



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ

Ústav konstruování a částí strojů

Parametrický návrh modulárních prvků svařovacího polohovadla

Parametrical design of modular components for welding rotating manipulator

Bakalářská práce

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: Ing. Roman Uhlíř, Ph.D.

František Horák

Praha 2016

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Horák** Jméno: **František** Osobní číslo: **424741**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav konstruování a částí strojů**
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Parametrický návrh modulárních prvků svařovacího polohovadla

Název bakalářské práce anglicky:

Parametrical Design of Modular Components for Welding Rotating Manipulator

Pokyny pro vypracování:

V rámci práce vypracujte rešerši v oblasti pohonů (elektromotory, převodové skříně, spojky, brzdy) a otočí. Sestavte metodiku pro návrh požadovaných parametrů modulárních prvků polohovadla na základě vstupních hodnot. Návrhový aparát vytvořte ve vhodném softwaru. Pro ověření navržené metodiky zvolte modelové ukázky řešení.

Seznam doporučené literatury:

ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Spojce a části spojovací. Praha: ČVUT, 2008. ŠVEC, V. Části a mechanismy strojů. Mechanické převody. Praha: ČVUT, 2003. KUGL, O. Projekt - III. ročník. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Roman Uhlíř Ph.D.

Jméno a pracoviště konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **02.04.2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.06.2016**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(ky)

Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu (tuto skutečnost písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána), stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé.

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

20.4.2016

Datum převzetí zadání

Horák

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Parametrický návrh modulárních prvků svařovacího polohovadla“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Uhlíře, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze 20. 06. 2016

František Horák

Poděkování

Chtěl bych poděkovat firmě Prestar za zprostředkování tématu mé bakalářské práce, zejména pak Ing. Michalu Komárkovi za cenné rady. Dále také mé sestře Kristýně za pomoc s překladem z německého jazyka.

Anotační list

Jméno autora: **František HORÁK**

Název BP: *Parametrický návrh modulárních prvků svařovacího polohovadla*

Anglický název: Parametrial design of modular components for welding rotating manipulator

Rok: 2016

Studijní program: B2342 Teoretický základ strojního inženýrství

Obor studia: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Ústav: *Ústav konstruování a částí strojů*

Vedoucí BP: *Ing. Roman Uhlíř, Ph.D.*

Konzultant: *Ing. Michal Komárek*

Bibliografické údaje: počet stran 38
počet obrázků 16
počet příloh 2

Klíčová slova: Elektromotor, parametrický návrh, svařovací polohovadlo

Keywords: Electric motor, parametrical design, welding manipulator

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá rozbořem elektromotorů a otočí s následnou volbou správného elektromotoru pro svařovací polohovadlo. Přílohou bakalářské práce je excelový soubor pro optimální volbu elektromotoru a otoče.

Abstract:

This bachelor thesis deals with analysis of electric motors and slewing rings followed by choosing proper electric motor for rotating welding manipulator. An attachment to the bachelor thesis is excel file for optimal choice of electric motor and slewing ring.

Obsah

1. Úvod.....	- 7 -
2. Rešerše	- 8 -
2.1 Stejnoseměrné motory	- 8 -
2.2 Synchronní motory	- 8 -
2.3 Asynchronní motory	- 9 -
2.4 Parametry elektromotoru.....	- 9 -
2.4.1 Otáčky	- 10 -
2.4.2 Výkon.....	- 10 -
2.4.3 Napětí	- 11 -
2.4.4 Účinnost.....	- 11 -
2.4.5 Způsob montáže	- 12 -
2.4.6 Formy ochrany.....	- 12 -
2.4.7 Pracovní prostředí	- 13 -
2.5 Převodové skříně	- 13 -
2.5.1 Převodovky s čelním soukolím	- 14 -
2.5.2 Převodovky s kuželovým soukolím	- 14 -
2.5.3 Kuželočelní převodovky	- 15 -
2.5.4 Převodovky se šnekovým soukolím.....	- 15 -
2.5.5 Planetové převodovky	- 16 -
2.6 Hřídelové spojky.....	- 16 -
2.7 Brzdy	- 20 -
2.8 Otoče.....	- 21 -
2.8.1 Kuličkové provedení	- 21 -
2.8.2 Válečkové provedení	- 21 -
2.8.3 Kombinované provedení	- 22 -
3. Metodika pro návrh pohonu.....	- 23 -
3.1 Stanovení momentu	- 23 -
3.2 Stanovení otáček	- 24 -
3.3 Kontrola rychlosti.....	- 25 -
3.4 Kontrola ozubení	- 25 -
4. Modelové ukázky řešení.....	- 27 -
4.1 Ukázka č. 1	- 27 -
4.1.1 Volba pohonu.....	- 27 -
4.1.2 Kontrola rychlosti	- 29 -

4.1.3	Kontrola ozubení.....	- 29 -
4.2	Ukázka č. 2	- 30 -
4.2.1	Volba pohonu.....	- 30 -
4.2.2	Kontrola rychlosti	- 32 -
4.2.3	Kontrola ozubení.....	- 32 -
5.	Závěr.....	- 33 -
6.	Seznam použitých značek.....	- 34 -
7.	Seznam použité literatury.....	- 35 -
8.	Seznam obrázků	- 37 -
9.	Seznam příloh	- 38 -

1. Úvod

Téma této bakalářské práce vzešlo od firmy Prestar, které se specializuje na manipulační techniku. Po vyrobení konkrétního svařovacího polohovadla, bylo mým cílem vytvořit metodiku pro zrychlený návrh vhodného pohonu a otoče pro další potenciální zakázky.

Svařovací polohovadla jsou zařízení sloužící k upnutí svařenců a usnadnění následné manipulace s nimi. Vykonávají rotační pohyb zajištěný elektromotorem, který bývá zpravidla zpřevodován pomocí ozubeného převodu.

V této práci bych se nejprve chtěl zabývat problematikou elektromotorů z hlediska jejich rozdělení dle principu funkce a dále bych chtěl zhodnotit kritéria, dle kterých se elektromotory volí. Dalším tématem rešerše budou otoče, které nesou lícni desky ke kterým je upnut svařenec.

V následující části na základě vstupních parametrů zadaných zákazníkem, vytvořím postup pro výpočetní návrh parametrů elektromotoru a otoče, který bude demonstrován na ukázkových návrzích.

Kromě samotné bakalářské práce je mým následujícím cílem také vytvořit ve vhodném softwaru tento návrhový aparát pro umožnění praktické aplikace výsledků mé práce.

