

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**Fakulta strojní**



**KONSTRUKCE NAVÍJECÍHO STROJE  
S DIGITÁLNÍM VINUTÍM**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Liberec 2014**

**Bc. Jiří Riegr**



# KONSTRUKCE NAVÍJECÍHO STROJE S DIGITÁLNÍM VINUTÍM

## Diplomová práce

Studijní program: N 2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302 T010 Konstrukce strojů a zařízení

Autor práce: **Bc. Jiří Riegr**

Vedoucí práce: Ing. Jozef Kaniok, Ph.D.

Číslo práce: **KTS-M264**



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se vztahuje zákon č.121/2000 Sb. O právu autorském, zejména paragraf 60 – školní díla.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL, v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou jsem práci vypracoval samostatně, s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

## **Poděkování**

Děkuji panu Ing. Jozefu Kaniokovi, Ph.D a panu Ing. Vratislavu Procházkovi, Csc. za cenné rady a připomínky při řešení mé diplomové práce.

Dále bych rád poděkoval Katedře textilních a jednoúčelových strojů za poskytnutí technického vybavení a prostředků k realizaci konstrukce navíjecího stroje.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá konstrukcí modelu navíjecího stroje pro navíjení cívek digitálním vinutím, teoretickým rozbořem digitálního vinutí a tvorbou algoritmu pro tento typ vinutí. Konstrukční návrh je založen na aplikaci řízených pohonů při použití vícechodé vačky pro rozvádění příze. Stroj je namodelován a výkresy jsou vytvořeny v programu Creo parametric.

## **Klíčová slova**

navíjecí stroj, návin , rozvádění příze, digitální vinutí, řízené pohony

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the construction of the winding machine model for winding packages with digital winding. It is carried out theoretical analysis of digital winding and creation the algorithm for this type of winding. Engineering design is based on the application of controlled drives using multiple turn cylindrical cam for yarn distribution. The machine is modeled and drawings are created in Creo Parametric.

## **Keywords**

winding machine, package, yarn distribution, digital winding, driven motors

## Obsah

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Seznam použitých zkratk a symbolů.....               | 7  |
| 1 Úvod.....                                          | 8  |
| 2 Teoretická část .....                              | 9  |
| 2.1 Navíjení textilních cívek .....                  | 9  |
| 2.2 Paralelní vinutí .....                           | 10 |
| 2.3 Křížové vinutí.....                              | 11 |
| 2.3.1 Divoké vinutí .....                            | 11 |
| 2.3.2 Přesné křížové vinutí .....                    | 13 |
| 2.3.3 Dokonale přesné křížové vinutí .....           | 14 |
| 2.3.4 Digitální vinutí.....                          | 15 |
| 2.4 Mechanismy pro tvorbu digitálního vinutí.....    | 16 |
| 2.4.1 Rozvádění rotujícími křídly .....              | 17 |
| 2.4.2 Rozvádění pomocí krokového motoru.....         | 17 |
| 2.4.3 Rozvádění pomocí vačky .....                   | 18 |
| 2.4.4 Rozvádění pomocí rozváděcího bubnu .....       | 19 |
| 2.5 Teoretický rozbor digitálního vinutí .....       | 20 |
| 3 Výpočtová část.....                                | 23 |
| 3.1 Algoritmus pro digitální vinutí.....             | 23 |
| 3.1.1 Algoritmus pro odměřování poloměru návínu..... | 27 |
| 4 Konstrukční část .....                             | 30 |
| 4.1 Původní určení upravovaného stroje .....         | 30 |
| 4.2 Úpravy.....                                      | 31 |
| 4.2.1 Umístění pohonů a převody .....                | 31 |
| 4.2.2 Úprava vícechodé vačky .....                   | 33 |
| 4.2.3 Mechanismus upínání dutinky .....              | 34 |
| 4.2.4 Úprava polohy opěrného válečku .....           | 34 |
| 4.3 Konečná podoba stroje a jeho části .....         | 35 |
| 5 Závěr .....                                        | 37 |
| Seznam použité literatury .....                      | 38 |
| Seznam obrázků.....                                  | 39 |
| Seznam příloh .....                                  | 40 |

## Seznam použitých zkratek a symbolů

|                      |                                                                     |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------|
| R                    | Soukací poměr                                                       |
| A                    | Čítatel soukacího poměru                                            |
| C                    | Jmenovatel soukacího poměru                                         |
| H                    | Počet chodů vačky                                                   |
| PKV                  | Přesné křížové vinutí                                               |
| DPKV                 | Dokonale přesné křížové vinutí                                      |
| $\alpha$ [°]         | Úhel stoupání ovinů                                                 |
| $\beta$ [°]          | Úhel křížení                                                        |
| $z$ [mm]             | Vzdálenost sousedních navíjených nití                               |
| $t$ [mm]             | Tloušťka niti                                                       |
| $o$ [mm]             | Osová vzdálenost navíjených nití                                    |
| $B$ [mm]             | Šířka cívky                                                         |
| $s$ [mm]             | Stoupání ovinů                                                      |
| $d_{\min}$ [mm]      | Malý průměr cívky                                                   |
| $d_{\max}$ [mm]      | Velký průměr cívky                                                  |
| $R$ [mm]             | Okamžitý poloměr navíjení                                           |
| $r_{\min}$ [mm]      | Minimální poloměr navíjení                                          |
| $r_{\max}$ [mm]      | Maximální poloměr navíjení                                          |
| $k$ [-]              | Počet ovinů v jedné vrstvě                                          |
| $\eta$ [rad]         | Úhel vratu                                                          |
| $i_{\text{cel}}$ [-] | Převodový poměr mezi servomotory                                    |
| $i_1$ [-]            | Hrubý převodový poměr                                               |
| $i_2$ [-]            | Jemný převodový poměr                                               |
| $i_o$ [-]            | Převodový poměr odměřování                                          |
| $i_r$ [-]            | Převodový poměr rozváděcího mechanismu                              |
| $i_v$ [-]            | Převodový poměr pohonu vřetene                                      |
| $r_c$ [mm]           | Součet poloměru návínu a poloměru opěrného válečku                  |
| $r_{ov}$ [mm]        | Poloměr opěrného válečku                                            |
| $r_r$ [mm]           | Poloměr otáčení vřetenového ramene                                  |
| $x_{ov}$ [mm]        | Vzdálenost os otáčení opěrného válečku a vřet. ramene               |
| $\gamma$ [°]         | Úhel odklonu vřetenového ramene od nulové polohy                    |
| $\delta$ [°]         | Úhel odklonu vřetenového ramene od polohy dané poloměrem $r_{\min}$ |
| $n_i$                | Počet hran zaznamenaný inkrementálním čidlem                        |

# 1 Úvod

Potřeba navíjení vzniká ze samé podstaty textilní výroby. Procesy při výrobě textilu jsou diskontinuální, a textilní útvary je nutné na konci jedné operace nějakým způsobem svinout a na začátku následující operace opět odvinout z vhodného tělesa. Toto se provádí již s pramenem po mykání jeho skládáním do konve, přes přást navíjený na křídlovou cívku až po přesoukání příze z potáče na cívku s křížovým návínem. Nejrozumnější typy návínů jsou tedy součástí textilní praxe od nepaměti. Některé typy vinutí se však začaly používat relativně nedávno a to v souvislosti s nástupem elektronického řízení pohonů.

Jedním z těchto nových typů vinutí je digitální vinutí. Digitální vinutí bylo vyvinuto v sedmdesátých letech minulého století švýcarskou firmou SSM jako náhrada nahodilého nebo též divokého křížového vinutí. Nitě jsou navíjeny s konstantními vzdálenostmi, takže nevzniká pásmové vinutí. Navíc se během navíjení úhel křížení mění jen v určitém intervalu, což je výhodné pro barvení. Mechanismus pro digitální vinutí je však díky dvěma pohonům složitější a tím i dražší, než mechanismus pro divoké vinutí, a proto se digitální vinutí využívá zatím jen v omezené míře. Další nevýhodou tohoto typu vinutí je, že se navíjecí rychlost v průběhu navíjení mění a také z toho důvodu se nepoužívá u technologických např. bezvřetenových dopřádacích strojů. Aplikace na technologické stroje by vyžadovala přesné řízení otáček cívky tak, aby byla zachována konstantní rychlost navíjení.

Cílem této práce bude navrhnout model navíjecího stroje tak, aby na něm bylo možné odzkoušet navržené algoritmy pro tvorbu digitálního vinutí a posléze navíjet náviny. Nebudeme se zabývat navíjením nití otevřeným vinutím pro barvení, ale spíše navíjením silnějších lanek z textilních materiálů uzavřeným vinutím a vytvořením co nejkompaktnějších návínů.

Teoretická část se věnuje shrnutí poznatků o různých typech vinutí, zvláště pak o vinutí digitálním a jeho detailním rozboru. Výpočtová část se soustředí na odvození algoritmů pro tvorbu tohoto typu vinutí. A konečně konstrukční část rozebírá jednotlivé uzly stroje a úpravy, které bylo potřeba provést na stroji původně určeném k tvorbě přesného křížového vinutí.

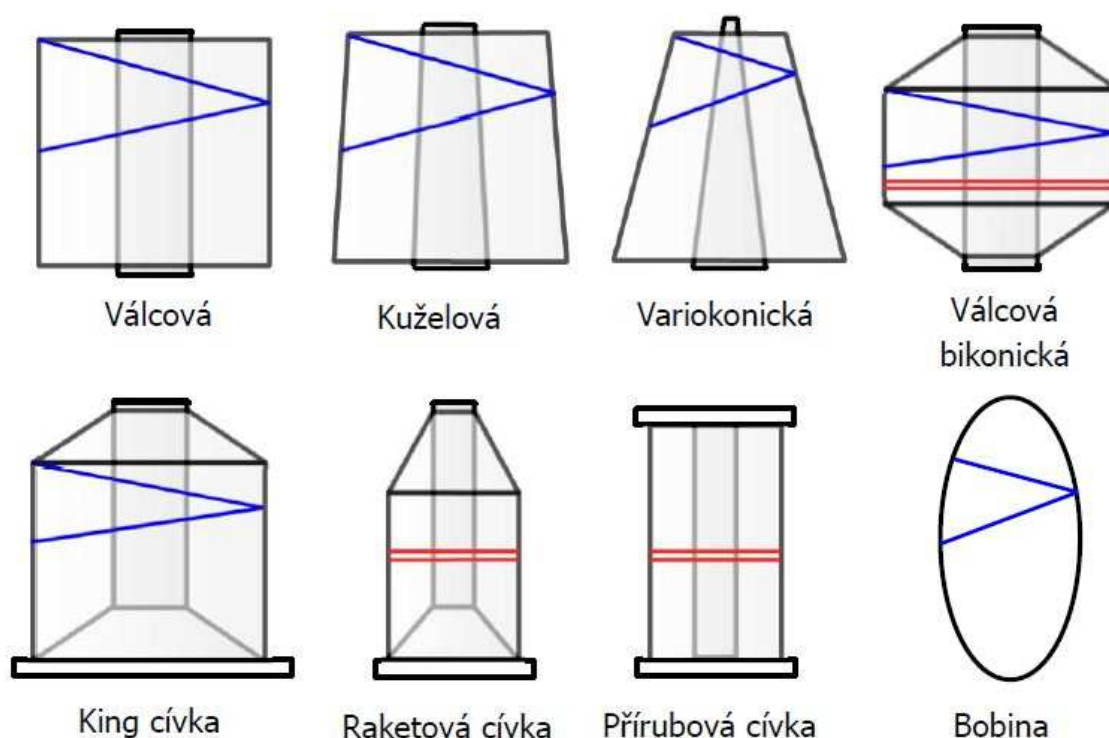


## 2 Teoretická část

### 2.1 Navíjení textilních cívek

Proces tvorby návínu na cívce nazýváme navíjením. Navíjení nitě probíhá tak, že se složením navíjecího a rozváděcího pohybu vytváří na povrchu cívky nekonečná šroubovice. Navíjecí pohyb vznikne rotací cívky kolem vlastní osy, přičemž pro různé druhy vinutí může být cívka poháněná osově, nebo obvodově. Rozváděcí pohyb je přímočarý vratný a je realizován rozváděcím mechanismem. Pohyb rozváděcího mechanismu je svázán s otáčením cívky. Tato vazba může být realizována mechanicky, pomocí převodů, nebo elektronicky s využitím řízených pohonů. Pro různé typy vinutí pak během navíjení může docházet k plynulým (DPKV) nebo skokovým změnám převodového poměru mezi otáčením cívky a rozváděním.

Pro různé účely použití jsou vhodné různé tvary cívek a typy vinutí. Příklady tvarů cívek můžeme vidět na obrázku 1. Je zde také naznačeno jaký typ vinutí se u jednotlivých typů cívek používá. Druhy vinutí budou popsány v následujících kapitolách.



