



# Ústav strojírenské technologie

**Optimalizace ocelového svařovaného rámu  
kapoty hutního válce ARS**

**Optimization of steel welded bonned ARS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2019**

**Jiří JAKUBSKÝ**

**Studijní program:** Výroba a ekonomika ve strojírenství

**Studijní obor:** Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Jakubský** Jméno: **Jiří** Osobní číslo: **467323**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Optimalizace ocelového svařovaného rámu kapoty hutnicího válce ARS**

Název bakalářské práce anglicky:

**Optimization of steel welded frame bonnet ARS**

Pokyny pro vypracování:

- Popis ocelových svařovaných konstrukcí a problematiky výroby ve firmě Ammann Czech Republic a.s.
- Rozbor výrobních technologií pro svařované konstrukce: tepelné dělení, svařování apod.
- Návrh experimentu – optimalizace ocelového svařovaného rámu
- Vyhodnocení a porovnání výsledků, základní ekonomické vyhodnocení
- Závěr

Seznam doporučené literatury:

- [1] Interní dokumentace dílců firmy Ammann a firemní archiv materiálů
- [2] Bednář, B. a kolektiv: Technologičnost konstrukce, ČVUT, FS, Praha, 2005
- [3] Okerblom, N.O. Konstrukčně-technologické projektování svařovaných konstrukcí, SNTL, Praha, 1971
- [4] Musil, M. a kolektiv. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, DOM-ZO 13, s.r.o., 2017
- [5] Kolařík, L. a kolektiv. Konstrukce a navrhování svarových spojů, ČVUT v Praze, Praha, 2017

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**

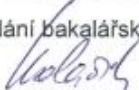
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

**Ing. Michal Hůlka, Ammann Czech Republic, a.s.**

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.08.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **31.12.2019**

  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce


  
doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

2.5.2019  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## Anotace

JAKUBSKÝ Jiří: Optimalizace ocelového svařovaného rámu kapoty hutnického válce  
ARS

Cílem této práce je navrhnout optimalizaci konstrukčního řešení rámu kapoty s ohledem na výrobní technologie firmy Ammann. Důraz je kladen především na snížení nákladů. Snažíme se tedy určit dílce, které by mohly být optimalizovány a nalézt jejich nejlevnější konstrukční řešení.

V teoretické části jsme vypracovali rešerši ohledně zásad při návrhu svařovaných konstrukcí a výrobních technologií, které jsou nezbytně nutné k výrobě rámu a firma jimi disponuje. To se týká metody tavného svařování, tepelného dělení materiálu a technologie plošného tváření za studena.

V praktické části se zabýváme určením dílců k optimalizaci a jejím návrhem, posléze si jednotlivé návrhy rozebereme a závěrem posoudíme, který z návrhů vychází z ekonomického hlediska nejlépe.

## Klíčová slova

Rám kapoty, optimalizace, svařované konstrukce, tavné svařování, tepelné dělení materiálu

## Annotation

JAKUBSKÝ Jiří: Optimization of steel welded bonned ARS

The aim of this bachelor thesis is to suggest optimization of construction solutions of the bonnet frame with respect to production technology of the Ammann company. Emphasis is mainly concentrated to cost reduction. We try to choose parts, that could be optimized and find their the cheapest solution.

In the theoretical part we make searches about principles of designing welding constructions and production technologies that are necessary to produce frame and the company disposes with them. It concerns the method of fusion welding, heat cutting of material and technology of cold forming.

In the practical part we deal with choose parts to optimization and its design. After that we consider all the designs and evaluate which of these designs is the best from economic aspect.

## Key words

Bonnet frame, optimization, weld constructions, fusion welding, heat cutting

## Bibliografická citace

JAKUBSKÝ, J. *Optimalizace ocelového svařovaného rámu kapoty hutního válce ARS*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojního inženýrství, 2019. Počet Stran 81, počet obrázků 48, počet tabulek 19, počet příloh 1. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D.



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Optimalizace ocelového svařovaného rámu kapoty hutnického válce ARS vypracoval samostatně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu, tvořící přílohu této práce.

-----  
Datum

-----  
Jiří Jakubský



## Poděkování

Rád bych vyslovil poděkování svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ladislavu Kolaříkovi Ph.D. za jeho cenné rady, připomínky, odborné vedení a čas při vypracování této práce. Další velké poděkování patří mému konzultantovi Ing. Michalovi Hůlkovi za příležitost podílet se na optimalizačních změnách a spoustu užitečných rad, informací a nemalé množství času, které mne vždy ochotně věnoval při mých častých dotazech. Také, bych rád poděkoval celému konstrukčnímu oddělení a vedení firmy Ammann, že mi zde umožnili pracovat a podílet se na vývoji strojů, které vyrábí. A samozřejmě nesmím opomenout poděkování svým rodičům a mojí přítelkyni, za jejich podporu během studia a vypracovávání této práce.

Jiří Jakubský

## Obsah

1	Úvod .....	10
1.1	Představení firmy.....	11
2	Rozbor zadání .....	12
2.1	Popis rámu kapoty .....	12
2.2	Cíl práce .....	14
3	Teoretická část .....	14
3.1	Popis svařovaných konstrukcí.....	14
3.1.1	Cíle a postupy při navrhování svařovaných konstrukcí.....	14
3.1.2	Proces návrhu konstrukce svařovaného výrobku .....	15
3.1.3	Proces technologické přípravy, stanovení technologie svařování a volba přídavného materiálu.....	24
3.2	Technologie tavného svařování.....	28
3.2.1	Svařování za působení tepla (tavné) .....	28
3.2.2	Metody obloukového svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou ...	29
3.2.3	Princip svařování MIG/MAG.....	30
3.2.4	Proces MIG/MAG svařování .....	32
3.3	Technologie tepelného dělení materiálu .....	34
3.3.1	Řezání kyslíkem .....	34
3.3.2	Řezání plazmou .....	38
3.3.3	Laserové řezání.....	42
3.4	Technologie tváření za studena.....	45
3.4.1	Ohýbání .....	45
4	Optimalizace.....	50
4.1	Možnosti optimalizace.....	50
4.2	První verze optimalizace rámu kapoty .....	51
4.2.1	Bočnice .....	54
4.2.2	Bočnice nosníku.....	55
4.2.3	Konzola .....	56
4.2.4	Plech přední.....	57



4.2.5	Výztuha zvedání .....	58
4.2.6	Příčník .....	59
4.3	Druhá verze optimalizace rámu kapoty.....	62
4.3.1	Plech přední.....	63
4.3.2	Bočnice nosníku.....	64
4.3.3	Plech těsnění .....	64
4.4	Porovnání jednotlivých variant z hlediska výrobních nákladů .....	68
4.4.1	Náklady spojené s původním rámem „kapoty“ .....	68
4.4.2	Náklady spojené s první verzí optimalizace .....	69
4.4.3	Náklady spojené s druhou verzí optimalizace.....	71
5	Závěr .....	74
6	Seznam použitých zdrojů .....	75
7	Seznam obrázků .....	77
8	Seznam tabulek .....	79
9	Seznam použitých zkratk.....	80
10	Seznam příloh.....	81

# 1 Úvod

Bakalářská práce byla vypracována ve spolupráci se společností Ammann Czech Republic a.s. se sídlem v Novém Městě nad Metují, která má již dlouholetou praxi ve výrobě vibračních válců a jejich příslušenství. Téma se týká návrhu optimalizačních změn rámu kapoty na vibračním válci ARS 110, se záměrem najít co nejvýhodnější možné ekonomické řešení, tato problematika je rozebrána v praktické části bakalářské práce. Snaha optimalizovat vychází z potřeby udržet stroj konkurenceschopný, jelikož i v oblasti výroby hutnících válců je konkurence vysoká a jakékoliv snížení nákladů a tím také prodejní ceny, je důležité, protože především cena hraje hlavní roli ve výběru zákazníka mezi konkurenčními stroji a stroji vyráběnými firmou Ammann. Teoretická část je proto věnována rozebrání výrobních technologií, kterými firma disponuje a jsou nezbytně nutné k produkci rámu.

Úvodem je třeba zmínit pár slov ohledně vibračních válců. Vibrační válec slouží k hutnění zemin nebo asfaltů. Vibrační válec působí na podloží svojí statickou vahou a také dynamickou silou, které je vyvolána rotačním pohybem vibrátoru uvnitř běhounu (na rozdíl od statického válce, který hutní pouze působením své vlastní váhy). Podle představeného způsobu hutnění, můžeme tedy válce rozdělit na statické a vibrační. Společnost Ammann se zabývá výrobou obou typů válců, jako jsou: statické pneumatikové válce, vibrační tandemové a vibrační tahačové válce.



Obrázek 1: Statický pneumatikový válec ART 280 [1]

Rozdíl mezi vibračním tahačovým (viz obr. č. 2) a tandemovým válcem (obr. 3), je ve způsobu použití a počtu běhounů. Tahačové válce mají jeden poháněný běhoun, který může být hladký nebo ježkový a o pohon se stará pár kol, kde je každé kolo vybaveno vlastním hydromotorem

k pohonu válce. Používají se pro hutnění různých druhů zeminy a štěrku, ale nikoliv pro finální vrstvu asfaltové hmoty.



Obrázek 2: Vibrační tahačová válec ARS 110 [1]

Zato tandemové válce disponují párem poháněných běhounů. Používají se na hutnění štěrkového podkladu a vrchní vrstvy asfaltu.[2]



Obrázek 3: Vibrační tandemový válec ARX 90 [1]

## 1.1 Představení firmy

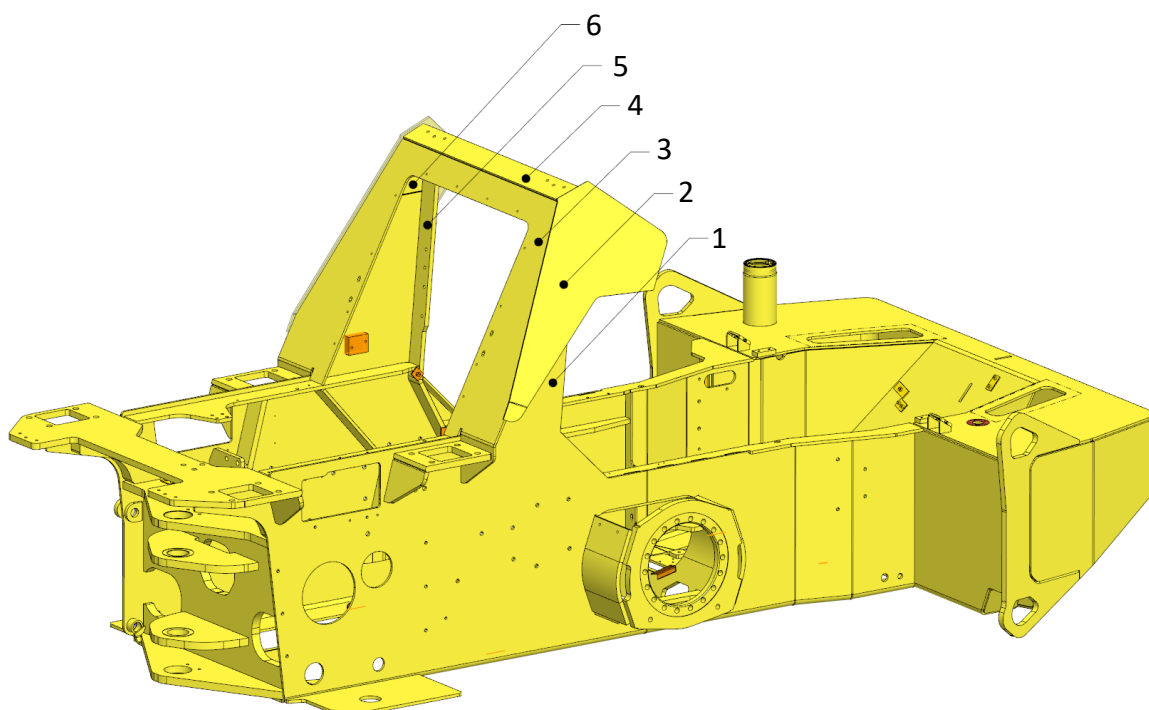
Společnost Ammann Czech republic a.s. je pokračovatelem tradičního českého výrobce stavební techniky firmy Stavostroj. Národní podnik Stavostroj v Nové Měště nad Metují vznikl 24. února 1948 po znárodnění textilní továrny J. Stehlík a objektů firmy J. Rousek a synové.

V roce 1949 začal Stavostroj s výrobou drobných stavebních strojů: především to byla vibrační technika, omílačky, ohýbačky stavební oceli a míchačky betonu. V dalších letech se výrobní závod rychle rozšiřoval a v roce 1958 zahájil výrobu vibračních samojízdných válců VV1. S výrobou stavebních strojů Stavostroj pokračoval až do roku 2005, kdy do této české firmy vstoupila švýcarská společnost Ammann, která je předním celosvětovým dodavatelem obaloven, betonárek, strojů a služeb ve stavebním průmyslu se základním zaměřením na výstavbu silnic a dopravní infrastruktury. [1,3,4]

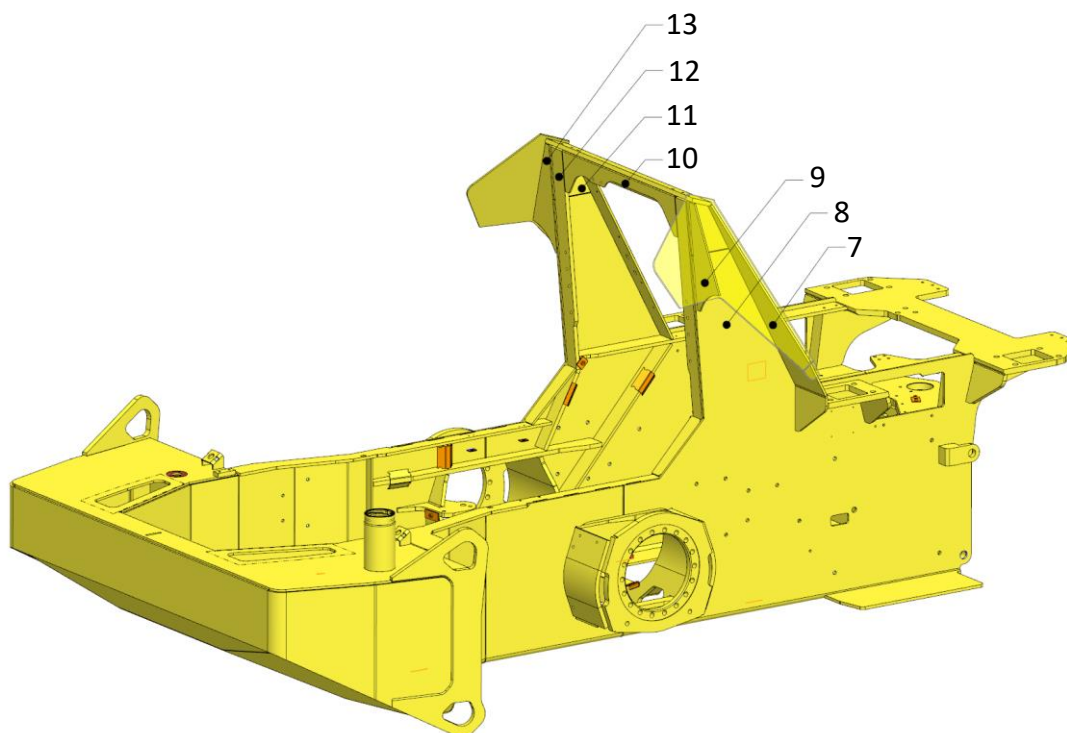
## 2 Rozbor zadání

### 2.1 Popis rámu kapoty

Rám kapoty je součástí zadního rámu, jeho hlavní funkcí je nést kapotu se vzpěrami a výfukovou soustavu, ale neméně důležité je i přichycení komponent hydraulického rozvodu pojezdu a přichycení dalších hydraulických komponent. Jedná se o svařovanou konstrukci, která se skládá ze 13 dílců, ty jsou k sobě postupně svařovány tak, aby ve výsledku vytvořily jednu sestavu (viz obr. 4 a 5).[3]



Obrázek 4: Vyznačení pozic rámu kapoty – pohled na přední část [3]



Obrázek 5: Vyznačení pozic rámu kapoty – pohled na zadní část [3]

Tabulka 1: Čísla pozic rámu

Číslo dílce	Název
1	Bočnice levá
2	Levý plech blatníku
3	Plech přední
4	Nosník kapoty
5	Pravá výztuha zvedání
6	Vrch bočnice pravý
7	Pravý plech blatníku
8	Bočnice pravá
9	Výztuha blatníku pravá
10	Plech těsnění
11	Vrch bočnice levý
12	Levá výztuha zvedání
13	Levá výztuha blatníku

## 2.2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je nalézt vhodné a ekonomické konstrukční řešení rámu kapoty hutního válce ARS, se zachováním funkčních rozměrů a tuhosti konstrukce, která musí být navržena s ohledem na využití výrobních technologií, kterými firma Ammann disponuje. Jelikož je v plánu vyrábět stovky kusů těchto rámu ročně, může i malá ušetřená částka na jednom kusu, ve výsledku přinést velké úspory.

## 3 Teoretická část

V první řadě je potřeba rozebrat, jak postupovat při návrhu svařovaných konstrukcí, poněvadž základ stroje (hutní válec ARS) je tvořen rámem předním a rámem zadním, jehož součástí je i rám kapoty. Tyto rámy jsou sestavy z plechových ocelových výlisků, postupně svařovaných k sobě a jedná se právě o svařované konstrukce, na které jsou postupně montovány další sestavy a součásti nezbytně nutné k provozu válce. Jelikož je svařování konstrukcí svým způsobem specifická oblast strojírenství, je důležité dodržovat určité zásady při volbě základního i přídavného materiálu, svařovacích podmínek, parametrů procesu a postupu svařování. Když budou tyto zásady, podmínky a postupy dobře stanoveny a dodrženy, bude určitá jistota, že výroba bude probíhat hladce a dosáhneme požadovaných výsledků při minimální produkci nepoužitelných zmetků.

V dalších kapitolách bakalářské práce budou představeny výrobní technologie firmy Ammann, které jsou nezbytně nutné k produkci svařovaných konstrukcí. Jedná se o technologii řezání laserem, pomocí níž se z nakupovaných tabulí plechů získávají výpalky potřebných rozměrů, výpalky putují dále na ohraňovací lisy, kde jsou za studena přetvářeny do potřebných tvarů. A ty jsou následně metodou MAG (135 podle ČSN EN ISO 4063) postupně svařeny k sobě. Lze tedy shrnout, že se jedná o: technologii tepelného dělení materiálu, technologii plošného tváření za studena a technologii tavného obloukového svařování.

### 3.1 Popis svařovaných konstrukcí

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

Při návrhu svařovaných konstrukcí je důležité dbát na tzv. **technologičnost konstrukce**, ta se zaměřuje na sladění požadavků uživatele výrobku a možností výrobce s cílem dosažení předem určených parametrů při minimálních výrobních nákladech.

Z toho vyplývá, že konstrukce strojírenských výrobků není určována pouze jejich funkcí, ale i způsobem výroby, náklady spojenými s výrobou, při respektování hledisek estetických, ergonomických a ekologických. Cílem při návrhu konstrukce má být dosažení předem stanovených požadavků na výrobek, který by měl splňovat úrovně užitných hodnot s co nejnižšími materiálovými a výrobními náklady. Optimální konstrukce proto bývá kompromisem mezi technickými požadavky na: funkci, tvar, pevnost, kvalitu, životnost, spolehlivost apod. na straně jedné a technologickými a ekonomickými možnostmi na straně druhé.

Technologičnost konstrukce je tedy široký pojem postihující komplexní souhrn požadavků, které má splnit konstrukce dílů nebo celku pro zajištění funkčnosti, požadované životnosti a spolehlivosti při maximální hospodárnosti výroby. Obecně je tedy možné shrnout hlavní požadavky na svařované konstrukce z hlediska technologičnosti do následujících zásad:

- vysoké využití materiálu (malý odpad, vhodné profily, odlehčení nezátěžovaných částí)
- vyhovující technologické vlastnosti materiálu (svařitelnost)
- přizpůsobení konstrukce technologii výroby, která musí být volena s ohledem na možnosti výrobce, předpokládaný objem výroby a požadovanou jakost
- správné navržení typu, velikosti a umístění svarů tak, abychom se do příslušných míst dostali svařovacím hořákem a při výrobě příliš negativně neovlivnili zpracovávaný materiál
- 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 [5]

### 3.1.2 Proces návrhu konstrukce svařovaného výrobku

Již zvládnuté a v praxi ověřené výrobky mají své návrhové, ale i výrobní předpisy -normy, ve kterých jsou již popsány základní požadavky a technologické zásady. Projektant či konstruktér podle těchto zásad při návrhu postupuje a konzultuje-li některé podrobnosti se svařečským technologem, je pravděpodobné, že dosáhne optimálního výsledku. Často se však

setkáváme s výrobky, pro které zatím návrhy, normy nebo předpisy vydány nebyly. Proto je podstatné aby konstruktér znal a aplikoval obecné zásady v oblastech:

- určení typu konstrukce z hlediska namáhání
- dimenzování průřezu hlavních nosných prvků
- správné volbě základního materiálu
- stanovení tepelného a mechanického zpracování svařence
- určení typu a rozmístění svarů
- návrh optimálního tvaru a rozměru svarového spoje [5]

#### *3.1.2.1 Určení typu konstrukce z hlediska druhu namáhání*

Svařované dílce dávají prostor pro uplatnění tvůrčích schopností konstruktérů, neboť je více způsobů jak můžeme na konstrukce pohlížet a řešit je jako příhradové, plnostěnné a skořepinové. Další uplatnění svařence najdou u běžných strojních součástí, někdy jako náhrada za odlitky nebo výkovky.

**Příhradové konstrukce** se používají při výrobě střech velkých rozponů, věžových jeřábů, mostů, atd. Jsou vyráběny především z uzavřených profilů, zejména trubek, „jeklů“ a uzavřených svařovaných profilů z plechu. Konstruktér volí detail svařovaného uzlu s ohledem na úroveň vnějšího zatížení, hmotnost konstrukce, způsob namáhání, požadovanou spolehlivost a životnost celé konstrukce.

**Plnostěnné konstrukce** se používají jako otevřené, nebo uzavřené. Plnostěnné nebo otevřené se používají pro konstrukce průmyslových hal a mostní konstrukce. Plnostěnné uzavřené – skříňové pro stojany lisů, rámy obráběcích strojů, hlavní nosníky podstropních jeřábů apod. Vyrábějí se především svařením z profilů, z plechů nebo jejich kombinací.

**Skořepinové konstrukce** se používají rovněž jako otevřené nebo uzavřené. Jde především o tlakové nádoby, otevřené a uzavřené zásobníky, lodní konstrukce ale i rámy lokomotiv a vagónů aj.

