



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# VOLBA VHDNÉ TECHNOLOGIE PRO VÝROBU SVAŘOVANÉ KONSTRUKCE ELEKTROKOTLE JE 12 A JE 6

SELECTION OF APPROPRIATE TECHNOLOGY FOR THE PRODUCTION OF WELDED CONSTRUCTIONS  
OF BOILER JE 12 AND JE 6

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Milan Janás

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.

BRNO 2017

## Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Milan Janás**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Volba vhodné technologie pro výrobu svařované konstrukce elektrokotle JE 12 a JE 6**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Vývoj nového elektrokotle JE6 a JE12 pro firmu JABLOTRON ve spolupráci s firmou SLOKOV. Jedná se o univerzální elektrokotel, který má stejný designe pro 3 varianty provedení. Pro tento kotel je nutno navrhnout funkční konstrukci a technologicky přijatelné řešení.

Z technologického hlediska je nutno vybrat nejvhodnější technologie jak pro dělení, ohýbání a svařování kotle. Řešení bude tedy z pohledu technologa a částečně konstruktéra, nikoliv ale energetika.

#### **Cíle diplomové práce:**

1. Obecná charakteristika použitých metod použitých při výrobě (dělení materiálu, ohýbání a tváření materiálu, svařování a povrchová úprava).
2. Volba vhodných a ekonomicky nejvýhodnějších metod (porovnání a zdůvodnění výběru).
3. Úprava konstrukce kotle s ohledem na vybrané technologie (s ohledem na dostupné možnosti a kapacity firmy).
4. Návrh výroby kotlového tělesa svařovacím robotem (porovnání s ručním svařováním).
5. Ekonomické zhodnocení výroby, shrnutí technologického a výrobního postupu.

#### **Seznam literatury:**

MAŇKOVÁ, I. Progresívne technológie. Košice: Technická univerzita Košice, Strojnícka fakulta - edícia vedeckej a odbornej literatúry, 2000. 275 s. ISBN 80-7099-430-4.

KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

NOVOTNÝ, J., LANGER, Z. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. Praha: SNTL, 1980.

AMBROŽ, O., KANDUS, B., KUBÍČEK, J. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.

HRIVŇÁK, I. Zváranie a zvariteľnosť materiálov. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2009. Vysokoškolské učebnice. ISBN 978-80-227-3167-6.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

CHVÁLA, B., MATIČKA, R., TALÁCKO, J. Průmyslové roboty a manipulátory. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 280 s. ISBN DT 62-52/21.852.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

---

## ABSTRAKT

Diplomová práce na téma volba vhodné technologie pro výrobu svařované konstrukce elektrokotle JE6/12 má za cíl zhodnotit dostupné technologie výroby a vybrat nejvhodnější z nich. Výběr technologií se zaměřuje především na takové, které jsou v možnostech firmy Slokov. Vzhledem k zapojení svařovacího robota do výroby, je nutné brát ohled na celkové propojení vybraných metod a na vysokou přesnost, kterou robot požaduje. Jednotlivé metody zhotovení elektrokotle, dělení materiálu, svařování, ohýbání a povrchové úpravy jsou nejprve teoreticky rozebrány a jsou shrnuty jejich výhody, nevýhody a parametry. Následně se prakticky ověří jednotlivé technologie pro reprezentativní součásti a zhodnotí se dosažené parametry a ekonomie výroby. S ohledem na dosažené výsledky se vyberou nejvhodnější technologie. S jejich výběrem přichází nutná změna konstrukčních a výrobních parametrů. Změny a úpravu konstrukce popisuje další bod. Pro dosažení maximální efektivity a kvality výroby je na výrobu svarů nasazen svařovací robot. Popis výroby, úprav a celkového provedení robota popisuje další bod této práce. V poslední části je shrnuta ekonomika vybraných technologií výroby a detailně popsán technologický postup. Cílem práce je navržení takových technologií, které budou vyhovující z hlediska ekonomiky a z hlediska dostupných možností firmy.

### Klíčová slova

dělení materiálu, ohýbání, svařování, povrchové úpravy, elektrokotel, laser, vodní paprsek, stříhání, vysekávání

## ABSTRACT

The diploma thesis on the selection of appropriate technology to produce the welded construction of electric boiler JE6 / 12 aims to evaluate available production technologies and choose the most suitable of them. Choosing the technologies focuses primarily on those that are available at Slokov. Due to the connection of the welding robot to the production, it is necessary to consider the overall connection of the production and the high accuracy of the production. The individual methods of production, material separation, welding, bending and surface treatment are first theoretically analyzed and their advantages, disadvantages and parameters are summarized. Subsequently, it is practically tested individual technologies for a representative part and it evaluates the achieved parameters and economics of production. With the results obtained, the most suitable technologies are selected. With the selection of technologies, there is a need for a change in design and production parameters. Changes and modifications to the design describe another point. To achieve maximum efficiency and quality of production, a welding robot is used to make welds. The description of the production, modifications and overall design of the robot describes the next point of this work. The last part summarizes the economics of selected production technologies and details the technological process. The aim of the thesis is to design such technologies that will be advantageous from the point of view of the economy and from the perspective of the available possibilities of the company.

### Key words

material cutting, bending, welding, surface treatment, electric boiler, laser, water jet, cutting, punching

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JANÁS, M. *Volba vhodné technologie pro výrobu svařované konstrukce elektrokotle JE 12 a JE 6*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 111 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jaromír Dvořák, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Volba vhodné technologie pro výrobu svařované konstrukce elektrokotle JE 12 a JE 6** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Bc. Milan Janás

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto vedoucímu práce panu Ing. Jaromíru Dvořákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále chci poděkovat panu Ing. Stanislavu Vaňkovi a celé firmě Slokov a Jablotron za umožnění provedení závěrečné práce a za cenné informace.

---

**OBSAH**

Abstrakt .....	4
Prohlášení .....	6
Poděkování .....	7
Obsah .....	8
Úvod .....	9
1 Obecná charakteristika metod použitých při výrobě .....	11
1.1 Dělení materiálu.....	11
1.2 Oýbání .....	40
1.3 Svařování.....	46
1.4 Povrchové úpravy .....	51
1.5 Použití CAD/CAM technologií .....	53
2 Volba vhodných a ekonomicky nejvýhodnějších metod.....	55
3 Úprava konstrukce kotle s ohledem na vybrané technologie .....	72
4 Návrh výroby kotlového tělesa svařovacím robotem a porovnání s ručním svařováním . .....	79
5 Ekonomické zhodnocení výroby, shrnutí technologického a výrobního postupu.....	85
Závěr.....	93
Seznam použitých zdrojů.....	94
Seznam použitých zkratk .....	98
Seznam použitých symbolů .....	100
Seznam příloh.....	102



---

## ÚVOD

Česká republika se nachází v mírném podnebném pásu, proto je potřeba v zimních měsících používat zdroje tepla pro vytápění obytných prostor. V době, kdy se klade velký důraz na životní prostředí, je vhodným zdrojem elektrická energie, která nepřispívá k znečišťování ovzduší tolik, jako tuhá paliva. Velkou výhodou elektrické energie je její získávání z obnovitelných zdrojů.

Dotace od státu a Evropské unie zapříčinily, že je nyní vhodná doba pro výzkum a vývoj topných těles a systémů. Velký zájem o výměnu tepelných zdrojů podporují nabízené dotační programy. Všechna zmiňovaná opatření mají za cíl jediné – snížení vypouštění škodlivých emisí do ovzduší. Z těchto důvodů se firma Slokov dohodla s firmou Jablotron na společném vývoji elektrokotle JE 6/12, který bude nové standardy splňovat. Navíc byl vznesen požadavek na univerzální kotel, tedy kotel, který bude mít tři funkční zapojení, ale pouze jednu univerzální kostru a obal kotle. Taková varianta umožní snížit náklady na výrobu za současné zjednodušení montáže. Zároveň je ale potřeba snažit se o co nejmenší a nejkompaktnější kotel, aby mohl být konkurenceschopný.

Akciová společnost Slokov je česká společnost zabývající se výrobou kotlů na dřevo, uhlí, automatických kotlů, elektrokotlů a topenářského příslušenství. Firma má ve svém oboru již padesátiletou historii a produkty jsou známy mezi veřejností. Jablotron jako mezinárodní firma, s vývozem zboží do více než 70 zemí světa, má široký sortiment výrobků v oblasti zabezpečení domácností a chytrých systémů. V současné době se Jablotron snaží prorazit v oblasti vytápění a klimatizace, kde v rámci této oblasti vznikl projekt na nový elektrický kotel.

Jako pracovník firmy Slokov jsem dostal vedení projektu na starost a mým úkolem je stanovit vhodné technologie pro výrobu kotle za současné spolupráce na jeho konstrukci. Základní myšlenka konstrukce kotle vychází z dlouholetého vývoje elektrických kotlů Slokov. Firma má na trhu několik výkonnostních velikostí elektrokotle, ale řídicí prvky a elektronika zaostává za konkurencí. Z tohoto důvodu vzešlo spojení s firmou Jablotron, která má naopak bohaté zkušenosti v oblasti řízení a programování.

Náplní mé diplomové práce je tedy výběr takových technologií, které budou ekonomicky a časově nejvýhodnější a zároveň budou ve výrobních možnostech firmy. Nejprve budou popsány teoreticky možné technologie od samotného dělení materiálu až po finální povrchové úpravy. Následně praktický rozbor podložený vzorky a výpočty ukáže na nejpříjemnější volbu. Samotnému výběru technologie předchází konstrukční řešení zužující výběr technologií. Konstrukce bude upravována po výrobě prototypu a po výběru technologií výroby.

Velký důraz je kladen na přípravu již od samotného počátku přípravy materiálu, jelikož následně bude kotel svařován robotem, kde je potřeba vysokých přesností u dělených polotovarů. Nejdůležitější částí kotle je kotlové těleso, na které budou kladeny nejvyšší nároky (vyšší teplota, proudící kapalina, působení tlaku) a z tohoto důvodu se této části kotle musí věnovat více pozornosti. Bude se jednat o výběr vhodné metody dělení materiálu plechů, ohýbání, svařování a povrchové úpravy. U dělení materiálu budou porovnány konvenční a nekonvenční metody a doporučena nejvhodnější metoda případně kombinace metod. K ohýbání bude zvolen odpovídající stroj, nástroj a doporučen způsob ohýbání podložený výpočty. U svařování vznikne porovnání metod určených pro svařování plechů na kotel daných tloušťek a dále srovnání se svařovacím robotem. Z povrchových úprav se potvrdí nebo vyloučí metoda momentálně firmou používaná, případně se navrhne nová úprava povrchu.

Výstupem diplomové práce bude technologický postup na výrobu kotle podložený technickou dokumentací a funkčním i odzkoušeným prototypem kotle. Práce bude řešena očima technologa a konstruktéra, nikoliv však pohledem energetika.



Obr. 1 Elektrokotel JE 6/12 a loga firem [20, 21].

## 1 OBECNÁ CHARAKTERISTIKA METOD POUŽITÝCH PŘI VÝROBĚ

V této kapitole se budou teoreticky rozebírat vhodné technologie sloužící pro výrobu kotle. Vzhledem k prvotnímu návrhu konstrukce kotle jsou možnosti výběru použitelných metod omezeny a budou tak rozebrány jen metody, které by mohly být realizovatelné. Dále nebudou zvažovány možnosti, které jsou ekonomicky nevýhodné nebo nedostupné v okolí firmy.

Velká část kotle je sestavena z plechových dílců, a proto i technologie budou voleny pro zpracování tohoto typu materiálu.

Technologie řešené v teoretické části:

- Dělení materiálu
- Ohýbání materiálu
- Svařování
- Povrchové úpravy
- Technologický výrobní postup (montáž)
- Propojení konstrukce a výroby

Konkrétní výběr, zdůvodnění, nástroje a stroje budou rozebrány posléze v praktické části.

### 1.1 DĚLENÍ MATERIÁLU

Materiál je z hutních provozů přivážen ve velkých, normalizovaných tabulích plechu a tyto tabule je potřeba nadělit na požadované rozměry plechu, které budou dále zpracovávány. Jedná se tedy o počáteční operaci, bez které by další nebyly možné. Podle charakteristik děleného materiálu jako je tloušťka a druh materiálu, a podle požadavků na přesnost výroby a drsnost povrchu spolu se sériovostí dané výroby lze určit typově nejvhodnější technologii dělení materiálu. V posledních letech vznikl v této oblasti velký technický pokrok a díky odtajnění technologií dříve používaných pouze ve vojenství a vesmírném průmyslu (nekonvenční technologie) se podařilo zefektivnit výrobu a ušetřit velké množství financí i času. [1, 4, 3]

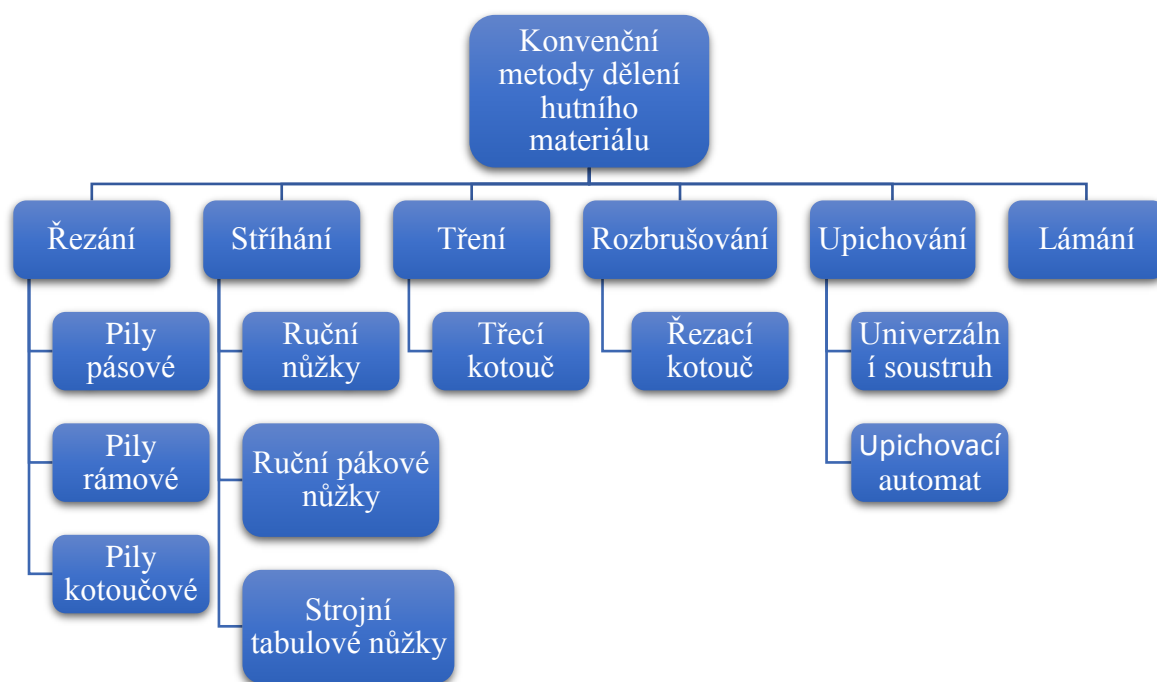


Obr. 1.1 Způsoby dělení materiálu [32, 33].

Dělení materiálu lze rozdělit na dvě základní skupiny:

**a) Konvenční technologie dělení materiálu**

Konvenční metody jsou charakteristické silovým odebráním třísky. Obecně jsou to metody, které ve velkosériové i malosériové výrobě mají velké zastoupení kvůli výstupu polotovarů o stejném objemu bez nutnosti časté kontroly a bez nutnosti náročné údržby strojů a nástrojů. Z konvenčních metod lze na dělení plechů uplatnit stříhání a vysekávání (u těchto metod se jedná o beztřískové obrábění). Výhodou těchto technologií je bezodpadovost procesu dělení a nižší pořizovací i provozní náklady. Za nevýhody lze považovat nižší kvalitu střížné hrany a možné deformace odstřížku. Současně přesnost zhotovených polotovarů a produktivita výroby není tak vysoká, jako u nekonvenčních metod [4, 6, 10].



Obr. 1.2 Obecný přehled konvenčních způsobů [4, 15].

**STŘÍHÁNÍ****Charakteristika**

Technologie stříhání je nejrozšířenější technologie plošného tváření s mechanickým způsobem dělení materiálu, určená k dělení plechů pomocí smykového působení podél křivky stříhu. Při stříhání působí nože proti sobě na materiál tak, aby byl ustřížen v požadovaném místě. K dosažení kvalitního stříhu (bez ostřin) je nutné zachovat určité podmínky např. střížnou vůli mezi noži, ostří nožů, vhodný způsob stříhání, tvar a geometrii střížných hran, rychlosti stříhání apod. Důležitým faktorem při použití této technologie je dělený materiál (tloušťka, pevnost, povrchové úpravy atd.). Při nedodržení vhodných podmínek lze zničit stříhaný materiál a v krajním případě i nástroj, či stroj [4, 6, 9, 10].

Stříhání se používá jak na přípravu polotovarů, kterými jsou tabule plechu a svitky, tak na vystříhování součástek pro konečné použití, nebo jako výrobek pro další technologie (ohýbání). Lze využít technologii i pro dokončovací nebo pomocné operace. Stříhání zahrnuje další operace fungující na stejném fyzikálním principu, ale s jiným odstraňováním materiálu. Jedná se o přistříhování, vystříhování, děrování, ostřihování. Pro dělení plechů se používá technologie nazývaná prosté stříhání [6, 10, 15].



Obr. 1.3 Tabulové nůžky [36].

Pro technologii stříhání jsou používány stroje i nástroje. Mezi používané stroje patří pákové nůžky, tabulové nůžky, vibrační nůžky, kotoučové nůžky, letmé nůžky a lisy pro metody přesného stříhání a speciální metody. Nástroje pro stříhání jsou stříhadla, kde horní pohyblivý nůž je střížník a spodní pevný nůž střížnice. Stříhadla se dělí podle počtu operací na jednoduché, postupové, sloučené, sdružené, postupové atd. [4, 9, 28].

Stříhání lze dělit podle teploty procesu [4, 10, 28]:

- Stříhání za tepla: materiály s větší tloušťkou a tvrdé materiály (s vyšší pevností), teploty ohřevu kolem  $t = 700\text{ °C}$
- Stříhání za studena: materiály s menší tloušťkou a měkčí materiály (pevnost  $R_m$  do 400 MPa), zejména plechy

Dělení stříhání podle konstrukce nožů:

- rovnoběžnými noži
- skloněnými noži
- kotoučovými noži
- noži na profily a tyče

Druhy nůžek [15, 28]:

- *Pákové nůžky*

používají se k ručnímu stříhání tenkých plechů nebo nekovových materiálů ve formě desek. Spodní nůž je připevněn na desce stolu a horní nůž na otočném ramenu. Plech se před ustřížením přitlačí ke stolu přidržovačem. Vzniká postupný stříh, kde ústřížek je horním nožem nejprve ohýbán až poté stříhán.

- *Tabulové nůžky s navzájem rovnoběžnými noži*

používají se k dělení tabulí plechu, který je v jednom okamžiku ustřížen podél celé délky plechu. Horní nůž má zdvih o něco vyšší než tloušťka plechu. Náhon horního nože je mechanický či hydraulický a součástí nůžek je přidržovač plechu.

- *Tabulové nůžky se šikmým horním nožem*

u tohoto typu nůžek probíhá stříh postupně. Horní nůž vniká do materiálu postupně, proto mají větší zdvih než typ s rovnoběžnými noži. Menší je střížná síla, tím pádem i

silový ráz je velmi malý a také opotřebení nástroje. Nevýhodou je ohyb odstříhované části plechu, která se musí následně rovnat před dalším použitím.

- *Kotoučové nůžky*

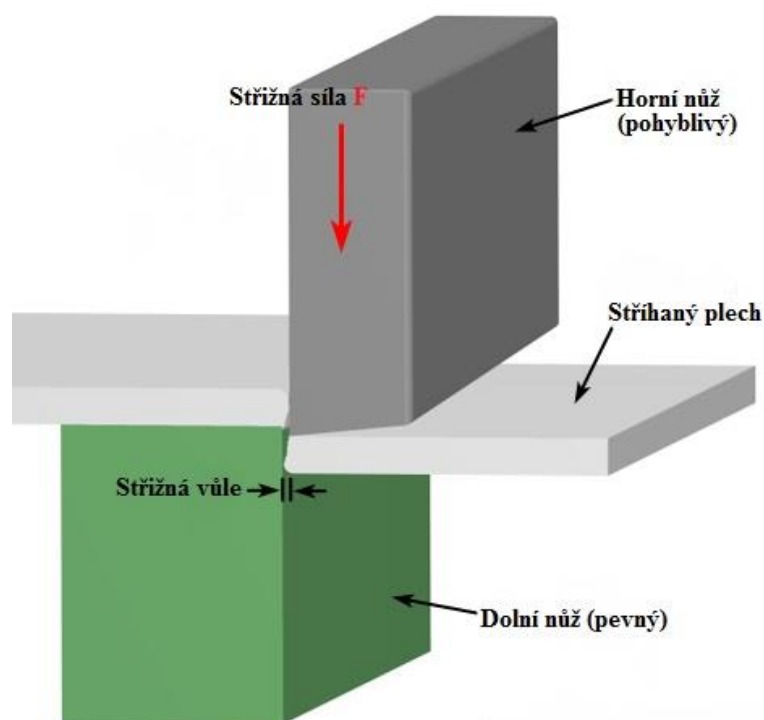
stříhají postupně pomocí otáčejících se nožů, které bývají okružní a křivkové. Existují dva druhy kotoučových nůžek: jednokotoučové, které se používají především v hutích k odstříhování dlouhých tabulí plechu; dvoukotoučové, kterými lze stříhat neomezenou délku a je jich více druhů podle vzájemné polohy nožů a stříhaného plechu.

- *Křivkové nože*

bez defektu stříhají vyduuté plechy nebo zakřivené linie stříhu. Jsou používány na výrobu přístřihů, ale i na ostřihávání velkoplošných výlisků.

- *Kmitací nůžky*

používají se k vysekávání otvorů, drážek, vystřihování křivkových tvarů pomocí dvou krátkých nožů. Horní nůž kmitá s frekvencí  $f = 20-35$  Hz a provádí stříhy o délce  $l = 3-10$  mm. Díky tomu je možno stříhat i zakřivené tvary.



Obr. 1.4 Proces stříhání [37].

### Princip metody

Princip stříhání je založen na oddělování materiálu pomocí působení protilehlých střížných hran, které způsobují v rovině stříhu smykové napětí. Stříhání probíhá ve třech fázích [4, 15, 28]:

V první fázi je oblast pružných deformací, materiál se ohýbá, stlačuje. V této fázi není překročena mez kluzu. Druhou fází je oblast plastických deformací. Střížná hrana se vtlačuje do plechu, napětí překračuje mez kluzu a na střížných hranách se blíží mezi pevnosti. Ve třetí fázi je dosaženo meze pevnosti materiálu ve stříhu, začínají na hranách u obou nožů vznikat trhlinky, ty se rozšiřují, až dojde k jejich setkání a utržení (usmýknutí) materiálu. Stříhaný

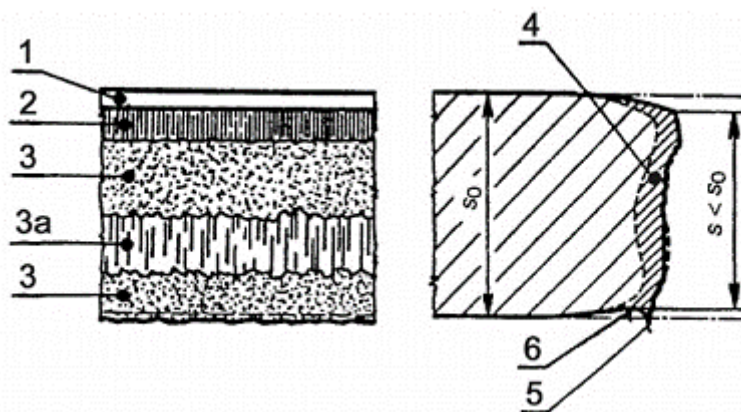


materiál se oddělí dříve, než se setkají nože. Aby se trhlínky setkaly a materiál se hladce oddělil, je nutné nastavit správně střížnou vůli.

S ohledem na tuto skutečnost nejsou okraje stříhových ploch dokonale rovinné a drsnost není ve stříhové ploše rovnoměrně rozložena. Oblasti s prvotním výskytem trhlin mají drsnost vyšší. Vlivem elasticity materiálu, jeho tvárnosti a tlakové napětí od nožů nenastane oddělení přesně v žádané rovině. Podle těchto vlivů rozeznáváme na stříhové rovině pásma (oblasti), které při procesu vznikají.

Oblasti na střížné ploše (obr. 1.5):

1) *zeslabení tloušťky*: vzniká počátečním pěchováním materiálu čelem pohyblivého nože, kde se hloubka vniknutí pohybuje mezi 5 až 8 % tloušťky stříhaného plechu, 2) *oblast plastického stříhu*: vzniká plastickým zatlačením břitu nože do materiálu, jedná se o nejhladší a nejpřesnější část, její velikost bývá 10 až 40 % tloušťky plechu, v závislosti na tvárnosti materiálu, 3) *oblast lomu*: horní část oblasti je prohloubena, spodní část vystupuje. Čára lomu má tvar písmene S. Čím menší je střížná vůle, tím se prohloubení zvětšuje. 3a) *oblast otěru*: vzniká při vystřihování ve stříhadlech, kvůli tření během protlačení výstřížku střížníkem přes střížnici, 4) *Zpevněná oblast*: dosahuje u měkkých ocelových plechů 20 až 30 % tloušťky plechu. Zvětšuje se při otupení břitu a s ubývajícím tvárností materiálu. 5) *otřep*: na spodní hraně střížné plochy, závisí na otupení spodního nože a tvárnosti materiálu. 6) *vtisk spodního nože*: lépe dojde k zatlačení spodního nože do materiálu při větším úhlu čela [28, 35].



Obr. 1.5 Oblasti na střížné ploše (1 – zeslabení tloušťky, 2 – oblast plastického stříhu, 3 – oblast lomu, 3a – oblast otěru, 4 – zpevněná oblast, 5 – otřep, 6 – vtisk spodního nože) [35].

Stříhání je tedy jedinou tvářecí operací, u které je žádoucí porušení materiálu. Při výpočtu tvářecích sil se to projeví tím, že je použita mez pevnosti místo meze kluzu [35].

*Pevnost ve stříhu (přibližný výpočet)* [4, 38]:

$$\tau_s = (0,75 - 0,85) \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (1.1)$$

Kde:  $R_m$ : pevnost materiálu [MPa]

*Střížná síla* [4, 35]:

$$F_s = (1,1 - 1,3) \cdot t \cdot b \cdot \tau_s = (1,1 - 1,3) \cdot t^2 \cdot \frac{\tau_s}{\text{tg } \varphi} \text{ [N]} \quad (1.1)$$

Kde:  $t$ : tloušťka materiálu [mm]

$b$ : délka stříhu  $b = \frac{a}{\text{tg } \varphi}$  [mm]

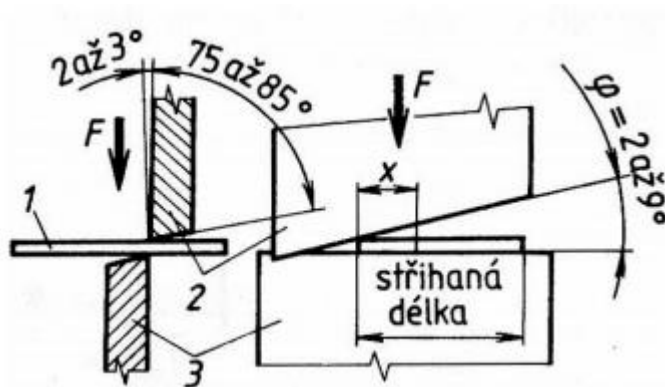
$\varphi$ : úhel stříhu, úhel sklonu nožů (2-9° pro tabulové nůžky, 7-20° pro pákové)

*Střížná práce* [4, 38]:

$$A = F_s \cdot k \cdot v = F_s \cdot k \cdot b \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad [J] \quad (1.1)$$

Kde:  $k$ : koeficient zaplnění plochy pod křivkou 0,2-0,75

$v$ : zdvih [m]



Obr. 1.6 Stříhání tabulovými nůžkami [48].

Při technologické přípravě výrobního procesu se stříhají velké tabule plechu na menší pásy nůžkami s rovnoběžnými nebo skloněnými noži (často tabulovými nůžkami). Materiál je v místě stříhu vystaven tlaku rostoucímu z minima (nuly) až do pevnosti materiálu ve stříhu. Při dosažení meze pevnosti dojde k oddělení materiálu. Oddělení se děje velmi rychle formou rázu. Ustřížení materiálu proběhne ještě dříve, než se setkají oba nože. Hloubka vniknutí (plastického stříhu) nože do materiálu je malá, přibližně 5-8 % tloušťky materiálu. Střížná plocha vzniká částečně stříhem a částečně lomem, proto i drsnost a jakost plochy odpovídají této kombinaci. V místě stříhu dochází k trvalým deformacím materiálu, které mají za následek vznik zpevnění a snížení tvárnosti. Zpevnění může být problémem u ohýbání, kde vznikají trhlinky v této zpevněné vrstvě. Lze materiál vyžítat, nebo třískovým obráběním vrstvu odstranit [4, 6, 38].

### Střížná vůle

Střížná vůle vznikající mezi noži ovlivňuje výrazně velikost střížné síly, jakost střížné plochy a trvanlivost nástroje. Správná velikost vůle zaručí, že trhliny vznikající při stříhání se setkají a bude zaručeno správné oddělení stříhaného materiálu [4, 34].

Volba velikosti je závislá především na druhu stříhaného materiálu a jeho tloušťce. Optimální volba zajistí dosažení požadované jakosti střížné plochy s co nejmenší střížnou silou. Obvykle se tato volba pohybuje v rozmezí 3-20 % tloušťky stříhaného materiálu. Pro jednostranné stříhání bez přidržovače se doporučuje 1-3 %. Platí, že čím tlustší a měkčí materiál je stříhán, tím menší se volí střížná vůle [4, 6, 34].

Při normální vůli se nástřihy vznikající od nožů setkají a umožní vznik jedné plochy bez otřepů. Při velké střížné vůli vzniká ohyb stříhané součástky. Malá vůle způsobuje vznik přestřížených, nebo ohlazených hran. Volba špatné vůle má za následek vznik míjení se trhlín od nástrojů a utvoření nerovného povrchu v ploše stříhu. Následkem je zhoršení kvality střížné plochy. Určení vůle lze stanovit na základě výpočtů nebo z grafů a tabulek [4, 6, 34].

