

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**ZÁVĚREČNÁ
PRÁCE**

2018

**PETR
VÁVRA**



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vávra** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **419855**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní a materiálové inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh přípravku pro obrábění svařovaných konstrukcí

Název diplomové práce anglicky:

Design of a fixture for welded structures machining

Pokyny pro vypracování:

1. Rešerše problematiky obrábění a přípravování
2. Analýza portfolia svařenců
3. Návrh variant přípravku
4. Technicko-ekonomické zhodnocení variant

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jiří Kyncl, 12134


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

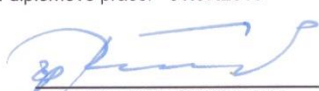
Datum zadání diplomové práce: **09.04.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2018**

Platnost zadání diplomové práce: _____

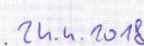

Ing. Jiří Kyncl
podpis vedoucí(ho) práce



Ing. Libor Beránek, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


26.4.2018
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....

Podpis

Poděkování

Zde bych chtěl poděkovat mému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Jiřímu Kynclovi, za jeho pomoc, ochotu a důležité rady během vypracovávání mé diplomové práce a zároveň Ing. Lukášovi Pelikánovi, díky němuž jsem se dostal do prostorů společnosti Schäfer-Menk.

Anotace

Tato práce se zabývá návrhem univerzálního přípravku pro obrábění velkých svařenců – rámu autojeřábů.

V práci je rozebrána problematika obrábění se zaměřením na suché obrábění, dále vibracemi při obrábění a konstrukcí přípravků s důrazem na mechanické a hydraulické upínání. Na základě této rešerše je navržen přípravek pro obrábění mnoha typů rámu. Při konstrukci je kladen důraz především na redukci dávkových časů, eliminaci chvění v problémových místech, univerzálnost řešení a také na redukci nákladů.

Klíčová slova

Obrábění, suché obrábění, přípravek, vibrace, optimalizace dávkových časů

Annotation

This diploma thesis deals with the design of a universal fixing tool for machining large weldments.

In thesis are described problems of machining with a focus on dry machining, vibration during machining and construction of fixtures with emphasis on mechanical and hydraulic clamping. Based on this research, a fixture for machining many types of frames is designed. In design, the emphasis is mainly on reducing batch times, eliminating vibrations in problematic locations, versatility of solutions and cost reduction.

Key words

Machining, dry machining, fixture, vibrations, optimization of dosage times

Seznam použitých zkratek

| | |
|----------------------|---------------------------------|
| CNC | Computer Numeric Control |
| HSC | High Speed Cutting |
| MQL | Minimum Quantities of Lubricant |
| CAD | Computer Aided Design |
| Re | Mez kluzu |
| ks | Kus |
| kg | Kilogram |
| mm | Milimetr |
| m³ | Metr krychlový |
| min | Minuta |
| Kč | Koruna česká |

Obsah

| | |
|--|----|
| Obsah | 8 |
| 1 Úvod | 11 |
| 2 Představení společnosti | 12 |
| 2.1 Problematika obrábění těžkých svařenců | 13 |
| 3 Technologie obrábění | 16 |
| 3.1 Suché obrábění | 16 |
| 3.2 Nevýhody a náklady na používání procesních kapalin | 17 |
| 3.3 Podmínky obrábění za sucha | 18 |
| 3.3.1 Minimalizace množství vzniklého tepla | 18 |
| 3.3.2 Odvod třísek | 20 |
| 3.3.3 Chlazení třísek | 20 |
| 3.3.4 Vyšší trvanlivost břitu a zvýšení obrobitelnosti | 21 |
| 3.4 Obrábění s minimálním množstvím procesní kapaliny – MQL | 21 |
| 3.5 Trendy suchého obrábění | 22 |
| 4 Vibrace při obrábění | 23 |
| 4.1 Vlastní kmitání | 23 |
| 4.2 Vynucené kmitání | 23 |
| 4.2.1 Vynucené kmitání silou nesouvisející s řezným procesem | 24 |
| 4.2.2 Vynucené kmitání silou související s řezným procesem | 24 |
| 4.2.3 Eliminace vynuceného kmitání | 24 |
| 4.3 Samobuzené kmitání | 25 |
| 4.3.1 Mechanizmy vzniku samobuzeného kmitání | 25 |
| 4.3.2. Eliminace samobuzeného kmitání | 27 |
| 4.3.3 Vliv pracovních podmínek na stabilitu obráběcího procesu | 27 |

| | |
|---|----|
| 5 Přípravky | 30 |
| 5.1 Rozdělení přípravků | 30 |
| 5.2 Upínací možnosti přípravků | 32 |
| 5.2.1 Upínání přípravků mechanickým způsobem | 32 |
| 5.2.2 Pneumatické upínání přípravků | 32 |
| 5.2.3 Hydraulické upínání přípravků | 33 |
| 5.3 Zásady návrhu a konstrukce přípravků | 34 |
| 6 Analýza výrobního portfolia | 37 |
| 6.1 Analýza současného stavu | 38 |
| 6.2 Umístění ráků do přípravku | 42 |
| 6.3 Odměření základních rozměrů | 44 |
| 6.3 Návrh základních rozměrů | 46 |
| 6.4 Dosedací plochy | 47 |
| 6.5 Eliminace problémových dosedacích ploch | 51 |
| 7 Návrh přípravku | 57 |
| 7.1 Základní koncept | 57 |
| 7.1.1 Upínací deska | 57 |
| 7.1.2 Podpěrné kostky | 58 |
| 7.1.3 Opěrné věže | 59 |
| 7.1.4 Návrh dosedacích ploch zabraňující kolizi | 60 |
| 7.1.5 Sestava kompletního přípravku | 60 |
| 7.1.6 Vyrovnání a upnutí | 62 |
| 7.2 Optimalizovaný koncept přípravku | 63 |
| 7.2.1 Rozpětí upínacích prvků | 64 |
| 7.2.2 Koncepce 1 | 65 |
| 7.2.3 Koncepce 2 | 67 |

| | | |
|-------|-------------------------------|----|
| 7.2.4 | Koncepce 3..... | 68 |
| 7.2.5 | Zhodnocení konceptů | 70 |
| 8 | Koncepce upínání..... | 71 |
| 8.1 | Koncept upínacích prvků | 71 |
| 8.2 | Vyrovnání..... | 75 |
| 8.3 | Sestavení..... | 76 |
| 8.3.1 | Varianta 1..... | 77 |
| 8.3.2 | Varianta 2..... | 78 |
| 8.3.3 | Varianta 3..... | 78 |
| 8.3.4 | Výběr varianty..... | 80 |
| 10 | Závěr | 85 |
| | Literatura | 87 |
| | Seznam obrázků..... | 89 |
| | Seznam tabulek..... | 92 |

1 Úvod

Cílem této diplomové práce je návrh upínacího přípravku pro obrábění, sloužící pro velké rámy autojeřábů ve společnosti Schäfer – Menk s.r.o., sídlící v Radotíně v Praze. Požadavky na přípravek jsou především univerzálnost pro všechny typy přípravků, redukce dávkových časů, dále eliminace vibrací v problémových místech obrábění a v poslední řadě také ekonomičnost a jednoduchost obsluhy.

První část je zaměřena na problematiku technologie obrábění zaměřeného na suchého obrábění, jelikož ve společnosti je používáno právě této metody. Uveden je přehled možných aplikací a výhod oproti obrábění s procesními kapalinami, dále trendy suchého obrábění v dnešní době. Dále jsou podrobně popsány mechanismy vzniku vibrací a způsoby jejich odstraňování, z čehož se vychází při jejich následné eliminaci v následujících kapitolách. Poslední kapitola řešební části práce se zabývá konstrukcí přípravků se zaměřením na mechanické a hydraulické upnutí.

Pro návrh přípravku nejdříve je nejprve nutné provést rozměrovou a tvarovou analýzu všech ráků. To je zrealizováno odměřením důležitých rozměrů a tvarových rozdílů různých typů ráků. Na základě této analýzy je vytvořen základní koncept přípravku, který splňuje hlavní požadavek práce – univerzálnost pro všechny typy ráků. Optimalizováním základního konceptu jsou vytvořeny tři koncepty, z nichž je po technických zkouškách vybrán ten, který nejlépe eliminuje vibrace v kritických místech ráků. V další části práce jsou k vybranému konceptu přípravku navrženy 3 různé varianty sestavení, které jsou na základě vhodně zvolených ekonomických kritérií zhodnoceny a je vybrána varianta nejvhodnější. Tato varianta bude následně předložena společnosti ke zvážení a možnosti realizace.

2 Představení společnosti

Tato diplomová práce se zabývá kompletní konstrukcí přípravku pro obrábění těžkých svařenců, sloužících jako rámy autojeřábů, ve společnosti Schäfer – Menk, která se touto problematikou již dlouhodobě zabývá.

Společnost Schäfer – Menk byla založena v roce 1994 a v České republice má 2 závody – v Dýšině u Plzně a v Praze Radotíně. Patří do skupiny Menk – Group, která má ve světě celkem 6 výrobních středisek, přičemž mateřské středisko se nachází v Bad Marienbergun v Německu, další lze najít v Illinois v USA a v Kunshanu v Číně. [15]

Zabývá se především výrobou technologicky náročných svařovaných konstrukcí, svařenců pro důlní konstrukce, komponentů pro autojeřáby nebo stavební stroje. Produkce společnosti, na které se podílí více než 500 pracovníků, je expedována do celého světa a tvoří roční obrat přes 1 miliardu Kč. [15]



Obrázek 1 Budova společnosti Schäfer-Menk [15]

Materiály pro výrobu jsou především oceli různých jakostí, včetně jemnozrnné ocele. Z oceli se vyrábí finální produkty pro zákazníky, jako jsou výrobci autojeřábů, stavebních strojů, transportérů, lokomotiv nebo mobilních nakladačů. Při výrobě je používáno nejmodernějšího řezacího zařízení, které může lze pracovat až s osmi simultánně pracujícími hořáky, přesné plasmové řezací zařízení řízené počítačem s možností řezání pod úkošem a laserová řezací zařízení. Společnost je držitelí svařovacích oprávnění ČSN EN ISO 9001:2000, ČSN EN ISO 14001, DIN EN ISO 3834-2, DIN EN 1090-2,

DIN 18800, DIN EN 15085-CL1 a svařuje metodami 135, 138, 131, 141, 121 a 783. Obrábění Společnost provádí na CNC obráběcích centrech a dle požadavků zákazníka provádí povrchové úpravy a pro finální kontrolu je používáno nejmodernějších měřících přístrojů.
[15]

2.1 Problematika obrábění těžkých svařenců

Společnost Schäfer – Menk se mimo jiné zabývá i obráběním těžkých svařenců, které jsou komponenty pro autojeřáby, mají délku až 10 metrů a jsou z materiálu Weldox960. Takovýchto svařenců obrábí několik desítek druhů, které jsou si typově podobné. V současné době se ale potýká s problémem obrábění těchto svařenců, jelikož přípravky, do kterých jsou obráběné součásti umístěny, nevyhovují z hlediska chvění a produktivity. Mým cílem je tedy navrhnout vhodný univerzální přípravek pro obrábění, ideálně s mechanickým (levnějším), pneumatickým nebo hydraulickým (dražším) upínáním, který v první řadě eliminuje chvění v problémových okrajových částech obráběné součásti a zároveň, pokud to bude možné, bude sloužit pro všechny typy svařenců zároveň.

Obrábění těžkých svařenců s sebou nese řadu problémů. V první řadě je důležité mít na obrábění patřičného velkého dílu vhodný stroj s velkým stolem a potřebným rozsahem, závislým na velikosti obráběné plochy. Společnost Schäfer – Menk zvažuje použít vodorovnou vyvrtávačkou RET10P (Obrázek 2) s délkou upínací desky 12 m, která je pro dané práce vyhovující.



Obrázek 2 Vodorovná vyvrtávačka RET10P [18]

Dalším problémem, se kterým se při obrábění těžkých svařenců lze setkat, je vznik vibrací (dále popsány v kapitole 4 Vibrace při obrábění) a s nimi spojený nežádoucí vliv na stabilitu obrábění. V případě nevhodně tuhého upnutí obráběné části (nebo nedostatečně tuhého stroje) vibrace způsobí zhoršení obráběného povrchu, snížení životnosti nástroje, zvýšení hluku nebo úplně znemožnění obráběcího procesu. Základními předpoklady pro co největší eliminaci vibrací je:

- Umístění obrobku co nejbližší stolu obráběcího stroje
- Optimalizace dráhy nástroje s nasměrováním posuvu co nejbližší k nejtužším částem přípravku/obrobku
- Eliminace obrábění v místech, kde má obrobek nedostatečnou oporu [14]

Následující důležitou podmínkou, kterou je potřeba dodržet, je správné ustavení obrobku na stroj, abychom dosáhli požadovaných geometrických tolerancí. K tomu pomáhá vhodně zvolený přípravek, který by měl zároveň být i nástrojem pro eliminaci vibrací. Vhodně zvolený přípravek by měl být tuhý, zejména v místech, kde je obrobek obráběn. Zároveň nesmí způsobovat například prohnutí upnutého obrobku.

Z těchto předpokladů budu dále vycházet při samotné konstrukci přípravku, který by měl všechny tyto problémy eliminovat a zároveň díky své univerzální konstrukci pro všechny typy obráběných rámců, ušetřit výraznou sumu peněz.

3 Technologie obrábění

Tato kapitola se zabývá technologiemi obrábění s hlavním zaměřením na suché obrábění, které se stává stále používanějším, především z ekologického a ekonomického důvodu.

Obrábění je technologický proces, při kterém se z polotovaru vytváří požadovaný tvar součásti úběrem materiálu. Odebírání může probíhat několika způsoby. Prvním a zároveň nejpoužívanějším způsobem je mechanické odebírání materiálu formou třísky, nazývané jako třískové obrábění. Dalšími, méně používanými způsoby, mohou být odebírání materiálu elektricky, elektrochemicky, chemicky, nebo například vodním paprskem.

3.1 Suché obrábění

Ve většině případů obrábění kovů se používá řezná kapalina, která slouží především k chlazení místa řezu, odvodu třísky a lepším mazacím účinkům.

Technologií obrábění na sucho, neboli suchým obráběním, rozumíme obrábění v běžném prostředí (vzduch nebo upravený vzduch) bez použití řezné kapaliny. Obrábění na sucho je oproti obrábění s řeznou kapalinou výrazně ekonomičtější a ekologičtější, protože se při něm nespotebovává obrovské množství řezných kapalin, které nejen že jsou drahé, ale jsou i náročné na likvidaci. [5] Tuto technologii je výhodné aplikovat především na vysokorychlostní obrábění (HSC). Vysoké rychlosti při HSC způsobují velmi horkou zónu řezu, která často bývá vyšší než 1000°C. Z toho vyplývá, že kapalina přivedená do místa řezu se ihned vypaří a tím ztrácí svůj význam. Přivedená kapalina ochladí břit ve chvíli, kdy už není v řezu a způsobí tak výrazný tepelný šok, což může mít za následek snížení životnosti nástroje. [5]

Suché obrábění je používáno především při frézování, oproti vrtání a soustružení. Je to z toho důvodu, že při vrtání je řezná kapalina nezbytná z důvodu odvodu třísky z místa řezu a u soustružení je břit v neustálém kontaktu s obrobkem, takže by bez

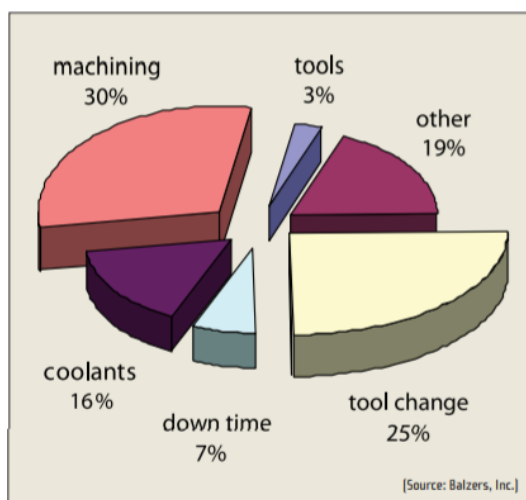
chlazení mohl celý proces selhat. Při frézovacích technologiích je řezání vždy přerušované a riziko zničení břitu chlazením v důsledku teplotního šoku, je vyšší. [7]

Nástrojové materiály na suché obrábění měly vydržely velmi vysoké teploty při řezu a vysoké řezné rychlosti (více než 200 m/min). Dalším požadavkem pro tyto materiály je vysoká tvrdost povrchu a pozitivní geometrie nástroje. Řezné materiály pro suché obrábění jsou cermety, řezná keramika, kubický nitrid boru nebo diamant. [6]

3.2 Nevýhody a náklady na používání procesních kapalin

Procesní kapaliny se začaly masivně používat v době, kdy stále zvyšujícím se požadavkům již nestačily odpovídat vlastnosti řezných materiálů. Aplikací řezných kapalin se vyřešily potíže s nízkou trvanlivostí břitu, kvalitou obrobeneho povrchu, odstraňováním třísek, přesností obrábění a dalšími problémy. Negativem tohoto řešení však začalo být značné zkomplikování řezného procesu z důvodu potřeby technologického vybavení a tím i zvýšení nákladů na celou výrobu. V poslední době se kromě těchto nevýhod začalo přihlížet i na negativa související s ekologickou a zdravotní stránkou, jejichž význam narůstá nejen z legislativních důvodů, ale především z nákladů spojených s náročnou likvidací ekologických havárií. Proto je snaha co nejvíce omezit používání řezných kapalin, což výrazně podporuje vysoký pokrok ve vývoji řezných materiálů, které obrábění bez řezných kapalin umožňují. [10]

Z důvodu problematiky používání řezných kapalin byla provedena řada studií. Jako příklad lze uvést co se obrábění týče velmi vyspěle Německo, kde ročně spotřebovávají řádově desítky tisíc tun procesních kapalin a koncentrátů za stovky miliónů eur. Z koncentrátů se poté připravují další ohromná množství řezných emulzí. S takovým množstvím je evidentní výrazné ekologické nebezpečí. Dále bylo zjištěno, že provozní náklady na řezné kapaliny dosahují 7 – 17 % všech nákladů, což je velmi výrazná položka. Rozdělení nákladů je znázorněno na obrázku 3. [10]



Obrázek 3 Typické náklady obrábění [5]

Tyto skutečnosti naznačují výrazný nárůst negativních faktorů používání umělých procesních médií a s tím samozřejmě i potřebu o jejich vyloučení, nebo výrazné snížení. Také z hlediska přímých i nepřímých nákladů na obrábění je zřejmé, že obrábění na sucho je v dnešní době za současných podmínek často výhodnější než obrábění s použitím řezných kapalin. [10]

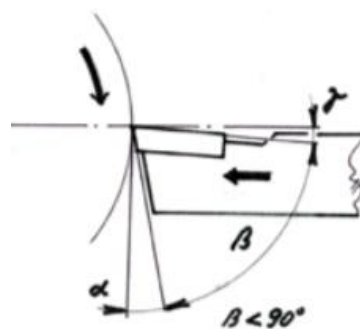
3.3 Podmínky obrábění za sucha

Pro možnost využití obrábění za sucha na konkrétním výrobku je potřeba důkladně analyzovat všechny důsledky, které z toho plynou. Je potřeba vzít v potaz, jaké pozitivní účinky vlastně řezné kapaliny do řezného procesu přinášejí a že je potřeba při suchém obrábění tyto účinky něčím nahradit. [10]

3.3.1 Minimalizace množství vzniklého tepla

Absence chlazení obrobku řeznou kapalinou při suchém obrábění, především u dokončovacích operací, kdy je potřeba docílit vysoké hodnoty tolerance rozměru a tvaru a zabránit tepelným deformacím obrobku, vytváří značný problém a je tedy potřeba speciální opatření. Proto musí být obráběcí proces navržen tak, aby bylo minimalizováno množství vzniklého tepla a tepla odváděného obrobkem. Celkové množství tepla a s ním i teplota řezání se obecně sníží zmenšením množství měrné energie (J/mm^3), která je

vynaložená na řezný proces. Toho lze dosáhnout například zmenšením deformačních a třecích sil. V tomto případě má tedy na suché obrábění velmi pozitivní účinek použití břitu s pozitivní geometrií znázorněný na obrázku 4, ačkoliv se tím do jisté míry zmenší schopnost břitu teplo odvádět. Použití pozitivní geometrie zároveň zmenšuje intenzitu a objem plastických deformací, které doprovázejí vznik třísky, což je významný zdroj tepla. Zároveň se snižuje intenzita tření mezi třískou a čelem břitu a tím množství vzniklého třecího tepla. Klíčová je také možnost ovlivnit rozdělení toků odváděného tepla. Například u frézování je žádoucí zvýšit hodnotu posuvu na zub a obrábět zejména sousledným způsobem frézování, které omezuje tření hřbetu a plochu řezu. U soustružení se pak snížíme zahřívání obrobku zvýšením posuvu a hloubky řezu. Obecně pro všechny způsoby obrábění platí, že snížení množství tepla přecházejícího do obrobku je možné i při zvýšení řezné rychlosti, pokud to dovolí tepelná odolnost řezného materiálu. Tím se zvětší objem tepla, které je odváděno třískami a zvýšení řezné rychlosti zároveň způsobí nárůst deformační rychlosti a s tím i snížení plasticity obráběného materiálu v oblastech vzniku třísky, což způsobí zmenšení objemu plastických deformací. Chybějící ochlazování pracovního břitu řeznou kapalinou je nutné nahradit použitím vhodných řezných materiálů. Jsou to takové, které i při vysokých teplotách mají stálou pevnost, tvrdost a otěruvzdornost. Těmito materiály jsou například nové druhy polykrystalických velmi tvrdých řezných materiálů nebo je těchto vlastností dosaženo vhodným ochranným povrchem nástroje. [10]



Obrázek 4 Břit s pozitivní geometrií [2]

Jednou z možností, jak docílit pozitivních předpokladů k obrábění na sucho, je výběr vhodného nebo vhodně metalurgicky zpracovaného polotovaru, díky kterému

dosáhneme lepší obrobiteľnosti. Jedna z metód ke zlepšení obrobiteľnosti je napríklad použitie vhodných dezoxidáčnych prísad pri výrobe oceli, ktorými je napríklad kalciumsilicium (SiCa). Ten spôsobuje zmenu oxidu hliníku na hlinitan vápenatý, ktorý sa pri vysokej teplote roztaví a funguje ako mazadlo a ochranný film na břitú. Díky tomu zla zvýšiť trvanlivosť břitú až od 400 %. [11]

3.3.2 Odvod třísek

Pri obrábění metódou suchého obrábění může někdy dojít k tomu, že se v případě velkého úběru materiálu začnou nahromadovat třísky v pracovním prostoru, místo aby byly odváděny kapalinou. Nejnepříznivější je tento vliv u vrtání, výroby závitů a broušení. Díky neodvádění třísky může docházet k poškození obrobenej plochy zpevněnými třískami, ale také může dojít i k poškození břitú nástroje, když se třísky dostanou mezi břit a obrobek a jsou znovu řezány. Tento problém se nejčastěji řeší odsáváním a odfukováním třísek tlakovým vzduchem. Při odfukování však může vznikat nebezpečí v zafouknutí kovového prachu například do vodících ploch, ložisek atd. Pro lepší odstraňování třísek se používá i jiná poloha nástroje vůči obrobku (např. obrábění zespodu). Přípravky pro upínání, lože nebo suporty určené pro obrábění za sucha musí být speciálně navržené pro dobré odvádění třísek. [11]

