



**FAKULTA
ŠROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Návrh testovacího zařízení pro hřídelová
těsnění**

Design of Test Equipment for Shaft Seals

DODATEK K DIPLOMOVÉ PRÁCI

2023

Bc. Jan Svoboda

Studijní program: (NDTT) Dopravní a transportní technika

Studijní obor: (N071TTTE) Transportní technika

Vedoucí práce: Ing. Karel Petr, Ph.D.

Obsah

1. Úvod	1
2. Diagram třecích ztrát	2
3. Návrh rámové konstrukce	4
4. Zakrytování testovacího zařízení + bezpečnost	6
5. Uložení hřídele	9
6. Napínací řemenice	12
7. Další úpravy	15
8. Závěr	17
Seznam použité literatury	18
Seznam obrázků	18
Seznam tabulek	19

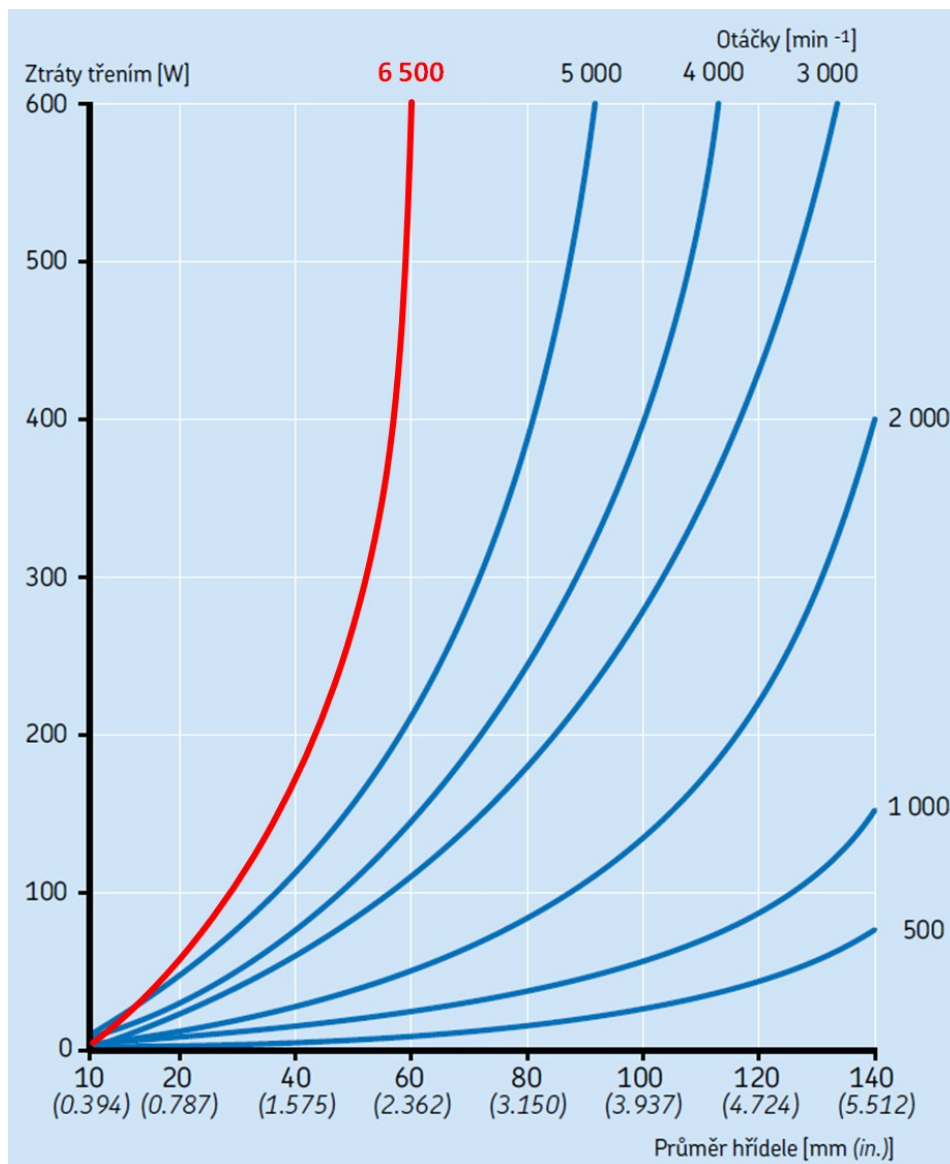
1. Úvod

Tento dodatek k diplomové práci byl zpracován na základě neúspěšné obhajoby, která se uskutečnila dne 6. 9. 2022 a je výchozím bodem pro opravný termín obhajoby.

2. Diagram třecích ztrát

Otázka k obhajobě: Na Obr. 58 je uveden diagram firmy SKF pro určení třecích ztrát v těsnění. V práci je na základě tohoto diagramu navrhován výkon motoru. Na základě čeho je stanovena červená křivka třecích ztrát pro otáčky 6500 min^{-1} ?

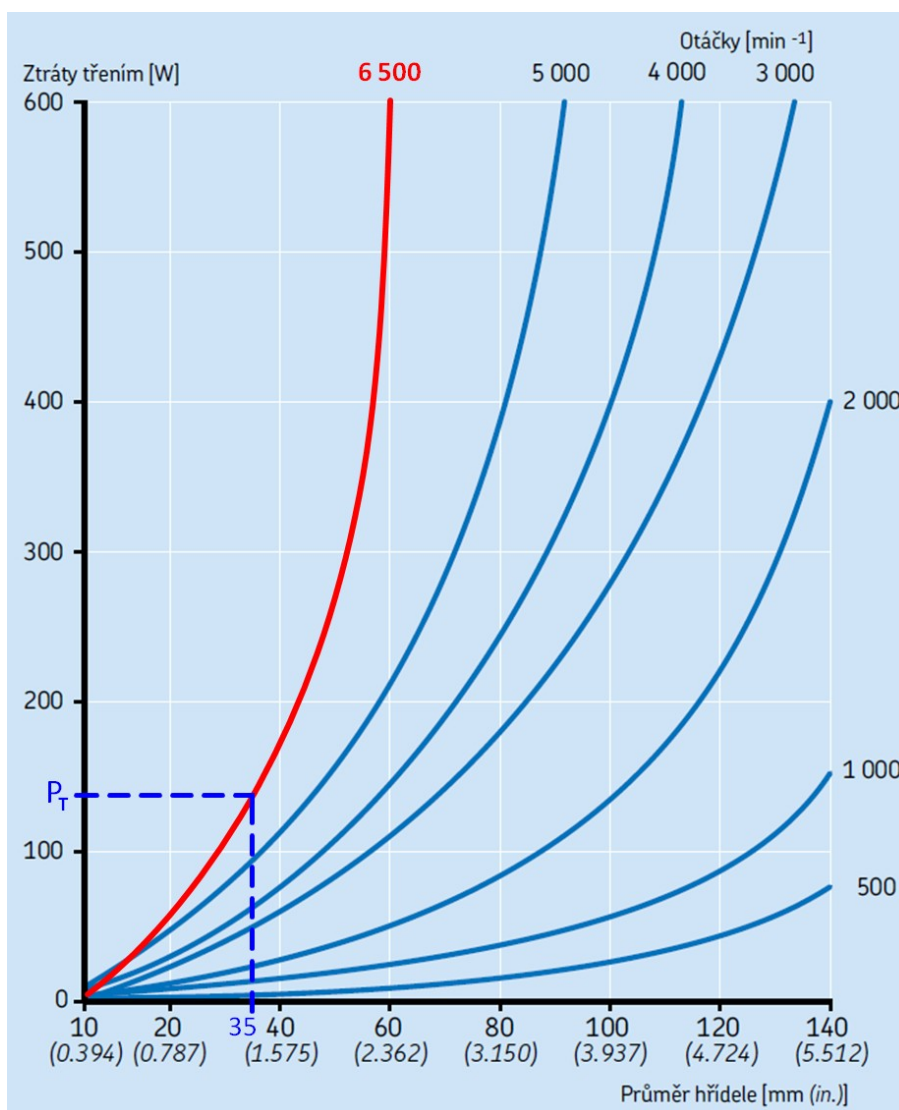
Pro požadované otáčky 6500 ot/min bohužel výrobce hodnoty třecích ztrát neuvádí, diagram je omezen na maximální hodnotu 5000 ot/min . Ztrátové křivky mají na první pohled parabolický průběh, první úvahy tedy směřovaly ke kvadratické funkci. Po bližším přezkoumání diagramu je ale zřejmé, že je velmi obtížné vysledovat trend, na jehož základě by se dala určit přesná závislost pro vykreslení požadované křivky, což potvrzují rozdílné počátky křivek v oblasti nuly.



