



**FAKULTA
STROJNÍ
ČVUT V PRAZE**

Ústav konstruování a částí strojů

**Mechanický upínací přípravek pro testování
fan-drive motorů**

**Mechanical fixing facility for fan-drive motors
testing**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2017

Jakub Milan Hradecký

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový

Vedoucí práce: prof. ing. Vojtěch Dinybyl, Ph.D

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením pana prof. ing. Votěcha Dynybyla, Ph.D s použitím literatury uvedené ve zdrojích.

V Praze dne

.....

Jakub Milan Hradecký

Poděkování

Rád bych poděkoval panu prof. ing. Vojtěchovi Dinybylovi, Ph.D za vedení mé bakalářské práce, za jeho cenné rady, připomínky a také vstřícnost. Dále bych chtěl poděkoval konstruktérům z kanceláře vývojové konstrukce Jihostroje a.s. Velešín za vstřícnost a hodnotné rady při konzultacích práce. Nakonec bych rád poděkoval své rodině za celkovou podporu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem upínací konstrukce pro fan-drive, na které jsou připojeny fan-drive motory, které zde budou testovány. Konstrukce je navržena tak, aby byla schopna držet i největší fan-drive, s kterým je fan-drive motor zkoušen. Součástí jsou také polohovatelná ramena vhodná k zajištění shora. Dále jsou zde navrženy podstavce, které zajišťují jednotný způsob upínání na upínací desku konstrukce.

Druhá verze upínací konstrukce je jednodušší, a tedy i s menšími náklady. Konstrukce je oprostěna od upínací desky a podstavců. Poslední část práce je věnována návrhu vnější ochranné konstrukce, která zajišťuje bezpečnost práce vně konstrukce při probíhajícím testování.

Summary

This bachelor's thesis is engaged in planning of fixing facility for fan-drive, which are connected to fan-drive motors which are tested. Facility is planned to fix even the biggest fan-drive. Inseparable components are movable profiles which are great to fix from the top. Next topic in thesis is engaged to the stands to provide the unified way to fix fan-drive to the fixing table of the facility.

The second version of the fixing facility is more simple, so it is cheaper too. Facility is without fixing table and the stands. Last chapter of the thesis is about planning of the protective construction, which provides safety working during the testing.

Klíčová slova

Fan-drive, Fan-drive motor, profily, šroubové spojení, svar

Keywords

Fan-drive, Fan-drive motor, profiles, screw-type, weld

Obsah

1	Úvod	1
2	Fan-drive	2
3	Upínací přípravek	3
3.1	Účel konstrukce a koncepce	3
3.2	Upínací přípravek - první verze.....	4
3.2.1	Úložná deska	4
3.2.2	Podstavce	5
3.2.3	Vozíky	8
3.3	Upínací přípravek - druhá verze	9
3.4	Zhodnocení dvou verzí návrhu upínacího přípravku	10
4	Vnější ochranná konstrukce	12
4.1	Svařenec.....	13
4.2	Šroubové spojení	13
4.2.1	Průhyb profilu.....	14
4.3	Brána.....	14
5	Výpočty	17
5.1	Výpočet šroubů spojujících desku a nosník.....	17
5.1.1	Výpočet kroutících momentů.....	19
5.2	Výpočty svarů	20
5.2.1	Koutový svar	20
5.2.2	Návrh tupého svaru.....	23
5.2.3	Návrh bodově přivaření ochranného pletiva	24
5.3	Výpočet šroubového spojení svařenců.....	24



5.3.1	Volba šroubu a návrh montážního předpětí Q_0	24
5.3.2	Určení geometrických charakteristik šroubového spoje	25
5.3.3	Výpočet kroutících momentů	25
5.3.4	Výpočet účinnosti η_z a η_c	27
5.4	Výpočet průhybu	27
5.5	Výpočet šroubů k připevnění brány	28
6	Závěr	31
	Zdroje	33
	Seznam obrázků	34
	Seznam příloh	35

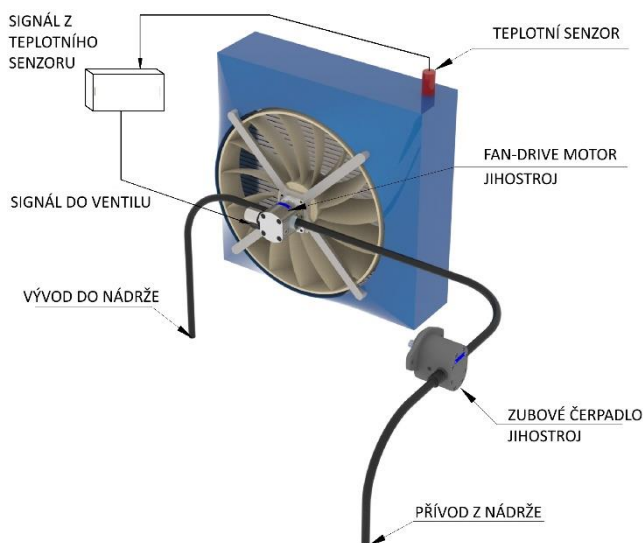
1 Úvod

Cílem je vytvořit upínací přípravek, na který bude možné upnout všechny typy a velikosti zkoušených Fan-drive (dále FD). Základním požadavkem je sjednotit způsob upínání jednotlivých kusů tak, aby každý FD nepotřeboval vlastní upínací přípravek, ale byl dostatečný pouze jeden polohovatelný. V této práci jsou navrženy dvě verze polohovatelného přípravku.

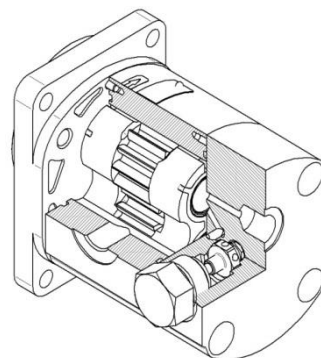
Při návrhu se vychází z rozměrů největšího FD, veškeré součásti jsou voleny a navrhovány s ohledem na jeho hmotnostní parametry a rozměry.

Dalším úkolem je vytvořit konstrukci okolo upínacího přípravku, která bude plnit ochrannou funkci. Toto ochranné opatření je vhodné při vývojových zátěžových zkouškách, kde není zaručena bezpečnost chodu zařízení.

2 Fan-drive



obr. 1.: fan-drive



obr. 2.: fan-drive motor

Fan-drive (na obr. 1) je zařízení, které ochlazuje pracovní kapalinu. Skládá se z několika částí. Základem je rotující vrtule, která je poháněna Fan-drive motorem (obr. 2) (dále jen FD motor), kterým je hydrostatický zubový motor. FD motor je napojen na hydraulický okruh, který je nejčastěji poháněn pístovým nebo zubovým čerpadlem připojeným na diesellový motor. Za vrtulí proudí tekutina, která je vlivem proudění vzduchu ochlazována.

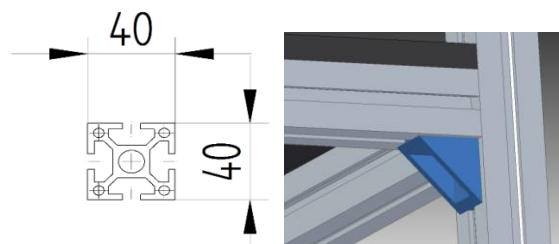
Firma Jihostroj vyvíjí FD motory. Zde řešíme několik základních typů, které můžeme rozřadit podle provedení ventilů. Motor s pojistným ventilem se zpětnou funkcí plní kromě základní pojistné funkce také roli antikavitačního ventilu. Antikavitační ventil je paralelně připojen k FD motoru. Je otevřený ve chvíli, kdy nastává snížení přítoku pracovní tekutiny (respektive snížení tlaku). V okamžik, kdy je přerušeno proudění pracovní tekutiny, tudíž motor přestává pohánět vrtuli, stává se motor hydrostatickým zubovým čerpadlem. Čerpadlo je dále poháněné setrvačností vrtule a má tendenci odsávat kapalinu od vstupu, tudíž vytvářet podtlak, a kvůli tomu působí na ozubená kola FD motoru kavitace. Díky ventilu je tekutina vedena od výstupu zpět před vstup, a tak zamezuje podtlaku a omezuje vliv kavitace.

Dalších typů FD motorů je celá řada, například FD motor s proporcionálním přepouštěcím ventilem, kde jsou pomocí tohoto paralelně zapojeného ventilu řízené otáčky. Dále je možné použít například redukční nebo škrtící ventil.

3 Upínací přípravek

3.1 Účel konstrukce a koncepce

Každý FD musí být při testování a při chodu upnut tak, aby s ním nebylo možné hýbat. Zároveň není příliš vhodné, kvůli široké škále velikostí FD, konstruovat upínací přípravek pouze na velikost jednoho konkrétního FD. Proto je výhodné ho navrhnout tak, aby byl polohovatelný, a tedy vhodný pro více velikostí. Upínací přípravek musí být funkční pro největší zkoušený FD. Musí tedy být možné upnout FD o rozměrech 950x850x400 mm a hmotnosti 200 kg do navrženého upínacího přípravku. FD je upnut pomocí šroubů do upínacího přípravku zdola a shora. Navrženy jsou dvě verze upínacího přípravku, které se liší právě ve způsobu upínání FD. Rozdíl v první a druhé verzi návrhu ramen je v umístění a počtu ramen.

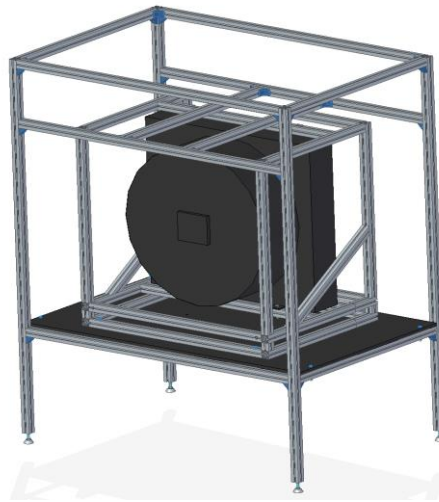


obr. 3.: profil nosníku obr. 4.: rohová spojka

Část rámu upínacího přípravku, která je shodná pro obě verze, popsané v kapitolách 3.2 a 3.3, se skládá z hliníkových nosníků od firmy Maytec o rozměrech 40x40 mm (obr. 3). Spojení těchto profilů zajišťují spojky od stejné firmy. Použity jsou spojky rohové (obr. 4), které mají nosnost 400 N. Celá konstrukce stojí na 4 nožičkách, které jsou navrtány do profilu rámu zesponu tak, aby na nich konstrukce stála. Jednotlivé nožičky mají nosnost 1800 N.