Obrázek 1: Tvary cívek používaných v textilní výrobě

Pro potřeby této diplomové práce se budeme hlouběji zabývat pouze cívkami válcového tvaru u kterých můžeme definovat následující parametry:

$d_{\min}$  [mm] ... malý průměr návinu

$d_{\max}$  [mm] ... velký průměr návinu

$B$  [mm] ... šířka návinu

$\alpha$  [°] ... úhel stoupání ovinů

$\beta$  [°] ... úhel křížení ovinů

$s$ [mm] ... stoupání ovinů

$R$  [-] ... soukací poměr

První tři parametry udávají velikost cívky a jsou pro případ válcové cívky konstantami. Význam těchto parametrů je znázorněn na obrázku 3 až na soukací poměr, který lze definovat vztahem:

$$R = \frac{\text{Počet otáček cívky}}{\text{Dvojzdvih rozváděče}} \quad (1)$$

Dle toho jak se v průběhu navíjení chovají parametry návinu rozlišujeme různé druhy vinutí – viz tabulka 1.

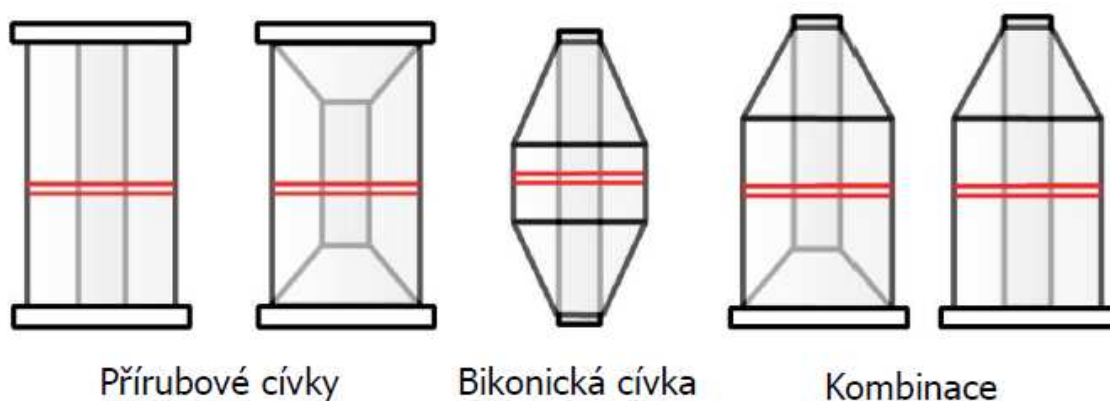
**Tabulka 1: Parametry vinutí**

|                                        | Křížové vinutí       |                         |                         |                             | Paralelní vinutí                 |
|----------------------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
|                                        | Divoké               | Přesné                  | DPKV                    | Digitální                   |                                  |
| Soukací poměr<br>$R$ [-]               | $\neq \text{konst.}$ | $= \text{konst.}$       | $\approx \text{konst.}$ | Mění se skokem              | Neudává se<br>$\approx 100-1000$ |
| Úhel stoupání ovinů<br>$\alpha$ [°]    | $= \text{konst.}$    | $\neq \text{konst.}$    | $\neq \text{konst.}$    | $\text{konst.} \pm 3^\circ$ | $\approx 0^\circ$                |
| Vzdálenost sousedních nití<br>$z$ [mm] | $\neq \text{konst.}$ | $\approx \text{konst.}$ | $= \text{konst.}$       | $\approx \text{konst.}$     | $= \text{konst.}$                |

## 2.2 Paralelní vinutí

Paralelní vinutí vzniká kladením navíjených nití na cívku těsně vedle sebe s velmi malým stoupáním ovinů, které je zhruba shodné s tloušťkou nitě. Rozváděcí rychlost je tedy mnohem nižší, než rychlost navíjecí. Mechanismus rozvádění je tím pádem také relativně jednoduchý a navíjení je rychlé. Navíc se na cívku díky kladení nití těsně vedle sebe vejde hodně materiálu. Návin vytvořený paralelním vinutím však není

dostatečně soudržný, takže je nutné vytvořit buď bikonický návin, nebo navíjet na přírubové cívky, popřípadě vytvořit vhodnou kombinaci obojího – viz obrázek 2.



Obrázek 2: Druhy cívek navíjených paralelním vinutím

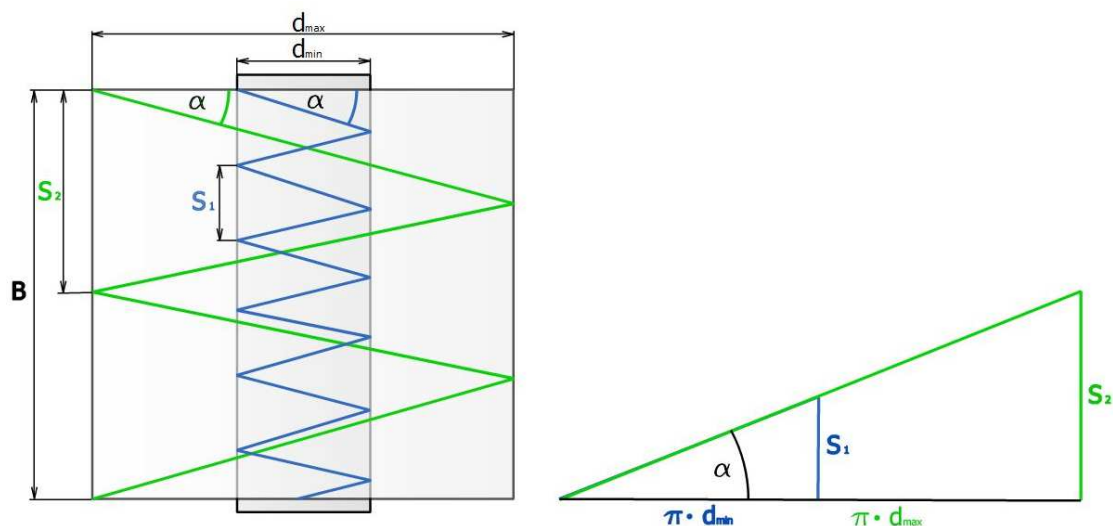
## 2.3 Křížové vinutí

Křížové vinutí vzniká překládáním navíjených nití přes sebe s určitým úhlem křížení. Takovéto náviny mají díky vzájemnému provázání obecně lepší soudržnost než cívky s paralelním vinutím. Podle vnitřní struktury návinu dělíme křížové vinutí na divoké a přesné, a dále na dokonale přesné a digitální. Specifika každého z uvedených vinutí jsou popsána níže.

### 2.3.1 Divoké vinutí

Cívka navinutá divokým (někdy též nahodilým) křížovým vinutím se vyznačuje konstantním úhlem stoupání ovinů. To je zaručeno svázáním rozváděcí rychlosti s obvodovou rychlostí cívky. V důsledku toho se v průběhu navíjení zvětšuje stoupání ovinů  $s$  a zmenšuje soukací poměr  $R$  – viz obrázek 3.

Díky konstantnímu úhlu  $\alpha$  jsou vlákna navzájem dobře provázaná a návin je stabilní. Na tuto cívku se díky měnící se vzdálenosti navíjených nití, vejde méně materiálu než na cívku navinutou např. PKV nebo paralelním vinutím. Návin je měkký a vhodný pro barvení. Cívku navinutou divokým vinutím na soukacím stroji firmy SSM můžeme vidět na obrázku 4.



Obrázek 3: Struktura cívky navinuté divokým vinutím



Obrázek 4: Kuželová a válcová cívka soukaná divokým vinutím [6]

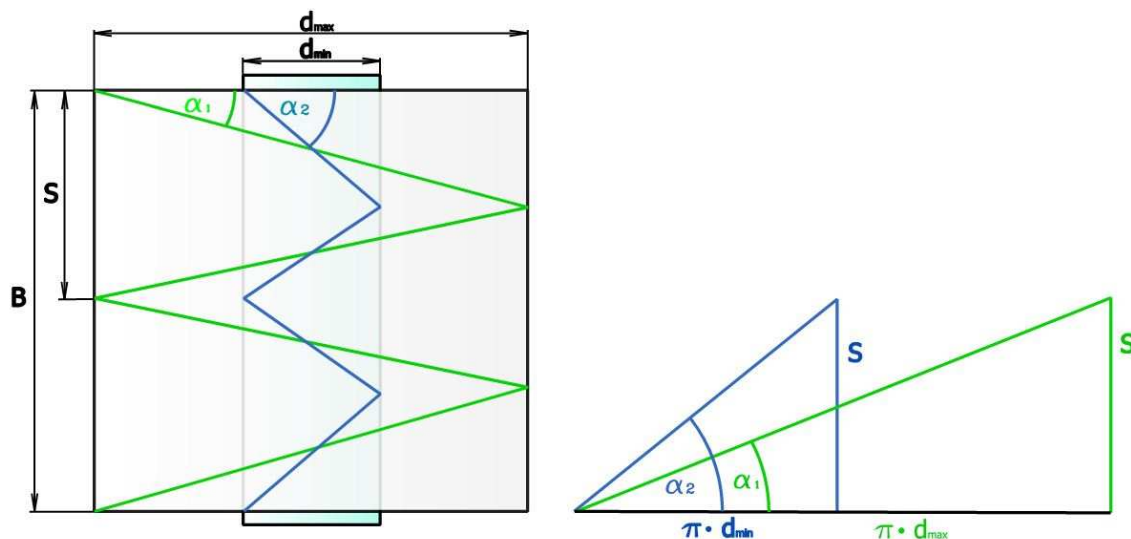
V okamžiku kdy se soukací poměr blíží číslům  $1/2$ ,  $1$ ,  $3/2$ ,  $2$  atd. dochází ke kladení několika vrstev navíjené příze na sebe. Jedná se o chybu návínu, která se nazývá pásmové vinutí. Pásmové vinutí způsobuje špatné odvíjení z cívky a spadávání více ovinů nitě najednou, čímž mohou vznikat přetrhy. Dále se v místě pásmového vinutí zvětšuje hustota nití a dochází zde k nedokonalému probarvení. Pásmové vinutí se odstraňuje různě u technologických a soukacích strojů. U technologických strojů, kde je důležitá konstantní rychlost navíjení se odstraňuje změnou převodového poměru mezi navíjecím válečkem a rozváděním, přičemž rychlost navíjecího válečku je konstantní. U soukacích strojů (na obrázku 4) se odstraňuje pravidelnými skokovými změnami rychlosti otáčení rozváděcího válečku tak, aby váleček po návínu proklouzl.

Další chybou návínu je u divokého vinutí hromadění příze na okrajích cívky. Tato chyba návínu se vyznačuje tím, že je na kraji cívky nahuštěno více příze než

v jejím středu. To je způsobeno tím, že rozváděcí mechanismus ať již vačkový nebo jiný není schopen v úvratí rozváděcího pohybu změnit smysl rozváděcí rychlosti okamžitě, ale s určitým přechodem. I při rozvádění příze rozváděcím válečkem přechází šroubovice na jeho povrchu v opačnou např. rádiusovým přechodem. V tom okamžiku se na okraji cívky navine více materiálu než uprostřed cívky. Rozdílná hustota cívky poté způsobuje např. nedokonalé probarvení příze. Tuto chybu náviny lze odstranit tzv. rozmazáváním krajů, kdy buď rozváděcí váleček nebo rozváděcí tyč koná přidavný vratný pohyb ve směru rozvádění.

### 2.3.2 Přesné křížové vinutí

Při navíjení cívek přesným křížovým vinutím zůstává konstantní soukací poměr a mění se úhel stoupání ovinů – viz obrázek 5. To je způsobeno tím, že v tomto případě je cívka poháněna vřetenem, na kterém je upevněna, konstantními otáčkami. Změna úhlu stoupání ovinů, může u cívek s velkým rozdílem počátečního a koncového poloměru navíjení způsobit, že se na počátku navíjení oviny stáhnou k sobě a navíjená cívka je tak u dutinky tenčí než na velkém průměru. Tento efekt lze odstranit nahrazením PKV digitálním vinutím.



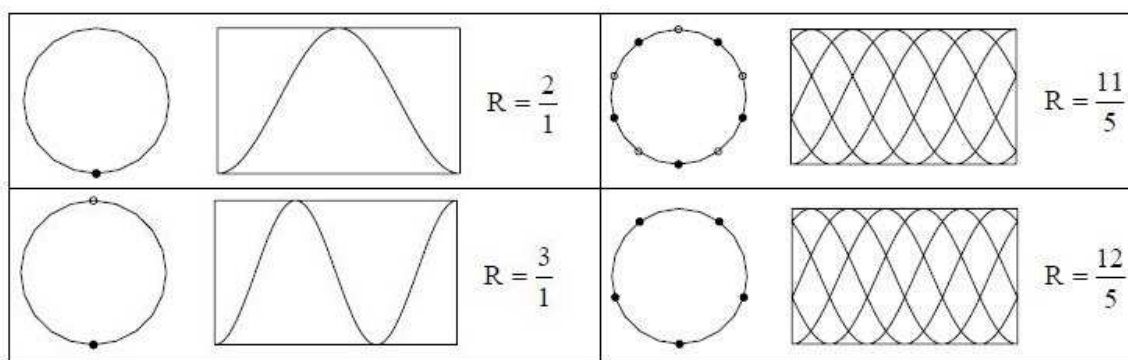
Obrázek 5: Struktura cívky navinuté přesným křížovým vinutím

Vzdálenost sousedních nití zůstává přibližně konstantní, ale nepatrně se zvláště u cívek s velkým rozdílem počátečního a koncového poloměru navíjení zvětšuje. Detailně bude změna vzdálenosti sousedních ovinů popsána v následující kapitole.