Výpočet [4, 35, 38]:

a) Pro plechy do 3 mm

$$z = C \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [mm] \quad (1.1)$$



b) Pro plechy nad 3 mm

$$z = (1,5 \cdot t - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

Kde: t: tloušťka plechu [mm]

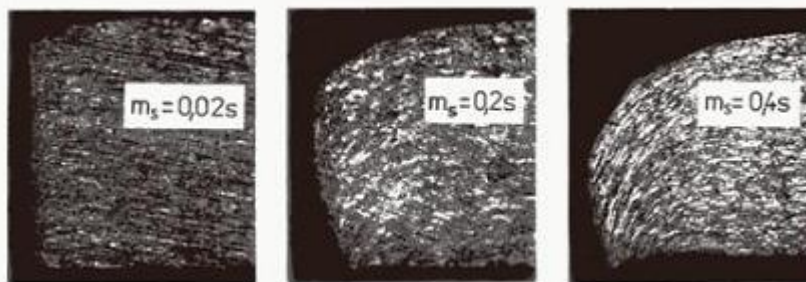
C: součinitel (0,005-0,035), nižší hodnoty pro lepší střížnou hranu, vyšší pro menší sílu

$\tau_s$ : pevnost ve stříhu [MPa]

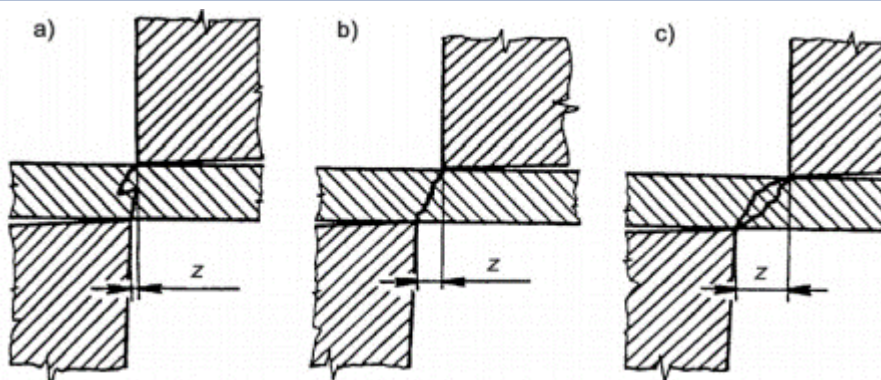
U tabulových nůžek závisí velikost střížné vůle na úhlu mezi noži  $\lambda$ . U moderních tabulových nůžek je možno nastavení střížné vůle plynule měnit a díky tomu zvýšit produktivitu výroby při stříhání různých tloušťek plechů [4, 35].

Tab. 1.1 Volba střížné vůle podle tloušťky materiálu [4].

Tloušťka materiálu [mm]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]					
	do 400		400 až 600		nad 600	
	z [%]	z [mm]	z [%]	z [mm]	z [%]	z [mm]
0,1	3-5	0,003-0,005	5-7	0,005-0,007	7-9	0,007-0,009
0,2		0,006-0,010		0,010-0,014		0,014-0,018
0,3		0,009-0,015		0,015-0,021		0,021-0,027
0,4		0,012-0,020		0,020-0,028		0,028-0,036
0,5		0,015-0,025		0,025-0,035		0,035-0,045
0,6	4-6	0,024-0,036	6-8	0,036-0,048	8-10	0,048-0,060
0,8		0,032-0,048		0,048-0,064		0,064-0,080
1		0,040-0,060		0,060-0,080		0,080-0,100
1,2		0,048-0,072		0,072-0,096		0,096-0,120
1,5		0,060-0,090		0,090-0,120		0,120-0,150
1,8	5-7	0,090-0,126	7-9	0,126-0,162	9-11	0,126-0,198
2		0,10-0,140		0,140-0,180		0,180-0,220
2,5		0,125-0,175		0,175-0,225		0,225-0,275
3		0,150-0,210		0,210-0,270		0,270-0,330
3,5	7-10	0,245-0,350	9-12	0,315-0,420	11-14	0,385-0,490
4		0,280-0,400		0,360-0,480		0,440-0,560
4,5		0,315-0,450		0,505-0,540		0,595-0,630
5		0,350-0,500		0,450-0,600		0,550-0,700



Obr 1.7 Kvalita střížné plochy závislá na rychlosti stříhu [38].



a) malá vůle, b) optimální vůle, c) velká vůle [35].

Obr 1.8 Vliv střížné vůle na kvalitu střížné plochy

### Výhody

Jedná se o bezodpadovou technologii s vysokou produktivitou. Vzhledem k provozním podmínkám a dělení za studena jsou provozní náklady v porovnání s jinými technologiemi dělení velmi nízké. Společně s automatizováním strojů je metoda efektivní, snadno ovladatelná pro obsluhu a díky dlouhé historii je technologie odladěna pro široké spektrum podmínek. Díky automatizaci lze technologii používat v malosériové výrobě při stále vysoké produktivitě. Pro určité metody dalšího použití výstřížku lze za výhodu považovat zpevnění materiálu v okolí střížné hrany do jisté hloubky [4, 6, 35, 38].

S moderními tabulovými nůžkami se zpřesnilo rozměry stříhaných polotovarů, zvýšila se rychlost stříhání a s tím související kvalita stříhu. Dalším důvodem velkého využití dané metody je snadná údržba a servis stroje [4, 35, 38].

### Nevýhody

Při stříhání materiálu vzniká na střížné hraně otřep (problém při přesném svařování). V okolí místa stříhu se zpevní materiál, který má významný vliv na plastické vlastnosti materiálu. Plastické vlastnosti jsou dále ovlivněny charakterem střížné hrany, konkrétními technologiemi a jejich parametry. Při následném zpracování může vzniknout trhlinka iniciovaná od místa dělení. Nevýhodou jsou drahé stroje a nástroje, přičemž záleží na konkrétní metodě [4, 35, 38].

Obecně lze říci, že klasickým stříháním se nedá dosáhnout kvalitní střížné plochy, jelikož výstřížek je z části ustřížen a z části utržen. Maximální podíl mezi utrženou a hladce ustříženou částí může být až 3:1. Další nevýhodou je zkosení střížné hrany vlivem střížné vůle a prohnutí plechů po působení střížné síly, která vyvolá ohybový moment [4, 35, 38].

### Parametry při stříhání

- Velikost střížné mezery se pohybuje v rozmezí  $3 \div 20$  % tloušťky plechu dle typu materiálu.
- Výstřížky menších rozměrů než 150 mm se vyrábějí v toleranci IT 12 až IT 14, u přesných stříhadel s vodicími sloupky v toleranci IT 9 až IT 11.
- U tlouštěk plechů do 1 mm se u střížné plochy dosahuje  $R_a = (3,2-6,3)$   $\mu\text{m}$ , u plechů tlustších  $R_a = (6,3-12,5)$   $\mu\text{m}$ , přičemž u tvrdých materiálů je drsnost střížné plochy vyšší. Jakost povrchu střížné plochy se zvyšuje zvýšením rychlosti stříhání.
- Hloubka vniknutí břitu do materiálu bývá: tvrdý a křehký materiál:  $h = 10$  %  $t$   
měkký a houževnatý materiál:  $h = 60$  %  $t$
- Vyšší rychlost stříhání ovlivňuje střížné plochy, jejich jakost, rozložení zpevnění, životnost nástroje a střížnou práci.

- Stříhání na modernějších tabulových nůžkách probíhá s předním nebo zadním dorazem.
- Úhel mezi noži  $\lambda$  je parametr ovlivňující deformaci odstřížku. Úhel je volen podle tloušťky materiálu, pro tloušťky do 4 mm 1°, do 10 mm 2°, do 20 mm 3° atd.
- Tloušťka pro stříhání na tabulových nůžkách 2-40 mm (v praxi do 8 mm) v závislosti na pevnosti materiálu  $R_m$  a délka stříhu 2-4 m [4, 6, 10, 35, 38].

Tab. 1.2 Porovnání stříhání s ostatními metodami dělení materiálu [4, 15].

Metoda dělení materiálu	Stupeň IT (přesnost)	Drsnost Ra [ $\mu\text{m}$ ]
Běžné stříhání	9-12	3,2-6,3
Přistřihování	6-9	0,6-1,6
Stříhání bez střížné mezery	9-11	0,4-0,8
Přesné stříhání	6-9	0,4-1,6
Stříhání se zkoseným přidržovačem	6-9	0,8-1,6
Obrábění	6-8	0,4-12,5
Laser	10-12	3,2-12,5
Plazma	11-12	3,2-25
Vodní paprsek	11-12	3,2-25

## VYSEKÁVÁNÍ

### Charakteristika

Technologie vysekávání je založena na fyzikálních a mechanických principech stříhání. Vysekávání je řazeno dle normy ČSN 22 6001 (1968) mezi střížné operace. Jedná se o technologii plošného tváření, kdy je porušena mez pevnosti a materiál je trvale deformován v místě dělení. Plastické deformace doprovázející proces jsou nežádoucí. Stříhání se definuje jako postupné nebo současné oddělování částí materiálu působením protilehlých hran střížných nástrojů podél čáry stříhu. K procesu vystřihování slouží razníky a matrice, které reprezentují střížník a střížnici. K oddělení materiálu dochází při vzájemném působení razníku, raznice a polotovaru. Plech se při této technologii prostřihne na jeden zdvih [25, 26].

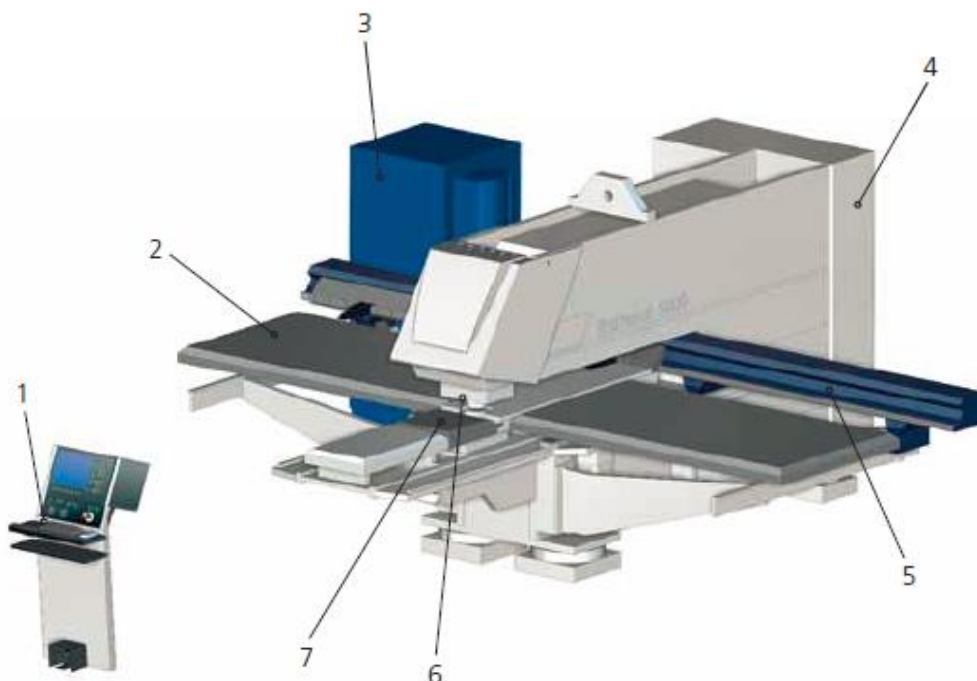
Obrys u vysekávání vzniká pomocí velkého množství na sebe navazujících děr. Jako polotovar se používají plechy tlouštěk od 0,8 do 8 mm a z nich jsou tvořeny buď finální výrobky, nebo se jedná o mezikrok pro další technologie (ohýbání). Technologie není omezena, co se velikosti výrobků týče, je pouze limitována rozměry a možnostmi stroje [25, 26].

Pro vysekávání se v dnešní době používají především CNC vysekávací centra, která mohou být kombinována s dalšími technologiemi např. laserem. Při této kombinaci obsahuje stroj dvě hlavy – jednu vysekávací a jednu laserovou. Laserem se pálí vnější kontury a složitější tvary, vysekáváním se zhotovují otvory. Na vysekávacích centrech lze vytvářet prolisy, závit, ohyby či niblovat (menší nástroj vytváří údery, které se překrývají). V současnosti je možné vysekávat více děr během jednoho zdvihu a zvýšit tak efektivitu stroje [25, 26].



Obr. 1.9 Sestava nástroje pro vysekávání [25].

Pro vysekávání se vytváří nástřižný plán, který umožňuje co nejlépe využít tabuli plechu a současně usnadňuje rychlou změnu vyráběných součástí. Odebírání plechu a odpadu se děje ručně nebo automaticky s pomocí mikromůstek. Mikromůstky je vhodné vytvářet pro menší díly, kde se zabráňuje vypadnutí dílu z tabule plechu a jejich ztrátě. Razník společně s maticí jsou upevněny v děrovací hlavě, která je spojena s beranem. Beran je poháněn hydraulicky nebo elektrickým mechanismem a pohybuje se ve vedení. Při děrování naráží beran do plechu až 1400krát za minutu a až 2800 zdvihů při značení materiálu [34, 35].

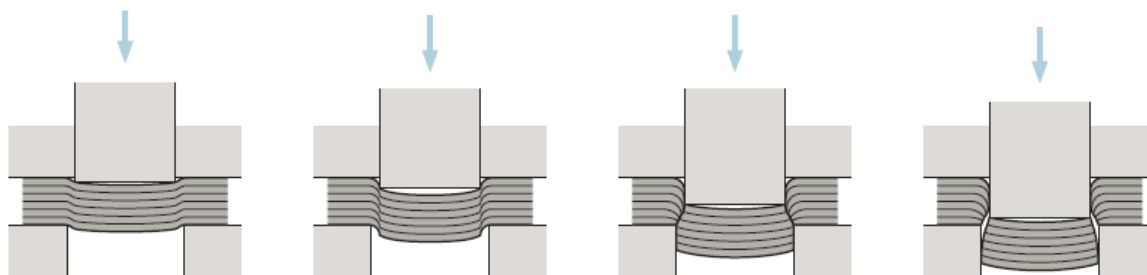


1 - obslužný pult, 2 - stůl stroje, 3 - rozvaděč, 4 - hydraulický agregát, 5 - příčná lišta s hydraulickým agregátem, 6 - děrovací hlava, 7 - klapky na díly

Obr. 1.10 Vysekávací CNC centrum [47].

## Princip metody

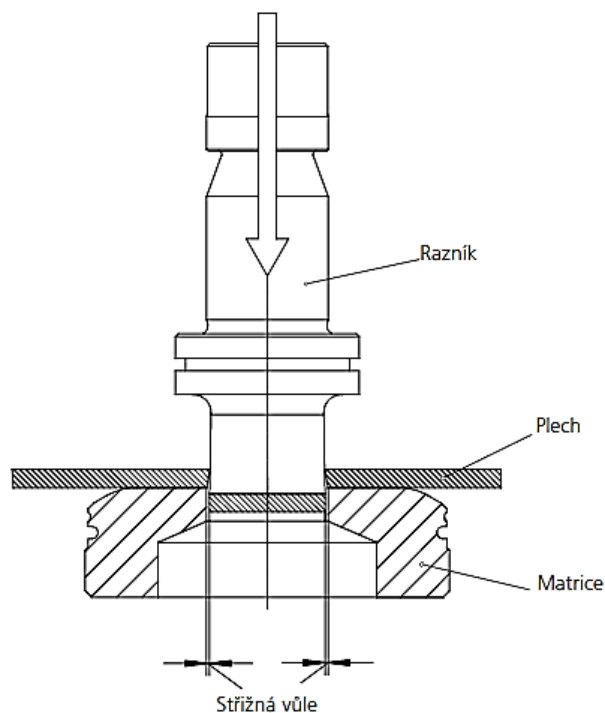
Princip vysekávání spočívá v tom, že plech je ustaven mezi razníkem a matricí. Razník působí na plech a zasunuje se do matrice, až dojde k prostřížení plechu. Hraný matrice a razníku se pohybují proti sobě, čímž vznikne dělení plechu podobné stříhání. Střih probíhá ve třech fázích. Razník se nejdříve dotkne plechu, který se deformuje a následně je nastřížen. Napětí v materiálu roste do hodnot, kdy je plech přetržen. Vystřížený kus je tlačem směrem dolů. Razník jede nahoru a táhne s sebou plech, který je stěračem vrácen na pracovní stůl. Horní část střížné hrany je ustřížena, kdežto dolní část utržena stejně jako u stříhání [25, 26, 47].



Obr. 1.11 Fáze stříhu [25].

Důležitou částí při technologii vysekávání je nástrojový systém. Ten se skládá z razníku, matrice, stěrače a ustavovacího kroužku. Hydraulické upnutí nástroje kombinované se hydrostatickým vedením beranu zaručuje velmi přesné souosé seřízení razníku vůči matrici. Zdvih beranu je automaticky řízen a díky tomu nedochází ke zbytečnému opotřebení nástroje. Nástroje je nutné mazat, aby se nezkracovala jejich životnost a snížilo se tření mezi nástrojem a materiálem. Mazání je automatické s možností změny intervalů mazání [25, 26, 47].

Hlavní parametry při vysekávání jsou: vysekávací síla, přesnost polohování a vedení nástroje, druh a provedení nástroje, frekvence úderů nástroje a střížná vůle [25, 26, 47].



Obr. 1.12 Princip vysekávání [25].



## Nástřihový plán

Jedná se o způsob rozmístění stříhaných součástí na výchozím polotovaru (plechu). Hlavním důvodem přípravy nástřihového plánu je maximální využití tabule plechu a s tím související šetření ekonomických nákladů, snadná manipulace při vysekávání, případně plnění jiných technologických požadavků (orientace vláken apod.) [35].

Možnosti stanovení nástřihového plánu [25, 35]:

- a) empiricky – využívá se při rozmístování složitých výrobků na tabuli plechu, používají se například papírové šablony.
- b) početní metodou – využívá se pro jednoduché tvary (kruhové tvary). Lze stanovit maximální možný počet výrobků na tabuli plechu, nebo naopak požadovanému počtu uzpůsobit tabuli plechu.

Základní zásady při tvorbě optimálního nástřihového plánu:

- kruhový obrys výstřižku není výhodný, lepší jsou rovnoběžníkové tvar
- při stříhání různých součástí na jeden zdvih se zvýší využití materiálu
- seskupování výstřižků

*Součinitel využití materiálu* [35]:

$$\eta = \frac{S_v}{S_p} \cdot 100 [\%] \quad (1.6)$$

Kde:  $S_v$ : plocha rozmístění výstřižků [mm<sup>2</sup>]  
 $S_p$ : plocha polotovaru-plechu [mm<sup>2</sup>]

Hospodárnost nástřihového plánu je tím vyšší, čím je větší sériovost výroby.

## Výhody

Mezi výhody patří dělení materiálu bez tepelného ovlivnění. Při velkých sériích je efektivita moderních CNC vysekávacích strojů vyšší než u laseru a ekonomické hledisko je příznivější pro vysekávání. V dnešní době se s výhodou využívá kombinace CNC vysekávacího centra se dvěma hlavami, kde jedna je vysekávací a druhá laserová. Při technologii nevznikají nebezpečné výpary ani plyny. V kombinaci s počítačem chystanými programy je vysekávání velmi jednoduché na obsluhu a nevyžaduje speciální znalosti. Výhodná je možnost vysekávání téměř všech druhů kovových materiálů [25, 26, 34].

## Nevýhody

Mezi nevýhody patří drahá pořizovací investice za stroj. Dále nutnost starat se o nástroje a udržovat je v dobrém stavu, který zajistí požadovanou přesnost a drsnost. Pořizovací cena nových nástrojů je vysoká. Při stříhání vzniká otláčení na horní straně materiálu společně se zaoblením a ořepem na spodní straně [25, 26, 34].

## Parametry metody

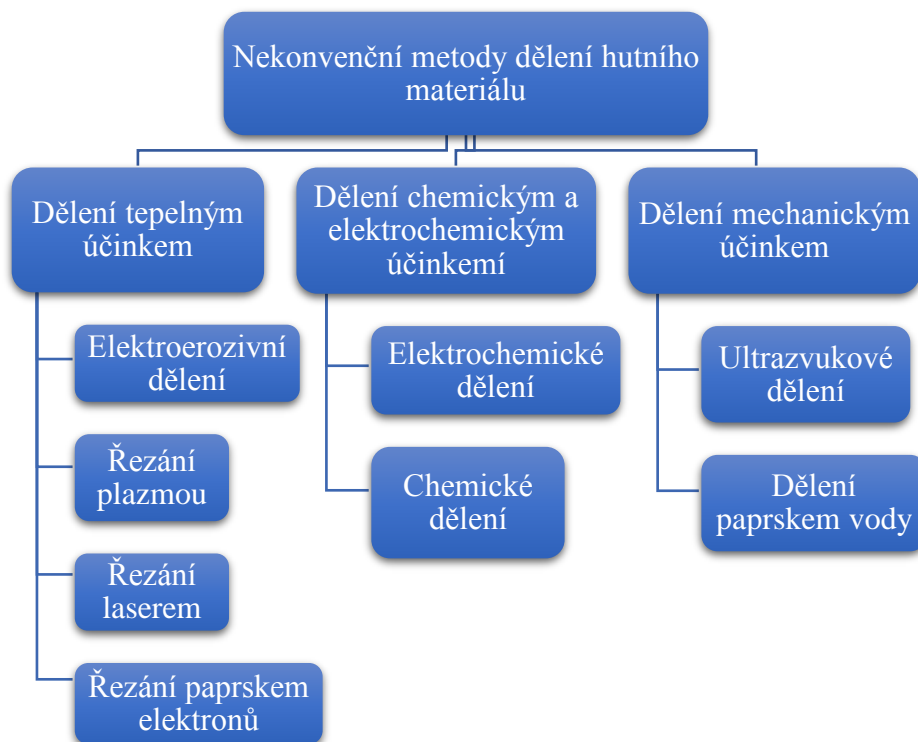
- Tloušťka vysekávaného materiálu: konstrukční ocel do 8 mm,  
 korozivzdorná ocel do 8 mm,  
 hliník do 8 mm.
- Přesnost vysekávání  $\pm 0,1$  mm.

- Při velkých sériích je vysekávání efektivnější než laser.
- Nevzniká tepelně ovlivněná oblast.
- Dosahovaná drsnost povrchu Ra 3,2 až 6,3.
- Kolmost střížné hrany závisí na poměru stříh/utržení.
- Otřep závisí na nástroji, mazivu a materiálu.
- Střížná vůle se odvíjí od tloušťky materiálu a jeho mechanických vlastností.
- Počet zdvihů beranu za minutu až 1400 [25, 26, 34, 27].

### b) Nekonvenční technologie dělení materiálu

Nekonvenční metody jsou založeny na využití fyzikálních nebo chemických vlastností děleného materiálu. Jedná se o speciální metody využívající procesy založené na přírodních zákonitostech o erozi materiálu. Pro nástroj je charakteristické, že nedochází k jeho přímému kontaktu s obrobkem a nevzniká tříska. Naopak nástroje vytváří specifický druh energie, která proces dělení či odebrání materiálu podporuje. Jedná se o velmi přesné metody, mající vysokou efektivitu a produktivitu výroby. Metody se používají zejména při hromadné výrobě a speciálních aplikacích, kde konvenční metody není možné použít (z důvodů tepelného ovlivnění, časové náročnosti, nepřesnosti výroby, malého využití materiálu). Výhodou je bezodpadový provoz, vysoký stupeň automatizace, využití nejmodernějších prvků bezpečnosti při práci nebo možnost obrábět konvenčními způsoby materiály neobrobitelné. Nevýhodou je vysoká pořizovací a často i provozní cena [22, 7, 1].

V praxi se nejčastěji využívá laser, plasma a vodní paprsek. Současně jsou to metody nejlépe se hodící na dělení polotovarů z plechu. Při výběru technologie dělicí plech je nutno zvážit vlastnosti plechu (tloušťku, tvar, materiál) a počet vyráběných kusů. Jedná se o metody paprskové, ale každá z nich má jinou oblast nejefektivnějšího využití [2, 3].



Obr. 1.13 Obecný přehled nekonvenčních způsobů [1, 2, 9].

## LASER

### Charakteristika

Laser může být z hlediska použitelnosti na širokou škálu materiálů považován za univerzální metodu pro řezání. Laserové řezání, tzv. LBM, je umožněno vysokou hustotou energie v místě dopadu laserového svazku na materiál. Vypařování materiálu je hlavním mechanismem při řezání. Technologie řezání laserem je v současné době nejrozšířenější aplikace laserů ve strojírenství především pro svůj úzký a přesný řez bez otřepů [1, 2, 3].

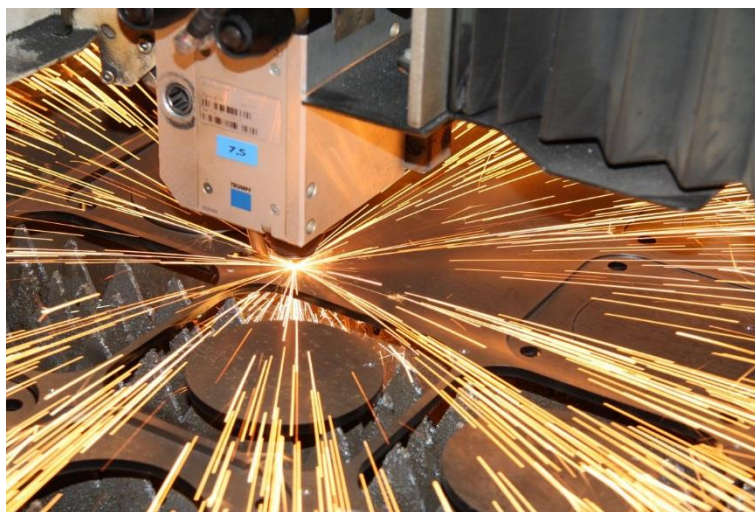
Oblast použití laseru je vhodná pro velké množství materiálů, jak pro kovové (uhlíkové a legované oceli), tak i pro nekovové materiály (např. keramiku, plastické hmoty) [2, 3].

Paprsek laseru je definován vlnovou délkou, divergencí, průměrem, polarizací, módem atd. Velikost laseru je specifikována výkonem ve Wattech a výkon je uváděn jako celková energie vyzářená ve formě laserového světla. Proces řezání laserem probíhá v normální atmosféře a není potřeba speciálních podmínek jako u některých nekonvenčních metod. Laser se nepoužívá jen pro dělení materiálu, ale i pro gravírování, vrtání, kalení, mikroobrábění, svařování, měření v metrologii, při 3D tisku, soustružení a dalších oblastech [1, 2, 3].

Charakteristické vlastnosti laserového paprsku [1, 2, 3]:

- světlo v laserovém paprsku má jenom jednu vlnovou délku
- disponuje velmi vysokou výstupní výkonovou hustotou
- má vysoký stupeň časové a prostorové koherence
- paprsek má minimální rozbíhavost (divergenci)

Obrobitelnost laserem je dána absorpcí, tepelnou vodivostí, odrazivostí, tavením povrchové vrstvy a odpařováním materiálu obrobku.



Obr. 1.14 Řezání paprskem laseru [42].

### Řezání laserem

Mezi hlavní mechanismy při řezání laserem patří erozivní účinek vysokoenergetických částic fotonů na povrch materiálu, lokální natavení povrchu a odstranění vzniklé taveniny odpařením nebo přidavným plynem, který vysokým tlakem odstraňuje materiál z místa řezu. I když je velká část materiálu z místa řezu odstraněna tlakem plynu, je jakost povrchu závislá na povrchovém napětí obrobku. Proto je laser vybaven řezací hlavou, která nejen chrání optiku, ale také přivádí ochranný a pomocný plyn do místa řezu. Pro ocel se používá jako přidavný plyn kyslík. Proces řezání pak závisí na použitém plynu a druhu materiálu [1].



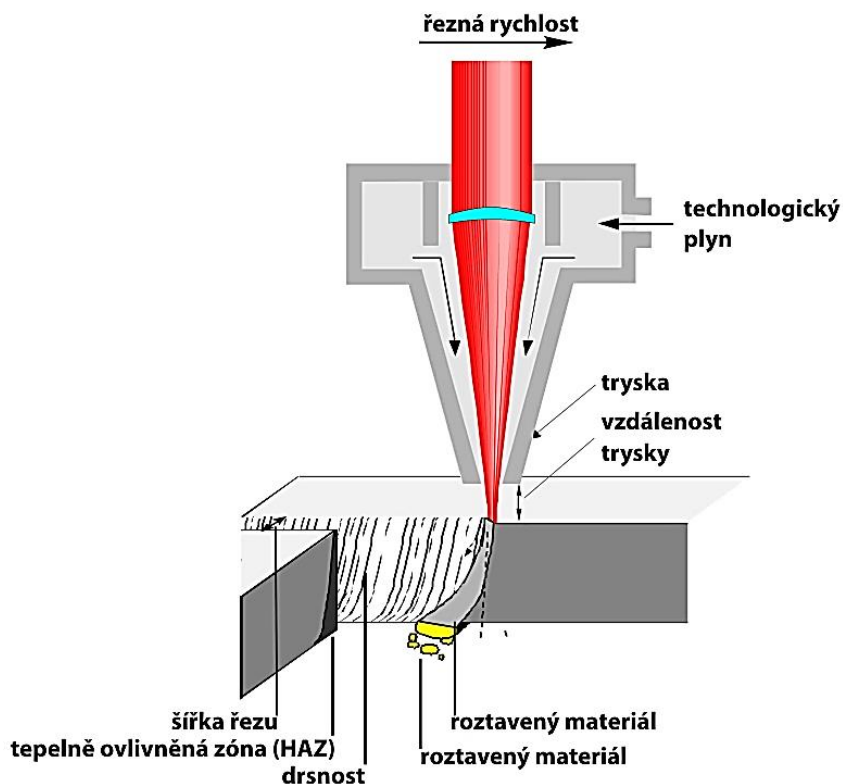
Způsoby řezání [1, 2, 3]:

- sublimační – materiál je odstraňován odpařováním. Tloušťka řezaných materiálů je omezena u tavících se materiálů. Pro sublimační řezání je nutné precizní nastavení optiky a vysoká hustota paprsku. V současnosti není tento způsob řezání příliš využíván.
- tavné – materiál je roztaven a odfoukáván asistenčním plynem pod vysokým tlakem (10–15 barů). Díky tomu je řez nezoxidovaný a vhodný pro mosaz, měď, hliník, nerez ocel a pozinkované plechy. Nevýhodou jsou menší řezné rychlosti a otřepy na spodní hraně řezu. Nevýhodou je i množství spotřebovaného plynu.
- řezání pálením (oxidační) – materiál ohřátý na zápalnou teplotu s přiváděným reaktivním plynem shoří v exotermické reakci, odstranění materiálu zajišťuje asistenční plyn. Místo asistenčního plynu se užívá  $O_2$ . Při chemické reakci kyslíku s rozžhaveným povrchem dojde k exotermické reakci, stejně jako při řezání kyslíkem. Současně vzniká další teplo, a to umožňuje zvýšit řeznou rychlost. U této metody lze řezat větší tloušťky materiálu než u předešlých způsobů. Díky vyšším rychlostem hrozí tvorba rýh na řezné ploše.

Laserové řezání je citlivé na kvalitu materiálu, kde především u konstrukčních ocelí, závisí na [1, 2, 3]:

- a. povrchové rzi, nánosech barvy
- b. chemickém složení – vyšší obsah Si je škodlivý
- c. způsobu výroby – válcování za tepla nebo za studena
- d. vadách v materiálu (dutiny, vměstky)

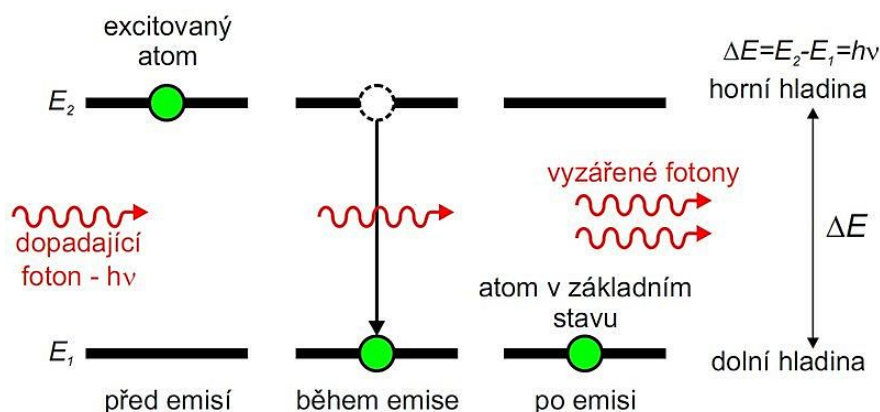
Z hlediska technologie existují dvě metody řezání, a to dělení materiálů, nebo tvorba drážky s následným kontrolovaným lomem (pro křehké materiály např. sklo). Na dělení materiálu se nejvíce používají  $CO_2$  lasery v kontinuálním režimu [1].



