

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**

**AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**ÚSTAV TECHNIKY A AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY**

---



## **Matematický model strojního mechanismu**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Vedoucí práce:

Doc. RNDr. Stanislav Bartoň, CSc.

Vypracoval:

Václav Kašpar

---

**Brno 2015**



## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Matematický model strojního mecha-  
nismu* vypracoval samostatně a použil jen pramenů a informací, které cituji a uvádím  
v seznamu literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b  
zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu  
s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský  
zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy  
a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou oso-  
bou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční  
smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit pří-  
padný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich  
skutečné výše.

dne: 27. dubna 2015

podpis autora \_\_\_\_\_



## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu bakalářské práce Doc. RNDr. Stanislavu Bartoňovi, CSc. za jeho ochotu, přístup, cenné rady a připomínky, které mi pomohly při zpracování této bakalářské práce.



## ANOTACE

Předkládaná bakalářská práce zahrnuje stručnou historii, vývoj a rozdělení žacích strojů. Popisuje kinematiku žacího ústrojí. Řeší maximální možný poměr mezi obvodovou rychlostí disku a pojezdovou rychlostí nože při maximálním využití celé aktivní délky nože. V další části analyzuje četnost přesečení sklízené plochy a navrhuje řešení, kterým lze určit poměr mezi obvodovou a pojezdovou rychlostí tak, aby byla celá plocha přesečena minimálně dvakrát.

**Klíčová slova:** Žací stroj, trajektorie nože, četnost přesečení, poměr obvodové a pracovní rychlosti stroje, parametry žacího ústrojí.





## ANNOTATION

This bachelor thesis includes a brief history of the mowing machines, tells about development and division of these machines. It describes kinematic of the cutting apparatus. It solves optimal ratio between rotation and working speed, when the cutting knife is used of the whole. At another part of this bachelor thesis, there is analysed a coverage of harvested area by the cutting knife. It shows solution, by which we can determine the optimal ratio between rotation and working speed, when the harvested area is crossed by the cutting knife minimally twice.

**Key words:** Mower, trajectory of cutting knife, frequency of sever, ratio between rotation and working speed, parameters of cutting apparatus.

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>15</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>17</b>
<b>3 HISTORIE ŽACÍCH STROJŮ</b> .....	<b>19</b>
3.1 První nástroje .....	19
3.2 Počátky mechanizace .....	20
3.3 Vývoj a současnost .....	22
<b>4 TYPY ŽACÍCH STROJŮ</b> .....	<b>27</b>
4.1 Lištové žací stroje .....	27
4.1.1 Lištové žací stroje prstové .....	27
4.1.2 Lištové žací stroje bezprstové .....	28
4.1.3 Využití lištových žacích strojů .....	28
4.1.4 Výhody a nevýhody lištových žacích strojů .....	30
4.2 Stroje s rotačním pohybem nože .....	31
4.2.1 Stroje s vertikální osou rotace .....	31
Bubnové žací stroje .....	32
Diskové žací stroje .....	32
Zahradní stroje s vertikální osou rotace .....	36
4.2.2 Stroje s horizontální osou rotace .....	36
Mulčovače .....	36
Vřetenové žací ústrojí .....	37
<b>5 PÖTTINGER NOVACAT 402</b> .....	<b>41</b>
5.1 Konstrukce stroje .....	42

5.1.1 Rám stroje .....	42
5.1.2 Přenos výkonu .....	42
5.1.3 Pracovní orgány .....	44
5.1.4 Hydraulické mechanismy .....	46
5.1.5 Kopírování .....	47
<b>6 Kinematika diskového žacího ústrojí .....</b>	<b>49</b>
6.1 Matematický výpočet pohybu nože .....	49
6.2 Výpočet posečené plochy .....	53
<b>7 Závěr .....</b>	<b>63</b>

# Seznam obrázků

3.1	Pazourkový srp . . . . .	20
3.2	Ostří kosy . . . . .	21
3.3	Žací stroj MC Cormic . . . . .	22
3.4	Firma Knotek . . . . .	23
3.5	Bubnový žací stroj . . . . .	23
3.6	Claas Cougar 1400 . . . . .	25
4.1	Detail prstové žací lišty . . . . .	28
4.2	Protiběžná žací lišta . . . . .	29
4.3	Bezprstová žací lišta pro malotraktor MF-70 . . . . .	29
4.4	Jednoosý malotraktor MF-70 . . . . .	30
4.5	Detail volného uložení nože . . . . .	31
4.6	Pohon bubnu . . . . .	33
4.7	Výměna nože pomocí speciální páky . . . . .	34
4.8	Pohon ozubenými koly s čelním ozubením . . . . .	34
4.9	Kuželová převodovka Lely . . . . .	35
4.10	Žací nůž zahradní sekačky . . . . .	37
4.11	Mulčování trávníku . . . . .	38
4.12	Schéma vřetenového žacího ústrojí . . . . .	39
4.13	Vřetenová sekačka se spalovacím motorem . . . . .	39
5.1	Pöttinger Novacat . . . . .	41
5.2	Nosná část stroje . . . . .	43
5.3	Pohon žacího ústrojí . . . . .	43
5.4	Diskové žací ústrojí . . . . .	45
5.5	Ozubená kola převodovky . . . . .	45

5.6	Hydraulický válec závěsu stroje . . . . .	46
5.7	Maximální kopírovací úhel . . . . .	47
6.1	Trajektorie dvou nožů diskového žacího ústrojí . . . . .	50
6.2	Disk s volně uloženými noži . . . . .	50
6.3	Rozměry nože . . . . .	51
6.4	Trajektorie žacího ústrojí . . . . .	54
6.5	Plocha posečená jedním diskem s dvěma noži . . . . .	54
6.6	Detail jednou přesečené plochy . . . . .	55
6.7	Místa protnutí obou trajektorií . . . . .	56
6.8	Grafy implicitních funkcí . . . . .	57
6.9	Detail jednou přesečené plochy . . . . .	57
6.10	Graf funkčních hodnot levé strany rovnice (6.19) . . . . .	60
6.11	Nová podoba trajektorie nožů . . . . .	61
6.12	Pokrytí sečené plochy . . . . .	61
6.13	Detail sečené plochy . . . . .	61



# Kapitola 1

## Úvod

Sklizeň píce a udržování travních ploch je z hlediska zemědělské produkce v současné době poměrně důležitým článkem celé zemědělské výroby. Sklizeň píce pro krmení skotu či následné konzervace za účelem dlouhodobého uchování krmiva už zdaleka není tak stěžejní jako bývala dříve. Moderní trend bioplynových stanic jako zdroje elektrické energie klade vysoké požadavky na rychlou a kvalitní sklizeň biomasy prakticky ve srovnatelné kvalitě, jako je tomu u sklizně píce pro skot. Sklizeň musí být rychlá, efektivní a kvalitní. Strniště by mělo být v ideálním případě rovnoměrně vysoké bez neposečených míst, řez by měl být čistý a stonek neroztřepený. Tím se zajistí rychlé obrůstání porostu a vyšší výnos biomasy. Všechny tyto požadavky musí splnit žací stroje.

Žací stroje prošly poměrně značným vývojem. Zprvu to ani nebyly stroje. První lidé sklízeli píci, či obiloviny pomocí řezných nožů, později srpů a nakonec kos. Protože to však byla práce namáhavá, pokoušeli si ji usnadnit. Tak vznikly první žací stroje. Byly taženy zvířecí silou a poháněny od pojezdového kola. Fungovaly na principu stříhu. Oproti ruční práci to byl převratný vynález. Nároky na výkon se však stále zvyšovaly a potahové stroje přestávaly postačovat. S nástupem traktorů jakožto energetických prostředků se otevřely nové hranice konstrukcí v podstatě všech zemědělských strojů. Objevily se první rotační žací stroje. Na rozdíl od lištových byly podstatně spolehlivější, konstrukčně jednodušší a méně náročné na údržbu. Rotačním prvkem byl zprvu buben. V současné době je však stále častěji nahrazován lehčím diskem.

Diskové žací ústrojí je bezesporu nejpoužívanějším ústrojím moderních žacích strojů. Jeho základní parametry mají velký vliv na kvalitu práce a výkonnostní limit. Aktivní délka ostří nože, jeho rozměry, poloměr rotace ale i otáčky disku. To jsou parametry, které zásadně ovlivňují výslednou výkonnost a kvalitu práce konkrétního stroje.



# Kapitola 2

## Cíl práce

Cílem bakalářské práce je stručná historie, vývoj a rozdělení žacíh strojů, dále popis konstrukce a mechanismů konkrétního představitele. Na tomto představiteli provést výpočet kinematiky žacího ústrojí. Analyzovat pohyb nože a rozbor posečené plochy. Navrhnout ideální poměr mezi obvodovou rychlostí nože a rychlostí pojezdovou tak, aby docházelo ke kvalitnímu posečení sklizené plochy při využití celé aktivní délky nože.



# Kapitola 3

## HISTORIE ŽACÍCH STROJŮ

### 3.1 První nástroje

Počátky zemědělství na naší planetě byly složité. Když se však podařilo něco vypěstovat, byla nutná také sklizeň. Ruční sběr plodů, trhání klasů divokých obilnin a trav bylo velmi náročné, proto se lidé pokoušeli využít různých jednoduchých nástrojů. Prvními nástroji byly celopazourkové nože a nože s pazourkovým ostřím. Ty se začaly objevovat již v době kamenné. Nástroje byly zhotovovány i z kostí zvířat či ze dřeva.

Dalším vývojem jednoduchých nástrojů byly zahnuté srpy. Nejstarší srpy měly tvar připomínající zvířecí čelist. Byly dřevěné, kostěné, některé měly ostří zhotovené z pazourkových čepelek, viz obrázek 3.1. S nástupem doby bronzové a železné se začaly používat nové materiály. První bronzové srpy byly měkčí a brousily se jemným pískovcem. Protože se vyráběly z drahého kovu, používaly se dokonce i jako platidlo. Následovaly srpy železné, které přinesly změnu tvaru. Srpy byly zahnuté do půlkruhu a nasazovaly se do dřevěných rukojetí.

Významným pokrokem byl vynález takzvaně vyváženého srpu, jehož čepel je zakřivená nazpět od paty a potom do předu. Jeho pracovní pohyb se vyvozoval přirozeným kruhovým pohybem paže a nikoli tahem jako tomu bylo u řezacích nožů. Ženci byli méně unavení a dokázali posekat až čtyřikrát větší plochu, než nožem. Tento nový druh srpu se v Evropě začal používat v období 1100 let před naším letopočtem.



Obrázek 3.1: Pazourkový srp

Jelikož se nároky na výkon sklizně neustále zvyšovaly, bylo třeba vymyslet výkonnější a větší nástroje. Řešením se stala kosa. Ta prošla po dobu svého vývoje mnoha změnami, stejně jako srp. Nejprve se jednalo o kosu s krátkým kosištěm, kosiště bylo asi 0,9 m dlouhé. Její použití bylo jednoruční. Sekáč už nemusel při práci klečat, a tak bylo sečení o poznání pohodlnější. Následovala kosa s dlouhým kosištěm, které bylo později opatřeno ručkou umožňující lepší uchopení nástroje. Ostří bylo kované ocelové. V roce 1834 byl v USA vydán patent na ostří opatřené hřbetem, díky němuž se čepel značně zpevnila a odlehčila. Kosy se naklepávaly kladivkem proti babce a posléze se brousily přírodními brousky. Kosy byly také užívány ke sklizni obilí. Tyto obilní kosy měly dlouhé ostří kolem 110 až 140 cm. Byly těžké a práce s nimi byla velice namáhavá, [14].

Kosa jako nástroj k sečení se v současné době používá už jen velmi zřídka. Její výhodou je tichá práce, nepotřebuje pohonné hmoty, jako je tomu u kos motorových a je šetrná k životnímu prostředí.

## 3.2 Počátky mechanizace

Protože práce s kosou byla velice namáhavá a málo výkonná, pokoušelo se mnoho konstruktérů sklizeň píce a obilnin zmechanizovat. Zásadním zlomem se stal rok



Obrázek 3.2: Ostří kosa

1800, kdy si Robert Meares nechal patentovat nůžkový žací stroj. Jeho konstrukce zásadně ovlivnila další vývoj žacích strojů. V letech 1826-1828 byl sestrojen prototyp, který se dal využít v praxi.

Významnou roli ve vývoji a výrobě prvních žacích strojů měli konstruktéři z USA, a to především firmy McCormick z Chicaga a o několik let později i Husaey z Baltimore. Jejich stroje byly předvedeny roku 1851 v Londýně a sklidily velký úspěch. Masovému rozšíření strojů však bránila jejich vysoká pořizovací cena. Jejich pořízení se vyplatilo až při sklizni minimálně 70 ha za rok. Lidská práce byla ve většině případů stále levnější, než pořízení sklízecího stroje.

