

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba výrobních strojů a zařízení

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh aretačního zařízení frézovacího vřetene vodorovné vyvrtávačky
s koaxiálním hlavním pohonem

Autor: Bc. **Petr Ovčička**

Vedoucí práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**

Akademický rok 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Petr OVČIČKA**
Osobní číslo: **S14N0055P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba výrobních strojů a zařízení**
Název tématu: **Návrh aretačního zařízení frézovacího včetně vodorovné
vyvrtávačky s koaxiálním hlavním pohonem**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Základní požadavky:

Proveďte rešerši v dané oblasti. V práci budou vypracovány a srovnány jednotlivé varianty konstrukčních provedení a užitých vlastností. Pro vybranou variantu bude zpracováno konstrukční řešení včetně jeho ověření. Na závěr práce bude vypracována výkresová dokumentace a technicko ekonomické zhodnocení navržené varianty.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova diplomové práce:

1. Rešerše, specifikace požadavků.
 2. Vypracování konstrukčních variant a výběr optimální varianty řešení podle zadaných kritérií.
 3. Kontrola technických výpočtů.
 4. Vypracování potřebné výkresové dokumentace.
 5. Technicko-ekonomické zhodnocení navržené konstrukční varianty.
-

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah kvalifikační práce: **50-70 stran A4**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

STANĚK, J., NĚMEJC, J. *Metodika zpracování a úprav diplomových (bakalářských) prací.* Plzeň: ZČU, 2005

HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. *Příručka strojního inženýra 1.* Brno: Computer Press, 1999

Podkladový materiál, výkresy, katalogy, apod. poskytnuté zadavatelem úkolu.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zdeněk Hudec, CSc.**
Katedra konstruování strojů
Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Kubíček**
ŠKODA MACHINE TOOL a.s., Plzeň
Datum zadání diplomové práce: **19. září 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 19. září 2016

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Touto cestou bych rád poděkoval mému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Zdeňku Hudcovi, CSc. a především odbornému konzultantovi z firmy ŠKODA MACHINE TOOL a.s. Ing. Jiřímu Kubíčkoví za jejich odborné rady, připomínky a metodické vedení. Poděkování patří také Ing. Františku Sedláčkovi na odborné rady s programem Siemens NX 10. Dále bych chtěl velice poděkovat své blízké rodině za podporu při studiu.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Ovčička	Jméno Petr	
STUDIJNÍ OBOR	2302T019 „Stavba výrobních strojů a zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Hudec, CSc.	Jméno Zdeněk	
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh aretačního zařízení frézovacího vřetene vodorovné vyvrtávačky s koaxiálním hlavním pohonem		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KKS	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	86	TEXTOVÁ ČÁST	63	GRAFICKÁ ČÁST	23
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Diplomová práce je zaměřena na analýzu stávajícího řešení aretace frézovacího vřetene s koaxiálním hlavním pohonem. Analýza obsahuje nalezení vhodné vůle pro zajištění aretačního momentu a vliv změny hlavních rozměrů aretace na aretační moment. Dále práce obsahuje návrh brzdného zařízení pro bezpečnostní zastavení frézovacího vřetene při výpadku elektrického proudu. Přílohou práce je vybraná výkresová dokumentace.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p style="text-align: center;">ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>ŠKODA MACHINE TOOL a.s., HCW 3000, vodorovná vyvrtávačka, koaxiální hlavní pohon, aretace, bezpečnostní brzda, MKP analýzy, Siemens NX 10</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Ovčíčka	Name Petr	
FIELD OF STUDY	2302T019 “Design of Manufacturing Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Hudec, CSc.	Name Zdeněk	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Design of arresting equipment milling spindle horizontal boring machine with coaxial main drive		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN	2017
----------------	---------------------------	-------------------	-------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	86	TEXT PART	63	GRAPHICAL PART	23
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The thesis is focused on analysis of current solution of arrest the milling spindle with coaxial main drive. Analysis includes finding ideal gap for capture arrest moment and effects of change the main dimensions to the arrest moment. Furthermore, thesis includes design of safety brake system for emergency stop of milling spindle in the event of a power failure.
KEY WORDS	ŠKODA MACHINE TOOL a.s., HCW 3000, horizontal boring machine, coaxial main drive, arresting equipment, safety brake, FEM analysis, Siemens NX 10

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Představení firmy ŠKODA MACHINE TOOL a. s.....	11
3	Úvod do problematiky	12
3.1	Aretace.....	12
3.2	Brzdné mechanismy	12
4	Analýza konstrukce stroje HCW 3000.....	13
4.1	Kinematické schéma.....	13
4.2	Umístění stávajícího řešení aretace	14
4.3	Technické parametry HCW 3000	15
4.3.1	Parametry hlavního pohonu:	16
4.3.2	Převody jednotlivých stupňů.....	17
4.4	Konstrukce stroje HCW 3000.....	18
4.5	Stojan a lože.....	18
4.5.1	Vřeteník a pohon	18
4.5.2	Příslušenství	19
5	Analýza stávajícího řešení (aretace)	21
5.1	MKP kontrola aretačního zařízení.....	22
5.1.1	Výpočtový model	22
5.1.2	Deformační analýza.....	25
5.1.3	Pevnostní analýza	26
5.1.4	Vyhodnocení výpočtů	27
6	Vliv změny rozměrů na velikost aretačního momentu	29
6.1	Výpočtový model	29
6.2	Výsledky výpočtů.....	29
7	Návrh bezpečnostního brzdného zařízení	32
7.1	Dostupná řešení na trhu	32
7.1.1	Stromag	32
7.1.2	Pivko brakes	33
7.1.3	Svendborg brakes	33
7.1.4	HEMA	34
7.1.5	Brembo	34
7.2	Porovnání řešení	35
8	Konstrukční návrh brzdy.....	36
8.1	Provozní stavy brzdy	36

8.1.1	Výpočet setrvačných hmot:	37
8.1.2	Potřebný brzdňý moment	38
8.1.3	Redukce hmotných momentů setrvačnosti	39
8.2	Návrh parametrů kotoučové brzdy	40
8.2.1	Výpočet brzdňého momentu	41
8.2.2	Výpočet potřebné celkové brzdňé síly	41
8.2.3	Výpočet tlaku na brzdňé ploše	42
8.2.4	Výpočet tlaku v obložení	42
8.2.5	Výpočet obvodové rychlosti	42
9	Konstrukční návrh brzdy	43
9.1	Přítlačné pružiny	43
9.2	Brzdňé písty	44
9.2.1	Výpočet odtlačování síly	45
9.2.2	Přítlačná síla tlakové kapaliny	45
9.3	Volba brzdňého obložení	46
9.4	Brzdňý třmen	46
9.5	Kotouč brzdy	48
9.6	Uložení brzdy	49
9.7	Vedení třmenu	49
9.8	Kryt brzdy	49
9.9	Chlazení	50
9.10	Příslušenství	51
9.11	Zkompletované zařízení	52
10	MKP teplotní analýza	54
10.1	Výpočetní model pro teplotní úlohu	54
10.2	Vypočtené hodnoty	56
10.3	Zhodnocení	58
11	Technicko-ekonomické zhodnocení	58
12	Závěr	59
	Použitá literatura	60
	Elektronické zdroje	60
	Seznam obrázků	61
	Seznam tabulek	62
	Seznam příloh	63
	Seznam výkresové dokumentace	63

Přehled použitých zkratk

ZČU	Západočeská univerzita v Plzni
FST	Fakulta strojní
KKS	Katedra konstruování strojů
3D	Trojdimenzionální
CAD	Computer aided design (Počítačová podpora konstruování)
MKP	Metoda konečných prvků
CNC	Computer Numerical Control (počítačem řízený obráběcí stroj)
ČSN	Česká technická norma
DIN	Deutsche Industrie-Norm (německá národní norma)
EN	Evropská norma
str.	strana
atd.	a tak dále
tzv.	takzvaně
ŠKODA MT a.s.	Akciová společnost ŠKODA MACHINE TOOL
HCW	Typové označení pro horizontální vyvrtávací stroj ŠKODA MT
FCW	Typové označení pro lehké vyvrtávací stroje ŠKODA MT
Nm	Jednotka točivého momentu
MPa	Jednotka tlaku
GPa	Jednotka tlaku
mm	Jednotka délky
m	Jednotka délky
s	Jednotka času
m/s	Jednotka rychlosti
kW	Jednotka výkonu
ot. /min	Otáčky za minutu
kg	Jednotka hmotnosti
kgm ²	Jednotka momentu setrvačnosti
i	Převodový poměr
ot. /min.	Otáčky za minutu
rad	Úhlová rychlost
rad ²	Úhlové zrychlení
J	Jednotka energie
kJ/kg/K	Tepelná vodivost
W/m ² *K	Specifická tepelná kapacita
°C	jednotka teploty

1 Úvod

Cílem této práce je konstrukční návrh aretační a bezpečností brzdy pro vřetenou horizontálního frézovacího a vyvrtávacího stroje ŠKODA HCW, výpočty návrhů, vytvoření 3D modelu a vybrané výkresové dokumentace. Jedná se o stroj s koaxiálním pohonem ve vřeteníku stroje. Brzda se musí aktivovat při výpadku proudu nebo při stisku bezpečnostního tlačítka.

V diplomové práci je nejprve představena zadavatelská firma a popis horizontální vyvrtávačky HCW 3000. Dále je zpracována analýza současného řešení aretace a nalezení optimální vůle v aretaci. Rozšířením této kapitoly je analýza vlivu změn rozměrů aretace na aretační moment.

Další kapitolou je uvedení problematiky průmyslových brzd a jejich použití. Pro nalezení vhodného umístění brzdy je provedena analýza konstrukce hlavního pohonu stroje HCW 3000. Hlavní část práce se zabývá konstrukčním návrhem brzdy vřetene stroje. Jednotlivé části brzdy jsou analyticky vypočteny. Návrh musí splňovat bezpečnostní normy a předpisy. Na základě výpočtů je vytvořen CAD model sestavy brzdy.

K závěru práce jsou provedeny kontrolní teplotní výpočty brzdného kotouče a obložení pomocí MKP analýzy.

2 Představení firmy ŠKODA MACHINE TOOL a. s.

Roku 1869 Emil Škoda odkoupil továrnu od hraběte Valdštejna. Tato továrna byla založena roku 1859 a součástí byli strojírný a slévárny, které zprvu vyráběly zařízení pro pivovary, cukrovary, železnice a parní stroje. V roce 1899 vzniká akciová společnost a ještě před první světovou válkou se stávají závody největší zbrojovkou Rakouska-Uherska.

Samotná historie ŠKODA MACHINE TOOL a. s. sahá do roku 1991, kdy byla zahájena výroba vlastních obráběcích strojů ŠKODA. Od výroby soustruhů pro opracování klikových hřídelí započaté v roce 1930, zahájili závody v roce 1980 výrobu také CNC strojů.

V novém tisíciletí započal vývoj horizontek typu HCW a FCW (Horizontální frézovací a vyvrtávací stroje a Lehké vodorovné vyvrtávačky). Kdy je možné tyto stroje doplnit o široké příslušenství od frézovacích či brousících hlav až po otočné stoly. Od roku 2007 působí také firma v Číně jako ŠKODA EASTERN. V současné době vyrábí ŠKODA MACHINE TOOL a. s. obráběcí stroje pro obrobky o průměru 5,2 metru a hmotnosti až 350 tun.

Firma je širokým okolím vnímána jako symbol vysoké technické úrovně s vysokou spolehlivostí. Svým silným konstrukčním a vývojovým potenciálem je logickým výběrem velkého množství zákazníků. Mezi ně se řadí jak výrobci větrných turbín, tak těžební průmysl a jaderná energetika. [3]

3 Úvod do problematiky

Výrobní stroje firmy ŠKODA MACHINE TOOL a. s. se řadí mezi konvenční obráběcí stroje (materiál je z polotovaru odebírán pomocí třískové metody). Pro výrobu rotačních součástí slouží soustruhy řady SR. Dalším typem strojů jsou lehké horizontální frézovací a vyvrtávací stroje FCW. Tyto stroje slouží k obrábění složitých a tvarově náročných skříňových obrobků. Řada strojů HCW patří mezi těžké obráběcí stroje s vysokým výkonem a pracovní přesností vhodné nejen pro vyvrtávací, ale i pro frézovací operace. Díky robustní konstrukci dosahují stroje řady HCW skvělé tuhosti, z které vyplývají velmi vysoké přesnosti při obrábění velkých součástí. Řízení stroje je prováděno pomocí řídicího panelu umístěného v kabině stroje na pracovní plošině v blízkosti vřetena.

Na vřetena strojů řady HCW je možné umístit velké portfolio nástrojů a obráběcích hlav. Z tohoto důvodu je nutné zajistit nástroj nebo frézovací hlavu proti pohybu při vypnutí stroji, aby se zamezilo případnému poškození nástroje, obráběného dílu a v neposlední řadě újmě na zdraví obsluhy stroje. Důležitá je také možnost stroj nouzově zastavit při maximálním zatížení stroje. Z tohoto důvodu musí být stroj vybaven bezpečností brzdou, která zajistí zastavení vřetene a nástroje před možným kontaktem s člověkem. Stroj musí být schopen nouzově zastavit a zajistit vřeteno proti pootočení i při výpadku elektrického proudu. [3]

3.1 Aretace

Pro zachycení rotačních částí a zabránění jejich pootočení se používají aretační prvky. Aretace slouží pouze k zafixování již zastavené součásti. Nelze ji využít pro snížení otáček. Lze ji využít například při výměně nástroje nebo při fixaci hřídelí a excentrů v požadované poloze při obrábění.

3.2 Brzdné mechanismy

Brzdami nazýváme takové strojní zařízení, které slouží ke snížení rychlosti pohybující se součásti nebo k jejímu úplnému zastavení. Používají se u dopravních prostředků, výtahů, kladkostrojů, jeřábů apod. Brzdy dělíme do 3 základních skupin: mechanické, proudové a elektrické.

Mechanické brzdy využívají pro tvorbu brzdného účinku tření mezi jednotlivými částmi brzdy. Rotační energie je převáděna na energii tepelnou. Proudové brzdy (hydraulické nebo pneumatické), využívají víření kapalin či plynů. Elektrické brzdy využívají přepnutí motoru na generátorový chod a při brzdění vzniká elektrický proud, který může být při usměrnění dodáván zpět do sítě nebo akumulován pro pozdější využití.

U aretací je hlavním cílem zachytit velký točivý moment na vřetení a zamezit vzniku rotačního pohybu. Při prokluzu může dojít k vzniku nežádoucího tepla a zadření aretace. Brzdy jsou určeny především pro snížení otáček již rotujících částí či jejich úplnému zastavení. Lze je využít i pro zachycení nerotujících částí, ale s nižším momentem než aretace.

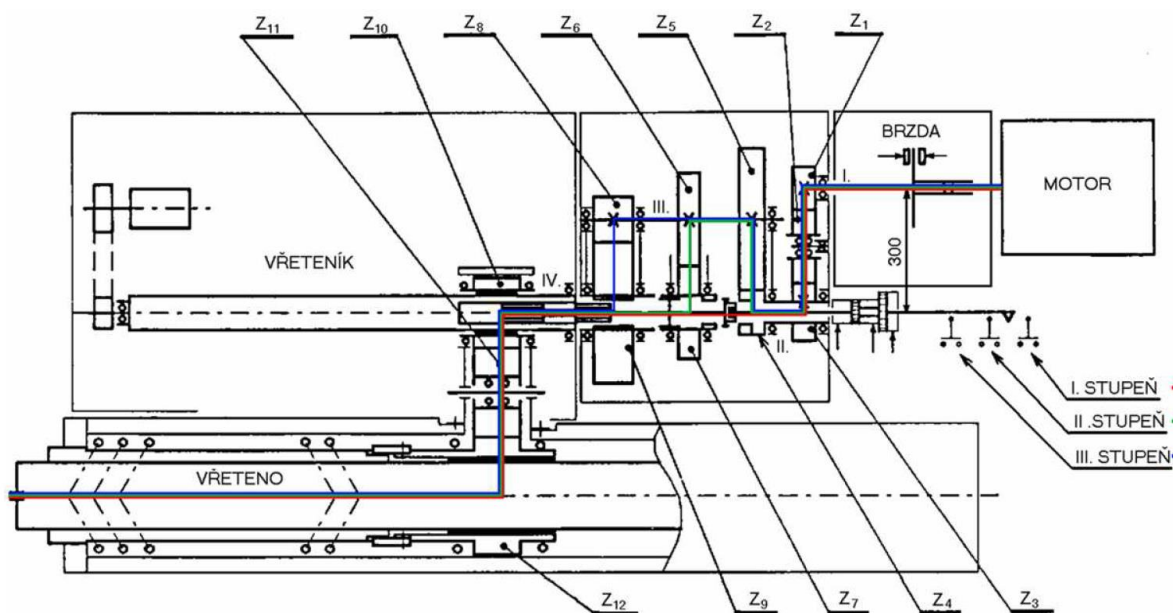
4 Analýza konstrukce stroje HCW 3000

V této kapitole je rozepsána analýza konstrukce a schéma vřetene stroje HCW a jeho dalších konstrukčních celků.

V současné době je na stroj instalována aretační brzda do prostoru za přední ložiska. Jedná se o člen ovládaný tlakovou kapalinou, která svým působením deformuje vnitřní část brzdy, vzniklé tření zajistí vřeteno proti pohybu. Při snížení tlaku v hydraulickém obvodu pružností brzděného válce dojde k odlehnutí od brzděného hřídele a může dojít k opětovnému pohybu. Při provozu může však dojít k výkyvu tlaku či chybnému aktivování brzdy. To má za následek devastaci brzděného členu a i hřídele vřetene. Při vysokých otáčkách může dojít i k natavení brzděného pouzdra a přivaření k hřídeli. Následná oprava je velmi pracná, časově a finančně náročná. Musí totiž dojít ke kompletní demontáži vřeteníku a rozebrání všech jeho vnitřních částí.

4.1 Kinematické schéma

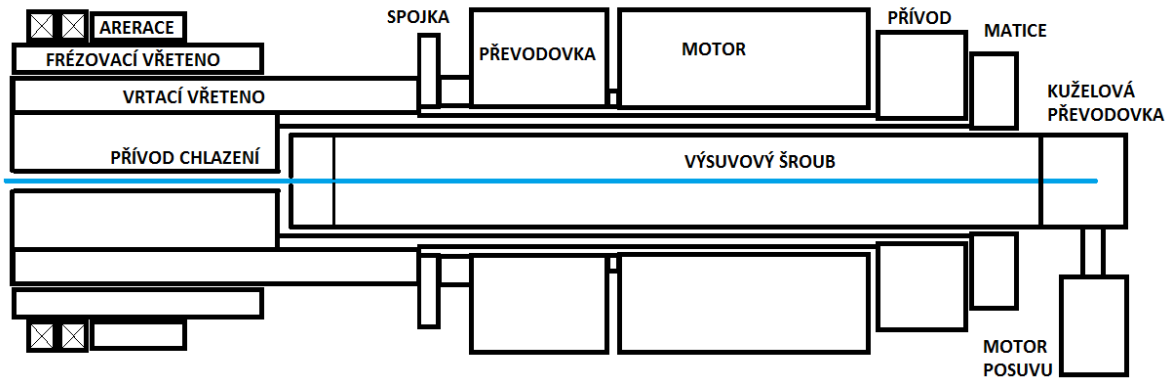
Původní řešení strojů řady HCW využívalo umístění hlavního pohonu s převodovou skříní umístěnou rovnoběžně nad výsuvným vřetenem. Výkon je přenášen finálním převodem - pastorkem Z10 a mezikolem Z11 na kolo Z12 spojené s vřetenem. Aby mohl vřeteno vykonávat výsuvný pohyb je finální převod napojen na drážkovaný hřídel. U toho řešení je pro umístění brzdy dostatečný prostor mezi motorem a převodovou skříní a brzda má dostatečné možnosti chlazení. Chlazení nástroje je zajištěno skrze duté vřeteno.



Obrázek 1- Schéma vodorovné vyvrtávačky HCW 1-4 [3]

Stávající řešení zastavení vřetene u strojů řady HCW2000-4000 je řešeno pouze pomocí aretace. Aretaci lze využít pouze k zachycení vřetene proti otočení při nulových otáčkách. Pro brždění vřetene je v současné době využito pouze brždění motorem, které při výpadku elektrického proudu nedokáže zajistit rychlé a bezpečné zastavení vřetene. Z tohoto důvodu je

nutné stávající řešení upravit či nahradit jiným tak, aby bylo schopné dostatečně rychle zastavit vřeteno rotující při maximálních otáčkách. Stávající řešení aretace je hydraulické.



Obrázek 2- Kinematické schéma HCW3000

4.2 Umístění stávajícího řešení aretace

Stávající řešení je umístěno v přední části vřeteníku za předními ložisky. Pro demontáž a opravu aretace je nutné rozebrat celý vřeteník. Toto řešení je velmi zdlouhavé a dochází k finančním ztrátám způsobeným nečinností celé horizontální vyvrtávačky. Aretace je navržena pro zachycení momentu 5 000 Nm při působení tlaku kapaliny 10 MPa.

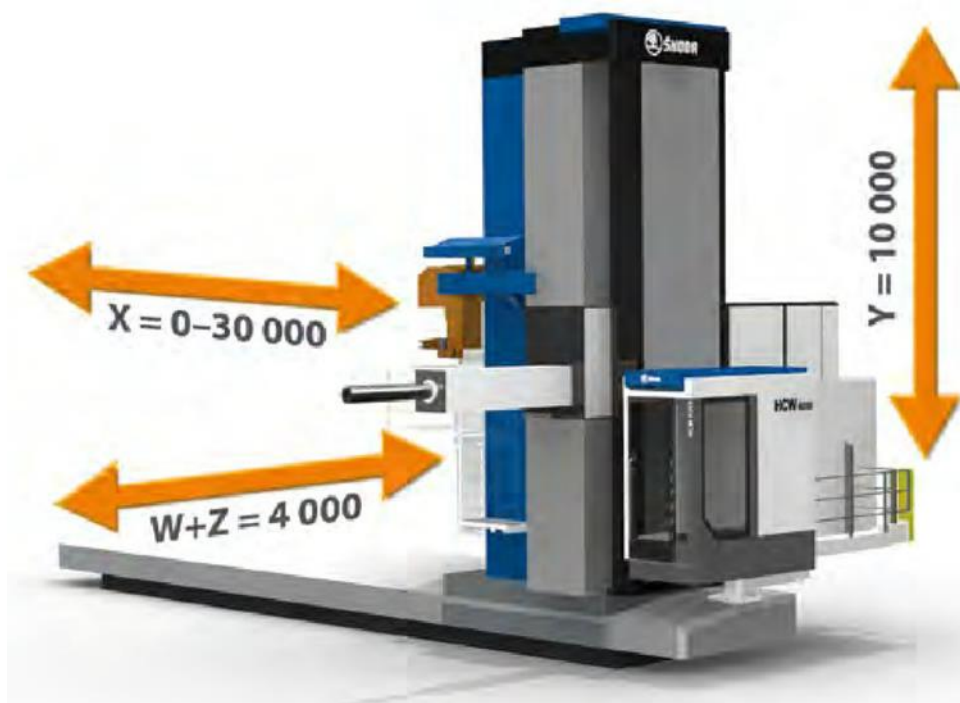


Obrázek 3- Skica umístění aretace

4.3 Technické parametry HCW 3000

Průměr vrtacího vřetena	mm	180 / 200 / 225
Otáčky vrtacího vřetena	mm	1 – 3 000
Maximální moment vřetena	Nm	8 000
Výkon motoru hl. pohonu	kW	103
Výsuv W	mm	1 400
Výsuv Z	mm	2 000
W + Z	mm	3 400
Pojezd X	mm	3 000 – 30 000
Pojezd Y	mm	2 500 – 10 000
Maximální tlak oleje	MPa	12
Maximální tlak vzduchu	MPa	0,6

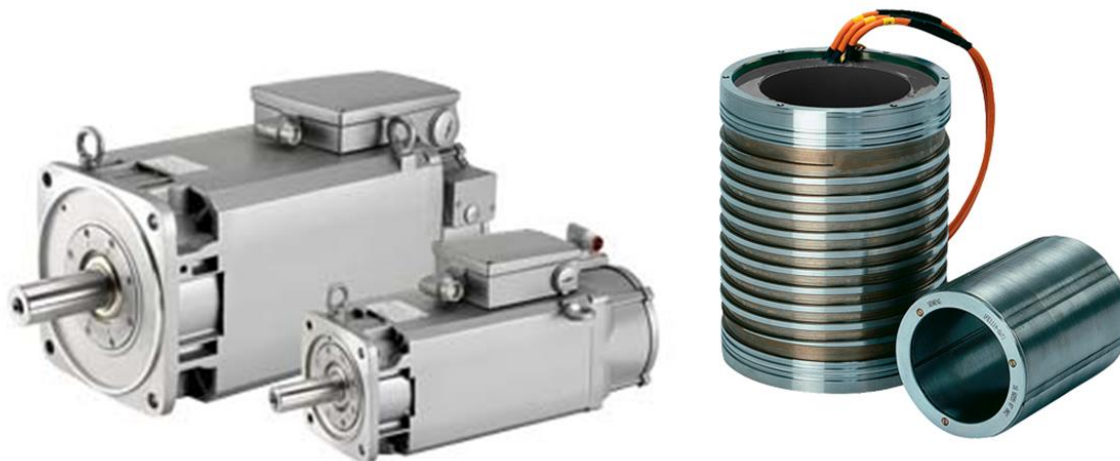
Tabulka 1- Parametry vodorovné vyvrtávačky HCW 3000 [4]



Obrázek 4- Pohyb vřetene v jednotlivých osách strojů řady HCW [4]

4.3.1 Parametry hlavního pohonu:

Hlavním pohonem je motor od výrobce SIEMENS. Z konstrukčních důvodů je použit dutý rotor 1FE také od tohoto výrobce. Dutý rotor je nutný pro přísun chladicí kapaliny do středu nástroje a také pro výsuv frézovacího a vrtacího vřetene. Přenos točivého momentu z vřetene je zajištěn pomocí příruby. U současného řešení výrobce využívá hlavní pohon také jako brzdny člen. Nevýhodou je však nemožnost jej ovládat při výpadku sítě.



Obrázek 5- synchronní motor SIEMENS a dutý rotor 1FE

Synchronní motor SIEMENS 1FE1147-8WN	
Jmenovitý Výkon P_{rated}	111 [kW]
Jmenovité otáčky n_{rated}	1200 [ot. /min]
Jmenovitý točivý moment M_{rated}	820 [Nm]
Maximální výkon P_{max}	124 [kW]
Maximální otáčky n_{max}	6000 [ot. /min]
Maximální točivý moment M_{max}	1110 [Nm]
Moment setrvačnosti motoru J	0,28823 [kgm ²]
Hmotnost motoru	155 [kg]

Tabulka 2- Parametry synchronního motoru Siemens 1FE1147-8WN [15]

4.3.2 Převody jednotlivých stupňů

Součástí hlavního pohonu je i koaxiální 2 stupňová převodová skříň. Výrobce této převodové skříně je sama ŠKODA MACHINE TOOL a.s. První převodový stupeň je stálý s převodovým poměrem $i=2$ a druhý převodový stupeň $i=5$ se přiřazuje pro dosažení maximálního točivého momentu 8000 Nm na vřetení. Z převodování je tedy do „pomala“.

	Jednotky	I. převod	II. převod
Převodový poměr i	-	2	10
Maximální otáčky	Ot. / min	3 000	600
Maximální výstupní moment	Nm	1 600	8 000

Tabulka 3- Parametry převodovky Škoda

Z důvodů potřeby výsuvu vyvrtávacího vřetene z pinoly je nutné zajistit osovou průchodnost převodovky. Proto bylo zvoleno vlastní řešení firmy ŠKODA MT s dutým hřídelem. Vzniklou dutinou prochází kuličkový šroub zajišťující výsuv vyvrtávacího vřetene. Mezi kuličkovým šroubem a dutinou je v mezikruží dále vedena chladicí kapalina pro rezný nástroj. Skříň převodovky je posuvně uložena v pinole tak, aby mohla konat výsuvný pohyb společně s hlavním pohonem a vrtacím vřetenem. Vstupní dutá hřídel je opatřena přírubou pro přenos momentu od synchronního motoru Siemens. Výstupní hřídel je také opatřena přírubou pro uchycení k vrtacímu vřetenu. Pro základní představu uspořádání je na obrázku č. 6 zobrazena převodovka bez dutého hřídele, který patří mezi velmi specifické a málo vyskytované případy konstrukčního řešení.



Obrázek 6- Planetová koaxiální předovka výrobce Neugart [10]

4.4 Konstrukce stroje HCW 3000

Koncepce horizontálního vyvrtávacího stroje HCW 3000 spadá mezi desková provedení. U horizontek deskového typu je obrobek upnut na nepohyblivé, případně otočné desce a veškeré pohyby musí být vykonány pomocí pojezdů stojanu a výsuvem pinoly s vřetenem. Svislý pohyb je zajištěn pomocí posuvu vřeteníku po boku stojanu.

4.5 Stojan a lože

Požadavkem na lože a stojan je především co nejvyšší tuhost a schopnost tlumení vibrací vzniklých při rezném procesu. Z tohoto důvodu je rám a lože vyrobeno z odlitků z šedé litiny. Stojan HCW je vyroben jako žebrovaný uzavřený profil, s žebry vodorovnými i svislými.



