

# Modifikace svařovacího rámu kabiny

Bc. Michal Škařupa

---

Diplomová práce  
2020



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

|                   |   |
|-------------------|---|
| Jméno a příjmení: | <b>Bc. Michal Škařupa</b>                 |
| Osobní číslo:     | <b>T18344</b>                             |
| Studijní program: | <b>N3909 Procesní inženýrství</b>         |
| Studijní obor:    | <b>Výrobní inženýrství</b>                |
| Forma studia:     | <b>Kombinovaná</b>                        |
| Téma práce:       | <b>Modifikace svařovacího rámu kabiny</b> |

### Zásady pro vypracování

- 1) Vypracujte literární rešerši na dané téma
- 2) Proveďte hodnocení současného stavu
- 3) Navrhněte konstrukční řešení nové koncepce rámu
- 4) Proveďte návrh výroby a montáže rámu
- 5) Ekonomické hodnocení

Forma zpracování diplomové práce: **Tištěná/elektronická**

**Seznam doporučené literatury:**

- KOCMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2. vyd., Brno: Akademické nakl. CERM, s.r.o., 2005, 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 5. vyd., Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-4747-9.
- HRDLÍČKA, Dobroslav. *Strojírenská technologie III pro strojírenské učební obory*. Praha: SOBOTÁLES, 2012. 164 s. ISBN 978-80-85920-67-3.
- BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie II pro strojírenské učební obory*. Praha: SOBOTÁLES, 2012. 160 s. ISBN 978-80-85920-58-1.
- SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHE, Richard G. BUDYNAS a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTIUUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Řezníček, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **2. ledna 2020**  
Termín odevzdání diplomové práce: **15. května 2020**

L.S.

---

**prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.**  
děkan

---

**prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.**  
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 10. února 2020

## **PROHLÁŠENÍ AUTORA DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Beru na vědomí, že:

- diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování diplomové práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem diplomové práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

### **Prohlašuji,**

- že jsem diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně dne: 28.4.2020

Jméno a příjmení studenta: Michal Škařupa

.....  
podpis studenta

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce se zabývá modifikací svařovacího rámu kabiny kamionu. V teoretické části byla vypracována rešerše ohledně zásad při návrhu svařovaných konstrukcí a výrobních technologií, které jsou nezbytně nutné k výrobě rámu. To se týká dělení materiálu na laseru a plazmě, technologie plošného tváření za studena, obrábění a svařování. Praktická část uvádí rozbor rámu, konstrukční změny a výrobní postup. Úprava se týká sjednocení dvou současných rámu do jednoho společného, za účelem snížení ceny výroby rámu, zjednodušení výroby a urychlení automatizovaného svařování kabiny na rámu. V práci byla řešena výroba prototypového rámu za pomoci svařovacích technologií. Dále vyhodnocení ekonomických přínosů těchto změn.

Klíčová slova:

Modifikace, výrobní proces, svařovací rám, kabina kamionu.

## **ABSTRACT**

Diploma Thesis deals with modification of weld frame for truck cabin. In the theoretical part we created document about rulers during design of welding construction and production technologies necessary for frame production. This applies to laser or plasma cutting of material, technologies of bending, machining and welding. Practical part shows (presents) analysis of frames, construction changes and production procedure. The adjustment deals with unification of two standing frames into one common one to lower the price of frame production, simplification and speeding up of automatized cabin frame welding. During process we solved production of the frame prototype with a help of welding technologies. Further we evaluated economic benefits of these changes.

KeyWords:

Modification, work process, weld frame, truck cabin.

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce, panu Ing. Martinu Řezníčkovi, Ph.D., za odborné vedení, poskytnuté rady a cenné připomínky při vypracování práce.

# OBSAH

|  |           |
|--|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....                                 | <b>10</b> |
| <b>1 KONSTRUOVÁNÍ</b> .....                                    | <b>11</b> |
| 1.1 ZÁSADY KONSTRUOVÁNÍ.....                                   | 11        |
| 1.2 KONSTRUKČNÍ OPTIMALIZACE .....                             | 12        |
| 1.2.1 Klasifikace konstrukční optimalizace .....               | 12        |
| 1.2.2 Aplikace konstrukční optimalizace .....                  | 12        |
| 1.2.3 Postup konstrukční optimalizace.....                     | 13        |
| 1.2.4 Výběr vhodné optimalizační metody .....                  | 13        |
| <b>2 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY</b> .....                           | <b>14</b> |
| 2.1 DRUHY TECHNOLOGICKÝCH DOKUMENTŮ.....                       | 14        |
| 2.2 ČLENĚNÍ TECHNOLOGICKÝCH POSTUPŮ.....                       | 15        |
| 2.3 NAVRHOVÁNÍ TECHNOLOGICKÝCH POSTUPŮ.....                    | 16        |
| <b>3 SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE</b> .....                            | <b>18</b> |
| 3.1 CÍLE A POSTUPY PŘI NAVRHOVÁNÍ SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ ..... | 18        |
| 3.2 PROCES NÁVRHU KONSTRUKCE SVAŘOVANÉHO VÝROBKU.....          | 19        |
| 3.3 VÝHODY A NEVÝHODY SVAŘOVANÝCH KONSTRUKCÍ .....             | 20        |
| 3.4 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ.....                                 | 21        |
| 3.5 METODY SVAŘOVÁNÍ .....                                     | 22        |
| <b>4 TECHNOLOGIE DĚLENÍ A TVÁŘENÍ MATERIÁLU</b> .....          | <b>24</b> |
| 4.1 DĚLENÍ MATERIÁLU LASEROVÝM PAPRSKEM .....                  | 24        |
| 4.1.1 Princip laseru.....                                      | 25        |
| 4.1.2 Metody laserového řezání .....                           | 26        |
| 4.1.3 Výhody a nevýhody laseru.....                            | 27        |
| 4.1.4 2D a 3D řezání profilu.....                              | 28        |
| 4.2 TVÁŘENÍ ZA STUDENA OHÝBÁNÍM.....                           | 29        |
| 4.2.1 Zpětné odpružení.....                                    | 30        |
| 4.2.2 Vady při ohybu.....                                      | 32        |
| <b>5 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ</b> .....                            | <b>34</b> |
| 5.1 FRÉZOVÁNÍ .....  | 34        |
| 5.1.1 Druhy frézování .....                                    | 34        |
| 5.1.2 Stroje pro frézování.....                                | 37        |
| 5.1.3 Nástroje pro frézování.....                              | 37        |
| 5.2 SOUSTRUŽENÍ.....   | 39        |
| 5.2.1 Druhy soustružení .....                                  | 40        |
| 5.2.2 Stroje pro soustružení.....                              | 41        |
| 5.2.3 Nástroje pro soustružení.....                            | 41        |
| <b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....                                 | <b>44</b> |
| <b>6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI</b> .....                            | <b>45</b> |
| <b>7 ROZBOR SOUČASNÝCH RÁMŮ</b> .....                          | <b>46</b> |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 7.1       | RÁM BOČNIC .....  | 46        |
| 7.2       | RÁM ČELNÍ A ZADNÍ .....                                       | 48        |
| <b>8</b>  | <b>KONSTRUOVÁNÍ SPOLEČNÉHO RÁMU .....</b>                     | <b>50</b> |
| 8.1       | POUŽITÝ MATERIÁL PRO VÝROBU KOMPONENTŮ SVAŘOVACÍHO RÁMU ..... | 50        |
| 8.2       | MODELOVÁNÍ SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE .....                         | 53        |
| 8.3       | TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE .....                              | 54        |
| <b>9</b>  | <b>ROZBOR SPOLEČNÉHO RÁMU .....</b>                           | <b>56</b> |
| <b>10</b> | <b>POPIS KOMPONENT .....</b>                                  | <b>59</b> |
| 10.1      | SPOLEČNÉ PRVKY .....  | 59        |
| 10.2      | PODOBNE PRVKY .....   | 61        |
| 10.3      | ROZDÍLNÉ PRVKY .....  | 64        |
| <b>11</b> | <b>POSTUP VÝROBY .....</b>                                    | <b>65</b> |
| <b>12</b> | <b>PRAKTICKÉ VYUŽITÍ RÁMU .....</b>                           | <b>71</b> |
| <b>13</b> | <b>POROVNÁNÍ MODIFIKACE RÁMŮ Z EKONOMISKÉHO HLEDISKA.....</b> | <b>73</b> |
|           | <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>75</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>                         | <b>76</b> |
|           | <b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>               | <b>79</b> |
|           | <b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>                                   | <b>80</b> |
|           | <b>SEZNAM TABULEK.....</b>                                    | <b>82</b> |



## ÚVOD

Automobilový průmysl patří mezi oblasti, kde docházelo a dochází k nejširšímu zavádění robotů do velkosériové výroby. Automatizace se dostává do popředí i díky nedostatku kvalifikovaných pracovních sil na trhu práce, nebo i díky faktu, že tímto procesem dochází ke snižování vlastních nákladů, což je jedno z nejdůležitějších hledisek pro udržení konkurenční schopnosti firmy v tržním prostředí světové ekonomiky.

Při současné ekonomice a konkurenceschopnosti je řešení optimálního návrhu společného rámu na místě. Řešení tohoto problému zohledňuje technologické, konstrukční a ekonomické hledisko.

Charakteristickými znaky současné doby je potřeba šetřit výrobní čas a náklady na výrobu. Je kladen větší důraz na efektivnost výroby, na jakost výrobků, na jejich technickou a cenovou úroveň, na šetření materiálem a energií. Jedním z mnoha nástrojů, které nám tomu pomáhají, jsou přípravky. Přispívají jak přímému, tak nepřímému zkracování výrobních časů, zabezpečují vzájemnou plynulou návaznost jednotlivých operací a zjednodušují jejich rozsah. Snižují fyzickou námahu dělníků a umožňují současnou obsluhu několika strojů najednou. Pomáhají dokonaleji využívat univerzálního strojního vybavení a zařazení nekvalifikovaných pracovníků do výrobního procesu, přičemž lze snížit jejich počet.

Modifikace výrobních celků mohou vycházet také ze sociálních skupin zákazníků. Verze základní „levná“ nemusí být zákonitě zcela odlišná od verze exkluzivní „drahé“. Při dodržení zásad může být výroba flexibilní, ekonomická, rychlá a konkurenceschopná.

Vzniku každého technického výrobku předchází jeho konstrukční zpracování. Při tvorbě modifikací nebo nových verzí výrobních celků je nutné postupovat citlivě a u každé komponenty tohoto celku zvážit, zda je nutné navrhnout komponentu zcela novou, nebo upravit již stávající komponentu pro použití ve všech variantách výrobního celku. Tímto způsobem se lze vyhnout zbytečně velkému počtu dílů, které poté zahlcují výrobní systém, zvyšují zaplněnost skladu a kapitál do nich vložený.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

# 1 KONSTRUOVÁNÍ

Konstruováním rozumíme tvůrčí činnost navrhování technických objektů (produktů, strojů), převádění myšlenek a návrhů do materiální formy.

Cílem je:

- Zajistit správnou funkčnost a účinky technických objektů (systému).
- Dodat zákazníkovi kvalitní výrobek, který splňuje všechna jeho očekávání a bude mu sloužit po dobu své životnosti.
- Výsledkem by mělo být řešení problému podloženou formou technické dokumentace, podle které by se měl dát technický objekt vyrobit.

Navrhování technických objektů dle zásady 3E (ekologicky, ergonomicky, esteticky):

- Ekologicky – technický objekt šetří životní prostředí jak při výrobě, tak při používání a likvidaci.
- Ergonomicky – technický objekt by měl být snadno ovladatelný a nijak složitý, aby svého uživatele neobtěžoval, neunavoval nebo nepůsobil jinak negativně.
- Esteticky – zákazník většinou vnímá a hodnotí technický objekt z hlediska vzhledu, proto by měl výrobek odpovídat současným trendům. [1]

## 1.1 Zásady konstruování

Navrhování konstrukcí je jedním z úkolů konstruktéra. Myšlenky ztvárněné na výkrese by měly co nejvíce odpovídat společenským potřebám.

Konstruktér ovlivňuje míru produktivity práce na výrobku a určuje charakter výroby. Dle světových průzkumů je svou prací schopen ovlivnit:

- 80 % nákladů na materiál.
- 60 % mzdových nákladů.
- 20 % celkových režijních nákladů.
- 100 % užitkových vlastností výrobku. [2]

Kritéria, která by měla dobrá práce konstruktéra splňovat:

- Žádná součást se nesmí porušit po stanovenou dobu životnosti konstruktérem.
- Každá součást musí splňovat očekávanou funkci a nesmí rušit činnost jiné.
- Všechny součásti uzlů, všechny podsestavy konstrukce musí přenášet příslušné zatížení a musí efektivně a ekonomicky umožňovat funkční pohyb.

- Součást musí být technologická a musí umožňovat její montáž. [3]

## 1.2 Konstrukční optimalizace

Výrazné rozšíření v oblasti výzkumu konstrukční optimalizace zažíváme v současné době díky rozsáhlému vývoji vědy, technologií a produktivity ve společnosti. Konstrukční optimalizace je cílena na produkci bezpečných a ekonomických objektů či struktur při rozličných zatíženích a konstrukčních materiálech.

Vlastnosti jako jsou například pevnost, štíhlost, stabilita, únava či také požadavky jako metody produkce vedou k dosažení optimálního designu. Všechny požadavky a podmínky jsou vyjádřeny ve formě omezení a ekonomického hlediska nebo mechanických vlastností vyjadřujících objektivní funkci. Poté následuje zformování matematického modelu optimalizace a vyřešení patřičnými algoritmy. [4]

### 1.2.1 Klasifikace konstrukční optimalizace

V roce 1960, kdy rychlý vývoj počítačové techniky a metody konečných prvků započal vývoj a výzkum, jak zaručit spolehlivé a efektivní metody ke zkvalitnění návrhu konstrukcí. Toto odvětví spadá do oblasti mechaniky.

Konstrukční optimalizaci můžeme dělit na základě vlastností konstrukčních proměnných na:

- Optimalizace se spojitými proměnnými.
- Optimalizace s diskrétními proměnnými.
- Optimalizace se smíšenými proměnnými.

### 1.2.2 Aplikace konstrukční optimalizace

Konstrukční optimalizaci, v širším slova smyslu, můžeme aplikovat k vyřešení téměř jakéhokoliv technického problému. Charakteristické problémy z rozdílných technických oblastí zdůrazňují tento fakt:

- Design dílů s minimální hmotností v leteckém a kosmickém průmyslu.
- Design turbín, čerpadel a teplo přenosných zařízení pro maximální výkon.
- Design stavebních struktur jako nosníky, mosty, základy či věže.
- Stavby s minimální hmotností odolávající zemětřesení, větru a dalším typům náhodných zatížení.
- Optimální návrh elektrických strojů jako motorů, generátorů a transformátorů.

- Plánování údržby a výměny dílů za snižování operačních nákladů. [5]

### 1.2.3 Postup konstrukční optimalizace

Zhruba 50 % úsilí při řešení problému zabere jeho správné vyjádření a formulace. Je vhodné sledovat dobře zavedené procesy pro vyjádření a formulování konstrukčních optimalizačních úloh. Pokud se správně formuluje problém, docílí se brzy optimálního výsledku. [5]

Většina úloh optimalizace se řeší pěti krokovým procesem:

- Krok 1 – vyjádření problému.
- Krok 2 – sběr dat a informací.
- Krok 3 – identifikace, definování návrhových proměnných.
- Krok 4 – identifikace cílové funkce.
- Krok 5 – identifikace mezních podmínek.

### 1.2.4 Výběr vhodné optimalizační metody

Vyskytuje se celá řada optimalizačních metod a odlišují se mnoha způsoby. Je obtížné používat jakoukoliv metodu, a ne každý je toho schopen. Pro používání kterékoliv metody je zapotřebí vhodné matematické a programové zázemí, a pouze v takovém případě jí může konstruktér použít. Správně vybraná metoda by měla zabrat co nejméně času, aby byla přínosná. Schopnost vybrat vhodnou optimalizační metodu vyžaduje mít vrozenou intuici, dlouhou praxi, a především léta trvající studium matematické optimalizace. [5]

Klasické metody optimalizace:

- Lineární.
- Kvadratické.
- Dynamické.
- Geometrické.

Moderní metody optimalizace:

- Genetické algoritmy.
- Simulovaný biologický růst.
- Simulované žíhání.
- Optimalizace rojení částic.

## 2 TECHNOLOGICKÉ POSTUPY

Ve strojírenských závodech probíhá řada různých činností, které jsou na sobě závislé. Souhrnný název všech těchto činností nazýváme výrobním procesem. Je to činnost, při které se výchozí materiál (polotovar) s použitím předem určených úkonů přetváří v hotový výrobek. Změna se provádí za účasti pracovní síly a výrobního zařízení, tzn., že zahrnuje práci člověka a práci výrobních prostředků.

Výrobní postup je organizovaný sled kvalitativních i kvantitativních změn, jimiž prochází předmět ve strojírenské výrobě při své přeměně v hotový výrobek během výrobního procesu.

Výrobní postup zpracovává technolog, v technologickém oddělení, které spadá do útvaru technické přípravy výroby. Velký důraz se klade na kvalitně a pečlivě zpracované postupy stejně jako na výrobní výkresy, jinak by docházelo k výrobě neshodných výrobků.

Komplexní technologický postup musí obsahovat:

- Počet vyráběných kusů.
- Výrobní pomůcky k dané zakázce – nástroje, přípravky, měřidla.
- Posloupnost operací s přesným popisem práce včetně jednotlivých operačních rozměrů.
- Technologické podmínky.
- Režim práce strojů.
- Časy plánovaných operací.
- Odměny za vykonanou práci.
- Rozměry polotovaru před obráběním a změny v průběhu obrábění. [7]

### 2.1 Druhy technologických dokumentů

Technologické postupy jsou velmi různorodé a ani postup pro výrobu stejné součásti v různých výrobních firmách nemusí být stejný. Obsah, rozsah a způsob zpracování závisí na druhu a povaze výroby, složitosti výrobních činností a způsobu provedení. Je zřejmé, že existuje obrovské množství různých druhů technologických postupů.

Mezi základní rozdělení technologického postupu patří dělení na hlavní a pomocné. Do hlavních zahrnujeme technologické postupy součástí a jejich montáže do hotových výrobků, mezi pomocné pak řadíme postupy na výrobu pomůcek, ostření nářadí či opravu zařízení. [6]

Dále technologické postupy můžeme dělit podle různých hledisek například takto:

- Podle výrobních činností – obrábění ruční a strojní, tváření, odlévání, svařování, tepelné zpracování, povrchové úpravy, montáže.
- Propracovanosti – jednoduchý, podrobný, obrázkový.
- Podle sériovosti výroby – kusovou, malosériovou, sériovou, hromadnou.
- Podle stupně automatizace.
- Podle zaměření – výrobní, montážní.

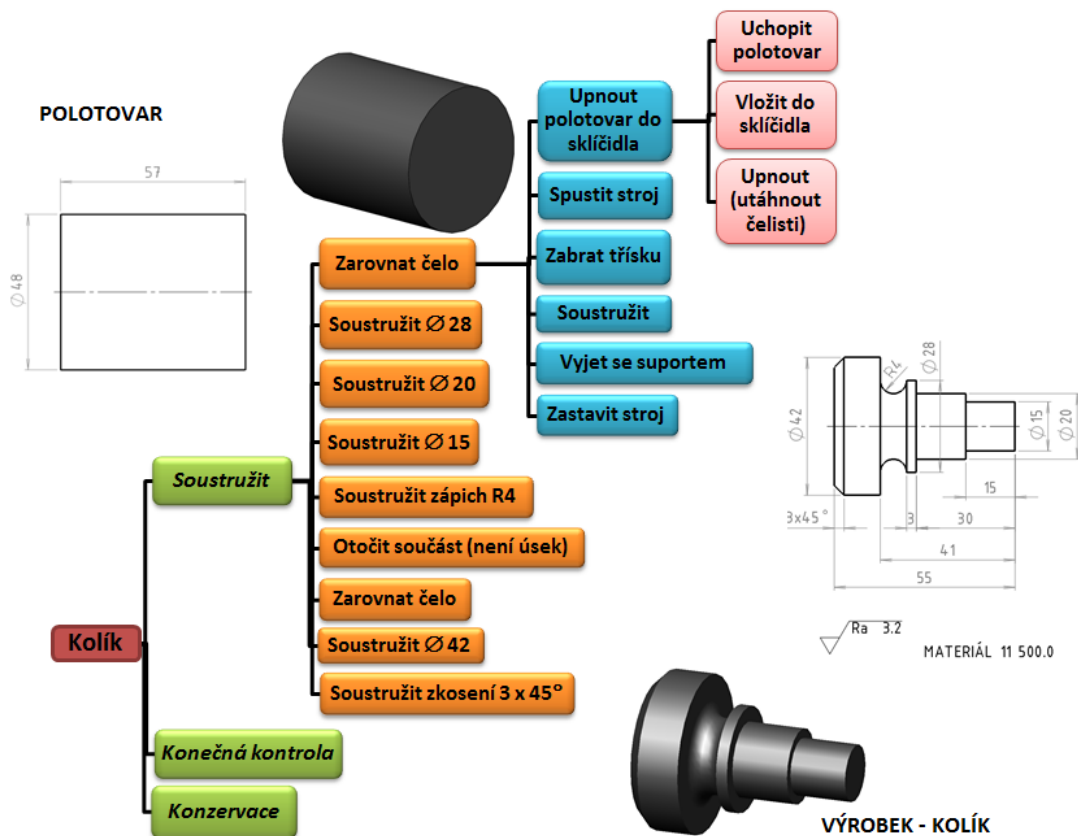
Kvalitní technologický postup musí být:

- Úplný – nesmí dojít k opomenutí údajů, které jsou důležité pro výrobu.
- Správný – nesmí se objevovat chyby, které by způsobily ztížení výroby a tím zvýšení zmetkovosti.
- Stručný – nesmí být rozsáhlý a používat málo známé výrazy.
- Srozumitelný a jednoznačný – musí jednoznačně určovat pořadí prováděných operací a neumožňovat různý výklad.
- Úhledný – vzhled a sestavení vede nepřímo ke zvýšení jakosti výroby.
- Hospodárný – nutno využít strojního zařízení s minimálními výrobními náklady, ale zároveň s vysokou produktivitou práce. [6]

## 2.2 Členění technologických postupů

Pro co nejmenší ztráty ve výrobě musí být technologický postup co nejpodrobnější. Složitost vykonávaných výrobních procesů si vynucuje rozdělení technologických postupů na jednotlivé **operace – úseky – úkony – pracovní pohyby**.

- Operace – část technologické činnosti. Jedná se o ukončenou a souvisle prováděnou část výrobního procesu. Vykonávána jedním či více zaměstnanci, na jednom pracovním předmětu, na jednom pracovišti.
- Úsek – část operace, kdy se za přibližně stejných technologických podmínek vykonává práce.
- Úkon – pracovní činnost, která je organizačně neoddělitelná a ucelená. Například upínání předmětu do stroje, samotné obrábění, ukončení činnosti stroje.
- Pracovní pohyb – nejmenší pracovní činnost v technologickém postupu. Využití má hlavně v hromadné výrobě a při montážních pracích. [6]



Obr. 1. Příklad členění technologického postupu. [8]

Na Obr. 1 jsou jednotlivé operace, úseky, úkony a pracovní pohyby pro konkrétní vyráběnou součást. Důležitý význam má toto členění při vytváření výrobních technologických postupů pro hromadnou a velkosériovou výrobu.

### 2.3 Navrhování technologických postupů

Technologický postup je předpis, dle kterého se vyrábí součásti či celé strojní zařízení. Jedná se o podklad, který nám určuje postup výroby dílu, výrobní zařízení či pomůcky potřebné k výrobě. Dále obsahuje podmínky, které je potřeba použít při provádění jednotlivých operací.

Mezi důležité požadavky na technologický postup patří:

- Nutnost dodržet funkční požadavky dané technologickými výkresy, podmínkami a normami.
- Provádění výroby s minimálním úsilím a minimálními náklady.
- Maximální využití kapacit výrobního zařízení.