Výška upínacího přípravku je větší než 1910 mm. Přesná výška záleží na míře zašroubování nožiček, na kterých celý přípravek stojí. Přípravek je široký 1600 mm a hluboký 1080 mm. Prvek, který upevňuje FD shora, jsou horní ramena. Při upínání různých velikostí FD je nutné, aby horní ramena přípravku byla polohovatelná. Zároveň se mění šířka FD, proto je vhodné, aby ramena byla polohovatelná jak v horizontálním, tak ve vertikálním směru. Jednoduchá polohovatelnost je zajištěna díky připevnění pomocí rohových spojek, protože drží v drážce profilu nosníku a není nutné kvůli jejich spojení do nosíku vrtat díry pro šrouby.

3.2 Upínací přípravek - první verze



obr. 5.: upínací přípravek – první verze

První verze upínacího přípravku (obr. 5) je navržena tak, aby způsob upnutí FD k přípravku byl co nejjednodušší. Z důvodu sjednocení způsobu upínání budou FD upínány na ocelovou desku. Problém nastává u takových FD, které mají spodní část nerovnou, tudíž je není možné postavit na desku. Proto bude vytvořen pro každý FD podstavec, ke kterému bude FD připevněn šrouby napevno.

Ve chvíli, kdy je každý FD pevně upnut do podstavce, je možné je přimontovat na ocelovou desku, ve které jsou vrtané díry pro šrouby. Díry zajišťují stálou a přesnou polohu při opakovaném upnutí FD (respektive podstavce) s upínacím přípravkem pomocí šroubů.

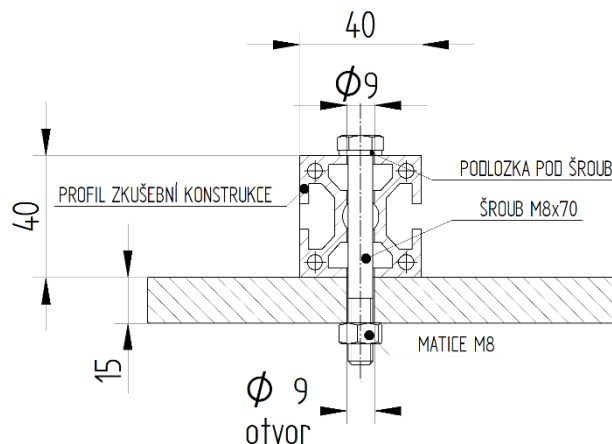
Druhým prvkem, který zajišťuje nehybnost FD v chodu, jsou již výše zmíněná pohyblivá ramena. Pár ramen, který zajišťuje posun ve vertikálním směru, je připevněn ke zbytku rámu v přední a zadní části. Druhý pár nosníků, který zajišťuje pohyb v horizontálním směru, tedy doprava a doleva, je připevněn k prvnímu páru nosníků. Spojení všech nosníků je provedeno pomocí rohových spojek.

Bližší údaje o rozměrech a zobrazení provedení je uvedeno v příloze č 1.

3.2.1 Úložná deska

Deska je uložena na dvou nosnících, které se nacházejí pět set milimetrů nad zemí. Nosníky jsou ke zbytku konstrukce opět připevněny pomocí rohových spojek.

Deska je na konstrukci připevněna čtyřmi šrouby M8x70 (obr. 6). Šroub není dynamicky zatěžován, slouží pouze ke spojení. Deska je z oceli 11 373 s mezí kluzu $\sigma_{kt} = 390\text{MPa}$ o tloušťce $t = 15\text{mm}$. Díry pro šrouby jsou zvoleny dle tabulek ze střední řady pro šrouby M8, to znamená $\text{Ø}D = 9\text{mm}$. Jednotlivé díry jsou určeny pro upnutí pouze pro konkrétní FD, pro zjednodušení montáže jsou jednotlivé díry, barevně rozlišovány.



obr. 6.: nosníku s deskou

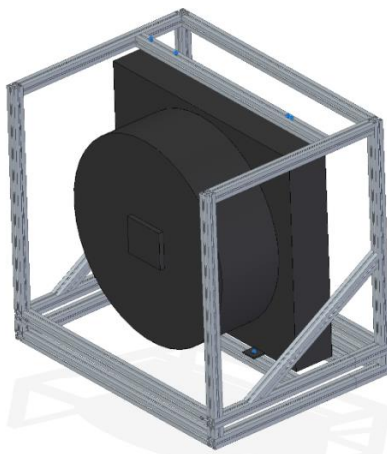
3.2.1.1 Šrouby

Minimální délka šroubu musí přesahovat součet délek spojovaných profilů, matky a podložky šroubu. Spojovaná deska s profilem je vysoká 55 mm. Matka na šroub M8 je vysoká 6,8mm a dvě podložky každá 1,6mm. Proto celková délka musí být větší než 65 mm, což je součet všech těchto prvků. Výpočty šroubů pro spojení desky a podstavce s FD je v kapitole 5.1 Výpočet šroubů spojujících desku a nosník.

3.2.2 Podstavce

Jak již bylo zmíněno na začátku kapitoly 3.1, testované FD neumožňují jednotný způsob upnutí. Proto je kvůli sjednocení vhodné použít podstavce, do kterých budou jednotlivé FD upnuté, a následně na desku upínat již samotné podstavce, které mají vrtané díry pro šrouby. Šrouby spojí podstavce a uloží desku. Díky barevnému označení děr pro jednotlivé podstavce se prakticky není možné splést při montáži v jinak nepřehledné desce s mnoha otvory. Například pro upnutí největšího FD budou na desce vyznačeny čtyři díry pro šrouby žlutou barvou. Rozmístění děr sice možnost smontování do jiných děr neumožňuje, avšak nemusí to být jasné na první pohled. Všechny použité šrouby jsou M8 různých délek.

3.2.2.1 Podstavec pro největší Fan-drive

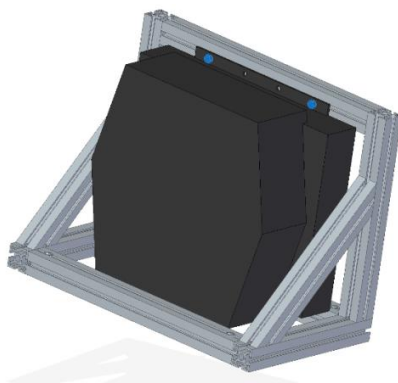


obr. 7.: podstavec pro FD s největšími rozměry

Jedná se o největší FD (obr. 7), který bude při vývojových zkouškách k dispozici. Upnutí na stojan bylo v tomto případě jednoznačné, FD má v dolní části připravené úchyty s dírami a shora předvrtané díry. Délky šroubů pro upnutí v dolní části ke konstrukci jsou odvozeny od součtu výšky profilu, tloušťky úchytů, matice a podložky pod šroub, tedy 60 mm. V horní části jsou předvrtané díry pro šrouby M8x60.

3.2.2.2 Podstavec pro nejmenší fan-drive

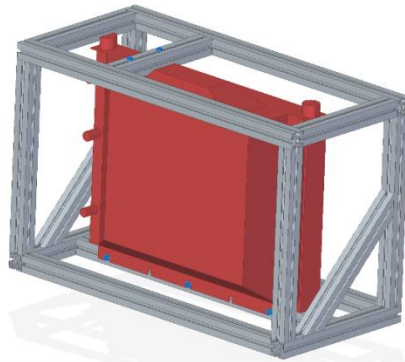
Tento FD (obr. 8) je díky svým rozměrům 460x175x370 nejmenším ze zkoušených FD. Díry pro šrouby jsou předpřipravené v zadní části nahoře i dole. Osa děr je vodorovná, proto budou šrouby čelit namáhání na stříh. Při zvolení šroubů M8 a s přihlédnutím k malé váze FD není nutné šrouby na stříh přepočítávat. Délky šroubů pro upevnění ke stojanu budou mít nyní jednotnou délku z důvodu jednotného upnutí shora i zdola. Délka šroubu je určena stejně jako v předchozím případě, tedy 60 mm.



obr. 8.: podstavec pro FD s nejmenšími rozměry

3.2.2.3 Podstavec pro druhý nejmenší fan-drive

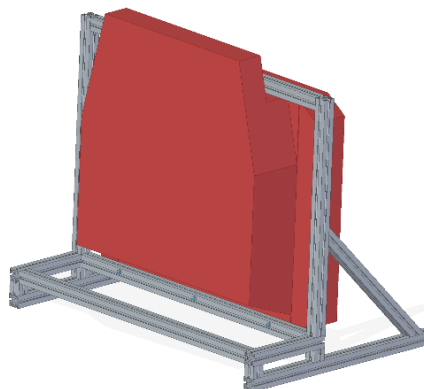
Tento FD není schopen stát samostatně. V dolní části jsou vytvořené otvory pro šrouby, jejichž délka je opět tvořena součtem tloušťky nosníku, úchytů pro šroub, výšky matice a podložky, tedy 52 mm. Pro upnutí v horní části je nutné vrtat dvě díry pro šrouby M8x55. Celková koncepce upnutí je znázorněna na (obr. 9). FD je upínán před nosníkem, na kterém drží.



obr. 9.: podstavec pro druhý nejmenší FD

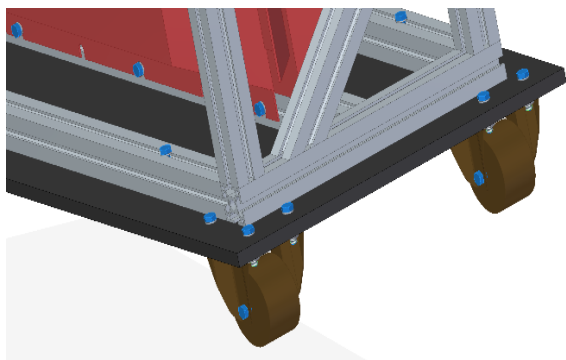
3.2.2.4 Podstavec pro druhý největší fan-drive

Tento FD (obr. 10) také není schopen stát samostatně na rovné desce. V horní i spodní části se nacházejí díry pro šrouby. V horní části jsou připravené dvě díry pro šrouby M8x60. V dolní části jsou již připravené otvory pro šrouby M8. Délka šroubů je stejná jako u FD v předchozím případě, použité šrouby tedy budou M8x55. FD je upínán za nosníkem, na kterém drží.