3.3.3 Chlazení třísek

Význam ochlazování třísek je především z důvodu zachování co nejvyšší přesnosti obrábění. Při suchém obrábění je ochlazování třísek vnějším přirozeným prostředím (vzduchem) velmi malé, proto je nutné horké třísky z dutin obrobku, upínacího přípravku nebo obráběcího stroje, odstraňovat. Nicméně na druhou stranu vyšší teplota zlepšuje plasticitu třísky a tím zajistí snadnější deformaci a snížení řezných sil. Na druhou stranu vede zvýšená plasticita při nepřerušovaném řezu k tvorbě nevhodného tvaru třísky (stuhovitý nebo smotaný). K eliminaci tohoto problému se používá vhodných utvářečů třísky nebo speciálních tvarů drážek pro třísky u vrtáků tak, aby při obrábění za sucha nedocházelo k jejich zahlcování třískami. [11]

3.3.4 Vyšší trvanlivost břítu a zvýšení obrobiteľnosti

I používání řezných kapalin může mít na řezný proces neblahé účinky, které se jejich eliminací vyloučí. Jedná se o vlivy přerušovaného řezu, například u frézování, kde vzniká velmi intenzivní střídavé tepelné zatěžování břítu nástroje. Při používání řezných kapalin se tyto rázy ještě zvýší. V řezném materiálu může docházet k vytváření trhlin, které se mohou rozšířit a způsobit až lom břítu. Obráběním za sucha lze dosáhnout v těchto případech vyšší trvanlivosti břítu. Z tohoto důvodu se i vysokorychlostní obrábění (HSC) provádí v drtivě většině případů za sucha. Při uplatnění metody obrábění za sucha je potřeba také brát ohled na konkrétní kombinaci nástroje, obráběného materiálu a způsobu obrábění. Při obrábění šedé litiny a hliníku s vysokým obsahem křemíku je hlavní abrazivní otěr břítu, kdežto u obrábění oceli je nejdůležitější vysoká teplota řezání. Závislost obráběného materiálu a způsobu obrábění způsobuje značné rozdíly v trvanlivosti břítu mezi suchým a mokřým obráběním. Ve většině případů se při obrábění za sucha dosahuje vyšší trvanlivosti břítu než při obrábění s procesní kapalinou. Jednou z výjimek je obrábění hliníku, který díky své adhezi trvanlivost břítu snižuje. Nižší trvanlivost břítu při obrábění za sucha se také projevuje při vrtání a soustružení, což je způsobeno vyššími teplotami při nepřerušovaném řezu. [11]

Vhodné předpoklady pro obrábění na sucho lze docílit i díky samotným obráběným materiálům, a to zvýšením jejich obrobiteľnosti. Častou metodou zvýšení obrobiteľnosti je například používání vhodných dezoxidačních přísad při metalurgické výrobě oceli. Oceli, které jsou dezoxidované například kalciumsiciem (SiCa) s přísadou hliníku obsahují měkké a tvárné hlinitany vápníku, které se při vysoké teplotě řezání taví a poté fungují jako mazadlo a vytvářejí ochranný film na břítu nástroje. Díky těmto přísadám lze zvýšit trvanlivost břítu až o 400 %. [11]

3.4 Obrábění s minimálním množstvím procesní kapaliny – MQL

Může nastat případ, kdy není možné například díky adhezi hliníku a jeho slitin obrábět zcela za sucha. V tomto případě je vhodné použít metodu obrábění s minimálním

množstvím kapaliny – MQL (Minimum Quantities of Lubricant), také známé pod pojmem kvazi-suché obrábění. [11], [12]

Použití technologie MQL může velmi výrazně snížit náklady na procesní kapaliny - až o 95% a z důvodu, že nejsou použita vysokotlaká čerpadla, snižují se i náklady na energii. I přesto, že se při MQL obrábění mírně zvyšují náklady na stlačený vzduch, lze na druhou stranu ušetřit 20 až 25 % nákladů na energii. Náklady na zavedení této technologie jsou také oproti klasickému mazání nižší. S nízkou spotřebou procesních kapalin jsou samozřejmě spojeny i náklady na její likvidaci, které jsou opět v porovnání s použitím klasického mazání, značně nižší. Příkladem takové úspory může být třeba výroba automatické převodovky. V závislosti na složitosti obrábění a dalších faktorech může být u takovéto součásti částka na náklad snížena až o 2 eura. [12]

3.5 Trendy suchého obrábění

V dnešní době je snaha neustále snižovat náklady na výrobu s cílem zvýšení konkurenceschopnosti a zvýšení zisku. Jak je již uvedeno výše, náklady na řezné kapaliny se mohou pohybovat od 15 až do 20 % všech nákladů. Tyto náklady v sobě obsahují pořizovací náklady, náklady na čištění třísek, likvidaci atd. Řezné kapaliny mohou také způsobovat díky výparům zdravotní potíže pracovníků, jako je astma, alergické reakce atd. [8]

Všechny tyto negativní faktory vedou k tomu, že průmysl přijímá koncept suchého obrábění nebo téměř suchého obrábění (MQL – Minimum Quantity Lubrication). K realizaci suchého obrábění je potřeba vhodného řezného nástroje, respektive jeho povlaku. Těmito povlaky mohou být například povlaky z TiN, AlTiN, TiSiN nebo AlTiCrN, které při MQL obrábění zajistí vyšší životnost nástroje. [9] Experimenty prokázaly, že za správných podmínek se správným nástrojem může za sucha životnost nástroje vzrůst až o 100 % a díky vysoké řezné rychlosti se snížila i doba obrábění. [8]

4 Vibrace při obrábění

V této kapitole jsou rozebrány mechanismy vibrací, které nepříznivě vstupují do procesu obrábění. Dále se kapitola zabývá jejich druhy a následnými možnostmi odstranění.

O vibracích při obrábění, jinak řečeno při chvění, lze mluvit tehdy, kdy nějaká fyzikální veličina nabývá v čase okolo své rovnovážné hodnoty střídavých hodnot v určitém intervalu. Obecně je ve většině případů chvění při obrábění v průběhu provozu bráno jako škodlivý jev. Existují výjimky, kde je kmitáním dosahováno například lepší utváření třísky nebo zlepšování řezivosti nástroje. [3]

Při každém obrábění, i pokud nedochází k pozorovanému chvění, neustále kolísá řezná síla. Okamžitá velikost síly F se pohybuje okolo střední hodnoty, nazývané se rovnovážná poloha, v intervalu ΔF . Takovéto kolísání síly je způsobeno především nestejnými vlastnostmi materiálu obrobku i nástroje, nerovností obráběného povrchu atd. Díky této oscilaci řezné síly dochází k nepřetržitému vytváření silových impulsů, které způsobují vznik tlumených kmitů. Při obrábění se proto snažíme, aby byla zajištěna stabilita, protože chvění vede k zvýšení dynamického namáhání soustavy stroj-nástroj-obrobek a v nejhorších případech může dojít i k destrukci jejích článků nebo ke snížení trvanlivosti nástroje. Podle charakteru této síly lze rozdělit kmitání na tři typy: vlastní, vynucené a samobuzené. [2], [3]

4.1 Vlastní kmitání

Tento typ kmitání je v soustavě stroj-nástroj-obrobek je vyvolaný nárazem a bývá ve většině případů zanedbatelný, protože dojde k rychlému utlumení a nemá oproti vynucenému a samobuzenému kmitání takový nepříznivý vliv na obráběcí proces. [2]

4.2 Vynucené kmitání

Příčinou vzniku vynuceného kmitání jsou síly, které se periodicky mění s časem a působí na systém stroj-nástroj-obrobek a jeho frekvence se shoduje s frekvencí budící síly. Toto kmitání se objevuje i na stroji, který běží naprázdno a neobrábí. Vynucené

kmitání lze ještě rozdělit podle typu budící síly na kmitání, kde budící síla nesouvisí s řezným procesem a na kmitání, kde budící síla souvisí s řezným procesem. [3]

4.2.1 Vynucené kmitání silou nesouvisející s řezným procesem

Toto kmitání se v praxi vyskytuje poměrně často a má několik příčin. Za prvé může být vyvoláno silou, která je přenášena přes základy stroje do soustavy stroj-nástroj-obrobek, například od sousedních strojů, nebo silou, která vzniká kvůli nevyváženosti rotujících částí obráběcí soustavy nebo díky nepřesnosti převodových mechanismů stroje. Další příčinou vzniku kmitání mohou být setrvačné síly při přímočarém vratném pohybu vlastního mechanismu stroje nebo rozdílná tuhost některých částí systému stroj-nástroj. [2], [3]

Tento typ kmitání je nepříznivý obzvláště při dokončovacích procesech, kde může výrazně zhoršit drsnost obráběného povrchu [2]

4.2.2 Vynucené kmitání silou související s řezným procesem

Tento druh kmitání bývá způsoben především nerovnoměrným přídavkem na obrábění u rotujících obrobků, kde osa otáčení není shodná s osou obrobku. Další příčinou může být vliv periodického házení obrobku nebo brusného kotouče. [3]

4.2.3 Eliminace vynuceného kmitání

Kmitání vynucené je méně nebezpečné, v porovnání s kmitáním samobuzeným. I přesto se však snažíme o jeho eliminaci. V případě vynuceného kmitání, které nesouvisí s řezným procesem je potřeba odstranit zdroj budící síly, která ho vyvolává. To se děje například uložením stroje na pružný základ nebo pokud je zdrojem nevyvážená rotující součást, provádíme vyvážení ozubených kol přímo ve stroji.

Pokud je kmitání vyvolané silou, která souvisí s řezným procesem, snažíme se obrábět hlavně mimo rezonanční oblasti obráběcí soustavy nebo můžeme kmitání eliminovat snížením, respektive zvýšením otáček. [2], [3]

4.3 Samobuzené kmitání

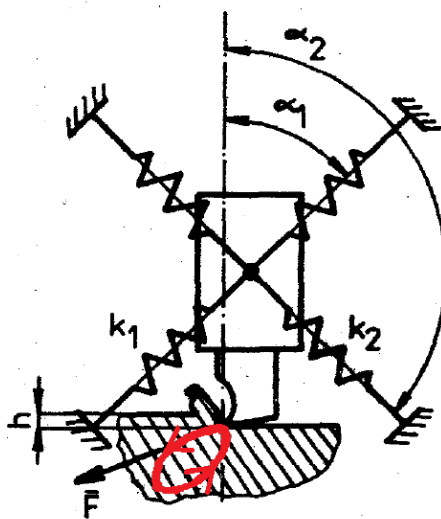
Samobuzené kmitání je v porovnání s vynuceným kmitáním nebezpečnější a nepotřebuje ke svému vzniku a udržení žádnou periodicky působící sílu. Vzniká i udržuje se během kmitání a periodická síla se ztratí, stejně jako se ztratí kmitání. Samobuzené kmitání se často vyskytuje zcela neočekávaně a jeho vznik lze popsat několika mechanismy:

- *Relativní pohyb nástroje vůči obrobku je zdrojem budící síly*
- *Koeficient tření se mění s rychlostí pohybu*
- *Nestabilita nárůstu*
- *Skluz materiálu na hranici oblasti primární plastické deformace [2]*

4.3.1 Mechanizmy vzniku samobuzeného kmitání

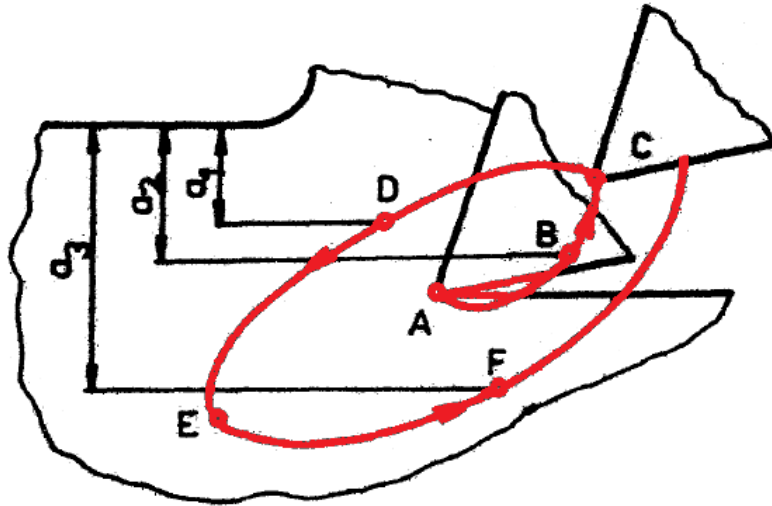
- **Relativní pohyb nástroje vůči obrobku je zdrojem budící síly**

Jak již bylo řečeno, při obrábění dochází k neustálému náhodnému kolísání řezné síly, což způsobuje neustálé relativní vychylování břitu řezného nástroje vůči obrobku. Je nutno zmínit, že toto vychylování probíhá po uzavřené křivce, což je znázorněno na obrázku 5. [2]



Obrázek 5 Obráběcí soustava [2]

Pro vznik samobuzeného kmitání je důležité, aby úhly určující polohu řezného nástroje k systému stroj-obrobek α_1 a α_2 byly současně s tuhostmi pružin k_1 a k_2 a směrem řezné síly takové, aby se první výkmit děl po křivce ABC z obrázku 6. Po tomto výkmitu se nástroj snaží dostat do původní polohy přes křivku CDE, kde dojde ke zvětšení amplitudy kmitu. Následuje pohyb do po křivce EF, kde systém opět čerpá novou energii. [2]



Obrázek 6 Mechanismus vzniku samobuzeného kmitání [2]

- **Koeficient tření se mění s rychlostí pohybu**

Další možnost vzniku samobuzených kmitů je důsledkem nestejného koeficientu tření u tělesa, které je v pohybu nebo klidu. Jestliže je těleso vystaveno pohybu, koeficient tření se sníží, a naopak když se těleso uvede zpět do klidu, koeficient tření se zvýší. Tento mechanismus má za následek vznik kmitavého pohybu, při kterém není tření tlumivým účinkem, ale naopak je důsledkem kmitání [2]

- **Nestabilita nárůstu**

V mnoha případech při obrábění se může nárůstek stát nestabilním. Při jeho maximální velikosti proběhne jeho rozpad a tvorba nového s víceméně pravidelnou frekvencí. Pokud je tato frekvence podobná některé z vlastních frekvencí systému stroj-nástroj-obrobek, může dojít k rozkmitání celého systému. Amplituda kmitání

způsobeného nárůstkem není příliš velká a v porovnání s předchozími mechanizmy není ani tak nebezpečná. [2]

- **Kluz materiálu na hranici oblasti primární plastické deformace**

Vznik elementů třísky je podobně jako rozpad nárůstku periodickým dějem. Opět platí jako u rozpadu nárůstku, že pokud je frekvence kluzu materiálu na hranici oblasti primární plastické deformace podobná některé z vlastních frekvencí systému stroj-nástroj-obrobek, může v důsledku této podobnosti frekvencí dojít k rozkmitání. [2]

4.3.2. Eliminace samobuzeného kmitání

V porovnání s kmitáním vynuceným, se samobuzené kmitání eliminuje podstatně obtížněji. K eliminaci je potřeba znalostí vlivu pracovních podmínek obrábění v systému stroj-nástroj-obrobek a jejich intenzitu. Eliminace samobuzeného kmitání se provádí zpravidla experimentálně. Víme, že na intenzitu samobuzeného kmitání mají vliv pracovní podmínky a parametry. V zásadě existují dva způsoby eliminace samobuzeného kmitání. [2]

Prvním způsob je měření závislosti intenzity samobuzeného kmitání na daném parametru. Postupujeme tak, že si zvolíme velikost ostatních parametrů tak, aby bylo obrábění nestabilní a poté měníme daný parametr a zjišťujeme, jestli jeho zvětšování, respektive zmenšování, má stabilizující nebo nestabilizující účinek námi měřené intenzity samobuzeného kmitání. [2]

Druhým způsob vychází ze znalosti vlivu určitého parametru na samobuzené kmitání. Porovnááme vliv námi sledovaného parametru (např. hloubky řezu nebo šířky odřezávané vrstvy) na stabilitu procesu. [2]

4.3.3 Vliv pracovních podmínek na stabilitu obráběcího procesu

Kmitání se obecně charakterizuje jeho frekvencí a intenzitou. U samobuzeného kmitání se frekvence mění s pracovními podmínkami málo, proto je základní charakteristikou samobuzeného kmitání intenzita. Zde je proto bude uveden pouze vliv na intenzitu kmitání. [2]

Tuhost systému stroj-nástroj-obrobek

Nejvýhodnějším prostředkem k zabránění samobuzeného kmitání je zvýšení tuhosti celé soustavy stroj-nástroj-obrobek. Pokud to není možné, lze tuhost zvýšit ještě například použitím lunety. [2]

Obráběný materiál

Druh obráběného materiálu má také vliv na stabilitu obráběcího procesu. Intenzitu samobuzeného kmitání ovlivňuje především houževnatost a pevnost materiálu. [2]

Úhel nastavení

K_r – úhel nastavení může velmi intenzivně ovlivňovat intenzitu samobuzeného kmitání, zatímco ovlivňuje velmi málo trvanlivost nástroje. Z hlediska chvění je rozhodující vliv radiální složky řezné síly, působící ve směru tuhosti soustavy stroj-nástroj-obrobek. Se zvýšením hodnoty úhlu nastavení lze dosáhnout výrazného zvýšení stability celé soustavy. [2]

Poloměr špičky

r_ϵ – poloměr špičky má na stabilitu obráběcího procesu opačný vliv. To je dáno tím, že při zvětšování poloměru r_ϵ se hodnota úhlu nastavení K_r zmenšuje. [2]

Úhel řezu

δ_o – úhel řezu působí vlivem na řeznou sílu – na složku radiální. Zvýšení stability obráběcího procesu dosáhneme snížením hodnoty úhlu řezu. [2]

Úhel hřbetu

α – úhel hřbetu, ovlivňuje intenzitu samobuzeného kmitání vlivem na koeficient tření. V oblasti větších úhlů (do 6°) se vliv koeficientu tření zmenšuje a od úhlu cca 6° je vliv úhlu hřbetu na intenzitu samobuzeného kmitání zanedbatelný. [2]

Řezná rychlost

Vliv řezné rychlosti na intenzitu samobuzených kmitů se mění nekonstantně. Při malé hodnotě řezné rychlosti je intenzita samobuzených kmitů vyšší, stejně tak při vysoké hodnotě řezné rychlosti. Nejmenšího chvění se dosahuje v rozmezí řezné rychlosti od 30 do 60 m/min. [2]

Posuv

Stejně jako řezná rychlost, i posuv, resp. tloušťka odřezávané vrstvy ovlivňuje intenzitu samobuzeného kmitání nekonstantně. Největší vliv bývá přibližně při hodnotě posuvu $a = 0,04\text{mm}$. Poté má tento parametr účinek stabilizující. [2]

Hloubka řezu

Hloubka řezu má téměř ve všech případech destabilizující účinek, s výjimkou velmi malých hodnot tohoto parametru. [2]

V této kapitole jsou shrnuty mechanismy vzniku vibrací při obrábění a jejich následné možnosti odstranění. Z této rešerše budu dále vycházet při konstrukci univerzálního přípravku, který má zaručit minimalizaci vibrací.

5 Přípravky

Tato kapitola pojednává o typech přípravků a jejich konstrukci, rozdělení a možnostech upnutí.

Žádný druh výroby, ať už se jedná o hromadnou, kusovou nebo ruční, se neobejde bez přípravků. [1] Každá vyráběná součást musí být na stroji upnuta tak, aby vůči nástroji zaujímala stále stejnou správnou polohu, která se působením řezných sil nesmí měnit.

Účel přípravku je zajistit správné a pevné ustavení obrobku, čímž zaručíme dosažení požadované geometrické přesnosti a požadované drsnosti povrchu obrobene plochy. Zároveň je důležité, aby tento proces byl pro obsluhu co nejrychlejší a bezpečný. V častých případech je také potřeba, aby přípravek sloužil k vedení nástroje, pokud není vedení součástí obráběcího stroje. Například u běžného soustruhu je potřeba soustružit kulovou plochu, v tom případě je ke stroji namontované přídavné zařízení, které slouží k vedení nástroje. Dalším příkladem je použití při vrtání, kde je vrták veden tzv. vodicím pouzdrem. [4], [1]

Přípravky tedy lze definovat jako pomocná zařízení sloužící pro:

- Správné a pevné ustavení obrobku na stroj
- Rychlé a bezpečné upnutí obrobku na stroj
- Vedení nástroje vzhledem k obrobku
- Zajištění správných geometrických přesností a drsnosti povrchu
- Zajištění správné polohy při montáži [1]

5.1 Rozdělení přípravků

Přípravky lze rozdělit podle několika hledisek:

- Podle rozsahu použití
- Podle operačního určení
- Podle zdrojů upínací síly [1]

Podle rozsahu použití:

- Univerzální přípravky – slouží k upínání více druhů obrobků téhož typu, avšak různých tvarů či velikostí. K některým z nich lze přiřadit doplněk, sloužící pro konkrétní obrobek.
- Skupinové přípravky – u těchto přípravků jsou celé přípravky, nebo jejich části společné pro jednu skupinu obrobků. Mohou se skládat ze stálých a vyměnitelných součástí. Mezi stálé se řadí: těleso přípravku a upínací mechanismus. Vyměnitelnými jsou ustavovací a vodící elementy přípravku.
- Stavebnicové přípravky – sestavují se z typizovaných nebo seřiditelných součástí v konkrétní přípravek
- Speciální přípravky – neboli jednoúčelové, slouží k upínání jednoho obrobku v závislosti na určité operaci [1]

Podle operačního určení:

- Obráběcí přípravky – k upnutí obrobku na stroj v určité poloze vztažené k nástroji nebo k vedení nástroje
- Montážní přípravky – sloužící k přidržení součástí při jejich vzájemném spojování. Do těchto přípravků se zařazují i přípravky svařovací.
- Rýsovací přípravky – k rýsování součásti před obráběním
- Kontrolní přípravky – na měření a kontrolu potřebných rozměrů, geometrických tvarů a tolerancí [1]

Podle upínací síly

- S ručním upínáním
- Upínání tlakovým vzduchem (pneumatické)
- Upínání tlakovou kapalinou (hydraulické)
- Elektromotoricky (síla vyvolaná cívkou a jádrem)
- Podtlakem (přísátí základny)
- Kombinací některých z předcházejících možností [16]

5.2 Upínací možnosti přípravků

Při volbě upínacího přípravku je třeba zohlednit několik důležitých faktorů, podle čeho se dá dále řídit při výběru vhodného způsobu upnutí. Těmito hlavními faktory jsou především potřebná síla upnutí, jednoduchost, ale také pořizovací náklady, které jistě budou vyšší u hydraulického upínání než u mechanického.

