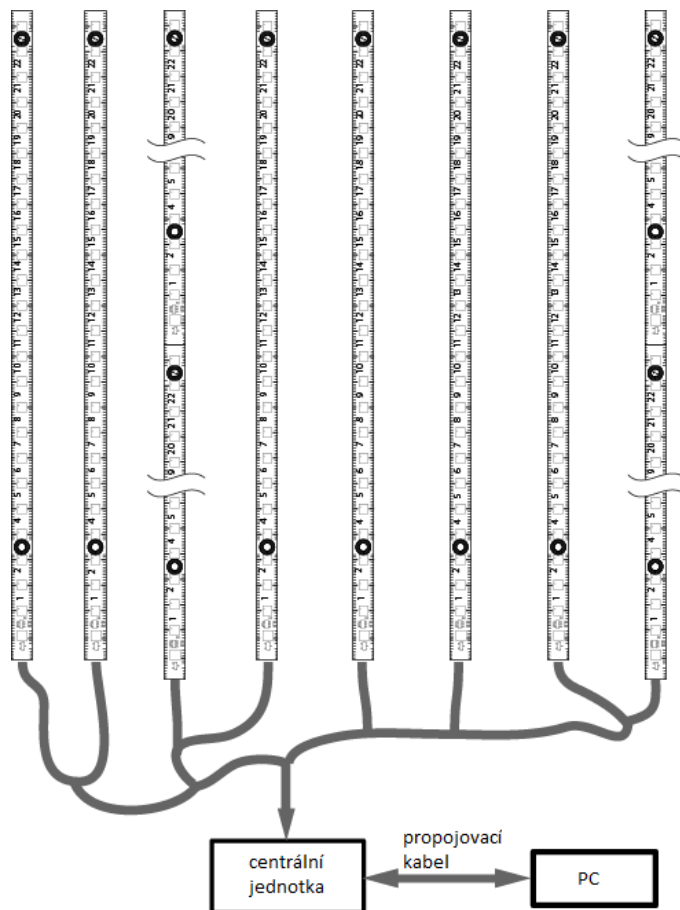
Zdroj: autor

Každý tlakový pásek (obr. 28) se skládá z 24 tlakových senzorů rozmístěných po 10 mm na flexibilním pásu, který se snadno v oblastech mezi senzory ohýbá. Všechna zařízení jsou vybavena konektory na obou koncích pro možnost připojení několika zařízení do sebe tak, že lze získat pás o délce až 4 m. Pro každé zařízení je k dispozici jeden mikro kontrolér, který komunikuje se všemi tlakovými senzory a sdílí data prostřednictvím sběrnice do čtecího zařízení. Použití sběrnice umožňuje připojit více tlakových proužků na jedno zařízení a při čtení hodnot postačí pouze jeden kabel (viz obr. 29). [19]



Obr. 28: Základní technické parametry tlakových pásků [19]





Obr. 29: Připojení více tlakových pásků přes komunikační sběrnici [19]

Připojení senzorů pomocí komunikační sběrnice umožňuje připojit až 10 tlakových proužků, které se připojují do centrální jednotky. Avšak při použití více tlakových pásků klesá datová propustnost komunikační sběrnice a rychlost čtení dat tak značně klesá (viz tab. 1).



Obr. 30: centrální jednotka pro vyčítání dat [19]

Tab. 1: Základní technické specifikace tlakových pásek [19]

Rozsah	
Teplotní rozsah	15 – 40 °C
Tlakový rozsah	93 – 170 kPa
Dynamické vlastnosti – frekvence čtení dat	
Při použití jedné tlakové pásky	10 Hz
Při použití dvou tlakových pásek	5 Hz
Při použití deseti tlakových pásek	1 Hz

Pro každý tlakový pásek je registrováno jedinečné identifikační číslo, které pomáhá při identifikaci během procesu instalace, měření a vyhodnocování dat. Zápis a čtení dat probíhá za pomoci speciálního softwaru MATLAB.

## 5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Jelikož neproběhla všechna měření v jeden den, bylo nutné před každým měřením nejdříve změřit tlak okolního prostředí, jemuž odpovídají hodnoty „nulových“ otáček zobrazených v grafech. Vzhledem k rozdílným tlakům okolního prostředí při jednotlivých měřeních nelze přímo porovnávat naměřené hodnoty, ale spíše sledovat jejich průběh nebo porovnávat rozdíl tlaku naměřeného a tlaku okolního prostředí. Při každém měření (400,600,800 a 1000 ot/min) bylo vždy naměřeno přibližně 100 hodnot pro každý ze senzorů na tlakové pásce, tj. celkem 7200 zaznamenaných hodnot pro dané otáčky. Tyto hodnoty byly následně zpracovány a vloženy do grafů, kde jsou porovnávány naměřené tlaky v závislosti na otáčkách a v závislosti na vzdálenosti od středu krytu. V grafu „závislosti průměrných hodnot na vzdálenosti od středu“ je zobrazeno celkem 72 hodnot pro jednotlivé otáčky, které znázorňují tlaky z každého senzoru na měřícím pásku.

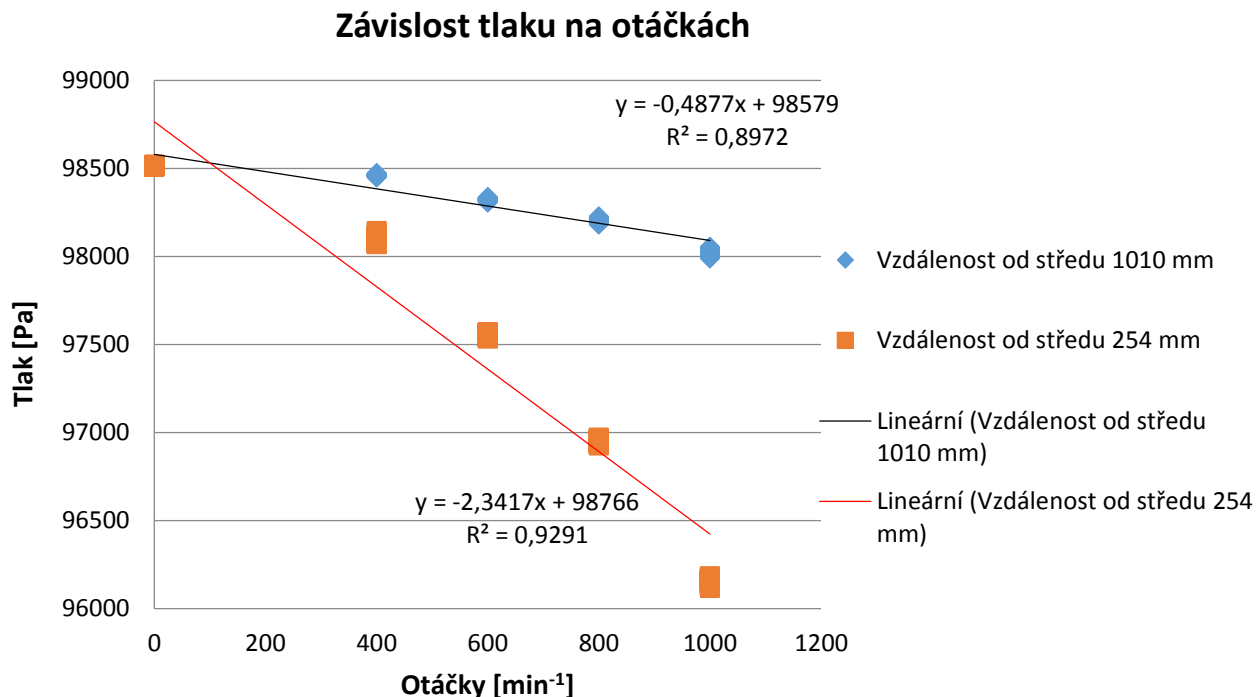
### 5.1 Rovné kryty

#### 5.1.1 Uspořádání – čtveřice travních nožů

Prvním měřením byla kombinace rovných krytů s čtveřicí travních nožů. V tab. 2 jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty pro vzdálenosti 1010 mm a 254 mm od středu.

Tab. 2: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro rovný kryt při použití čtveřice travních nožů

<b>Otáčky (ot/min)</b>	0		400		600		800		1000	
<b>Vzdálenost od středu (mm)</b>	1010	254	1010	254	1010	254	1010	254	1010	254
<b>Tlak (kPa)</b>	98,48		98,46	98,09	98,32	97,55	98,20	96,95	98,03	96,16

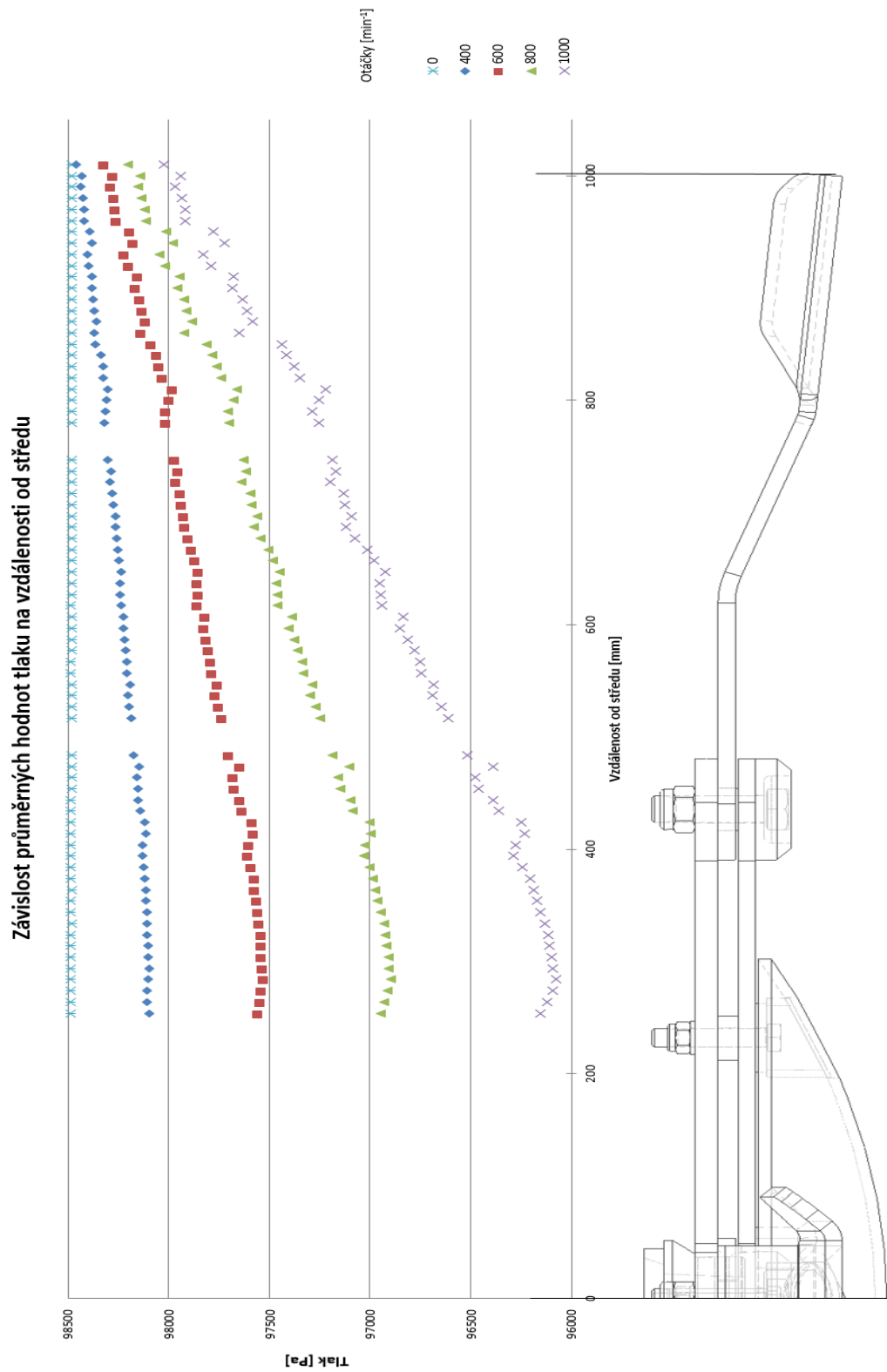


Obr. 31: Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití rovných krytů a čtveřice travních nožů