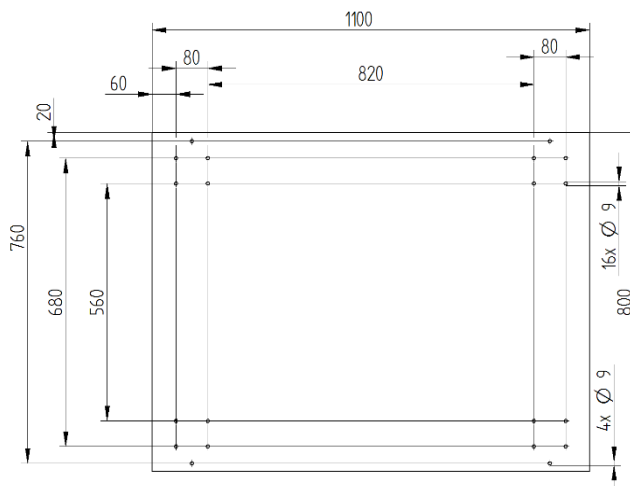


obr. 10.: podstavec pro druhý největší FD

3.2.3 Vozíky



obr. 11.: vozík



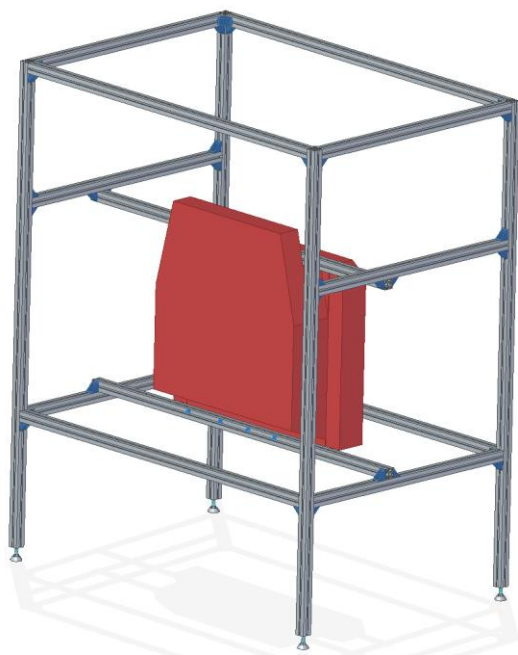
obr. 12.: schéma rozměrů desky

Kvůli hmotnostem FD, které se pohybují do 200 kg, je vhodné navrhnout vozíky, na kterých by bylo možné FD přepravovat.

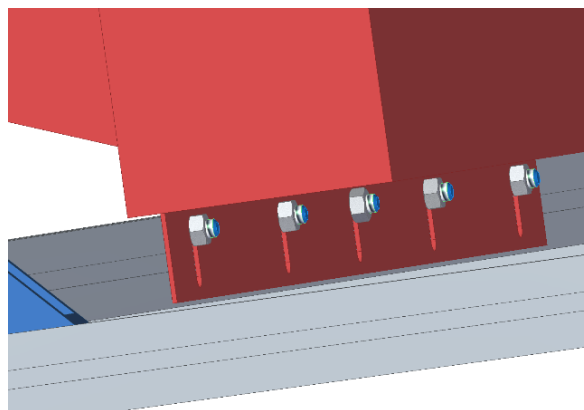
Vozík (obr. 11) je jednoduše tvořen deskou (obr. 12), na kterou se FD upne stejným způsobem a s využitím stejného rozmístění děr pro šrouby jako v případě připevnění na desku na upínacím přípravku. K desce jsou připevněna 4 otočná kolečka o průměru 80 mm, která jsou kupována na internetové stránce zabi.cz. Kolečka jsou odolná vůči olejům a mazivům. Tyto vlastnosti jsou důležité kvůli prostředí, ve kterém budou používána. Každé kolo je upevněno k desce čtyřmi šrouby M8x35. Délka vychází ze součtu výšek matice, podložky, desky a upínací desky kola.

Důležité je při návrhu rozvrhnout díry na desce tak, aby nenastala kolize hlav šroubů (které drží desku a kola pohromadě) a podstavce. Zároveň musí být umístěny díry pro šrouby, které drží pohromadě desku a podstavec, mimo oblast upnutí kol. Tloušťky desek jsou stejné jako upínací deska, tedy 15 mm.

3.3 Upínací přípravek - druhá verze



obr. 13.: upínací přípravek – druhá verze



obr. 14.: detail šroubového spojení

Druhá verze upínacího přípravku (obr. 13) je konstruována tak, aby byla co nejjednodušší a nejlevnější. Základní rám je stejný jako v první verzi návrhu, avšak rozdílný je způsob upnutí FD. Vlivem změny způsobu upnutí již nejsou zapotřebí podstavce a nejsou tedy navrženy ani vozíky.

Upnutí dolní části FD je zajištěno pomocí nosníku, který je ke zbytku konstrukce přimontován pomocí rohových spojek. Přimontován je kolmo k nosníkům umístěných pět set milimetrů nad zemí. Díky volnému prostoru, je možné upnout i zařízení různých tvarů, která nemají rovný spodek, protože nevádí, když bude část FD přesahovat pod úroveň nosníku.

Nyní je nutné vrtat díry do nosníku tak, aby bylo možné FD upnout stejně, jako byly upínány do podstavců (obr. 14). Do jednoho nosníku je možné vrtat i několik děr, které umožňují upnutí i více FD pomocí jednoho nosníku, avšak díry se nesmějí překrývat a nesmí být příliš blízko sebe, aby zásadně nenarušili nosnost nosníku. V tomto případě je vhodné díry barevně rozlišit, aby bylo jasné, jaké díry jsou vrtány pro konkrétní FD. Současně tím bude jasně vymezena poloha upnutého FD.

V případě největšího zkoušeného FD je nutné připojit ještě jeden nosník. A to z důvodu umístění děr pro upnutí ve spodní části, které jsou čtyři, rozmístěné tak, že FD není možné

upnout pouze k jednomu nosníku. Upnutí bude stejné jako upnutí do podstavce v návrhu první verze zařízení.

Horní polohovatelný pár nosníků je upevněn po stranách rámu upínacího přípravku. Kolmo na něj je připojen nosník, který je připojen opět rohovými spojkami. Do tohoto nosníku jsou vrtány díry, které budou určeny k určité velikosti a tvaru FD, který je upínán. Kolmý nosník je vhodné upevnit zespoda, protože síla, kterou jsou ramena namáhána, směřuje vzhůru.

Výjimku tvoří druhý nejmenší FD, který není možné tímto způsobem shora upnout. Pro tento případ je nutné ponechat pár nosníků, který je navržen v první verzi upínacího přípravku. Bližší údaje o rozměrech a zobrazení provedení je uvedeno v příloze č 2.

3.4 Zhodnocení dvou verzí návrhu upínacího přípravku

Výhodou první verze je jednoduchost upínání. Vždy je stejné a jednotné pro všechny velikosti. Barevně rozlišené díry pro šrouby zhotovené v upínací desce přesně vymezují polohu zkoušeného zařízení.

Pro tento způsob upínání na desku je nutné, aby jednotlivá zařízení měla svůj vlastní podstavec, do kterého budou upnuta. Díky tomu je možné jinak členité zařízení připevnit na rovnou desku. Výhodou těchto podstavců také je, že FD mohou stát bez jiné podpory bez rizika převážení a pádu. Díky zhotoveným podstavcům je také možné vytvořit jednoduchý vozík, který se skládá z koleček a ocelové desky, na kterou je následně upnut podstavec s FD stejným způsobem jako do upínacího zařízení.

Velkou nevýhodou je fakt, že FD je nutné v rámci jeho vývoje rozebírat. To v případě první varianty návrhu znamená pokaždé odmontovat zařízení z podstavce. To je nepraktické a protahuje se doba montáže a demontáže. Z tohoto důvodu a zvážení ekonomické náročnosti prvního návrhu, což vede k nutnosti návrhu druhé varianty, kde je hlavním kritériem jednoduchost.

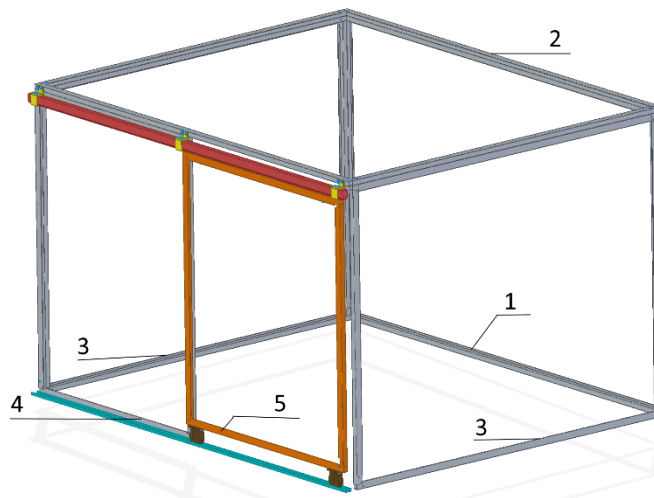
Výhodami druhé verze upínacího zařízení je již zmíněná jednoduchost a menší ekonomická náročnost. Zařízení je ochuzeno o upínací desku, která je nahrazena polohovatelným nosníkem ve vodorovném směru. Díky tomuto kroku sice nebude jednotná

montáž, ale odpadá nutnost vlastního podstavce, protože výčňelky FD mohou přesahovat pod nosník.

Výhodná je také skutečnost, že po demontáži FD z upínacího přípravku je možné ihned FD rozebrat bez další demontáže z podstavce.

Nevýhodou je, že vlivem absence podstavců není možné vytvořit jednoduchý vozík, který usnadňuje manipulaci s FD na pracovišti. Nevýhodou je také zvýšená náročnost upínání FD do upínacího zařízení.