Obr. 1: Diagram třecích ztrát s odhadnutou křivkou pro 6500 ot/min

Třecí ztráty v oblasti kontaktu těsnicího břítu s povrchem hřídele navíc ovlivňuje řada faktorů, jako např. okolní teplota, mazání, stav kontaktních ploch, materiál těsnění i hřídele, provozní podmínky či vlastnosti těsněného média. Proto je určení třecích ztrát poměrně náročné a pro přesné stanovení ztrát pro 6 500 ot/min by bylo nezbytné oslovit přímo výrobce, případně uskutečnit experimentální měření. [1] [2]

Průběh křivky byl tedy na základě výše uvedených poznatků odhadnut dle křivek nižších otáček. Požadovaný odečet ztrát (v obrázku níže označeno modře P_T) pro průměr hřídele 35 mm byl za účelem eliminace chyby v odhadu průběhu křivky zaokrouhlen nahoru, tj. na 150 W ztrát jednoho těsnění.



Obr. 2: Odečet hodnoty třecích ztrát z odhadnuté křivky

S odečtenou hodnotou třecích ztrát je dále pracováno v návrhovém výpočtu výkonu motoru (6 těsnění = 900 W), vybraný motor disponuje výraznou výkonovou rezervou, tudíž lze tento odhad považovat za dostatečný.

3. Návrh rámové konstrukce

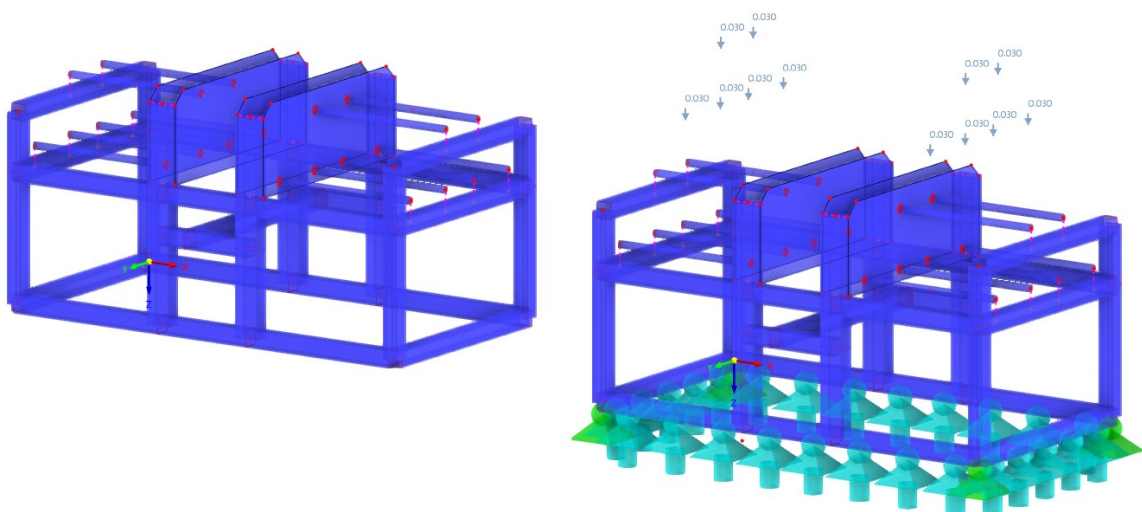
Otázka k obhajobě: Při návrhu rámové konstrukce (kapitola 8.1) jste upustil od pevnostní kontroly pomocí MKP. Zkušební zařízení ale plánujete provozovat v širokém spektru otáček. Dokážete alespoň pomocí modální analýzy vyloučit provoz zařízení v blízkosti vlastní frekvence?

K vytvoření modální analýzy byl použit program od firmy Dlubal Software, konkrétně RFEM 6 / RSTAB 9. Hlavní výpočet byl proveden v programu RFEM 6, nicméně bylo vyzkoušeno i několik funkcí v programu RSTAB 9, uvedeny jsou tedy oba. Dlubal Software patří mezi špičkové vývojáře v oblasti posuzování konstrukcí a jejich software byl pro modální analýzu vybrán z důvodu rozšíření obzorů a dalšího možného použití v praxi.

Modální analýza je užitečným pomocníkem při návrhu konstrukce, slouží k posouzení dynamického chování soustavy. Cílem je zjištění vlastních frekvencí konstrukce, posouzení případné shody s pracovní (budicí) frekvencí, a s tím souvisejícím výskytem rezonance.

Nejprve byla vymodelována rámová konstrukce, tedy svařený jeklový rám s kotevními deskami a kluznými tyčemi, tento celek tvoří pevný základ testovacího standu. Jednotlivé jekly a tyče byly znázorněny pomocí modelové funkce „nosník“ s příslušnými průřezy, desky byly přidány skrze funkci „plocha“, určité spoje tvoří elementy „tuhé pruty“. Správnost modelování byla po několika krocích vždy ověřena pomocí statické analýzy. Následovala aplikace statických sil na kluzné tyče od tíhy testovacích domků. Hmotnost jednoho domku činí cca 6 kg, jedné tyči tedy přísluší zatížení $3 \text{ kg} = 30 \text{ N} = 0,03 \text{ kN}$.

Další krok spočíval ve stanovení podpor a ukotvení rámové konstrukce. Vzhledem k plánovanému umístění standu na podlaze laboratoře byly po obvodu spodní části rámu aplikovány liniové podpory (tyrkysově) a v příslušných místech otvorů pro kotevní šrouby do podlahy pevné podpory (4 body – zeleně). Následoval výpočet.