Z grafu (obr. 31) je evidentní, že při ustálených otáčkách nedocházelo k žádné větší výchylce od průměrných hodnot při jednotlivých otáčkách.

Při porovnání průběhu tlaku při jednotlivých otáčkách je patrné, že s rostoucími otáčkami vznikaly větší rozdíly tlaku v závislosti na vzdálenosti od středu krytu. Vlivem ventilačních účinků, které vznikají v místě řezné části nože, vznikají největší tlaky na kryt právě v místě řezu (vzdálenost od středu 1010 mm), zatímco v místech nejvzdálenějších od středu (vzdálenost od středu 254 mm) již docházelo k pomíjení ventilačního účinku.

Závislost průměrných hodnot na vzdálenosti od středu je zobrazena v grafu (obr. 32), z kterého lze také vyčíst, jaký vliv má tvar nože na průběh tlaku. Při kombinaci rovných krytů se čtyřmi travními noži jsou patrné změny tlaku v místech, kde se nahází šroub sloužící k uchycení nožů a dále pak v místech plachetky, kde v bodě začátku tohoto konstrukčního prvku došlo k nárůstu tlaku.



Obr. 32: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití rovných krytů a čtveřice travních nožů

### 5.1.2 Uspořádání – dvojice kukuřičných nožů

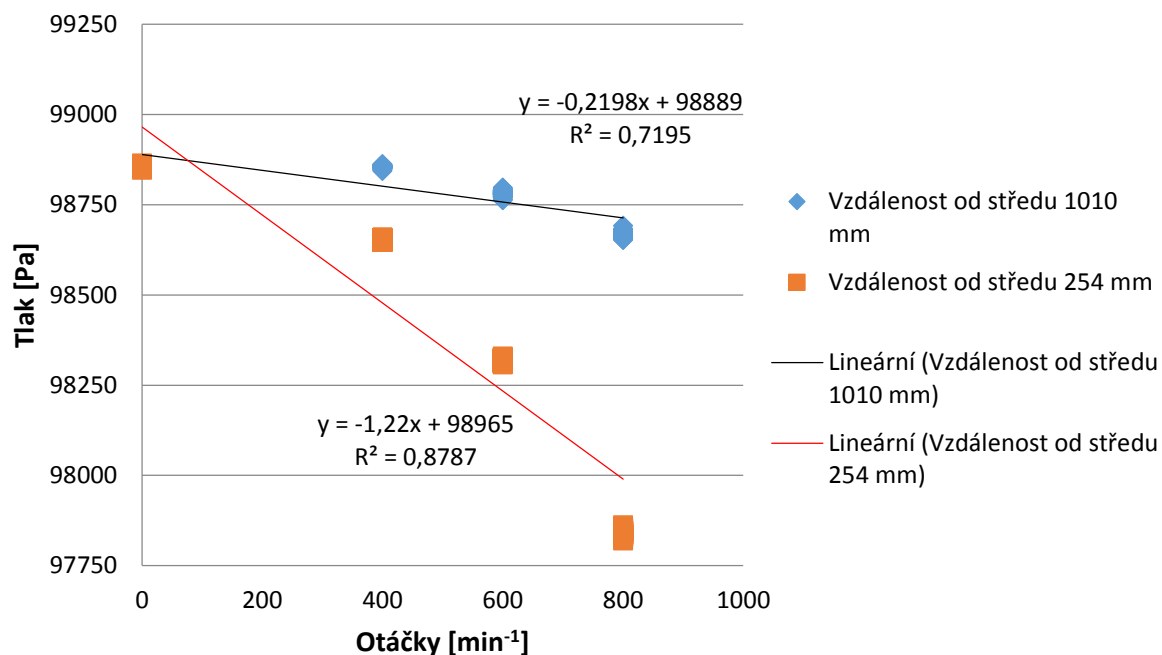
Jelikož u předchozích měření při 1000 ot/min vznikaly velké vibrace způsobené ukotvením modelu mulčovacího stroje k podlaze, bylo opuštěno od měření při 1000 ot/min a měření byla ukončena již při 800 ot/min. Průměrné naměřené hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro rovný kryt při použití dvojice kukuřičných nožů

<b>Otáčky (ot/min)</b>	0		400		600		800	
<b>Vzdálenost od středu (mm)</b>	1010	254	1010	254	1010	254	1010	254
<b>Tlak (kPa)</b>	98,86		98,85	98,65	98,78	98,32	98,67	97,84

Při použití kombinace dvojice travních nožů s rovným krytem nedocházelo při ustálených otáčkách k žádným větším odchylkám od těchto průměrných hodnot při jednotlivých otáčkách, což znázorňuje graf závislosti tlaku na otáčkách (obr. 33). Z grafu je také zřejmé, že změny rozdílu tlaku v závislosti na otáčkách byli ve vzdálenosti 254 mm od středu ve větším rozsahu (98,65 – 97,84 kPa), než tomu bylo u vzdálenosti 1010 mm od středu (98,85 – 98,67 kPa).

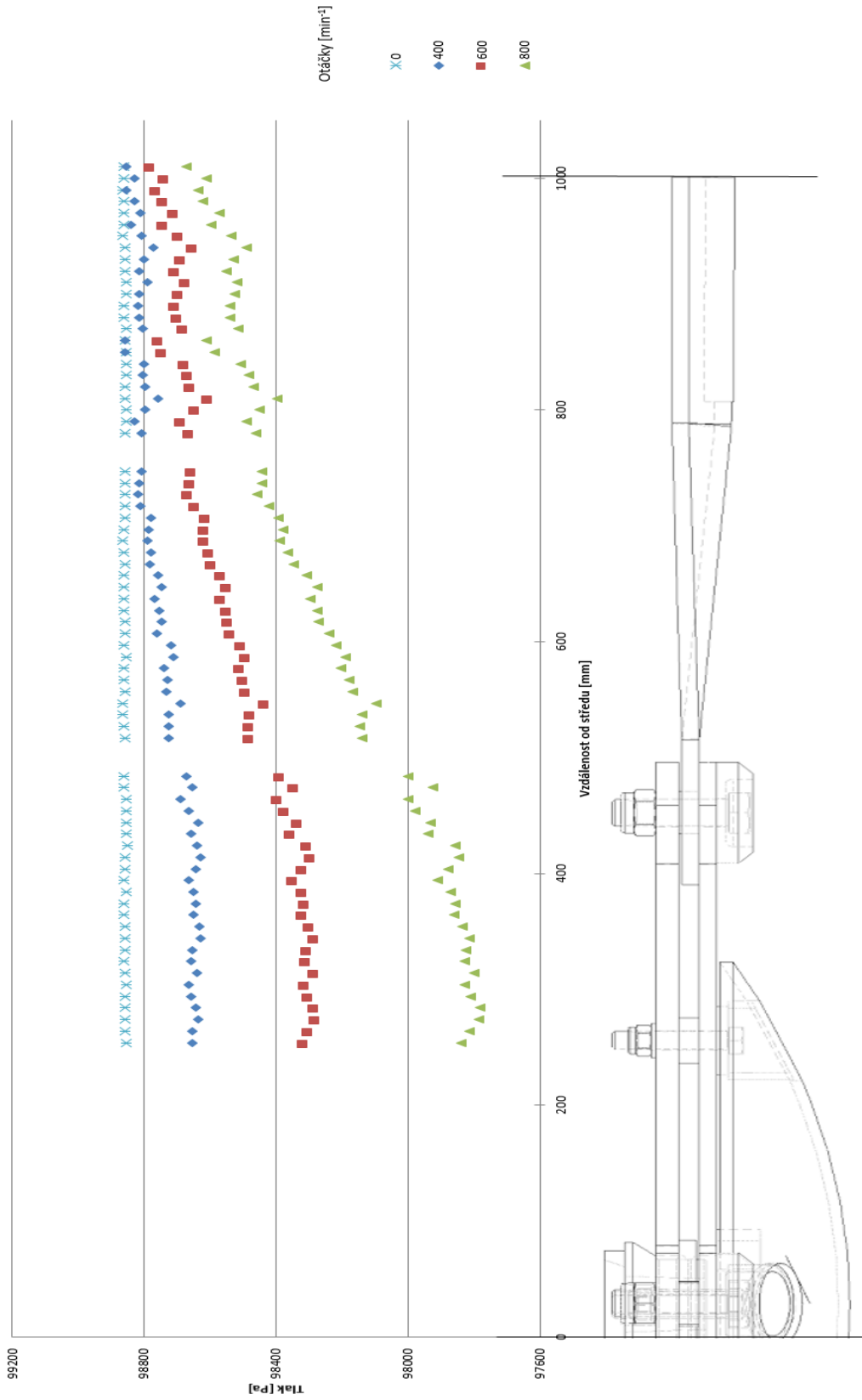
## Závislost tlaku na otáčkách



Obr. 33: Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití rovných krytů a dvojice kukuřičných nožů

Podrobněji lze tento průběh sledovat v grafu „závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu“ (obr. 34). Na tomto grafu je také zobrazeno, jaký vliv má řezný nůž v jednotlivých částech krytu na proudění vzduchu. Stejně jako v předchozím případě k největším změnám docházelo s místě uchycení nože a místě pohybu řezné části nože. Případné porovnání naměřených hodnot mezi travními a kukuřičnými noži bude zmíněno v kapitole „Diskuze“.

Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu



Obr. 34: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití rovných krytů a dvojice kukuřičných nožů



## 5.2 Kryty tvaru „kapka“

Již ze zmíněných důvodů měření neprobíhalo při 1000 ot/min. Avšak pro lepší porovnání naměřených hodnot byl upraven rozsah otáček tak, aby měření probíhala při čtyřech různých otáčkách (200 až 800 ot/min).

### 5.2.1 Uspořádání – čtveřice travních nožů

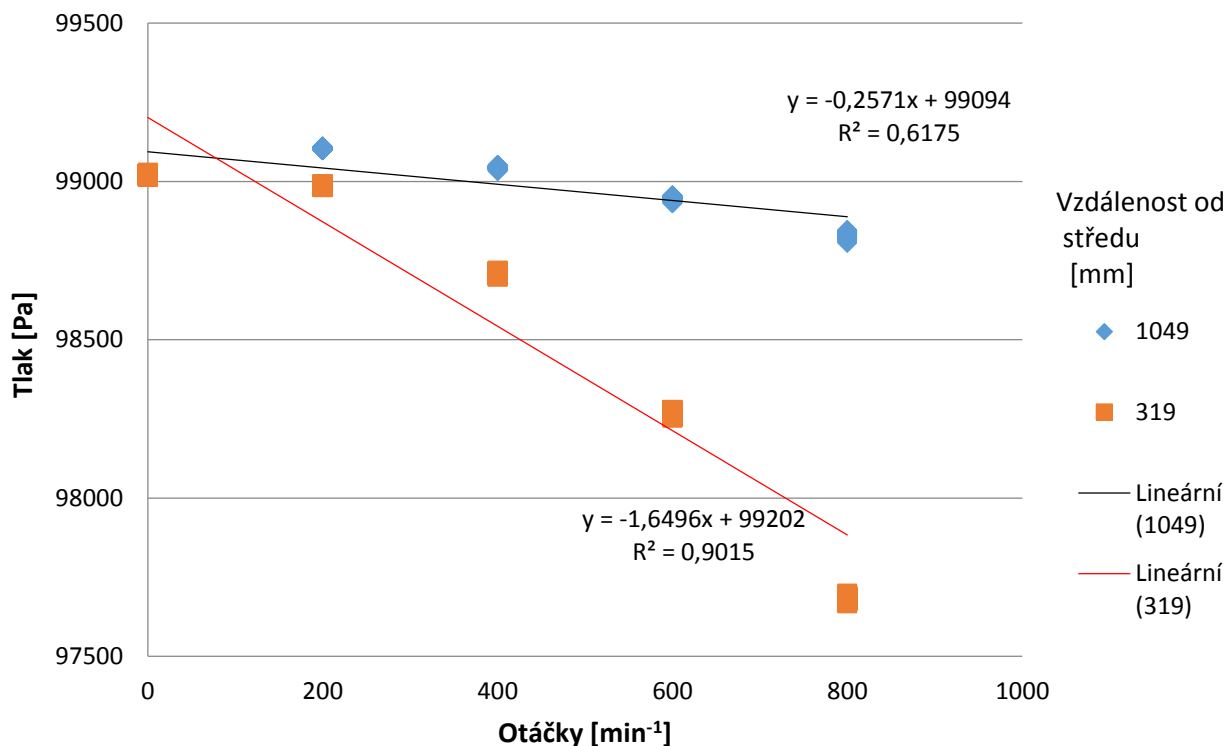
V tab. 4 jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty tlaku pro vzdálenosti 1049 mm a 319 mm od středu krytu.

*Tab. 4: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro kryt tvaru kapka při použití čtveřice travních nožů*

<b>Otáčky (ot/min)</b>	0		200		400		600		800	
<b>Vzdálenost od středu (mm)</b>	1049	319	1049	319	1049	319	1049	319	1049	319
<b>Tlak (kPa)</b>	99,03		99,10	98,99	99,04	98,70	98,94	98,27	98,83	97,68

Při použití kombinace čtyř travních nožů s krytem tvaru kapka nedocházelo při ustálených otáčkách k žádným větším odchylkám od průměrných hodnot při jednotlivých otáčkách uvedených v tab. 4, což znázorňuje graf závislosti tlaku na otáčkách (obr. 35). Největší nárůst podtlaku byl zaznamenán při změně otáček z 600 ot/min na 800 ot/min.

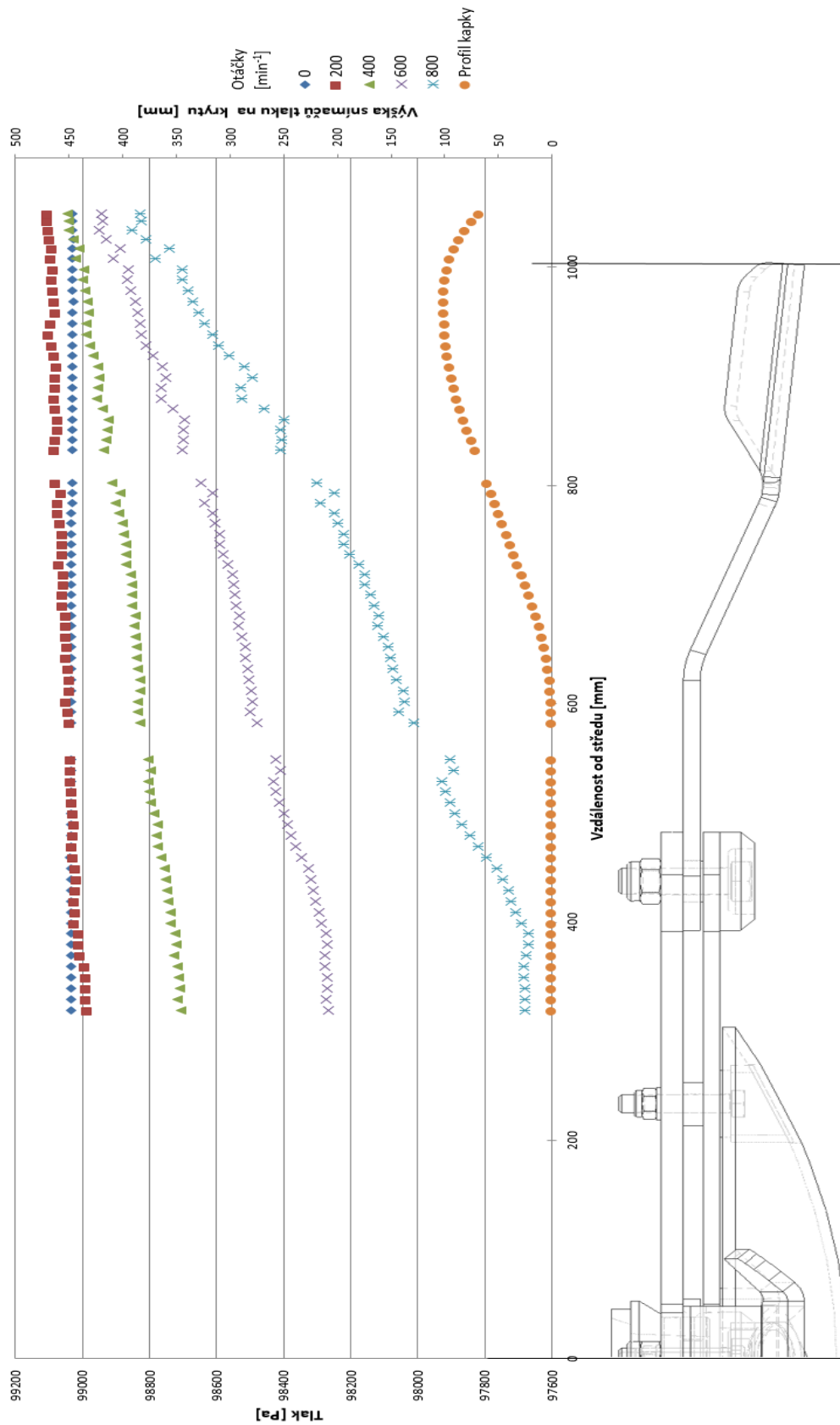
### Závislost tlaku na otáčkách



Obr. 35: Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití krytů tvaru kapka a čtveřice travních nožů

Z grafu lze také vyčíst, že u měření při 200 a částečně 400 ot/min ve vzdálenosti 1049 mm od středu vznikal i přetlak. Podrobněji lze tento průběh sledovat v grafu „závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu“ (obr. 36). Na tomto grafu je také vidět, jaký vliv má řezný nůž v jednotlivých místech krytu na proudění vzduchu. Největší změna byla zaznamenána v místě začátku plachetky, kde vlivem ventilačních účinků dochází k nárůstu tlaku.

Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu - Kapka



Obr. 36: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití krytů tvaru kapka a čtveřice travních nožů

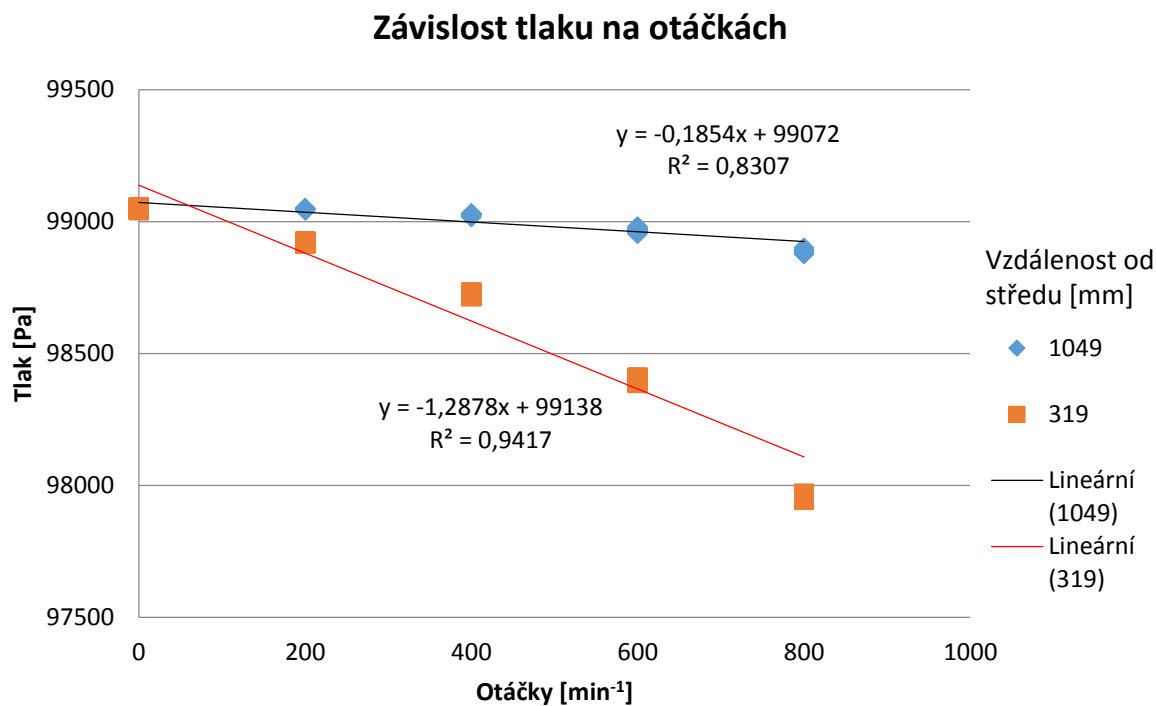
### 5.2.3 Uspořádání – dvojice kukuřičných nožů