Obr. 1.15 Princip řezání paprskem laseru [43].

## Princip metody

Obyčejné světelné záření považujeme za vlnění, které se šíří všemi směry, zesílením se vytvoří úzký svazek fotonů. Laserové záření vzniká v prostředí určitého stimulujícího elektromagnetického záření potlačením spontánní emise na úkor emise stimulované. Vznik spontánní emise je podmíněn přesunem vybuzených atomů z vyšší energetické hladiny  $E_2$  na nižší energetickou hladinu  $E_1$ , a přitom vyzařuje kvantum světelného záření s frekvencí  $\nu$  (ta se zjišťuje z rozdílu energetických hladin poděleným Planckovou konstantou). Uvolní se potenciální energie elektronů atomu prvku v základní hmotě. Podstatou je soustředění vzniklého elektromagnetického záření viditelného světla na malou plošku. Paprsek vzniká v budícím zařízení, kde se generuje energie potřebná pro jeho vytvoření. Optický systém rezonátorů pak záření formuje a zesiluje [1, 2, 3].



Obr. 1.16 Princip vzniku stimulované emise [1].

## Druhy laseru

Lasery se dělí podle aktivního prostředí, vlnové délky, typu buzení, délky impulzu, typu kvantových přechodů. Pro strojírenství je však nejdůležitější dělení podle typu výkonu. Mezi nejpoužívanější patří  $\text{CO}_2$  lasery s výkonem 1-20 kW. Velký rozvoj zapříčinilo zavedení nových typů laseru: vláknového, diskového a diodového. Největší pokrok proběhl u  $\text{CO}_2$  a Nd:YAG v navýšení účinnosti až na 30 %, díky čemuž klesá spotřeba energie [1, 2].

Dělení dle aktivního prostředí [1, 2]:

### 1. Pevnolátkové lasery

Mezi ně se řadí rubínové ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) používané na holografie, Nd:YAG (neodym yttrium aluminium granát) s vedením paprsku optickým vláknem, Nd:sklo, alexandritové (vzácný drahokam). Zajímavé je srovnání účinností - Nd:YAG 2-3 % při životnosti 10 tis. hodin, diskové 15 % s životností 35 tis. hodin, vláknové 30 % s životností až 100 tis. hodin, výkonné až 50 %. V současné době se nejvíce rozvíjí vláknový laser, u něhož vedení paprsku zajišťuje optické vlákno, které vede paprsek až do řezací hlavy. Chlazení se provádí pouze vzduchem. Vláknové lasery jsou bezúdržbové, mají vysokou účinnost, nízký příkon a během provozu nevyžadují přídatný materiál.

### 2. Plynové lasery

Největší zastoupení mají  $\text{CO}_2$  lasery a  $\text{N}_2+\text{He}$  s velkým využitím ve strojírenství, He-Ne pro metrologii a holografii, Ar a P lasery pro chirurgii, excimerové (ArCl, XeF) využívané ve strojírenském průmyslu, při fotografování a chirurgii. Plynové lasery generují neviditelné infračervené záření, mají účinnost 13-20 % a aktivní prostředí tvoří helium s dusíkem a kyslíčkem uhličitým.

CO<sub>2</sub> s podélným prouděním je v praxi nejvíce používaný pro svůj vysoký výkon. Nevýhodou je systém vedení paprsku pomocí zrcadel a hranolů (náročnější servis, dražší provedení).

### 3. Kapalinové lasery

Používané ve spektroskopii (nedestruktivní analýza látek) a fotochemii.

### 4. Polovodičové

Jedná se o GaAs lasery určené pro optoelektroniku a informační technologie (tiskárny, CD mechaniky).

Dělení podle typu buzení:

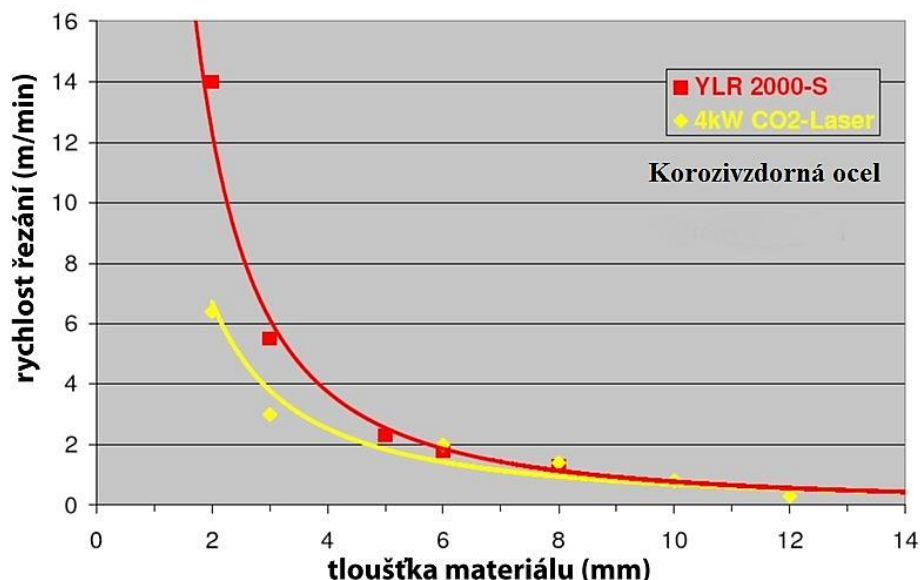
Jedná se o druh energie, potřebný pro vznik laserového záření. Forma je dána pracovním médiem.

1. Optické buzení
2. Buzení elektrickým výbojem
3. Buzení elektrickým proudem
4. Chemická excitace

Dělení podle impulsu paprsku:

Jde o formu buzení laserového záření.

1. Kontinuální režim
2. Pulzní režim
3. Režim ultra krátkých pulzů
4. Q-spínání



Obr. 1.17 Porovnání vláknového a CO<sub>2</sub> laseru [43].

Tab. 1.3 Porovnání druhů laserů [1, 2, 3].

Typ laseru	CO <sub>2</sub>	Nd:YAG	Diodový	Vláknový	Diskový
Vlnová délka [nm]	10 600	1 064	808-1 030	1070	808-1030
Absorpce	Nízká	Vysoká	Vysoká	Vysoká	Vysoká

Vedení paprsku	Přes zrcadla	Vlákem	Vlákem	Vlákem	vlákem
Elektrická účinnost	10-15 %	2-5 %	25-35 %	25-30 %	15 %
Životnost (hod)	5 000	10 000	100 000	100 000	10 000
Cena/hod v Kč	1225(6kW)	1300(4kW)	575(4kW)	1075(4kW)	-
Prostor m <sup>2</sup>	3	6	Do 1,5	Do 1	Nad 4
Výkon laseru	500 -15 000 W	100-1 200 W	Až 20 000 W	Až 50 000 W	Až 4 000 W

### Výhody

K největším výhodám dělení materiálu laserem patří možnost koncentrace tepelné energie na velmi malou plochu bez použití mechanických sil, a proto je možné obrábět i velmi křehké materiály bez rizika jejich mechanického poškození. Výhodou je možnost měnit průměr paprsku laseru pomocí vhodné optiky, a to ve velmi širokém rozsahu. S tím souvisí schopnost vytvářet úzké řezy, díky kterým je uspořen materiál, omezeno poškození nebo ovlivnění povrchu obrobku. Zapínání a vypínání paprsku se děje za vysoké rychlosti, přesnosti, a navíc není potřeba pro začátek řezu předvrtávat otvor. Paprsek je chemicky čistý, tím zaručuje obrábění bez znečištění materiálu a bez silového působení [1, 2, 3].

Dále obrábění v místech nedostupných pro jiné nástroje, lze použít systém zrcadel či optických kabelů. Laserem je možno dělit kovové, nekovové i kompozitní materiály, obtížně obrobitelné materiály (titan a jeho slitiny), hliníkové slitiny, zlato a niob. Ve spojení s CNC centry vznikají vysoce produktivní zařízení zaručující velmi kvalitní dělení materiálu v rovině i prostoru [1, 2, 3].

### Nevýhody

Za největší nevýhodu lze považovat pořizovací a provozní náklady. Také rizika vznikající při laserovém záření, hluk vibrace, nebezpečné plyny a výpary. Nevýhodou v případě poruchy je nutnost opravy od odborné firmy, jelikož se jedná o složitá zařízení. V místě řezu je tepelně ovlivněná oblast s martenzitickou strukturou, paprsek má tendenci vytvářet kuželovitý řez. Dále obtížné dělení materiálů s vysokou tepelnou vodivostí (zlato) a odrazivostí povrchu (hliník). Účinnost laseru vůči příkonu je asi jen 10 % podle použitého laseru [1, 2, 32].

### Parametry při řezání laserem

- kvalita řezu Ra: 1,6–12 μm,
- tloušťka TOO: 0,16–0,5 mm,
- šířka řezné spáry: dle druhu laseru, materiálu a jeho tloušťky 0,02–2,5 mm,
- typy používaných laserů: CO<sub>2</sub> lasery 600–2000 W,  
Nd:YAG 100–1000 W,
- tloušťka řezaného materiálu u CO<sub>2</sub> laserů: slitiny Al do 5 mm,  
korozivzdorná ocel do 10 mm,

- tloušťka řezaného materiálu u Nd:YAG laserů: konstrukční ocel do 20 mm,  
slitiny AL do 2 mm,  
korozi vzdorná ocel do 3 mm,  
konstrukční ocel do 6 mm,
- řezací režimy: kontinuální a pulzní (1–3 ms typická délka pulzu, 10–80 ns pro speciální lasery), asistenční plyn  $O_2$  nebo  $N_2$ ,
- průměr trysek: 0,8–1,5 mm,
- průměr paprsku: 0,18–0,3 mm [2, 3].

## PLAZMA

### Charakteristika

Plazma je zkrácený název pro hmotu v plazmatickém stavu a bývá obvykle označována jako čtvrté skupenství hmoty. Při zahřátí pevné látky dochází k jejímu roztavení a při dalším zahřívání se kapalina změní na plyn. Při dalším zahřívání vznikne skupenství hmoty s velmi zajímavými vlastnostmi (v určitých podmínkách se chová jako plyn, v jiných je podobná stavu pevnému). Tento stav hmoty může být úplně nebo neúplně ionizovaný, tedy s velkým množstvím energie. Za ionizaci lze považovat děj, při kterém atom ztratí část svých elektronů a nabyde kladného elektrického náboje. Ionizace se provádí teplem, zářením a elektrickým nábojem [2, 3].

U plazmy platí, že elektrony jsou odtrženy od atomů a pohybují se zcela neuspořádaně (jev podobný molekulám v plynu). Kladně a záporně nabitě částice se v plazmě nacházejí v takovém poměru, že výsledný náboj je nulový a jako celek lze plazma v plazmatickém stavu považovat za elektricky neutrální. Výhodnou vlastností je možnost uspořádat částice tak, aby se pohybovaly uspořádaně. K tomu je potřeba magnetického pole, které elektrony usměrní do jednoho celku a chování plazmatu zcela ovládá (stlačuje, zadržuje magnetickou stěnou apod.). Volně pohybující se elektrony v plazmě přenášejí elektrický proud.

Dosáhnout plazmy se dá elektrickým výbojem – elektricky, kompenzovaným iontovým svazkem – mechanicky, rozpadovými a slučovacemi jadrovými reakcemi. Plazma se v dnešní době využívá i pro svařování, povrchové úpravy a nanášení povrchových vrstev [1, 2, 3].



Obr. 1.18 Řezání plazmou [44].

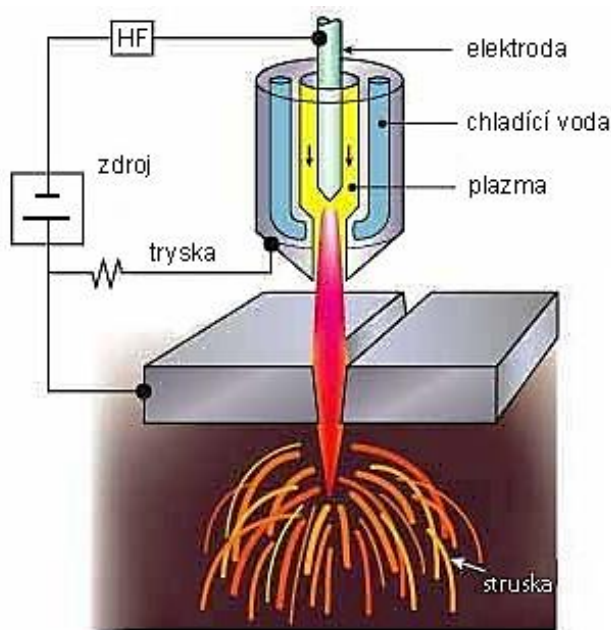


## Řezání plazmou (PBM)

Dělení plazmou je založeno na tepelném a dynamickém účinku plazmy. Plazmový paprsek vzniká pomocí elektrické energie a plazmového plynu mezi materiálem a katodou. Katoda se netaví a je vyrobena z wolframu, hafnia a dalších materiálů. Řezný materiál je napojen na kladný pól (stává se z něj anoda). Paprsek je charakteristický vysokou hustotou výkonu a vysokou teplotou [2, 3].

Kvalita vzniklého řezu a maximální tloušťka při řezání jsou dány metodou řezání, rychlostí řezání, napájecím napětím a proudem, druhem řezného materiálu. V porovnání s laserem při řezání tenkých plechů nevyžaduje plazma tak vysoké náklady. Oproti řezání plamenem zvládne plazma větší tloušťky materiálu a čas řezání je kratší. S plazmou lze řezat různé druhy kovových materiálů i těžkoobrobitelných ocelí [2, 3].

Rychlost řezání se liší dle výrobce řezáku. U přímých řezů lze nastavit vyšší rychlost řezání než u tvarových řezů. Velká rychlost může vést až k přerušení procesu řezání, naopak malá rychlost způsobuje natavování horních hran řezné spáry. Při malé rychlosti řezání se v řezu hromadí kyslík. Velké množství kyslíku (nesprávně zvolený tlak řezacího kyslíku) má vliv na ostrost hran a hladkost řezných ploch z důvodu rychlého odvodu tepla z místa řezu. S rychlostí řezání souvisí i vznik strusky na řezaném materiálu. Struska je nežádoucí a má více příčin vzniku (povrchová úprava materiálu, množství uhlíku) a je nutné ji následně brousit [2, 3].



Obr. 1.19 Princip řezání plazmou [45].

### Používané plyny [1, 3]:

- Plazmové plyny – přivádí se do místa obloukového výboje a umožňují vznik plazmového paprsku. Mohou to být tyto plyny: Ar, Ar+H<sub>2</sub>, Ne, vzduch, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>.
- Fokusační plyny – jedná se o plyny zaostrující a současně zužující paprsek při jeho výstupu z trysky plazmového hořáku. Mezi tyto plyny patří: Ar, Ar+H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, Ar+N<sub>2</sub>.
- Ochranné plyny – obklopují paprsek plazmy a oblast tavení materiálu, čímž chrání řez před účinky atmosféry. Používá se Ar nebo Ar+H<sub>2</sub>.

### Rozdělení plazmových hořáků [1, 3]:

- Dle systému plazmového hořáku

- S plynovou stabilizací
- Systém se stlačeným vzduchem – tryska obsahuje kanálky pro vstřík vody, vhodné pro řezání neželezných kovů a ocelí
- Systém se stlačeným vzduchem
  - b. Dle druhu stabilizačního média
    - S transferovým obloukem – oblouk hoří mezi materiálem a elektrodou uvnitř hořáku, použití pro řezání ocelí a neželezných kovů
    - S netransferovým obloukem – oblouk hoří mezi výstupní tryskou a elektrodou uvnitř hořáku, pro nanášení povlaků a obrábění nevodivých materiálů

Tab. 1.4 Porovnání systému plazmového hořáku [1, 2].

Parametr	Rozměr	Systém stabilizovaný plynem			Systém se vstříkáním vody			Systém se stlačeným vzduchem		
		3,2	6,4	15,9	3,2	6,4	15,9	3,2	6,4	15,9
<i>Tloušťka materiálu</i>	mm	3,2	6,4	15,9	3,2	6,4	15,9	3,2	6,4	15,9
<i>Řezná rychlost</i>	mm/s	106	51	32	74	64	34	106	95	32
<i>Výkon</i>	kW	15	15	15	58	70	89	49	58	64
<i>Proudová intenzita</i>		150	150	150	300	350	400	200	235	250
<i>Průtok vzduchu</i>	m <sup>3</sup> /h	-	-	-	-	-	-	2,8	2,8	2,8
<i>Průtok dusíku</i>	m <sup>3</sup> /h	1,7	1,7	1,7	4,7	4,7	4,7	-	-	-
<i>Průtok CO<sub>2</sub></i>	m <sup>3</sup> /h	5,9	5,9	5,9	-	-	-	-	-	-
<i>Lineární intenzita</i>	m/h	381	183	114	267	229	107	381	343	114

### Princip metody

Plazma je elektricky a magneticky vodivý stav plynu obsahující směs pozitivně nabitých iontů, volných elektronů a neutrálních atomů s velmi vysokou teplotou 10 000-30 000 °C. Za klidového stavu plazma vystupuje jako neutrální ionizovaný plyn. Plazma může vznikat několika způsoby: první způsob je zahřátí plynu na vysokou teplotu, druhý způsob využívaný v technické praxi, je vznik pomocí výboje mezi katodou a anodou. To znamená, že se elektrická energie mění na tepelnou. Vznik plazmy je podmíněn rozkladem molekul plynu při průchodu elektrickým obloukem. Materiál, který je dělený, se nejprve odtavuje, následně odpařuje a rozprašuje paprskem plazmy. Důsledkem dynamického účinku plazmového plynu se roztavený materiál z místa řezu odfoukává ve formě tekutého kovu. Paprsek vystupuje z plazmového hořáku vysokou rychlostí. Plazmu je nutno stabilizovat jednou z výše uvedených metod, aby byl paprsek udržen v tenkém válcovém svazku po celou dobu dělení materiálu. Plazma na řezání vzniká ze směsi stlačených plynů, stlačeného vzduchu, vodního proudu a kombinací plynu a vody [1, 2].

*Určení intenzity přenosu energie [3]:*

$$E = K \cdot h_1 - H_2 \cdot v \text{ [J]} \quad (1.1)$$

Kde:  $v$ : rychlost proudění plazmy [m<sup>3</sup>/s]

$K$ : konstanta

$H_2$ : absorbovaný obsah tepla [J/m<sup>3</sup>]

$h_1$ : energie paprsku plazmy [J/s]

Energie potřebná na rozdělení materiálu [3]:

$$E_m = c \cdot t \cdot v \cdot \rho \cdot L \quad (1.1)$$

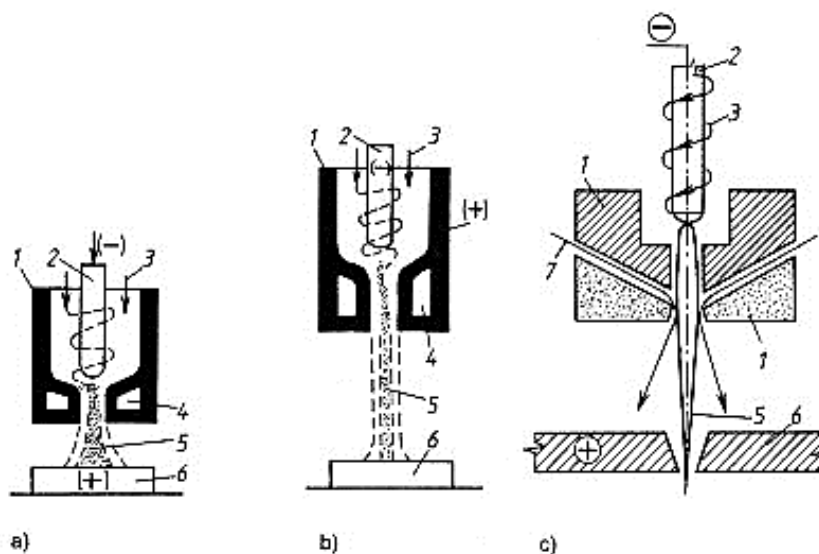
Kde:  $t$ : tloušťka materiálu [mm]

$c$ : šířka řezné spáry [mm]

$v$ : rychlost řezání [m/min]

$\rho$ : hustota materiálu [ $\text{kg/m}^3$ ]

$L$ : celková energie potřebná pro proces řezání na nastavení jednotkového množství materiálu [J/kg]



1 - těleso hořáku, 2 - katoda, 3 - přívod plynu, 4 - chlazení hořáku, 5 - paprsek plazmy, 6 - obrobek, 7 - přívod vody

Obr. 1.20 Plazmové hořáky: a) s plynovou stabilizací s transferovaným obloukem, b) s plynovou stabilizací s netransferovaným obloukem, c) s vodní stabilizací [46].

### Fáze řezání plazmou [1, 2, 3]:

#### 1. Předfuk

Děj probíhající před samotným zapálením plazmového oblouku. Trvání předfuku je přibližně 2 sekundy. Plazmový plyn se vede do dvou různých míst, nejprve do vnitřní trysky a kolem elektrody vychází z hořáku. Následně plyn směřuje do vnější chladicí oblasti plazmového hořáku, kde se chová jako chladicí medium. Z tohoto místa odvádí vzniklé teplo a prodlužuje tak životnost hořáku.

#### 2. Pilotní oblouk

V momentě ukončení předfuku je zapálen pilotní oblouk. Oblouk o vysokém napětí a frekvenci, hoří mezi elektrodou a tryskou. Pilotní oblouk trvá 2-3 sekundy podle typu stroje a slouží k usnadnění zapálení řezacího oblouku.

#### 3. Startování

Při startu pilotního oblouku je nutností jeho elektrické propojení s uzemněným řezaným materiálem. Jakmile je hořák přiblížen k materiálu, přeneseme se oblouk na řezaný kus a spustí se řezací oblouk o vysokém proudu s nízkým napětím. Vzdálenost hořáku od řezaného materiálu



určuje charakteristické vlastnosti procesu. Při malé vzdálenosti natavený materiál poškodí trysku, při velké vzdálenosti vzniká kaskádový oblouk.

#### 4. Řezací oblouk

Důležitým parametrem ovlivňující kvalitu řezu při řezacím oblouku je řezná rychlost. Tento parametr ovlivňuje životnost jednotlivých částí hořáku. Při začátku řezu nad plechem se doporučuje naklonit hořák pod úhlem  $45^\circ$ , aby odlétávající kapky kovu nepoškodily hořák.

#### 5. Dofuk

Po ukončení řezání dochází k ochlazování celého systému – hořáku, elektrody a trysky. Důsledkem je větší životnost součástí.

Za účelem zvýšení efektivity plazmy se používá rotace vlivem Lorentzových sil pomocí magnetických polí. Opět dochází k prodloužení životnosti hořáku a zlepšení stability oblouku.

### Výhody

U plazmové technologie lze použít jeden nebo více hořáků na jednom stroji. Zvýší se tak produktivita práce. Řezání plazmatem je možno provádět u všech elektricky vodivých materiálů. Pro řezání vysokolegovaných ocelí a hliníkových materiálů středních a velkých tloušťek neexistuje alternativní řešení. Při řezání vysokopevnostních ocelí lze použít menší tepelný příkon. Oproti autogenu až 10x vyšší řezná rychlost. V dnešní době vysoký stupeň automatizace v propojení s CNC strojem. Výhodou je použití řezání plazmou pod vodou, kdy se teplotně ovlivní velmi malá oblast a zredukuje se množství hluku vznikajícího při procesu. Pomocí plazmatu lze materiál obrábět, a to vyrábět díry, srážet hrany a tvoření mělkých drážek [2, 30, 31]

### Nevýhody

Při aplikování plazmy na velmi přesné dělení není možné mít odchylky rozměru jako u laseru. Drsnost povrchu při tomto způsobu dělení je velká, v místě řezu najdeme výrazné variace a rýhy. Řez není kolmý, má velký odklon, velikost tepelného ovlivnění a šířka spáry oproti laseru jsou větší. Celkově je kvalita řezu horší (ve srovnání s laserem), což je možno rozlišit i lidským okem. Při použití plazmy vzniká velké množství emisí a odpadních plynů, které je potřeba odsávat, filtrovat a odvádět pryč z prostor budov (vzniká nebezpečný oxid dusíku). Negativní dopad má i hluk vznikající při řezání (dosahuje hodnoty až 90 dB). Ve srovnání s řezáním plamenem jsou náklady na provoz vyšší. S plazmovou technologií lze dělit pouze železné a neželezné kovy, řezání keramiky není možné [2, 30, 31].

### Parametry metody

- nejvýhodnější uplatnění pro tloušťky nad 100 mm (korozivzdorné oceli nad 130 mm a slitiny hliníku nad 150 mm),
- hloubka tepelně ovlivněné vrstvy: 0,25-1,25 mm,
- rychlost posuvu: 50-6000 mm·min<sup>-1</sup>,
- šířka řezné mezery: až 7 mm při vstupu paprsku, 4,5 na výstupu paprsku z místa řezu, řez není kolmý,
- kolmost stran v místě řezu je rozdílná kvůli vířivému pohybu plynu (levá strana až  $15^\circ$  ale pravá jen  $3^\circ$ ),
- šířka dělicí spáry závisí na rychlosti řezu a vzdálenosti hořáku od materiálu,
- výkon obrábění při příkonu 4kW dosahuje až 20 cm<sup>3</sup>·min<sup>-1</sup>,
- teploty plazmatu 17 000-33 000 °C,

- intenzita přenosu tepla do materiálu 24,1-68,7 MW/m<sup>2</sup>,
- rozšíření hran 2-10 ° ve svislém směru [2, 30, 31].

## VODNÍ PAPERSEK

### Charakteristika

Stejně jako při všech nekonvenčních metodách nedochází ke kontaktu mezi nástrojem a obrobkem. Metodu řezání vodním paprskem lze rozdělit na čistý kapalinový paprsek a abrazivní paprsek. Využívají se dva mechanismy úběru materiálu:

- a) Šíření trhliny ve vnitřní části vrubu v důsledku spojení trhlín vzniklých pod povrchem materiálu. Vzniká především u křehkých materiálů s trhlinovou strukturou.
- b) Pomocí kluzných lomů v důsledku posuvných napětí. Tento mechanismus se projevuje zejména u tažených materiálů [1,2].

Čistý paprsek se používá pro dělení měkkých a málo houževnatých materiálů, kdežto abrazivní pro tvrdé a houževnaté materiály, které mají tloušťku 100 a více mm. Abrazivo zvyšuje účinnost metody a rozšiřuje možnosti použití. Z konstrukčního hlediska lze dělit abrazivní paprsek na systém s přímým přívodem brusiva AJM, kde brusivo je ze zásobníku přiváděno do směšovací komory a na systém s přímým vstřikováním brusiva ASJ, kde se přivádí suspenze s vodou do dýzy. Systém ASJ má vyšší proudovou hustotu narážejících částic a vyšší účinnost [2, 3].

Technologie využívá velmi úzký paprsek vody o vysokém tlaku a vysokorychlostním proudění. Zařízení pro technologii řezání vodou se skládá z hydraulického systému, ve kterém se generuje paprsek o vysokém tlaku, multiplikátoru, který ještě více zvyšuje tlak vody (až 400 MPa). Dále z akumulátoru, kde jsou tlumeny rázy vzniklé vysokým tlakem. Důležité jsou filtry odstraňující možné nečistoty v systému. Nejdůležitější součástí je řezací tryska, která ovlivňuje kvalitu řezného paprsku i kvalitu řezu (podle typu dýzy dělení systému na AJM a ASJ). Velmi důležitým parametrem je kvalita vody. Do systému musí být pouštěna pouze deionizovaná a demineralizovaná voda. Proces řezání je řízen počítačovým programem a je realizován na CNC stroji. U této technologie nevzniká na rozdíl od laseru a dalších metod tepelně ovlivněná vrstva a vždy se jedná o studený řez. Použité abrazivo i vodu lze recyklovat, proto je metoda velmi šetrná k životnímu prostředí [2, 3].

Technologie nachází široké využití ve strojírenství, jako např. při vrtání, soustružení, gravírování, drážkování, odstraňování otřepů apod. [1, 2].



Obr. 1.21 Řezání vodním paprskem [39].

## Princip metody

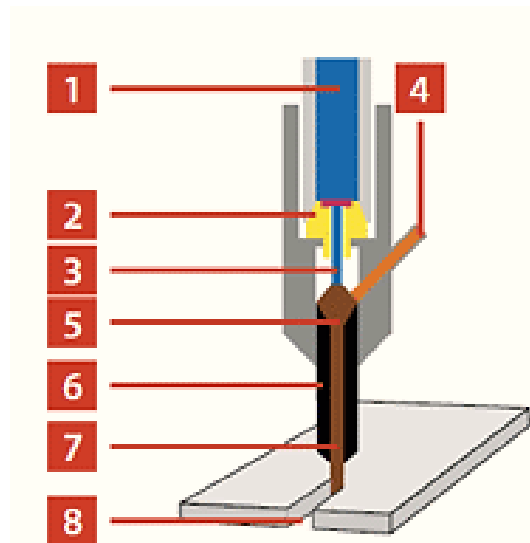
Čistý vodní paprsek využívá kinematické energie vysokotlakého a vysokorychlostního vodního paprsku. Vodní paprsek s abrazivem pracuje na vysokorychlostním erozivním principu, kde je účinek obrábění umocněn abrazivem smíchaným s vodou. Rychlost vodního paprsku je 2 až 4násobně vyšší než rychlost zvuku. Proces lze rozdělit na dvě části, z nichž v první vzniká prohlubeň v materiálu kvůli působení vysokého tlaku kapaliny, která se mění na otvor. V druhé části se otvor prohlubuje a vytváří se řezná spára. V obráběném materiálu se pak vytváří mikrotrhliny a rázové trhliny, které se kvůli zatížení rychle šíří a umožňují tak úběr materiálu. Turbulentní proudění v kapalinách podporuje rozrušování materiálu. U kovů se řezání zakládá na rozrušování povrchu, vzniku únavových mikrotrhlin a jejich šíření [1, 2, 3].

Základem hydraulického primárního okruhu je vysokotlaké olejové čerpadlo. Čerpadlo dodává maximální tlak 215 barů. Přes uzavírací ventil se tlačí olej, který ovládá okamžité rušení průtoku za i před (střídavě) píst hydraulického zesilovače tlaku – multiplikátoru. Tlak působí na plochu pístu, který je spojen se dvěma pístnicemi menšího průměru. Obě pístnice mohou vytvořit tlak v tlakové komoře až 4100 barů. Do tlakových komor je přiváděna filtrovaná voda. Sekundární okruh se skládá ze zpětných ventilů, vysokotlakého akumulátoru tlumícího rázy vysokotlaké technologické vody vznikající v jedné nebo druhé tlakové komoře. Přetlaková voda konstantního tlaku je vedena do směšovací komory zakončené abrazivní tryskou. Z trysky vytéká paprsek rychlostí 700 až 1000 m/s [1, 2, 3].

Kvalita řezu je ovlivněna mnohými faktory, například výtokovým průměrem trysky, tlakem vody, rychlostí proudění vody, rychlostí pohybu paprsku, vzdáleností trysky od povrchu obrobku atd. Při obrábění paprskem vody s abrazivem má na jakost povrchu a řezný výkon vliv i druh abraziva a jeho množství, stejně jako velikost a tvar zrn, z nichž je abrazivo složeno. Důležitým faktorem je úhel nárazu částice  $\alpha_0$ , který má ideální hodnotu 20-30° u tvárných materiálů a 90° u křehkých materiálů [1, 2, 3].