2. Rešerše

2.1 Stejnosměrné motory

Tento druh motoru využívá principu minimální energie. Proud protéká magnetickou smyčkou umístěnou ve vnitřním magnetickém poli. Proud indukuje magnetické pole, které je vždy orientováno jako vnější magnetické pole. To se děje díky komutátoru, který změnil směr proudu pokaždé, co dojde k překlopení. Když budou magnetická pole orientována proti sobě, bude energie soustavy nižší. Tím pádem působí na smyčku moment, který se jí snaží překlopit. Protože překlopení způsobí změnu směru proudu protékajícího smyčkou, dochází k opakování děje. [1]

Mezi hlavní výhody stejnosměrného motoru patří snadné řízení, které je realizováno změnou budícího napětí na rotoru a lineární charakteristika závislosti otáček na budícím napětí na rotoru. Na druhou stranu je jeho konstrukce složitější a rozměrnější. Kromě toho je sériovost výroby značně menší a proto v zájmu lepší technologičnosti se využívá některých částí z asynchronních motorů.

Mezní výkon pro stejnosměrný stroj je až 10 MW při otáčkách do 100 min^{-1} při napětí nejvýše 900V, takovýto motor je využíván například u válcovacích stolic.

Stejnosměrné motory se dají dělit podle způsobu buzení na:

STEJNOSMĚRNÉ MOTORY S CIZÍM BUZENÍM

Budící vinutí je napájeno z externího zdroje

STEJNOSMĚRNÉ MOTORY SE SÉRIOVÝM BUZENÍM

Budící vinutí je zapojeno do série s kotvou

STEJNOSMĚRNÉ MOTORY S DERIVAČNÍM BUZENÍM

Budící vinutí je zapojeno paralelně s kotvou

STEJNOSMĚRNÉ MOTORY SE SMÍŠENÝM BUZENÍM

Kombinace sériového a derivačního buzení.

STEJNOSMĚRNÉ MOTORY S BUZENÍM PERMANENTNÍMI MAGNETY

Vinutí je nahrazeno částečně nebo úplně permanentními magnety

2.2 Synchronní motory

Točivý elektrický stroj, který se otáčí synchronně s točivým elektromagnetickým polem vzniklým ve stroji. Stator je prakticky totožný jako u asynchronního stroje, avšak rotor je z plné oceli namísto plechů. Na rotoru je umístěno budící vinutí. [2]

2.3 Asynchronní motory

Jedná se o točivý elektrický stroj, jehož magnetický obvod je rozdělen malou mezerou na dvě části: stator a rotor.

Stator je pevně uložen do stacionární části motoru. Je vyroben z tenkých drážkovaných plechů s vysokou permeabilitou, vložených dovnitř ocelového nebo litinového rámu. Rotor, jenž je uložen v ložisku na statoru je namontován na ose motoru a rotuje. Každá část má své vlastní vinutí.

Asynchronní elektromotory se dají podle statorového vinutí dělit na:

- a) trojfázový
- b) jednofázový (používá se pro malé výkony)

a podle rotorového vinutí:

- a) nakrátko
- b) kroužkový

Elektromotor nakrátko má vinutí zhotoveno z masivních tyčí, spojených po obou stranách vodivými prstenci.

Kroužkový elektromotor má začátky vinutí na tři kroužky na hřídeli. Na tyto kroužky dosedají uhlíkové sběrací kartáče, díky nimž se může do rotorového vinutí zařadit vhodný odpor čímž lze regulovat záběrný proud, otáčky a záběrný moment motoru.

Výhodou asynchronních motorů s kotvou nakrátko je, že jsou jednoduché, odolnější a spolehlivější, zatímco u motorů s vinutou kotvou je vyžadována údržba kartáčů. Na druhou stranu jsou motory s kotvou nakrátko hůře říditelné a dochází k proudovému nárazu při spuštění. Tento problém se řeší přídavnou elektronikou, která na druhou stranu dělá motory s kotvou nakrátko dražšími. [2]

2.4 Parametry elektromotoru

Protože asynchronní elektromotory s kotvou nakrátko jsou nejvhodnější aplikací pro zařízení vyžadující standartní dynamiku pohonu, kam kromě polohovadel patří dopravníky, mlýny, drtiče, brusky, pohony pojezdů nebo bran, budu se zabývat volbou právě takového elektromotoru

2.4.1 Otáčky

První kritérium, které je třeba vzít v úvahu je rychlost otáčení. Je dána počtem pólů a frekvencí vstupního napětí. Proto jsou asynchronní elektromotory vyráběny v následujících provedeních:

- dvoupólové – rychlost otáček přibližně v rozsahu 2 470 – 2 990 ot/min
- čtyřpólové – rychlost otáček přibližně v rozsahu 1 350 – 1 490 ot/min
- šestipólové – rychlost otáček přibližně v rozsahu 830 – 990 ot/min
- osmipólové – rychlost otáček přibližně v rozsahu 630 – 740 ot/min

Existují i provedení ještě pomalejších elektromotorů (desetipólové, dvanáctipólové), ale ty se již tolik nevyužívají.

Pokud nevyhovuje ani jedna z uvedených rychlostí, je možné rychlost regulovat i jinými prostředky:

- převodovka s konstantním převodovým poměrem – konstrukčně a finančně náročnější varianta, vykazuje ovšem vysoké hodnoty účinnosti a malé radiální zátěže hřídele motoru
- variátor – převodovka s proměnlivým převodovým poměrem, vlastnosti má podobné jako u samotné převodovky
- řemenový nebo řetězový převod – levné a jednoduché řešení, na druhou stranu vyšší ztráty krouticího momentu a vysoké radiální síly na hřídel motoru
- frekvenční měnič – elektrická součást sloužící k regulaci otáček změnou frekvence, může rychlost měnit skokově nebo plynule [3]

2.4.2 Výkon

S otáčkami další charakteristika, kterou je nutno správně určit pro volbu optimálního pohonu. Předimenzování vede ke zbytečným nákladům a poddimenzování může vést k poruše elektromotoru.

Při řízení otáček frekvenčními měniči se musí brát v úvahu pokles nominálního výkonu. [3]

2.4.3 Napětí

Standardně se v ČR používá třífázová síť 3AC s napětím 400 V a frekvencí 50 Hz a jednofázová síť 1AC s napětím 230 V a frekvencí 50 Hz.

Z hlediska hlučnosti, ceny, ohřívání motoru a záběrového momentu je lepší volit elektromotor třífázový.

V ČR je obvykle používají tyto varianty:

- a) 3AC 400VY / 230VD 50Hz – pro výkony do 3 kW, umožňuje napájení motoru měničem s jednofázovým vstupním napětím
- b) 3AC 400VD / 690VY 50Hz – pro výkony nad 3 kW, umožňuje dvojitě spuštění přepínačem hvězda/trojúhelník [3]

2.4.4 Účinnost

Vzhledem k faktu, že elektrické motory tvoří většinu spotřeby elektrické energie v průmyslu, ale i mimo průmysl v podobě ventilací nebo čerpadel, jsou na ně kladeny vysoké nároky na účinnost a to jak z hlediska ochrany životního prostředí, tak z hlediska úspory finančních nákladů.