Všechny vyráběné stroje využívaly nůžkové žací ústrojí, které se skládalo z kosa a prstů. Prsty rozdělávaly porost na proužky, jenž kosa následně ustříhla. Konstrukce byla obdobná jako u lištových žacích strojů, jak je známe dnes. Protože to byly stroje tažené zvířecí silou, bylo třeba žací ústrojí nějak pohánět. K tomu sloužilo ocelové pojezdové kolo, které se odvalovalo po pozemku a jeho rotační pohyb byl přenášen pomocí převodů na mechanismus pohonu kosa. Zvířecí síla je však omezena, a proto bylo snahou zlehčit odpory tažení, čehož se docílilo odlehčením hnacího kola a vylepšením plazů lišty. Zásadním ulehčením byla aplikace kuličkových ložisek a převodů v olejové lázni. Žací lišty byly vyráběny jako kravské nebo jedno koňské se záběrem 3 stopy (107 cm) a 4 stopy (122 cm). Větší stroje tažené párem koní či



Obrázek 3.3: Žací stroj MC Cormic

volů měly záběr 4 stopy (137 cm) nebo 5 stop (152 cm).

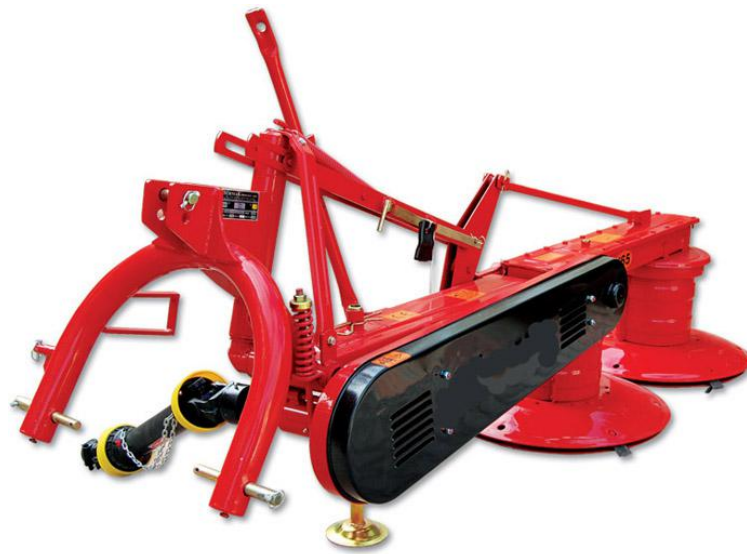
K nejvýznamnějším představitelům českých výrobců žacích strojů patřila firma Knotek. Byla založena v roce 1880 bratry Františkem a Antonínem Knotkem. Jejich firma se zprvu zabývala výrobou nejrůznějších zemědělských strojů. Jednalo se o pluhy, žentoury, mlátičky, secí stroje, řezačky a mnohé další. V roce 1888 do firmy vstoupil další společník, bratr Josef. Továrna postavila slévárnu šedé litiny, což umožnilo použít mnohem modernější konstrukce vyráběných strojů. Roku 1896 se bratři Knotkové začali specializovat na výrobu travních a obilních žacích strojů. Postupem času začali vyrábět i vlastní nožíky a protiostrží, čímž se stali naprosto nezávislími na dovozu dílů ze zahraničí. Firma Knotek a spol. byla v období před I. světovou válkou největší továrnou v Čechách i Rakousku a své produkty exportovala do celého světa, [15].

### 3.3 Vývoj a současnost

Už s vývojem prstových žacích strojů vznikla myšlenka vyvinout stroj pracující na principu rotačních nožů. Nůž by rotoval po kružnici vysokou obvodovou rychlostí a usekával volně stojící porost, pracoval tedy bez opory protiostrží. Tyto stroje však měly podstatně vyšší příkon a pohon od pojezdového kola byl nereálný. Rotační žací



Obrázek 3.4: Firma Knotek



Obrázek 3.5: Bubnový žací stroj

stroje se proto začaly používat později, přibližně od roku 1960. K rozšíření došlo, až když byl k dispozici pohon o výkonu kolem 30 kW, [16]. Oproti strojům, jenž pracovaly na principu stříhu, měly rotační stroje vyšší výkonnost, vyšší provozní spolehlivost, dále byly univerzální a měly podstatné menší nároky na údržbu, [8].

Rotor měl nejčastěji tvar bubny. Stroje byly dvou až čtyř bubnové, otáčely se proti sobě a protahovaly mezi sebou posečený materiál. Těžké bubny měly velké setrvačné síly. Ty byly výhodou při překonávání překážek a vyrovnávaly nerovnoměrnost zatížení. Jejich hmotnost a značná rozměrnost však bránila v konstrukci větších záběrů. Stroje by pak byly velmi těžké a jejich konstrukce by byla složitá.

Postupem času se jako rotačních prvků začalo využívat disků, které mají nejčastěji tvar elipsy. Firma Vicon vyráběla dokonce stoj, jehož rotory měly tvar trojúheln-

níku, [5]. Disky jsou v porovnání s bubny podstatně menší, lehčí a mají vyšší otáčky. Oproti bubnovému žacímu ústrojí mají diskové stroje lepší průchodnost materiálu. Stroje jsou lehčí, dosahují větších záběrů, pracovních rychlostí a mají menší příkon. Mohou být tažené, nebo nesené a to čelně nebo bočně.

V současné době se velice rozmáhají stavby bioplynových stanic. K jejich fungování je třeba pravidelný přísun velkého množství biomasy. Je tedy kladen vysoký požadavek na kvalitní a rychlou sklizeň. Stroje musí být spolehlivé, nenáročné na obsluhu a údržbu a velmi výkonné. Aby byla zajištěna vysoká výkonnost sečení, je třeba zvýšit pracovní záběr stroje. Ten však nelze zvyšovat do nekonečna. Řešením je spřažení několika strojů dohromady. K jednomu traktoru se tak dají připojit až tři žací stroje. Jeden čelně nesený a dva vzadu bočně nesené. Existují však i speciální nosiče žacích jednotek. Tyto samojízdné stroje jsou určeny především k sečení a úpravě píce.

Jedním z nich je Claas Cougar. Cougar je samojízdný žací stroj složený z pěti diskových žacích jednotek vybavených prstovými kondicionéry. Záběr 14 m a pracovní rychlost kolem  $20 \text{ km h}^{-1}$  vypovídá o vysoké výkonnosti, která se blíží  $20 \text{ ha h}^{-1}$ . Celý stroj pohání velmi výkonný diesellový motor s přímým vstřikováním o výkonu 350 kW, jenž je spojen s automatickou převodovkou. Podvozek stroje je dvounápravový. Řízená je jak přední tak i zadní náprava. To má hned několik výhod. Umožňuje dosáhnout malého poloměru otáčení, stroj se stává obratnějším a je šetrnější k porostu, protože se nápravy natačí proti sobě a nesmýkají se po podložce. Převážná rychlost je až  $40 \text{ km h}^{-1}$ . Ramena, na kterých jsou uloženy žací jednotky jsou teleskopická a ovládaná z místa řidiče, který může za jízdy měnit jejich vzájemný přesah. Jejich konstrukce umožňuje velice dobré kopírování nerovného a tvarově složitého terénu.

Žací jednotky jsou diskové a mají velmi robustní provedení. Jsou vybaveny účinným systémem proti poškození a kontrole jednotlivých částí pomocí zabudovaných senzorů. Řidič je tedy ihned informován o případném problému. Servisní interval stroje je stanoven na dlouhých 250 hodin.

Veškeré řízení a ovládání samojízdného stroje se děje z kabiny, která je komfortní, vybavená vzduchovou sedačkou a klimatizací. Skla jsou panoramatická, což umožňuje velice dobrý výhled na všechny žací jednotky. Kontrolu nad strojem obstarává





Obrázek 3.6: Claas Cougar 1400

informační systém CEBIS. Ten je firmou Claas využíván i ve sklízecích mlátičkách a samojízdných řezačkách. Umožňuje získat všechna potřebná data o stroji a programování provozních funkcí.

Claas Cougar je velice moderním a výkonným strojem pro sklizeň píce. Není však jediným na trhu. Konkurenci představuje například samojízdný žací stroj s názvem BIG M II od německé firmy Krone, [6].



# Kapitola 4

## TYPY ŽACÍCH STROJŮ

### 4.1 Lištové žací stroje

#### 4.1.1 Lištové žací stroje prstové

Lištové žací stroje využívají řezu s oporou. Svazek sečených stébel je přiveden mezi dva řezné břity a po stlačení je odříznut. Řezný břit (nožík) koná přímočarý vratný pohyb.

U žacích lišt prstových se můžeme setkat s několika typy. Typ lišty je určen roztečí nožíků. Lišta řídká: Rozteč prstů a nožů je totožná, a to 76,2 mm. Tento druh žací lišky se používá především u obilních lišt sklízecích mlátiček a travních žacích strojů. Lišta má dobrou kvalitu řezu a je spolehlivá. Lišta hustá: Rozteč nožů je zachována jako u lišty řídké, prsty jsou však vzdáleny pouze 38,1 mm. Počet prstů je tedy dvojnásobný. Takový stroj nalezne využití u sečení nízkých a řídkých porostů (otav), u kterých se větší počet prstů zúročí v podobě rovnoměrné výšky strniště. Lišta se však snadno ucpává. Lišta polohustá: Zde je rovněž rozteč nožů zachována, prsty jsou vzdáleny 50,8 mm, [4].

Žací stroje s pohybem břitu přímočarým vratným lze dále ještě rozdělit na stroje s prsy a bez prstů, kde protiostrží představuje druhá kosa, zpravidla protiběžná, [1].



Obrázek 4.1: Detail prstové žací lišty

#### 4.1.2 Lištové žací stroje bezprstové

Lištové žací stroje bezprstové nevyužívají jako protiostří prsty, nýbrž další kosu zpravidla protiběžnou. Obě kosy jsou tedy v pohybu. Kliky pohonu kos jsou navzájem pootočený o 180°, většina setrvačných sil je vyvážena, stroj má klidný chod. Tento typ lišty se používá při sečení hustých, výnosných, zacuchaných a lehlých porostů. Pojezdová rychlost je vyšší, což zvyšuje plošnou výkonnost, [4].

S dalším druhem bezprstových žacích lišt se můžeme setkat především v komunální a zahradní technice. Jako protiostří zde slouží druhá řada nožičků, která na rozdíl od protiběžných kos stojí. Nahrazuje tedy prsty. Tyto stroje jsou lehčí, levnější a vynikají podstatně větší odolností oproti vnikání cizích předmětů, než je tomu u strojů s prsty, [3].

#### 4.1.3 Využití lištových žacích strojů

V současné době se lištové žací stroje nejvíce používají na adaptérech sklízecích mlátiček. Konstrukce tohoto žacího ústrojí je lehká a poměrně jednoduchá. Práce se sklizeným materiálem je šetrná, nedochází tak ke ztrátám zrna už na vstupu do mlátičky.

Lištové žací stroje pro sklizeň píce se dnes už moc nepoužívají. Uplatňují se spíše v komunální a zahradní technice. Protože vynikají malou energetickou náročností



Obrázek 4.2: Protiběžná žací lišta



Obrázek 4.3: Bezprstová žací lišta pro malotraktor MF-70



Obrázek 4.4: Jednoosý malotraktor MF-70

přibližně 1-5 kW na 1 m záběru, jsou vhodnou agregací pro malotraktory a slabé motory travních sekaček. Jejich lehká a technicky jednoduchá konstrukce je také vhodná pro práci na svahu. V České republice takové stroje vyrábí například firma VARI, z dalších například univerzální malotraktor MF-70 a to v agregaci s lištou prstového i bezprstového provedení.

#### 4.1.4 Výhody a nevýhody lištových žacích strojů

Kladem lištových žacích strojů je malá energetická náročnost. Nízká hmotnost a konstrukční jednoduchost. Píce je dělena stříhem, řez je velmi kvalitní a porost se rychleji zotavuje. Posečený materiál není znečištěn zeminou.

Zápornými vlastnostmi těchto strojů jsou vysoké nároky na údržbu a náchylnost na přesné seřízení. Při chodu vznikají často vibrace, [3]. Výkonnost je poměrně malá,  $0,3 - 0,5 \text{ ha h}^{-1}$ . Další nevýhodou je také malá odolnost proti vnikání cizích těles, které často zapříčiní poruchu stroje.