**Svařence běžných strojních součástí** zahrnují svařence především ve výrobě dopravní techniky, jeřábů a manipulátorů, obráběcích a tvářecích strojů, kde se zvláště při menším počtu vyráběných kusů svařují různé páky, kliky, ozubená kola, řemenice, kladky, bubny, aj.[5]



### 3.1.2.2 Správná volba základního materiálu

Konstruktor musí zvolit takový materiál, aby vyhovoval požadavkům na úroveň zatížení, počet změn zatížení, rychlost zatěžování, vliv prostředí a teplotu, při kterých bude dílec nebo sestava pracovat. Zároveň však musí použít takový materiál, který umožňuje provést kvalitní svarový spoj, minimálně se stejnými vlastnostmi, jaké jsou vyžadovány od základního materiálu. Takovým kritériem je svařitelnost materiálu:

Svařitelnost je technologická vlastnost a rozumí se jí komplexní charakteristika materiálu, která určuje za daných podmínek svařování, zda je materiál vhodný pro svařované spoje předepsané kvality (v závislosti na zvoleném „stupni jakosti“ dle ČSN EN ISO 5817).

**Zaručená svařitelnost znamená**, že výrobce materiálu zaručuje svařitelnost za teplot do 0 °C bez zvláštních opatření.

**Podmíněná svařitelnost znamená**, že kvalitní svar lze provést jen za určitých podmínek dodržенých během svařování. [5]

Výše uvedené hodnocení vychází ze staré české normy ČSN 051309 (viz tabulka č. 2), která v této podobě již není platná (od roku 1991).

Tabulka 2: Stupně svařitelnosti [16]

Stupeň svařitelnosti	Označení	Rozsah záruky	Příklad použití
<b>Zaručená</b>	1a	zaručuje svařitelnost při svařování za okolních teplot do 0 °C	pro dynamicky namáhané svařence i při nižších venkovních teplotách
<b>Podmíněně zaručená</b>	1b	zaručuje svařitelnost při dodržení předem určených podmínek uvedených v normě jakosti oceli	pro svařence staticky namáhané
<b>Dobrá</b>	2	nezaručuje svařitelnost, ale tyto oceli dávají ve většině případů vyhovující svarové spoje	na podřadné, staticky namáhané konstrukce; na opravy
<b>Obtížná</b>	3	nelze zpravidla dosáhnout vyhovující jakosti svarových spojů ani při dodržení zvláštních opatření při svařování	nedoporučuje se používat na svařování, jen na nutné opravy

Dnes se svařitelnost posuzuje na základě vyhodnocení dvou typů ukazatelů:

- Ukazatelé celistvosti svarových spojů
- Ukazatelé mechanických vlastností svarových spojů

A především na základě správně a kompletně provedené kvalifikace svařovacích postupů podle systému ČSN EN 15 6xx (609-614).

Svařitelnost závisí na: chemickém složení materiálu, způsobu výroby, tepelném zpracování a v závislosti na těchto faktorech i na tloušťce svařovaných materiálů. Svařitelnost je u různých kovů a jejich slitin velmi rozdílná a dělí se takto:

**U uhlíkových ocelí** je tavná svařitelnost ovlivněna především obsahem uhlíku. Nutno však vzít v úvahu i obsah ostatních prvků a nečistot. Oceli do obsahu 0,22 až 0,25% uhlíku jsou podle výše uvedené tabulky tzv. „zaručeně“ svařitelné (pro tloušťky větší než 25mm však musí být předeřhřáty). Čím více uhlíku ocel obsahuje, tím větší potíže při svařování vznikají. Je to způsobeno zejména tím, že uhlík zvyšuje prokalitelnost a v kombinaci s rychlým místním (lokálním) ohřevem a dosti rychlým ochlazením po svaření vzniká, (hlavně v přechodovém pásmu), tvrdý a křehký martenzit. Vznikají tak i vnitřní pnutí a z toho pak trhliny a praskání svaru. Z toho důvodu jsou dobře kalitelné oceli obtížně svařitelné. Oceli s obsahem přes 0,5% uhlíku se nedoporučují pro svařování (zejména v sériové výrobě).

**U legovaných ocelí** se tavná svařitelnost posuzuje především podle jejich prokalitelnosti (tzn. podle chemického složení). Vliv jednotlivých prvků (které působí na vznik martenzitu podobně jako uhlík) se vyjadřuje jeho ekvivalentním obsahem. Ekvivalentní obsah uhlíku má být  $C_e \leq 0,5\%$  a stanovit ho lze z různých výpočtových vztahu, např. se ze vztahu:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024t \quad (1)$$

kde  $t$  je tloušťka materiálu (mm). Dnes se používají zejména jiné, přesnější výpočtové vztahy pro výpočet uhlíkové ekvivalentu, které je možné určit podle ČSN EN 1011-2 dvěma způsoby, a to podle metody AC.2, a podle metody BC.3. Přičemž je hlavní důraz kladen na eliminaci vodíkového praskání, která způsobuje vznik trhlín za studena. Rozdíly metod spočívají v tom, že:

- metodu AC.2 se zvýrazňuje obsah slitinových prvků uvnitř nelegovaných jemnozrnných a nízkolegovaných ocelí, obsah difúzního vodíku a kombinovanou tloušťku
- metodou BC.3 se zvýrazňuje obsah uhlíku, difúzního vodíku a reálná tloušťka

V případě metody AC.2 je hodnota ekvivalentu uhlíku CE počítány takto:

$$CE (CEV) = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr + Mo + V)}{5} + \frac{(Ni + Cu)}{15} \text{ (hmot. \%)} \quad (2)$$

Metoda A je zcela dostačující pro výpočet teploty přehřevu ocelí uvedených v ČSN EN 10025-2.

V případě metody BC.3 je hodnota ekvivalentu uhlíku CET počítána takto:

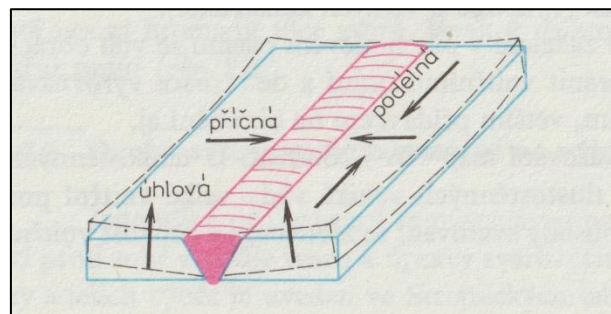
$$CET \text{ hmot. \%} = C + \frac{(Mn + Mo)}{10} + \frac{(Cr + Cu)}{20} + \frac{(Ni)}{40} \text{ (hmot. \%)} \quad (3)$$

Metoda BC.3 je určena pro výpočet parametrů svařování mikrolegovaných jemnozrnných ocelí, uvedených v ČSN EN 1025-3. [6,20]

Pro správnou volbu postupu svařování legovaných ocelí je také vhodná znalost diagramů IRA, které mohou pomoci k vhodnému ovlivnění teplotního cyklu před, v průběhu i po svařování (tak, abychom dosáhli požadované struktury svarového kovu - SK, resp. tepelně ovlivněné oblasti – TOO). [6]

### 3.1.2.3 Svarová pnutí a deformace

Při svařování dochází následkem nerovnoměrného ohřevu ke vzniku vnitřního pnutí, tím pádem i k deformacím (smrštění) svařence (obr. 6). Podle polohy ke svaru jsou deformace:

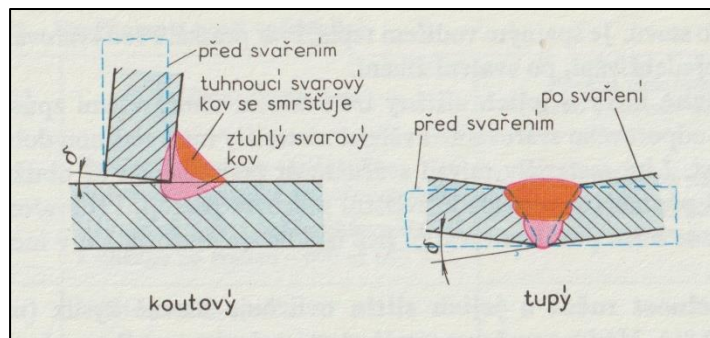


Obrázek 6: Deformace při svařování [6]

**podélné** – vznikají podélným smrštěním svarového kovu u tupých a koutových svarů a projevují se zkrácením délky svařence

**příčné** – vznikají příčným smrštěním svarového kovu u tupých a koutových svarů a projevují se zkrácením šířky svařence

**úhlové** - vznikají různým příčným smrštěváním, protože části svařence mají větší rozměr a smrští se víc než dolní (viz obr. 7).



Obrázek 7: Průběh deformací [6]

Napětí a deformace spolu úzce souvisí. Většinou platí, že kde nejsou deformace, tam je pnutí a naopak. Proto před zvolením svařovacího postupu je nutné se rozhodnout, jestli vystavíme svařenec deformacím, nebo pro pnutí.

Pravidlem bývá:

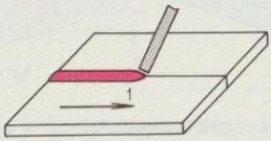
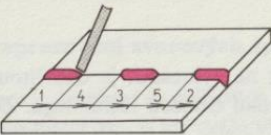
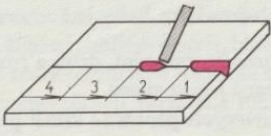
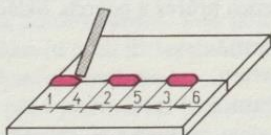
Kde není obava z vlivu vnitřního pnutí (tzn. materiály se zaručenou svařitelností), snažíme se zamezit všemi prostředky deformacím (zachovává se přesný tvar, zmenší se přídatky na obrábění, odpadne drahé vyrovnání apod.). Kromě toho lze vnitřní pnutí snížit tepelným zpracováním - žháním.

Svařování se provede tak, že se buď celá konstrukce nastehuje, a pak se svaří v tuhý celek, nebo se svaří nejprve na malé celky (podsestavy), ty se pak nastehují a svaří v celek (výhodné u velkých konstrukcích).

U ocelí náchylných k zakalení (tzn. obtížně svařitelné materiály) v přechodovém pásmu se volí obrácený postup. Snažíme se zabránit vzniku vnitřního pnutí a deformace vyrovnáváme předběžným předepnutím, větším přídatkem na obrábění aj.

Na volbu postupu svařování mají vliv i součásti. U tenkostěnných je větší vliv deformací, u tlustostěnných vzniká vždy velké vnitřní pnutí. Velikost vzniklých napětí velmi ovlivňuje i způsob vytváření svaru. V tab. 3 jsou vhodné způsoby svařování se zřetelem na velikost vnitřního pnutí a deformace.

Tabulka 3: Vliv způsobu svařování na velikost pnutí a deformace [6]

Způsob svařování	Technologický postup	Velikost pnutí	Velikost deformací
Svařování jedním tahem		velmi malé	velké
Svařování střídavé		střední	střední
Svařování vratným krokem		střední	malé
Svařování střídavým vratným krokem		velké	velmi malé

Při navrhování konstrukce se musí také dodržet zásada, že se v jednom místě nesmí hromadit (křížit se) více svarů. Jinak v těchto místech vznikají velké lokální špičky napětí.[6]

#### 3.1.2.4 Stanovení tepelného zpracování svařence

Cílem tepelného zpracování svařenců je zlepšení jejich vlastností, zejména zvýšení odolnosti proti křehkému porušení, porušení z důsledků únavy, zvýšení korozní odolnosti, dosažení příznivější struktury a zlepšení rozměrové stálosti. Tepelné zpracování svařenců se stanovuje po posouzení:

- druhu základního materiálu, resp. kombinací základních materiálů
- tloušťky svarového spoje
- technologických podmínek svařování (způsob svařování, tvar spoje, přídavný materiál, měrný tepelný příkon, tepelného předehřevu a dohřevu apod.)
- provozních podmínek svařované konstrukce
- požadovaného stupně provozní bezpečnosti [5]

V zásadě se tepelné zpracování rozděluje do dvou skupin, kde k užívaným postupům patří:



## 1. Tepelné zpracování před svařováním:

- a. **Normalizační žihání** (uhlíkové oceli, hlavně u větších tloušťek), jehož účelem je dosažení rovnoměrnější a jemnější struktury – materiál má pak před svařováním rovnoměrněji rozložené mechanické vlastnosti v celém průřezu
- b. **Zušlechťování** (tj. kalení + popuštění), jehož účelem je dosažení nejvýhodnějších plastických vlastností (tažnosti, houževnatosti). Svar potom lépe odolává pnutí.
- c. **Žihání naměkko** (u ocelí již tepelně zpracovaných kalením), kterým se odstraňuje nepříznivý vliv kalení.
- d. **Přehřev** před svařováním (nejčastěji 100 až 400 °C, výjimečně až 700 °C, jeho úkolem je snížit rychlost ochlazování ve svarovém kovu a v tepelně ovlivněné oblasti. Za účelem snížení svarových napětí a zmenšením tepelných gradientů při svařování, k zabránění vniku trhlin a nežádoucích změn struktury v tepem ovlivněných pásmech svaru. Přehřev se provádí v určitém místě svařence (lokální přehřev) nebo se přehřívá celý svařenec, je potřebný na začátku svařování a potom v celém procesu svařování. [5,6]

## 2. Tepelná zpracování po svařování:

- a. **Žihání ke snížení vnitřního pnutí** (u uhlíkových ocelí 500 až 650 °C)
- b. **Normalizační žihání** (820 až 950 °C), jehož účelem je odstranění hrubého zrna ve svarovém spoji a v přechodové oblasti (zjemnění struktury) a dosažení tažnosti a houževnatosti.
- c. **Popuštění** (u legovaných ocelí 650 až 750 °C), jehož účelem je odstranění vnitřního pnutí a současné změkčení svaru a přechodové oblasti a také dosažení dobrých plastických vlastností.[6]

Podrobný předpis pro navrhování a provádění tepelného a mechanického zpracování je shrnut v ČSN 05 0211. Konstruktor navrhuje příslušné tepelné zpracování v souladu s touto normou a s požadavky pro dané výrobky. [5]



























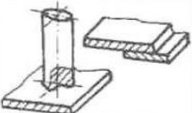









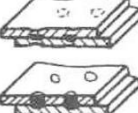

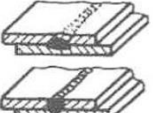

### 3.1.2.5 *Určení typu a rozmístění svarových spojů*

Pro spojení dílců ve svařenec se používají svary:

- **tupé svary s plným, nebo částečným průvarem** jsou nejvhodnějším druhem spojů konstrukcí namáhaných jak staticky, tak dynamicky. U tupých svarů je zachován plynulý silový tok. Opracováním krycí housenky do úrovně základního materiálu lze docílit výrazného snížení vrubového účinku. Provádějí se jako svary typu: V-svar nebo 1/2V-svar, X-svar nebo K-svar a nebo Y-svar. Při vhodné technologii lze provést plný průvar i u svaru typu I-svar. Typické je pro ně právě provaření v celé tloušťce svařovaného materiálu. Nevýhodou je potřeba úpravy svarové plochy (podle doporučení ČSN EN ISO 9692)
- **koutové a rohové svarové spoje** jsou z pevnostního hlediska méně únosné než, svarové spoje tupé. Svařované dílce se přikládají kolmo k sobě a svarové plochy se běžně neupravují, výjimečně se opracovávají přechody svaru do základního materiálu. Nejvhodnější jsou oboustranné symetrické svary.
- **lemové svary** – jsou rovněž z pevnostního hlediska méně únosné než svary tupé. Vzniknou provedením svaru ze dvou k sobě přiložených polotovarů, které ale mají na koncích svarových ploch olemování, takže vznikne tvar podobný tupému I svaru. Používají se zpravidla jako svar těsnící a na menších tloušťkách základních materiálů (obvykle bez použití přídavného materiálu).
- **děrové, žlábkové svary** vzniknou zavařením předem připravených otvorů, nebo žlábků v horní části přeplátovaných materiálů. Svary nejsou vhodné pro přenášení velkých sil, jejich únosnost není spolehlivá, zejména při cyklickém zatěžování.
- **bodové a švové svary** se provádějí nejčastěji odporovým bodovým svařováním na přeplátovaných dílech menších tlouštěk. Svarové plochy jsou k sobě přitlačovány speciálními elektrodami ve tvaru tyčí (bodové svařování) nebo kladek (švové svařování). Tloušťky materiálů vhodné pro svařování tímto způsobem, se pohybují od 0,5 do 8 mm. Svarová čočka se vytváří na přechodu mezi svařovanými díly v místě přeplátování.
- **výstupkové svarové spoje** se provádějí také odporovým svařováním. Jsou vhodné zejména pro sériovou výrobu. Za působení tepla a tlaku dojde k nastavení výstupků mezi svařovanými součástkami a k vytvoření většího množství bodových svarových spojů (obvykle se k tomu používají odporové svařovací lisy). [5]



Tabulka 4: Druhy svarových spojů [17]

Zobrazení	Značka	Název	Zobrazení	Značka	Název
		lemový svar			svar I
		svar V			svar V strmé boky
		svar 1/2 V			svar 1/2 V se strmým bokem
		svar Y			svar 1/2 Y
		svar U			svar J 1/2 U
		podložení svaru			návar na povrchu
		svar koutový			čelní spoj
		kosý spoj			nárožní svar
		svar děrový			přehýbaný svar
		svar bodový			svar švový

### 3.1.3 Proces technologické přípravy, stanovení technologie svařování a volba přídavného materiálu

Proces technologické přípravy a svařování se v mnohém prolíná s procesem návrhu konstrukce, neboť konstruktér musí často velmi úzce spolupracovat s technologem ve výrobním závodě a je společným úkolem technologa a konstruktéra „odladit“ projekt a vlastní technologii pro reálné možnosti výrobních organizací. Proto je běžné, že technolog může doporučit projektantovi změnu typu svaru s ohledem na svařovací podmínky, svařovací zdroj (a jeho možnosti), dostupnost místa pro svařování, nastavování dílců s ohledem na prořez atd. [5]



### 3.1.3.1 Stanovení technologie svařování

V případě, že projektant přesně nestanoví technologii svařování, je věcí technologa určit technologii, jakou se bude daný svarový spoj provádět. Často se vícevrstvé svarové spoje provádí i kombinací některých technologií (např. kořen svaru metodou TIG a výplňové a krycí vrstvy metodou MAG, nebo kořen svarového spoje metodou MAG, zatímco výplň a krycí vrstva svařováním pod tavidlem).

Tabulka 5: Vybrané metody svařování [5]

Název metody	Označení metody dle EN ISO 4063
Obloukové svařování (Arc welding)	<b>1</b>
<b>Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (Manual metal arc)</b>	111
<b>Svařování pod tavidlem drátovou elektrodou (Submerged arc welding with one wire electrode)</b>	121
<b>Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu (Metal inert gas welding)</b>	131
<b>Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu (Metal active gas welding)</b>	135
<b>Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu (Tungsten inert gas welding)</b>	141
Odporové svařování (Resistance welding)	<b>2</b>
<b>Bodové odporové svařování (Spot welding)</b>	21
<b>Švové odporové svařování (Seam welding)</b>	22
Plamenové svařování (Gas welding)	<b>3</b>
<b>Kyslíkoacetylenové svařování (Gas welding)</b>	311
Tlakové svařování (welding with pressure)	<b>4</b>
<b>Ultrazvukové svařování (Ultrasonic welding)</b>	41
<b>Výbuchové svařování (Explosive welding)</b>	441
Svařování svazkem paprsků (Beam welding)	<b>5</b>
<b>Elektronové svařování ( Electron beam welding)</b>	51
<b>Laserové svařování (Laser beam welding)</b>	52
Ostatní způsoby svařování (Other welding)	<b>7</b>
<b>Elektrostruskové svařování (Electroslag welding)</b>	73
<b>Přivařování svorníků (Stud welding)</b>	78

S volbou technologie svařování souvisí rovněž správná volba svařovacího zdroje, jímž má být svařovací proces zabezpečen vzhledem k počtu svařovaných kusů, poloze svařování, klimatickým podmínkám, produktivitě práce, požadovanému stupni jakosti a kvalifikace svářečů či svářečských operátorů (pro automatické a robotické svařování). Měli bychom zvážit, zda svařování zabezpečit ručním obloukovým svařováním, poloautomaty, automaty, či robotizovaným pracovištěm. Tomuto rozhodnutí předchází zpravidla podrobná ekonomická studie. [5]

### 3.1.3.2 Volba přídavných materiálů.

Při rozdílných metodách svařování, používáme různé druhy přídavných materiálů, například: elektrody (obalené, plněné), dráty, tyčinky, atd. Přídavný materiál se přidává v určitých časových intervalech do místa svaru. [18]

Přídavné materiály pro svařování musí vyhovovat svými mechanickými, metalurgickými, korozními a operativními vlastnostmi požadavkům na kvalitní svarový spoj strojní součásti, ocelové konstrukce nebo tlakového zařízení.