Obrázek 7- Opracovaný odlitek stojanu stroje HCW [4]

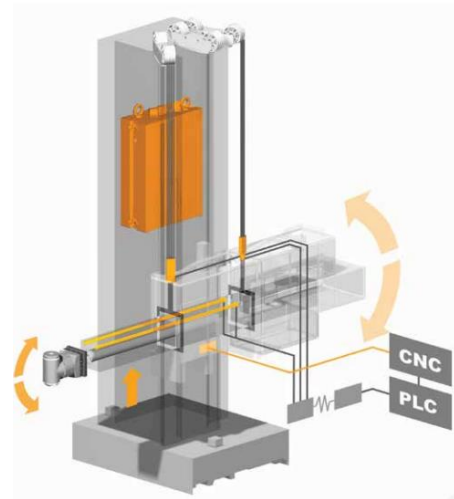
4.5.1 Vřeteník a pohon

U stroje řady HCW 3000 je vřeteno umístěno koaxiálně s vřetenem v pinole vřeteníku o vnějších rozměrech 480x480mm. Chlazení je i v tomto případě zajištěno středem vřetene. Z tohoto důvodu musí mít hlavní pohon a koaxiální převodovka duté hřídele. V ose je veden šroub kuličkový pro výsuv vřetene. V mezikruží je přivedena chladicí kapalina a tlaková kapalina pro ovládání upnutí nástroje. Matice upnutá za motorem zajišťuje výsuv všech vnitřních částí umístěných v pinole stroje.



Obrázek 8- Pinola řady HCW1000-4000 [4]

Vřeteník je uložen na hydrostatickém vedení ke stojanu. Posuv vřeteníku ve svislé ose je zajištěn kuličkovým šroubem a tíha vřeteníku je vyvažována protizávažím umístěným ve stojanu. Tím je sníženo namáhání kuličkového šroubu. Při velkém výsuvu je využíváno vyrovnávání odchyly přímočarosti pinoly složeného ze dvou částí. První část zajišťuje kompenzaci momentu vřeteníku pomocí závaží a proporčního ventilu. Táhla v horní části pinoly tvoří druhý systém a kompenzují průhyb od vlastní hmotnosti a hmotnosti příslušenství.



Obrázek 9- Systém kompenzace padání pinoly [4]

4.5.2 Příslušenství

Pro rozšíření technologických možností strojů je ke strojům řady HCW lze dodat kompatibilní a automatizované příslušenství. Cílem tohoto příslušenství je zejména zvýšení produktivity práce a obsažení co nejvíce výrobních operací.

4.5.2.1 Frézovací a vyvrtávací hlavy

Řadí se mezi technologická zařízení, tedy zvyšují technologické možnosti stroje, která zvyšují flexibilitu pro splnění požadavků zákazníka. U starších strojů se využívají k jejich modernizaci. Vhodnou volbou frézovacího zařízení dochází ke snižování výrobních časů a dosažení požadovaných přesností.

Vyvrtávací hlavy se používají pro tvorbu dlouhých válcových otvorů a opracování čelních ploch a obecných rotačních ploch. Pro vyvrtávání v hlubokých otvorech je vyvrtávací zařízení nasazováno na nástavce.



Obrázek 10- Frézovací a vyvrtávací hlavy ŠMT [4]

4.5.2.2 Robotická výměna nástrojů

Jedná se o manipulační zařízení pro výměnu nástrojů sloužící ke zkrácení mezioperačních časů. Robotická ruka řady RTC umožňuje výměnu nástrojů pod jakýmkoliv úhlem. Je tak ušetřen vedlejší čas přejezdů a polohování při použití posuvného RTC, které se pohybuje společně se strojem. Užitečnou funkcí je také detekce poškození a opotřebení nástroje.



Obrázek 11- Robotická ruce RTC pro výměnu nástrojů [4]

4.5.2.3 Otočné stoly

Otočné stoly ŠKODA TDV slouží pro rozšíření technologických možností horizontkových pracovišť. Ve spojení s horizontálními frézovacími a vyvrtávacími stroji ŠKODA vytvářejí moderní a vysoce produktivní pracoviště pro opracování velmi složitých a komplikovaných obrobků skříňového a deskového tvaru. Dvě souvisle řízené osy umožňují opracování rovných, válcových i zakřivenými ploch s drážkami a zkoseními. Škoda MT vyrábí otočné stoly nosnosti od 12 do 400 tun.



Obrázek 12- Otočný stůl ŠKODA MT řady TDV [4]

5 Analýza stávajícího řešení (aretace)

V této kapitole je provedena kontrola současného řešení aretace umístěné za předními ložisky uložení vřetene. Cílem je nalezení optimální vůle mezi frézovacím vřetenem a aretací pro snížení výrobních nákladů a současného zajištění dostatečného aretačního momentu. Při větší možné vůli je možné snížit přesnosti výroby a tím odstranit některé dokončovací operace. Dále je hodnocen vliv průběhu napětí v aretaci při zvětšování vůle. Maximální napětí nesmí překročit dovolená napětí materiálu, aby nedošlo k trvalému poškození jak samotné aretace, tak ostatních částí v pinole frézovacího vyvrtávacího vřetene.

Pro výpočet minimálního tlaku mezi aretací a frézovacím vřeten byl využit následující vzorec. Tento vzorec je v praxi využíván pro návrh lisovaných nábojů na hřídel, kdy se z potřebného tlaku dále počítá potřebný přesah mezi hřídelí a nábojem.

$$p_{potř} = \frac{2 \times M_t}{\pi \times d^2 \times l \times f} \times S_f$$

$p_{potř}$	-	Minimální tlak mezi kontaktními plochami
M_t	-	5000Nm Požadovaný aretační moment
d	-	280 mm Průměr vřetene
l	-	84 mm Funkční šířka aretace
f	-	0,1 [-] Koeficient tření
S_f	-	1 [-] Bezpečnost

$$p_{potř} = \frac{2 \times 5000}{\pi \times 0,28^2 \times 0,084 \times 0,1} \times 1$$

$$p_{potř} = 4\,833\,423\,Pa \doteq 5\,MPa$$

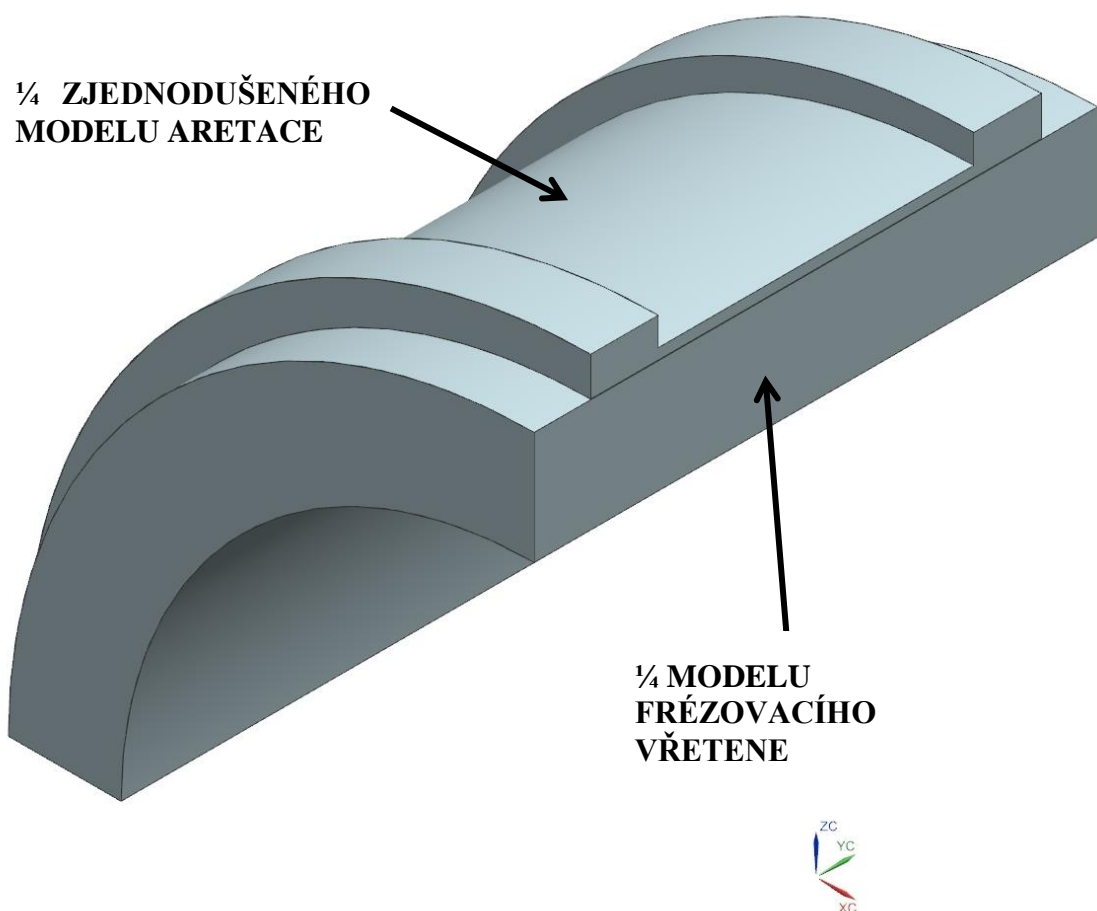
Dle výpočtu je nutné zajistit mezi kontaktní plochou aretace a frézovacím vřetenem tlak o minimální hodnotě 5 MPa v celé ploše. Při nižší hodnotě by mohlo dojít k prokluzu a následnému zranění dělníka, který se může pohybovat při montáži v rizikové oblasti. Také hrozí poškození frézovací hlavy a dalšího příslušenství upnutého na frézovacím vřetenu.

5.1 MKP kontrola aretačního zařízení

U stávajícího řešení byla provedena pevnostní kontrola v programu Siemens NX 10 pomocí řešiče NASRAN metodou konečných prvků. Dále byla provedena analýza několika variant při menší a větší vůli mezi vřetenem a aretací pro zjištění vhodných rozměrů pro provoz a také pro výrobu.

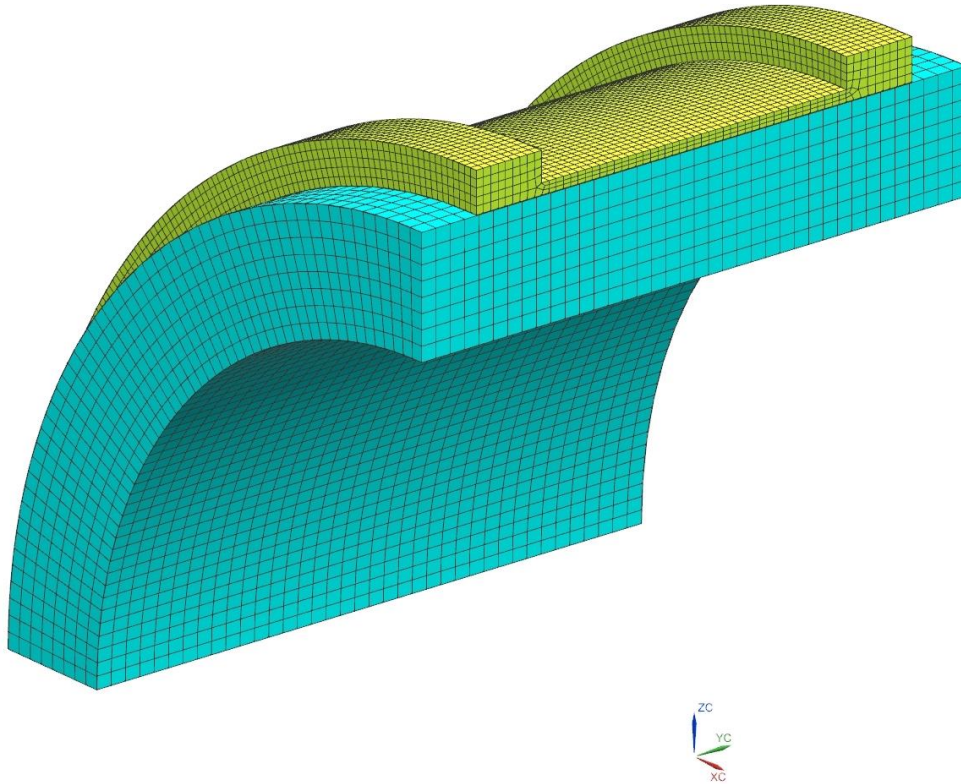
5.1.1 Výpočtový model

Pro analýzu byl vytvořen 3D model aretace a frézovacího vřetene dle rozměrů poskytnutých zadavatelem diplomové práce. Pro zjednodušení nebyly modelovány prvky obalu aretace a přípojovací otvory. Součástí výpočtového modelu je pouze samotný aretační člen a část vřetene. Pro výpočty byla použita pouze $\frac{1}{4}$ modelu pro snížení výpočetních nároků. Rozdělením na $\frac{1}{4}$ a dodržením správných okrajových podmínek nedojde k rozdílnosti výsledků oproti kompletnímu modelu. U jednotlivých variant modelů aretace byla měněna vůle mezi jednotlivými součástmi. Dle velikosti vůle se měnili rozměry aretace tak, aby byla zachována stejná tloušťka deformační části aretace.

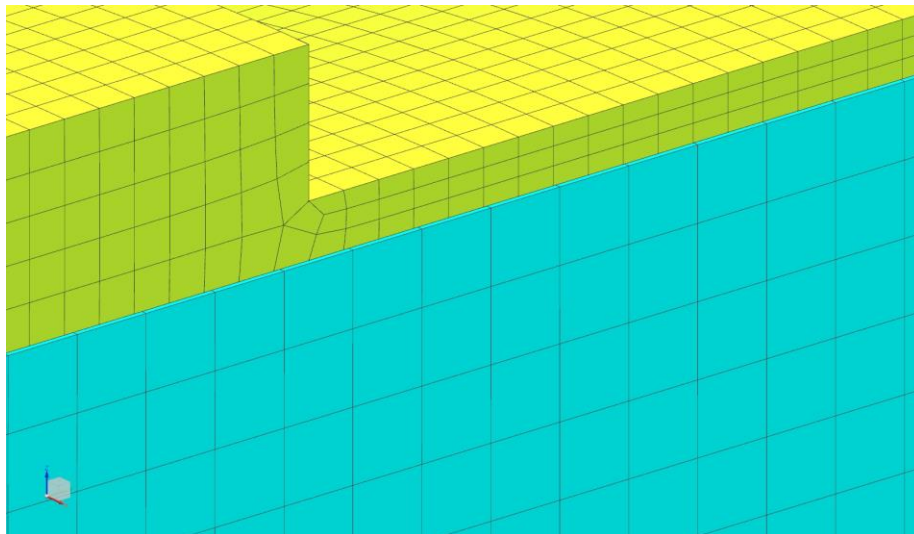


Obrázek 13- CAD model upravený pro MKP výpočty

Výpočetní síť byla zvolena z šestibokých 3D elementů, tzv. bricková. Velikost elementů aretačního pouzdra jsou 2 mm, v deformační části je velikost elementů snížena pod 1mm, aby zde byly alespoň 3 vrstvy elementů a bylo dosaženo odpovídající kvality výsledků. V případě frézovacího vřetena byla zvolena velikost elementu 4 mm a také šestiboký 3D element. Pro kontrolu byl navržen i výpočetní model se zjemněnou sítí pod aretací. Rozdíl mezi jednotlivými výsledky byl však zanedbatelný, ale nárůst výpočetního času násobně vzrostl.

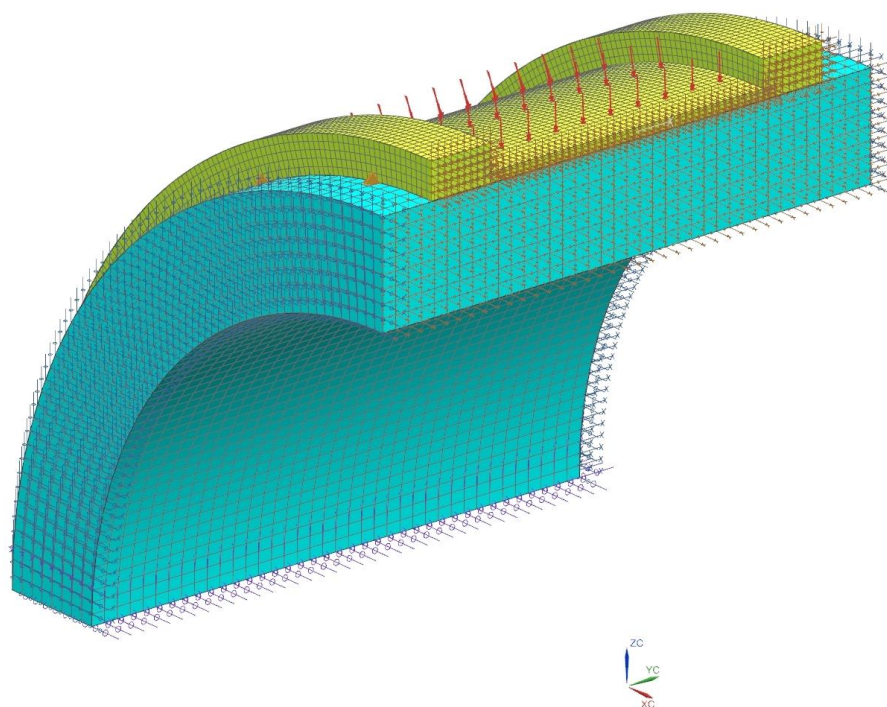


Obrázek 14- Výpočetní síť modelu aretace a vřetena



Obrázek 15-Detail výpočetní sítě v nejslabší oblasti

Za okrajové podmínky je zvoleno pevné uložení vřetene a zatížení tlakem na aretaci. Uchycení vřetene je provedeno o ose Y v plochách na ni kolmých, tedy na místě skutečného pokračování vřetene. Dále je v osách X a Z uchyceno vřeteno s aretací pro dodržení osové souměrnosti součástí. Rotace okolo fixovaných os jsou potlačeny dle obrázku. Přípustné hodnoty jsou shrnuty v samostatné kapitole



Obrázek 16- Okrajové podmínky

Zatížení tlakem je umístěno na vnější plochu aretace, kde působí tlaková kapalina. Hodnota tlaku je 10MPa. Dále je mezi součástmi aplikována funkce Surface Contact, tedy kontaktní pole mezi dvěma plochami s třecím koeficientem o hodnotě 0,1.

5.1.1.1 Materiálové hodnoty

Pro výpočet byly použity následující materiálové hodnoty, vypsáné v tabulce č. 4. Vřeteno je vyrobeno z ušlechtilé uhlíkové konstrukční oceli třídy 12 dle ČSN. Tato ocel je vhodná k zušlechťování a je určena pro hřídele ozubená kola, vřetena aj. Aretace je vyrobena z nízkoalokované konstrukční oceli třídy 14. Ocel je legována chromem a křemíkem. Je vhodná pro použití na namáhané pružiny např. pro železniční vozy.

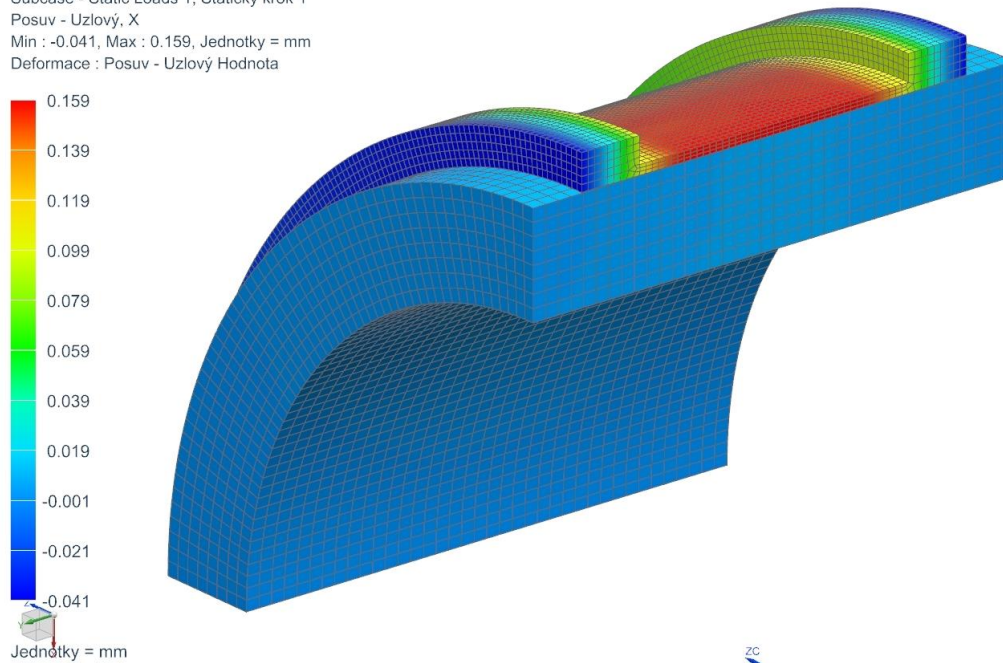
Díl	Materiál	Modul pružnosti v tahu E [GPa]	Modul pružnosti ve smyku G [GPa]	Poissonovo číslo μ [-]	Dovolené napětí σ_D [MPa]
Vřeteno	12050	211	79	0,33	100
Aretace	14260	200	78,5	0,27	300

Tabulka 4- Materiálové hodnoty pro MKP výpočty

5.1.2 Deformační analýza

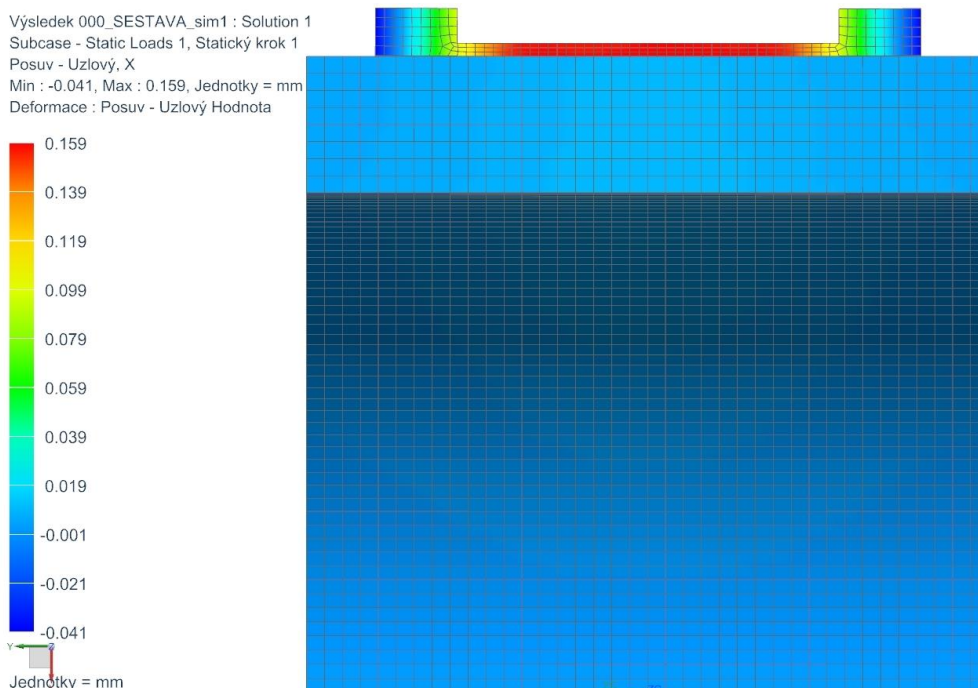
Z deformačního hlediska se aretační člen plně nedeformuje v celé délce. U okrajů tedy nedochází k plnému přenosu tlaku a třecím vlastnostem. Odlehčení není však příliš velké a při navyšování tlaku směrem ke středu aretace lze pro určení minimálního aretačního momentu zanedbat.

Výsledek 000_SESTAVA_sim1 : Solution 1
Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1
Posuv - Uzlový, X
Min : -0.041, Max : 0.159, Jednotky = mm
Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota



Obrázek 17- Deformace aretace

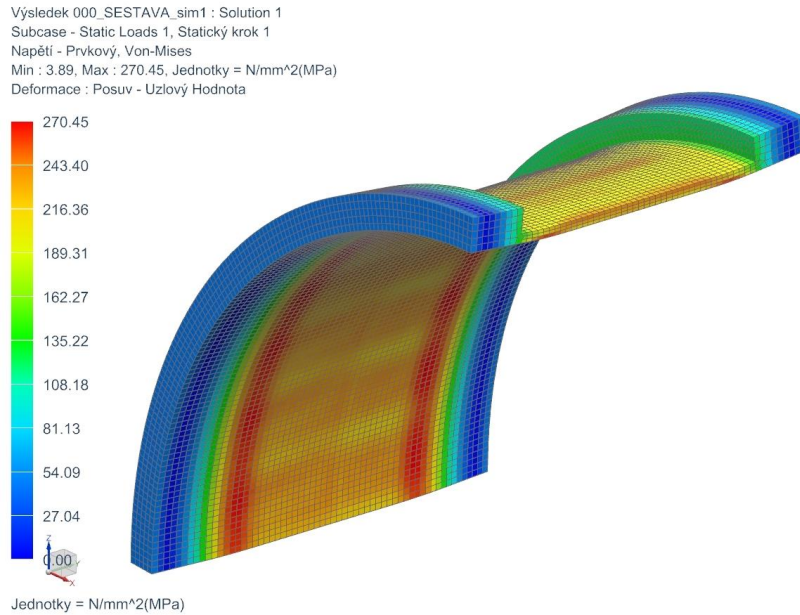
Výsledek 000_SESTAVA_sim1 : Solution 1
Subcase - Static Loads 1, Statický krok 1
Posuv - Uzlový, X
Min : -0.041, Max : 0.159, Jednotky = mm
Deformace : Posuv - Uzlový Hodnota



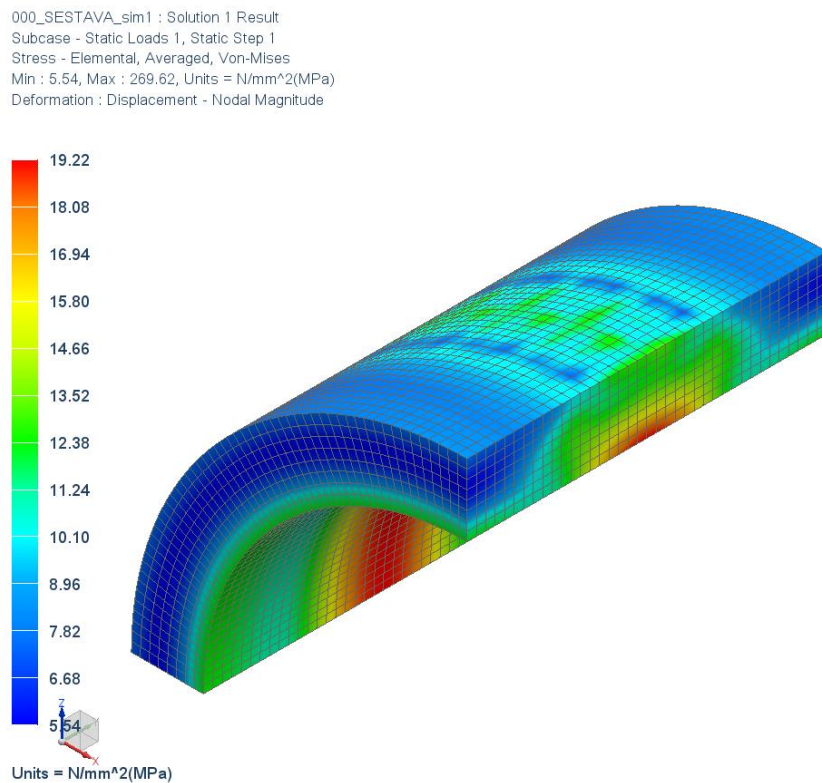
Obrázek 18- Deformace v ose X

5.1.3 Pevnostní analýza

Z hlediska pevnosti při stávajícím řešení aretace vyhovuje pevnostní podmínce. Napětí je zobrazeno dle hypotézy HMM. U aretace dochází ke zvýšení napětí především mezi přechodem ze silnější upínací do slabší deformační části aretace z důvodu rozdílné tuhosti jednotlivých částí.

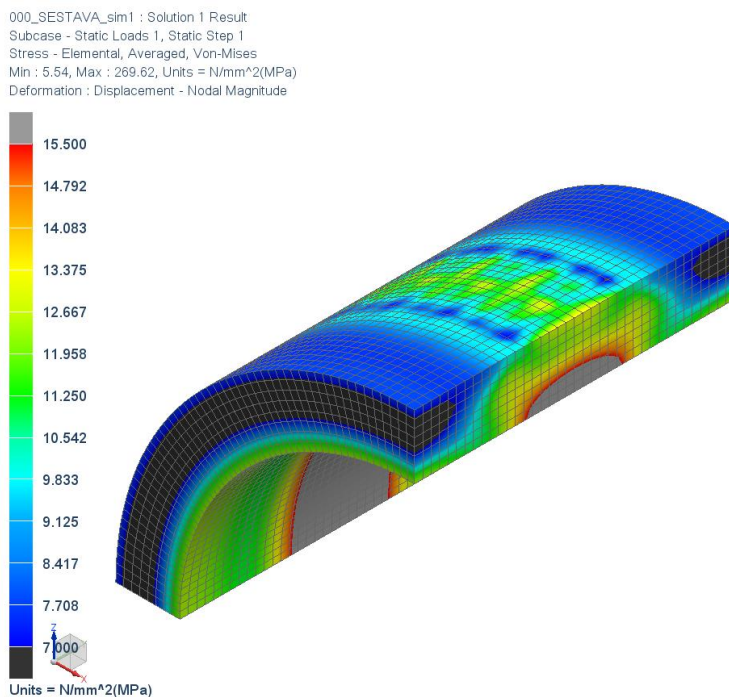


Obrázek 19- Průběh napětí dle HMM u aretace



Obrázek 20- Průběh napětí dle HMM ve vřetenu

U frézovacího vřetene dochází pouze k nízkému namáhání tlakem nepřesahující 20 MPa na vnitřním průměru. Průměrné napětí na povrchu pod aretací dosahuje okolo 10 MPa, minimálně 7,7 MPa, viz obrázek 21.