Motory jsou rozděleny do tříd podle účinnosti dle evropské normy EU 60034-30. Poslední změna vstoupila v platnost k 1. 1. 2015. Rozlišuje čtyři kategorie:

- IE1 – standardní nebo nízká účinnost
- IE2 – zvýšená účinnost
- IE3 – vysoká účinnost
- IE4 – prémiová účinnost

Ovšem motory kategorie IE1 a IE 2 již není možno, kromě vyjímek, nasazovat dle normy do provozu a motory kategorie IE3 pouze při napájení měničem. V praxi to znamená, že se zvýšily pořizovací náklady, ale měly by klesat výdaje spojené s provozem [3].

2.4.5 Způsob montáže

Podle způsobu montáže je nutno správně volit tvar elektromotoru, co se týče provedení upínacích prvků, kterými je motor upevněn k rámu nebo k hnanému zařízení.

Motory se standardně montují v následujících tvarech:

- a) Patkový tvar – tělo motoru je upnuto patkami k rámu
- b) Přírubový tvar – motor je upnut přírubou čelně okolo hřídele
- c) Patko-přírubový tvar – kombinace předchozích dvou variant [3]

Způsob montáže vyjadřuje příslušný kód montáže. Skládá se z dvou písmen označujících mezinárodní kód pro montáž IM, písmenem označujícím vertikální polohu V nebo horizontální polohu B a číslem které udává druh provedení upínacích prvků. [4] Například pro přírubový elektromotor v horizontální poloze bude kód IM V 5.

Při montáži jiných prvků k elektromotoru (např. spojky, převodovky) je třeba dávat pozor na ložiska, nárazy v axiálním směru mohou mít negativní vliv na životnost elektromotoru.

2.4.6 Formy ochrany

Spolehlivý provoz je základní podmínkou pro používání elektromotorů. Je třeba rozlišit poruchy způsobené okolním prostředím (vodou nebo vnikem cizího předmětu) a poruchou motoru způsobené zkraty a přetížením.

Ochranu proti dotyku specifikuje norma IEC 34-5 a ochranu proti vodě norma IEC 52-9. Označení příslušné ochrany je dáno písmeny IP (*international protection*) a dvěma číslicemi. První udává ochranu proti vniku pevných částic a druhá ochranu proti vodě. Takovéto ochrany se zajišťují hlavně kryty a těsněními.

Ke zkratu dojde při přímém spojení mezi dvěma součástmi s rozdílným elektrickým potenciálem. Zkrat může prorazit izolaci a zničit kontakty stykače. Jako ochrana se používají zkratové spouště, které se dimenzují na nejvyšší hodnotu předpokládaného zkratového proudu.[5]

2.4.7 Pracovní prostředí

Některé parametry a doplňky elektromotoru se odvíjejí především od prostředí, ve kterém je motor používán. Zde jsou uvedeny hlavní faktory, které právě toto ovlivňují:

- a) Nebezpečí výbuchu nebo vznícení hořlavých par, plynů a prachů – motory musí mít certifikaci ATEX dle evropské směrnice 94/9/ES, která stanovuje základní požadavky na bezpečnost zařízení a ochranu zdraví pro použití v takovémto prostředí. [6]
- b) Nadmořská výška a okolní teplota – obvykle udávané výkony platí do nadmořské výšky 1000 m. n. m. a okolní teploty do 40 °C, pokud jsou tyto hodnoty překročeny je nutno korigovat výkon.
- c) Relativní vlhkost – protože motory po vypnutí chladnou tak ve vlhkých prostředích může uvnitř kondenzovat voda, která by po opětovném spuštění mohla zapříčinit zkrat. Základní třída motorů je určena do prostředí s 30 g vody na 1 m³ vzduchu. Jako ochrana před tímto jevem se používají antikondenzační ohříváče motorů, které udržují teplotu motoru několik stupňů nad okolní teplotou.
- d) Styk s olejovou lázní převodovky – tento případ se řeší olejovým radiálním těsněním kroužkem gufero. [3]

2.5 Převodové skříně

Převodovky jsou obecně strojní zařízení sloužící k převodu mezi hnacím a hnaným strojem. Při tom podle převodového poměru mění rychlost otáčení a krouticí moment.

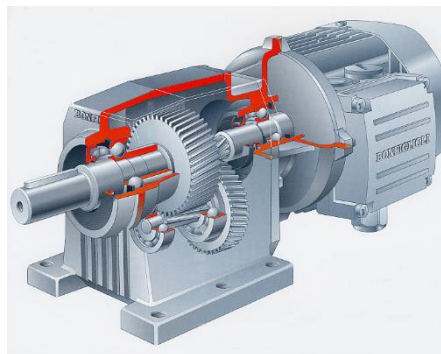
Druh převodové skříně se volí zejména podle požadovaného převodu, krouticího momentu a potřebné přesnosti.

Podle principu realizace převodu se vyrábí například v následujících provedeních:

2.5.1 Převodovky s čelním soukolím

Základní druh převodovky pro asynchronní motory, ale lze spojit i se servomotory a krokovými motory. Využívají se hlavně jako reduktory. Výhodou bývá nízká osová výška a vysoká účinnost.[7]

Osy hřídelí čelní převodovky jsou vzájemně rovnoběžné. Používají se především kola se šikmými zuby, jelikož zprostředkovávají plynulejší vstup do záběru, vyšší součinitel záběru, klidnější chod a rovnoměrnější zatížení zubu, na druhou stranu v soukolí s šikmými zuby vzniká přídavná axiální síla. [8]



Obr. 1.: Převodovka s čelním ozubením [9]

2.5.2 Převodovky s kuželovým soukolím

Používají se jak pro změnu otáček, tak pro rozvod rotačního pohybu. Mohou mít více výstupních hřídelí. Mají výhodný poměr zástavba – výkon.

Hřídele kuželové převodovky jsou vzájemně kolmé. Existuje mnoho variant konstrukce a tvaru zubů. Při vyšších rychlostech a zatíženích se místo zubů přímých používají zuby šikmé a zakřivené, protože jsou méně citlivé na výrobní nedokonalosti, deformace a zajišťují klidnější chod. [8]



Obr.2.: Převodovka s kuželovým ozubením [7]

2.5.3 Kuželočelní převodovky

Vhodné pro úhlové převody pro svou variabilitu. Díky vysoké účinnosti a životnosti v některých aplikacích nahrazují šnekové převodovky. [7]



Obr.3.: Kuželočelní převodovka [7]

2.5.4 Převodovky se šnekovým soukolím

Nejvhodnější pro případy je potřeba zaručit vysokou přesnost. Obecně jsou schopny odolávat vyššímu statickému i dynamickému zatížení. Typickou aplikací jsou dopravníky všech typů. Mají nižší hodnoty účinnosti, umožňují vysoké převodové poměry. [7]

Hřídele jsou ve šnekové převodovce vzájemně kolmé. Šířka šneku na rozdíl od jiných druhů ozubených kol mnohonásobně převyšuje roztečný průměr.