Obrázek 4.5: Detail volného uložení nože

## 4.2 Stroje s rotačním pohybem nože

Stroje s rotačním pohybem nože využívají ve většině případů řezu bez opory. Řezný nástroj (nůž) se otáčí vysokou obvodovou rychlostí od 30 do 60  $m s^{-1}$ , [4]. Nůž narazí do stébla a dojde tak k jeho oddělení. Stroje s rotačním pohybem nože lze rozdělit podle osy rotace na stroje s vertikální osou rotace a stroje s horizontální osou rotace. Stroje s rotačním pohybem nože jsou v současnosti nejpoužívanějšími stroji využívanými ke sklizni píce.

### 4.2.1 Stroje s vertikální osou rotace

V tomto případě nůž rotuje kolem vertikální osy rotace a je otočně připevněn k bubnu nebo disku. Počet nožů se pohybuje od dvou (u disku) až k pěti (u bubnu). Jeho otočné uchycení zabraňuje poškození nože v případě nárazu na překážku. Pokud nůž narazí, protočí se a opět se vysune do pracovní polohy. Nůž je v pracovní poloze držen odstředivou silou, která vzniká při jeho rotaci. V zahradní technice může být rotor tvořen pouze samostatným nožem, jenž rotuje okolo svého středu. Zpravidla je nabroušený na obou svých koncích. Toto žací ústrojí není jištěno proti nárazu na překážku, nůž je k hřídeli přišroubován pevně.

## **Bubnové žací stroje**

Bubnové žací stroje využívají jako pracovního orgánu bubnu, který se skládá ze dvou základních částí: vlastního bubnu a plazu. Buben je poháněnou částí pracovního ústrojí. Na jeho obvodu se nacházejí rovnoměrně rozmístěné nože, [10].

Pohon bubnu je shora. Hnací převody se nachází v horní části stroje. Pokud je stoj více bubnový, bubny se otáčejí proti sobě a protahují posečený materiál mezi sebou. Aby nedošlo ke střetu nožů sousedních bubnů, jejich vzájemná poloha je přesně definovaná. To zaručuje převodovka s ozubenými koly. Protože je vzdálenost mezi bubny značná, převodovkou nejčastěji prochází společná hřídel, která je osazena kuželovými ozubenými koly. Pohon bubnů je jištěn pojistkou proti přetížení. Ta se nachází na kloubovém hřídeli, jenž spojuje traktor s žacím strojem.

Další podstatnou částí žací jednotky je plaz. Jedná se o talíř umístěný na společné hřídeli s bubnem. Na hřídeli je uložen volně, vzhledem k bubnu se tedy neotáčí. Jeho úkolem je klouzat po sklizené ploše a kopírovat terén. Jeho výška udává výšku strniště.

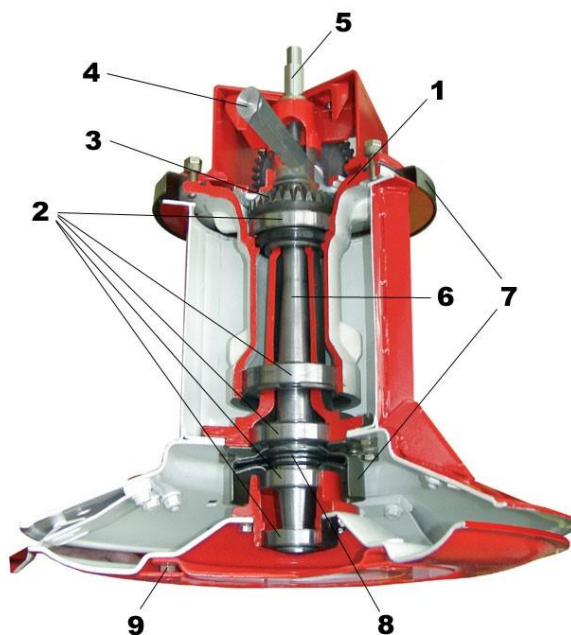
Nože jsou k bubnu připevněny volně, buď pomocí osazeného šroubu a matice a nebo pomocí rychloupínacího mechanismu, který značně usnadňuje jejich výměnu. Počet nožů na jeden buben se pohybuje od tří do pěti. Více bubnové stroje mají nože nejčastěji čtyři. Nože jsou většinou oboustranně broušené. Pokud se nůž velmi opotřebí, stačí ho otočit. Jeho životnost se tak značně prodlouží.

Bubnové žací stroje mají poměrně velký pracovní příkon a to 9 – 12 kW na metr záběru, kvalita řezu je oproti lištovým žacím strojům horší. Dochází k většímu znečištění posečené píce zeminou. Při práci v přerostlém porostu se mohou ucpávat. Na druhou stranu jsou tyto stroje provozně spolehlivé, jednoduché na údržbu a mají klidný chod. Jejich výkon je v porovnání s lištovým žacím strojem podstatně vyšší, pracují totiž při vyšší jezdové rychlosti, [3].

## **Diskové žací stroje**

Diskové žací stroje pracují obdobně jako stroje bubnové. Princip sečení je bez opory. Zásadním rozdílem oproti bubnovým žacím strojům je rotační prvek, kterým je v tomto případě disk. Oproti bubnu je mnohonásobně menší, jednodušší a lehčí.





Obrázek 4.6: Pohon bubnu

Na disku jsou otočně namontovány nože, zpravidla dva. Jejich výměna se provádí přešroubováním, nebo v případě modernějších systémů jednoduchým vyjmutím pomocí speciálního nástroje. Nože jsou oboustranné, dají se v případě opotřebení snadno otočit na druhou stranu, a tím zdvojnásobit jejich životnost. Disky jsou hnány spodem. Pohon zajišťuje převodovka v olejové lázni, která zároveň zaručuje přesnou vzájemnou polohu disků. Disky jsou navzájem pootočený o 90 stupňů, aby nemohlo dojít ke kolizi nožů. Existují dva hlavní druhy pohonu disků, pohon pomocí ozubených kol s čelním či šikmým ozubením nebo pomocí hřídele s kuželovými ozubenými koly. První varianta využívá velkého množství ozubených kol zařazených za sebou. Mezi koly spojenými s jednotlivými diskami jsou kola vložena, která překleňují vzdálenost mezi jednotlivými diskami a mění směr otáčení. Převodovka je nízká a je naplněná převodovým olejem. Její nízká konstrukce je výhodná, snadno se dosahuje nízkého strniště. Tento systém využívá většina výrobců. Z tuzemských je to například Agrostroj Pelhřimov, ze zahraničních například firma Pöttinger či Krone, [11].

Druhým systémem pohonu disků je pohon kuželovými ozubenými koly. V zadní části převodovky se nachází dlouhá hřídel osazená kuželovými ozubenými koly, která



Obrázek 4.7: Výměna nože pomocí speciální páky



Obrázek 4.8: Pohon ozubenými koly s čelním ozubením



Obrázek 4.9: Kuželová převodovka Lely

přímo ženou jednotlivé disky. Z hlediska počtu ozubených kol je toto řešení podstatně jednodušší. Na druhou stranu samotná výroba kuželového ozubení je oproti čelnímu podstatně složitější. Celá koncepce je v porovnání s první variantou podstatně prostorově náročnější. Hřídel, její uložení a ozubená kola zaujímají celý zadní prostor převodové skříně a značně tak zvyšují její výšku, [12]. Aby bylo dosaženo požadované výšky strniště, jsou disky skloněny poněkud dopředu. To je dáno i samotnou konstrukcí převodovky. Naklonění už samo o sobě není tolik vhodné, neboť zapříčiňuje mírné nerovnosti výšky zanechaného strniště. Tento nedostatek se řeší použitím malých ozubených kol a vhodnou konstrukcí skříně. Konstruktivní řešení pomocí hřídele s kuželovými ozubenými koly využívá například firma Lely. S podobným řešením se můžeme setkat u některých méně známých výrobců žacích strojů nebo u starší techniky.

Celý stroj se při práci pohybuje po plazech. Na rozdíl od plazů bubnových žacích strojů, které jsou uloženy na ložiscích, jsou tyto plazy namontovány přímo na spodní straně převodovky a jsou pevné. Stroj po nich klouže po pozemku a zaručuje konstantní výšku strniště. Protože jsou přišroubovány přímo k převodovce, fungují i jako její výztuha a ochrana před nepříznivým pracovním prostředím.

## Zahradní stroje s vertikální osou rotace

Do skupiny žacích strojů s vertikální osou rotace patří téměř veškerá zahradní technika. K údržbě trávníků kolem domu se dnes hojně používají zahradní sekačky, které jsou hnány elektromotorem či zážehovým spalovacím motorem. Žací ústrojí zde představuje ocelový nůž s dvěma břity. Je namontovaný přímo pevně na klikové hřídeli. Jeho otáčky jsou shodné s otáčkami hnacího motoru. Záběr stroje je dán velikostí nože. Pojezd stroje je řešen dvěma způsoby. Levnější a lehčí stroje se po pozemku pohybují lidskou silou, zatímco výkonnější a dražší jsou opatřeny pojezdem. Pojezd se aktivuje jednoduše z místa obsluhy stroje a jeho pracovní rychlost je konstantní.

Posečený materiál může být sbírán do koše, nebo mulčován. Při sběru do koše se využívá ventilačního efektu nože, který provede nejen odseknutí, ale i nadrcení a dopravení hmoty do sběrného koše. V případě mulčování se využívá speciálních mulčovacích nožů. Mulčování je operace, při níž dochází k několikanásobnému přesečení travní hmoty. Ta se stává jemnější, neshromažďuje se v koši, ale propadává mezi travní stébla a zůstává na posečené ploše, [7].

Větší plochy se udržují za pomoci zahradních traktorů. Jejich žací ústrojí se skládá ze dvou až třech nožů a je umístěno buď mezi nápravami, a nebo vpředu před strojem. Protože jsou nože nejčastěji hnány klínovým řemenem, který nezaručuje přesnou vzájemnou polohu obou rotorů a mohlo by tak dojít k jejich vzájemné kolizi, existují dvě základní řešení tohoto problému. Rotory jsou vzájemně mírně předsazeny, tedy neleží přesně vedle sebe, nebo se využívá třetího menšího rotoru, umístěného před dvěma hlavními noži.

Pojezd se v současné době řeší nejčastěji pomocí hydrostatiky. Pohyb je tak plynulý, pracovní rychlost je možné libovolně regulovat. Vše se ovládá snadno dvojitým pedálem, který slouží i k reverzaci stroje.

### 4.2.2 Stroje s horizontální osou rotace

#### Mulčovače

Asi nejtypičtějším představitelem žacího ústrojí s horizontální osou rotace je cepové žací ústrojí. To je nejčastěji používaným pracovním orgánem mulčovačů s horizon-



Obrázek 4.10: Žací nůž zahradní sekačky

tální osou rotace. Mulčovače se využívají k udržování travních ploch, při kterém se sečený materiál dále nevyužívá, je tedy drcen a ponechán na pozemku. Typickým příkladem je sečení krajnic okolo komunikací. Pracovním orgánem těchto strojů je horizontální rotor, na němž jsou do šroubovice volně namontovány kladívka nebo různé typy nožů. Při roztočení zaujmou kladívka pracovní polohu, sečou a najemno drtí travní hmotu. V pevném krytu rotoru se nachází protiosťří, jenž napomáhá procesu drcení materiálu. Kryt je vyroben ze dostatečně silného plechu, aby zabránil odlétávání kamenů a ostatních cizích předmětů. Celý stroj je vybaven kopírovacími kolečky, válci či kluzáky. Jejich úkolem je vést mulčovač po pozemku a zaručit nastavenou pracovní výšku. Stroje mohou být hnány mechanicky a to vývodovým hřídelem traktoru, nebo hydraulicky s využitím vnějšího hydraulického okruhu traktoru a hydromotoru, [9].

### **Vřetenové žací ústrojí**

Vřetenové žací ústrojí je speciálním druhem ústrojí používaného k udržování kvalitních travníků. Spojuje výhody ústrojí pracujícího na principu stříhu a rotačních žacích strojů. Jeho základem je rotující válec se spirálově stočenými noži, které jsou na válci umístěny v přesných rozestupech a pod daným úhlem. Druhou částí je ho-



Obrázek 4.11: Mulčování trávníku

rizontálně uložené protiostrží. Stébla se při pracovním pohybu dostávají do prostoru mezi nože a protiostrží, kde dochází ke stříhu. Celý proces je tedy řez s oporou. Rotor je u malých a lehkých sekaček hnán převodem od pojezdového kola. Tyto sekačky jsou ruční a tlačí se před sebou. Větší stroje jsou osazeny nejčastěji spalovacím motorem. Sečení se provádí často, sklizené hmoty je málo a není nutné ji sbírat. Je ponechána na strništi, kde slouží při rozkladu jako hnojivo trávníku.

Protože je stříh kvalitní, nedochází k zažloutnutí trávníku, jeho barva je krásně zelená a porost je v dobré kondici, a proto se tento způsob seče využívá k údržbě nízkých a hustých anglických či golfových trávníků, [13].