5.2.1 Upínání přípravků mechanickým způsobem

Základními prostředky mechanického upínání jsou šroub a matice. Jsou velmi hojně využívány, levné, lze s nimi dosáhnout vysoké upínací síly poměrně malou ovládací silou a nevyžadují téměř žádnou údržbu. Na druhou stranu je velmi zdoluhavé upínání a hrozí nebezpečí, že šrouby mohou poškodit součást. Jako prevence proti otlačení obrobku se používá šroubů s přitlačnými opěrkami. Pro přesné ustavení šroubu je používání kulových podložek. [1]

Další téměř neodmyslitelnou součástí mechanického způsobu upínání jsou upínky. Jsou to v podstatě dvouramenné páky pro upínání běžných předmětů. Díky upínce lze změnit směr i velikost upínací síly [1]

5.2.2 Pneumatické upínání přípravků

Upínání pneumatickým způsobem, tedy stlačeným vzduchem je vyznačováno především vysokou rychlostí upnutí, snadnou obsluhou a stálou a velkou upínací silou, kterou lze jednoduše regulovat. S rychlostí upínání se zkracují vedlejší pracovní časy, což výrazně zvyšuje produktivitu práce. Pomocí vzduchových upínacích zařízení je možné zkrátit vedlejší pracovní časy, v porovnání s ručním upínáním na pětinu až desetinu. Upínací síla působí u vzduchových servomotorů kontinuálně, i při práci a neustále dotahuje upínací součást přípravku tak, že se obráběná součást neuvolní. Díky tomu je potřeba menší upínací síly než při ručním upínání. [1]

Díky tomu, že je upínací síla daná tlakem stlačeného vzduchu poměrně velká (až v několik desítek KN), vyjde často pneumatické upínání výhodněji a jednodušeji než ruční, protože není potřeba složitých převodů. To má význam především u rotačních strojů, kde

je upínací zařízení lehčí a dá se snadno vyvážit. Upínací síla je snadno regulovatelná a lze ji měnit podle velikosti řezného odporu, velikosti průřezu třísky i podle tuhosti upnuté obráběné součásti. U speciálních strojů je umožněno automatické upínání obrobku tak, že například při ukončení práce stroje se obrobek sám uvolní a před roztočením se obrobek opět sám upne. [1]

Navzdory těmto výhodám je u pneumatického i nebezpečí uvolnění obrobku v případě, že tlak vzduchu klesne pod určitou hodnotu. Tomuto nebezpečí se předchází instalací zpětného ventilu, který umožní zastavit stroj v případě, že tlak vzduchu poklesne na určitou hodnotu. [1]

5.2.3 Hydraulické upínání přípravků

Hydraulický systém upínání má stejné výhody jako upínání pneumatické. Ve srovnání má však ještě několik dalších předností. Pomocí hydraulického upínání je pomocí tlakového oleje dosahováno velmi rovnoměrných a vysokých tlaků (běžně až 6MPa), takže se hodí pro velmi vysoké upínací síly, kde by už pneumatické upínání nestačilo nebo by byly vzduchové válce příliš rozměrné. Z toho plyne další výhoda oproti pneumatickým a to, že mají menší rozměry. Dále, vznikají-li při práci rázy způsobené záběry nástroje, není pneumatické upínání dostatečně tuhé z důvodu stlačitelnosti vzduchu. Použití tlakové kapaliny umožňuje pracovat s větším výkonem i většími průřezy třísek. [1]

Všechny výhody hydraulického upínání lze shrnout do několika bodů:

- Konstantní upínací síla – při každém upnutí je součástí upnutá stejnou upínací silou, což eliminuje rozdíly mezi jednotlivými upnutími a zlepšuje stabilitu procesu
- Odstraní lidský faktor – každé upnutí bude zrealizováno stejně velkou upínací silou
- Vysoké upínací síly
- Vysoká tuhost – díky nestlačitelnosti kapaliny
- Šetří čas – hydraulické upnutí snadněji a rychleji vyvine upínací sílu, například od mechanického způsobu upnutí součásti [1]

Naproti svým výhodám má i své nevýhody, kterými jsou především pořizovací náklady, složitost a menší pracovní rychlost, která je dána menší rychlostí oleje v potrubí. [1]

Hydraulický upínací systém se skládá ze zdroje tlakové kapaliny, upínacích hydraulických válců a řídicích ventilů. Stlačování kapaliny může vyvoláno buď ruční pumpou, elektrickým čerpadlem nebo pneumaticko-hydraulickým převodníkem. [1]

5.3 Zásady návrhu a konstrukce přípravků

Jak již bylo naznačeno, přípravky se používají zejména pro zvýšení jakosti a produktivity výroby. Často operace nejde bez přípravků vůbec provést – v tomto případě se jedná o nezbytné přípravky. Konstrukce i použití přípravků se mění podle druhů výroby. V případě kusové výroby se součásti obrábějí i montují pomocí běžného výrobního zařízení, nebo je použito jen takových pomůcek, které jsou pro danou operaci nezbytné. V některých případech kusové výroby, kdy je výrobek značně složitější nebo většího charakteru, používáme přípravky univerzální, díky kterým dokážeme upnout součásti podobného tvaru i velikosti. Při sériové nebo hromadné výrobě, kde se vyrábí velké množství stejných součástí, je výhodné navrhnout přípravek speciální, což nám umožní značné zvýšení produktivity práce i kvality výroby. Přípravek, který je určený k výrobě velkého množství stejných součástí, může být mnohem dokonalejší a tím splňovat požadavky dokonalé funkce. V takovém případě musíme počítat se rentabilitou přípravku. O rentabilitě přípravku se usuzuje ze vztahu mezi náklady na pořízení, údržbou přípravku a úsporami. Přípravek je rentabilní, pokud jeho náklady na pořízení a údržbu nepřekročí úspory, které díky němu vznikly. [1], [17]

$$U(1 + R) \geq \frac{Ck + S}{n} [1],$$

kde

$$k = \frac{1}{T} + \frac{h}{100} [1],$$

a kde U – úspora na mzdě vztažená na jeden výrobek

R – režie příslušné výroby v procentech

n – průměrný počet výrobků za 1 rok (ks/rok)

S – rozdíl v nákladech za rok na seřízení stroje při práci stroje s přípravkem a bez něho

C – cena zařízení

T – počet provozních roků potřebných k dosažení rentability

h – náklady vynaložené na údržbu a opravy vyjádřené v % vůči ceně zařízení

k – součinitel odpisu a srážek na údržbu a odpisy. [1]

Jak je ze vztahu zřejmé, jedná se o výpočet rentability zejména při velkosériové a hromadné výrobě, se kterou je možné se běžně setkat. Stejně tak ale jsou potřeba přípravky ve výrobě sériové a kusové. V těchto případech však není nutné zabývat se výpočtem rentability. [4]

Při konstrukci upínacích přípravků je nutné dodržovat tyto zásady:

- a) Vyjasnit si přesně pracovní postup dané součásti už před navržením přípravku.
- b) Pro menší série vhodně uspořádat operace tak, aby se mohl na použít na více operací jeden upínací přípravek.
- c) Zaručit stabilitu přípravku – obráběná plocha musí být co nejbližší k upínací ploše obráběcího stroje.
- d) Zaručit tuhost přípravku – aby nedocházelo k jeho deformaci vlivem řezných a upínacích sil.
- e) Zajistit pevnou polohu upínaného dílu – pomocí pevných dorazů.
- f) Výslednice pracovních sil by měla, pokud možno působit proti pevným dorazovým plochám.

- g) Zajistit jednoduchou a rychlou obsluhu – ovládací prvky (páky, rukojeti atd.) by měly být dobře přístupné a jejich počet by měl být co nejmenší.
- h) Zajistit bezpečnost pracovníků – zaoblit hrany, se kterými by mohla přijít obsluha do styku
- i) Při ruční manipulaci s přípravkem by jeho váha neměla přesáhnout 20 kg, v opačném případě by měl být opatřen závěsnými oky
- j) Zaručit dobrý odtok chladící tekutiny, pokud je používána a dobrý odvod třísek, které by mohly narušit řezný proces
- k) Použít co nejvíce normalizovaných součástí.
- l) Zaručit pouze jednu správnou polohu vložení součásti – aby nedošlo například k vložení dílu naopak
- m) V ideálním případě použít přípravek univerzální, který lze případně upravit nebo přetvořit [1], [4]

V této kapitole byla provedena rešerše na konstrukci, možnosti upnutí a druhy přípravků. Z této rešerše vyplývá, že pro upínání velkých svařenců je potřeba vysoká tuhost, což splňují přípravky s mechanickým nebo hydraulickým upínáním, proto se dále budu zabývat jimi

6 Analýza výrobního portfolia

Ve společnosti Schäfer-Menk probíhá výroba mnoha svařovaných součástí, mezi které patří i komponenty ke konstrukci autojeřábů. Jednou z výrobních operací je obrábění, které je začleněno mezi svařovací operace.

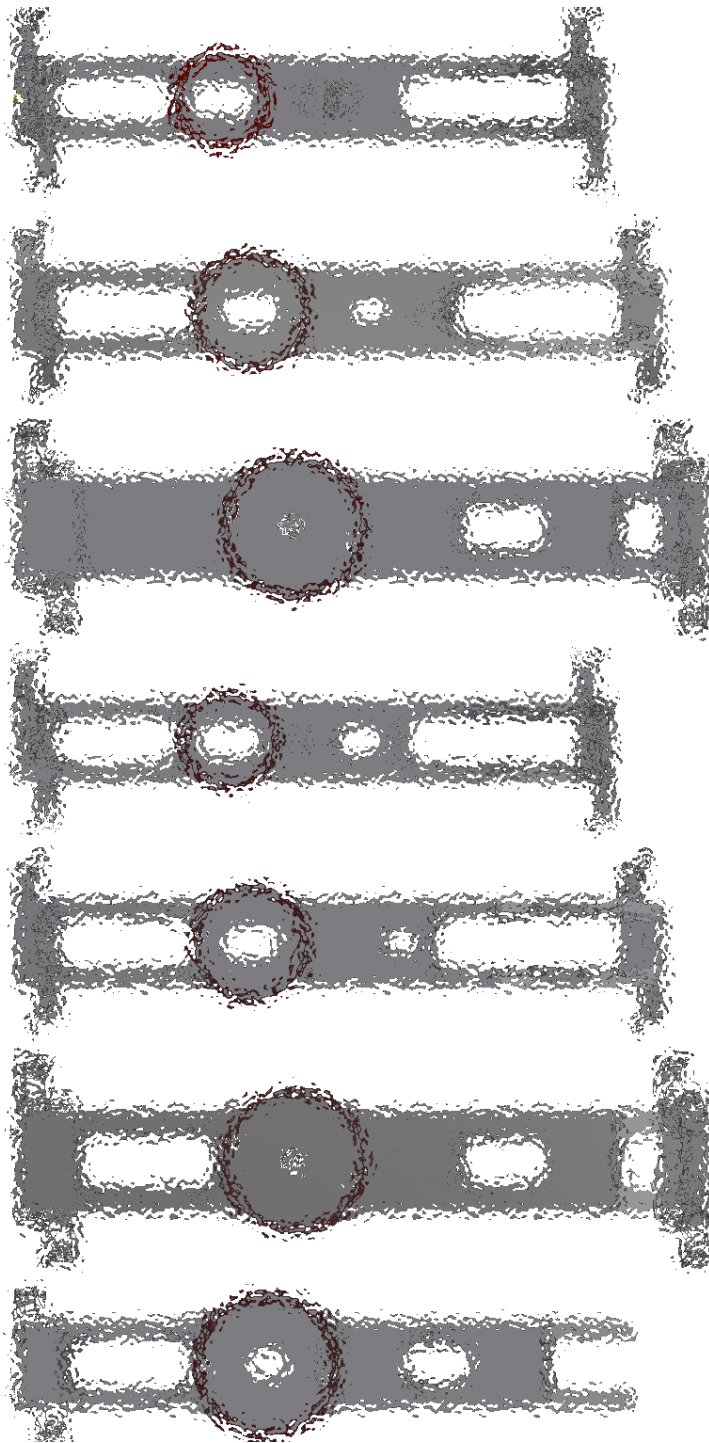
Obrábění probíhá na speciálním přípravku, který je spolu s rámem sestavován až přímo na stroji. Obrábění se týká kruhového čela, které je vyznačeno na modelech rudou barvou na obrázku 6-1. Nejdříve probíhá frézování plochy čel a následně jsou do něj vrtány desítky děr, do kterých jsou v poslední fázi řezány závity.

Od společnosti jsem dostal k dispozici výkresovou dokumentaci 7 typu ráků, na kterých pracují a na které bude potřeba navrhnout přípravek. Označím je jako R1 – R7

První věcí, kterou je potřeba provést, je analýza všech ráků. Odměřit základní charakteristiky, zjistit podobnosti, a naopak rozdíly mezi jednotlivými ráky, z čehož získám vstupní parametry pro tvorbu přípravku a na základě čeho vymyslím i styl upnutí, které bude možné již mimo stroj a celý přípravek s obrobkem se poté jen ustaví do dané polohy na stroji.

Měřenými charakteristikami, které budu zjišťovat z 3D modelů (obrázek 7) v softwaru Autodesk Inventor a na základě kterých budu, s přihlédnutím na teoretické znalosti popsané v předchozích kapitolách, vymýšlet upínací přípravek, budou zejména délka, objem (váha) a průměr obráběného kruhu.

Materiálem ráků je vysokopevnostní ocel Weldox 960, která má vysokou mez kluzu $Re = 960$ MPa. Tato vysoká pevnost umožňuje použít na svařenec plechy o menší tloušťce a tím se značně zmenší hmotnost celého svařence, což vede k dosažení vyšší nosnosti zařízení. V některých případech je použití menšího množství vysokopevnostní oceli zcela nezbytné, protože díky snížené hmotnosti může vozidlo podle hmotnostních limitů vjet na silnici.



Obrázek 7 3D modely ráků v programu Autodesk Inventor

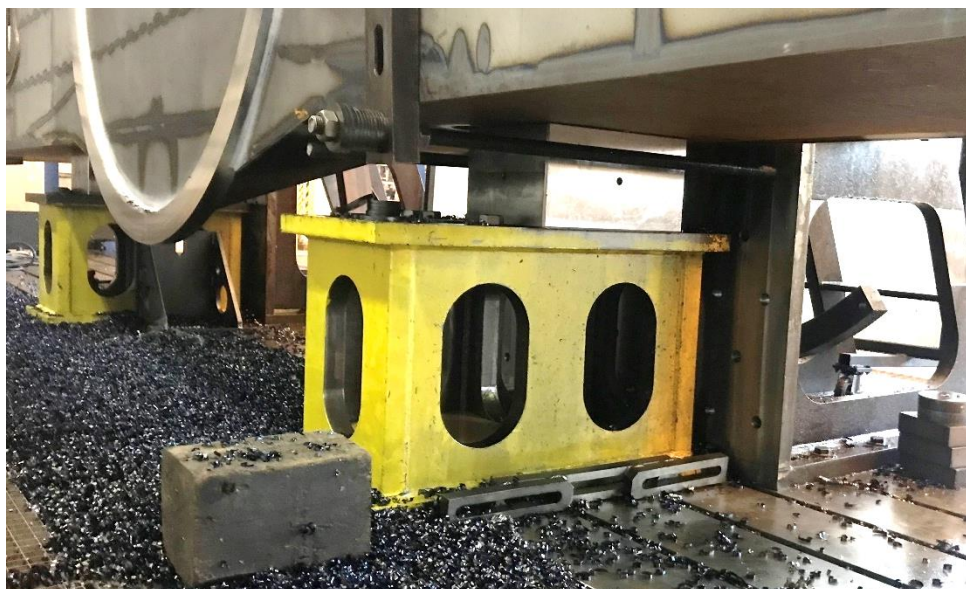
6.1 Analýza současného stavu

V této kapitole je popsán současný proces obrábění ráků ve společnosti Schäfer-Menk. Budu se zabývat především zjišťováním a analýzou nevhodně zvolených

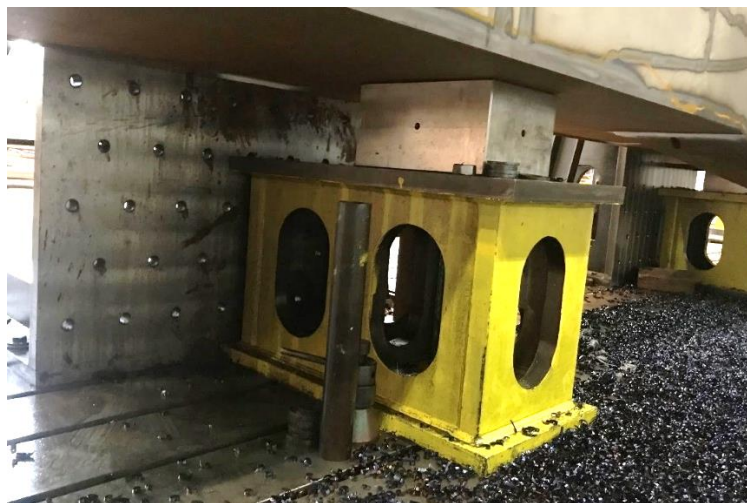
konstrukčních prvků při sestavování upínacího přípravku, které mohou být příčinou obtížného obrábění v některých částech kruhového čela. Tyto nežádoucí faktory budou v následující kapitole eliminovány navržením vhodnějších konstrukčních prvků.

V současné době probíhá obrábění kruhového čela rámu suchou cestou na stroji Soraluce řady FP, horizontálním frézovacím centru, které má pojezd až 15 metrů s výkonem 60kW. Velkou nevýhodou v současnosti je, že vyrovnání rámu probíhá až v pracovním prostoru stroje, což je z hlediska produktivity značně neefektivní. Samotné umístění rámu a jeho následné vyrovnání nyní trvá několik hodin, čímž se snižuje pracovní efektivita stroje a vzrůstají tak náklady. Současné umístění rámu do přípravku (konkrétně R3) je možné vidět na následujících obrázcích.

Rám je postaven na dvou podpěrách, které jsou ještě nastaveny ocelovou kostkou, aby byl rám ve vyšší poloze. Podpěry jsou k pracovnímu stolu napevno přišroubované, kostky jsou na nich pouze položeny, což je vidět na obrázku 8 a 9.



Obrázek 8 Současné umístění rámu na stroj – podpěry z pravé strany



Obrázek 9 Současné umístění rámu na stroj – podpěry z levé strany

Ze zadní strany se rám opírá o 2 věže, které jsou taktéž k pracovnímu stolu napevno přišroubovány. Místy dotyku rámu a opěrných věží jsou pouze 3 matice ukázané na obrázku 10, které se zároveň využívají při vyrovnání rámu. Toto opření minimální plochou může mít za následek nedostatečnou tuhost soustavy. Zároveň nejsou tyto matice umístěny v místech největší pevnosti rámu (rám má vnitřní žebrovanou strukturu, která při současné konstrukci není brána v potaz).



Obrázek 10 Současné umístění rámu na stroj - opěrné věže

Samotné upnutí je provedeno pomocí dvou upínek, které jsou závitovou tyčí spojeny se zadními věžemi a mechanicky přišroubovány maticemi z pravé strany (obrázek 11) a z levé strany (obrázek 12). Umístění upínek není důkladné z hlediska tuhosti soustavy, protože upnutí by mělo být co nejblíže k obrábění ploše, což z levé strany není zdaleka splněno. Také z pravé strany by upínka měla být ideálně blíže obráběnému kruhovému čelu.



Obrázek 11 Současné umístění rámu na stroj - upínka z pravé strany



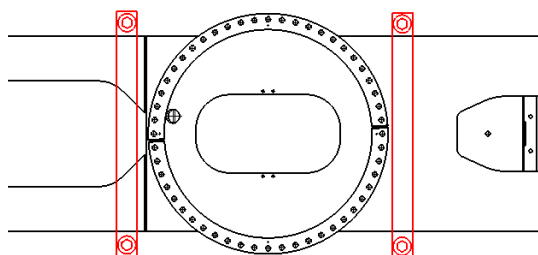
Obrázek 12 Současné umístění rámu na stroj - upínka z levé strany

Při konstrukci přípravku bude tedy nutné tyto nedostatky, tedy vyrovnaní, místa opření a samotné upnutí, eliminovat, čímž se zvýší efektivita a zároveň se sníží celkové náklady na výrobu.

6.2 Umístění rámu do přípravku

Jelikož vycházím ze skutečnosti, že všechny rámy jsou si typově podobné, pokusím se vytvořit přípravek tak, aby se do něj daly upevnit všechny rámy. Již na první pohled je zřejmé, že hlavními rozdíly, který bude stěžejní pro návrh univerzálního přípravku, je mezi rámy jejich délka. Další důležitou roli v návrhu přípravku bude hrát velikost, resp. průměr kruhového čela, které se bude čelně obrábět a budou se do něj vrtat díry.

Z technologického hlediska je potřeba, aby upevnění přípravku bylo co nejbližší obráběné ploše dílu, pro co největší eliminaci chvění. Na rámech probíhá obrábění čela kruhu a vrtání děr v něm, proto je třeba směřovat upnutí co nejbližší zmíněnému kruhu. Budu částečně vycházet z již současného stylu upnutí pomocí tyčových upínek. Tyto upínky, které budou v přímém kontaktu s rámem, budou tedy muset být umístěny v bezprostřední blízkosti okraje čela, jak je zjednodušeně znázorněno na obrázku 13.



Obrázek 13 Vyznačení ideálních upínacích prvků

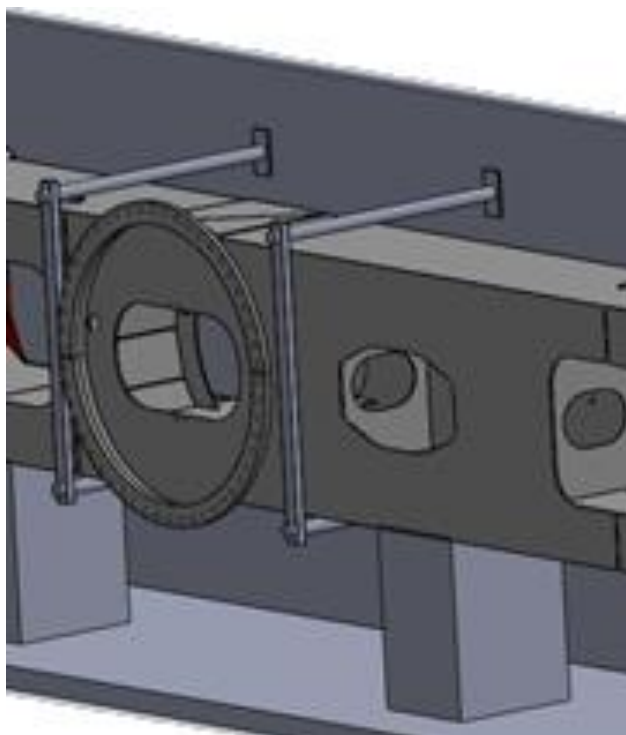
Z důvodu časové úspory je požadavek, aby byl rám do přípravku umístěn mimo stroj, kde proběhne i jeho vyrovnaní a ušetří se tím i čas na vyrovnaní přímo na stroji.

Obrábění rámu bude probíhat na horizontální frézce RET10P (obrázek 2) s parametry znázorněnými v tabulce 1 a prodlouženým pracovním stolem na 12 m. Je proto potřeba, aby byl rám ustaven do správné polohy, tzn. aby na stroji „stál“ a nebyl položen.