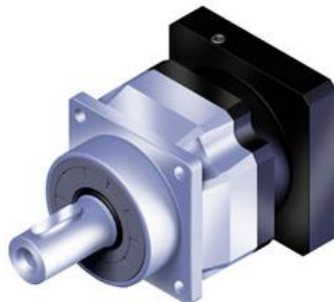
Existují tři druhy soukolí: válcová, globoidní a smíšená. [8]



Obr.4.: Šneková převodovka [7]

2.5.5 Planetové převodovky

Nejvhodnější varianta pro spojení se servomotorem nebo krokovým motorem pro nejnáročnější použití, například u obráběcích strojů. Vyznačují se malými rozměry, vysokou přesností a účinností a vysokými hodnotami převodových poměrů. [7]



Obr.5.: Přímá planetová převodovka [7]

2.6 Hřídelové spojky

Hřídelové spojky jsou strojní součásti sloužící ke spojení hřídelů a přenášejí kroucí moment a výkon z hnacího hřídele na hnaný. Navíc musí vykonávat i další funkce: vyrovnávat osovou nepřesnost, tlumit torzní kmity, chránit proti přetížení a umožňovat snadnější montáž i demontáž.

Vhodné umístění spojky je co nejbližší ložisku. Spojka by měla být lehká a snadno rozebíratelná.

Spojky se dle norem ČSN dělí na mechanicky ovládané a neovládané, hydraulické, elektrické a magnetické [10].

Mechanicky neovládané spojky

Rozdělují se dále na:

- nepružné
 - pevné
 - vyrovnávací
- pružné
 - lineární
 - nelineární

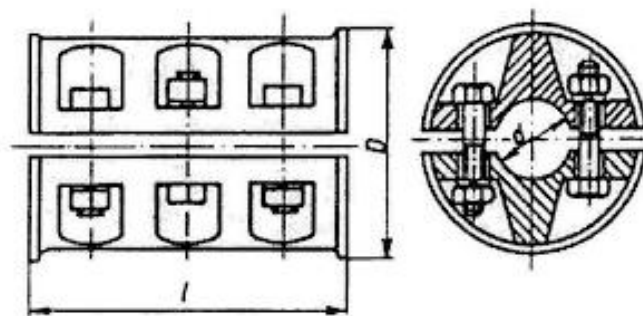
Pevné spojky

Spojují hřídele trvale bez možnosti relativního pohybu. Je vyžadována dokonalá souosost. Dokáží přenést i určitý ohybový moment, ale v tom případě je nutné je umístit velice blízko k ložiskům. Jsou konstrukčně jednoduché a představují levné řešení.

Kroutící moment je přenášen pouze spojujícím dílem spojky. Pero nebo klín slouží jen jako pojištění [10].

Korýtkové spojky

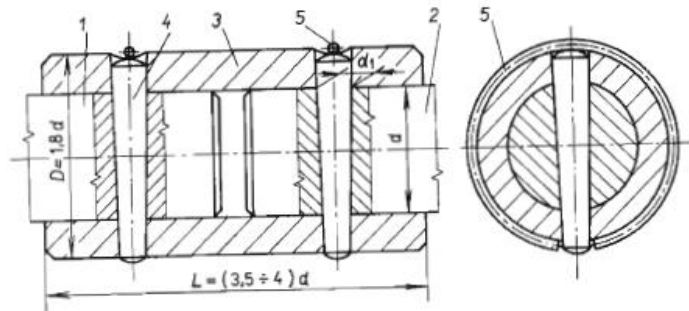
Spojka rozdělená v rovině kolné k ose hřídele. Dvě části spojky jsou spojeny šrouby. Kroutící moment je přenášen silovým stykem. Konce hřídelů musí mít shodný průměr. Vhodné pro přenášení vysokých výkonů a nevhodná pro nárazové zatížení.



Obr.6.: Korýtková spojka [11]

Trubková spojka

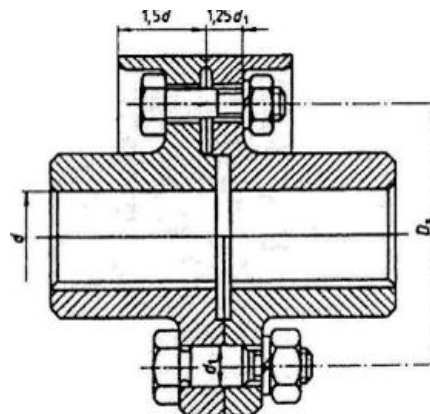
V hřídelích jsou pera, kolíky nebo klíny. Přes konce hřídelí se nasune dutý válec jako objímka buď s vnitřní drážkou nebo otvory pro kolíky, který zajistí spojení.



Obr.7.: Trubková spojka kolíková [11]

Kotoučová spojka

Nejčastěji používaná spojka především pro svoji flexibilitu, spolehlivost a konstrukční jednoduchost. Je vhodná pro velké momenty i nárazové zatížení. Dva kotouče jsou nasazeny na konce hřídelů. Kroutcí moment je přenášen klínem nebo perem. Kotouče jsou k sobě připojeny šrouby, pro přenášení nárazových zatížení se používají lícované šrouby [10].



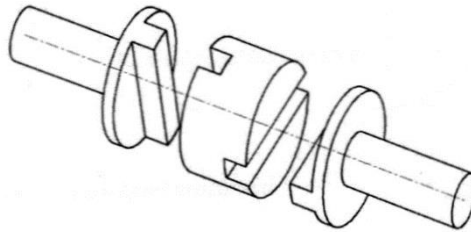
Obr.8.: Kotoučová spojka [11]

Vyrovnávací spojky

Dokážou pojmout určité osové posunutí spojovaným hřídelům. Jsou tedy vhodné například pro spoje, které vlivem teploty dilatují nebo pro nesousosé spojení.

Radiální spojka s křížovým kotoučem (Oldhamova)

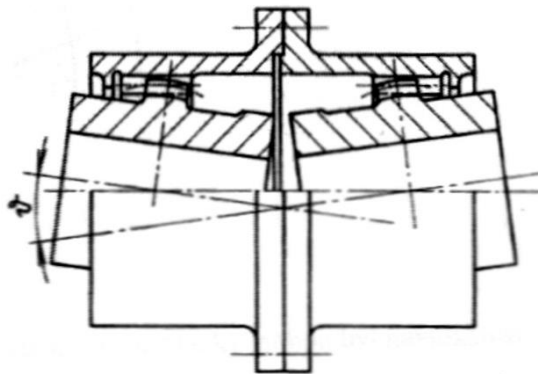
Je tvořena třemi elementy. Hnací a hnaným kusem mezi kterými je střední křížový kus, který mezi hnací a hnaný zapadá svými vybráními.