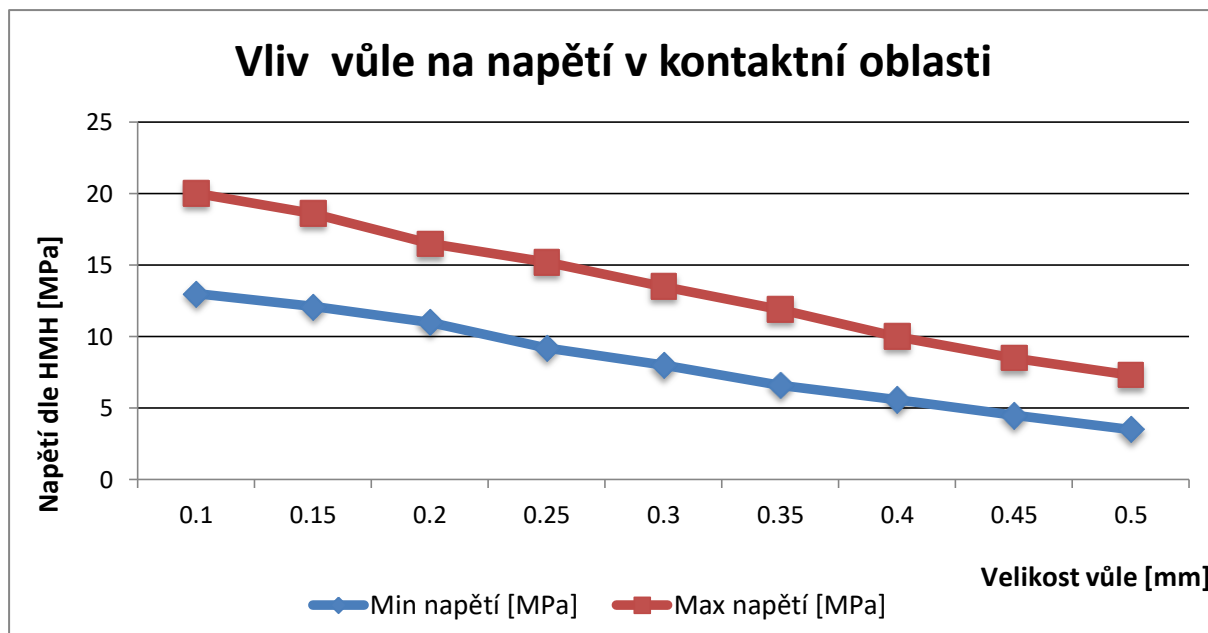
Obrázek 21- Zobrazení minimální a maximální tlaku v ploše pod aretací

5.1.4 Vyhodnocení výpočtů

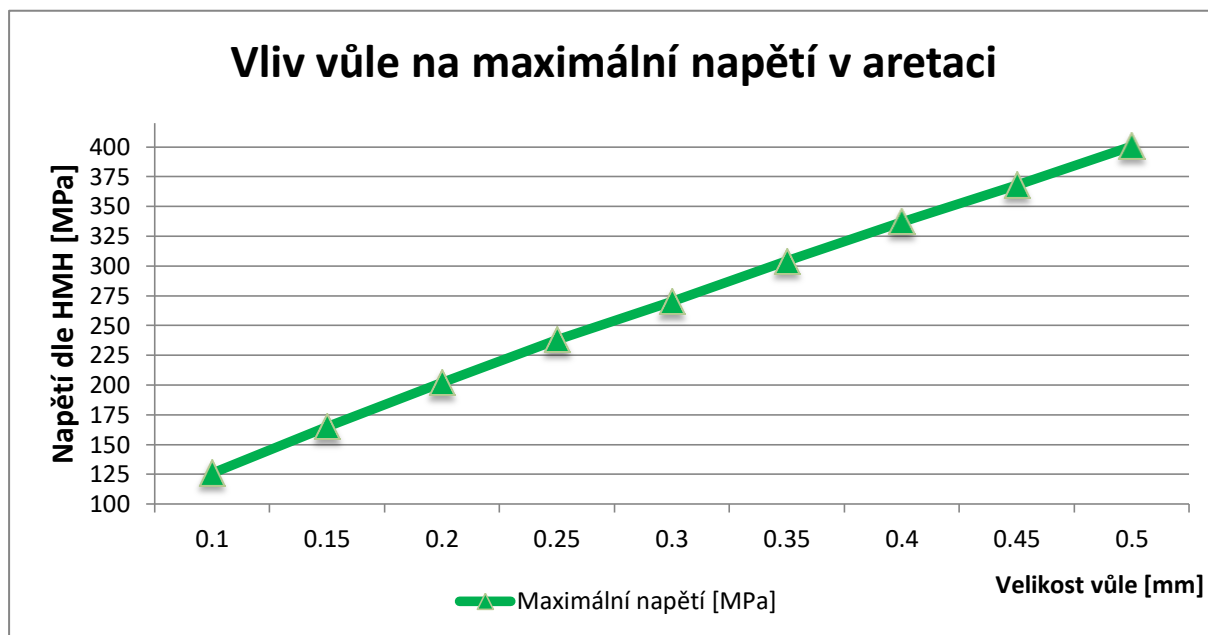
Vypočtené hodnoty jsou shrnuty v následující tabulce a pro přehlednost vyneseny do grafů. Hodnota vůle 0,3 mm je výchozí hodnotou stávajícího stavu. Pro připomenutí minimální hodnota pro zajištění aretačního momentu je 5 MPa v celé kontaktní ploše.

Průměr aretace	Vůle [mm]	Vřeteno - styková plocha			Aretace	
		Min napětí [MPa]	Max napětí [MPa]	Maximální napětí [MPa]	Maximální napětí [MPa]	Aretační moment [MPa]
280,1	0,1	13	20	29,5	126	13 592
280,15	0,15	12,1	18,6	26,9	165	12 651
280,2	0,2	11	16,5	24,3	202	11 501
280,25	0,25	9,2	15,2	21,7	238	9 514
280,3	0,3	8	13,5	19,2	270	8 364
280,35	0,35	6,6	11,9	16,8	304	6 901
280,4	0,4	5,6	10	14,3	337	5 855
280,45	0,45	4,5	8,5	12	368	4 705
280,5	0,5	3,5	7,3	9,7	400,6	3 659

Tabulka 5- Vypočtené hodnoty pro vřeteno a aretaci

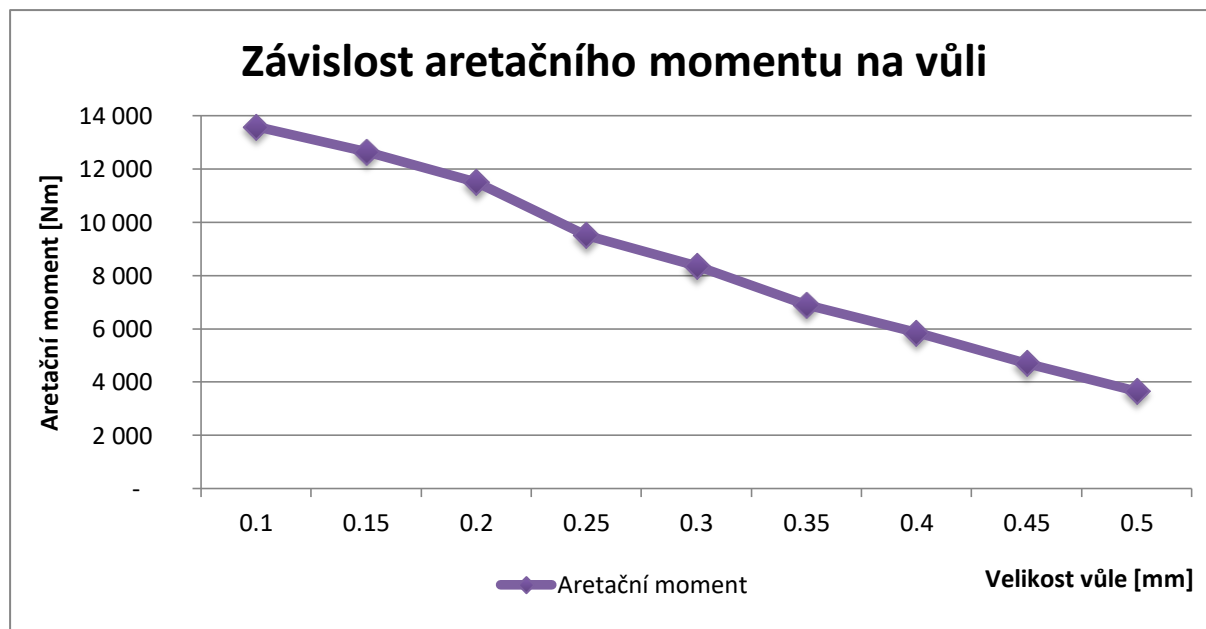


Graf 1- Graf vlivu vůle na napětí dle HMM v kontaktní oblasti



Graf 2- Vliv vůle na maximálním napětí v pouzdru aretace

Na základě vypočtených hodnot je varianta s minimální vůlí o hodnotě 0,1 mm na průměru tou nejúnosnější. Nevýhodou je však vysoká náročnost na přesnost výroby, přesné uložení a odlehčení při snížení tlaku ovládací kapaliny. Aretace je také nejméně pevnostně namáhána. Při nejvyšší počítané vůli 0,5 mm je již napětí 3,5 MPa pod požadovanou bezpečnou hodnotou 5MPa v kontaktní ploše. Při lineárním průběhu tlaku z krajů do středu, kde je tlak 7,3 MPa může aretace také vyhovovat požadovanému aretačnímu momentu 5000 Nm. Napětí v aretaci však dosahuje vysoké hodnoty až 400 MPa a je nutné zvolit odolnější druh pružinové oceli. Únosnost aretace při této hodnotě vůle by musela být také ověřena pomocí experimentu. Pro přehlednost je do grafu vynesena i závislost aretačního momentu.



Graf 3- Vliv vůle na velikost aretačního momentu

Vhodnou hodnotou vůle je 0,35mm. Tato hodnota dosahuje požadovaného tlaku v celé kontaktní ploše. Při této vůli je maximální hodnota v aretačním členu hraničních 304 MPa. Při výrobě by měl být díl vyroben se zápornými tolerancemi, aby nedocházelo k většímu překročení dovoleného napětí. Oproti stávajícímu řešení tedy není prostor pro optimalizaci nikterak velký.

6 Vliv změny rozměrů na velikost aretačního momentu

V této kapitole diplomové práce bude rozebrán vliv změny hlavních rozměrů aretace, tj. průměru a účinné délky na aretační moment. Velikost vůle je zvolena dle výsledků z minulé kapitoly na hodnotu 0,3mm. Cílem těchto výpočtů je určit závislost velikosti momentu pro snazší určení potřebných rozměrů pro návrh k různým aplikacím tohoto typu řešení.

6.1 Výpočtový model

Pro výpočty byly zvoleny hodnoty průměrů 260, 280 a 300 mm. Činné délky aretace byly zvoleny 44, 64, 84, 104 a 124 mm. Pro výpočty byly zvoleny shodné materiálové vlastnosti, výpočetní prvky a okrajové podmínky.

6.2 Výsledky výpočtů

V tabulce jsou zapsány hodnoty pro tři zvolené rozměry průměrů a pro každý průměr je vypočteno pět variant délky aretace. Bylo zaznamenáno minimální a maximální napětí ve stykové ploše na vřetení pod aretačním prstencem. Na základě hodnoty minimálního napětí a velikosti plochy pod aretací dané průměrem a činnou délkou aretace je vypočtena zaručená velikost aretačního momentu. Pro výpočet byl použit následující vzorec, který je odvozen ze vzorce pro výpočet minimálního tlaku.

$$M_t = \frac{P_{min} \times \pi \times L \times D^2 \times f}{2 \times S_f}$$

Rovnice 1- Výpočet aretačního momentu

Průměr [mm]	Délka [mm]	Vřeteno - styková plocha		Aretační moment [Nm]
		Min napětí vřeteno [MPa]	Max napětí vřeteno [MPa]	
260,3	44	2	6,5	937
260,3	64	3,3	8,9	2 248
260,3	84	4,9	11,2	4 381
260,3	104	5,6	12,5	6 199
260,3	124	6	14,2	7 918
280,3	44	2,8	7,2	1 520
280,3	64	4,9	10,6	3 870
280,3	84	7	13,5	7 257
280,3	104	7,8	15,2	10 011
280,3	124	8,4	16,6	12 855
300,3	44	3,7	8,4	2 306
300,3	64	6,5	12,8	5 893
300,3	84	8,4	16,5	9 995
300,3	104	9,1	18	13 406
300,3	124	9,7	19,2	17 038

Tabulka 6- Shrnutí hodnot pro průměry a délky aretace

Minimálních hodnot dosahují dle očekávání aretace o délkách 44 mm. Cílem výpočtů bylo určení, zda je pro navýšení aretačního momentu vhodnější volba vyššího průměru či zvýšení činné délky u aretace. Při srovnání variant: Ø260 mm s délkou 84 mm, Ø280 mm s délkou 64 mm a Ø300 mm s délkou 44 mm vychází aretační momenty 4381, 3870 a 2300Nm. Vhodnější je tedy prodloužení aretace, než zvýšení jejího průměru.

Dále byly srovnány varianty s větší délkou s následujícími rozměry: Ø260 mm délky 124 mm, Ø280 s délkou 104 mm a Ø300 s délkou 84 mm. Aretační momenty pro tyto varianty jsou 7918, 10011 a 9995Nm.

Při krátké délce aretace je většina energie tlakové kapaliny spotřebována na samotnou deformaci aretace a pouze malá část vytváří tlak na vřeteno. Proto vychází lépe zvolit menší průměr a delší aretaci. Avšak při délce vyšší než 84 mm již je situace opačná a také zvětšení průměru má větší vliv než prodloužení. S narůstajícím průměrem bude tento vliv stále znatelnější.

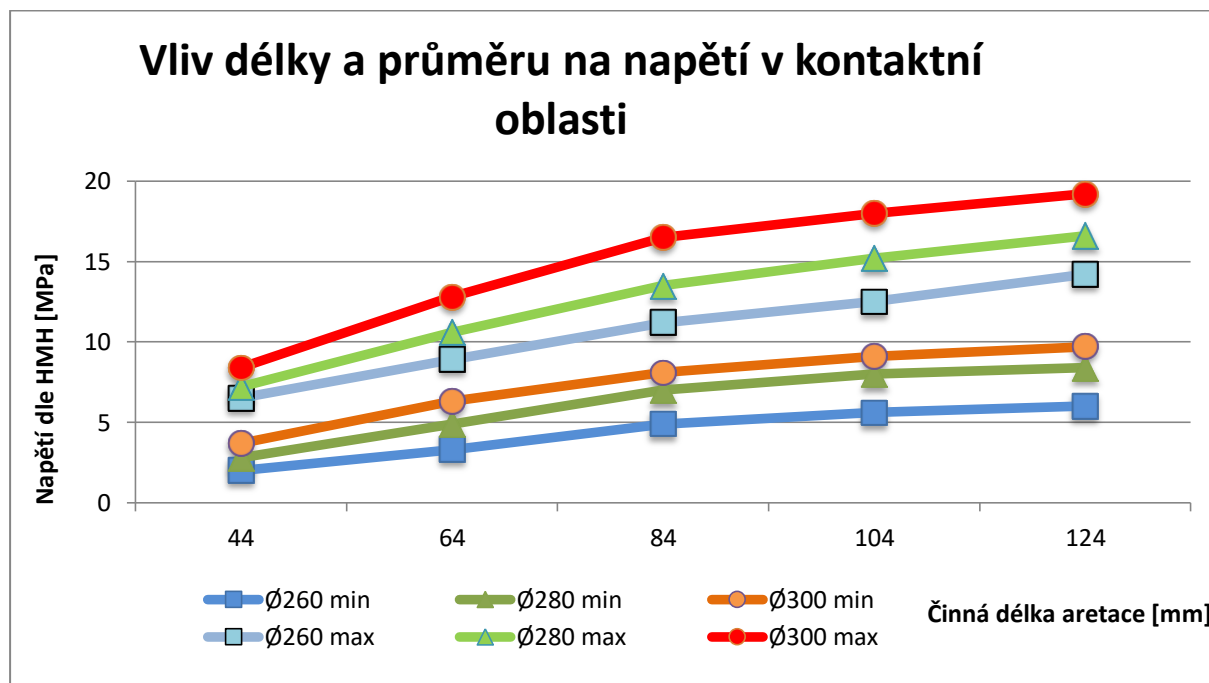
Z provedených výpočtů lze doporučit volbu délky aretace vyšší než 80 mm a následně dopočítat průměr dle požadovaného aretačního momentu dle následujícího vzorce.

$$D = \sqrt{\frac{2 \times M_t \times S_f}{\pi \times p_{min} \times L \times f}}$$

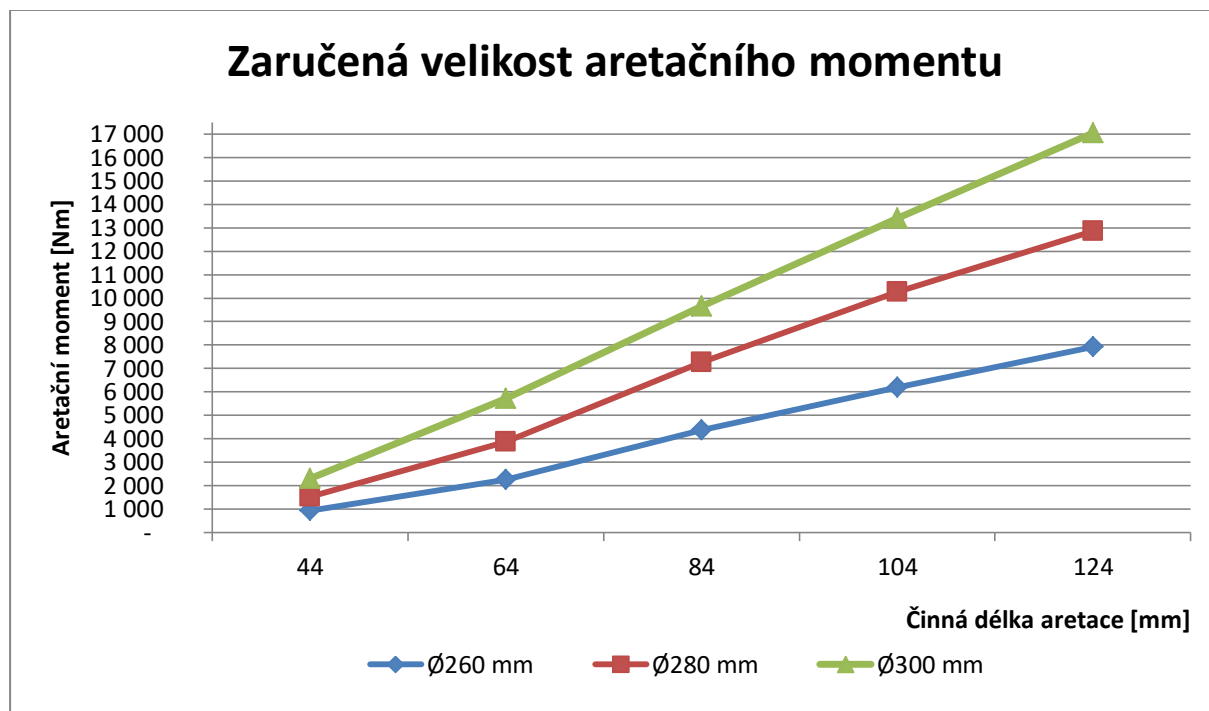
Rovnice 2- Vzorec pro výpočet průměru dle požadovaného aretačního momentu

Vysvětlivky použitých zkratk ve vzorci: Požadovaný aretační moment M_t [Nm], koeficient bezpečnosti S_f [-], minimální tlak p_{min} [MPa] (dle výpočtů můžeme uvažovat pro délky 84 mm a více 5 MPa), činná délka aretace L [mm] a koeficient tření [-].

Pro přehlednost byly hodnoty minimálního a maximálního napětí vyneseny do grafů. Minimální a maximální napětí pro daný průměr je pro přehlednost v různých odstínech barvy. Dalším grafem je velikost aretačního momentu různých délek pro jednotlivé průměry.



Graf 4- Vliv délky a průměru na minimální napětí v kontaktní oblasti dle HMH



Graf 5- Velikost aretačního momentu dle rozměrů aretace

7 Návrh bezpečnostního brzdného zařízení

Součástí práce je průzkum trhu s brzdnými zařízeními a jejich možnosti použití dle požadavků zadavatele. Bezpečnostní brzdy musí splňovat požadavky na brzdný moment, výkon a bezprašnost do svého okolí, aby nedocházelo k poškození dalších částí v pinole frézovacího vřetene. Celé brzdné zařízení musí mít maximální průměr 390 mm. Zařízení není délkou přímo limitováno, protože jeho návrhem je nutné částečně upravit konstrukci okolí převodovky. Doporučená délka brzdného zařízení je 250 mm.

Důležitým požadavkem především na brzdný kotouč je nutnost osové průchodnosti v průměru 180 mm pro chladicí kapalinu k vřetenu nástroje a výsuvného šroubu. Dalším požadavkem na brzdné zařízení je použití při výpadku elektrického proudu, tedy v době, kdy není možno brzdit vřeteno hlavním pohonem. Brzdné zařízení je možné umístit před nebo za převodovou skříň a uchytit pomocí přírub ke stávajícím částem. Maximální otáčky dosahují 6000 ot./min. na motoru, respektive 3000 ot./min. za převodovkou. Okolí brzdy nesmí přesáhnout teplotu vyšší než 80°C aby nedošlo k poškození jednotlivých částí.

7.1 Dostupná řešení na trhu

Bylo vybráno několik výrobců brzd pro průmyslové aplikace. Pro srovnání byla zvolena také automobilová kotoučová brzda.

7.1.1 Stromag

Stromag je mezinárodní výrobce brzd, spojek, převodovek, hnacích hřídelů záchytných systému atd. V portfoliu brzd nabízejí elektromagneticky- pružinou ovládané bezpečnostní brzdy NFF. Tyto brzdy jsou aktivovány při odpojení elektrického proudu, kdy pružina stlačí k sobě třecí plochy a dojde k zastavení. Brzdy zachytí moment až do velikosti 1000 Nm a odolávají i vyšším teplotám. Mezi další vhodné parametry lze zařadit jednoduchou instalaci a nižší požadavky na údržbu. Použitelnost brzd Stromag je garantována do 1500 ot./min a brzdného výkonu 127kW. Tato brzda při požadovaných parametrech nevyhovuje svými zástavbovými rozměry.



Obrázek 22- Elektromagneticky ovládaná brzda Stromag [5]

7.1.2 Pivko brakes

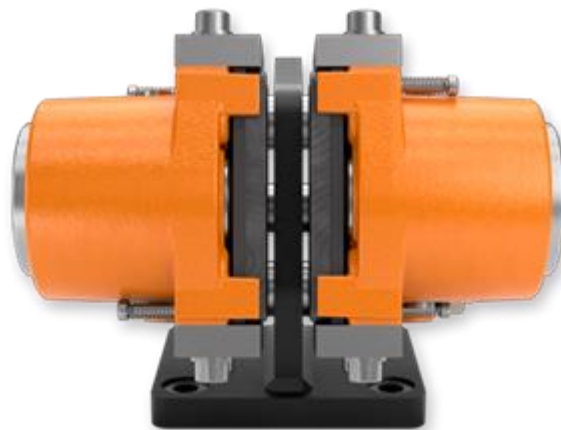
Původem český výrobce Pivko, se zabývá výrobou brzd a spojek především dle specifických přání zákazníka. Pro požadovanou aplikaci jsou zajímavé především brzdy nepřímé s bezpečnostní pružinou ovládané pneumaticky, hydraulicky a elektricky. Brždění je prováděno pomocí brzdých čelistí na kotouč. Výhodou je jednoduchá konstrukce a možnost nižšího brzdného výkonu v případě potřeby. Nevýhodou jsou velké zástavbové rozměry proti předchozímu řešení. Moment až 30 000 Nm.



Obrázek 23- Pneumaticky ovládaná brzda Pivko [6]

7.1.3 Svendborg brakes

Dánský výrobce Svendborg Brakes se zabývá hydraulickými brzdami především pro těžební a větrný průmysl pro celý svět. Brzdy jsou ovládané přímo hydraulicky pro vysoký brzdný účinek a pružinami vraceny do uvolněné polohy. Hydraulický tlak působí přímo na brzdné třmeny a tak je dosaženo velmi krátké doby reakce. Výhodou brzdy je vysoký výkon, ale ji použít při výpadku elektrického proudu.

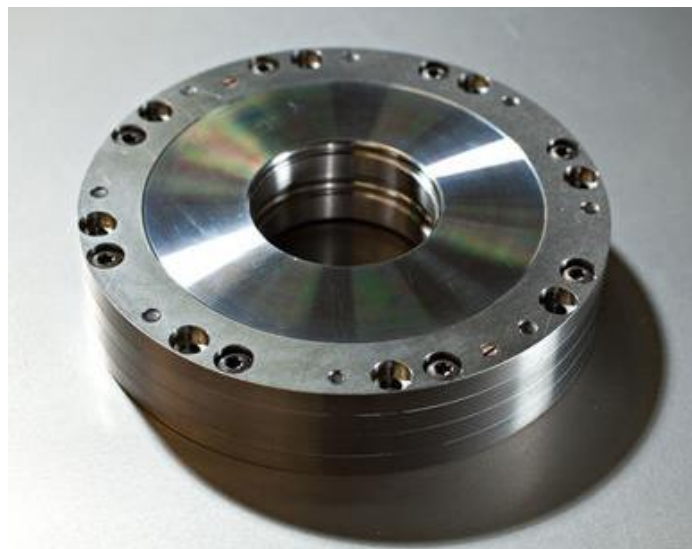


Obrázek 24- Hydraulická brzda výrobce Svendborg brakes [7]

7.1.4 HEMA

Firma Hema Group je původem z Německa zabývající se výrobou krytů posuvů a bezpečnostních oken u obráběcích strojů. Dále se zabývá brzdnými a aretačními prvky především pro obráběcí stroje.

Firma ve svém portfoliu nabízí brzdný systém RotoClamp, který je složen ze dvou kruhových membrán z pružinové oceli. Prohnutím pružných membrán dojde k odblokování zařízení. Při natlakování komory mezi membránami stlačeným vzduchem se membrány vyhnou směrem od sebe a tím dojde k navýšení středního průměru a odblokování. Při vypuštění vzduchu dojde k vrácení pružin do původní polohy a upínací plocha přichází do styku s hřídelí. Pro zvýšení účinnosti může být upínací síla zvýšena natlakováním vnějších komor. Maximální upínací moment pružin je 4 300 Nm. Nevýhodou je použití při velmi malých otáčkách a používá se spíše jako doplňující aretační zařízení k elektromotorům.



Obrázek 25- Brzda RotoClamp firmy Hema [8]

7.1.5 Brembo

Přední výrobce kotoučových brzd pro automobily a motocykly. Automobilové brzdy se skládají z rotoru, brzdného třmenu, do kterého jsou umístěny brzdové písty, jenž působí tlakem na brzdové destičky. Působením tlaku pístů na destičky a následně na brzdný kotouč vzniká třecí síla a brzdný účinek. Pro rovnoměrnější působení brzdných sil se používá více pístové provedení. Brzdný kotouč bývá vyrobený z temperované litiny nebo ocelolitině s vhodnými legující prvky zajišťující odolnost při vysokých teplotách. Konstrukce kotouče může být jednoduchá nebo dutá- s vnitřním chlazením proudícího vzduchu. Současné brzdové destičky jsou vyráběny z oxidů železa, aramidových vláken a grafitu a jsou odolné do teplot okolo 800°C. Standardní řady jsou vyráběny do průměru 405mm.

Mezi výhody patří konstrukční jednoduchost, výkon a spolehlivost. Při dlouhodobém brždění dochází pouze k malému poklesu součinitele tření a tedy i výkonu brzdy. Působením třecích sil vzniká samočisticí efekt. I přes rychlejší opotřebení brzdových destiček je výměna rychlá a poměrně jednoduchá.



Obrázek 26- Brzdová sada Brembo GT [9]

7.2 Porovnání řešení

Jednotlivá řešení byla mezi sebou porovnána a následně bodově ohodnocena dle jednotlivých parametrů. Pro porovnání a určení nejvhodnějšího typu brzdy byl zvolen bodový systém. Jelikož je celkem pět představitelů, nejlepší parametr je ohodnocen maximálním počtem bodů, tj. 5 bodů a nejhorší parametr pouze 1 bodem.