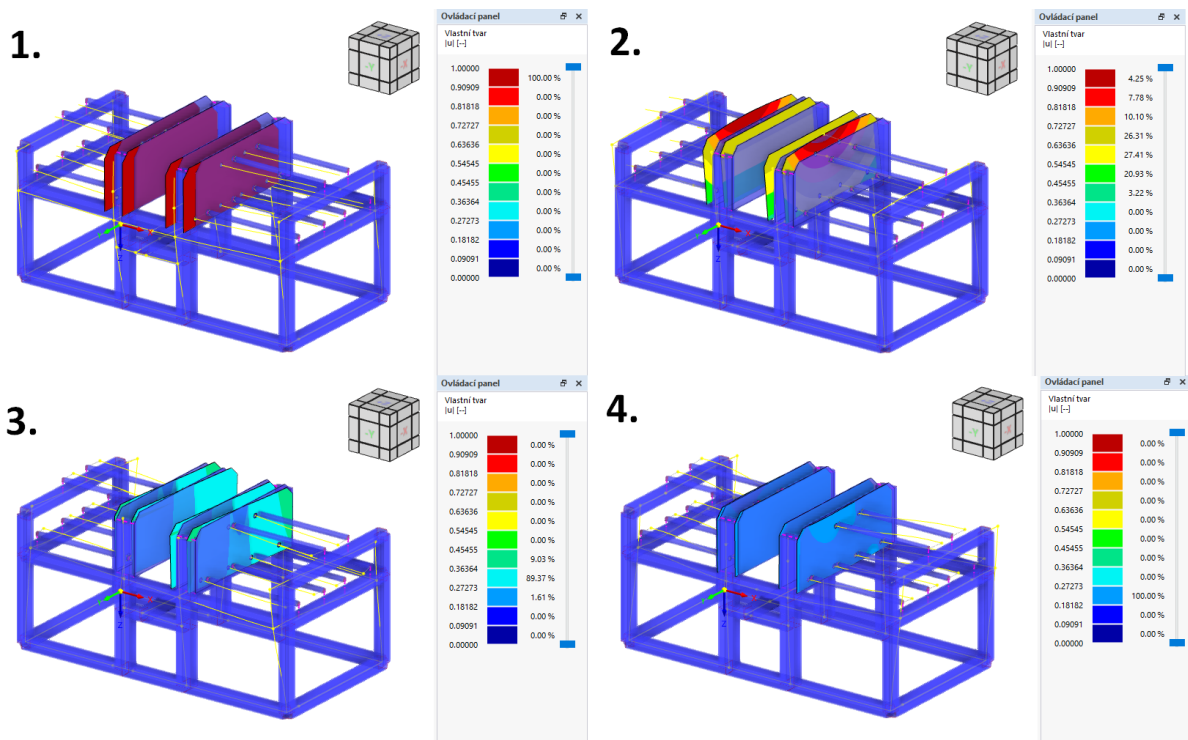


Obr. 3: Model pro modální analýzu (vlevo), zatížení a podpory (vpravo)

Výsledkem analýzy jsou čtyři vlastní frekvence, které shrnuje tabulka a obrázek níže.

Výsledné vlastní frekvence rámové konstrukce			
1.	2.	3.	4.
95,018 Hz	138,870 Hz	170,362 Hz	225,859 Hz

Tab. 1: Tabulka výsledných vlastních frekvencí rámové konstrukce



Obr. 4: Výsledek modální analýzy rámové konstrukce

Provozní otáčky testovacího standu se pohybují v rozmezí 1 000 – 6 500 ot/min, jedná se o otáčky testovacích hřídelí. Frekvenční provozní rozsah standu je tedy cca 17 – 108 Hz. Do tohoto rozmezí spadá první vlastní frekvence, další frekvence jsou však již bezpečně za touto pracovní oblastí. Na tuto první frekvenci je třeba dávat pozor při rozběhu a doběhu motoru (tyto doby co nejvíce zkrátit), vzhledem k umístění motoru mimo rám a četnosti zapínání a vypínání motoru na základě délky testovacího cyklu se nejedná o velký problém.

Nejvyšší kmitání lze vypočítat u kotevních desek. Pro snížení vibrací by bylo vhodné provázat obě dvojice desek na několika místech k sobě (např. rozpěrnými tyčemi), případně aplikovat gumová těsnění na spoje desek s rámem či přidat šroubové spoje pro ukotvení k jeklům. Je důležité zmínit, že se jedná o zjednodušený model konstrukce se snahou o přiblížení k návrhu. Vzhledem ke komplikovanosti modelování chybí např. výtuzná žebra rámu, některé náhradní modelovací prvky mohou zároveň výsledky zkreslovat. Pro základní stanovení vlastních frekvencí je ale model použitelný. Na základě výše popsaných výsledků modální analýzy lze návrh rámové konstrukce považovat za uspokojivý.

4. Zakrytování testovacího zařízení + bezpečnost

Otázka k obhajobě: Jakým způsobem je zajištěna bezpečnost obsluhy v případě, že potřebuji odpojit jeden z domků při provozu? Máte přehled o normách zabývajících se bezpečností strojních zařízení?

V práci byla pozornost zaměřena primárně na popis funkce a konceptu zařízení, které bylo představeno v nezakrytované formě. Vzhledem k nezávislosti výměny testovacích vzorků na zastavení celého zařízení by mohlo při výměně vzorku dojít ke kontaktu obsluhy s nadále rotujícími částmi zařízení, čímž vzniká riziko zranění. To se dá snadno eliminovat vhodnou volbou zakrytování, tj. oddělením všech šesti testovacích sestav od sebe tak, aby byl jasně vymezen manipulační prostor pro výměnu a obsluhu nebezpečí.

Bezpečnost strojů a zařízení je stále více diskutované téma a postupem času rostou také bezpečnostní nároky. Tato otázka k obhajobě je velmi důležitá, s ochranou a bezpečností obsluhy je třeba počítat hned od počátku projektu a uzpůsobit tak celý proces konstrukčního návrhu.

Dodatečné úpravy či bezpečnostní návrhy by mohly být v určitých případech velmi komplikované, ba dokonce až neřešitelné. Samotnému konstrukčnímu návrhu by tedy měla předcházet důkladná analýza rizik, jejíž postup je rovněž normován. Nejedná se však pouze o bezpečnost obsluhy, ale také o ochranu samotných částí stroje.

Problematika norem je velmi obsáhlá, pro všeobecný přehled je důležité znát tři základní skupiny:

- Normy typu A = Základní bezpečnostní normy

Tyto normy jsou základním kamenem pro projektování a konstrukční návrh, popisují obecné zásady a hlediska, z nichž lze vycházet u všech strojních typů. Patří sem např. EN ISO 14121 = Zásady pro identifikaci a posouzení rizika, což je základ před samotným návrhem, s čímž souvisí norma EN ISO 121002 popisující všeobecné zásady pro konstrukci. [3] [4]

- Normy typu B = Skupinové bezpečnostní normy

Tyto normy se zaměřují na různé bezpečnostní aspekty či prvky, které lze použít u více strojů. Bezpečnostní aspekty řeší normy B1 (např. bezpečná vzdálenost, hluk či umístění), normy B2 typ ochranných prvků (např. pevné a pohyblivé kryty, typ spínání či konstrukce prvku). Příkladem normy typu B1 je např. EN 349 = Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla. Mezi normy typu B2 je zařazena např. IEC 61496-1 = Elektrická snímací ochranná zařízení. [3] [4]

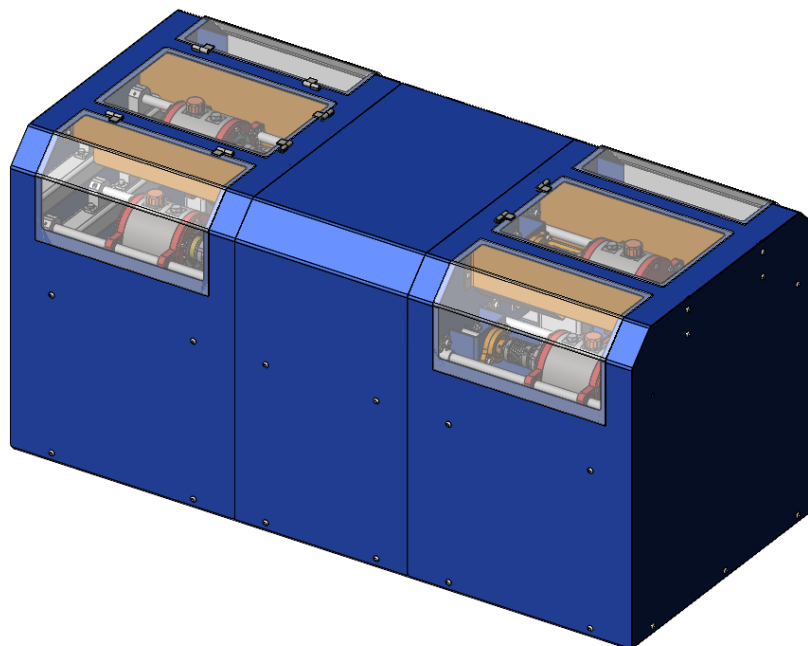
- Normy typu C = Speciální bezpečnostní normy pro stroje