4 Vnější ochranná konstrukce



obr. 15.: vnější ochranná konstrukce

Pro ochranu osob při probíhajících zkouškách na upínacím přípravku je vhodné vytvořit konstrukci, která bude vyplněna pletivem. Díky tomu bude chránit pracovníky například při defektu na rotující vrtuli.

Ochranná konstrukce (obr. 15) se skládá ze zadního (1), vrchního (2) a dvou bočních svařenců (3). Dále je součástí přední část, která je rozdělena na dvě poloviny, kde levá část (4) je svařenec. Pravá část (5) je svařenec, který plní funkci brány, je tedy pohyblivou částí. Z transportních důvodů se celá konstrukce smontuje až na místě šrouby. A na konec se odstraní několik ok ochranného pletiva kvůli vyvedení kabeláže.

Ochranná konstrukce by neměla omezovat manipulaci při instalaci FD do upínacího přípravku. Tudíž je nutné zvolit rozměry tak, aby bylo mezi upínacím přípravkem a ochrannou konstrukcí dostatek místa pro manipulaci jak ze stran, tak zepředu. Zezadu není zapotřebí jakýkoli manipulační prostor. Zároveň není nutné, aby výška konstrukce převyšovala upínací přípravek více, než je nezbytně nutné pro montáž.

Minimální prostor na průchod branou je udáván rozměry největšího FD, tedy 1080x800 mm. Protože brána ke zkušebnímu zařízení není umístěna uprostřed ochranné konstrukce, je nutné uvažovat manipulační prostoru uvnitř konstrukce takový, aby se bylo možné s FD uvnitř otočit. Respektive minimální vzdálenost přední strany ochranné konstrukce a přední strany upínacího přípravku by měla být větší než úhlopříčka rozměrů FD

(1080x800). Proto je vhodné uvažovat vzdálenost brány od zkušebního zařízení minimálně 1600 mm. Sestava vnější ochranné konstrukce je uvedena v příloze č. 3.

4.1 Svařenec

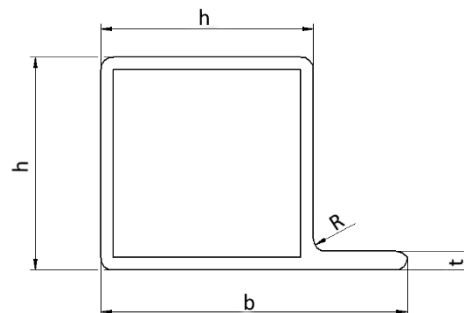
Svařenec je tvořen čtyřhrannou dutou tyčí s praporkem (obr. 16). Praporek slouží k následnému přivaření pletiva. Svařence jsou prakticky stejné, liší se pouze ve své celkové délce a výšce. Tudíž jsou použity stejné polotovary, ale rozdílných rozměrů. Tyče jsou vybrány z katalogu firmy Z-Group Steel Holding, a.s. [7]

$$h = 34 \text{ mm}$$

$$b = 49 \text{ mm}$$

$$t = 3 \text{ mm}$$

$$R = 2 \text{ mm}$$

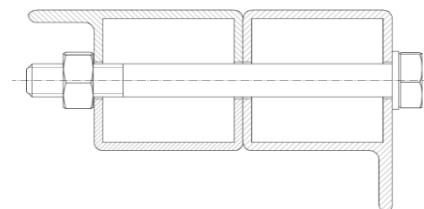


obr. 16.: čtyřhranná tyč s praporkem

Jednotlivé části jsou k sobě svařeny kombinací tupého a koutového svaru. Vnitřní strany vzniklého svařence jsou spojeny koutovým svarem, zbylé stěny profilu jsou spojeny svarem tupým. Uvažovaná zatěžovací síla $F = F_1 = F_2 = F_3 = 500 \text{ N}$ je uvažována ve směrech, které jsou schematicky naznačeny v obrázcích, které doprovází výpočty. Pletivo je ke svařenci přivařeno bodovými svary. Materiál duté tyče je ocel 11320. Jednotlivé svary jsou počítány v kapitole 5.2 Výpočty svarů. Rozměrové detaily jednotlivých svařenců jsou uvedeny v příloze č. 4.

4.2 Šroubové spojení

Po vytvoření všech svařenců je nutná jejich montáž dohromady, která probíhá až na pracovišti z důvodu manipulace a skladnosti. Konstrukce je smontována šrouby s metrickými závity M8x80 (obr.17). Ochranná konstrukce nebude dynamicky namáhána, proto šrouby slouží pouze ke spojení. Šroubové spojení je počítáno v kapitole 5.3 Výpočet šroubového spojení svařenců. Údaje o umístění, počtu šroubových spojů apod. je uvedeno v příloze č. 3.

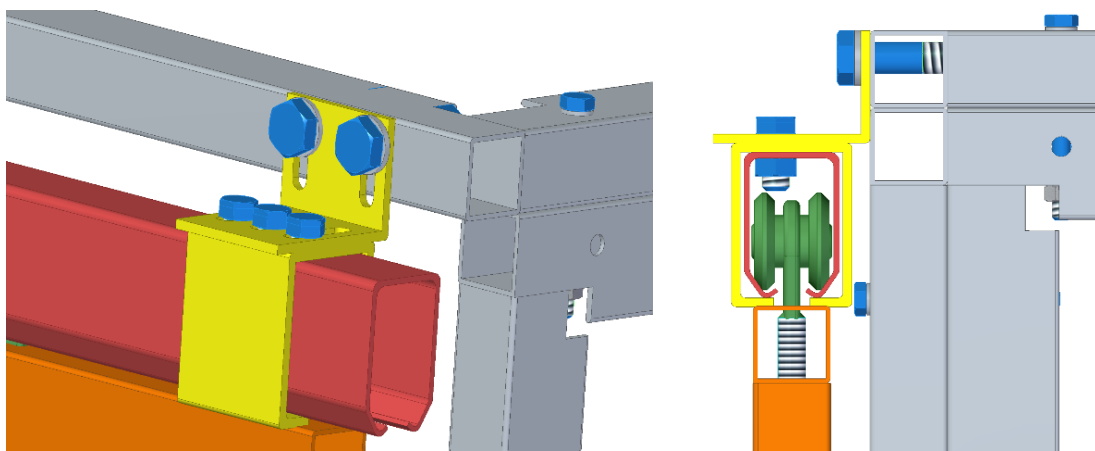


obr. 17.: spojení dvou profilů

4.2.1 Průhyb profilu

Průhyb v_b je způsoben šroubovým spojením dvou profilů (obr. 17), které vytváří osovou sílu působící kolmo na stěnu profilu. V kapitole 5.4 Výpočet průhybu je znázorněné schéma situace pro následný výpočet. Stěnu profilu s tloušťkou 3 mm, která je kolmá na osu šroubu a je ve styku s hlavou šroubu, uvažujeme jako jednoduchý nosník obdélníkového průřezu. Ve výpočtu pomocí Mohrova integrálu používáme tzv. jednotkový moment zapříčiněný jednotkovou silou („1“), která je volena do místa vyšetřovaného průhybu.

4.3 Brána



obr. 18.: připojení brány ke konstrukci

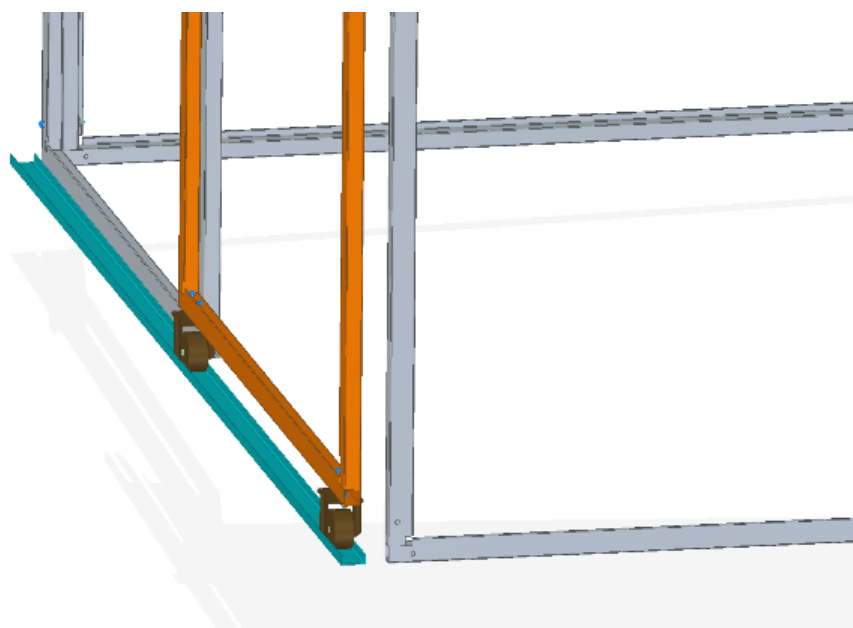
obr. 19.: připojení brány ke konstrukci - vozík

Ochranná konstrukce musí být při chodu FD uzavřena. Zároveň musí být možné do vnitřního prostoru vnést a vynést FD. Dále by brána měla při otevření co nejméně zasahovat mimo prostor vyhrazený pro zkušební zařízení. Průchod musí mít dostatečné rozměry na to, aby skrze něj prošlo i největší zkoušené zařízení. Proto je vhodná varianta brány, kde je přední část ochranné konstrukce rozdělena na stejně široké svařence. Levá část je spojena šrouby stejně jako v případě ostatních svařenců. Pravá přední část je vedena v kolejkách, které umožňují její plynulý pohyb při otevírání. Při plném otevření se budou obě přední části překrývat, tudíž budou zabírat co možná nejméně prostoru.

Posuv brány zajišťuje několik nakupovaných dílů (obr. 18), které jsou spojeny šrouby. Do horní části svařence, kterým je pohyblivá část konstrukce, jsou vrtány díry pro upevnění „vozíku“, který je dimenzován na maximální zatížení 180 kg. „Vozík“ je součástí, která slouží k realizaci posuvu brány (obr. 19). Na jednom konci „vozíku“ je vytvořen závit pro upevnění

do pohyblivé konstrukce a na konci druhém se nachází kolečka, která se pohybují ve vodícím profilu.