Používané paprsky [2]:

- 1) Systém kontinuálního paprsku: nejpoužívanější metoda
- 2) Systém pulzujícího paprsku: pro vrtání, lámání a drcení hornin
- 3) Systém kavitačního paprsku: lokální porušení kavitační destrukční silou



1 - voda pod tlakem, 2 - vodní tryska, 3 - vodní paprsek, 4 - přívod abraziva, 5 - směšovací komora, 6 - usměrňovací trubice, 7 - vodní paprsek s abrazivem, 8 - řezná spára

Obr. 1.22 Princip řezání vodním paprskem [38].

## Druhy abraziv

Proces dělení materiálu ovlivňuje hustota, pevnost a tvrdost abraziva. Důležitá je tedy vhodná volba abraziva pro konkrétní řezaný materiál. Mezi nejčastější druhy patří [1]:

- granát:  $[\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)]_3$  nebo  $5\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{Y}_2\text{O}_3$  jsou nejčastěji používané druhy, pořizovací cena je vyšší, více opotřebovává trysku, vyšší řezný účinek
- olivín:  $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$
- oxid hlinitý:  $\text{Al}_2\text{O}_3$
- křemičitý písek: nižší pořizovací cena, nižší opotřebení trysky, nižší řezný účinek
- ocelová drť, broky

Velikost abraziva se definuje jednotkou MASH a tvar se popisuje kulatostí a kruhovitostí. Nejvhodnější pro řezání je tvar s malou kruhovitostí a velkou kulatostí. Na hloubku řezu a na potřebnou kinetickou energii k dělicímu procesu má vliv velikost a tvar zrn abraziva. Používaná zrnitost je 60 MASH dle ISO 525-75, což je střední velikost zrna [1].

## Úprava vody pro AJM a WJM

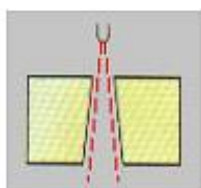
Voda a její kvalita hrají při životnosti stroje na řezání vodním paprskem značnou roli. Z toho důvodu se používá voda s přesně definovanými vlastnostmi. Minerály (vápník, hořčík, sodík) obsažené v neupravené vodě zanáší trysku, snižují výkon a zvyšují nákladů na řezání. Problémem jsou malé částice hmoty a úplně rozpustné pevné látky. Životnost pístů, těsnění a dýz je přímo úměrná kvalitě vody, rychlosti řezání a kvalitě řezání [2, 3].

K úpravě vody se používají tyto procesy [2, 3]:

- filtrace – mechanický způsob úpravy vody, sloužící na odstranění pevných částic (různých velikostí) z vody, typickým příkladem je čtyřvrstvý hloubkový filtr. Každá vrstva filtru zachytává částice, kdy první zachytává největší a čtvrtý nejmenší částice. Filtr dokáže zachytit částičky o velikosti 1–10  $\mu\text{m}$ . Filtry jsou recyklovatelné.
- změkčování – tímto dějem se upravuje voda na požadovanou měkkost. Při řezání vodním paprskem se doporučuje voda měkká do hodnoty 1 (grainů na galon). Existuje voda mírně tvrdá, tvrdá, velmi tvrdá a extrémně tvrdá. Principem je výměna iontů hořčíku a vápníku za minerály sodíku. Výměna se uskutečňuje v poměru 1:1 a množství rozpuštěných částic zůstává neměnné.
- zpětná osmóza – voda se stlačí přes polopropustnou membránu, která zachytává nečistoty a rozpustné částice. Nečistoty jsou odplaveny pryč a vzniká vysoce kvalitní voda. Účinnost zpětné osmózy je 98 %. Voda po průchodu neobsahuje žádné částice, mikroorganismy ani bakterie.
- deionizace – jedná se o výměnu iontů, ale složitějším procesem než u změkčování. Pomocí kationtové a aniontové pryskyřice se voda zbavuje minerálů a nahrazuje se hydroxidy a sodíkem. Při průchodu vody přes aniontovou pryskyřici je zbavena chloridů a sulfátů, které se nahradí hydroxidy. Voda poté neobsahuje žádné iontové nečistoty.

Ke kvalitní úpravě vody je vhodné použít kombinaci všech uvedených metod. Jedná se o ekonomicky nákladné procesy, proto je potřeba zvážit ekonomické hledisko. Firmy prodávající stroje na řezání vodním paprskem uvádí množství povolených nečistot ve vodě, požívané pro řezání [2].

## Vznik úkosů



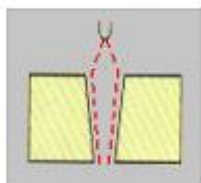
a) velmi pomalý řez, nebo řez v měkkém materiálu:

paprsek řeže svoji přirozenou kuželovitou stopou, řez se otevírá směrem dolů



b) rovnováha mezi rychlostí řezání, odolností a tloušťkou materiálu:

paprsek je držen po celou dobu řezu ve válcovitém tvaru, řez nemá úkos



c) rychlý řez, řez v těžko obrobitelném materiálu:

paprsek nestíhá prořezat materiál ani při vstupu, řez se uzavírá směrem dolů

Obr 1.23 Úkosy při řezání vodním paprskem [40].

Velikost úkosů se pohybuje v rozmezí 1-1,5 stupně. Vznik úkosu a jeho velikost ovlivňuje množství abraziva, tvar řezu apod. Vliv má také vzdálenost trysky od materiálu. Čím je tryska dále od materiálu, tím se zvětšuje šířka řezné spáry a snižuje se jakost opracované plochy [40].

## Výhody

K největším výhodám patří možnost řezat téměř všechny materiály od papíru až po pancíře a vysoká energetická účinnost dosahující 80 %. Řez je studený bez zbytkových napětí a mikrotrhlin a je tak možné řezat i materiály choulostivé na teplo. Obrobené hrany nevykazují mechanickou ani tepelnou deformaci. Při procesu nevznikají žádné nebezpečné plyny nebo páry, ani prachové částice. Odpad materiálu je díky úzkému řezu velmi malý. Obrobek při řezání nemusí být upnutý a je možné řezat i pod hladinou vody. Tvar (obrysy) a rozměry (úkosy) obroku nejsou technologií limitovány, pouze strojem. Při řezání materiálu s povrchovou úpravou nedojde k porušení této struktury. Řez je bez otřepů, odpadá nutnost následného opracování, odjehlování a srážení ostrých hran. Životnost trysek se pohybuje okolo 50 hodin u AWJ a 100 hodin u WJM [2, 3].

V současné době se technologie přenesla na CNC stroje, kde lze používat více trysek najednou vlivem vysokotlakého čerpadla. Proces je snadno ovladatelný a nenáročný na obsluhu. Technologie vodního paprsku neznečišťuje životní prostředí a odpady (abrazivo a voda) jsou recyklovatelné [2].

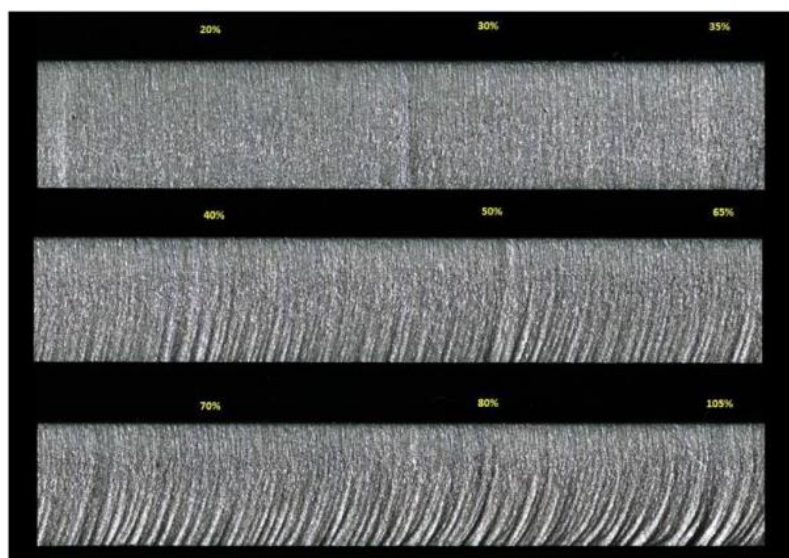
## Nevýhody

Při řezání dochází ke kontaktu obrobku s vodou a abrazivem. Z toho důvodu je nutné okamžité ošetření zabráňující vzniku povrchové koroze a znehodnocení materiálu vodou. Při vysokém tlaku a vstupu vody z trysek vzniká hluk, před kterým se musí obsluha chránit ochrannými pomůckami. Při obsluze stroje se musí počítat s možností odlétávání kapek vody nebo abraziva, proto obsluha musí být patřičně chráněna. Zaoblení vnitřních rohů je dáno průměrem paprsku a nelze udělat menší poloměr. Mezi materiály, které řezat nelze, patří kalené sklo a hrnčířská hlína v neopracovaném stavu. Pro malé dílce řezané paprskem je nutné počítat s můstkem zabráňujícím propadnutí výrobku do sběrného místa pod řezací plochou. Při řezání tlustších materiálů může docházet ve spodní hraně řezu k deformaci kontury vlivem výběhu paprsku [2, 3].



**Parametry metody**

- pracovní tlak vodního paprsku až 700 MPa, při abrazivním paprsku až 400 MPa,
- průtok abraziva  $1-20 \text{ kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ,
- průměr vodní trysky 0,075-1,5 mm, průměr trysky s abrazivem 0,75-2,5 mm,
- šířka řezné spáry 0,8-1,5 mm (pro řezy s abrazivem), tenký materiál má spáru 0,3 mm,
- vzdálenost mezi tryskou a obrobkem 2,5-6,35 pro řezání vodou, 10-25 mm pro řezání abrazivem,
- množství vody  $2-4,5 \text{ l}\cdot\text{min}^{-1}$ ,
- rozměrová přesnost  $\pm 0,2 \text{ mm}$ , drsnost povrchu 2,5-12,5  $\mu\text{m}$  (nejhorší je na straně výstupu paprsku z materiálu),
- maximální průřez, který můžeme vodním paprskem řezat je 500 mm,
- rychlost proudění vody  $v = 600-900 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,
- kolmost řezaných stěn 0,3-6,4  $^\circ$ ,
- energetická účinnost až 85 % [1, 2, 3].



Obr. 1.24 Zvětšení drsnosti řezu pro tloušťku oceli 60 mm [41].

Tab. 1.5 Porovnání řezání vodním paprskem s řezáním laserovým paprskem [1].

Metoda	Laser	Vodní paprsek
Dělené materiály	Všechny druhy, kromě materiálů s vysokou světelnou odrazivostí a kompozitů	Všechny materiály
Teplota řezu	Tepelný řez	Studený řez
Vliv teploty řezu na materiál	Malý	Není
Změna struktury materiálu v místě řezu	Malé	Žádné
Kolmost řezu	Mírný odklon	
Drsnost povrchu obráběné plochy	Nízká drsnost	Lze dosáhnout nízké drsnosti (závislé na podmínkách)
Výronek v řezné spáře	Většinou bez výronku	Vždy bez výronku
Tvrдость řezaného materiálu	Nemá vliv na rychlost řezání	Mírně ovlivňuje rychlost řezání
Řezání plastů	Problematické = toxicita	Je možné
Řezání kompozitů	Je možné, pokud mají složky stejnou teplotu tavení	Je velmi vhodné
Řezání keramiky, skla, kamene	Velmi omezené	Je velmi vhodné (s výjimkou kalených skel)
Reliéfní obrábění	Je možné	Výjimečně
Velikost dílce	Malé i velké dílce	
Tloušťka materiálu	Malá a střední	Široký rozsah
Složitost tvaru	Komplikované tvary	
Průstřel	Je možný	
Vznik plyných emisí	Malé množství	Nevznikají, nebo jen při průstřelu
Vznik oxidických povlaků	Pouze při řezání kyslíkem	Pouze u materiálů korodujících při styku s vodou
Energetická účinnost	Až 10 %	Až 80 %

## 1.2 OHÝBÁNÍ

Po dělení materiálu následuje další technologická operace zpracovávající plechy – ohýbání. Jedná se o operaci, při které z rovných plechů vznikají různé profily a tvary. Výsledné součásti mohou být konečným výrobkem, nebo polotovarem pro další operace, např. pro svařování, povrchové úpravy apod. [27].

### Charakteristika

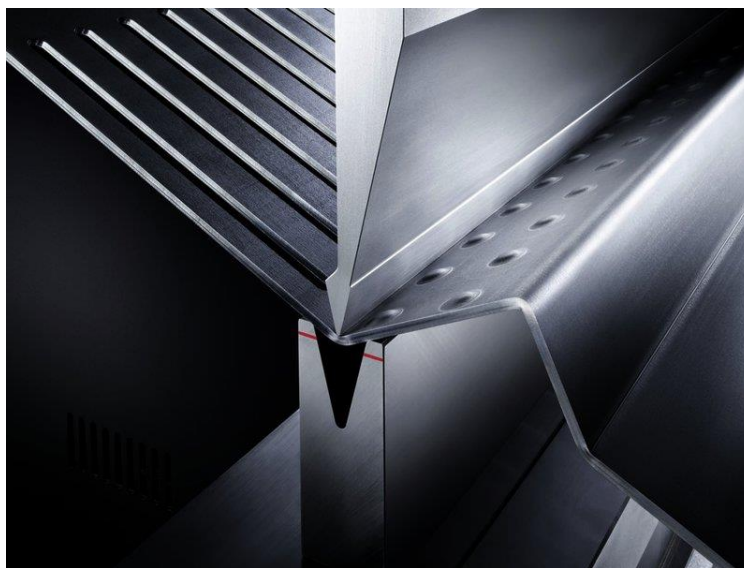
Technologie ohýbání trvale deformuje materiál, který je pomocí působení sil a ohybových momentů ohýbán nebo rovnán. Ohýbáním se zmenšuje poloměr zakřivení až do hodnoty minima poloměru zakřivení na hranici mezní hodnoty deformace za studena. Při rovnání se naopak poloměr křivosti zmenšuje. Technologie probíhá většinou za studena pomocí nástrojů a strojů k ohýbání. Pouze tvrdé, křehké materiály se ohýbají za zvýšených teplot. Ohýbání je technologií plošného tváření. Lze rozlišit ohýbání úzkých polotovarů ( $b < 3 \cdot t$ ) a širokých polotovarů ( $b > 3 \cdot t$ ). Nejdůležitějším parametrem při ohýbání jsou tahová napětí, kdy jejich kritické hodnoty budou vždy menší než pevnost materiálu v tahu. V ohýbaném materiálu jsou vrstvy na vnější straně namáhány tahem, kdežto na vnitřní straně jsou namáhány tlakem. Dovolené prodloužení vláken závisí na jakosti povrchu a tažnosti materiálu. Pro dosažení trvalého ohybu musí být překročena mez kluzu, ale nesmí být překročena mez pevnosti materiálu, aby nedošlo k prasknutí v místě ohybu. Na rozhraní vláken namáhaných tlakem a tahem je neutrální vrstva, u které se během tváření nemění délka. Při ohýbání zastudena vzrůstá mez kluzu v závislosti na stupni plastické deformace [6, 27].

U ohýbání vzniká po odlehčení ohýbací síly odpružení materiálu. Tento jev je způsoben elastickou deformací doprovázející plastickou deformaci. Velikost odpružení je dána mechanickými vlastnostmi materiálu, velikostí úhlu otevření, konstrukcí ohýbadla a poměrem poloměru ohybu a tloušťky materiálu. Nástroj pro ohýbání se jmenuje ohýbadlo, složené z ohybníku a ohybnice [9, 27].

Známý jsou dva druhy ohýbání:

1. Ohyb vnějšími momenty
2. Ohyb lokálními silami

Pro ohýbání plechů se využívá ohyb lokální silou, a to ohyb do tvaru V nebo ohyb do tvaru U. Pro jednotlivý tvar ohybu se liší ohýbací síla a práce při ohýbání [9, 27].



Obr 1.25 Ohýbání součásti z plechu [53].



## Princip metody

Při ohýbání vznikají na vnitřní straně ohybu tlaková a na vnější straně ohybu tahová napětí. Na přechodu těchto dvou namáhání leží neutrální osa, která nemění svoji délku a není deformována. Z délky oblouku neutrální osy a jednotlivých rovných délek ohnuté součásti se určuje rozvinutá délka polotovaru. Ohýbání deformuje materiál nad mezí kluzu k dosažení požadovaného tvaru. K tomu je potřeba ohýbací síly, která se liší podle tvaru ohybu. Známý jsou tvary ohybu V a U [6, 9, 27].

Ohyb s malým poloměrem ohybu vykazuje velké plastické deformace, ohyb s velkým poloměrem ohybu vykazuje malý stupeň plastických deformací [6, 9, 15, 27].

### Neutrální osa

V místě neutrální osy není materiál deformován tahovým ani tlakovým namáháním. Současně se jedná o místo, ve kterém se mění tahové namáhání vznikající na vnější straně ohybu na tlakové namáhání působící na vnitřní straně ohybu. Stanovení neutrální osy je důležité pro stanovení výchozího polotovaru. U velkých poloměrů ohybu se předpokládá, že neutrální osa prochází středem tloušťky polotovaru. U malých poloměrů ohybu neprochází neutrální osou těžiště, ale je blíže vnitřnímu ohybu [27, 49].

*Poloměr neutrální osy pro velký poloměr ohybu [6, 15]:*

$$R_p = R + \frac{t}{2} \text{ [mm]} \quad (1.1)$$

*Poloměr neutrální osy pro malý poloměr ohybu [6, 15]:*

$$R_p = R + \frac{t}{2} \cdot x \text{ [mm]} \quad (1.10)$$

Kde: t: tloušťka materiálu [mm]

R: vnitřní poloměr ohybu [mm]

x: součinitel posunutí neutrální vrstvy

Tab. 1.6 Hodnoty součinitele x [27].

R/s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42

### Ohýbací síla a práce

*Síla pro ohyb ve tvaru V [6, 23]:*

$$F_o = \frac{R_m \cdot c \cdot b \cdot t^2}{l_v} \text{ [N]} \quad (1.11)$$

*Práce pro ohyb ve tvaru V [6, 23]:*

$$A = m \cdot \frac{F_{cv} \cdot h_v}{1000} \text{ [J]} \quad (1.12)$$

*Síla pro ohyb ve tvaru U [6, 23]:*

$$F_o = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot b \cdot t^2}{l_m} \text{ [N]} \quad (1.13)$$

Práce pro ohyb ve tvaru U [6, 23]:

$$A = m \cdot \frac{F_{cu} \cdot h_u}{1000} \text{ [J]} \quad (1.14)$$

Kde: t: tloušťka materiálu [mm]

b: šířka ohybu [mm]

$R_m$ : pevnost v tahu [MPa]

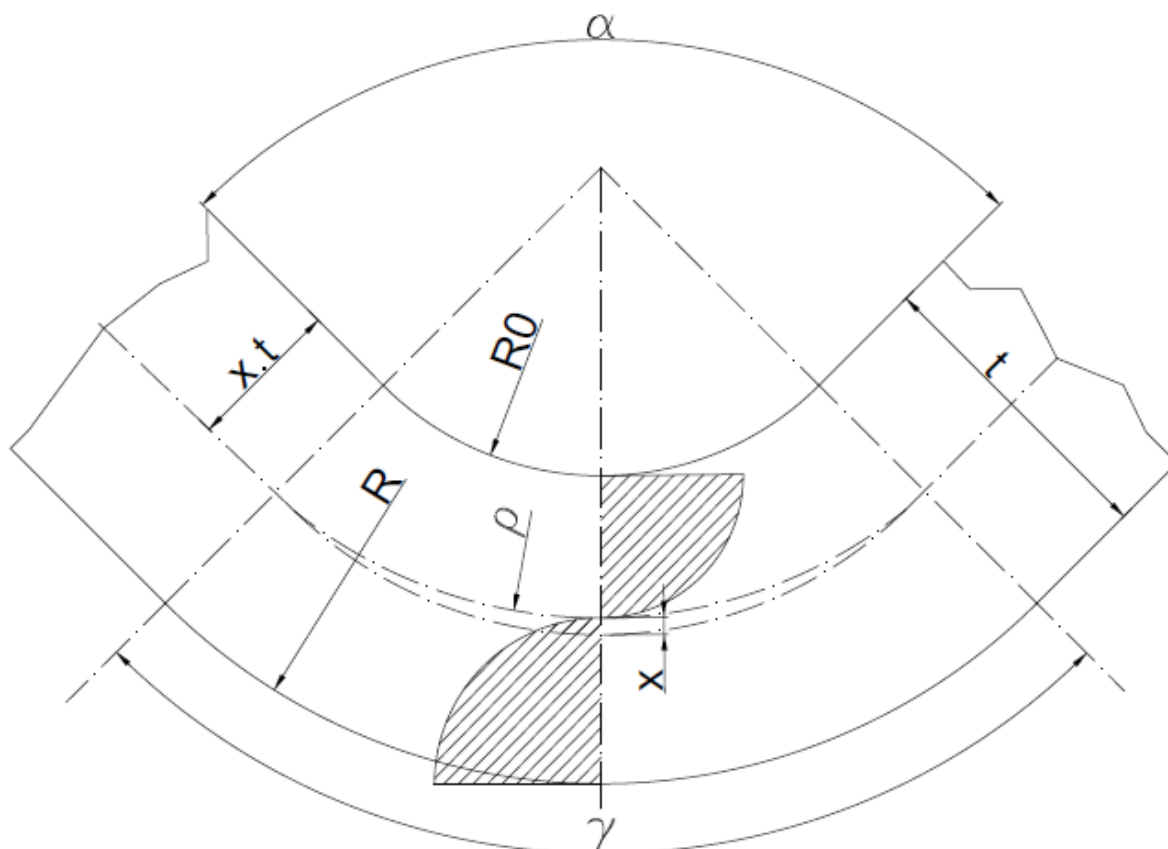
h: pracovní zdvih [mm]

m: součinitel respektující průběh síly;  $m = \frac{1}{3}$

c: součinitel dle diagramu

l: rameno působení síly ohybu [mm]

Při použití přidržovače je jeho síla o (0,25-0,3) násobek vyšší než síla ohýbací.

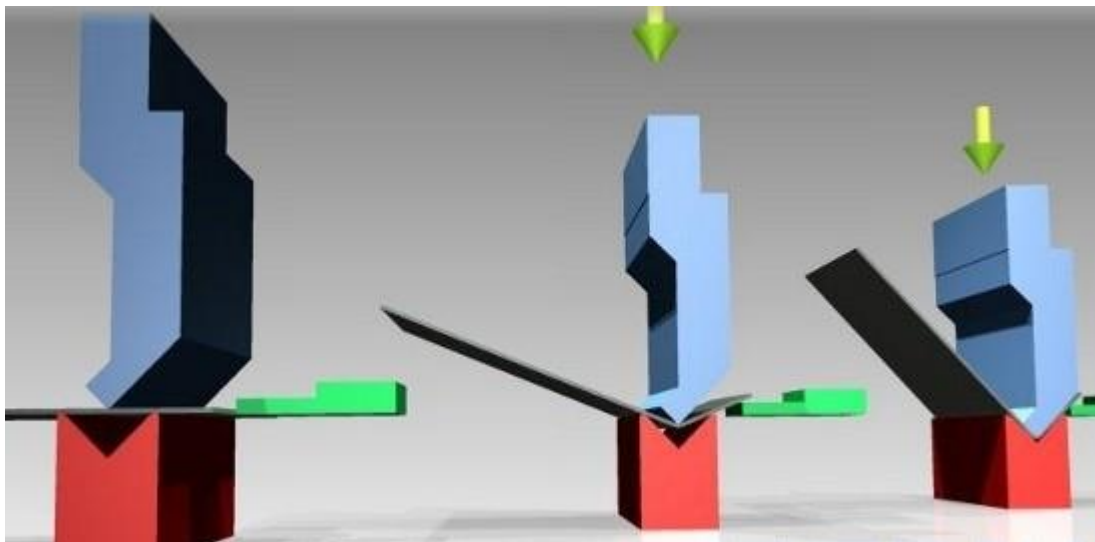


Obr. 1.26 Základní schéma ohýbání [9].

### Ohraňování

Jedná se o druh ohýbání, při kterém je plech ohýbán v jednoúčelových strojích, tzv. ohraňovacích lisech, ohýbačkou nebo ručně. Technologie ohraňování umožňuje ohýbat plechy a pásy v obou směrech. Materiál je zatlačován do dolního nástroje-matrice pomocí horního nástroje-razníku. Nástroje jsou vyrobeny pro určitou tloušťku plechu a jsou vyrobené z nástrojové oceli kalené a popuštěné na 58-60 HRC. Při větších rozměrech plechu jsou nástroje sestaveny z více kusů a upnuty do beranu a na základní desku. Pro kusovou výrobu lze využít speciálních nástrojů, které mohou na jeden zdvih udělat více ohybů. Složité součásti jsou vyrobeny v technologickém sledu operací, při kterých může docházet k výměně nástrojů. Kombinace různých složitých ohybů vzniká pomocí V tvaru ohybu a U tvaru ohybu [5, 8, 9, 53].

Vznikají ostré ohyby plechu v různých úhlech za vysoké přesnosti délkových i úhlových rozměrů. V dnešní době je technologie hojně využívána při ohýbání plechů díky automatizaci ohraňovacích hydraulických lisů. Pro CNC stroj se vytvoří vizualizovaný program, který ovládá proces ohýbání. Nevýhodou CNC lisů je vysoká pořizovací cena a současně vysoké pořizovací náklady nástrojů. Ohýbaný plech je omezen pouze rozměry, které se vlezou na pracovní stůl stroje, tloušťkou a druhem materiálu [5, 8, 15, 53].



Obr. 1.27 Razník a matrice při ohraňování [52].

### Technologické parametry při ohýbání

a) Poloměr ohybu

Nejmenší dovolený poloměr ohybu  $r_{min}$  [6, 11, 50]

Jedná se o ohyb, při kterém nenastane porušení materiálu. Ve vnějších vláknech nesmí tahová napětí překročit mez pevnosti  $R_m$ .

Důležitá je orientace osy ohýbání vzhledem ke směru válcování materiálu. Pokud je osa ohybu shodná se směrem válcovaných vláken, je poloměr ohybu  $r_{min}$  dvojnásobně větší než při kolmé orientaci na válcovaná vlákna. Malé poloměry mají menší odpružení při ohýbání. [2, 5]

$$r_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_m} - 1 \right) \text{ [mm]} \quad (1.15)$$

Kde:  $s$ : tloušťka materiálu [mm]

$\varepsilon_m$ : maximální rovnoměrné prodloužení na mezi pevnosti

Nejmenší délka ohýbaného ramene [6, 11, 50]

$$a_{min} = 2 \cdot s \text{ [mm]} \quad (1.16)$$

Kde:  $s$ : tloušťka materiálu [mm]

Největším poloměr ohybu [6, 50]

V okrajových vláknech ohýbaného materiálu musí dojít k trvalé deformaci. Při nedostatečné deformaci vzniká pružné namáhání, které by materiál narovnálo do výchozího stavu.

$$r_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \text{ [mm]} \quad (1.18)$$

Kde:  $s$ : tloušťka materiálu [mm]  
 $E$ : modul pružnosti v tahu [MPa]  
 $R_e$ : mez kluzu ohýbaného materiálu [MPa]

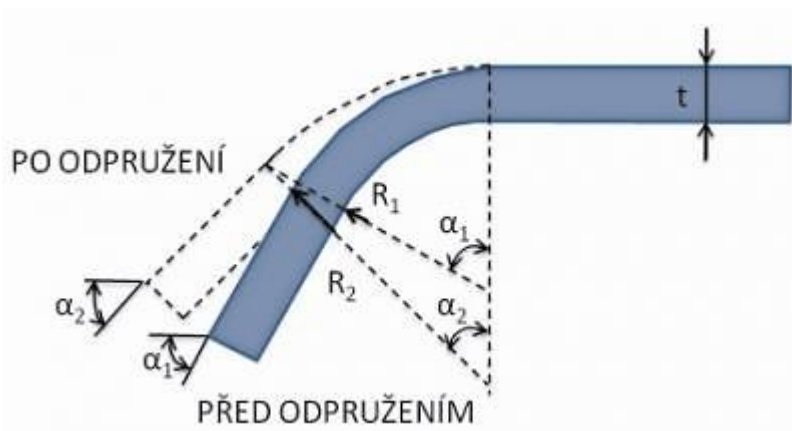
### b) Odpružení při ohýbání

Odpružení při ohybu je způsobeno pružným napětím, které vzniká při každém tváření za studena. Odpružení se zvětšuje s rostoucí tvrdostí materiálu a rostoucím poloměrem ohybu. Projevuje se zmenšením úhlu ohybu a zvětšením poloměru ohybu. Lze předejít odpružení pomocí vyztužení místa ohybu žebry, kalibrací rohů (zplastizováním místa ohybu) nebo pružným předehtnutím dna [50].

Úhel odpružení při ohýbání [6, 15]:

$$\beta = \alpha_1 - \alpha_2 = (1 - \mu^2) \cdot \frac{2 \cdot l}{s \cdot E} \cdot \sigma_0 \text{ [}^\circ\text{]} \quad (1.19)$$

Kde:  $s$ : tloušťka materiálu [mm]  
 $\alpha_1$ : úhel ohybu před odpružením [°]  
 $\alpha_2$ : úhel ohybu po odpružení [°]  
 $l$ : střední délka oblouku ohybu [mm]  
 $E$ : modul pružnosti v tahu [MPa]  
 $\sigma_0$ : ohybové napětí [MPa]  
 $\mu$ : Poissonovo číslo [-]



Obr. 1.28 Odpružení při ohýbání [50].

### c) Zbytková pnutí

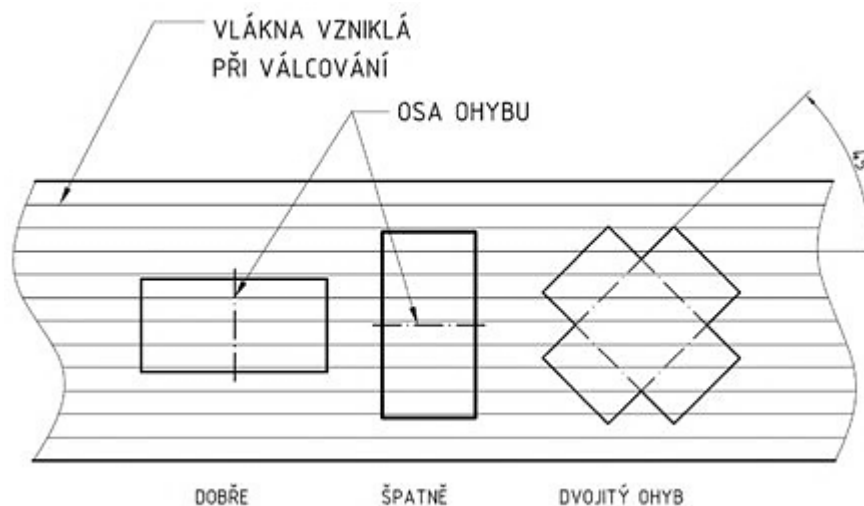
Vlákna deformovaná při ohýbání brání vláknům nezdeformovaným (deformovaným pružně) získat výchozí tvar. To způsobuje, že u vnějších vláken vzniká zbytkové tlakové napětí a u vnitřních vláken zbytkové tahové napětí. Zbytková pnutí mají vliv na pevnost ohnuté součásti. Při zatížení momentem působícím ve stejném smyslu jako při ohybu nastane deformace při překročení hodnoty původního momentu ohybu. Při zatížení opačným momentem vzniká deformace již za nižších hodnot, než byl moment ohybu [15, 49].

### d) Ztenčení stěny v místě ohybu

Ztenčení stěny v místě ohybu je přímo úměrné úhlu ohybu, tření mezi nástrojem a materiálem, poloměru ohybu a tvárnosti materiálu. Čím jsou tyto aspekty menší, tím je menší i ztenčení stěny [15, 49].