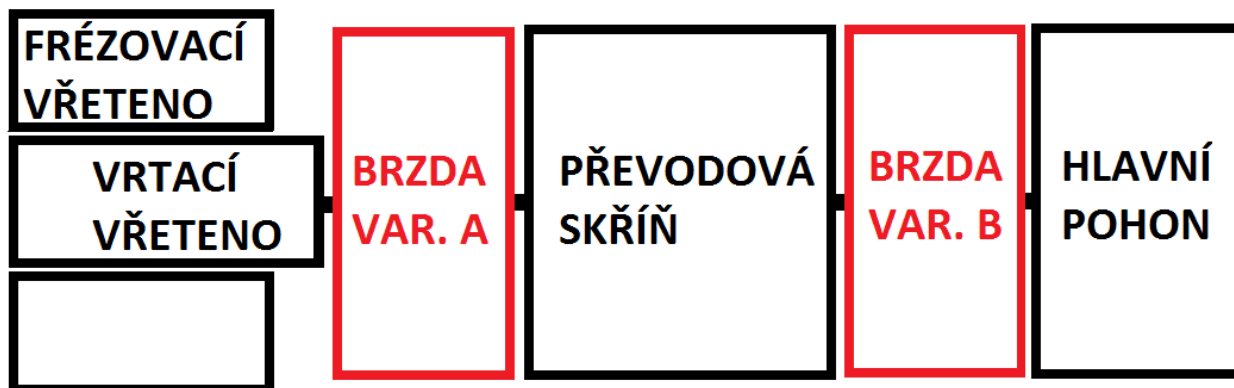
Parametry	Stromag	Pivko brakes	Svendborg brakes	HEMA	Brembo
Rozměry	4	1	2	5	3
Brzdny moment	1	5	4	2	3
Výkon brzdy	2	4	5	1	3
Maximální otáčky	2	4	5	1	5
Bezprašnost	4	2	2	5	2
Možnost dutého provedení	1	4	4	1	4
Σ	14	20	22	15	20

Tabulka 7- Srovnání jednotlivých variant brzd

Nejvhodnějším řešením je brzdny zařizeny od výrobce Svendborg brakes, bohužel toto řešení nesplňuje požadavky na zástavbové rozměry a bezprašnost. Následně se umístili řešení využívající také princip kotoučové brzdy s obdobnými problémy. Nelze tedy využít dostupné řešení na trhu a je nutné zvolit vlastní návrh brzdnyho zařizeny. Výsledné zařizeny bude vycházet z principu kotoučové brzdy.

8 Konstrukční návrh brzdy

Cílem této diplomové práce je konstrukční návrh aretace a bezpečnostní brzdy pro vodorovné vyvrtávačky řady HCW1000-3000, tak aby splňovaly jak požadavky zadavatele, tak i bezpečnostní normy pro ochranu obsluhy. Z konstrukčního hlediska budou nejvíce kladeny nároky na prostorové uspořádání a brzdny výkon při snížených možnostech chlazení. Specifikované požadavky a parametry jsou shrnuty v následující kapitole. Brzdu je možné umístit před a za převodovou skříň uvnitř pinoly frézovacího vřetena.



Obrázek 27- Možné uložení brzdného zařízení v pinole HCW 3000

Na základě předchozí kapitoly je zvolena brzda kotoučová. Konstrukce bude upravena tak, aby nežádoucí prach z brzdového obložení nepoškodil části pinoly. Dále musí být návrh proveden s ohledem na maximální zástavbové rozměry.

8.1 Provozní stavy brzdy

V této kapitole jsou shrnuty všechny stavy zastavení vřetena s nástrojem.

- 1) Běžné - Při vypnutí stroje dochází k zastavení vřetene pomocí přibrzdování hlavním pohonem. V tomto případě není požadkem na rychlé zastavení vřetene, ale pouze na snížení vedlejších časů při obrábění např. při upínání nástroje.
- 2) Nouzově – Z důvodu bezpečnosti je nutné vřeteno co nejrychleji zastavit, aby nedošlo ke zranění obsluhy, poškození části stroje nebo obrobku. Důvodem může být vniknutí osoby za ochranné oplocení stroje či poškození nástroje nebo některých částí stroje. V tomto případě je stroj brzděn pomocí elektromotoru a také brzdy.
- 3) Při výpadku elektrické sítě – V tomto případě běží logické systémy a nevykonná elektronika na záložní zdroj za účelem co nejrychlejšího zastavení stroje, tak aby nedošlo k ohrožení zdraví obsluhy a poškození obrobku a stroje. Hlavní pohon není použit jako pomocná síla pro zastavení vřetene a celý brzdny proces zajišťuje pouze brzdny zařízení.

8.1.1 Výpočet setrvačných hmot:

Součástí této kapitoly je výpočet setrvačných hmot před a za převodovkou pro návrh výkonu a rozměrů bezpečnostní brzdy. Hodnoty převodovky jsou dodány firmou ŠKODA MT. Hodnota pro motor je tabulkovou hodnotou z katalogu Siemens.

Hmotný moment setrvačnosti motoru: $J_{MOT} = 0,28823 \text{ kgm}^2$

Redukce hmotových momentů setrvačnosti převodovky na vstupu:

Stupeň I (maximální otáčky) $J_{RM1} = 0,287 \text{ kgm}^2$

Stupeň II (maximální moment) $J_{RM2} = 0,216 \text{ kgm}^2$

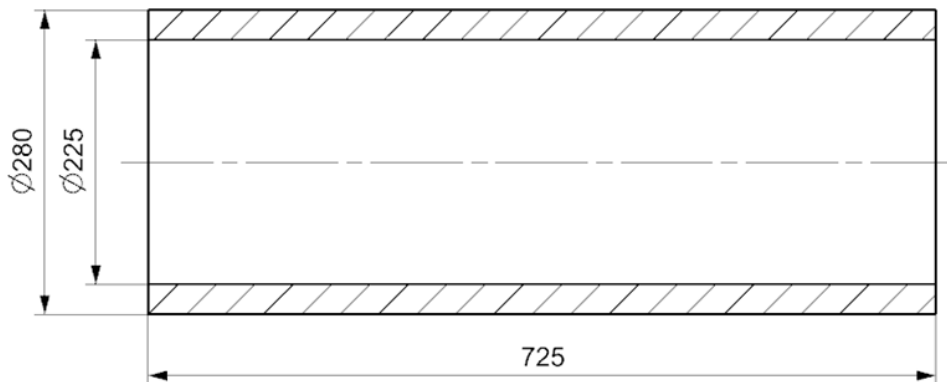
Redukce hmotových momentů setrvačnosti převodovky na výstup:

Stupeň I (maximální otáčky) $J_{RP1} = 1,147 \text{ kgm}^2$

Stupeň II (maximální moment) $J_{RP2} = 21,691 \text{ kgm}^2$

Výpočet setrvačných hmot vrtacího vřetene:

Hmotnost: $m_{VFR} = 125 \text{ kg}$

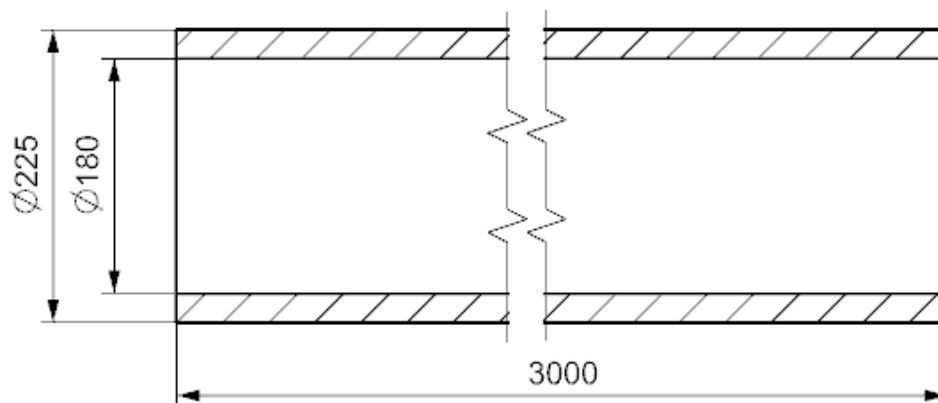


$$J_{VFR} = \frac{1}{2} \times m_{VFR} \times (R^2 + r^2) = \frac{1}{2} \times 125 \times (0,14^2 + 0,1125^2)$$

$$J_{FR} = 2,016 \text{ kgm}^2$$

Výpočet hmot frézovacího vřetene:

Hmotnost: $m_{VVR}=336\text{kg}$



$$J_{VVR} = \frac{1}{2} \times m_{VVR} \times (R^2 + r^2) = \frac{1}{2} \times 336 \times (0,1125^2 + 0,09^2)$$

$$J_{VR} = 3,487 \text{ kgm}^2$$

8.1.2 Potřebný brzdňý moment

Pro výpočet potřebného brzdňého momentu je nutné nejprve určit potřebný redukováný moment. Jelikož je možné umístit brzdu před i za převodovku, je nutné zvážít obě možnosti. Pro obě varianty je vypočteno i zařazení druhého stupně. Pro bezpečné zastavení je nutné, aby se vřeteno přestalo točit do 3 vteřin od aktivace brzdy. Tato doba vychází z minimální vzdálenosti řezného nástroje od okraje ohrazení.

Zavilost brzdňého momentu je dána násobkem zrychlení (v tomto případě zpomalení) a redukováným hmotným momentem všech rotujících částí.

$$M_B = J_{RED} \times \alpha_B$$

Zpomalení vyjádříme podílem otáček k brzdňému času. Je také nutné převést otáčky na rychlost úhlovou. Otáčky a úhlová zpomalení jsou vypočítána před (pozice A) a za převodovkou (pozice B), viz obrázek na následující straně.

$$\text{Otáčky motoru: } \omega_M = \frac{\pi \times n_M}{30} = \frac{\pi \times 6000}{30} = 628,32 \text{ rad}$$

$$\text{Otáčky vřetena st. I: } \omega_{V1} = \frac{\pi \times n_M}{30 \times i_I} = \frac{\pi \times 3000}{30 \times 2} = 314,16 \text{ rad}$$

$$\text{Otáčky vřetena st. II: } \omega_{V2} = \frac{\pi \times n_{V1}}{30 \times i_{II}} = \frac{\pi \times 6000}{30 \times 10} = 62,83 \text{ rad}$$

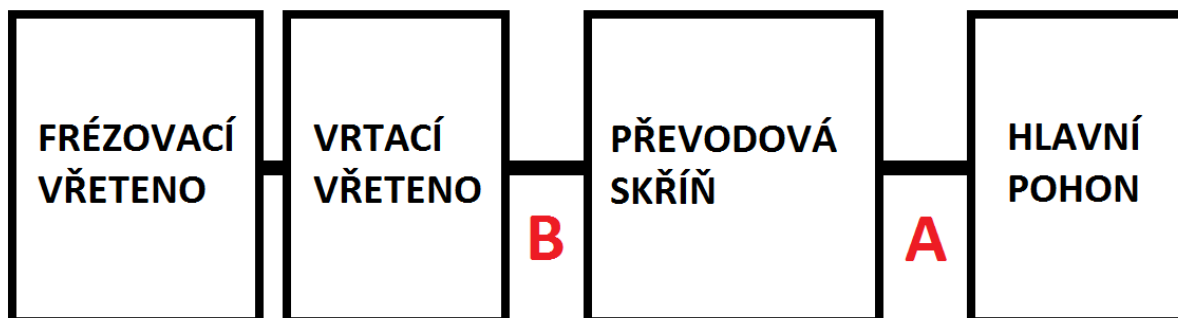
$$\text{Úhlová zpomalení motoru: } \alpha_M = \frac{\omega_M}{t_B} = \frac{628,32}{3} = 209,44 \text{ rad}^{-2}$$

$$\text{Úhlová zpomalení vřetena st. I: } \alpha_{V1} = \frac{\omega_{V1}}{t_B} = \frac{314,16}{3} = 104,72 \text{ rad}^{-2}$$

$$\text{Úhlová zpomalení vřetena st. II: } \alpha_{V2} = \frac{\omega_{V2}}{t_B} = \frac{62,83}{3} = 20,94 \text{ rad}^{-2}$$

8.1.3 Redukce hmotných momentů setrvačnosti

Pro výpočet brzdného momentu je nutné zjistit redukované momenty jednotlivých částí. Jak již bylo zmíněno, brzda může být umístěna před a za předovkou, proto jsou vypočítány redukované hmotné momenty pro pozici A a B dle následujícího schématu. Je nutné uvažovat také změnu převodových poměrů, kdy dochází i k změně velikosti setrvačných účinků. Výsledkem jsou celkem 4 hodnoty redukovaných hmot setrvačnosti.



Obrázek 28- Schéma rozložení setrvačných hmot a možných umístění brzd

8.1.3.1 Redukce hmot za hlavní pohon, pozice A

První převodový stupeň:

$$\frac{1}{2}J_{RM1}\omega_M^2 = \frac{1}{2}J_M\omega_M^2 + \frac{1}{2}J_{RM1}\omega_M^2 + \frac{1}{2}J_{VR}\left(\frac{\omega_M}{i_I}\right)^2 + \frac{1}{2}J_{VF}\left(\frac{\omega_M}{i_I}\right)^2$$

$$J_{RM1} = J_M + J_{RM1} + J_{VR}\left(\frac{1}{i_I}\right)^2 + J_{VF}\left(\frac{1}{i_I}\right)^2$$

$$J_{RM1} = 0,288 + 0,287 + \frac{3,487}{2^2} + \frac{2,016}{2^2} = \mathbf{1,951 \text{ kgm}^2}$$

Druhý převodový stupeň:

$$\frac{1}{2}J_{RM2}\omega_M^2 = \frac{1}{2}J_M\omega_M^2 + \frac{1}{2}J_{RM2}\omega_M^2 + \frac{1}{2}J_{VR}\left(\frac{\omega_M}{i_{II}}\right)^2 + \frac{1}{2}J_{VF}\left(\frac{\omega_M}{i_{II}}\right)^2$$

$$J_{RM2} = J_M + J_{RM2} + J_{VR}\left(\frac{1}{i_{II}}\right)^2 + J_{VF}\left(\frac{1}{i_{II}}\right)^2$$

$$J_{RM2} = 0,288 + 0,216 + \frac{3,487}{10^2} + \frac{2,016}{10^2} = \mathbf{0,559 \text{ kgm}^2}$$

8.1.3.2 Redukce hmot za předovkou, pozice B

První převodový stupeň:

$$\frac{1}{2}J_{RP1}\omega_{V1}^2 = \frac{1}{2}J_M(\omega_{V1}i_I)^2 + \frac{1}{2}J_{RP1}\omega_{V1}^2 + \frac{1}{2}J_{VR}\omega_{V1}^2 + \frac{1}{2}J_{VF}\omega_{V1}^2$$

$$J_{RP1} = J_M i_I^2 + J_{RP1} + J_{VR} + J_{VF}$$

$$J_{RP1} = 0,288 \times 2^2 + 1,147 + 3,487 + 2,016 = \mathbf{7,802 \text{ kgm}^2}$$

Druhý převodový stupeň:

$$\frac{1}{2}J_{RP2}\omega_{V1}^2 = \frac{1}{2}J_M(\omega_{V1}i_I)^2 + \frac{1}{2}J_{RP1}\omega_{V1}^2 + \frac{1}{2}J_{VR}\omega_{V1}^2 + \frac{1}{2}J_{VF}\omega_{V1}^2$$

$$J_{RP2} = J_M i_I^2 + J_{RP1} + J_{VR} + J_{VF}$$

$$J_{RP2} = 0,288 \times 10^2 + 21,691 + 3,487 + 2,016 = 55,994 \text{ kgm}^2$$

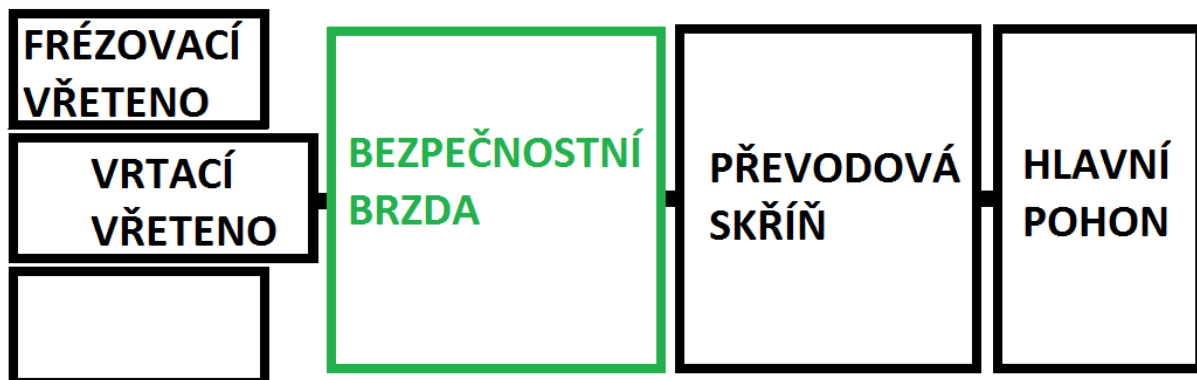
8.2 Návrh parametrů kotoučové brzdy

Z důvodu prašnosti brzdy vlivem obušování materiálu třecích destiček je nutné zajistit utěsnění prostoru brzdy od dalších částí uvnitř pinoly. Umístění brzdy bylo s ohledem na maximální přípustné obvodové rychlosti pro brzděné obložení zvoleno za převodovkou. I v této pozici se při maximálních otáčkách pohybujeme u nejvyšších přípustných hodnot. Při umístění brzdy za převodku se sníží maximální otáčky z 6000 ot. /min. na polovinu, tedy 3000 ot. /min. při převodu na maximální otáčky a 600 ot. /min. při převodu na maximální točivý moment. Pro návrh brzdy je nutné znát její počáteční energii v obou případech.

$$E_1 = 0,5 \times J_{RP1} \times \omega_1^2 = 0,5 \times 7,802 \times 314,16^2 = 385\,015 \text{ J}$$

$$E_2 = 0,5 \times J_{RP2} \times \omega_2^2 = 0,5 \times 55,994 \times 62,83^2 = 110\,521 \text{ J}$$

Pro návrh chlazení a kontrolních výpočtů je uvažována vyšší hodnota, tedy 385 015 J.

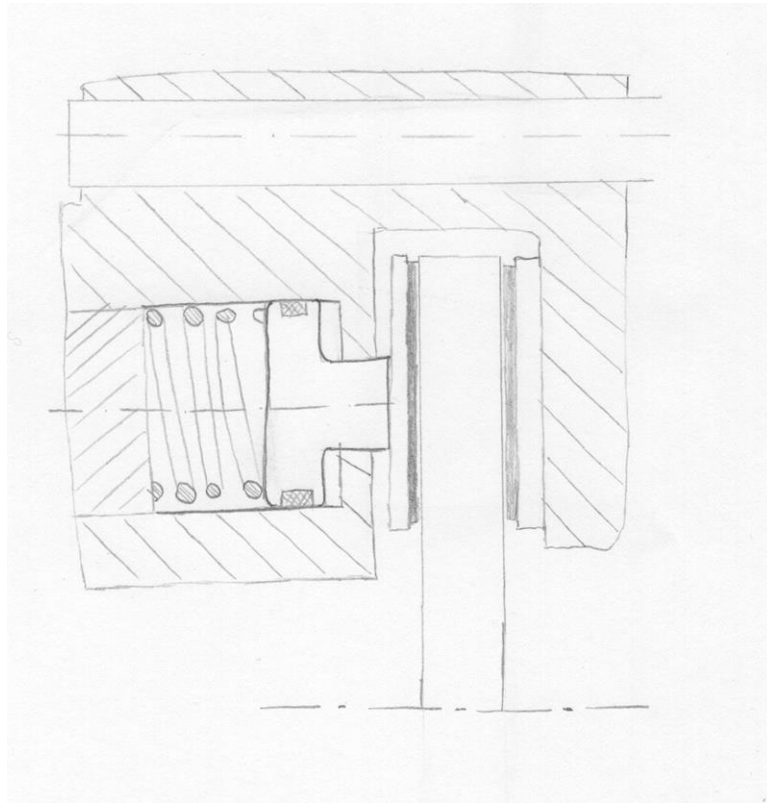


Obrázek 29- Zvolené umístění bezpečnostní brzdy

Na základě vnitřního prostoru uvnitř pinoly frézovacího vřetene jsou určeny maximální rozměry kotoučové brzdy. Maximální průměr kotoučové brzdy je 390 mm a minimální průměr je 180 mm z důvodu průchodnosti vřetena pro výsuv a chlazení. Pro samotný kryt brzdy musí být na průměru dostatečná rezerva, maximální využitelný průměr tedy uvažujeme 370 mm. Minimální průměr je zvolen 210 mm. Délka zařízení není striktně dána, ale výhodou je dodržení maximální délky 250 mm.

Pro výpočet potřebné brzděné síly je nutné určit střední průměr výslednice síly na kotouči brzdy. Pro přenos třecí síly jsou použity dvě brzděné čelisti po dvou párech brzděných destiček.

Jako brzdňý člen byla zvolena kotoučová brzda s plovoucím třmenem. Plovoucí třmen na rozdíl od pevného třmenu vyžaduje menší zástavbové rozměry. Výhodou je použití také polovičního počtu přitlačných pístů a samo-vyomezovací schopnost vůle mezi kotoučem a brzdovými destičkami.



Obrázek 30- Návrh konstrukce kotoučové brzdy

$$D_S = 0.5 \times (D_{max} + D_{min}) = 0.5 \times (0,32 + 0,21) = \mathbf{0,265 \text{ mm}}$$

8.2.1 Výpočet brzdňého momentu

$$M_{BP1} = J_{RP1} \times \alpha_{V1} = 7,802 \times 104,72 = \mathbf{817,0 \text{ Nm}}$$

$$M_{BP2} = J_{RP2} \times \alpha_{V2} = 55,994 \times 20,94 = \mathbf{1\ 172,5 \text{ Nm}}$$

8.2.2 Výpočet potřebné celkové brzdňé síly

$$F_T = \frac{2 \times M_{BP2}}{D_S} = \frac{2 \times 1172,5}{0,265} = \mathbf{8\ 849 \text{ N}}$$

Dále byl proveden výpočet přitlačné síly na plochu brzdové destičky. Pro vyvinutí potřebné brzdňé síly bylo zvoleno dvou plovoucích brzdňých třmenů. Brzdňou sílu tedy vytvářejí celkem čtyři brzdňé plochy brzdňových destiček.

$$F_1 = \frac{F_T}{f \times n} = \frac{8849}{0,4 \times 4} = 5\,531\text{ N}$$

8.2.3 Výpočet tlaku na brzdné ploše

Pro určení tlaku je nutné nejprve vypočítat kontaktní plochu brzdového obložení s kotoučem brzdy.

Délka obložení na středním průměru

$$L_S = 0,5 \times D_S \times \frac{\pi \times \beta}{180} = 0,5 \times 0,265 \times \frac{\pi \times 60}{180} = 138,7\text{ mm}$$

Plocha obložení

$$A_B = \frac{(D_{max} - D_{min})}{2} \times L_S = \frac{(320 - 210)}{2} \times 149 = 7628,5\text{ mm}^2$$

8.2.4 Výpočet tlaku v obložení

Pro volbu vhodného obložení je třeba znát maximální tlak v brzdovém obložení.

$$p_{max} = \frac{F_1}{A_B} = \frac{5531}{7628,5} = 0,725\text{ MPa}$$

8.2.5 Výpočet obvodové rychlosti

Neméně důležitou volbou je také určení maximální obvodové rychlosti při jednotlivých převodech.

$$V_{1max} = \frac{\pi \times D_{max} \times n_1}{60} = \frac{\pi \times 0,32 \times 3000}{60} = 50,05\text{ m/s}$$

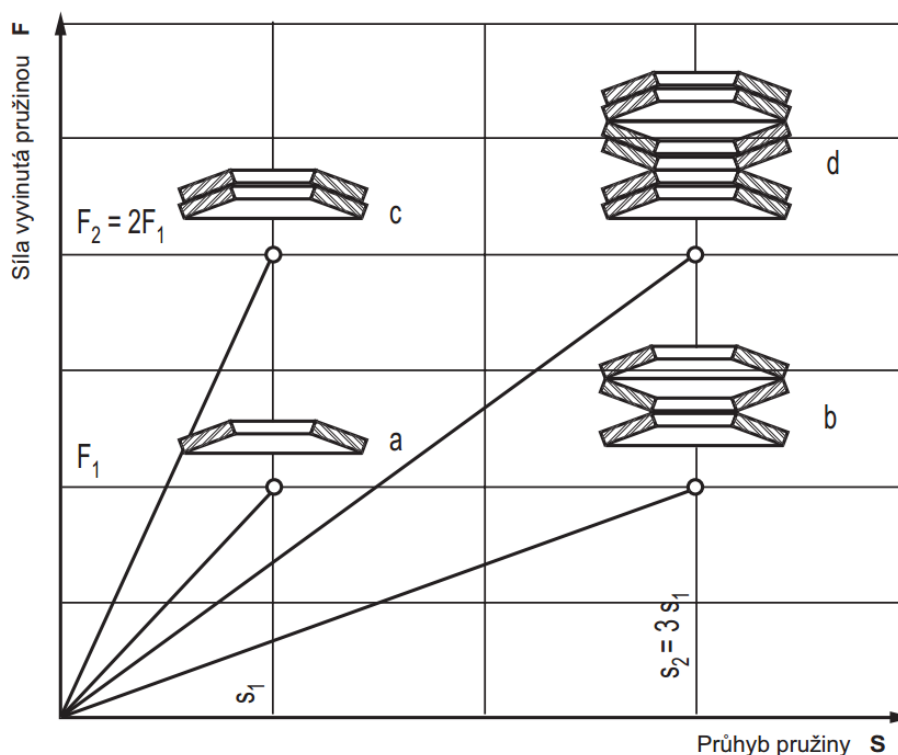
$$V_{2max} = \frac{\pi \times D_{max} \times n_2}{60} = \frac{\pi \times 0,32 \times 600}{60} = 10,05\text{ m/s}$$

9 Konstrukční návrh brzdy

V této kapitole jsou rozebrány konstrukční návrhy jednotlivých částí kotoučové brzdy doplněné o potřebné výpočty. V jednotlivých kapitolách jsou rozebrány podrobnosti k jednotlivým konstrukčním celkům.

9.1 Přítlačné pružiny

Pro návrh bezpečnostní brzdy je nutné uvažovat použití pružin jako zdroje tlačné síly na obložení. Pro toho konkrétní řešení byly zvoleny tlačné talířové pružiny, z důvodu menších zástavbových rozměrů při stejné síle než pružiny vinuté. Na každou brzdnu destičku působí dvě sady talířových pružin z důvodu lepšího rozložení sil. Pro zvýšení zdvihu jsou pružiny uspořádány v sériovém (protilehlém) uložení (b), kdy je při zachování stejné síly pružiny násoben zdvih pružin počtem pružin v sadě. Na následujícím obrázku jsou porovnány vlastnosti různých druhů uspořádání. Tuhost a sílu samostatné talířové pružiny (a) je možné zvýšit paralelním (přilehlým) uložení (c). V případě potřeby kombinace vyššího zdvihu a síly lze použít kombinované uložení (d).



Obrázek 31- Charakteristiky uspořádání talířových pružin dle katalogu Hennlich [13]

Výpočet potřebné přítlačné síly na sadu pružin je podílem síly k/k_e počtu sad pružin v třmenu.

$$F_P = \frac{F_1}{n_P} = \frac{5532}{2} = 2\,766\text{ N}$$

Dle katalogového listu výrobce HENNLICH byly zvoleny pružiny dle normy DIN 2093. Konkrétně se jedná o typ 31,5x16,3x1,75x2,45. Pružina je vyrobena z nízkolegované ušlechtilé chrom- vanadové oceli s mezí kluzu až 900 MPa. Parametry této talířové pružiny jsou vypsány v následujících tabulkách.

Parametr	Zkratka	[mm]
Vnější průměr pružiny	D_e	31,5
Vnitřní průměr pružiny	D_i	16,3
Tloušťka materiálu	t	1,75
Volná výška pružiny	l_0	2,45

Tabulka 8- Rozměry talířové pružiny DIN 2093 [13]

Hodnoty síly vyvinuté pružiny v závislosti na stlačení jsou uvedeny v následující tabulce. Průběh charakteristiky pružiny je lineární.