Zaměřují se na detaily pro konkrétní skupinu strojů, ať už se jedná o speciální stroje určené do konkrétního předepsaného prostředí nebo např. o stroje specifické konstrukce. Za příklad můžeme uvést normu ČSN EN ISO 10218 = Roboty pro výrobní prostředí - Požadavky na bezpečnost. [3] [4]

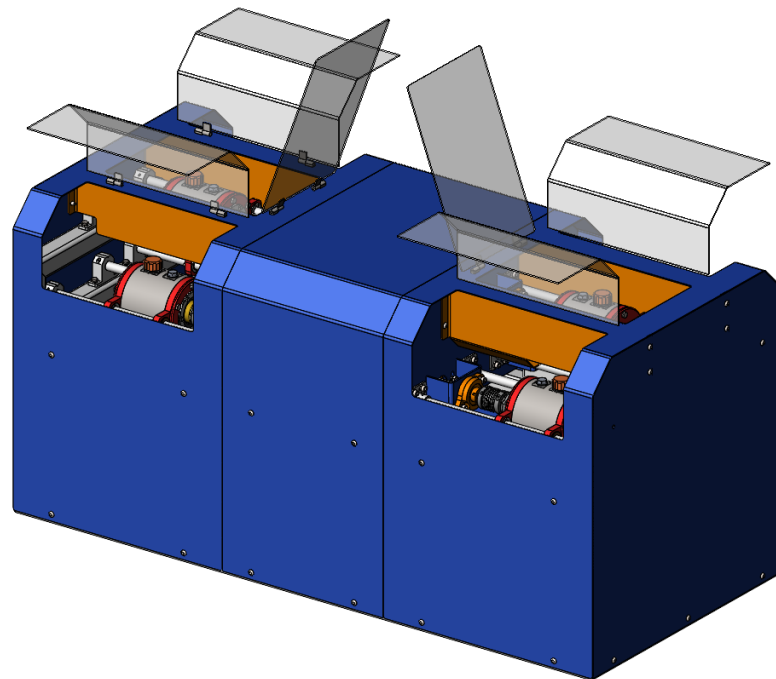
Všechny uvedené skupiny jsou mezi sebou provázány a vždy záleží na konkrétním případě, na kterém jsou aplikovány.

V tomto případě je jeklová konstrukce výhodou, jelky se dají snadno opatřit závitovými otvory, do kterých lze následně zakrytování ukotvit. V rámci tohoto doplňku k práci bylo navrženo základní ochranné krytování testovacího standu, a to z hraněných plechů tloušťky 1,5 mm z lakované konstrukční oceli 11 375. Pro eliminaci ostrých hran, o které by se mohla oděvem zachytit obsluha, byly pro uchycení krytů zvoleny šrouby s půlkulatou hlavou. Na veškeré kontaktní oblasti jeklů s kryty je doporučena aplikace samolepicích pryžových či pěnových těsnění (proužků) z důvodu utlumení vibrací a s tím spojených nežádoucích akustických projevů (klepání, cinkání apod.).

Ke každému z testovacích domků je umožněn přístup skrze odklopitelné víko uchycené na pantech. Pro vizuální kontrolu jsou víka tvořena ohýbaným plexisklem. Zakrytování je navrženo tak, aby jej bylo v případě nutného servisního zásahu možné během krátkého časového úseku jednoduše odejmout. Návrh zakrytování je patrný z obrázků níže.

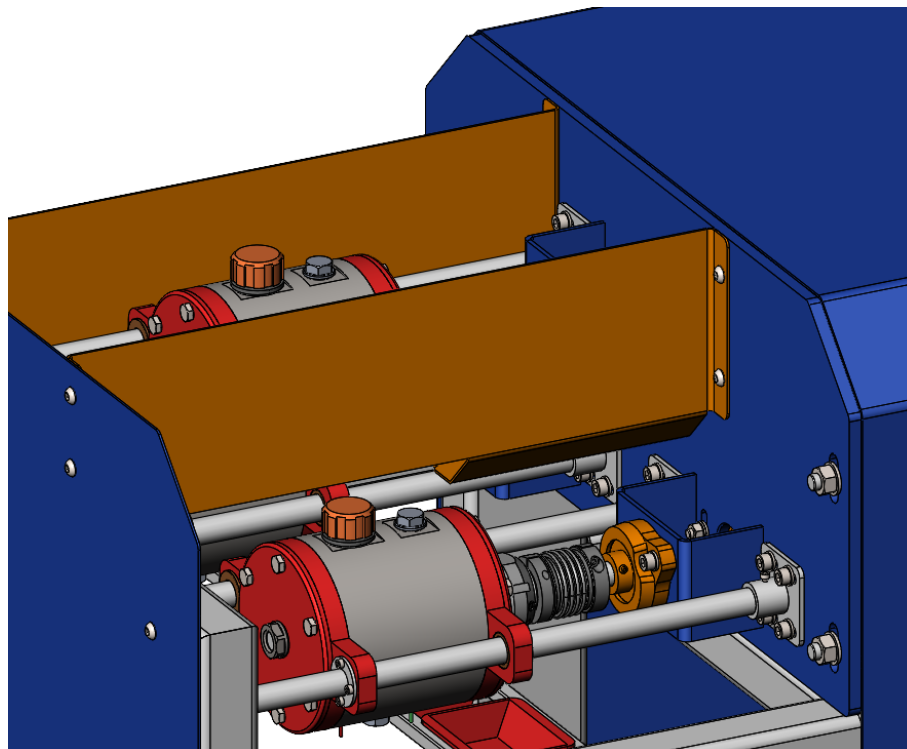


Obr. 5: Návrh zakrytování testovacího standu



Obr. 6: Stand se zdviženými víky

Pro oddělení jednotlivých testovacích domků byla navržena přepážka (oranžový díl), která zakrývá rotující části horního domku od manipulačního prostoru u krajních domků. Přímo pod domkem je volný prostor pro průchod kabelů od topné patrony a teplotního čidla.

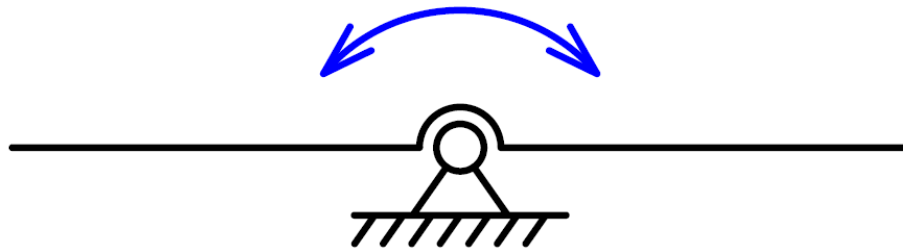


Obr. 7: Detail přepážky pro oddělení domků

5. Uložení hřídele

Otázka k obhajobě: Provedte uvolnění součásti poz. 12 (krátká hřídel) a rozhodněte o statické určitosti. Dokážete navrhnout lepší uložení této součásti vzhledem k poměrně přísným požadavkům na velikost mezery ve spojce?

Původní návrh uložení krátké hřídele v jednom ložisku je vzhledem k vysokým otáčkám a nutnému dodržení vzduchové mezery mezi tělesem elektromagnetické spojky a spojkovou přírubou konstrukční chyba. Při statickém uvolnění ani není potřeba sestavení rovnic rovnováhy, už ze základního uvolnění a zjednodušeného náčrtu je zřejmé, že se jedná o mechanismus a může dojít k naklopení hřídele („princip houpačky“). To je právě vzhledem k požadované vzduchové mezeře ve spojce zcela nepřijatelné, mohlo by tak dojít ke zničení spojky. Tento kritický uzel musí být tedy navržen znovu, vše vyřeší standardní uložení hřídele ve dvou ložiskách.