Při vypracování technologického postupu je potřeba porovnávat různé alternativy. Součást lze vyrobit různými technologiemi a nejuhodnější varianta se realizuje. Hlavním kritériem při hodnocení technologických postupů je zvyšování produktivity práce při snižování nákladů.

Pro vypracování technologického postupu je potřeba řada podkladů:

- Výrobní výkresy obsahující údaje o rozměrech a tvaru dílu, kvalitativní požadavky, materiál, tepelné zpracování, povrchové úpravy atd.
- Údaje o počtu kusů vyráběných současně, opakovaně, celkově atd.
- Údaje o výrobním zařízení – typy, výkon, otáčky, posuvy, rozměry atd.
- Údaje o výrobním nářadí – nástroje, přípravky, měřidla, speciální přístroje atd.
- Možnosti kooperace v jiných firmách.
- Normy – ČSN, oborové, podnikové, normativy časů a řezných podmínek, polotovaru.

Ve strojírenské praxi je technologický postup současně s výrobními výkresy nejdůležitějšími součástmi výrobní technické dokumentace. Mimo jiné, je existence kvalitní písemné technické dokumentace výroby nutnou podmínkou požadovanou v rámci zajištění kvality dle ISO 9000.

### 3 SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE

Pojem svařování nám značí nerozebíratelné spojení určitých součástí a dílů v jednom celku. Principem svařování je vytvoření metalurgického spojení, které je tvořeno vlastnostmi meziatomových vazebných sil. Tato síla nám umožňuje soudržnost a pevnost daného spojení.

Při svařování konstrukcí, a to nejen automobilových, musíme dbát na tepelné zatížení a deformace vůči základnímu materiálu. Tyto deformace nás během svařování doprovázejí a musíme s nimi dopředu počítat a co nejvíce je zmírnit, ale určitě je nikdy neodstraníme úplně. Vhodnou volbou svařovací metody, technologickým postupem a konstrukčním řešením svařované konstrukce ovlivníme napětí v celé konstrukci a zmírníme tak výsledné deformace.

#### 3.1 Cíle a postupy při navrhování svařovaných konstrukcí

Svařované konstrukce mají klíčové postavení v současných technických prostředcích. Musí být konstruovány a realizovány tak, aby byly schopny provozu a užívání k danému účelu po celou dobu předpokládané životnosti. Důležitým pojmem při navrhování konstrukcí je tzv. technologičnost konstrukce, ta se zaměřuje na zkoordinování požadavků uživatele konstrukce a možností výrobce s cílem dosáhnout minimálních nákladů při splnění zadání. Tím pádem svařovaná konstrukce není určena pouze její funkcí, ale i způsobem výroby, náklady na výrobu, při dodržení hledisek estetických, ergonomických a ekologických.

Obecně je tedy možné shrnout hlavní požadavky na svařované konstrukce z hlediska technologičnosti do následujících zásad:

- Vysoké využití materiálu.
- Vyhovující technologické vlastnosti materiálu (svařitelnost).
- Přizpůsobení konstrukce technologii výroby.
- Správné navržení typu, velikosti a umístění svárů.
- Nízká cena a spotřeba materiálu.
- Malý počet druhů materiálu.
- Co nejmenší počet a co nejnižší složitost operací.
- Co nejkratší doba a průběžný čas výroby a montáže.
- Co nejmenší potřeba výrobních a skladovacích prostor.
- Využívání možností mechanizace a automatizace výroby. [9]

### 3.2 Proces návrhu konstrukce svařovaného výrobku

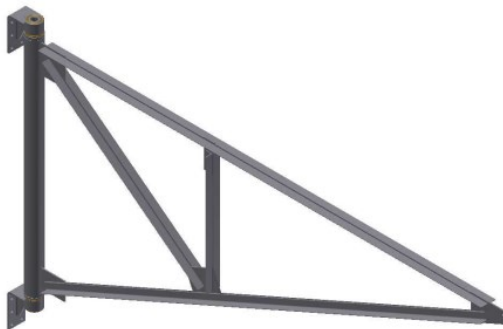
Již zpracované a v praxi ověřené výrobky mají své návrhové, ale i výrobní předpisy, ve kterých jsou popsány základní požadavky a technologické zásady. Při návrhu nového podobného výrobku postupuje konstruktér dle těchto zásad a pro dosažení optimálního výsledku je vhodné některé detaily konzultovat se svařečským technologem. Často však narazíme na výrobky, které zatím nemají návrhy, normy či předpisy. Proto je důležité, aby konstruktér uměl aplikovat obecné zásady v oblastech:

- Určení typu konstrukce z hlediska namáhání.
- Dimenzování průřezu hlavních nosných prvků.
- Správné volbě základních materiálů.
- Stanovení tepelného a mechanického zpracování svařence.
- Určení typu a rozmístění svárů.
- Návrh optimálního tvaru a rozměru svařového spoje. [9]

#### Určení typu konstrukce z hlediska namáhání

Máme mnoho způsobů, jak můžeme na konstrukce pohlížet. Zde konstruktér ukáže své tvůrčí schopnosti a dovednosti řešit konstrukce jako příhradové, plnostěnné a skořepinové. Další využití mají svařence u běžných strojních součásti, někdy jako náhrada za odlitky nebo výkovky.

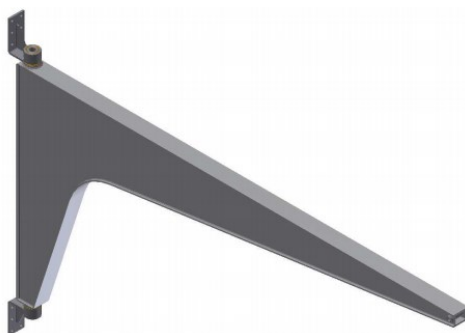
- Příhradové konstrukce *Obr. 2* – použití při výrobě střech, věžových jeřábů, mostů. Jsou konstruovány zejména z uzavřených profilů. Konstruktér musí brát v potaz při návrhu úroveň vnějšího zatížení, hmotnost konstrukce, způsob namáhání, požadovanou spolehlivost a životnost celé konstrukce.



*Obr. 2. Příhradová konstrukce. [10]*

- Plnostěnné konstrukce *Obr. 3* – můžeme rozdělit na otevřené a uzavřené. Plnostěnné otevřené se používají pro konstrukce průmyslových hal a mostní konstrukce. Pl-

nostěnné uzavřené pro stojany lisů, rámy obráběcích strojů atd. Vyrábějí se nejvíce z profilů, z plechů anebo jejich kombinací.



*Obr. 3. Plnostěnná konstrukce. [10]*

- Skořepinové konstrukce *Obr. 4* – můžeme rovněž rozdělit na otevřené a uzavřené. Používají se především jako tlakové nádoby, otevřené a uzavřené zásobníky, lodní konstrukce, ale i rámy lokomotiv, vagónů nebo nosný skelet automobilu. [9]



*Obr. 4. Skořepinová konstrukce. [10]*

### 3.3 Výhody a nevýhody svařovaných konstrukcí

Výhody:

- Zjednodušení tvaru konstrukcí a snížení jejich hmotnosti.
- Možnost uplatnění optimální kombinace materiálů v konstrukci.
- Zlepšení povrchových vlastností konstrukce, například navařením korozivzdorných nebo otěruvzdorných vrstev.
- Jednoduchá možnost oprav.
- Relativně snadná mechanizace a automatizace procesu svařování.
- Velká operativnost při zavádění technologie svařování a při přípravě svařovacího pracoviště.

Nevýhody:

- Místně i časově nerovnoměrný ohřev základního materiálu.
- Vnitřní pnutí či deformace v tepelně ovlivněné oblasti v okolí sváru.
- Změna mechanických, fyzikálních a chemických vlastností v okolí sváru.
- Při výpočtu namáhání sváru je přípustné zatížení menší nebo rovno než použitého základního materiálu – svár může obsahovat trhliny, tzn. snížení bezpečnosti. [11]

### 3.4 Technologie svařování

Svařování je moderní technologie výroby sloužící k vytvoření trvalého, nerozebíratelného spojení několika součástí v jeden celek. Tento celek nazýváme svařenec či svarek. Dílce svarku jsou nejčastěji vyráběny z tvářených polotovarů různým dělením a obráběním. [12]

Požadavkem při svařování je vytvoření takových termodynamických podmínek, za kterých je možný vznik nových vazeb. Při svařování je nutné působit tlakem nebo teplotou, nebo oběma faktory naráz. Tím pádem platí závislost, čím vyšší působí tlak tím méně je potřeba vnést teplo a obráceně. Lze svařovat železné i neželezné kovy nebo také nekovové materiály – plasty.

Výhodou tohoto spojení je velká pevnost, trvanlivost a také těsnost. Svařované konstrukce jsou jednoduché a v porovnání například s odlitky umožňují 50 % úsporu materiálu. Svařování také zvyšuje produktivitu práce, podstatně zkracuje výrobní časy, a především v kusové a malosériové výrobě umožňuje rychlou realizaci konstrukčních návrhů. Má také nezastupitelné místo v opravárenství, neboť umožňuje opravit poškozené části strojů, a to i v místech, kde dříve spoj nebyl.

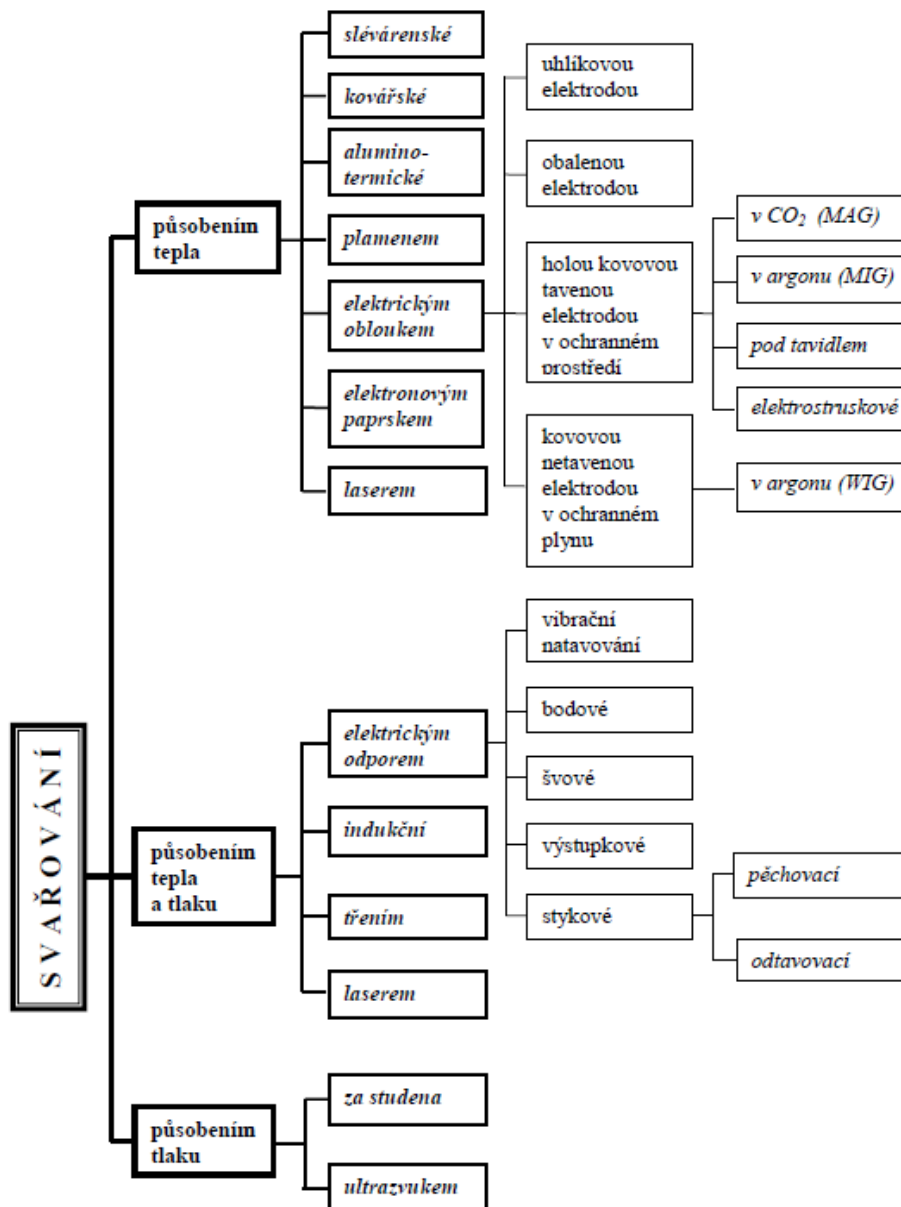
Nevýhodou je nerozebíratelnost spojů, změna struktury a tím i mechanických vlastností svarových spojů a dále vznik vnitřních pnutí a deformací, popřípadě výskyt vnitřních vad materiálu. Pro realizaci je potřeba kvalifikovaných pracovníků.

Postupně bylo vyvinuto velké množství metod svařování a dalších jejich modifikací, z nichž mnohé mají široké využití, jiné jsou naopak vhodné pro zcela specifické účely. [11]

Je prací konstruktéra nebo případně technologa stanovit technologii svařování. Je mnoho způsobů, jak svárový spoj provést. U vícevrstvých svárových spojů je možné použít i kombinaci technologií, například kořen sváru metodou TIG a výplňové a krycí vrstvy metodou MAG. [9]

Přehled a rozdělení svařování zachycuje schéma na *Obr. 5*.

Problematika a tvoření dokumentace svařovaných konstrukcí vychází z národních norem (ČSN), evropských norem (EN), celosvětových norem (ISO) a v neposlední řadě ze zkušeností konstruktéra. [11]



Obr. 5. Přehled a rozdělení svařování. [9]

### 3.5 Metody svařování

Dodávanou energií, která překová daný termodynamický stav látky, může být teplo (elektrický oblouk, plamen, plasma), plastická deformace (tření, výbuch, kovářská činnost) nebo radiace (elektronové nebo iontové záření).

Při samotném svařování dochází k interakci mnoha vlivů, například difúze, deformace, rekrytalizace, precipitace, rozpouštění a vznik nových fází atd., jejichž existence a vývoj závisí na použité metodě. [14]

V následujícím *Obr. 6* vidíme rozdělení jednotlivých metod svařování.

| Číslo metody | Evropská zkratka | Celý název   | Český popis   |
|--------------|------------------|--|---|
|              | Americká zkratka |  |   |
| 111          | MMA              | Manual metal arc welding                                 | Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou                                 |
|              | SMAW             | Shielded metal arc welding                               |   |
| 114          | FCAW             | Flux-cored wire metal arc welding without gas shield     | Obloukové svařování plněnou elektrodou bez ochranného plynu                   |
|              | FCAW             | Flux-cored arc welding                                   |   |
| 12           | SAW              | Submerged arc welding                                    | Svařování pod tavidlem  |
|              | SAW              | Submerged arc welding                                    |   |
| 131          | MIG              | Metal inert gas welding                                  | Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu - MIG               |
|              | GMAW             | Gas metal arc welding                                    |   |
| 135          | MAG              | Metal active gas welding                                 | Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu - MAG               |
|              | GMAW             | Gas metal arc welding                                    |   |
| 136          | MAG              | Flux-cored wire metal arc welding with active gas shield | Obloukové svařování plněnou elektrodou v aktivním plynu                       |
|              | FCAW             | Flux-cored arc welding                                   |   |
| 137          | FCAW             | Flux-cored wire metal arc welding with inert gas shield  | Obloukové svařování plněnou elektrodou v inertním plynu                       |
|              | FCAW-S           | Flux-cored arc welding                                   |   |
| 141          | TIG              | Tungsten inert gas welding                               | Obloukové svařování netavící se wolframovou elektrodou v inertním plynu - TIG |
|              | GTAW             | Gas tungsten arc welding                                 |   |

*Obr. 6. Číselné označení svařovacích metod. [13]*

## 4 TECHNOLOGIE DĚLENÍ A TVÁŘENÍ MATERIÁLU

Dělení materiálu je stále velmi důležitou výrobní operací. Používá se k tomu celá řada metod, každá z nich si vytvořila svoji oblast optimálního použití. Každá z nich má, ale nějaký závažný nedostatek, který brání jejímu univerzálnímu používání, a tak přicházejí stále další a modernější postupy.

Technologie dělení materiálu se dá rozdělit podle způsobu oddělování a ovlivňování samotného výrobku na:

- Dělení plastickou deformací – sekání, stříhání, lámání.
- S úběrem materiálu – klínovým nástrojem, brusným nástrojem.
- Tavením, odpařováním – elektronovým paprskem, plazmou, laserovým paprskem, elektrickým obloukem atd.
- Dělení fyzikálně a chemicky – elektrolyticky, elektrochemicky, ultrazvukem, vodním paprskem, vzduchovým proudem.

Dělení materiálu laserovým paprskem je proces, při kterém dochází ke vzniku vysoké teploty v místě dělení. V důsledku působení tepla dochází k tavení materiálu nebo až k jeho odpařování, což vede k porušení materiálu. [16]

Tváření kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísky. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Tento děj je provázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu. [28]

### 4.1 Dělení materiálu laserovým paprskem

Dělení materiálu je stále velmi důležitou výrobní operací. Používá se k tomu celá řada metod, každá z nich si vytvořila svoji oblast optimálního použití. Každá z nich má, ale nějaký závažný nedostatek, který brání jejímu univerzálnímu používání, a tak přicházejí stále další a modernější postupy.

Tepelné dělení lze v rámci strojírenské výroby zařadit mezi operace přípravy materiálu. Pod tímto pojmem rozumíme technologii řezání, pracující na principech lokálního tavení, spalování nebo odpařování, případně kombinaci těchto jevů, kdy energie potřebná k inicializaci procesu a jeho průběhu je dodávána různými tepelnými zdroji. Obecně lze tepelné dělení materiálů aplikovat na celou škálu konstrukčních materiálů, například nele-



gované a nízkolegované oceli, vysokolegované oceli a slitiny na bázi niklu, neželezné kovy a jejich slitiny (hliník, měď atd.) vysoce reaktivní materiály a jejich slitiny citlivé na kyslík (hořčík, titan atd.), nekovové materiály (plasty, kompozity, dřevo, papír, sklo atd.). [16,17]

#### 4.1.1 Princip laseru

Běžné světelné záření je vlnění, které se šíří všemi směry. Laser je kvantový generátor a zesilovač koherentního záření, které vzniká, když všechny fotony mají stejnou barvu, respektive vlnovou délku, frekvenci a nízkou rozbíhavost svazku. Na základě kvantové fyziky a zjednodušeného planetového modelu atomu objasníme podstatu laseru. Máme různé typy laserů, ovšem každý v sobě zahrnuje 3 základní části. Aktivní prostředí, kde dochází k zesilování záření, zdroj čerpání pro excitaci aktivního prostředí a rezonátor, který vytváří zpětnou vazbu mezi zářením a aktivním prostředím. [16,17]

Laserové světlo vzniká v prostředí elektromagnetického záření potlačením spontánní emise na úkor vynucené (stimulované) emise záření znázorněné na *Obr. 7*. Spontánní emise záření vzniká tedy v ten moment, kdy vybuzené atomy s energetickou hladinou  $E_2$  mají tendenci zaujmout hladinu s nižší energií  $E_1$  a při tom emitují určité množství světelného záření s frekvencí  $f$ , která se jednoduše určí z následující rovnice (1):

$$E_2 - E_1 = h \cdot f \quad (1)$$

kde:  $E_2 - E_1$  – Rozdíl energetických hladin, mezi kterými nastává přechod

$h$  – Planckova konstanta ( $h=6,626 \cdot 10^{-34}$  J.s)

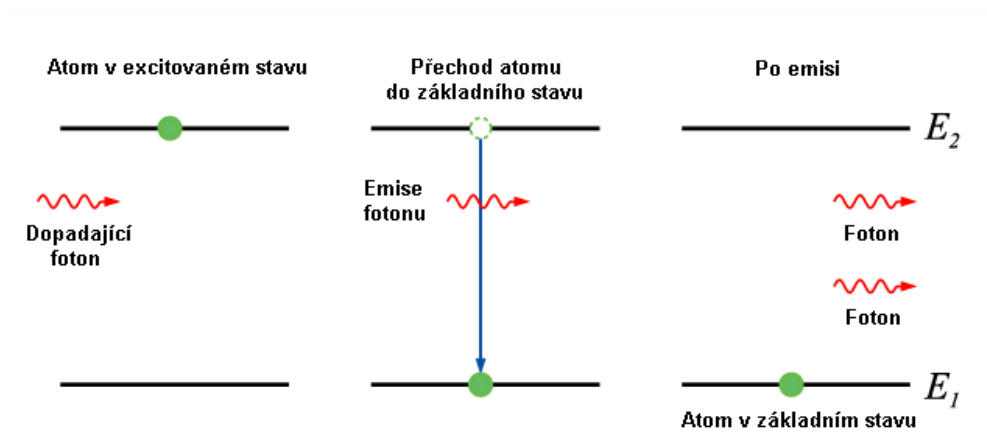
$f$  – Frekvence uvolněného vlnění

Atom vybuzený na hladinu 2 může na této hladině setrvat určitou dobu. Energie excitovaného stavu je vyzářena ve formě fotonu spontánního záření. Jakmile se atom v excitovaném stavu dostane do interakce s fotonem záření o energii rovné energetickému rozdílu hladiny 2 a hladiny 1, může dojít ke stimulovanému vyzáření fotonu.

Stimulovaný foton má stejnou energii, směr, fázi a polarizaci s fotonem iniciačním. Na rozdíl od spontánně vyzářeného fotonu, který má náhodnou fázi, polarizaci i směr šíření. To je zásadní rozdíl mezi spontánním a stimulovaným zářením.

Při běžných podmínkách je atom v základním stavu. Absorpce je přechod elektronů ze základní hladiny na hladinu s vyšší energetickou hodnotou. Opačný jev se nazývá emise a jedná se o přechod elektronů z vyšší na nižší energetickou hladinu a je doprovázen vzni-

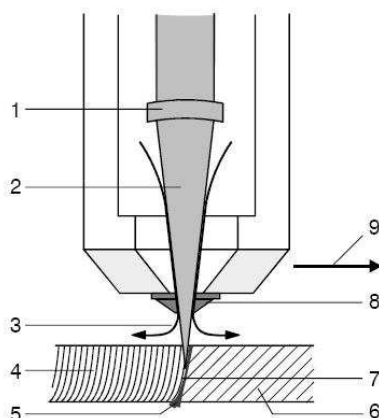
kem energie ve formě záření. Vybuzením lze atom přinutit k emisi záření. Při procesu čerpání jde o dodání příslušné energie na dosáhnutí vybuzeného stavu. [17,20,26]



Obr. 7. Stimulovaná emise v energetických hladinách. [18]

#### 4.1.2 Metody laserového řezání

Laser je považován za univerzální nástroj při řezání materiálu. Velká koncentrace výkonu v zaostřeném (fokusovaném) laserovém svazku zajišťuje vysokou produktivitu práce a vynikající kvalitu řezu při dělení materiálů a slitin nezávisle na jejich tepelně fyzikálních vlastnostech. Ve spáře děleného materiálu dochází k roztavení až sublimaci a následně k vyfouknutí pomocí řezného plynu ven ze spáry. Dosahuje se malé šířky řezu s minimální tepelně ovlivněnou oblastí. Princip laserového řezání znázorněn na Obr. 8.



Obr. 8. Princip laserového řezání. [31]

1 - Fokusační (zaostřovací) optika, 2 - Laserový paprsek, 3 - Asistenční ochranný plyn, 4 - Rýhy po laserovém řezání,

5 - Roztavený kov nebo struska, 6 - Obrobek, 7 - Okraj řezu na obrobku, 8 - Laserová tryska, 9 - Směr řezání

Tato metoda je vhodná pro využití jak pro malosériovou výrobu, tak i pro velkosériovou výrobu v dávkách. Nesmírnou výhodou jsou minimální deformace a vysoká přesnost. Jedi-

nou, ale nepochybně důležitou nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady. Ve srovnání s ostatními technologiemi dělení materiálu je konkurence schopná produkce dělení laserem z hlediska cenového.