Vodící profil je vidět na obr.19 a je vybarven červenou barvou. Tento profil je připevněn k ochranné konstrukci pomocí držáku vodícího profilu, který je na obr. 18 a obr. 19 vybarven žlutou barvou. V tomto případě jsou použity tři kusy, na každé straně brány jeden a jeden uprostřed. Držák uprostřed je připevněn šrouby pouze k vrchnímu svařenci, plní pouze podpůrnou funkci vodícímu profilu, aby nenastal jeho nadměrný průhyb. Šrouby spojující vodící profil a držák vodícího profilu zabraňují pohybu vodícího profilu a jsou součástí pouze krajních držáků. Šrouby, které držák spojují s konstrukcí, jsou spočteny v kapitole 5.5 Výpočet šroubů k připevnění brány. Všechny součásti zmíněné v kapitole 4.3 Brána jsou nakupovány z internetového obchodu www.kovopolotovary.cz. [8]



obr. 20.: dolní část brány

Dolní část brány zajišťující posuvný pohyb se skládá z U-profilu a dvou kol, které je možné vidět již přimontované k bráně na obr. 20. Je důležité vybrat taková kola, aby část kola, která vyčnívá přes hranu brány, nebyla větší, než vzdálenost mezi rámem ochranné konstrukce a branou. Tato mezera vznikne díky montáži vodícího profilu a držáku vodícího profilu, tedy 17 mm. Vybrané kolo tento parametr s celkovou šířkou 54 mm splňuje, protože její přesah je dán rozdílem šířky profilu a kola, tedy 30 mm. To znamená, že přesah kola na jedné straně je 15 mm.

Kola jsou neotočná, spojená se svařencem šrouby M14x50. Rozteč otvorů v upínací desce je 24x71 mm. Průměr kola je $\varnothing d = 65 \text{ mm}$ s celkovou výškou 83 mm. Tento typ kol je z polypropylenu s ocelovou konstrukcí a nosností 120 kg. Kola jsou kupována na internetové prodejně www.tente.com [9].

Délka U-profilu je rovna celkové šířce ochranné konstrukce. Díky tomu, že kola nejsou přimontována zároveň s okrajem brány, nejsou konce U-profilu využité. To vytváří prostor pro upevnění profilu, který je možné připevnit buď k zemi nebo k ochranné konstrukci. Profil je kupován na internetové stránce www.ferona.cz. [5]

5 Výpočty

5.1 Výpočet šroubů spojujících desku a nosník

$$\sigma_{Q_0} = \frac{Q_0}{S_3} \leq \nu \cdot \sigma_{Kt} \quad (1)$$

Kde S_3 je průřez jádra šroubu, ν je míra využití meze kluzu a mez kluzu σ_{Kt} zjistíme ze zvolené jakostní skupiny. Šroub je zvolen podle tabulek. Dle rozměrů spojovaných profilů je nutnou podmínkou, aby šroub byl delší než součet šířky obou profilů podložky a matky. Další podmínkou je, aby hlava šroubu měla svou max. šířku (v tabulkách kóta e) menší než šířka profilu (tzn. $e \leq 34$ mm).

Šroub je zvolen M8. Je to nejmenší průměr s normalizovanou délkou šroubu 80 mm.

Dále je možné počítat:

$$Q_0 = S_3 \cdot \nu \cdot \sigma_{Kt} \quad (2)$$

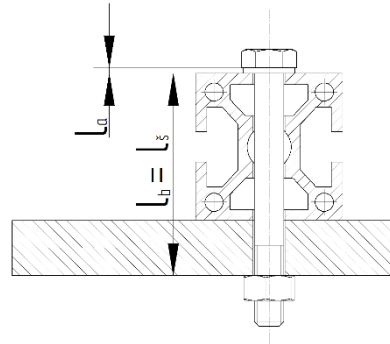
Kde ν je součinitel využití meze kluzu, $\nu = 0,7$. Dále σ_{Kt} je mezí kluzu, která je pro námi zvolený materiál šroubu (ocel 11373) $\sigma_{Kt} = 390MPa$ a průřez jádra šroubu S_3 je spočítán jako:

$$S_3 = \pi \frac{d_3^2}{4} \quad (3)$$

Takže výpočet Q_0 je:

$$Q_0 = \pi \frac{d_3^2}{4} \cdot \nu \cdot \sigma_{Kt} = \pi \frac{6,466^2}{4} \cdot 0,7 \cdot 390 = 8964,5N \quad (4)$$

Q_0 redukuji na $Q_0 = 8,9kN$



obr. 21.: spojení šroubu s deskou

Axiální síla Q_0 zajišťuje kompaktnost (těsnost) spoje za provozu. Velikost Q_0 musí být tak velká, aby po zatížení spoje provozní silou působilo ve spoji dostatečně velké zbytkové předpětí sevřených částí, které zajišťuje potřebnou silovou vazbu stykových ploch. [6]

$Q_0 = 8,9kN$ je maximální možná osová síla, která zajistí správnou funkci spoje. Reálná hodnota musí být menší nebo rovna této hodnotě.

Hodnotu působící ve spoji můžeme spočítat díky materiálovým konstantám odlehčováných a přitěžovaných částí. Kde C_1 je konstanta odlehčovací části a C_2 je pro přitěžovací část, l je délka oblasti uvažované v jednotlivých výpočtech (obr.21), S je plocha průřezu.

$$C = \frac{E \cdot S}{l} \quad (5)$$

$$\frac{1}{C_1} = \frac{1}{C_s} + \frac{1}{C_{Ta}} = \left(\frac{E \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot d_3)^2}{4 \cdot l_b} \right)^{-1} + 2 \cdot \left(\frac{E \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2)}{4 \cdot l_a} \right)^{-1} \quad (6)$$

$$C_1 = \frac{4 \cdot 55}{2,1 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot (0,9 \cdot 6,466)^2} + 2 \cdot \frac{4 \cdot 1,6}{2,1 \cdot 10^5 \cdot \pi \cdot ((2,2 \cdot 9)^2 - 81)} = 100916,0978 \quad (7)$$

$$C_2 = C_{tb} = \frac{E \cdot \pi \cdot (D^2 - d_3^2)}{4 \cdot l} = 932744,57 \quad (8)$$

$$Q_{0N} = 1,25 \cdot 10^3 \cdot \left(q + \frac{C_2}{C_1 + C_2} \right) < Q_0 \quad (9)$$

$$1,25 \cdot 10^3 \cdot \left(1,3 + \frac{932744,6}{100916,1 + 932744,57} \right) < 8,9 \cdot 10^3 \quad (10)$$

$$2,75 < 8,9 \quad (11)$$

Z nerovnosti vidíme, že skutečná osová síla je menší.

5.1.1 Výpočet kroutících momentů

$$tg\gamma = \frac{P}{d_2 \cdot \pi} = \frac{1,25}{7,188 \cdot \pi} = 0,055354 \quad (12)$$

$$tg\varphi' = f' = 0,15 \quad (13)$$

$$tg(\gamma + \varphi') = tg\gamma + tg\varphi' = 0,20535 \quad (14)$$

$$tg(\gamma - \varphi') = tg\gamma - tg\varphi' = -0,0946 \quad (15)$$

$$\delta = d + (1 \div 2) = 8 + 2 = 10mm \quad (16)$$

$$\rho_M = \frac{s_{jmen} + \delta}{4} = \frac{13 + 10}{4} = 5,75mm \quad (17)$$

$$\rho_H = \frac{e + \delta}{4} = \frac{15 + 10}{4} = 6,25mm \quad (18)$$

Nyní budou počítány momenty M_{kz} , M_{kz}' , M_{TM} , M_{Tz} , M_{KK} a M_{KK}' . M_{kz} je utahovací moment v závitě, M_{kz}' je povolovací moment v závitě, M_{TM} je třecí moment pod maticí, M_{TH} je utahovací moment šroubu za hlavou. M_{KK} a M_{KK}' je utahovací, respektive povolovací moment na klíči, který je dán jako:

$$M_{kk} = M_{kz} + M_{Tz} \quad (19)$$

$$M_{kk}' = M_{kz}' + M_{Tz}' = M_{kz}' - M_{Tz} \quad (20)$$

$$M_{kz} = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg(\gamma + \varphi') \quad (21)$$

$$M_{kz} = 8900 \cdot \frac{0,007188}{2} \cdot 0,20535 = 6,56848Nm \quad (22)$$

$$M_{kz} = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg(\gamma - \varphi') \quad (23)$$

$$M_{kz}' = 8900 \cdot \frac{0,007188}{2} \cdot (-0,0946) = -3,02593 Nm \quad (24)$$

$$M_{TM} = Q_0 \cdot f_M \cdot \rho_M \quad (25)$$

Kde je třecí koeficient f_M zvolen 0,1.

$$M_{TM} = 8900 \cdot 0,1 \cdot 0,00575 = 5,1175Nm \quad (26)$$

$$M_{Tz} = Q_0 \cdot f_H \cdot \rho_H \quad (27)$$

Kde je třecí koeficient f_H zvolen 0,15.

$$M_{Tz} = 8900 \cdot 0,15 \cdot 0,00625 = 8,34375Nm \quad (28)$$

Nyní dosadíme vypočtené momenty do vztahů pro momenty na klíči.

$$M_{kk} = M_{kz} + M_{Tz} \quad (29)$$

$$M_{kk} = 6,56848 + 5,175 = 11,81725Nm \quad (30)$$

$$M_{kk}' = M_{kz}' + M_{Tz}' \quad (31)$$

$$M_{kk}' = -3,059932 - 8,34375 = -11,403682Nm \quad (32)$$

Porovnáním momentů posoudíme, jaký moment zůstane v dříku šroubu po montáži, protože na konci montáže dojde k protočení pod maticí a k poklesu M_{kz} na M_{TM} . Musí tedy platit:

$$M_{Tz} > M_{kz} > M_{TM} \quad (33)$$

$$8,4375 > 6,642251 > 5,1175 \quad (34)$$

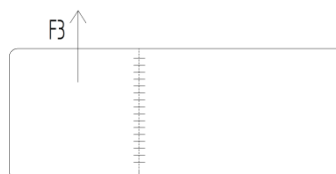
Dokázali jsme, že výše zmíněná nerovnost platí. Po montáži v závitě zůstane krouticí moment $M_{TM} = 5,1175Nm$.