Volba přídavných materiálů se řídí především použitým základním, materiálem (zejména jeho chemickým složením, příp. mechanickými vlastnostmi), dále pak:

- zvolenou metodou svařování a polohou pro svařování
- schválenou specifikací postupu svařování, případně požadavkem certifikace ze strany objednatele
- požadovaným stupněm jakosti
- konstrukčním uspořádáním svařence
- technickým vybavením a možnostmi výrobního závodu
- kvalifikací svářečů, či svářečských operátorů [5]

## 3.2 Technologie tavného svařování

Svařováním vznikají pevná a nerozebíratelná spojení strojních částí i celých konstrukcí ze součástí jednotlivých tvarů. Tyto součásti jsou většinou z hutních polotovarů (tyče, pásy, plechy, různé profily aj.), někdy i z výkovků a odlitků apod. Výhodou tohoto spojení je trvanlivost, velká pevnost a těsnost. Svařování zvyšuje produktivitu práce, zmenšuje spotřebu materiálu, zjednodušuje konstrukci, podstatně zkracuje výrobní časy a pohotově umožňuje rychlou realizaci konstrukčních návrhů. Technologie tavného svařování je v Ammannu hojně využívána, jelikož se celý stroj skládá z ohraněných výpalků postupně svařených do jednotlivých podsestav a následně svařených k sobě. Metodou MAG (135 podle ČSN EN ISO 4063) se svařují rámy o menších tloušťkách (např. rám „kapoty“), materiály o větších tloušťkách (např. běhouny) se svařují pod tavidlem (121 podle ČSN EN ISO 4063).[6]

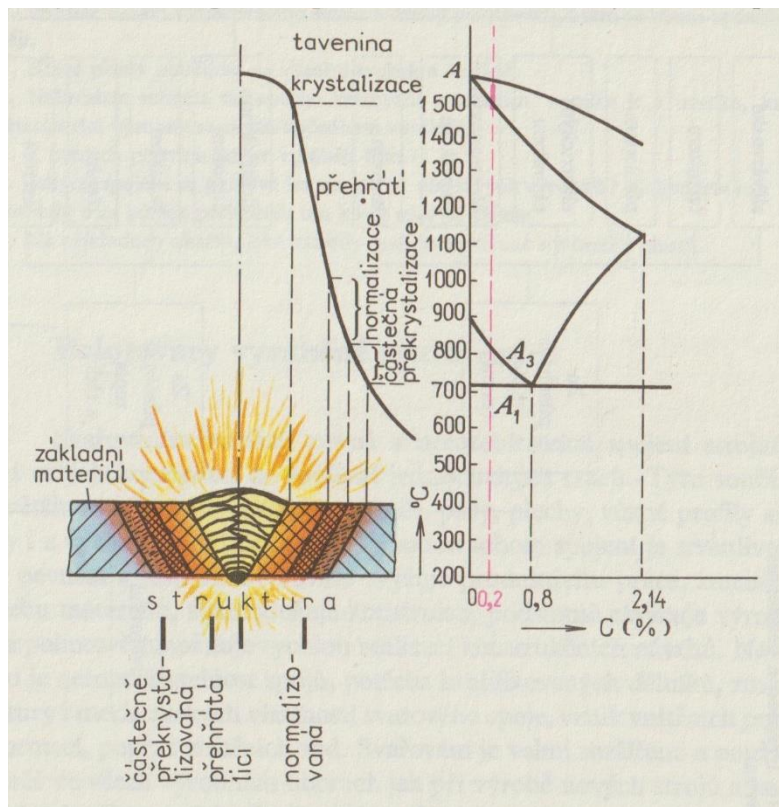
### Definice svařování dle ČSN EN 857

„Svařování je pracovní postup, kterým se spojují materiály za působení tepla nebo tlaku (případně kombinací těchto vlivů) a to takovým způsobem, že zůstává zachována podstata spojovaných materiálů.“ [12]

Nevýhodou je potřeba kvalifikovaných dělníků, změna struktury i mechanických vlastností svarového spoje, vznik vnitřních pnutí, a deformací, popř. i vnitřních vad. Svařování je velmi rozšířeno a používá se téměř ve všech výrobních oborech jak při výrobě nových strojů a konstrukcí, tak při opravách. Svařované součásti často nahrazují odlitky a výkovky, zejména u velkých a složitých součástí (jsou až o 50% lehčí).[6]

### 3.2.1 Svařování za působení tepla (tavné)

Při tomto způsobu svařování dochází ke spojení místním natavením svarových ploch základního materiálu, aniž by se použilo tlaku nebo rázu. Obvykle se ještě používá přídavného materiálu stejného nebo podobného chemického složení jako má základní materiál. Roztavený materiál tvoří tavnou (svarovou) lázeň. Protože ohřev probíhá jen v okolí svarových ploch, liší se krystalizace kovu tavné lázně od pochodů probíhajících při tuhnutí odlitků. Krystalizace probíhá jen ve velmi malém objemu taveniny (lokálně) v těsném spojení s pevným základním kovem, přičemž rozmezí teplot mezi likvidem a solidem je velmi úzké (viz obr. 8). [6]



Obrázek 8: Krystalizace-struktury tavného svarového spoje [6]

### 3.2.2 Metody obloukového svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou

Svařence vyráběné z plechů profilů či trubek jsou v průmyslové praxi obvykle svařovány metodami využívající elektrický oblouk. Nejpoužívanější metody chránící pomocí plynové ochranné atmosféry roztavenou svarovou lázeň od nežádoucích účinků okolního vzduchu jsou MIG/MAG.[12]

**Definice:** Tavné obloukové svařování tavící se kovovou elektrodou, kdy elektrický oblouk a oblast svaru jsou chráněny před okolní atmosférou vrstvou ochranného plynu přiváděného z vnějšího zdroje. [13]

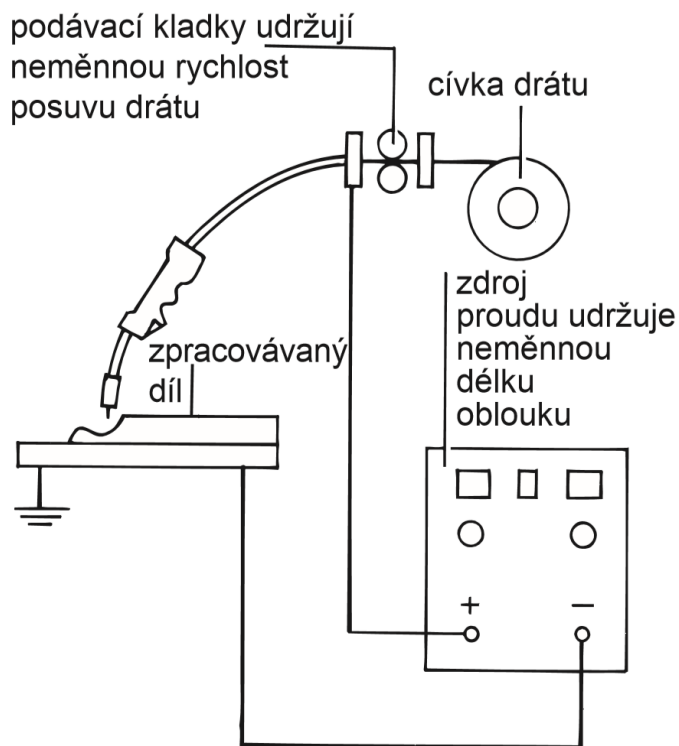
### 3.2.3 Princip svařování MIG/MAG

Tavné obloukové svařování tavící se elektrodou v atmosféře ochranného plynu je poloautomatický postup, vhodný pro ruční i mechanizované, příp. plně automatizované (i robotizované) operace. [12]

**Rozeznáváme následující druhy:**

1. MIG - Metal Inert Gas
  - odtavující se drátová elektroda, kde ochranný plyn nereaguje při tvorbě svarového kovu
2. MAG - Metal Active Gas
  - odtavující se drátová elektroda, kde se ochranný plyn aktivně podílí na tvorbě svarové lázně [14]

Tepelnou energii, nezbytnou pro proces tavného svařovací, vytváří elektrický oblouk o nízkém napětí (18 – 40 V) a vysokém proudu (60 – 600 A), oblouk hoří mezi koncem drátové elektrody a svařovanou součástí. Oblouk se svarem chrání ochranná atmosféra před vlivem okolního vzduchu.



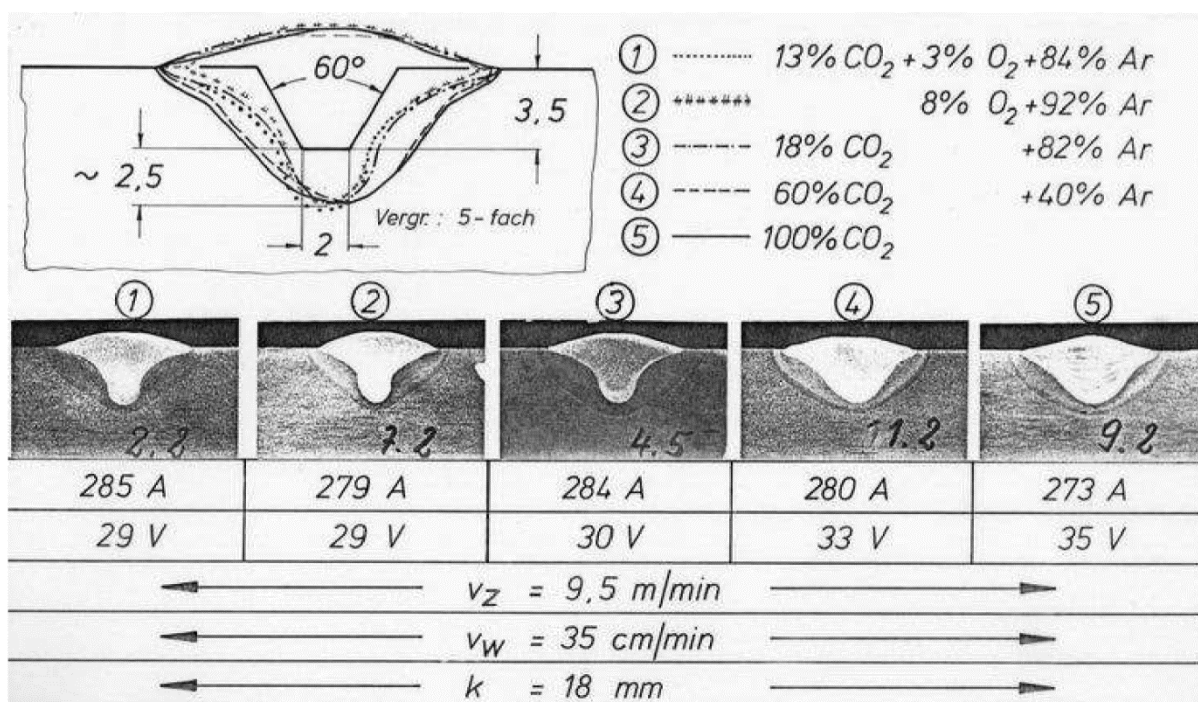
Obrázek 9: Principiální schéma svařování MIG/MAG [12]

### Rozdělení ochranných plynů pro svařování podle chemické aktivity:

1. **Inertní („netečné“)** – nereagují se svarovou lázní
  - Skupina I (dle ČSN EN ISO 14 175) – inertní plyny (Ar, He, směsi Ar + He)
2. **Aktivní** – účastní se procesů, které probíhají ve svarové lázni
  - Skupina M – oxidační plyny na bázi argonu (směsi Ar + CO<sub>2</sub>, Ar + O<sub>2</sub>, Ar + He + CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>)
  - Skupina C – oxidační plyny na bázi oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>, směsi CO<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>)
  - Skupina F (N) – nereagující plyny (N<sub>2</sub>) – tzv. **formovací plyny**
  - Skupina R – redukční plyny na bázi argonu (směsi Ar + H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>) [15]

Volba ochranné atmosféry probíhá v závislosti na svařovaném kovu a má (kromě ochrany svarové lázně) vliv na:

- tekutost a smáčivost svarové tavné lázně
- vlastnosti svarového kovu
- odtavovací výkon
- tvar a rozměr svarové housenky a velikost průvaru (viz. obr 10)
- množství rozstříku a rychlost svařování [14]



Obrázek 10: Vliv velikosti závaru v závislosti na ochranném plynu [15]



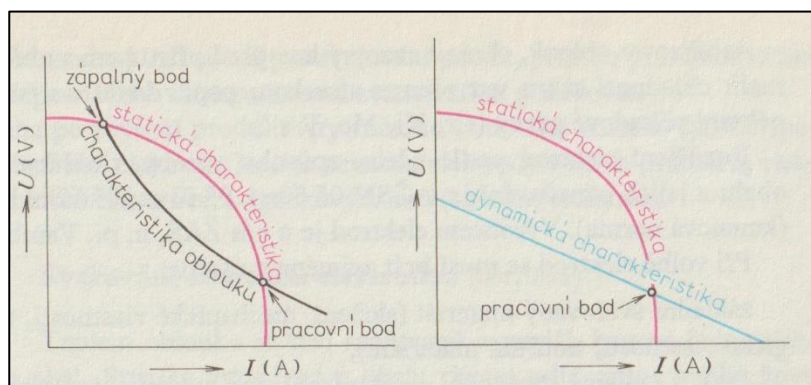
### 3.2.4 Proces MIG/MAG svařování

Elektrický motor pohání kladky a ty přivádějí svařovací drát do el. oblouku a zdroj proudu udržuje svařovací parametry na předem stanovené hodnotě, tím umožňuje svářeči, aby se plně věnoval vedení hořáku a sledování svarové lázně. [12]

Důležitým údajem každého svařovacího zdroje je jeho charakteristika.

**Statická charakteristika** udává závislost proudu  $I$  na napětí  $U$  v ustáleném stavu, pro různá zatížení svářečky, při určitém, nastavení regulátoru svařovacího proudu.

**Dynamická charakteristika** udává hodnoty napětí a proudu při náhlých změnách během svařování. Její sklon označujeme dynamická strmost, která určuje, zda má strmou nebo plochou charakteristiku. Strmost dynamické charakteristiky má vliv i na zapálení oblouku a jeho udržení.[6]



Obrázek 11: Statická charakteristika el. oblouku a zdroje proudu, s vyznačením tzv. pracovního bodu [6]

Vysokých proudů (v rozmezí 280-500 A) lze používat při svařování silnostěnných materiálů ve vodorovné poloze shora (tj. poloha PA dle ČSN EN ISO 6947). Tento přenos kovu obloukem nazýváme „**sprchový proces**“.

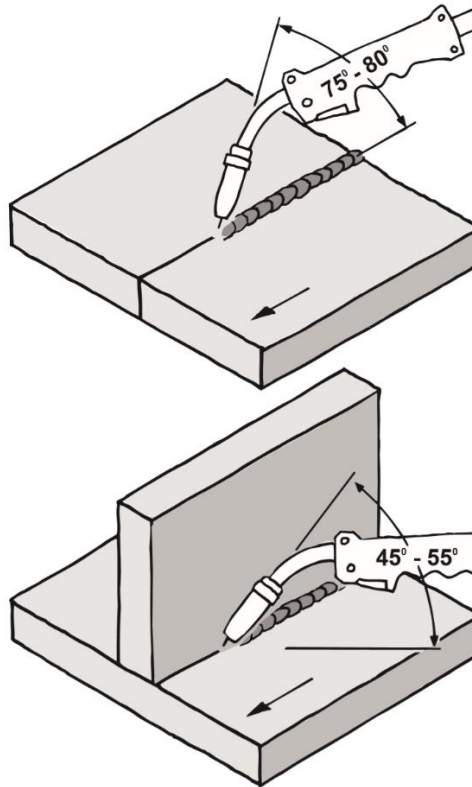
Svary, které se nacházejí v místech, kde má roztavený kov tendenci vytékat ze spoje pod vlivem gravitace se svařují pod nižším proudem (60-180 A). Při tomto způsobu svařování se uplatňuje „**zkratový**“ či „**pulzní**“ přenos kovu.

Pro konkrétní aplikace mohou být předem nastaveny optimální parametry, jež může svářeč snadno opakovat.

Při svařování MIG/MAG je hořák natočen ve směru svařování dopředu. Díky tomu může oblouk roztavit základní kov před místem tavné lázně a dosáhneme tak nejlepšího průvaru. Svářeč řídí rychlost svařování takovým způsobem, aby tavná lázeň nepředběhla oblouk a nedošlo tím k vytvoření studeného spoje.



Kvalita svaru při svařování MIG/MAG je závislá zejména na zručnosti svářeče a na nastavení vhodných hodnot svařovacích parametrů.



Obrázek 12: Schéma postupu svařování [12]

Svařovací parametry jsou:

**Napětí** ovlivňuje profil svaru.

**Indukčnost** (při zkratovém procesu) stabilizuje oblouk a minimalizuje rozstřík.

**Svařovací proud** jeho velikost ovlivňuje množství vneseného tepla a tím velikost průvaru, od velikosti proudu se odvíjí **rychlost podávání drátu**. [12]

Proud řídí:

- tepelný příkon
- velikost svaru
- hloubku průvaru
- rychlost podávání drátu

### 3.3 Technologie tepelného dělení materiálu

Způsoby tepelného dělení jsou v průmyslové výrobě velmi široce uplatňovány. Všeobecně jsou způsoby tepelného dělení produktivnější než běžně používané mechanické způsoby řezání a dělení materiálu.

Tepelné dělení je technologie využívána donedávna především pro výrobu jednotlivých dílů svařovaných konstrukcí. Nasazením moderních metod, používajících koncentrovaný svazek energie, tj. především laseru a plasmy, se tepelné dělení stává nejen prostředkem rozdělení materiálu, ale i faktorem umožňující tvorbu zcela nových konstrukčních variant. Především laserového řezání v malosériové výrobě nahrazuje přesné stříhání na lisech. [7]

#### 3.3.1 Řezání kyslíkem

Řezání kyslíkem, často nepřesně nazývané „kyslíkové pálení“, je nejvíce používaná metoda pro tepelné dělení uhlíkových ocelí. Proces spočívá v předehřátí řezaného materiálu na **zápalnou teplotu** (1150 °C pro čisté železo) a následném přivedení kyslíku pod tlakem, který zajistí spalování kovu, vytvoření řezné spáry a profuk vzniklých zplodin spalování. Tato technologie se v Ammannu využívá při řezání plechů, které mají tloušťku větších než 20 mm, jedná se např. o řezání polotovarů, z nichž jsou zakružovány běhouny, bočnice předních rámu držící běhoun a další (viz obr.13).



Obrázek 13: Využití technologie řezání kyslíkem v Ammannu

**Zápalnou teplotou** se rozumí teplota, při které kov intenzivně reaguje s kyslíkem a kdy v časové jednotce je množství uvolněného tepla vyšší než množství odvedeného tepla. U ocelí se zápalná teplota mění především v závislosti na obsahu uhlíku. Schopnost kyslíku řezat ocel je založena na reakci, při které je kov oxidován (spalován) a při které se vyvíjí teplo. Jestliže je ocel zahřáta na zápalnou teplotu, bouřlivě reaguje s přiváděným kyslíkem exotermickou reakcí. Vzniklé teplo přehřívá další objem kovu, teoreticky bez nutnosti přívodu další energie na přehřev. Jednou odstartovaný proces probíhá teoreticky, dokud je kyslík přiváděn do místa řezu.

Metodu lze rozdělit na dílčí procesy:

- ohřev kovu na zápalnou teplotu (tzv. nahřívacím plamenem)
- oxidace kovu (přivedením čistého, tzv. řezného kyslíku)
- vyfukování roztaveného produktu z řezné spáry

Použití metody je omezeno a musí být, proto splněny **podmínky řezatelnosti kyslíkem**:

1. Zápalná teplota řezaného kovu musí být nižší než jeho teplota tavení.
2. Při hoření kovu se musí vyvinout dostatečné množství tepla, aby došlo ke krytí ztrát odvodem a reakce mohla samovolně pokračovat.
3. Materiál se musí během řezání plynule přehřívát v celé řezané tloušťce, nejméně na zápalnou teplotu.
4. Teplota tavení strusky musí být nižší než teplota tavení řezaného kovu, struska musí být snadno tekutá (Tzn., že materiál nesmí obsahovat příliš mnoho legujících prvků, které zhoršují řezatelnost – včetně C.).



propan. Není nebezpečný v oblasti potřebných tlaků a s kyslíkem dává plamen o teplotě 2927 °C.

Pro proces řezání je důležitá **rychlost hoření topného plynu**. Největší rychlost i výkon má acetylén. Tzn., že před ústím řezací trysky nastává velká koncentrace tepla. U jiných pomaleji hořících plynů se stejné množství tepla rozdělí rovnoměrněji na delší dráhu (tj. po tloušťce řezaného materiálu).

Pokud dosáhneme vysoké koncentrace tepla u ústí trysky, je tento případ výhodnější pro řezání menších tlouštěk materiálu. Silnější materiály vyžadují tepelné působení plamene do hloubky a zde je vhodné využití plynů s nižší rychlostí hoření. Acetylen se používá často universálně. Pro větší tloušťky, běžně až 300 mm (v laboratorních podmínkách mnohem více), musí být seřízen tak, aby nenatavoval horní hrany řezané plochy. [7,19]

#### 3.3.1.2 Zařízení pro řezání kyslíkem

Jestliže není potřebný vysoký stupeň přesnosti, používají se ruční řezací hořáky s přenosným zařízením.

Existují dva typy hořáků:

1. se směřováním plynů pro přehřívací plamen ve špici hořáku
2. injektorová konstrukce hořáku

Řezací trysky jsou ze slitin na bázi mědi a jsou připevněny na vlastní těleso hořáku.

Dalším typem jsou stabilní řezací stroje a systémy. Bývají často universální, takže mohou nést klasické hořáky pro ruční řezání, nebo plasmový hořák, či řezací hlavu laseru. Stroje jsou většinou portálové konstrukce s několika suporty umístěnými na příčnici, na kterém jsou upnuty hořáky. Nejmodernější stroje mají systém pneumatického upínání jednotlivých hořáků s možností jejich programovatelného výškového nastavení. Samozřejmostí je automatické spouštění a uzavírání plynů, zapalování plamene, případně osazení vodní sprchou pro snížení deformací při řezání. [7]

### 3.3.2 Řezání plazmou

Plazmové řezání bylo vyvinuto v 50-tých letech minulého století. Již v prvních letech průmyslového nasazení se plazma uplatnila pro řezání neželezných kovů a legovaných ocelí. Vyžadovalo to však drahé plazmové plyny (čistý dusík, vodík, argon nebo helium), výkonné zdroje (500 Ampér a více) a vodou chlazené trysky.

Dnes, při zlepšení technologie i vlastností materiálů částečně v elektrickém zdroji a v konstrukci trysky a snížení nákladů použitím stlačeného vzduchu, se plazmové řezání stalo universálním pro širokou škálu všech vodivých materiálů.

V poslední době, díky vysoké rychlosti řezání, schopnosti řezat neželezné kovy, malému tepelnému ovlivnění atd., dramaticky roste uplatnění plasmy pro řezání, především na úkor řezání kyslíkem, ovšem tato technologie řezání plazmou se v Ammannu prozatím nepoužívá. Navíc plazma má jednu nevýhodu a to, že řez je vždy mírně podkosený.

**Plazma** se tvoří v elektrickém oblouku, který hoří mezi elektrodou a řezaným materiálem. Elektrický oblouk je v hořáku stabilizován plynem, používá se čistý dusík (pro ocel) nebo směs argonu a vodíku (pro neželezné kovy) v současnosti pak nejčastěji stlačený vzduch. Řeže se stejnosměrným proudem (DC). Zapojením proudového okruhu nastává výboj mezi elektrodami, který se přenesse na řezaný předmět. Plyn ionizuje, tím vzniká plazma oblouku s teplotou až 30 000 °C, délkou až 300 mm a nadzvukovou výtokovou rychlostí. Dnes se výkonové plazmy často používají s kombinací různých procesních plynů, (vzduch, kyslík, argon, dusík, CO<sub>2</sub>, vodík a směs vodíku a dusíku) – v různých fázích řezacího procesu se využije různý typ plynu – a proporcionální ventily si to samy nastaví. [6,7,19]

#### 3.3.2.1 Princip řezání

Zdrojem tepla je zúžený stabilizovaný elektrický oblouk. Plazmové řezání spočívá v lokálním ohřevu materiálu nad tavicí teplotu. Protože se vlivem teploty kovy vypařují, jsou plochy řezu hladké a kovově čisté. [6,7]

#### 3.3.2.2 Výhody použití vzduchové plasmy oproti řezání kyslíkem

Pro proces řezání plasmou bylo potřeba dříve používat speciální směs plynů a zařízení. Dnes se při použití stlačeného vzduchu, jednoduchých hořáků i zdrojů se výrazně snížily náklady plazmového řezání, a to se v důsledku toho rozšířilo na velké množství aplikací.