Tab. 5: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro kryt tvaru kapka při použití dvojice kukuřičných nožů

<b>Otáčky (ot/min)</b>	0		200		400		600		800	
<b>Vzdálenost od středu (mm)</b>	1049	319	1049	319	1049	319	1049	319	1049	319
<b>Tlak (kPa)</b>	99,01		99,05	98,92	99,03	98,72	98,97	98,39	98,89	97,96

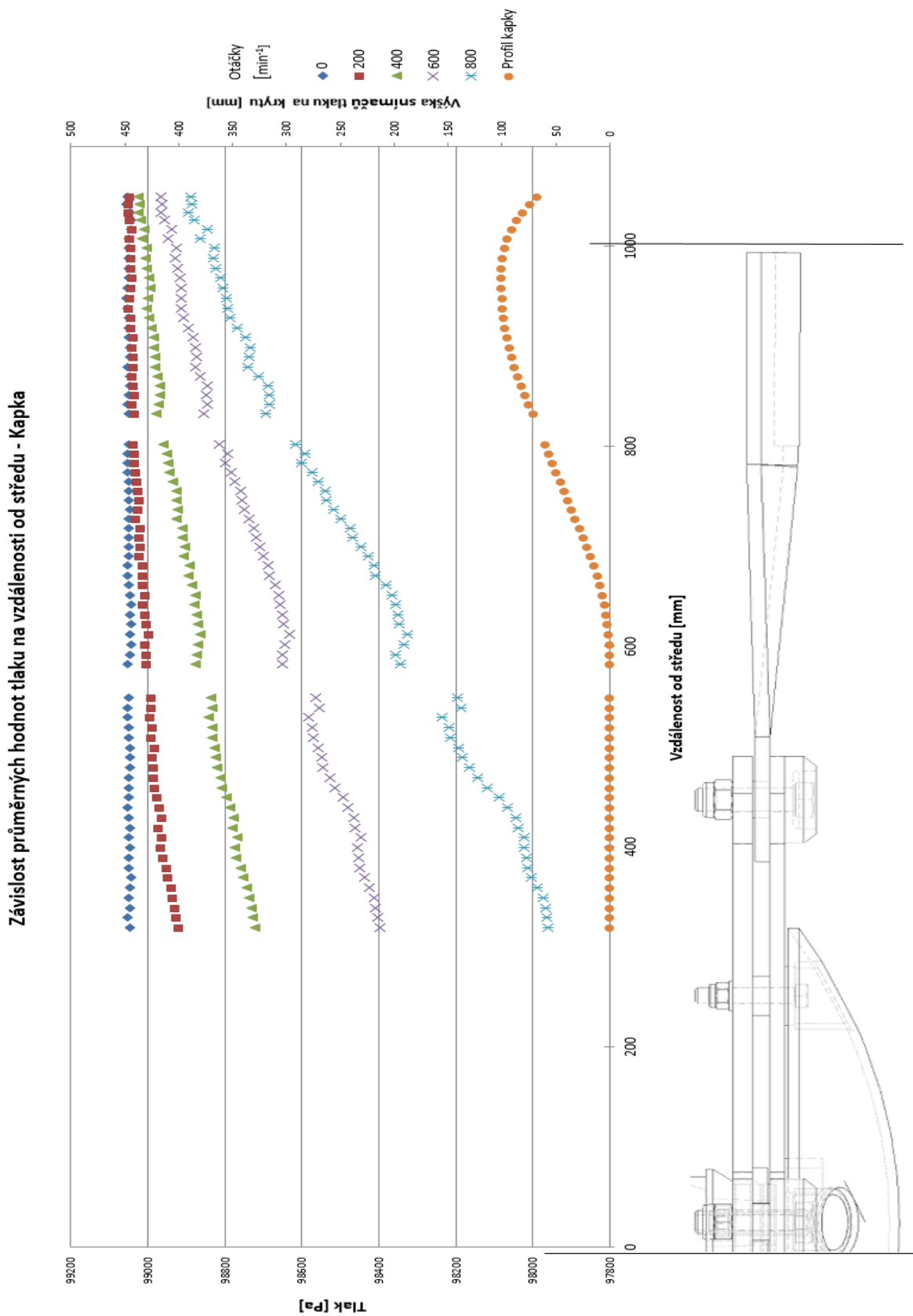
Při použití kombinace čtyř travních nožů s krytem tvaru kapka nedocházelo při ustálených otáčkách k žádným větším odchylkám od průměrných hodnot při jednotlivých otáčkách uvedených v tab. 5, což znázorňuje graf závislosti tlaku na otáčkách (obr. 37).

Porovnáním hodnot tlaku okolního prostředí (99,01 kPa) a tlaku při otáčkách 200 ot/min (99,05 kPa) a 400 ot/min (99,03 kPa) lze konstatovat, že při těchto podmínkách vznikl mírný přetlak v místech 1049 mm od středu.



Obr. 37: Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití krytů tvaru kapka a dvojice kukuřičných nožů

Na následujícím grafu (obr. 38) je znázorněn průběh tlaků v závislosti na vzdálenosti od středu, ze kterého lze vyčíst, že při použití dvou kukuřičných nožů s krytem tvaru kapka nedocházelo k téměř žádným odchylkám. Menší odchylky byly zaznamenány pouze v místě, kde docházelo ke změně tvaru krytu.



Obr. 38: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití krytů tvaru kapka a dvojice kukuřičných nožů

### 5.3 Kryty tvaru „boule“

Při použití krytů tvarů boule byli měřeny hodnoty stejně jako tomu bylo u krytu tvaru kapka, tj. v rozsahu 200 až 800 ot/min u všech kombinací nožů.

#### 5.3.1 Uspořádání – čtveřice travních nožů

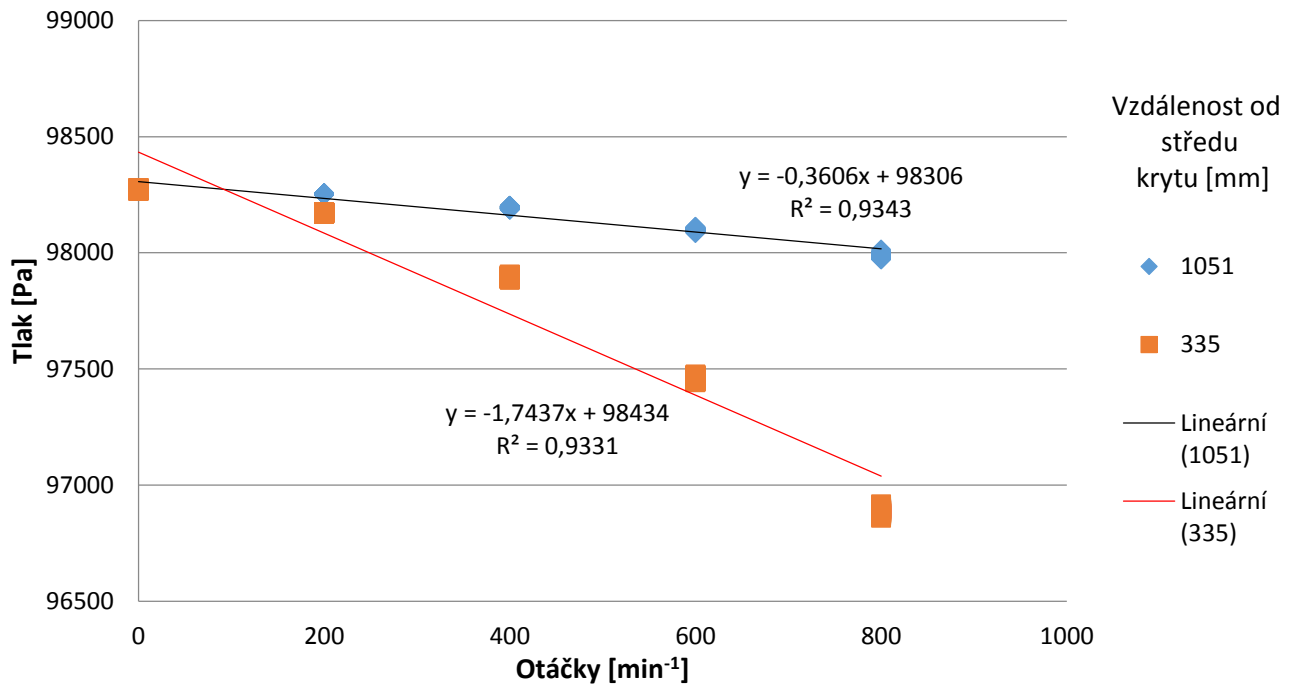
V následující tabulce (tab. 6) jsou uvedeny průměrné naměřené hodnoty tlaku pro vzdálenosti 1051 mm a 335 mm od středu krytu.

Tab. 6: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro kryt tvaru boule při použití čtveřice travních nožů

Otáčky (ot/min)	0		200		400		600		800	
	Vzdálenost od středu (mm)	1051	335	1051	335	1051	335	1051	335	1051
Tlak (kPa)	98,27		98,28	98,21	98,22	98,01	98,12	97,57	98,01	96,70

U naměřených hodnot tlaku v závislosti na otáčkách u krytu tvaru boule při použití čtyř travních nožů nebyli při ustálených otáčkách pozorovány žádné větší odchylky od průměrných hodnot při jednotlivých otáčkách (obr. 39). K největšímu nárůstu podtlaku bylo dosaženo při změně otáček z 600 ot/min na 800 ot/min.