Obrázek 4.12: Schéma vřetenového žacího ústrojí



Obrázek 4.13: Vřetenová sekačka se spalovacím motorem





## Kapitola 5

# PÖTTINGER NOVACAT 402

PÖTTINGER NOVACAT 402 je diskový žací stroj vyráběný rakouskou firmou Pöttinger. Byl vyvinut v mateřském závodě v Grieskirchenu, kde se vyrábí společně s dalšími modely žacích strojů.

Stroj je bočně nesený v zadním tříbodovém závěsu traktoru. Jeho pracovní záběr je 3,88m. Stroj je poháněn od vývodového hřídele traktoru o otáčkách  $1000\text{min}^{-1}$ . Minimální požadovaný výkon traktoru je  $66\text{kW}$ . Plošná výkonnost žacího stroje udávaná výrobcem dosahuje  $4,0\text{ ha h}^{-1}$ .

Pro narušení posečené píce je možné stroj na přání vybavit prstovým lamačem EXTRA DRY nebo mačkácími válci ROLLER CONDITIONER.



Obrázek 5.1: Pöttinger Novacat

## 5.1 Konstrukce stroje

### 5.1.1 Rám stroje

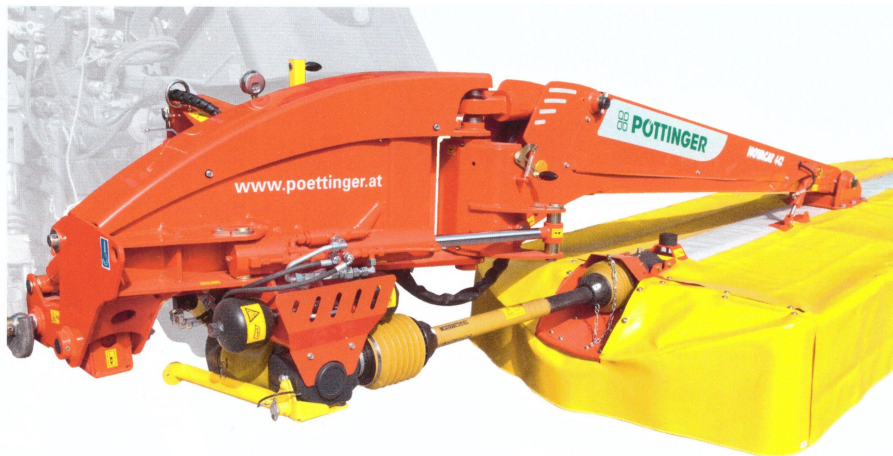
Diskový žací stroj Pöttinger Novacat je připojen do zadního tříbodového závěsu traktoru. Závěs stroje je tvořen třemi čepy namontovanými na masivním svařovaném rámu tvaru A. Levé spodní rameno s čepem je vybaveno hydraulickým válcem, který zabezpečuje snadnou agregaci za energetický prostředek a usnadňuje zapřahání a následné seřízení stroje do roviny.

Ze závěsu vystupuje dlouhé rameno. To je se závěsem spojeno pomocí dvou hlavních čepů. První z nich je namontován vertikálně a slouží k přestavení do přepravní polohy stroje. Pro tento účel se žací ústrojí pouze vodorovně pootočí o  $90^\circ$  a je v zákrytu za traktorem. Stroj je tak při přepravě úzký a nízký. Druhý z čepů je do ramene namontován vodorovně. Umožňuje rameni svislý pohyb při zvedání na úvratích a při kopírování terénu. Druhý konec ramene je výkyvně spojen s vlastní žací jednotkou. Spojení žací jednotky s ramenem se nachází v těžišti, jenž zaručuje vyváženost při jejím zvednutí. Další výhodou středového uložení jsou dobré kopírovací vlastnosti stroje.

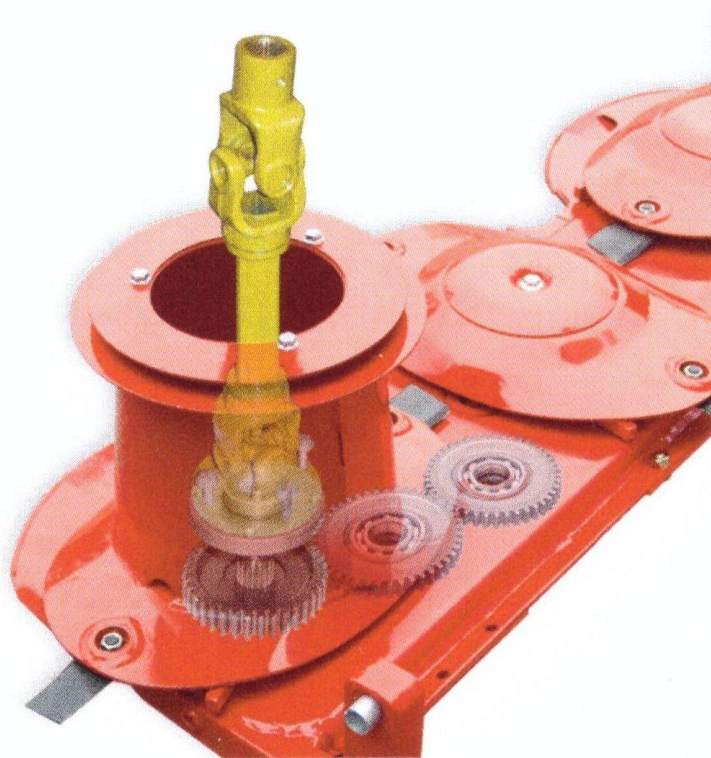
Samotná žací jednotka se skládá z převodovky osazené žacími disky a z nosníku. Nosník je výkyvně spojen s ramenem. Na jeho koncích se nacházejí dva držáky, jenž jsou přímo přišroubovány k převodovce. Zaručují tak spojení mezi nosníkem a převodovkou s disky.

### 5.1.2 Přenos výkonu

Stroj je poháněn od vývodového hřídele traktoru. Pracovní otáčky jsou  $1000 \text{ min}^{-1}$ . Spojení mezi vývodovým hřídelem a strojem zabezpečuje kloubový hřídel s jemným drážkováním. Následuje úhlová převodovka s kuželovými ozubenými koly v olejové lázni. Za touto převodovkou je zařazen další kloubový hřídel. Zaručuje přenos točivého momentu mezi pevnou částí závěsu a výkyvně se pohybující žací jednotkou. Při přepravní poloze musí zvládnout velký úhel zalomení. Za spojovacím kloubovým hřídelem následuje druhá úhlová převodovka. Je namontována na nosníku žací jednotky a mění osu otáčení z horizontální na vertikální, tedy shodnou s osou otáčení



Obrázek 5.2: Nosná část stroje



Obrázek 5.3: Pohon žacího ústrojí

disků. Posledním spojovacím prvkem mezi druhou úhlovou převodovkou a pohonem disků je krátký kloubový hřídel. Na jedné straně je spojen s výstupem úhlové převodovky a druhá strana je přišroubovaná k prvnímu disku žací jednotky.

### 5.1.3 Pracovní orgány

Pracovním orgánem žacího stroje Pöttinger Novacat 402 je devět rotujících disků. Každý z disků je osazen dvěma noži. Po otupení nožů je možné jejich otočení a následná výměna. Disky všech žacích strojů firmy Pöttinger jsou vybaveny systémem rychloupínání nožů. Výměna je tak snadná a rychlá, nezdržuje obsluhu zdlouhavým šroubováním.

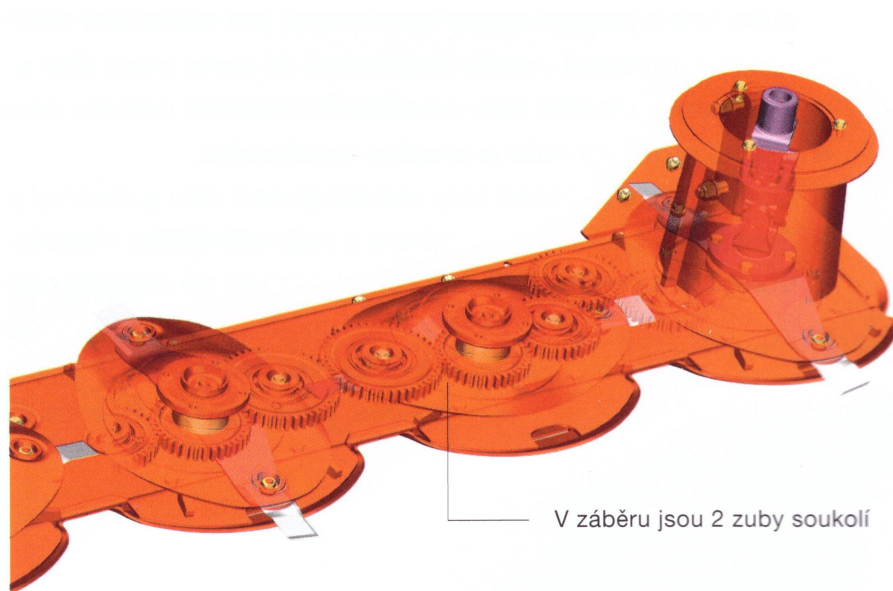
Všech devět disků je namontováno na společné převodové skříně. Ta zjišťuje jejich pohon a vzájemnou polohu. Disky jsou vzájemně pootočený o 90° aby nedošlo k jejich kolizi.

Každý z disků je namontován na náboji uloženém v masivním dvouřadém kuličkovém ložisku. Ložisko je nalisováno do litinové příruby. Z druhé strany náboje se nachází drážkování osazené ozubeným kolem s čelním ozubením. Spojením náboje, ložiska, příruby a ozubeného kola vznikne modul, jenž je shora namontován do převodové skříně. Těsnění modulu do skříně zajišťují těsnící kroužky. Počet modulů je shodný s počtem disků.

Skříň má tvar velice plochého kvádrů a je vyrobena ze silného ocelového plechu. Uvnitř se nachází velký počet ozubených kol s čelním ozubením. Šířka ozubení je 20 mm. Ozubená kola jsou poskládána do dlouhé řady za sebou. Mezi ozubenými koly jednotlivých disků jsou vložena další dvě ozubená kola o větším průměru. Ta překleňují vzdálenost mezi disky a mění smysl jejich otáčení. První a poslední z disků je opatřen odklízecím bubínkem, který zajišťuje oddělení posečené hmoty od porostu. Tyto dva krajní disky se otáčejí směrem dovnitř. Správný smysl jejich otáčení zajišťuje trojice vložených ozubených kol. Převodová skříň je plněna převodovým olejem jenž maže veškeré převody a ložiska. Protože je zde využito ozubených kol o šířce 20 mm, převodovka je velmi nízká a zaručuje tak nízké strniště. Ze spodní strany jsou namontovány kalené ocelové plazy, které při práci stroje kloužou po pozemku a zároveň vyztužují konstrukci převodovky. V případě požadavku vyššího strniště je možné stroj vybavit plazy pro zvýšené strniště.



Obrázek 5.4: Diskové žací ústrojí



Obrázek 5.5: Ozubená kola převodovky



Obrázek 5.6: Hydraulický válec závěsu stroje

#### 5.1.4 Hydraulické mechanismy

Žací stroje Pöttinger Novacat mají v porovnání se stroji Novadisc složitější a těžší konstrukci. Jsou vybaveny poměrně velkým počtem hydraulických válců, zajišťujících základní ale i komfortní prvky obsluhy. Hydraulických válců je zde hned několik. První z nich zajišťující přesun stroje z pracovní do přepravní polohy, je umístěn zezadu tříbodového závěsu a otáčí rameno s žací jednotkou kolem vertikální osy. V přepravní poloze je třeba žací jednotku zajistit proti kývání. Mezi ramenem a nosníkem žací jednotky se tak nachází malý přímočarý hydromotor, který žací jednotku přitáhne k rameni a zamezí tak kmitání při přepravě. Dalším podstatným hydraulickým členem je silný hydraulický válec zajišťující zvedání stroje na úvrati. Je spojen s hydraulickým akumulátorem a plní i funkci kopírování. Některé válce však tvoří i funkci převážně komfortní. Osazení levého spodního čepu tříbodového závěsu hydraulickým válcem je toho názorným příkladem. Možnost jeho výškového nastavení usnadňuje zapřahání a zaručuje komfortní vyrovnaní závěsu do roviny. Stroj může být na přání vybaven hydraulickým sklápěním čelního a stranového krytu. Jedná se spíše o častější výbavou strojů, jejichž přepravní poloha je svislá, nebo se jedná o stroje čelně nesené.