Efektu snížení nákladů bylo dosaženo i velkou rychlostí řezání a jednodušší obsluhou, čímž odpadají náročná školení pracovníků. Plazmovým řezáním se eliminovaly ztrátové časy



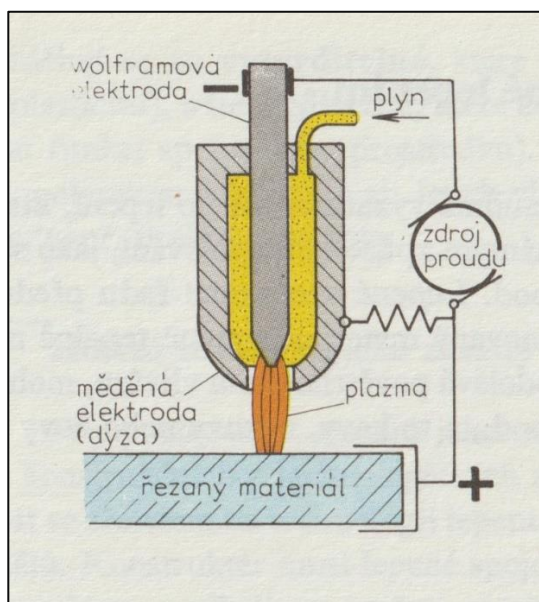
počátku a konce řezání, typické pro řezání kyslíkem. Tyto výhody jsou tak výrazné, že vyšší investiční náklady se u plazmové řezačky vrátí v krátkém čase.

Pokud se řeže uhlíková ocel tloušťky 25 mm a méně, jsou ekonomické přednosti plasmu oproti kyslíkovému řezání jasně v případě, že jde o dlouhé kontinuální řezy ve větší sérii. Řezy mohou být kolmé, zkosené, atd.

V případě řezání tloušťky 37 mm a více, lze diskutovat o použití plazmového nebo kyslíkového řezání v závislosti na ceně zařízení, řezaném materiálu a specifických podmínkách použití.

### 3.3.2.3 Konstrukce plazmových řezaček

Plazmové řezací stroje jsou zdroje s konstantním výkonem, které používají jako plazmový plyn v současné době nejčastěji stlačený vzduch nebo dusík. Jsou to zdroje stejnosměrného proudu (DC). Elektroda je připojena na záporný pól (viz obr. 15).



Obrázek 15: Zařízení pro řezání plazmou [6]

Typická plazmová řezačka je vybavena standardně vzduchovým regulátorem, hrubým vzduchovým čističem, olejovým odlučovačem a tlakovým ventilem. Zdroje jsou konstruovány pro použití libovolné kvality vzduchu nebo dusíku. Plazmové řezačky mají napětí na obloku pro ruční řezání 250 V naprázdno a 115 V při řezání. Z toho důvodu musí být konstrukce hořáku bezpečná.

Základní konstrukce hořáku má dvě části:

- přívodní kabel
- tělo hořáku

Přívodní kabel obsahuje přívodní vodiče proudu, plynovou hadici a čtyři řídicí vodiče. Toto vše je zalito v gumě. Řídicí vodiče jsou používány pro dálkové spouštění obvodu, bezpečnosti obvodu a řízení obvodu oblouku. Tělo hořáku se skládá ze tří hlavních částí: elektrody, trysky a ochranné části.

**Elektroda:** Elektroda je z mědi s povrchovou vrstvou niklu s přidáním hafniem. Hafnium je přidáno proto, že v oxidační atmosféře vzduchu oxiduje mnohem pomaleji než wolfram. Toto je zapříčiněno vysokou teplotou tavení jeho oxidů a nitridů, což vede k ochraně elektrody v průběhu procesu řezání.

**Tryska:** Plazmová řezací tryska je používána ke zúžení elektricky ionizovaného plynu do úzkého svazku vysoce koncentrovaného plazmového oblouku. Plazmová tryska je konstruována z mědi s povrchem plátovaným niklem pro zvýšení životnosti.

Při malých řezacích proudech, pod 30 A, se tryska může dotýkat řezaného materiálu, čímž výsledně vzniká úzký řez, vyšší kvality. Při vyšších proudech nad 30 A, tryska musí být v určité vzdálenosti od materiálu, čímž se zabrání jejímu poškození v důsledku tepelného záření kaskádového oblouku.

**Ochranný kroužek** - je konstruován k přímému chlazení plynu v blízkosti trysky. Přispívá také k fokusaci oblouku. Je vyroben z odolného materiálu, který zabraňuje při normálních podmínkách poškození. Pro řezání proudem nad 30 A může pomoci operátorovi v nastavení bezpečné vzdálenosti trysky od řezného materiálu. [7]

#### 3.3.2.4 Jednotlivé fáze řezání

##### 1. Předfuk

Před zapálením vlastního oblouku se spouští tzv. předfuk plazmového plynu. Plazmový plyn je směřován do dvou různých oblastí.

V prvním případě je veden vnitřní tryskou a kolem elektrody ven z hořáku. Toto vzduchové proudění tvoří vysoce objemový cirkulující oblak, který je ionizován elektrickým obloukem a tvoří plazmový oblouk.

Druhá oblast, kam je plyn směřován, je vnější chladicí oblast plazmového hořáku. V tomto případě plazmový plyn působí jako chladicí médium. Odvádí teplo vznikající v plazmovém hořáku, působí k zvýšení životnosti součásti.



## 2. „Pilotní oblouk“

Předfuk plynu trvá obvykle asi 2 sekundy. Po uplynutí této doby je zapálen tzv. pilotní oblouk (Pilotní oblouk - mezi tryskou a elektrodou) vysokým napětím a vysokou frekvencí. Pilotní oblouk usnadňuje zapálení vlastního řezacího oblouku.

Pilotní oblouk obvykle trvá podle konstrukce stroje 2 až 3 s. Namáhá tepelně trysku. Její životnost je dána kromě jiného i počtem startů a délkou hoření pilotního oblouku.

## 3. Startování

K nastartování plazmového oblouku je nutné, aby se pilotní oblouk spojil s elektricky uzemněným řezaným materiálem. Při přibližování hořáku k materiálu se oblouk automaticky přenesl na řezaný kus a je iniciován řezací oblouk o vysokém proudu a relativně nízkém napětí.

Startování je třeba dělat ve správné poloze. Při velkém přiblížení může roztavený kov poškodit trysku hořáku. Při příliš velké vzdálenosti od materiálu může vzniknout kaskádový oblouk.

## 4. Řezací oblouk

Při hoření řezacího oblouku je velmi důležitá pro dosažení kvalitního řezu řezací rychlost. Toto má také zásadní vliv na životnost součástek hořáku. Na základě praktických zkušeností lze konstatovat, že vhodná řezací rychlost je taková, kdy plazmový oblouk je odkloněn dozadu za pohybující se hořák o 5° až 10°. Při této rychlosti se kov nejen taví, ale i odstraňuje z místa řezu.

Když je potřeba startovat uprostřed plechu, je vhodné hořák mít nastaven pod úhlem 45° k preventivní ochraně trysky před odletujícími kapkami roztaveného kovu.

## 5. Dofuk

Po skončení řezání probíhá tzv. dofuk plynu. Dochází k chlazení hořáku, elektrody, trysky a prodlužuje se jejich životnost. Nejčastěji dofuk trvá cca 20 sekund.[7]

### 3.3.3 Laserové řezání

#### 3.3.3.1 Charakteristika procesu

Laser lze považovat z hlediska použitelnosti na širokou škálu materiálů za univerzální prostředek pro řezání – tepelné dělení materiálů, což je umožněno především vysokou hustotou energie v místě dopadu laserového paprsku na materiál. Ammann disponuje dvěma CO<sub>2</sub> lasery typu Trumpf 3030 a Trumpf 4030, které se používají na výrobu dílců, jejichž tloušťka nepřesahuje 20 mm, např. veškeré dílce pro rám kapoty jsou vyhotoveny touto technologií.



Obrázek 16: Řezání laserem ve firmě Ammann

Hlavní mechanismus při řezání laserem je vypařování materiálu. S tím souvisí i tavení materiálu v tepelné ovlivněné oblasti. Tato skutečnost, že dochází částečně k tavení, má hlavní vliv na kvalitu řezu. Proces řezání laserem založený pouze na vypaření materiálu z řezné spáry je teoretický a v technické praxi zatím tohoto stavu nebylo dosaženo.

Vlastní proces řezání materiálu je závislý na druhu řezaného materiálu a na použitém plynu. Uskutečňuje se několika způsoby.

#### 1. Laserové sublimační řezání

Laserový fokusovaný svazek zahřívá materiál na teplotu vypařování a event. přiváděný inertní plyn odstraňuje vzniklé páry z čela řezu. Vzniká úzký řez s vysokou kvalitou řezných ploch. Vhodné jen pro velmi malé tloušťky materiálu.

## 2. Laserové tavné řezání

Silný proud inertního plynu vyfukuje roztavený materiál z řezu. Materiál je ohříván pouze na teplotu tavení, energie potřebná na jednotkovou délku řezu je menší než u předcházejícího způsobu. Častým jevem je zhoršení kvality řezu, který je způsobený tuhnucími kapkami taveniny na spodních okrajích řezu. Používáno často pro řezání plastů.

## 3. Laserové řezání s aktivním plynem

Používá se kyslík, který vyvolává exotermickou reakci při spalování základního materiálu. Tímto se dosahuje rychlejšího ohřevu, vyšší rychlosti řezání s kvalitním povrchem řezu.

Při řezání laserem je paprsek záření generovaný v laserovém zdroji, který je velmi často v neviditelné oblasti spektra (nejčastěji v IR), směřován zrcadly do řezací hlavy, kde je fokusován optikou do ohniska, na povrch či uvnitř řezaného kusu materiálu.

Laserové řezání má svoji „filosofii“. Je možno očekávat obecně splnění požadavků:

- vysoká rychlost
- velmi přesné řezání
- velmi dobré kvality řezu

Při úvahách o konkrétních aplikacích je třeba vybrat hlavní z těchto požadavků, který bude splněn za cenu určitých ústupků v dalších bodech.[7]

### 3.3.3.2 Lasery pro řezání

Pro řezání jsou v současné době používány dvě hlavní skupiny laserů:

- Plynové lasery (s hlavním představitelem: CO<sub>2</sub> laser)
- Pevnolátkové lasery (Nd: YAG laser)

#### 1. CO<sub>2</sub> lasery

Aktivním prostředím je směs CO<sub>2</sub> + dusíku + helia. Tyto lasery poskytují výkon až přibližně 50 kW. Soustavy až o výkonu 4 kW se používají pro řezání laserem se zaostřovací čočkou. Pro vyšší výkony se používají vodou chlazená zrcadla, protože čočky nevydrží vyšší energii paprsku. CO<sub>2</sub> laser vytváří světlo v infračervené části spektra (vlnová délka cca 10 600 nm) a to znamená, že pro lidské oko není viditelný. Vytváření laserového paprsku je založeno na laserových plynech CO<sub>2</sub>, dusíku a heliu. Tyto plyny musí být často obnovovány, protože se spotřebovávají. Jejich kvalita má největší vliv na kvalitu paprsku a jakákoliv nečistota by mohla poškodit optickou část rezonátoru. Plyn je proto nutné dodávat do okruhu z tlakové lahve.

Směs  $\text{CO}_2$  + dusíku + helia tvoří laserové médium a dostává se do nabuzeného stavu pomocí elektrického nebo vysokofrekvenčního výboje. Při uvolnění energie excitované molekuly se vygeneruje foton. Aby vznikl foton, musí molekula oxidu uhličitého projít třemi energetickými hladinami. U  $\text{CO}_2$  je jen velmi málo molekul, které se dostanou do excitovaného stavu. Ke zvýšení počtu excitovaných molekul jsou zapotřebí i ostatní plyny jako dusík a helium. Mezi atomy dusíku a oxidu uhličitého dochází k vzájemné kolizi (srážkám) a tím se dosáhne vyššího počtu excitovaných molekul. Helium napomáhá molekule oxidu uhličitého k odvodu tepla a uvolnění energie z energetické hladiny do klidového stavu tak, aby bylo možné opakovaně excitovat molekuly oxidu uhličitého. [10]

## 2. Nd: YAG lasery

Jsou nejpoužívanější pevnolátkové lasery. Aktivním prostředím je neodymem dopovaný Ytrito-hlinitý krystalická pevná látka  $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ . Pracuje v pulzním i kontinuálním režimu. Čerpací systém je tvořen jednou nebo více výbojkami na bázi kryptonu. Výbojky i krystal se neustále zahřívají a proto jsou chlazeny. Výbojky jsou uzavřeny v dutině rezonátoru, která se volí vždy tak, aby většina světla byla odražena zpět do tzn. dvojitické dutiny. Dutina bývá ke zvýšení odrazivosti pokovena (pozlacena). Jednou z výhod paprsku u Nd: YAG laseru je možnost přenosu pomocí optických vláken, čehož se využívá při nasazení robotů ve výrobě. Což je dáno generovanou vlnovou délkou v blízké infračervené (IR) oblasti = 1064 nm.

Výkon Nd: YAG laserů je obvykle do 1,5 kW. Malá účinnost laseru (cca 5-10%) přináší určité problémy. Zdroj přívodu energie je značně vysoký a většina energie je přeměňována v teplo, z čehož plynou vysoké nároky na chlazení. Jestliže nestačíme dostatečně chladit krystal, tepelné pnutí může způsobit jeho zakřivení. Krystal potom působí jako čočka a odchyluje záření. [10]

Výběr optimálního laseru pro dané konkrétní použití závisí především na druhu materiálu, který má být řezán, tloušťce, geometrii řezů a samozřejmě na vyžadované kvalitě řezu (dle ČSN EN ISO 9013). Na trhu je řada odlišných laserových systémů, které jsou specifikovány různými kombinacemi vlnové délky, výstupního výkonu, energii v pulsu, délkou pulsu, opakovací frekvencí, modem, polarizací svazku atp. Ve většině případů je výběr laseru pro řezání kompromisem z hlediska optimalizace výše uvedených parametrů. [7]

## 3.4 Technologie tváření za studena

Tváření pod rekrystalizační teplotou materiálu nazýváme tvářením za studena a uskutečňuje se tím trvalá změna tvaru materiálu bez odběru třísek působením vnější síly. Podle převládajícího průběhu deformace je:

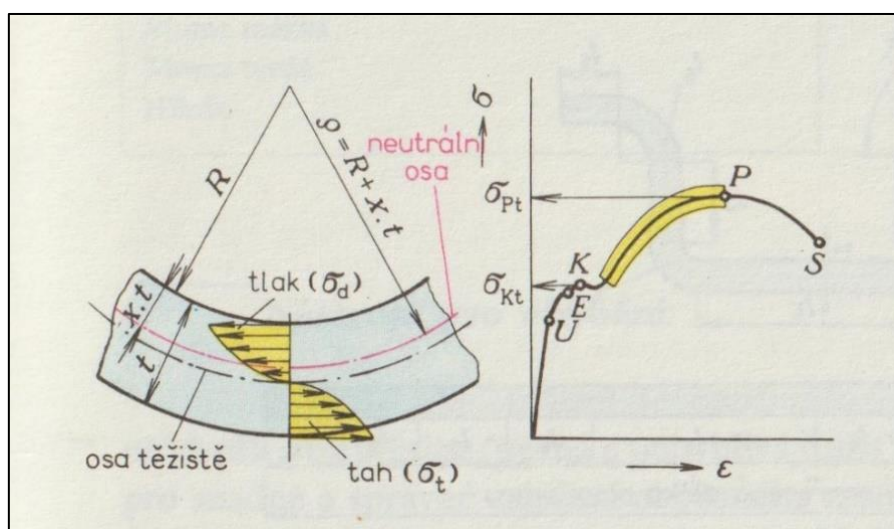
**1. Tváření plošné**, při kterém se dosáhne žádaného tvaru součásti (převážně z plechu) bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu. Mechanické vlastnosti se nemění.

**2. Tváření objemové**, při kterém se dosáhne žádaného tvaru součásti změnou průřezu nebo tvaru výchozího materiálu. Objem materiálu zůstává konstantní, ale nastává jeho zpevnění a pokles tažnosti, což ovlivňuje rozsah použitých tvářecích operací.

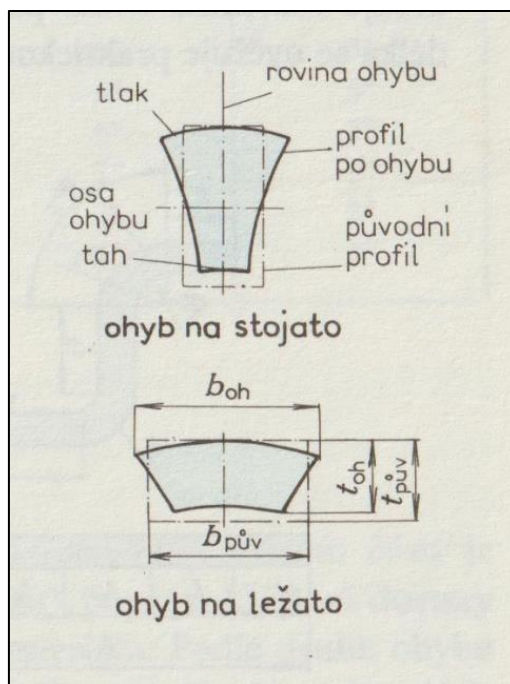
Tváření za studena se rozšířilo proto, že má mnoho předností, tj. velkou výkonost, nízké výrobní náklady, malé ztráty materiálu odpadem a příznivé podmínky pro automatizaci. Praxe dokonale prokázala tyto přednosti a účelnost v moderní průmyslové výrobě. [6,8]

### 3.4.1 Ohýbání

Ohýbání je trvalé deformování materiálu, při kterém je materiál trvale deformován do různého úhlu ohybu s menším nebo větším zaoblením hran. Nástrojem je ohýbadlo, výrobkem výlisek. Charakterem práce patří do plošného tváření. 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) a dosahují hodnot  $\sigma_{Kt}$  až  $\sigma_{Pt}$ , tj. oblasti trvalé deformace materiálu. [6,9]



Obrázek 17: Velikost napětí v krajních vláknech ohýbaného materiálu [6]



Obrázek 18: Deformace průřezu v místě ohybu [6]

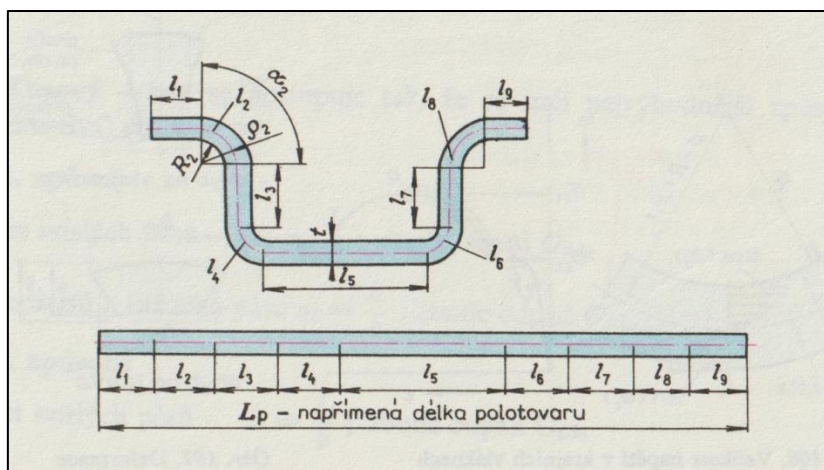
Při ohybu jsou větší průřezy více deformovány než průřezy menší. Kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou tahová napětí malá a dosahují meze  $\sigma_U$  nebo  $\sigma_K$ . V přechodu mezi tímto pásmem jsou vlákna bez napětí a bez deformace. Jejich spojnice tvoří tzv. **neutrální osu (plochu)**, ve které není napětí a která se při ohýbání neprodlouží ani nezkrátí. Neutrální osa (vlákno) je v ohýbané části materiálu posunuta k vnitřní straně ohybu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu (profilu). U tenkých plechů není tento rozdíl purný. Při ohýbání tlustých plechů se však musí s touto okolností počítat. Vzdálenost  $x$  (viz obr. 18), která charakterizuje polohu neutrální osy, závisí na poměru  $R/t$  a je v tab. 6.

Tabulka 6: Hodnoty součinitele  $x$  [6]

R/t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	Nad 5
$x$	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50

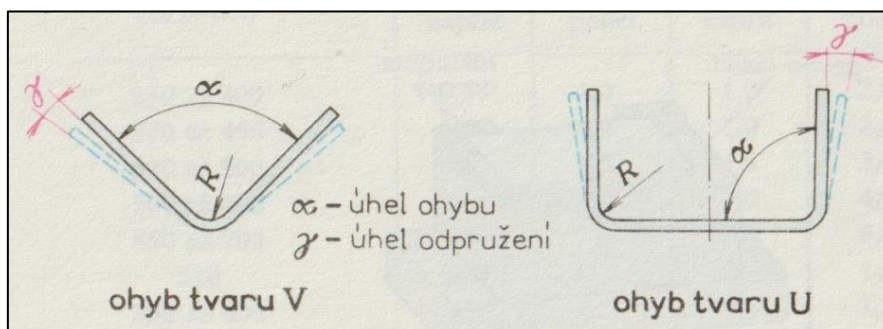
Z délky neutrální osy v ohýbaných částech a z délek rovných úseků se určuje rozvinutá délka polotovaru před ohybem. Vypočítaná délka se ověřuje praktickou zkouškou.





Obrázek 19: Stanovení délky polotovaru [6]

Zpětné odpružení ohýbaných součástí (výlisků) je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu  $R$  a způsobu ohýbání. Bývá v rozsahu 3 až 15°. Odpružení se většinou omezuje tím, že se materiál ohne více než hodnotu úhlu odpružení. Kalibrační nebo prolisy výlisku se odpružení téměř odstraní.