Obr.9.: Oldhamova spojka [11]

Univerzální zubová spojka

Umožňuje i úhlové vychylky a posuv. Vnitřní ozubení objímek je přímé a vnější je soudečkové [10].



Obr.10.: Univerzální zubová spojka [11]

Pružné spojky

Spojícím elementem hnací a hnané části je jeden nebo více spojujících pružných členů. Pružné členy bývají vyrobeny z kovu, pryže, kůže nebo plastu.

Tyto spojky tlumí rázy pomocí pružných členů. Dále tyto spojky nevyžadují dokonalou souosost hřídelí, chrání před rezonančními torzními kmity a mění kritické otáčky.

Tyto vlastnosti spojky mají kvůli pružinám, jež jsou namáhané na tah, tlak, krut a smyk. Vzhledem k tomu, že pružiny mohou být z různých materiálů, mít různé geometrie a uspořádání, existuje mnoho provedení pružných spojek.

Pružné spojky s kovovými členy

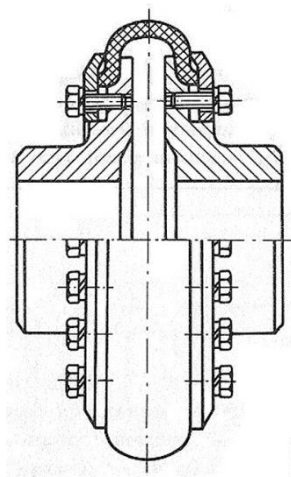
Spojovacími členy mohou být ocelové jehly, ocelová pouzdra, šroubovitě pružiny nebo listové pružiny.

Pružné spojky s nekovovými členy

Materiálem spojovacích členů bývá pryž, kůže nebo plasty ve tvaru hranolů, jehel, obručí nebo čepů. Obzvlášť výhodným materiálem je pryž, je snadno tvarovatelná a má vysoké vnitřní tření, což jí dává velice dobré tlumící účinky.

Obručová spojka

Pružný člunek je z pryže s tkaninovou vložkou ve tvaru obruče. V závislosti na otáčkách je tato spojka schopna snést úhlovou výchylku až 4° a radiální úchylku až 4 mm [10].



Obr.11.: Obručová spojka [11]

2.7 Brzdy

Obecně je brzda součástí sloužící k zpomalení či zastavení předmětu nebo k udržení předmětu v klidu. Při prostém odpojení ze sítě se v motoru akumuluje velké množství kinetické energie, které by způsobilo velice dlouhý doběh. Pro zkrácení doby doběhu je potřeba vyvinout rzdny moment. Toho lze dosáhnout mechanicky nebo elektricky.

Elektromotory lze brzdít elektricky protiproudem. Protiproudé brždění je velice jednoduché, stačí prohodit fáze statoru. Nevýhodou je velký ztrátový výkon a malý moment. [2]

2.8 Otoče

Tato zařízení slouží k realizaci rotačního pohybu stolu z elektromotoru na principu ložiska. Budu se dále zabývat otočemi s integrovaným vnějším ozubením na prstenci.

2.8.1 Kuličkové provedení

Používá se ve variantách s jednou nebo dvěma řadami. Kuličky mají průměr 12 až 70 mm. Vhodné pro náročné pracovní podmínky. Bezpečné pro tvarové nedokonalosti a vzniklé vibrace.

Mohou být i v přírubovém provedení.

Existuje i varianta s jednořadou velkých nosných kuliček a druhou řadou s menšími pojistnými kuličkami.

Používá se ve větrných turbínách, jeřábech nebo stavebních strojích [12].



Obr. 12.: Kuličkové provedení dvouřadé [12] Obr. 13.: Kuličkové provedení jednořadé [12]

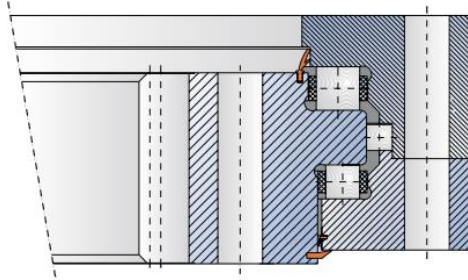
2.8.2 Válečkové provedení

Válečky se vyrábí v průměrech od 10 do 100 mm. Používají se plastové nebo mosazné klece. Jejich předností je, vysoká statická i dynamická únosnost při malých rozměrech v porovnání s ostatními provedeními. Zároveň jsou na ně kladeny vysoké

nároky co se týče rozměrové přesnosti připojené konstrukce, aby se dosáhlo rovnoměrného rozložení zatížení.

Existuje i v provedení s křížovými válečky.

Používají se jako součásti manipulátorů, polohovacích zařízení nebo obráběcích strojů [12].



Obr. 15.: Válečkové provedení [12]

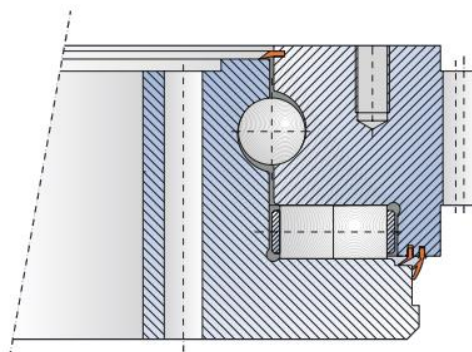


Obr. 14.: Provedení s křížovými válečky [12]

2.8.3 Kombinované provedení

Jedná se o kombinaci kuličkového a válečkového připojení. Válečky slouží k zachycení axiální síly a kuličky k zachycení radiální síly. Většinou tam kde je dominantní axiální síla a menší radiální síla.

Mezi typické oblasti použití patří zařízení pro manipulaci s objemným nákladem, kolesová rypadla nebo obráběcí stroje [12].



Obr. 16.: Kombinované provedení [12]

3. Metodika pro návrh pohonu

V této kapitole se budu zabývat teoretickým postupem pro návrh pohonu.

3.1 Stanovení momentu

Volba pohonu se odvíjí od schopnosti motoru vykonávat požadovanou činnost v požadovaném čase při co nejnižších pořizovacích a provozních nákladech. V tomto případě to znamená, že musí být schopen přes ozubený převod otáčet točnou takovou rychlostí, aby to stihl v zadaném čase, ale zároveň byla činnost bezpečná z hlediska zastavení břemene.