Mezi základní charakteristiky procesu řezání laserem patří rychlost řezání, kvalita řezu, šířka rezné spáry, šířka tepelně ovlivněného pásma.

V praxi existuje řada metod dělení laserovým paprskem, které jsou dány druhem rezného plynu. Mezi základní a nejčastěji používané patří: tavné, oxidační, sublimační. [19,20,22]

#### 4.1.3 Výhody a nevýhody laseru

V porovnání s jinými zdroji energie má laser mnoho výhod, ale také nevýhod. Níže jsou uvedeny ty nejdůležitější.

Výhody:

- Vysoká přesnost řezu u malých a středních tloušťek materiálu (do 25 mm).
- Velmi malá šířka rezné spáry (0,2-0,4 mm), což umožňuje řezání detailních kontur.
- Vysoká rezná rychlost.
- Velmi malé přivedené teplo, téměř žádná deformace obráběného dílu.
- Pravoúhlá rezná hrana umožňující přesné řezání úhlů.
- Výborná automatizace u rezného procesu.
- Vysoká flexibilita.
- Reprokovatelnost.
- Vysoká hospodárnost i při malých sériích.
- Možnost použití mnoha materiálů.
- Plochy řezu mají velmi dobrou jakost povrchu a obvykle nevyžadují další úpravy.
- Dlouhá životnost.

Nevýhody

- Vysoká pořizovací cena a provozní náklady.
- Přísnější bezpečnostní opatření.
- Ekologičnost.
- Omezená tloušťka řezaného materiálu: konstrukční ocel 25 mm, vysokolegovaná ocel 15 mm, hliník 10 mm.
- Snížení stability paprsku u lesklých materiálů a povrchů.
- Nutné přesné řízení vzdálenosti k povrchu obrobku.

- Hrubý řez u řezání konstrukční oceli s vyšším obsahem Si a P.
- Menší účinnost (CO<sub>2</sub> laser max. 10 %). [17,19,21,22]

#### 4.1.4 2D a 3D řezání profilu

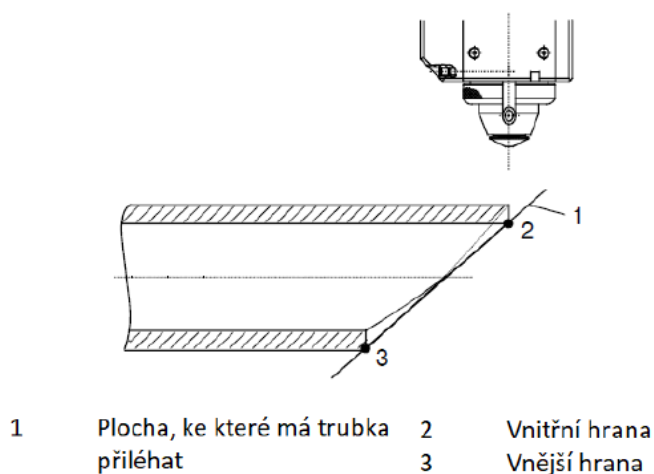
Nejprve existovaly laserové zařízení se dvěma osami x a y, na kterých bylo možné řezat materiál ve formě plechu. Zvyšováním nároků bylo vyvinuto a vytvořeno zařízení na řezání profilů. Díky tomu je možné inovativně řešit mnoho aplikací a otevírají se nové konstrukční možnosti. Zařízení umožňuje řezat do profilu nejrůznější otvory a výřezy. Rozdíl mezi 2D a 3D zařízením je v počtu řízených os pro obrábění laserem, případně umístění řezné hlavy na robotickém ramenu. Základní aplikace pro řezání profilů jsou:

- Rotační osa.
- Trubkový laser.
- 5-ti osé obráběcí centrum.
- Robotické rameno.

Počáteční kvalita zpracovaného profilu má důležitý vliv na průběh, výslednou kvalitu a přesnost řezu. Kvalitu profilu ovlivňují tyto faktory: odchylka rovinnosti, odchylka průměru, odchylka tloušťky stěny, zkroucení a jiné.

#### 2D řezání profilu

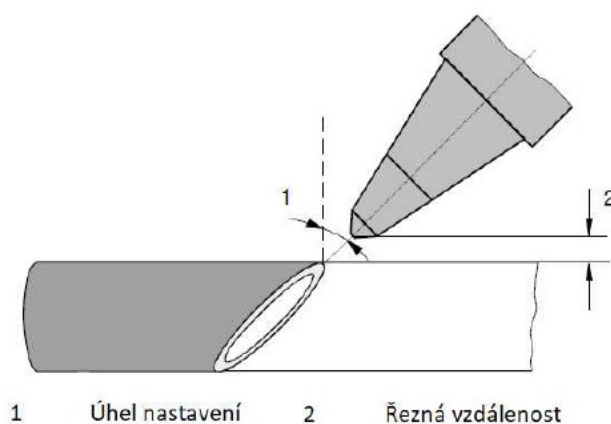
Během 2D řezání profilu je laserový paprsek kolmý na řezanou stěnu, tudíž nedochází k žádné změně tloušťky materiálu během řezu. Pohyb řezací hlavy je ve vodorovné ploše a profil se otáčí kolem své podélné osy. Touto technologií není dosaženo ideální řezné linie po celé délce řezu. Vyobrazeno na *Obr. 9*.



*Obr. 9. 2D řezání profilu. [32]*

### 3D řezání profilu

Metoda 3D řezání se využívá tam, kde je potřeba perfektní doléhání ploch po celém obvodu řezu. Řezací hlava není v tomto případě vedena kolmo na řezaný povrch, ale svírá s ním úhel nastavení dle *Obr. 10*. Negativním jevem při 3D řezání je, že se v průběhu řezu mění tloušťka řezaného materiálu. Pokud chceme mít kvalitní řez v celém průřezu, musíme průběžně upravovat parametry procesu. Mezi další problémy patří odchylování technologického plynu, který se při řezání používá. To má za následek, že se nedostane dostatečné množství plynu do řezné spáry, tím pádem se více vytváří otřepty a opálení řezných hran. [32]



*Obr. 10. 3D řezání profilu. [32]*

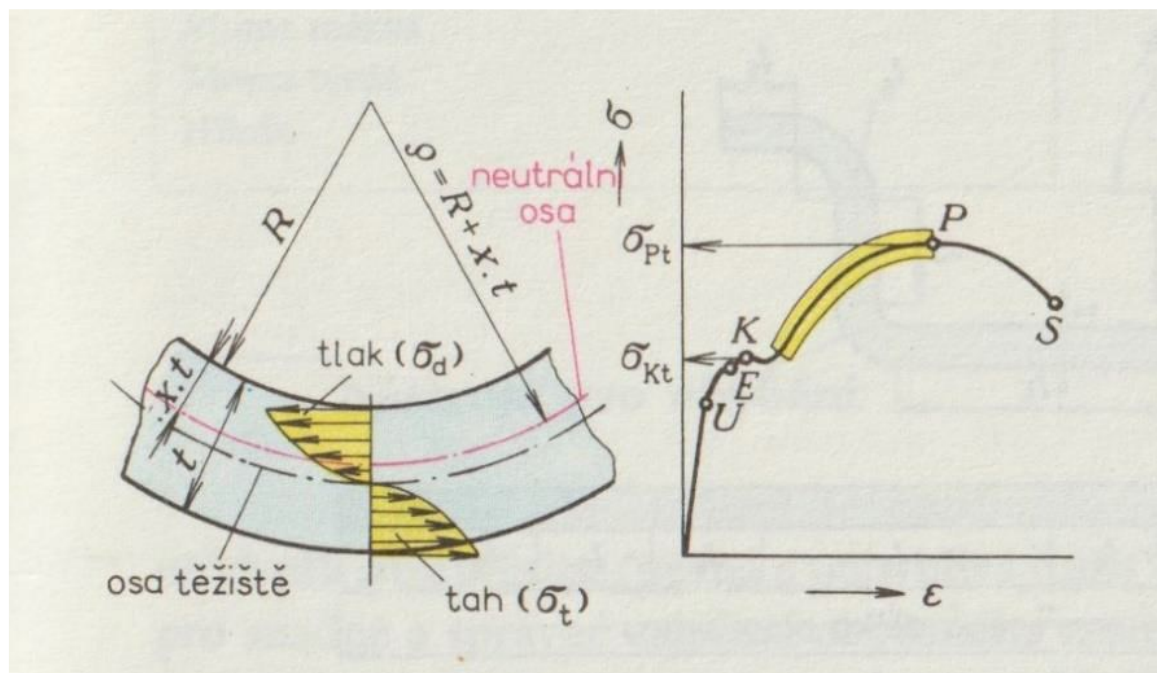
### 4.2 Tváření za studena ohýbáním

Při tváření dochází k trvalé deformaci a k přemístění materiálu bez porušení jeho soudržnosti. Pomocí tváření jsou vyráběny polotovary jak pro druhovýrobu, tak polotovary pro následné zpracování a finální produkt.

Tváření za studena je realizováno při teplotách nižších než rekrystalizačních. Při tomto druhu tváření dochází ke zpevnění materiálu.

K rozšíření tváření za studena došlo z mnoha jeho předností, tj. velká výkonost, nízké výrobní náklady, malé ztráty materiálu odpadem a možnost automatizace.

Jednou z velmi rozšířenou operací zpracování plechu je ohýbání. Touto operací dochází k intenzivnímu přetvoření objemu materiálu. Je to pružně plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose. Při ohybu jsou napětí v krajních vláknech materiálu opačného smyslu (tah, tlak) jak můžeme vidět na *Obr. 11*. [27,28]

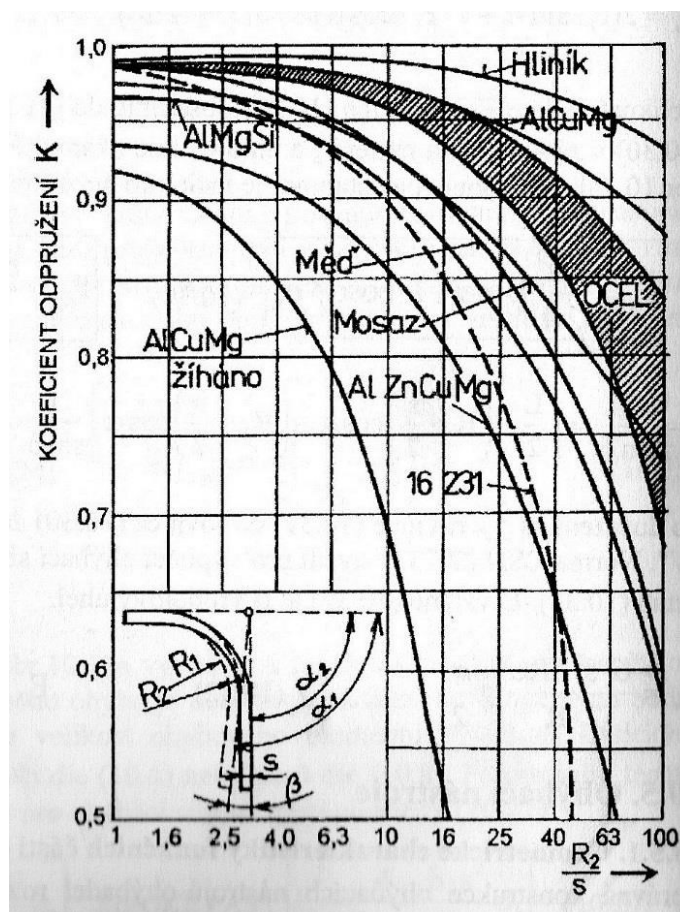


Obr. 11. Velikost napětí v krajních vláknech ohýbaného materiálu. [27]

Z Obr. 11 je zřejmé, že v místě, kde se mění tahové napětí na tlakové je vrstva bez napětí a také bez deformace. Tuto část nazýváme osa těžiště. Díky neutrální ose jsme schopni zjistit délku výchozího polotovaru ohýbaného dílu. U tlustých dílů se předpokládá, že je neutrální osa uprostřed tloušťky materiálu. Při malých poloměrech ohybu se neutrální osa posouvá směrem ke stlačeným vláknům. [28]

#### 4.2.1 Zpětné odpružení

Jedním z nežádoucích jevů při tváření za studena je odpružení, které je způsobeno oblastí plastické deformace v okolí neutrální osy tvářeného materiálu. Odchylka, která má značný význam při ohýbání a roste zároveň s rostoucí délkou ramene. Velikost úhlů odpružení závisí na mechanických vlastnostech materiálu, tloušťce materiálu, poměru poloměru ohybu k tloušťce materiálu, velikost úhlu ohybu a konstrukce ohýbadla. Velikost odpružení jsme schopni určit z diagramu daného materiálu, který vidíme na Obr. 12 nebo výpočtem. Obě varianty jsou ovšem pouze orientační.



Obr. 12. Diagram koeficientu odpružení. [29]

Vztah pro přibližný výpočet odpružení  $\beta$  pro V ohyb:

$$\tan \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \quad (3)$$

Vztah pro přibližný výpočet odpružení  $\beta$  pro U ohyb:

$$\tan \beta = 0,75 \cdot \frac{r_m + r_p + 1,2 \cdot t}{x \cdot t} \cdot \frac{Re}{E} \quad (4)$$

kde:  $l_v$  – Vzdálenost opěr ohybnice [mm]

$r_m$  – Zaoblení hrany ohybnice [mm]

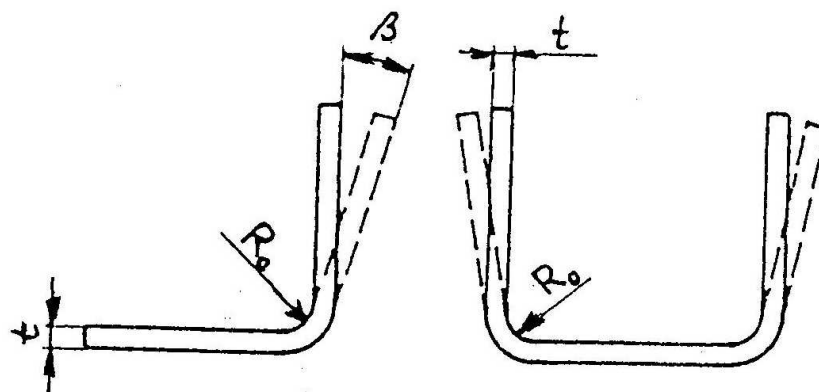
$r_p$  – Zaoblení hrany ohybníku [mm]

$t$  – Tloušťka plechu [mm]

$x$  – koeficient polohy neutrální osy [-]

$Re$  – Mez kluzu ohýbaného materiálu [MPa]

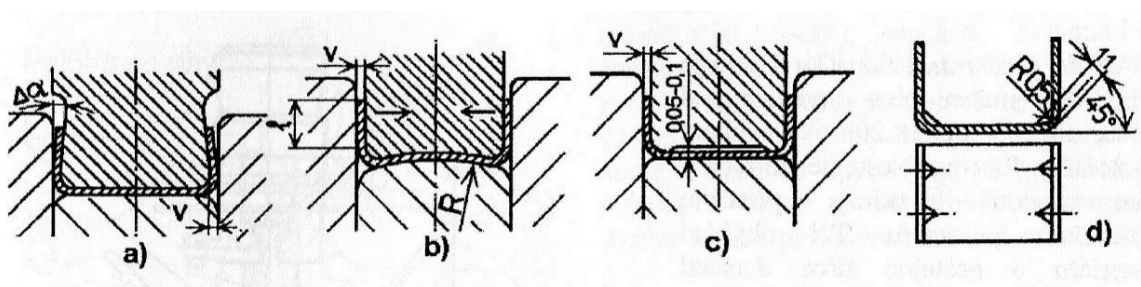
$E$  – Modul pružnosti v tahu [MPa]. [28]



Obr. 13. Odpružení při ohybu V a U. [30]

Zabránit odpružení lze několika způsoby:

- Úhel ohybu se zvětší o úhel odpružení, který získáme výpočtem nebo z diagramu.
- Podbroušením ohybníku, Obr. 14. a).
- Zaoblením ohýbadla či vyhazovače v místě kontaktu s materiálem, Obr. 14. b).
- Kalibrací, která se provádí zvýšením tlakové síly lisu na konci cyklu, Obr. 14. c).
- Vytvořením žeber a prolisů, Obr. 14. d).



Obr. 14. Metody k odstranění odpružení. [29]

#### 4.2.2 Vady při ohybu

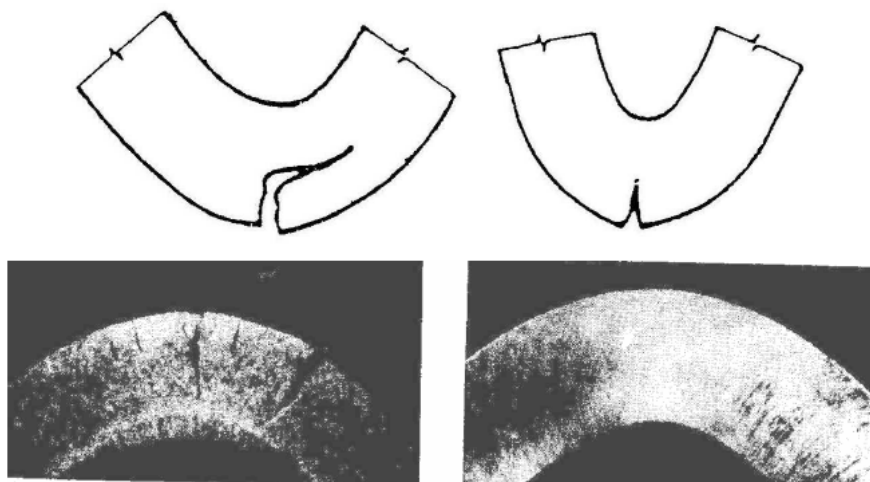
Během procesu ohýbání může dojít k mnoha technologickým problémům. Většina problémů se projeví až na konci procesu. Příkladem vady materiálu je praskání, tvorba zvlnění či deformace průřezu. Správnou volbou polotovaru, technologického postupu a podmínek ohýbání, můžeme vadám předcházet.

##### Praskání materiálu

Při zvětšování ohybu vlivem zpevňování materiálu vzrůstá na vnější straně ohybu tahové napětí. Při překročení kritické hodnoty minimálního poloměru ohybu  $R_0/t$  se soudržnost materiálu poruší a vzniká trhлина na vnější straně ohybu, která se dále šíří do materiálu



s průběhem dle *Obr. 15*. Vyžíhaný materiál snese při stejné tloušťce materiálu menší poloměr ohybu než původní materiál.

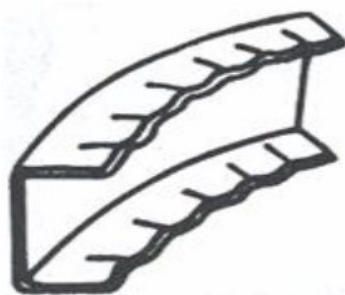


*Obr. 15. Porušení materiálu při ohýbání. [30]*

Dalším faktorem ovlivňujícím praskání materiálu je orientace vláken ve struktuře. Osa ohybu by měla být kolmá na směr vláken materiálu. Pokud není možné tuto podmínku dodržet, minimální úhel natočení od vláken je  $30^\circ$ . Otřep vzniklý při stříhání či nerovnosti na tahové části podporují další praskání, proto je důležité, aby byly nerovnosti na stlačované straně.

### **Tvorba vln**

Vznikají při ohýbání dílů s tenkými stěnami, které se zvlíní v oblasti působení tlaku. Lze odstranit zařazením tahové síly při ohybu nebo bočním přitlačení materiálu k nástroji. Příklad zvlnění je znázorněný na *Obr. 16*. [29]



*Obr. 16. Zvlnění profilu během ohýbání. [30]*

## 5 TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

Obrábění kovů je technologický proces, při kterém se odebráním materiálu vytváří požadovaný tvar obráběného předmětu (obrobku). Při obrábění kovů je řezná hrana velkou silou vtlačována do materiálu obrobku, který je deformován tak silně, až se odděluje ve formě třísek. Výsledkem je opracovaný povrch, který bude mít požadované rozměrové přesnosti a jakosti ploch. [6]

Metody obrábění lze rozdělit podle různých hledisek. Podle charakteru práce existují ruční a strojní metody. Podle charakteristických znaků se dělí následovně:

- Metody obrábění pomocí nástrojů s definovanou geometrií – soustružení, frézování, vrtání, vystružování, zahlubování atd.
- Metody obrábění pomocí nástrojů s nedefinovanou geometrií – broušení, honování, lapování, superfinišování atd.
- Nekonvenční metody obrábění – elektroerozivní, chemické, ultrazvukové, elektronovým paprskem, vodním paprskem atd.
- Úpravy obrobených ploch – válečkování, hlazení, brokování, balotínování, leštění atd. [6]

### 5.1 Frézování

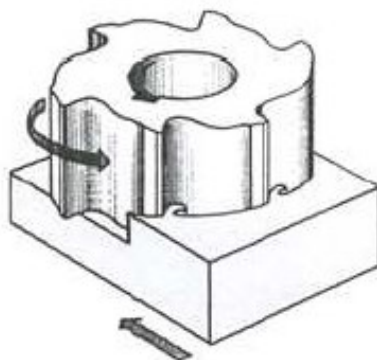
Frézování je jednou z nejpoužívanějších obráběcích metod, kterou je vytvářen nový, rovinný či tvarový povrch rotačním nástrojem na obráběném dílu. K odebrání materiálu z obrobku dochází pomocí břitů rotačního nástroje – frézy, který při obrábění koná rotační pohyb, jenž je zároveň hlavním řezným pohybem. Vzájemný rotační pohyb mezi frézou a obrobkem je vykonáván frézou a vzájemný posuvný pohyb může být vykonáván buď frézou, nebo obrobkem upnutým ke stolu frézky. Frézování je přerušovaný řezný pohyb, kdy každý zub odebrá krátké třísky proměnlivé tloušťky. U moderních víceosých frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech. [7,12]

#### 5.1.1 Druhy frézování

Frézování můžeme z technologického hlediska rozdělit podle aplikace nástroje na čelní (frézování čelem nástroje) a válcové (frézování obvodem nástroje). Od těchto způsobů se odvozují některé další způsoby, jako je frézování okružní a planetové.

### Čelní frézování

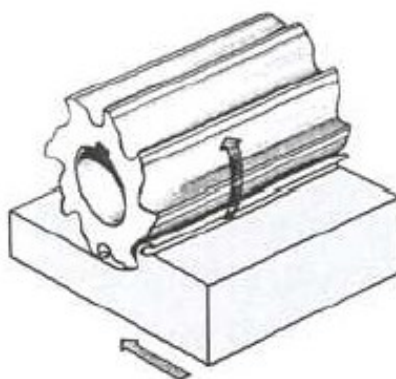
Při čelním frézování je osa nástroje kolmá k obráběné ploše. Čelní frézy mají břity vytvořeny jak na obvodu, tak i na čele nástroje. Hlavní břity, které odebírají materiál obrobku, jsou na obvodu nástroje. Břity na čele nástroje obrobenu plochu jen vyhlazují. Nástroj bývá rovnoměrně zatížen, díky čemuž je nejen možné dosáhnout vyšších řezných výkonů, ale také plochy obrobene touto technologií se vyznačují lepší jakostí. Proto se čelní frézování používá častěji než válcové frézování. Na *Obr. 17* vidíme schématický náčrt procesu čelního frézování.



*Obr. 17. Čelní frézování. [7]*

### Válcové frézování

Při válcovém frézování na *Obr. 18* je osa frézy rovnoběžná s obráběnou plochou obrobku. Materiál je z obrobku odebírán břity, uspořádanými po obvodu nástroje. Hloubka odebrání je nastavována kolmo vzhledem k ose frézy a směru posuvu. Válcové frézování je často využíváno při práci s válcovými a tvarovými frézami. [7,12]



*Obr. 18. Válcové frézování. [7]*

Dále se v závislosti na kinematice frézovacího pohybu rozlišuje frézování sousledné a ne-sousledné. Volba způsobu frézování je značně důležitá, protože volba špatného způsobu

může ovlivnit produktivitu výroby, trvanlivost nástroje, nebo zapříčinit nedosažení vlastností, které zákazník požaduje.