Obrázek 20: Odpružení materiálu po ohybu [6]

Tabulka 7: Hodnoty úhlů odpružení [6]

Materiál		R/t	
		0,8 až 0,2	>2
Ocel	320 MPa	1°	3°
	320 až 400 MPa	3°	5°
	400 MPa	5°	7°
Mosaz měkká		1°	3°
Mosaz tvrdá		3°	5°
Hliník		1°	3°

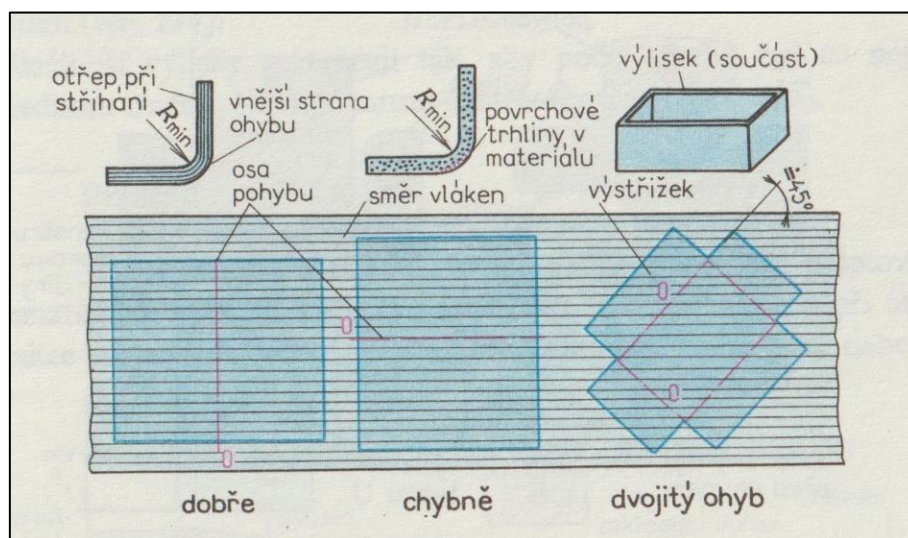
### 3.4.1.1 Hlavní technologické zásady

Tyto zásady vyplývají z nedokonalosti technologického procesu ohýbání a z vlastností ohýbaného materiálu. Stručně je lze vyjádřit takto:

Poloměr ohybu volit se zřetelem na odpružení co nejmenší. Vzhledem k tvárnosti a tloušťce ohýbaného materiálu je však vhodné poloměr ohybu co největší. Minimální přípustný poloměr ohybu musí odpovídat plastičnosti ohýbaného materiálu a nesmí dovolit vzniku trhlin.

$$R_{min} = kt \quad (4)$$

Kde  $k$  je součinitel závislý na druhu materiálu a způsobu ohýbání a  $t$  je tloušťka materiálu. Osa ohybu by měla být kolmá na směr vláken materiálu. Odpružení materiálu je sice větší, ale není nebezpečí vzniku trhlin na vnější straně ohybu. Tento požadavek se těžko dodržuje pro potíže se značením směru vláken. Proto je třeba volit vhodný poloměr ohybu (volí se poměr ohybu větší). Otřep vzniklý při stříhání musí být na vnitřní straně ohybu nebo je nutno jej odstranit broušením, což je nákladné. U dvojitého ohybu mají být vlákna materiálu k ose ohybu v úhlu kolem  $45^\circ$ .



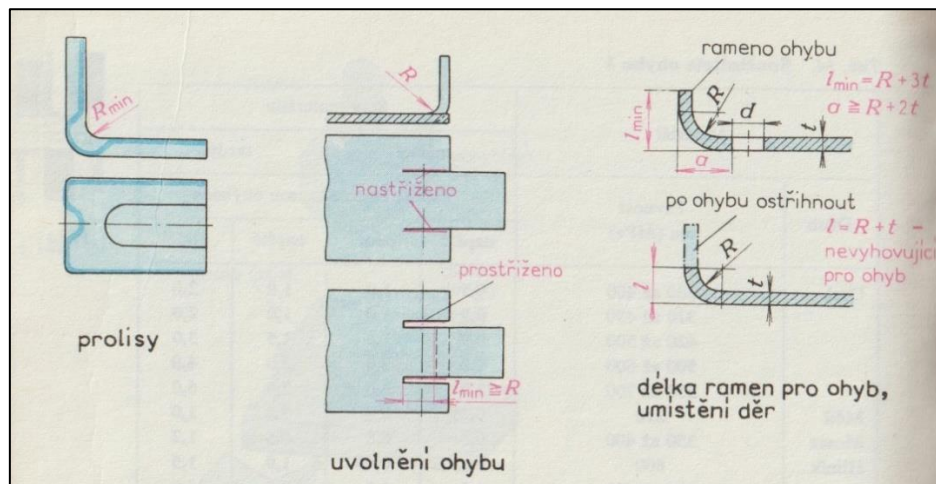
Obrázek 21: Vliv směru válcování na ohýbání [6]

Ke zvýšení tuhosti výlisku a zmenšení odpružení ramen se dělají na součástech prolisy s malými poloměry zaoblení (viz obr.22).

Materiál v místě ohybu má být uvolněn od neohýbaných částí, nastřížením nebo prostřížením (viz obr. 22).



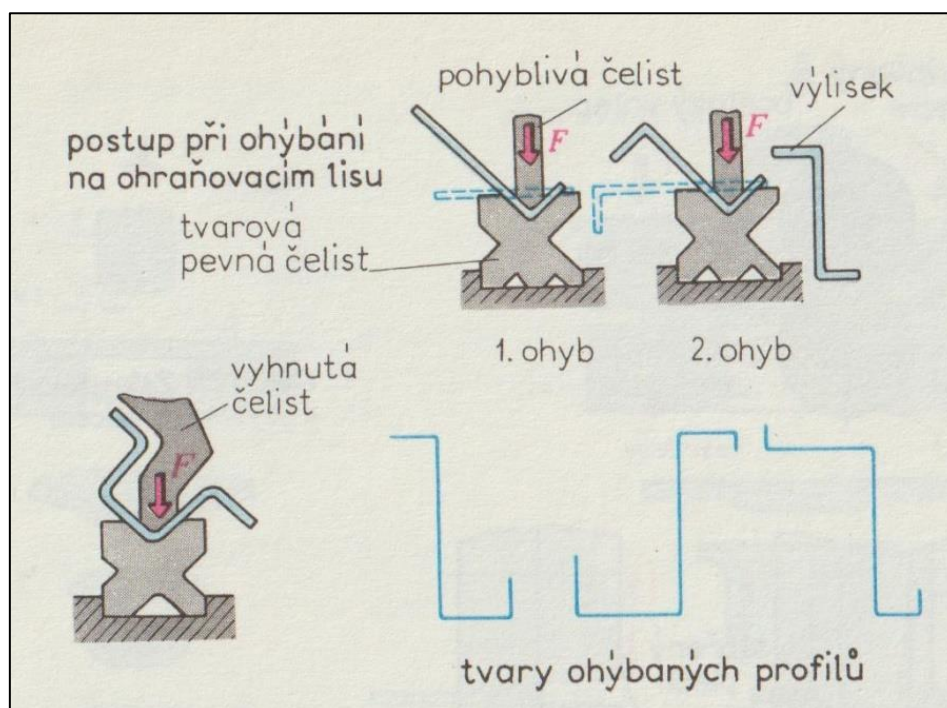
Ohýbaná ramena výlisku musí mít určitou délku, jinak není ohyb správně veden. Nemají-li se díry ohybem deformovat, musí být umístěny v určité vzdálenosti od kraje ohybu.



Obrázek 22: Konstrukční úprava výlisků pro ohyb [6]

Na výkrese výlisku se uvádějí rozměry, které určí funkční rozměry ohýbadla. Oblouky s většími poloměry se kótují s uvedením výšky oblouku.

Ohýbat (ohraňovat) plechy a pásy v obou směrech lze na ohraňovacích lisech. Výměnou pohyblivých a pevných čelistí lze ohýbat do nejrůznějších tvarů. K tomu v Ammannu slouží dva ohraňovací lisy Ursviken 160t a 320t na nichž lze ohýbat veškeré dílce do tloušťky 30 mm. Jelikož rámy veškerých strojů vyráběných jsou svařence z plechových výlisků je ohraňování v Ammannu hojně využíváno. [6]



Obrázek 23: Ohýbání plechu na ohraňovacích lisech [6]

## 4 Optimalizace

Praktická část bakalářské práce se týká optimalizačních změn rámu „kapoty“. Autor bakalářské práce týmově spolupracoval s konstruktérem Ing. Michalem Hůlkou odpovědným za změny prováděné na rámu kapoty a zadním rámu, kterému byl nápomocen, během konstrukčních úprav a změn. Přitom se pokoušel aktivně využívat poznatky ohledně návrhu svařenců, které jsou rozebrány v teoretické části. Při optimalizaci byla snaha upravit a změnit výrobní proces nebo dílec tak, aby výsledek byl co nejefektivnější. Hledali se dostupná řešení a vybírali taková, které nejlépe odpovídala stanoveným požadavkům.

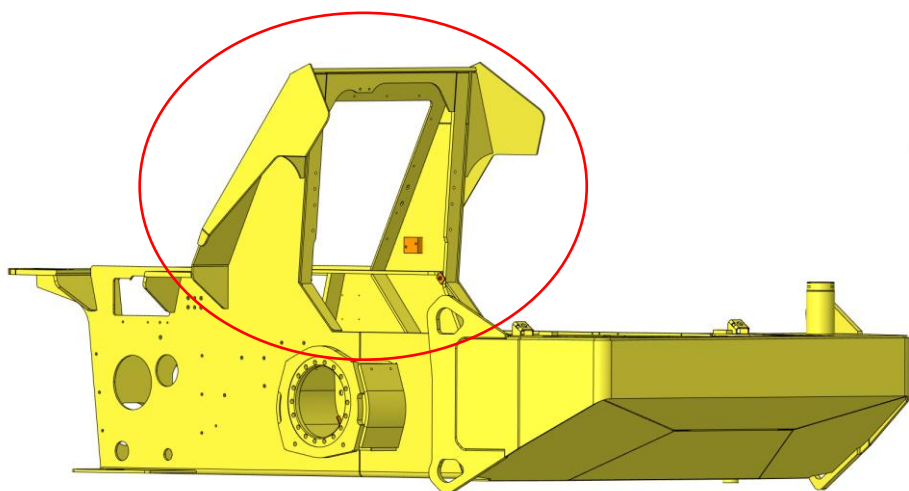
Na optimalizaci je možné nahlížet z různých hledisek. Optimalizovat můžeme z hlediska zlepšení kvality povrchu, trvanlivosti výrobku, zvýšení bezpečnosti práce, ale také za účelem snížení nákladů na výrobek. Právě optimalizace za účelem snížení nákladů je cílem této bakalářské práce. Snažit se nalézt „co nejlevnější“ možné konstrukční řešení, při čemž bychom však neměli opomenout ani malé optimalizační změny, které se zdají na první pohled nepodstatné, ale mohou zásadně snižovat náklady spojené s výrobou. Na druhou stranu je třeba si uvědomit, že při návrhu optimalizačních změn, nesmíme opomenout zachování vlastností jako je spolehlivost a životnost, to jsou neméně důležité vlastnosti a to zejména u stavebních strojů. Když se podaří tyto cíle naplnit, může firma nabídnout zákazníkovi nižší cenu než konkurence a získat si ho. Proto je důležité nebýt s výsledkem nikdy plně spokojen a snažit se nalézt stále lepší řešení. Výsledkem těchto optimalizačních změn by měla být konstrukce splňující funkční požadavky, které na ní jsou kladeny a nejnižší možné náklady spojené s výrobou i spotřebou materiálu. [11]

### 4.1 Možnosti optimalizace

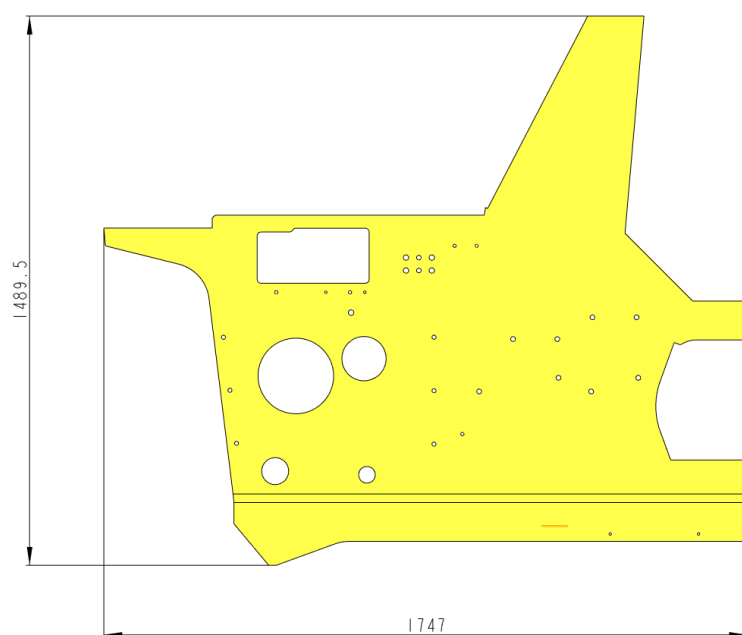
Jedním ze zásadních kritérií, které ovlivňují náklady spojené s výrobou rámu kapoty, je využití nakupovaného materiálu, množství svarových spojů a pracnost. To vede k prozkoumání dané sestavy, vytipování dílců vhodných k optimalizaci a následně k návrhu nového řešení při zachování funkčnosti dílců.

## 4.2 První verze optimalizace rámu kapoty

V původní konstrukční verzi, která je předmětem optimalizace je rám kapoty jako takový, součástí zadního rámu. Rám kapoty je sestavou skládající se z 13 dílců, které jsou k sobě postupně svařovány s dalšími komponenty zadního rámu (viz obr. 4, 5 a tab.1). Materiál je volen s ohledem na pracovní prostředí, namáhání a výrobní technologii. Jedná se o oceli S355J2+N a S355MC, u kterých je zaručená svařitelnost a potřebné vlastnosti pro tváření za studena.



Obrázek 24: Zvýraznění rámu kapoty, který je součástí zadního rámu [3]



Obrázek 25: Rozvin levé bočnice se zakótovaným rozměrem polotvaru [6]

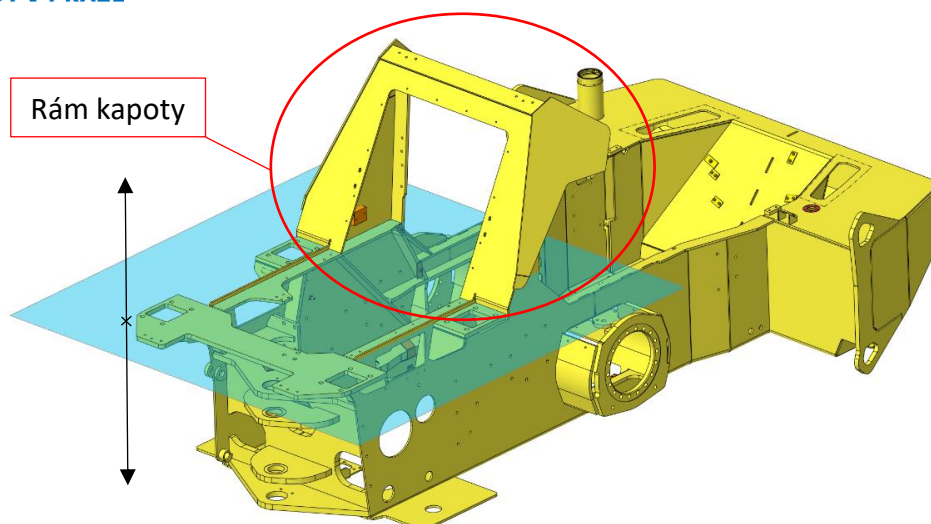
Již při prvním pohledu na rám upoutává, že jsou bočnice vyráběny v jednom kuse, jelikož firma počítá polotovar jako součin největšího šířkového a délkového rozměru, což má za následek nízké využití materiálu.

$$\begin{aligned} \text{Plocha bočnice} \quad S_1 &= 1\,223\,574 \text{ mm}^2 \\ \text{Plocha polotovaru} \quad S_2 &= 2\,603\,030 \text{ mm}^2 \\ S_{\text{využitá}} &= \frac{1\,223\,574}{2\,603\,303} = 0,4700 \rightarrow 47\% \end{aligned} \quad (5)$$

Nízkému využití materiálu napomáhá také to, že volné místo v polotovaru se nedaří v pálicím plánu co nejefektivněji zaplnit ostatními vyráběnými dílci. Jejich tvar buď nezapadá do volného místa v polotovaru, nebo nejsou v souladu tloušťky dílce s bočnicí. A právě zmiňovaná tloušťka je dalším faktorem ovlivňující využití materiálu. Jelikož čím více dílů jedné tloušťky tvoří stroj, tím lépe se daří využít plochu nakupované tabule plechu. Z tohoto důvodu je snaha tloušťky sjednotit, což může přinést lepší využití materiálu, ale mimo jiné i místo ve skladovacích prostorech.

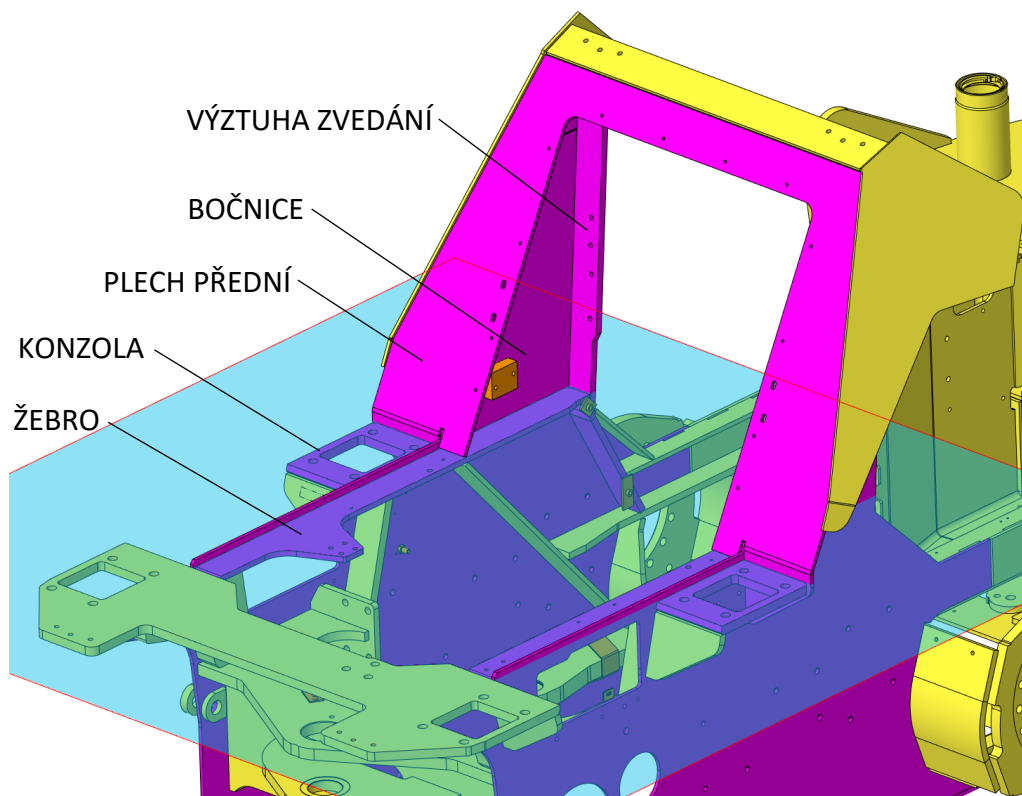
Tyto důvody, ale také poznatky po dokončení prototypu přináší požadavky rám kapoty optimalizovat. A to nejen z důvodu lepšího využití materiálu, ale také obtížnosti montáže. Jelikož při zástavbě motoru rám kapoty překáží a znesnadňuje manipulaci s motorem, který musí být pod rám kapoty složitě vsouván. To by v sériové výrobě navyšovalo pracnost a tím také náklady.

Po detailním prozkoumání sestavy, zhodnocení všech faktů a konzultacích s technologií výroby, bylo navrženo rozdělit rám na dvě samostatné sestavy a to rám „zadní“ a rám „kapoty“. Úprava bočnice by měla přinést lepší využití materiálu, jelikož nový tvar zmenší potřebu na velikost polotovaru. Z hlediska montáže by změna měla usnadnit manipulaci s motorem a montáž by se stala méně obtížná, pracná a časově náročná.



Obrázek 26: Od dělicí roviny směrem vzhůru je červeně vyznačen rám „kapoty“, směrem dolů je rám „zadní“. [3]

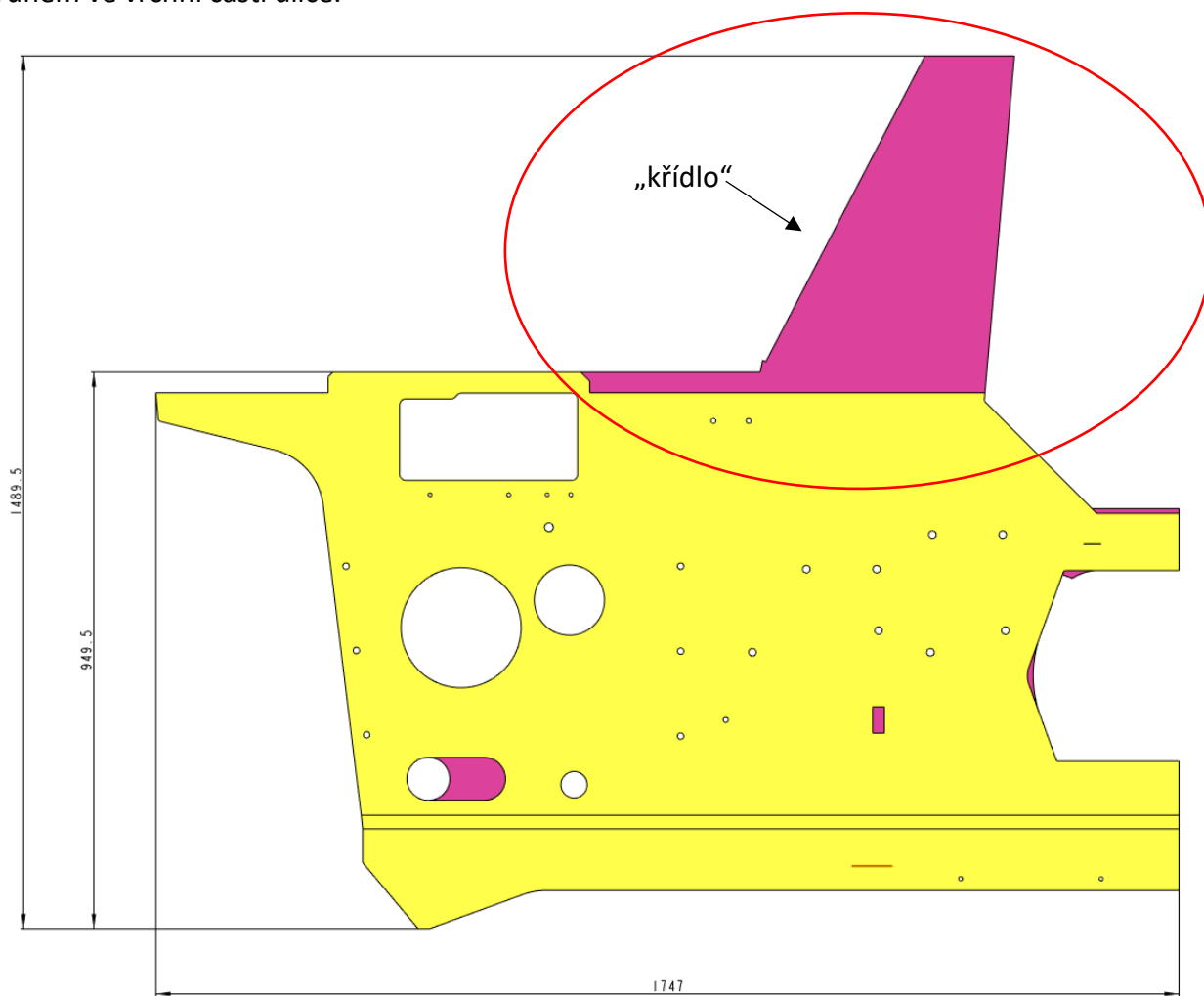
Abychom byli schopni tuto změnu provést, je nutné určit dílce, kterých se bude změna týkat. V našem případě se bude jednat o dílce, které protíná rovina v úrovni žeber. Toto místo se jeví na oddělení jako nejjednodušší. Konkrétně se jedná o úpravu bočnic rámu, předního plechu, výztuh zvedání, konzol a žeber. Tyto změny musí proběhnout takovým způsobem, aby zůstaly zachovány funkční vlastnosti rámu. Nově vzniklé samostatné rámy, je nutné přichytit k sobě. To se bude realizovat šroubovými spoji.