Tabulka 1 Hlavní parametry obráběcího stroje RET10P [18]

| | | |
|-------------------------------|------------|----------|
| Průřez smykadla | 315 x 380 | mm x mm |
| Průměr pracovního vřetena | 100 / 105 | mm |
| Upínací kužel | 50 | ISO |
| Otáčky pracovního vřetena | 3500 | ot / min |
| Pojezd smykadla/vřeteníku (Y) | 2000 | mm |
| Příčný pojezd stojanu (X) | max. 12000 | mm |
| Výsuv vřetena (W) | 610 | mm |
| Výsuv smykadla (Z) | 650 | mm |

Přípravek by tedy z hlediska ustavení rámu mohl být řešen dvěma způsoby. Prvním způsobem je znázorněn na obrázku 14. Základem přípravku by byla žebrovaná litinová deska o tloušťce minimálně 250 mm, která by zajistila dostatečnou tuhost. Rám by byl položen na dvě hlavní podpěry vespod (možná by byla i třetí podpora na levé straně z důvodu nesymetričnosti rámu). Zároveň by se rám opíral v zadní části o desku, čímž by se odstranil další stupeň volnosti. Nakonec by byl přípravek upevněn dvěma upínacími prvky, které by byly umístěny, v ideálním případě, co nejbližší obráběnému kruhovému čelu. Takto by se rám vyrovnal na přípravku už mimo stroj a celý přípravek i s rámem by se poté umístil na stroj, který by měl již předdefinovanou polohu onoho přípravku s rámem.



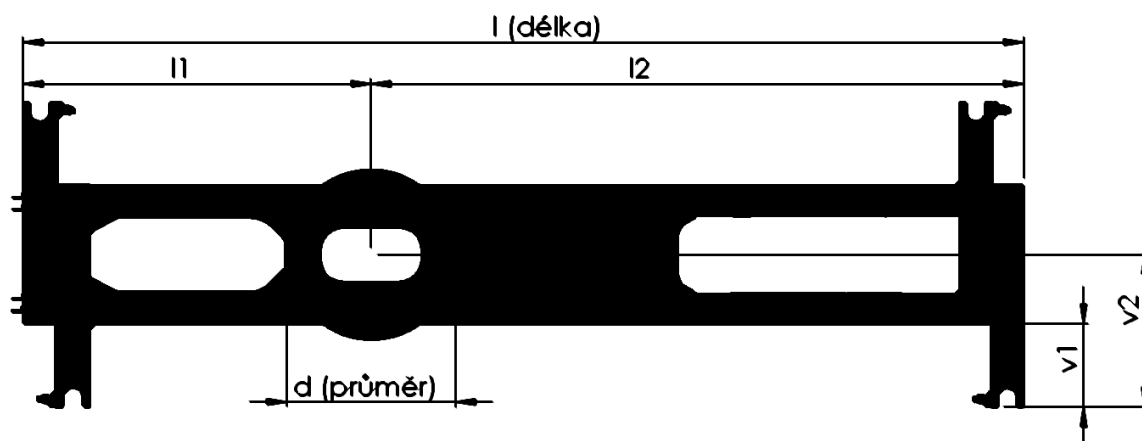
Obrázek 14 První verze upnutí rámu do přípravku na stojato

Druhý způsob by byl ustavení rámu do přípravku „vleže“. Ustavení by bylo provedeno položením na základní desku a vyrovnání dvěma upínacími prvky. Celý přípravek s rámem by se na stroj musel pootočit o 90°.

Z důvodu jak časové úspory a jednoduchosti (přípravek s rámem může mít i přes 15 tun), ale technických možností stroje RET10P, je vhodnější si zvolit první způsob ustavení rámu, tedy „na stojato“.

6.3 Odměření základních rozměrů

Z obou předchozích návrhů je zřejmé, že v tvorbě univerzálního přípravku pro všechny typy rámu, bude nejvýznamněji figurovat několik rozměrů, znázorněných na obrázku 7. Budou jimi délka celková a 2 délky – každá od osy kruhu ke konci rámu (kvůli možné nutnosti další, třetí podpěry), průměr obráběného kruhového čela a výška od „země“ k ose kruhu a k ploše, která bude dosedat na podpěry. Dále si pomocí CAD programu zjistím objem každého z rámu a podle hustoty materiálu vypočítám hmotnost.



Obrázek 15 Měřené parametry znázorněné na 3D modelu rámu R1

Základní rozměry všech sedmi ráků, pro které jsem analýzu dělal, jsem zanesl do tabulky 2. Z hlediska upnutí jsem ráky rozdělil do 3 skupin, lišících se průměrem kruhu. Zvolil jsem rozdělení tímto způsobem, protože pro co nejlepší eliminaci chvění a tuhost obráběcí soustavy je nutné, aby upevnění bylo co nejbliže obráběné ploše dílu, což je v tomto případě kruhové čelo ráku.

Při tomto rozdělení by tedy mohl jít sestavit přípravek, na kterém se budou moci nastavit tři velikosti upínacích prvků, pro každou skupinu. Všechny typy ráku by díky tomu mohly být ustaveny ve stejné ose Z.

Jelikož je však hlavním požadavkem pro přípravek, aby byl univerzální pro všechny typy ráků, ale zároveň co nejjednodušší a pokud možno s co nejméně výměnnými prvky, budu se proto při návrhu upínacích prvků řídit pouze ráky R3, R6 a R7 – tedy ráky s největším průměrem kruhového čela – 2064 mm. Každý menší průměr půjde do tohoto rozměru upnout.

Tabulka 2 Naměřené parametry všech 7 ráků

| číslo | označení | materiál | Objem [m ³] | Váha [kg] | l [mm] | d [mm] | v1 [mm] | v2 [mm] | l1 [mm] | l2 [mm] |
|-------|-----------|-----------|-------------------------|-----------|--------|-------------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | R1 | Weldox960 | 0,518 | 4066,3 | 8342 | 1412 | 705 | 1250 | 2960 | 5482 |
| 2 | R2 | Weldox960 | 0,6 | 4710 | 9128 | 1680 | 500 | 1300 | 3300 | 5828 |
| 3 | R3 | Weldox960 | 0,69 | 5416,5 | 9740 | 2064 | 771 | 1460 | 3915 | 5825 |
| 4 | R4 | Weldox960 | 0,42 | 3297 | 8442 | 1412 | 705 | 1235 | 3001 | 5441 |
| 5 | R5 | Weldox960 | 0,55 | 4317,5 | 9132 | 1680 | 500 | 1300 | 3301 | 5831 |
| 6 | R6 | Weldox960 | 0,69 | 5416,5 | 9760 | 2064 | 766 | 1440 | 3904 | 5856 |
| 7 | R7 | Weldox960 | 0,47 | 3689,5 | 8682 | 2064 | 481 | 1080 | 3528 | 5154 |

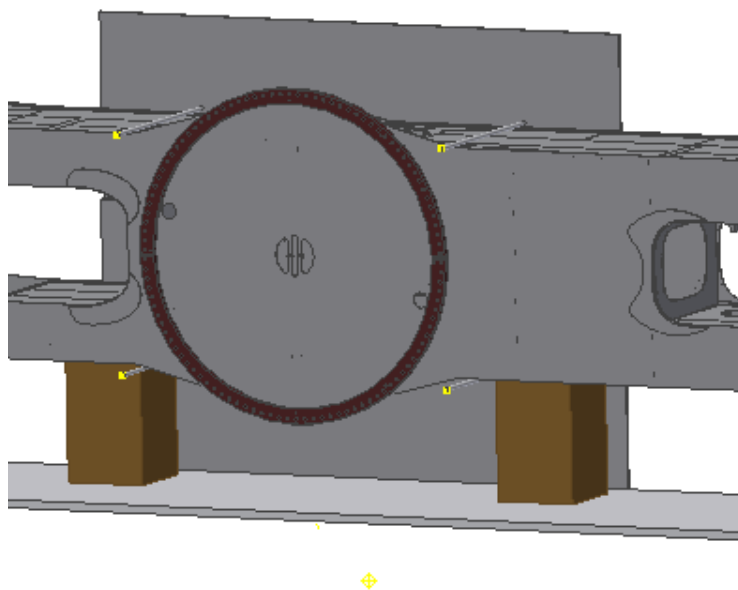
6.3 Návrh základních rozměrů

Z těchto analýz dostávám první důležitý rozměr pro návrh přípravku – rozpětí upínacích prvků, které musí být minimálně 2064 mm. Z důvodu, že rámy jsou dlouhé svařence a mohou se částečně deformovat, zvolím rozpětí upínacích prvků 2170 mm, aby byl mezi kruhovým čelem a upínkou prostor a nehrozila by kolize nástroje a upínacího přípravku. Šířka daných upínek by měla být pro těžký svařenec dostatečně velká, aby zajistila vysokou tuhost, proto ji zvolím 100 mm.

Dalším parametrem, který je nutné vzít v úvahu, bude výška podpěr. Ze změřených hodnot proto budu potřebovat výšky v1 všech dílů. Z tabulky je zřejmé, že největší výška rámu od desky je u rámu č. 3, tj. 771 mm. Velikost podpěry proto nemůže být menší, protože by právě tento rám č.3 nedosedl na podpěry, ale opřel by se o krajní části rámu. Zároveň je důležité vzít v potaz nejnižší polohu vřetena u vyvrtávacího stroje, a proto pro výšku této podpěry zvolím velikost 800 mm. Důvodem by bylo jednak to, že podpěra této výšky bude snadno sehnatelná a také proto, že opět nechám mezi „nejvyšším“ rámem a deskou dostatečnou toleranci, kdyby docházelo k chvění nebo deformaci svařence.

Dále je potřeba určit vzdálenost daných podpěr. Jelikož bude vzdálenost upínacích prvků 2180 mm a každý z nich bude mít šířku 100 mm, umístím podpěrné kostky od sebe

2400 mm. Rám bude vložen do přípravku a vycentrován přesně na střed. Základní návrh přípravku s konkrétními rozměry by pak mohl vypadat takto (obrázek 16).



Obrázek 16 Základní návrh přípravku s konkrétními rozměry

6.4 Dosedací plochy

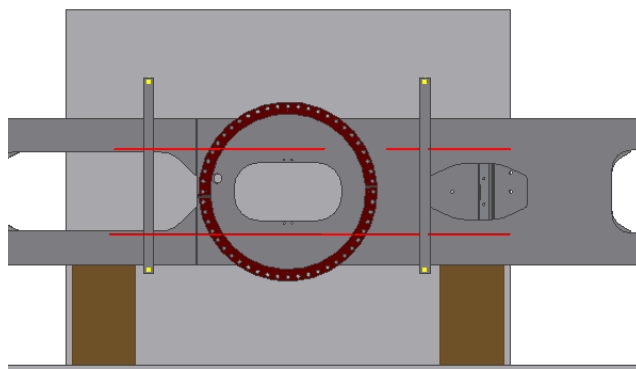
Pakliže chci dosáhnout co největší tuhosti soustavy při obrábění, je vhodné, aby rámy byly opřené o zadní věže co největší možnou plochou. V současné situaci jsou rámy opírány pouze třemi maticemi, což vnáší do rámu při obrábění další nepřesnosti.

Při kontrole kolizí mezi rámem a přípravkem v Inventoru jsem zjistil, že každý rám nedosedá ideálně k opěrným věžím tak, jak by měl. Konkrétně se jedná většinou o 10 mm výstupky na zadní straně rámu, které by v případě neoptimalizovaného návrhu opěrných věží, byly opěrnými plochami rámu, což by mohlo způsobit značnou deformaci nebo snížení tuhosti.

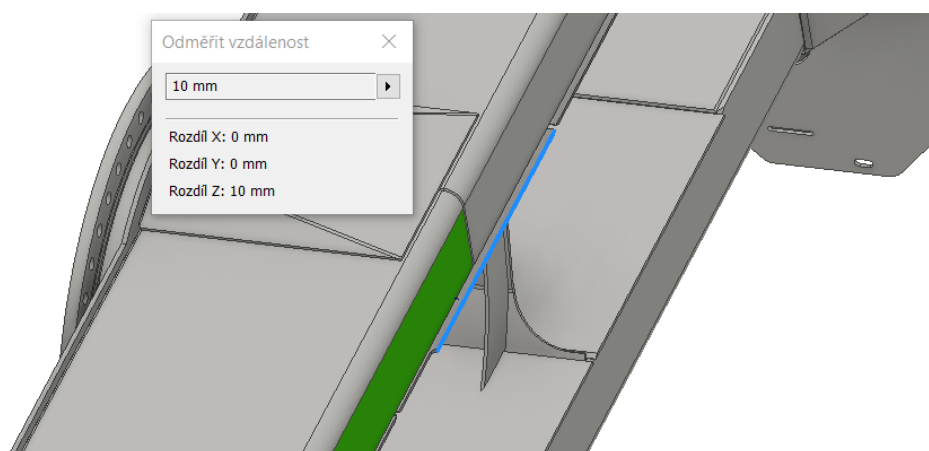
Každý rám je sám o sobě specifický a má tedy jiná kolizní místa. Z předchozího rozdělení podle průměru obráběného čela je i zde možné je rozdělit do 3 stejných skupin podle toho, kde mají ze zadní části „výstupky“ a hrany způsobující kolizi.

Problémové dosedací plochy pro rámy s průměrem čela 1412 mm

První případ se týká rámu R1 a R4, kde je kolizním prvkem dlouhá členitá hrana po délce téměř poloviny rámu, maximální kolizní hloubkou 10 mm (obrázek 17 a obrázek 18) a je v horní i spodní části rámu.



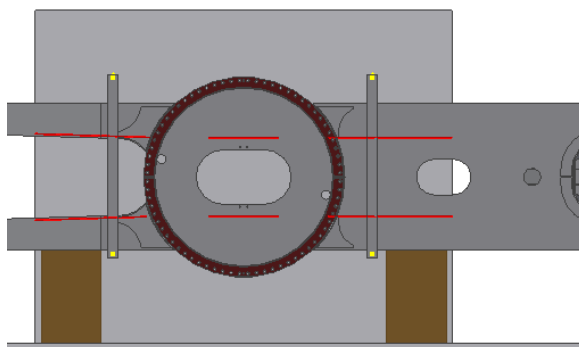
Obrázek 17 Kolizní hrana u typu rámu s průměrem čela 1412 mm



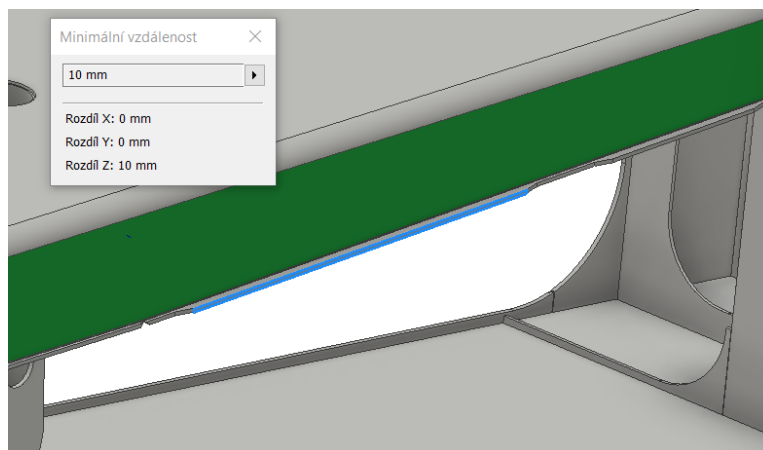
Obrázek 18 Maximální hloubka kolizní hrany u rámu s průměrem čela 1412 mm

Problémové dosedací plochy pro rámy s průměrem čela 1680 mm

Druhý typ kolize je velmi podobný prvnímu, s tím rozdílem, že na levé straně rámu není rovnoběžný, ale hrana se rozbíhá pod úhlem 1,8° od osy rámu (obrázek 19 a obrázek 20). Opět je jeho maximální hloubka 10 mm.



Obrázek 19 Kolizní hrana u typu rámu s průměrem čela 1680 mm

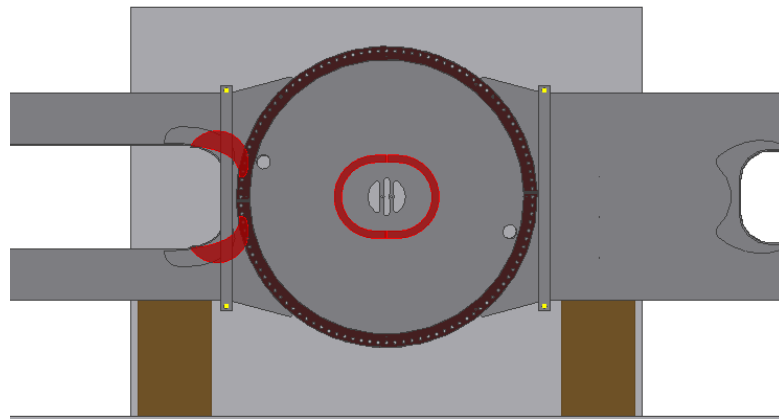


Obrázek 20 Maximální hloubka kolizní hrany u rámu s průměrem čela 1680 mm

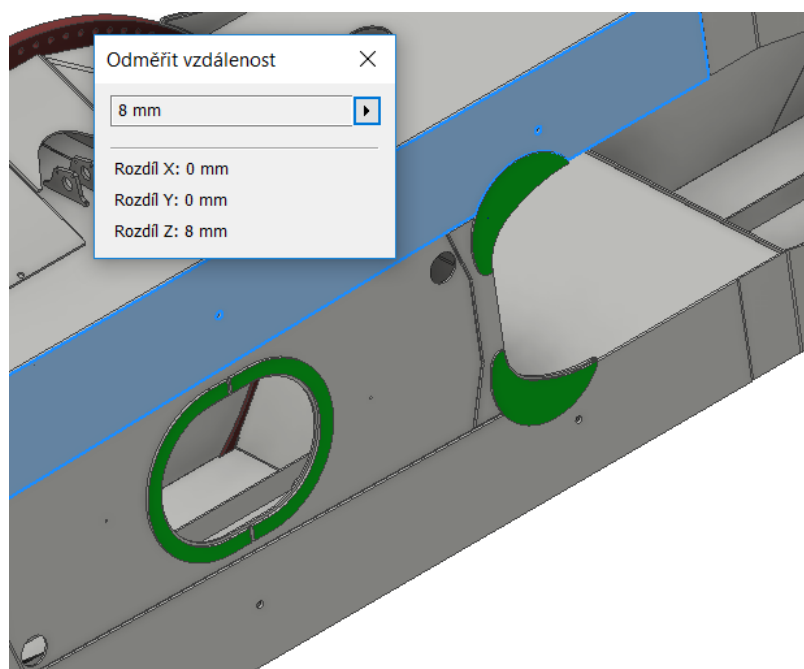
Problémové dosedací plochy pro rámy s průměrem čela 2064 mm

Posledními typy kolize u rámu s průměrem čela 2064 mm jsou dva půlkruhové výstupky v ose rámu a další, a také tvarově půlkruhový výstupek v levé části rámu (obrázek 21).

Obzvláště u tohoto druhu kolize rámu by mohla opěra o tyto prvky způsobit deformaci rámu v jeho pravé části, kde výstupky nejsou. Maximální hloubka těchto kolizních míst je 8 mm (obrázek 22).



Obrázek 21 Kolizní hrana u typu rámu s průměrem čela 2064 mm



Obrázek 22 Maximální hloubka kolizní hrany u rámu s průměrem čela 2064 mm

6.5 Eliminace problémových dosedacích ploch

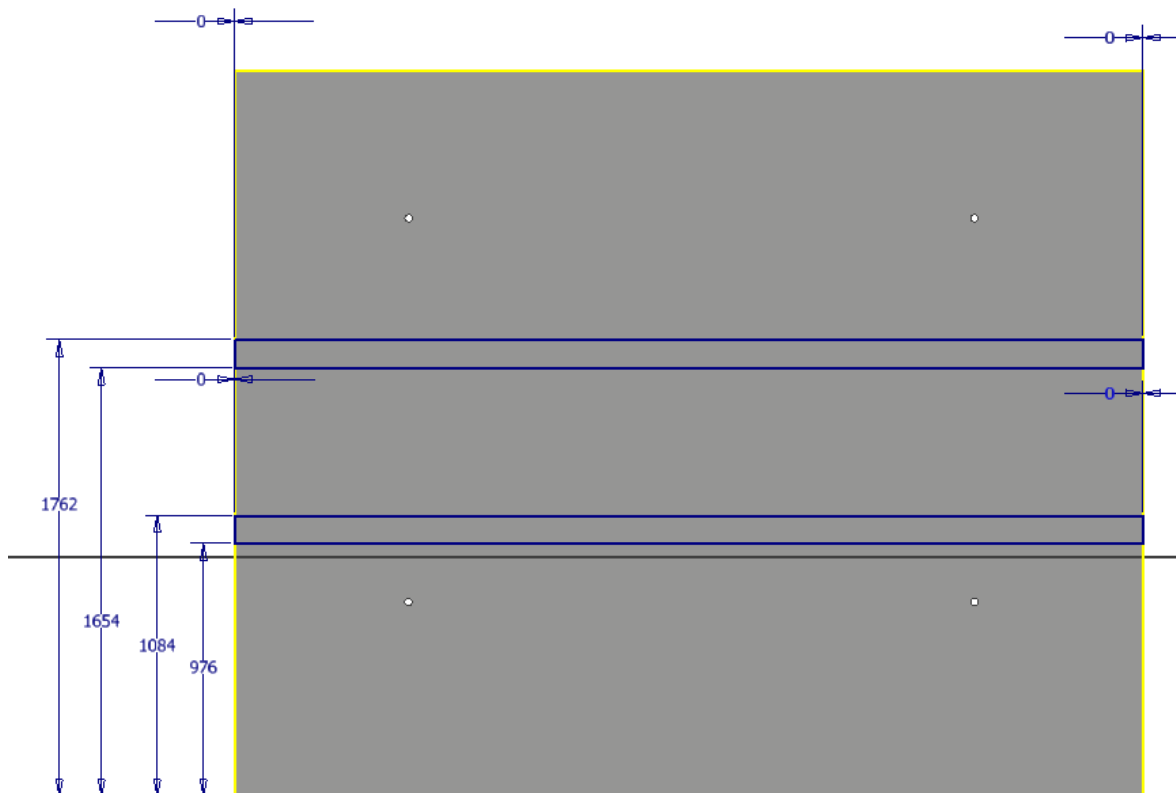
Z důvodu těchto kolizí je potřeba optimalizovat opěrnou desku a navrhnout opěrné body a plochy tak, aby zabránily těmto kolizím. Vytvořím proto na opěrné desce několik výřezů, které eliminují dotek s kolizními prvky všech typů ráků, aby se mohl o desku opřít jakýkoliv rám bez hrozby kolize.

Nejdříve vyřeším kolizi první skupiny ráků s průměrem čela 1412 mm. Budu vycházet ze vzdálenosti kolizní hrany od základní desky, která je uvedena v tabulce 3. V první řadě jsem změřil minimální vzdálenost spodní kolizní hrany od základní desky a zároveň maximální vzdálenost horní kolizní hrany. Při měření vycházím z předpokladu použití podpěrné kostky o výšce 800 mm. Z těchto získaných hodnot jsem vypočítal s rozměrovým přídávkem velikost výřezu, který se musí vytvořit, aby nedošlo ke kolizi. V případě obou ráků se jednalo o stejné hodnoty. Rozměrový přídavek jsem zvolil dostatečně velký, 50 mm z horní i spodní strany. Tuto hodnotu jsem určil z toho důvodu, že rám bude na přídavek usazován pomocí jeřábu a bude se s ním obtížně manipulovat. S tímto přídávkem bude mít pracovník dostatek prostoru pro snadnou manipulaci a zároveň značně neomezí opěrnou plochu.