Pro tuto aplikaci se používají převážně 4-pólové asynchronní motory s kuželočelní převodovkou. Kuželočelní převodovka je výhodná díky vysokým hodnotám převodových poměrů a také je vhodná z montážního hlediska, kdy jsou na sebe kolmé vstupní a výstupní hřídel. Takto lze motor jednoduše přimontovat na plochou stranu stojny polohovadla.

Parametry zadané zákazníkem:

m [kg] – nosnost polohovadla

e [m] – maximální vzdálenost težiště svařence od osy točny

t [s] – čas na otočení svařence o 360°

h [m] – maximální výška svařence

w [m] – maximální šířka svařence

POTŘEBNÝ MOMENT PRO ROZTOČENÍ TOČNY:

$$M_k = \frac{m}{2} * g * e \text{ [Nm]}$$

$g = 9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ – gravitační zrychlení

Tíha svařence se rozloží rovnoměrně mezi dvě stojny, lze ji tedy dělit dvěma.

POTŘEBNÝ MOMENT MOTORU:

$$M'_{km} = 1.25 * \frac{M_k}{i} * \frac{1}{j} \text{ [Nm]}$$

$$i = \frac{z_t}{z_p}$$

i [-] – převodový poměr mezi točnou a pastorkem

j [-] – počet motorů

z_t [-] – počet zubů točny

z_p [-] – počet zubů pastorku

Moment se násobí koeficientem 1,25 na základě zkušeností firmy, kde se nechává rezerva 25% momentu pro dynamické účinky při rozběhu.

V případě příliš vysokého zatížení v ozubení či jiných komplikacích s jedním větším motorem se používají motory dva, které rovnoměrně zabírají.

3.2 Stanovení otáček

Stroj musí být schopen splnit zadání co se týče otočení o 360° v určeném čase a navíc se počítá 5 s na rozjezd a dojezd.

Výpočet se provede podle základních vzorců pro úhlovou rychlost ze které se určí otáčky točny. Z otáček točny se získají otáčky pastorku přenásobením převodovým poměrem.

Potřebná úhlová rychlost točny:

$$\omega_t = \frac{2\pi}{t - 5} [s^{-1}]$$

Otáčky točny:

$$n_t = \frac{60 * \omega_t}{2 * \pi} [ot/min]$$

Otáčky pastorku:

$$n_p = n_t * i [ot/min]$$

Výsledný motor se vybere z katalogu motorů jako motor s nejbližším vyšším momentem a dostatečnými otáčkami.

3.3 Kontrola rychlosti

Nejvyšší přípustná obvodová rychlost největšího možného svařence vzhledem k bezpečnému rozbíhání a zastavování je $v = 250$ mm/s. Pokud zákazníkem není specifikováno jinak.

Při překročení optimální rychlosti nelze garantovat bezpečný provoz zařízení z důvodu vysoké setrvačnosti svařence. V takovém případě je třeba počítat s doběhem výrobku po přerušení pohybu a nutností následného polohování mikroposuvy realizovanými speciálním ovládním.

u [m] – nejdelší uhlopříčka břemene

$$u = \sqrt{w^2 + h^2}$$

n_{t_skut} [ot/min] – skutečné otáčky točny

n_{p_skut} [ot/min] – skutečné otáčky pastorku

$$n_{t_skut} = \frac{n_{p_skut}}{i}$$

$$v = \pi * u * 10^3 * \frac{n_{t_skut}}{60} < 250 \text{ mm/s}$$

3.4 Kontrola ozubení

Při kontrole ozubení je třeba vypočítat sílu na jeden zub, poté na základě dovoleného zatížení na zub zkontrolovat volbu točny. Při poddimenzování ozubení otoče může dojít k jeho poničení například formou pittingu nebo může dojít dokonce k lomu zubu.

Síla na zub se vypočítá jako moment motoru podělený poloměrem roztečné kružnice pastorku. Poloměr roztečné kružnice pastorku se získá jako polovina součinu počtu zubů pastorku a modulu.

Výpočet síly na zub:

$$F = \frac{M_{km}}{\frac{d_p}{2}} = \frac{M_{km}}{\frac{\eta * z_p * 10^{-3}}{2}} [N]$$

$d_p [mm]$ – průměr roztečné kružnice pastorku

$\eta [mm]$ – modul

Vzhledem k tomu, že ozubení pastorku bývá užší než ozubení otoče se hodnota dovolené síly na zub snižuje přibližně o 15%, opět na základě zkušeností z firmy. Vypočítaná hodnota se porovná s hodnotou v katalogu.

4. Modelové ukázky řešení

Sled výpočetních operací se shoduje s pořadím uvedeným v kapitole metodika návrhu pohonu. Stanoví se potřebný moment, převodový poměr a otáčky motoru z předem uvedených vztahů. Následně se provedou kontroly rychlosti a síly v ozubení, z čehož se vyjde pro návrh otoče a počtu motorů.

4.1 Ukázka č. 1

Parametry zadané zákazníkem:

$m = 25\,000$ kg – nosnost

$e = 0,2$ m – maximální vzdálenost težiště svařence od osy točny

$t = 40$ s – čas na otočení svařence o 360°

$h = 2$ m – maximální výška svařence

$w = 3,1$ m – maximální šířka svařence

4.1.1 Volba pohonu

Moment potřebný k roztočení točny:

$$M_k = \frac{m}{2} * g * e = \frac{25\,000}{2} * 9,81 * 0,2 = 24\,525 \text{ Nm}$$

Převodový poměr:

Na pastorku se určí počet zubů $z_p = 19$. Počet zubů otoče z_t se pohybuje v rozmezí od 118 do 158, odstupňováno po 10 zubech.

Předběžně stanovím $z_t = 148$, z katalogu výrobce IMO jsem našel příslušnou otoč s označením 11-25 1355/1-03160 a modulem $m_j = 10$.

$$i = \frac{z_t}{z_p} = \frac{148}{19} = 7,79$$

Potřebný moment motoru:

$$M'_{km2} = 1,25 * \frac{M_k}{i} * \frac{1}{j} = 1,25 * \frac{24\,525}{7,79} * \frac{1}{2} = 1\,968,7 \text{ Nm}$$



Pro variantu s jedním motorem by vypadal výpočet následovně:

$$M'_{km1} = 1,25 * \frac{M_k}{i} * \frac{1}{j} = 1,25 * \frac{24\,525}{7,79} * \frac{1}{1} = 3\,935,6 \text{ Nm}$$

Pro tento případ budu brát dva motory, protože pokud bych vzal motor pouze jeden je pravděpodobné, že síly v ozubení by byly nepřijatelné.