5.2 Výpočty svarů

5.2.1 Koutový svar

Nyní je počítán koutový svar pro $h = 34$ mm (obr. 16) a F je síla, jejíž směr je blíže specifikovaný ve schématech na obr. 22, obr. 23 a obr. 24. Počítaný rozměr a je výška svaru.

5.2.1.1 Pro F_3 :



obr. 22.: schéma koutového svaru

Pro pevnostní výpočet svaru, kde síla je rovnoběžná s osou svaru, je nutné vypočítat dvě smyková napětí τ_{k_3} a τ_{r_3} . Výsledné napětí tvoří pevnostní podmínku s dovolenou mezí kluzu $\sigma_{kt} = 600MPa$, bezpečností $k = 2$ a koeficientem úměrnosti $\beta = 1,3 - 0,03t$. Kde α_k a α_r jsou převodní součinitelé.

$$\tau_{k_3} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot l}{\frac{l \cdot h^2}{6}} = \frac{500 \cdot 6}{34^2} = 2,5891557MPa \quad (35)$$

$$\tau_{r_3} = \frac{F}{a \cdot h} = \frac{500}{a \cdot 34} \quad (36)$$

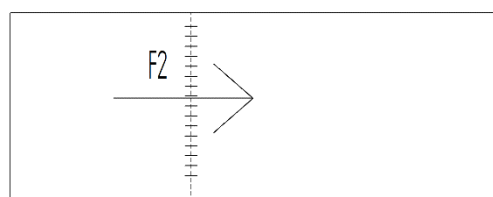
$$\tau_{sv} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{k_3}}{\alpha_k}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{r_3}}{\alpha_r}\right)^2} \leq \alpha \cdot \sigma_D = \beta \cdot \frac{\sigma_{kt}}{k} \quad (37)$$

$$\sqrt{\left(\frac{2,5891557}{0,6}\right)^2 + \left(\frac{500}{a \cdot 34}\right)^2} = (1,3 - 0,03 \cdot 2) \cdot \frac{600}{2} \quad (38)$$

$$\left(\frac{500}{a \cdot 34}\right)^2 = 138304 - 18,70786988 \quad (39)$$

$$a_{min} = 0,079069mm \quad (40)$$

5.2.1.2 Pro F_2 :



obr. 23.: schéma koutového svaru

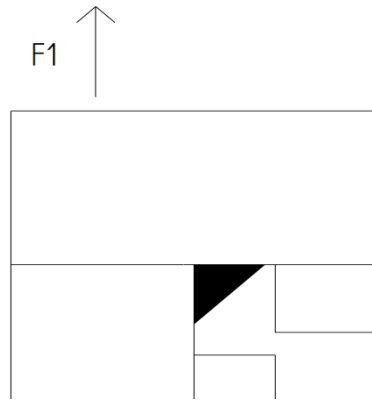
K pevnostnímu výpočtu svaru, kde působící síla je kolmá na osu svaru, je opět nutné znát základní veličiny, jako rozměry a dovolené napětí. U tohoto typu zatížení svaru se počítá smykové napětí τ_{k_1} , s kterým v kombinaci s pevnostní podmínkou, kde převodní součinitel $\alpha_{tk} = 0,65$, můžeme vypočítat minimální nutnou výšku svaru.

$$\tau_{k_1} = \frac{F}{a \cdot h} \leq \alpha_{tk} \cdot \sigma_D \quad (41)$$

$$\frac{500}{a \cdot 34} \leq 0,65 \cdot 600 \quad (42)$$

$$a_{min} = 0,0377074mm \quad (43)$$

5.2.1.3 Pro F_1 :



obr. 24.: schéma koutového svaru

Posledním případem zatížení koutového svaru je síla, která působí v rovině kolmé k zemi. Nyní potřebujeme vyšetřit smyková τ_{k_1} a τ_{r_3} . Výsledné napětí, je opět zasazené do pevnostní podmínky, z které vyvozujeme minimální výšku svaru.

$$\tau_{k_1} = \frac{M_o}{W_o} = \frac{F \cdot l}{\frac{l \cdot h^2}{6}} = \frac{500 \cdot 6}{34^2} = 2,5891557MPa \quad (44)$$

$$\tau_{r_3} = \frac{F}{a \cdot h} = \frac{500}{a \cdot 34}MPa \quad (45)$$

$$\tau_{sv} = \sqrt{\left(\frac{\tau_{k_3}}{\alpha_k}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{r_3}}{\alpha_r}\right)^2} \leq \alpha \cdot \sigma_D = \beta \cdot \frac{\sigma_{kt}}{k} \quad (46)$$

$$\left(\frac{500}{\frac{a \cdot 34}{0,5}}\right)^2 = 138304 - 18,70786988 \quad (47)$$

$$a_{min} = 0,079069mm \quad (48)$$

Z technologických důvodů svar volím větší. Obecně se udává výška koutového svaru jako:

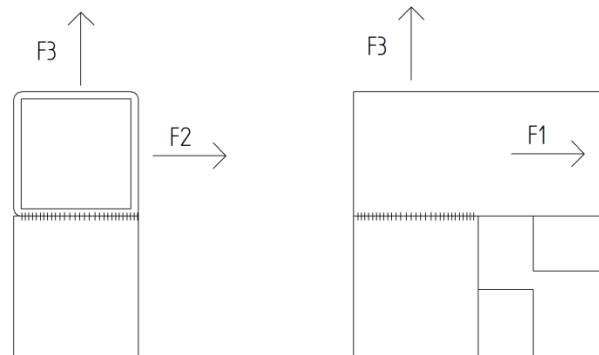
$$a = (0,5 \div 0,7)t \quad (49)$$

$$a = 0,7 \cdot 2 = 1,4mm \quad (50)$$

$a \leq a_{min} \gg$ svar pevnostně vyhovuje

5.2.2 Návrh tupého svaru

Parametry tupého svaru se silou jsou znázorněny na schématu (obr. 25):



obr. 25.: schéma tupého svaru

5.2.2.1 Pro F_3

$$\sigma_D = \frac{F}{s \cdot l} = \frac{500}{4 \cdot 34} = 3,676470588 \text{MPa} \quad (51)$$

$$\frac{\sigma_k}{\alpha_k} \leq \sigma_D, \text{ kde } \alpha_k = 0,85 \quad (52)$$

$4,325259596 \leq 300 \gg \text{vyhovuje}$

5.2.2.2 Pro F_1

Pokud síla působí ve směru svaru, mimo osu, vzniká tahové a smykové pnutí.

tah:

$$\sigma_{tr} = \frac{F}{s \cdot b} = \frac{500}{4 \cdot 34} = 3,676470588 \text{MPa} \quad (53)$$

$$\frac{\sigma_{tr}}{\alpha_r} \leq \sigma_D, \alpha_r = 1 \quad (54)$$

$3,68 \leq 300 \gg \text{vyhovuje}$

smyk:

$$\tau = \frac{F}{s \cdot l} = \sigma_{tr} = 3,676470588 \text{MPa} \quad (55)$$

5.2.2.3 Pro F_2

$$\sigma_{tr} = \frac{F}{s \cdot b} = \frac{500}{4 \cdot 34} = 3,676470588 \text{MPa} \quad (56)$$

$$\frac{\sigma_{tr}}{\alpha_r} \leq \sigma_D, \alpha_r = 1 \quad (57)$$

$3,68 \leq 300 \gg$ *vyhovuje*

Pro tloušťky $\leq 4mm$ je $b \cong t$. Tloušťka svářeného jeklu je $t = 2mm$, tudíž $b = 2mm$.

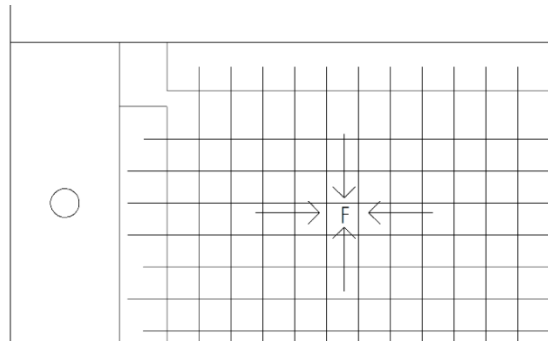
5.2.3 Návrh bodově přivaření ochranného pletiva

Parametry:

$\varnothing d = 3mm$... průměr drátu

$F=1000$ N

i ... počet bodových svarů



obr. 26.: schéma bodově přivařeného pletiva

$$\tau = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot i} \leq \alpha_\tau \cdot \sigma_D \quad (58)$$

$$i_{min} = \frac{4 \cdot F}{\alpha_\tau \cdot \sigma_D \cdot \pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 1000}{0,65 \cdot 600 \cdot \pi \cdot 3^2} = 0,362930299 \quad (59)$$

Minimální počet bodových svarů (obr. 26) je 1. Zvolím přivařování mřížky k praporku jeklu zhruba po 10 cm.

5.3 Výpočet šroubového spojení svařenců

5.3.1 Volba šroubu a návrh montážního předpětí Q_0

Montážní předpětí určíme z pevnostní podmínky:

$$\sigma_{Q_0} = \frac{Q_0}{S_3} \leq v \cdot \sigma_{Kt} \quad (59)$$

Kde S_3 je průřez jádra šroubu, v je míra využití meze kluzu a mez kluzu σ_{Kt} zjistíme ze zvolené jakostní skupiny. Šroub zvolím podle tabulek. Dle rozměrů spojovaných profilů je nutnou podmínkou, aby šroub byl delší než součet šířky obou profilů podložky a matky. Další podmínkou je, aby hlava šroubu měla svou max. šířku (v tabulkách kóta e) menší než šířka profilu (tzn. $e \leq 34$ mm). Šroub jsem zvolil M8.