### Závislost tlaku na otáčkách

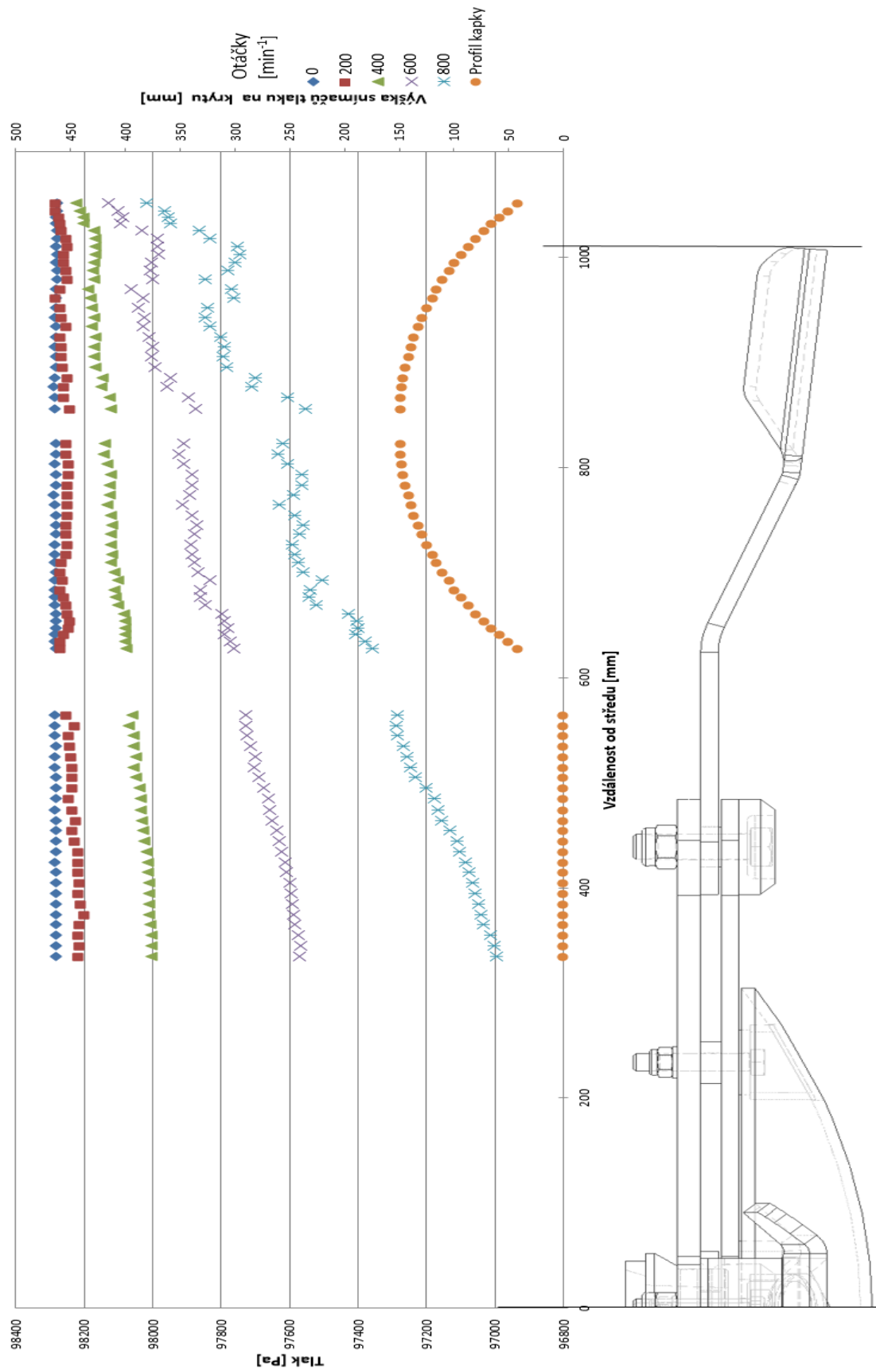


Obr. 39: Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití krytů tvaru boule a čtveřice travních nožů

Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu znázorňuje následující graf (obr. 40). Z grafu je zřejmé, že u tohoto typu krytu při použití čtveřice travních nožů vznikaly změny tlaku v místě oblouku krytu. Zde docházelo ke značné nevyrovnanosti tlaků v různých částech oblouku. U oblouku, který se nachází nad řeznou částí, došlo k největším změnám v místě, kde se nachází plachetka nože, která v tomto případě značně ovlivňovala proudění vzduchu.



### Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu - Boule



Obr. 40: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití krytů tvaru boule a čtveřice travních nožů

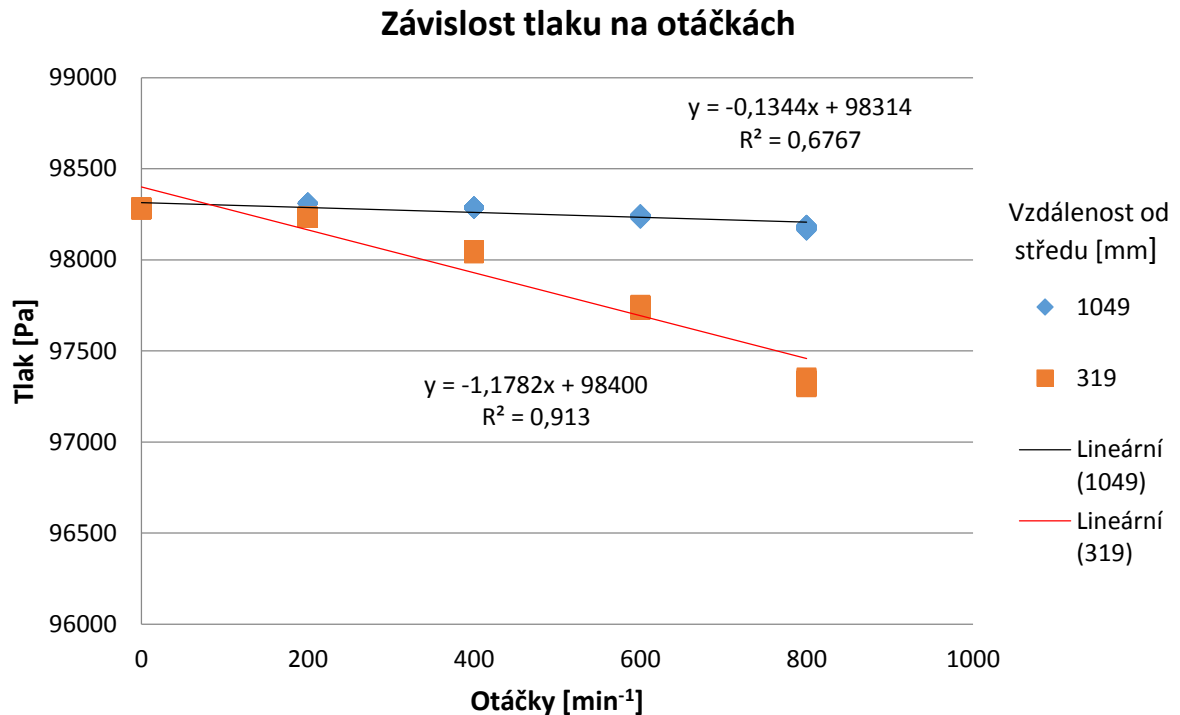
### 5.3.2 Uspořádání – dvojice kukuřičných nožů

Tab. 7: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro kryt tvaru boule při použití dvojice kukuřičných nožů

Otáčky (ot/min)	0		200		400		600		800	
Vzdálenost od středu (mm)	1051	335	1051	335	1051	335	1051	335	1051	335
Tlak (kPa)	98,27		98,31	98,23	98,29	98,04	98,24	97,74	98,18	97,32

U naměřených hodnot tlaku v závislosti na otáčkách u krytu tvaru boule při použití čtyř travních nožů nebyli při ustálených otáčkách pozorovány žádné větší odchylky od průměrných hodnot při jednotlivých otáčkách (obr. 41).

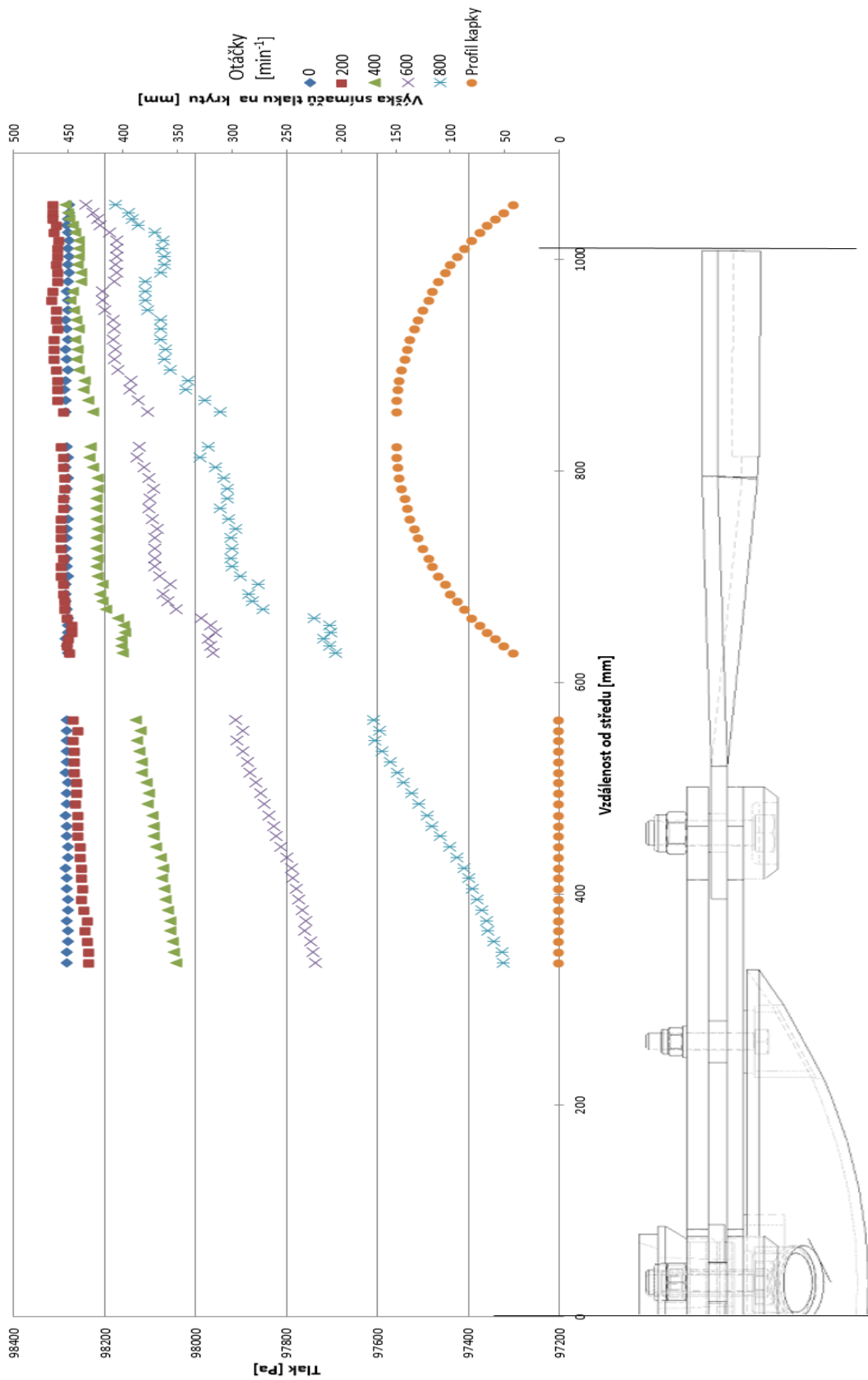
Jejich rozsah v závislosti na vzdálenosti od středu se pohyboval v rozmezí od 97,32 kPa při otáčkách 800 ot/min do 98,23 kPa při otáčkách 200 ot/min ve vzdálenosti 335 mm od středu. Ve vzdálenosti 1051 mm od středu byl rozsah od 98,18 kPa při otáčkách 800 ot/min do 98,31 kPa ot/min. Při porovnání s tlakem okolního prostředí (98,27 kPa) lze konstatovat, že při otáčkách 200 ot/min a 400 ot/min ve vzdálenosti 1051 mm od středu vznikala mírná přetlaka. Průběh průměrných hodnot tlaků v závislosti na vzdálenosti od středu je znázorněn v grafu (obr. 42).