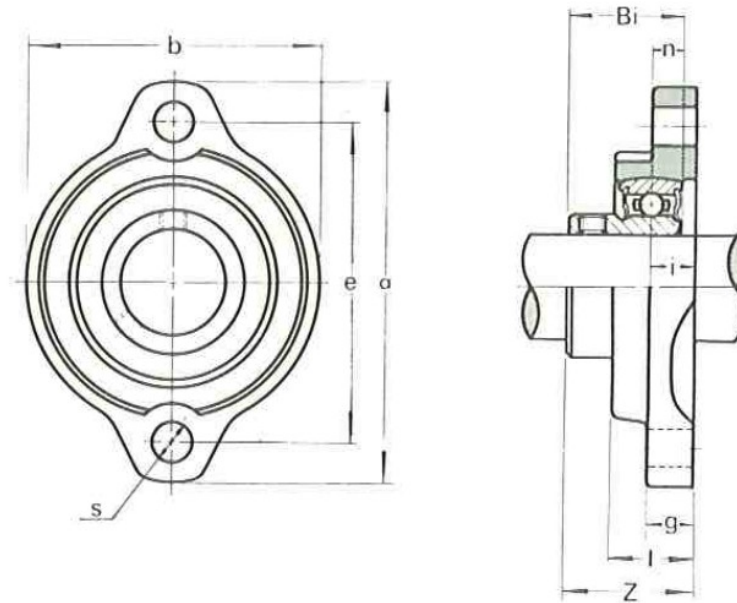
Obr. 8: Zjednodušené uvolnění krátké hřídele

Přidání druhého ložiska vyžaduje více prostoru od kotevní desky směrem k testovacím domkům, délka rámové konstrukce tedy byla navýšena o 160 mm, finální délka standu činí 1 200 mm. Aby nemuselo dojít k výrazné změně navržené konstrukce standu, jako nejméně invazivní bylo vyhodnoceno navaření hraněných výpalků tvaru U ke kotevní desce. Pro uložení hřídele byly vybrány přírubové ložiskové komplety od japonské firmy ASAHI. Oproti kompletům od firmy SKF mají o něco menší zástavbové rozměry, což je vzhledem k omezenému prostoru u spojek a velikosti přídatných výpalků výhodné. Jedná se o komplety s označením BLFL 2J. S tímto typem ložisek mám osobní zkušenost a ve firmě nebyl s jejich použitím nikdy zaznamenán sebemenší problém.

Základní rozměry těchto kompletů s ložiskem B2 a domkem LFL 3J shrnuje tabulka s náčrtem níže.

Rozměry přírubového ložiskového kompletu ASAHI BLFL 2J [mm]										
Ø hřídele	a	e	i	g	f	s	b	Z	Bi	n
15	81	63,5	9,5	9,5	18	7	56	25,5	22	6

Tab. 2: Základní rozměry ložiskového kompletu ASAHI BLFL 2J [5]



Obr. 9: Rozměrový náčrt ložiskového kompletu ASAHI BLFL 2J [5]

Z katalogu výrobce byla také následně vyčtena základní dynamická únosnost ložisek C a analogicky k výpočtům v diplomové práci spočtena dle ISO 281 základní trvanlivost L_{10} a trvanlivost v provozních hodinách L_{10h} .

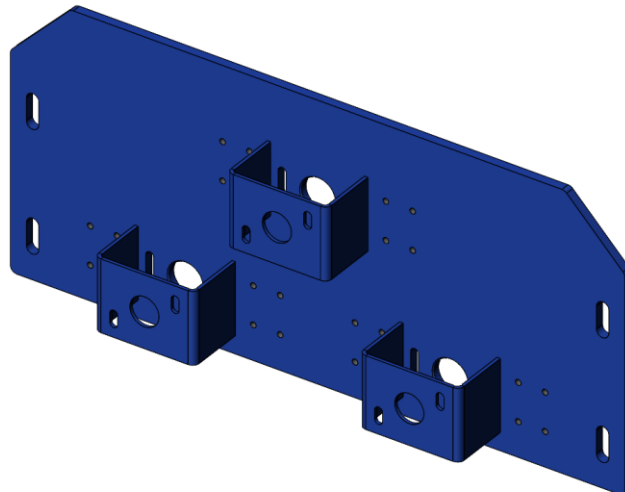
$$C = 9,55 \text{ kN}$$

$$L_{10(B2)} = \left(\frac{C}{P}\right)^p = \left(\frac{9,55}{0,06}\right)^3 = 4\,032\,332 \text{ mil. otáček} \quad (1)$$

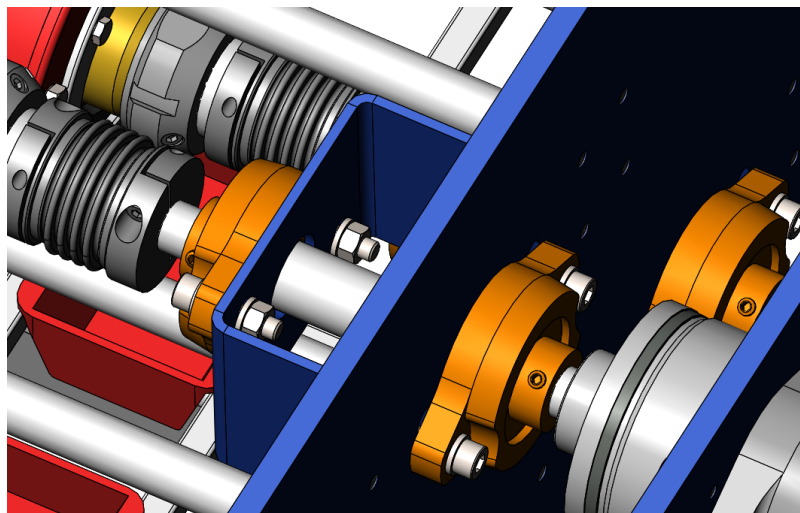
$$L_{10h(B2)} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot L_{10(B2)} = \frac{10^6}{60 \cdot 6\,500} \cdot 4\,032\,332 = 10\,339\,312 \text{ hodin} \quad (2)$$

Výsledná životnost je zcela uspokojivá a vybrané ložiskové přírubové komplety jsou tedy vyhovující po všech směrech. Příznivá je také jejich pořizovací cena, tj. cca 400 Kč za kus a nízká hmotnost – 0,27 kg.

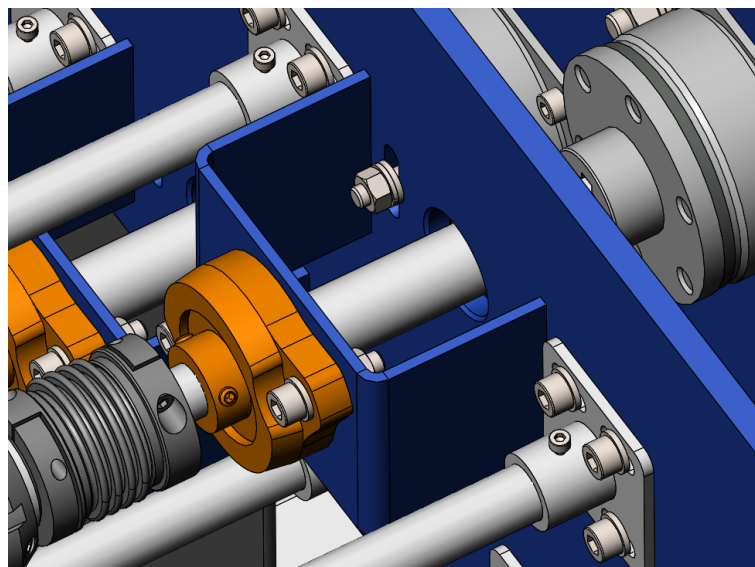
Vzhledem ke změně uložení hřídelí musel být změněn také návrh hřídelí. Krajní průměr zůstal zachován, prostřední část hřídele mezi ložiskovými komplety má průměr větší. Toto osazení se opírá o ložiskový komplet u elektromagnetické spojky, na druhé straně je osazení hřídele od ložiska odsazeno, uložení tedy sestává z jednoho axiálně pevného ložiska zajištěného stavěcími šrouby a jednoho axiálně volného ložiska. Kotevní plechy i navařené výpalky jsou opatřeny dostatečně velkými otvory pro pohodlnou montáž, ložiskové komplety jsou kotveny v drážkách pro případné seřízení ideální sousostí. Výsledný návrh shrnují výstřižky z modelu níže.