Obrázek 5.7: Maximální kopírovací úhel

### 5.1.5 Kopírování

Aby stroj dobře pracoval a celý pozemek byl kvalitně posečen, musí umět dokonale kopírovat terén, a to za jakýchkoliv pracovních podmínek i za vyšších pracovních rychlostí. To je zaručeno hned několika technickými prvky stroje. Žací jednotka je zavěšena na nosném rameni ve svém těžišti, tedy přibližně uprostřed své šířky. Při práci v členitém a nerovném terénu se tak dokáže příčně vychýlit až o  $\pm 22^\circ$ . Dalším prvkem zajišťujícím kvalitní kopírování pozemku je aplikace hydraulického válce společně s akumulátorem tlaku, jak již bylo zmíněno v kapitole 5.1.4, na straně 46. Tento systém zaručuje hydraulické odpružení stroje. Odpružení je dobrým pomocníkem při vyšších pracovních rychlostech. Stroj je možno i odlehčit a to v šířce celého záběru. V praxi se jedná o natlakování hydraulického akumulátoru spojeného s přímočarým hydromotorem, jenž je namontován vedle zvedacího válce. Nastavený tlak se zobrazuje na tlakoměru umístěném v blízkosti závěsu stroje. Řidič tak má o tlaku přehled a může ho kdykoli z pohodlí kabiny změnit podle aktuálních pracovních podmínek. To se využívá zvláště při sklizni v mokrých a lepivých podmínkách, viz obrázek 5.7, [11].





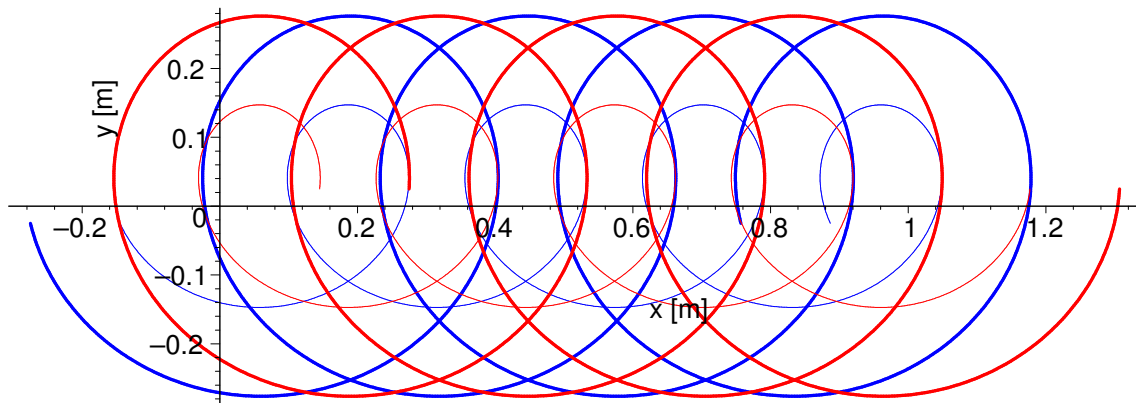
# Kapitola 6

## Kinematika diskového žacího ústrojí

Diskový žací stroj patří do skupiny strojů s rotačním pohybem nože. Pracovním nástrojem je nůž volně uchycen k rotoru tedy v našem případě disku. Disk je zpravidla osazen dvěma noži. Otáčí se vysokou obvodovou rychlostí  $V_0$ . Její hodnota bývá 30 až  $60 \text{ m s}^{-1}$ , v některých případech může dosahovat až  $80 \text{ m s}^{-1}$ . Nůž se tedy otáčí a svou vysokou rychlostí usekává volně stojící rostliny. Nepoužívá se zde žádného protiostří, proto se jedná o takzvaný řez bez opory. Disk však společně s celým strojem koná pohyb do záběru. Jeho velikost je rovna aktuální pracovní rychlosti stroje po pozemku  $V_p$ . Pracovní rychlost dosahuje v současné hodnotě běžně 16 c. Poměr mezi obvodovou rychlostí nože a rychlostí pojezdu se nazývá  $\lambda$ . Poměr  $\lambda = \frac{V_0}{V_p}$  nabývá hodnot 15 až 35 i více. Trichoida, kterou opisuje libovolný bod nože, je v podstatě prodloužená cykloida viz. obrázek 6.1, detailní výpočty lze nalézt v [4].

### 6.1 Matematický výpočet pohybu nože

Při výpočtech provedených v programu MAPLE budeme pro úhlovou rychlost rotace nože používat označení  $\omega$ , a pro pojezdovou rychlost  $V$ . Základní rozměry zahrnuté ve výpočtu byly změřeny na stroji Pöttinger Novacat 402, viz internetové stránky výrobce [11]. Uchycení nožů je zobrazeno na obrázku 6.2.



Obrázek 6.1: Trajektorie dvou nožů diskového žacího ústrojí

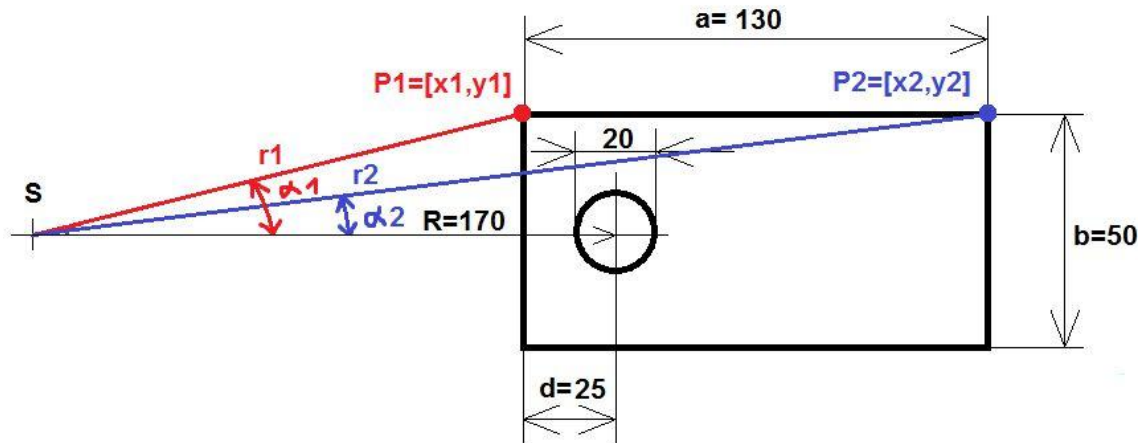


Obrázek 6.2: Disk s volně uloženými noži

Základní rozměry nože v metrech jsou, viz obrázek 6.3:

$$R = 0.17, r = 0.01, a = 0.13, b = 0.05, d = 0.025 \text{ [m]}. \quad (6.1)$$

Na pracovní hraně nože budeme uvažovat dva krajní body  $P1$  a  $P2$  zasazené do souřadného systému tak, že:  $P1 = [x1, y1]$  a  $P2 = [x2, y2]$ . Vzhledem k tomu, že buben je osazen dvěma noži, které jsou navzájem pootočený o  $180^\circ$  bude řezná hrana prvního nože definována body  $P11$  a  $P12$  a druhého nože body  $P21$  a  $P22$ . Body  $P11$  a  $P21$  mají poloměr rotace  $r1$  a poloměr rotace bodů  $P12$  a  $P22$  je tedy



Obrázek 6.3: Rozměry nože

$r_2$ . Spojnice bodů  $P11$  a  $P12$  a středu rotace  $S$  svírá s řeznou hranou prvního nože úhly  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$ .

Okamžité polohy obou řezných hran, definovaných body  $P11$ ,  $P12$ ,  $P21$  a  $P22$  je možné zadat jako následující funkce času  $t$ :

$$\begin{aligned}
 P11 &= [R1 \cos(\omega t + \alpha_1) + Vt, R1 \sin(\omega t + \alpha_1)] \\
 P12 &= [R2 \cos(\omega t + \alpha_2) + Vt, R2 \sin(\omega t + \alpha_2)] \\
 P21 &= [-R1 \cos(\omega t + \alpha_1) + Vt, -R1 \sin(\omega t + \alpha_1)] \\
 P22 &= [-R2 \cos(\omega t + \alpha_1) + Vt, -R2 \sin(\omega t + \alpha_2)]
 \end{aligned}$$

Po roznásobení členů dostaneme tvar:

$$\begin{aligned}
 P11 &= \begin{bmatrix} R1 \cos(\omega t) \cos(\alpha_1) - R1 \sin(\omega t) \sin(\alpha_1) + Vt \\ R1 \sin(\omega t) \cos(\alpha_1) + R1 \cos(\omega t) \sin(\alpha_1) \end{bmatrix} \\
 P12 &= \begin{bmatrix} R2 \cos(\omega t) \cos(\alpha_2) - R2 \sin(\omega t) \sin(\alpha_2) + Vt \\ R2 \sin(\omega t) \cos(\alpha_2) + R2 \cos(\omega t) \sin(\alpha_2) \end{bmatrix} \quad (6.2) \\
 P21 &= -P11, \quad P22 = -P12
 \end{aligned}$$

Velikosti poloměrů  $R1$  a  $R2$  lze vyjádřit pomocí pythagorovy věty:

$$\begin{aligned}
 R1 &= \frac{\sqrt{4R^2 - 8Rd + 4d^2 + b^2}}{2} \\
 R2 &= \frac{\sqrt{4R^2 - 8Rd + 8Ra + 4d^2 - 8da + 4a^2 + b^2}}{2} \quad (6.3)
 \end{aligned}$$

Pomocí vztahů pro poloměry, (6.3) lze za  $\sin(\alpha_1)$ ,  $\cos(\alpha_1)$ ,  $\sin(\alpha_2)$ ,  $\cos(\alpha_2)$  do rovnice (6.2) dosadit:

$$\begin{aligned}\cos(\alpha_1) &= \frac{R-d}{R_1}, & \sin(\alpha_1) &= \frac{b}{2R_1}, \\ \cos(\alpha_2) &= \frac{R-d+a}{R_2}, & \sin(\alpha_2) &= \frac{b}{2R_2}.\end{aligned}\tag{6.4}$$

Po dosazení goniometrických funkcí úhlů  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  (6.4) do rovnic pro jednotlivé body P (6.2) dostaneme následující tvary rovnic:

$$\begin{aligned}P_{11} &= \left[ \cos(\omega t)(R-d) - \frac{\sin(\omega t)}{2}b + Vt, \sin(\omega t)(R-d) + \frac{\cos(\omega t)}{2}b \right] \\ P_{12} &= \left[ \cos(\omega t)(R-d+a) - \frac{\sin(\omega t)}{2}b + Vt, \sin(\omega t)(R-d+a) + \frac{\cos(\omega t)}{2}b \right] \\ P_{21} &= -P_{11}, & P_{22} &= -P_{12}\end{aligned}\tag{6.5}$$

Rovnice 6.5 slouží k nakreslení trajektorie nožů diskového žacího ústrojí, viz obrázek (6.1). Aby bylo ostří nože plně využité, musí se za jednu polovinu otáčky posunout do záběru přesně o svou délku  $a$ .

Posunutí stroje do záběru o délku řezné hrany za jednu polovinu otáčky disku udává rovnice: (6.6), kde  $T$  = perioda rotace.

$$\frac{\sqrt{4R^2 - 8Rd + 8Ra + 4d^2 - 8da + 4a^2 + b^2}}{2} - \frac{\sqrt{4R^2 - 8Rd + 4d^2 + b^2}}{2} = \frac{VT}{2}.\tag{6.6}$$

Z rovnice 6.6 je možné vyjádřit čas  $T$ :

$$T = \frac{\sqrt{4R^2 - 8Rd + 8Ra + 4d^2 - 8da + 4a^2 + b^2} - \sqrt{4R^2 - 8Rd + 4d^2 + b^2}}{V}.$$

Pokud známe dobu jedné periody  $T$ , je možné vypočítat úhlovou rychlost rotace podle vztahu  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ :

$$\omega = \frac{2\pi V}{\sqrt{4R^2 - 8Rd + 8Ra + 4d^2 - 8da + 4a^2 + b^2} - \sqrt{4R^2 - 8Rd + 4d^2 + b^2}}\tag{6.7}$$

Výsledná rovnice popisuje úhlovou rychlost disku  $\omega$  s dvěma žacími noži, jenž je funkcí pojezdové rychlosti  $V$  a základních parametrů žacího ústrojí, viz obrázek 6.3.