Tabulka 3 Hodnoty pro návrh prvního výřezu

| Označení ráku | R1 | R4 |
|---|-------------|-------------|
| Šířka kolizní hrany [mm] | 8 | 8 |
| Minimální výška spodní hrany od základní desky [mm] | 1026 | 1026 |
| Maximální výška horní hrany od základní desky [mm] | 1704 | 1704 |
| Rozměrový přídavek [mm] | 50 | 50 |
| Počátek spodního výřezu (od základní desky) [mm] | 976 | 976 |
| Konec spodního výřezu (od základní desky) [mm] | 1084 | 1084 |
| Počátek horního výřezu (od základní desky) [mm] | 1654 | 1654 |
| Konec horního výřezu (od základní desky) [mm] | 1762 | 1762 |

Návrh výřezů opěrné desky je znázorněn na obrázku 23, kde modře vyznačené obdélníky značí dané výřezy, které budou mít hloubku 20 mm.



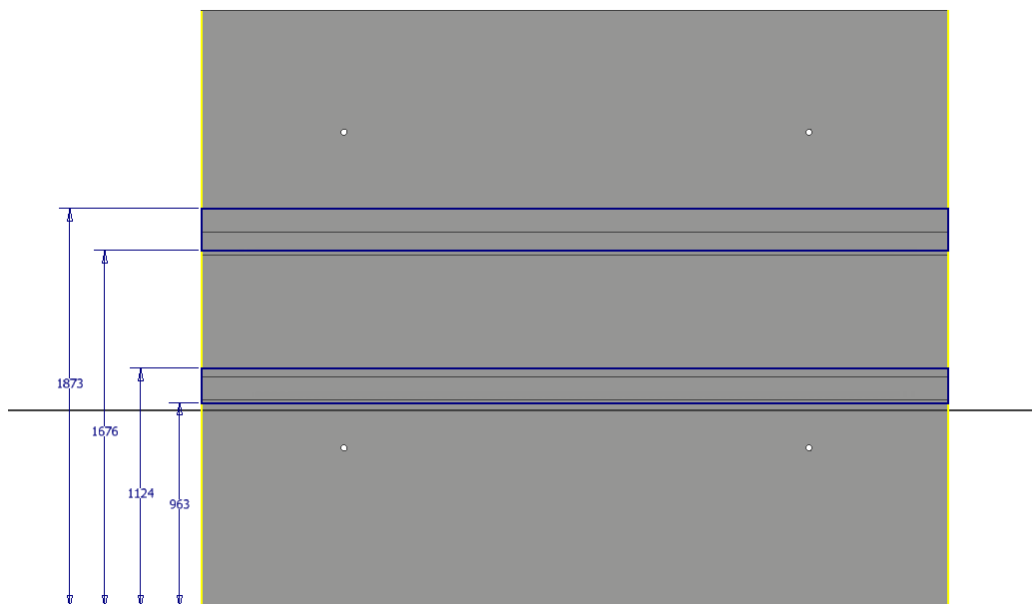
Obrázek 23 Návrh prvního výřezu na opěrné desce v CADu

Obdobným způsobem budu pokračovat i u druhé skupiny ráků, tj. s průměrem čela 1680 mm. Jelikož je zde část spodní i horní kolizní hrany pod určitým úhlem, budu měřit jejich minimální a maximální vzdálenosti od základní desky. Opět beru v potaz výšku podpěry 800 mm a rozměrový přídavek volím 50 mm. U těchto ráků již nebyly kolizní hrany ve stejné poloze oproti základní desce, je proto potřeba vybrat vhodný rozměr. Proto u počátku výřezů zvolím nižší hodnotu a u konců vyšší, jak je barevně označeno v tabulce 4.

Tabulka 4 Hodnoty pro návrh druhého výřezu

| Označení rámu | R2 | R5 |
|---|-------------|-------------|
| Šířka kolizní hrany [mm] | 8 | 8 |
| Minimální výška spodní hrany od základní desky [mm] | 1013 | 1026 |
| Maximální výška spodní hrany od základní desky [mm] | 1074 | 1074 |
| Minimální výška horní hrany od základní desky [mm] | 1726 | 1726 |
| Maximální výška horní hrany od základní desky [mm] | 1787 | 1767 |
| Rozměrový přídavek [mm] | 50 | 50 |
| Počátek spodního výřezu (od základní desky) [mm] | 963 | 976 |
| Konec spodního výřezu (od základní desky) [mm] | 1124 | 1124 |
| Počátek horního výřezu (od základní desky) [mm] | 1676 | 1676 |
| Konec horního výřezu (od základní desky) [mm] | 1837 | 1817 |

Návrh rozměrů v modelu opěrné desky je naznačen na obrázku 24. Jak je z něj zřejmé, tímto návrhem bude rozšířen již stávající výřez.



Obrázek 24 Návrh druhého výřezu na opěrné desce v CADu

Třetí skupina s průměrem čela 2064 mm bude složitější, obsahuje totiž více kolizí najednou. Napřed provedu měření polohy „půlkruhu“ od osy a jeho počátek a konec od základní desky. Následně budu pokračovat totožným měřením zbývajících kolizí v levé straně rámu R3, R6 a R7. Naměřené hodnoty a nich následně vypočítané rozměry výřezu jsou uvedeny v následujících tabulkách (tabulka 5 a tabulka 6), kde první obsahuje hodnoty pro prostřední kolizi a druhá pro kolizi na levé straně rámu. Opět jsou tučně vyznačené ty hodnoty, které pro návrh výřezu použiju.

Tabulka 5 Hodnoty pro návrh třetího výřezu první kolize

| Označení rámu | R3 | R4 | R5 |
|--|-------------|-------------|-------------|
| Minimální výška kolize od základní desky [mm] | 1214 | 1215 | 1130 |
| Maximální výška kolize od základní desky [mm] | 1784 | 1785 | 1670 |
| Šířka kolize od osy čela [mm] | 360 | 360 | 370 |
| Počátek prostředního výřezu od základní desky [mm] | 1164 | 1165 | 1080 |
| Konec prostředního výřezu od základní desky [mm] | 1834 | 1835 | 1720 |
| Šířka prostředního výřez od osy čela [mm] | 410 | 410 | 420 |

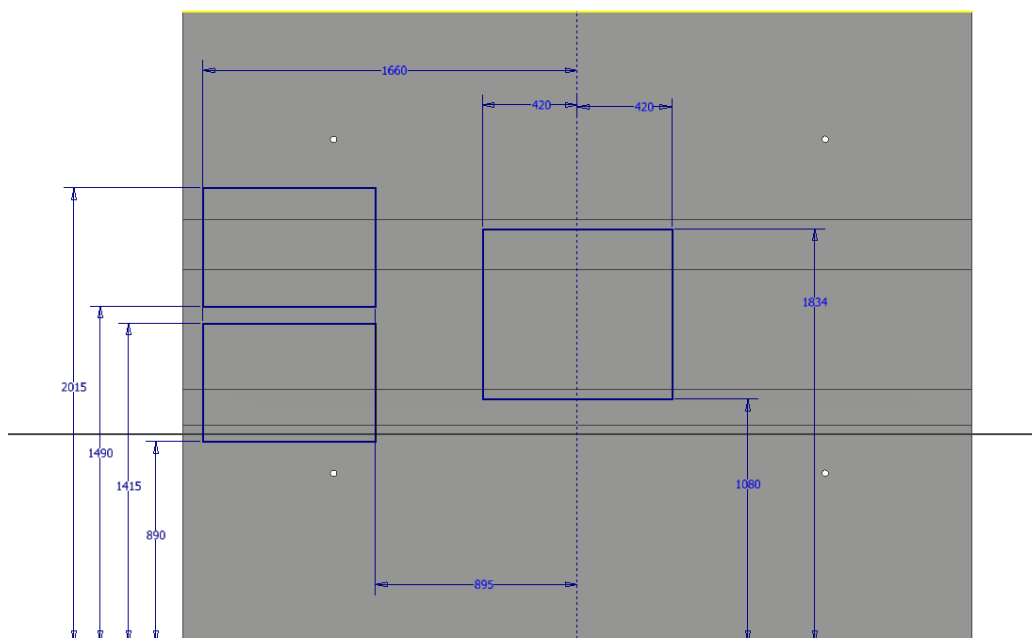
Tabulka 6 Hodnoty pro návrh třetího výřezu druhé kolize

| Označení rámu | R6 | R7 |
|---|-------------|-------------|
| Minimální vzdálenost kolize 2 od osy čela [mm] | 945 | 985 |
| Maximální vzdálenost kolize 2 od osy čela [mm] | 1338 | 1610 |
| Minimální výška spodní kolize 2 od základní desky [mm] | 1035 | 940 |
| Maximální výška spodní kolize 2 od základní desky [mm] | 1365 | 1260 |
| Minimální výška horní kolize 2 od základní desky [mm] | 1635 | 1540 |
| Maximální výška horní kolize 2 od základní desky [mm] | 1965 | 1860 |
| Rozměrový přídavek [mm] | 50 | 50 |
| Minimální vzdálenost kolizí 2 od osy čela [mm] | 895 | 935 |
| Maximální vzdálenost kolizí 2 od osy čela [mm] | 1388 | 1660 |
| Minimální vzdálenost spodní kolize 2 od základní desky [mm] | 985 | 890 |
| Maximální vzdálenost spodní kolize 2 od základní desky [mm] | 1415 | 1310 |
| Minimální vzdálenost horní kolize 2 od základní desky [mm] | 1585 | 1490 |
| Maximální vzdálenost horní kolize 2 od základní desky [mm] | 2015 | 1910 |

Tučně vyznačené hodnoty jsou ty, které pro návrh použiju. Jedná se tedy konkrétně o počátek středního výřezu od základní desky, konec prostředního výřezu od základní desky a o šířku prostředního výřezu od osy čela z první tabulky.

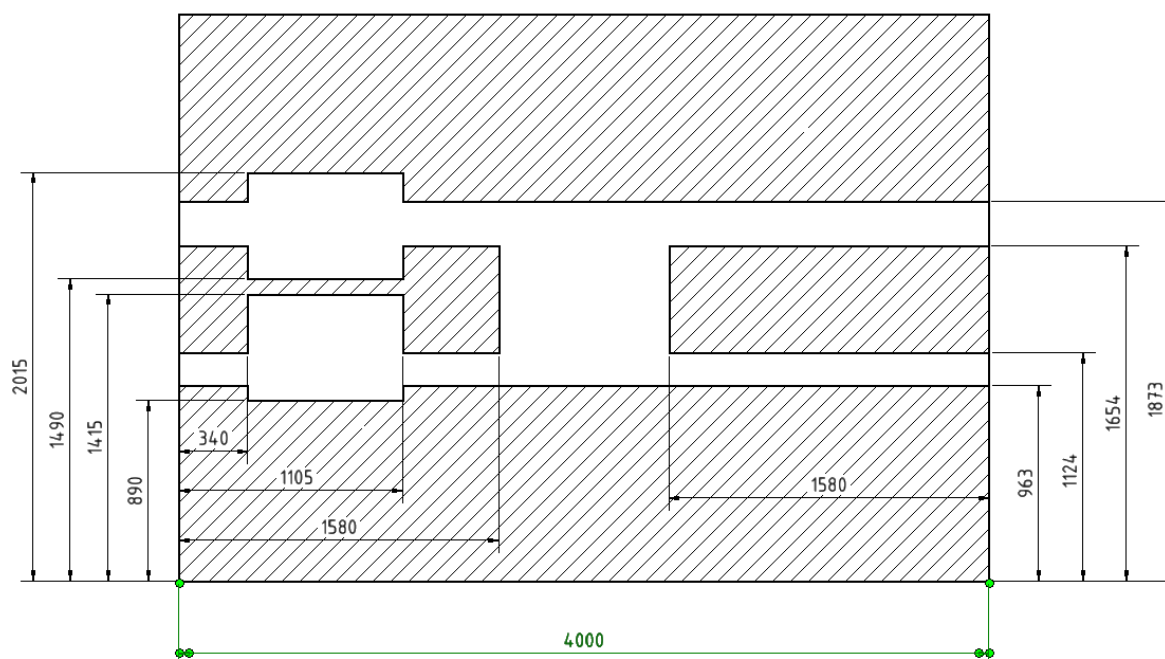
Z druhé tabulky jsou pro konstrukci nutné hodnoty minimální a maximální vzdálenosti kolizí 2 od čela, minimální a maximální vzdálenosti kolizí 2 od základní desky a minimální a maximální vzdálenosti horních kolizí 2 od základní desky.

Na následujícím obrázku 25 je znázorněn návrh tohoto výřezu pro rámy s průměrem čela 2064 mm.



Obrázek 25 Návrh třetího výřezu na opěrné desce v CADu

Tímto způsobem mám tedy získané opěrné body a plochy, tzn. plochy, které budou v přímém kontaktu s rámy a zároveň s nimi nebudou v problematických částech kolidovat, čímž se zamezí ohrožení tuhosti a deformace přípravku s rámy. Celkový tvar výřezů je možné vidět na obrázku 26. Tyto poznatky budu aplikovat při konkrétní konstrukci v další kapitole.



Obrázek 26 Konečný návrh výřezu

V této kapitole byla provedena kompletní rozměrová analýza všech typů rámců. Na základě této analýzy byla vytvořena teoretická opěrná deska s rozměry, které zabraňují kolizi s jakýmkoliv rámem. S touto tvarovou deskou budu dále pracovat v dalších kapitolách.

7 Návrh přípravku

V této kapitole budu popisovat aplikaci získaných poznatků a konstrukčních prvků na přípravek, který stylem upnutí odpovídá současnému stavu. Zaměřím se především na již zmíněnou eliminaci problémových dosedacích ploch s důrazem na využití již existujících prvků ve společnosti a na univerzálnost pro všechny typy.

7.1 Základní koncept

Koncepce návrhu je založena tak, aby byl přípravek s rámem vyrovnán už mimo stroj, proto je potřeba mít jako základ velmi tuhou desku, na které budou pevně připevněny všechny komponenty přípravku a při manipulaci jeřábem nedojde k jejich posunutí nebo porušení některých komponent. Zároveň však deska nesmí být zbytečně těžká, aby se celý přípravek s rámem vešel do hmotnostního limitu jeřábu, který je 20 tun, popřípadě je možné využít dvou jeřábů dostat se tak na limit 40 tun.

7.1.1 Upínací deska

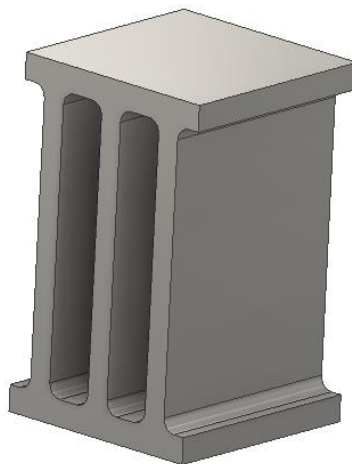
Zvolím proto pro svůj základní návrh litinovou desku o tloušťce 100 mm, která by měla zajistit dostatečnou tuhost při smontování celého přípravku. Ostatní rozměry se budou odvíjet především od rozpětí podpěrných kostek, které je v tomto případě 2400 mm a zároveň kostky mají šířku 500 mm. Dalším parametrem bude hloubka opěrné desky, která jistě nebude moci být pouhá deska, ale bude potřebovat opěry. Pro tyto opěry nechám v zadní straně desky volných 1250 mm. Konečné rozměry základní desky potom budou 4000 x 2400 x 100 mm a s těmito rozměry bude mít deska váhu přibližně 7 tun. Deska bude opatřena T pro upevnění dalších komponent přípravku.



Obrázek 27 3D model navržené základní litinové desky

7.1.2 Podpěrné kostky

Rozměry kostek použiju z původního návrhu, které budou 800 x 500 x 500 mm, z nichž 800 mm je výška kostky. Kostky budou rovněž litinové jako deska a budou mít průchozí dutiny, otvory a zářezy kvůli snížení hmotnosti, aby se celý přípravek vešel do hmotnostního limitu jeřábu. Jedna kostka bude mít hmotnost okolo 650 kg.

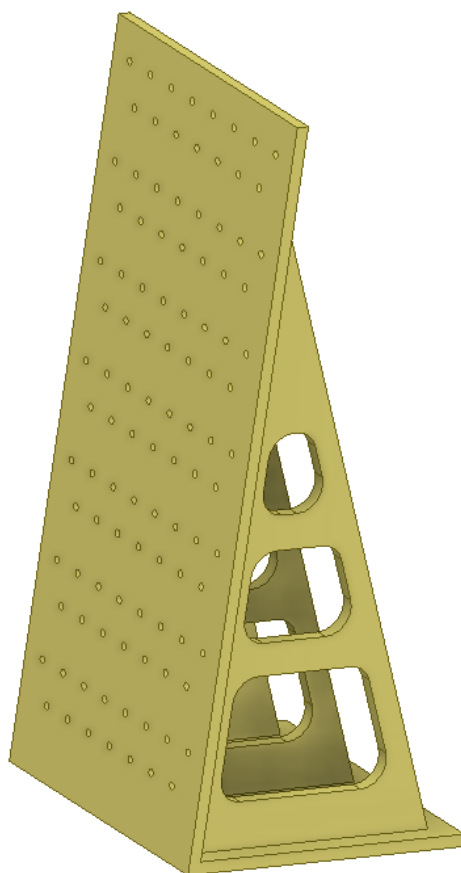


Obrázek 28 3D model podpěrné kostky

7.1.3 Opěrné věže

Společnost v současné době disponuje několika opěrnými věžemi, které jsou používány při konstrukci nynějšího přípravku (popsáno v kapitole 6.1). Tyto věže mají tuhou konstrukci, a proto budou vhodné i pro můj návrh nového univerzálního přípravku. Konkrétně se jedná o 3 věže lišící se výškou, z nichž 2 mají výšku 3000 mm a třetí 2500 mm. K návrhu mého přípravku budou použity právě první 2 s větší výškou. Věže mají šířku 1200 mm a tloušťku opěrné stěny 50 mm, která je ze zadní strany zajištěná dvěma bočními rámy s kruhovými průřezy snižujícími hmotnost, rovněž s tloušťkou 50 mm. Dále mají rovnoměrně vyvrtané díry o průměru 30 mm a rozpětím 140 mm ve vodorovné poloze. Pomocí těchto děr společně se závitníky (v případě mechanického upínání) se bude provádět ustavení a upevnění rámu na celý přípravek.

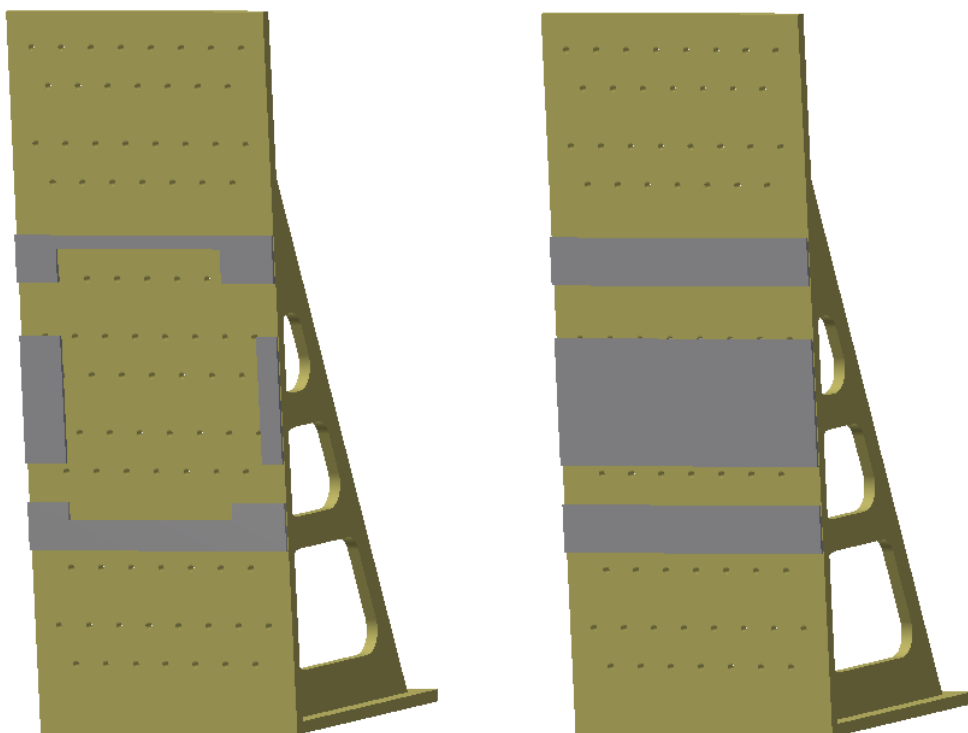
Celkové rozměry opěrných věží jsou 3000 mm výška, 1200 mm šířka a 1250 mm hloubka. Každá věž má hmotnost 2,5 tuny.



Obrázek 29 3D model opěrné věže

7.1.4 Návrh dosedacích ploch zabraňující kolizi

Z důvodu kolizních míst každého z ráků je potřeba upravit opěrné věže tak, aby vyhovovaly podmínkám. Na opěrné věže budou přišroubovány 20 mm přídavné pláty plechu tak, jak je vypočítáno a navrženo v kapitole 6.5, a díky nimž se získají opěrná místa bez hrozby kolize a následné deformace či nestability ráků na přípravku. Jelikož budou od sebe opěrné věže vzdáleny 1300 mm, omezí se tedy potřeba těchto přídavků v prostřední části původního návrhu z kapitoly 6.5. Návrh přímo na opěrných věžích je znázorněn na obrázku 30.