Dle vzdálenosti sousedních navíjených nití rozlišujeme uzavřené a otevřené PKV. Zpravidla se pro navíjení např. šicích nití používá uzavřené vinutí, kde se nitě kladou těsně vedle sebe s tím, že na čele cívky je pouze jeden, případně dva body vratu, které se posouvají po čele cívky o určitý úhel tak, aby následující navíjená nit ležela těsně vedle předešlé. Počet bodů vratu na čele cívky udává jmenovatel soukacího poměru **C**. U běžného PKV se tedy používají soukací poměry:  $R = 2/1, 3/1, \dots, 3/2, 5/2\dots$

$$R = \frac{A}{C} \quad (2)$$

Pro speciální aplikace je možné využít i navíjení otevřeným vinutím, kde je mezi sousedními nitěmi ponechána určitá mezera. Tato mezera může sloužit např. pro vysušení návinu po nanesení apretury na skleněné hedvábí. Cívka navinutá otevřeným typem vinutí se pak navíjí s více body vratu na čele cívky, čímž se zvýší její soudržnost. Vzdálenost navíjených nití je pak dána pouze počtem bodů vratu na čele cívky. Takže čím menší má být tato vzdálenost, tím větší musí být jmenovatel soukacího poměru **C** – viz obrázek 6. Při navíjení otevřeného PKV se používají např. převodové poměry:  $R = 64/12, 125/13$ , atp. [4].

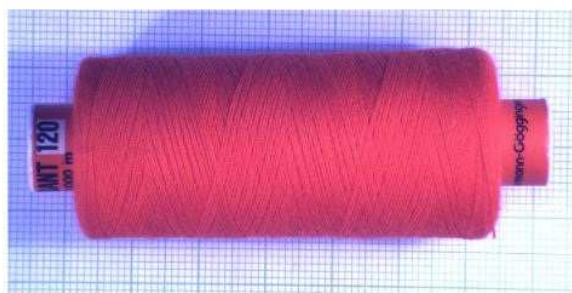


Obrázek 6: Počet bodů vratu pro různé soukací poměry [4]

### 2.3.3 Dokonale přesné křížové vinutí

Dokonale přesné křížové vinutí bylo vyvinuto na katedře Textilních a jednoúčelových strojů TUL Ing. Jozefem Kaniokem Ph.D. Jak název napovídá jedná se o způsob navíjení cívek, který vychází z PKV a zdokonaluje ho. Rozdíl mezi cívkou navinutou PKV a DPKV můžeme vidět na obrázku 7.





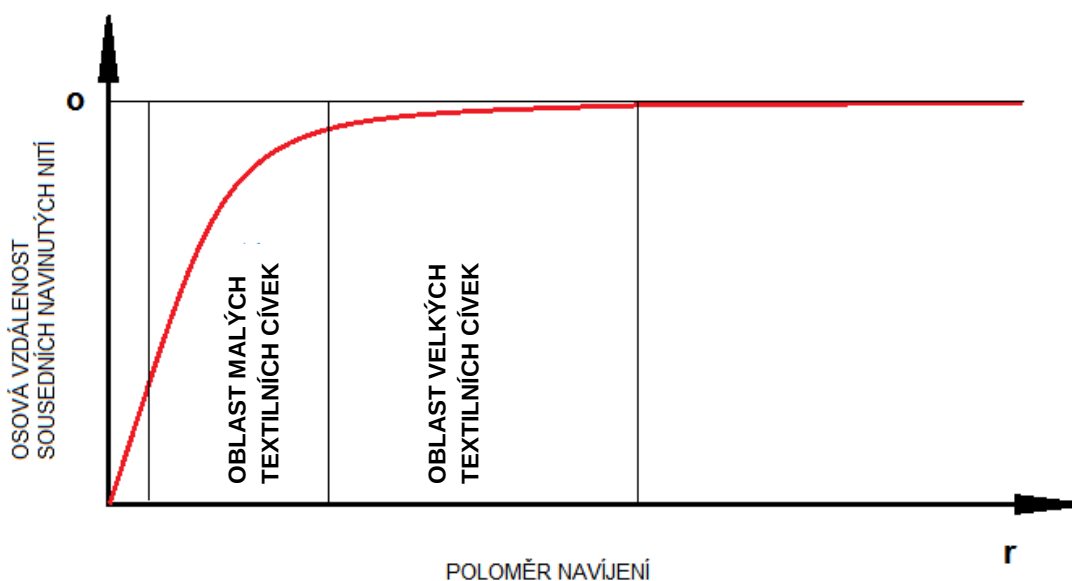
**PKV**



**DPKV**

**Obrázek 7: Rozdíl v hustotě cívky s návinem PKV a DPKV [1]**

U DPKV nedochází ke změně vzdálenosti sousedních navíjených nití ani při velkém rozdílu počátečního a koncového poloměru navíjení a tím se zvláště u malých textilních cívek, respektive cívek s velkým rozdílem počátečního a koncového poloměru navíjení dosahuje mnohem lepšího zaplnění cívky materiálem, než je tomu u PKV. Změna osové vzdálenosti navíjených nití u cívek s PKV je zobrazena na obrázku 8.



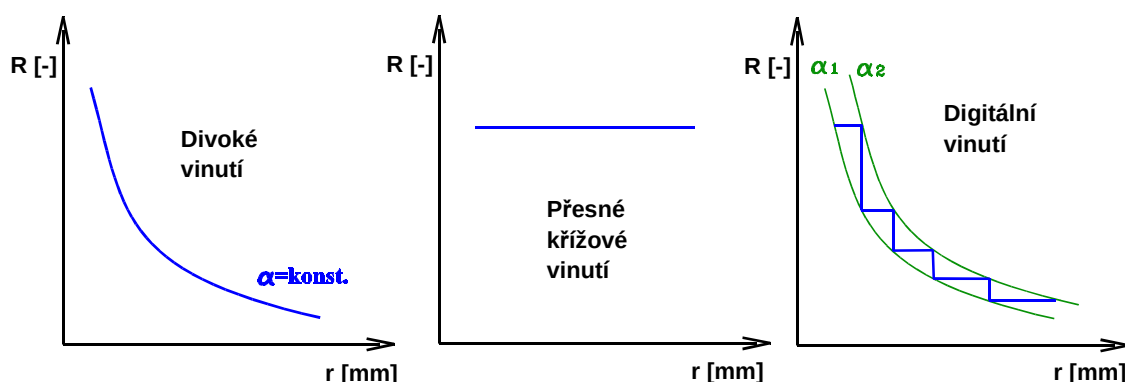
**Obrázek 8: Změna osové vzdálenosti nití u cívek s PKV**

Způsob navíjení je obdobný jako u PKV s tím, že se podle daného algoritmu mění převodový poměr mezi vřetenem cívky a rozváděcím mechanismem. A to buď pomocí vačky nebo dvou řízených pohonů.

#### 2.3.4 Digitální vinutí

Digitální vinutí bylo vyvinuto švýcarskou firmou SSM (Schärer, Schweiter, Mettler) pod značkou DIGICONE jako dokonalejší náhrada divokého vinutí.

Mechanismus je však výrazně složitější a tím také dražší než pro divoké vinutí. Nevzniká zde však ani pásmové vinutí, ani není třeba rozmazávání krajů. Vyznačuje se konstantní vzdáleností navíjených nití a přibližně konstantním úhlem stoupání ovinů. Úhel stoupání ovinů se mění v určitých zvolených mezích. Podle požadovaného úhlu křížení a počátečního poloměru navíjení se vypočte soukací poměr, který se bude vždy po dosažení mezního úhlu stoupání skokově měnit – viz obrázek 9. Hlouběji se způsobem navíjení a vztahy pro výpočet soukacích poměrů pro digitální vinutí budeme zabývat v kapitole „Teoretický rozbor digitálního vinutí“.



Obrázek 9: Průběh soukacího poměru v závislosti na poloměru navíjení

Digitální vinutí může být buď otevřené nebo uzavřené. Otevřené digitální vinutí se využívá u cívek určených k barvení, úhel stoupání se v tomto případě mění v rozsahu  $\pm 1 \div 3^\circ$  a cívky se navíjejí měkké. Naopak uzavřené vinutí lze využít k vměštění co největší délky textilie do daného objemu cívky. U digitálního vinutí nedochází k velkým změnám vzdálenosti nití díky tomu, že vrstvy navíjené jedním soukacím poměrem jsou relativně slabé. Úhel stoupání se v tomto případě může měnit i více – v rozmezí cca  $5^\circ$ . Aby se navinulo co nejvíce materiálu jsou takto navíjené cívky tvrdší než cívky pro barvení.

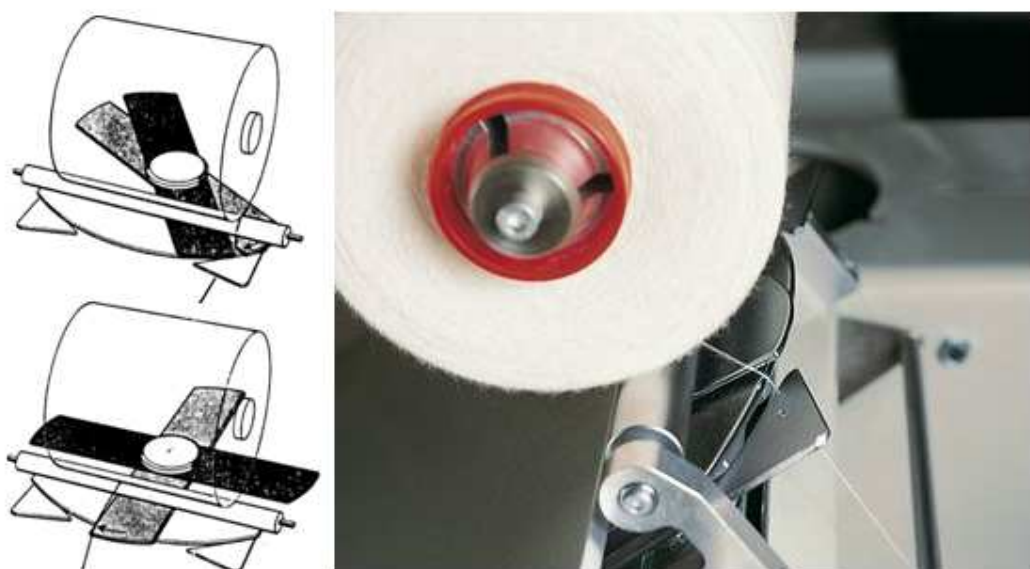
## 2.4 Mechanismy pro tvorbu digitálního vinutí

Obecně se mechanismy pro tvorbu digitálního vinutí vyznačují tím, že je k jejich pohonu zapotřebí dvou řízených pohonů. Jedním motorem musí být poháněna cívka a odděleně rozváděcí mechanismus. Tím jsou umožněny skoky převodového poměru mezi cívkou a rozváděním při změně soukacího poměru.



### 2.4.1 Rozvádění rotujícími křídly

Jedná se o původní způsob rozvádění firmy SSM. Řízeným motorem je zde zvlášť poháněno vřeteno s cívkou a druhým motorem rotující křídla. Křídla rotují navzájem proti sobě a v krajních polohách si předávají rozváděnou nit – viz obrázek 10. Díky bodovému styku křídel dochází k nízkému tření příze o křídla, čímž se snižuje její namáhání. Díky tomu se také zvyšuje i kvalita výsledného návinu. Aby byl návin co nejkvalitnější je nutné, aby bylo místo kde je nit rozváděna co nejbližší k povrchu cívky, tak jako tomu je např. u rozváděcího oka nebo válečku. Z toho důvodu je mezi křídla a cívku vložen váleček, po kterém se cívka odvaluje.



*Obrázek 10: Rozvádění rotujícími křídly [6]*

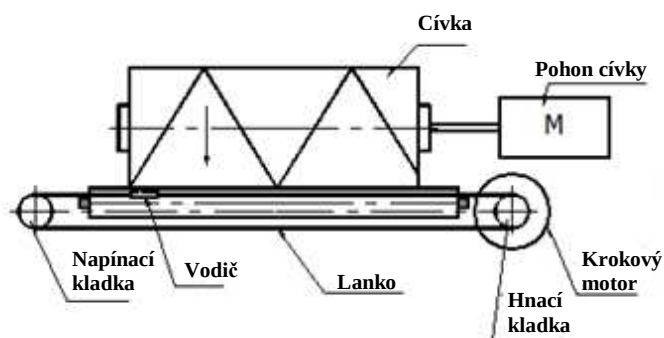
Tento systém rozvádění lze po změně programu použít i pro tvorbu PKV, ale z důvodu relativně velké vzdálenosti místa rozvádění od cívky se nevytvoří tak precizní návin jako na mechanismech s vodícím očkem či rozváděcím válečkem.