Poté co se stanoví potřebný moment motoru je třeba přejít k další části, kde se vypočítá další parametr motoru, v tomto případě jsou to otáčky. Otáčky vychází z úhlové rychlosti točny ω_t .

$$\omega_t = \frac{2\pi}{t-5} = \frac{2\pi}{40-5} = 0,18 \text{ s}^{-1}$$

Se znalostí úhlové rychlosti točny je možné vypočítat její potřebné otáčky n_t .

$$n_t = \frac{60 * \omega_t}{2 * \pi} = \frac{60 * 0,18}{2 * \pi} = 1,714 \text{ ot/min}$$

Z otáček točny se otáčky pastorku n'_p vypočítají jednoduše přenásobením převodovým poměrem.

$$n'_p = n_t * i = 1,714 * 7,79 = 13,35 \text{ ot/min}$$

Pro skutečné otáčky pastorku musí platit:

$$n_{p_skut} > n'_p$$

Z katalogu firmy SEW jsem podle potřebného kroutícího momentu a otáček určil jako optimální variantu motoru s kuželocelní převodovkou typ: K97 DRS 100M4 [13].

Informace z katalogu:

Výkon:	3 kW
Otáčky:	14 ot/min
Moment:	1 980 Nm
Převodový poměr:	96,8

4.1.2 Kontrola rychlosti

Nyní je třeba zkontrolovat jestli při zvolených otáčkách nebude maximální okamžitá rychlost břemene přesahovat dovolenou hodnotu $v = 250 \text{ mm/s}$. Nejdříve je třeba určit nejdelší uhlopříčka břemene a skutečné otáčky břemene.

$$u = \sqrt{w^2 + h^2} = \sqrt{3,1^2 + 2^2} = 3,69 \text{ m}$$

$$n_{t_skut} = \frac{n_{p_skut}}{i} = \frac{14}{7,263} = 1,803 \text{ ot/min}$$

Z těchto hodnot se dosadí do potřebného vztahu a určí se maximální obvodová rychlost břemene.

$$v = \pi * u * 10^3 * \frac{n_{t_skut}}{60} = \pi * 3,69 * 10^3 * \frac{1,803}{60} = 348,4 \text{ mm/s}$$

V tomto případě rychlost nespĺňuje podmínku bezpečnosti. Ovšem ze samotného zadání není možné této podmínce vyhovět a zároveň splnit požadavek na otočení o 360° ve stanoveném čase. Co se týče rozběhu a doběhu to není takový problém, protože ty budou řízeny frekvenčními měniči, ale je třeba zákazníka upozornit, že má brát obsluha na zřetel vyšší setrvačnost svařence a počítat s vyšším doběhem po přerušení otáčení.

4.1.3 Kontrola ozubení

Z této části se bude vycházet ze vztahu uvedeného v sekci 3.4.

$$F = \frac{M_{km}}{\frac{\eta_j * z_p * 10^{-3}}{2}} = \frac{1\,980}{\frac{10 * 19 * 10^{-3}}{2}} = 20\,842 \text{ N}$$

Otoč s modulem 10 a počtem zubů 148 má dovolenou sílu na zub 43 kN. Vzhledem k tomu, že pastorek má šířku 60 mm a šířka ozubení řady otočí s modulem 10 je 71 mm je nutné snížit dovolenou sílu na zub otoče o 15%.

$$F'_d = 0,85 * 43 = 36,55 \text{ kN}$$

Dovolená síla síla na zub otoče je stále vyšší než skutečná síla a zvolená otoč tedy vyhovuje kontrole na ozubení a nehrozí poškození.

4.2 Ukázka č. 2

Parametry zadané zákazníkem:

$m = 10\,000 \text{ kg}$ – nosnost

$e = 0,2 \text{ m}$ – maximální vzdálenost težiště svařence od osy točny

$t = 40 \text{ s}$ – čas na otočení svařence o 180°

$h = 1 \text{ m}$ – maximální výška svařence

$w = 2,5 \text{ m}$ – maximální šířka svařence

4.2.1 Volba pohonu

Moment potřebný k roztočení točny:

$$M_k = \frac{m}{2} * g * e = \frac{10\,000}{2} * 9,81 * 0,2 = 9\,810 \text{ Nm}$$

Převodový poměr:

Na pastorku se opět ponechá počet zubů $z_p = 19$. U otoče se kvůli menšímu zatížení může zvolit otoč s nižším modulem a dovoleným zatížením. Navrhnu otoč s označením 11-25 0855/1-03110. Důležité parametry otoče jsou počet zubů $z_t = 109$ a modul $m = 9$.

$$i = \frac{z_t}{z_p} = \frac{109}{19} = 5,737$$

Potřebný moment motoru:

Spočítám potřebný moment motoru pro provedení jak s jedním tak dvěma pohony.

$$M'_{km2} = 1.25 * \frac{M_k}{i} * \frac{1}{j} = 1.25 * \frac{9\,810}{5,737} * \frac{1}{2} = 1\,068,75 \text{ Nm}$$

$$M'_{km1} = 1.25 * \frac{M_k}{i} * \frac{1}{j} = 1.25 * \frac{9\,810}{5,737} * \frac{1}{1} = 2\,137,5 \text{ Nm}$$

V tomto případě vychází nutné momenty nižší a není třeba používat motory dva.

Při stanovení potřebných otáček je tentokrát rozdíl v tom, že zákazník stanovil čas na otočení pouze o 180° , proto je ve vztahu pro výpočet úhlové rychlosti ω_t pouze jedenkrát π .

$$\omega_t = \frac{\pi}{t - 5} = \frac{\pi}{40 - 5} = 0,09 \text{ s}^{-1}$$

Vztah pro potřebné otáčky n_t již zůstává stejný.

$$n_t = \frac{60 * \omega_t}{2 * \pi} = \frac{60 * 0,09}{2 * \pi} = 0,857 \text{ ot/min}$$

Z otáček točny se otáčky pastorku n'_p opět vypočítají přenásobením převodovým poměrem.

$$n'_p = n_t * i = 0,857 * 5,737 = 4,917 \text{ ot/min}$$

Z katalogu firmy SEW jsem podle potřebného kroutícího momentu a vyhovujících otáček vybral motor s kuželočelní převodovkou typ: K97 R57 DRS 90M4 [13].

Informace z katalogu:	Výkon:	1,5 kW
	Otáčky:	6 ot/min
	Moment:	2 200 Nm
	Převodový poměr:	232

4.2.2 Kontrola rychlosti

$$u = \sqrt{w^2 + h^2} = \sqrt{2,5^2 + 1^2} = 2,69 \text{ m}$$

$$n_{t_skut} = \frac{n_{p_skut}}{i} = \frac{6}{5,737} = 1,046 \text{ ot/min}$$

Nejdelší uhlopříčka svařence je v tomto případě 2,69 m a skutečné otáčky točny 1,046 ot/min.

$$v = \pi * u * 10^3 * \frac{n_{t_skut}}{60} = \pi * 2,69 * 10^3 * \frac{1,046}{60} = 147,4 \text{ mm/s}$$

Po dosazení do vztahu pro obvodovou rychlost je vidět, že v tomto případě zařízení s rezervou splňuje podmínku bezpečnosti.