Obr. 10: Detail svařence kotevní desky s výpalky pro ložiskové komplety

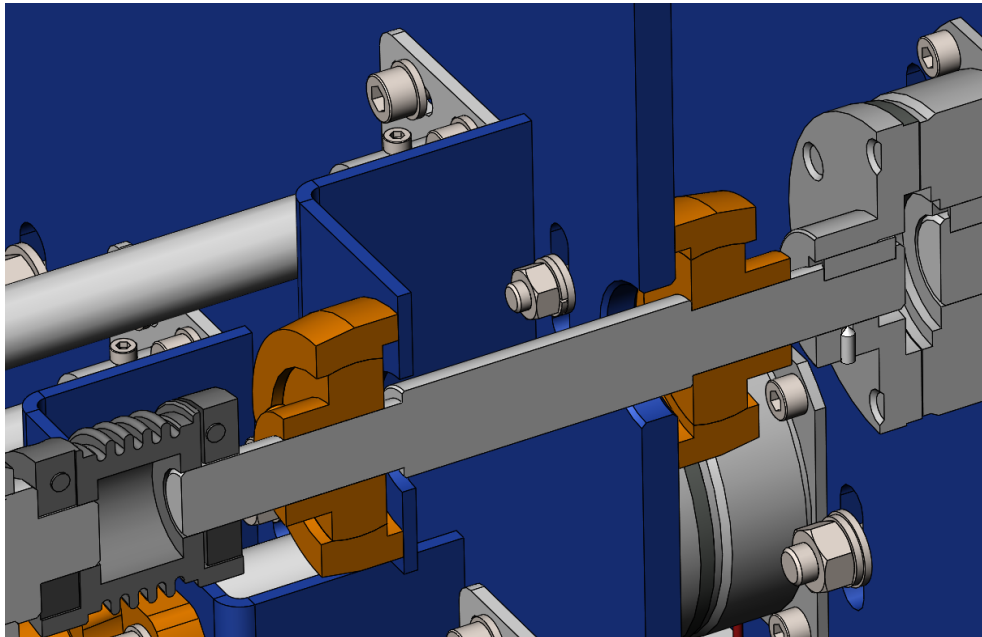


Obr. 11: Nové uložení – detail 1



Obr. 12: Nové uložení – detail 2

Na obrázku níže je znázorněno nové uložení hřídele v řezu. 3D model přírubových ložiskových kompletů (oranžové díly) pochází z oficiálních stránek výrobce ASAHI, jen neobsahují podrobné detaily (valivé elementy apod.). Rozměrově ale odpovídají katalogu.



Obr. 13: Nové uložení v řezu

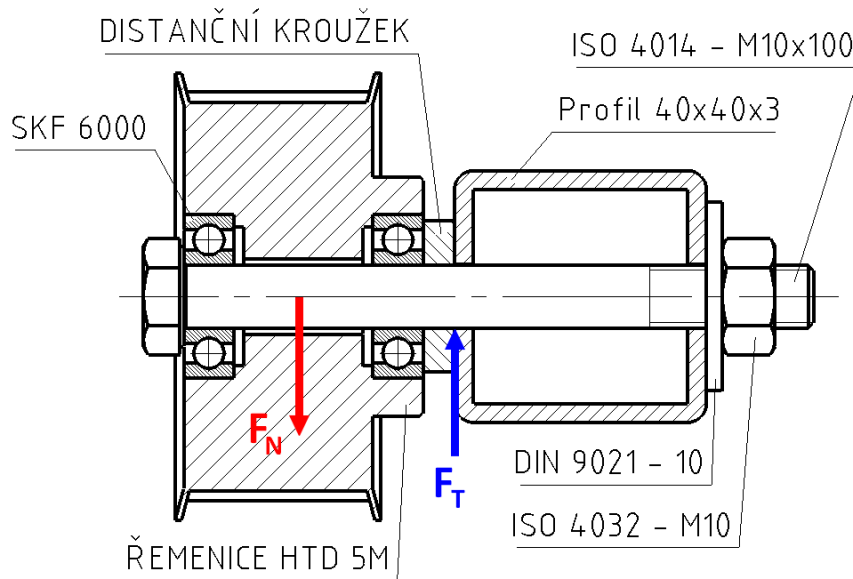
6. Napínací řemenice

Otázka k obhajobě: Dokážete provést rozbor namáhání (případně provést pevnostní kontrolu) šroubu napínací řemenice vzhledem k napínací síle řemenu, zejména pokud může dojít k jeho ohybu/posuvu vlivem velikosti drážky? Dokážete stanovit montážní podmínky, aby k jeho ohybu/posuvu v drážce nedošlo? Jak ovlivní utažení šroubu výpočet ložisek v napínací řemenici? Vyhovuje uložení ložisek na dřívku šroubu doporučením pro uložení uváděným výrobcem ložisek?

Rozbor namáhání je patrný z obrázku níže. Na řemenici působí napínací síla ozubeného řemenu F_N , v kontaktní oblasti mezi distančním kroužkem a jeklem je zároveň vyvozována třecí síla F_T . Aby nedošlo k posuvu šroubu v drážce, musí být třecí síla větší nebo rovna síle napínací. Z této podmínky byla spočtena potřebná osová síla ve šroubu F_A , což je hlavní hledaný parametr. Napínací síla řemenu byla již zjištěna v diplomové práci.

Vše shrnuje níže uvedený výpočet, do vzorců vstupuje také součinitel smykového tření ve stykových plochách (zvolen 0,15 pro spojení ocel – ocel a opracované odmaštěné plochy) a koeficient bezpečnosti (volí se > 2 , pro výpočet zvolen $k = 2,5$).

Pro zachování reference na diplomovou práci byl použit stejný obrázek řezu sestavou napínací kladky, správně by měla mít napínací síla v tomto předním pohledu podobu bodu, pro lepší názornost byly ale síly zakresleny standardním způsobem.