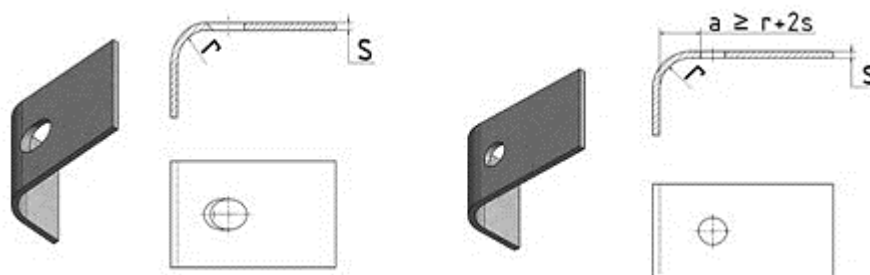
### Technologické zásady při ohýbání [11, 51]

- Poloměr ohybu se snažit volit co nejmenší. Vzhledem k tloušťce materiálu a jeho tvárnosti je však vhodné volit poloměr ohybu co největší. Minimální poloměr je dán vztahem 1.15.
- Osa ohybu by měla být kolmá na válcovaná vlákna materiálu. Následkem je větší odpružení materiálu, ale snížení rizika tvorby trhlin na vnější straně ohybu.



Obr. 1.29 Poloha osy ohybu [51].

- Otřep vzniklý při stříhání materiálu musí být na vnitřní straně ohybu, nebo se otřep odstraní.
- Při dvojitém ohybu se osa ohybu natočí pod úhlem  $45^\circ$  k válcovaným vláknům.
- Pro zvýšení tuhosti a snížení odpružení se na ohýbané součásti vyrábí prolisy. Prolisy mají velmi malý poloměr zaoblení.
- Materiál určený k ohýbání by měl být od neohýbaných částí oddělen nastřížením.
- Ohýbaná ramena musí mít minimální délku dle vztahu 1.16, aby byl ohyb realizovatelný.
- Díry v ohýbané součásti musí být od kraje ohybu vzdáleny dle obr. 1.30.



Obr. 1.30 Vzdálenost děr od kraje ohybu [51].

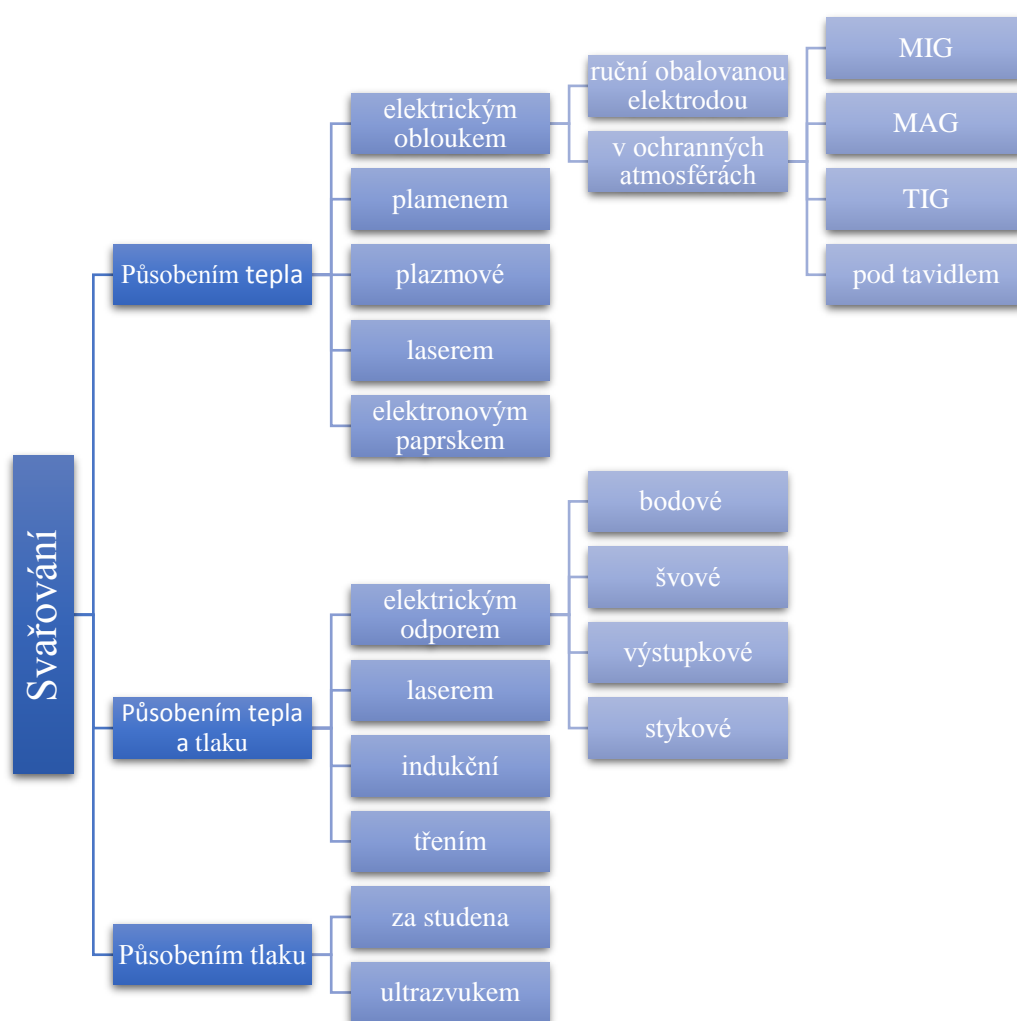
- Větší množství ohybů na jedné součásti se orientují ve stejném směru a počet ohybů byl co nejmenší.
- Vzdálenost ohybu od okraje materiálu se zvětšuje s tvrdostí materiálu.

## 1.3 SVAŘOVÁNÍ

### Charakteristika

Svařováním kovů a jejich slitin se rozumí vytvoření nerozebíratelného spojení za pomoci mechanické, tepelné nebo radiační energie a přídavného materiálu. Působením meziatomových sil a adhezních vazeb nastane svarové spojení na teplem nebo tlakem generovaných plochách. Svařování vyžaduje dodání energie aktivace pro překonání bariery potenciální energie povrchových atomů. Podle druhu aktivace se dělí svařování na tavné – termická aktivace, tlakové – mechanická aktivace a ozáření (fotony, elektrony a ionty) – radiační aktivace. Celky vzniklé svařováním se nazývají svařence (svarky). Velká část svařenců je dále zpracovávána na obráběcích strojích nebo povrchově chráněna (především svary) proti korozi. Technologie svařování má nezastupitelnou roli, jelikož vzniklé svařence by jinými technologiemi byly nevyrobitelné nebo velmi neekonomické. Dnes se upouští od ručního svařování, které je nahrazováno robotickými pracovišti, u kterých je velmi vysoká přesnost, kvalita a produktivita výroby [12, 14, 15].

Svařování se využívá téměř ve všech oblastech strojírenství od kompletace strojů, spojování velkých ocelových konstrukcí, přes výrobu aut, kotlů, lodí mostů až po opravy jednotlivých spojení [12, 15].

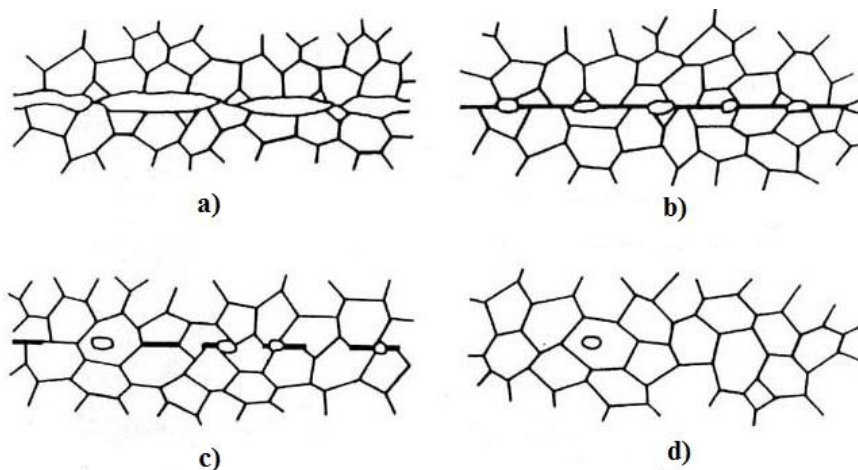


Obr. 1.31 Metody svařování kovů [57].

## Princip metody

### Tlakové svařování

Při mechanickém opracování povrchu nelze dosáhnout takové přesnosti, aby bylo umožněno přiblížení všech míst povrchu na meziatomovou vzdálenost. Takové přiblížení zajistí svarový spoj, u kterého nastává mezi dvěma materiály difuze, rekrystalizace a překrystalizace [14,15, 57].



- a) Stav po mechanickém opracování bez stlačení, b) a d) stav po použití tlaku, vyvolaná plastická deformace a stlačování výstupků, c) stav po difuzi, rekrystalizaci a překrystalizaci v místě svarového spoje

Obr. 1.32 Schéma spojení a svaření dvou povrchů v pevném stavu [59].

Ke vzniku svarového spoje je potřebný nejen tlak, ale i aktivační energie, která překoná bariery potenciální energie soustavy atomů povrchových vrstev. Pro vytvoření svarového spoje je potřeba dvoufázový proces. V první fázi se přiblíží plochy na vzdálenost umožňující uplatnění interakcí. V druhé fázi se energetickou interakcí dokončí vznik spoje. Při difuzi dojde ke tvorbě nových zrn a zmizí původní styková plocha [14, 15].

Formy aktivační energie [14, 15]:

- Teplotou, termická aktivace
- Pružnými a plastickými deformacemi, mechanická aktivace
- Elektronovým nebo iontovým ozářením, radiační aktivace.

### Tavné svařování

Ke svarovému spoji dojde pomocí natavení materiálu spojovaných ploch základního materiálu a často i přídavného materiálu. Tavné svařování probíhá bez tlaků a rázů. Roztavený materiál společně s přídavným tvoří tavnou lázeň. Tepelné ovlivnění a krystalizace probíhá pouze v těsné blízkosti roztaveného materiálu. Před svařováním je potřeba plochy mechanicky připravit, zejména zbavit rzi. Při působení tepla se promísí přídavný a základní materiál a vzniká kořen svaru. Na kořen svaru se kladou další housenky, až dojde k vyplnění celého průřezu svaru [12, 57].

Na rozhraní svarové lázně a základního materiálu vzniká závar, charakterizovaný hloubkou závaru. Podle množství vneseného tepla vzniká tepelně ovlivněná oblast v základním materiálu. Její velikost je úměrná teplotnímu pnutí, které způsobují deformace a ke změně struktur základního materiálu. Ideálně svařitelné jsou oceli s obsahem do 0,22 % C, u kterých nejsou změny struktur výrazné. U ocelí s vyšším obsahem uhlíku může dojít ke vzniku martenzitu a



praskání v okolí svaru. Zabránit tomuto jevu lze předehevem, tedy snížením gradientem teploty [12, 57].

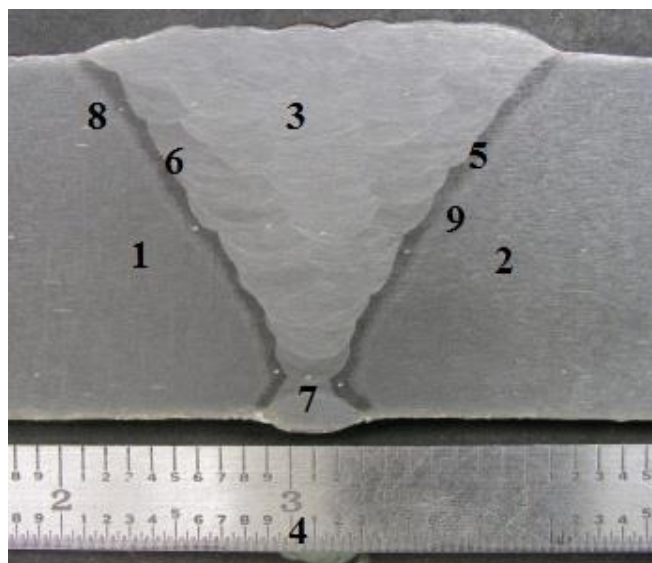
### Druhy svarů

Při spojování dvou součástí může být použito více druhů svaru v závislosti na konstrukčním řešení požadovaného spoje a na požadovaných vlastnostech svarového spoje. Pro některé typy svarů je nutná předpříprava svařovaných ploch, aby bylo možné svařit plochy požadovaným svarem. Svarový spoj vzniklý ze dvou materiálů stejného chemického složení a stejných fyzikálně-chemických vlastností se nazývá homogenní svarový spoj. V opačném případě se jedná o heterogenní spoj. [11, 14, 57]

Svar	Zobrazení	Značka	Svar	Zobrazení	Značka	Svar	Zobrazení	Značka
I			W		W	švový		
V		∇	U		∪	bodový		
1/2 V		∇	1/2 U		∪	děrový		
Y		∪	lemový		∪	oblý V		
1/2 Y		∪	koutový		∇	oblý 1/2 V		

Obr. 1.33 Základní druhy svarů a jejich značení [57].

### Svařovací terminologie



1 - základní materiál, 2 - základní materiál, 3 - svarový kov, 4 - svarový spoj, 5 - návarová plocha, 6 - svarový úkos, 7 - kořen svaru, 8 - závar, 9 - tepelně ovlivněná oblast

Obr. 1.34 V svar a oblasti svarového spoje [12, 60].

Terminologie popsána na obrázku výše je stejná pro všechny druhy svarů. Stejně tak i závar a tepelně ovlivněná oblast jsou u všech svarů stejné, odlišují se pouze velikostí dané oblasti. Ta je závislá na metodě svařování a na použitých parametrech [12, 57].

### Výhody a nevýhody

Mezi výhody svařování patří trvanlivost a spolehlivost svarového spoje. Spoje jsou velmi tuhé s vysokou pevností. Spoje výborně těsní a lze je použít pro místa vystavená tlaku a

kapalině. Další výhodou je u velké části metod snadná obsluha a zaškolení pracovníků společně s vysokou produktivitou. Při konstrukci zjednodušení výrobku. Výhodná je cena při pořízení potřebného zařízení, jelikož není příliš vysoká (pokud se nejedná o robotizované pracoviště) [14, 15, 57].

Nevýhodou je potřeba, aby byl pracovník zaškolen a absolvoval odborné kurzy. U materiálu se jedná o tepelně ovlivněnou oblast se vznikem pnutí a deformací, změna struktury a mechanických vlastností. Při svařování vznikají nebezpečné zplodiny, které je potřeba odsávat. Vzniká nebezpečné záření, před kterým je nutné se chránit, hluk a rozstřík kovu do okolí (možnost popálení) [14, 15, 57].

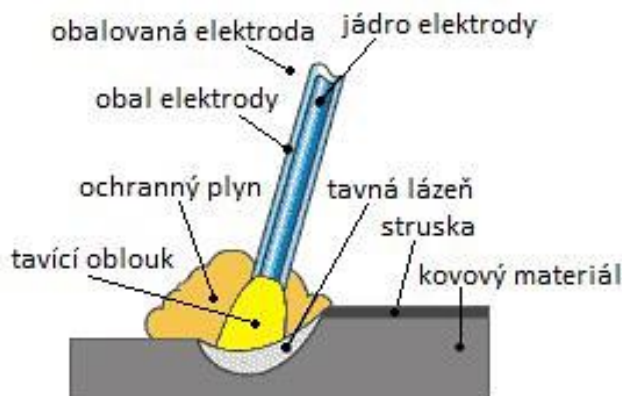
### Metody svařování

Pro výrobu kotlového tělesa elektrokotle je možno použít metodu MIG, MAG, nebo ruční obalovanou elektrodou. Z tohoto důvodu budou popsány pouze jmenované metody.

#### Svařování ruční obalovanou elektrodou

Jedná se o druh tavného svařování, kde je jako zdroj tepla využíván elektrický oblouk, který hoří mezi základním materiálem a elektrodou. Jako elektroda se používá obalená tavící se elektroda. Elektrický oblouk lze charakterizovat jako elektrický výboj za normálního tlaku a teploty. Metodou lze svařovat většinu materiálů, které jsou svařitelné, a to ve všech polohách. Svařovací proud se pohybuje mezi 10 až 2000 A a napětí mezi 10 až 50 V. Elektrický oblouk má teplotu okolo 5000 °C. Pro svařování se používá stejnosměrný proud a přímá nebo nepřímá polarita. Přímá polarita je při zapojení základního materiálu na plus pól [57].

Elektrody se volí podle typu základního materiálu. Elektrody mají různé funkce např. tvorba ochranného plynu kolem svaru, snazší zapalování a hoření oblouku, vypálení nežádoucích prvků v materiálu. Elektrody je potřeba skladovat dle předepsaných norem, aby byly v suchém stavu bez nadměrného obsahu vlhkosti [57].



Obr. 1.35 Svařování ruční obalovanou elektrodou [64].

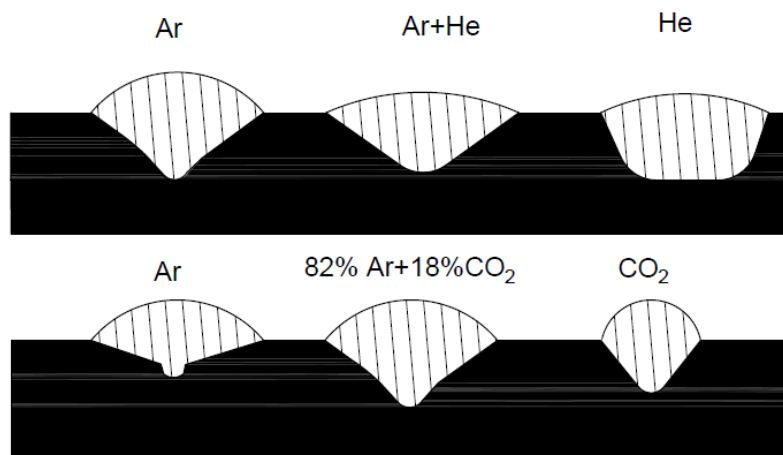
#### MIG/MAG

Metoda MAG je obloukové svařování, při kterém se taví elektroda v ochranné atmosféře aktivního plynu. Metoda MIG je obloukové svařování, při kterém se taví elektroda v ochranné atmosféře inertního plynu. Svařování při obou metodách je založeno na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou a základním materiálem. Drát se napájí elektrickým proudem pomocí třecího kontaktu v ústí hořáku tak, aby byla zatížena co nejmenší délka drátu. Drát je podáván kladkami z cívky. Proudová hustota u MAG dosahuje až  $600 \text{ A} \cdot \text{mm}^{-2}$  a svařovací proud je od 30 A pro tenké plechy až po 800 A pro vysokovýkonné metody.

Charakter přenosu kovu obloukem je zkratový pro tenké plechy a pulzní pro větší tloušťky (v důsledku závislosti na parametrech svařování a ochranném plynu). Teplota kapek se při MAG

metodě pohybuje okolo 1700 až 2500 °C a svarové lázně 1600 až 2100 °C. Jako ochranné plyny se používá CO<sub>2</sub>, nebo směs argonu s CO<sub>2</sub> a kyslíkem [13].

Pro metodu MIG se používá inertní plyn argon, helium nebo jejich směs. Plyn zajišťuje rychlý ohřev, dostatečnou tekutost a odplynění lázně, nezapojuje se však do žádné chemické reakce. Svařuje se stejnosměrným proudem a kladnou polaritu má elektroda. Vhodná oblast použití metody MIG je pro materiály tloušťky 30-50 mm a pro lehké kovy. Svařovací zařízení je stejné pro metodu MAG i MIG mění se pouze ochranný plyn a svařovací drát. Výhodou metod je nízká cena plynů, velká produktivita, bezpečnost proti vzniku pórů a velká odtavovací rychlost elektrody [13].



Obr. 1.36 Rozdíl mezi MIG (horní obr.) a MAG svař v závislosti na použitém plynu [58].

### Výpočty při svařování

Zředění [15, 57]:

$$Z = \frac{S_z}{S_n + S_z} \cdot 100 [\%] \quad (1.1)$$

Kde:  $S_z$ : plocha závaru [mm<sup>2</sup>]

$S_n$ : plocha navařeného kovu [mm<sup>2</sup>]

Vnesené teplo [12, 57]:

$$Q = \eta \cdot U \cdot I [\text{W}] \quad (1.1)$$

Kde:  $\eta$ : účinnost závislá na druhu svařování (0,7-0,85 dle druhu svařování)

U: napětí [V]

I: proud [I]

Uhlíkový ekvivalent dle CET [64]:

$$\text{CET} = C + \frac{\text{Mn} + \text{Mo}}{10} + \frac{\text{Cr} + \text{Cu}}{20} + \frac{\text{Ni}}{40} [\text{hm. \%}] \quad (1.1)$$

Je-li  $C_{\text{ekv}} \leq 0,5$  hm. % a zároveň platí, že  $C \leq 0,25$  hm. % a svařovaná tloušťka  $s \leq 25$  mm, nejsou nutné při svařování žádná zvláštní opatření. Není-li splněna některá z podmínek, je nutné použít zvláštní opatření (předehřev), aby se zamezilo vzniku trhlin.

Teplota předehřevu [64]:

$$T_{\text{pCET}} = 750 \cdot \text{CET} - 150 [^\circ\text{C}] \quad (1.1)$$

## 1.4 POVRCHOVÉ ÚPRAVY

### Charakteristika

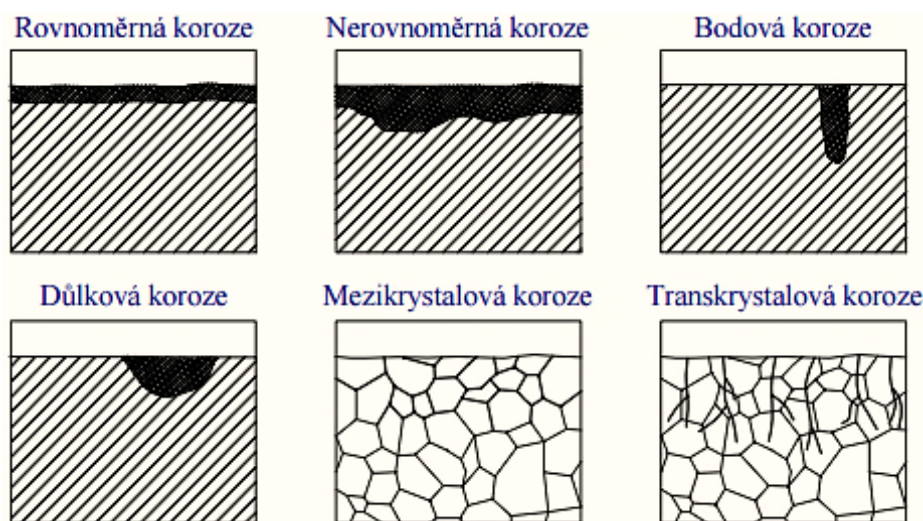
Povrchové úpravy zajišťují lepší mechanické, elektrické a estetické vlastnosti. Další důležitou funkcí povrchových úprav je ochrana materiálu proti korozi. Koroze způsobuje změnu mechanických vlastností materiálu a může vést ke zničení součástí a její nefunkčnosti. Zabránit korozi lze povrchovými úpravami nebo vhodnou volbou korozivzdorného materiálu. Korozi lze definovat jako znehodnocení materiálu způsobené chemickým nebo fyzikálním působením. Jedná se tedy o působení mezi materiálem a okolním prostředím za určitý čas [16, 17].

Druhy koroze [16, 17]:

1. Podle mechanismu
  - Chemická
  - Fyzikální (eroze, abraze, opotřebení)
2. Podle vzhledu
  - Rovnoměrná (probíhá rovnoměrně po celém povrchu materiálu)
  - Nerovnoměrná (důlková, bodová, podpovrchová, selektivní, mezikrystalová, transkrystalová)
3. Podle prostředí
  - Atmosférická
  - Ve vodě
  - V plynech
  - V půdě

Faktory ovlivňující korozi:

Faktory ovlivňující korozi se dělí na vnitřní a vnější. Mezi vnitřní faktory patří deformace, vnitřní napětí, korozní únava, struktura kovu a chemická povaha, mezi vnější faktory patří chemické složení, pohyb elektrolytu k povrchu kovů, přítomnost rozpuštěných látek ovlivňující rychlost koroze [16, 17].



Obr. 1.37 Druhy koroze [55].



Při výběru ochranné vrstvy se přihlíží hlavně k účelu použití povlaku a jeho funkci. Podle účelu použití lze rozlišovat povlaky ochranné, dekorativní a speciální. Z hlediska funkce se dbá u povlaků na izolaci podkladového kovu, pasivace povrchu podkladového materiálu atd. [16].

Dělení povrchových vrstev dle chemické podstaty [16]:

- a) Anorganické (vytvořené nebo nanesené): fosfátové, chromové, silikonové, oxidové
- b) Kovové povlaky: měděné, niklové, chromové, hliníkové, zinkové
- c) Tenké vrstvy PVD a CVD
- d) Plastické hmoty a organické nátěry

Předepisování anorganických kovových a nekovových povlaků vychází z normy pro příslušný povlak, kde je specifikován druh povlaku, stupeň jakosti a znaky jakosti. Důležitým hlediskem pro upravení normy jsou činitele dání ČSN normou. Mezi ně patří druh výrobku, kontrola jakosti, negativní důsledky úpravy, konstrukční řešení a technologie úpravy. U kotle JE bude využita technologie nátěrových hmot a práškové lakování [16].

#### **Nátěrové hmoty:**

Jedná se o nejrozšířenější a nejekonomičtější druh povrchových úprav. Nátěrové hmoty lze pomocí fyzikálních a chemických úprav převést na povlak požadovaných vlastností. Nanášení nátěrových hmot může probíhat pomocí štětce, stěrkou, elektroforézou, máčením a poléváním nebo nástřikem. Nátěry zabraňují přístupu vody a agresivních složek k povrchu kovu, který má být chráněn. Mechanismus ochranného působení je bariérový, a proto je nutné, aby povlaky byly bezpórovité. Nátěrové hmoty se dělí na transparentní (průhledný nátěrový film) a pigmentované (nepřůhledný nátěrový film) [16, 17].

#### **Práškové lakování:**

Práškové lakování se provádí v mnoha barevných variantách, jemných a hrubých strukturách, matném a lesklém provedení. Jedná se o jednovrstvé povlaky kovových prášků. Před samotným nanášením je potřeba povrch očistit a vysušit. Příprava povrchu se provádí za pomoci broušení, otryskání, chemického odmašťování a fosfátování, sušení. Prášky jsou nanášeny stříkáním pod tlakem. Směs prášku neobsahuje rozpouštědla ani jiné škodlivé látky a z ekologického hlediska je velmi šetrná. Nejběžnější používané prášky jsou termosety. Podle nosičů se dělí na epoxidové, akrylátové práškové barvy, polyesterové práškové barvy atd. [16, 17].



Obr. 1.38 Komaxitové prášky [56].

## 1.5 POUŽITÍ CAD/CAM TECHNOLOGIÍ A KONSTRUKCE

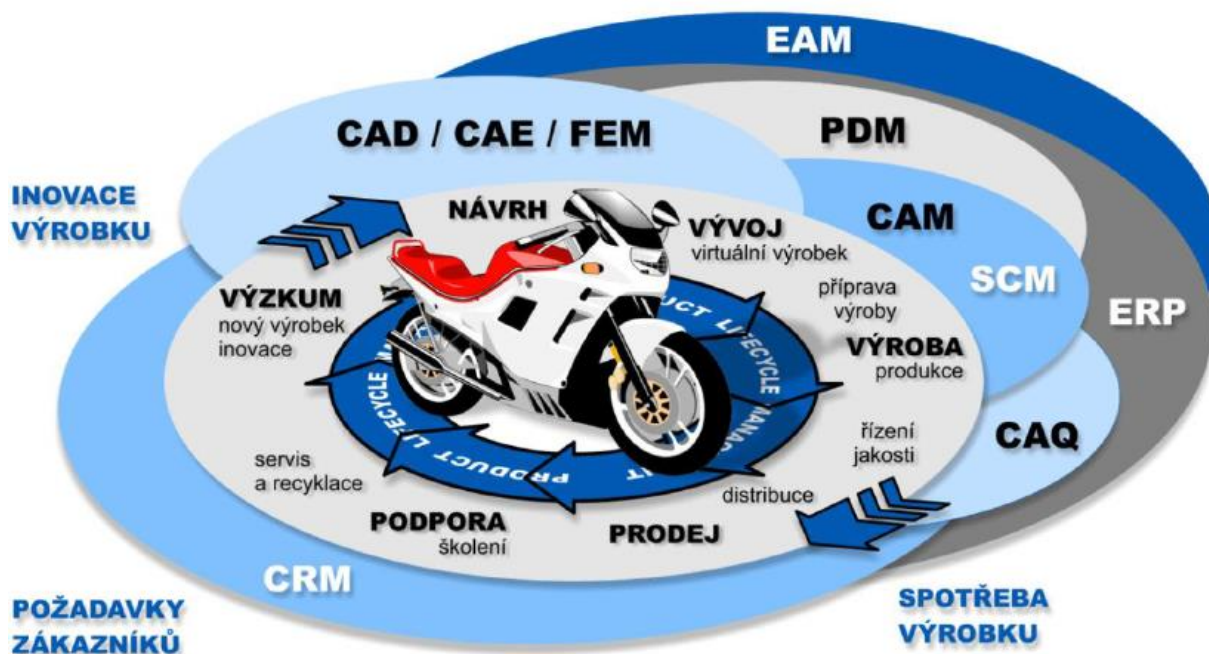
V dnešní době se strojírenská výroba snaží co nejvíce zefektivnit, zvýšit kvalitu a zjednodušit proces výroby. S tím souvisí přímé propojení jednotlivých oblastí, které přímo souvisí s výrobním procesem. Souhrnně se tento soubor systémů nazývá správa životního cyklu výrobku. Souhrn zahrnuje také CAx technologie, ve kterých se přímo řeší úkoly související s výrobním procesem [24].

Mezi CAx technologie patří [24]:

- CAD: počítačem podporované konstruování
- CAE: počítačem podporované inženýrské analýzy
- CAM: počítačem podporovaná výroba
- CAQ: počítačem podporovaná kontrola

CAx technologie zahrnují oblasti, ve kterých se pro řešení úloh přímo souvisejících s výrobním procesem využívá výpočetní technika. Jedná se především o návrh a tvorbu modelu, vizualizace a analýzy, kontrola kvality daného výrobku a jeho odchylky od požadovaného modelu, plánování výroby a tvorba programů pro stroje, kontrola kvality daného výrobku a jeho odchylky od požadovaného modelu [24].

Na samém počátku, kdy se navrhuje součást je CAD systém. Ten se s výhodou propojuje s CAM systémem a následně vyrábí na CNC stroji. Spojení konstrukce a výroby je realizováno pomocí CAQ technologií, které zhodnotí odchylky a nepřesnosti. Za účelem ušetření finančních nákladů se propojení testuje nejprve pomocí analýz ze souboru CAE technologií a následně na prototypu, než se spustí sériová výroba [24].



Obr. 1.39 Životní cyklus výrobku [24].