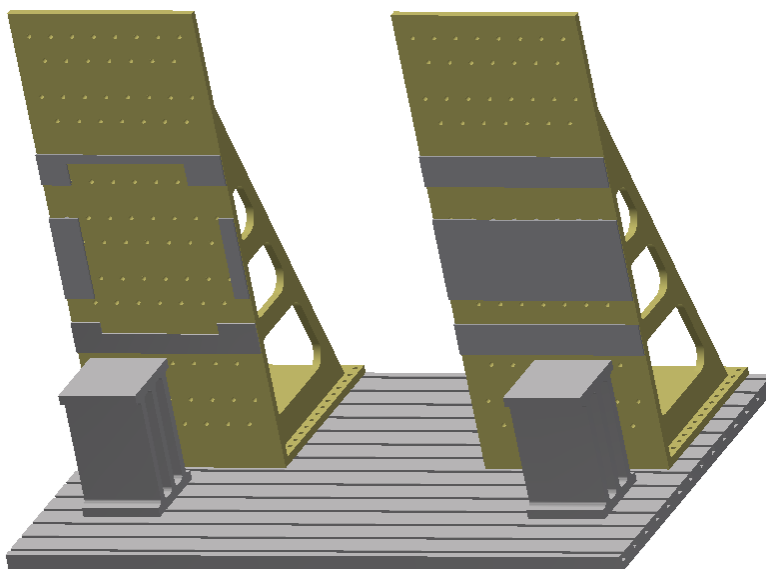


Obrázek 30 Opěrné věže s přídavky proti kolizi s ráky

7.1.5 Sestava kompletního přípravku

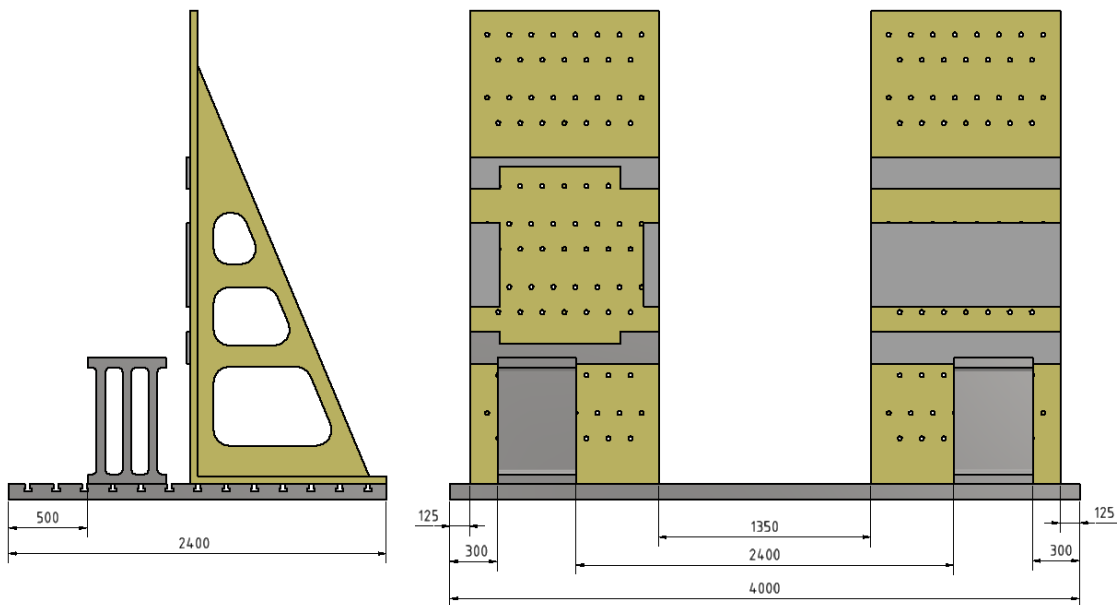
Při sestavování kompletního přípravku je důležité brát v potaz hned několik skutečností. Jednak je nutné dodržet hmotnostní limit jeřábů ve společnosti Schäfer-Menk, který je v tomto případě 20 tun. Nejvýznamnější komponenty přípravku, co se

hmotnosti tyče, tedy základní litinová deska, podpěrné kostky a opěrné věže, mají v tomto případě s přihlédnutím na navržené materiálové vlastnosti, váhu 13,8 tun. Ze zjištěných parametrů všech rámců, které jsou zaneseny v tabulce 2 je zřejmé, že mezi nejtěžší rámy se řadí R3 a R6, které mají váhu přibližně 5,4 tun. Přípravek s rámem bude mít tedy maximální celkovou váhu 19,2 tuny, což je v přípustných mezích s rezervou 800 kg na upínací prvky.



Obrázek 31 Kompletní sestava přípravku

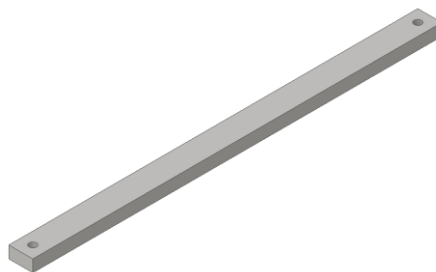
Další záležitostí je správné ustavení všech komponent na základní desku tak, aby nedošlo ke ztrátě stability, kolizi nebo se zcela neznemožnilo upnutí rámu, jak je znázorněno na obrázku 32. Na základní desce o rozměrech 4000 x 2400 mm budou nejdříve postaveny opěrné věže, ze zadní strany zarovnané s hranou základní desky a vzdáleny od sebe 1350 mm. Podpěrné kostky budou umístěny před opěrnými věžemi, 500 mm od přední hrany základní desky a s rozpětím 2400 mm. Takto by mělo být docíleno ideálního usazení rámců na přípravku.



Obrázek 32 Rozměry navrženého přípravku

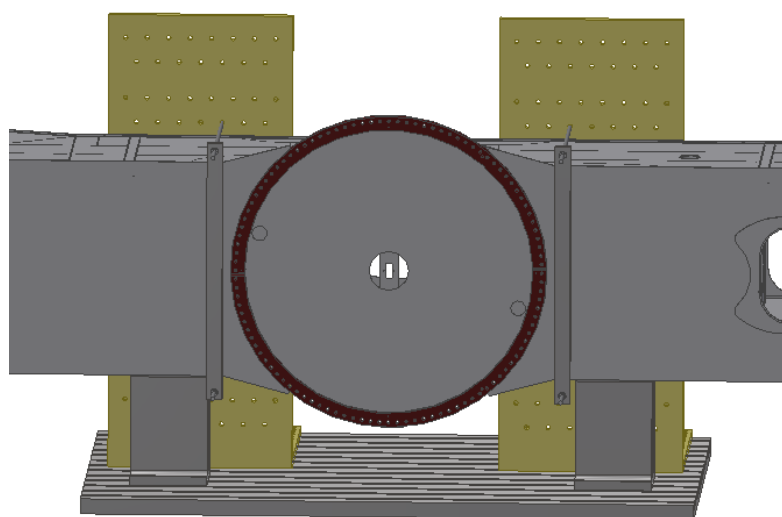
7.1.6 Vyrovnání a upnutí

Poslední důležitou problematikou, kterou se budu zabývat, je návrh upnutí a vyrovnání. Ve formě přípravku jak mechanické i hydraulické budou pro vyrovnání použity upínky, které zároveň budou sloužit pro upnutí rámu na do přípravku a které jsou znázorněny na obrázku 33. Upínka musí zajistit dostatečnou tuhost celé soustavy, která má necelých 20 tun, proto bude mít masivní rozměry, především tloušťku, která bude mít 50 mm. Dále šířku 100 mm a délku, 1700 mm.



Obrázek 33 Upínka

Jelikož jsou rámy velké několikametrové svařené konstrukce, které se při samotném svařování i při manipulaci značně deformuje, je nutné dodržet jejich co nejpřesnější tvar. To bude provedeno pomocí utahování a povolování matic (v případě mechanickém) na závitové tyči, která bude spojovat opěrné desky s upínkami. Kompletní sestava se všemi komponenty, aplikovaná na rám R3, je ukázána na obrázku 34.



Obrázek 34 Kompletní sestava základního návrhu

Tento základní návrh velmi dobře vyhovuje z hlediska chvění v oblastech kruhu, které jsou obráběny – tedy na kruhovém čele, které je frézováno a jsou do něj vrtány díry se závity. Nicméně při konečné montáži se bere v potaz vzájemná poloha kruhového čela a kastenů (navařených krajních částí na rámech), přičemž u tohoto přípravku je kladen důraz pouze na eliminaci chvění v oblastech obrábění a jelikož rámy mají některé až 10 metrů, chvění a deformace se vyskytuje i v nejkrajnějších částech rámu a je nutné také eliminovat.

7.2 Optimalizovaný koncept přípravku

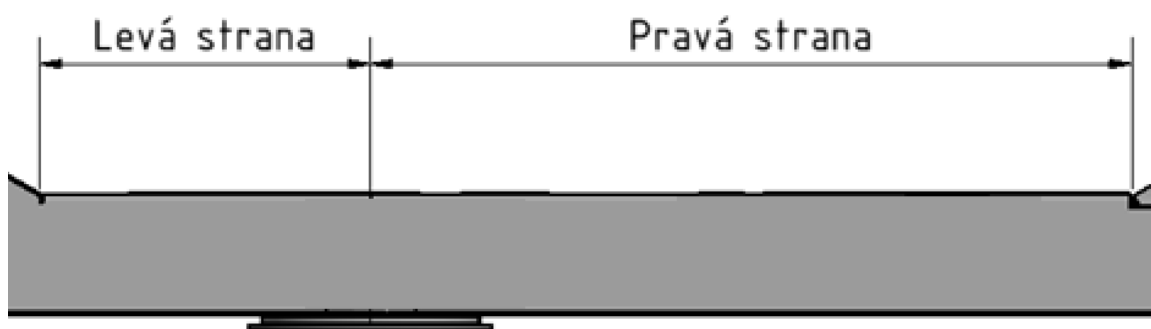
Jak bylo již popsáno v předchozí kapitole, je nutné eliminovat deformace v krajních částech rámu, aby nedocházelo ke komplikacím při konečné montáži a zároveň se musí stále při konstrukci přípravku zachovat jeho univerzálnost pro všechny typy rámu.

Pro odstranění chvění a deformace v okrajových částech rámu bude potřeba optimalizovat styl upnutí do přípravku. První a zároveň hlavní složkou této optimalizace bude umístění upínacích prvků blíže ke krajům rámu, to ale znamená dál od středu kruhového čela. Toto omezení v oblasti kruhového čela bude řešeno zadní opěrou, na které se budou pomocí hydraulických pístů pohybovat desky směrem k rámu, tedy ve směru opačném k upínání. Tento způsob zajistí tuhost v oblasti obrábění a jako prevence proti přílišnému „promáčknutí“ bude přípravek vybaven laser scannerem, který v případě přílišného vychýlení rámu z osy předá informaci hydraulickému pístu, který se v okamžiku zastaví.

Podle provedené rešerše je na návrh přípravku nejvhodnější použít hydraulický způsob upínání, proto bude upnutí prováděno pomocí hydraulických pístů.

7.2.1 Rozpětí upínacích prvků

Jak jsem již naznačil výše, pro eliminaci chvění v krajních částech rámu je nezbytné umístit upínací prvky do co největší větší vzdálenosti od středu obráběného čela rámu. Provedu tedy analýzu všech typů rámu, ze které zjistím, jak daleko mohou být maximálně upínací prvky umístěny. V tomto případě se zaměřím na maximální vzdálenost zadní opěry, za kterou bude rám upnut, od středu kruhového čela k začátku zkosení, jak jsem znázornil na obrázku 35.



Obrázek 35 Přechod do zkosení v zadní části rámu

Zadní strana každého rámu přejde v určité vzdálenosti do zkosení, které by znemožnilo správnou opěru. Počátek tohoto zkosení bude maximální možnou vzdáleností

zadních opěr. Tyto hodnoty jsem u všech 7 typů ráků zanalyzoval s CAD softwaru a zanesl do tabulky 7.

Tabulka 7 Maximální možné vzdálenosti opěrných věží

| číslo | označení | Maximální vzdálenost z levé strany [mm] | Maximální vzdálenost z pravé strany [mm] |
|-------|----------|---|--|
| 1 | R1 | 1920 | 4428 |
| 2 | R2 | 2466 | 4622 |
| 3 | R3 | 2089 | 4652 |
| 4 | R4 | 2022 | 4278 |
| 5 | R5 | 2067 | 4612 |
| 6 | R6 | 2089 | 4652 |
| 7 | R7 | 2111 | 3970 |

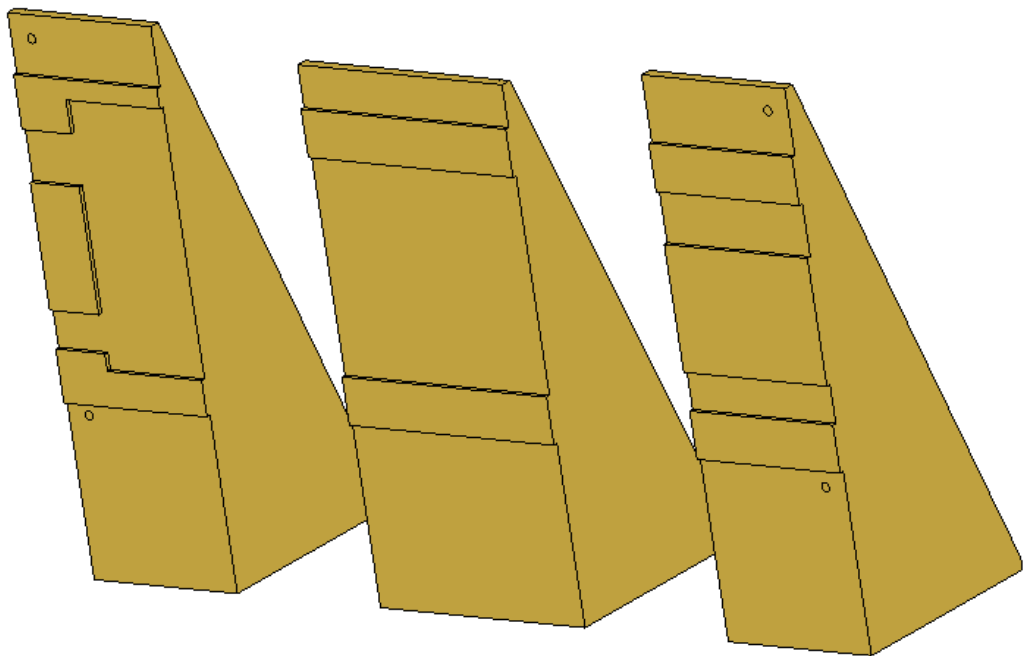
Již na první pohled je zřejmé, že se nejmenší naměřená vzdálenost bude týkat levé strany, protože ráky jsou vertikálně osově nesymetrické. Nejmenší vzdálenost počátku zkosení od středu kruhového čela je u ráku č. 1 s označením R1 a činí 1920 mm. To znamená, že maximální rozpětí vzdálenějších stran opěrných věží nebude větší než 3840 mm. Kvůli rozměrovým nepřesnostem a deformaci ráků proto zvolím pro konstrukci tento rozměr 3800 mm. S tímto rozpětím opěrných věží bude přípravek univerzální pro všechny typy ráků.

7.2.2 Koncepce 1

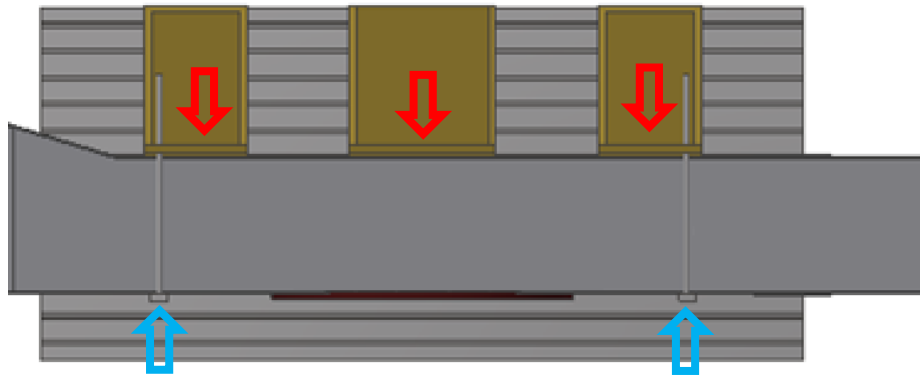
Můj první návrh vychází z předchozí analýzy, kde se určilo maximální rozpětí opěrných věží. Celkový návrh se tedy od základního liší především rozpětím bočních dvou věží a zároveň přidáním třetí, prostřední opěrné, věže, která slouží nejen jako opěra, ale pomocí hydraulických pístů bude působit silou na střed ráku, čímž se dosáhne větší tuhosti.

Šírkové rozměry opěrných věží ze základního návrhu byly zbytečně velké (1200 mm) a pro tento můj návrh jsou dostačující opěrné věže o šířce 700 mm. Zároveň jejich výška bude dostatečná 2350 mm, namísto původních 3000 mm. Jednak proto, že se tím

ušetří desítky až stovky kilogramů a také kvůli snadnější manipulaci. S tímto rozměrem bude jejich rozpětí 2400 mm. Na bočních opěrných věžích budou opět přišroubovány pláty plechu, aby se zabránilo kolizím, dle analýzy z kapitoly 6.5 (obrázek 36). Důležitou změnou v tomto návrhu je především použití třetí opěrné věže ve vertikální ose rámu, která bude mít rovněž v rozměrech dle analýzy z kapitoly 6.5 „výstupky“. Tyto výstupky však budou pomocí hydraulického mechanismu pohyblivé v ose Y a budou sloužit ke zlepšení tuhosti soustavy (znázorněno červenou šipkou na obrázku 37). Jak jsem již zmínil výše, bude přípravek preventivně proti přílišnému prohnutí vybaven laser scannerem, který zachytí případné zvýšené zakřivení.



Obrázek 36 Opěrně věže se znázorněnými výstupky pro první návrh



Obrázek 37 Znáznornění směru síly působící hydraulickým mechanismem (červeně) a směry upnutí (modře) na první koncepci

Podpěrné kostky v tomto návrhu použiju v celkovém počtu 4 kusy, kvůli zvětšenému rozpětí upínacích prvků, avšak zmenším jejich šířku na pouhých 250 mm. Ostatní rozměry zůstanou stejné – tedy 800 mm výška a 500 mm hloubka. Rozpětí podpěrných kostek je v tomto případě 2000 mm u vnitřních a 4100 mm u vnějších. Všechny komponenty přípravku budou připevněny na litinovou desku opatřenou T drážkami.

7.2.3 Koncepce 2

Druhý návrh jsem rozšířil o stejný styl upnutí, jako je aplikován v základním návrhu, tedy o upnutí co nejbliže k obráběným plochám rámu, při zachování „širokého upnutí z prvního návrhu. Tímto zajistím vyšší tuhost v oblastech obrábění rámu a zároveň bude eliminováno chvění krajních částí, na které jsou přivařeny kasteny. I tento návrh je opatřen prostřední opěrnou věží s hydraulickým mechanismem. Na obrázku 38 je znázorněn směr působení hydraulické síly a směry upnutí rámu do přípravku.

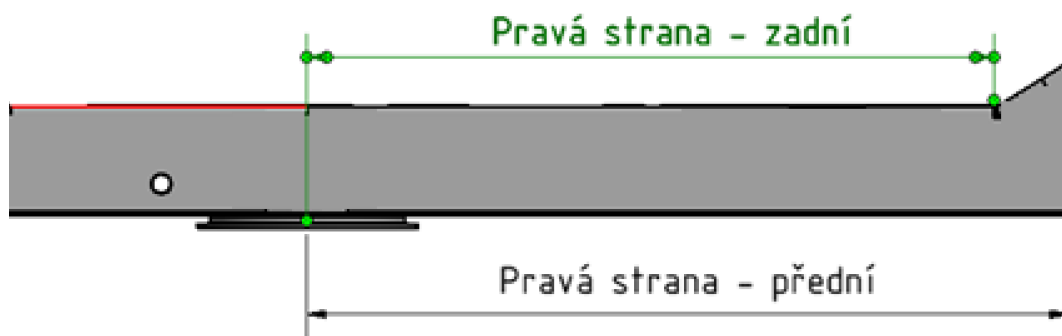


Obrázek 38 Znárodnění směru síly působící hydraulickým mechanismem (červeně) a směry upnutí (modře) v druhé koncepci

Šířku bočních opěrných věží jsem v tomto případě musel zvýšit ze 700 mm na 900 mm, protože upnutí nejbližší obráběné ploše bude propojeno s těmito opěrami. Touto rozměrovou změnou se jejich rozpětí sníží na 2000 mm. Aby se daly spojit upínací prvky s opěrnými věžemi, změnil jsem rozpětí vnitřních podpěrných kostek na 1600 mm. Sestava druhého návrhu s přidávanými upínacími prvky je aplikována na rámu R1.

7.2.4 Koncepce 3

Poslední návrh upravil o pravé upnutí, které jsem směřoval co nejvíce do kraje rámu, aby se v této části lépe eliminovaly vibrace a rámy docházelo k co nejmenší deformaci, jelikož u každého z rámu je tato část delší. Jelikož jsem místo upnutí jsem směřoval co nejvíce ke kraji, musel jsem opět provést odměření rámu, abych zjistil, do jaké maximální vzdálenosti od kruhového čela lze upnutí umístit tak, aby byl přípravek stále univerzální pro všechny typy rámu. Zadní stranu jsem měl již naměřenou v tabulce 7, proto jsem nyní měřil pouze stranu přední, respektive vzdálenost počátku jakéhokoliv zkosení od středu obráběného čela, jak je znázorněné na obrázku 39. Naměřené hodnoty přední strany i s dříve naměřenými hodnotami zadní strany jsou zaneseny v tabulce 8.

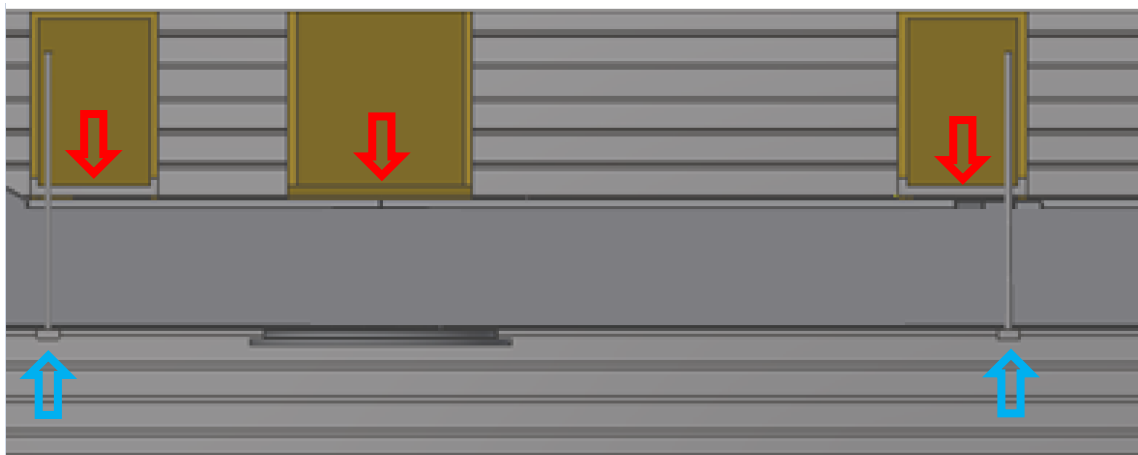


Obrázek 39 Přechod do zkosení v pravé části rámu

Tabulka 8 Maximální vzdálenosti třetí přidané upínky od středu kruhového čela

| číslo | označení | Maximální vzdálenost na zadní straně [mm] | Maximální vzdálenost na přední straně [mm] |
|-------|----------|---|--|
| 1 | R1 | 4428 | 4913 |
| 2 | R2 | 4622 | 3502 |
| 3 | R3 | 4652 | 5174 |
| 4 | R4 | 4278 | 3807 |
| 5 | R5 | 4612 | 3494 |
| 6 | R6 | 4652 | 4569 |
| 7 | R7 | 3970 | 3971 |

Z výše uvedených naměřených hodnot vyplývá, že maximální možná vzdálenost upínky od kruhového čela, je při zachování univerzálnosti pro všechny rámy 3494 mm. Zvolím si proto vzdálenost třetí přidané opěrné věže 3500 mm od kruhového čela. Může být vyšší než naměřená maximální vzdálenost, protože se jedná o hodnotu naměřenou na přední straně a díra vyvrtaná na upínací prvek je 100 mm od kraje věže. Přidaná upínka je řešená stejným způsobem, jako předešlé. To znamená že bude pomocí závitové tyče (v případě mechanickém) nebo pomocí upínáku s pístem (v hydraulickém případě), spojena se čtvrtou opěrnou věží, která je v tomto případě stejná jako její sousední. Shodnost se týká i výstupků, zabraňujícím kolizi. I tento návrh je vybaven prostřední opěrnou věží s hydraulickým mechanismem. Směry síly a upnutí jsou vyznačeny na obrázku 40.