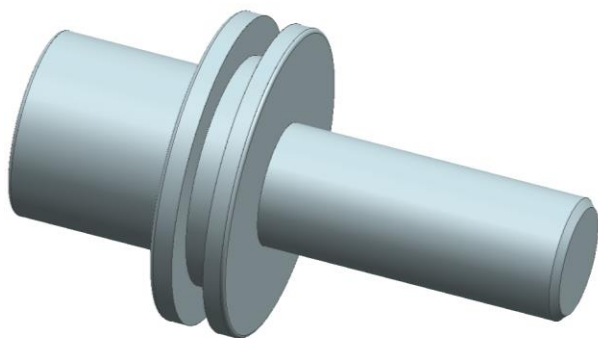
Stlačení	[mm]	Síla	[N]
S1 (25%)	0,18	F1	1931
S2 (50%)	0,35	F2	2669
S3 (75%)	0,53	F3	3871
Sc	0,7	Fc	5036

Tabulka 9- Charakteristika stlačení pružiny dle zatížení [13]

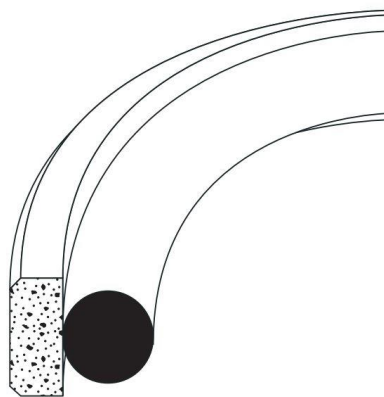
Pro dosažení požadovaných parametrů zdvihu a přítlačné síly je nutné pružinu stlačovat minimálně na sílu F2, tedy 2669 N. Při složení pružin do 10 protilehlých sad je při maximálním stlačení na 75% zdvih 3,06 mm. Tento zdvih je dostatečný pro kompenzaci vůle mezi brzdovým kotoučem a také pro úbytek brzdného obložení po požadovanou životnost kotoučové brzdy. Výška předeprnuté sady pružin je 33,6 mm, při stlačení 30,5 mm.

9.2 Brzdné píсты

Brzdné písty slouží jak k přenesení síly z přítlačných pružin na brzdové obložení, tak ke zvýšení síly pomocí tlakové kapaliny k vytvoření požadovaného aretačního momentu. Dále píst slouží k odblokování brzdného kotouče působení tlakové kapaliny proti síle pružiny. Velký průměr brzdného pístu je zvolen 40 mm. Vodící kolík pro talířové pružiny má průměr 16 mm a přítlačná část k brzdové destičce průměr 25 mm. Maximální zdvih pístu je 4 mm. Pro zachycení tlakové kapaliny je píst opatřen drážkou pro písní těsnění Hennlich K 54. Šířka drážky je dle požadavků výrobce 4,2 mm a malý průměr 29 mm. Těsnění je vyrobeno ze směsi PTFE, tedy polytetrafluoretylenu, obchodně známého jako teflon, a pryžového kroužku zajišťující statické těsnění.



Obrázek 32- Přítlačný brzdný píst



Obrázek 33- Řez těsněním Hennlich K54 [13]

9.2.1 Výpočet odtlačovací síly

Odtlačující síla F_{od} je dána spodní plochou mezikruží pístu S_{od} a maximálního tlaku brzdové kapaliny p_0 .

$$S_{od} = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \times (40^2 - 25^2)}{4} = 766 \text{ mm}^2$$

$$F_{od} = p_0 \times S = 12 \times 766 = \mathbf{9189 \text{ N}}$$

$$p_3 = \frac{F_3}{S_{od}} = 5,05 \text{ MPa}$$

Síla pro odtlačení je dostatečná pro maximální stlačení pružin, maximální tlak je možné redukovat pro snížení namáhání součástí. Pro stlačení pružin na 75 % zdvihu je potřeba vyvinout tlak kapaliny přibližně 5,1 MPa. Přesnou velikost tlaku je nutné ověřit experimentálně z důvodu vlivu pasivních odporů a tlakových ztrát.

9.2.2 Přítlačná síla tlakové kapaliny

Celková přítlačná síla je vyvozena silou při maximálním zvoleném pracovním zdvihu ($F_p=2\ 766 \text{ N}$) a tlaku brzdové kapaliny na horní plochu.

$$F_{při} = \frac{\pi \times (D^2 - d_1^2)}{4} \times p_0 = \frac{\pi \times (40^2 - 16^2)}{4} \times 12 = \mathbf{12\ 666 \text{ N}}$$

Celková maximální přítlačná síla na destičku

$$F_C = 2 \times (F_{při} + F_{pru}) = 2 \times (12\ 666 + 2\ 766) = \mathbf{30\ 864 \text{ N}}$$

$$M_{max} = \frac{n \times F_C \times D_S \times f}{2} = \frac{4 \times 30\ 864 \times 0,265 \times 0,40}{2} = \mathbf{6543 \text{ Nm}}$$

Maximální aretační moment brzdy je vyšší než požadovaný aretační moment 5000 Nm. Brzda tedy splňuje požadavek zadavatele pro nahrazení aretace brzdým zařízením. Aretační moment brzdného zařízení splňuje požadavky s dostatečnou rezervou a proto je vhodné tlak ovládací kapaliny redukovat při montáži zařízení a následném testování.

Kontrola tlaku v obložení při maximálním zatížení

$$p_{skut} = \frac{F_C}{A_B} = \frac{30\ 864}{5\ 960} = \mathbf{5,18 \text{ MPa}}$$

9.3 Volba brzdného obložení

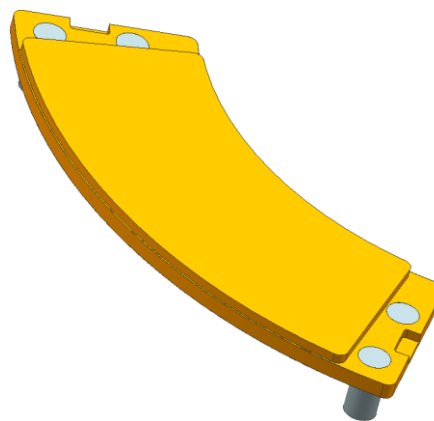
Brzdné obložení musí splňovat především vysoké požadavky na obvodovou rychlost při maximálních otáčkách 3000 ot. /min. Na obvodu kotouče brzdy dosahuje obvodová rychlost $V_{1_{\max}}=50,05$ m/s. Mezi další požadavky patří odolnost vůči vysokým teplotám z důvodů zhoršených podmínek chlazení. Tyto vlastnosti splňuje sintrované brzdové obložení BM 40 od německého výrobce Becorit. Tento typ brzdové obložení se používá mimo jiné u nákladních automobilů a rychlých automobilů. Brzdové obložení je doporučeno používat s ocelovým nebo litinovým brzdovým kotoučem. Brzdové destičky jsou ve třmenu zachyceny proti pohybu pomocí čepů nalisovaných do otvorů destičky. Pro odlehčení brzdového obložení od kotouče jsou použity pružiny z ohnutého plechu. Důležité parametry brzdového obložení jsou vypsány v tabulce. Katalogový list je součástí příloh.

Parametr	Zkratka	Jednotky	Hodnota
Střední koeficient tření	μ_m	[-]	0,4
Maximální obvodová rychlost	V	m/s	55
Dlouhodobá přípustná teplota	v	°C	500
Krátkodobá přípustná teplota	v_{MAX}	°C	900
Pevnost v tlaku	σ	MPa	42
Specifický dovolený tlak	p	MPa	1,5
Tepelná vodivost	λ	W/(m*K)	24
Specifická tepelná kapacita	C_P	kJ/(kg*K)	0,5

Tabulka 10- Parametry brzdového obložení Becorit BM 40



Obrázek 34- Příklad použití brzdového obložení Becorit [12]

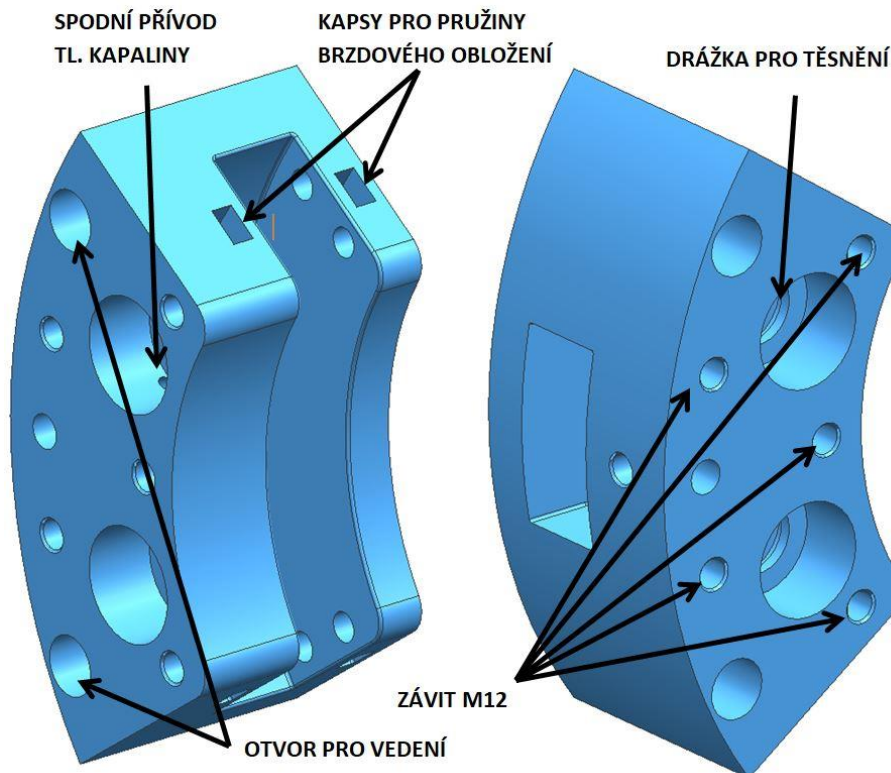


Obrázek 35- CAD model brzdové destičky

9.4 Brzdný třmen

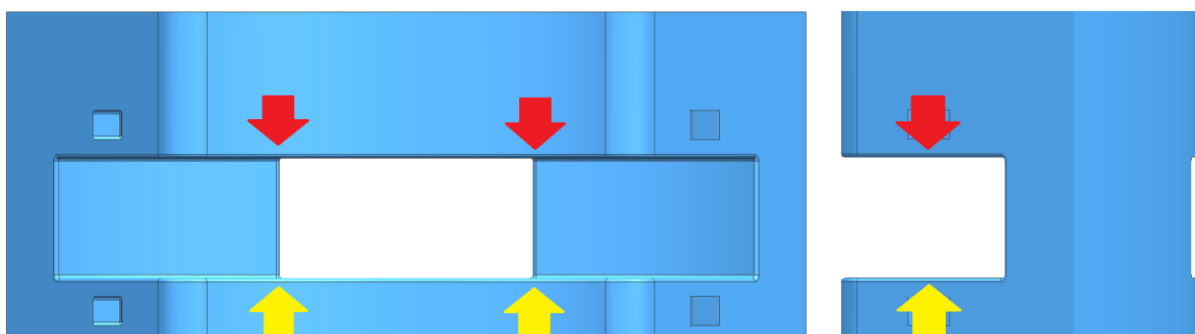
Pro přenos brzdné síly je nutné písty umístit do brzdného třmenu, do kterého jsou písty namontovány a vedeny. Dále slouží k uložení brzdových destiček. Zvolen byl plovoucí brzdový třmen, který se oproti pevnému třmenu vyznačuje menšími zástavbovými rozměry a použitím polovičního počtu pístů a tlačných pružin. Brzdná síla na druhou destičku ve třmenu je vyvozena reakční silou a posuvem třmenu proti síle pístu. Třmen je nutné uložit na posuvném vedení. Vedení je zvoleno Iglidur H2, podrobnosti jsou rozvedeny v samostatné kapitole. Písty jsou uloženy v dvou kruhových kapsách a utěsněny pomocí O-kroužků. Drážka

pro O-kroužky má šířku 6,4 mm a průměr 34 mm. Pro uchycení horní části brzdového třmenu je použito pět šroubů M12 DIN912. Přívod tlakové kapaliny pod píst je zajištěn pomocí dvou kanálků vyvrtaných z vnějšku třmenu.



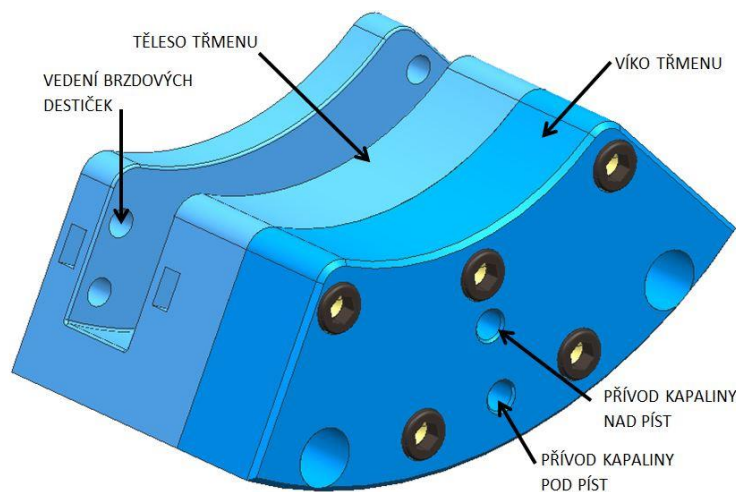
Obrázek 36- CAD model třmenu brzdy

Na dalším obrázku je znázorněno silové působení na brzdové destičky. Šipky žluté barvy znázornují sílu od pístů, červené šipky reakci v opačném směru na druhou destičku.



Obrázek 37- Působení přitlačné síly a reakcí v brzdovém třmenu

Na vrchní části brzdového třmenu jsou umístěny otvory pro přívod tlakové kapaliny pod a nad píst. Přívod pod píst je veden do tělesa třmenu, kde je pomocí kanálků spodního přívodu rozveden pod oba písty. Horní přívod je rozveden pomocí vybrání ve víku. Vybrání na bocích brzdového třmenu slouží pro umístění pružin odlehčujících brzdové obložení od brzdového kotouče. Při absenci těchto pružin by mohlo docházet k vyššímu opotřebení jak samotného obložení, tak i kotouče brzdy.



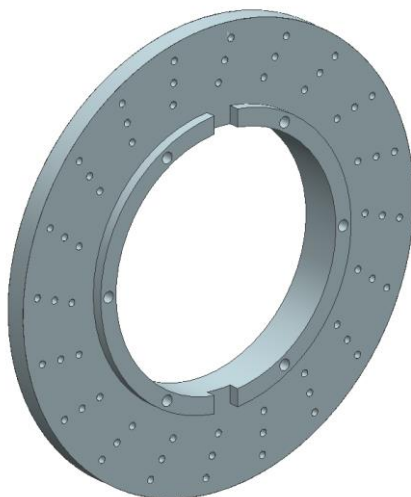
Obrázek 38- Třmen brzdy s horním krytem

9.5 Kotouč brzdy

Brzdový kotouč je navržen z litiny s červíkovým grafitem, která se běžně v praxi používá pro tyto účely. Tento materiál je odolný teplotám až do 500°C a také vůči tepelným šokům. Kotouč je opatřen drážkami pro přenos brzdného momentu a je pomocí šroubových spojů uchycen k vrtacímu vřetenu. Použit je plný kotouč a pro lepší chlazení je odvrtán ve třech řadách. Šířka brzdného kotouče je zvolena 15 mm a vnější průměr 320mm, vnitřní průměr 180 mm. Z důvodu uložení na frézovací vřeteno je vnitřní průměr vyroben v toleranci +0,1 - +0,5. Pro přenos brzdného momentu jsou na kotouči vytvořeny 4 drážky pro uložení unášecích kamenů, které přenášejí zatížení z příruby frézovacího vřetena. Zvýšení teploty v kotouči je součástí MKP analýzy v kapitole č. 10.

Na unášecí kámen působí maximální aretační moment $M_{max}=6543$ Nm na středním průměru $D_k=200$ mm. Rozměry kamene jsou 18 x 18 x 12 mm. Kameny jsou uloženy rovnoměrně mezi kotouč brzdy a přírubu frézovacího vřetena.

$$p_k = \frac{F}{S_K} = \frac{\frac{M_{max} \times D_K}{2}}{n_K \times b \times h} = \frac{\frac{6543 \times 0,2}{2}}{2 \times 9 \times 12} = 2,9 \text{ MPa}$$



Obrázek 39- 3D model brzdného kotouče

9.6 Uložení brzdy

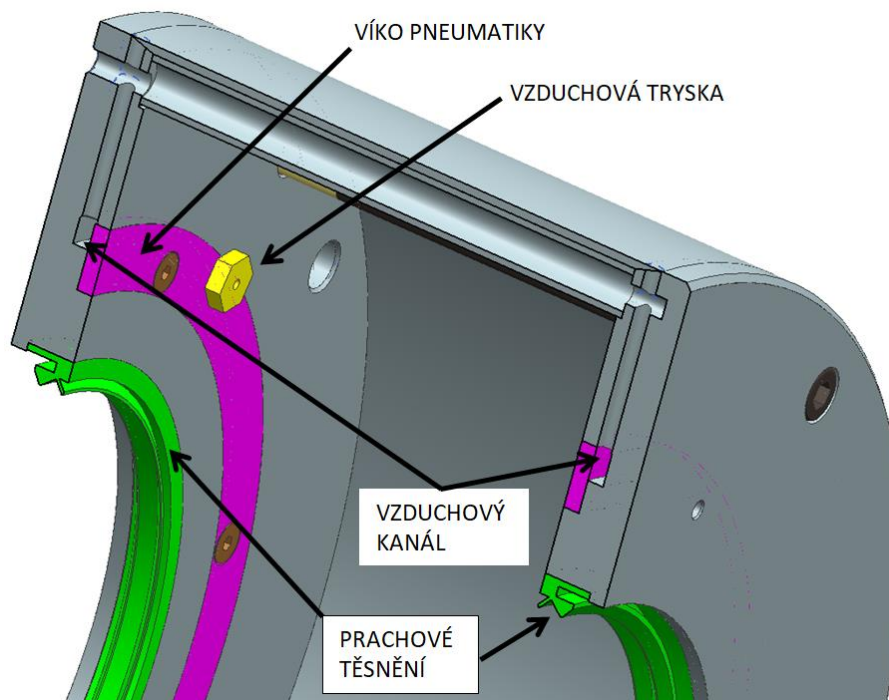
K uchycení brzdových třmenů do stávající konstrukce stroje HCW 3000 byla navržena upínací deska. Tato deska je umístěna na přírubu koaxiální převodové skříně. Pro uchycení k převodové skříně je použito šroubového spojení. Pro zachycení prašnosti od brzdy je mezi deskou a hřídelí uloženo prachové těsnění od firmy Hennlich. Druh těsnění je podrobně rozebrán v kapitole 9.8 Kryt brzdy.

9.7 Vedení třmenu

Brzdné třmeny musí být pevně uloženy k rámu, aby mohly přenést brzdou sílu, ale zároveň musí vykonávat posuvný pohyb pro vymezení vůle mezi destičkami. Pro snížení povrchového tření mezi vodícími čepy brzdou čelistí je použito kluzné pouzdro z materiálu Iglidur H2 výrobce Hennlich. Tento materiál je odolný teplotám až 200°C, krátkodobě snese až 240°C. Využít lze i bez mazání při zachování maximálního dovoleného tlaku, součinitel tření dosahuje hodnoty 0,1. Tloušťka vodícího pouzdra je 1,5 mm. [13]

9.8 Kryt brzdy

Kryt brzdy je nutný pro zachycení nečistot vzniklých opotřebením brzdových destiček. Prach by mohl zanést ostatní části uvnitř pinoly a tím snížit její živostnost jako celku, nebo přímo způsobit poškození některé z částí, např. ložisek, převodovky aj. Jako kryt byla zvolena válcová konstrukce opatřená dvěma přírubami s těsněním rotačních částí pomocí gufera. Válcová část je vyrobená ze skrouženého a následně svařeného plechu. Dosedací plochy válce jsou obrobena. Výhodou této konstrukce je nízká výrobní cena, než při kompletním obrábění většího trubkového polotovaru. Do válcového tvaru je následně přivařena tenkostěnná bezešvá trubka 15 x 2 mm dle normy ČSN 42 6711.21 pro vedení stlačeného vzduchu do víka krytu z upínací desky. Součástí víka krytu a upínací desky je rozváděcí drážka stlačeného vzduchu pro chladicí trysky.

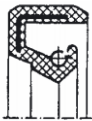
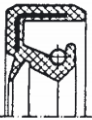


Obrázek 40- CAD model krytu v řezu

Víko je uchyceno k upínací desce pomocí 4 šroubů M12x180 DIN 912. Uchycení a vycentrování víka s válcovým krytem je zajištěno pomocí kuželových dosedacích ploch. Těsnící gufera jsou řady WAS od výrobce Hennlich, které odolávají vysokým teplotám a obvodovým rychlostem, navíc opatřené prachovkou zabraňující prostupu prachu a nečistot.

$$V_{Guf} = \frac{\pi \times D_{VR} \times n_1}{60} = \frac{\pi \times 0,18 \times 3000}{60} = 28,3 \text{ m/s}$$

STANDARDNI SORTIMENT

Profil	Typ	Materiál	Max. tlak (bar)	Rozsah teplot (°C)	Max. rychlost (m/s)	Popis
	WA	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Pryžovým elastickým vnějším pláštěm je možno eliminovat teplotní roztažnost a větší povrchovou drsnost v úložném prostoru. Při častější výměně těsnění není nebezpečí poškození zástavbového prostoru. Je vhodný při utěsňování plyných nebo kapalných médií.
	WAS	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Jako základní typ WA. Navíc ochranná prachovka, která zabraňuje přístupu prachu a nečistot do vlastního těsnícího místa. Pokud je prostor mezi těsnícím břítem a prachovkou naplněn vhodnou mazací vazelinou, snižuje se otěr na těsnění a zabraňuje se korozi hřídele. Je nutno přezkoušet kompatibilitu vazelíny s elastomerem i médiem.

Obrázek 41- Výňatek z katalogu pneumatického těsnění Hennlich [13]

Objednávkové číslo Gufera je SI WAS 210 x 180 x 15. Gufero je určeno pro hřídel o průměru 180 mm a vyrobeno z Sikonkaučuku vhodného pro obvodové rychlosti do 30 m/s. Kompletní parametry těsnění jsou součástí přílohy. Parametry Gufera tedy splňují požadavky aplikace.

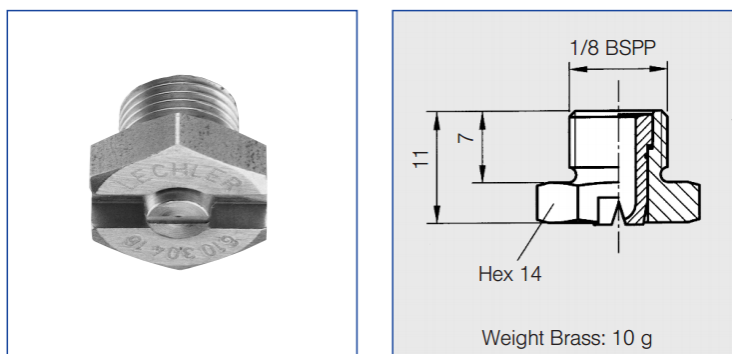
9.9 Chlazení

Při brzdění frézovacího vřetene kotoučovou brzdou vzniká velké množství tepla, které je nutné odvést. V opačném případě by došlo k nežádoucímu navýšení tepla v okolí brzdného zařízení. Druhou funkcí stlačeného vzduchu je výfuk prachu vzniklého při opotřebení brzdových destiček. Výfukový otvor je umístěn v horní části krytu vedle přívodu stlačeného vzduchu a brzdné kapaliny.

Stlačený vzduch je dopraven do požadovaného prostoru v tlakovém potrubí o vnějším průměru 12mm. Tlaková hadice je vyrobena z plastu PAN-V0 s dvojitým pláštěm a odolává teplotám až 90°C při maximálním tlaku 14 bar. Hadice je vhodná pro použití v blízkosti svařování a s přímým dopadem okují.

Pro usměrnění proudu stlačeného vzduchu jsou v krytu umístěny vzduchové trysky. Vzduchové trysky byly vybrány od výrobce Lechler, typ 612. Tento typ je osazen šroubením G1/8“. Trysky mají plochý proud vzduchu s úhlem rozstříku 60°.

Samotné trysky jsou upevněny v odnímatelné části, celkový počet trysek je 12, tedy po 6 kusech na každou stranu kotouče. Vzduchové trysky také slouží k vynesení prachu z brzdových destiček do výfukového potrubí vedoucího v horní části pinoly nad převodovkou a motorem. Výfukový systém je umístěn do horní části pinoly v prostoru pro vedení kabeláže a tlakového potrubí. Vnitřní průměr výfukového kanálu je zvolen na 25 mm. Použita je trubka 28 x 1,5 mm dle normy ČSN EN 10219. Na výstupu z pinoly je připojeno filtrační zařízení pro zachycení nečistot a prachu z obložení.

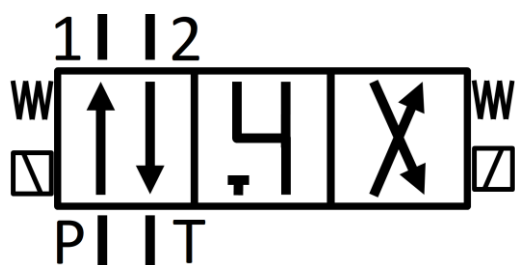


Obrázek 42- Vzduchová tryska typu 612 výrobce Lechler [16]

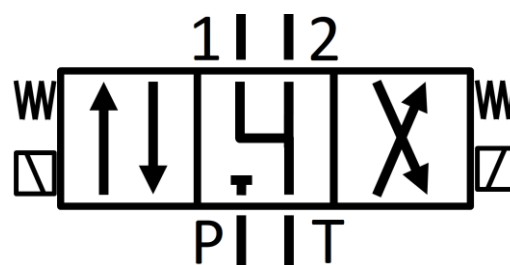
9.10 Příslušenství

Pro řízení přítlačné síly je brzdný třmen připojen k hydraulickému okruhu s tlakovou kapalinou o maximálním tlaku 12 MPa. Pro zajištění možnosti ovládat brzdny mechanismus při výpadku elektrického proudu je řídicí systém napojen na zálohovaný zdroj elektrického napětí. Pro ovládání průtoku jsou použity monostabilní elektromagnetické rozvaděče. Tento typ rozvaděče je pomocí pružiny ustaven do výchozí stabilní polohy. Ke změně polohy ventilu rozvaděče slouží elektromagnet, který svou silou překoná sílu pružiny a uvede ventil do druhé polohy. Při přerušení elektrického napětí dojde k navrácení do stabilní polohy. Pro ovládání brzdy je použit monostabilní elektromagnetický rozvaděč s otevřenou stabilní polohou. V případě výpadku elektrické sítě dojde tedy k otevření rozvaděče a vytlačení kapaliny silou pružiny. Pro vzduchové chlazení je použit elektromagnetický ventil s volným průtokem média ve stabilní poloze. Při výpadku tedy dojde k otevření ventilu a tím proudění chladícího vzduchu přes trysky na kotouč brzdy.

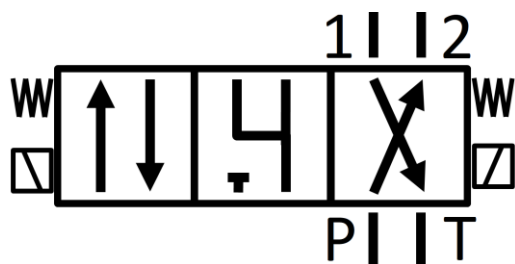
Pro ovládání aretace je použit hydraulický rozvaděč 4/3. Ve stabilní poloze (II) je přívod (P) uzavřen, z podpístního (1) i nadpístního (2) prostoru, kapalina volně odtéká (T) - s pístem lze volně pohybovat. V poloze I je přivedena kapalina (P) pod píst (1), kapalina nad pístem (2) odchází do opadu, při této poloze je brzda odblokovaná. V poloze III je kapalina vedena nad píst (2) a z prostoru pístem (1) odtéká (T), v této poloze je brzda v aretačním režimu.