### 2.4.2 Rozvádění pomocí krokového motoru

Tento systém je patentem firmy SSM pod názvem PRECIFLEX. Opět je zvlášť poháněna cívka a pomocí krokového motoru lanko s vodičem nitě – viz obrázek 11.

Motor i lanko zde konají vratný pohyb a rozváděcí rychlosti jsou poměrně velké, což klade poměrně velké nároky na dynamiku krokového motoru. Protože se ale návin vytváří pomocí oka, které je blízko u cívky, zaručuje tento způsob rozvádění přesnější ukládání příze a stavba cívky je tak preciznější, než u rozvádění rotujícími křídly.

U tohoto systému rozvádění navíc nejsme omezeni ani konstantní délkou rozvádění, takže lze vytvářet např. i bikonické náviny.

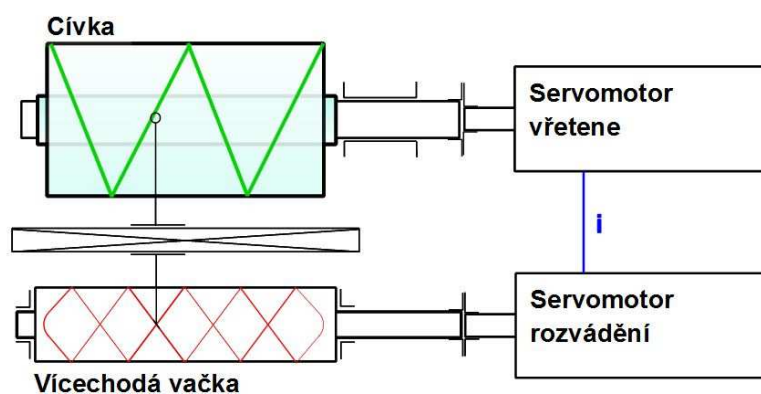


Obrázek 11: Rozvádění krokovým motorem [6]

### 2.4.3 Rozvádění pomocí vačky

Rozvádění pomocí vačky, ať už jednochodé či vícechodé, je určeno spíše pro navíjení přesného křížového vinutí, ale po úpravě aplikací řízených pohonů je možné jej využít i pro navíjení digitálním vinutím. Navíjecí mechanismus s rozváděním pomocí vačky je zobrazen na obrázku 12.

Vícechodá vačka se používá v případech, kdy je cívka dlouhá a jednochodá vačka by musela mít příliš velký průměr. Při stejném zdvihu je průměr vícechodé vačky několikanásobně menší, než je tomu u vačky jednochodé.



Obrázek 12: Rozvádění vícechodou vačkou

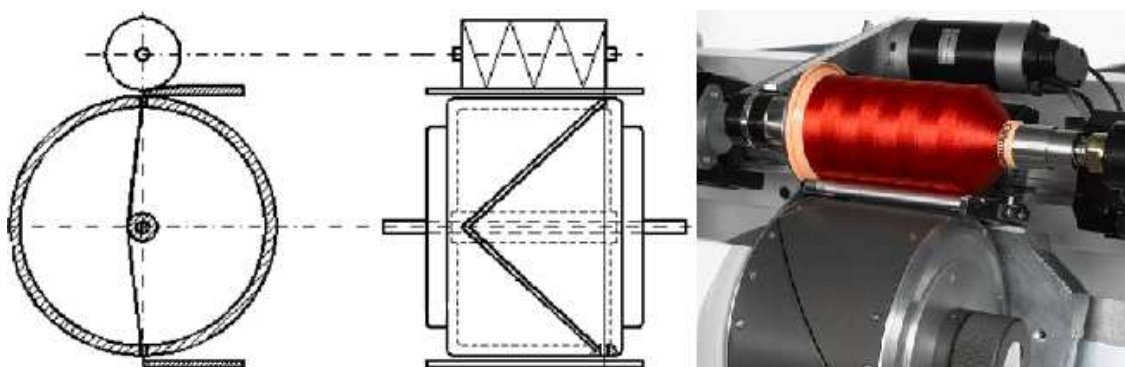
Vačka má ve svém povrchu vyfrézovanou drážku ve tvaru šroubovice do níž je zasazen kámen ve tvaru lodičky. Tvar lodičky zaručí, že je kámen správně veden ve šroubovici a nezadrhává se v místech, kde šroubovice protíná samu sebe. Kámen je zároveň upevněn v lineárním vedení a díky otáčení vačky koná přímočarý vratný pohyb. Z kamene se pohyb přenáší na vodič, který rozvádí nit. V koncových polohách přechází

šroubovitá drážka buď rádiusovým nebo bezrázovým přechodem na šroubovici opačného smyslu. U tohoto rozváděcího mechanismu je nezbytně nutné mazání kamene, který se tře o stěnu drážky. A to jednak z důvodu odvodu tepla a jednak z důvodu snížení tření. Mazací olej je nutné dobře oddělit od okolí, aby nepřišel do kontaktu s navíjenou přízí, která by se stykem s olejem znehodnotila.

Mechanismus lze použít pro všechny typy vinutí, jeho dynamika je srovnatelná s rozváděním pomocí krokového motoru. Jedná se zde opět o tzv. hmotné rozvádění tj. přímočarý vratný pohyb koná hmotná část mechanismu, nikoli jen samotná příze, jako je tomu u rozvádění rotujícími křídly. Oproti systému rozvádění s krokovým motorem má tento systém nevýhodu v tom, že nelze plynule měnit šířku cívky. Naopak výhodou je snazší naprogramování požadovaného převodu  $i_{cel}$  mezi navíjením a rozváděním bez nutnosti programovat průběh rychlosti vratného pohybu krokového motoru.

#### 2.4.4 Rozvádění pomocí rozváděcího bubnu

Původní patent firmy SPT pro tvorbu přesného křížového vinutí lze po aplikaci dvou řízených pohonů použít i pro tvorbu digitálního vinutí. Příze při navíjení prochází drážkou dutého rozváděcího bubnu, který rotuje a rozvádí nit – viz obrázek 13.

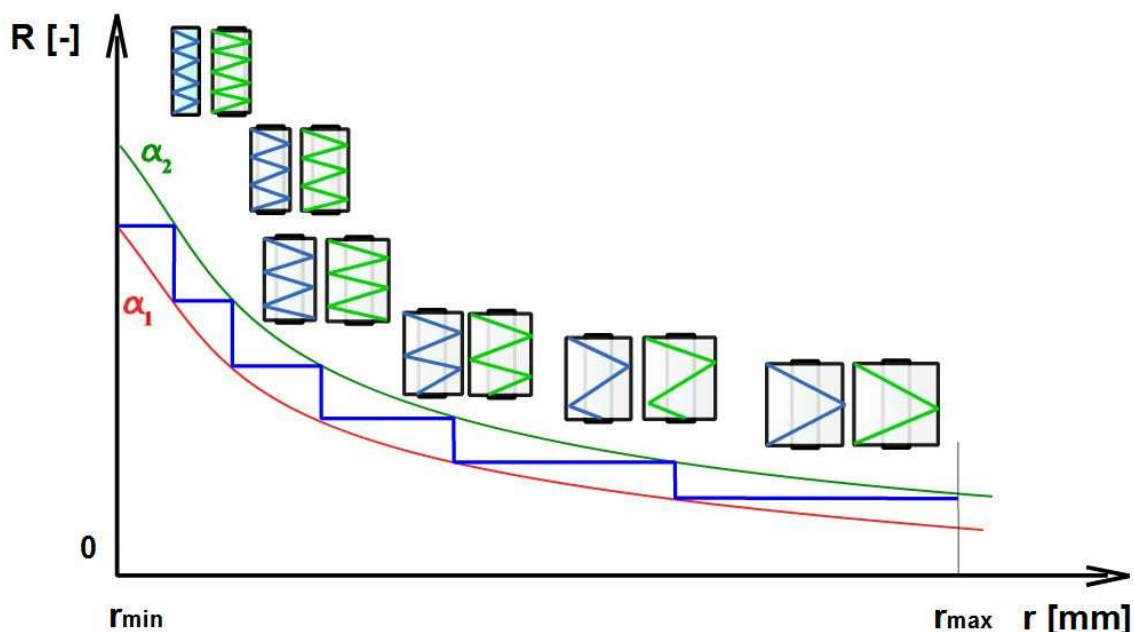


Obrázek 13: Rozvádění pomocí rozváděcího bubnu [6]

Díky nehmotnému rozvádění, kdy rozváděcí pohyb koná pouze samotná příze. Je možné navíjet cívky několikanásobně vyšší rychlostí než např. při rozvádění vačkou nebo lankem. Velikost navíjené cívky je však omezena velikostí rozváděcího bubnu. Proto se tento způsob rozvádění hodí spíše pro menší cívky, zejména šicí nitě.

## 2.5 Teoretický rozbor digitálního vinutí

Během navíjení příze na cívku digitálním vinutím dochází vždy v určitých úsecích k navíjení PKV tj. s konstantním soukacím poměrem jak je znázorněno na obrázku 14. Soukací poměr se mění tak, aby bylo zajištěno navíjení s úhlem stoupání ovinů v daných mezích.



Obrázek 14: Skokové změny soukacího poměru

Chceme-li získat vztahy pro soukací poměr a úhel stoupání ovinů je vhodné vyjít z obrázku 5, na kterém je vyobrazena struktura cívky navinuté přesným křížovým vinutím a rozvin ovinu do roviny.

Z rozvinu můžeme psát:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s}{\pi \cdot d} \rightarrow s = \pi \cdot d \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

Soukací poměr je definován vztahem (1). Během dvojzdvihu urazí rozváděč dráhu  $2 \cdot B$ . Stoupání ovinů  $s$  můžeme definovat jako délku zdvihu rozváděče na otáčku cívky. Pro počet otáček cívky na dvojzdvih rozváděče, respektive soukací poměr  $R$  tedy platí:

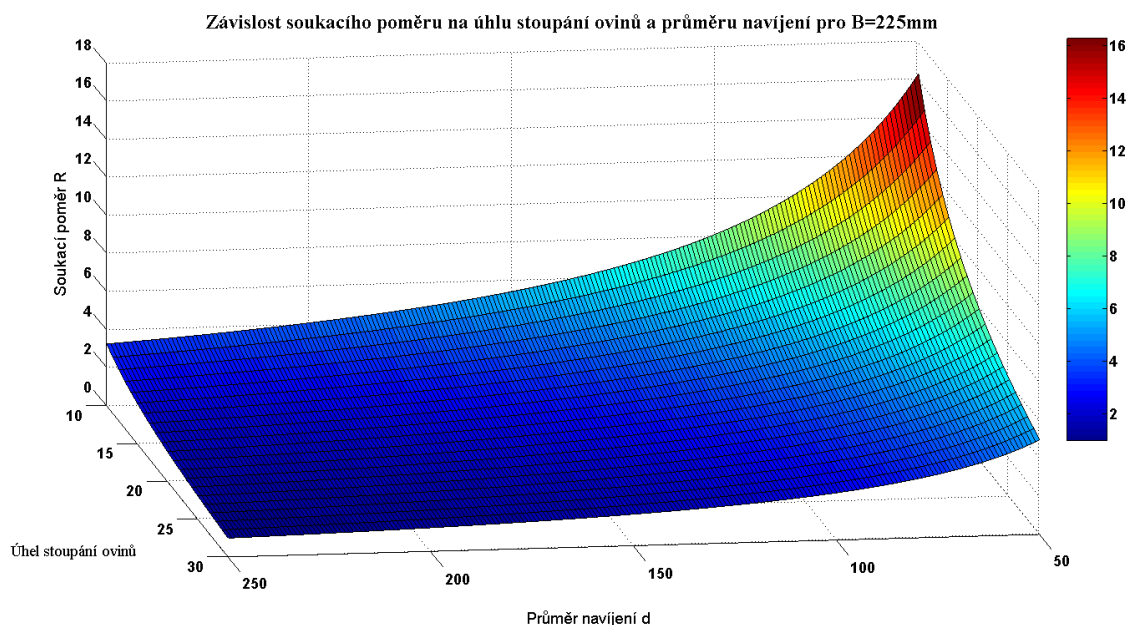
$$R = \frac{2 \cdot B}{s} \quad (4)$$

Po dosazení rovnice (3) do rovnice (4):

$$R = \frac{2 \cdot B}{\pi \cdot d \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{B}{\pi \cdot r \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (5)$$

Pro poloměr navíjení  $r$  lze pak jednoduše vyjádřit vztah:

$$r = \frac{B}{\pi \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha} \quad (6)$$



**Obrázek 15: Závislost soukacího poměru na úhlu stoupání ovinů  $\alpha$  a průměru  $d$**

Na obrázku 15 je vykreslena závislost daná vztahem (5). Tato funkce platí v podstatě pro jakýkoli typ křížového vinutí a můžeme zde přímo vidět průběh závislosti soukacího poměru na úhlu stoupání ovinů a průměru navíjení. Tyto parametry jsou důležitým východiskem pro digitální vinutí, ve kterém se vždy s konstantním soukacím poměrem pohybujeme mezi dvěma hodnotami stoupání ovinů – viz obrázek 14. Pokud bychom si zvolili nějaké konkrétní  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$  zůstali by v grafu na obrázku 15 pouze dvě křivky, a to průsečnice tohoto prostorového grafu a hodnot  $\alpha_1$  a  $\alpha_2$ . Můžeme tedy vidět jak se tyto křivky při různých vstupních parametrech mění. Soukací poměr klesá s rostoucím průměrem navíjení hyperbolicky. Rychlost tohoto poklesu ale ovlivňuje zvolená hodnota úhlu stoupání ovinů. S rostoucím úhlem stoupání ovinů se pak zmenšuje počáteční soukací poměr i jeho pokles během navíjení. Tvar tohoto grafu pak závisí na šířce cívky  $B$ , v tomto případě byla zvolena hodnota  $B = 225$  mm.