### Sousledné frézování

Při sousledném frézování se obrobek posouvá ve stejném směru jako zuby frézy. Tloušťka třísky v tomto případě je při záběru maximální, což zapříčiňuje zvýšené rázy, a zmenšuje se do nulové hodnoty při výběhu zubu z materiálu. Je potřeba řádně přizpůsobený stroj pro kvalitní sousledné frézování zobrazené na *Obr. 19*, jelikož materiál je vtahován pod frézu a může dojít k vibračním vlivem nevymezení vůlí.



*Obr. 19. Sousledné frézování. [7]*

### Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování na *Obr. 20* se obrobek posouvá do řezu proti směru pohybujících se břitů frézy, které v tomto případě odebírají materiál od minimální tloušťky třísky do maxima. K oddělení třísky nedochází od její nulové tloušťky, ale po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Tyto skutečnosti zapříčiňují vznik silových účinků a deformaci, což způsobuje zvýšené opotřebení břitu. Vzniklý povrch mívá horší kvalitu. [34]



*Obr. 20. Nesousledné frézování. [7]*

### 5.1.2 Stroje pro frézování

Frézovacích strojů neboli frézek je velké množství modelů a velikostí s rozsáhlým příslušenstvím. Máme čtyři základní skupiny: konzolové, stolové, rovinné a speciální frézky. Z hlediska řízení pracovního cyklu rozlišujeme frézky ovládané ručně a řízené programově.

Obrábění probíhá rotujícími, jedno nebo vícebřitými nástroji. Poměry při záběru břitu při obrábění mají za následek neustále se měnící řezné síly, ať už co se týká velikosti nebo směru. Frézky jsou vystaveny velkému statickému a dynamickému zatížení.

Velikost frézky určuje šířka upínací plochy stolu a velikost kužele ve vřetenu pro upnutí nástroje. Dalšími důležitými technickými parametry jsou maximální délka pohybu pracovního stolu nebo vřeteníku, rozsah otáček vřetene a posuvů, výkon elektromotoru pro otáčecí vřetene a kvalitativní parametry dosahované u obrobekových ploch. [35]

### 5.1.3 Nástroje pro frézování

Produktivní obrábění není zajištěno pouze výkonným strojem, ale především výkonným a vhodně zvoleným nástrojem. Fréza je několikabřítý frézovací nástroj, mající břity umístěny na různých tvarových plochách. Při frézovacích operacích vykonává fréza hlavní řezný pohyb otáčivý a zároveň obrobek koná pohyb posuvný.

Na základě uplatnění při obrábění lze frézy rozdělit do skupin podle různých hledisek:

Podle umístění břitu na těle nástroje na *Obr. 21*:

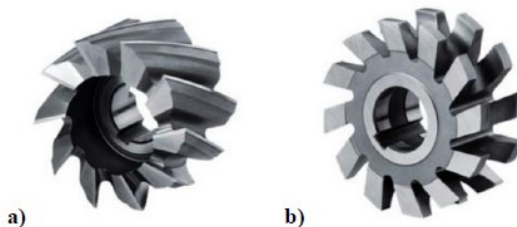
- Válcové – břity na válcové ploše.
- Čelní – břity na čelní ploše.
- Válcové čelní – břity na válcové i čelní ploše.
- Kuželové – břity na jedné nebo dvou kuželových plochách.
- Tvarové – břity na tvarových plochách.
- Kotoučové – břity na obou čelních i obvodové ploše.



*Obr. 21. Fréza válcová (a), čelní (b), válcová čelní (c). [36]*

Podle tvaru zubů na *Obr. 22*:

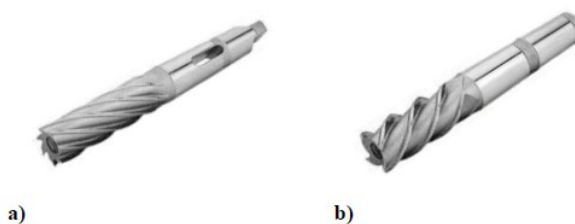
- S frézovanými zuby.
- S podsoustruženými zuby.
- S litými zuby.



*Obr. 22. Fréza s frézovanými zuby (a), s podsoustruženými (b). [36]*

Podle smyslu otáčení na *Obr. 23*:

- Pravořezné.
- Levořezné.



*Obr. 23. Fréza pravořezná (a), levořezná (b). [36]*

Podle průběhu ostří vzhledem k ose rotace frézy:

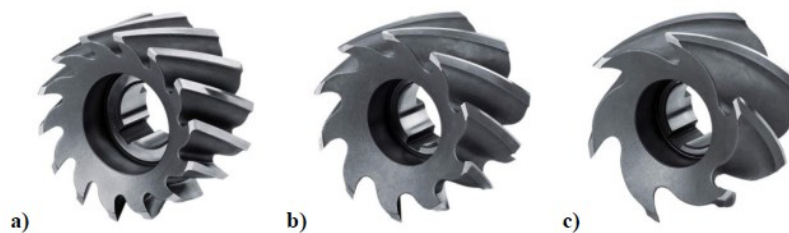
- S přímými břity.
- Se střídavými břity.
- S břity do šroubovice.

Podle konstrukce:

- Celistvé – tělo i břity jsou z jednoho materiálu.
- S vyměnitelnými destičkami.

Podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy na *Obr. 24*:

- Jemnozubé.
- Polohrubozubé.
- Hrubozubé.



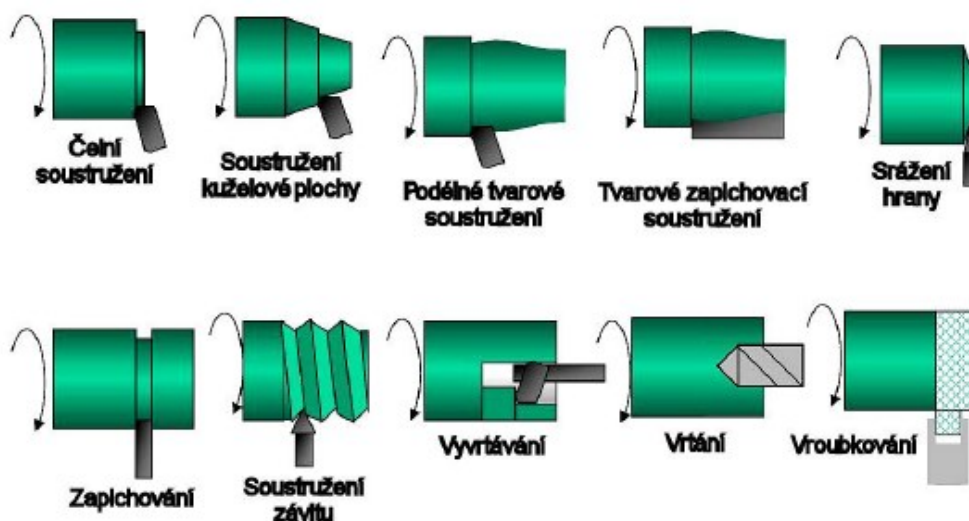
Obr. 24. Fréza jemnozubá (a), polohrubozubá (b), hrubozubá (c). [36]

Podle řezného materiálu:

- Z rychlořezné oceli.
- Ze slinutých karbidů.
- Z řezné keramiky.
- Z cermetů.
- PKD – z polykrystalického diamantu.
- PNKB – z polykrystalického kubického nitridu bóru.

## 5.2 Soustružení

Soustružení patří mezi jednu z nejvíce využívaných metod ve strojírenství. Touto metodou se zhotovují součásti rotačního tvaru, zpravidla jednobřitým nástrojem. Hlavní pohyb při soustružení je otáčivý pohyb obrobku a nástroj koná vedlejší pohyby. Jedná se o podélný posuv, rovnoběžný s osou otáčení obrobku a příčný posuv kolmý k ose obrobku. Soustružením je možné obrábět vnější i vnitřní válcové plochy, provádět zarovnání čel, zápichy, upichování či řezání závitů. Zobrazení základních prací na soustruhu máme vyobrazeno na Obr. 25. [7,12]



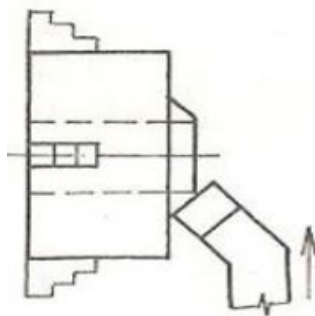
Obr. 25. Základní práce na soustruhu. [7]

### 5.2.1 Druhy soustružení

Rozlišujeme čtyři hlavní druhy soustružení, tj. podélné, čelní, soustružení tvarů a kopírovací soustružení. Dále existuje mnoho kombinací jako je například soustružení osazení, přechodů mezi průměry a sražení hran.

#### Čelní soustružení

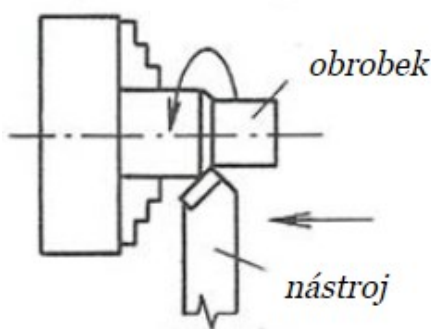
Rovinné plochy obrobku rotačního tvaru orientované kolmo na osu soustružení se nazývají čelní plochy. Tyto plochy se soustruží na předepsaný rozměr s požadovanou drsností povrchu. Jsou to čelní plochy obrobků (hřídelů) a čelní plochy vnějších osazení (nákrůžků). Nůž má posuv kolmý na osu vřetene a radiálně se posouvá po konci obráběné součásti směrem do její osy. Radiální síly jsou vysoké, což může vést k průhybu součásti a někdy být i příčinou vzniku vibrací. Grafické znázornění na *Obr. 26*.



*Obr. 26. Čelní soustružení. [37]*

#### Podélné soustružení

Při podélném soustružení, které vidíme na *Obr. 27*, probíhá posuvný pohyb nástroje podél osy obráběné součásti, což znamená, že dochází ke změně jejího průměru na menší rozměr. Jedná se o nejběžnější soustružnickou operaci. Nůž se posouvá rovnoběžně s osou vřetene, obvykle směrem od koníka k vřeteníku. Tento způsob se používá k soustružení vnitřních i vnějších rotačních ploch. [7,12,37]



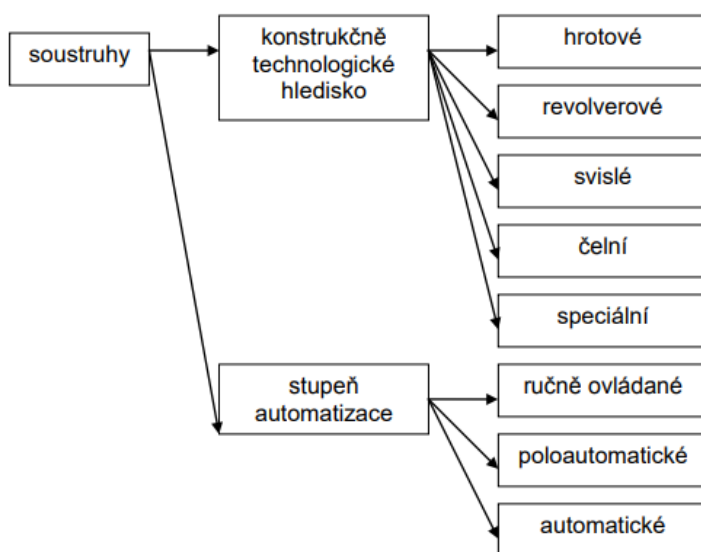
*Obr. 27. Podélné soustružení. [37]*



### 5.2.2 Stroje pro soustružení

Soustruhy jsou obráběcí stroje, na kterých se metodou soustružení obrábí výrobek do potřebného rotačně souměrného tvaru. Existuje velký počet typů a vykazují různý stupeň automatizace. Z konstrukčně technologického hlediska se rozlišují soustruhy hrotové, svislé, čelní, revolverové a speciální. Podle stupně automatizace se používají soustruhy ručně ovládané, poloautomatické a automatické.

Výrobek musí mít při tomto druhu obrábění vysoký otáčivý pohyb. Obrobek je upevněn v rotační části stroje a v posuvné části je upevněn nástroj – soustružnický nůž. [7,37]



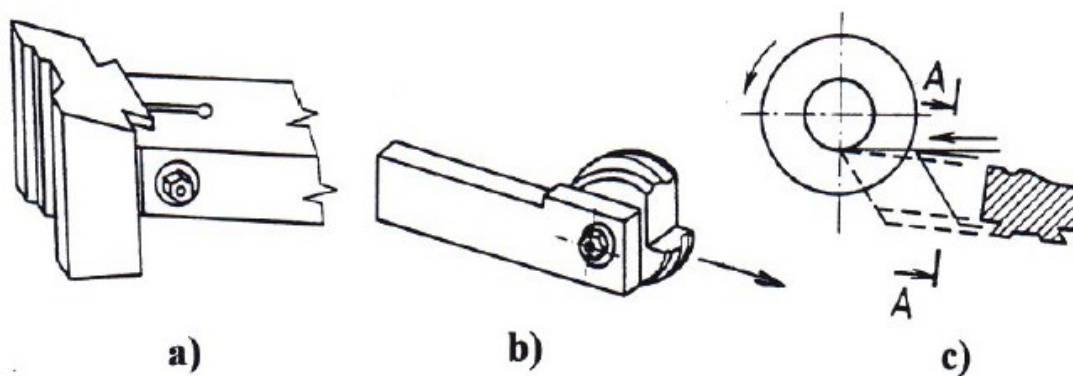
Obr. 28. Schéma rozdělení soustruhů.. [35]

### 5.2.3 Nástroje pro soustružení

Soustružnický nůž je jednobřítý nůž se členitým povrchem pro optimální tvorbu třísky. Vyrábí se v různých tvarech a velikostech. Tvar nože ovlivňuje funkce při strojním obrábění. Velikost nože posuzujeme dle velikosti obrobku, který budeme obrábět a typu soustružnického stroje, na kterém budeme operaci zhotovovat. Požadavkem jsou vysoce kvalitní řezné vlastnosti, vyrobeny z tvrdšího materiálu než obrobek. Geometrie bříty ovlivňuje nejen celkovou trvanlivost bříty, ale i výslednou jakost povrchu.

Z technologického hlediska se rozdělují soustružnické nože na Obr. 29:

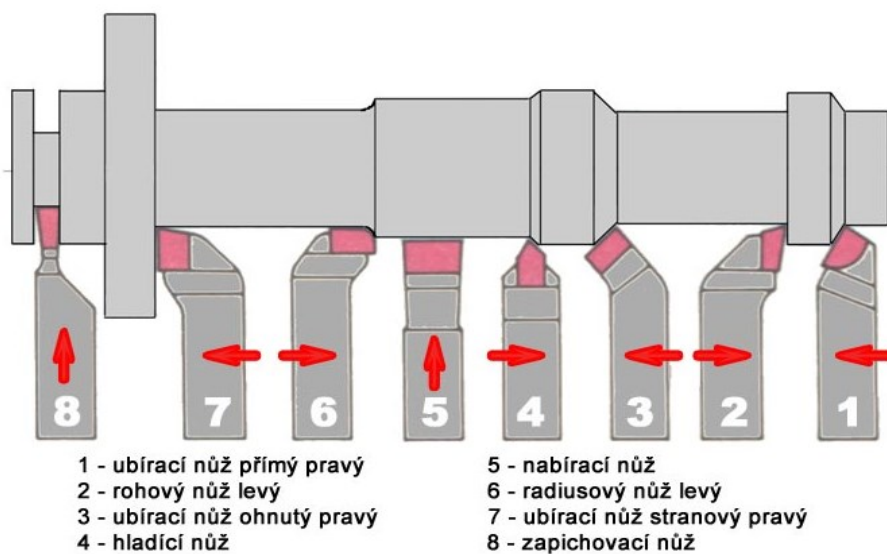
- Radiální.
- Prizmatické.
- Kotoučové.
- Tangenciální.



Obr. 29. Tvarový soustružnický nůž prizmatický (a), kotoučový (b), tangenciální (c). [35]

Podle charakteru obrábění na Obr. 30:

- Uběrací.
- Zapichovací.
- Upichovací.
- Kopírovací.
- Závitové.
- Tvarové.



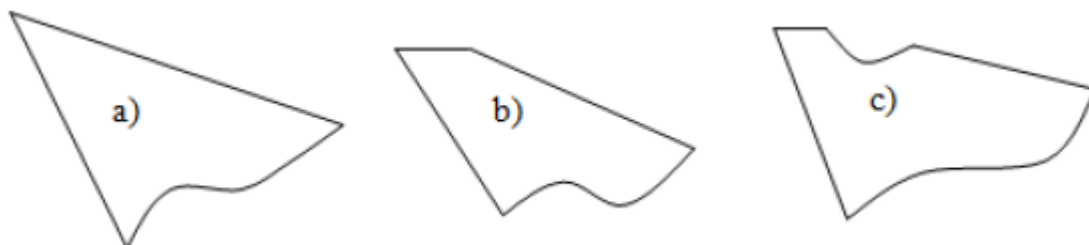
Obr. 30. Rozdělení nožů. [35]

Podle tvaru tělesa nože:

- Přímý.
- Ohnutý.
- Prohnutý.
- Osazený.

Podle tvaru břitu na *Obr. 31*:

- S rovinným čelem.
- S fazetkou.
- S fazetkou a se žlábkem.



*Obr. 31. Tvar nože s rovinným čelem (a), s fazetkou (b), s fazetkou a se žlábkem (c). [35]*

Podle konstrukce:

- Celistvé (monolitní).
- S pájenými břitovými destičkami.
- S vyměnitelnými břitovými destičkami.

Podle směru posuvového pohybu:

- Pravý – směr posuvu od koníku soustruhu k vřetenu.
- Levý – směr posuvu od vřetene ke koníku.

Podle materiálu vyměnitelné břitové destičky na *Obr. 32*:

- Ze slinutých karbidů.
- Z řezné keramiky.
- Z cermetů.
- PKD – z polykrystalického diamantu.
- PNKB – z polykrystalického kubického nitridu bóru. [7,35,37]



*Obr. 32. Břitové destičky. [36]*

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 6 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

Hlavním cílem diplomové práce je nalézt vhodné a ekonomické konstrukční a výrobní řešení společného svařovacího rámu pro kabiny, se zachováním funkčních rozměrů a tuhosti konstrukce, která musí být navržena s ohledem na využití výrobních technologií. Jelikož se jedná o desítky kusů rámu a tisíce kusů kabin vyrobených ročně, může i malá ušetřená částka na jednom kuse, ve výsledku přinést velké úspory.

Dílčími cíli jsou:

- Seznámení se stávajícím stavem současných rámu.
- Navržení nového společného rámu.
- Výrobní postup nového společného rámu.
- Ekonomické hodnocení navržených změn.

## 7 ROZBOR SOUČASNÝCH RÁMŮ

Z hlediska konkurenceschopnosti z ekonomického hlediska je nutné výrobky neustále zdokonalovat a snažit se nalézt možné rezervy. Tato práce je zaměřena na sjednocení dvou rámců do jednoho společného, pro snížení nákladů na výrobu, zjednodušení výroby a následné snížení nákladů na provoz v praxi.

Rámy slouží pro svaření kabiny kamionu. Zjednodušený technologický postup pro výrobu rámců je následující. Na laseru jsou vypáleny veškeré výpalky s přesností  $\pm 0,2$  mm. Na trubkovém laseru jsou vypáleny prostorové profily, především jekly s přesností  $\pm 0,3$  mm. Následuje svařování jednotlivých dílů do celkové sestavy. Souběžně se vyrábějí obrobky na frézovacích centrech a CNC soustruzích. Svařenec jde po svaření na povrchovou úpravu lakování a následně všechny komponenty na montáž. Průběžně během celé výroby probíhá kontrola OTK. Neshodné kusy se opraví nebo vyrobí znova. Po kompletní montáži probíhá 3D měření celkové sestavy. Měří se referenční body v podobě otvorů 6H7, naváděcí, dorazové a upínací rozměry.

### 7.1 Rám bočnic

Jak již název napovídá, tak rám bočnic slouží ke svařování dvou bočnic kamionu, dle fotografie na *Obr. 33*.



*Obr. 33. Fotografie rámu bočnic.*

Při svařování tvarově složitých dílců a sestav z profilů, je velkou pomocí pro svářeče tzv. zámkování. Jedná se o tvarové vypálení drážek či otvorů do profilu, které do sebe zapadají. Jejich funkcí je založení a fixace jednotlivých dílů svařence před samotným procesem svařování. Zvyšují rozměrovou a tvarovou přesnost svařovaných sestav.

Z modelu sestavy rámu bočnic na *Obr. 34* je vidět, že svařovaná sestava se skládá z několika profilů a částí plechu, které k sobě budou postupně svařeny a následně tryskány, lakovány a montovány. Souběžná výroba probíhá na obráběných dílech. Jedná se o různorodé díly, které se vyrábějí na CNC soustruzích a CNC frézkách. Většina těchto dílů slouží jako naváděcí prvky. Je kladen velký důraz na přesnost.

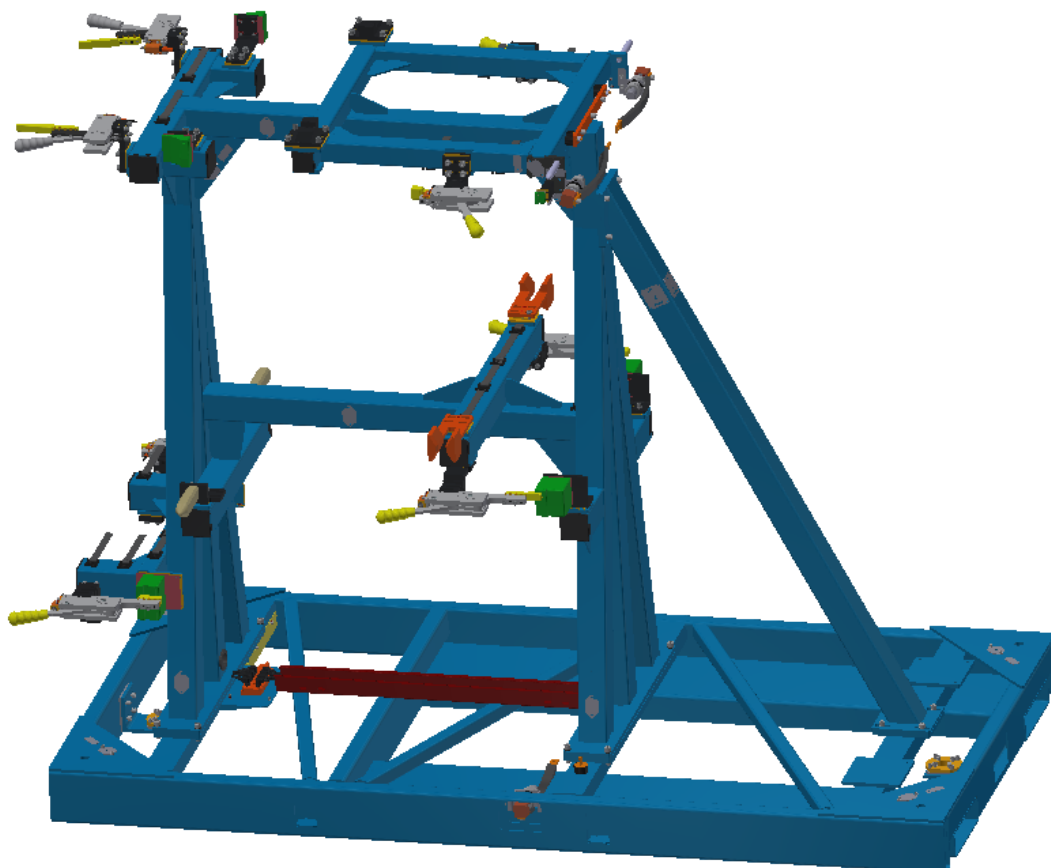
Po montáži všech obráběných dílů zbývají dodat již jen dorazové díly ze speciálního plastu PEEK Polyetereterketonu, který má výborné mechanické vlastnosti. Splňuje požadavky na delší životnost v provozu, díky vysoké oteřuvzdornosti a vysoké provozní teplotě 250 °C až 310 °C. A upínky, které byly vyráběny přímo pro tento účel a použití.