Obr. 14: Rozbor namáhání napínací řemenice

$$F_N = 120,976 \text{ N}$$

$$f = 0,15$$

$$k = 2,5$$

$$F_T \geq F_N \quad (3)$$

$$F_T \geq F_A \cdot f \quad (4)$$

$$F_A \geq \frac{F_N \cdot k}{f} = \frac{120,976 \cdot 2,5}{0,15} = 2\,016,27 \text{ N} \quad (5)$$

Pro zamezení posuvu šroubu v drážce jeklu je tedy třeba vyvinout osovou sílu ve šroubu o velikosti 2 016,27 N. Pro vyvinutí této osově síly může být dle zjednodušeného vzorce spočítán utahovací moment, uvažujeme použití šroubu M10.

$$M_U = 0,18 \cdot F_A \cdot d = 0,18 \cdot 2\,016,27 \cdot 0,01 = 3,63 \text{ Nm} \quad (6)$$

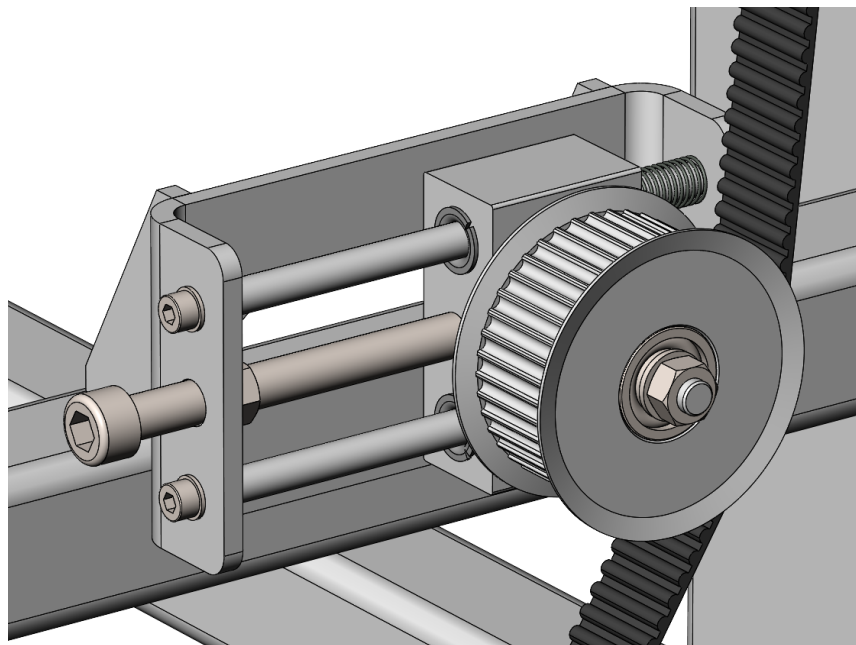
Tato osová síla bude mít zcela zásadní vliv na výpočet ekvivalentního dynamického zatížení ložisek, do výpočtu vstupuje jako axiální zatížení. Axiální zatížení o velikosti cca 2 kN je pro ložiska zcela nepřijatelné, zvolená konstrukce napínací řemenice je tedy naprosto nevyhovující. Z konstrukce je navíc zřejmé, že je šroub namáhán na ohyb. Ohybové namáhání je obvykle několikanásobně větší, než namáhání tahové a je nezbytné ho při návrhu šroubového spoje pokud možno zcela eliminovat.

Vzhledem k výše uvedeným skutečnostem je zbytečné hovořit o pevnostní kontrole šroubu a montážních podmínkách, tento konstrukční uzel musí být navržen znovu. Tolerance dříku šroubu je obvykle h13, což není pro uložení ložisek nejvhodnější (standardní tolerance pro ložiska je k6, záleží na aplikaci), proto bude vhodné zvolit vyráběný čep. Velmi pravděpodobně by také po utažení šroubu došlo k deformaci jeklu v oblasti drážky.

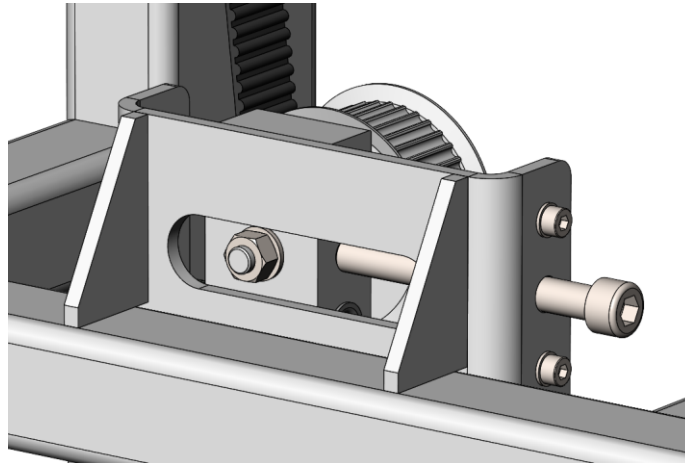
Nová konstrukce tedy již uvažuje se všemi zjištěnými nedostatky. Původní myšlenka se ubírala směrem vyztužení jeklu s drážkou, tedy vyvaření vnitřního prostoru jeklu pásovinou či jeklem o větších rozměrech, čímž by došlo k odstranění problému s možným zhroucením materiálu. Vzhledem ke zbytečné složitosti této konstrukční úpravy bylo nakonec zvoleno řešení pomocí napínacího mechanismu s kluzným vedením.

Základ napínáku tvoří výpalek z plechu tloušťky 5 mm, k němuž je šrouby uchycena dvojice kluzných tyčí o průměru 8 mm. Na tyčích je kluzně uložena obrobená kostka, do níž jsou vlisována kluzná pouzdra od firmy SKF, konkrétně typ PCMF 081009.5 E. Řemenice s ložisky je nově uložena na čepu se správnou tolerancí pro ložiska. Čep prochází otvorem v kluzné kostce, v níž je axiálně zajištěn pomocí středového osazení na čepu a podložkou s maticí na konci čepu. Podložka doléhá na koncové osazení čepu, toto osazení je o 0,1 mm větší oproti rozměru kostky, čímž do uložení čepu nevstupují žádné přídavné síly. Stejně tak je uložena i řemenice na druhém konci čepu.

Samotné napínání je realizováno napínacím šroubem, který je po požadovaném napnutí zajištěn maticí. Na kluzných tyčích jsou osazeny tlačné pružiny, které kladou protitlak kluzné kostce a šroubu. Napínák je spolu s výztužnými a opěrnými žebry navařen na příslušné místo k jeklu rámové konstrukce.



Obr. 15: Nové uložení napínací řemenice

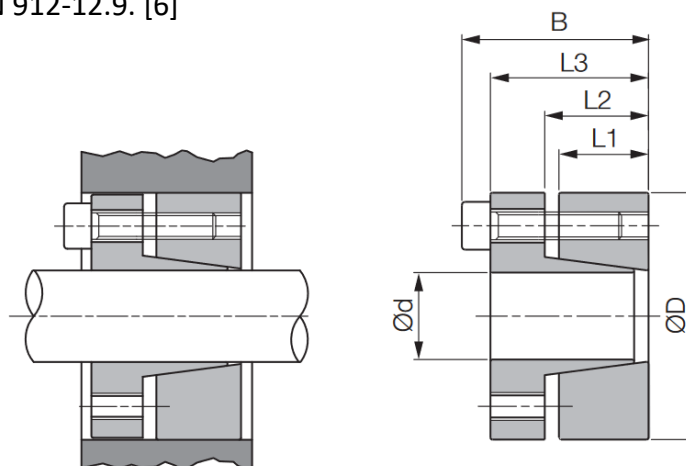


Obr. 16: Detail ukotvení napínacího mechanismu

7. Další úpravy

Mezi další doplňky je vhodné zařadit úpravu uchycení řemenic na hřídelích, v původní verzi jsou řemenice axiálně zajištěny stavěcími šrouby M3, což je vzhledem k vysokým provozním otáčkám zcela nedostatečné. Moderním a oblíbeným řešením je použití svěrných upínacích pouzder, která jsou velmi efektivní a jednoduchá na montáž.