Obrázek 40 Znárodnění směru síly působící hydraulickým mechanismem (červeně) a směry upnutí (modře) na třetí koncepci

Rozpětí podpěrných kostek zůstává stejné z prvního návrhu u vnitřní dvojice kostek, tedy 2000 mm. Pravou kostku z vnější dvojice jsem posunul směrem ke kraji, aby byla dosažena maximální stabilita v místě upnutí. Kostka je posunuta v ose X „doprava“ o 1000 mm.

7.2.5 Zhodnocení konceptů

Jelikož jsem všechny varianty v předchozích podkapitolách navrhl tak, aby byly univerzální pro všechny typy rámu, zabýval jsem se při výběru nejvhodnější především jednoduchostí jak konstrukce, tak obsluhy a samozřejmě také tím, jak dokáží díky různé poloze upínacích prvků eliminovat chvění v okrajových částech rámu a na obráběném čele. Na základě návrhů byly ve společnosti Schäfer-Menk provedeny zkoušky, z nichž nejlépe dopadla koncepce přípravku číslo 3, proto se nadále budu věnovat této. Tato varianta dokáže lépe odstranit vibrace v krajních částech rámu, hlavně díky posunutému poloze pravé upínky. Zároveň je oproti druhému konceptu snadnější jak na sestavení, tak na vyrovnání.

8 Koncepce upínání

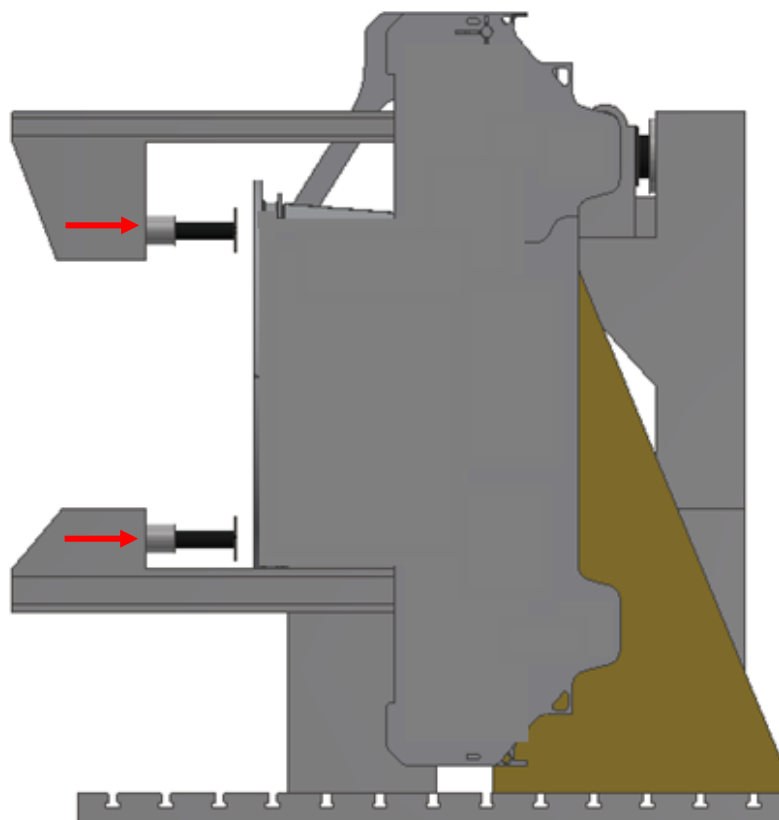
Poslední důležitou částí, kterou je třeba navrhnout pro můj koncept upínacího přípravku pro obrábění, je způsob upnutí a následné vyrovnání rámu. Z teorie přípravků pro velké součásti se nabízí dva způsoby upnutí – mechanickým nebo hydraulickým způsobem. Mechanický způsob je na vyrovnávání rámu používán v současné době a jelikož tento styl zabere mnohdy až několik hodin, jelikož pracovník musí stále obcházet rám a utahovat matice, dokud není rám vyrovnán, zvolím si pro můj koncept variantu s hydraulikou. Pracovník následně bude používat pouze ovladač, kterým bude řídit jednotlivé hydraulické okruhy, dokud nebude přípravek správně vyrovnán.

Kompletní přípravek může být sestaven několika možnými způsoby:

- Celý přípravek bude i s rámem upnut a vyrovnán mimo pracovní plochu stroje a na stroj se následně přesune pomocí jeřábu.
- Rám se do přípravku upne přímo na stroji, kde bude připravený se všemi komponenty. Na stroji proběhne i následné vyrovnání
- Rám bude upnut pomocí všech potřebných komponentů mimo stroj, na který se následně do zbytku přípravku přesune jeřábem a proběhne následné vyrovnání.

8.1 Koncept upínacích prvků

Z důvodu upínání rámu až na stroji je nutné tento proces co nejvíce urychlit, aby nedocházelo k časovým a tím pádem i finančním ztrátám. Upínacími prvky jsem proto zvolil hydraulické válce s písty o délce tahu 400 mm, které zajistí v hlavní řadě dostatečnou tuhost soustavy. Jak je vidět na obrázku 46 a), budou upínací válce spojeny s hydraulickým mechanismem na opěrných věžích. Spojení bude pomocí dostatečně robustních tyčí nebo traverz. Ve spodní části budou tyto tyče napevno a horní bude odklápěcí či sundavací, aby bylo možné umístit z jeřábu rám na přípravek. Po uložení rámu se horní upínky sklopí nebo položí do vodorovné polohy, ve které proběhne upnutí rámu, jak je znázorněno šipkami na obrázku 41).



Obrázek 41. Znázornění pohybu upínacích válců

Jak jsem již zmínil, k upnutí bude použit hydraulický válec s délkou tahu 400 mm. Tento parametr jsem zvolil na základě rozdílné tloušťky všech ráků, aby byl přípravek stále univerzální pro všechny typy ráků. Naměřené hodnoty tloušťky všech ráků jsou zaneseny v tabulce 9.

Tabulka 9 Naměřené hodnoty tloušťky všech ráků

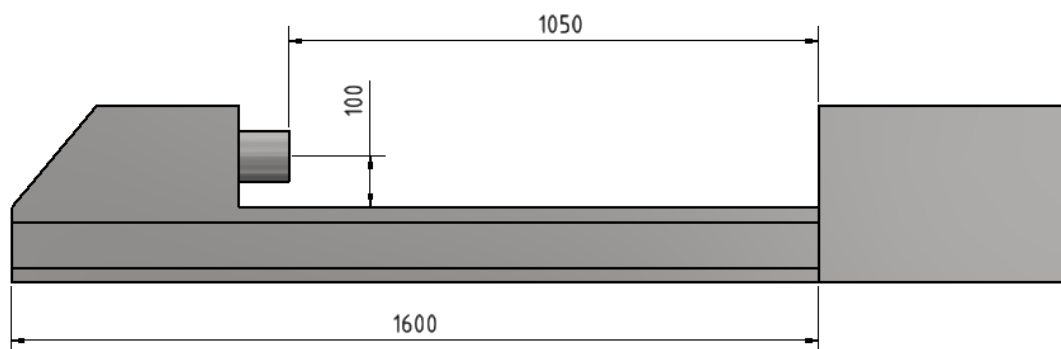
| číslo | označení | tloušťka [mm] |
|-------|----------|---------------|
| 1 | R1 | 702 |
| 2 | R2 | 970 |
| 3 | R3 | 941 |
| 4 | R4 | 702 |
| 5 | R5 | 968 |
| 6 | R6 | 942 |
| 7 | R7 | 914 |

Z tabulky je jednoznačné, že rozdíl mezi rámy s nejmenší největší tloušťkou je 268 mm. A jelikož je nutné brát v úvahu i bezpečnou vzdálenost při pokládání rámu do přípravku, navrhl jsem délku tahu hydraulického pístu 400 mm.

Spodní upínky budou na přípravku napevno a budou spojeny s hydraulickým mechanismem na opěrných věžích, díky kterému se vykoná následné vyrovnání. Oproti tomu k horním upínkám je potřeba zařadit sklápěcí mechanismus, který je bude moci uvádět ze svislé do vodorovné polohy a naopak. Rozměry těchto upínek opět volím po důkladné rozměrové analýze všech ráků, aby nedošlo u žádného z nich ke kolizi. Jedná se opět o tloušťku ráků a také o jejich výšku od podpěr.

Kvůli požadavku vysoké pevnosti díky působení značné síly, je nutné použít pro spojení hydraulického válce s opěrnými věžemi prvek, který toto zatížení vydrží bez deformace. Proto pro tento návrh volím spojení pevnými traverzami o rozměrech 200 x 150 mm, na nichž se bude nacházet hydraulický upínací válec.

Z tabulky 9 je zřejmé, že největší tloušťka je u ráku R2 a to 970 mm a zároveň nejmenší u ráku R1, 702 mm. Z toho důvodu jsem zvolil délku traverz 1600 mm od opěrných věží a mezeru mezi písty a věžemi 1050 mm. Její rozměry i s hydraulickým válcem a jsou ukázány na obrázku 42.



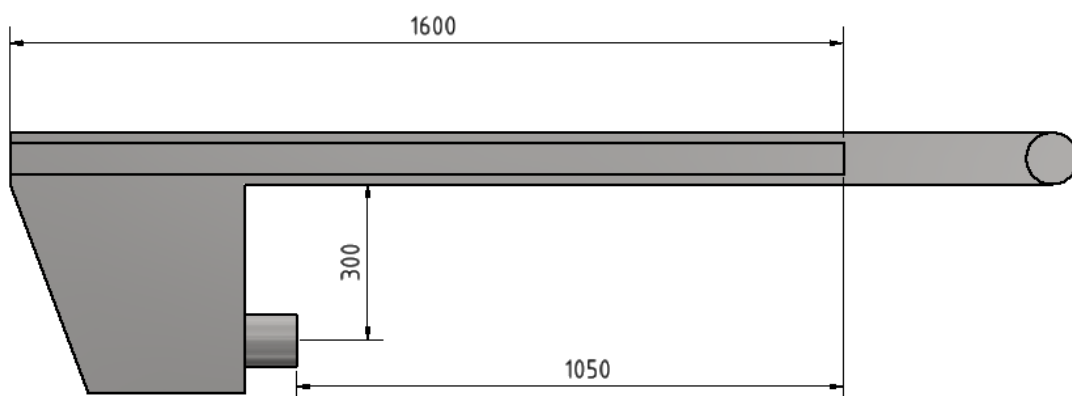
Obrázek 42 Vyobrazení rozměrů spodní traverzy s hydraulickým upínacím válcem

Protože je výška každého rámu od podpěrných kostek jiná, musí se podle toho upravit rozměr horní upínací tyče, která nesmí kolidovat s nejvyšším rámem, ale zároveň, chci-li zajistit univerzálnost, musí zajistit dotek pístu válce s rámem o nemenší výšce. Výšku měřím od plochy, která dosedá na podpěrné kostky.

Tabulka 10 Naměřené hodnoty výšky všech rámu

| číslo | označení | výška [mm] |
|-------|----------|-------------|
| 1 | R1 | 1130 |
| 2 | R2 | 1200 |
| 3 | R3 | 1398 |
| 4 | R4 | 1130 |
| 5 | R5 | 1200 |
| 6 | R6 | 1400 |
| 7 | R7 | 1200 |

Z naměřených hodnot výšek v tabulce 10 je zřejmé, že rozdíl mezi rámem s největší (R6) a nejmenší (R4) výškou je 270 mm. Dle této hodnoty jsem musel upravit hodnoty horní upínací tyče na rozměry, které jsou znázorněny na obrázku 43.

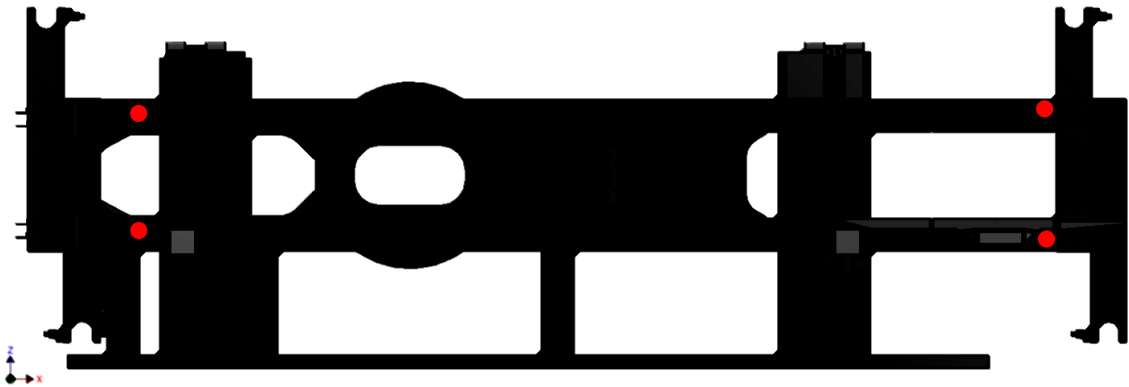


Obrázek 43 Vyobrazení rozměrů horní traverzy s hydraulickým upínacím válcem

8.2 Vyrovnání

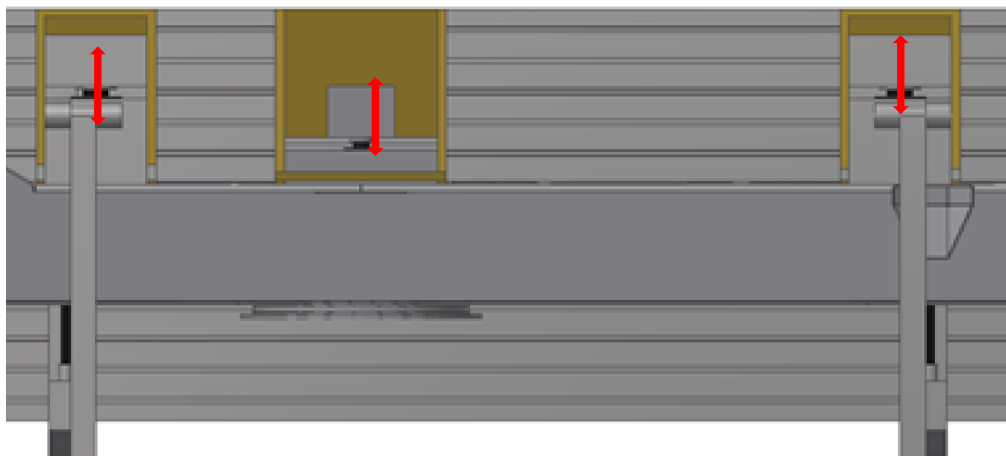
Jakmile bude rám pomocí hydraulických válců upnutý v přípravku, je nutné provést ještě jeho vyrovnání, jelikož každý svařenec je jinak zdeformován a musí se každý dostat do stejného deformovaného stavu. To znamená upravit jeho deformace v jednotlivých částech tak, aby obrábění probíhalo ve správné poloze vůči kastenům.

Toto vyrovnání se bude provádět pomocí posuvu tvarových výřezů (z kapitoly 6.5), které budou posuvné v ose Y pomocí hydraulického pístu. Na rámu budou umístěny 4 pravítka (červeně vykreslené na obrázku 44), jejichž vzájemná poloha při vyrovnání bude zjišťována laserovou vodováhou.



Obrázek 44 Vyrovnávací body

Hydraulicky ovládané tvarové výřezy jsou na každé straně ve stejné vodorovné poloze jako protilehlé upínací válce. V tomto spojení lze snadno měnit deformaci rámu v každém z rohů ve směru osy Y, jak je znázorněno na obrázku 45. Operátor bude tyto hydraulické posuvy řídit pomocí jednoduchého ovladače. Eliminace chvění při obrábění na kruhovém čele se provede také pomocí hydraulicky posuvného tvarového výřezu, který bude umístěn na prostřední opěrné věži a při pohybu v ose Y zapříčiní dostatečnou tuhost celé soustavy.



Obrázek 45 Znázornění směrů hydraulických posuvů

Ve fázi, kdy budou všechny strany dostatečně upnuty a celý rám správně vyrovnán, mohou se naskenovat důležité body pomocí sondy na hlavě stroje, aby si stroj zjistil správnou polohu. Následně je možné jakýkoliv vyrovnaný rám bezpečně obrábět.

8.3 Sestavení

Z hlediska ekonomických důvodů je třeba vymyslet postup sestavení tak, aby byl co nejlépe využitý pracovní čas stroje a nedocházelo ke zbytečným ztrátám. Proto vytvořím několik návrhů na sestavení přípravku s upnutím a vyrovnáním rámu, ze všech komponentů buď na stroji nebo mimo stroj, které následně podle vhodných kritérií ohodnotím a vyberu nejekonomičtější řešení.

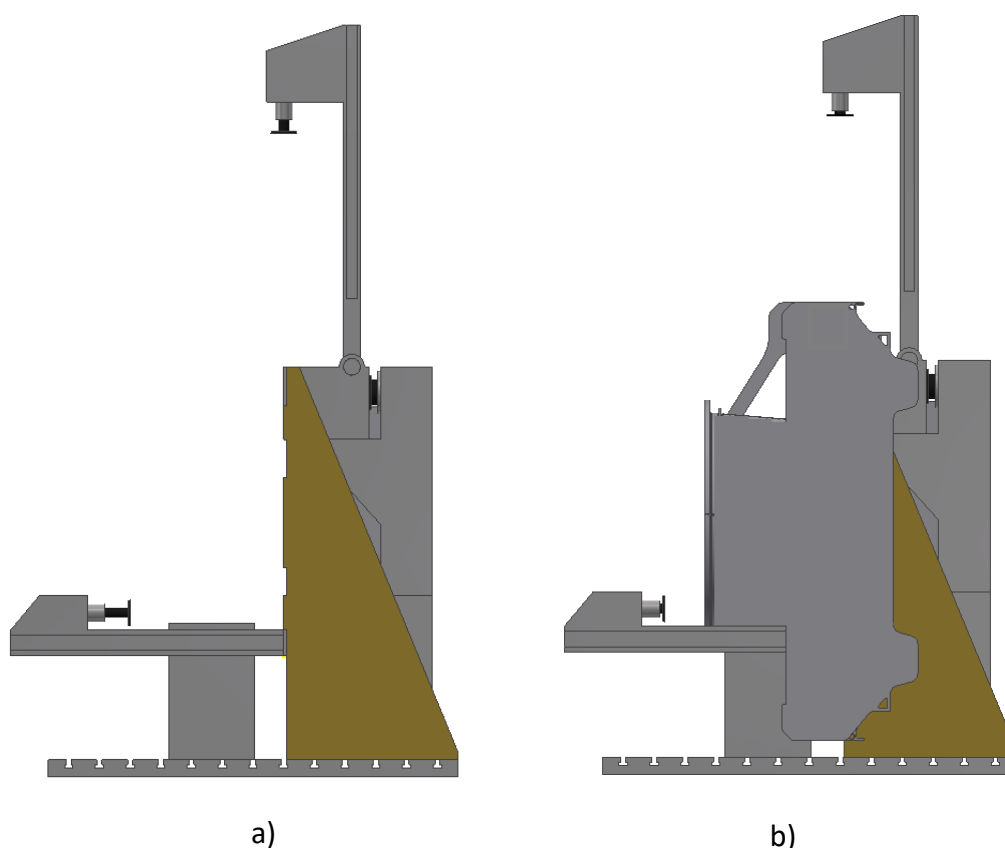
Celkový přípravek obsahuje více než dvě desítky komponentů:

- Litinovou desku
- Opěrné věže (3x)
- Podpěrné kostky (4x)
- Upínací hydraulické válce (4x)
- Upínací rameno (4x)
- Vyrovnávací hydraulické písty (4x)
- Zpevňovací desky (na prostřední věži) (2x)

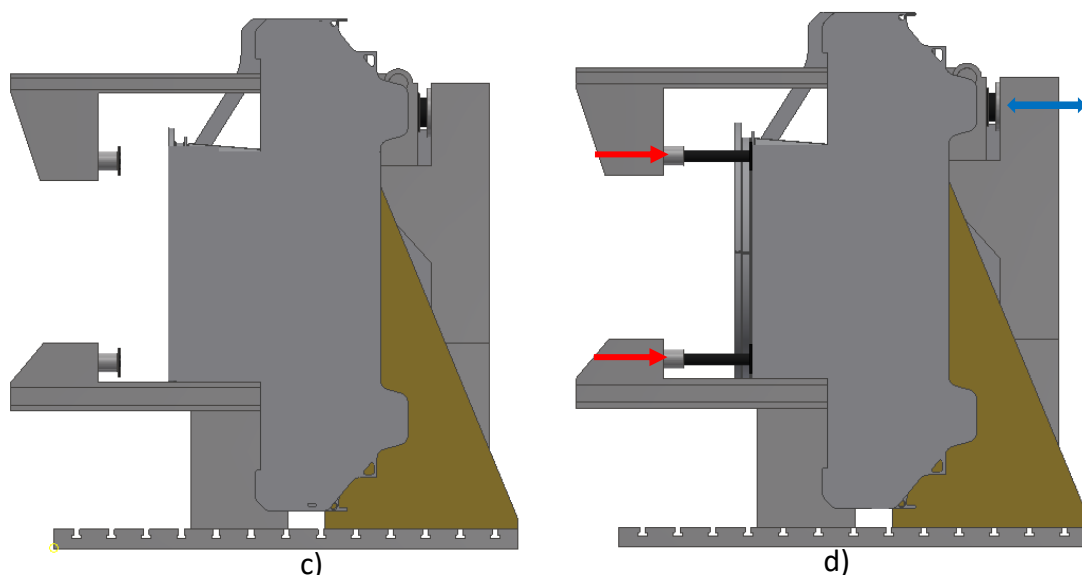
- Zpevňovací píсты (na prostřední věži) (2x)

8.3.1 Varianta 1

Tato varianta pracuje s upnutím i vyrovnáním rámu na stroji. V tomto případě budou muset být všechny komponenty připravené v pracovním prostoru stroje. To znamená, že jeřábem se bude na přípravek přenášet pouze daný obráběný rám, který se následně upne až poté nastane vyrovnání. Při této variantě nenastane omezení z hlediska nosnosti jeřábů a přípravek bude potřeba pouze jeden, zároveň se prodlouží doba stání stroje, kdy se neobrábí. Postup sestavení a, upnutí a vyrovnání je ukázán na obrázku 46 a 47 (a. základní stav přípravku, b. ustavený rám pomocí jeřábu, c. přesunutí horních upínacích válců do vodorovné polohy, d. upnutí rámu – znázorněno červenými šipkami a vyrovnání rámu – znázorněno modrou šipkou)



Obrázek 46 Postup ustavení, upnutí a vyrovnání rámu v případě kompletování na stroji - 1



Obrázek 47 Postup ustavení, upnutí a vyrovnání rámu v případě kompletování na stroji - 2

Následně proběhne pomocí sondy na obráběcí hlavě odměření 4 bodů rámu, aby si stroj definoval jeho polohu a může započít obrábění.