Významným parametrem popisujícím výkonnost sekačky je  $\lambda$ , což je podíl mezi obvodovou rychlostí nože a rychlostí pojezdu, tedy

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}, \quad \text{kde } R \text{ je maximální poloměr nože.} \quad (6.8)$$

Dosadíme-li do rovnice (6.8)  $R = R_2$ , viz. rovnice (6.3) a za  $\omega$  rovnice (6.7), pak parametr  $\lambda$  přejde do tvaru:

$$\lambda = \frac{\pi \sqrt{4 R^2 - 8 R d + 8 R a + 4 d^2 - 8 d a + 4 a^2 + b^2}}{\sqrt{4 R^2 - 8 R d + 8 R a + 4 d^2 - 8 d a + 4 a^2 + b^2} - \sqrt{4 R^2 - 8 R d + 4 d^2 + b^2}}. \quad (6.9)$$

Výsledný vztah (6.9) je přesný analytický vztah pro minimální hodnotu parametru  $\lambda$ . Pokud by tento parametr byl nižší, pak by v sečené ploše vznikaly neposečené oblasti.

Pokud se do parametru  $\lambda$  a úhlové rychlosti  $\omega$  dosadí konkrétní rozměry nože a poloměry rotace, obdržíme numerickou hodnotu:

$$\lambda = 6.725090706, \quad \omega = 24.35444417 V. \quad (6.10)$$

Žací disk se tedy musí otáčet úhlovou rychlostí  $\omega$ , která při pojezdové rychlosti  $V = 1 \text{ m s}^{-1}$  činí  $24.35 \text{ rad s}^{-1}$  a jedna otáčka bude trvat  $T_f = 0.258 \text{ s}$ . Ostří nože tak bude využito naplno po celé své délce  $a$ . V praxi je však upínací část nože ukrytá v disku, aktivní délka ostří je proto menší.

Pokud přepočítáme obvodovou rychlost  $\omega$  na otáčky disku, poměr mezi pojezdovou rychlostí  $V$  a otáčkami  $n$  bude:

$$n = 3.876130173 V$$

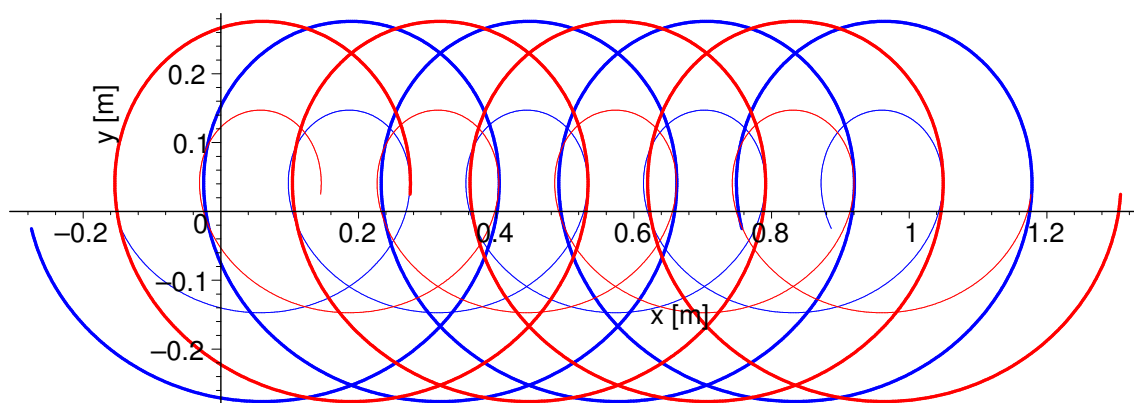
## 6.2 Výpočet posečené plochy

Při sklizni píce je kladen důraz nejen na výkonnost, ale i na kvalitu sečení. Dokonalé strniště je znakem kvalitně provedené sklizně.

Následující výpočet se zabývá dokonalým přesečením sklizené plochy. Pokud bude stroj pracovat s maximálním využitím celé délky nože, tedy podle vztahu (6.10) může nastat několik případů. Některá místa budou přesečena mnohonásobně, některá však ale pouze jednou. Zde se dostáváme do problému. Pokud by ostří nože

nebylo dostatečně naostřené nebo by dokonce narazilo na překážku, mohla by vzniknout neposečená místa a to je nežádoucí. Postup pro analýzu exponovaných ploch je následující:

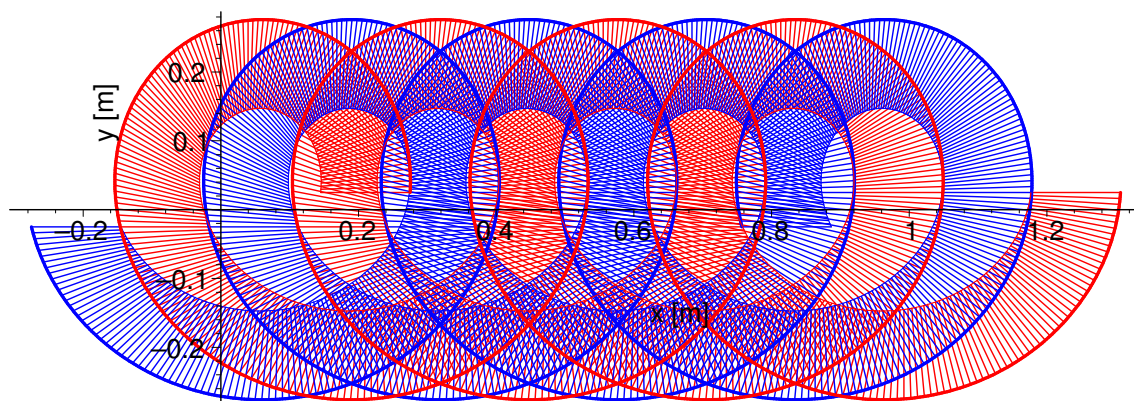
Pro vyobrazení trajektorie nožů použijeme již vypočítané rovnice pro polohu bodů  $P11$ ,  $P12$ ,  $P21$  a  $P22$ , viz rovnice (6.2). Trajektorie bodů  $P11$  a  $P12$  jsou znázorněny červenou a bodů  $P21$  a  $P22$  modrou barvou. Trajektorie bodů  $P12$  a  $P22$  jsou vyobrazeny tučně, bodů  $P11$  a  $P21$  tenče. Trajektorie jsou znázorněny na obrázku 6.4.



Obrázek 6.4: Trajektorie žacího ústrojí

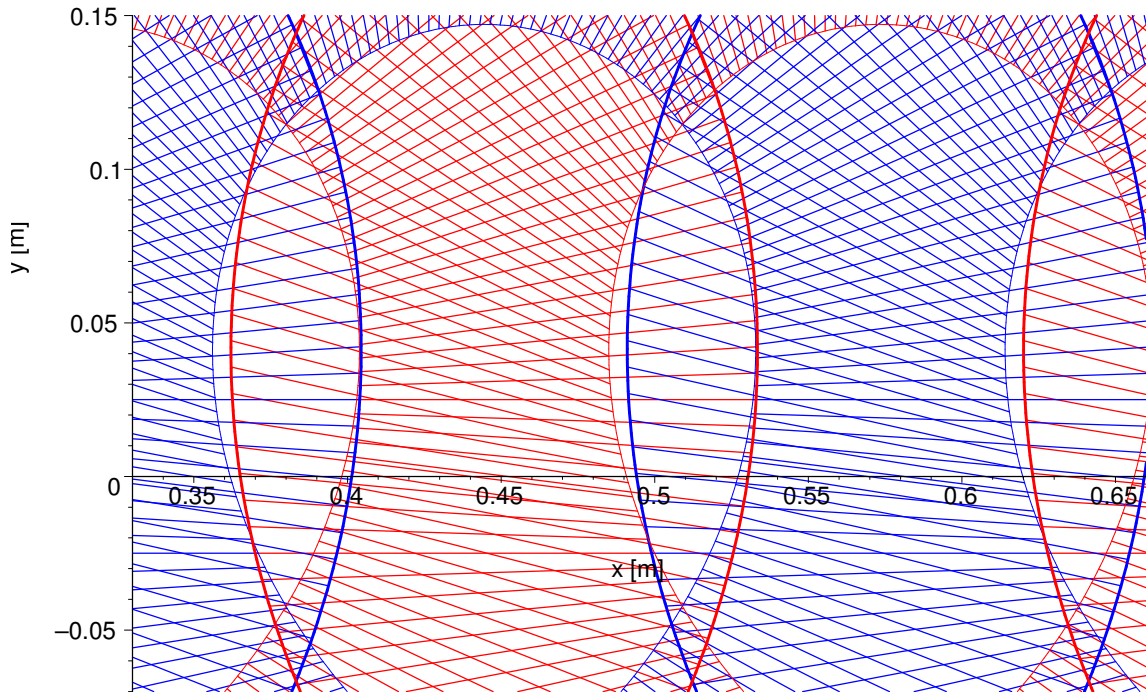
Posečená plocha se nachází mezi tlustými a tenkými čarami. Pro lepší čitelnost plochy vyšrafujeme, viz obrázek 6.5.

V obrázku 6.5 jsou patrné plochy šrafované pouze jednou, tedy ty, které byly přesečeny jen jednou. To je mnohem čitelnější z detailu 6.6. Tyto plochy jsou nežádoucí. V případě nárazu nože na překážku by nemusely být posečeny a strniště by



Obrázek 6.5: Plocha posečená jedním diskem s dvěma noži

bylo nekvalitní.



Obrázek 6.6: Detail jednou přesečené plochy

Pro přesné vykreslení plochy posečené pouze jednou je nejprve nutné přesně určit průsečíky trajektorií bodu  $P12$  a  $P21$ . K protnutí trajektorií dochází v časových intervalech:

$$\frac{T_f}{3} \leq t1 \leq \frac{2T_f}{3} \quad \text{pro bod } P12 \qquad \frac{-T_f}{6} \leq t2 \leq \frac{T_f}{6} \quad \text{pro bod } P21,$$

viz. obrázek 6.7.

Průsečíky mají shodné souřadnice  $x$  i  $y$ , proto musí vyhovět rovnici (6.11),

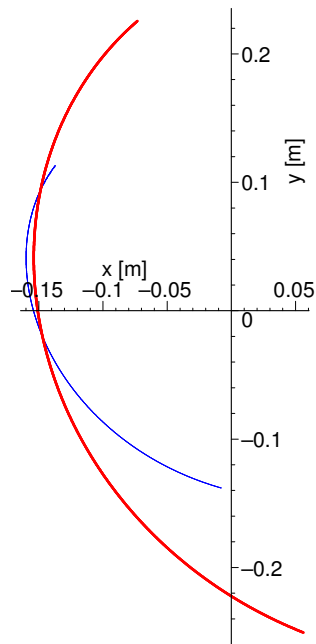
$$P12 = P21$$

po dosazení

$$\begin{bmatrix} \cos(\omega t1)(R-d+a) - \frac{\sin(\omega t1)b}{2} + Vt \\ \sin(\omega t1)(R-d+a) + \frac{\cos(\omega t1)b}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\cos(\omega t2)(R-d) + \frac{\sin(\omega t2)b}{2} + Vt \\ -\sin(\omega t2)(R-d) - \frac{\cos(\omega t2)b}{2} \end{bmatrix} \quad (6.11)$$

Numerickým výpočtem lze stanovit přesné hodnoty času  $t1$  a  $t2$ , kdy se trajektorie protnou. K výpočtu slouží rovnice 6.11.

Nejprve se z grafu 6.8 implicitních funkcí  $P21x(t1) = P12x(t2)$  a  $P21y(t1) = P12y(t2)$  určí přibližně hodnoty  $t1$  a  $t2$ . Červená křivka odpovídá podmínce rovnosti



Obrázek 6.7: Místa protnutí obou trajektorií

$x$  souřadnic a modrá  $y$  souřadnic obou bodů. Průsečík červené a modré křivky tak splňují rovnici (6.11). Vzhledem k tomu, že z obrázku 6.7 je zřejmé, že trajektorie se protnou dvakrát, odpovídají tomu i dva průsečíky na obrázku 6.8, je nutné určit  $t_1$  i  $t_2$  pro oba průsečíky. Časy se z rovnice (6.11) musí vypočítat numericky, protože pro obě proměnné  $t_1$  i  $t_2$  je tato rovnice transcendentní.