### CAD technologie

Jedná se o technologie zahrnující podporu konstrukce a návrhovou činnost. Proces tvorby elektronického návrhu, úpravy modelu společně s tvorbou výkresové dokumentace a jejím

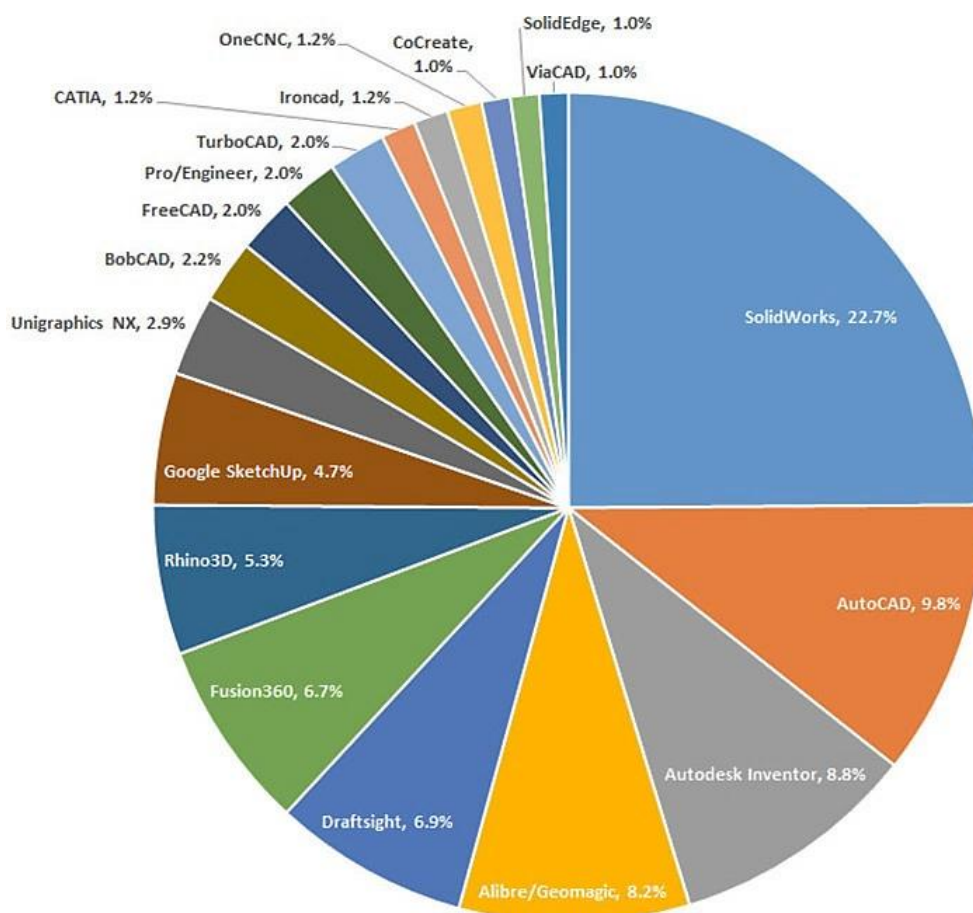


sdílením je rychlejší než při ruční tvorbě. Vzniká velká úspora času a finančních prostředků. Pro práci s dalšími CAx (CAM, CAE) technologiemi je CAD nezbytnou součástí pro tvorbu vstupních parametrů sloužících pro použití další technologie [24].

U většiny CAD systémů existují nastavby základního programu, díky kterým lze CAD technologie použít i v jiných odvětvích jako je stavebnictví, infrastruktura apod., nebo pro konkrétnější způsoby zpracování materiálu ve strojírenství např. zpracovávání plechu a plechových součástí, svařování a zpracování svařenců [24].

Dělení CAD technologií [24, 54]:

- 2D programy: AutoCAD, AutoCad LT, SolidWorks 2D
- 3D programy: SolidWorks, Solid Edge, CATIA, Autodesk Inventor



Obr. 1.40 Rozdělení trhu výrobci CAD systémů [54].

### CAM technologie

Snahou je co největší a nejkvalitnější propojení CAD-CAE-CAM technologií. Pokud se tak stane, bude výroba velmi přesná, efektivní a schopná návaznosti na další technologie. CAM technologie zahrnují programování CNC strojů pomocí různých CAM softwaru díky výstupu dat z CAD modelu. Jedná se o aplikování výpočetní techniky pro automatizaci výroby, technologickou přípravu výroby a kontrolu výrobků. Uplatnění CAM technologie je pro sériovou i kusovou výrobu [24, 54].

Volba vhodné CAM technologie se liší podle typu výroby, podle strojového parku a podle druhu CAD programu, aby přenášená data byla správně načtena. Mezi CAM programy patří Heidenhain, Siemens, Fanuc atd. [24, 54].

## 2 VOLBA VHODNÝCH A EKONOMICKY NEJVÝHODNĚJŠÍCH METOD

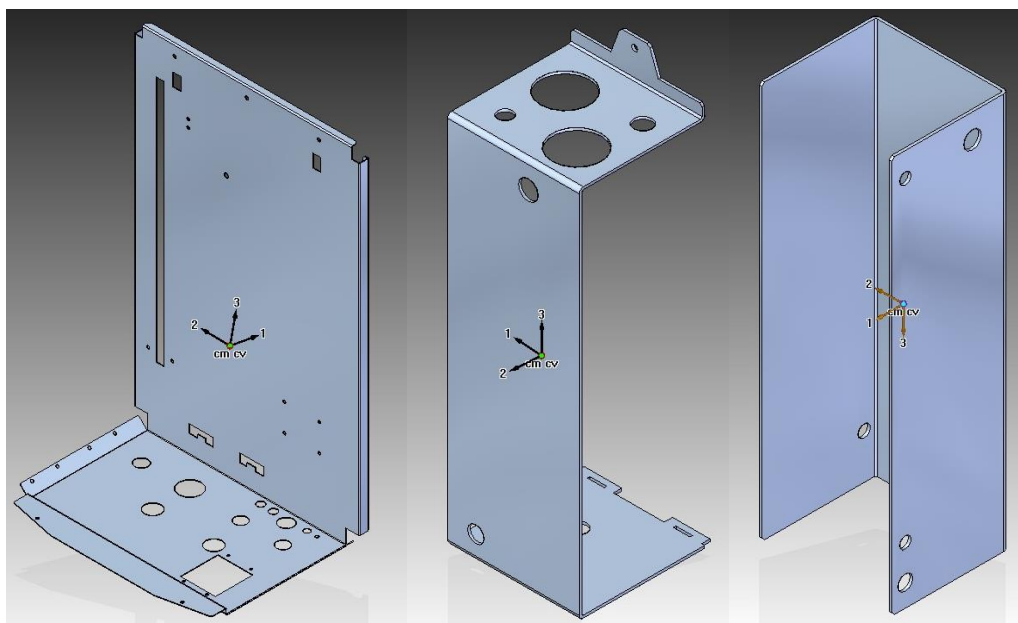
V této kapitole budou konkrétně ukázány možnosti výroby vybraných komponent z elektrokotle pomocí technologií, které firma vlastní nebo jsou pro ni dostupné. Jednotlivé možnosti v dané operaci jsou zhodnoceny pomocí nejdůležitějších parametrů, které ovlivňují výběr technologie. Hodnotícím kritériem je především cena výroby, čas výroby a propojení výroby tak, aby bylo možné použití robotizovaného svařování a celkově byla výroba co nejpřesnější a současně ekonomicky výhodná. Vhodnost vybraných metod se odvíjí také od počtu vyráběných kusů. Tento faktor je nyní pouze odhadovaný, a tedy nepřesný. Na konci kapitoly proběhne vyhodnocení a návrh vhodných metod.

### Materiál a součásti

Pro lepší porovnání metod jsou vybrány nejdůležitější součásti z elektrokotle. Jedná se o plechová záda, která jsou výrobně nejnáročnější a všechny komponenty se napojují na záda kotle. Další důležité součásti jsou vnější a vnitřní plášť kotlového tělesa, které spolu tvoří kotlové těleso. Kotlové těleso slouží k ohřevu vody a je nutná vysoká přesnost kvůli svařování robotem.

Součástky budou porovnány všemi metodami a vyhodnotí se získané parametry.

Materiál plechových zad je ocel S235JR / 0,17 % C tloušťky 1,2 mm. Jedná se o klasickou konstrukční ocel s normalizačním žíháním. Žíhání zajišťuje požadovanou mikrostrukturu (homogenní a jemnozrnnou) a mechanické vlastnosti. Vnitřní i vnější plášť kotlového tělesa jsou vyrobeny z oceli S235JR / 0,17 % C tloušťky 3 mm. Ocel je opět normalizačně vyžeháná.



Obr. 2.1 Vybrané součástky (zleva – záda kotle, uprostřed – vnitřní plášť kotlového tělesa, vpravo – vnější plášť kotlového tělesa).

## 1. Dělení materiálu

První a nejdůležitější operací je dělení materiálu. Možností je v této technologii velmi mnoho, proto jsou vybrány pouze ty metody, které firma vlastní nebo jsou v její těsné blízkosti.

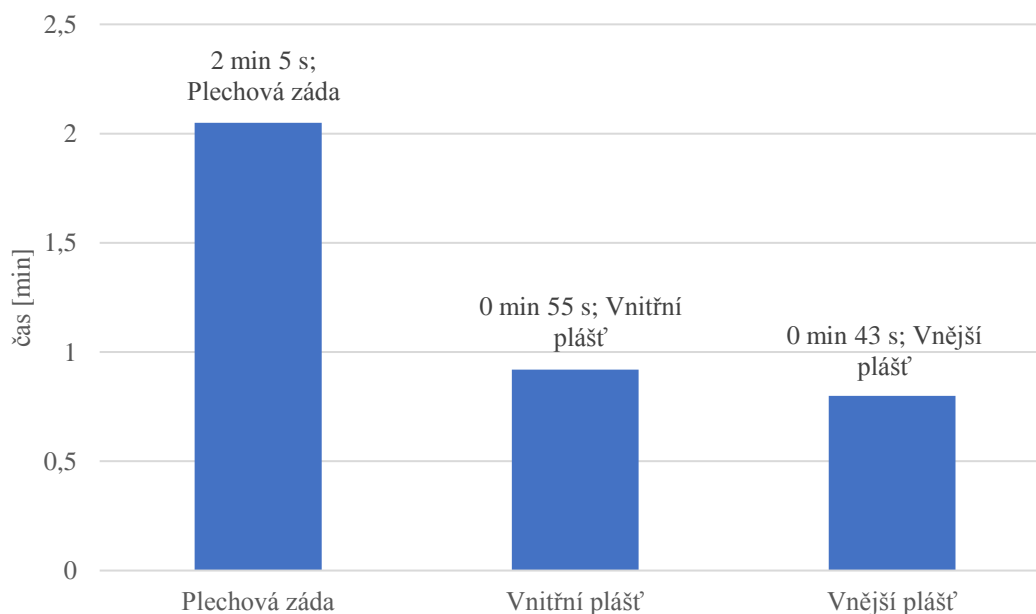
### a) Laserový paprsek

Laserové dělení materiálu je kooperativní metoda, kterou firma využívá již delší dobu. Jedná se o velmi přesnou metodu výroby s minimálním množstvím otřepů a vysokým stupněm opakovatelnosti přesných dílců. Drobnou nevýhodou je mírně tepelně ovlivněná hrana.

Tab. 2.1 Parametry řezání paprskem laseru strojem TRUMPF L3030.

<i>Drsnost vzniklých hran</i>	Ra	6,3
<i>Přesnost pálení</i>	mm	+/-0,1
<i>Cena pro vnitřní plášť</i>	Kč/kus	124,7 (pro 100 ks)
<i>Cena pro vnější plášť</i>	Kč/kus	112,4 (pro 100 ks)
<i>Cena pro plechová záda</i>	Kč/kus	303,6 (pro 100 ks)
<i>Tloušťka materiálů, které lze řezat</i>	mm	15
<i>Výkon</i>	kW	3200
<i>Otřepy</i>	-	Ne (vhodné nastavení procesních parametrů)
<i>Asistenční plyn</i>	-	Kyslík

Strojní časy jednotlivých součástí jsou zobrazeny a porovnány na obr. 2.2:



Obr. 2.2 Porovnání strojních časů při řezání laserem.



Obr. 2.3 Vzhled řezné hrany po řezání laserem.

Vzniklá řezná hrana je bez otřepů, bez úkosů a má vyhovující drsnost. Rozměry jsou velmi přesné.

b) Plazmový paprsek

Řezání plazmou je způsob dělení materiálu, který firma běžně pro výrobu používá. Vlastní dva totožné stroje se stejnými procesními parametry. Vzhledem k tomu, že plazmy jsou deset let staré, nedosahují takové přesnosti jako laser.

Tab. 2.2 Parametry řezání paprskem plazmy strojem PowerCut 2500.

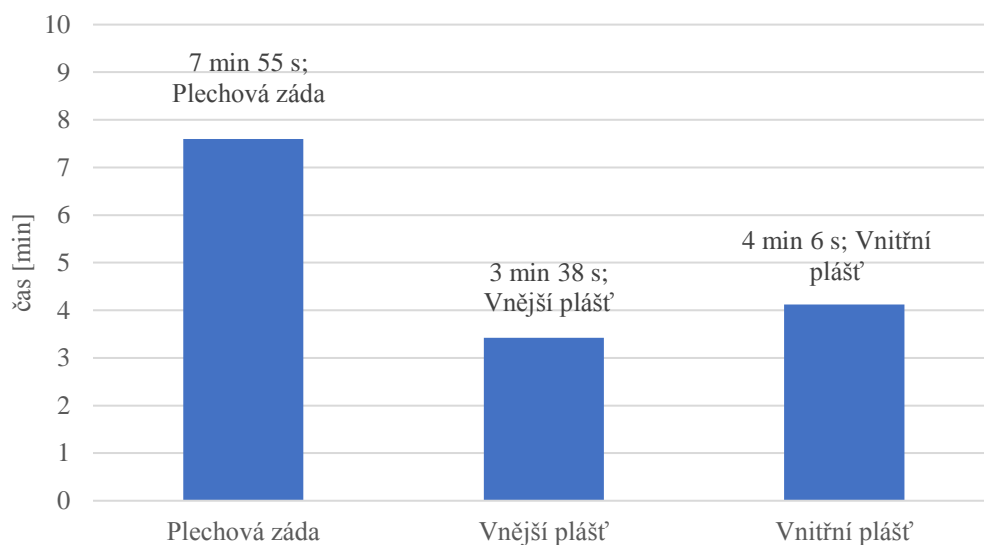
<i>Drsnost vzniklých hran</i>	Ra	6,3 až 12,5
<i>Přesnost pálení</i>	mm	±0,3
<i>Cena pro vnitřní plášť</i>	Kč/kus	104 (pro 100 ks)
<i>Cena pro vnější plášť</i>	Kč/kus	93 (pro 100 ks)
<i>Cena pro plechová záda</i>	Kč/kus	155 (pro 100 ks)
<i>Tloušťka materiálů, které lze řezat</i>	mm	30 až 40
<i>Výkon</i>	kW	2500
<i>Otřepy</i>	-	Pouze malé (dle nastavení procesních parametrů)

Vzniklá řezná hrana má vyšší drsnost oproti laseru, na spodní hraně vznikl mírný otřep, který lze vidět na obrázku 2.3. Rozměry jsou přesné ale ne tolik jako u laseru. Především u děr a kruhových otvorů je nepřesnost vyšší.



Obr. 2.4 Vzhled řezné hrany po řezání vodním paprskem.

Strojní časy jednotlivých součástí jsou zobrazeny a porovnány na obr. 2.5:



Obr. 2.4 Porovnání strojních časů při řezání plazmou.



Obr. 2.5 Stroj pro řezání plazmou Powermax 1250 a VANAD.



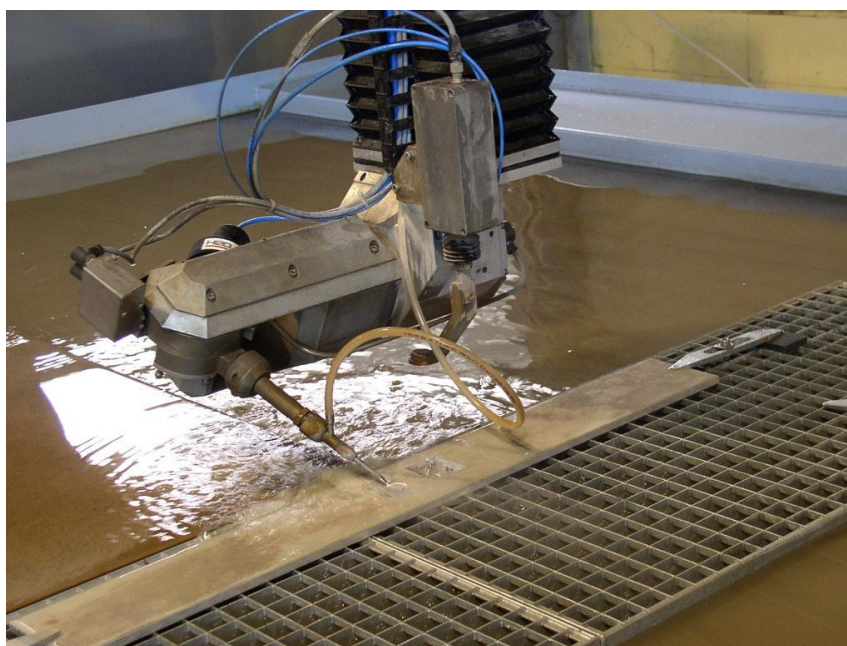
## c) Vodní paprsek

Vodní paprsek firma Slokov nevlastní, ale byla nabídnuta spolupráce ze strany firmy MDVCZ, a proto je nutno zvážit i tuto variantu. Vodní paprsek je primárně určen na větší tloušťky materiálu, ale lze řezat i menší tloušťky např. 1,2 a 3 mm.

Tab. 2.3 Parametry řezání vodním paprskem strojem PTV Uni Jet.

<i>Drsnost vzniklých hran</i>	Ra	12,5
<i>Přesnost pálení</i>	mm	±0,3
<i>Cena pro vnitřní plášť</i>	Kč/kus	120 (pro 100 ks)
<i>Cena pro vnější plášť</i>	Kč/kus	108 (pro 100 ks)
<i>Cena pro plechová záda</i>	Kč/kus	255 Kč (pro 100 ks)
<i>Tloušťka materiálů, které lze řezat</i>	mm	Do 150
<i>Výkon</i>	kW	3500
<i>Otřepy</i>	-	Malé otřepy na spodní hraně řezu
<i>Tlak vody</i>	MPa	Až 400 MPa
<i>Abrazivo</i>	-	Garnet MESH 80

Firma nestihla dodat podklady pro přesné určení strojních časů. Řezná hrana po vodním paprsku měla vysokou drsnost, a rozměry byly přesné, podobně jako u plazmy. Velkou nevýhodou byl čas řezání, který byl oproti laseru značně vyšší. Za výhodu lze považovat tepelně neovlivněný řez, který je ale po aplikaci této metody velmi náchylný ke korozi.



Obr. 2.6 Řezání vodním paprskem na stroji PTV Uni Jet.



## d) Stříhání

Na technologii stříhání lze aplikovat tabulové nůžky, které se ve výrobě standardně využívají. Tuto metodu nelze použít pro kompletní dělení požadovaných tvarů, lze s ní pouze předpřipravit obrysy součástí a tvarové podrobnosti s otvory je nutné poté vysekat na vysekávacím stroji. Střih probíhá oproti vysekávání obrysových hran velmi rychle.

Tab. 2.4 Parametry při stříhání na tabulových nůžkách HACO TS.

<i>Drsnost vzniklých hran</i>	Ra	6,3
<i>Střížná délka</i>	mm	3050
<i>Cena pro vnitřní plášť (pouze obrys)</i>	Kč/kus	30 (pro 100 ks)
<i>Cena pro vnější plášť (pouze obrys)</i>	Kč/kus	25 (pro 100 ks)
<i>Cena pro plechová záda</i>	Kč/kus	34 (pro 100 ks)
<i>Tloušťka materiálů, které lze stříhat</i>	mm	5
<i>Počet stříhů za minutu</i>	1/min	35-50
<i>Otřepty</i>	-	Ano, na spodní hraně

Vzniklá střížná hrana má dobrou drsnost povrchu a pouze na spodní hraně se vytvoří malý otřep. Opakovatelnost přesného stříhu je vysoká díky dorazům. Rozměry jsou přesné, ale plech má po stříhu tendenci se kroutit. Střih je velmi rychlý a po nastavení procesních parametrů lze nadělit za krátký čas velkou sérii plechů. Nevýhodou je potřeba neustálé manipulace a obsluhy dvěma pracovníky.



Obr. 2.7 Tabulové nůžky HACO TS.

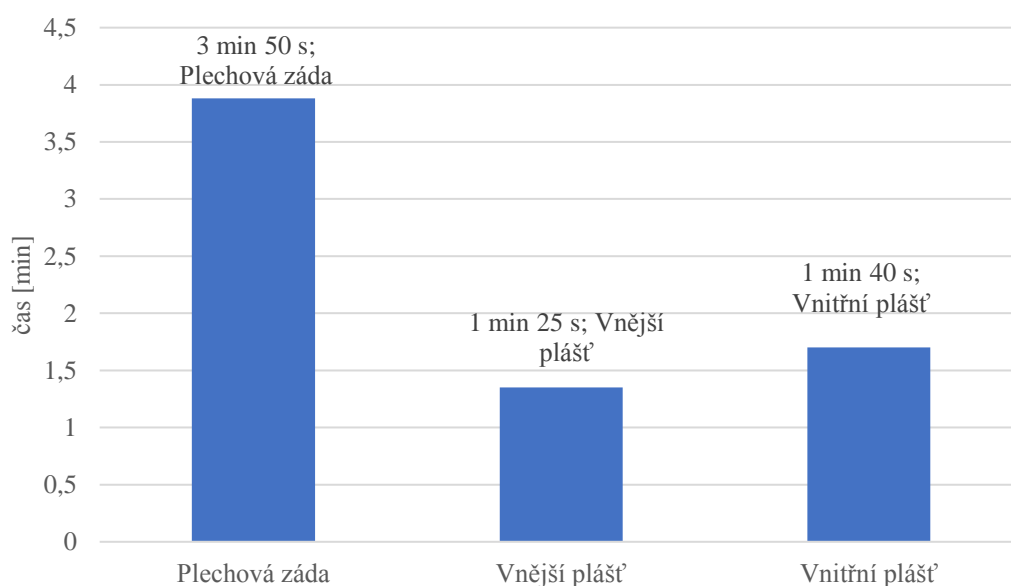
## e) Vysekávání

Technologie vysekávání se ve firmě využívá standardně na výrobu oplechování kotlů. Stroj je moderní a dosahuje dobrých provozních a výrobních parametrů. Technologii vysekávání lze kombinovat pro urychlení výroby se stříháním nebo laserem. Pro vysekávání je potřeba vlastnit nástroje, které jsou určeny pro danou tloušťku materiálu. Nepříjemným doprovodným jevem pracovního procesu je vysoký hluk.

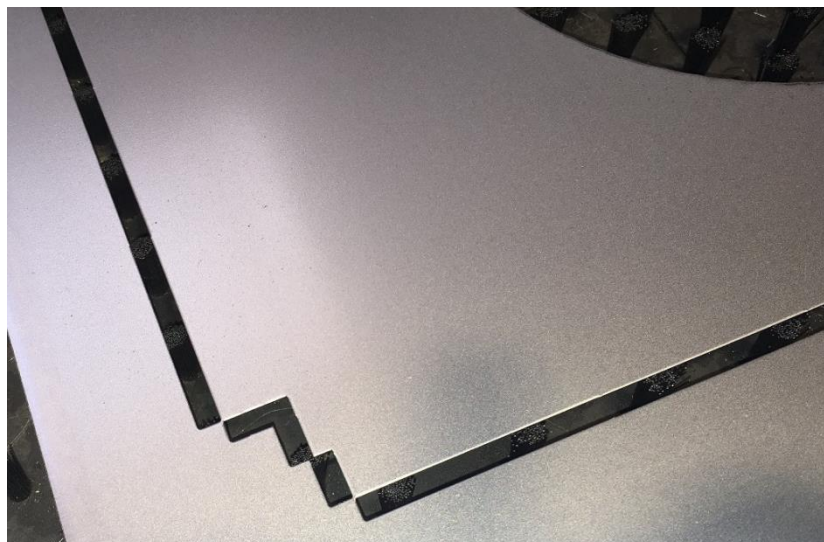
Tab. 2.5 Parametry při vysekávání na stroji HACO OMATIC 130.

<i>Drsnost vzniklých hran</i>	Ra	6,3
<i>Přesnost</i>	mm	± 0,1
<i>Cena pro vnitřní plášť</i>	Kč/kus	102 (pro 100 ks)
<i>Cena pro vnější plášť</i>	Kč/kus	95 (pro 100 ks)
<i>Cena pro plechová záda</i>	Kč/kus	190 (pro 100 ks)
<i>Tloušťka materiálů, které lze vysekávat</i>	mm	Do 5
<i>Počet zdvihů beranu</i>	Za minutu	1 000
<i>Otřepy</i>	-	ne

Vzniklá střížná hrana je bez otřepů a úkosů. Pouze při posunování nástroje a nedoladěném programu, především u kruhových otvorů, vznikají nedosekané výstupky. Pro uchycení plechu v tabuli a snadnému odebrání se využívají mikromůstky (účelně nedosekaný materiál). Hrany mají nízkou drsnost a rozměrová přesnost je velmi vysoká. Vzniklá střížná hrana je zobrazena na obr. 2.9. Vysekávání je CNC řízené a má vysokou produktivitu.

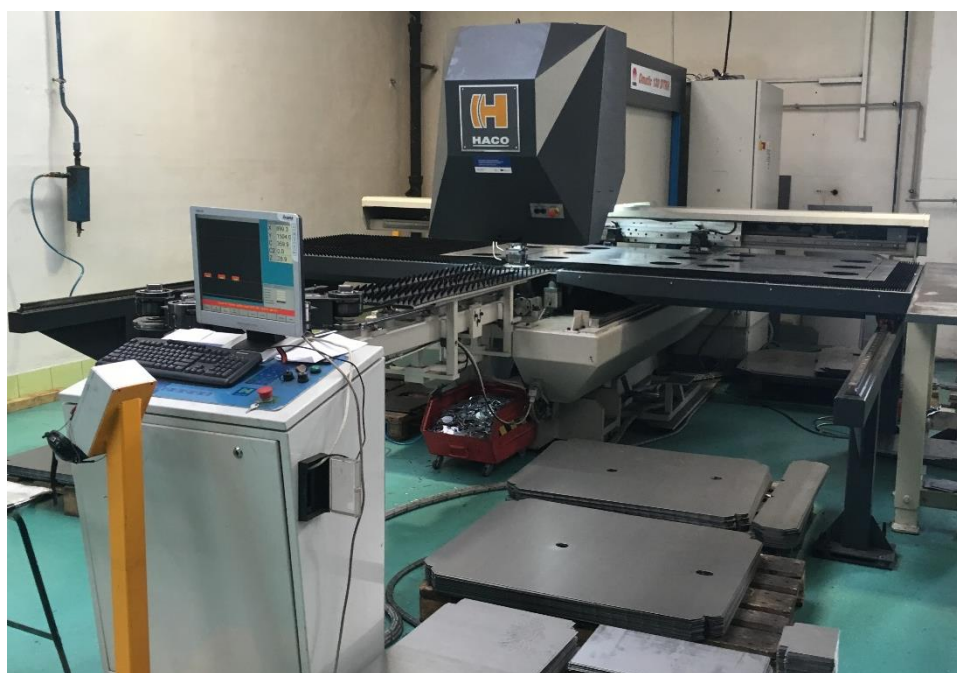


Obr. 2.8 Porovnání strojních časů při vysekávání.



Obr. 2.9 Vzhled vysekaných hran.

Oproti řezání laserem je velkou nevýhodou nadměrný hluk, který narůstá se vzrůstající tloušťkou materiálu. Další zásadní nevýhodou je omezený rozsah použitelných tlouštěk materiálu určených k vysekávání. Oproti paprskovým technologiím dělení vzniká u vysekávání větší odpad (širší nástroj).



Obr. 2.10 Vysekávací stroj HACO OMATIC 130.

Z technologií dělení materiálu se jeví jako nejvhodnější technologie řezání paprskem laseru. Z důvodu požadavků na vysokou přesnost výroby, vyhovující drsnost a časové hledisko je laserová technologie nejvýhodnější. Cenově jí může konkurovat metoda pálení plazmou, která ovšem není přesná natolik, aby vyhovovala robotickému svařování. V potaz lze brát metodu vysekávání, která je cenově dostupnější než laser. Je ovšem značně pomalejší a stroj používaný ve firmě při vyšších tloušťkách materiálu vydává nadměrný hluk.

## 2. Ohýbání materiálu

Ohýbání plechových dílců navazuje na technologii dělení materiálu. Stejně jako při dělení je i zde nutná vysoká přesnost kvůli navazujícímu robotickému svařování. Na ohýbání vlastní firma Slokov několik ručních ohýbaček (mechanických a motorových) a ohraňovací lis.

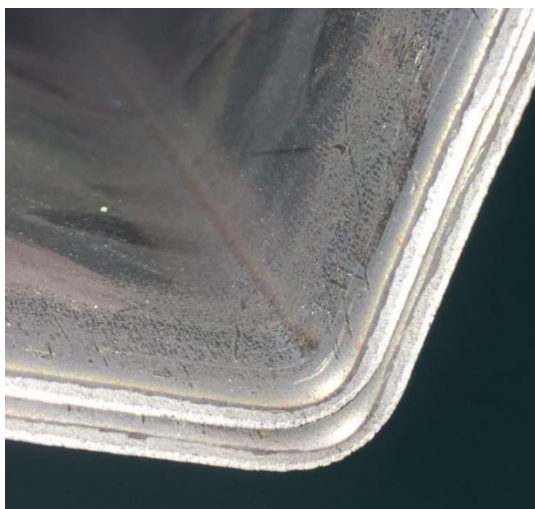
### a) Ohýbání na ruční ohýbačce

Při ohýbání pomocí ručních ohýbaček byla potřebná jiná konstrukce ohybů než při ohýbání ohraňovacím lisem. Bez konstrukčních úprav by nebylo možné ohyby na ruční ohýbačce zhotovit. Jedná se především o součást zad kotle, kde jsou ohyby, které nejsou určeny na ohýbačku.

Tab. 2.6 Ohýbání na ohýbacím stroji XOM 2000/4B.

<i>Pracovní délka</i>	mm	2050
<i>Pohon</i>	-	motorový
<i>Cena pro vnitřní plášť</i>	Kč/kus	18 (pro 100 ks)
<i>Cena pro vnější plášť</i>	Kč/kus	27 (pro 100 ks)
<i>Cena pro plechová záda (upravené)</i>	Kč/kus	75 (pro 100 ks)
<i>Tloušťka materiálů, které lze ohýbat</i>	mm	Do 4
<i>Dorazy (pro udržení sériovosti)</i>	-	Ano – přípravky
<i>Maximální úhel ohybu</i>	°	135

Vzniklé ohyby jsou viditelně více natáhlé a zúžené v místě ohybu (obr. 2.11). Výsledné rozměry nejsou tak přesné, jak je požadováno na výkresu. Pro ohýbání je nutné využít speciálních přípravků - dorazů, které určují vzdálenost ohybu. I přes použití dorazů byla výsledná odchylka větší, než je přípustné dle tolerancí rozměrů na výkresu. Další nevýhodou ruční ohýbačky je časová náročnost, jelikož je potřeba doladit vždy znovu nastavení rozměru u každého ohybu.



Obr. 2.11 Vzhled ohybu po ohýbání na ruční ohýbačce.





Obr. 2.12 Motorová ohýbačka XOM 2000/4B.

## b) Ohraňovací lis

Ohýbání na ohraňovacím lisu je dnes ve firmách standardem a od ohýbání pomocí ručních ohýbaček se upouští. Je to z důvodů vyšší přesnosti, úspory času, přesnějšího a kvalitnějšího provedení ohybů. Firma Slokov využívá ve výrobě standardně ohraňovací lis, který splňuje všechny náročné požadavky na přesnost a kvalitu výroby.

Tab. 2.7 Ohýbání na ohraňovacím lisu AMADA HFE-M2.