Obrázek 43- Aretační poloha rozvaděče



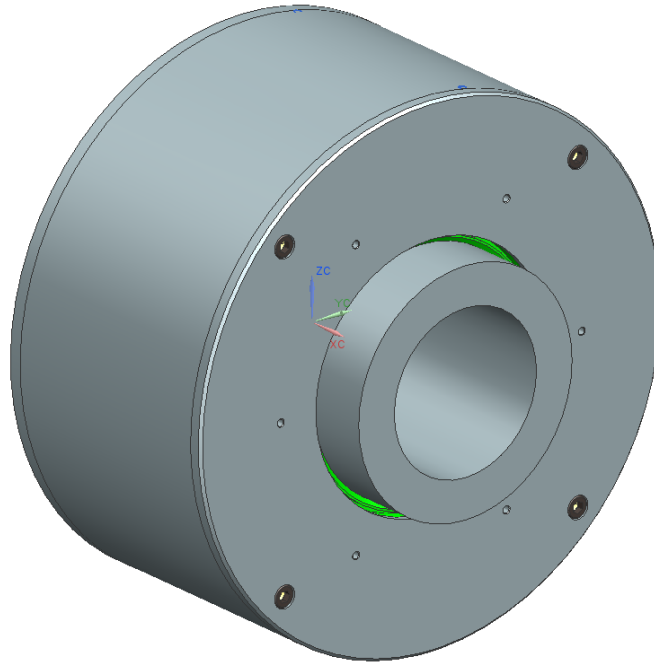
Obrázek 44- Poloha rozvaděče při aktivování brzdy



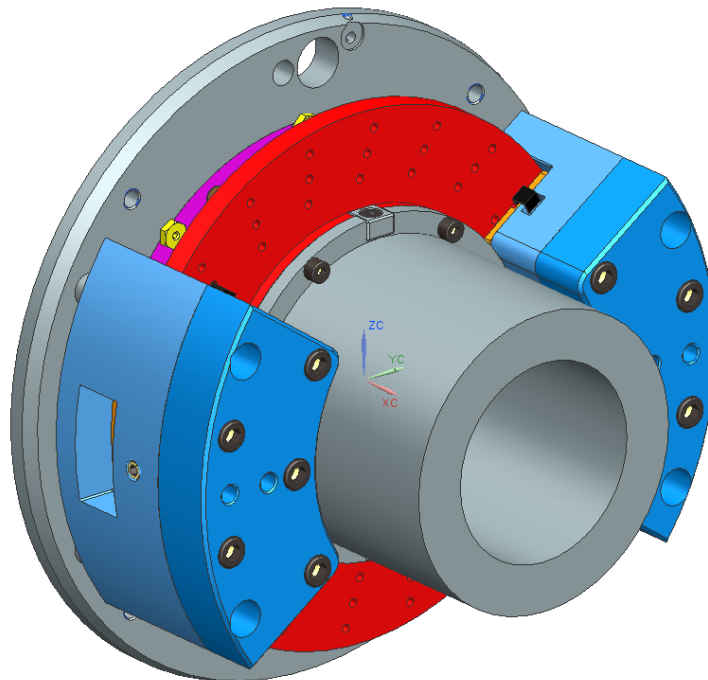
Obrázek 45- poloha rozvaděče při uvolnění vřetena

9.11 Zkompletované zařízení

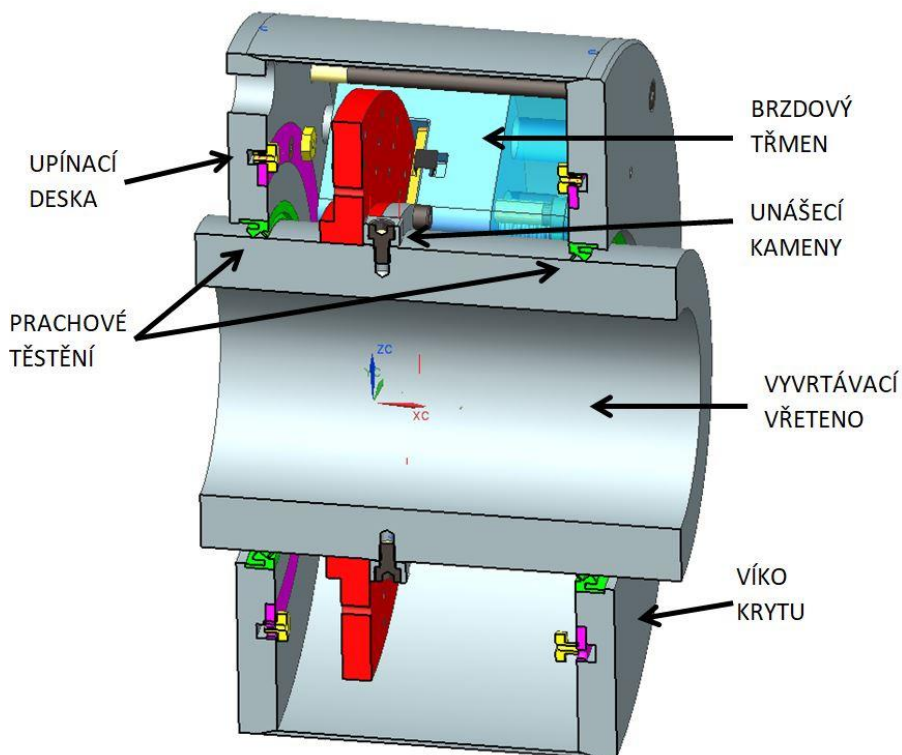
V této kapitole je zobrazeno kompletní navržené řešení bezpečnostní brzdy s možností aretace vyvrtávacího vřetena. Na obrázku č. 46 je brzdné zařízení uložené v kompaktním válcovém krytu pro umístění do pinoly frézovacího vřetene. Kryt je uzavřen pomocí 4 šroubů M12 o délce 180 mm a utěsněn pomocí těsnění Hennlich v přírubách krytu. Na obrázku č. 47 je zobrazena kotoučová brzda bez předního víka krytu a válcového pláště. Kotouč brzdy je k frézovacímu vřetenu uchycen pomocí příruby a brzdný moment přenášen pomocí unášivých kamenů. Přívod chlazení, tlakové kapaliny a výfuk jsou umístěny v horní části upínací příruby.



Obrázek 46- Sestava bezpečnostní brzdy s krytem

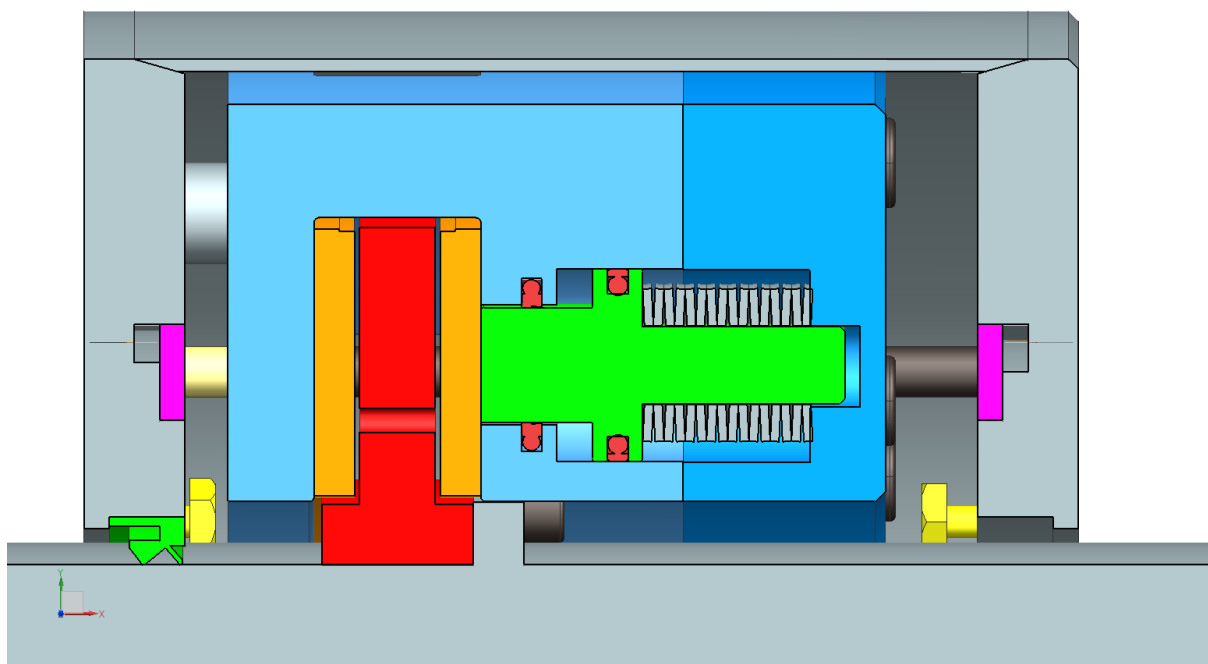


Obrázek 47- Sestava bezpečnostní brzdy bez krytu



Obrázek 48- Řez sestavou brzdy

V řezu skrze brzdový třmen je patrné uspořádání talířových pružin. Při působení kapaliny nad pístem je zvýšena přítlačná síla a je vyvozen požadovaný aretační moment. Při působení kapaliny pod pístem proti síle pružin jsou brzdové destičky odlehčeny a brzdový kotouč je uvolněn.



Obrázek 49- Řez skrze brzdový třmen s pístem a pružinami

10 MKP teplotní analýza

V této kapitole je provedena teplotní analýza brzdového kotouče a brzdových destiček při brzděném stavu při výpadku proudu. V okamžiku výpadku proudu dojde ke změně polohy elektromagnetických ventilů a odtoku brzdové kapaliny zpod pístu. Dále je otevřen ventil ovládající stlačený vzduch určený pro chlazení a ofukuje brzdový kotouč. Brzdový čas od spuštění brzdy jsou 2 vteřiny. Celková energie potřebná k zastavení celku $E_1 = 385\,015$ kJ, tato energie je přeměna při brzděném cyklu na energii tepelnou. Výpočty byly provedeny v programu Siemens NX 10 za použití řešiče NX THERMAL / FLOW.

10.1 Výpočetní model pro teplotní úlohu

Pro teplotní analýzu byl brzdový kotouč rozdělen na polovinu v rovině rotace. Toto rozdělení je možné, jelikož brzdné destičky jsou umístěny na obou stranách kotouče a také je kotouč chlazen z obou stran. Model kotouče byl zjednodušen o upínací tvarové plochy.

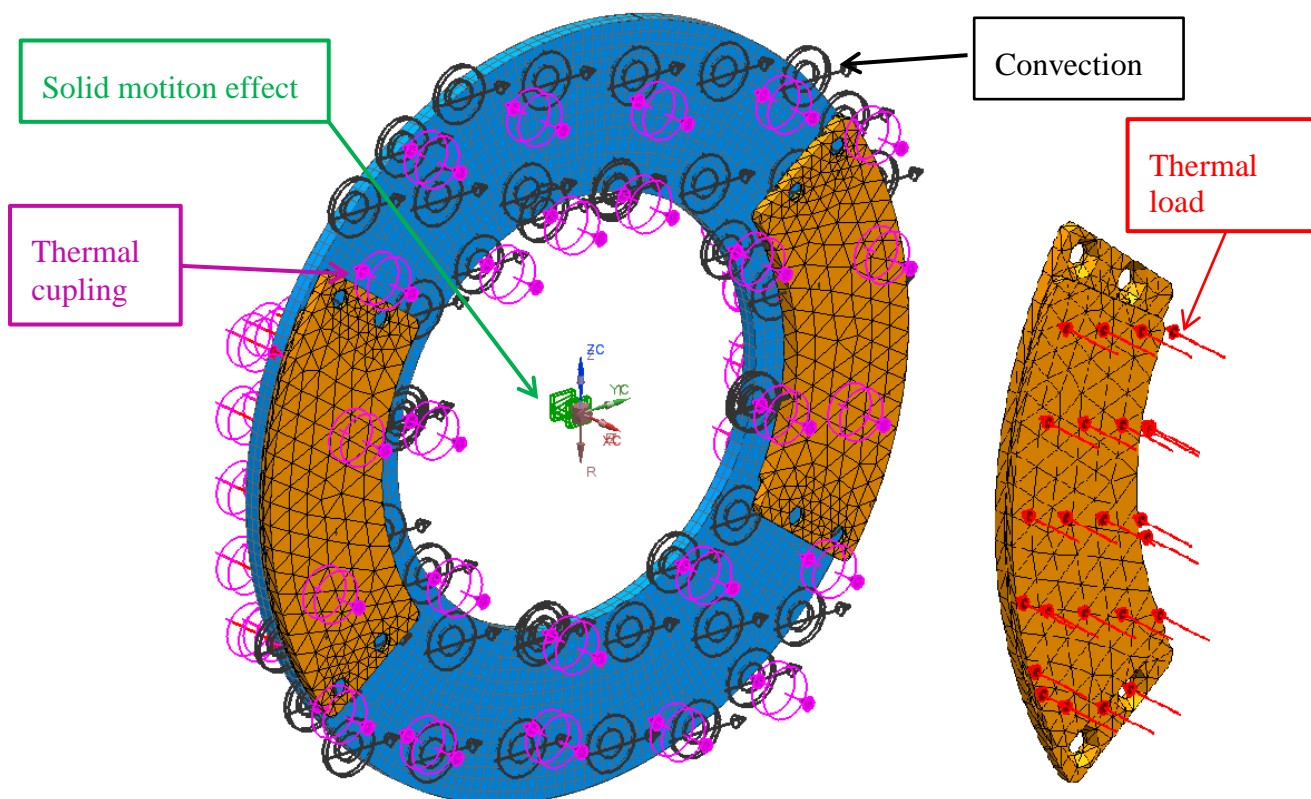
Za okrajovou podmínku bylo použito tepelného zatížení na plochu brzdových destiček a nuceného proudění na plochu kotouče brzdy. Pro přenos tepla mezi brzdovým obložěním a kotoučem bylo použito tepelného kontaktu. Pro výpočet přechodného děje po dobu dvou vteřin bylo nastaveno otáčení kotouče brzdy v závislosti na čase.

Tepelný zdroj „Thermal Load“ byl umístěn na obě třecí plochy brzdových destiček o velikosti 96 250 W, tato hodnota vychází z celkové energie rotujících součástí $E_1 = 385\,015$ J vypočtené v kapitole 8.2 a také z brzděného času $t = 2$ s.

Chlazení „Convection to Environment“ bylo aplikováno na vnější plochu kotouče a jako chladicí médium nastaven vzduch o teplotě 20°C a rychlosti 20 m/s. Prostup tepla mezi jednotlivými částmi je umožněn tepelným spojením „Thermal Coupling“ mezi vnější plochou kotouče a brzdovou plochou destiček.

Parametr	Kotouč	Brzdové obložení
Materiál	Litina s červíkovitým grafitem	Becorit BM 40
Dovolená teplota [°C]	450	500
Tepelná vodivost λ [W/m*K]	38	24
Tepelná kapacita kJ[kg*K]	0,45	0,5

Tabulka 11- Tepelné vlastnosti materiálů



Obrázek 50- Graficky znázorněné okrajové podmínky

Pro výpočet přechodného děje v jednotlivých časech bylo nastaveno otáčení kotouče brzdy při vypočteném zpomalení $\alpha_{v1}=104,72 \text{ rad}^2$. Rozestup jednotlivých kroků pootočení je fixní – 30° od předchozího kroku a čas je následně dopočten dle vzorce odvozeného z výpočtu počtu otáček do zastavení:

$$t_x = \frac{100 - \sqrt{100^2 - \frac{5}{9}\varphi}}{50}$$

Příklad několika vypočtených hodnot je uveden tabulce na následující straně.

Hodnota	Čas t [s]	Natočení φ [°]	Počet otáček n [-]
1	0	0	0
2	0,001667	30	1/12
3	0,003336	60	1/6
14	0,020101	360	1
122	0.211146	3600	10
602	2	18000	50

Tabulka 12- Příklad vypočtených hodnot natočení kotouče brzdy

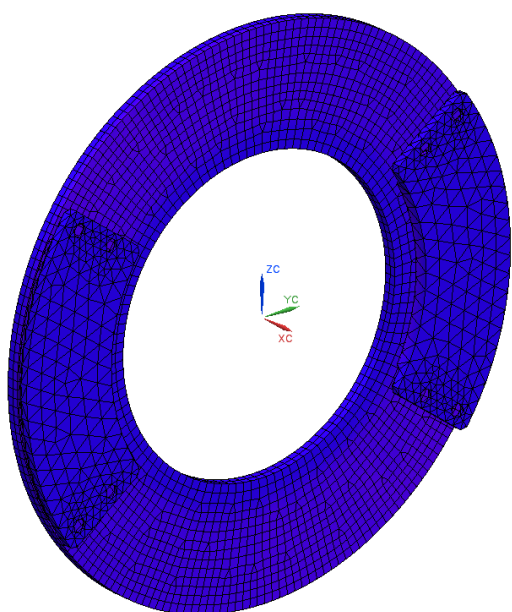
V programu NX byla použita pro otáčení funkce „Solid Motion Effects“ s vložením všech 602 poloh a jim odpovídajícím časům. Výpočetní řešič byl zvolen NX Thermal / FLOW s pokročilým teplotním typem úlohy. Úloha byla počítána jako Transientní, tedy úloha pro výpočet na sebe navazujících dějů.

10.2 Vypočtené hodnoty

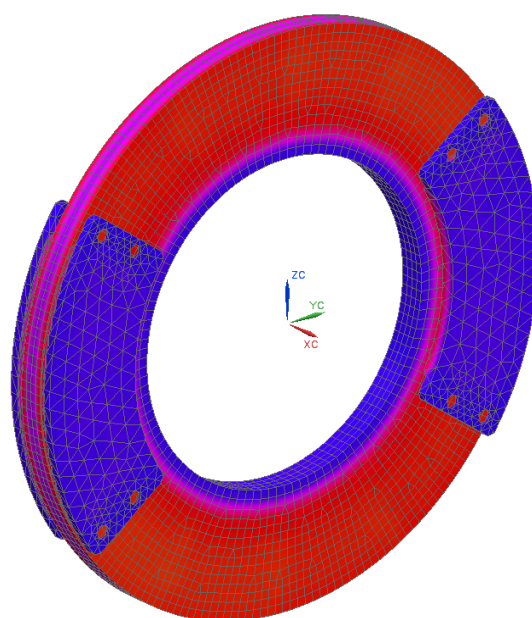
Celkem bylo vytvořeno 151 výsledků mezi 0 a 2 vteřinami. V tištěné formě práce jsou zobrazeny pouze některé hodnoty, ostatní hodnoty jsou ve formě animace přiloženy na datovém médiu, který je součástí práce. Součástí média jsou také soubory FEM a SIM pro opakované vypočtení práce se shodnými případně upravenými parametry. Pro lepší názornost je poloviční model zrcadlen do plného modelu. Pro všechny grafické výstupy byla použita následující teplotní stupnice.



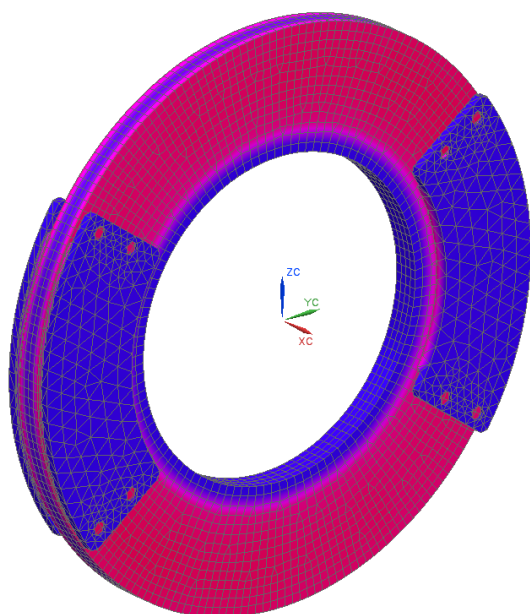
Obrázek 51- Společná teplotní stupnice pro MKP výpočty



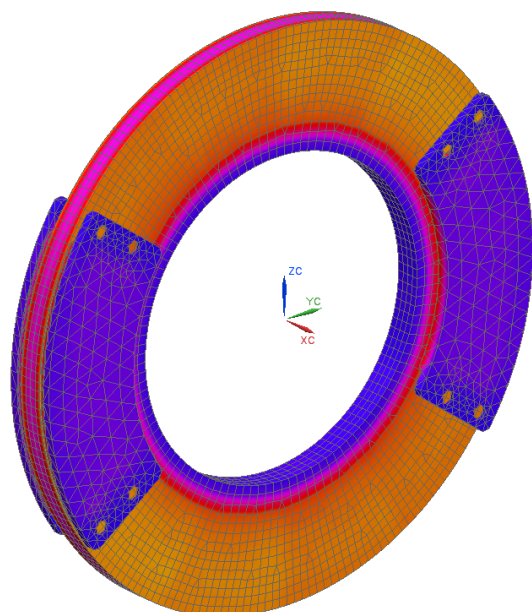
Obrázek 52- Průběh teploty v čase 0,013 s



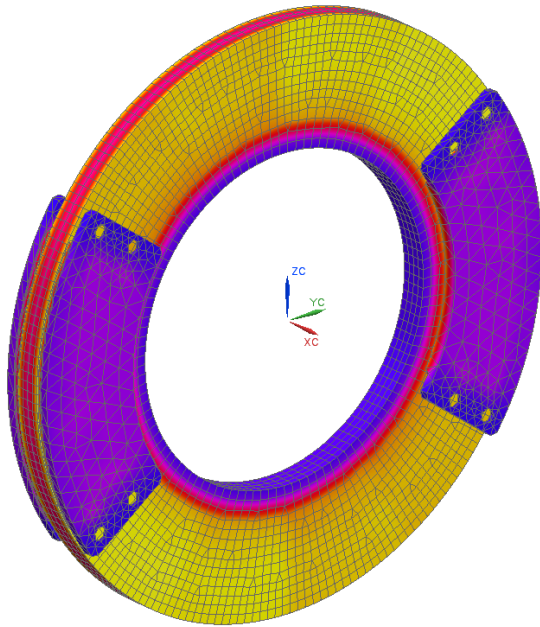
Obrázek 54- Průběh teploty v čase 0,8s



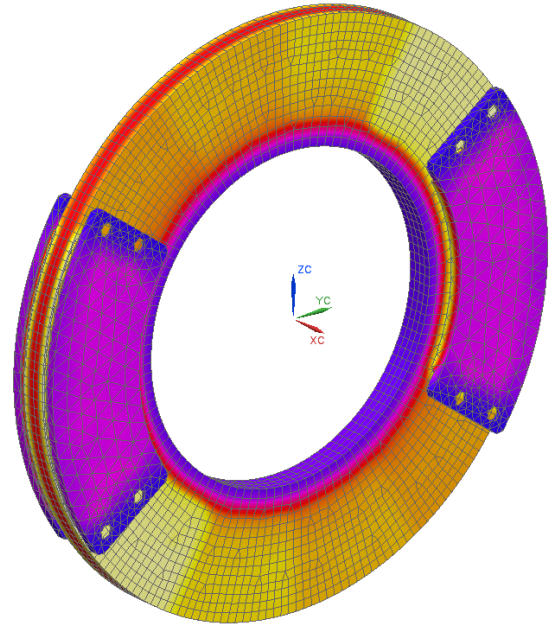
Obrázek 53- Průběh teploty v čase 0,4



Obrázek 55- Průběh teploty v čase 1,6s

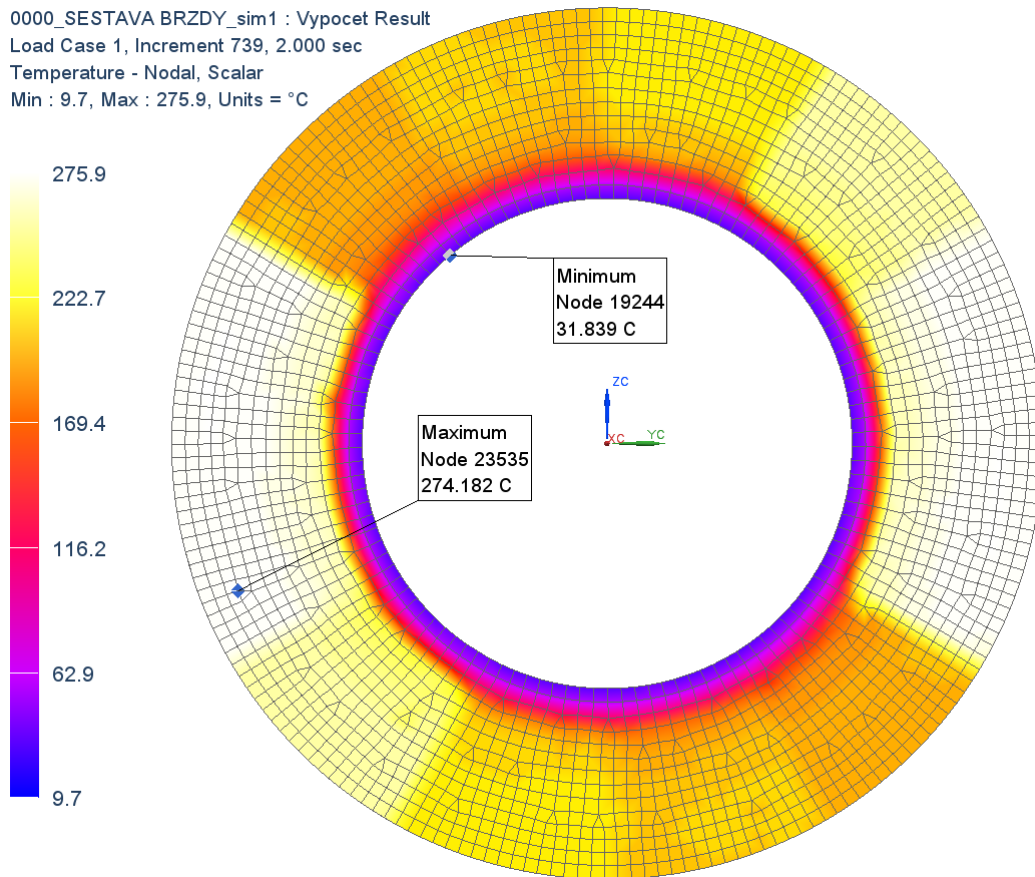


Obrázek 56- Průběh teploty v čase 1,2s



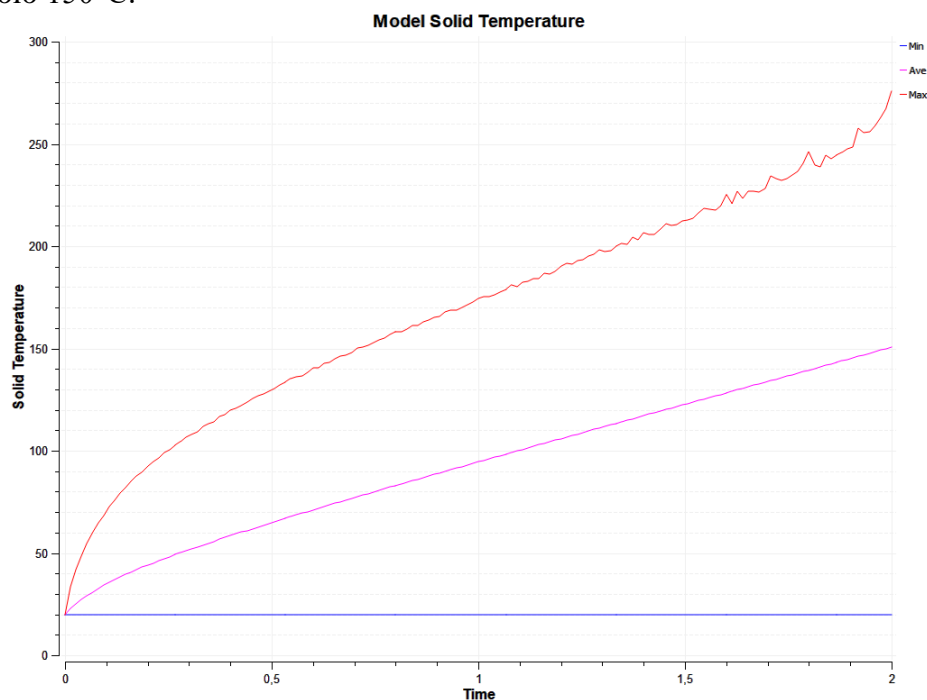
Obrázek 57- Průběh teploty v čase 2s

Průběh teploty na povrchu kotouče po zastavení brzdy je zobrazen na následujícím obrázku. Výsledky MKP tepelných výpočtů je nutné brát s rezervou, jelikož přesnost těchto výpočtů bývá v rozsahu až 20% od skutečných hodnot.



Obrázek 58- Průběh teploty na povrchu brzdného kotouče

Průběh průměrné a minimální teploty po dobu brzdění je zobrazen v následujícím grafu. Zvlnění křivky je způsobeno nárůstem výpočetního kroku s časem. Ten je způsobem kontaktním pootočení výpočetní sítě a tím nárůstem časového kroku. Maximální lokální teplota na povrchu kotouče je 274°C. Průměrná teplota v celém objemu kotouče dosahuje hodnot okolo 150°C.



Obrázek 59- Nárůst teploty v brzdovém kotouči

10.3 Zhodnocení

Dle vypočtených hodnot oteplení brzdové kotouče a obložení nepřesáhne povolené hodnoty při použití vzduchového chlazení. V případě kotouče brzdy byla vypočtena maximální teplota 274°C a v případě brzdového obložení 276°C. Dovolená hodnota pro brzdový kotouč z litiny s červíkovým grafitem je dle materiálových listů 450°C a pro materiál Becorit BM 40 dle výrobce 500°C. Oba materiály tedy vyhovují maximálním dosahovaným teplotám v této aplikaci s vysokou rezervou.

11 Technicko-ekonomické zhodnocení

V první části práce byla nalezena vhodná vůle pro stávající řešení aretace. Výsledek je zvýšení tolerance rozměrů vůle a tím možného snížení finančních a časových nároků na výrobu. Ostatní parametry aretace zůstaly nezměněny a aretace splňuje pevnostní podmínky. Pro aretaci byla nalezena závislost vůle na aretačním momentu doplněná o návrhový vzorec. Přínosem je tedy snížení konstrukčního času při návrhu aretace pro rozdílné podmínky dle zadání požadované aplikace.

Při návrhu bezpečnostní brzdy bylo postupováno s cílem využít v co největším rozsahu normované a typové díly. Z důvodu vysokých obvodových rychlostí (50 m/s) je nutná volba sintrovaného brzdového obložení místo běžně používaného organického obložení vhodného maximálně do 30 m/s. Použitím plovoucího třmenu místo pevného typu, byla uspořena polovina nákladů při nákupu pružin a výroby pístů i obrábění pístních kapes.

12 Závěr

Při analýze stávajícího řešení aretace bylo cílem nalézt ideální vůli pro zachycení požadovaného aretačního momentu 5000 Nm. Při zvětšení vůle mezi aretací a frézovacím vřetenem by bylo možné snížit přesnost dosedacích ploch a tak uspořit náklady při obrábění. Současná vůle činní 0,3 mm a navrhované řešení na zvýšení 0,35 mm nezpůsobí velkou změnu ve výrobních nákladech. Doporučením analýzy je výroba stávající aretace s vůlí 0,3-0,35 mm.