Celková hmotnost rámu je 393 kg a venkovních rozměrech 2535x1200x1961,5 mm, které vidíme v *Tabulka 1*.

*Tabulka 1. Parametry rámu bočnic.*

|                         |           |
|-------------------------|-----------|
| <b>Hmotnost</b>         | 393 kg    |
| <b>Délka</b>            | 2535 mm   |
| <b>Šířka</b>            | 1200 mm   |
| <b>Výška</b>            | 1961,5 mm |
| <b>Počet komponentů</b> | 72        |

V provozu je rám používán na svaření dvou bočnic naráz, pravé a levé, jak vidíme na *Obr. 33*. Obsluha za pomoci balancéru nainstaluje bočnice na rám. Následuje návoz na automatickou linku. Nejprve se kamerovým systémem zkontroluje správnost upnutí a typ bočnice. Následuje kontrola zavření upínek robotem a samotné svaření na otočném stole, jelikož robot nejprve svaří jednu bočnici, stůl se otočí a svaří se druhá bočnice. Musí se opět provést kontrola správnosti svaření a i tato operace je automatizována, kde kontrolu provádí kamera, která je schopna vyhodnotit správnost svaření. Poté se celý rám sundá z linky.



*Obr. 34. Model rámu bočnic.*

## 7.2 Rám čelní a zadní

Rám čelní a spodní na *Obr. 35* se značně liší od Rámu bočnic. Podobným znakem je spodní základní rám, který je také složen z profilů a dílů z plechu. Pro manipulaci jsou již vytvořeny otvory pro zvedací vidle vysokozdvizného vozíku. Připojovací rozměry pro konzoly musí být dodrženy dle tolerancí na výkrese. Zde není toleranční pole tak úzké jak u předchozího rámu, jelikož naváděcí prvky na konzolách jsou nastavitelné ve třech osách.

Rám čelní a zadní neobsahuje žádné referenční body pro měření v podobě otvorů 6H7. Měří se pouze rozměrová přesnost po svaření a finální 3D měření namontované sestavy. Velký důraz je kladen na správně namontované naváděcí čepy.

Celková hmotnost rámu je 325 kg a venkovních rozměrech 2400x2200x775 mm, které vidíme v *Tabulka 2*.

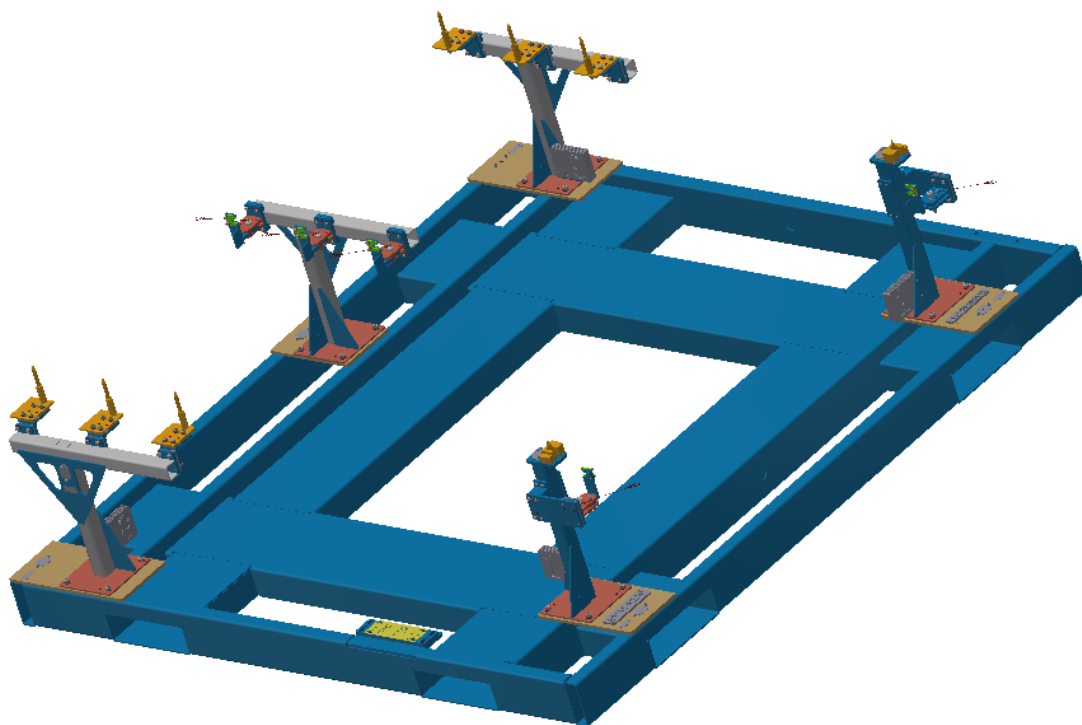


Tabulka 2. Parametry rámu čelní a zadní.

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| <b>Hmotnost</b>                | 325 kg  |
| <b>Délka</b>                   | 2400 mm |
| <b>Šířka</b>                   | 2200 mm |
| <b>Výška</b>                   | 775 mm  |
| <b>Počet komponentů</b>        | 35      |
| <b>Počet referenčních bodů</b> | 10      |

Při provozu se na jednom rámu dá svařovat čelní i zadní kapotáž kabiny kamionu. K tomu slouží vyměnitelné konzoly s naváděcími prvky. Síly v ose Z, směrem vzhůru nejsou, proto není potřeba upínacích prvků.

Rám se položí na začátek svařovací linky, následuje kontrola pomocí kamerového systému a posun rámu do svařovací kabiny. Na konci svařovacího procesu provede kamera kontrolu správnosti svaření a v případě kladného vyhodnocení, posune rám na konec linky, kde je sundán a připraven na lakování.



Obr. 35. Model rámu čelní a zadní.

## 8 KONSTRUOVÁNÍ SPOLEČNÉHO RÁMU

Po rozboru stávajících rámu lze přistoupit ke konstrukci rámu nového a společného pro všechny svařované komponenty na kabinu kamionu. Materiál na výrobu nového rámu bude použit stejný, jako u stávajících rámu. Rozdíl bude pouze ve tvaru konstrukce.

### 8.1 Použitý materiál pro výrobu komponentů svařovacího rámu

Pro výrobu rámu byl použit materiál:

**Ocel 11 375 (S235JR)** – neušlechtilá konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Součásti konstrukcí a strojů středních tlouštěk tavně svařované, namáhané staticky i dynamicky. Součásti vyráběné z plechů, podélně svařovaných dutých profilů a součásti kované pro tepelná energetická zařízení podle ČSN 42 0090 a tlakové nádoby podle ČSN 69 0010 pracující s omezeným přetlakem a teplotou do 300 °C. [38]

Tabulka 3. Chemické složení oceli S235JR.

| C          | Mn        | P         | S          | N          | Cu         |
|------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| max. 0,190 | max 1,500 | max 0,045 | max. 0,045 | max. 0,014 | max. 0,600 |

Má předepsanou čistotu, zaručenou pevnost v tahu, mez kluzu a tažnost. Někdy se zaručují i jiné vlastnosti. Oceli třídy 11 jsou odstupňovány podle obsahu uhlíku, s nejmenší pevností v tahu od 280 MPa do 900 MPa.

Tabulka 4. Mechanické vlastnosti oceli S235JR.

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| Pevnost v tahu $R_m$ | 360-440 [MPa] |
| Mez kluzu $R_e$      | 235 [MPa]     |
| Tažnost $A_{10}$     | 26 [%]        |

**Ocel 11 523 (S355)** – nelegovaná konstrukční jemnozrnná jakostní ocel vhodná ke svařování. Mostní a jiné svařované konstrukce, ohýbané profily, svařované konstrukce z dutých profilů a součásti strojů, automobilů, motocyklů a jízdních kol. Součástí tepelných energetických zařízení a součástí tlakových nádob vyrobených z tyčí. [38]

Tabulka 5. Chemické složení oceli S355.

| C             | Mn            | Si            | P             | S             | N             | Cu            |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| max.<br>0,270 | max.<br>1,700 | max.<br>0,600 | max.<br>0,045 | max.<br>0,045 | max.<br>0,014 | max.<br>0,600 |

Oceli pevnostní řady 50 s obsahem  $C \leq 0,45\%$  mají pevnost v tahu od 500 do 650 MPa. Jsou to nejrozšířenější oceli pro strojní součásti zejména namáhané staticky i dynamicky.

Tabulka 6. Mechanické vlastnosti oceli S235JR.

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| Pevnost v tahu $R_m$ | 470-630 [MPa] |
| Mez kluzu $R_e$      | 355 [MPa]     |
| Tažnost $A_{10}$     | 22 [%]        |

**Ocel 14 220 (16MnCr5)** – ocel mangan chromová k cementování a ke kyanování. Ocel je dobře tvářitelná za tepla, po žhání na měkko i za studena, se zaručeným rozmezím prokalitelnosti. Je dobře obrobitelná - pro hladké obrábění se doporučuje ocel zušlechtěná na pevnost 690 - 880 MPa.

Tabulka 7. Chemické složení oceli 14 220.

| C             | Mn            | Si            | P             | S             | Ni            | Cu            | Cr            |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| max.<br>0,160 | max.<br>1,210 | max.<br>0,210 | max.<br>0,012 | max.<br>0,029 | max.<br>0,090 | max.<br>0,230 | max.<br>0,900 |

Je vhodná pro strojní součásti pro zušlechtění do pr. 35mm, k cementování s velmi tvrdou cementovanou vrstvou s velkou pevností v jádře (volné a zápusťkové výkovky, ozubená kola, talířová kola, kardanovy klouby, hřídele, svorníky, čepy, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy, zubové spojky), pro sériovou výrobu strojních součástí za předpokladu dodržení téže technologie tepelného zpracování také u odběratele. Svařitelnost dobrá - vhodná ke svařování. Předehřev 200 – 250°C. [38]

Tabulka 8. Mechanické vlastnosti oceli 14 220.

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| Pevnost v tahu $R_m$ | 440 [MPa] |
| Mez kluzu $R_e$      | 250 [MPa] |
| Tažnost $A_{10}$     | 38 [%]    |

**Ocel 15 142 (42CrMoS4)** - ocel chrom molybdenová k zušlechťování a k povrchovému kalení, pro velké výkovky. Ocel je dobře tváritelná za tepla, ve stavu žíhaném na měkko dobře obrobitelná. Je vhodná pro povrchové kalení. Tvrdost povrchově kalené vrstvy závisí na způsobu kalení, rozměru a geometrickém tvaru součásti a je cca 54 - 60 HRC.

Tabulka 9. Chemické složení oceli 15 142.

| C             | Mn           | Si            | P            | S             | Mo            | Cr            |
|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| max.<br>0,450 | max<br>0,900 | max.<br>0,400 | max<br>0,025 | max.<br>0,040 | max.<br>0,300 | max.<br>1,200 |

Užívá se na velmi namáhané součásti strojní a součásti silničních motorových vozidel (hřídele a spojovací součásti). V zušlechťeném stavu na odlitky k přímému použití, jako ocel odolná proti abrazi, namáhané středními rázy dynamických sil. Např. bagrové zuby, plužová ostří v zemědělství apod. Svařitelnost dobrá - předehřev na 350°C. Po svaření se doporučuje normalizačně vyžít na 680 – 720°C. Na funkčně exponovaných místech se svařování nedoporučuje. [38]

Tabulka 10. Mechanické vlastnosti oceli 15 142.

|                      |                 |
|----------------------|-----------------|
| Pevnost v tahu $R_m$ | 1100-1300 [MPa] |
| Mez kluzu $R_e$      | 900 [MPa]       |
| Tažnost $A_{10}$     | 10[%]           |

**Ocel 19 312 (90MnCrV8)** - ocel uhlíková, nízkolegovaná Mn-V, nástrojová. Dobrá odolnost proti opotřebení, tvárnost za tepla a obrobitelnost po žíhání dobrá.

Tabulka 11. Chemické složení oceli 19 312.

| C             | Mn           | Si            | P            | S             | V             |
|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|---------------|
| max.<br>0,850 | max<br>2,150 | max.<br>0,350 | max<br>0,030 | max.<br>0,035 | max.<br>0,200 |

Na nástroje pro stříhání za studena: nástroje lisů (průstřižnice, průstřižníky, jež vyžadují velmi dobrou stálost rozměrů při tepelném zpracování), nože nůžek pro stříhání materiálů menších tlouštěk, talířové a kotoučové nože na papír, apod. Nástroje pro tváření za studena: nástroje na ohýbání, zakružování, tažení, ražení materiálů malých tlouštěk. Formy: malé pro tváření plastických hmot a pryže, méně namáhané formy pro tváření práškových

hmot. Měřidla: všeho druhu, šablony. Nástroje ruční: závitníky, závitnice, závitové čelisti, nastavitelné výstružníky. Svařitelnost obtížná. [38]

*Tabulka 12. Mechanické vlastnosti oceli 19 312.*

|                          |                 |
|--------------------------|-----------------|
| Pevnost v ohybu $R_{mo}$ | 4300 [MPa]      |
| Mez kluzu $R_e$          | 2200-3000 [MPa] |

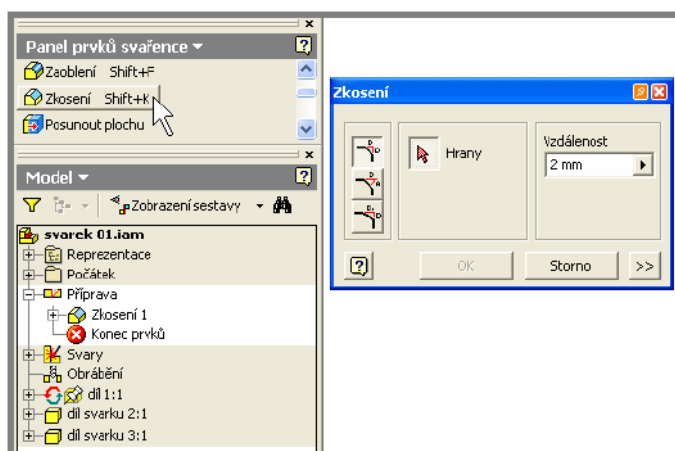
## 8.2 Modelování svařované konstrukce

Programy pro počítačové modelování umožňují vytvořit, editovat a různě prohlížet trojrozměrnou součást. Mohou však mít i různé nadstavbové funkce, jako například výpočet zatížení, vizualizace a pohyblivá prezentace.

Autodesk Inventor poskytuje pro modelování svařovaných konstrukcí samostatný modul, který prakticky kopíruje symbolický postup výroby svařovaných konstrukcí.

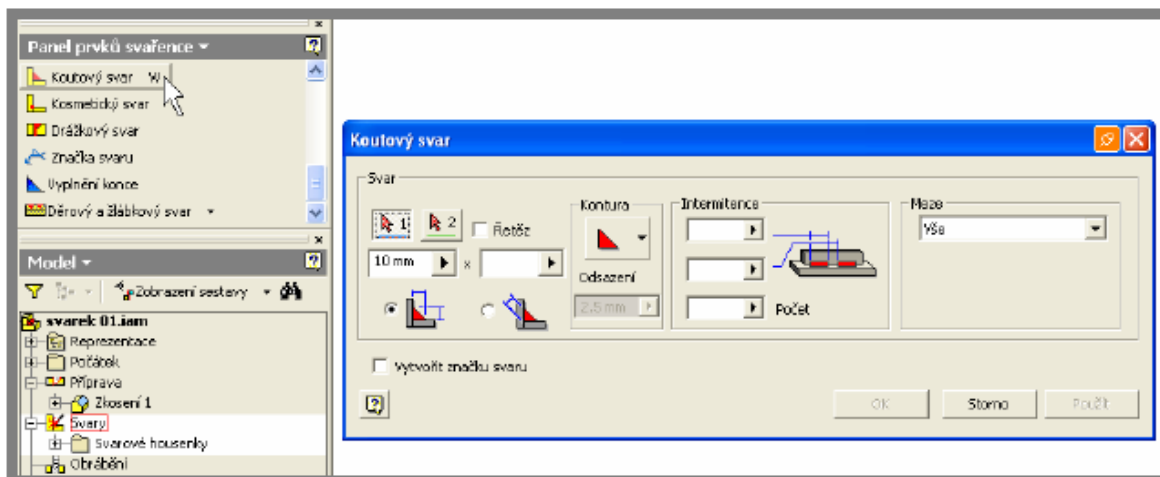
Etapy modelování svarků:

- Vymodelování dílů a jejich spojení – na začátku se zvolí jako šablona soubor svarenc.iam a klasickou cestou se modeluje. Lze přirozeně také nenávratně na svarek zkonvertovat již existující sestavu, v roletovém menu Převést – Svařenec.
- Vytvoření technologických úkosů – svarek lze vymodelovat i s technologickými úkosy hran dílů, například pro V svár. Autodesk Inventor řeší přípravu svárových ploch optimalizovanou skupinou nástrojů, které jsou známy z modelování součástí, okno Model – Příprava – Panel prvků svařenec – Zkosení, které vidíme na *Obr. 36* lze vytvořit úkosy, zaoblení, zahloubení a otvory nebo jiné technologické prvky.



*Obr. 36. Vytvoření zkosení.*

- Svařování – pro tuto tvorbu je Autodesk Inventor vybaven jediným nástrojem obsahujícím vše potřebné pro vytvoření požadovaného sváru, okno Model – Sváry – Panel prvků svařence na *Obr. 37*. Zde se nachází i Značky svárů, popřípadě Výpočet svárů.



*Obr. 37. Vytvoření sváru.*

Vlivy a důsledky při nepřesném a nevhodném návrhu rámu

Deformace

Nedostatečná tuhost či špatné rozložení zatížení mohou vyvolat síly nebo momenty, které budou nevhodně působit na rám. Přesnost ustavení jednotlivých zařízení na rám proto musí být přesné a dosedací plochy je třeba navrhnut dle výrobních výkresů zařízení. Tuhost musí být dostatečná, aby vzniklé deformace nepřekročily dovolené hodnoty vychylek.

### 8.3 Technologičnost konstrukce

Větší vliv na konečnou cenu než strategie obrábění, volba nástrojů a strategie svařování má technologičnost konstrukce, která je dána souhrnem vlastností technicko-ekonomického charakteru, které mají zajistit optimální podmínky nejen z hlediska funkce, spolehlivosti, životnosti výrobku a jeho jednotlivých součástí, ale musí také v plné míře respektovat hledisko efektivnosti výroby.

Při provádění rozboru součásti nebo celé svařované konstrukce je vždy důležité přihlížet k tomu, jestli je součást vyrobitelná a jestli je možné se vypořádat s rozměry, tvary, drsností povrchu a dodržení úchylek uvedených na výkresové dokumentaci. Stejně tak nebo možná ještě potřebnější je u kusové výroby řešit výrobu s ohledem na výrobní metody, jejichž správné použití vede k úspoře nákladů a hospodárnosti.

Uvedené výrobní úchytky a jakosti povrchu jsou volené konstruktérem tak, aby hotová součást plnila své požadavky s ohledem na provozní podmínky a vyměnitelnosti součástí. Rozměry s menší tolerancí a plochy s vyšší jakostí povrchu zapříčiní zvýšení výrobních nákladů.

Tyto ukazatele ovlivňující prodejnost výrobku souvisí s produktivitou výroby a konkurence schopnosti na trhu.

Technologičnost konstrukce ovlivňuje:

- Tvar a rozměry součástí.
- Rozměrová přesnost.
- Přesnost úchylek tvaru a polohy.
- Drsnost obrobených ploch.
- Druh a jakost použitého materiálu a polotovaru.
- Tepelné zpracování.
- Upnutí obrobku včetně přípravků.

## 9 ROZBOR SPOLEČNÉHO RÁMU

Rám slouží jako přípravek a zavázeční rám pro svařování kabiny kamionu. Prototypovou sestavu vidíme na *Obr. 38*.



*Obr. 38. Fotografie prototypu společného rámu.*

Rám se skládá z mnoha komponentů a základní nosné rámy jsou řešeny jako svařence, a to především z jednotlivých ocelových profilů třídy 11. Tyto profily jsou páleny na profilo-  
vém laserovém centru. Velké zjednodušení a pomoc při svařování je tzv. zámkování na  
profilu, díky kterému se rám stává stavebnicí. Dochází k menší zmetkovitosti kvůli záměně  
dílů, zrychlení sestavení pro svařování a přesnějším rozměrům rámu. Z důvodu požadavků  
zákazníka je kladen velký důraz na geometrickou přesnost a pevnost svárů, které musí za-  
ručit bezpečnou manipulaci. Mezi další komponenty patří výpalky na laserovém centru  
páleny s přesností 0,2 mm. Velmi důležitými a především přesnými komponenty jsou na-  
váděcí trny a prizmy. Jedná se o obráběné díly z materiálů třídy 14, 15 a 19 v tolerancích  
0,1 až 0,01 mm. U většiny obráběných dílů následuje tepelná úprava, díky které má delší  
životnost. Trny a prizmy jsou nejčastější náhradní díly v provozu.



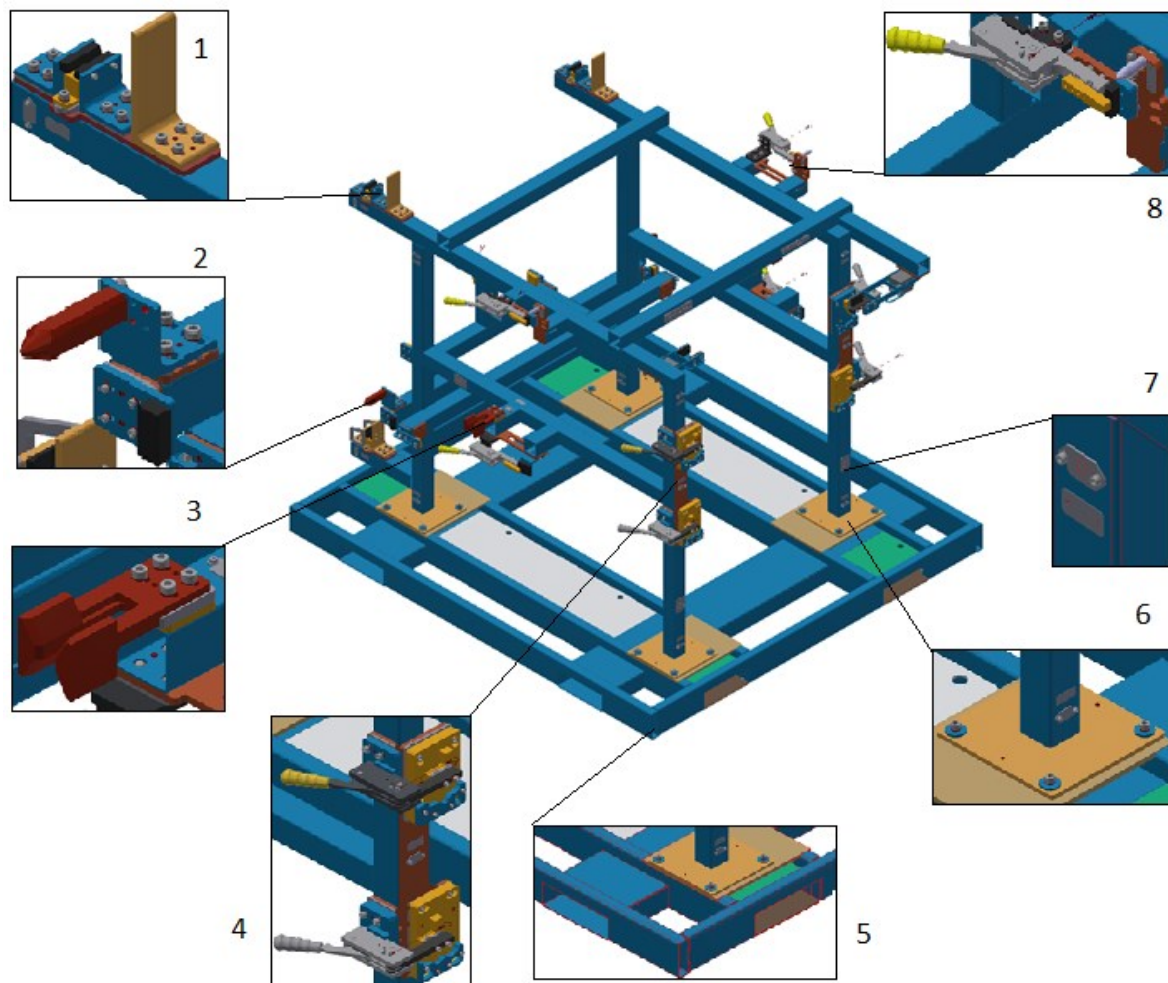
Na rámu je dvacet jedna referenčních otvorů 6H7, které slouží pro zaměření přesnosti rámu a bodů, které jsou důležité při provozu. Jelikož je linka automatizována a návoz kabin provádí počítač, musí být jednotlivé části kabiny na správném místě. Připevnění jednotlivých částí kabiny provádí obsluha. Dále pak i svařování je automatizováno a prováděno robotem. Při nepatrných odchylkách by mohlo dojít ke zmetkovitosti a velkým škodám.