Obr. 41: Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití krytů tvaru boule a dvojice kukuřičných nožů

Z následujícího grafu je zřejmé, že u tohoto typu krytu při použití dvou travních nožů vznikaly změny tlaku stejně jako v případě použití nožů travních v místě oblouku krytu. K největším změnám tlaku docházelo při otáčkách 800 ot/min v oblasti, kde docházelo ke změnám tvaru krytu. Při porovnání průběhu tlaků s použitím travních nožů, zde nedocházelo k takovým výkyvům. Lze tedy říci, že plachetka nože, používaná u travních nožů, měla na tento průběh při použití krytu tvaru boule značný vliv.

Závislost průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu - Boule



Obr. 42: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití krytů tvaru boule a dvojice kukuřičných nožů

## 6 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ A DISKUZE

Z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v kapitole „Výsledky měření“ vyplývá, že největší změny tlaků probíhali při otáčkách 800 ot/min. Při porovnání všech naměřených hodnot tlaků s tlakem okolního prostředí vždy vycházel největší podtlak v místě nejbližším ke středu, zatím co v místě, kde se nachází řezná část nože, byl podtlak nejmenší. Při otáčkách 200 ot/min a částečně v 400 ot/min vnikal, v místech řezné části nože, mírný přetlak.

V následujících grafech bude zobrazeno porovnání jednotlivých tlaků v závislosti na použitém tvaru krytu a nožích. Jelikož neprobíhala všechna měření v jeden den, byl tlak okolního prostředí různý, a tudíž porovnání bude spočívat v rozdílech mezi průměrnými naměřenými hodnotami tlaku a tlaku okolního prostředí (tab. 8 a 9). Také rozsah otáček nebyl u všech měření stejný, a je tedy třeba vybrat rozsah 400 – 800 ot/min, který byl použit u všech měření. K největším rozdílům tlaku docházelo ve vzdálenosti nejbližší ke středu, proto bude porovnání provedeno ve vzdálenosti 254 mm pro rovný kryt, 319 mm pro kryt tvaru kapka a 335 mm pro kryt tvaru boule.

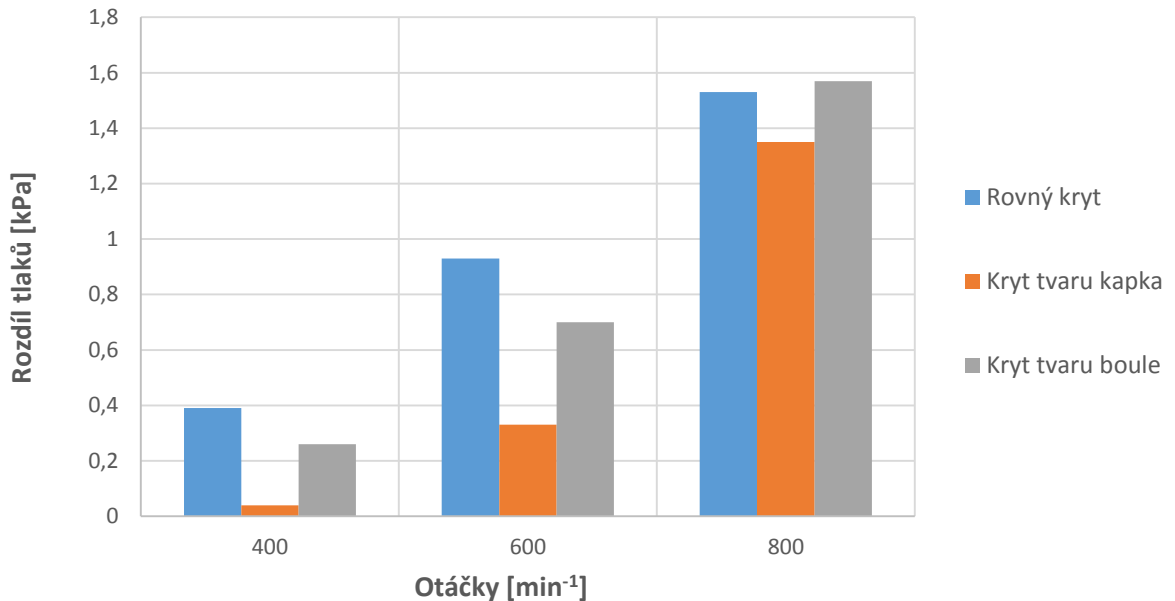
Pro výpočet těchto rozdílů je využito hodnot, které jsou uvedené v tabulkách 2 až 7 v kapitole „Výsledky měření“.

*Tab. 8: Rozdíl mezi průměrnými naměřenými hodnotami tlaku a tlaku okolního prostředí pro jednotlivé tvary krytů při použití čtveřice travních nožů*

Použitý tvar krytu	Otáčky (ot/min)		
	400	600	800
	Rozdíl naměřených tlaků od tlaků okolního prostředí [kPa]		
<b>Rovný</b>	0,39	0,93	1,53
<b>Kapka</b>	0,04	0,33	1,35
<b>Boule</b>	0,26	0,7	1,57

Výsledné hodnoty rozdílu tlaku okolního prostředí a naměřeného tlaku odpovídají svou hodnotou velikosti podtlaku, který působil na kryt mulčovacího stroje.

### Porovnání tlaků jednotlivých krytů



Obr. 43: Graf porovnání rozdílů tlaků pro jednotlivé kryty při použití čtveřice travních nožů

Z výsledků je patrné, že při použití čtveřice travních nožů byl ve všech měřených otáčkách nejmenší podtlak za použití krytu tvaru kapka. Zatímco při otáčkách 400 ot/min a 600 ot/min byl největší zjištěný podtlak u rovného krytu, tak celkově největší podtlak byl naměřen při otáčkách 800 ot/min u krytu tvaru boule.

V praxi mulčovací stroje pracují při otáčkách 1000 ot/min, proto je vhodné porovnávat hodnoty v nejvyšších měřených otáčkách, tedy při otáčkách 800 ot/min.

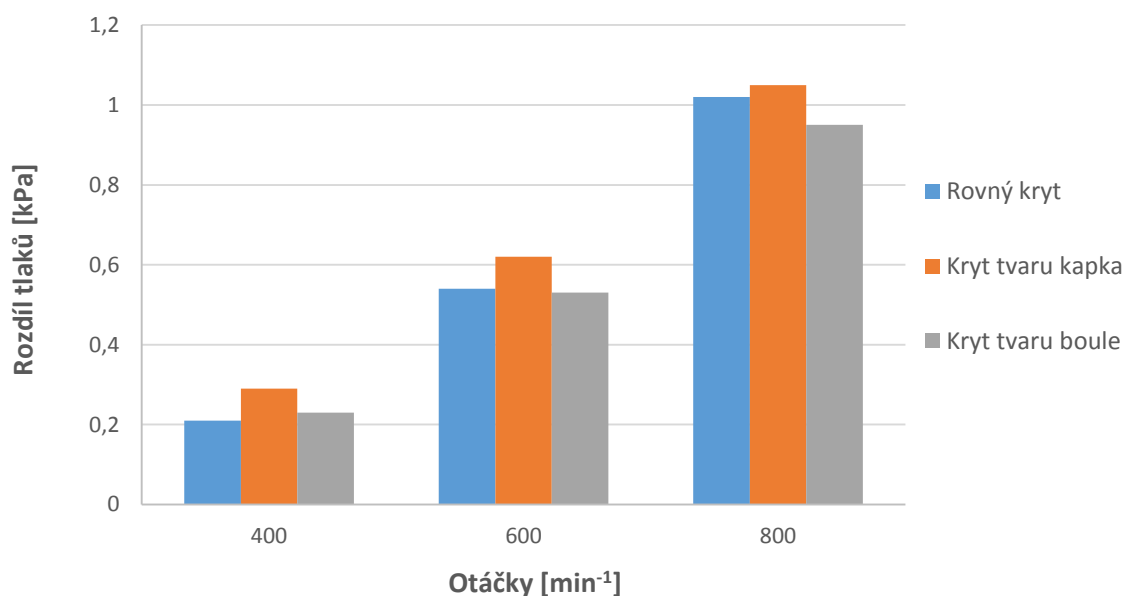
Pokud porovnáme zjištěné minimální a maximální hodnoty podtlaku, který činí při otáčkách 800 ot/min 0,22 kPa s naměřenými tlaky, u nichž hodnoty činí téměř 99 kPa, lze konstatovat, že použití rozdílných typů krytů nemá významný vliv na velikost tlaku působícího na kryt.

Při sledování průběhu proudění vzduchu, který ovlivňuje výsledné tlaky v určitých částech krytu, zobrazený v grafech „Závislost průměrných hodnot na vzdálenosti od středu“ pro jednotlivé kryty lze říci, že nejstálější ventilační účinek probíhat za použití krytů tvaru kapka, zatímco u krytu tvaru boule docházelo k nestálým průběhům.