Pomocí odvozených vztahů lze nyní již jednoduše určit vhodné soukací poměry a průměry cívek, při kterých je třeba provést skok na další převodový poměr a to tak, že do vztahu pro soukací poměr dosazujeme vždy okamžitý poloměr navíjení a maximální úhel stoupání ovinů  $\alpha_1$ .

$$R = \frac{B}{\pi \cdot r \cdot \operatorname{tg} \alpha_1} \quad (7)$$

Soukací poměr se poté zaokrouhlí na vhodný vyšší soukací poměr s celočíselným čitatelem i jmenovatelem. Jmenovatel nemusí být roven jedné, ale může být i větší. To znamená, že můžeme navíjet i náviny s více body vratu – viz kapitola „Přesné křížové vinutí“. Navíc počet bodů vratu může být opět v každé vrstvě různý. Pro výpočet poloměru, kdy dojde ke skoku na další soukací poměr použijeme aktuální soukací poměr a minimální úhel stoupání ovinů  $\alpha_2$ .

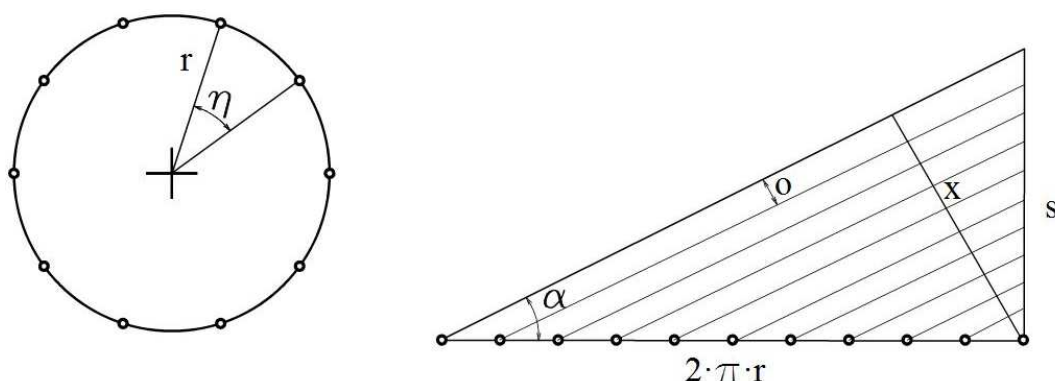
$$r = \frac{B}{\pi \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha_2} \quad (8)$$

Celý algoritmus bude popsán v následující kapitole.

### 3 Výpočtová část

#### 3.1 Algoritmus pro digitální vinutí

Výstupem algoritmu bude tabulka hodnot převodových poměrů mezi navíjecím a rozváděcím servomotorem. Ten je z větší míry dán soukacím poměrem  $\mathbf{R}$  a počtem chodů vačky  $\mathbf{H}$ , ale projevuje se na něm i požadovaná vzdálenost sousedních nití. Závislost převodového poměru na požadované vzdálenosti nití je odvozena níže. Pokud by byl převodový poměr mezi navíjením a rozváděním dán pouze podílem soukacího poměru a počtu chodů vačky, navíjeli by se nitě neustále na sebe, jako je tomu při pásmovém vinutí. Je tedy třeba cívku otočit o určitý úhel vratu  $\eta$  více nebo méně, čímž se nitě navinou s požadovanou osovou vzdáleností  $\mathbf{o}$  – viz obrázek 16.



Obrázek 16: Body vratu na čele cívky a rozvin vrstvy nití do roviny

Pro úhel vratu na čele cívky platí:

$$\eta = \frac{2 \cdot \pi}{k} \quad (9)$$

Kde  $k$  je počet nití v jedné vrstvě.

$$k = \frac{x}{o} \quad (10)$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{s} \quad (11)$$

Ze vztahu (3):

$$\alpha = \arctg \frac{s}{2\pi \cdot r} \quad (12)$$

A kombinací vztahů (12) a (11) dostáváme:

$$x = s \cdot \cos \operatorname{arctg} \frac{s}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (13)$$

$$\cos \operatorname{arctg} X = \frac{1}{\sqrt{(X)^2 + 1}} \quad (14)$$

Vztah (13) lze s výhodou s využitím vztahu (14) z literatury [7] zjednodušit na:

$$x = \frac{s}{\sqrt{\left(\frac{s}{2\pi \cdot r}\right)^2 + 1}} \quad (15)$$

Po dosazení do rovnic (10) a (9) dostáváme vztah pro úhel vratu:

$$\eta = \frac{2\pi \cdot o \cdot \sqrt{\left(\frac{s}{2\pi \cdot r}\right)^2 + 1}}{s} = \frac{o \cdot \sqrt{\frac{1}{r^2} + \frac{4\pi^2}{s^2}}}{1} = o \cdot \sqrt{\frac{1}{r^2} + \frac{\pi^2 \cdot R^2}{B^2}} \quad (16)$$

Aby se následující nit kladla s požadovanou vzdáleností od předchozí je třeba za dobu, než se bude navíjet nit opět ve stejném místě, natočit cívku o úhel vratu více nebo méně. V případě více bodů vratu na čele cívky se vedle stejného bodu vratu ocitne méně často a to přímo úměrně počtu bodů vratu **C**. Pro převodový poměr můžeme tedy psát:

$$i = \frac{R \cdot 2\pi \pm \frac{\eta}{C}}{H \cdot 2\pi} = R \cdot \left(1 \pm \frac{\eta}{2\pi \cdot R \cdot C}\right) = \frac{R}{H} \cdot \left(1 \pm \frac{\eta}{2\pi \cdot \frac{A}{C} \cdot C}\right) \quad (17)$$

Toto lze přepsat při předpokladu, že se převodový poměr skládá z hrubého a jemného převodového poměru:

$$i = i_1 \cdot i_2 \quad (18)$$

$$i_1 = \frac{R}{H} \quad (19)$$

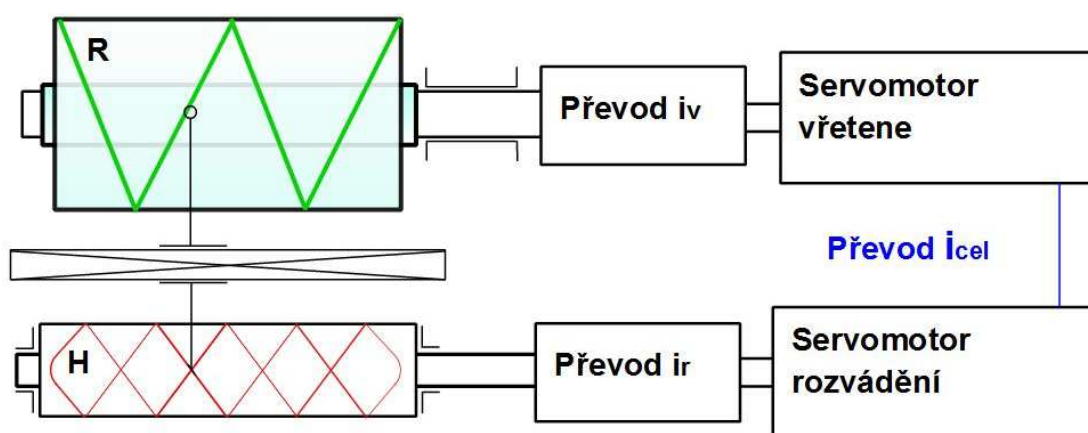
$$i_2 = 1 \pm \frac{\eta}{2\pi \cdot A} = 1 \pm \frac{o \cdot \sqrt{\frac{1}{r^2} + \frac{\pi^2 \cdot R^2}{B^2}}}{2\pi \cdot A} \quad (20)$$

Vztah (20) je obecně platný, lze ho uplatnit i při tvorbě algoritmu pro DPKV – v tom případě je poloměr navíjení **r** proměnnou a převodový poměr se v průběhu



navíjení ve zvolených intervalech mění. Čítec převodového poměru **A** se při navíjení vinutí s jedním bodem vratu přímo rovná převodovému poměru **R**, a vztah je tak v souladu s literaturou [1]. Pokud budeme navíjet uzavřené vinutí pak můžeme osovou vzdálenost **o** ve vztahu (20) nahradit přímo tloušťkou nitě **t**.

V našem případě se převodový poměr určí zvlášť při navíjení různými soukacími poměry, ale v průběhu navíjení jednotlivých vrstev se už nemění. Jeho změna není potřebná z důvodu malé změny úhlu stoupání ovinů v průběhu navíjení jednotlivých vrstev. Vztah pro převodový poměr mezi servomotory můžeme určit dle schématu na obrázku 17.

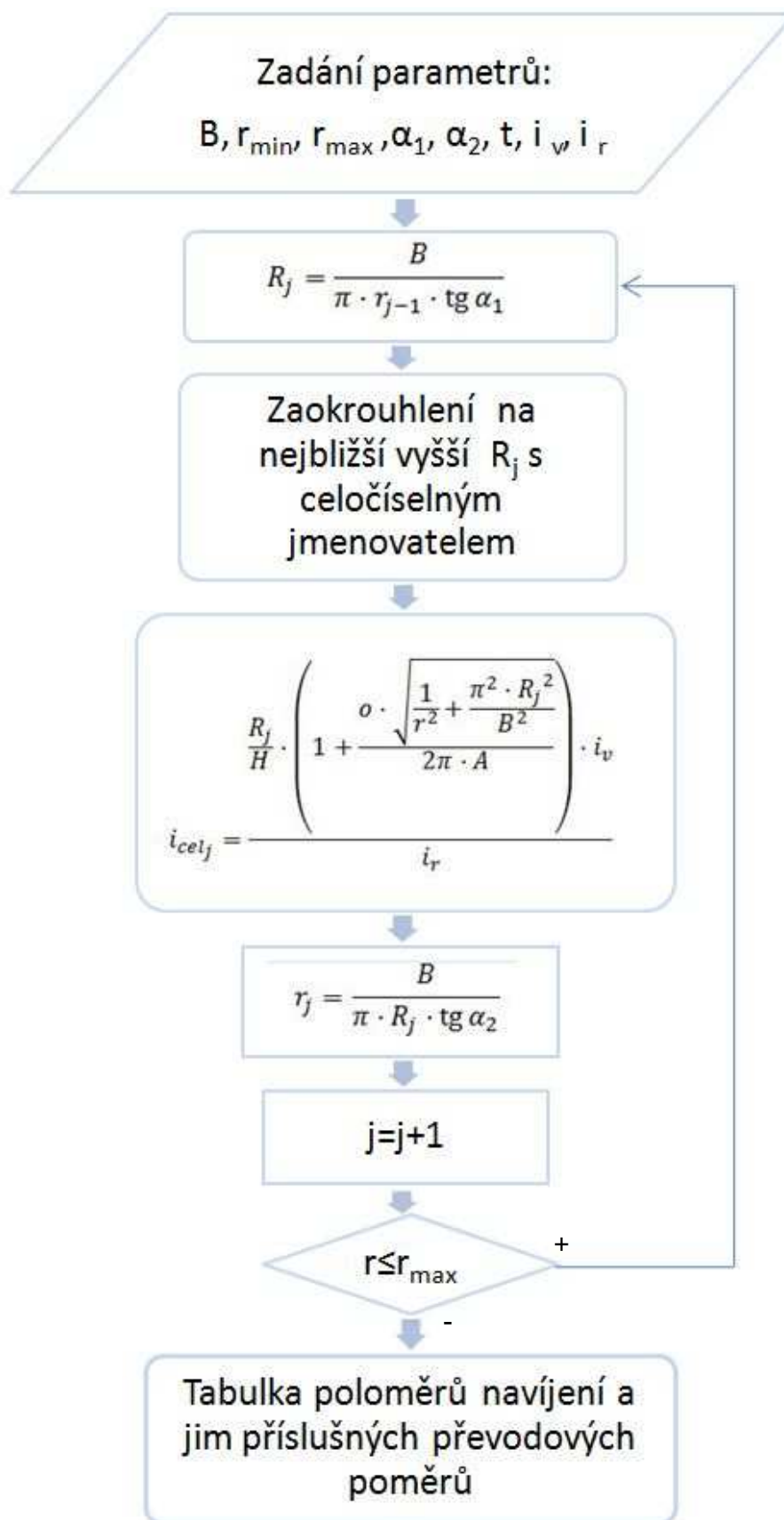


Obrázek 17: Schéma navíjecího mechanismu

Celkový převodový poměr se tedy rovná:

$$i_{cel} = \frac{i \cdot i_v}{i_r} = \frac{i_1 \cdot i_2 \cdot i_v}{i_r} = \frac{\frac{R}{H} \cdot \left( 1 + \frac{o \cdot \sqrt{\frac{1}{r^2} + \frac{\pi^2 \cdot R^2}{B^2}}}{2\pi \cdot A} \right) \cdot i_v}{i_r} \quad (21)$$

Protože již máme odvozeny všechny potřebné vztahy, můžeme přistoupit k návrhu vlastního algoritmu. Diagram algoritmu pro digitální vinutí můžeme vidět na obrázku 18. Po zadání všech potřebných parametrů vinutí se vypočte pomocí vztahu (7) z poloměru dutinky a požadovaného úhlu stoupání soukací poměr  $R_1$ . Tento soukací poměr se zaokrouhlí na nejbližší vhodný poměr a vypočte se z něj převodový poměr  $i_{cel1}$ , dále se vypočte poloměr  $r_1$ , při kterém se provede skok na další soukací poměr. Toto se neustále opakuje, dokud nedosáhneme maximálního poloměru cívky  $r_{max}$ .