Celková hmotnost rámu je 535 kg o venkovních rozměrech 2400x2200x1895 mm, které vidíme v *Tabulka 13*.

*Tabulka 13. Parametry společného rámu.*

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| <b>Hmotnost</b>                | 535 kg  |
| <b>Délka</b>                   | 2400 mm |
| <b>Šířka</b>                   | 2200 mm |
| <b>Výška</b>                   | 1895 mm |
| <b>Počet komponentů</b>        | 130     |
| <b>Počet referenčních bodů</b> | 21      |

Často na rámu vidíme u sebe dorazové a buď naváděcí nebo upínací prvky. Při spojení těchto prvků je pro obsluhu mnohem jednodušší montáž komponentů pro svařování. Na *Obr. 39* detailu 1 vidíme naváděcí a dorazové prvky pro uložení přední části karoserie. Obsluha pomocí balancéru přijede s čelní částí k rámu a pomalu usadí do správné pozice. Podobnou kombinaci prvků vidíme také na detailu 2. Ten slouží k ustavení bočnice karoserie ještě s detaily 3 a 8. Po zaklapnutí upínek z detailu 8 je bočnice ustavena ve správné poloze. Navedení a zajištění zadního panelu slouží prvky dle detailu 4. Pro smontování spodního základového a horního rámu jsou určeny přípojovací části dle detailu 6. Tyto přípojovací části s přípojovacími rozměry jsou velice důležité a musí být při svařování dodrženy v určených tolerancích, jelikož rámy musí být navzájem zaměnitelné. Pro jednoduchost manipulace byly navrženy otvory pro zvedací vidle vysokozdvížného vozíku již přímo v základním rámu, které vidíme na detailu 5. Přesnost rámu je kontrolována přes referenční body, které jsou následně zadělány krytkou, aby nedošlo k poškození při provozu. U každého referenčního bodu je štítek dle detailu 7 s naměřenými hodnotami, kdyby při provozu došlo k poškození rámu, nebo ohnutí způsobeno např. obsluhou vysokozdvížného vozíku, a musel by se rám opětovně přeměřovat.



*Obr. 39. Model společného rámu s detaily uzlů.*

## 10 POPIS KOMPONENT

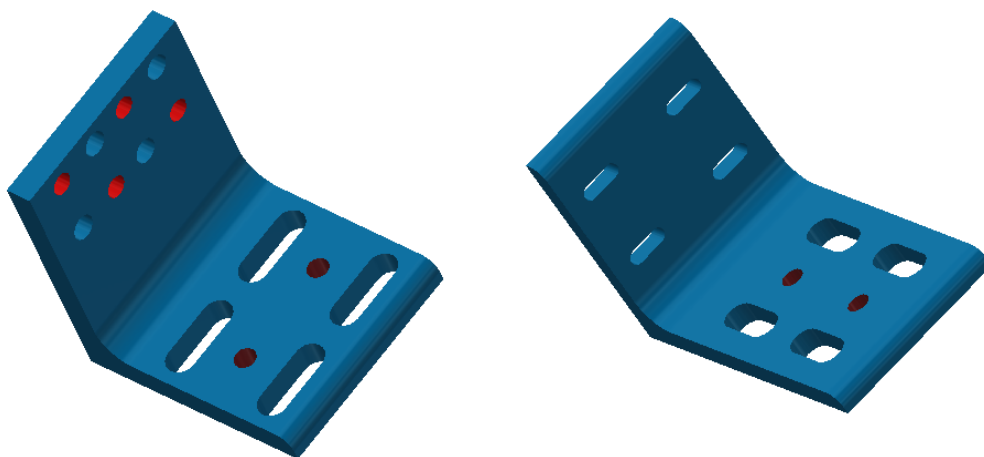
Všechny tři rámy nesou mnoho společných či podobných prvků. V první řadě jsou u dvou ráků ze tří téměř totožné spodní základní ráky, na kterých je připevněna nosná konstrukce. Na nosné konstrukci je upevněno několik totožných upínacích komponent od prizmatických opěr až po pákové mechanismy.

Pro konstrukci společného ráku je nezbytné znát účel jednotlivých komponent svařenců, které z nich jsou totožné, které jsou podobné a které komponenty jsou rozdílné.

### 10.1 Společné prvky

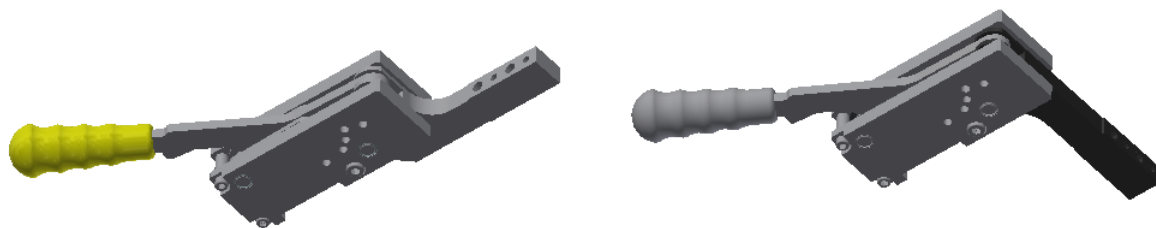
Na svařovacím ráku je mnoho upínacích, naváděcích a jednoduchých polohovacích zařízení, jejichž princip fungování je prakticky stejný. Liší se pouze svojí konstrukcí dle potřeby upnutí. Tyto prvky jsou na všech rámech stejné.

Upevňovací prvky jsou pro všechny ráky téměř totožné. Na všechny tyto prvky se následně montují upínací, naváděcí či dorazové díly. Poloha je nastavitelná ve všech osách a po přesném ustavení a zaměření se poloha zajistí kolíkem. Příklad upevňovacích prvků vidíme na *Obr. 40*.



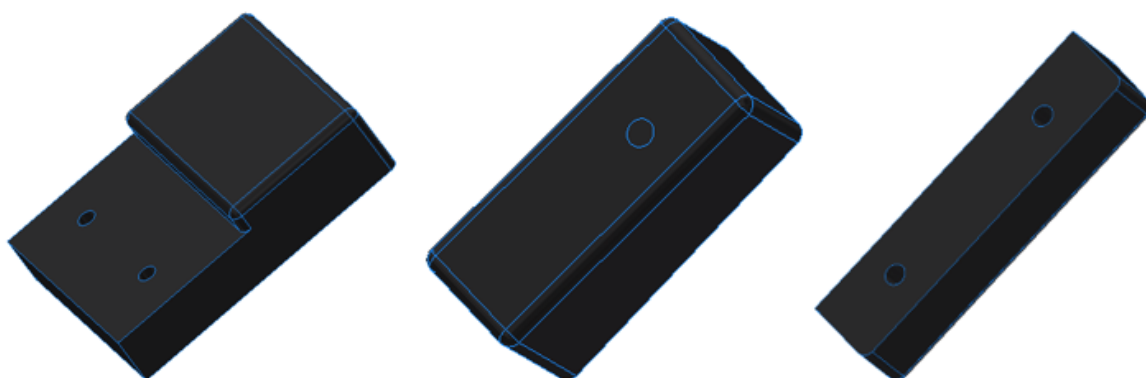
*Obr. 40. Upevňovací prvky.*

Upnutí je řešeno svislými upínkami od firmy JC Metal. Rukojeť této řady upínek je v zavřeném stavu upínky ve svislé poloze. Všechny typy jsou vybaveny nerezovými nýty a kalenými ložiskovými pouzdry. Samozřejmostí je plastová, ergonomicky tvarovaná, oleji-vzdorná rukojeť. Tyto typy mají upínací nohu v přímém provedení. Používá se pro fixaci polohy při svařování. Maximální upínací sílu tvoří 1700 N. Upínky vidíme na *Obr. 41*.



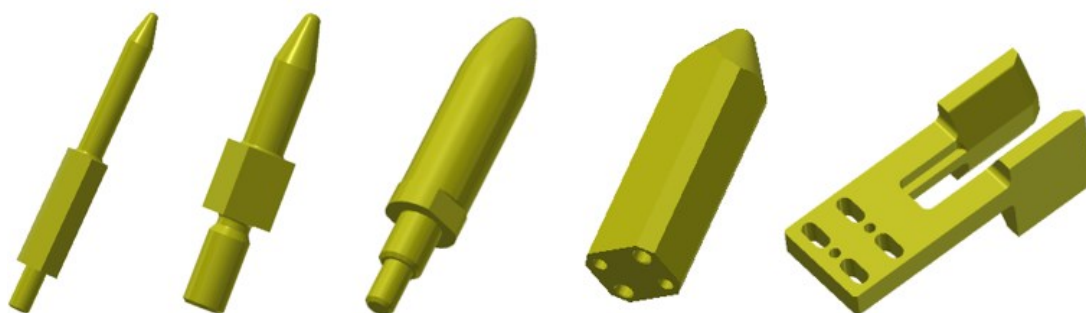
Obr. 41. Upínky od firmy JC Metal.

Dorazy jsou vyrobeny ze speciálního plastu PEEK, který je vhodný pro naše použití. Jedná se o semi-krytalický plast, který má výborné mechanické vlastnosti. Vyznačuje se vynikající otěruvzdorností, vysokou chemickou, hydrolytickou a radiační odolností a zdravotní nezávadností. Velice důležitou vlastností, díky které byl vybrán, je, že snáší vysoké provozní teploty 250 až 310 °C a je samozhášivý. Ukázka několika dorazových prvků je na Obr. 42



Obr. 42. Dorazové prvky.

Poslední společnou skupinou prvků jsou naváděcí trny a prizmy na Obr. 43. Díly vyráběny z oceli třídy 14, 15 a 19. Většina z nich je po obrobení kalena a následně broušena. Aby byly dodrženy přesné tolerance v rozmezí 0,1 – 0,005 mm, byla zvolena povrchová úprava černění. Díly byly vyráběny ve více variantách, než se odladil potřebný rozměr pro správné navedení dílu karoserie.

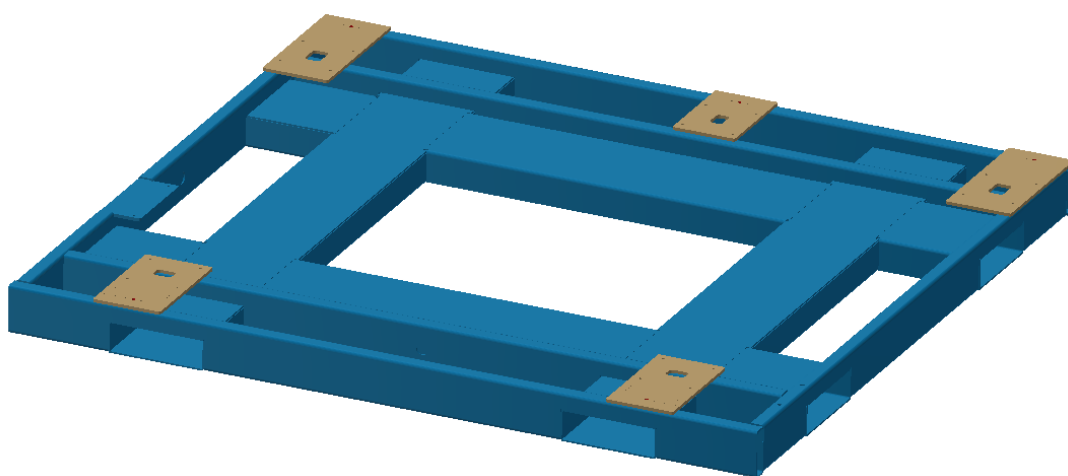


Obr. 43. Naváděcí prvky.

## 10.2 Podobné prvky

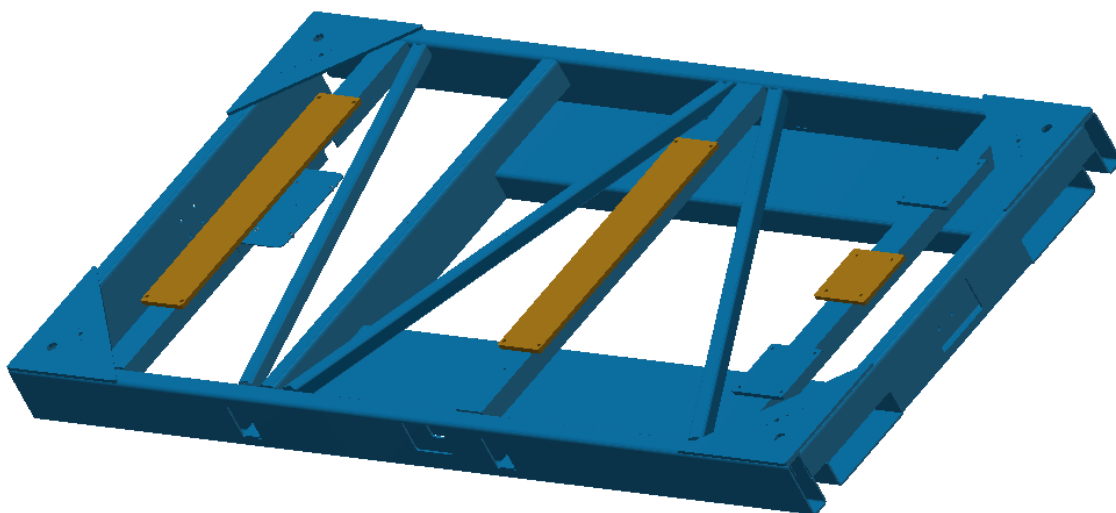
Ocelové svařené konstrukce si jsou velice podobné a ze stávajících rámu bylo čerpáno do konstrukce společného rámu.

Spodní základní rámy byly řešeny na stejném principu z jeklových profilů, doplněny o výztuhy a připojovací plochy z výpalků. Venkovní rozměr byl zachován dle základního rámu pro svaření zadní a čelní strany na *Obr. 44*. Změnily se ovšem polohy připojovacích rozměrů, které jsou na *Obr. 44*, *Obr. 45*, *Obr. 46* zvýrazněny oranžově. Jelikož musí mít nový rám větší nosnost a tuhost, byly přidány podélné výztuhy z jeklů.



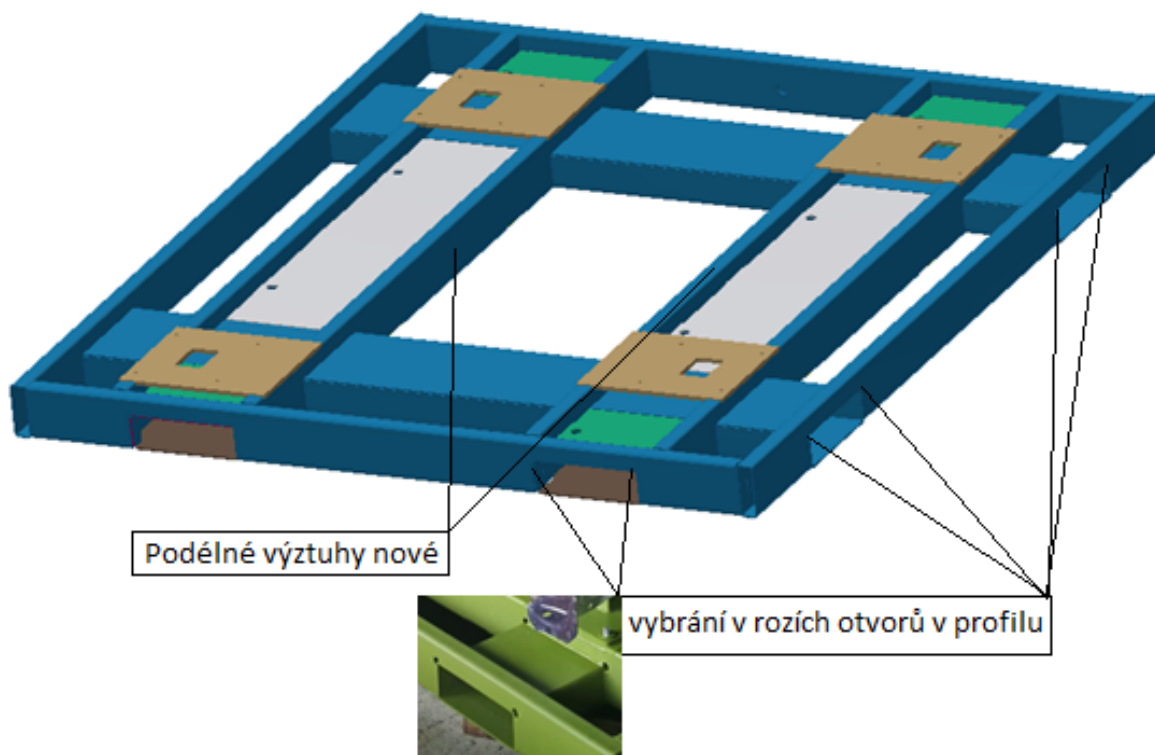
*Obr. 44. Základní rám sestavy Rám čelní a zadní.*

Princip základního rámu ze sestavy Rám bočnic se úplně změnil a tím pádem nebyl v novém rámu použit žádný z rozměrů. Z tohoto důvodu bychom mohli Rám bočnic zařadit také do prvků rozdílných v kapitole 10.3. Zde je jen pro ukázkou podobnosti.



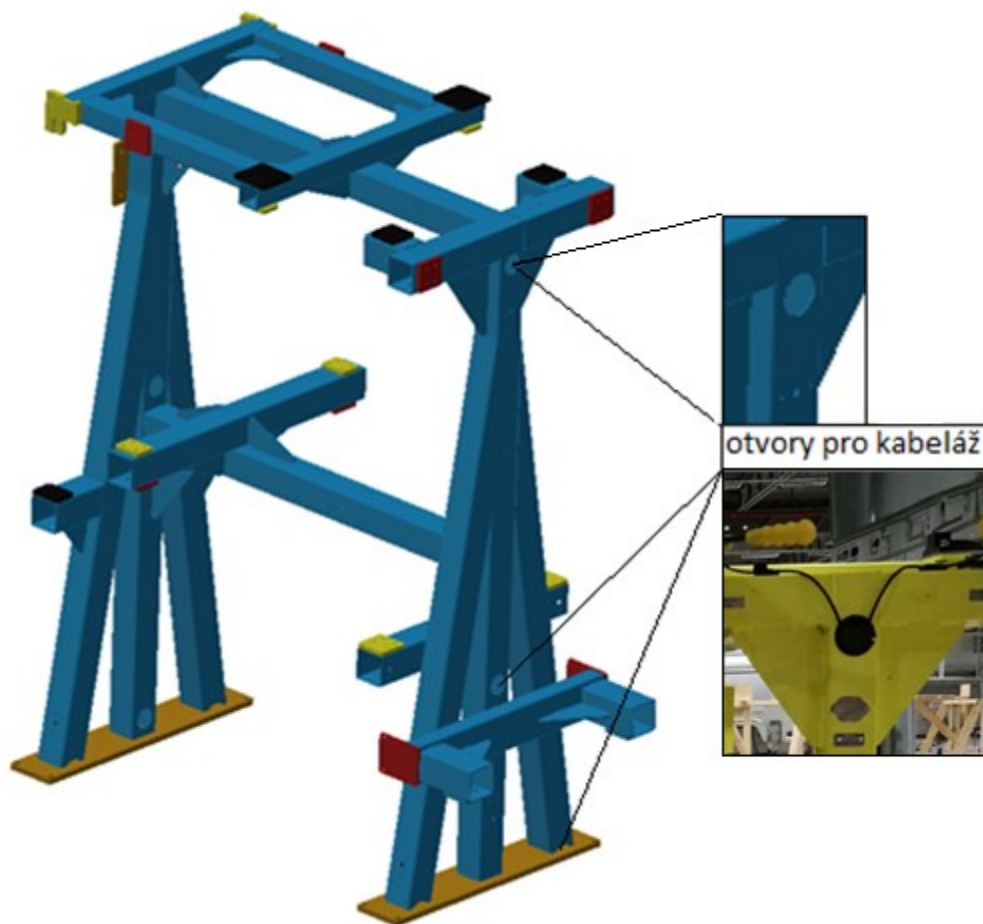
*Obr. 45. Základní rám sestavy Rám bočnic.*

U nového společného rámu byly plotny pro připojení horního rámu zvětšeny a vyrobeny ze silnějšího plechu, pro zvýšení pevnosti spoje. V minulosti a také u prototypu společného rámu byly v rozích otvorů profilů udělány vybrání, pro jednodušší složení profilů do sebe. To se ovšem nyní ukázalo jako velký problém. Při povrchové úpravě tryskáním se do dutin rámu dostalo abrazivo, které následně vypadávalo při lakování, montáži, ale největší problém byl, že vypadávalo také v plném provozu. Tím mohlo dojít k poškození či zničení např. válečků dopravníku, otočného stolu atd. Z tohoto důvodu byly rohové otvory zavařeny. A v konstrukci změněno pro příští výrobu bez vybrání.



Obr. 46. Základní rám sestavy Společného rámu.

Spodní i horní rámy jsou navrženy s otvory do profilu pro elektro kabeláž jak vidíme na Obr. 47, aby nemusely procházet z vnější strany. Tím se snížilo riziko poškození na minimum. Obsluha montáže dílů kapotáže nemusí zbytečně dávat pozor na kabeláž a tím se sníží i chybovost lidského faktoru a zvýší se produktivita. Tyto otvory musí být při tryskání zaslepeny, aby nedošlo ke vniknutí abraziva. Zaslepení se zajistí plastovými špunty případně pěnovými ústřížky v otvorech, které nemají pravidelný tvar.