Dále mohu počítat:

$$Q_0 = S_3 \cdot \nu \cdot \sigma_{Kt} \quad (60)$$

Kde ν je součinitel využití meze kluzu volený $\nu = 0,75$. Dále σ_{Kt} je mezí kluzu, která je pro zvolený materiál šroubu (ocel 11373) $\sigma_{Kt} = 390MPa$ a průřez jádra šroubu S_3 je počítán jako:

$$S_3 = \pi \frac{d_3^2}{4} \quad (61)$$

Takže výpočet Q_0 je:

$$Q_0 = \pi \frac{d_3^2}{4} \cdot \nu \cdot \sigma_{Kt} = \pi \frac{6,466^2}{4} \cdot 0,75 \cdot 390 = 9604,77N \quad (62)$$

Q_0 redukuji na $Q_0 = 9kN$

5.3.2 Určení geometrických charakteristik šroubového spoje

Následně určím geometrické charakteristiky závitu, které dále použiji k určení kroutících momentů. Kde úhel γ je úhlu stoupání a úhel φ' je třecí úhel.

$$tg\gamma = \frac{P}{d_2 \cdot \pi} = \frac{1,25}{7,188 \cdot \pi} = 0,055354 \quad (63)$$

$$tg\varphi' = f' = 0,15 \quad (64)$$

$$tg(\gamma + \varphi') = tg\gamma + tg\varphi' = 0,20535 \quad (65)$$

$$tg(\gamma - \varphi') = tg\gamma - tg\varphi' = -0,0946 \quad (66)$$

$$\delta = d + (1 \div 2) = 8 + 2 = 10mm \quad (67)$$

$$\rho_M = \frac{S_{jmen} + \delta}{4} = \frac{13 + 10}{4} = 5,75mm \quad (69)$$

$$\rho_H = \frac{e + \delta}{4} = \frac{15 + 10}{4} = 6,25mm \quad (68)$$

5.3.3 Výpočet kroutících momentů

Nyní spočítáme momenty, které jsou již popsány v kapitole 5.1.1.

$$M_{kk} = M_{kz} + M_{Tz} e \quad (69)$$

$$M_{kk}' = M_{kz}' + M_{Tz}' = M_{kz}' - M_{Tz} \quad (70)$$

Nejprve určíme momenty na v závitů a pod maticí:

$$M_{kz} = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi') \quad (71)$$

$$M_{kz} = 9000 \cdot \frac{0,007188}{2} \cdot 0,20535 = 6,642251 Nm \quad (72)$$

$$M_{kz} = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot \operatorname{tg}(\gamma - \varphi') \quad (73)$$

$$M_{kz}' = 9000 \cdot \frac{0,007188}{2} \cdot (-0,0946) = -3,059932 Nm \quad (74)$$

$$M_{TM} = Q_0 \cdot f_M \cdot \rho_M \quad (75)$$

Kde třecí koeficient f_M volím 0,1.

$$M_{TM} = 9000 \cdot 0,1 \cdot 0,00575 = 5,175 Nm \quad (76)$$

$$M_{TZ} = Q_0 \cdot f_H \cdot \rho_H \quad (79)$$

Kde třecí koeficient f_H volím 0,15.

$$M_{TZ} = 9000 \cdot 0,15 \cdot 0,00625 = 8,4375 Nm \quad (77)$$

Nyní dosadíme vypočtené momenty do vztahů pro momenty na klíči.

$$M_{kk} = M_{kz} + M_{TM} \quad (78)$$

$$M_{kk} = 6,642251 + 5,175 = 11,81725 Nm \quad (79)$$

$$M_{kk}' = M_{kz}' + M_{TZ}' \quad (80)$$

$$M_{kk}' = -3,059932 - 5,175 = -8,234862 Nm \quad (81)$$

Porovnáním momentů posoudíme, jaký moment zůstane v dřívku šroubu po montáži, protože na konci montáže dojde k protočení pod maticí a k poklesu M_{kz} na M_{TM} . Musí tedy platit:

$$M_{Tz} > M_{kz} > M_{TM} \quad (82)$$

$$8,4375 > 6,642251 > 5,175$$

Dokázali jsme, že výše zmíněná nerovnost platí. Po montáži v závitu zůstane kroutící moment $M_{TM} = 5,175Nm$.

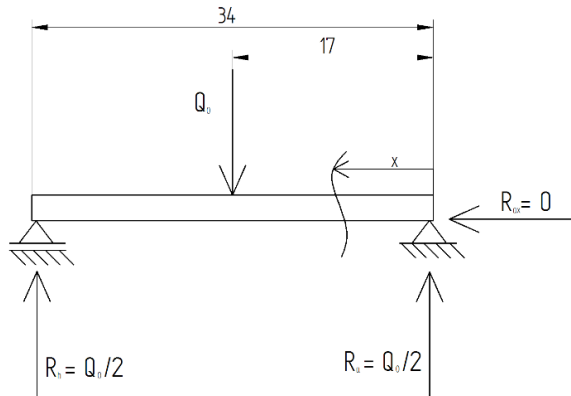
5.3.4 Výpočet účinnosti η_z a η_c

kde η_z je účinnost závitů a η_c je celková účinnost.

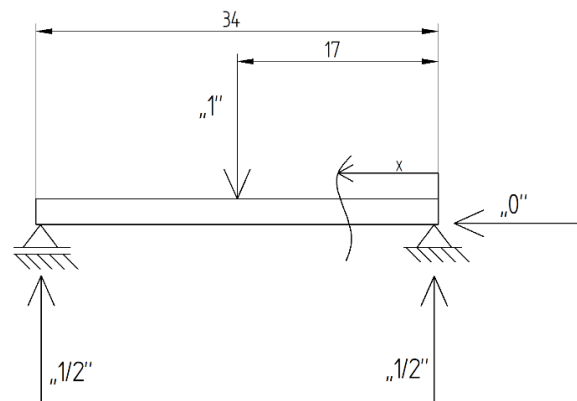
$$\eta_z = \frac{tg\gamma}{tg(\gamma + \varphi')} \cdot 100 = \frac{0,055354}{0,20535} \cdot 100 = 26,95\% \quad (83)$$

$$\eta_c = \frac{tg\gamma}{tg(\gamma + \varphi') + \frac{2 \cdot \rho_M}{d_2} \cdot f_M} \cdot 100 = \frac{0,055354}{0,20535 + \frac{2 \cdot 5,75}{7,188} \cdot 0,1} \cdot 100 = 15,15\% \quad (84)$$

5.4 Výpočet průhybu



obr. 28.: schéma výpočtu pro průhyb



obr. 27.: schéma výpočtu pro průhyb s jednotkovou silou

Na obr. 27 a obr. 28 je schématicky znázorněna situace síly vzniklé šroubovým spojením působící na stěnu profilu. Zatěžovací síla je $Q_0 = 9000N$. Síly R_a a R_b jsou reakční síly, které reprezentují uložení nosníku. Modul pružnosti v tahu je $E = 2,1 \cdot 10^5$

$$v_b = \frac{1}{E \cdot J} \int M(x) \cdot m(x) dx \quad (89)$$

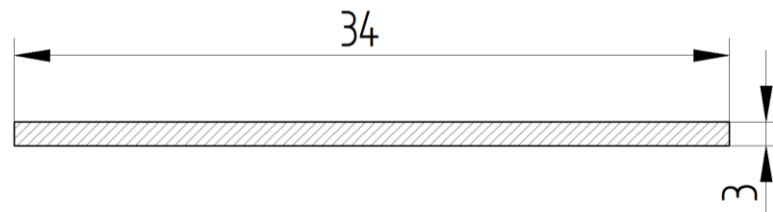
$$v_b = \frac{1}{E \cdot J} \int_0^{17} \left(\frac{Q_0 \cdot x}{2} \right) \left(\frac{x}{2} \right) dx + \frac{1}{E \cdot J} \int_0^{17} \left[(17 + x_2) \left(\frac{Q_0}{2} \right) - Q_0 \cdot x_2 \right] \left(\frac{17 + x_2}{2} - x_2 \right) dx_2 \quad (85)$$

$$v_b = \frac{1}{E \cdot J} \int_0^{17} \left(\frac{Q_0 \cdot x^2}{4} \right) dx + \frac{1}{E \cdot J} \int_0^{17} \left(\frac{17Q_0}{2} - \frac{Q_0 \cdot x_2}{2} \right) \left(\frac{17 - x_2}{2} \right) dx_2 \quad (86)$$

$$v_b = \frac{1}{E \cdot J} \left[\frac{9000 \cdot 17^3}{4 \cdot 3} + \int_0^{17} \left(\frac{Q_0(17 - x_2)^2}{4} \right) dx_2 \right] \quad (87)$$

$$v_b = \frac{1}{E \cdot J} \left[3684750 + 2250 \int_0^{17} 17^2 dx_2 - \int_0^{17} 34x_2 dx_2 + \int_0^{17} x_2^2 dx_2 \right] \quad (88)$$

$$v_b = \frac{1}{E \cdot J} [3684750 + 2250(4913 + 1637,7 - 4913)] = \frac{3684825}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 76,5} = 0,229mm \quad (89)$$



obr. 29.: řez nosníku

Průřezový modul v ohybu J pro profil zjednodušeného nosníku (obr. 29), který je použitý v předchozích výpočtech průhybu, je vypočítán pomocí vzorce pro obdélníkový průřez, kde h je výška nosníku a rozměr b je jeho šířka, jako:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{3^3 \cdot 34}{12} = 76,5mm^4 \quad (90)$$

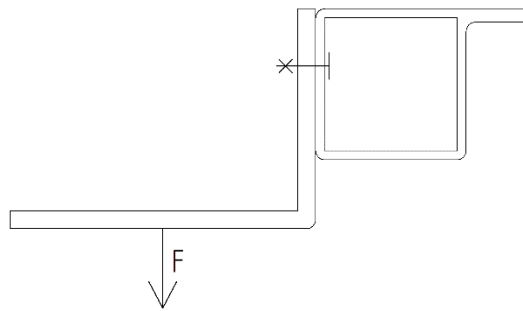
5.5 Výpočet šroubů k připevnění brány

Nejprve je nutné spočítat hmotnost dveří, kterou budou muset šrouby zvládnout. Rozměry k určení objemu vyčteme z výkresu svařence.

$$m' = V \cdot g \cdot \rho \quad (91)$$

Hmotnost zvolená k výpočtu je mnohem vyšší než reálná a je zvolena 300kg.

$$m = m' + m_{pletiva} = 300kg \quad (92)$$



obr. 30.: spojení profile a držáku

$$F = \frac{F'}{6} = \frac{3000}{6} = 500N \quad (93)$$

Celková síla působící kolmo k ose šroubu (obr. 30) je vydělena počtem šroubů, tedy vyjde síla F , která působí na jeden šroub. Po určení síly je možné počítat šrouby na stříh kde vycházíme ze základní podmínky:

$$\frac{F \cdot k}{S} = 0,6 \cdot \sigma_{Kt} \quad (99)$$

Kde S je plocha řezu šroubu, F je síla a k je bezpečnost a σ_{Kt} je mez kluzu, která je 20MPa při počítání na stříh. Z tohoto vzorce je možné vyjádřit průměr šroubu.