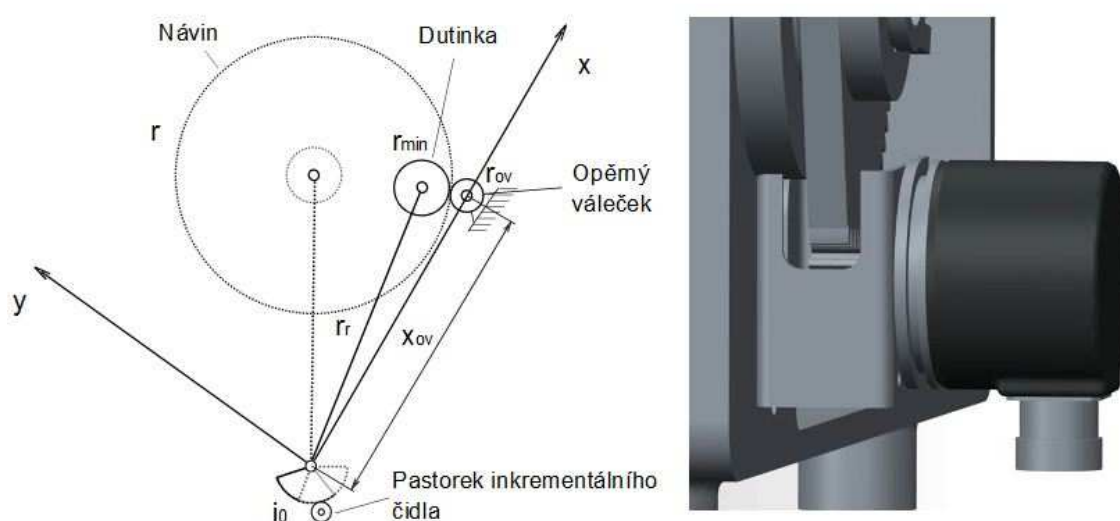


Obrázek 18: Algoritmus pro digitální vinutí

### 3.1.1 Algoritmus pro odměřování poloměru návínu

Odměřování okamžitého poloměru navíjené cívky je u digitálního vinutí důležité z důvodu co nejpřesnějšího určení okamžiku skoku na následující soukací poměr. V tomto případě bude měření odvozeno od naklápění *Vřetenového ramene* během navíjení cívky.

Pro odměřování natočení bude použito inkrementální čidlo IRC 307 firmy Larm. Toto čidlo dává na 1 otáčku 2500 pulzů – to je 10 000 hran, které můžeme využít pro odměřování. Vzhledem k tomu, že čidlo nelze kvůli umístění pohonů napojit přímo na hřídel *Vřetenového ramene*, bude přenos natočení z ramene na čidlo zajištěn přes ozubený segment a pastorek s převodovým poměrem  $i_o = \frac{1}{6}$  – viz obrázek 19.



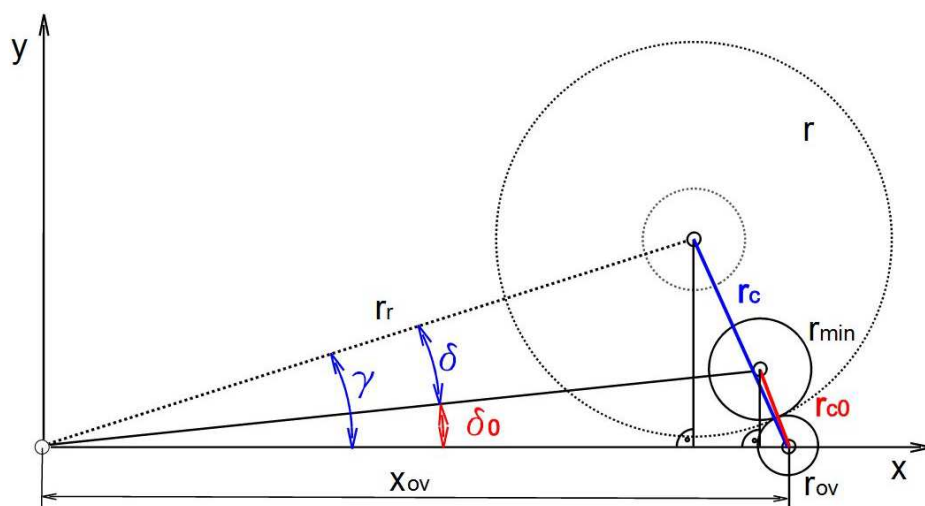
**Obrázek 19: Odměřování poloměru navíjení**

Závislost naklápění *Vřetenového ramene* a tím i počtu pulsů na poloměru navíjení lze odvodit z obrázku 20, kde je zobrazena vzájemná poloha cívky, středu otáčení *Vřetenového ramene* a poloha *Opěrného válečku*. Na obrázku jsou také znázorněny trojúhelníky, ze kterých můžeme odvodit následující závislosti:

$$r_c = r + r_{ov} \quad (22)$$

$$r_c = \sqrt{(x_{ov} - r_r \cdot \cos \gamma)^2 + (r_r \cdot \sin \gamma)^2} \quad (23)$$

$$\gamma = \delta_0 + \delta \quad (24)$$

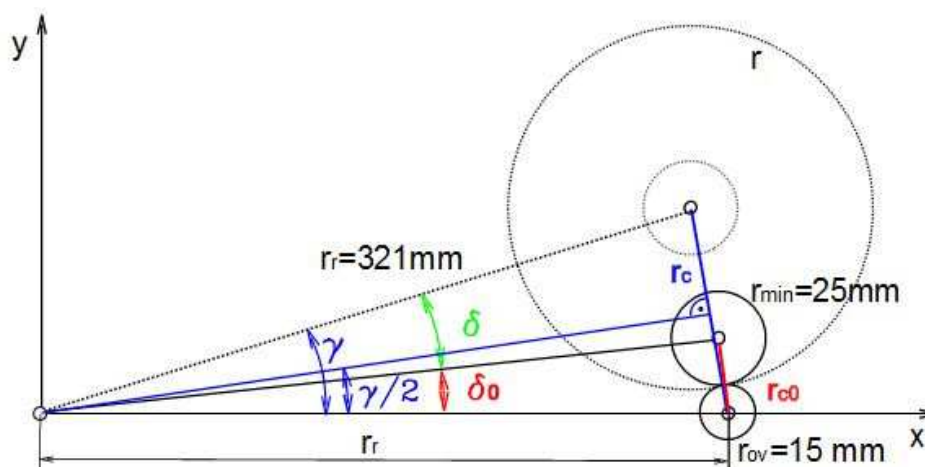


Obrázek 20: Odvození závislosti mezi počtem inkrementů a poloměrem navíjení

$$\delta = \frac{n_i \cdot 2\pi}{n_{ic} \cdot i_o} = \frac{n_i \cdot 2\pi}{10000 \cdot 6} \quad (25)$$

$$r = \sqrt{\left(x_{ov} - r_r \cdot \cos\left(\frac{n_i \cdot 2\pi}{10000 \cdot 6} + \delta_0\right)\right)^2 + \left(r_r \cdot \sin\left(\frac{n_i \cdot 2\pi}{10000 \cdot 6} + \delta_0\right)\right)^2} - r_{ov} \quad (26)$$

Protože je odvozená závislost (26) pro zadání do řízení motorů příliš složitá a nebylo by možné vypočítávat okamžitý poloměr v reálném čase s požadovaným taktem, bylo v rámci zjednodušení výpočetního vztahu přistoupeno k drobné úpravě geometrie stroje. Pokud vzdálenost  $r_v$  bude rovna vzdálenosti  $x_{ov}$ , můžeme dle obrázku 21 odvodit nový vztah pro výpočet okamžitého poloměru navíjení.



Obrázek 21: Odvození závislosti po změně geometrie stroje

$$r_c = 2 \cdot r_r \cdot \sin \frac{\gamma}{2} = 2 \cdot r_r \cdot \sin \frac{\delta_0 + \delta}{2} \quad (27)$$

Ze vztahu (22) a (27) můžeme pro  $\mathbf{r} = 0$  a  $\delta = 0$  psát:

$$\delta_0 = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{r_{co}}{2 \cdot r_r}\right) = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{15 + 25}{2 \cdot 321}\right) = 7,144^\circ = 0,1246914 \text{ rad} \quad (28)$$

$$r = 2 \cdot r_r \cdot \sin \frac{\delta_0 + \frac{n_i \cdot 2\pi}{10000 \cdot 6}}{2} - r_{ov} \quad (29)$$

Po dosazení konstant dostáváme finální vztah pro výpočet poloměru navíjení z počtu hran  $n_i$  vyslaných inkrementálním čidlem a tedy hledaný algoritmus:

$$r = 2 \cdot 321 \cdot \sin \frac{0,1246914 + \frac{n_i \cdot \pi}{30000}}{2} - 15 \quad (30)$$

Tento vztah je již dostatečně jednoduchý, aby bylo možné přepočítávat poloměr navíjení z počtu pulsů resp. hran inkrementálního čidla v reálném čase, a to při taktu 0,05s.



**Obrázek 22: Závislost vypočteného poloměru navíjení na počtu inkrementů.**

Na obrázku 22 je graficky zobrazen vztah (30). Přestože se graf zdánlivě jeví jako přímkový, jedná se o část sinusoidy. Ve sledované oblasti tj. do maximálního poloměru navíjení  $r_{\max} = 125$  mm se tato závislost odchyluje od přímky proložené svými krajními body o cca 0,3 mm.

## 4 Konstrukční část

### 4.1 Původní určení upravovaného stroje

Stroj, který budeme upravovat pro navíjení cívek digitálním vinutím je původně technologickým strojem určeným pro zpracování skleněného hedvábí a dále k jeho navinutí na cívky s otevřeným PKV. Stroj vyrobila turnovská firma Trima s.r.o. a částečně odstrojený ho odprodala naší katedře.



*Obrázek 23: Nový stroj a původní stav získaného stroje [5]*

Na obrázku 23 vlevo vidíme nový stroj, avšak z novější řady strojů než je náš. Vpravo pak vidíme původní stav námi získaného stroje. Technologickou operací, která byla na stroji prováděna bylo objemování skleněného hedvábí. Během této operace se na hedvábí mimo jiné nanáší apretura, kterou je následně nutné vysušit, proto se cívka navíjí otevřeným PKV, aby vlhkost z vláken mohla lépe prostupovat na povrch. Navíjené cívky měly průměr dutinky 160 mm, velký průměr 380 mm a šířku 400 mm.

Pro účely této práce budeme využívat z celého stroje pouze navíjecí mechanismus, který se na stroji na obrázku 23 nachází v pravo nahoře. Navíjecí ústrojí, nám bylo dodáno relativně kompletní, chyběl pouze vlastní rozváděcí člen, tedy jezdec s vodičem pro vedení vláken. Rozvádění je na stroji řešeno pomocí vícechodé vačky. Úpravy které bylo nutné na stroji provést jsou popsány v následující kapitole.