V druhé části práce je zpracována analýza závislosti hlavních rozměrů aretace na velikost aretačního momentu. Tato analýza byla doplňujícím požadavkem zadavatele práce z důvodu možného využití stávajícího konstrukčního řešení aretace v dalších strojích vyráběných firmou ŠKODA MACHINE TOOL a.s. Dle provedených výpočtů není doporučeno volit délku aretace pod 80 mm, kdy již nedochází ke kontaktu v celé ploše pod aretací a u krajů odléhá. Na velikost aretačního momentu má vyšší vliv změna průměru než činné délky, pro jednoduchý návrh průměru dle požadovaného momentu je na straně 30 uveden vzorec.

V konstrukčním návrhu bezpečnostní brzdy bylo postupováno tak, aby nebyly nutné velké změny ve stávající konstrukci pinoly vřeteníku stroje HCW 3000. Současně bylo nutné dodržet maximální průměr krytu koučové brzdy 390 mm a použití pro dutý hřídel. Brzdný kotouč je umístěn na přírubové spojení vyvrtávacího vřetene a výstupu převodové skříně. Upínací deska brzdy je upevněna pomocí šroubových spojení k čelu převodové skříně. Jako kryt bylo zvoleno řešení ze kružovaného plechu o tloušťce 5 mm s vedením stlačeného vzduchu v tenkostěnné trubce, který není nutné obrábět v celé délce jako v případě použití silnostěnné. Pro vyvinutí brzdné síly jsou použity normované talířové pružiny. Pružiny jsou umístěny v plovoucím třmenu, který pro vyvinutí síly používá polovičního počtu prvků než pevný třmen. Mezi doplňujícími prvky bylo zvoleno pokud možno vždy normované nebo typové řady pro snížení celkových nákladů.

Brzda splňuje bezpečnostní funkci spuštění při výpadku elektrické energie a také spojení funkce aretace do jednoho kompaktního zařízení. Při zakomponování konstrukčního celku se délka pinoly stroje prodlouží maximálně o 200 mm, tedy méně než byl doporučený požadavek 250 mm.

Součástí této práce jsou také přiložené katalogové listy a volně vložená výkresová dokumentace sestavy a brzdového třmenu s víkem.

Použitá literatura

- [1] HOSNEDL, S., KRÁTKÝ, J. Příručka strojního inženýra 1. Praha: Computer Press, 1999
- [2] LEINVEBER, J., VÁVRA, P. Strojnické tabulky. Úvaly: ALBRA. 2005
- [3] HUDEC Z.: Přednášky a cvičení předmětu Konstrukce obráběcích strojů, zkratka předmětu KKS/KOS a KKS/KVS, Plzeň: ZČU, 2009

Elektronické zdroje

- [4] http://www.skodamt.com/download/SKODA-HCW2000-4000_CTL-HBM-HCW-002.03.CZ.pdf
- [5] <http://www.stromag.cz/cs/c/brzdy/prehled.htm>
- [6] http://www.pivkobrakes.com/BRZDY_PIVKO.html
- [7] <http://www.svendborg-brakes.com/en/products/hydraulic-brakes.aspx>
- [8] http://www.hestego.cz/krytovani_stroju/upinaci_a_brzdici_systemy/rotoclamp/
- [9] <http://www.brembo.com/en/car/original-equipment/products>
- [10] <https://www.neugart.com/en/planetary-gearbox/coaxial-gearbox/>
- [11] <http://andantex.com/product/ram-msd/>
- [12] http://www.becorit.de/datenblaetter/bm_40_gb.pdf
- [13] https://www.hennlich.cz/uploads/Iglidur_H2.pdf
- [14] <https://hasco.com/>
- [15] katalog Siemens
- [16] online katalog Lechler

Seznam obrázků

Obrázek 1- Schéma vodorovné vyvrtávačky HCW 1-4 [3]	13
Obrázek 2- Kinematické schéma HCW3000	14
Obrázek 3- Skica umístění aretace	14
Obrázek 4- Pohyb vřetene v jednotlivých osách strojů řady HCW [4]	15
Obrázek 5- synchronní motor SIEMENS a dutý rotor 1FE	16
Obrázek 6- Planetová koaxiální předovka výrobce Neugart [10]	17
Obrázek 7- Opracovaný odlitek stojanu stroje HCW [4]	18
Obrázek 8- Pinola řady HCW1000-4000 [4]	18
Obrázek 9- Systém kompenzace padání pinoly [4]	19
Obrázek 10- Frézovací a vyvrtávací hlavy ŠMT [4]	19
Obrázek 11- Robotická ruce RTC pro výměnu nástrojů [4]	20
Obrázek 12- Otočný stůl ŠKODA MT řady TDV [4]	20
Obrázek 13- CAD model upravený pro MKP výpočty	22
Obrázek 14- Výpočetní síť modelu aretace a vřetena	23
Obrázek 15-Detail výpočetní sítě v nejslabší oblasti	23
Obrázek 16- Okrajové podmínky	24
Obrázek 17- Deformace aretace	25
Obrázek 18- Deformace v ose X	25
Obrázek 19- Průběh napětí dle HMM u aretace	26
Obrázek 20- Průběh napětí dle HMM ve vřetenu	26
Obrázek 21- Zobrazení minimální a maximální tlaku v ploše pod aretací	27
Obrázek 22- Elektromagneticky ovládaná brzda Stromag [5]	32
Obrázek 23- Pneumaticky ovládaná brzda Pivko [6]	33
Obrázek 24- Hydraulická brzda výrobce Svendborg brakes [7]	33
Obrázek 25- Brzda RotoClamp firmy Hema [8]	34
Obrázek 26- Brzdová sada Brembo GT [9]	35
Obrázek 27- Možné uložení brzdného zařízení v pinole HCW 3000	36
Obrázek 28- Schéma rozložení setrvačných hmot a možných umístění brzdy	39
Obrázek 29- Zvolené umístění bezpečnostní brzdy	40
Obrázek 30- Návrh konstrukce kotoučové brzdy	41
Obrázek 31- Charakteristiky uspořádání talířových pružin dle katalogu Hennlich [13]	43
Obrázek 32- Přítlačný brzdový píst	44
Obrázek 33- Řez těsněním Hennlich K54 [13]	44
Obrázek 34- Příklad použití brzdového obložení Becorit [12]	46

Obrázek 35- CAD model brzdové destičky	46
Obrázek 36- CAD model třmenu brzdy	47
Obrázek 37- Působení přitlačné síly a reakcí v brzdovém třmenu.....	47
Obrázek 38- Třmen brzdy s horním krytem.....	48
Obrázek 39- 3D model brzdného kotouče.....	48
Obrázek 40- CAD model krytu v řezu	49
Obrázek 41- Výňatek z katalogu pneumatického těsnění Hennlich [13].....	50
Obrázek 42- Vzduchová tryska typu 612 výrobce Lechler [16]	51
Obrázek 43- Aretační poloha rozvaděče	51
Obrázek 44- Poloha rozvaděče při aktivování brzdy	51
Obrázek 45- poloha rozvaděče při uvolnění vřetena.....	51
Obrázek 46- Sestava bezpečnostní brzdy s krytem	52
Obrázek 47- Sestava bezpečnostní brzdy bez krytu	52
Obrázek 48- Řez sestavou brzdy	53
Obrázek 49- Řez skrze brzdový třmen s pístem a pružinami.....	53
Obrázek 50- Graficky znázorněné okrajové podmínky	55
Obrázek 51- Společná teplotní stupnice pro MKP výpočty	56
Obrázek 52- Průběh teploty v čase 0,013 s	56
Obrázek 53- Průběh teploty v čase 0,4.....	56
Obrázek 54- Průběh teploty v čase 0,8s	56
Obrázek 55- Průběh teploty v čase 1,6s	56
Obrázek 56- Průběh teploty v čase 1,2s	57
Obrázek 57- Průběh teploty v čase 2s	57
Obrázek 58- Průběh teploty na povrchu brzdného kotouče	57
Obrázek 59- Nárůst teploty v brzdovém kotouči	58

Seznam tabulek

Tabulka 1- Parametry vodorovné vyvrtávačky HCW 3000 [4]	15
Tabulka 2- Parametry synchronního motoru Siemens 1FE1147-8WN [15].....	16
Tabulka 3- Parametry převodovky Škoda	17
Tabulka 4- Materiálové hodnoty pro MKP výpočty	24
Tabulka 5- Vypočtené hodnoty pro vřeteno a aretaci	27
Tabulka 6- Shrnutí hodnot pro průměry a délky aretace.....	30
Tabulka 7- Srovnání jednotlivých variant brzd.....	35

Tabulka 8- Rozměry talířové pružiny DIN 2093 [13].....	44
Tabulka 9- Charakteristika stlačení pružiny dle zatížení [13].....	44
Tabulka 10- Parametry brzdového obložení Becorit BM 40	46
Tabulka 11- Tepelné vlastnosti materiálů	54
Tabulka 12- Příklad vypočtených hodnot natočení kotouče brzdy	55

Seznam příloh

- Příloha 1 – Technické informace motoru Siemens 1FE1147-8WM11
- Příloha 2 – Technické specifikace strojů ŠKODA HCW 2000,3000 a 4000
- Příloha 3 – Katalogový list brzdového obložení Brecort BM 40
- Příloha 4 – Katalogový list talířových pružin Hennlich
- Příloha 5 – Katalogový list prachového těsnění Hennlich
- Příloha 6 – Katalogový list vzduchových trysek Lechler
- Příloha 7 – Katalogový list pístního těsnění Hennlich

Seznam výkresové dokumentace

Typ	Název	Číslo výkresu	Formát
Sestava	Brzdné/ aretační zařízení	KKS-2017-01	A1
Výrobní výkres	Brzdný třmen	KKS-2017-02	A3

Použitý software:

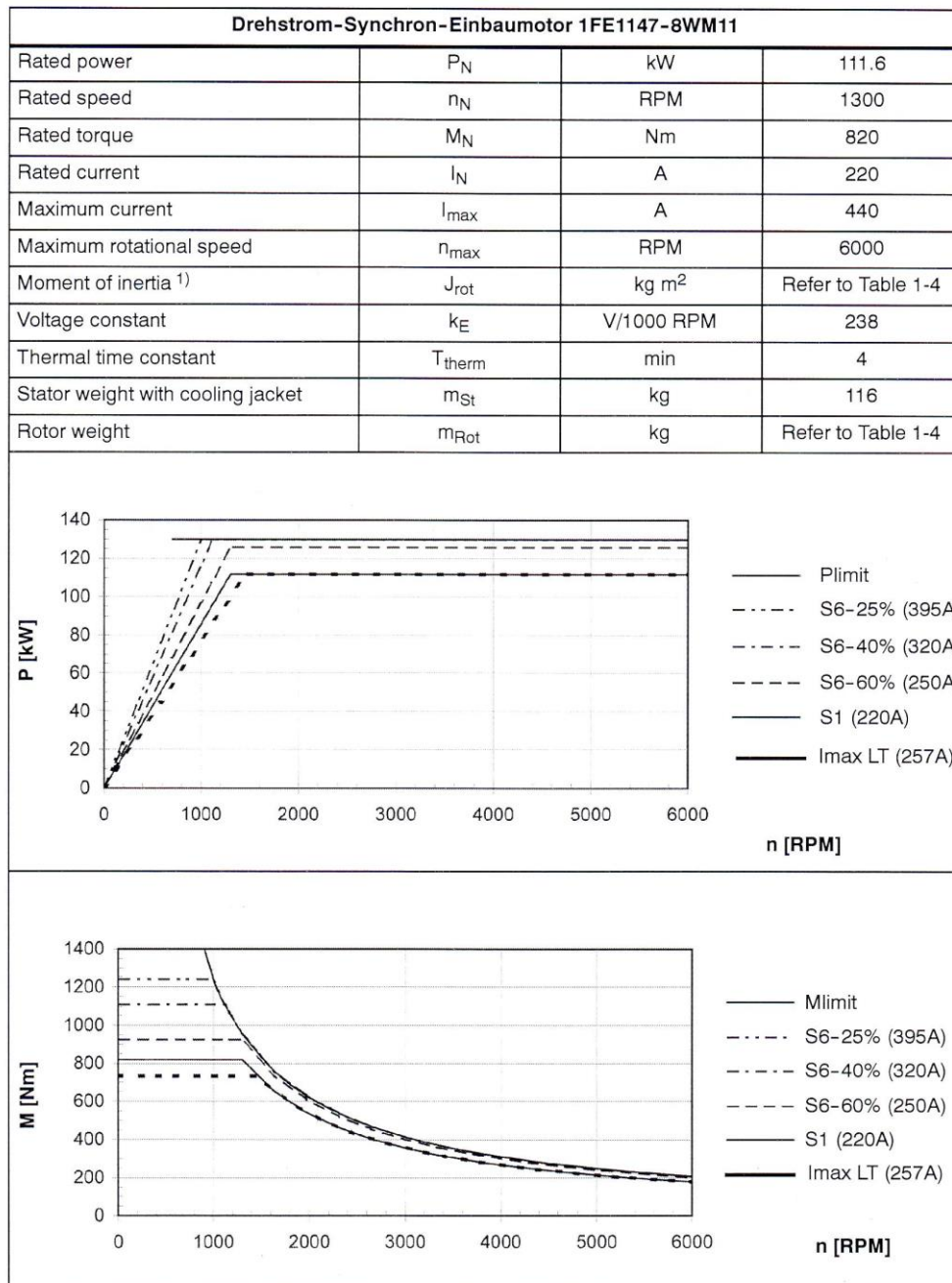
- Microsoft Office Word 2010
- Microsoft Office Excel 2010
- Microsoft Office PowerPoint 2010
- Siemens NX 10
- Autodesk Inventor Professional 2016
- MathCAD

Příloha 1 – Technické informace motoru Siemens 1FE1147-8WM11

Technical Data and Characteristics

5.3 P/n and M/n diagrams for 8-pole 1FE1 motors

Table 5-40 Motor type 1FE1147-8WM11



The data for duty type S6 are valid for a 2 min. duty cycle.

1) only rotor core without rotor sleeve

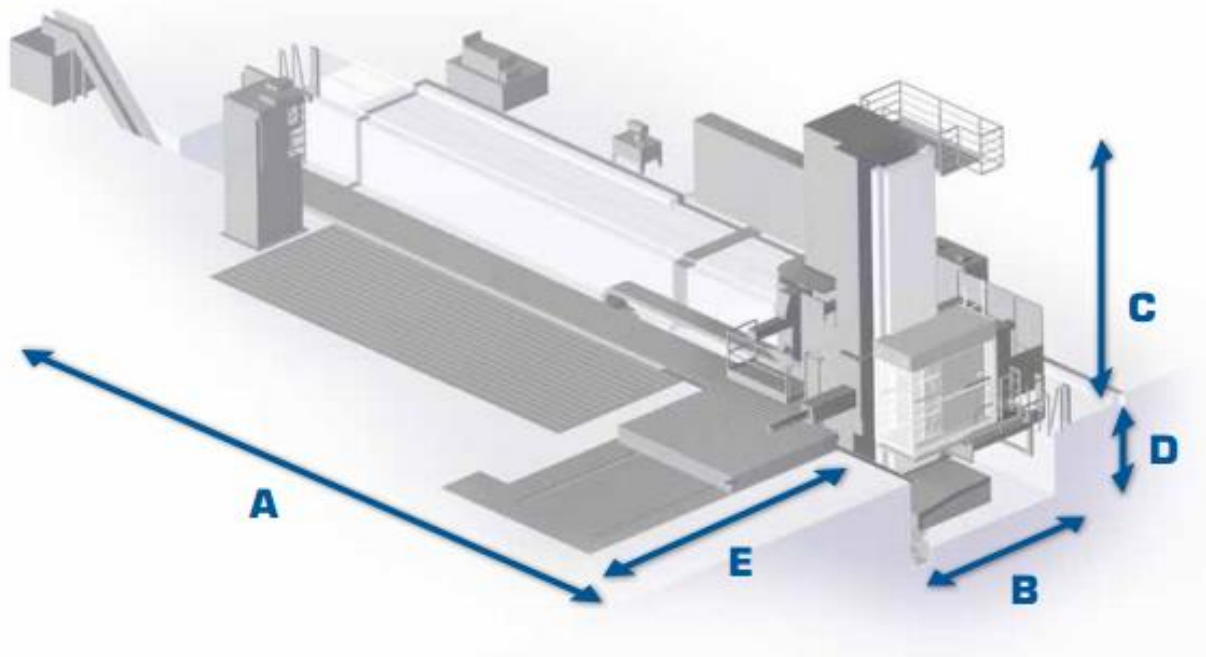
Příloha 2 – Technické specifikace strojů ŠKODA HCW 2000,3000 a 4000

Model	HCW 2000	HCW 3000	HCW 4000
VEDENÍ	HYDROSTATICKÉ	HYDROSTATICKÉ	HYDROSTATICKÉ
Průměr vřetene (mm)	150, 160, 180	180, 200, 225	225, 250, 260
Výkon hlavního pohonu (kW)	64	103	120
Max. otáčky (min ⁻¹)	3500	3000	2 500
Rozměr pinoly (mm)	420 x 420	480 x 480	600 x 600
Výsuv pinoly – osa Z (mm)	1 750	2 000	2 500
Výsuv vřetene – osa W (mm)	1 250	1 400	1 500
Z + W (mm)	3 000	3 400	4 000
Pojezd vřeteníku – Y axis (mm)	5 500	7 000	9 000

Model	HCW 2000	HCW 3000	HCW 4000
A	X + 7 500	X + 8 000	X + 8 500
B	3 890	4 750	5 350
C*	Y + 2 875	Y + 2 890	Y + 3 120
D*	1 430 - 1 565	1 595 - 1 795	1 800 - 2 245


* hodnoty C a D jsou platné pro nejnižší polohy vřetena + 600 mm nad nulovým bodem

Model	TDV 30	TDV 40	TDV 50	TDV 70	TDV 100	TDV 160	TDV 250	TDV 400
E	V + 3 950	V + 3 950	V + 3 950	V + 4 750	V + 5 150	V + 6 150	V + 6 700	V + 7 300



Příloha 3 – Katalogový list brzdového obložení Becorit BM 40

BECORIT BM 40



BECORIT[®] BM 40

Description

- Sintered pad material for high thermal loads

Material characteristics

- High and constant friction level at high speed

Application

- High speed vehicles
- Special freight cars
- Locomotives

Physical properties

- mean coefficient of friction (for calculation)¹⁾ $\mu_s = 0,40$
- specific pressure²⁾ $P \leq 150 \text{ N/cm}^2$
- friction rubbing speed at the brake radius²⁾ $V \leq 55 \text{ m/s}$
- temperature sustained²⁾ $\vartheta = 500 \text{ }^\circ\text{C}$
- temperature momentarily $\vartheta = 900 \text{ }^\circ\text{C}$
- density $P = 5,12 \text{ g/cm}^3$
- compressive strength $\sigma_{\text{cm}} = 42 \text{ N/mm}^2$
- modulus of elasticity $E = 930 \text{ N/mm}^2$
- hardness $\text{HRR} = 60 \text{ N/mm}^2$
- thermal conductivity (standard value) $\lambda = 24 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
- specific heat capacity (standard value) $c_p = 0,5 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$

Material description


- sintered friction material on copper base without asbestos, lead

Range of application


- for speeds up to 350 km/h

Disc material

- steel alloy




The information provided in this data sheet should be used for general guidance on the performance of this material. It does not represent the performance under all service or Dynamometer test conditions. The performance of this material may vary depending on the application in which it is used. Selection of this material for any application should only be made following discussion with the BECORIT technical department following which Dynamometer testing to a specific duty cycle may be necessary prior to a final selection being made. Becorit GmbH cannot be held responsible for any errors arising in brake system design should a friction material selection be made on the basis of data sheet information alone.



coefficient of friction μ

temperature $^\circ\text{C}$


$V = 15 \text{ m/sec}$ $P_{\text{perm}} = 80 \text{ N/cm}^2$



coefficient of friction μ

friction speed on brake radius (m/s)


$P_{\text{perm}} = 80 \text{ N/cm}^2$ $\vartheta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$



coefficient of friction μ

specific pressure (N/cm²)

$V = 15 \text{ m/sec}$ $\vartheta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$



coefficient of friction μ

specific pressure (N/cm²)

$V = 15 \text{ m/sec}$ $\vartheta = 50 \text{ }^\circ\text{C}$

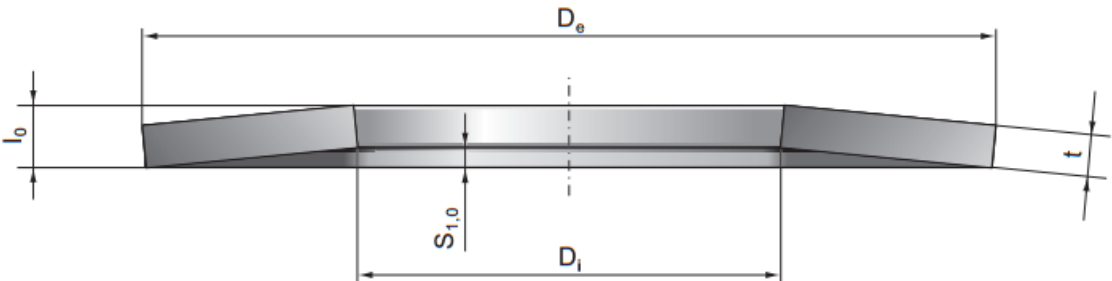
edition: November 2002

¹⁾ Coefficient of friction (reference axis) to BEC model 1.04.13.10
²⁾ Coefficient of friction (reference axis) to BEC model 1.04.13.10

Příloha 4 – Katalogový list talířových pružin Hennlich

STŘEDISKO **PRUŽINY**[®]
HENNICH INDUSTRIETECHNIK, spol. s r. o.

TALÍŘOVÉ PRUŽINY
TECHNICKÉ PARAMETRY



Legenda

D_e	[mm]	vnější průměr pružiny
D_i	[mm]	vnitřní průměr pružiny
F	[N]	síla vyvinutá pružinou
F_1	[N]	síla vyvinutá pružinou při $s = 0,25 h_0$
F_2	[N]	síla vyvinutá pružinou při $s = 0,50 h_0$
F_3	[N]	síla vyvinutá pružinou při $s = 0,75 h_0$
F_c	[N]	vypočtená síla vyvinutá pružinou při $s = h_0$
h_0	[mm]	výška kužele nezatížené pružiny
l_0	[mm]	volná výška nezatížené pružiny
M	[g]	hmotnost
s	[mm]	stlačení pružiny
s_1	[mm]	stlačení pružiny při F_1
s_2	[mm]	stlačení pružiny při F_1
s_3	[mm]	stlačení pružiny při F_1
t	[mm]	tloušťka materiálu

Tento katalog podléhá změnám službě 08/09

číslo 6.0.2

HENNICH INDUSTRIETECHNIK, spol. s r. o., STŘEDISKO PRUŽINY • tel.: 416 711 450 • fax: 416 711 999 • e-mail: pruziny@hennlich.cz • http://www.hennlich.cz/pruziny

TALÍŘOVÉ PRUŽINY

TECHNICKÉ PARAMETRY

STŘEDISKO **PRUŽINY** 
HENNICH INDUSTRIETECHNIK, spol. s r. o.

Talířové pružiny jsou vyráběny z vysokojakostních ocelí podle kvalitativních předpisů DIN 2093. Jsou vhodné k tlumení rázů a zejména v místech kde je potřeba vyvinout velké síly v nízkých zástavbových rozměrech. Skladové pružiny jsou standardně olejované a fosfátované, bez dalších povrchových úprav. Ty je možné zajistit na vyžádání.

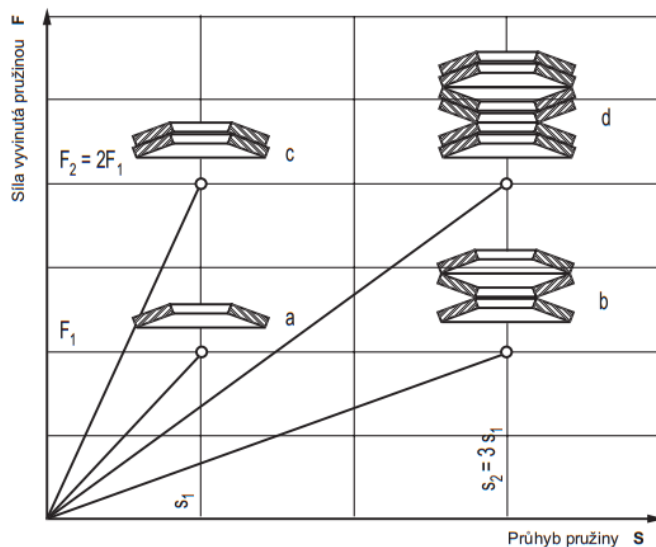
Talířové pružiny jsou rozděleny do 3 skupin dle tloušťky použitého materiálu:

skupina 1 $t < 1,25$ mm
používané materiály: Ck 67; Ck 75; Ck 85

skupina 2 $1,25 \text{ mm} \leq t \leq 6,0$ mm
používaný materiál: 50CrV4

skupina 3 $t > 6,0$ mm
používaný materiál: 50CrV4
pružiny jsou vyráběny s kontaktními plochami

MOŽNOSTI VRSTVENÍ TALÍŘOVÝCH PRUŽIN



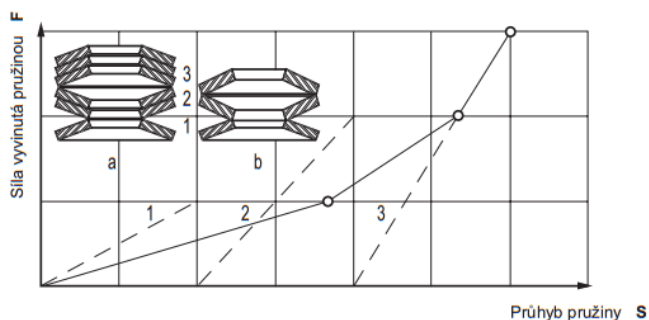
Kuželový tvar talířových pružin umožňuje vrstvení jednotlivých pružin do sad. Tím lze měnit charakteristiku pružiny dle požadovaných potřeb.

sériové (protilehlé) uložení - při zachování stejné síly pružiny F je násoben průhyb pružiny S počtem pružin v sadě (křivka b)

paralelní (přilehlé) uložení - síla pružiny F je násobena počtem pružin v sadě, průhyb pružiny S zůstává neměnný (křivka c)

kombinované uložení - síla pružiny F i průhyb pružiny S roste proporcionálně s počtem pružin v sadě a jejich vzájemným uložení (křivka d)

PROGRESIVNÍ CHARAKTERISTIKA PRUŽINY



V mnoha případech je požadavek na progresivní zvyšování síly pružiny při rostoucím průhybu pružiny. Toho lze dosáhnout změnou počtu paralelních pružin v kombinovaném uložení. Stejný výsledek bude mít také kombinace pružin s různými tloušťkami.

číslo 6.0.3

Standardní materiály skladových pružin	Číslo materiálu	Norma	E-modul [N/mm ²]	Rm [N/mm ²]	Tloušťka materiálu [mm]	Teplotní Odolnost [°C]
Ck 67	1.1231	DIN 17 222	206 000	1 230 - 1 770	0,1 - 2,5	-20 +100
Ck 75	1.1248	DIN 17 222	206 000	1 320 - 1 870	0,1 - 1,5	-20 +100
Ck 85	1.1269	DIN 17 222	206 000	1 400 - 1 950	0,1 - 1,5	-20 +100
50 CrV 4	1.8159	DIN 17 221	206 000	1 400 - 2 000	0,3 - 80	-50 +100
Nerezové oceli						
X 10 CrNi 18 8	1.4310	DIN 17 224	190 000	1 100 - 1 500	0,2 - 2,5	-200 +200
X 7 CrNiAl 17 7	1.4568	DIN 17 224	195 000	1 100 - 1 800	0,2 - 4,0	-200 +300
X 5 CrNiMo 17 12 2 *	1.4401	DIN 17 224	185 000	950 - 1 500	0,2 - 1,6	-200 +200
Teplotně odolné oceli						
21 CrMoV 5 7 *	1.7709	DIN 17 240	206 000	1 200 - 1 400	2,0 - 8,0	-50 +350
X 22 CrMoV 12 1 *	1.4923	DIN 17 240	209 000	1 200 - 1 400	1,5 - 20	-50 +500
X 39 CrMo 17 *	1.4122	SEW 400	209 000	1 200 - 1 400	0,3 - 6,0	-50 +400
X 30 WCrV 5 3 *	1.2567		206 000	1 200 - 1 400	8,0 - 20	-50 +450
Bronzové slitiny						
CuSn 8 *	2.1030	DIN 17 670 DIN 17 662	115 000	590 - 690	0,1 - 6,0	-50 +100
CuBe 2 *	2.1247	DIN 17 670 DIN 17 666	135 000	1 270 - 1 450	0,1 - 2,5	-260 +200
Niklové a kobaltové slitiny						
Nimonic 90 *	2.4932		220 000	≥ 1 100	do 6.35	-200 +700
Inconel X 750 *	2.4669		214 000	≥ 1 170	do 6.35	-200 +600
Inconel 718 *	2.4668		199 000	≥ 1 240	do 6.35	-200 +600

* materiály pouze na vyžádání

Tento katalog podléhá změnové službě 08/09

Pro veškeré Vaše dotazy ohledně konkrétní skladové pružiny použijte číselná označení uvedená v tomto katalogu.