Obrázek 27: Vyznačení dílců protnutých dělicí rovinou, kterých se bude optimalizace týkat [3]

### 4.2.1 Bočnice

V první řadě je nutné se zaměřit na změnu bočnice rámu, ta se týká oddělení bočnice nosníku („křídla“) od bočnice, také je nutné odebrat materiál v zadní části z důvodů sdružení žebra s konzolou. Na bočnici jsou provedeny i další změny, ale ty se ovšem provádějí z důvodu optimalizace celého zadního rámu, změna týkající se rámu kapoty je vyznačena červeným kruhem ve vrchní části dílce.



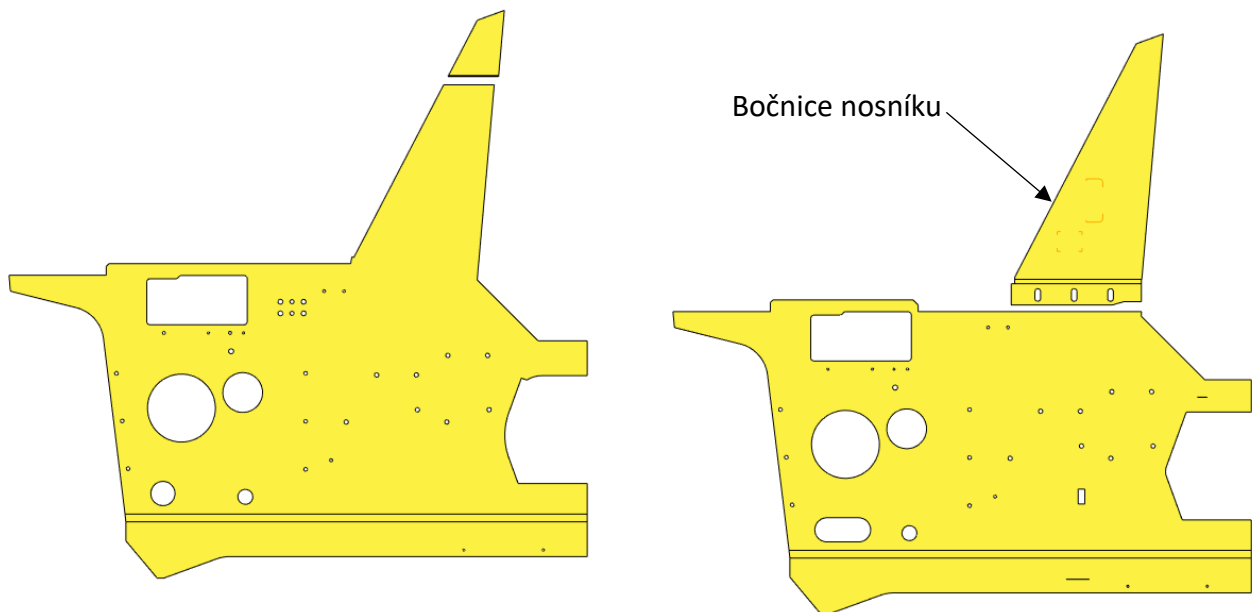
Obrázek 28: Barevné vyznačení odlišností, růžový je verze bočnice před optimalizací, žlutě verze bočnice po optimalizaci [3]

Z obrázku je patrné, že se tímto oddělením podstatně zlepšilo využití materiálu.

$$\begin{aligned}
 \text{Plocha bočnice po optimalizaci} \quad S_1 &= 1\,034\,000 \text{ mm}^2 \\
 \text{Plocha polotovaru po optimalizaci} \quad S_2 &= 1\,659\,650 \text{ mm}^2 \\
 S_{\text{využitá po optimalizaci}} &= \frac{1\,034\,000}{1\,659\,650} = 0,6230 \rightarrow 62,30 \% \quad (6)
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2 Bočnice nosníku

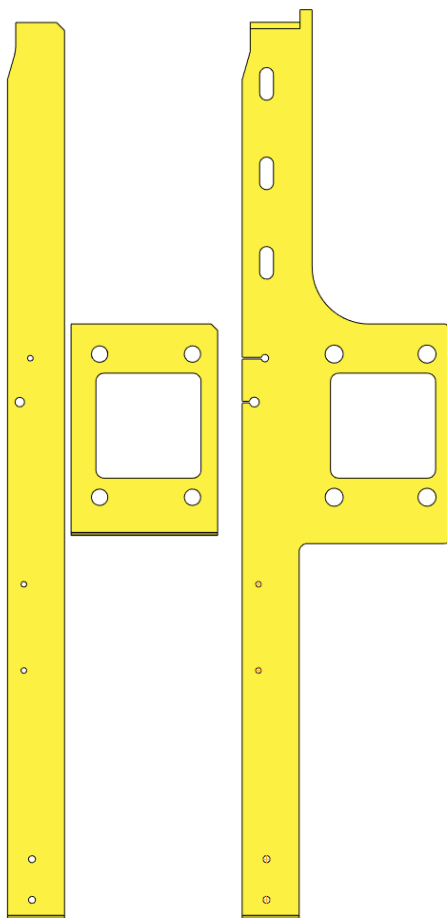
Oddělnou bočnici nosníku je také nutno pozměnit, jedná se o přidání lemu, který je stykovou plochou mezi rámy, v lemu se musí vyhotovit díry pro možné sešroubování. Bočnice nosníku je nyní také vyrobena v jednom kuse a nemusí na ní být navařován vrchní dílec.



Obrázek 29: Vlevo - bočnice rámu ještě v jedno kuse s "křídlem" a navařovaným vrchem bočnice, vpravo - je již bočnice nosníku oddělena a upravena [3]

### 4.2.3 Konzola

Sjednocení konzoly s žebrem se týká úpravy zadního rámu, ovšem aby změny na rámu kapoty byly realizovatelné, je nutné provést tuto úpravu. Snahou je docílit úplného přilehnutí stykových ploch upravené konzoly a oddělené bočnice nosíku. To je důležité, jelikož v těchto místech je navrženo spojení rámu sešroubováním, z toho důvodu se také vytvořily díry ve vrchní části konzoly.

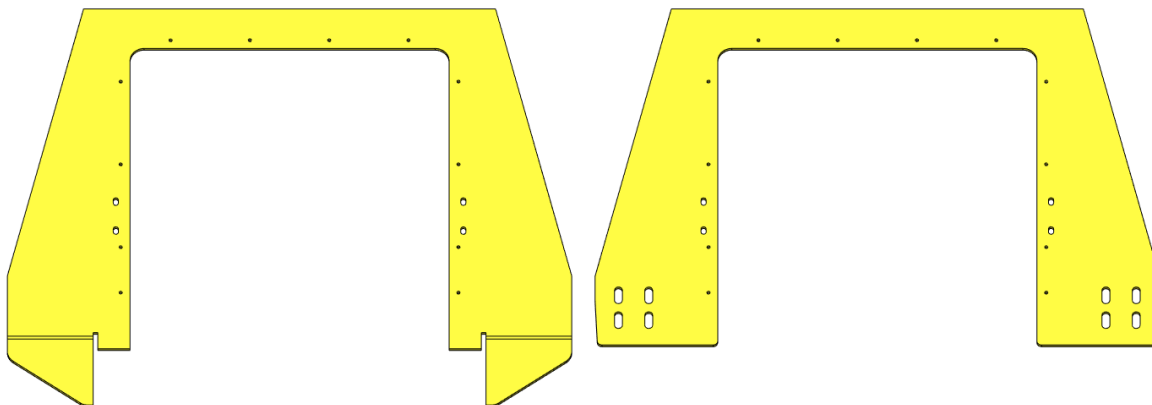


Obrázek 30: Vlevo - původní verze žebra a konzoly, vpravo - díl po konstrukčních úpravách [3]

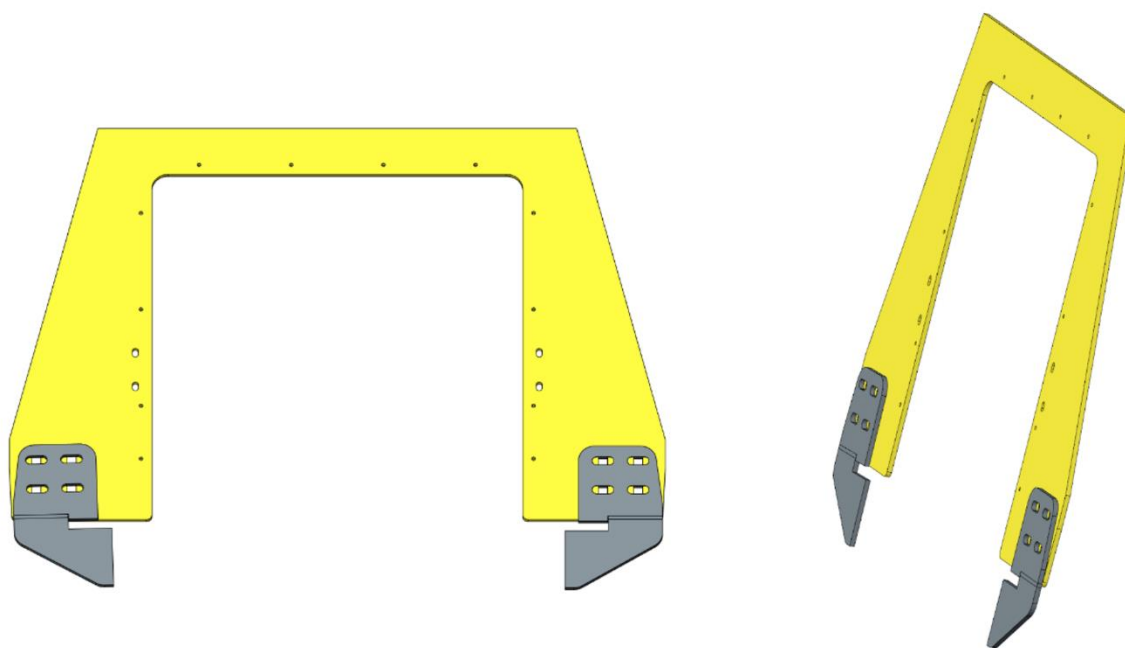


#### 4.2.4 Plech přední

Úprava předního plechu spočívá v jeho rozdělení na 3 díly. Od původního se musely oddělit žebra, která se stávají samostatnými díly. V žebrech a předním plechu je nutné vyřezat díry pro šrouby, aby se spojily rámy i v přední části.



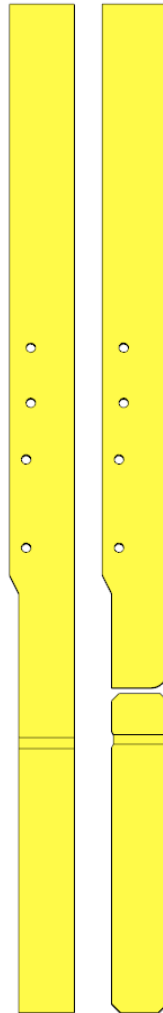
Obrázek 31: Vlevo - přední plech před oddělením žebor, vpravo - po oddělení žebor a s vyhotovenými dírami pro šrouby [3]



Obrázek 32: Přední plech se žebry po, optimalizaci [3]

#### 4.2.5 Výztuha zvedání

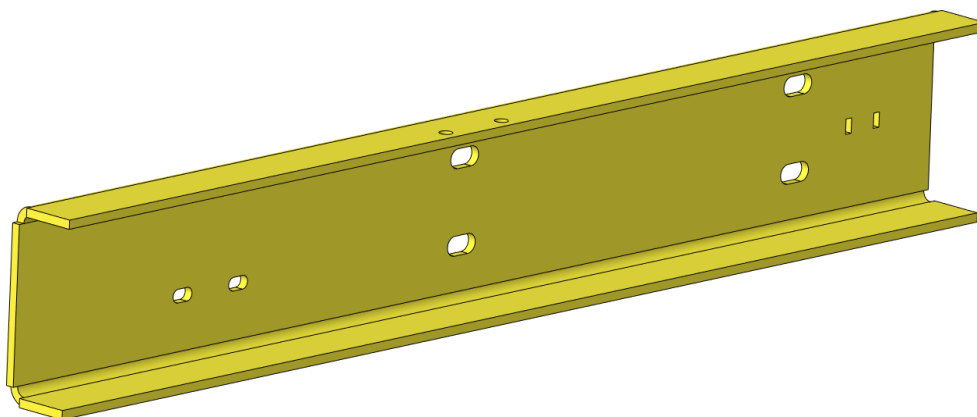
Dále je třeba upravit výztuhy zvedání, změna spočívá pouze v jejich rozdělení na dvě části v rovině řezu.



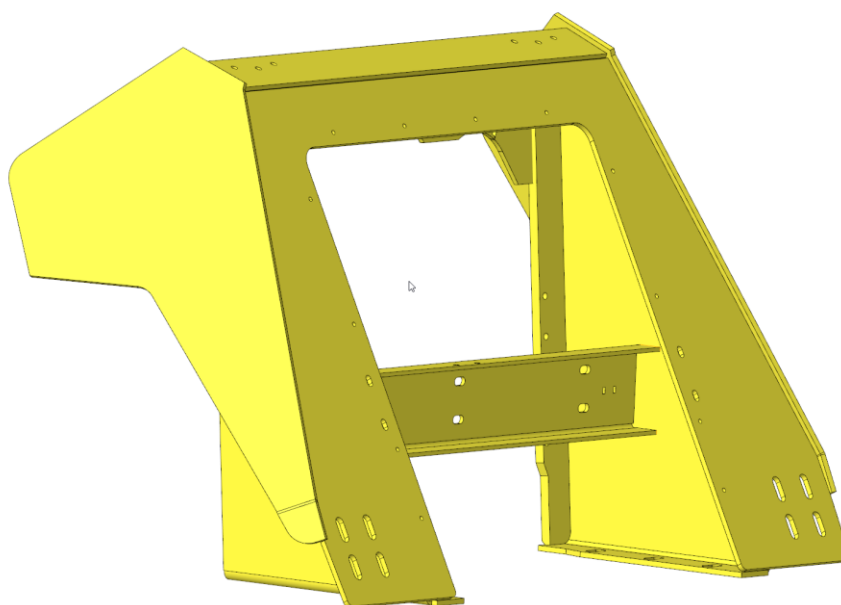
Obrázek 33: Vlevo - výztuha před rozdělením, vpravo - výztuha po oddělení [3]

#### 4.2.6 Příčník

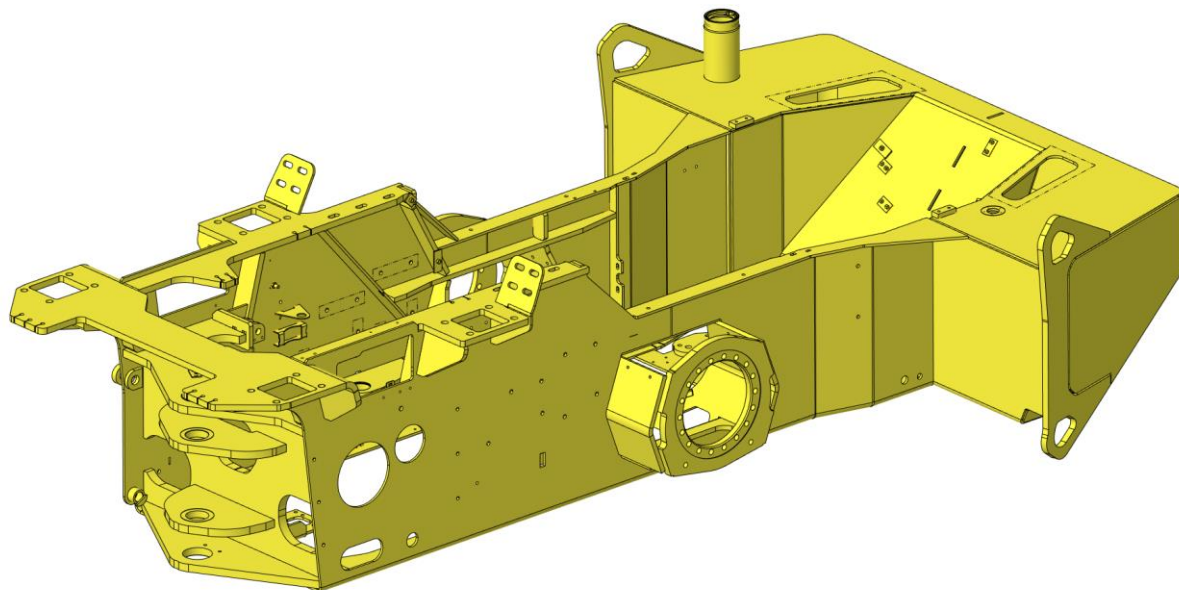
Nově je rám kapoty také opatřen příčníkem, to přináší výrazné zjednodušení konstrukce rámu výfuku, která byla přišroubována k přednímu plechu a výztuhám zvedání. Mimo jiné také příčník vyztužuje spodní část rámu kapoty, konstrukce je díky příčníku při manipulaci méně náchylná k poškození, mimo jiné zamezuje deformacím, které by mohly nastat při svařování.



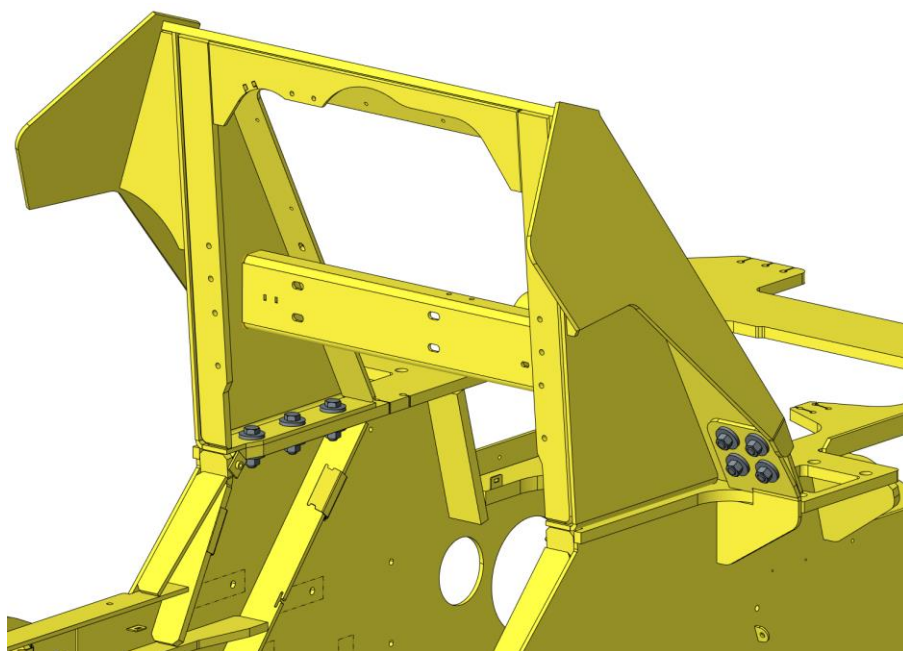
Obrázek 34: Příčník [3]



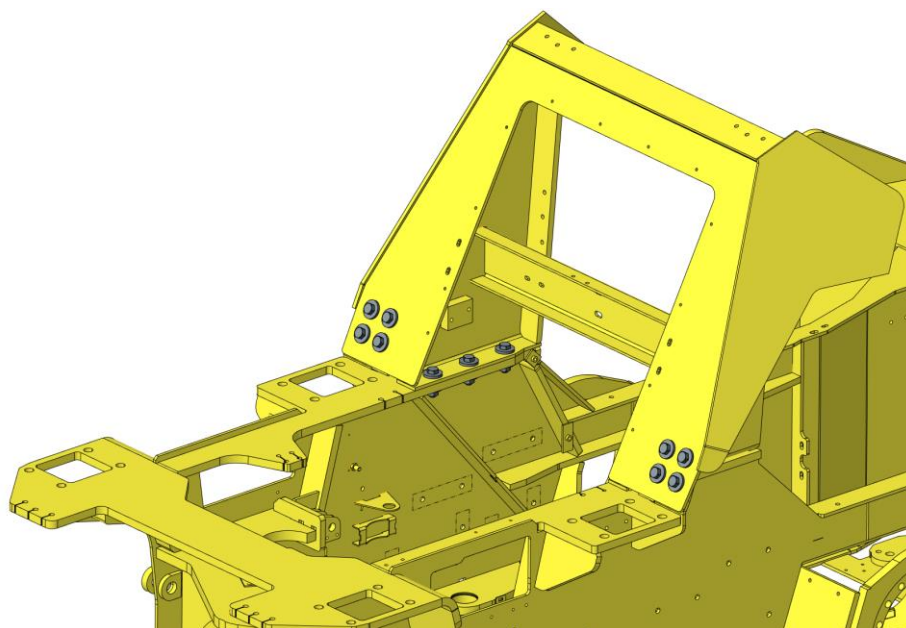
Obrázek 35: Samostatná sestava rámu kapoty po oddělení [3]



Obrázek 36: Rám zadní po oddělení rámu kapoty [3]



Obrázek 37: Detail sešroubování rámu dohromady zezadu [3]

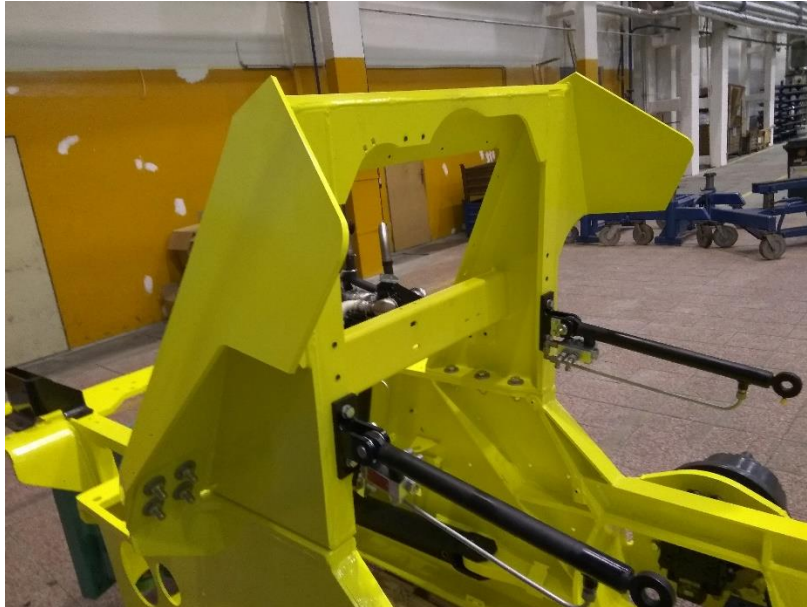


Obrázek 38: Detail sešroubování rámu zepředu [3]

Tyto změny přináší mnohem snadnější montáž motoru, jelikož bude možné rám kapoty přišroubovat k zadnímu rámu až po zastavení motoru. Nový tvar bočnic zadního rámu přispívá k lepšímu využití polotovaru, díly lze snadněji zakomponovat do pálicího plánu, tomu napomáhá i sjednocení tlouštěk dílců, tím bylo docíleno toho, že kromě nosníků kapoty, které jsou řezány z 15 mm plechu a příčnicku vyrobeného z 6 mm plechu, lze celý rám kapoty vyřezat z plechu tloušťky 8 mm a tím lépe využít nakupovaný materiál.