## 4.2 Úpravy

Vzhledem k přechodu z PKV na digitální vinutí bylo nutné původně pevný převod, jemně nastavitelný na kuželových řemenicích nahradit řízenými pohony. Dále se vzhledem k velikosti původně navíjené cívky a potřebě navíjet menší cívky musel změnit jednak zdvih rozváděcího mechanismu, ale také průměr vřetene aby bylo možné upínat menší dutinky. Kvůli optimalizaci převodové funkce pro výpočet poloměru navíjení musela být navíc upravena i poloha opěrného válečku.

Veškeré úpravy byly prováděny se zřetelem na co největší využití stávajících systémů, samozřejmě nikoli na úkor funkčnosti modelu navíjecího stroje.

### 4.2.1 Umístění pohonů a převody

Na původně asynchronním motorem hnaný stroj byly umístěny střídavé servomotory firmy Control Techniques. Pro pohon navíjecího vřetene i rozváděcího mechanismu byly použity motory typu CTM4-07.3 s jmenovitými otáčkami  $n_N=4000 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ . Odměrování je zajištěno pomocí Sin/Cos enkodéru, který zajišťuje vysokou přesnost odměrování polohy a otáček. Parametry motorů CTM4-07.3 jsou popsány v tabulce 2.

Tabulka 2: Parametry motoru CTM4-07 [3]

| CTM 4                |            |      |     |      |     |      |     |
|----------------------|------------|------|-----|------|-----|------|-----|
| Klidový moment $M_0$ | Typ. délka | 07.1 |     | 07.2 |     | 07.3 |     |
|                      | Nm         | 0.65 |     | 1.5  |     | 2.3  |     |
| Klidový proud $I_0$  | A          | 0.9  | 1.3 | 1.6  | 2.4 | 2.4  | 3.5 |

#### Jmenovité parametry

|                             |                                  |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| Jmenovitý moment $M_N$      | Nm                               | 0.6  | 0.5  | 1.3  | 1.6  | 2.0  | 1.5  |
| Jmenovitý proud $I_N$       | A                                | 0.9  | 1.2  | 1.4  | 2.1  | 2.0  | 3.0  |
| Jmenovité otáčky $n_N$      | $\text{min}^{-1}$                | 4000 | 6000 | 4000 | 6000 | 4000 | 6000 |
| Jmenovitý výkon $P_N$       | W                                | 250  | 310  | 540  | 620  | 830  | 940  |
| Napěťová konstanta $K_E$    | $\text{V}/10^3 \text{ min}^{-1}$ | 47.9 | 32.1 | 57.2 | 37.5 | 60.4 | 41.8 |
| Svorkový odpor $R_{u-v}$    | $\Omega$                         | 39.5 | 17.0 | 17.3 | 7.0  | 9.2  | 4.2  |
| Indukčnost vinutí $L_{u-v}$ | mH                               | 61.1 | 27.4 | 48.8 | 21.0 | 29.4 | 14.1 |

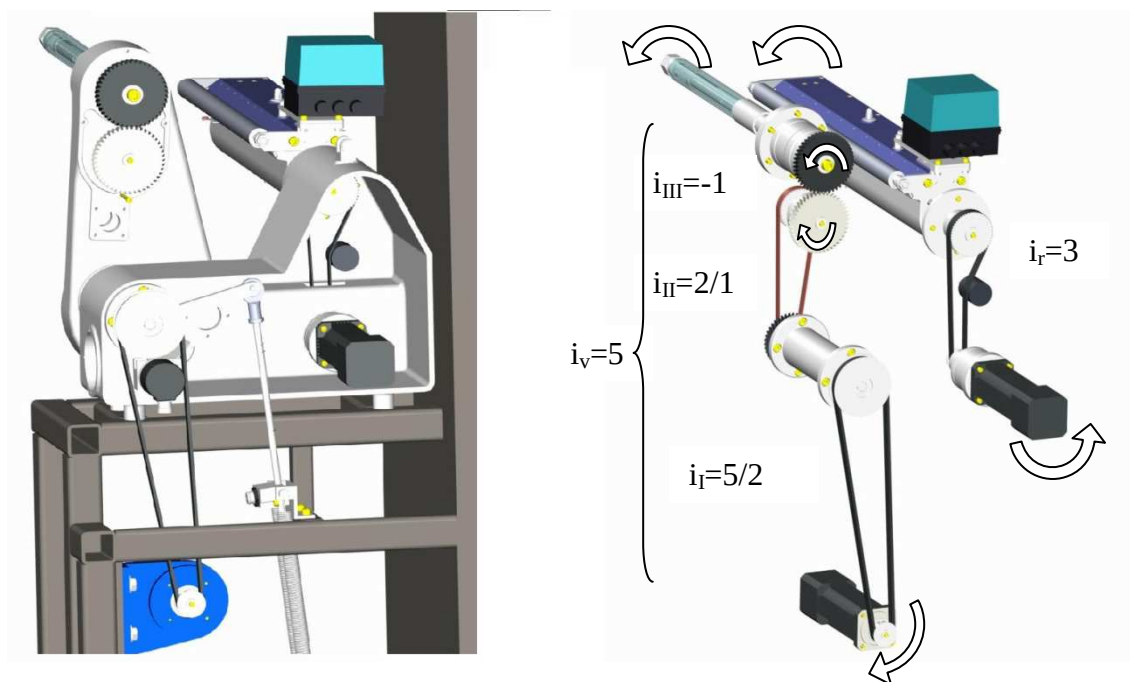
#### Mezní parametry

|                             |                   |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|------|
| Max. moment $M_{\max}$      | Nm                | 3.1  |      | 7.2  |      | 11.0 |      |
| Maximální proud $I_{\max}$  | A                 | 7.6  | 11.1 | 13.6 | 20.4 | 20.4 | 29.7 |
| Maximální otáčky $n_{\max}$ | $\text{min}^{-1}$ | 9000 |      |      |      |      |      |

Umístění motorů a převody jsou zobrazeny na obrázku 23. Jak u pohonu vřetene, tak u pohonu rozváděcího mechanismu, byly vzhledem k optimálnímu využití



hnacího momentu servomotorů aplikovány řemenové převody ozubenými řemeny s převodovým poměrem větším než jedna, tedy do pomala, které nám zaručí vyšší moment na hnaném členu.



Obrázek 24: Umístění pohonů a převody

Servomotor vřetene byl umístěn do místa původního asynchronního motoru. Jen s malou úpravou *Držáku motoru* – viz výkresová dokumentace. Druhý servomotor byl upevněn do místa, kde se původně nacházela kuželová řemenice nastavitelného pohonu rozvádění. A byl připojen k jejímu hřídeli pomocí zubové spojky.

Převodové poměry potřebné k aplikaci do algoritmu digitálního vinutí určíme z obrázku 24.

Pro převodový poměr pohonu vřetene dostáváme:

$$i_v = i_I \cdot i_{II} \cdot i_{III} \cdot (-1) = \frac{5}{2} \cdot \frac{2}{1} \cdot (-1) \cdot (-1) = 5 \quad (31)$$

Číslem (-1) se převodový poměr násobí z toho důvodu, že motor má opačnou orientaci než vřeteno.

Pro převodový poměr rozvádění pak díky jedinému převodu dostaneme přímo:

$$i_r = 3 \quad (32)$$



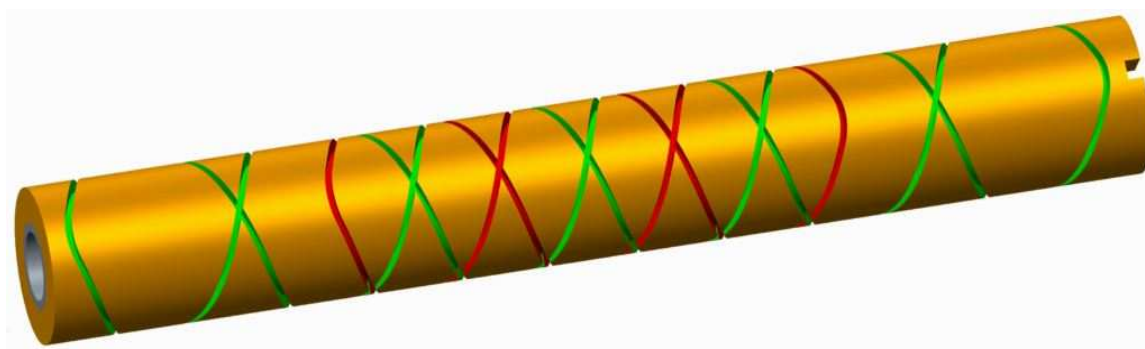
Navíc bude během uvádění stroje do chodu třeba pamatovat na fakt, že je nutné motor vřetene roztáčet tak, aby se cívka točila ve směru šipky tj. doleva. Servomotor vřetene se tedy musí roztočit ve směru doprava, avšak z pohledu motoru se jedná o pohyb doleva. Pohyb servomotoru rozvádění bude odvozen od pohybu servomotoru vřetene a z konstrukčních důvodů je nutné, aby se pohyboval opět ve směru šipky tj. doleva. Je to dáno přítomností olejové nápně v rozváděcím mechanismu a umístěním stíracího plechu, který je schopen přebytečný olej z vačky setřít pouze při pohybu vačky doleva. Celkový převodový poměr tedy musí být kladný. Což můžeme ověřit dosazením převodových poměrů do rovnice (21).

$$i_{cel} = \frac{i \cdot i_v}{i_r} = \frac{i_1 \cdot i_2 \cdot i_v}{i_r} = \frac{\frac{R}{H} \cdot i_2 \cdot 5}{3} \quad (33)$$

Konstanty **R** i **H** jsou kladné a jemný převodový poměr  $i_2$  je také kladný.

#### 4.2.2 Úprava vícechodé vačky

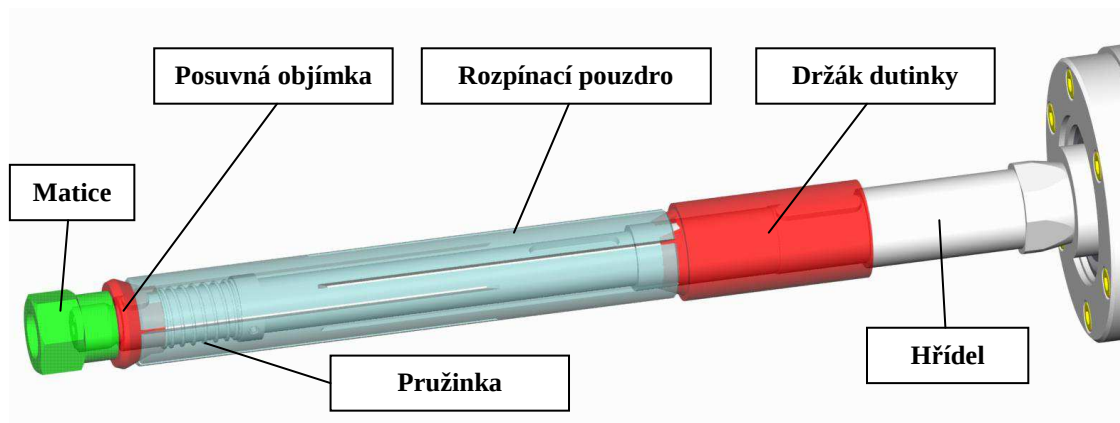
U vícechodé vačky bylo nutné upravit délku šroubovitě drážky tak, aby se zdvih rozváděcího mechanismu a tím také šířka cívky **B** zmenšila na námi požadovanou hodnotu 225 mm. Ukázalo se jako vhodné pouze do stávající vačky se zdvihem 450 mm vyfrézovat druhou šroubovici se zdvihem 225 mm. Tak bude případně možné ovlivnit velikost zdvihu tím, do které z drážek bude kámen ve tvaru lodičky umístěn. Vícechodou vačku s vyfrézovanými drážkami můžeme vidět na obrázku 25. Nová drážka je zde vyznačena červenou barvou. Vačku s oběma drážkami nám dodala přímo firma Trima, její výkres tedy není součástí přiložené výrobní dokumentace. Počet chodů vačky se tím změnil na **H** = 6.



Obrázek 25: Vícechodá vačka

### 4.2.3 Mechanismus upínání dutinky

Původní mechanismus bohužel nebylo možné použít z důvodu příliš velkého upínacího průměru. Byl tedy navržen zcela nový způsob upínání, vyhovující našim potřebám. Vřetenou pro upínání cívky můžeme vidět na obrázku 26.



Obrázek 26: Mechanismus upínání cívky

Hlavní funkční součástí vřeteně je *Rozpínací pouzdro*, které zajišťuje upnutí dutinky souose s *Hřídelí*. Upínací síla se vyvodí pomocí *Matice*, která působí na *Posuvnou objímku* s kuželem, který roztahuje *Rozpínací pouzdro*. Zároveň je pouzdro tlačeno proti druhému kuželu, který jej také rozpíná. *Posuvná objímka* i *Držák dutinky* jsou s *hřídelí* spojeny perem. Přenos krouticího momentu na *Rozpínací pouzdro* je zajištěn pouze třením na kuželech. Aby se při snímání cívky kužely nezůstaly zakleslé v rozpínacím pouzdru je *Posuvná objímka* odtlačována *Pružinkou*.