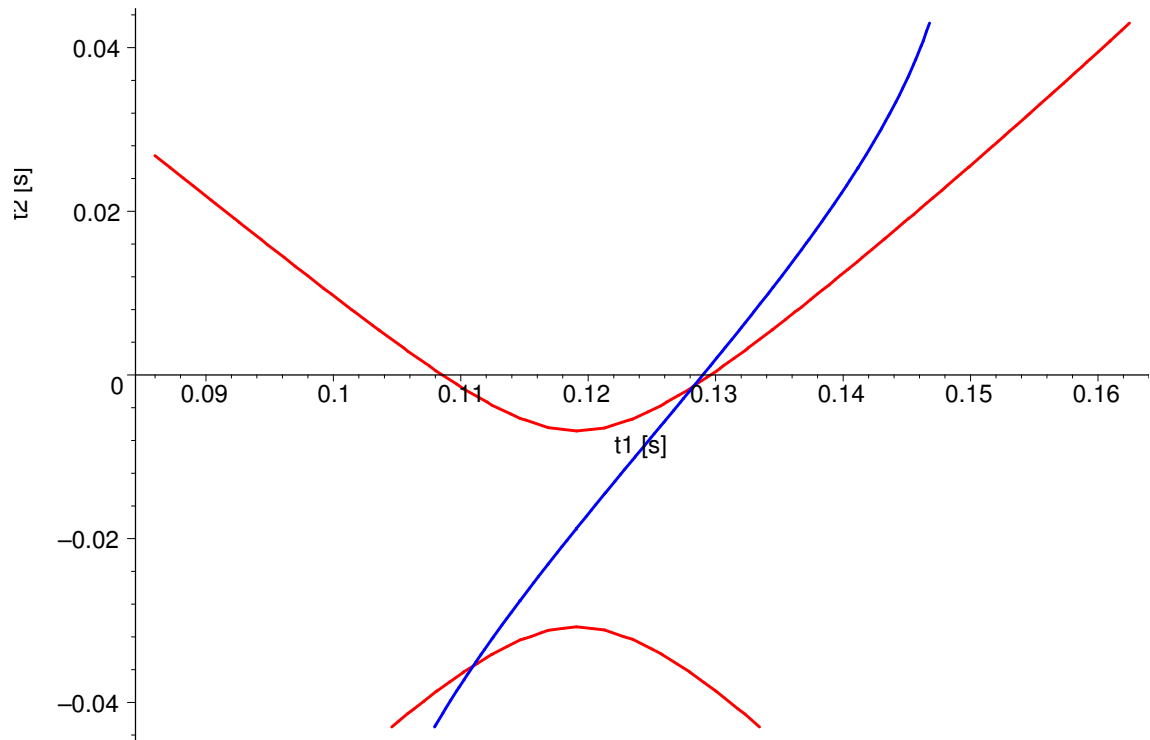
$$t_1 = 0.1109905474, t_2 = -0.03550883771 \text{ pro horní průsečík}$$

$$t_1 = 0.1282680224, t_2 = -0.001375382255 \text{ pro dolní průsečík.}$$

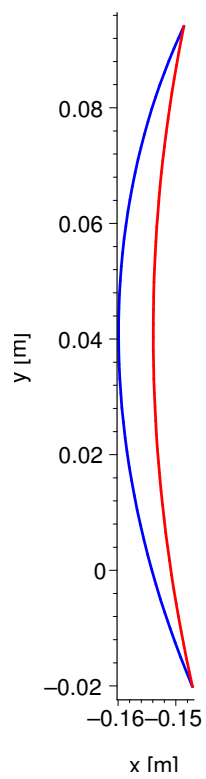
Nyní lze nakreslit přesný tvar jednou přesečené plochy, viz obrázek 6.9. Aby takové plochy nevznikaly, musí se nůž otáčet rychleji, nebo musí být nižší maximální pracovní rychlost stroje.

Z obrázku 6.9 je zřejmé, že tato plocha zanikne pokud se červená i modrá křivka pouze dotknou. V tom případě se oba nože musí nacházet v zadní úvrati, kdy je jejich trajektorie kolmá na směr pojezdu. Souřadnice  $x$  bodů  $P_{12}$  i  $P_{21}$  musí být shodné a vektor rychlosti obou bodů v tomto okamžiku je kolmý na směr pojezdu, tedy složka rychlosti  $V$  v ose  $x$  musí být rovna nule. Oba nože tuto podmínku dosáhnou v různých časech.





Obrázek 6.8: Grafy implicitních funkcí



Obrázek 6.9: Detail jednou přesečené plochy

Označme proto:  $V1$  – Vektor rychlosti bodu  $P12$   
 $V2$  – Vektor rychlosti bodu  $P21$   
 $T1$  – Čas průchodu bodu  $P12$  bodem dotyku trajektorií  
 $T2$  – Čas průchodu bodu  $P21$  bodem dotyku trajektorií.

Vektory rychlostí  $V1$  a  $V2$  jsou:

$$V1 = \begin{bmatrix} -R2 \sin(\omega T1 + \alpha2) \omega + V \\ R2 \cos(\omega T1 + \alpha2) \omega \end{bmatrix}, \quad V2 = \begin{bmatrix} R1 \sin(\omega T2 + \alpha1) \omega + V \\ -R1 \cos(\omega T2 + \alpha1) \omega \end{bmatrix}. \quad (6.12)$$

Požadavky  $V1_x = 0$  a  $V2_x = 0$  jsou splněny pro časy:

$$T1 = \left[ \frac{-\left(\alpha2 + \arcsin\left(\frac{V}{R2 \omega}\right)\right)}{\omega}, \pi - \frac{-\left(\alpha2 + \arcsin\left(\frac{V}{R2 \omega}\right)\right)}{\omega} \right] \\ T2 = \left[ \frac{-\left(\alpha1 + \arcsin\left(\frac{V}{R1 \omega}\right)\right)}{\omega}, \pi + \frac{-\left(\alpha1 + \arcsin\left(\frac{V}{R1 \omega}\right)\right)}{\omega} \right] \quad (6.13)$$

O tom, která z matematických řešení (6.13) je správné, se rozhodne dosazením výsledných hodnot do rovnice (6.12). Správná jsou ta řešení, která vedou k  $V1_y \leq 0$  a  $V2_y \leq 0$ , protože v okamžiku průchodu bodem dotyku musí být rychlost nože v ose  $y$  záporná, jako důsledek rotace nože proti směru pohybu hodinových ručiček.

Po dosazení zjistíme, že správným časem je pro bod  $P12$  druhá hodnota času  $T1$  a pro bod  $P21$  je správným časem první hodnota  $T2$ , viz rovnice (6.13).

Pokud jsou známy časy průchodů bodů  $P12$  a  $P21$  bodem dotyku jejich trajektorií, pak je možné tyto časy dosadit do rovnice (6.5) a zjistit tak jejich souřadnice v místě dotyku jejich trajektorií:

$$P12 = \left[ \frac{-\left(\sqrt{R2^2 \omega^2 - V^2} + V \alpha2 - V \pi + V \arcsin\left(\frac{V}{R2 \omega}\right)\right)}{\omega}, \frac{V}{\omega} \right] \\ P21 = \left[ \frac{-\left(\sqrt{R1^2 \omega^2 - V^2} + V \alpha1 + V \arcsin\left(\frac{V}{R1 \omega}\right)\right)}{\omega}, \frac{V}{\omega} \right]. \quad (6.14)$$

Vzhledem k tomu že jde o bod dotyku musí být souřadnice bodů  $P12$  a  $P21$  shodné. Pro osu  $y$  je to splněno, podmínka rovnosti pro osu  $x$  z rovnice (6.14) vede

k podmínice:

$$-\sqrt{R_2^2 \omega^2 - V^2} - V(\alpha_2 + \pi - \varphi_1) = \sqrt{R_1^2 \omega^2 - V^2} + V(\alpha_1 + \varphi_2) \quad (6.15)$$

kde  $\varphi_1 = \arcsin\left(\frac{V}{R_2 \omega}\right)$ ,  $\varphi_2 = \arcsin\left(\frac{V}{R_1 \omega}\right)$ .

Rovnici (6.15) je možné zjednodušit dosazením  $\omega = KV$ . V nové rovnici se  $\omega$  i  $V$  vykrátí:

$$-\sqrt{R_2^2 K^2 - 1 - \alpha_2 + \pi - \arcsin\left(\frac{1}{R_2 K}\right)} = \sqrt{R_1^2 K^2 - 1 + \alpha_1 + \arcsin\left(\frac{1}{R_1 K}\right)}. \quad (6.16)$$

Velikosti úhlů  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  lze vyjádřit pomocí základních rozměrů žacího ústrojí.

$$\alpha_1 = \arcsin\left(\frac{b}{2R_1}\right), \quad \alpha_2 = \arcsin\left(\frac{b}{2R_2}\right) \quad (6.17)$$

Po dosazení za  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$ , (6.17) a poloměrů  $R_1$  a  $R_2$ , (6.3) do rovnice (6.16), obdržíme výslednou rovnici:

$$-\sqrt{\frac{\varphi_1 K^2}{4} - 1 - \arcsin\left(\frac{b}{\sqrt{\varphi_1}}\right)} + \pi - \arcsin\left(\frac{2}{\sqrt{\varphi_1 K}}\right) + \sqrt{\frac{\varphi_2 K^2}{4} - 1 + \arcsin\left(\frac{b}{\sqrt{\varphi_2}}\right)} + \arcsin\left(\frac{2}{\sqrt{\varphi_2 K}}\right) = 0, \quad (6.18)$$

kde:

$$\varphi_1 = 4R^2 - 8Rd + 8Ra + 4d^2 - 8da + 4a^2 + b^2$$

$$\varphi_2 = 4R^2 - 8Rd + 4d^2 + b^2$$

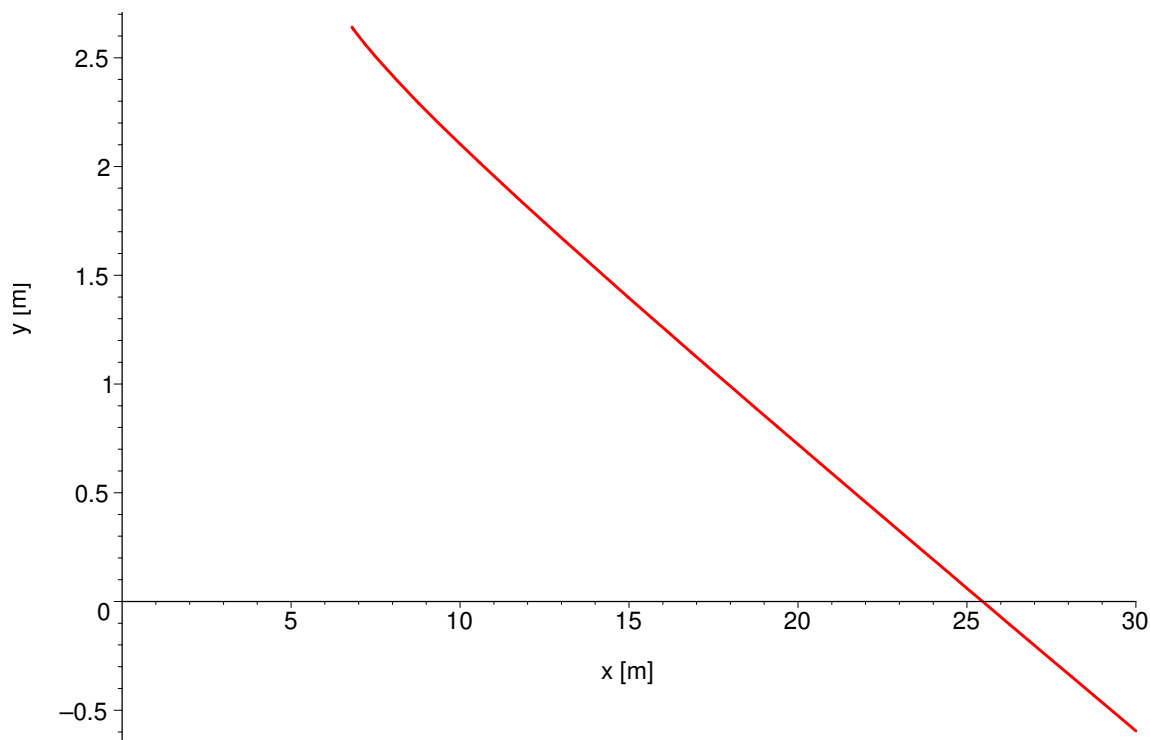
Tato výsledná rovnice slouží pro výpočet koeficientu  $K$ . Výpočet je nutné provádět numericky, protože rovnice (6.7) je pro  $K$  transcendentní. Výsledná hodnota koeficientu  $K$  je závislá pouze na základních rozměrech žacího disku s noži, tedy na délce aktivního ostří nože  $a$ , šířce nože  $b$ , vzdálenosti montážního otvoru nože od jeho vnitřní hrany  $d$  a poloměru rotace  $R$ , viz obrázek 6.3.