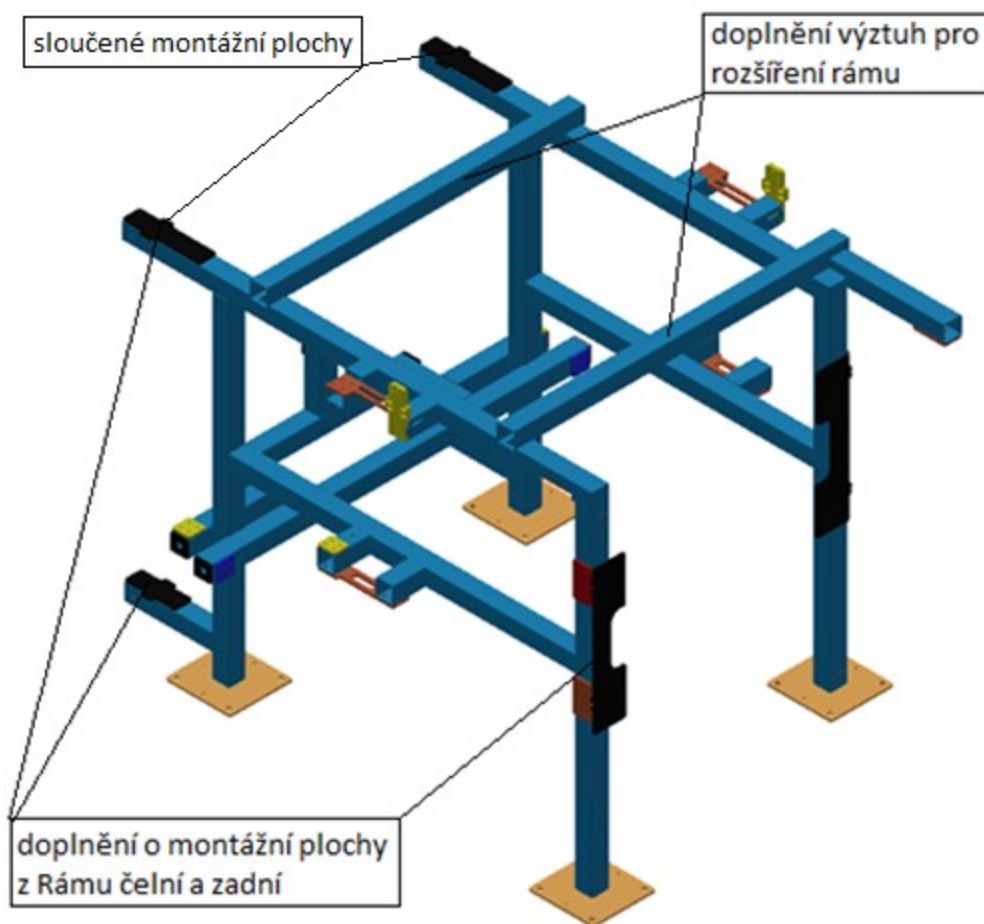


Obr. 47. Horní rám sestavy Rám bočnic.

Horní rám Rámu bočnic na Obr. 47 se rozšířil, přidaly se montážní plochy z Rámu čelní a zadní a vznikl Rám společný na Obr. 48. Na obou rámech jsou zvýrazněny plochy pro montáž dalších komponentů. Oranžově jsou přípojovací rozměry k základnímu rámu. Jak bylo již dříve zmíněno, zde jde vidět, že se velice změnilo. Předepsaných rozměrů v požadovaných tolerancích se dosahuje za pomoci svařovacího přípravku, na kterém se celý rám svařuje. Jedná se o jednoduchý profilový rám s obroběnými dosedacími plochami, na které se namontují plotny a na ně se následně navařuje rám.

Na žluté plochy se budou montovat naváděcí prvky, které dostanou díl kapotáže do správné polohy. Po dosednutí na dorazové prvky znázorněny černě se již jen zaklapnou upínací prvky, které jsou namontovány na červených plochách. Tím je díl kapotáže správně upnut a může pokračovat na svařovací linku.

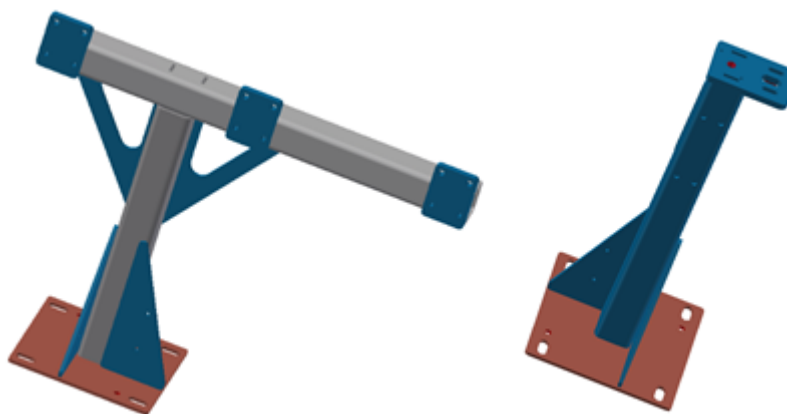
Pokud to bylo možné, tak se montážní plochy v určitých místech sloučily a vytvořila se větší montážní plochy. Tím se ušetřil materiál.



Obr. 48. Horní rám sestavy Společného rámu.

### 10.3 Rozdílné prvky

Některé komponenty stávajících rámuů postrádají svůj účel, prodražují a prodlužují výrobu nového rámu a zvětšují hmotnost. Těmito komponenty se myslí svařené konzoly z rámu čelní a zadní části karoserie. Na všech konzolách byly upevněny naváděcí a středící prvky. Ty jsou na novém rámu řešeny jiným způsobem. Proto konzoly na Obr. 49 byly zrušeny.



Obr. 49. Konzoly.



## 11 POSTUP VÝROBY

### Příprava polotovarů

První a nejdůležitější operací je dělení materiálu. Možností je v této technologii velmi mnoho, proto jsou vybrány pouze ty metody, které jsou ekonomicky nejpříznivější.

Laserový paprsek - laserové dělení materiálu je velmi přesnou metodu výroby s minimálním množstvím otřepů a vysokým stupněm opakovatelnosti přesných dílců. Drobnou nevýhodou je mírně tepelně ovlivněná hrana. Jsou vypáleny veškeré díly z plechu. Vypálení všech potřebných tvarů z plechu různých tloušťek. Pálení probíhá ve standardním režimu, jelikož se jedná o obyčejnou konstrukční ocel S235JR. Kvalita řezu je velmi vysoká a rozměry výpalku přesné

Profilový laserový paprsek – funguje na stejném principu jako laserový paprsek, s rozdílem, že pálený polotovar není pevně uchycen ke stolu, ale otáčí se kolem své osy za pomoci sklíčidla, ve kterém je uchycen. V našem případě se jedná o jeklové profily různých rozměrů.

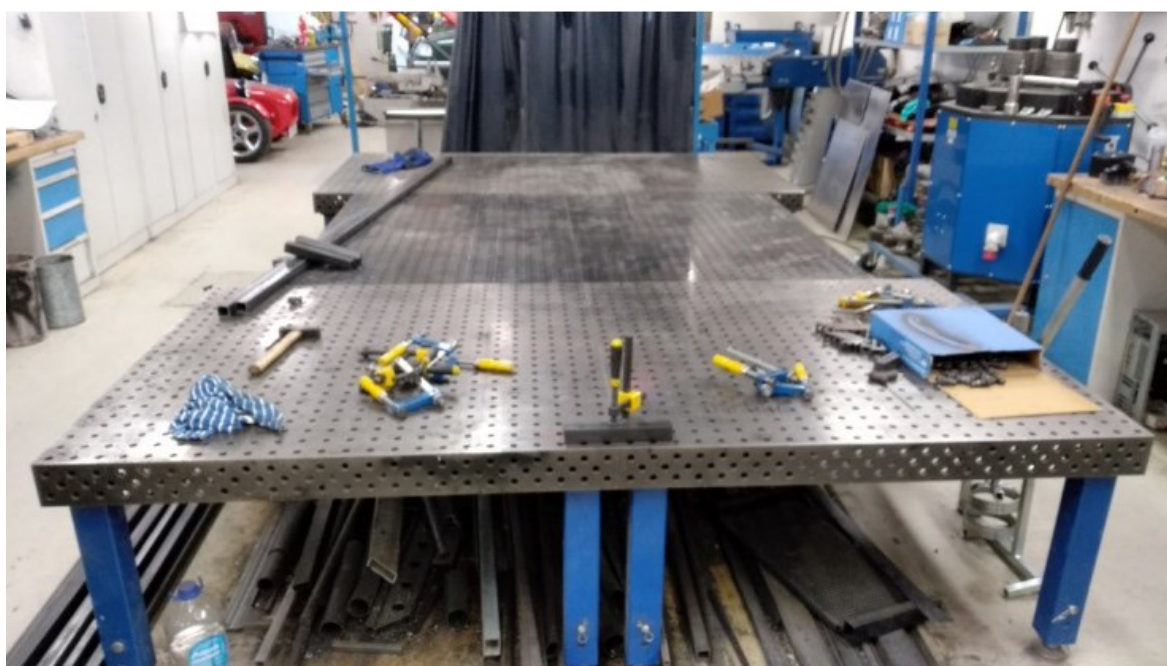
Ohraňovací lis - Ohýbání na ohraňovacím lisu je dnes ve firmách standardem a od ohýbání pomocí ručních ohýbaček se upouští. Je to z důvodů vyšší přesnosti, úspory času, přesnějšího a kvalitnějšího provedení ohybů. Po ohýbání na ohraňovacím lisu vznikne velmi přesný ohyb, který není deformovaný a materiál v místě ohybu není ztenčený. Metoda má vysokou produktivitu a snadnou obsluhu. Obsluha stroje je velmi jednoduchá díky intuitivnímu programování na dotykovém panelu. Nevýhodou je nutnost vlastnit příslušný nástroj pro ohýbanou tloušťku materiálu. V porovnání s ohýbáním na ohýbačce je metoda nepatrně dražší, ale časově mnohonásobně rychlejší. Plechové díly vypálené z laseru se ohnou pomocí razníku a matrice. Pro každou tloušťku je potřeba jiný razník a matrice s jiným poloměrem ohybu, a tedy určením pro jiné tloušťky materiálu. Při ohýbání jsou využity zadní automatické dorazy, které určují délku ohybu. Lis má automatické korekce, které dorovnávají nepřesnosti ohybu a vzniká velmi přesný ohyb. Ukázka ohybu na *Obr. 50*.



*Obr. 50. Vzhled ohybu po ohýbání na ohraňovacím lisu..*

## Svařování

Po dělení materiálu a jeho ohnutí následuje svaření. Základem pro kvalitní výrobu je mít dobře vyrobený nebo spíše ustavený podklad pro svařování, v našem případě jsme využili svařovacích stolů firmy Siegmund na Obr. 51 uložených do rovinné plochy. Kdy základ tvoří šest jednotlivých stolů, kvůli rozsáhlé ploše pro naši konstrukci rámu. Hlavní výhodou je použití široké škály přípravků na svařovacích stolech k přichycení konstrukce rámu, který je díky těmto přípravkům přikotven ke svařovacímu stolu. Můžeme využít různé dorazy pro ukotvení polohy. Různé úhelníky pro zajištění správného úhlu. Svěrky, čepy, podpěry či rychloupínací adaptéry.



*Obr. 51. Připravené svařovací stoly Siegmund.*

Ruční svařování probíhá v odsávaných kojích, ve kterých dělníci podle technické dokumentace svařují jednotlivé součásti k sobě za pomoci upínek a přípravků. Některé díly se musí předepínat z důvodu jejich deformace při svaření. Rám se nejprve nastahuje, zkontroluje se správnost uložení každého dílu a poté se svařuje dle požadavků ve výkresové dokumentaci. Po svaření se nechá rám chladnout a v mnoha případech se musí i rovnat. Ruční svařování probíhá metodou MIG.

## Povrchová úprava

Každá ocelová konstrukce, a to nejen svařovaná, podléhá nějakým nežádoucím účinkům, či okolním vlivům prostředí a je nutno se proti tomu bránit. Před samotnou aplikací jakékoli povrchové ochrany je nutno konstrukci dobře očistit mechanicky, tak i chemicky. V

našem případě jde hlavně o očištění všech svarových ploch od nežádoucích okují ze svařování.

Provedeme kartáčování všech svarových spojů ocelovým kartáčem, protože zátěžové (namáhané) svarové spoje se nesmí brousit, aby nedošlo ke zhoršení mechanických vlastností a k případnému lomu ve sváru, či poškození celé konstrukce. Maximálně můžeme provést přeleštění pohledových svarů z estetického hlediska. A to lamelovým kotoučem s minimální zrnitostí 100 - 120. Při leštění nedochází k velkému úběru materiálu, slouží pouze k odstranění velmi malých nerovností, kosmetických vad a dosáhneme tak velmi jemného povrchu.

Na připraveném povrchu po předchozím mechanickém čištění je nejlepší volbou pro naše účely aplikace rozpouštědla. Příkladem je technický líh. Tento druh rozpouštědla velice dobře odmašťuje povrch a zároveň také odstraňuje případné nečistoty od předchozí manipulace.

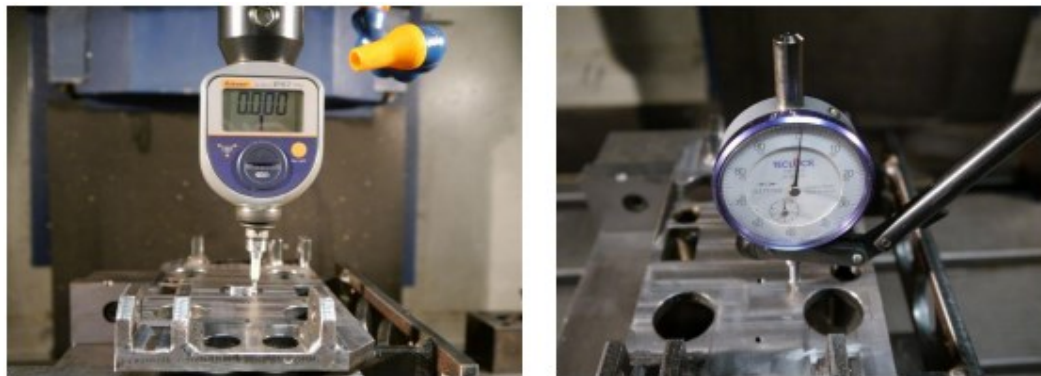
Jelikož se jedná o první prototyp rámu, tak při volbě ochranného nástřiku je nejvhodnější volba ve formě polyuretanového nástřiku. Jedná se o dvousložkovou polyuretanovou barvu. Polyuretanová barva má výborné antikorozi vlastnosti, je odolná proti teplu a namáhání. Vytvořením povrchové vrstvy bude naše konstrukce odolávat co nejlépe okolním vlivům prostředí.

### **Obrábění**

Dosažení tvaru a geometrie součástí se dosahuje třískovým obráběním – soustružením, frézováním a broušením.

Při obrábění dílů na obráběcím centru byl brán ohled především na ekonomickou stránku celého výrobního procesu. Z tohoto důvodu byly použity vrtáky z rychlořezné oceli. Pro frézování pak byly použity frézy ze slinutých karbidů.

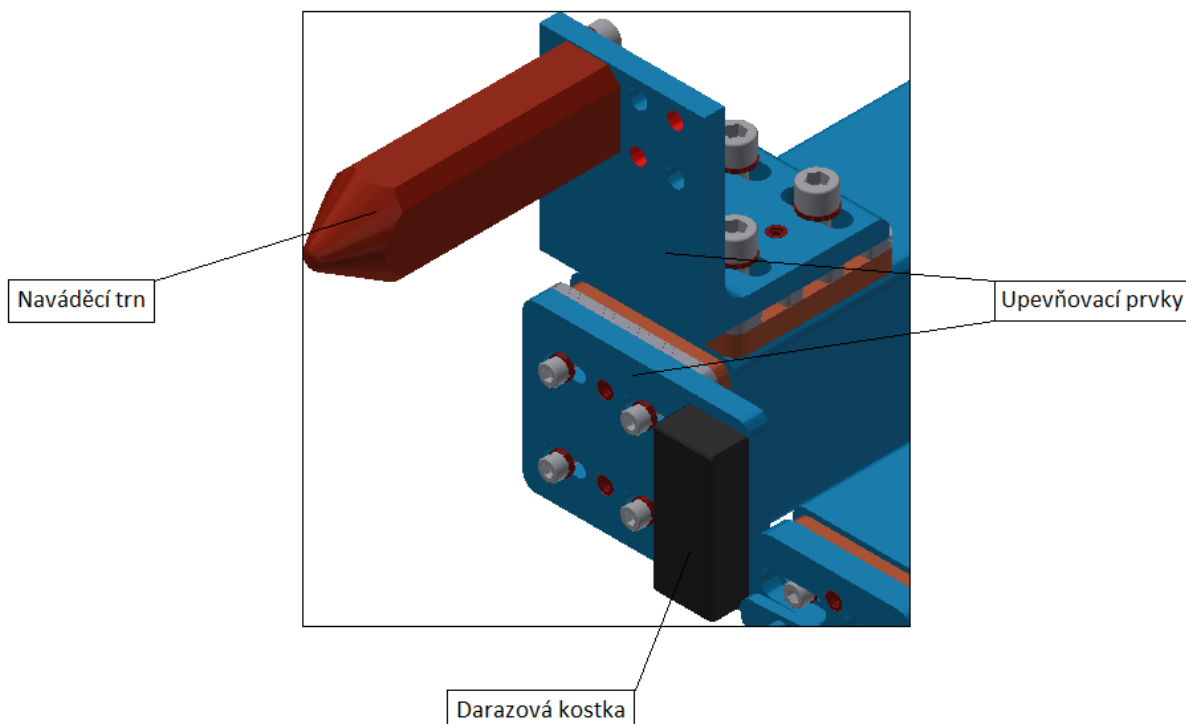
Důležitým prvkem v průběhu výroby je časté měření vyráběných dílů. Kromě standardních měřidel (posuvné měřítko, mikrometry, kalibry), bylo pro měření geometrických tolerancí na stroji VMC 760 použito dotykového 3D snímače a mechanického úchylkoměru, které vidíme na *Obr. 52*



Obr. 52. Ukázka dotykové sondy a mechanického úchylkoměru.

### Montáž

Montáž jednotlivých komponentů probíhá dle předem stanoveného postupu. Konstruktor se snažil rám s komponenty navrhnout tak, aby byl kterýkoliv díl kdykoliv vyměnitelný a přístupný. Nejprve se provede montáž upevňovacích prvků, na které se následně montují naváděcí, dorazové či upínací prvky. Všechny tyto díly jsou nastavitelné v osách x, y, z. Jednotlivé montážní díly vidíme na Obr. 53. Seřízení se provede dle ideálního modelového návrhu a následně se testuje přiložením požadované části karoserie a doladí se nedostatky. Aby nedocházelo k chybám ze strany dělníka, je celý rám a všechny jeho referenční body přeměřeny na 3D měření.



Obr. 53. Montážní díly.

## Kontrola OTK

V průběhu celé výroby jsou prováděny mezioperační kontroly. Po svařování je měřena rovinnost rámu a rozměry. Po provedení lakování je změřena kontrolně tloušťka práškového laku a díl je převezen na montáž. Na závěr před balením je opět měřena rozměrová přesnost, kontrola všech referenčních bodů za pomoci 3D měření, správnost namontovaných dílů a následně vystaven měřicí protokol, který vidíme na *Obr. 54* a kontrolní protokol s jednotlivými pořadovými čísly rámu, kde jsou uvedeny příslušné připojovací a upínací kontrolované rozměry a plochy, provedení svárů, čísla svářečů, tloušťka práškového laku z důvodů případné reklamace.

| Measuring protocol |              |                           |              |  |
|--------------------|--------------|---------------------------|--------------|--|
| Title:             | Welding skid | Standard                  | ISO 2768-mK  |  |
| Drawing No.:       | 09492773 2   | Stock                     | welded part  |  |
| Order              | ZV180063     | Quantity                  | 2            |  |
| CNC machine        | HSA 427      | Material                  |              |  |
| Created            |              | Name of main program      | 09492773 2-R |  |
| Date               |              | Drawing No. for measuring | 09492773 2   |  |
| Time               |              | Clamping position         |              |  |
| Approved           |              | Order of measured piece   |              |  |
| Date               |              |                           |              |  |

| Reference point table |                           |           |           |          |
|-----------------------|---------------------------|-----------|-----------|----------|
| Bod / Point           | Vztažný bod / Datum point | X         | Y         | Z        |
| RL0                   | Left side CSYS            | -2679,000 | 1005,000  | 2373,000 |
| RL1                   | RL0                       | -1802,368 | 705,577   | 2286,950 |
| RL2                   | RL0                       | -1632,431 | 667,753   | 2131,853 |
| RL3                   | RL0                       | -1982,577 | 705,574   | 1456,977 |
| RL4                   | RL0                       | -1542,588 | 932,742   | 755,275  |
| RL5                   | RL0                       | -2665,477 | 932,888   | 755,259  |
| RL6                   | RL0                       | -2575,588 | 667,753   | 2131,754 |
| RL7                   | RL0                       | -1582,440 | 955,120   | 1250,200 |
| RP0                   | Right side CSYS           | -2679,000 | -1005,000 | 2373,000 |
| RP1                   | RP0                       | -1802,379 | -705,570  | 2287,000 |
| RP2                   | RP0                       | -1632,340 | -667,898  | 2131,950 |
| RP3                   | RP0                       | -1982,435 | -705,478  | 1456,790 |
| RP4                   | RP0                       | -1542,353 | -932,877  | 755,398  |
| RP5                   | RP0                       | -2665,477 | -932,853  | 755,378  |
| RP6                   | RP0                       | -2575,353 | -667,890  | 2131,950 |
| RP7                   | RP0                       | -1582,577 | -954,790  | 1249,580 |
| RB1                   | RL0                       | -1384,765 | -1135,535 | 637,770  |
| RB2                   | RL0                       | -1384,753 | 1135,417  | 637,622  |
| RB3                   | RL0                       | -3575,210 | 1135,378  | 637,699  |
| RB4                   | RL0                       | -3575,230 | -1135,650 | 637,577  |
| RF1                   | RL0                       | -1502,377 | -665,602  | 2106,980 |
| RF2                   | RL0                       | -1502,602 | -665,578  | 806,977  |

.....  
podpis

*Obr. 54. Měřicí protokol z 3D měření.*

Volba technologií byla provedena nejen s ohledem na ekonomické a technické hledisko, ale také s ohledem na dostupné možnosti firmy. Vybrané technologie poskytují na dnešní dobu nejvyšší kvalitu provedení a vysokou míru úspor oproti dříve používaným technologiím (stříhání plechu, dělení plazmou, ohýbání ohýbačkou).

Na *Obr. 55* vidíme posloupnost výroby od vypálení prvního dílu na laseru, přes obrábění dílů na CNC centru až po konečnou montáž a kontrolu OTK.



*Obr. 55. Posloupnost výroby rámu.*

## 12 PRAKTICKÉ VYUŽITÍ RÁMU

### Montáž komponentů na rám

Ještě před upnutím musí být díl v přípravku správně ustaven. Uloží se na jeho základní plochu (plochy) a opře se o opěrné plochy. Správně ustavený výrobek v přípravku je stabilní v poloze, která odpovídá orientaci potřebné pro svaření.

Jednoznačné ustavení dílů v přípravku zajišťují opěrné prvky. Jejich volba tj. tvar, rozměry a funkce se řídí především: charakterem ustavovacích a opěrných ploch na součásti, jejich jakostí, požadovanou přesností a tuhostí dílu a druhem přípravku. Hlavní požadavek na opěrky je jejich trvalá přesnost, které se dosáhne tím, že jejich pracovní plochy jsou tvrdé a broušené.