Tabulka 8: Porovnání tlouštěk dílců původní a optimalizační verze [3]

Dílec	Tloušťky dílců v původní verzi [mm]	Tloušťky dílců po optimalizaci [mm]
Plech blatníku levý	6	8
Plech blatníku pravý	6	8
Výztuha blatníku (2ks)	6	8
Nosník kapoty	15	15
Plech přední	8	8
Plech těsnění	6	8
Bočnice levá	8	8
Bočnice pravá	8	8
Výztuha zvedání levá	15	15
Výztuha zvedání pravá	15	15
Vrch bočnice (2ks)	8	-
Příčník	-	6



*Obrázek 39: Rám kapoty po optimalizaci*

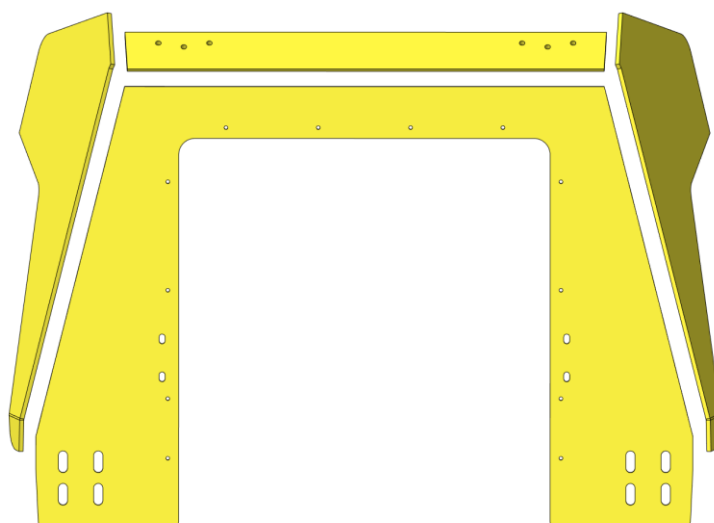
### 4.3 Druhá verze optimalizace rámu kapoty

Po realizaci optimalizačních změn v první verzi byl navržen požadavek na opětovné přezkoumání a snížení nákladů. Dalším důvodem, který vede ke konstrukčním změnám je osazení stroje novým typem kapoty. Je tedy zapotřebí celý proces zopakovat. Znovu se zaměřit na sestavu rámu kapoty a snažit se nalézt díly, které by mohli podléhat optimalizaci.

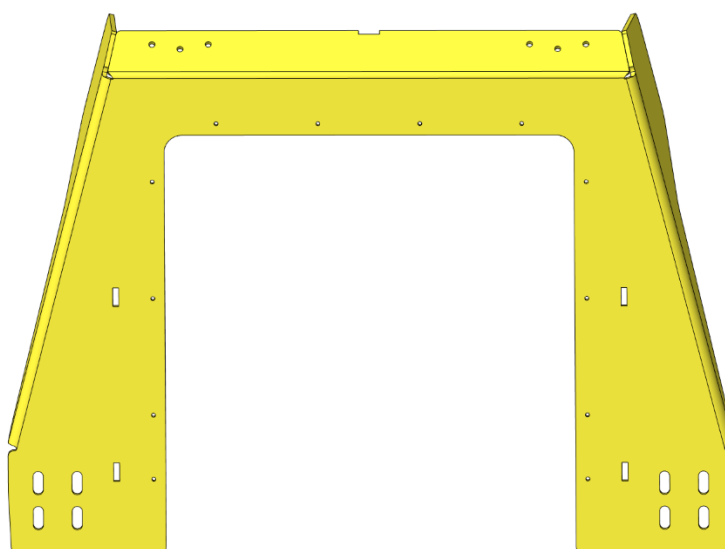
Po prozkoumání vychází najevo, že budeme optimalizovat z hlediska výrobních technologií. Sestava totiž disponuje několika dílci svařovanými k sobě. Jelikož je svařování nejdražší výrobní operací, je snaha ho ve výrobním procesu co nejvíce minimalizovat. Jako nástroj k minimalizaci potřeby svařovat použijeme redukci dílů a maximální využití technologie tváření za studena, ta je oproti svařování mnohonásobně levnější.

### 4.3.1 Plech přední

Přední část rámu se skládá z předního plechu, ke kterému jsou navařeny plechy blatníku a nosník kapoty. Tyto 4 díly tvoří sestavu, na kterou je zapotřebí 2 336 mm svaru, tento fakt vede ke sdružení dílců do jednoho a namísto řezání jednotlivých komponent a postupnému svařování, vyřezat jeden polotovar, který se následně ohraní do požadovaného tvaru. Změna přináší snížení nákladů na řezání a svařování. Plech je také opatřen zámkou pro snadnější ustanovení do správné polohy s ostatními dílci.



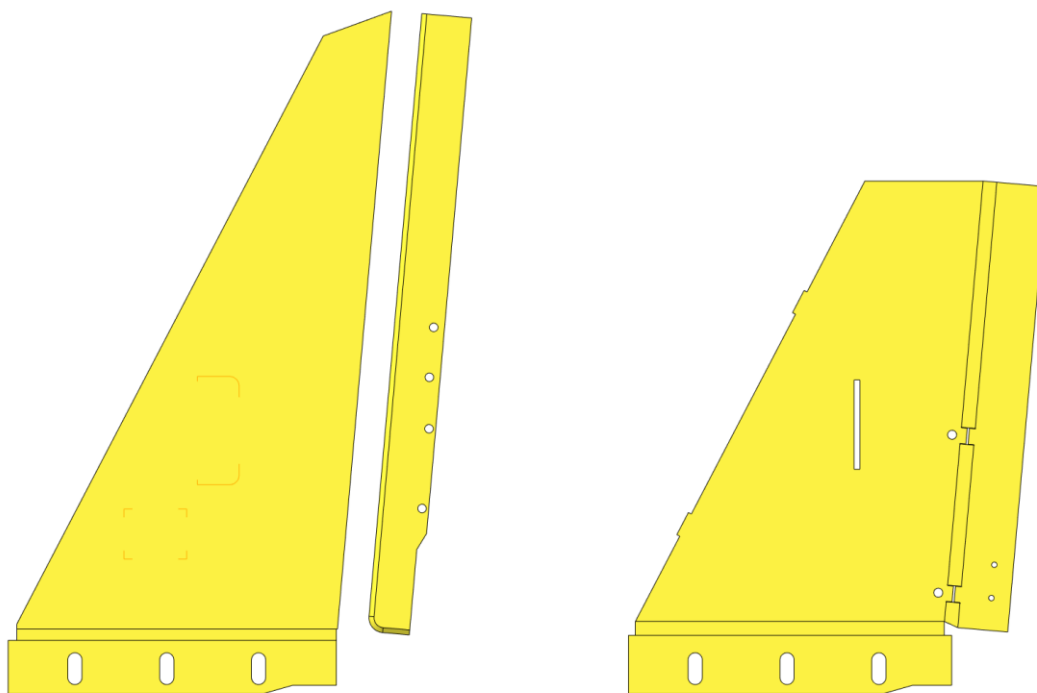
Obrázek 40: Původní sestavení dílců k sobě [3]



Obrázek 41: Plech přední po optimalizaci a ohranění [3]

### 4.3.2 Bočnice nosníku

Bočnice podléhá dalším změnám, namísto přivařování výztuh k bočnicím, se tyto dva dílce sdruží a po vyřezání se ohraní do požadovaného tvaru. Celá bočnice je navíc zkrácena a opírá se o optimalizovaný plech těsnění. Také je nově vybavena zámky pro zasazení příčnicku a předního plechu. Tyto změny redukovaly délku svarového spoje o 1064 mm.

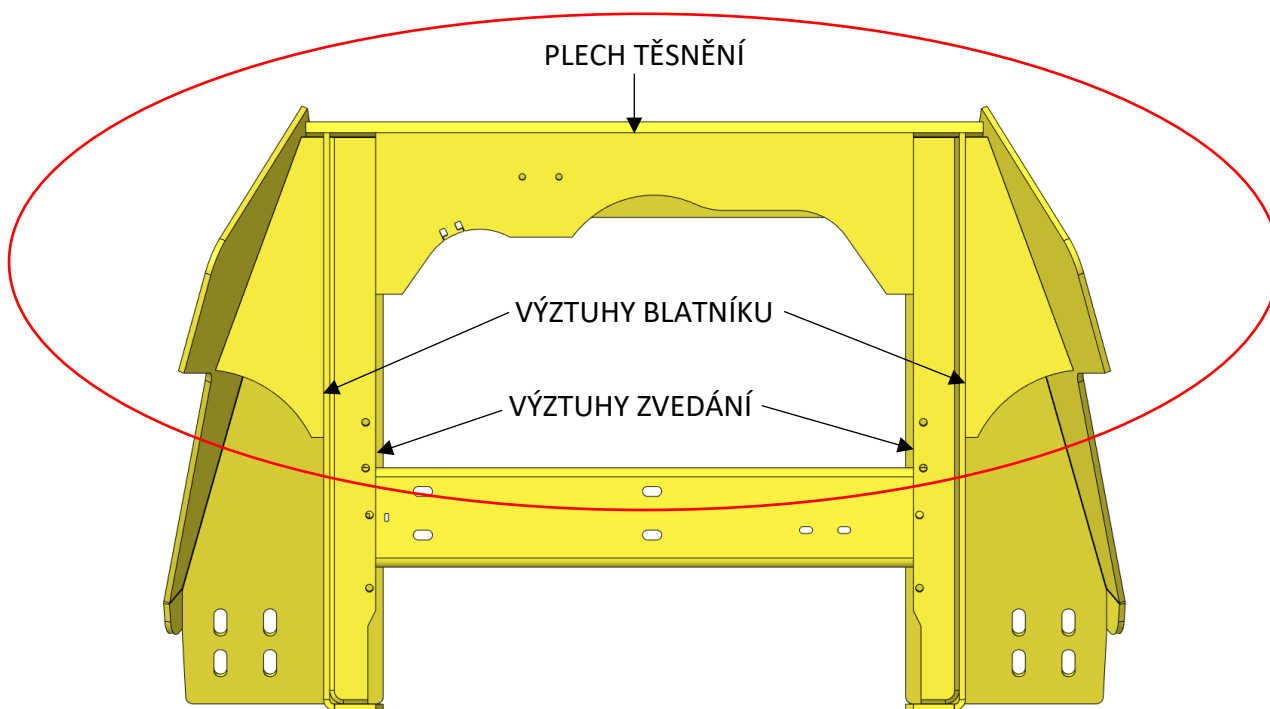


Obrázek 42: Vlevo bočnice a výztuha prozatím odděleně, vpravo je bočnice po optimalizaci [3]

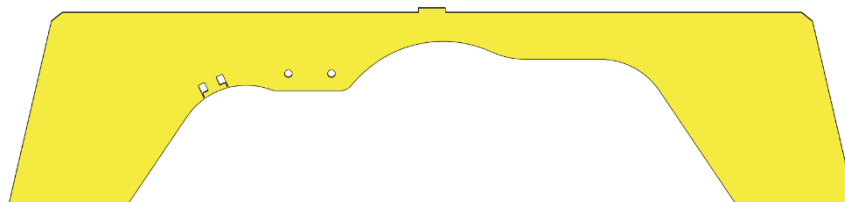
### 4.3.3 Plech těsnění

Plech těsnění byl přivařován v horní části k nosníku kapoty a ze stran mezi výztuhy zvedání. Přivařením vzpěry blatníku mezi bočnicí a plech blatníku, došlo k propojení celé vrchní části. Ovšem je zapotřebí vyhotovit 2 594 mm svaru. Z toho důvodu bylo navrženo sdružit dohromady podpěry blatníku, část výztuhy zvedání a plech těsnění v jeden dílec. Tato změna přináší úsporu času při řezání a délka svarových spojů se zmenšila o 1 144 mm.





Obrázek 43: Vyznačení dílců sružených do jednoho [3]

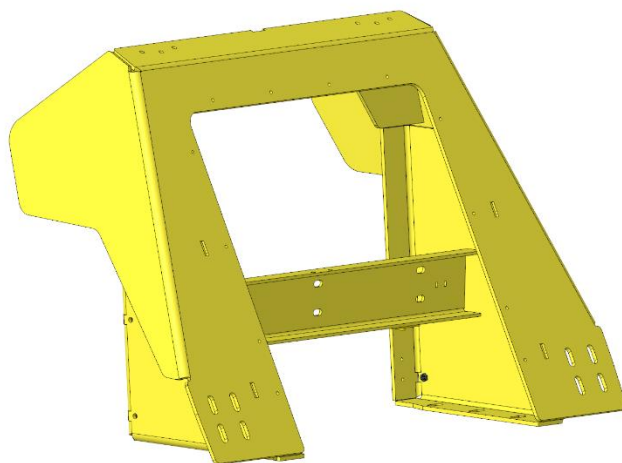


Obrázek 44: plech těsnění po sružení [3]

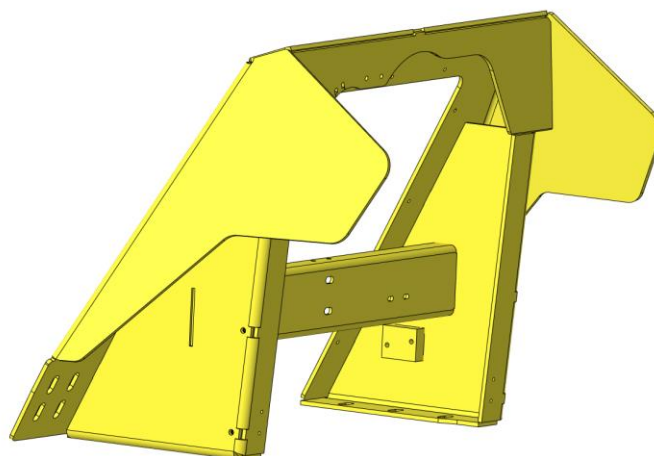
Redukcí dílů a sjednocením tloušťek všech dílců kromě příčnicku, se z 12 dílné sestavy podařilo vytvořit 5 dílnou, tím se zmenšila náročnost na logistiku a místo ve skladovacích prostorech. Redukce také přináší snížení nákladů na svařování, které bylo nahrazeno ohraňováním, nyní je nutné vyhotovit 5 300 mm svarových spojů namísto 6 947 mm oproti první verzi optimalizace, mimo jiné se zkrátila i doba řezání. [3]

Tabulka 9: Porovnání tloušťek a počtu dílců první a druhé optimalizační verze [3]

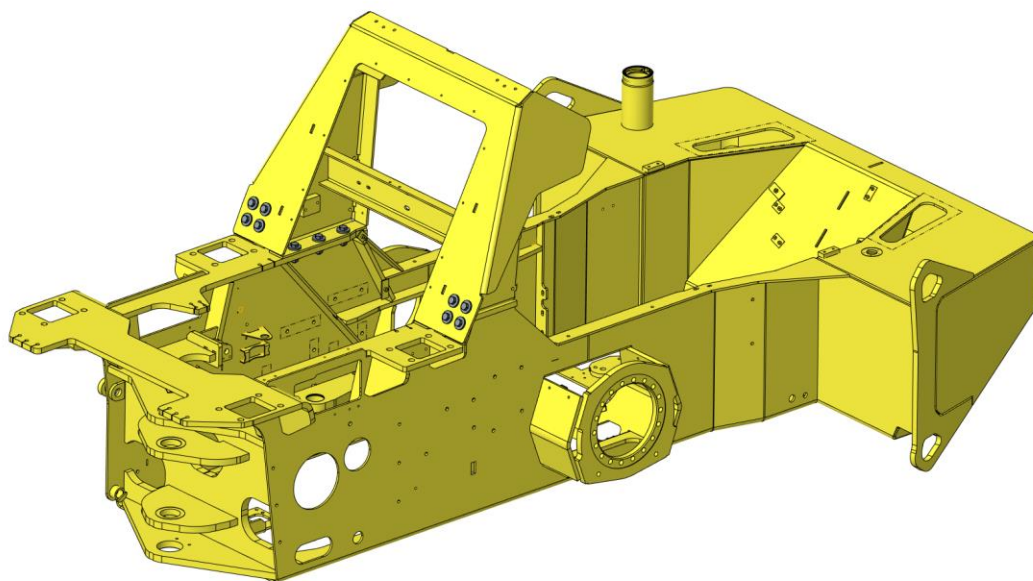
Dílec	Tloušťky dílců v první optimalizované verzi [mm]	Tloušťky dílců v druhé optimalizační verze [mm]
Plech blatníku levý	8	-
Plech blatníku pravý	8	-
Výztuha blatníku (2ks)	8	-
Nosník kapoty	15	-
Plech přední	8	8
Plech těsnění	8	8
Bočnice levá	8	8
Bočnice pravá	8	8
Výztuha zvedání levá	15	-
Výztuha zvedání pravá	15	-
Příčník	6	6



Obrázek 45: Přední pohled na rám kapoty po druhé optimalizační změně [3]



Obrázek 46: Zadní pohled na rám kapoty po druhé optimalizační změně [3]



Obrázek 47: Rám zadní sešroubovaný s rámem kapoty po druhé optimalizační změně [3]



Obrázek 48: Rám kapoty po druhé optimalizaci během montáže

## 4.4 Porovnání jednotlivých variant z hlediska výrobních nákladů

Během optimalizace je nutné stále provádět ekonomické porovnání navržených variant zejména proto, abychom zjistili, jestli se změna vyplatí a má smysl ji zavádět do sériové výroby. Výši stanovených nákladů přiřazuje výrobní technologie, pomocí předem stanovených cen materiálu a paušálů (viz tab.11), které udávají cenu operace za určitý čas. Přiřazením spotřeby materiálu a časů potřebných k zhotovení dané operace získáme náklady na daný dílec. Hodnoty jsou zaznamenány v systému SAP, tyto záznamy ze SAPu byly použity jako podklady pro porovnání variant z hlediska nákladů.

### 4.4.1 Náklady spojené s původním rámem „kapoty“

Jelikož je v této variantě rám „kapoty“ ještě součástí „zadního“ rámu je o něco složitější přesně určit náklady pouze na rám kapoty, poněvadž existuje kalkulace pouze na rám zadní (jako na celek). Z toho důvodu je nutné ze SAPu „vytáhnout“ pouze části, které tvoří rám „kapoty“. Nejvíce problematické jsou bočnice, které zasahují jak do zadního rámu, tak do rámu kapoty a s podklady, které byly k dispozici není možné vytvořit úplně přesné vyhodnocení. Proto je zde uvedené vyhodnocení spíše orientační.

Nejnákladnějšími díly v rámu kapoty jsou bočnice, zejména kvůli svému komplikovanému tvaru a nízkému využití materiálu (viz obr. 25 a rovnice 5). To je závislé na ostatních pálených dílcích, které se v pálicím plánu zakomponují do polotovaru bočnice, tím pádem téměř pokaždé se dosáhne rozdílných hodnot využitelnosti materiálu a také výše nákladů, z toho důvodu lze počítat s využitím polotovaru pouze konkrétním dílcem, který do polotovaru náleží. A dostáváme nejvyšší možné náklady na daný dílec.

Tabulka 10: Náklady na původní verzi rámu kapoty převzaté ze systému SAP [3]

Dílec	Počet kusů	Celkové náklady na jednotlivé dílce [Kč]
Plech blatníku levý	1	335,1
Plech blatníku pravý	1	335,1
Výztuha blatníku	2	233,14
Nosník kapoty	1	456,96
Plech přední	1	1407,65
Plech těsnění	1	280,04
Bočnice levá	1	3675,95
Bočnice pravá	1	3622,19
Výztuha levá	1	454,14
Výztuha pravá	1	454,14
Vrch bočnice	2	247,5
<b>Celkové náklady na dílce, které tvoří rám „kapoty“</b>		<b>11501,91</b>

#### 4.4.2 Náklady spojené s první verzí optimalizace

V první verzi optimalizace došlo k oddělení rámu kapoty od zadního rámu. To vede ke konstrukčním změnám některých dílců, které rám kapoty obsahuje, proto bylo s užitím SAPu vytvořeno ekonomické porovnání upravených dílců. Do porovnání jsou zahrnuty pouze náklady na dělení materiálu, ohraňování a materiál, jelikož režijní a další operační náklady zůstávají téměř nezměněny a nemají v porovnání podstatný význam.