Tab. 9: Rozdíl mezi průměrnými naměřenými hodnotami tlaku a tlaku okolního prostředí pro jednotlivé tvary krytů při použití dvojice kukuřičných nožů

Použitý tvar krytu	Otáčky (ot/min)		
	400	600	800
	Rozdíl naměřených tlaků od tlaků okolního prostředí [kPa]		
Rovný	0,21	0,54	1,02
Kapka	0,29	0,62	1,05
Boule	0,23	0,53	0,95

### Porovnání tlaků jednotlivých krytů

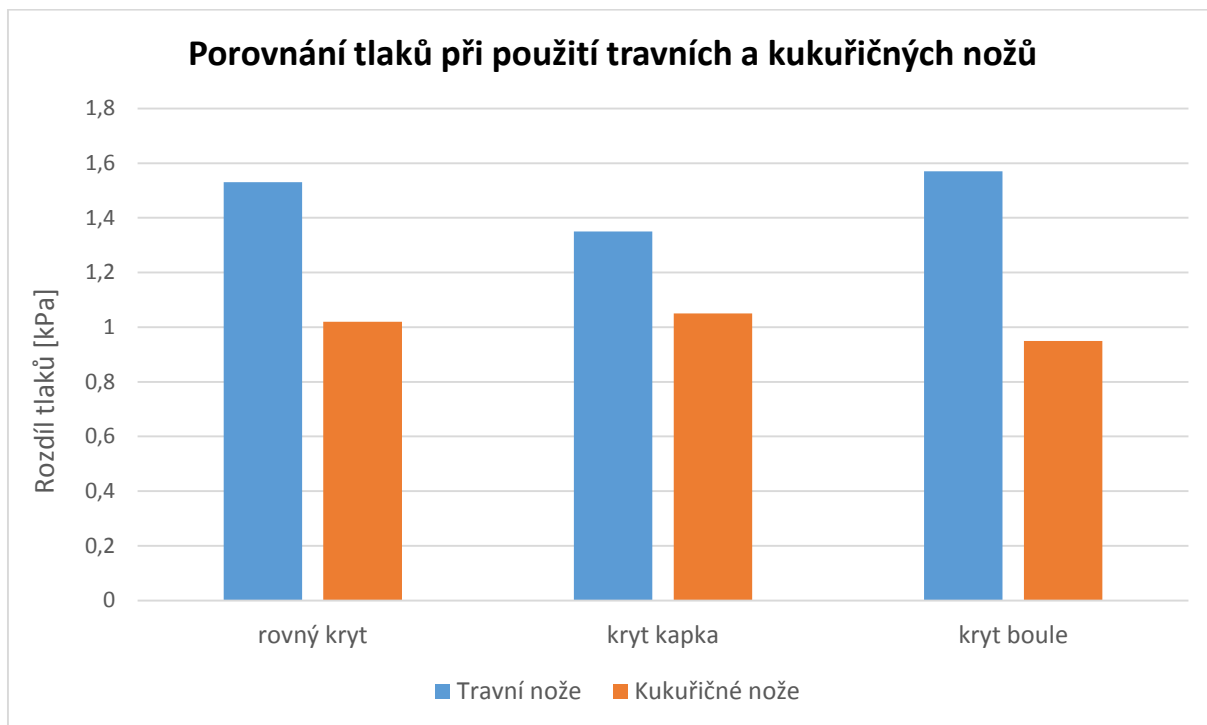


Obr. 44: Graf porovnání rozdílů tlaků pro jednotlivé krytu při použití dvojice kukuřičných nožů

Při použití dvojice kukuřičných nožů byly nejvyšší zjištěné hodnoty podtlaku za použití krytu tvaru kapka ve všech měřených otáčkách. Nejmenších podtlaků při otáčkách 600 ot/min a 800 ot/min se dosáhlo za použití krytu tvaru boule a při otáčkách 400 ot/min u rovného krytu.

Stejně jako v předchozím případě u měření s použitím čtveřice travních nožů docházelo jen k minimálním rozdílům podtlaků mezi jednotlivými kryty a lze tedy říci, že také u použití dvou kukuřičných nožů není významný vliv ve zjištěných podtlacích v závislosti na použití krytů. U nejvyšší měřených otáček, tj. 800 ot/min, byl rozdíl pouze 0,1 kPa.

Na následujícím grafu (obr. 45) je znázorněno porovnání při použití travních a kukuřičných nožů pro jednotlivé typy krytů.



Obr. 45: Graf porovnání rozdílů tlaků pro jednotlivé kryty při použití travních a kukuřičných nožů

Porovnáním hodnot velikosti podtlaku lze jednoznačně určit, že použití travních nožů u všechny typů krytů má za následek zvýšení podtlaku oproti použití nožů kukuřičných. Tato situace nastává z důvodu konstrukčního prvku travního nože, který oproti noži kukuřičnému má tzv. plachetku (viz kapitola 4.1.2.).

Tento typ měření je stále ve fázi výzkumu, a proto všechna tato měření probíhala zatím pouze v laboratorních podmínkách při chodu mulčovače naprázdno, kdy nedocházelo k samotnému mulčování. Je pravděpodobné, že při použití v běžné praxi bude průběh tlaků oproti naměřeným hodnotám v laboratorních podmínkách odlišný.



## 7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro ekonomické zhodnocení byl vybrán výpočet nákladových ukazatelů pro mulčovací stroj spolu s energetickým prostředkem. Výpočet bude proveden pro mulčovací stroj s pracovním záběrem 6 m. Pro tento typ mulčovacího stroje se dle normativů pohybuje roční výkonnost od 1200 do 1500 ha/rok. Hodnota výkonu energetického prostředku alespoň 145 kW. Hlavní parametry pro výpočet jsou uvedeny v (tab. 11 a 12). [20]

### 7.1 Jednotkové náklady mulčovacího stroje

Tab. 10: Hodnoty pro výpočet jednotkových nákladů mulčovacího stroje

Mulčovací stroj	Označení	
Pořizovací cena	$C_s$	600 000 Kč
Doba odepisování	$T_{os}$	8 let
Roční výkonnost soupravy	$rW$	1200 ha/rok
Úročení vstupního kapitálu	$u_s$	6 %
Pojištění	$P_s$	0,8 %
Plocha na uskladnění	$S_{ms}$	10 m <sup>2</sup>
Roční náklady na uskladnění	$rN_{ms}$	100 Kč/m <sup>2</sup>
Koeficient oprav	$k_s$	1,1

Pro výpočet celkových jednotkových nákladů mulčovacího stroje je třeba zjistit jednotkové náklady na:

$$\text{Amortizace stroje: } jN_{as} = \frac{C_s}{T_{os} \times rW} = \frac{600\,000}{8 \times 1200} = 62,5 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Zúročení stroje: } jN_{us} = \frac{C_s \times u_s}{2 \times 100 \times rW} = \frac{600\,000 \times 6}{2 \times 100 \times 1200} = 15 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Garážování stroje: } jN_{gs} = \frac{S_{ms} \times rN_{ms}}{rW} = \frac{10 \times 100}{1200} = 0,83 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Poplatky a pojištění stroje: } jN_{sps} = \frac{C_s \times p_s}{rW \times 100} = \frac{600\,000 \times 0,8}{1200 \times 100} = 4 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Údržbu a opravy stroje: } jN_{os} = jN_{as} \times k_s = 62,5 \times 1,1 = 68,75 \text{ Kč/ha}$$

Po sečtení všech předchozích hodnot získáme jednotkové náklady mulčovacího stroje, které jsou 151,08 Kč/ha.

## 7.2 Jednotkové náklady energetického prostředku

Tab. 11: Hodnoty pro výpočet jednotkových nákladů energetického prostředku

<b>Energetický prostředek</b>	<b>Označení</b>	
Pořizovací cena	$C_t$	2 910 000
Doba odepisování	$T_{ot}$	8 let
Doba provozu za rok	$rT_t$	1000 MTH
Výkonnost soupravy	$hW_{08}$	3,6 ha/hod
Úročení vstupního kapitálu	$U_t$	6 %
Pojištění	$P_t$	0,3 %
Plocha na uskladnění	$S_{mt}$	30 m <sup>2</sup>
Roční náklady na uskladnění	$rN_{mt}$	200 Kč/m <sup>2</sup>
Koeficient oprav	$k_t$	0,9
Spotřeba paliva	$haQ$	6,9 l/ha
Cena nafty	$C_n$	25 Kč/l

Pro výpočet celkových jednotkových nákladů energetického prostředku je třeba zjistit jednotkové náklady na:

$$\text{Amortizace traktoru: } jNat = \frac{C_t}{T_{ot} \times rT_t \times hW_{08}} = \frac{2\,910\,000}{8 \times 1000 \times 3,6} = 101,04 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Zúročení traktoru: } jNut = \frac{C_t \times u_t}{2 \times 100 \times rT_t \times hW_{08}} = \frac{2\,910\,000 \times 6}{2 \times 100 \times 1000 \times 3,6} = 24,25 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Garážování traktoru: } jNgt = \frac{S_{mt} \times rN_{mt}}{rT_t \times hW_{08}} = \frac{30 \times 200}{1000 \times 3,6} = 1,67 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Poplatky a pojištění traktoru: } jNspt = \frac{C_t \times p_t}{rT_t \times hW_{08} \times 100} = \frac{2\,910\,000 \times 0,3}{1000 \times 3,6 \times 100} = 2,43 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Údržbu a opravy traktoru: } jNot = jNat \times k_t = 101,04 \times 0,9 = 90,94 \text{ Kč/ha}$$

$$\text{Energie traktoru: } jNe = haQ \times C_n = 6,9 \times 25 = 172,50 \text{ Kč/ha}$$

Sečtením všech hodnot získáme jednotkové náklady traktoru, které jsou 392,82 Kč/ha.

Celkové jednotkové náklady pro soupravu mulčovacího stroje s šířkou záběru 6 m s energetickým prostředkem o výkonu 149 kW jsou 585,46 Kč/ha.

Pro srovnání lze tento stroj porovnat například se soupravou mulčovacího stroje s šířkou záběru 4 m a traktorem o výkonu 100 kW, kde jednotkové náklady, dle normativu, vychází na 720 Kč/ha.

## 8 ZÁVĚR

Mulčovače jsou stroje, u kterých se očekává, zejména v zemědělství, velká poptávka. Jejich využití nacházejí uplatnění i čím dál víc v jiných oblastech, jako je například lesnictví, komunální sektory, vinařství apod. Proto se na mulčovače kladou stále větší nároky a je potřeba tyto stroje vyvíjet. Se stále rostoucími nároky jsou stroje čím dál víc energeticky náročnější a je tedy třeba hledat řešení v oblasti snížení energetické náročnosti při zachování stejné kvality práce mulčovačů.

Tato práce se zabývala vyhodnocením tlaků působících na kryt při různém uspořádání mulčovacích nožů. Pro měření byly použity kryty tvaru „kapka“, „boule“ a kryt rovný s použitím travních a kukuřičných nožů. Měření probíhala v areálu České zemědělské univerzity v Praze na katedře zemědělských strojů za použití laboratorního modelu mulčovacího stroje s vertikální osou rotace, který byl vytvořen ve spolupráci se společností Bednar FMT, která se zabývá zemědělskou technikou.

Výsledkem laboratorního měření bylo porovnání jednotlivých naměřených tlaků při použití jednotlivých krytů s kombinací travních a kukuřičných nožů. Po porovnání jednotlivých měření bylo zjištěno, že při použití jednotlivých tvarů krytů neměla až takový vliv na velikosti naměřených tlaků. Avšak lze říci, že průběh ventilačních účinků byl nejstálejší při použití krytu tvaru kapka. Větší vliv byl zaznamenán při porovnání tlaků při použití travních a kukuřičných nožů, kdy u travních nožů byla velikost podtlaku až o 50% větší. Nejvyšší měrou se na průběh ventilačních efektů podílí tvar plachetky nože.