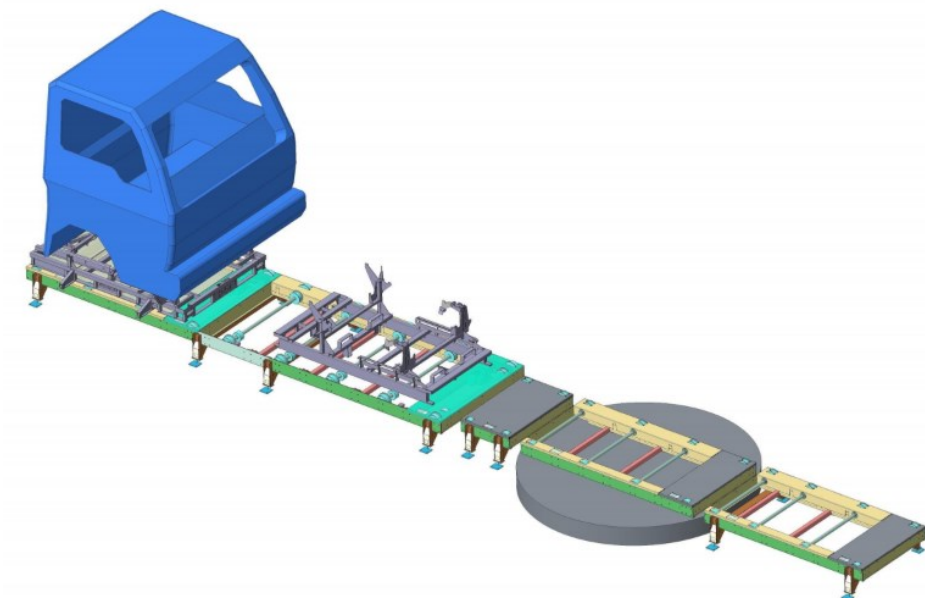
Jde především o opěrné čepy, jejichž činná plocha je buď rovinná pro ustavení na obrobekovou plochu, anebo kulovitá pro ustavení neobrobenej plochy. Do tělesa přípravku se buď lisují, nebo šroubují. Jejich pracovní plochy se kalí na tvrdost 58 až 62 HRC, aby jejich odolnost proti opotřebení byla co největší. Měly by být pokud možno co nejmenších rozměrů, aby na ně obrobek dokonale dosedl a daly se udržovat v čistotě. Jejich vzdálenost mezi sebou by měla být co největší z důvodu dokonalé stability upnuté součásti.

Prizmatické opěry určují polohu jak výškově, tak i stranově. Prizmatické opěry se k tělesu přípravku připevní šrouby. Úhel rozevření opěrných ploch  $\alpha$  bývá 60 až 120°, nejčastěji 90°.

Součásti ustavené v žádané poloze opěrnými prvky je nutno zajistit upínacími prvky proti působení sil. Upínací síly musí být dostatečně velké, aby se díl během prováděných operací neuvolnil, popř. nedeformoval. Způsob upínání, upínací zařízení a upínací prvky je třeba volit tak, aby čas potřebný k upnutí byl co nejkratší.

Pomocí pákových a kloubových mechanismů lze získat velké upínací síly, měnit jejich směr a rozkládat jejich působení na více míst dílu. Výrobně a funkčně jednoduché.

Vhodnou úpravou rozměrových poměrů na pákovém mechanismu se dá dosáhnout samosvornosti při přijatelném zdvihu.



*Obr. 56. Model svařovací linky.*

### **Průběh svařovací linkou**

Rám s kabinou je na počátku procesu naložen vysokozdvižným vozíkem na vstupní dopravník dle *Obr. 56* a přesune se do kontrolní stanice, kde je zkontrolována velikost kabiny. Je vyráběno 57 variant, rozdíly jsou ve výšce střechy (3 typy) a výšce a tvaru dveří (19 typů L/P). Následuje přesun do svařovacího boxu. Robot otevře dveře kabiny. Dveře jsou fixovány v otevřené poloze a provádí se svařování. Po procesu svaření robot zavře dveře a kabina se na otočném stole otočí o 180° a proces svařování se opakuje. Musí se provést kontrola správnosti svaření a i tato operace je automatizována, kde kontrolu provádí kamerový systém, která je schopna vyhodnotit správnost svaření. Detail správně zavařeného sváru vidíme na *Obr. 57*. Následuje zvedací stanice, kde je vyměněn svařovací rám kabiny za lakovací rám. Z výstupního dopravníku je rám s kabinou sundán vysokozdvižným vozíkem.



*Obr. 57. Ukázka sváru.*



## 13 POROVNÁNÍ MODIFIKACE RÁMŮ Z EKONOMICKÉHO HLEDISKA

Konstrukcí společného rámu bylo docíleno větší flexibility výroby, snížení operačních časů při výrobě, zmenšení prostoru pro odkládání rámu, zvýšení produktivity práce a především zvýšení zisku na kabině nákladního auta.

Uvedenou změnou rámu se ušetřilo 183kg materiálu, celková doba procesu instalace/deinstalace, návozu/vývozu a svařování kabiny se snížila o 19 minut, což vidíme v *Tabulka 14*.

*Tabulka 14. Ekonomické vyhodnocení modifikace rámu.*

|   | <b>Rám bočnic</b>        | <b>Rám čelní a zadní</b> | <b>Společný rám</b>   | <b>Ušetřeno</b>      |
|---|--------------------------|--------------------------|-----------------------|----------------------|
| <b>Cena za výrobu</b>                               | 276 460 Kč               | 186 500 Kč               | 337 700 Kč            | 125 260 Kč           |
| <b>Doba instalace komponentů na rám/cena</b>        | 33 minut<br>194,70 Kč    | 20 minut<br>118 Kč       | 45 minut<br>265,50 Kč | 8 minut<br>47,20 Kč  |
| <b>Doba deinstalace kabiny kamionu z rámu/cena</b>  | 10 minut<br>59 Kč        | 8 minut<br>47,20 Kč      | 15 minut<br>88,50 Kč  | 3 minuty<br>17,70 Kč |
| <b>Doba návozu (vývozu) ze svařovací linky/cena</b> | 3 + 3 minuty<br>35,40 Kč | 3 + 3 minuty<br>35,40 Kč | 5 + 5 minut<br>59 Kč  | 2 minuty<br>11,80 Kč |
| <b>Doba svařovacího procesu na lince/cena</b>       | 37 minut<br>1 727,90 Kč  | 29 minut<br>1 354,30 Kč  | 60 minut<br>2 802 Kč  | 6 minut<br>280,20 Kč |

Pro získání celkově ušetřené částky bylo počítáno s minutovými sazbami dle *Tabulka 15*.

Je zde zahrnuta minutová sazba na dělníka montáže a dělníka vysokozdvížného vozíku.

Mnohem důležitější sazbou je ovšem cena za průjezd svařovací linkou. Ceny jsou přepočítány dle kurzu 27,31 Kč za 1 euro z ČNB 04/2020.

Tabulka 15. Minutová sazba operací.

| Paušál stanovený na 1 minutu operace |              |
|--------------------------------------|--------------|
| <b>Instalace (deinstalace)</b>       | 5,90 Kč/min  |
| <b>Převozy</b>                       | 5,90 Kč/min  |
| <b>Svařování na lince</b>            | 46,70 Kč/min |

Celkově ušetřený čas při svařování na novém typu rámu je 19 minut. Z tohoto pohledu není ušetřený čas příliš velký, ale tvoří 15 % celkového počtu minut při procesu svařování kabiny. Pokud vezmeme v potaz množství vyráběných kabin za rok, tak se dostaneme na ušetřenou částku 569 612,40 Kč/rok. Prvotní požadavek koncového zákazníka byl ušetřit 15 000 Euro (cca 410 000 Kč) za rok při provozu linky. Zákazník ovšem netušil, že mnohem více peněz se ušetří za výrobu rámu. Souhrn ušetřených peněz vidíme v *Tabulka 16*.

Tabulka 16. Výsledek ušetřených peněz.

|                                | Počet    | Ušetřeno za ks | Ušetřeno celkem        |
|--------------------------------|----------|----------------|------------------------|
| <b>Rámů (přípravků) za rok</b> | 15 ks    | 125 260 Kč     | 1 878 900 Kč           |
| <b>Kabin za rok</b>            | 1 596 ks | 356,90 Kč      | 569 612,40 Kč          |
|                                |          |                | <b>2 448 512,40 Kč</b> |

## ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout a zkonstruovat sestavu svařovaného a zároveň montovaného rámu jako přípravek pro svařování kabiny kamionu. A dále sestavit výrobní postup pro tento rám. Důležitým kritériem bylo ekonomické hledisko ušetřených peněz díky modifikaci rámu.

Teoretická část práce pojednávala o teorii konstruování a následně o jednotlivých technologiích výroby. První kapitola pojednává o přístupu ke konstruování a metodiku optimalizace. Ve druhé kapitole je vysvětleno jak postupovat před samotnou výrobou a na co vše se zaměřit. Zbylé kapitoly teoretické části se zabývají technologiemi výroby pro dosažení konečného výrobku.

Praktická část této práce se zaměřovala nejprve na rozbor již používaných rámu, přes nastínění konstruování společného rámu až po úkony spojené s výrobou prototypového rámu. Rám byl vyroben na základě výkresové dokumentace.

Při výrobě celé konstrukce bylo třeba dbát s maximální přesností stanovených rozměrů dle výkresové dokumentace, neboť sebemenší odchylka na jedné straně této prostorové konstrukce svařence nám může vytvořit velkou nepřesnost na druhém konci. Svařenec bylo nutné neustále kontrolovat na přesnost rozměrů, jelikož po zavaření, tedy vnesení tepla a následném chladnutí byla deformována pnutím. I přes řadu problémů s výrobou bylo dosaženo stanoveného cíle – tedy technologicky zvládnout výrobu svařovacího rámu kabiny kamionu.

Při výrobě svařovaného rámu se pohybujeme s přesností výroby v řádech  $\pm 1$  mm v ideálním případě. Proto bylo potřeba po ukončení výroby rámu, jej nechat přeměřit na 3D měření. Hodnoty z tohoto měření byly vyhovující a rám se tedy mohl začít testovat v provozu.

Závěrem práce byl zhodnocen ekonomický přínos modifikace rámu, který vyšel nad očekávání zadavatele. Požadavek byl stanoven ve výši 15 000 Euro/rok (cca 410 000 Kč). Vzniklá úspora činí 356,90 Kč při procesu svařování jedné kabiny. Když tuto částku vynásobíme počtem kabin za rok (1 596 ks), tak se dostaneme na částku 569 612,40 Kč. Mnohem větším překvapením ovšem byla ušetřená částka za výrobu modifikovaného rámu oproti předchozím dvěma ráům. Rozdíl činil 125 260 Kč/ ks. Tyto rámy se vyrábí v počtu 15 ks za rok a ušetří se 1 878 900 Kč. Sečtením částek se dostaneme na konečných 2 448 512,40 Kč.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] SVOBODA, Pavel, BRANDEJS, Jan, DVOŘÁČEK, Jiří, PROKEŠ, František. *Základy konstruování.*, 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-7204-633-1.
- [2] MÁLIK, Ladislav a další. *Konstruovanie II.*, 1. vyd. Žilina: Žilinská Univerzita v Žilině, 2009. ISBN 978-80-8070-971-6.
- [3] TREBUŇA, František, ŠIMČÁK, František. *Odolnosť prvkov mechanických sústav.*, Košice: Technická Univerzita v Košicích, Strojnícká fakulta, 2004. ISBN 80-8073-148-9.
- [4] ZHANG, Weihong, ZHU, Jihong, GAO, Tong. *Topology optimization in engineering structure design.* Oxford, UK: Elsevier, 2016. ISBN 978-0-08-102119-4.
- [5] YUNKANG, Sui, XIRONG, Peng. *Modeling, Solving and Application for Topology Optimization of Continuum Structures: ICM Method Based on Step Function.* Místo neznámé: Butterworth-Heinemann, 2018. ISBN 978-0-12-812655-4.
- [6] HLUCHÝ, Miroslav. *Strojírenská technologie 2: Koroze, základy obrábění, výrobní postupy.*, 2. upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3245-6.
- [7] KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění.* 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [8] Členění výrobního postupu [online]. Elektronická učebnice ELUC, [cit. 5.11.2019]. Dostupné z: <http://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1342>.
- [9] BEDNÁŘ, Bohumír. *Technologičnost konstrukce I.* Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03268-X.
- [10] Kovové a nekovové konstrukce [online]. Stavba a provoz strojů, [cit. 16.11.2019]. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/texty/texty/SPS/sps\\_2\\_kovove\\_a\\_nekovove\\_konstrukce-UT.pdf](https://www.spszengrova.cz/texty/texty/SPS/sps_2_kovove_a_nekovove_konstrukce-UT.pdf).
- [11] Dillinger, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi.* Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [12] BÍLEK, Ondřej, LUKOVICS, Imrich. *Výrobní inženýrství a technologie.* Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati, 2014. ISBN 978-80-7454-471-2.
- [13] Základní metody svařování [online]. [cit. 17.11.2019]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/zakladni-metody-svarovani/t-87>.

- [14] AMBROŽ, Oldřich, KANDUS, Bohumil, KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování a zařízení*. Recenzent Václav Minařík. 1. vyd. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, ZEROSS-svářečské nakladatelství, 2001. ISBN 80-85771-81-0.
- [15] KOVAŘÍK, Rudolf, ČERNÝ, František. *Technologie svařování*. 2. vyd. Plzeň: ZČU, 2000. ISBN 80-7082-697-5.
- [16] SOCHOR, Václav. *Lasery a koherentní svazky*. 1. vyd. Praha: Academia, 1990. ISBN 80-200-354-1.
- [17] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Viena, 2000. ISBN 80-7099-430-4.
- [18] Stimulated emission. Wikipedia [online]. 2008, last modified 31st March 2011 [cit. 24.11.2019]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Stimulated\\_emission](http://en.wikipedia.org/wiki/Stimulated_emission).
- [19] MORÁVEK, Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Fakulta technologie obrábění, 1999. ISBN 80-7082-518-9.
- [20] LAPŠANSKÁ, Hana. *Laserové technologie v praxi*. 1. vyd. Olomouc: Moravská vysoká škola Olomouc, 2010. ISBN 978-80-87240-65-6.
- [21] GELETA, Vojtech. *Progresívne technológie obrábania*. Bratislava: Nakladateľství STU, 2013. ISBN 978-80-227-3997-9.
- [22] BARCAL, Jaroslav. *Nekonvenční metody obrábění*. Praha: ČVUT v Praze, Fakulta strojní, 1989. Číslo publikace: 6523.
- [23] BENKO, Bernard. *Laserové technológie*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľství STU, 2000. ISBN 80-227-1425-9.
- [24] TURŇA, Milan; KOVAČÓCY, Pavel. *Zváranie laserovým lúčom*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľství STU, 2003. ISBN 80-227-1921-8.
- [25] TURŇA, Milan. *Speciálne metódy zvárania*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1989. ISBN 80-05-00097-9.
- [26] KOČMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3068-0.
- [27] HLUCHÝ, Miroslav a kol. *Strojírenská technologie 2: Polotovary a jejich technologičnost*. Praha: SNTL, 1979. ISBN 04-221-79.
- [28] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: tváření plošné a objemové*. 5. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERN, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

- [29] FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [30] DVOŘÁK, Milan a kol. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4.
- [31] Laser processing. Technical information [online]. Ditzingen: TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH+Co. KG, 2007-02 [cit. 24.11.2019]. Dostupné z: <http://www.trumpf.com>.
- [32] Sicurezza Laser Conoscenza. LaserTo [online]. 2006 [cit. 24.11.2019]. Dostupné z: <http://it.laserto.com/laser-safety-knowledge/>.
- [33] Laser processing. Technical information [online]. Ditzingen: TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH+Co. KG, 2007-02 [cit. 29.11.2019]. Dostupné z: <http://www.trumpf.com>.
- [34] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-823-4.
- [35] HUMÁR, Anton. *Technologie I, Technologie obrábění – 1. část*. [online]. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie obrábění [online], 2003, [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [36] HOFFMANN Group. *Mono-obrábění* [online], 2017, [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://www.hoffmann-group.com/CZ/cs/hot/Mono-obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/c/991#>
- [37] VESELÝ, Bedřich. *Technická praktika strojní obrábění kovů*. 1. vyd. České Budějovice: Pedagogická fakulta JU České Budějovice, 1994. ISBN 80-7040-116-8.
- [38] Poltech. *Materiálové normy* [online], [cit. 22.4.2020]. Dostupné z: <http://www.poltech.cz/poltech/10-Normy-CSN-DIN-ISO/15-Vlastnosti-oceli-10-19>

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

|      |   |
|------|---|
| %    | Procento  |
| °    | Stupeň  |
| °C   | Stupeň celsia   |
| CNC  | Computer Numerical Control – počítačem řízený obráběcí stroj  |
| ČSN  | Česká státní norma  |
| EN   | Evropská norma  |
| HRC  | Zkouška tvrdosti podle Rockwella  |
| ISO  | International Organization for Standardization – mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem |
| Kč   | Korun českých   |
| kg   | Kilogram  |
| L    | Levý  |
| MAG  | Svařování kovů v ochranné atmosféře aktivního plynu   |
| Max. | Maximálně   |
| MPa  | Mega Pascal   |
| mm   | Milimetr  |
| MIG  | Svařování kovů v ochranné atmosféře inertního plynu   |
| OTK  | Odbor technické kontroly  |
| P    | Pravý   |
| PEEK | Polyetereterketon   |
| PNKD | Polykrystalický kubický nitrid bóru   |
| PKD  | Polykrystalický diamant   |
| TIG  | Tungsten Inert Gas – svařování wolframovou elektrodou v atmosféře inertního plynu                   |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|   |    |
|---|----|
| <i>Obr. 1. Příklad členění technologického postupu. [8]</i> .....                                       | 16 |
| <i>Obr. 2. Příhradová konstrukce. [10]</i> .....  | 19 |
| <i>Obr. 3. Plnostěnná konstrukce. [10]</i> .....  | 20 |
| <i>Obr. 4. Skořepinová konstrukce. [10]</i> .....   | 20 |
| <i>Obr. 5. Přehled a rozdělení svařování. [9]</i> .....   | 22 |
| <i>Obr. 6. Číselné označení svařovacích metod. [13]</i> .....   | 23 |
| <i>Obr. 7. Stimulovaná emise v energetických hladinách. [18]</i> .....                                  | 26 |
| <i>Obr. 8. Princip laserového řezání. [31]</i> .....  | 26 |
| <i>Obr. 9. 2D řezání profilu. [32]</i> .....  | 28 |
| <i>Obr. 10. 3D řezání profilu. [32]</i> .....   | 29 |
| <i>Obr. 11. Velikost napětí v krajních vláknech ohýbaného materiálu. [27]</i> .....                     | 30 |
| <i>Obr. 12. Diagram koeficientu odpružení. [29]</i> .....   | 31 |
| <i>Obr. 13. Odpružení při ohybu <math>V</math> a <math>U</math>. [30]</i> .....                         | 32 |
| <i>Obr. 14. Metody k odstranění odpružení. [29]</i> .....   | 32 |
| <i>Obr. 15. Porušení materiálu při ohýbání. [30]</i> .....  | 33 |
| <i>Obr. 16. Zvlnění profilu během ohýbání. [30]</i> .....   | 33 |
| <i>Obr. 17. Čelní frézování. [7]</i> .....  | 35 |
| <i>Obr. 18. Válcové frézování. [7]</i> .....  | 35 |
| <i>Obr. 19. Sousledné frézování. [7]</i> .....  | 36 |
| <i>Obr. 20. Nesousledné frézování. [7]</i> .....  | 36 |
| <i>Obr. 21. Fréza válcová (a), čelní (b), válcová čelní (c). [36]</i> .....                             | 37 |
| <i>Obr. 22. Fréza s frézovanými zuby (a), s podsoustruženými (b). [36]</i> .....                        | 38 |
| <i>Obr. 23. Fréza pravořezná (a), levořezná (b). [36]</i> .....   | 38 |
| <i>Obr. 24. Fréza jemnozubá (a), polohrubozubá (b), hrubozubá (c). [36]</i> .....                       | 39 |
| <i>Obr. 25. Základní práce na soustruhu. [7]</i> .....  | 39 |
| <i>Obr. 26. Čelní soustružení. [37]</i> .....   | 40 |
| <i>Obr. 27. Podélné soustružení. [37]</i> .....   | 40 |
| <i>Obr. 28. Schéma rozdělení soustruhů.. [35]</i> .....   | 41 |
| <i>Obr. 29. Tvarový soustružnický nůž prizmatický (a), kotoučový (b), tangenciální (c). [35]</i> .....  | 42 |
| <i>Obr. 30. Rozdělení nožů. [35]</i> .....  | 42 |
| <i>Obr. 31. Tvar nože s rovinným čelem (a), s fazetkou (b), s fazetkou a se žlábkem (c). [35]</i> ..... | 43 |



|   |    |
|---|----|
| <i>Obr. 32. Břítové destičky. [36]</i> .....                            | 43 |
| <i>Obr. 33. Fotografie rámu bočnic.</i> .....                           | 46 |
| <i>Obr. 34. Model rámu bočnic.</i> .....                                | 48 |
| <i>Obr. 35. Model rámu čelní a zadní.</i> .....                         | 49 |
| <i>Obr. 36. Vytvoření zkosení.</i> .....                                | 53 |
| <i>Obr. 37. Vytvoření sváru.</i> .....                                  | 54 |
| <i>Obr. 38. Fotografie prototypu společného rámu.</i> .....             | 56 |
| <i>Obr. 39. Model společného rámu s detaily uzlů.</i> .....             | 58 |
| <i>Obr. 40. Upevňovací prvky.</i> .....                                 | 59 |
| <i>Obr. 41. Upínky od firmy JC Metal.</i> .....                         | 60 |
| <i>Obr. 42. Dorazové prvky.</i> .....                                   | 60 |
| <i>Obr. 43. Naváděcí prvky.</i> .....                                   | 60 |
| <i>Obr. 44. Základní rám sestavy Rám čelní a zadní.</i> .....           | 61 |
| <i>Obr. 45. Základní rám sestavy Rám bočnic.</i> .....                  | 61 |
| <i>Obr. 46. Základní rám sestavy Společného rámu.</i> .....             | 62 |
| <i>Obr. 47. Horní rám sestavy Rám bočnic.</i> .....                     | 63 |
| <i>Obr. 48. Horní rám sestavy Společného rámu.</i> .....                | 64 |
| <i>Obr. 49. Konzoly.</i> .....  | 64 |
| <i>Obr. 50. Vzhled ohybu po ohýbání na ohraňovacím lisu.</i> .....      | 65 |
| <i>Obr. 51. Připravené svařovací stoly Siegmund.</i> .....              | 66 |
| <i>Obr. 52. Ukázka dotakové sondy a mechanického úchylkoměru.</i> ..... | 68 |
| <i>Obr. 53. Montážní díly.</i> .....                                    | 68 |
| <i>Obr. 54. Měřicí protokol z 3D měření.</i> .....                      | 69 |
| <i>Obr. 55. Posloupnost výroby rámu.</i> .....                          | 70 |
| <i>Obr. 56. Model svařovací linky.</i> .....                            | 72 |
| <i>Obr. 57. Ukázka sváru.</i> .....                                     | 72 |

**SEZNAM TABULEK**

|   |           |
|---|-----------|
| <i>Tabulka 1. Parametry rámu bočnic. ....</i>                   | <i>47</i> |
| <i>Tabulka 2. Parametry rámu čelní a zadní. ....</i>            | <i>49</i> |
| <i>Tabulka 3. Chemické složení oceli S235JR. ....</i>           | <i>50</i> |
| <i>Tabulka 4. Mechanické vlastnosti oceli S235JR. ....</i>      | <i>50</i> |
| <i>Tabulka 5. Chemické složení oceli S355. ....</i>             | <i>51</i> |
| <i>Tabulka 6. Mechanické vlastnosti oceli S235JR. ....</i>      | <i>51</i> |
| <i>Tabulka 7. Chemické složení oceli 14 220. ....</i>           | <i>51</i> |
| <i>Tabulka 8. Mechanické vlastnosti oceli 14 220. ....</i>      | <i>51</i> |
| <i>Tabulka 9. Chemické složení oceli 15 142. ....</i>           | <i>52</i> |
| <i>Tabulka 10. Mechanické vlastnosti oceli 15 142. ....</i>     | <i>52</i> |
| <i>Tabulka 11. Chemické složení oceli 19 312. ....</i>          | <i>52</i> |
| <i>Tabulka 12. Mechanické vlastnosti oceli 19 312. ....</i>     | <i>53</i> |
| <i>Tabulka 13. Parametry společného rámu. ....</i>              | <i>57</i> |
| <i>Tabulka 14. Ekonomické vyhodnocení modifikace rámu. ....</i> | <i>73</i> |
| <i>Tabulka 15. Minutová sazba operací. ....</i>                 | <i>74</i> |
| <i>Tabulka 16. Výsledek ušetřených peněz. ....</i>              | <i>74</i> |