Dle rozměrů použitých řemenic byla vybrána svěrná pouzdra BK 13 od firmy Haberkorn (obj. kód: 323619). Z řemenic tedy může být odstraněno osazení pro stavěcí šroub, vybrané pouzdro následně pokrývá téměř celou šířku řemenice. Pouzdro je osazeno pěticí upínacích šroubů M6 x 20 DIN 912-12.9. [6]



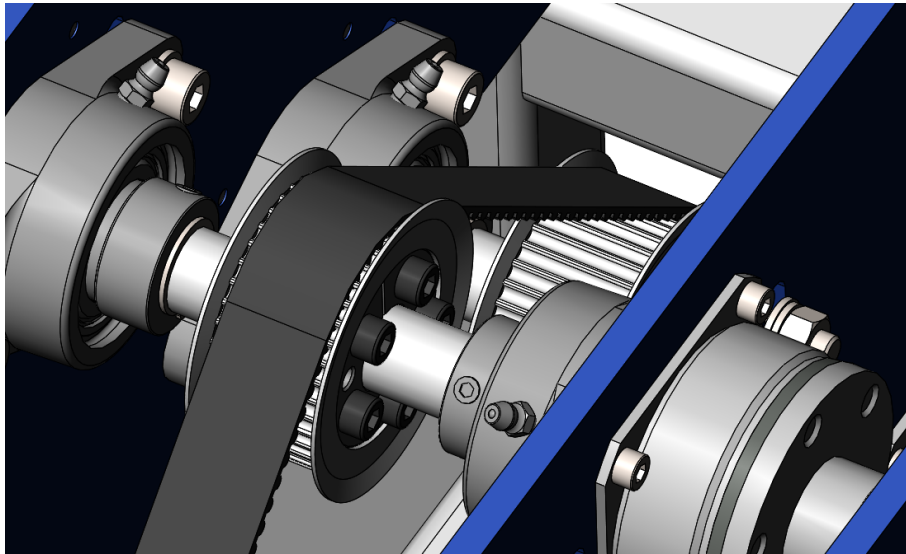
Obr. 17: Rozměrový náčrt svěrného pouzdra BK 13 [6]

Rozměry svěrného pouzdra BK 13				
d x D	L1	L2	L3	B
20 x 47	81	63,5	9,5	9,5

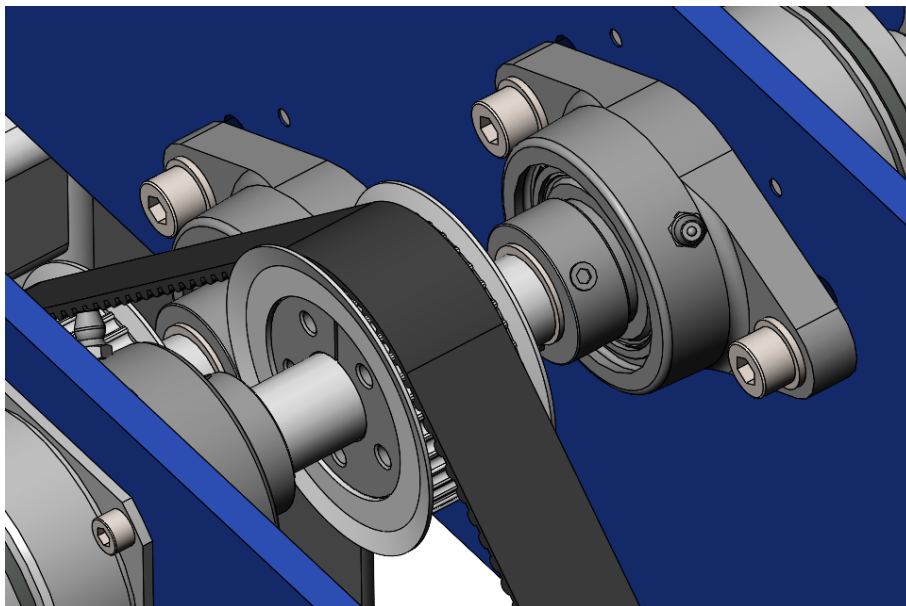
Tab. 3: Rozměry svěrného pouzdra BK 13 [6]

Parametry svěrného pouzdra BK 13				
Dosažitelné při utah. momentu		Měrný tlak		Utahovací moment [Nm]
Krouticí moment [Nm]	Axiální síla [kN]	Hřídel [N/mm ²]	Náboj [N/mm ²]	
287	29	249	106	13

Tab. 4: Parametry svěrného pouzdra BK 13 [6]



Obr. 18: Svěrné pouzdro BK 13 – detail 1



Obr. 19: Svěrné pouzdro BK 13 – detail 2

8. Závěr

V rámci tohoto dodatku byly zpracovány otázky k obhajobě, které nebyly v řádném termínu SZZ dostatečně zodpovězeny. Po konzultacích došlo k úpravě klíčových konstrukčních uzlů, jejichž provedení bylo při tvorbě původní verze diplomové práce zvoleno chybně. Tento dodatek je zároveň fyzicky odevzdán v kroužkové vazbě, a to ve dvou kopiích.

Seznam použité literatury

- [1] SKF Group. *Hřídelová těsnění. PUB SE/P1 10919 CS.* [online]. [cit. 7. 6. 2023]. Dostupné z: https://www.skf.com/binaries/pub54/Images/0901d196802e8ff2-10919_CZ_lowres_tcm_54-129139.pdf
- [2] Rubena s.r.o. *Těsnicí prvky – katalog.* [online]. [cit. 7. 6. 2023]. Dostupné z: https://eshop.rubena.cz/Files/flash/rubena-old/Tesnici-prvky_2015_CZ.pdf
- [3] HW server s.r.o. *Bezpečnost strojů - 1. díl - úvod, normy, posouzení rizika.* [online]. [cit. 8. 6. 2021]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-1-dil-normy-rizika.html>
- [4] ElektroPrůmysl.cz. *Základní bezpečnostní normy strojních zařízení.* [online]. [cit. 8. 6. 2021]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/zakladni-bezpecnostni-normy-strojnich-zarizeni>
- [5] Asahi Seiko Co., Ltd. *Bearing Units, Joinball, Rod Ends, Spherical Bearings – katalog.* [online]. [cit. 10. 6. 2023]. Dostupné z: https://www.asahiseiko.co.jp/english/img/cata08_general.pdf
- [6] Haberkorn s.r.o. *Pohonné elementy - Hlavní katalog 2013.* [online]. [cit. 10. 6. 2023]. Dostupné z: https://www.haberkorn.cz/data/uploads/Download/Katalog/se-pohonne_elementy_2013/book/index.html

Seznam obrázků

Obr. 1: Diagram třecích ztrát s odhadnutou křivkou pro 6 500 ot/min	2
Obr. 2: Odečet hodnoty třecích ztrát z odhadnuté křivky	3
Obr. 3: Model pro modální analýzu (vlevo), zatížení a podpory (vpravo)	4
Obr. 4: Výsledek modální analýzy rámové konstrukce	5
Obr. 5: Návrh zakrytování testovacího standu	7
Obr. 6: Stand se zdviženými víky	8
Obr. 7: Detail přepážky pro oddělení domků	8
Obr. 8: Zjednodušené uvolnění krátké hřídele	9
Obr. 9: Rozměrový náčrt ložiskového kompletu ASAHI BLFL 2J [5]	10
Obr. 10: Detail svařence kotevní desky s výpalky pro ložiskové komplety	11
Obr. 11: Nové uložení – detail 1	11
Obr. 12: Nové uložení – detail 2	11
Obr. 13: Nové uložení v řezu	12
Obr. 14: Rozbor namáhání napínací řemenice	13
Obr. 15: Nové uložení napínací řemenice	14
Obr. 16: Detail ukotvení napínacího mechanismu	15
Obr. 17: Rozměrový náčrt svěrného pouzdra BK 13 [6]	15
Obr. 18: Svěrné pouzdro BK 13 – detail 1	16
Obr. 19: Svěrné pouzdro BK 13 – detail 2	16

Seznam tabulek

Tab. 1: Tabulka výsledných vlastních frekvencí rámové konstrukce	5
Tab. 2: Základní rozměry ložiskového kompletu ASAHI BLFL 2J	9
Tab. 3: Rozměry svěrného pouzdra BK 13	15
Tab. 4: Parametry svěrného pouzdra BK 13	16