<i>Délka beranu</i>	mm	2570
<i>Pohon</i>	-	Hydraulický
<i>Cena pro vnitřní plášť</i>	Kč/kus	20 (pro 100 ks)
<i>Cena pro vnější plášť</i>	Kč/kus	30 (pro 100 ks)
<i>Cena pro plechová záda</i>	Kč/kus	110 (pro 100 ks)
<i>Vyložení</i>	mm	420
<i>Lisovací síla</i>	kN	800
<i>Pracovní rychlost</i>	mm/s	1-10
<i>Počet řízených os</i>	-	4

Po ohýbání na ohraňovacím lisu vznikne velmi přesný ohyb, který není deformovaný a materiál v místě ohybu není ztenčený. Metoda má vysokou produktivitu a snadnou obsluhu. Obsluha stroje je velmi jednoduchá díky intuitivnímu programování na dotykovém panelu. Nevýhodou je nutnost vlastnit příslušný nástroj pro ohýbanou tloušťku materiálu. V porovnání s ohýbáním na ohýbačce je metoda nepatrně dražší, ale časově mnohonásobně rychlejší.

Nastavení programu proběhne pouze jednou, bez nutnosti nastavování pro každý další díl ze série. Ohraňovací lis má navíc zabudované systémy, které pomocí korekcí zajišťují co nejpřesnější a nejlepší ohyb.



Obr. 2.13 Vzhled ohybu po ohýbání na ohraňovacím lisu AMADA.



Obr. 2.14 Ohraňovací lis AMADA HFE-M2.

Pro ohýbání jednotlivých komponent elektrokotle je výhodnější varianta ohýbání pomocí ohraňovacího lisu. Jedná se o nepatrně dražší metodu, která má ovšem mnohem vyšší přesnost rozměrů ohybu a ohýbání trvá kratší dobu s přesným nastavením dorazů. Nevýhodou je potřeba vlastnit nástroj pro konkrétní tloušťky materiálu. Tato nevýhoda trvá jenom do doby, dokud se nástroje nezaplátí po vyrobení x sérií dílů.



### 3. Svařování součástí

Po dělení materiálu a jeho ohnutí následuje svaření. Na elektrokotli JE 6/12 bude svařovaná konstrukce kotlového tělesa. Kotlové těleso se skládá z vnějšího pláště kotlového tělesa a vnitřního pláště kotlového tělesa. Svařované kotlové těleso musí projít zkouškami těsnosti a tlaku.

#### a) Ruční svařování

Ruční svařování obalovanou elektrodou probíhá v odsávaných boxech, ve kterých dělníci podle technické dokumentace svařují jednotlivé součásti k sobě. Ruční svařování probíhá metodou MAG. Díly se uchytí do polohovadla a svaří k sobě, následně se kotlové těleso doplní o nátrubky, které se také přivaří. Po svaření následuje výstupní kontrola těsnosti a tlakování kotlového tělesa.

Tab. 2.8 Parametry svařování ruční metodou MAG.

<i>Typ svaru a velikost a</i>	-/mm	Koutové svary/ 3
<i>Druh příd. materiálu a metody</i>	-/-	G3Si1/MAG
<i>Cena pro kotlové těleso</i>	Kč/kus	1100 (pro 100 ks)
<i>Čas přípravy svařování</i>	hod	0,25
<i>Doba svařování</i>	hod	0,68
<i>Používaný plyn (poměr)</i>	-	88 % Ar: 12 % CO <sub>2</sub>
<i>Typy kontrol svarů</i>	-	Tlaková, vizuální
<i>Požadovaný vstupní stupeň přesnosti rozměrů materiálu</i>	IT	9-11

Svařování ruční se uskutečňuje pomocí svařovacích zdrojů od společnosti Fronius. Jedná se o svařovací zdroje TransSteel 2500c určené pro MIG/MAG svařování. Vzniklé kotlové těleso vyhovovalo při všech zkouškách. Výhodou oproti robotickému svařování je možnost pohnout svařovacím drátem do míst nepřesností a měnit dráhu pohybu dle zvážení obsluhy. Nevýhodou je delší doba svařování oproti robotovi, horší provedení svarů a větší vnesené teplo.

Parametry svařování pro 3 mm plech:

- napětí  $U = 26,2 \text{ V}$
- proud  $I = 220 \text{ A}$
- modul: steel dynamic
- ochranný plyn 88 % Ar + 12 % CO<sub>2</sub>
- korekce délky oblouku: 3
- dynamika: měkký oblouk s malým rozstříkem
- rychlost podávání drátu  $v = 10,9 \text{ m/min}$
- provozní režim: dvoutakt



Obr. 2.15 Svařovací zdroj TransSteel 2500c.

## b) Robotické svařování

Popis svařovacího robota a jeho charakteristika jsou rozebrány v kapitole 4. s názvem Návrh výroby kotlového tělesa svařovacím robotem.

Tab. 2.9 Parametry robotického svařování.

<i>Typ svaru a velikost a</i>	-/mm	Koutové svary/ 3
<i>Druh příd. materiálu a metody</i>	-/-	G3Si1/MAG
<i>Cena pro kotlové těleso</i>	Kč/kus	1550 (pro 100 ks)
<i>Čas přípravy svařování (bez programování)</i>	hod	0,30
<i>Doba svařování</i>	hod	0,42
<i>Používaný plyn (poměr)</i>	-	88 % Ar: 12 % CO <sub>2</sub>
<i>Cena naprogramování robota</i>	Kč/hod	2 000
<i>Typy kontrol svarů</i>	-	Tlaková, vizuální
<i>Požadovaný vstupní stupeň přesnosti rozměrů materiálu</i>	IT	7-8

Při svařování svařovacím robotem vzniknou přesné svary. Svary jsou stabilně rovné, bez propalů, rozstříku a provaření materiálu. V porovnání s ručním svařováním je potřeba naprogramování robota, které se vyplatí pro velké série (nutná odborná obsluha). Doba přípravy je delší, jelikož je potřeba nejprve součásti sbodovat a poté upnout do svařovacího přípravku. Nevýhodou jsou vyšší požadavky na přesnou výrobu jednotlivých dílců. Výhodou je kratší doba svařování, menší množství spotřebovaného plynu a lépe zhotovené svary.

Parametry svařování pro 3 mm plech:

- viz kapitola 4. s názvem Návrh výroby kotlového tělesa svařovacím robotem

#### 4. Povrchová úprava

##### a) Práškové lakování

Práškové lakování se zhotovuje jako kooperace u firmy Emilak. Metoda velmi dobře kryje plechové dílce a vytváří designový prvek kotle. Výhodou je obtečení ostrých hran a jejich zaoblení. Díky tomu je snazší montáž jednotlivých dílů kotle. Výhodou je delší životnost a odolnost práškového lakování oproti nátěrovým hmotám. Především u kotlového tělesa, na které působí několik korozních faktorů, je zvýšená odolnost potřebná. Nevýhodou je časové hledisko, protože doba dodání se může vzhledem k okolnostem měnit. Může vzniknout zpoždění dodání komaxitovaných dílců a tím i celé zakázky. Další nevýhodou je nanesení vrstvy 0,1-0,2 mm prášku a zmenšení otvorů.



Obr. 2.16 Vzhled plechu zad kotle po práškovém lakování.

Tab. 2.10 Cena práškového lakování.

Součást	Jednotka	Cena
<i>Záda kotle</i>	Kč/kus	150
<i>Kotlové těleso</i>	Kč/kus	180

##### b) Nátěrové hmoty

Nanášení nátěrových hmot na plechové dílce a kotle využívá firma standardně ve své výrobě. Pro nanášení se používá vysokotlaká stříkací pistole s vhodným odstínem barvy. Celý proces se provádí v chráněné komoře (obr. 2.18), která je důkladně odsávaná. Výhodou metody je nižší cena za kus v porovnání s práškovým lakováním. Další výhodou je umístění zařízení přímo ve firmě, a tudíž zkrácení času přepravy. Používané barvy jsou vodou ředitelné a šetrné k životnímu prostředí. Nevýhodou je, že barva je nanesena pouze v tenké vrstvě a nezaoblí se tak ostré hrany. Podstatnou nevýhodou je nižší životnost nanesené barvy oproti práškovému lakování. Kvůli tomu především u kotlového tělesa hrozí vznik koroze, která je nežádoucí. Při použití nátěrových hmot je nanesená vrstva velmi malá a rozměry – především kruhové, zmenšuje jen nepatrně.



Obr. 2.17 Vzhled kotlového tělesa po nanesení barvy.

Tab. 2.11 Cena nátěrových barev.

Součást	Jednotka	Cena
<i>Záda kotle</i>	Kč/kus	60
<i>Kotlové těleso</i>	Kč/kus	80



Obr. 2.18 Komora pro nanášení nátěrových hmot.

Z uvedených možností, jako výhodnější kvůli ekonomice a času, lze zvolit nanášení nátěrových hmot přímo ve firmě. Důležitým hlediskem, a především kvůli životnosti kotle, je ale odolnost vůči korozi. Lepší a delší korozní odolnost zaručuje práškové lakování. Práškové lakování navíc zaobluje ostré hrany a působí lepším vzhledem.

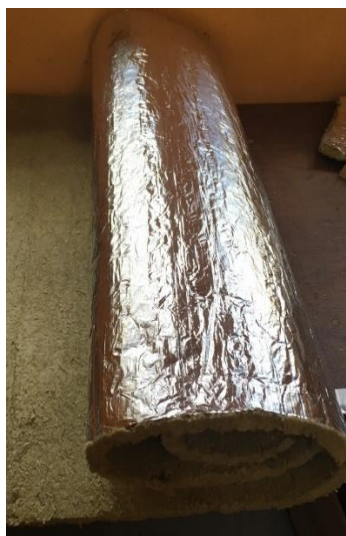
## 5. Montáž kotle

Posledním krokem při výrobě kotle je montáž kotle a zkoušení kotle. Přehledně jsou v tabulce 2.12 shrnuty nejdůležitější parametry montáže tak, aby i tato metoda byla ekonomicky a výrobně co nejvýhodnější. Po kompletaci kotle následuje zkoušení kotle, kde se ukáže, zda jsou všechny technologie správně provedeny.

Tab. 2.12 Nejdůležitější parametry montáže.

<i>Cena montáže</i>	Kč/hod	300 (Pro 100 ks)
<i>Čas montáže</i>	hod/ks	2 až 2,5 hodiny
<i>Potřeba pracovníků</i>	ks	Dle série 1 až 2
<i>Potřebný manipulační prostor</i>	m <sup>2</sup>	24
<i>Izolace</i>	-	Speciální se zvýšenou tepelnou odolností

Pro správný chod kotle je nutné kotlové těleso chránit nejen proti korozi, ale také proti tepelným ztrátám. K tomuto účelu slouží izolační vata s maximální odolností proti teplotě 600 °C a hodnotou tepelné vodivosti 0,04 W·m<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>.



Obr. 2.18 Speciální izolační vata na kotlové těleso.

## 6. Vyhodnocení a výběr:

Z technologie dělení, na základě nutnosti přesných rozměrů a vysokého stupně opakovatelnosti, navrhuji použít technologii dělení laserovým paprskem. Metoda je sice dražší, ale má nejlepší výstupní parametry z porovnávaných metod. Další výhodou laseru je krátký čas řezání.

Z technologie ohýbání navrhuji využít ohraňovací lis, který vytváří přesné a nedeformované ohyby. Metoda má lepší časové hledisko oproti ohýbačkám a je pouze nepatrně dražší.

Z nabízených metod svařování navrhuji využít svařovacího robota, který zhotoví přesné a úhledné svary za značně kratší čas. Pro využití robota je nutné použít technologii dělení laserem a ohýbání ohraňovacím lisem.

Z nabízených metod povrchových úprav doporučuji využít technologii práškového lakování, která prodlouží životnost kotle, ulehčí manipulaci při montáži díky zaobleným hranám, dodá kotli designový prvek a zvýší korozní odolnost.

Pro montáž kotle navrhuji využití parametrů navrhovaných v tab. 2.12, které jsou stanovené pro výrobu elektrokotlů a vycházejí ze zkušeností firmy v tomto odvětví.



Obr. 2.19 Navrhovaná posloupnost výroby elektrokotle JE 6/12.



### 3 ÚPRAVA KONSTRUKCE KOTLE S OHLEDEM NA VYBRANÉ TECHNOLOGIE

S ohledem na vybrané technologie výroby bylo nutné provést změny také v konstrukčním řešení kotle oproti původnímu návrhovému prototypu. Po schůzi zadavatele projektu firmy Jablotron s firmou Slokov došlo po ukázce prototypu k připomínkování a navržení nových řešení konstrukce a výroby kotle. Pro výrobu byly tedy vybrány tyto technologie:

- Dělení materiálu: kombinace laseru a vysekávání
- Ohýbání: CNC ohraňování plechů
- Svařování: MAG metoda za pomoci robotizace
- Povrchová úprava: práškové lakování (komaxit)

Konstrukční návržení, správa modelů a výkresové dokumentace probíhají v programu Solid Edge od firmy Siemens. Jedná se o 3D modelovací software, který je velmi intuitivní a uživatelsky přívětivý.

Na začátku spolupráce firem byly navrženy tři varianty kotle. Postupem času se dohodly dvě varianty, které budou zpracovány do univerzálního kotle tak, aby se přidáním komponent v sestavě kotle měnila požadovaná varianta kotle. U firmy Slokov bylo pro výběr technologií nutné vzít v potaz výrobní možnosti a dostupnost kooperací s následnou úpravou konstrukce a přízpůsobením se výrobě.

#### Úpravy konstrukce pro jednotlivé technologie:

##### a) Dělení materiálu

Při dělení materiálu byl největší problém u prototypového kusu při řezání plazmou, u které je výroba velmi nepřesná. To se projevovalo především u děr, které slouží pro spojení jednotlivých částí kotle nýtovacími maticemi a šrouby.

Tab. 3.1 Přepočtení průměrů pro plazmu.







Požadovaný průměr otvoru	Zvětšený průměr pro plazmu
ø4	ø4,5
ø5	ø5,5
ø6	ø6,5

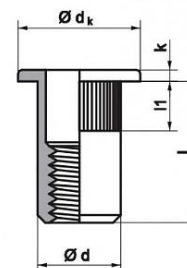
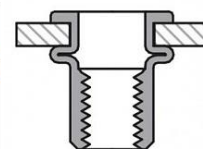
V důsledku nepřesného řezání plechů plazmou, které se projevvalo zejména při kompletaci celkové sestavy kotle, musely být výstupy trubek z kotle ponechány s větší vůlí. To mělo za následek vznik větších otvorů u výstupů trubek (obr. 3.1) a následné přikrytí krycími plechy při montáži kotle.

Při použití laseru stoupla významně přesnost celé sestavy kotle, a tím pádem bylo možné upravit dno kotle dle obr. 3.3 bez použití krycích plechů. Nepřesné bylo také poziční vyústění trubek z kotle, viz kapitola Rozvod kapaliny v kotli.



Obr. 3.1 Dno kotle s původním provedením výstupů z kotle.

Ø M		Item nr.	Ø d	Ø dk	k	l	l <sub>1</sub>
[mm]	min-max[mm]		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
M4  Ø 6,0	1,5 - 3,5	FNQA004003B	5,9	9,0	1,5	11,5	4,5
M5  Ø 7,0	1,5 - 4,0	FNQA005004B	6,9	10,0	1,5	13,5	5,0
M6  Ø 9,0	1,5 - 4,5	FNQA006004B	8,9	12,0	1,5	16,0	5,5
M8  Ø 11,0	1,5 - 4,5	FNQA008004B	10,9	14,0	1,5	19,0	5,5
M10  Ø 13,0	1,5 - 4,5	FNQA010004B	12,9	15,0	1,5	21,0	5,5



Obr. 3.2 Nýťovací matice a jejich rozměry. [61]

Při použití technologie vysekávání, s výhodou zejména pro otvory, které jsou vysekány na jeden zdvih, je firma limitována nástroji pro vysekávací stroj. Dostupné nástroje, které připadají v úvahu pro velikost požadovaných otvorů, jsou v tabulce 1.8. Vzhledem k použité povrchové úpravě se průměr děr při komaxitu zmenší.

Příklad:

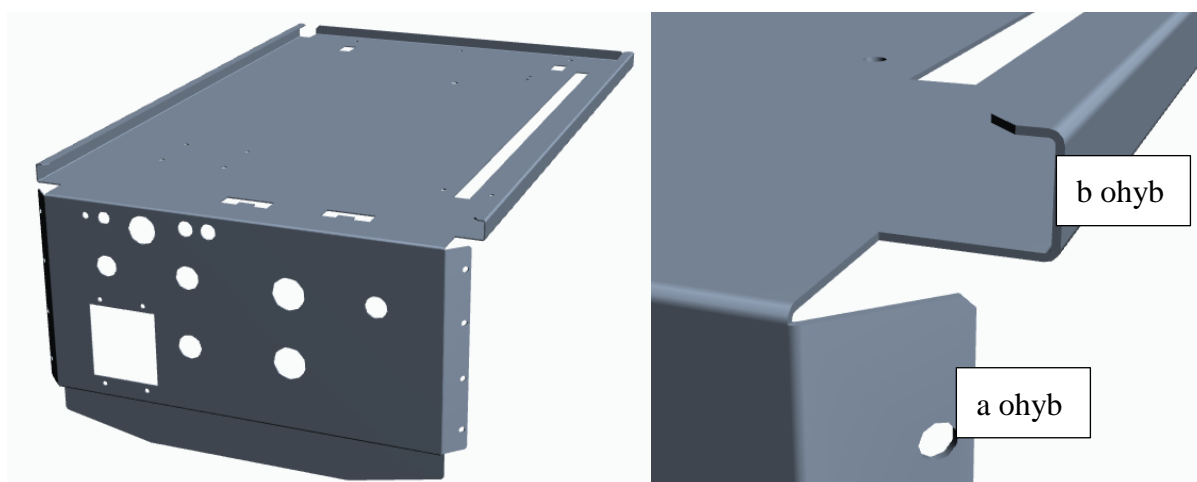
Díru  $\phi 6$  je nutné předělat na díru  $\phi 7$ . Při dané vrstvě komaxitu by stačila díra  $\phi 6,5$ , pro kterou bohužel firma nevlastní nástroj. To samé platí pro všechny otvory, které jsou vyráběny technologií vysekávání.

Tab. 3.2 Nástroje pro vysekávací stroj.

Razník	Raznice
ø 4	ø 4
ø 5	ø 5
ø 6	ø 6
ø 7	ø 7
ø 9	ø 9
Čtverec 5x5	Čtverec 5x5
Čtverec 8x8	Čtverec 8x8
Obdélník 10x3	Obdélník 10x3
Obdélník 10x5	Obdélník 10x5
Obdélník 5x1	Obdélník 5x1

## b) Ohýbání

Při ohýbání zad kotle z plechu na ohráňovacím lisu vznikl problém jednak s odpružením ohnuté části na dně kotle (obr. 3.3 a ohyb) a nedostatečná délka U ohybu na zádech kotle, který slouží ke zpevnění konstrukce (obr. 3.3 b ohyb). Při prvotní délce ohybu nebylo možné ohyb pomocí nástrojů, které má forma k dispozici, provést. Problém u ohybu a byl vyřešen zmenšením poloměru ohybu z původních 3 mm na 2 mm a zvětšením úhlu ohybu ze 125° na 135°. U ohybu b byl problém vyřešen prodloužením ohybu z 15 na 19 mm.



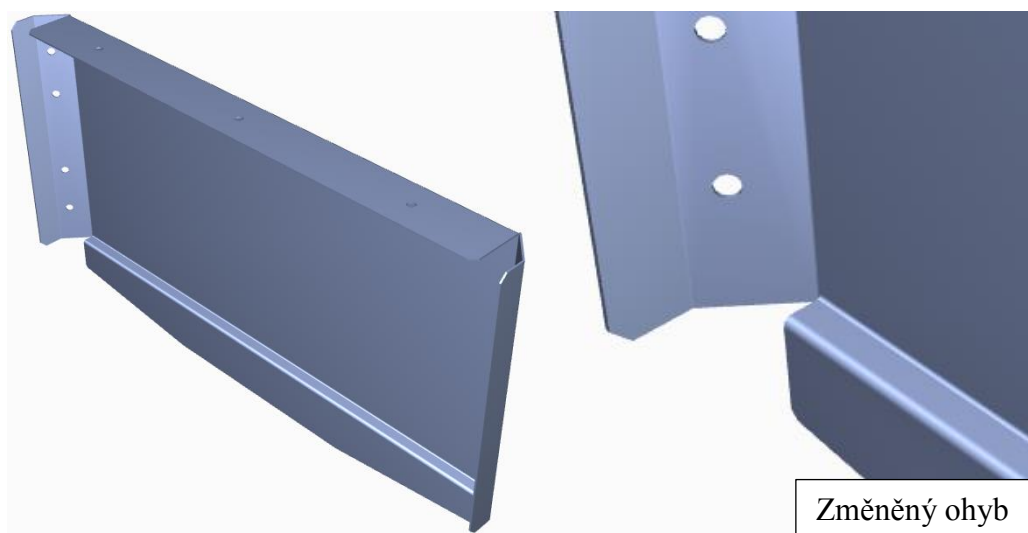
Obr. 3.3 Záda kotle a detail na ohyby.

Při ohýbání držáku expanzní nádoby a horního krytu kotle vznikl stejný problém jako u zad kotle, a to s délkou ohybu. S použitím razníku a matrice pro tloušťku materiálu 1,3 mm nebylo možné požadovaných rozměrů dosáhnout.

U držáku expanzní nádoby se změnila hodnota z 10 mm na 15 mm a snížily se boční ohyby o 5 mm. Dle obr. 3.4 je patrné z obrazovky ohraňovacího lisu, že ohyby jsou proveditelné. U horního krytu se změnila délka ohybu z 10 mm na 15 mm.

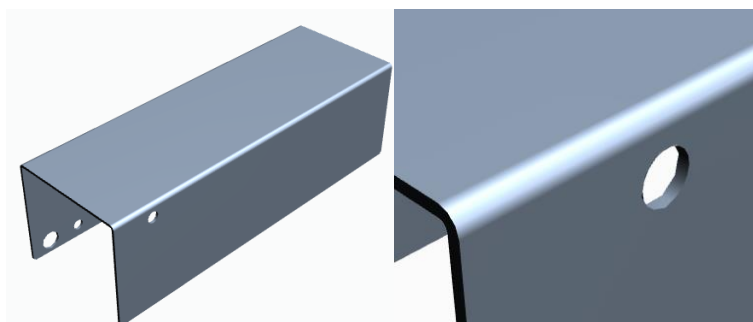


Obr. 3.4 Držák expanzní nádoby a obrazovka ohraňovacího lisu.



Obr. 3.5 Horní kryt a detail ohybu.

Jako poslední změna u technologie ohýbání bylo posunutí otvoru od místa ohybu. I přes teoretickou minimální hodnotu vzdálenosti otvoru 9 mm se díra deformovala. Proto byla posunuta hodnota vzdálenosti od místa ohybu na 13 mm. V této pozici se díra nedeformuje.

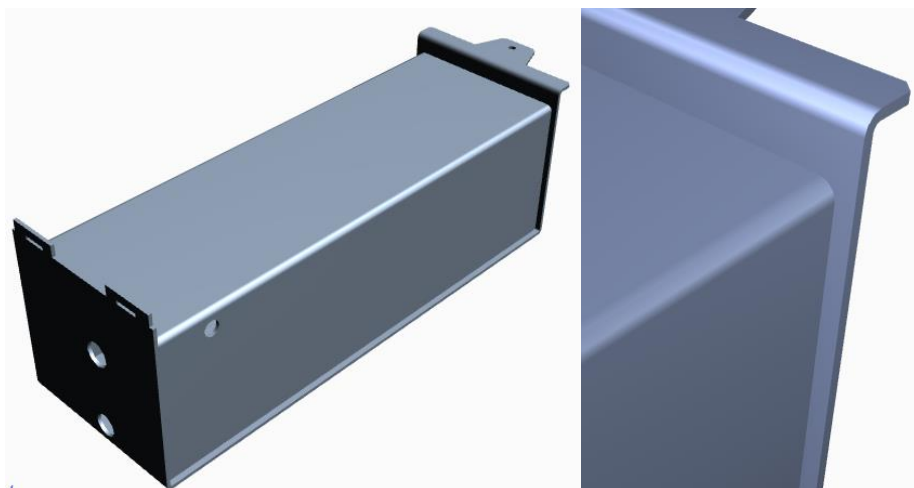


Obr. 3.6 Vnitřní plášť kotlového tělesa a detail upraveného otvoru.

## c) Svařování

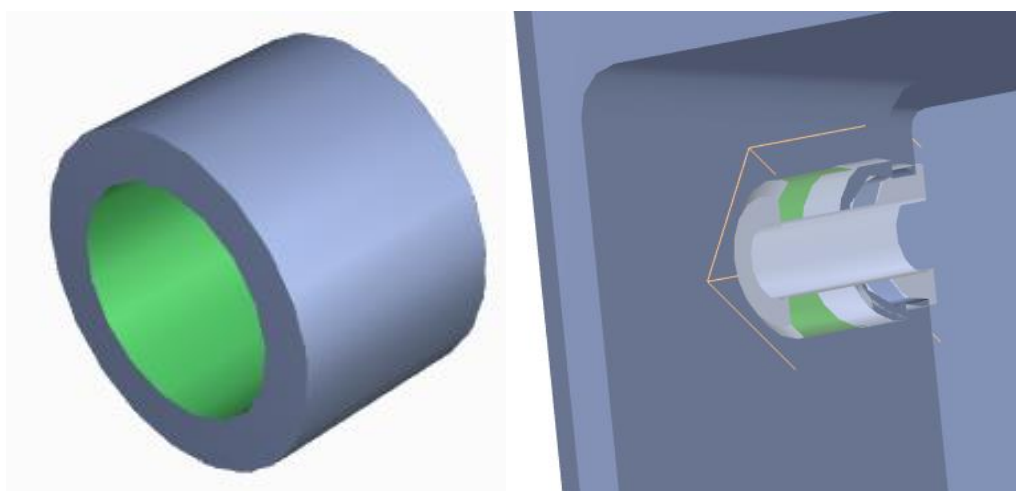
Technologie svařování je uplatněna pouze u kotlového tělesa, které je ale nejdůležitější součástí kotle. Svařování bude robotizované, a je tedy potřeba díly na tuto technologii připravit. Je nutné, aby již počátek výroby, tedy dělení materiálu, bylo velmi přesné. Tento faktor zajistí laserové dělení materiálu. Pro maximální využití robota je nutné zavaření kotlového tělesa na jedno upnutí. Při konstrukci je potřeba myslet na možnosti dosahu robotického ramene a možnosti upnutí na přípravek.

Pro správné zavaření je potřeba mezi vnějším pláštěm kotlového tělesa a vnitřním pláštěm nechat přesah pro koutový svar po celém obvodu. Přesah vnějšího pláště činí 5 mm v nejužším místě, což je dostatečná plocha pro koutový svar o velikosti  $a=3$ .



Obr. 3.7 Kotlové těleso a detail přesahu vnějšího pláště.

Součástí kotlového tělesa jsou i různé velikosti a druhy nátrubků. Ty byly v původním návrhu bez osazení a plánovány pro ruční svařování metodou MIG. Pro robota je potřeba osazení znázorněné v řezu na obrázku 3.8. Osazení zaručí přesné usazení nátrubku v celé sérii a bezproblémovou opakovatelnost svarů robotem.



Obr. 3.8 Nátrubek bez osazení a detail řezu nátrubku s osazením.

## d) Úpravy s ohledem na robotizaci svařování

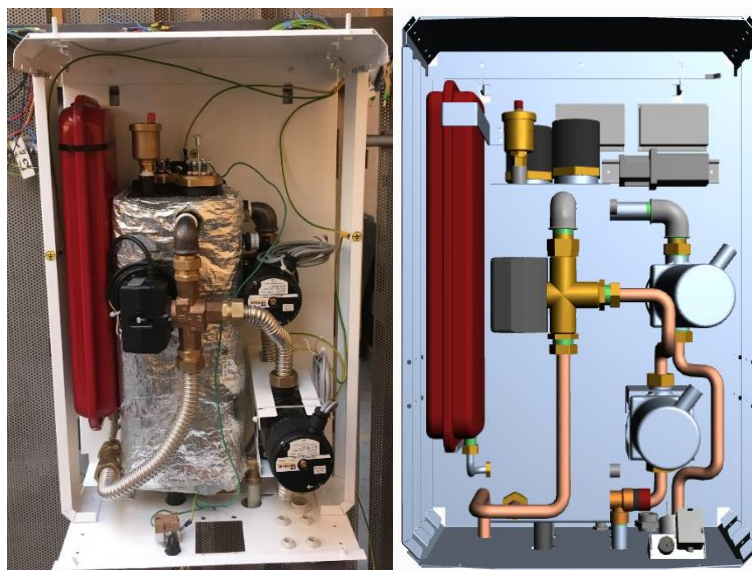
Pro svařování robotem je nutné upravit konstrukci tak, aby se svařovací hlava robotu dostala do všech potřebných míst. Proto nejen, že jsou nátrubky opatřeny osazením pro přesné ustálení polohy, ale současně rozteč děr musela být zvětšena tak, aby svary byly po celém obvodu nátrubku. Tato změna zasáhla i do rozměrů kotlového tělesa, které bylo zvětšeno zejména kvůli rozteči nátrubků na horní straně kotlového tělesa. Kotlové těleso bylo zvětšeno do šířky o 10 mm a do hloubky o 5 mm. Rozteč nátrubků pro topné tyče se zvětšila z 79 mm na 84 mm. Ostatní nátrubky byly posunuty od hrany kraje nebo od vedlejšího nátrubku.



Obr. 3.9 Svařenec kotlového tělesa kompletní.

## e) Rozvod kapaliny v kotli

Díky laserové technologii, použité při dělení materiálu, se celková přesnost dílů a sestavy kotle velmi zvýšila. Oproti původnímu provedení, kde plechy byly děleny plazmou a bylo nutno použít trubky Flexira z nerezového vlnovce, lze použít měděné trubky, které vyžadují přesné napojovací body. Trubky Flexira šly tvarovat dle požadovaných potřeb a nepřesnost výroby se díky této vlastnosti ztrácela. Význam má i robotické svařování, protože je zaručena opakovatelnost a tím pádem i přesnost polohy jednotlivých nátrubků.



Obr. 3.10 Porovnání vzhledu původního provedení a nově navrženého.



## f) Úprava kotle s ohledem na montáž

Pro urychlení a usnadnění montáže se budou díly, které nebude v budoucnu potřeba vyjímat z kotle a nebudou nutné pro umožnění servisu kotle, nýtovat. Použity budou standardní nýty trhací ocelové. Proto se u vybraných součástí změni otvory pro nýty z původních rozměrů pro nýtovací matice na otvory pro  $d=4$  mm nýt. Jediným problémem je komaxit, který otvor nepatrně zmenší. Otvor je nutné převrtat vrtákem  $\varnothing 4$ . Jedná se o díly: plech pro budík, boční svislé výztuhy - 4 kusy, horní víko, držák expanzní nádoby spodní.