Použití rovnice (6.18) je tak naprosto univerzální. Stačí znát základní parametry diskové žací jednotky a podle nich lze snadno vypočítat parametr  $K$ . Díky vypočtenému parametru  $K$  lze jednoduše navrhnout limitní pracovní rychlost při daných otáčkách disku, nebo naopak otáčky disku při zvolené maximální pracovní rychlosti. Ostří žacího nože bude maximálně využito po celé jeho aktivní délce při podmínce, že veškerá plocha bude přesečena minimálně dvakrát. V případě výpadku jednoho z nožů, jenž může být způsobeno nárazem nože na překážku, bude veškerá

sklizená plocha dokonale posečená. Pokud dosadíme konkrétní rozměry žacího stroje Pöttinger Novacat 402, viz. (6.1), rovnice (6.18) přejde do tvaru:

$$-\sqrt{0.07625 K^2 - 1} + 3.22167 - \arcsin\left(\frac{3.62143}{K}\right) + \sqrt{0.02165 K^2 - 1} + \arcsin\left(\frac{6.79628}{K}\right) = 0 \quad (6.19)$$

Levou stranu rovnice (6.19) je možné znázornit v grafu jako funkci proměnné  $K$ , viz graf na obrázku 6.10. Z tohoto grafu je možné určit přibližnou hodnotu  $K$ ,



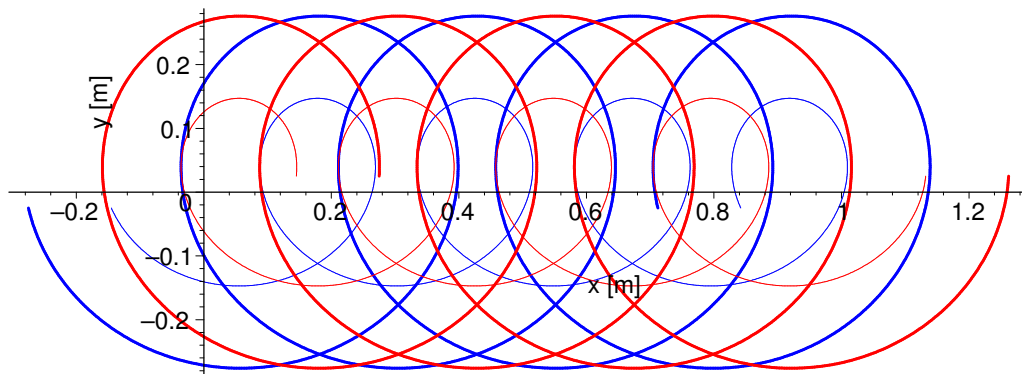
Obrázek 6.10: Graf funkčních hodnot levé strany rovnice (6.19)

kdy je rovnice (6.19) splněna a přesnou hodnotu  $K$  dopočítat numericky iteračními metodami.

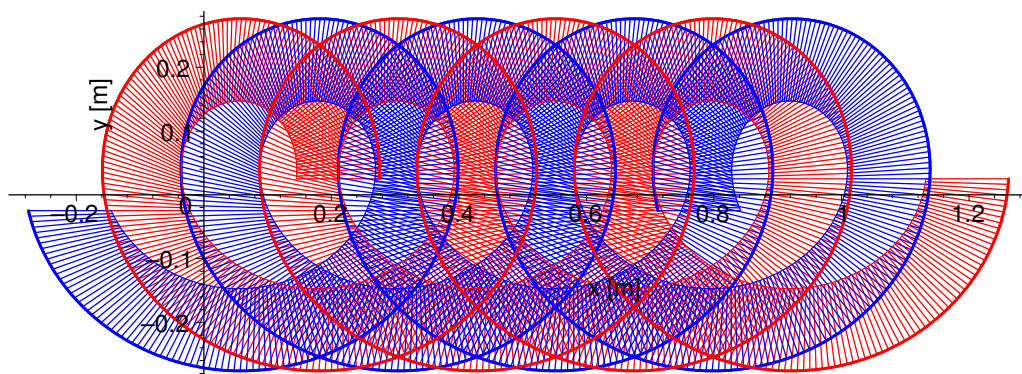
$$K = 25.46382939.$$

Oproti původní hodnotě viz poměr (6.10) v části 6.1, se musí hodnota  $K$  zvýšit 1.045551654 krát.

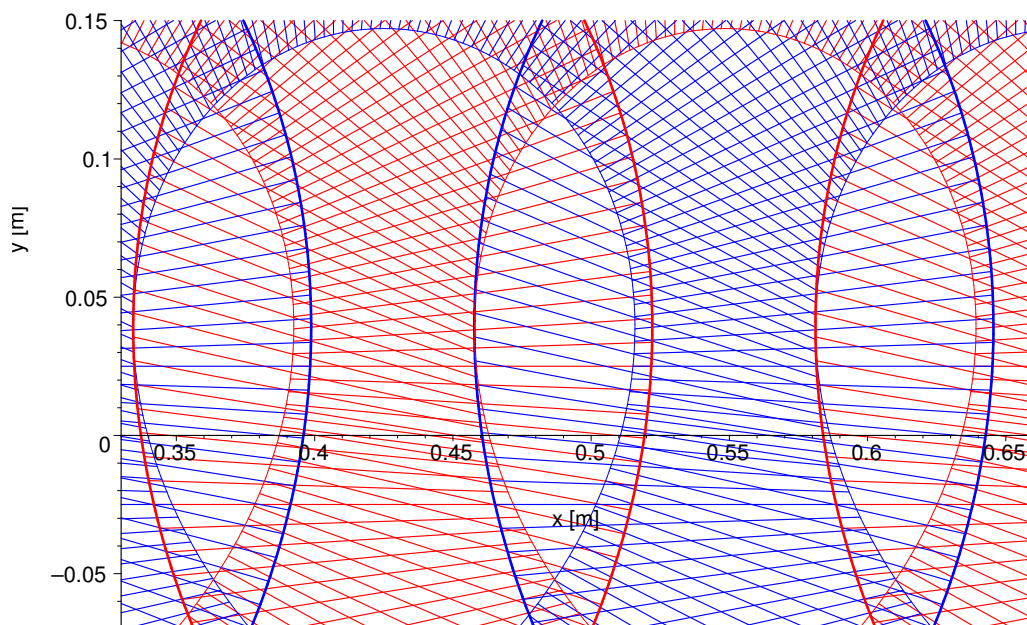
Na závěr je možné použít nové hodnoty průměru mezi pojezdovou rychlostí  $V$  a úhlovou rychlostí  $\omega$  a vykreslit nové grafy popisující pohyb nožů. Trajektorie bodů  $P11$ ,  $P12$ ,  $P21$  a  $P22$  je vykreslena na obrázku 6.11. Pokrytí sečené plochy je znázorněno na obrázku 6.12. Veškerá plocha je přesečena nejméně dvakrát. To je jasně patrné z detailu 6.13.



Obrázek 6.11: Nová podoba trajektorie nožů



Obrázek 6.12: Pokrytí sečené plochy



Obrázek 6.13: Detail sečené plochy



# Kapitola 7

## Závěr

Bakalářská práce se zabývá stručnou historií a rozdělením žacích strojů do základních skupin. Stroje jsou rozděleny dle principu řezu a konstrukce. Nejčastěji používanými žacími stroji jsou rotační žací stroje. Při sklizni píce v zemědělství pak diskové žací stroje. Jsou lehké, výkonné a konstrukčně poměrně jednoduché. Vyrábějí je všichni přední výrobci zemědělských strojů jako je například Agrostroj, Pöttinger, Krone, Claas, Lely, Deutz-Fahr a mnozí další.

Dále je v této práci popsán konkrétní představitel od rakouské firmy Pöttinger. Jedná se o moderní žací stroj Pöttinger Novacat 402. Popis je zaměřen na konstrukci, jeho technické řešení, převodová ústrojí, hydraulické mechanismy i komfortní výbavu stroje. Na tomto žacím stroji byly změřeny základní rozměry žacího ústrojí sloužící k výpočtům v poslední části práce.

Poslední část bakalářské práce se zabývá kinematikou diskového žacího ústrojí. Je zde popsán pohyb žacího nože a vypočítán ideální poměr mezi úhlovou a pojezdovou rychlostí nože. Velikost tohoto poměru je 24,35. Při tomto poměru bude celá délka nože maximálně využita. Druhý výpočet uvažuje riziko vysazení jednoho nože v případě nárazu na překážku. Je tedy nutné změnit poměr mezi úhlovou a pojezdovou rychlostí tak, aby veškerá plocha byla posečena dvakrát. Výsledkem je naprosto

univerzální rovnice,

$$-\sqrt{\frac{\%1 K^2}{4}} - 1 - \arcsin\left(\frac{b}{\sqrt{\%1}}\right) + \pi - \arcsin\left(\frac{2}{\sqrt{\%1 K}}\right) + \sqrt{\frac{\%2 K^2}{4}} - 1 + \arcsin\left(\frac{b}{\sqrt{\%2}}\right) + \arcsin\left(\frac{2}{\sqrt{\%2 K}}\right) = 0,$$

$$\begin{aligned} \text{kde:} \quad \%1 &= 4 R^2 - 8 R d + 8 R a + 4 d^2 - 8 d a + 4 a^2 + b^2 \\ \%2 &= 4 R^2 - 8 R d + 4 d^2 + b^2, \end{aligned}$$

kterou je možné použít k numerickému výpočtu poměru  $K = \frac{V}{\omega}$ , kde  $V$  je pracovní rychlost stroje a  $\omega$  je úhlová rychlost nože. Poměr  $K$  je závislý pouze na základních rozměrech žacího disku s noži, tedy na délce aktivního ostří nože  $a$ , šířce nože  $b$ , vzdálenosti montážního otvoru nože od jeho vnitřní hrany  $d$  a poloměru rotace  $R$ . Po dosazení konkrétních rozměrů obdržíme přesný poměr  $K$ , jenž je oproti původnímu poměru 1,045 krát větší. Pak bude veškerá plocha přesečena nejméně dvakrát a nevzniknou vynechané plochy.

Pro případ, že by bylo vhodné plochu přesekat vícekrát než jen dvakrát, lze postup, uvedený v práci snadno zobecnit.



# Literatura

- [1] Aurel, A. a kol.: *Žacie stoly zberových strojov* Edícia vedeckej a odbornej literatúry - Strojnícká fakulta TU v Košiciach, 2000, Košice, ISBN 80-7099-533-5
- [2] *Maple User Manual*. Maplesoft, 2011, Waterloo Canada, ISBN 978-1-926902-07-4
- [3] Kumhála, F.: *Nové typy řacích strojů*. Ústav zemědělských a potravinářských informací, 1996, Praha, ISSN 0862-3562
- [4] Neubauer, K. a kolektiv.: *Stroje pro rostlinnou výrobu*. Státní zemědělské nakladatelství, 1989, Praha, ISBN 80-209-0075-6
- [5] Poničan, J. a Maroš, K.: *Stroje pre rastlinnú výrobu*. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2008, Nitra, ISBN 978-80-552-0142-9
- [6] Šponer, P.: *Žací stroje*. Bakalářská práce, Mendelova univerzita v Brně, 2010, Brno
- [7] Šustr, M.: *Komunální techniky pro údržbu veřejné zeleně*. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, 2014, Brno
- [8] Šmíd, V.: *Žací stroje s úpravou pokosu*. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, 2007, Brno
- [9] Vomela, T.: *Stroje pro drcení dřevní hmoty a mulčování*. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně, 2013, Brno
- [10] Břečka, J. a kolektiv.: *Stroje pro sklizeň píce a obilnin*. Česká zemědělská univerzita Praha, 2001, Praha, ISBN 80-213-0738-2

### Elektronické informační zdroje:

- [11] Pöttinger: *NOVACAT Heck-Scheibenmähwerke*. Internetová stránka výrobce: [http://www.xn-pttinger-n4a.at/de\\_at/Produkte/Detail/5/novacat-heck-scheibenmahwerke](http://www.xn-pttinger-n4a.at/de_at/Produkte/Detail/5/novacat-heck-scheibenmahwerke), 10.3.2015
- [12] Lely: *Forage harvesting*. Internetová stránka výrobce: [http://www.lely.com/en/forage-harvesting/mowing/triplo-combinations/why-lely\\_8/cutter-bar\\_5](http://www.lely.com/en/forage-harvesting/mowing/triplo-combinations/why-lely_8/cutter-bar_5), 20.3.2015
- [13] Namir: *Vřetenové sekačky*. Internetová stránka distributora: <http://www.namir.cz/sekacky/vretenove/>, 28.2.2015
- [14] Novotný, F.: *Milníky v historii zavádění traktorů do zemědělství*. [www.starestroje.cz/historie/zavadeni.traktoru.php](http://www.starestroje.cz/historie/zavadeni.traktoru.php), 10.1.2015
- [15] Mechanizaceweb: *Z historie žacích strojů*. Internetová stránka Mechnizace zemědělství: <http://mechanizaceweb.cz/z-historie-zacich-stroju/>, 17.1.2015
- [16] Mechanizaceweb: *Kapitoly z historie techniky pro sklizeň obilnin ve světě*. Internetová stránka Mechnizace zemědělství: <http://mechanizaceweb.cz/kapitoly-z-historie-techniky-pro-sklizen-obilnin-ve-svete-1/>, 15.1.2015