Objednávání: talířová pružina B 0400

V případě, že pro Vaší aplikaci nenaleznete vhodný rozměr, zašlete nám prosím svojí výkresovou dokumentaci, případně Vám nabídneme výrobu dle vzorku.

Kontaktujte nás:

tel.: 416 711 450
fax: 416 711 999
e-mail: pruziny@hennlich.cz

www.hennlich.cz/pruziny

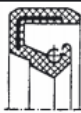

Jsme tu pro Vás

číslo 6.0.4





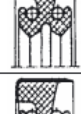
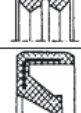


Příloha 5 – Katalogový list prachového těsnění Hennlich



STANDARDNÍ SORTIMENT

Profil	Typ	Materiál	Max. tlak (bar)	Rozsah teplot (°C)	Max. rychlost (m/s)	Popis
	WA	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Pryžovým elastickým vnějším pláštěm je možno eliminovat teplotní roztažnost a větší povrchovou drsnost v úložném prostoru. Při častější výměně těsnění není nebezpečí poškození zástavbového prostoru. Je vhodný při utěšování plynných nebo kapalných médií.
	WAS	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Jako základní typ WA. Navíc ochranná prachovka, která zabraňuje přístupu prachu a nečistot do vlastního těsnícího místa. Pokud je prostor mezi těsnícím břitem a prachovkou naplněn vhodnou mazací vazelinou, snižuje se otěr na těsnění a zabraňuje se korozi hřídele. Je nutno přezkoušet kompatibilitu vazelíny s elastomerem i médiem.

ZVLÁŠTNÍ SORTIMENT

Profil	Typ	Materiál	Max. tlak (bar)	Rozsah teplot (°C)	Max. rychlost (m/s)	Popis
	WB	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Má kovové pouzdro, umožňující při montáži snadnější usazení. Vyžaduje však přesnější toleranci úložného prostoru, aby bylo dosaženo dokonalého utěsnění i na vnějším plášti.
	WBS	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Jako typ WB, navíc ochranná prachovka.
	WC	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Je opatřen kovovým pouzdem s výztuží. Těsnění a montáž jsou podobné jako u typu WB. Používá se především v drsnějších provozních podmínkách a větších rozměrech. Vzhledem k výztuži je odolnější vůči chybám při montáži.
	WCS	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Jako typ WC, navíc ochranná prachovka.
	WAD	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	Typy WAD a WBD se 2 těsnícími břity se používají k utěšování a oddělování dvou médií.
	WBD	NBR FPM Si AC	0,5	+170 -50	*	
	WAO	NBR FPM Si AC	-	+170 -50	*	Typy WAO a WBO jsou bez tažných pružin. Jsou určeny pouze pro méně náročné případy použití.
	WBO	NBR FPM Si AC	-	+170 -50	*	

Tento katalog podléhá změnám službě 09/09

* Podle použitého materiálu a dalších podmínek

číslo 1.3

GUFERA

**STANDARDNÍ
A ZVLÁŠTNÍ SORTIMENT**



Průměr hřídele d ₁	d ₂ ¹⁾	b ± 0,2	c ²⁾ min.
6	16	7	0,3
	22		
7	22	7	0,3
	24		
8	22	7	0,3
	24		
9	22	7	0,3
	24		
	26		
10	22	7	0,3
	24		
	26		
11	22	7	0,3
	26		
12	22	7	0,3
	24		
	28		
14	24	7	0,3
	28		
	30		
15	26	7	0,3
	30		
	32		
	35		
16	28	7	0,3
	30		
	32		
	35		
17	28	7	0,3
	30		
	32		
	35		
	40		
18	30	7	0,3
	32		
	35		
	40		
20	30	7	0,3
	32		
	35		
	40		
	47		
22	32	7	0,3
	35		
	40		
	47		
24	35	7	0,3
	37		
	40		
	47		
25	35	7	0,3
	40		
	42		
	47		
	52		
26	37	7	0,3
	42		
	47		
28	40	7	0,4
	47		
	52		

Průměr hřídele d ₁	d ₂ ¹⁾	b ± 0,2	c ²⁾ min.
30	40	7	0,4
	42		
	47		
	52		
	62		
32	45	7	0,4
	47		
	52		
35	47	7	0,4
	50		
	52		
	62		
36	47	7	0,4
	50		
	52		
	62		
38	52	7	0,4
	55		
	62		
40	52	7	0,4
	55		
	62		
	72		
	72		
42	55	8	0,4
	62		
	72		
45	60	8	0,4
	62		
	65		
	72		
	72		
48	62	8	0,4
	72		
	72		
50	65	8	0,4
	68		
	72		
	80		
	80		
52	68	8	0,4
	72		
	72		
	72		
55	70	8	0,4
	72		
	80		
	85		
	85		
56	70	8	0,4
	72		
	80		
	85		
58	72	8	0,4
	80		
	80		
60	75	8	0,4
	80		
	85		
	90		
	90		
62	85	10	0,5
	90		
	90		
63	85	10	0,5
	90		
	90		
65	85	10	0,5
	90		
	100		
68	90	10	0,5
	90		
	100		

Průměr hřídele d ₁	d ₂ ¹⁾	b ± 0,2	c ²⁾ min.
70	90	10	0,5
	100		
72	95	10	0,5
	100		
75	95	10	0,5
	100		
78	100	10	0,5
	100		
80	100	10	0,5
	110		

Průměr hřídele d ₁	d ₂ ¹⁾	b ± 0,3	c ²⁾ min.
85	110	12	0,8
	120		
90	110	12	0,8
	120		
95	120	12	0,8
	125		
100	120	12	0,8
	125		
	130		
105	130	12	0,8
	140		
110	130	12	0,8
	140		
115	140	12	0,8
	150		
120	150	12	0,8
	160		
125	150	12	0,8
	160		
130	160	12	0,8
	170		
135	170	12	0,8
140	170	15	1
145	175		
150	180	15	1
160	190		
170	200		
180	210	15	1
190	220		
200	230		
210	240	15	1
220	250		
230	260		
240	270		
250	280	15	1
260	300		
280	320		
300	340	20	1
320	360		
340	380		
360	400		
380	420	20	1
400	440		
420	460		
440	480		
460	500	20	1
480	520		
500	540		

Příklad objednávky: Gufero NBR A 55 x 72 x 8

Pozn: Sortiment gufer se neustále rozšiřuje. Pokud zde nenajdete požadované rozměry, zašlete, prosím, dotaz.

¹⁾ Přípustné odchylky pro d₂ dle DIN 3760

²⁾ Hrana zkosená nebo zaoblená

číslo 1.4

OZNAČENÍ	MATERIÁL
NBR	nitřilbutadienkaučuk
AC	akrylátkaučuk
SI	silikonkaučuk
FPM	fluorkaučuk

TLAKOVÝ ROZDÍL bar max.	POČET OTÁČEK HŘÍDELE	
	min ⁻¹	při obvodové rychlosti m/s max.
0,5	do 1 000	2,8
0,35	do 2 000	3,15
0,2	do 3 000	5,6

tabulka 2

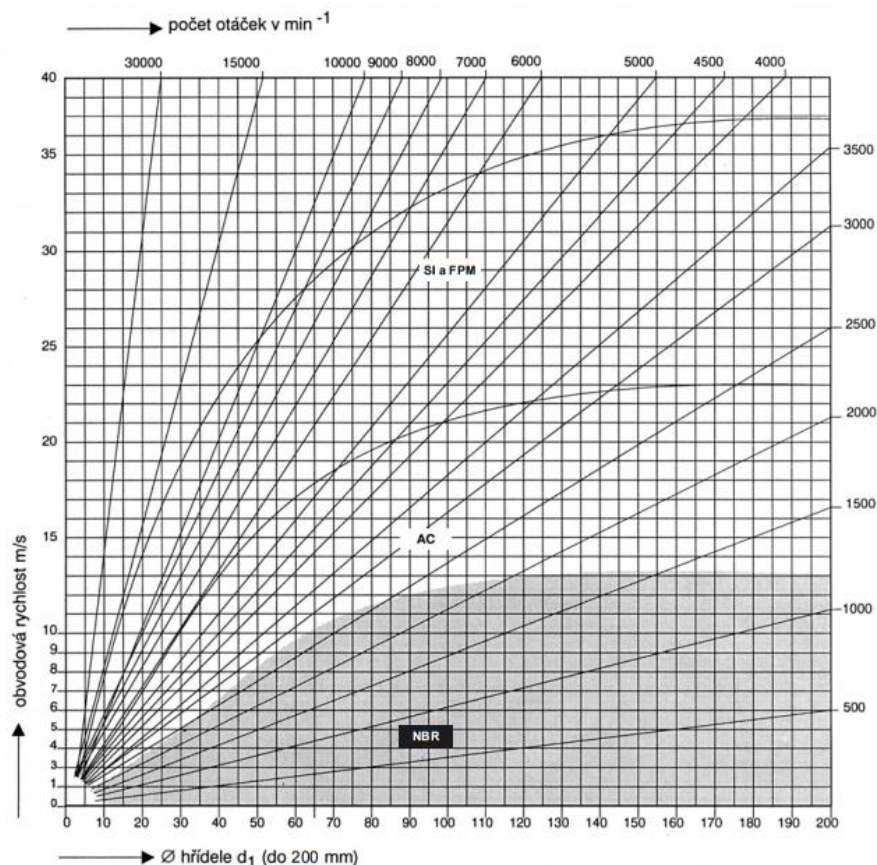
Gufera se standardně dodávají v provedení NBR (nitřilbutadienkaučuk). U ostatních provedení (AC, SI, FP) je nutno počítat s delšími dodacími lhůtami. Volba vhodného elastomeru pro ten který způsob použití se řídí podle druhu utěšňovaného média, přípustné trvalé teploty a rychlosti hřídele (viz tabulka 3 a obrázek 3).

PŘÍPUSTNÉ POČTY OTÁČEK A OBVODOVÉ RYCHLOSTI

Na spodním obrázku 3 jsou uvedeny přípustné počty otáček hřídele v provozu bez tlaku, vztahující se na materiál elastomerové části za normálních okolností (mj. dobře mazací minerální olej, dobrý přístup mazacího oleje k odvodu tepla).

Při méně příznivých podmínkách utěsnění nám zašlete dotaz. Gufera musí utěšňovat prostory s menšími tlakovými rozdíly (viz tabulka 2) vůči kapalinám a tukům, jsou-li mazána, i vůči vzduchu.

Tento katalog podléhá změnové službě 09/09



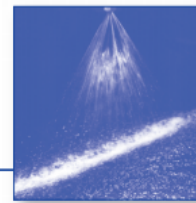
obrázek 3

Příloha 6 – Katalogový list vzduchových trysek Lechler



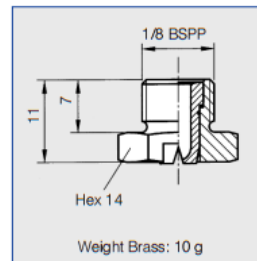
Flat fan nozzles

Series 610



Compact design, suitable for narrow installation conditions. Stable spray angle. Uniform, parabolic distribution of liquid.

Applications:
Cleaning installations, cooling headers, spray pipes.



Spray angle	Ordering no.		A Ø [mm]	E Ø [mm]	V̇ [l/min]								Spray width B at p = 2 bar				
	Type	Mat.-no.			p [bar]								H = 250 mm		H = 500 mm		
		16			30	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0	US gal/min at 40 psi	3.0	5.0	10.0		
20°	610.301	○	○	0.70	0.60	0.16*	0.23*	0.32	0.10	0.39	0.51	0.72	65	125			
	610.361	○	○	1.00	0.80	0.31*	0.44*	0.63	0.20	0.77	1.00	1.40	65	125			
	610.441	○	○	1.35	1.10	0.62*	0.88	1.25	0.39	1.53	1.98	2.80	65	125			
	610.481	○	○	1.50	1.20	0.80*	1.13	1.60	0.50	1.96	2.53	3.58	65	125			
30°	610.302	○	○	0.70	0.50	0.16*	0.23*	0.32	0.10	0.39	0.51	0.72	115	230			
	610.362	○	○	1.00	0.70	0.31*	0.44*	0.63	0.20	0.77	1.00	1.40	115	230			
	610.402	○	○	1.20	0.90	0.50*	0.71	1.00	0.31	1.23	1.58	2.24	115	230			
	610.482	○	○	1.50	1.10	0.80*	1.13	1.60	0.50	1.96	2.53	3.58	115	230			
	610.562	○	○	2.00	1.50	1.25	1.77	2.50	0.78	3.06	3.95	5.59	115	230			
45°	610.303	○	○	0.70	0.50	0.16*	0.23*	0.32	0.10	0.39	0.51	0.72	185	340			
	610.363	○	○	1.00	0.60	0.31*	0.44*	0.63	0.20	0.77	1.00	1.40	185	340			
	610.403	○	○	1.20	0.90	0.50*	0.71	1.00	0.31	1.23	1.58	2.24	185	340			
	610.483	○	○	1.50	1.10	0.80*	1.13	1.60	0.50	1.96	2.53	3.58	185	340			
	610.563	○	○	2.00	1.40	1.25	1.77	2.50	0.78	3.06	3.95	5.59	185	340			
	610.643	○	○	2.50	1.80	2.00	2.83	4.00	1.24	4.90	6.33	8.94	185	340			
60°	610.304	○	○	0.70	0.40	0.16*	0.23*	0.32	0.10	0.39	0.51	0.72	275	525			
	610.334	○	○	0.90	0.50	0.22*	0.32*	0.45	0.14	0.55	0.71	1.01	275	525			
	610.364	○	○	1.00	0.60	0.31*	0.44*	0.63	0.20	0.77	1.00	1.40	275	525			
	610.404	○	○	1.20	0.80	0.50*	0.71	1.00	0.31	1.23	1.58	2.24	275	525			
	610.444	○	○	1.35	0.90	0.62*	0.88	1.25	0.39	1.53	1.98	2.80	280	530			
	610.484	○	○	1.50	1.00	0.80*	1.13	1.60	0.50	1.96	2.53	3.58	280	530			
	610.514	○	○	1.65	1.10	0.95*	1.34	1.90	0.59	2.33	3.00	4.25	280	530			
	610.564	○	○	2.00	1.30	1.25	1.77	2.50	0.78	3.06	3.95	5.59	280	530			
	610.604	○	○	2.20	1.50	1.58	2.23	3.15	0.98	3.86	4.98	7.04	280	530			
75°	610.145	○	○	0.20	0.12	-	0.04*	0.05	0.02	0.06	0.08	0.11	285	550			
	610.165	○	○	0.20	0.14	-	0.05*	0.07	0.02	0.08	0.10	0.15	285	555			
	610.185	○	○	0.20	0.16	-	0.06*	0.08	0.11	0.10	0.13	0.18	290	560			
	610.215	○	○	0.40	0.20	-	0.08*	0.11	0.03	0.14	0.18	0.25	290	560			
	610.245	○	○	0.50	0.30	-	0.12*	0.16	0.05	0.20	0.26	0.36	290	560			
	610.275	○	○	0.60	0.30	0.11*	0.16*	0.22	0.07	0.27	0.35	0.49	290	560			

A = Equivalent bore diameter · E = narrowest free cross section

* Differing spray pattern

Subject to technical modifications.

Continued on next page.

Example for ordering:	Type	+	Material-no.	=	Ordering no.
	610.301	+	16	=	610.301.16

The folded page at the end of the catalogue will give you a survey on the various assembly possibilities.

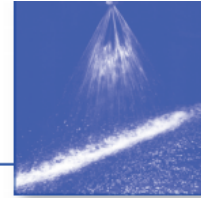
For complete assembly accessories, please refer to »Accessories«.

Conversion formula for the above series: $\dot{V}_2 = \dot{V}_1 \cdot \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$



Flat fan nozzles

Series 610



Spray angle	Ordering no.		A Ø [mm]	E Ø [mm]	V̇ [l/min]								Spray width B at p = 2 bar		
	Type	Mat.-no.			p [bar]								 H = 250 mm H = 500 mm		
		16			30	0.5	1.0	2.0	[US gal/ min] at 40 psi	3.0	5.0	10.0			
90°	610. 216	○	○	0.40	0.20	-	0.08*	0.11	0.03	0.14	0.18	0.25	380	670	
	610. 276	○	○	0.60	0.30	0.11*	0.16*	0.22	0.07	0.27	0.35	0.49	450	795	
	610. 306	○	○	0.70	0.40	0.16*	0.23*	0.32	0.10	0.39	0.51	0.72	450	795	
	610. 336	○	○	0.90	0.50	0.22*	0.32*	0.45	0.14	0.55	0.71	1.01	450	795	
	610. 366	○	○	1.00	0.50	0.31*	0.44*	0.63	0.20	0.77	1.00	1.41	450	795	
	610. 406	○	○	1.20	0.70	0.50*	0.71	1.00	0.31	1.23	1.58	2.24	450	800	
	610. 446	○	○	1.35	0.80	0.62*	0.88	1.25	0.39	1.53	1.98	2.80	450	800	
	610. 486	○	○	1.50	0.80	0.80*	1.13	1.60	0.50	1.96	2.53	3.58	450	800	
	610. 516	○	○	1.65	0.90	0.95*	1.34	1.90	0.59	2.33	3.00	4.25	450	800	
	610. 566	○	○	2.00	1.10	1.25	1.77	2.50	0.78	3.06	3.95	5.59	450	805	
610. 606	○	○	2.20	1.20	1.58	2.23	3.15	0.98	3.86	4.98	7.04	450	805		
120°	610. 187	○	○	0.35	0.20	-	0.06*	0.08	0.02	0.10	0.13	0.18	640	1220	
	610. 217	○	○	0.40	0.20	-	0.08*	0.11	0.03	0.14	0.18	0.25	650	1230	
	610. 247	○	○	0.50	0.20	-	0.12*	0.16	0.05	0.20	0.26	0.36	655	1245	
	610. 277	○	○	0.60	0.30	-	0.16*	0.22	0.07	0.27	0.35	0.49	655	1250	
	610. 307	○	○	0.70	0.30	0.16*	0.23*	0.32	0.10	0.39	0.51	0.72	660	1260	
	610. 337	○	○	0.90	0.40	0.22*	0.32*	0.45	0.14	0.55	0.71	1.01	660	1260	
	610. 367	○	○	1.00	0.50	0.31*	0.44*	0.63	0.20	0.77	1.00	1.41	660	1265	
	610. 407	○	○	1.20	0.60	0.50*	0.71	1.00	0.31	1.23	1.58	2.24	660	1270	
	610. 447	○	○	1.35	0.60	0.62*	0.88	1.25	0.39	1.53	1.98	2.80	665	1270	
	610. 487	○	○	1.50	0.60	0.80*	1.13	1.60	0.50	1.96	2.53	3.58	665	1270	
	610. 517	○	○	1.65	0.90	0.95*	1.34	1.90	0.59	2.33	3.00	4.25	670	1275	
	610. 567	○	○	2.00	0.90	1.25	1.77	2.50	0.78	3.06	3.95	5.59	670	1280	
	610. 607	○	○	2.20	1.10	1.58	2.23	3.15	0.98	3.86	4.98	7.04	675	1285	

A = Equivalent bore diameter · E = narrowest free cross section
* Differing spray pattern
Subject to technical modifications.

The folded page at the end of the catalogue will give you a survey on the various assembly possibilities.
For complete assembly accessories, please refer to »Accessories«.

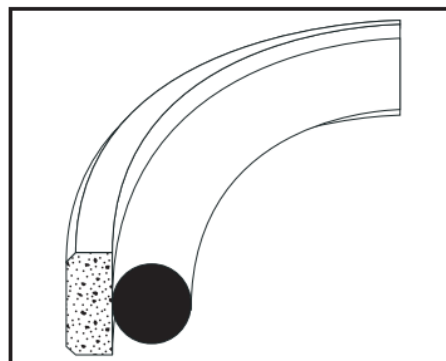
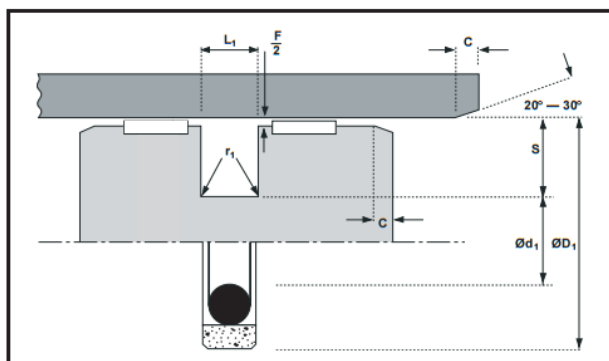
Example	Type	+	Material-no.	=	Ordering no.
for ordering:	610. 216	+	16	=	610. 216. 16

Příloha 7 – Katalogový list pístitního těsnění Hennlich



PÍSTNÍ TĚSNĚNÍ

K 54



DOPORUČENÉ TECHNICKÉ PODMÍNKY

MAXIMÁLNÍ TLAK - TEPLOTA - RYCHLOST		
v max.	TEPLOTNÍ ROZSAH	TEPLOTNÍ ROZSAH
m/s	-30 °C +80 °C	-30 °C +100 °C
4	250 bar	200 bar
2	300 bar	280 bar
1	350 bar	300 bar

MAXIMÁLNÍ TĚSNICÍ SPÁRA F					
TLAK	[bar]	100	160	250	350
MAX. SPÁRA (S > 7 mm)	[mm]	0,6	0,5	0,45	0,35
MAX. SPÁRA (S < 7 mm)	[mm]	0,4	0,3	0,25	0,15

Při vysokých tlacích (úzká těsnicí spára) by měl mít píst kovové vedení, nebo opatřen opěrnými kroužky z tvrdé umělé hmoty. Prosíme o zpětný dotaz.

TOLERANCE PRO ZÁSTAVBOVÉ ROZMĚRY		
Ø D ₁	0 - 80 mm	přes 80 mm
Ø d ₁	f 8	f 8
Ø D ₁	H 9	H 8
L ₁	+ 0,2	+ 0,2

DRSNOSTI POVRCHU				
		R _a µm	R _t µm	CLA µin
KLUZNÉ PLOCHY	Ø D ₁	0,1 -0,4	4 max	4 -16
STATICKE PLOCHY	Ø d ₁	1,6 max	10 max	63 max
ČELNÍ PLOCHY	L ₁	3,2 max	16 max	125 max

ZÁSTAVBOVÁ ZKOSENÍ A POLOMĚRY [mm]							
ŠÍRKA PROFILU S	2,45	3,75	5,50	7,75	10,50	12,25	14,00
MIN. ZKOSENÍ C	2,0	3,0	3,5	5,0	6,0	6,00	8,00
MAX. POLOMĚR r ₁	0,3	0,5	0,7	1,2	1,5	1,50	2,00

POPIS

Typ K 54 je vhodný pro lehká a střední těžká použití. Těsnicí složku tvoří válcový kroužek z PTFE a pryžový O-kroužek z NBR. Proti agresivním médiím se volí O-kroužek z FPM. O-kroužek přebírá statické utěsnění v prostoru drážky, zatímco válcový kroužek PTFE utěšňuje v dynamickém rozsahu (stěna válce). Kromě toho vzniká hydraulickým tlakem přes deformaci O-kroužku přídavná složka síly směrem na stěnu válce. Znamená to, že se stoupajícím tlakem se také zvyšuje přitlačná síla. Přednosti tohoto těsnicího systému jsou ve velmi nepatrném tření, které je jak ve statickém, tak i v dynamickém rozsahu téměř identické. Z této zkušenosti také vyplývá nerušený volný běh, nevykazující stick-slip. I při nejpomalejších zdvíchích je zajištěn plynulý chod. Další předností jsou dobré vlastnosti chodu i při špatně mazajících médiích, takže je dokonce přípustný krátkodobý běh na sucho. K 54 umožňuje úsporné jednoduché konstrukce, neboť těsnění může být navléknuto. Standardní velikosti odpovídají zástavbovým prostorám podle ISO 7425 - 1.

MÉDIA

Tato těsnění, standardní dodávaná s O-kroužky z NBR jsou vhodná pro kapaliny na bázi minerálních olejů, vody a směsi vody a glykolu. Krátkodobě jsou přípustné i teploty od -40 °C. Jiné materiály O-kroužků pro teploty od -60 °C do +200 °C a pro použití v těžko zápalných kapalinách na esterové nebo syntetické bázi na požádání.

Materiály - PTFE / sklo
PTFE / bronz
PTFE / uhlík

Tento katalog podléhá změnové službě 09/09

číslo 4.11

PÍSTNÍ TĚSNĚNÍ

K 54



MONTÁŽ

Typ K 54 lze přetáhnout na jednodílný píst. Nejdříve nasadíte do drážky O-kroužek. Těsnící kroužek z naší speciální směsi PTFE pokud možno rychle přetáhněte. Nejlépe k tomu použijte pásek z umělé hmoty. Nasadíte PTFE kroužek na určité místo na obvodu do určité drážky. Náš speciální PTFE kroužek se z pravidla samočinně asi po 10 minutách smrští opět na původní rozměr. Při dostatečně velkých zástavbových zkoseních lze ve většině případů upustit od dodatečného kalibrování. Při malých průměrech ulehčuje montáž nahřátí PTFE kroužku v horké vodě nebo v horkém vzduchu (max. +130 °C). Po nahřátí by měl být K 54 na pístu pomocí objímky dokalibrován. Sériovou montáž lze pomocí roztahovacího kužele a rozpínacího trnu lehce automatizovat

PŘÍKLAD OBJEDNÁVKY

K 54 – 80 x 64,5 x 6,3

nebo při zvláštních velikostech

K 54 - 55 x 45 x 5
(vždy uvést zástavbový prostor
Ø D₁, x Ø d₁, x L₁).

Těsnění se standardně dodává s O-kroužkem z NBR. Pokud vyžadujete jiný materiál O-kroužku, prosíme na to zvlášť upozornit.

Standardní velikosti odpovídají zástavbovým prostorům podle ISO 7425 -1. K dodání jsou zvláštní velikosti a mezilehlé rozměry do Ø 1,5 m.

ØD ₁	Ød ₁ hydrau- lika	L ₁	Ød ₁ pneu- matika	S hydrau- lika	Velikost O-kroužku č. ARP	Číslo formy	Poznámka
12	7,1	2,2	7,0	2,45	10	6623910	
15	7,5	3,2		3,75		8616310	
16	8,5	3,2	8,0	3,75	109	6624010	ISO
20	12,5	3,2	12,0	3,75	112	6624110	ISO
24	16,5	3,2	16,0	3,75		6615410	
25	17,5	3,2	17,0	3,75	115	6624210	ISO
30	22,5	3,2	22,0	3,75	118	6596810	
32	24,5	3,2	24,0	3,75	119	6596910	ISO
35	27,5	3,2	27,0	3,75	121	6597010	
38	30,5	3,2	30,0	3,75		6647510	
40	29,0	4,2	28,5	5,5	216	6597110	ISO
42	31,0	4,2	30,5	5,5	217	6597210	
45	34,0	4,2	33,5	5,5	219	6597310	
50	39,0	4,2	38,5	5,5	222	6597410	ISO
55	44,0	4,2	43,5	5,5	224	6597510	
60	49,0	4,2	48,5	5,5	225	6597610	
63	52,0	4,2	51,5	5,5	226	6624310	ISO
65	54,0	4,2	53,5	5,5	227	8611810	
70	59,0	4,2	58,5	5,5	228	6597710	
75	64,0	4,2	63,5	5,5	230	6624410	
80	64,5	6,3	63,5	7,75	333	6597810	ISO
90	74,5	6,3	73,5	7,75	336	6597910	
95	79,5	6,3	78,5	7,75	338	8608410	
100	84,5	6,3	83,5	7,75	339	6598010	ISO
110	89,0	8,1	87,7	10,5		8637010	
110	94,5	6,3	93,5	7,75	342	6598110	
115	99,5	6,3	98,5	7,75	344	6598210	
120	104,5	6,3	103,5	7,75	345	6636110	
125	109,5	6,3	108,5	7,75	347	6598310	ISO
130	114,5	6,3	113,5	7,75	349	6647610	
135	114,0	8,1	112,7	10,5	425	6647710	
140	119,0	8,1	117,7	10,5	426	6598410	
145	124,0	8,1	122,7	10,5	427	8608010	
150	129,0	8,1	127,7	10,5	429	6598510	
155	134,0	8,1	132,7	10,5	431	8617710	
160	139,0	8,1	137,7	10,5	432	6598610	ISO
165	144,0	8,1	142,7	10,5		6649110	
170	149,0	8,1	147,7	10,5	436	6598710	
180	159,0	8,1	157,7	10,5	438	6598810	
185	164,0	8,1	162,7	10,5	438	6647810	
190	169,0	8,1	167,7	10,5	439	6598910	
200	179,0	8,1	177,7	10,5	441	6599010	ISO
210	189,0	8,1	187,7	10,5	442	8614610	
220	199,0	8,1	197,7	10,5	444	6624510	
225	204,0	8,1	202,7	10,5	444	6624610	
230	209,0	8,1	207,7	10,5	445	6624710	

číslo 4.12