Nevýhodou tohoto systému je nutnost při výměně dutinky povolovat a dotahovat matici upínacího mechanismu. Automatizace tohoto procesu by však byla poměrně složitá a nákladná a pro naše potřeby je tento způsob upínání plně dostačující.

### 4.2.4 Úprava polohy opěrného válečku

Tuto úpravu si vyžádala optimalizace algoritmu pro výpočet poloměru navíjení. Jedná se pouze o úpravu dvou plechových výpalků, které *Opěrný váleček* drží – viz obrázek 27. Na obrázku je zobrazen pravý držák válečku vlevo původní a vpravo jeho nový tvar. Levý držák válečku je upraven analogicky – viz výkresová dokumentace. Tato úprava má vliv také na tvar *Planžety*, která drží vodič nitě, tato *Planžeta* však nebyla dodána a bude vyrobena v odpovídajícím tvaru.



**Obrázek 27: Úprava držáku válečku**

Pokud by byla úprava složitější, zřejmě by bylo výhodnější do konstrukce nezasahovat a proložit graf funkce (26) přímkou. Do odměřování by se tím vnesla chyba zhruba 0,25mm, což by zřejmě i vzhledem k velikosti nepřesnosti způsobené poddajností návinu nemělo mít vliv na stavbu cívky. Díky této úpravě však bude algoritmus korektní a chyba odměřování se bude odvíjet pouze od poddajnosti návinu, případně nepřesnosti v ozubení převodu na inkrementální čidlo.

#### **4.3 Konečná podoba stroje a jeho části**

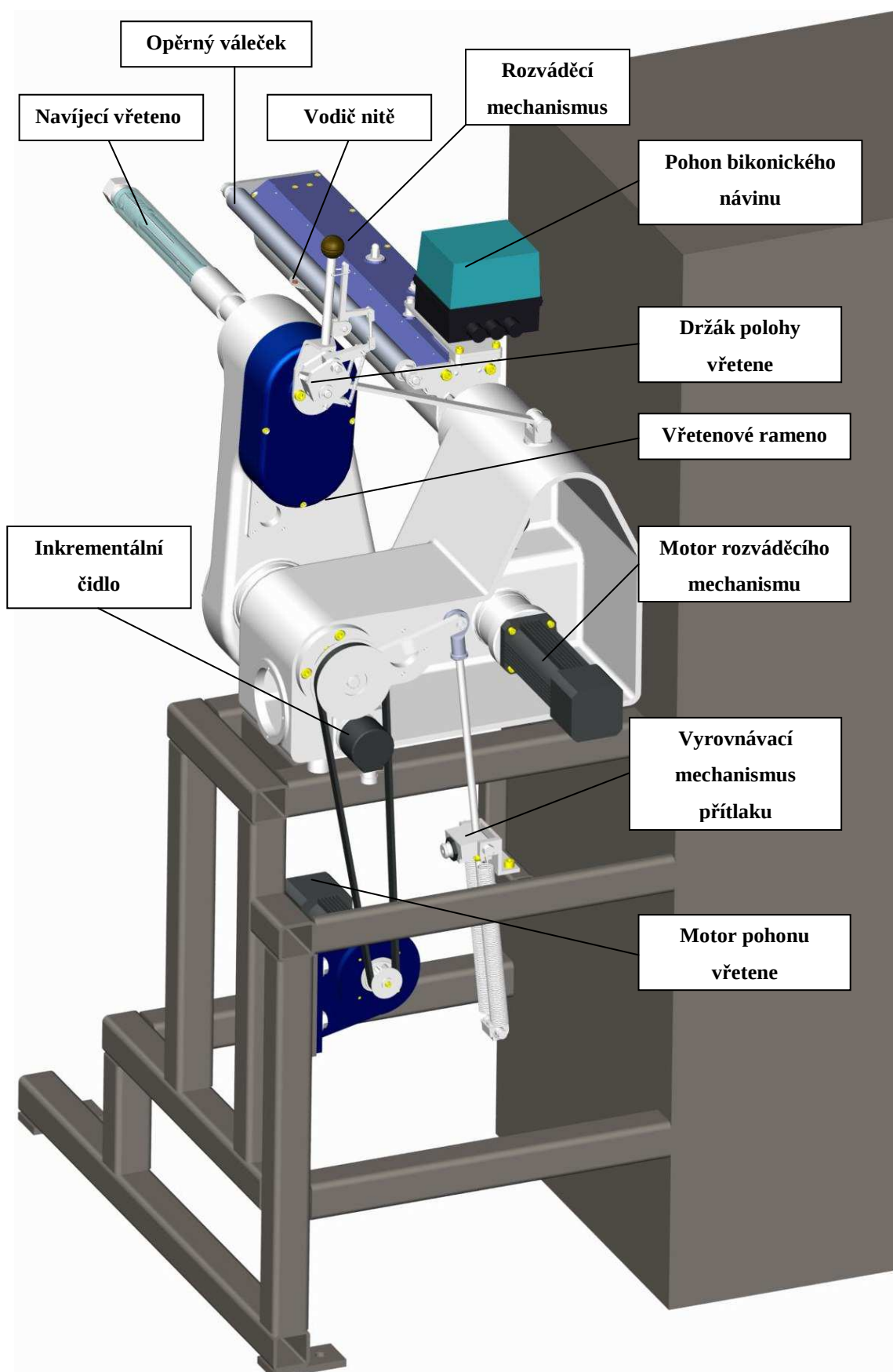
Na obrázku 28 vidíme finální podobu navíjecího stroje a jednotlivá ústrojí která ho tvoří.

Cívka je během navíjení nasazena na navíjecím vřetení se kterým se otáčí, přičemž se opírá o *Opěrný váleček*. Aby přítlak návinu na opěrný váleček nebyl příliš velký a bylo možné ho regulovat je zde *Vyrovňovací mechanismus přítlaku* s pružinami, který vyrovnává tíhovou sílu od vřetenového ramene a vlastního návinu. Nit je k cívce přivedena skrz *Vodič nitě*, který je součástí *Rozváděcího mechanismu* a nit rozvádí.

*Inkrementální čidlo* snímá přes ozubený segment a pastorek polohu *Vřetenového ramene*, z níž se následně podle odvozeného algoritmu vypočítá okamžitý poloměr navíjení.

*Pohon bikonického návinu* je pozůstatkem z původního stroje, vzhledem ke složitosti algoritmu pro tvorbu bikonického návinu a nepotřebnosti jeho výroby zůstane tento pohon zastaven v neutrální poloze a bude se tak vytvářet válcový návin.

*Držák polohy vřetene* zajišťuje *vřetenové rameno* v námi požadované poloze a během navíjení musí být vyřazen z provozu. To znamená, že páčka držáku polohy je aretována v poloze zobrazené na obrázku 28.



*Obrázek 28: Kompletní navíjecí stroj*

## 5 Závěr

V úvodní části práce jsou popsány různé druhy návinů, přičemž hlouběji je rozebráno přesné křížové vinutí a digitální vinutí, které z něj vychází. Mechanismy pro tvorbu vinutí jsou pak popsány pouze pro digitální vinutí, jímž se práce zabývá. Toto vinutí je také teoreticky rozebráno a jsou zde odvozeny algoritmy pro jeho tvorbu na tomto modelu navíjecího stroje. Respektive tyto algoritmy lze použít pouze u navíjecích strojů s rozváděním pomocí vačky nebo rozváděcího bubínku.

Konstrukční část obsahuje popis konstrukčních řešení jednotlivých modifikovaných ústrojí navíjecího stroje a na závěr pak popis stroje jako celku. Výrobní dokumentace byla vytvořena v systému Creo parametric 2 a je přiložena k této diplomové práci nejen v papírové formě, ale i elektronicky na CD.

Konstrukce celého modelu byla ovlivněna tím, že jsme vycházeli z již hotového stroje, který byl pouze modifikován. Ačkoli tato skutečnost jistě zlevní výrobu modelu navíjecího stroje a zjednodušila i celkový návrh, byl by stroj navržený od začátku jistě zkonstruován jednodušeji a kompaktněji. Například řemenové převody a převody ozubenými koly by mohly být nahrazeny převodovkami umístěnými přímo k servomotorům. Vícechodá vačka by pravděpodobně byla nahrazena rozváděním s krokovým motorem u kterého není olejová náplň a nehrozí tak únik oleje a možné znečištění navíjeného materiálu. Byť je olej utěsněn v rozváděcím mechanismu dobře, mohlo by v krajním případě při porušení těsnění dojít k jeho úniku.

Vlastní konstrukci modelu navíjecího stroje se bohužel vzhledem k vytíženosti výrobních možností naší katedry nepodařilo do současné chvíle realizovat, ale výrobní dokumentace i příslušné algoritmy jsou připraveny, a tak pevně doufám, že se konstrukce realizuje a dojde i k praktickému odzkoušení odvozených algoritmů.

Do budoucna by mělo být bez větších problémů možné na tomto navíjecím stroji navíjet i náviny dokonale přesným křížovým vinutím a to pouhou změnou algoritmu z digitálního vinutí na DPKV. Algoritmy pro DPKV byly odvozeny v jiných pracích a neměl by být velký problém je aplikovat i zde. Dokonale přesné křížové vinutí vyžaduje relativně přesné odměřování poloměru navíjení, které ale instalované inkrementální čidlo bez problému zajistí.

## Seznam použité literatury

[1] Kaniok, J.: Nový systém přesného křížového vinutí. Disertační práce. TU Liberec 2004.

[2] Amrich M., Diplomová práce. 2013 TU Liberec.

[3] Vilda P., Diplomová práce. 2006 TU Liberec.

[4] Kaniok, J.: Studie – Zpráva k postupu a teorii výpočtů návinů rovingů s přesným křížovým návinem pro požadované parametry a výpočet převodů pro navíjecí stroje, Liberec 2006

[5] [www.trima.cz/our\\_machines/texturizing\\_machines/dst\\_609090\\_fb.html](http://www.trima.cz/our_machines/texturizing_machines/dst_609090_fb.html)

[6] [www.ssm.ch](http://www.ssm.ch)

[7] [www.wolframalpha.com](http://www.wolframalpha.com)

## Seznam obrázků

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1: Tvary cívek používaných v textilní výrobě.....                                  | 9  |
| Obrázek 2: Druhy cívek navíjených paralelním vinutím.....                                  | 11 |
| Obrázek 3: Struktura cívky navinuté divokým vinutím.....                                   | 12 |
| Obrázek 4: Kuželová a válcová cívka soukaná divokým vinutím [6] .....                      | 12 |
| Obrázek 5: Struktura cívky navinuté přesným křížovým vinutím.....                          | 13 |
| Obrázek 6: Počet bodů vratu pro různé soukací poměry [4] .....                             | 14 |
| Obrázek 7: Rozdíl v hustotě cívky s návinem PKV a DPKV [1] .....                           | 15 |
| Obrázek 8: Změna osově vzdálenosti nití u cívek s PKV.....                                 | 15 |
| Obrázek 9: Průběh soukacího poměru v závislosti na poloměru navíjení.....                  | 16 |
| Obrázek 10: Rozvádění rotujícími křídly [6].....                                           | 17 |
| Obrázek 11: Rozvádění krokovým motorem [6] .....                                           | 18 |
| Obrázek 12: Rozvádění vícechodou vačkou.....                                               | 18 |
| Obrázek 13: Rozvádění pomocí rozváděcího bubnu [6] .....                                   | 19 |
| Obrázek 14: Skokové změny soukacího poměru.....                                            | 20 |
| Obrázek 15: Závislost soukacího poměru na úhlu stoupání ovinů $\alpha$ a průměru $d$ ..... | 21 |
| Obrázek 16: Body vratu na čele cívky a rozvin vrstvy nití do roviny .....                  | 23 |
| Obrázek 17: Schéma navíjecího mechanismu .....                                             | 25 |
| Obrázek 18: Algoritmus pro digitální vinutí.....                                           | 26 |
| Obrázek 19: Odměřování poloměru navíjení.....                                              | 27 |
| Obrázek 20: Odvození závislosti mezi počtem inkrementů a poloměrem navíjení .....          | 28 |
| Obrázek 21: Odvození závislosti po změně geometrie stroje.....                             | 28 |
| Obrázek 22: Závislost vypočteného poloměru navíjení na počtu inkrementů.....               | 29 |
| Obrázek 23: Nový stroj a původní stav získaného stroje [5].....                            | 30 |
| Obrázek 24: Umístění pohonů a převody .....                                                | 32 |
| Obrázek 25: Vícechodá vačka .....                                                          | 33 |
| Obrázek 26: Mechanismus upínání cívky.....                                                 | 34 |
| Obrázek 27: Úprava držáku válečku.....                                                     | 35 |
| Obrázek 28: Kompletní navíjecí stroj .....                                                 | 36 |

## **Seznam příloh**

- 1) Výkresová dokumentace úpravy navíjecího stroje.
- 2) CD s textem práce a výkresovou dokumentací.