Předpokladem pro celkové zhodnocení energetické náročnosti, v závislosti na použitém krytu a různém uspořádání mulčovacích nožů, bude třeba tyto naměřené hodnoty porovnávat s hodnoty příkonu, aby mohlo být zjištěno, jakých bylo dosahováno ztrát při jednotlivých uspořádání. Dále provést testování v polních podmínkách a následné porovnání již se získanými daty při měření v podmínkách laboratorních.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

### 9.1 Seznam použité literatury

- [1] POSPÍŠIL, JIŘÍ. Dva základní typy, celá řada modelů. *Zemědělec*. [Online] 27. 7 2013. [Citace: 10. 2 2016.] <http://zemedelec.cz/dva-zakladni-typy-cela-rada-modelu/>.
- [2] MowWithUs. *The Benefits of Mulching Explained*. [Online] [Citace: 10. 3 2016.] <http://www.mowwithus.com/mulching-explained.html>.
- [3] JAVOREK, FILIP. Konstrukce a nasazení mulčovačů. *Zemědělec*. [Online] 20. 3 2009. [Citace: 10. 2 2016.] <http://zemedelec.cz/konstrukce-a-nasazeni-mulcovacu/>.
- [4] VARI. *VARI*. [Online] [Citace: 19. 2 2016.] <http://www.vari.cz/rady-a-navody/rady-do-zahrady/mulcovani-nejlevnejsi-udrzba-travnatych-ploch/art:14/>.
- [5] BŘEČKA, JOSEF, HONZÍK, IVO a NEUBAUER, KAREL. *Stroje pro sklizeň pícnin a obilnin*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, Technická fakulta, 2001. ISBN 80-213-0738-2.
- [6] KUMHÁLA, FRANTIŠEK, a KOL. *Stroje a technologie pro rostlinou výrobu*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.
- [7] Some. zemědělská, lesnická a komunální technika. [Online] [Citace: 15. 2 2016.] <http://www.somejh.cz/mulcovaci-hlava-pro-cut-z160.html>.
- [8] VOVK, Vitalij. *Vyhodnocení energetické náročnosti práce konstrukčně rozdílných typů mulčovačů*. Praha, 2010 : Diplomová práce. ČZU. Vedoucí práce Ing. Milan Kroulík, Ph.D.
- [9] JAVOREK, FILIP. Mulčovače a jejich uplatnění v praxi. *Zemědělec*. [Online] 27. 7 2011. [Citace: 10. 2 2016.] <http://zemedelec.cz/mulcovace-a-jejich-uplatneni-v-praxi-2/>.
- [10] ORCHARDS. *ORCHARDS suppliers*. [Online] ORCHARDS. [Citace: 20. 1 2016.] <http://www.orchards.co.za/index.php/media-releases1/45-newsletter-articles/101-not-just-the-right-mulcher>.
- [11] AGROTEC. závěsná technika. *AGROTEC*. [Online] AGROTEC. [Citace: 20. 1 2016.] <http://www.zavesnatechnika.cz/spolehlivost-nicim-nenahradis>.

- [12] AGRICS. AGRICS commander. *AGRICS*. [Online] [Citace: 5. 2 2016.] <http://www.agrics.cz/commander?sid=googlebot>.
- [13] MOWERS, SHOP. Mower shop. [Online] [Citace: 28. 1 2016.] <http://www.the-mower-shop-inc.com/blades.aspx>.
- [14] BEDNAR. Bednar- machinery. [Online] [Citace: 12. 2 2016.] <http://bednar-machinery.com/upload/products/prospects/4abedffec6e6924ebf34bd0b1a1e45c4.pdf>.
- [15] ČEDÍK, PEXA, PRAŽAN, KUBÍN, VONDŘIČKA. *Mulcher energy intensity measurement in dependence on*. Praha : Agronomy Research, 2015.
- [16] SRISTAVA, A.K., GOERING, C.E. a ROHRBACH, R.P. *Engineering principles of agricultural*. St Joseph : American Society of Agricultural Engineers, 2006.
- [17] PERSSON, SVERKER. *Mechanics of cutting plant material*. St. Josepf : American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 1987. ISBN 0-916150-86-0.
- [18] KROULÍK, MILAN, a KOL. Možnosti úspory energie při sklizni píče častější výměnou nebo ostřením nožů. *Úspory energie v technologiích rostliné výroby*. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i. Praha, 2008.
- [19] SPOLEČNOST PRO VÝZKUM a VÝVOJ. *Pressure strips preliminary datasheet*. [dokument] Turnov : Společnost pro výzkum a vzdělávání, s.r.o., 2014.
- [20] Agronormativy. *Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu*. [Online] [Citace: 10. 3 2016.] <http://www.agronormativy.cz/genframes;jsessionid=A7E2FFEC6B18AFFE21B5BCEB3B30D71D?thl=2&snid=6283&otn=str1>.
- [21] HAWKER, M. F. J. a KEENLYSIDE, J. F. *Horticultural machinery*. Vydání třetí. New York : Longman Inc., 1985. ISBN 0-582-40807-5.
- [22] MAYER, V. a VLÁČKOVÁ, M. Mulčování na půdách úváděných do klidu. *Agritech Science*. [Online] 2007, roč. 1, č. 2 . <http://www.agritech.cz/clanky/2007-2-1.pdf>.

## 9.2 Seznam obrázku

Obr. 1: Princip mulčování [2].....	9
Obr. 2: Průběh mulčování trávníku [4].....	10
Obr. 3: Mulčovač s horizontální osou rotace [7] .....	12
Obr. 4: Mulčovací kladívko [10] .....	14
Obr. 5: Y nůž vhodný pro mulčování kukuřice a travin [10].....	14
Obr. 6: Y - nože se středovým kladívkem [10].....	14
Obr. 7: Y - nože s nožovým ostřím uprostřed [10] .....	14
Obr. 8: Mulčovač s vertikální osou rotace [11] .....	15
Obr. 9: Konstrukce mulčovače s vertikální osou rotace [12] .....	17
Obr. 10: Tvary nožů pro mulčování [13].....	17
Obrázek 11: Uchycení nožů [14]                      Obr. 12: Stupňovité uchycení nožů [14].....	18
Obr. 13: Řezná síla na materiál; a) boční pohled, b) pohled z vrchu [17].....	20
Obr. 14: Elementární složky síly působící na nůž [17] .....	21
Obr. 15: Síly na stonku rostliny v místě řezu [17].....	21
Obr. 16: Diagram závislosti řezné síly pro jílek luční [17] .....	22
Obr. 17: Porovnání příkonu rotačního žacího stroje o záběru 3 m při použití ostrých a tupých nožů [18].....	23
Obr. 18: Řezný výkon a ztráty v závislosti na přísunu řezaného materiálu [17].....	24
Obr. 19: Laboratorní model mulčovacího stroje.....	26
Obr. 20: Model mulčovacího stroje při použití rovných krytů .....	27
Obr. 21: Jedna čtvrtina horního krytu tvaru „boule“ .....	28
Obr. 22: Jedna čtvrtina horního krytu tvaru „kapka“.....	28
Obr. 23: Mulčovací nůž kukuřičný .....	29
Obr. 24: Mulčovací nůž travní.....	29
Obr. 25: Umístění tlakových pásků pro rovný kryt .....	30
Obr. 26: Umístění tlakových pásků pro kryt tvaru boule .....	31
Obr. 27: Umístění tlakových pásků pro kryt tvaru kapka.....	31
Obr. 28: Základní technické parametry tlakových pásků [19].....	31
Obr. 29: Připojení více tlakových pásků přes komunikační sběrnici [19].....	32
Obr. 30: centrální jednotka pro vyčítání dat [19] .....	32

Obr. 31:Graf závislost tlaku na otáčkách při použití rovných krytů a čtveřice travních nožů .	35
Obr. 32: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití rovných krytů a čtveřice travních nožů .....	36
Obr. 33: Graf závislost tlaku na otáčkách při použití rovných krytů a dvojice kukuřičných nožů .....	38
Obr. 34: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití rovných krytů a dvojice kukuřičných nožů .....	39
Obr. 35:Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití krytů tvaru kapka a čtveřice travních nožů .....	41
Obr. 36: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití krytů tvaru kapka a čtveřice travních nožů .....	42
Obr. 37: Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití krytů tvaru kapka a dvojice kukuřičných nožů .....	44
Obr. 38: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití krytů tvaru kapka a dvojice kukuřičných nožů .....	45
Obr. 39: Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití krytů tvaru boule a čtveřice travních nožů .....	47
Obr. 40: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití krytů tvaru boule a čtveřice travních nožů.....	48
Obr. 41:Graf závislosti tlaku na otáčkách při použití krytů tvaru boule a dvojice kukuřičných nožů .....	50
Obr. 42: Graf závislosti průměrných hodnot tlaku na vzdálenosti od středu při použití krytů tvaru boule a dvojice kukuřičných nožů.....	51
Obr. 43: Graf porovnání rozdílů tlaků pro jednotlivé krytu při použití čtveřice travních nožů	53
Obr. 44: Graf porovnání rozdílů tlaků pro jednotlivé krytu při použití dvojice kukuřičných nožů .....	54
Obr. 45:Graf porovnání rozdílů tlaků pro jednotlivé kryty při použití travních a kukuřičných nožů .....	55

### 9.3 Seznam tabulek

Tab. 1: Základní technické specifikace tlakových pásků [19].....	33
Tab. 2: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro rovný kryt při použití čtveřice travních nožů..	34
Tab. 3: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro rovný kryt při použití dvojice kukuřičných nožů .....	37
Tab. 4: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro kryt tvaru kapka při použití čtveřice travních nožů .....	40
Tab. 5: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro kryt tvaru kapka při použití dvojice kukuřičných nožů .....	43
Tab. 6: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro kryt tvaru boule při použití čtveřice travních nožů .....	46
Tab. 7: Průměrné naměřené hodnoty tlaku pro kryt tvaru boule při použití dvojice kukuřičných nožů .....	49
Tab. 8: Rozdíl mezi průměrnými naměřenými hodnotami tlaku a tlaku okolního prostředí pro jednotlivé tvary krytů při použití čtveřice travních nožů .....	52
Tab. 9: Rozdíl mezi průměrnými naměřenými hodnotami tlaku a tlaku okolního prostředí pro jednotlivé tvary krytů při použití dvojice kukuřičných nožů .....	54
Tab. 10: Hodnoty pro výpočet jednotkových nákladů mulčovacího stroje .....	56
Tab. 11: Hodnoty pro výpočet jednotkových nákladů energetického prostředku .....	57