$$d_3' = \sqrt{\frac{F \cdot k \cdot 4}{\pi \cdot 0,6 \cdot \sigma_{Kt}}} = \sqrt{\frac{500 \cdot 2 \cdot 4}{\pi \cdot 0,6 \cdot 20}} = 10,3mm \quad (94)$$

Nejbližší vyšší závit pro vypočtený průměr je M14. Nyní je možné spočítat sílu Q_0 a úhel stoupání s třecím momentem, které jsou nutné k výpočtu kroutících momentů:

$$Q_0 = S_3 \cdot v \cdot \sigma_{Kt} = \pi \frac{d_3^2}{4} \cdot v \cdot \sigma_{Kt} = \frac{\pi \cdot 133,31}{4} \cdot 0,75 \cdot 390 = 30625,2N \quad (95)$$

Kde $\sigma_{Kt} = 390MPa$ a $v = 0,75$.

$$tg\gamma = \frac{P}{d_2 \cdot \pi} = \frac{2}{12,701 \cdot \pi} = 0,05012359 \quad (96)$$

$$tg\varphi' = f' = 0,15 \quad (97)$$

$$M_{kk} = M_{kz} + M_{Tz} \quad (98)$$

$$M_{kz} = Q_0 \cdot \frac{d_2}{2} \cdot tg(\gamma + \varphi') = 30625,2 \cdot \frac{12,701}{2} \cdot tg(0,05012359 + 0,15) = 679,3Nmm \quad (99)$$

$$M_{Tz} = Q_0 \cdot f_H \cdot \rho_H = 30625,2 \cdot 0,15 \cdot 9,5 \cdot 10^{-6} = 43,64 Nmm \quad (100)$$

$$M_{kk} = 679,3 + 43,64 = 722,94 Nmm \quad (101)$$

$M_{kk} = 722,9 Nmm$ je utahovací moment, který je nutný ke nutnému zbytkovému předpětí ve šroubu.

6 Závěr

V práci jsem se zabýval návrhem upínacího přípravku, který bude sloužit k upínání fan-drive. Zařízení bylo nutné navrhnout tak, aby bylo polohovatelné a bylo možné na něj upínat FD všech typů a velikostí, které jsou testované. Vznikly dvě verze.

V prvním verzi je upínací přípravek navržen s upínací deskou, na kterou jsou jednotlivé FD přišroubovány. Výhody tohoto způsobu připevnění jsou dvě. Připevňování je vždy stejné a jednotné pro všechny velikosti. Dále díry pro šrouby v desce přesně vymezují polohu zkoušeného zařízení, která je vždy stejná, protože jednotlivé polohy děr jsou určeny tak, aby při montáži vyhovovaly vždy specifické velikosti FD. Pro tento způsob upínání na desku je nutné, aby jednotlivé FD měly svůj vlastní podstavec, do kterého budou upnuty. Díky tomu je možné jinak členité zařízení přichycovat na rovnou desku. Výhodou těchto podstavců také je, že FD mohou stát bez jiné podpory bez rizika převážení a zničení. Díky vzniklým podstavcům je také možné navrhnout jednoduchý vozík, skládající se z desky a kol, který usnadňuje manipulaci s FD na pracovišti.

Je nutné respektovat fakt, že FD je nutné v rámci jeho vývoje často rozebírat. To v případě první varianty návrhu znamená vždy demontovat zařízení z podstavce. To znamená prodloužení doby montáže a demontáže při zkoušení daného FD. Zvážením časové, a tudíž ekonomické náročnosti první varianty vznikla druhá verze upínacího zařízení, kde je hlavním kritériem jednoduchost.

V druhé verzi upínacího přípravku je upínací deska nahrazena nosníkem. Díky tomuto kroku sice nebude jednotná montáž FD do přípravku, ale odpadá nutnost vlastního podstavce pro jednotlivé typy FD, protože výčnělky FD mohou přesahovat pod nosník. V nosníku jsou vrtány díry pro šrouby ke spojení s FD. Jeden nosník může být použit i pro více velikostí FD, avšak díry se nesmějí překrývat a nesmí být příliš blízko sebe, aby zásadně nenarušili nosnost nosníku.

Výhodou druhé verze upínacího přípravku je, že po demontáži FD z upínacího přípravku je možné FD ihned rozebírat bez další demontáže z podstavce. Zároveň vzhledem k jednodušší konstrukci bude investiční náročnost nižší. Na druhou stranu vlivem absence

těchto podstavců není možné vytvořit jednoduchý vozík sloužící k jednodušší manipulaci s FD. Nevýhodou je také náročnější upínání FD do upínacího zařízení.

Pro první návrh konstrukce jsou navržena dvě horní upínací ramena, která mohou být připevněna k FD pomocí šroubů nebo pouze pomocí tlaku zapříčiněného pevným přitlačením polohovatelných nosníků k FD. Druhý návrh obsahuje pouze jeden horní upínací nosník, v kterém jsou vrtány díry pro šrouby (stejně jako do dolních nosníků), pomocí kterých bude k FD přimontován.

Vzhledem k tomu, že v praxi je zpravidla upřednostněna ekonomičtější varianta, bude pravděpodobně varianta č. 2 vzhledem k její menší provozní časové náročnosti, jakož i nižší investiční náročnosti, preferovanou variantou k realizaci.

Celé zařízení je složeno z komponent firmy Maytec, která ve svém katalogu nabízí jak nosníky, tak rohové spojky určené přesně do drážky, která vzniká profilem používaného nosníku. Díky těmto spojkám je možné smontovat nosníky bez vrtání děr, tudíž je také jednodušší manipulace s nosníky, s kterými je nutné pohybovat.

Po vytvoření upínacího zařízení je také nutné myslet na bezpečnost. Proto je navržena vnější ochranná konstrukce, která se skládá z několika svařenců, které jsou smontovány šrouby. Montáž probíhá až na pracovišti z důvodu jednoduššího transportu konstrukce po částech. Brána, určená k vchodu do ochranné konstrukce, je složena ze svařence a z několika nakupovaných dílů, které zajišťují pohyb svařence.

Tato bakalářská práce bude sloužit jako základní návrh pro vytvoření upínacího přípravku a jeho ochranné konstrukce ve firmě Jihostroj a.s. Velešín. Všechny parametry všech zařízení uvedených v práci se mohou lišit a mohou být upraveny v návaznosti například na výhodnosti nabídky nakupovaných dílů, přesnému měření rozměrů a hmotnosti jednotlivých testovaných FD.

Zdroje

- [1] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: spoje a části spojovací*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04138-3.
- [2] ŠVEC, Vladimír. *Části a mechanismy strojů: příklady*. Vyd. 4. V Praze: České vysoké učení technické, 2008. ISBN 978-80-01-04137-6.
- [3] DRASTÍK, František. *Strojnické tabulky pro konstrukci i dílnu*. 2. dopl. vyd. Ostrava: Montanex, 1999. ISBN 80-85780-95-x.
- [4] MayTec Aluminium Systemtechnik GmbH. *Http://www.maytec.de* [online]. Dachau: MayTec Aluminium Systemtechnik, 2016 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: Maytec [online]. Dachau: MayTec Aluminium Systemtechnik, 2017 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.maytec.de/index.php?id=24&L=1>
- [5] Feron, a.s. *Www.ferona.cz* [online]. České Budějovice: Feron, 2017 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog>
- [6] Mechanical, Industrial and Technical Calculations. *Www.mitcalc.cz* [online]. Děčín, 2016 [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.mitcalc.cz/>
- [7] Z-Group Steel Holding, a.s. *Https://www.steel-holding.cz* [online]. Veselí nad Moravou: Z-Group Steel Holding, 2017 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: https://www.steel-holding.cz/images/katalog_produkту.pdf
- [8] KOVOMAT H+H s.r.o. *Https://www.kovopolotovary.cz/* [online]. Karlovy Vary - Stará Role: KOVOMAT H+H, 2017 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <https://www.kovopolotovary.cz/brany-vrata-dvere/>
- [9] TENTE s.r.o. *Https://www.tente.com/cz-cz/* [online]. Kolín: TENTE International, 2017 [cit. 2017-04-15]. Dostupné z: <https://www.tente.com/cz-cz/>

Seznam obrázků

obr. 1.: fan-drive, obr. 2.: fan-drive motor.....	2
obr. 3.: profil nosníku, obr. 4.: rohová spojka.....	3
obr. 5.: upínací přípravek – první verze	4
obr. 6.: nosníku s deskou.....	5
obr. 7.: podstavec pro FD s největšími rozměry.....	6
obr. 8.: podstavec pro FD s nejmenšími rozměry	6
obr. 9.: podstavec pro druhý nejmenší FD.....	7
obr. 10.: podstavec pro druhý největší FD	7
obr. 11.: vozík, obr. 12.: schéma rozměrů desky	8
obr. 13.: upínací přípravek – druhá verze, obr. 14.: detail šroubového spojení.....	9
obr. 15.: vnější ochranná konstrukce	12
obr. 16.: čtyřhranná tyč s praporkem	13
v příloze č 3. obr. 17.: spojení dvou profilů	13
obr. 18.: připojení brány ke konstrukci, obr. 19.: připojení brány ke konstrukci - vozík.....	14
obr. 20.: dolní část brány.....	15
obr. 21.: spojení šroubu s deskou	18
obr. 22.: schéma koutového svaru	20
obr. 23.: schéma koutového svaru	21
obr. 24.: schéma koutového svaru	22
obr. 25.: schéma tupého svaru.....	23
obr. 26.: schéma bodově přivařeného pletiva	24
obr. 27.: schéma výpočtu pro průhyb s jednotkovou silou.....	27
obr. 28.: schéma výpočtu pro průhyb	27
obr. 29.: řez nosníku.....	28
obr. 30.: spojení profile a držáku	29

Seznam příloh

Příloha 1: Výkres – Upínací přípravek verze 1

Příloha 2: Výkres – Upínací přípravek verze 2

Příloha 3: Výkres – Vnější ochranná konstrukce

Příloha 4: Výkres – Svařenec

Příloha 5: Výkres – Svařenec - Brána