4.2.3 Kontrola ozubení

$$F = \frac{\frac{M_{km}}{\eta * z_p * 10^{-3}}}{2} = \frac{\frac{2\,200}{9 * 19 * 10^{-3}}}{2} = 25\,731 \text{ N}$$

Pro zvolenou otoč platí, že síla na zub nesmí přesáhnout 36 kN. Také v tomto případě bude pastorek užší než ozubení otoče takže se opět musí hodnota dovoleného zatížení snížit o 15%.

$$F'_d = 0,85 * 36 = 30,6 \text{ kN}$$

Ani po snížení ovšem není dovolená hodnota nižší než skutečná hodnota a lze tedy konstatovat, že zvolená otoč vyhovuje a může být bezpečně použita.

5. Závěr

V této bakalářské práci jsem se zabýval volbou vhodných parametrů elektromotoru, které jsem shrnul v rešerši. Dále se rešerše týká strojních komponent, které přímo navazují na pohon a jsou často odvozeny právě od druhu a parametrů pohonu. Poslední část rešerše se zabývá popisem různých provedení otočí.

Hlavním cílem práce bylo vytvořit metodiku pro návrh modulárních prvků polohovadla. Nejprve se stanoví potřebné parametry motoru tak, aby splňoval zadání a byl schopen vykonávat funkci, jakou zákazník žádá. Moment se určí z rozboru zatížení polohovadla a potřebné otáčky se navrhnou z minimálního možného času na otočení svařence. Při určení vhodných parametrů jsem byl omezen nabídkou motorů s převodovkou a nešlo tedy vybrat úplně optimální variantu. Točna se zvolí podle potřebného převodu mezi pohonem a polohovadlem a zkontroluje se, jestli síla v ozubení není vyšší než dovolená hodnota. Jako prostředek pro rychlý návrh jsem vytvořil excelový soubor do kterého jsem zadal výpočetní vztahy uvedené v této bakalářské práci tak, aby bylo možno pohony navrhovat rychle a efektivně.

V poslední části práce jsou uvedeny dvě ukázky, jak takový návrh vypadá. První ukázka ukazuje návrh se dvěma pohony. Lze vidět, že někdy není možné dodržet podmínku rychlosti a zároveň splnit zadání. V takovém případě bylo potřeba upozornit zákazníka na rizika s tím spojená. U druhé ukázky jsem se rozhodl použít pouze jeden pohon, protože maximální zatížení bylo nižší a nevznikaly by příliš velké síly v ozubení. V tomto případě již s rychlostí problém nebyl a zvolené řešení vyhovělo všem kontrolám.



6. Seznam použitých značek

d_p	průměr roztečné kružnice pastorku
e	maximální vzdálenost težiště svařence od osy točny
g	gravitační zrychlení
h	maximální výška svařence
i	převodový poměr
j	počet motorů
m	hmotnost
η	modul
M_k	potřebný moment pro roztočení točny
M'_{km}	potřebný moment motoru
n_t	potřebné otáčky točny
n_p	potřebné otáčky pastorku
n_{t_skut}	skutečné otáčky točny
n_{p_skut}	skutečné otáčky pastorku
t	čas na otočení svařence o 360°
u	nejdelší uhlopříčka svařence
v	obvodová rychlost
w	maximální šířka svařence
ω_t	úhlová rychlost
Z_t	počet zubů točny
Z_p	počet zubů pastorku

7. Seznam použité literatury

- [1] MRAVEC, Rudolf. *Elektrické stroje a přístroje*. 2., upr. vyd. Bratislava: Slovenské vydavatelství technické literatury, 1970. Edice elektrotechnické literatury (Slovenské vydavatelství technické literatury).
- [2] UHLÍŘ, Ivan. *Elektrické stroje a pohony*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03730-0.
- [3] Konfigurátor elektromotorů. *Konfigurátor elektromotorů* [online]. Mohelnice: KVELB [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.elektromotory.cz/podpora/>
- [4] Účinnost. *Pohonnatechnika.cz* [online]. [cit. 2016-06-18]. Dostupné z: <http://www.pohonnatechnika.cz/skola/motory/asynchronni-motor/eu-direktiva-o-ucinnosti>
- [5] BOHUŠÍK, Petr. Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku. *Elektro*. 2007, (11). DOI: 1210-0889.
- [6] ATEX certifikace. *Kronium* [online]. Brno, Praha [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.kronium.cz/atex-certifikace-pro-zarizeni-do-vybusneho-prostredi/info_24.html
- [7] Převodovky RAVEO. *RAVEO* [online]. Otrokovice [cit. 2016-05-28]. Dostupné z: <http://www.raveo.cz/prevodovky>
- [8] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: mechanické převody*. Praha: České vysoké učení technické, 1999. ISBN 80-01-01934-9.
- [9] Helical gear Bonfiglioli. *OPIS Engineering* [online]. Brno [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: http://www.opis.cz/prevodovky-bonfiglioli/photo_gallery/Helical_gear_Bonfiglioli.jpg

[10] KŘÍŽ, Rudolf a kol. *Stavba a provoz strojů I: Části strojů*. SNTL -Nakladatelství technické literatury. Praha: SNTL, 1977. L13-C2-V-43f/25559.

[11] BOLEK, Alfred a Josef KOCHMAN. *Části strojů*. Vyd. 5., přeprac. (v SNTL 1. vyd.). Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1989. Technický průvodce. ISBN 80-03-00046-7.

[12] IMO. *Drehverbindungen*, Gramsdorf, 138 s.

[13] SEW Eurodrive. *DR-Gearmotors*. Bruchsal, 2008 , 693 s.

8. Seznam obrázků

- obr.1 Převodovka s čelním ozubením*
- obr.2 Převodovka s kuželovým ozubením*
- obr.3 Převodovka s kuželočelním ozubením*
- obr.4 Převodovka se šnekovým ozubením*
- obr.5 Přímá planetová převodovka*
- obr.6 Korýtková spojka*
- obr.7 Trubková kolíková spojka*
- obr.8 Kotoučová spojka*
- obr.9 Oldhamova spojka*
- obr.10 Univerzální zubová spojka*
- obr.11 Obručová spojka*
- obr.12 Kuličkové provedení jednořadé*
- obr.13 Kuličkové provedení dvouřadé*
- obr.14 Válečkové provedení*
- obr.15 Provedení s křížovými válečky*
- obr.16 Kombinované provedení*

9. Seznam příloh

- Příloha 1* *Excelový návrhový soubor*
Příloha 2 *Schéma uložení motorů na točně*