Tabulka 11: Cenové paušály za minutu operace [3]

Paušál stanovený na 1 minutu operace
řezání = 14,62 Kč/min
ohýbání = 12,16 Kč/min

##### 4.4.2.1 Bočnice

Tabulka 12: Porovnání nákladů bočnic na ohraňování, řezání a materiál před a po optimalizaci [3]

Náklady na dílec původní verze						
Dílec	Doba potřebná k vyřezání dílce [min]	Náklady na vyřezání dílce [Kč]	Doba potřebná k ohraňování dílce [min]	Náklady na ohraňování dílce [Kč]	Náklady na materiál [Kč]	Suma nákladů [Kč]
Bočnice	8,1	118,42	5,4	65,70	3186,08	3370,20
Náklady na dílec po optimalizaci						
Bočnice zadního rámu	7,86	114,91	4,5	54,75	1612,16	1781,82
Bočnice rámu kapoty	2,1	30,702	1,2	14,60	282,61	327,91

<b>Suma nákladů na dílce optimalizované verze</b>	2109,73
<b>Rozdíl nákladů mezi první a optimalizovanou verzí</b>	1260,46

#### 4.4.2.2 Plech přední

Tabulka 13: Porovnání nákladů předního plechu před a po optimalizaci [3]

<b>Náklady na dílec původní verze</b>						
<b>Dílec</b>	<b>Doba potřebná k vyřezání dílce [min]</b>	<b>Náklady na vyřezání dílce [Kč]</b>	<b>Doba potřebná k ohrazení dílce [min]</b>	<b>Náklady na ohrazení dílce [Kč]</b>	<b>Náklady na materiál [Kč]</b>	<b>Suma nákladů [Kč]</b>
<b>Plech přední</b>	5,22	76,32	0	0	994	1070,32
<b>Náklady na dílec po optimalizaci</b>						
<b>Bočnice zadního rámu</b>	4,8	70,18	0	0	730,89	801,70
<b>Rozdíl nákladů mezi první a optimalizovanou verzí</b>						<b>269,25</b>

#### 4.4.2.3 Příčník

Tabulka 14: Náklady na příčník, kterým je rám nově vybaven [3]

<b>Náklady na nově přidaný dílec</b>						
<b>Dílec</b>	<b>Doba potřebná k vyřezání dílce [min]</b>	<b>Náklady na vyřezání dílce [Kč]</b>	<b>Doba potřebná k ohrazení dílce [min]</b>	<b>Náklady na ohrazení dílce [Kč]</b>	<b>Náklady na materiál [Kč]</b>	<b>Suma nákladů [Kč]</b>
<b>Příčník</b>	1,62	23,68	1,2	19,42	170,11	213,21

Pro změny, které proběhly a mají z ekonomického hlediska význam, jsou sestaveny porovnávací tabulky z nichž vyplývá jak velkou sumu úspor změna přináší. Jedná se zejména o lepší využití materiálu při rozdělení bočnice na dva kusy. Konkrétně je to 1260,46 Kč pro jednu bočnici (viz tab. 12), jelikož rám obsahuje dvě bočnice, jedná se o ušetřenou sumu 2520,92 Kč. Další ušetřenou částku přinesla optimalizace předního plechu a činí 269,67 Kč. Ostatní změny, které byly na rámu realizovány, nemá smysl porovnávat, jelikož se částky před a po optimalizaci téměř nemění, ale mají smysl zejména z technologického hlediska, které se týká snadnější montáže motoru. Rám je nově vybaven příčníkem, který tvoří náklad ve výši 213,21 Kč.

Tabulka 15: Celková suma ušetřených nákladů, oproti první variantě [3]

Dílec	Ušetřená částka [Kč]
Optimalizované bočnice	2520,92
Plech přední	269,25
Příčník	-213,21
<b>Celková ušetřená suma oproti prvotní verzi</b>	<b>2464,88</b>

Co se týče svařování není možné podle dostupných podkladů přesně určit celkové náklady na tuto operaci, jelikož například spotřeba přídavného materiálu je předepsána pro celý stroj, ze SAPu jsou známy pouze celkové náklady na svařovací čas, které za 40 minut svařování činí 636,6 Kč. Délka všech svarových spojů na optimalizovaném rámu je 6 947 mm oproti 7720 mm, které bylo nutné vyhotovit v původní verzi rámu. Suma všech nákladů potřebná k výrobě rámu kapoty je v SAPu stanovena na částku 6673,5 Kč.

#### 4.4.3 Náklady spojené s druhou verzí optimalizace

V druhé optimalizační verzi se změny týkají zejména výrobních technologií. Největší ekonomický přínos má redukce více dílců do jednoho, díky tomu snižujeme zejména náklady na svařování a to takovým způsobem, že namísto svařování více dílců dohromady, když to výrobní možnosti dovolí, je polotovar vyhotoven v jednom kuse a následně ohraněn do požadovaného tvaru. Dojde tedy ke zkrácení řezacího času a nahrazení svarového spoje ohybem, který je oproti svaru mnohonásobně levnější. Porovnání verzí probíhá stejně jako v předchozím bodě 4.4.2 a do porovnání jsou zahrnuty pouze náklady na dělení materiálu, ohraňování a materiál.

#### 4.4.3.1 Plech přední

Tabulka 16: Porovnání nákladů na přední plech - první a druhé verze optimalizace [3]

Náklady na dílce první verze optimalizace						
Dílec	Doba potřebná k vyřezání dílce [min]	Náklady na vyřezání dílce [Kč]	Doba potřebná k ohrazení dílce [min]	Náklady na ohrazení dílce [Kč]	Náklady na materiál [Kč]	Suma nákladů [Kč]
Plech přední	4,80	70,18	0,00	0,00	730,89	757,21
Plech blatníku levý	1,80	26,32	1,20	14,60	306,00	346,92
Plech blatníku pravý	1,80	26,32	1,20	14,60	306,00	346,92
<b>Suma nákladů na dílce první verze optimalizace</b>						<b>1451,04</b>
Náklady na dílce druhé verze optimalizace						
Plech přední	6,12	89,47	6,48	78,84	1472,19	1640,50
<b>Rozdíl nákladů mezi první a druhou verzí optimalizace</b>						<b>-189,47</b>

#### 4.4.3.2 Bočnice

Tabulka 17: Porovnání nákladů na bočnici první a druhé verze optimalizace [3]

Náklady na dílce první verze optimalizace						
Dílec	Doba potřebná k vyřezání dílce [min]	Náklady na vyřezání dílce [Kč]	Doba potřebná k ohrazení dílce [min]	Náklady na ohrazení dílce [Kč]	Náklady na materiál [Kč]	Suma nákladů [Kč]
Bočnice	2,10	30,70	2,28	27,74	282,61	341,05
Výztuha zvedání	2,28	33,33	0,00	0,00	115,89	149,22
<b>Suma nákladů na dílce první verze optimalizace</b>						<b>490,28</b>
Náklady na dílce druhé verze optimalizace						
Bočnice	2,88	42,11	1,90	23,12	313,81	379,03
<b>Rozdíl nákladů mezi první a druhou verzí optimalizace</b>						<b>111,24</b>



#### 4.4.3.3 Plech těsnění

Tabulka 18: Porovnání nákladů na plech těsnění první a druhé verze optimalizace [3]

Náklady na dílce první verze optimalizace						
Dílec	Doba potřebná k vyřezání dílce [min]	Náklady na vyřezání dílce [Kč]	Doba potřebná k ohrazení dílce [min]	Náklady na ohrazení dílce [Kč]	Náklady na materiál [Kč]	Suma nákladů [Kč]
Plech těsnění	1,38	20,18	0,00	0,00	136,43	156,61
Výztuhy blatníků (2ks)	1,92	28,07	0,00	0,00	110,31	138,38
<b>Suma nákladů na dílce první verze optimalizace</b>						<b>294,99</b>
Náklady na dílec druhé verze optimalizace						
Plech přední	1,90	27,78	0,00	0,00	252,63	280,41
<b>Rozdíl nákladů mezi první a druhou verzí optimalizace</b>						<b>14,58</b>

Sestavené porovnávací tabulky, na základě podkladů ze SAPu, demonstrují jak velké úspory se dosáhne optimalizací, spočívající zejména v redukcí více dílců do jednoho. Tím se ušetřil čas potřebný k řezání materiálu a svarové spoje nahradily ohyby.

Tabulka 19: Celková suma ušetřená optimalizačními úpravami, oproti první verzi optimalizace [3]

Dílec	Ušetřená částka [Kč]
Plech přední	-189,97
Bočnice (2ks)	222,48
Plech těsnění	14,58
<b>Celková ušetřená suma oproti prvotní verzi</b>	<b>47,09</b>

Provedená optimalizace činí úsporu 47,09 Kč, která se zdá být zanedbatelná, ovšem v této částce nejsou zahrnuty náklady na svařování (které není možné podle dostupných podkladů přesně určit viz. kapitola 4.4.2), kde je nyní zapotřebí vyhotovit 5 300 mm svarových spojů, na které je v SAPu stanoven svařovací čas 40 min s náklady 329,97 Kč na tuto operaci. Oproti první verzi optimalizovaného rámu, kde bylo zapotřebí vyhotovit 6 947 mm svarů v čase 77 min a náklady činili 636,60 Kč. Celkové náklady na druhou verzi optimalizace jsou v SAPu stanoveny na výši 5 136,75 Kč oproti první verzi optimalizace kde jsou náklady stanoveny na 6 673,56 Kč a rozdíl těchto částek ve výsledku činí úsporou 1 536,81 Kč.

## 5 Závěr

V bakalářské práci byly navrženy optimalizační změny primárně z hlediska šetření nákladů, ovšem během úprav se vyskytly požadavky na změny, které měly za úkol usnadnit montáž motoru do zadního rámu. Bylo tedy analyzováno jak správně postupovat při návrhu svařovaných konstrukcí a při použití výrobních technologií využívaných při výrobě zadního rámu. Jedná se o technologii svařování, tepelného dělení materiálu a ohýbání.

V první verzi optimalizace došlo ke změně zadního rámu, jehož součástí byl rám kapoty, který se od zadního rámu oddělil. Tím došlo ke konstrukčním změnám na obou rámech. Tyto změny měly přispět ke zjednodušení montáže motoru a tím zkrácení výrobního času. Při oddělení „křídla“ od bočnice rámu byl optimalizován tvar jejího polotovaru a bylo tak dosaženo lepšího využití materiálu (z 47 % v původní variantě na 62,30 % po optimalizaci). Pomocí záznamů ze SAPu byly vytvořeny porovnávací tabulky nákladů na původní a optimalizovanou variantu, které ukazují, že změnami se podařilo uspořit 2 464,88 Kč a celkové náklady na rám kapoty činí 6 673,56 Kč a má tak smysl změny zavést.

Z důvodu dalších tlaků na zlevňování stroje, bylo zapotřebí opět prozkoumat již jednou optimalizovaný rám kapoty a nalézt další možné změny, které by přispěly k jeho zlevnění. Bylo provedeno sjednocení tloušťek dílců rámu a následná redukce více dílců dohromady, z těchto důvodů, bylo možné svarové spoje nahradit ohyby. Tím se ve výsledku zkrátila délka svarových spojů z původních 6 947 mm na 5 300 mm. Následně byly opět vytvořeny porovnávací tabulky, které ukázaly, že změnami na rámu se podařilo snížit celkové náklady na výrobu z 6 673,56 Kč na 5 136,75 Kč a změny se zavedly do sériové výroby. Nicméně v nynější době bude, stroj vybaven novým typem kapoty, a je velmi pravděpodobné, že bude nutné rám opět optimalizovat.

## 6 Seznam použitých zdrojů

- [1] Region and Language | Ammann. Region and Language | Ammann [online]. Copyright ©2019 [cit. 24.07.2019]. Dostupné z: <https://www.ammann.com/>
- [2] JEŘÁBEK, Karel, František HELEBRANT, Josef JURMAN a Věra VOŠTOVÁ. *Stroje pro zemní práce ; Silniční stroje*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1995. ISBN 80-7078-389-3.
- [3] Interní archiv firmy Ammann.
- [4] Od Stavostroje k Ammannu (přerod české firmy) | Kohut.cz. Stavební stroje a technika KOHÚT A SPOL. | kohut.cz [online]. Copyright © Kohut.cz [cit. 24.07.2019]. Dostupné z: <https://www.kohut.cz/clanky/od-stavostroje-k-ammannu/>
- [5] BEDNÁŘ, Bohumír. *Technologičnost konstrukce I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03268-X.
- [6] HLUCHÝ, Ing. Miroslav a kol. *Strojírenská technologie 2: Polotovary a jejich technologičnost*. Praha: SNTL, 1979. ISBN 04-221-79
- [7] MINAŘÍK, Václav. *Tepelné dělení materiálu*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01028-7.
- [8] KREIBICH, CSC., Ing. Viktor a kol. *Strojírenská technologie IV*. Praha: SNTL, 1988. ISBN 04-230-88.
- [9] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: tváření plošné a objemové*. Vyd. 5. Brno: CERN, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [10] *Technologie řezání laserem*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Karel Osíčka, Ph.D.
- [11] *Optimalizace výroby pracovní komory 80C*. Brno, 2016. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.
- [12] Technické plyny, průmyslové plyny - airproducts.cz [online]. Copyright © [cit. 24.07.2019]. Dostupné z: [http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/industries/metals/CZ\\_Priruckasvarece.pdf?la=c-s-CZ](http://www.airproducts.cz/~media/Files/PDF/industries/metals/CZ_Priruckasvarece.pdf?la=c-s-CZ)
- [13] KOLAŘÍK, PH.D., IWE, doc. Ing. Ladislav. *Výukové podklady pro předmět Technologie svařování: Úvod do svařování*. ČVUT v Praze FS. Praha, 2019.
- [14] KOLAŘÍK, PH.D., IWE, doc. Ing. Ladislav. *Výukové podklady pro předmět Technologie svařování: Svařování metodou MIG/MAG*. ČVUT v Praze FS. Praha, 2019.
- [15] KOLAŘÍK, PH.D., IWE, doc. Ing. Ladislav. *Výukové podklady pro předmět Technologie svařování: Úvod do svařování v ochranných atmosférách*. ČVUT v Praze FS. Praha, 2019.

[16] MIROSLAV, Ing. Kubíček. Svařování: Ing. Kubíček Miroslav.[ online]. Copyright ©2019 [cit. 24.07.2019]. Dostupné z:

[http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY\\_32\\_INOVACE\\_21-03.pdf](http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_21-03.pdf)

[17] 1.1 VLIVY NA JAKOST SVAROVÉHO SPOJE svařitelnost materiálu, správná konstrukce, tvar svarku, volba přídavného materiálu, kvalifikace svářeče. - PDF. Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací. [online]. Copyright © DocPlayer.cz [cit. 31.07.2019]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/4023324-1-1-vlivy-na-jakost-svaroveho-spoje-svaritelnost-materialu-spravna-konstrukce-tvar-svarku-volba-pridavneho-materialu-kvalifikace-svarece.html>

[18] ELUC. ELUC [online]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1803>

[19] KUPKA, Bc. Jakub. *Vliv řezání kyslíkem na vlastnosti základního materiálu*. Praha, 2015. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Ladislav Kolařík, Ph.D., IWE

[20] Volba konstrukčních ocelí pro stavební svařované konstrukce podle významu označení. Časopis KONSTRUKCE - informace o uplatnění konstrukcí a návazných oborů při stavbách ve stavebnictví a strojírenství [online]. Copyright © Copyright 2002 [cit. 02.08.2019]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/volba-konstrukcnich-oceli-pro-stavebni-svarovane-konstrukce-podle-vyznamu-oznaceni/>

## 7 Seznam obrázků

Obrázek 1: Statický pneumatikový válec ART 280 [1] .....	10
Obrázek 2: Vibrační tahačový válec ARS 110 [1] .....	11
Obrázek 3: Vibrační tandemový válec ARX 90 [1] .....	11
Obrázek 4: Vyznačení pozic rámu kapoty – pohled na přední část [3] .....	12
Obrázek 5: Vyznačení pozic rámu kapoty – pohled na zadní část [3] .....	13
Obrázek 6: Deformace při svařování [6] .....	19
Obrázek 7: Průběh deformací [6] .....	20
Obrázek 8: Krystalizace-struktury tavného svarového spoje [6] .....	29
Obrázek 9: Principiální schéma svařování MIG/MAG [12] .....	30
Obrázek 10: Vliv velikosti závaru v závislosti na ochranném plynu [15] .....	31
Obrázek 11: Statická charakteristika el. oblouku a zdroje proudu, s vyznačením tzv. pracovního bodu [6] .....	32
Obrázek 12: Schéma postupu svařování [12] .....	33
Obrázek 13: Využití technologie řezání kyslíkem v Ammannu .....	34
Obrázek 14: Teplota tavení a spalování v závislosti na obsahu uhlíku [6] .....	36
Obrázek 15: Zařízení pro řezání plazmou [6] .....	39
Obrázek 16: Řezání laserem ve firmě Ammann .....	42
Obrázek 17: Velikost napětí v krajních vláknech ohýbaného materiálu [6] .....	45
Obrázek 18: Deformace průřezu v místě ohybu [6] .....	46
Obrázek 19: Stanovení délky polotovaru [6] .....	47
Obrázek 20: Odpružení materiálu po ohybu [6] .....	47
Obrázek 21: Vliv směru válcování na ohýbání [6] .....	48
Obrázek 22: Konstrukční úprava výlisků pro ohyb [6] .....	49
Obrázek 23: Ohýbání plechu na ohraňovacích lisech [6] .....	49
Obrázek 24: Zvýraznění rámu kapoty, který je součástí zadního rámu [3] .....	51
Obrázek 25: Rozvin levé bočnice se zakótovaným rozměrem polotovaru [6] .....	51
Obrázek 26: Od dělicí roviny směrem vzhůru je červeně vyznačen rám „kapoty“, směrem dolů je rám „zadní“. [3] .....	53
Obrázek 27: Vyznačení dílců protnutých dělicí rovinou, kterých se bude optimalizace týkat [3] .....	53

Obrázek 28: Barevné vyznačení odlišeností, růžový je návrh bočnice před optimalizací, žlutě návrh bočnice po optimalizaci [3] .....	54
Obrázek 29: Vlevo - bočnice rámu ještě v jednom kuse s " křídlem" a navařovaným vrchem bočnice, vpravo - je již bočnice nosníku oddělena a upravena [3] .....	55
Obrázek 30: Vlevo - původní návrh žebra a konzoly, vpravo - díl po konstrukčních úpravách [3] .....	56
Obrázek 31: Vlevo - přední plech před oddělením žeber, vpravo - po oddělení žeber a s vyhotovenými dírami pro šrouby [3].....	57
Obrázek 32: Přední plech se žebry po optimalizaci [3] .....	57
Obrázek 33: Vlevo - výztuha před rozdělením, vpravo - výztuha po oddělení [3].....	58
Obrázek 34: Příčnick [3] .....	59
Obrázek 35: Samostatná sestava rámu kapoty po oddělení [3] .....	59
Obrázek 36: Rám zadní po oddělení rámu kapoty [3].....	60
Obrázek 37: Detail sešroubování rámu dohromady zezadu [3].....	60
Obrázek 38: Detail sešroubování rámu zepředu [3] .....	61
Obrázek 39: Rám kapoty po optimalizaci.....	62
Obrázek 40: Původní sestavení dílců k sobě [3].....	63
Obrázek 41: Plech přední po optimalizaci a ohraněný [3] .....	63
Obrázek 42: Vlevo bočnice a výztuha prozatím odděleně, vpravo je bočnice po optimalizaci [3] .....	64
Obrázek 43: Vyznačení dílců sdružených do jednoho [3] .....	65
Obrázek 44: Plech těsnění po sdružení [3].....	65
Obrázek 45: Přední pohled na rám kapoty po druhé optimalizační změně [3] .....	66
Obrázek 46: Zadní pohled na rám kapoty po druhé optimalizační změně [3].....	66
Obrázek 47: Rám zadní sešroubovaný s rámem kapoty po druhé optimalizační změně [3] ...	67
Obrázek 48: Rám kapoty po druhé optimalizaci během montáže.....	67

## 8 Seznam tabulek

Tabulka 1: Čísla pozic rámu .....	13
Tabulka 2: Stupně svažitelnosti [16].....	17
Tabulka 3: Vliv způsobu svařování na velikost pnutí a deformace [6].....	21
Tabulka 4: Druhy svarových spojů [17] .....	24
Tabulka 5: Vybrané metody svařování [5] .....	26
Tabulka 6: Hodnoty součinitele $x$ [6].....	46
Tabulka 7: Hodnoty úhlů odpružení [6] .....	47
Tabulka 8: Porovnání tloušťek dílců původní a optimalizační verze [3] .....	61
Tabulka 9: Porovnání tloušťek a počtu dílců první a druhé optimalizační verze [3].....	66
Tabulka 10: Náklady na původní verzi rámu kapoty převzaté ze systému SAP [3].....	69
Tabulka 11: Cenové paušály za minutu operace [3] .....	69
Tabulka 12: Porovnání nákladů bočnic na ohraňování, řezání a materiál před a po optimalizaci [3] .....	69
Tabulka 13: Porovnání nákladů předního plechu před a po optimalizaci [3] .....	70
Tabulka 14: Náklady na příčník, kterým je rám nově vybaven [3] .....	70
Tabulka 15: Celková suma ušetřených nákladů, oproti první variantě [3] .....	71
Tabulka 16: Porovnání nákladů na přední plech první a druhé verze optimalizace [3].....	72
Tabulka 17: Porovnání nákladů na bočnici první a druhé verze optimalizace [3] .....	72
Tabulka 18: Porovnání nákladů na plech těsnění první a druhé verze optimalizace [3] .....	73
Tabulka 19: Celková suma ušetřená optimalizačními úpravami, oproti první verzi optimalizace [3].....	73



## 9 Seznam použitých zkratk

Zkratky:

---

ČSN	Československá norma
EN	European norm - Evropská norma
ISO	International Organization for Standardization - mezinárodní organizace pro normalizaci
MIG	Metal inert gas - metoda svařování elektrickým obloukem tavící se kovovou elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
MAG	Metal active gas - metoda svařování elektrickým obloukem tavící se kovovou elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu
TIG	Tungsten inert gas - metoda svařování elektrickým obloukem neodtavující se elektrodou v ochranné atmosféře inertního plynu
ARS	Typové označení nové řady vibračního válců
SAP	System aplikací a produktů (podnikový informační systém)
IRA	Izotermický rozpad austenitu
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
MAPP	Methylacetylen-propadien propan - plyn používány při řezání kyslíkem
DC	Direct current - stejnosměrný proud
SK	Svarový kov
Nd	Neodym - měkký stříbřitě bílý, vnitřně přechodný kovový prvek (uplatnění nalézá ve výrobě speciálních skel a keramiky a slouží také k výrobě mimořádně silných permanentních magnetů)
YAG	Yttrito-hlinitý granát ( $Y_3Al_5O_{12}$ ), což je bezbarvý, opticky izotropní krystal kubické struktury

## 10 Seznam příloh

[1] Výkres - 39174\_ram\_kapoty