8.3.2 Varianta 2

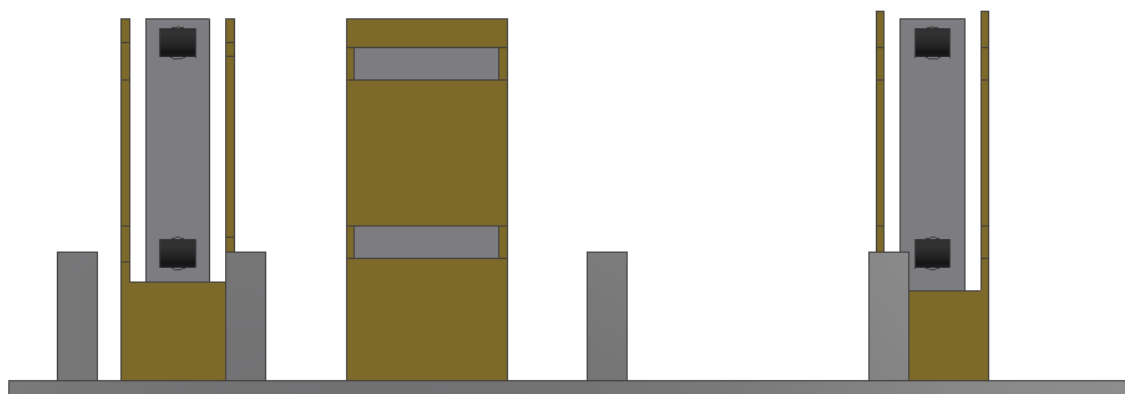
V této variantě budu uvažovat upnutí i vyrovnání mimo stroj, odkud se celý přípravek s vyrovnaným rámem přesune do pracovního prostoru stroje, kde proběhne pouze odměření polohy rámu pomocí sondy. Aby se v tomto případě využil pracovní čas stroje nejefektivněji, bude nutné mít tyto přípravky dva a bude muset být přesně nadefinovaná jejich poloha. Zatímco jeden bude s rámem na stroji a bude se obrábět, na druhém se bude připravovat další rám. Avšak celý přípravek bude vážit desítky tun, takže k jeho přemístění bude potřeba jeřábu s vysokým hmotnostním limitem nebo více menších jeřábů. Upnutí a vyrovnání proběhne stejně, jako u předchozího návrhu, tedy dle obrázku 51, akorát mimo pracovní prostor stroje.

8.3.3 Varianta 3

Třetí varianta bude komplikovanější z toho důvodu, že upnutí rámu proběhne mimo stroj a jeho následné vyrovnání až na stroji. Tuto možnost jsem zahrnul z toho důvodu, že se značně oproti prvnímu návrhu sníží přípravný čas a zároveň se sníží

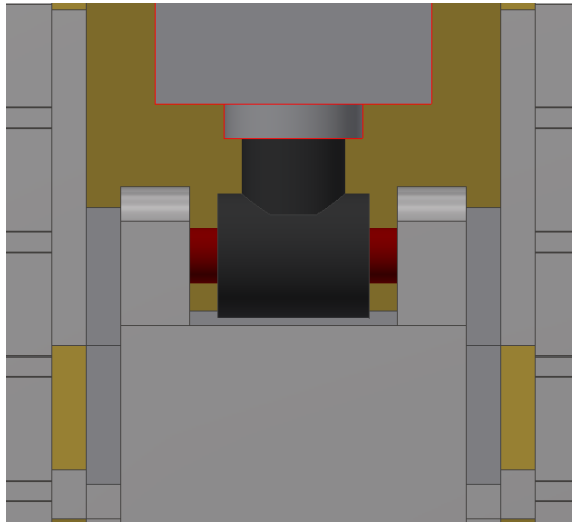
přenášena hmotnost jeřábem, jelikož polovina komponentů bude připravená již v pracovním prostoru stroje.

Koncept tohoto návrhu spočívá v rozdělení přípravku na „pevnou“ a „výměnnou“ část. Komponenty „pevné“ části budou připraveny v pracovním prostoru stroje. Těmito pevnými komponenty budou – litinová deska, podpěrné kostky, opěrné věže, kompletní vyrovnávací hydraulika a zpevňovací desky s písty zajišťující tuhost obrábění. Zároveň v krajních opěrných věžích budou drážky, které umožní přesné ustavení ostatních komponent přípravku s upnutým rámem. Pevné části přípravku jsou znázorněny na obrázku 48.



Obrázek 48 Pevné komponenty přípravku ve variantě s upnutím mimo stroj a vyrovnáním na stroji

Samotné upnutí rámu při této variantě probíhá mimo stroj, kde by se pomocí podpěrných kostek a opěrných věží se stejným rozpětím jako je v kompletním přípravku dosáhlo stejného upnutí jako v pracovním prostoru stroje. Pokud by byl rám již upnut, celá část „výměnného“ přípravku by se jeřábem přemístila do pracovního prostoru stroje, kde by bylo nutné dbát na správné uložení, k čemuž by posloužily tvarové výřezy na krajních opěrných věžích. Následně by se pohyblivé vyrovnávací desky spojily s hydraulikou pomocí čepu, který by zajistil přenos sil. Píst a čep jsou detailně ukázány na obrázku 49. Následně po uložení rámu na podpěrné kostky by se již jen provedlo vyrovnání a určení polohy rámu sondou na stroji.



Obrázek 49 Detail spojení výměnných částí s hydraulikou pomocí čepu

8.3.4 Výběr varianty

Z výše navržených variant sestavení přípravku nyní dle vhodně zvolených kritérií vyberu tu, která bude z ekonomického hlediska nejvíce vyhovovat a zároveň se co nejvíce zredukuje přípravné časy. Výběrovými kritérii pro výběr jsem si zvolil pořizovací cenu, potřebný počet pracovníků, redukci dávkových časů a počet vyrobených kusů za rok.

Pořizovací cena přípravku se odvíjí od všech komponent, které budou pro můj návrh vyrobeny a koupeny. V různých variantách se pořizovací cena liší v jejich množství, protože u některých variant je potřeba mít přípravek nebo některé z jeho částí dvakrát. V tabulce 12 je přibližná cena všech potřebných součástí přípravku, která je zvolena na základě zkušeností pracovníků ve společnosti Schäfer-Menk. Litinová deska je vlastní pracovní stůl stroje, upravený pro potřebné rozměry. Podpěrné kostky jsou jednoduché odlitky, u kterých není potřeba dosažení vysoké úrovně přesnosti. Opěrné věže jsou tvarově přesné svařence, které zaručují správné ustavení rámu. Hydraulickými písty se rozumí všechny části hydraulického systému, obsažených v přípravku. Upínací ramena jsou rovněž svařence s dostatečnou tuhostí, zabraňující prohnutí při působení hydraulických sil.

Tabulka 11 Náklady jednotlivých komponent

| Komponenta | Cena [Kč] |
|------------------|-----------|
| Litínová deska | 1 000 000 |
| Podpěrná kostka | 20 000 |
| Opěrná věž | 150 000 |
| Hydraulický píst | 100 000 |
| Upínací ramena | 50 000 |
| Agregát | 300 000 |
| Řízení | 100 000 |
| Odměrování | 1 000 000 |

V tabulce následující jsou tyto ceny vynásobeny potřebným množstvím, čímž je stanovena konečná pořizovací cena každé varianty přípravku

Tabulka 12 Výpočet nákladů na jednotlivé varianty přípravku

| | 1. Varianta | | 2. Varianta | | 3. Varianta | |
|-----------------------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|----------------------|
| | počet [ks] | Celková cena [Kč] | počet [ks] | Celková cena [Kč] | počet [ks] | Celková cena [Kč] |
| Litínová deska | 1 | 1000000 | 2 | 2000000 | 1 | 1000000 |
| Podpěrná kostka | 4 | 80000 | 8 | 160000 | 8 | 160000 |
| Opěrné věže | 3 | 450000 | 6 | 900000 | 3 | 450000 |
| Hydraulický píst | 10 | 1000000 | 20 | 2000000 | 14 | 1400000 |
| Ramena | 4 | 200000 | 8 | 400000 | 8 | 400000 |
| Agregát | 2 | 600000 | 4 | 1200000 | 2 | 600000 |
| Řízení | 1 | 100000 | 2 | 200000 | 1 | 100000 |
| Odměrování | 1 | 1000000 | 1 | 1000000 | 1 | 1000000 |
| Celková cena přípravku | | 4 430 000 | | 7 860 000 | | 5 110 000 |

Počet pracovníků, kteří jsou potřeba k dosažení plné efektivity se ke každé variantě liší. V případě, že by upnutí i vyrovnání probíhalo na stroji, je potřebný pouze jeden pracovník, který provede všechny potřebné úkony, tedy manipulaci s jeřábem, upnutí, vyrovnání a následné obrábění. V dalších dvou variantách jsou potřeba pracovníci 2, z nichž jeden bude provádět upínání rámu mimo stroj, zatímco druhý bude obrábět na stroji.

Redukci dávkových časů jsem vyjádřil v procentech jako poměr dávkového času dané varianty a dávkového času v současném stavu. Při určování časů jednotlivých variant jsem vycházel z poznatků z společnosti a z rozdílu složitosti variant a současného přípravku. Hodnoty současného stavu jsou normované společností. Vypočítané procento redukce dávkových časů je zaneseno v tabulce, přičemž vycházím ze základu 100%, což je dávkový čas současného stavu.

Tabulka 13 Redukce dávkových časů

| | Současný stav [min] | Současný stav s koeficientem směnnosti [min] | 1. Varianta [min] | 2. Varianta [min] | 3. Varianta [min] |
|-------------------------------|---------------------|--|-------------------|-------------------|-------------------|
| Manipulace | 120 | 138 | 80 | 60 | 50 |
| Vyrovnání na stroji | 30 | 35 | 15 | 0 | 15 |
| celkem | 150 | 173 | 95 | 60 | 65 |
| redukce dávkových časů | | | 55 % | 35 % | 38 % |

Počet vyrobených kusů se vztahuje se vztahuje k ročnímu počtu pracovních dní, respektive směn. Vstupní informace pro kapacitní propočty od Schäfer-Menk jsou – 250 dní s 2,5 směnami. Při délce trvání jedné směny 7 hodin a 30 minut vychází roční počet pracovních minut 281 250 min.

Doba obrábění se liší rám od rámu, respektive závisí na průměru jeho kruhového čela. Analýzu budu aplikovat na rám R6, jehož doby obrábění jsou ukázány v tabulce. Ke

každé operaci je nutno ještě připočítat koeficient směnnosti, který ve společnosti činí $k = 1,15$.

Tabulka 14 Celková doba obrábění (rám R6)

| Operace | Doba obrábění [min] | Doba obrábění s koeficientem směnnosti [min] |
|-----------------|---------------------|--|
| Čelní frézování | 25 | 29 |
| Vrtání | 135 | 155 |
| Řezání závitů | 45 | 52 |
| Sražení hran | 10 | 12 |
| Celkem | 215 | 247 |

Tabulka 15 Výrobní kapacita

| | Současný stav | 1. Varianta | 2. Varianta | 3. Varianta |
|----------------------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| Dávkový čas [min] | 150 | 95 | 60 | 65 |
| Čas obrábění [min] | 247 | 247 | 247 | 247 |
| Celkem [min] | 397 | 342 | 307 | 312 |
| Výrobní kapacita [ks/rok] | 708 | 822 | 915 | 901 |

Z hlediska všech kritérií jsem pro výrobu vybral variantu 3. Při relativně nízké pořizovací ceně se při ní dokáže vyrobit 901 kusů za rok. Výrobní kapacita druhé varianty je sice vyšší, ale její pořizovací je skoro o 3 mil vyšší.

Tabulka 16 Celkové zhodnocení

| Kritérium | Současný stav | 1. Varianta | 2. Varianta | 3. Varianta |
|------------------------------|---------------|-------------|-------------|--------------|
| Pořizovací cena [tis. Kč] | 0 | 4 430 | 7 860 | 5 110 |
| Počet pracovníků | 1 | 1 | 2 | 1 |
| Redukce dávkových časů | 100 % | 55 % | 35 % | 38 % |
| Výrobní kapacita [ks/rok] | 708 | 822 | 915 | 901 |

V této závěrečné kapitole jsou popsány 3 možné varianty sestavení univerzálního přípravku a porovnání se současným stavem, z nichž je na základě kritérií jako je pořizovací cena, počet pracovníků, redukce dávkových časů a výrobní kapacity vybrána varianta nevhodnější. Tato varianta bude následně konzultována s vedením společnosti Schäfer-Menk o možnosti její realizace.

10 Závěr

Cílem diplomová práce byl návrh koncepce přípravku pro obrábění velkých svařovaných konstrukcí ve společnosti Schäfer-Menk. Hlavním úkolem byl především důraz na univerzálnost (existuje několik rozměrově odlišných typů), dále na redukci dávkových časů a v konečné řadě také na odstranění vibrací v okrajových a obráběných částech rámu.

První část práce popisuje společnost Schäfer-Menk a líčí konkrétní problematiku, se kterou se společnost setkává. Dále je podrobně popsána problematika obrábění, s konkrétním zaměřením na obrábění bez procesních kapalin, tzv. suché obrábění, které je ve společnosti aplikováno. Dále se práce zabývá možnými příčinami vzniku vibrací při obrábění a jejich následnými metodami odstranění, které byly následně důležité při návrhu konceptu přípravku. V páté kapitole jsou popsány metody konstrukce přípravků, jejich typy se zaměřením především na mechanické a hydraulické způsoby upínání. Všechny tyto nasbírané poznatky vedou k praktické části, kde jsou vhodně aplikovány při návrhu konceptu přípravku.

Ve druhé části práce je nejprve provedena důkladná analýza všech typů rámu, aby bylo možné na základě zjištěných tvarových odlišností a rozměrů navrhnout univerzální přípravek. Výstupem této analýzy je teoretický návrh opěrné desky přípravku, která zabrání kolizi jakéhokoliv rámu. Na základě této analýzy je vytvořen první koncept přípravku, který je v dalších podkapitolách optimalizován

Optimalizováním jsou vytvořeny 3 různé koncepty přípravku, kde je kladen důraz především na odstranění vibrací v krajních částech rámu, protože při následném vyrovnání se bere v potaz vzájemná poloha obráběného kruhového čela a těchto krajních částí. Po zkouškách pracovníky společnosti Schäfer-Menk je vybrán nejvhodnější koncept.

Z ekonomického hlediska jsou k vybranému technickému konceptu navrženy 3 možné varianty sestavení přípravku. Na základě důležitých kritérií, jako je pořizovací cena, redukce dávkového času, počet vyrobených kusů za rok a potřebný počet pracovníků, je vybrána ekonomicky nejvhodnější varianta. Touto variantou je sestavení přípravku

částečně mimo stroj a částečně na stroji, čímž se ušetří značná suma peněz potřebných na pořízení při zachování velmi dobré výrobní kapacity.

Literatura

- [1] CHVÁLA, Břetislav a Josef VOTAVA. *Přípravky*. Praha: Nakladatelství techn. lit, 1988.
- [2] MÁDL, Jan. *Teorie obrábění*. Praha: České vysoké učení technické, 1989. ISBN teorie obrábění.
- [3] ČEP, Robert a Jana PETRŮ. *Experimentální metody v obrábění: učební text*. Ostrava, 2011.
- [4] BEUTL, Karel. *Přípravky pro obrábění: Přehled o přípravcích ve strojírenské výrobě a o směrech jejich vývoje*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [5] BUKÁČEK, Zdeněk. *TECHNOLOGIE OBRÁBENÍ TVRDÝCH MATERIÁLU NÁSTROJI S DEFINOVANOU GEOMETRIÍ BRITU*. Brno, 2009. Diplomová práce. VUT.
- [6] *Důležité aspekty vysokorychlostního obrábění* [online]. [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/dulezite-aspekty-vysokorychlostniho-obrabeni.html>
- [7] *The benefits of dry machining* [online]. 4. 10. 2016 [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: <https://www.theengineer.co.uk/the-benefits-of-dry-machining/>
- [8] *How It Works – Dry and near –dry machining* [online]. [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: <http://todaysmachiningworld.com/magazine/how-it-works-dry-and-near-dry-machining/>
- [9] *Grey Relational Optimization of Turning Parameters in Dry Machining of Austenitic Stainless Steel Using Zr Based Coated Tools*[online]. 2017 [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: https://file.scirp.org/pdf/OJAppS_2017071314261813.pdf
- [10] *Obrábění zasucha - ano, či ne?* [online]. [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73315/F2-DP-2017-Erdinger-Filip-Methodika%20optimalizace%20bez%20kapalinoveho%20obrabeni%20materialu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[11] ERDINGER, Filip. *Metodika optimalizace bez kapalinového obrábění materiálů*. Praha, 2017. Diplomová práce. ČVUT.

[12] *Úspora času a nákladů s technologií MQL* [online]. 2013 [cit. 2018-02-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/uspora-casu-a-nakladu-s-technologie-mql.html>

[13] *Upínací přípravky* [online]. [cit. 2018-02-19]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2991

[14] *Vibrace* [online]. [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/vibration/pages/default.aspx

[15] O nás [online]. [cit. 2018-06-26]. Dostupné z: <http://www.schmenk.cz/o-nas/>

[16] OKÁČ, Petr. *Konstrukčně - výrobní řešení upínacího přípravku*. Brno, 2014. Diplomová práce. VUT.

[17] NOVOTNÝ, Karel a Oskar ZEMČÍK. *Přípravky a nástroje: Učební texty kombinovaného bakalářského studia*. Brno.

[18] RET10P / WHP10: VODOROVNÁ VYVRTÁVAČKA DESKOVÁ [online]. [cit. 2018-07-02]. Dostupné z: <http://www.retos.cz/ret10p-whp10>

Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek 1 Budova společnosti Schäfer-Menk [15]..... | 12 |
| Obrázek 2 Vodorovná vyvrtávačka RET10P [18]..... | 14 |
| Obrázek 3 Typické náklady obrábění [5] | 18 |
| Obrázek 4 Břit s pozitivní geometrií [2] | 19 |
| Obrázek 5 Obráběcí soustava [2]..... | 25 |
| Obrázek 6 Mechanismus vzniku samobuzeného kmitání [2] | 26 |
| Obrázek 7 3D modely rámu v programu Autodesk Inventor | 38 |
| Obrázek 8 Současné umístění rámu na stroj – podpěry z pravé strany | 39 |
| Obrázek 9 Současné umístění rámu na stroj – podpěry z levé strany..... | 40 |
| Obrázek 10 Současné umístění rámu na stroj - opěrné věže | 40 |
| Obrázek 11 Současné umístění rámu na stroj - upínka z pravé strany | 41 |
| Obrázek 12 Současné umístění rámu na stroj - upínka z levé strany..... | 41 |
| Obrázek 13 Vyznačení ideálních upínacích prvků..... | 42 |
| Obrázek 14 První verze upnutí rámu do přípravku na stojato | 44 |
| Obrázek 15 Měřené parametry znázorněné na 3D modelu rámu R1 | 45 |
| Obrázek 16 Základní návrh přípravku s konkrétními rozměry | 47 |
| Obrázek 17 Kolizní hrana u typu rámu s průměrem čela 1412 mm..... | 48 |
| Obrázek 18 Maximální hloubka kolizní hrany u rámu s průměrem čela 1412 mm..... | 48 |
| Obrázek 19 Kolizní hrana u typu rámu s průměrem čela 1680 mm..... | 49 |
| Obrázek 20 Maximální hloubka kolizní hrany u rámu s průměrem čela 1680 mm..... | 49 |
| Obrázek 21 Kolizní hrana u typu rámu s průměrem čela 2064 mm..... | 50 |
| Obrázek 22 Maximální hloubka kolizní hrany u rámu s průměrem čela 2064 mm..... | 50 |
| Obrázek 23 Návrh prvního výřezu na opěrné desce v CADu | 52 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 24 Návrh druhého výřezu na opěrné desce v CADu..... | 53 |
| Obrázek 25 Návrh třetího výřezu na opěrné desce v CADu | 55 |
| Obrázek 26 Konečný návrh výřezu | 56 |
| Obrázek 27 3D model navržené základní litinové desky | 58 |
| Obrázek 28 3D model podpěrné kostky | 58 |
| Obrázek 29 3D model opěrné věže..... | 59 |
| Obrázek 30 Opěrné věže s přídávky proti kolizi s rámy..... | 60 |
| Obrázek 31 Kompletní sestava přípravku | 61 |
| Obrázek 32 Rozměry navrženého přípravku | 62 |
| Obrázek 33 Upínka..... | 62 |
| Obrázek 34 Kompletní sestava základního návrhu..... | 63 |
| Obrázek 35 Přechod do zkosení v zadní části rámu | 64 |
| Obrázek 36 Opěrné věže se znázorněnými výstupky pro první návrh | 66 |
| Obrázek 37 Znázornění směru síly působící hydraulickým mechanismem (červeně) a směry upnutí (modře) na první koncepci | 67 |
| Obrázek 38 Znázornění směru síly působící hydraulickým mechanismem (červeně) a směry upnutí (modře) v druhé koncepci | 68 |
| Obrázek 39 Přechod do zkosení v pravé části rámu | 69 |
| Obrázek 40 Znázornění směru síly působící hydraulickým mechanismem (červeně) a směry upnutí (modře) na třetí koncepci..... | 70 |
| Obrázek 41. Znázornění pohybu upínacích válců | 72 |
| Obrázek 42 Vyobrazení rozměrů spodní traverzy s hydraulickým upínacím válcem..... | 73 |
| Obrázek 43 Vyobrazení rozměrů horní traverzy s hydraulickým upínacím válcem | 74 |
| Obrázek 44 Vyrovnávací body | 75 |
| Obrázek 45 Znázornění směrů hydraulických posuvů | 76 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 46 Postup ustavení, upnutí a vyrovnání rámu v případě kompletování na stroji - 1 | 77 |
| Obrázek 47 Postup ustavení, upnutí a vyrovnání rámu v případě kompletování na stroji - 2 | 78 |
| Obrázek 48 Pevné komponenty přípravku ve variantě s upnutím mimo stroj a vyrovnáním na stroji | 79 |
| Obrázek 49 Detail spojení výměnných částí s hydraulikou pomocí čepu..... | 80 |

Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| Tabulka 1 Hlavní parametry obráběcího stroje RET10P [18]..... | 43 |
| Tabulka 2 Naměřené parametry všech 7 ráků | 46 |
| Tabulka 3 Hodnoty pro návrh prvního výřezu | 51 |
| Tabulka 4 Hodnoty pro návrh druhého výřezu..... | 53 |
| Tabulka 5 Hodnoty pro návrh třetího výřezu první kolize | 54 |
| Tabulka 6 Hodnoty pro návrh třetího výřezu druhé kolize..... | 54 |
| Tabulka 7 Maximální možné vzdálenosti opěrných věží | 65 |
| Tabulka 8 Maximální vzdálenosti třetí přidané upínky od středu kruhového čela | 69 |
| Tabulka 9 Naměřené hodnoty tloušťky všech ráků..... | 72 |
| Tabulka 10 Naměřené hodnoty výšky všech ráků | 74 |
| Tabulka 11 Ceny jednotlivých komponent | 81 |
| Tabulka 12 Vypočítané ceny 3 variant přípravku | 81 |
| Tabulka 13 Redukce dávkových časů..... | 82 |
| Tabulka 14 Celková doba obrábění (rák R6)..... | 83 |
| Tabulka 15 Výrobní kapacita..... | 83 |
| Tabulka 16 Ekonomické zhodnocení | 84 |