Trhací nýty ocelové standardní										
DIN 7337										
Ocel pozinkovaná					Ocel pozinkovaná					
d	L	D	$\frac{D}{d}$	K	$\frac{K}{d}$	$\frac{L}{d}$	$\frac{L}{K}$	Kč	N°	
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	/ 1000		
3,0	6,0	6,0	3,0	0,8	1,5 - 3,0	1 000	8 000		11300 3006	
3,0	8,0	6,0	3,0	0,8	3,0 - 5,0	1 000	8 000		11300 3008	
3,0	10,0	6,0	3,0	0,8	5,0 - 7,0	1 000	8 000		11300 3010	
3,0	12,0	6,0	3,0	0,8	7,0 - 9,0	1 000	8 000		11300 3012	
3,2	5,0	6,5	3,3	0,9	0,5 - 1,5	1 000	8 000		11300 3205	
3,2	8,0	6,5	3,3	0,9	1,5 - 2,5	1 000	8 000		11300 3206	
3,2	8,0	6,5	3,3	0,9	2,5 - 4,5	1 000	8 000		11300 3208	
3,2	10,0	6,5	3,3	0,9	4,5 - 6,5	1 000	8 000		11300 3210	
3,2	12,0	6,5	3,3	0,9	6,5 - 8,5	500	4 000		11300 3212	
3,2	14,0	6,5	3,3	0,9	8,5 - 10,5	500	4 000		11300 3214	
3,2	16,0	6,5	3,3	0,9	10,5 - 12,5	500	4 000		11300 3216	
4,0	6,0	8,0	4,0	1,2	1,0 - 2,5	1 000	8 000		11300 4006	
4,0	7,0	8,0	4,0	1,2	2,0 - 3,5	1 000	8 000		11300 4007	
4,0	8,0	8,0	4,0	1,2	3,0 - 4,5	500	4 000		11300 4008	
4,0	9,0	8,0	4,0	1,2	4,0 - 5,5	500	4 000		11300 4009	
4,0	10,0	8,0	4,0	1,2	5,0 - 6,5	500	4 000		11300 4010	
4,0	11,0	8,0	4,0	1,2	6,5 - 7,5	500	4 000		11300 4011	
4,0	12,0	8,0	4,0	1,2	7,0 - 8,5	500	4 000		11300 4012	
4,0	14,0	8,0	4,0	1,2	8,0 - 10,0	500	4 000		11300 4014	
4,0	16,0	8,0	4,0	1,2	10,0 - 11,0	500	4 000		11300 4016	
4,0	18,0	8,0	4,0	1,2	11,0 - 13,0	500	4 000		11300 4018	
4,0	20,0	8,0	4,0	1,2	14,0 - 16,0	500	4 000		11300 4020	
4,0	24,0	8,0	4,0	1,2	16,0 - 20,0	500	4 000		11300 4024	
4,0	30,0	8,0	4,0	1,2	20,0 - 26,0	500	4 000		11300 4030	
Pokračování na následující stránce										

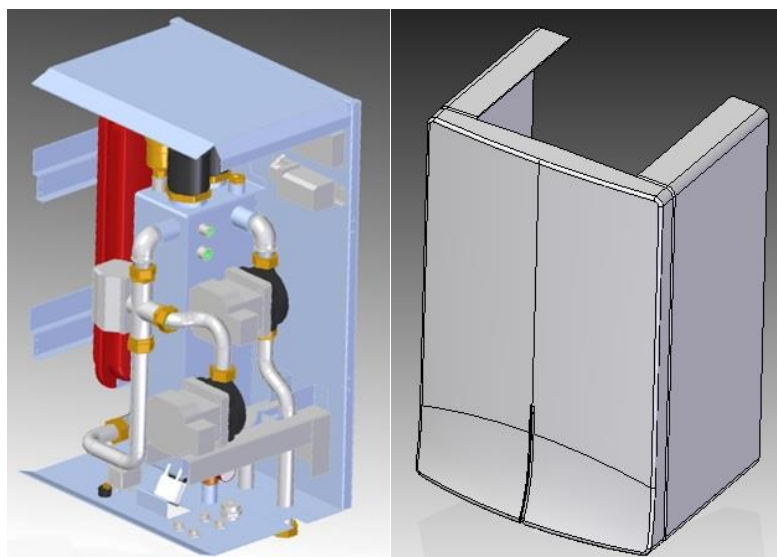
  

d	$\frac{L}{d}$	$\frac{L}{K}$
mm	N	N
3,0	1 323	1 014
3,2	1 455	1 147
4,0	2 470	1 764

Obr. 3.11 Trhací nýty a jejich rozměry. [62]

## g) Úprava kotle z hlediska konstrukce

Při původním návrhu se konstrukce kotle ukázala být nedostatečně tuhá. Proto výztuhy na bocích kotle, které drží plastové kryty, byly změněny na svislé. Jelikož kryty dodává zadavatel zakázky a změnil se rozměry a rádiusy krytů, bylo nutné i plechové díly a jejich rozměry uzpůsobit na nové rozměry krytů.



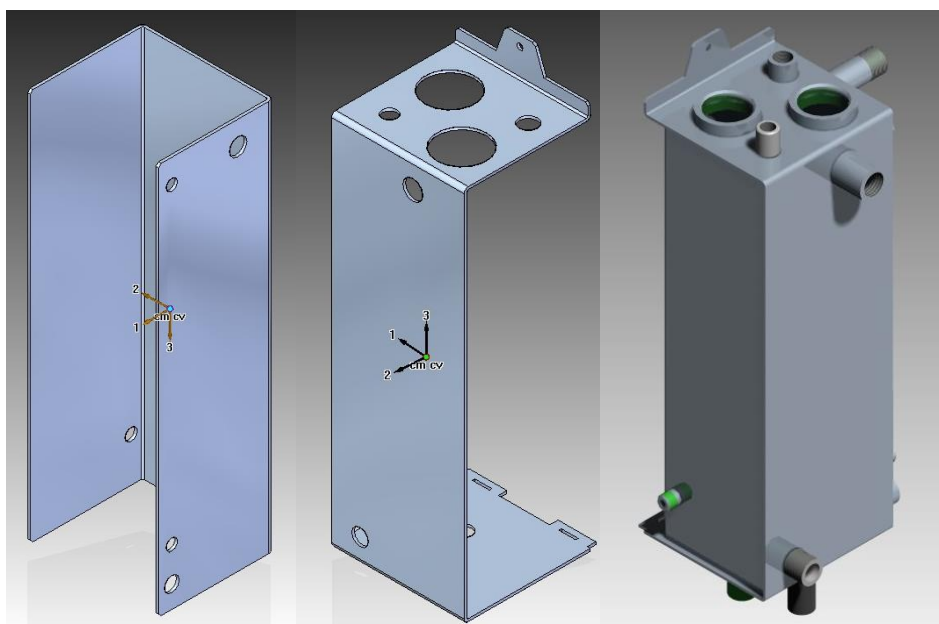
Obr. 3.12 Původní konstrukce kotle a původní kryty.

## 4 NÁVRH VÝROBY KOTLOVÉHO TĚLESA SVAŘOVACÍM ROBOTEM A POROVNÁNÍ S RUČNÍM SVAŘOVÁNÍM

Kotlové těleso elektrokotle bude vyráběno pomocí robotického svařování metodou MAG. Aby byla efektivita využití robota co největší, musí být svary na kotlovém tělese zhotoveny na jedno upnutí. Upnutí tělesa na polohovadlo robota se uskutečňuje pomocí svařovacího přípravku, který bude navržen v této kapitole. Při použití robotizovaného svařování jsou nutné konstrukční úpravy, aby se robot byl schopný dostat se svařovací hlavou do všech míst a provedl všechny potřebné svary bez kolize. Změny konstrukce jsou popsány detailně v kapitole 3. této diplomové práce.

### Popis svařovaných částí

Kotlové těleso, které se svařuje pomocí robota, se skládá z vnějšího pláště kotlového tělesa (obr. 4.1 vlevo), z vnitřního pláště kotlového tělesa (obr. 4.1 uprostřed) a z nátrubků s osazením různých průměrů a délek. Pro svary, které mají být zhotoveny správně (především výborná těsnost svarů), je potřeba velmi přesná příprava výroby. Proto je plech  $t=3$  mm dělený pomocí laseru a ohýbán na přesném CNC ohraňovacím lisu. Tyto technologie zajistí přesnost výroby do 1 mm, která je pro svařování metodou MAG robotem potřebná.



Obr. 4.1 Vnitřní plášť kotlového tělesa (vlevo), vnější plášť kotlového tělesa (uprostřed), kotlové těleso s nátrubky.

Tab. 4.1 Vlastnosti dílců na kotlové těleso.

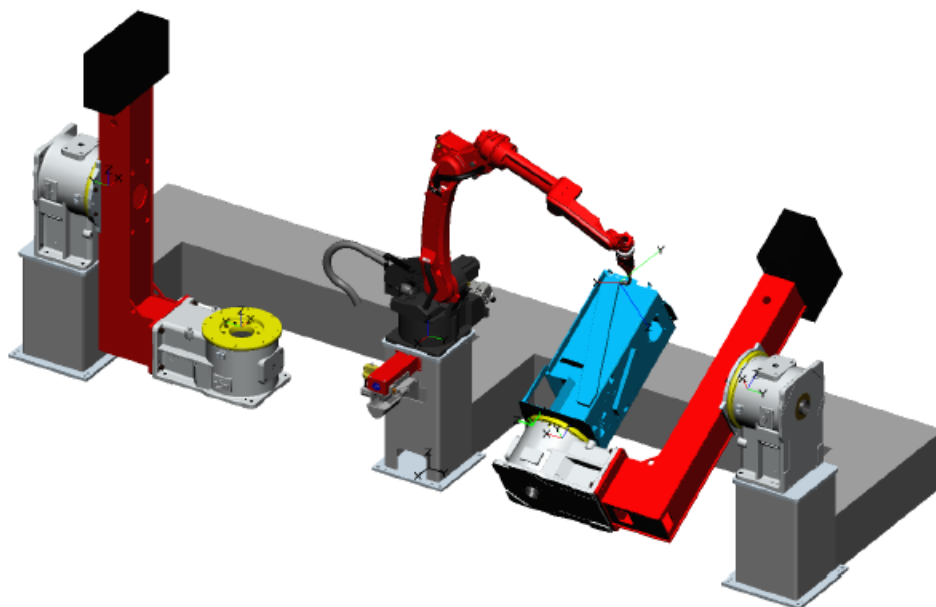
	Vnější plášť	Vnitřní plášť
<b>Materiál / Obsah C %</b>	S235JR / 0,17 % C	S235JR / 0,17 % C
<b>Tloušťka materiálu</b>	3 mm	3 mm
<b>Hmotnost</b>	2,6 kg	4,1 kg
<b>Tepelné zpracování</b>	+N normalizační žihání	+N normalizační žihání

Pro bezproblémové svařování robotem bylo nutné provést tyto konstrukční úpravy: přesazení vnějšího pláště kotlového tělesa přes vnitřní plášť o 3 mm (s ohledem na použitý svar, tloušťku materiálu a robotické svařování), u nátrubků vytvoření osazení pro přesnou a opakovatelnou polohu svaru, zvětšení roztečí mezi nátrubky pro snadný přístup svařovací hlavy. Finální podoba správně svařeného tělesa je ukázána na obr. 4.1 vpravo. Rozměry jednotlivých částí jsou zobrazeny na výkresech, viz příloha 5 a 6.

### Robot a jeho parametry

Robot a jeho příslušenství je kompletně dodáváno firmou Valk Welding B. V. Jedná se o holandskou firmu s pobočkami po celé Evropě. Firma se zabývá automatizováním svařování a prodejem svařovacího příslušenství. Jedinečnost svařovacích robotů firmy spočívá v kompletním vybavení robotického pracoviště díly od výrobce Panasonic.

Robot je ve firmě Slokov momentálně kompletován a připravován ke zkušebnímu provozu. Konstrukce, příprava výroby a svařovna se již nyní chystá na zavedení robota do výroby, aby nevzniklo časové nevytížení robota.



Obr. 4.2 Svařovací robot a polohovadla.



Obr. 4.3 Manipulátor TL 2000.

Tab. 4.2 Charakteristika svařovacího robota.

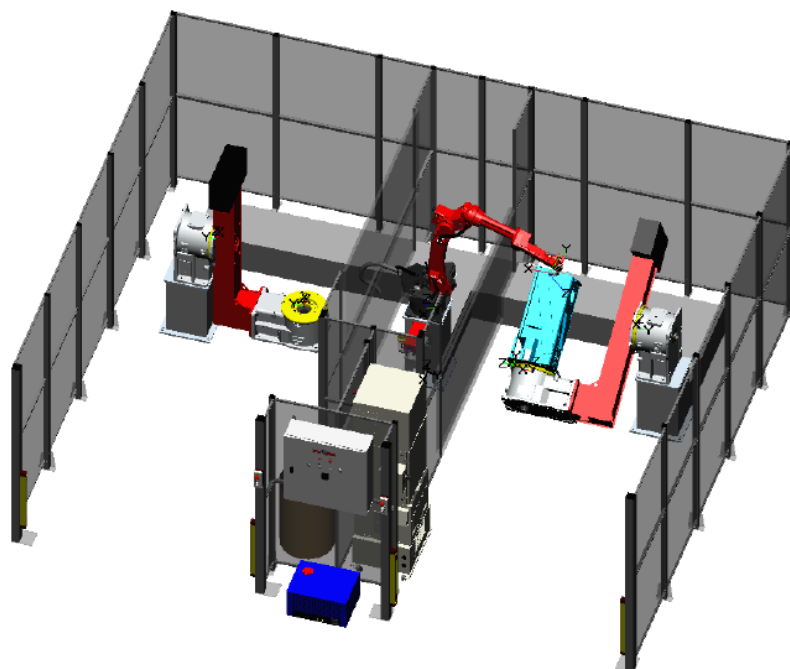
<b>Svařovací robot</b>	
<i>Typ robotu</i>	TL-2000
<i>Počet řízených os</i>	6
<i>Dosah robota</i>	1,999 mm
<i>Maximální nosnost</i>	6 kg
<i>Opakovatelná přesná poloha</i>	±0,15 mm
<i>Nosnost polohovadla</i>	1000 kg
<i>Rychlost pohybu</i>	180 m/min
<i>Rozměry pracoviště</i>	4500 x 6050 mm

**Svařovací vybavení**

- Svařovací zdroj: TAWERS WG/WGH
- Svařovací proud: 30-350 A
- Svařovací napětí 12-36 V
- Podavač drátu: 14 m/min (50 W)
- Rychlost zapálení/ zhasnutí oblouku: 0,2 sekundy
- Režimy svařování: Zkratový, Pulzní, SP-MAG, Hyper Dip Pulse
- Možné svařovací procesy: MIG/ MAG uhlíkové a nerezové oceli, MIG hliník, Zi - Tech zinkované materiály, SP MAG kombinace zkratového a pulzního svařování.

Jedná se o nejmodernějšího svařovacího robota s detekcí kolizí, která je softwarově řízena tak, aby v 6 stupních citlivosti bylo možno nastavit požadované předejití kolizím. Robot obsahuje systém automatické kalibrace, díky které se vrátí, např. při vybití baterií, do původní polohy s přesností 0,005 stupně. Řídící systém dodávaný firmou Panasonic umožňuje programování robota online i off-line (v počítači mimo robota je možné proces nasimulovat).

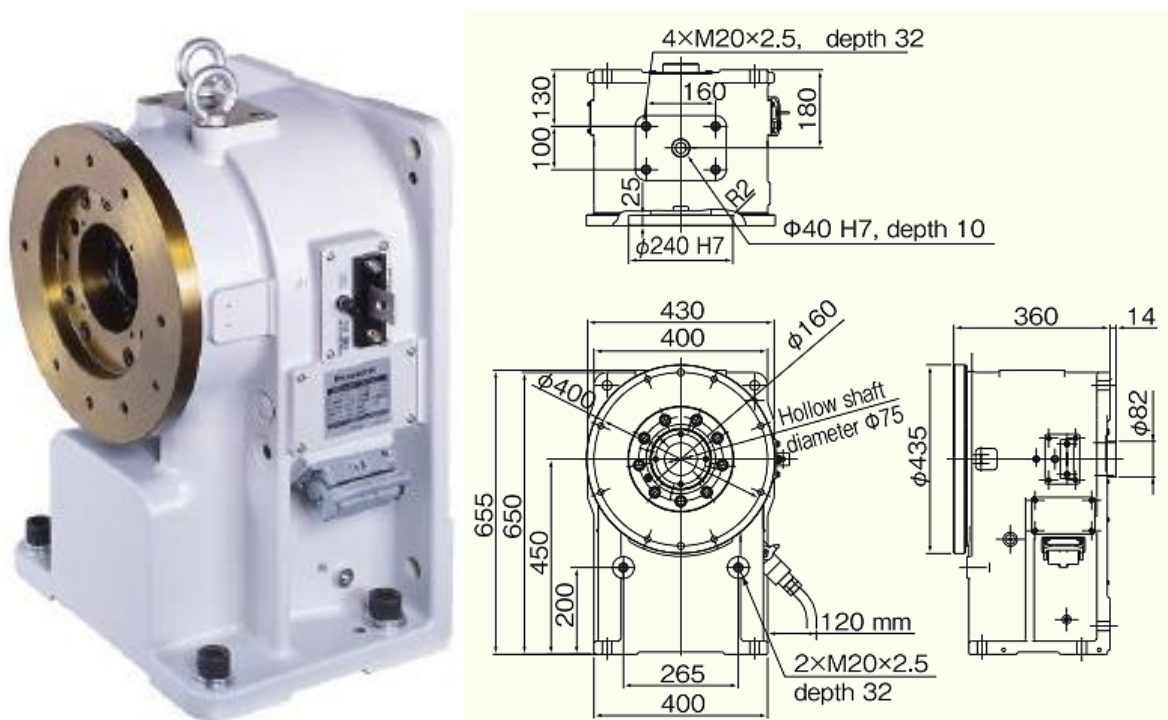
Velkou výhodou je možnost změnit svařovací parametry během procesu bez nutnosti vypnutí robota. Hořák je vodou chlazený, se zatížitelností 500 A. Hořák má svůj přípravek na rovnání a mechanickou jednotku pro čištění. Podavač drátu je poháněn digitálním servomotorem. Pro korekce nepřesnosti polohy je svařovací hořák vybaven dotykovým senzorem na svařovací hubici a také dotykovým senzorem využívající svařovací drát. Celý pracovní prostor je obehnan plechovou stěnou, která je vysoká 2250 mm. Vstupy do pracovního prostoru jsou hlídány světelnými závory.



Obr. 4.4 Kompletní robotizované pracoviště.

Pro svařování robotem je nutné kotlové těleso předpřipravit. Ručním svařováním se sboduje vnější a vnitřní plášť kotlového tělesa k sobě, čímž se vymezi poloha pro svary svařované robotem. Pro přesné sbodování zaručující opakovatelnost i v ruční výrobě se použije přípravek. Do přípravku se upne vnější plášť a vymezi se poloha pro plášť vnitřní, který se vsune do vymezeného prostoru. Dále se do děr usadí nátrubky a také se sbodují s plechy kotlového tělesa. Takto připravené těleso se upne do přípravku na polohovadlo robotického pracoviště.

### Rozměry polohovadla



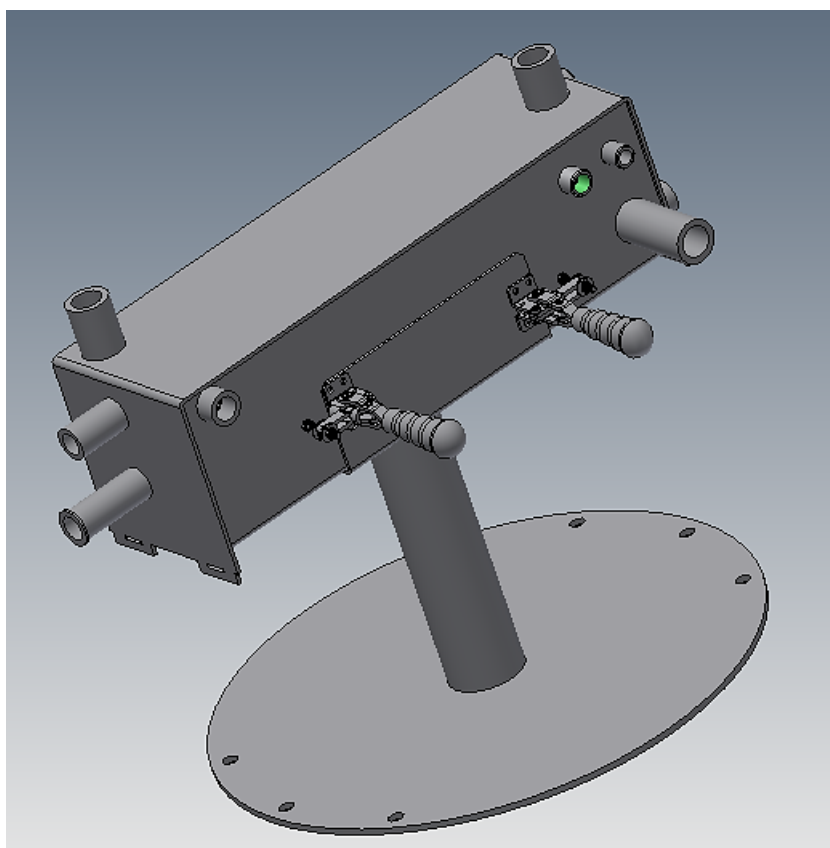
Obr. 4.5 Polohovadlo a jeho rozměry.

**Parametry svařování:**

- Koutový svar  $a=3$  pro kotlové těleso i nátrubky
- Metoda MAG zkratová
- Svařovací proud 200 A
- Svařovací napětí 27 V
- Přídavný materiál  $\varnothing 1$  mm
- Svařovací plyn 88 %Ar: 12 %CO<sub>2</sub>
- Rychlost svařování  $v= 50$  cm/min

**Přípravky na upnutí**

Dle rozměrů polohovadla na obr. 4.5 a kotlového tělesa byl navržen svařovací přípravek na uchycení kotlového tělesa k polohovadlu. Vzhledem k malé hmotnosti tělesa kotle (6,7 kg) dostačují upínky na bocích vnitřního pláště. Přípravek je vyvýšený, aby se svařovací hlava dostala do všech potřebných míst. Upnutí upínkami je vyvozeno z obou stran tak, aby síly působily proti sobě. Mezi tělesem a přípravkem je nepatrná mezera, která zajistí pohodlné usazení tělesa do přípravku.



Obr. 4.6 Svařovací přípravek.

**Porovnání robotického a ručního svařování metodou MAG**

Na základě stanovených parametrů svařování (velmi podobné parametry) a firemních norem jsou tyto dvě metody porovnány. Z tabulky 4.3 je patrné, že robotické svařování je o poznání dražší než ruční. Při porovnání časů ovšem lze pozorovat dvojnásobnou výrobní normu robota oproti člověku. Pro sériovou výrobu je tedy z ekonomického pohledu lepší robot. Pro kusovou výrobu se vyplatí ruční svařování, které nemá drahou přípravu výroby.



Při porovnání vzniklých svarů na obr. 4.7 se svar zhotovený robotem (obr. vpravo) jeví na první pohled souměrný, stejně široký s malým rozstříkem. Zápaly jsou viditelné u obou metod, ale u robotického méně (lze doladit přenastavením parametrů).

Tab. 4.3 Porovnání robotického a ručního svařování.

Parametr	Robotizované svařování	Ruční svařování
Cena za hodinu svařování	1500 Kč/hod	1000 Kč/hod
Čas svaření kotlového tělesa	30 minut	1 hodina
Cena vytvoření programu	30 000 - 40 000 Kč	-
Doba přípravy programu	12-15 hodin	-



Obr. 4.7 Porovnání svarů (vlevo ruční, vpravo robotizované).

## 5 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VÝROBY, SHRnutí TECHNOLOGICKÉHO A VÝROBNÍHO POSTUPU

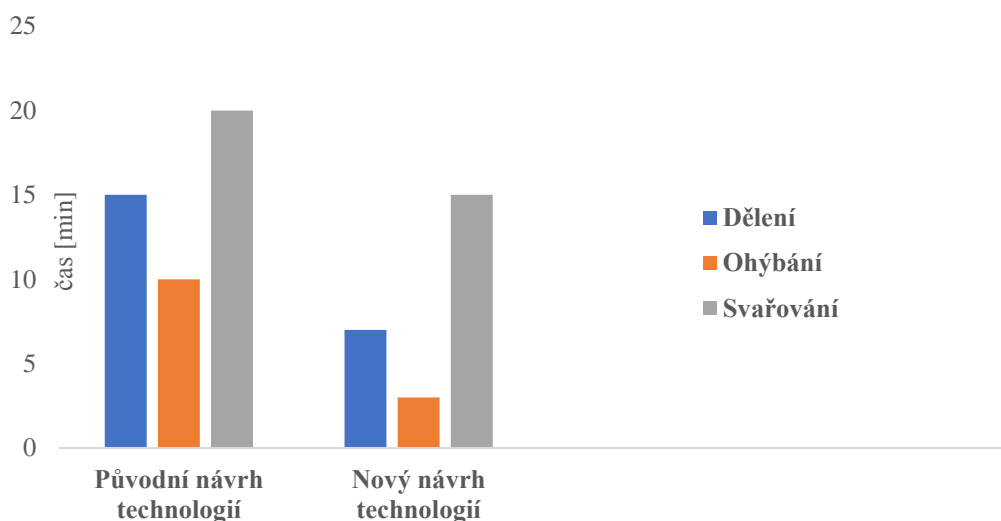
### 1. Ekonomické zhodnocení vybraných technologií

Elektrokotel JE6/12 je vyráběn pomocí technologií zpracovávající plechový materiál tak, aby výsledný kotel byl plně funkční, a navíc i designově povedený. Tyto technologie jsou různě finančně nákladné. Shrnutí ekonomického hlediska jednotlivých vybraných technologií sloužících k výrobě funkčního kotle je provedeno v této kapitole.

Tab. 5.1 Ekonomické zhodnocení vybraných technologií

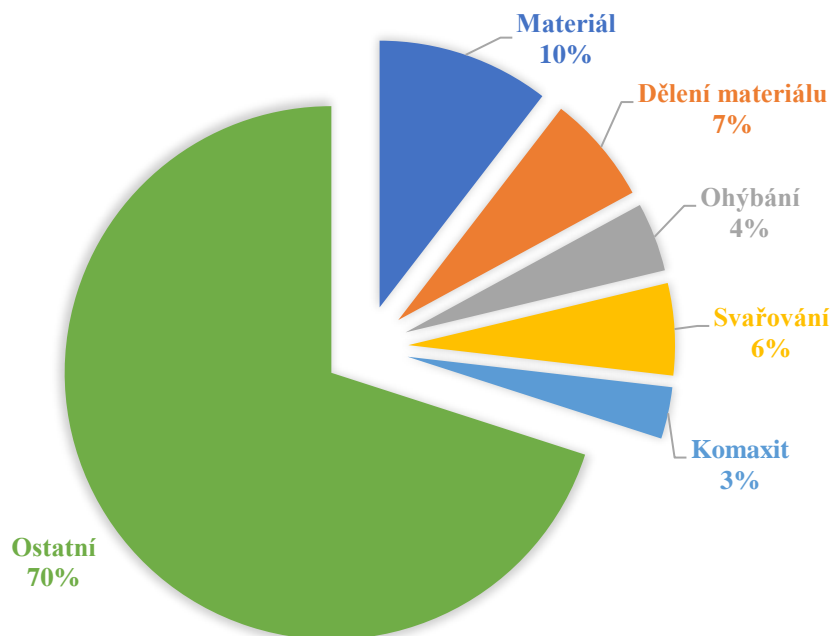
Technologie	Cena za kus při sérii 100 ks (srovnání pro součást plech zad)	Úspora s nejbližší srovnávanou technologí
<b>Dělení</b>	304 Kč – Laser	Úspora především času oproti ostatním způsobům, a tedy i nákladů za výrobu.
<b>Ohýbání</b>	105 Kč – Ohraňovací lis	Vysoká přesnost oproti ohýbačce a s tím spojené úspory při přesném rychlém navazování výroby kotle.
<b>Svařování</b>	390 Kč (kotlové těleso komplet) – robotické MAG	Velká úspora času oproti ručnímu, zvýšení efektivity práce a s tím související ekonomické úspory.
<b>Povrchová úprava</b>	150 Kč – Práškové lakování	Déle trvající ochranný účinek oproti nátěrovým barvám a snížení možností poruch kotle a případných výdajů za nutný servis.

Na obr. 5.1 je znázorněno porovnání původně navrhovaných technologií s nově navrženými technologiemi z časového hlediska, které velkou mírou ovlivňuje ekonomické hledisko výroby. Při zkrácení výrobního času lze vyrobit za směnu více kusů kotlů a zvýšit tedy zisk. Mezi původní technologie patří dělení plazmou, ohýbání ohýbačkou a ruční svařování.



Obr. 5.1 Porovnání časů původních technologií a nově navržených.

Celková cena kotle u varianty pro podlahové topení (výrobní cena nikoliv prodejní) bez elektronických prvků činí 14 150 Kč. Cena zahrnuje vybrané technologie i ostatní komponenty a součástky zajišťující správné fungování kotle. Procentuální podíl z ceny kotle pro jednotlivé technologie ukazuje obr. 5.2 (graf zahrnuje výrobu všech plechových dílců jednotlivými technologiemi na 1 ks kotle).



Obr. 5.2 Poměr z ceny kotle u jednotlivých technologií

Všechny ostatní operace a součásti z plechu elektrokotle JE 6/12 lze zpracovat výhodně zvolenými technologiemi za stejně příznivých výstupů. Technologie a pracoviště lze v případě nedostatečné výroby využít pro kooperaci. Cenová kalkulace jak pro ostatní součásti, tak pro kooperaci vychází z hodinové sazby, ve které jsou zahrnuty režie, zisk, odpisy, náklady na provoz strojů, náklady na danou technologii atd.

Tab. 5.2 Hodinové sazby jednotlivých technologií.

Hodinové sazby pracovišť	
Pracoviště	Hodinová sazba [Kč]
CNC Laser	1 400 Kč
Ohraňovací lis	800 Kč
Svařovací robot	1 500 Kč (cena programu 30 až 40 000 Kč)

## Návrh výstavby boxu pro práškové lakování

V současné době firma Slokov vyváží všechny materiál určený na komaxitu do kooperace. Jedná se nejenom o součásti na elektrokotel, ale i všechny ostatní díly na jiné kotle. Firma, která komaxitu nabízí a zpracovává má momentálně nadměrné množství zakázek a často dochází ke zpoždění dodávek. Nevýhodou je navýšení ceny zakázky dopravou součástí do firmy a zpět. Část z ceny nakomaxitovaného dílce tvoří zisková položka firmy, která by při vlastním komaxitu odpadla.

Cena komaxitu plechů za měsíc: 50 000 až 60 000 Kč při plném vytížení výroby

Cenová kalkulace zařízení na komaxitu:

- Odmaštění a předpříprava (nádoby, odmašťovací kapalina): 50 000 Kč
- Box na práškové lakování (uzavřená komora s odsáváním): dle rozměrů 100 000 až 200 000 Kč
- Vytvrzovací pec: dle rozměrů 100 000 až 800 000 Kč
- Příslušenství (nanášecí pistol, kompresor, ochranné pomůcky): 50 000 až 60 000 Kč
- Stavební úpravy a příprava prostor: 40 000 Kč (výhodou jsou volně dostupné prostory s nutností drobných stavebních úprav)

Celková suma společně se stavebními úpravami by se pohybovala mezi 350 000 - 450 000 Kč pro sortiment komaxitovaný firmou Slokov. Nejedná se pouze o ekonomické hledisko, kde by návratnost pořizovací ceny při tak vysokých současných nákladech za komaxit byla velmi krátká, ale také o urychlení výroby a možnost nabízet případnou kooperaci při nedostatečném vytížení komaxitovací linky.

Přibližná doba návratnosti:

$$t = \frac{C_o}{C_F} = \frac{400\,000}{120\,000} = 3,3 \text{ roku}$$

Kde:  $C_o$ : Počáteční investice za zařízení [Kč]

$C_F$ : Průměrný roční výnos zařízení [Kč] (měsíčně počítán zisk 10 % z dosavadních nákladů + zisk za nabízenou kooperaci případně sezónní zvýšení výroby)

Z výpočtu plyne, že návratnost investice by byla zhruba tři a čtvrt roku. Vzhledem k urychlení výroby a možnosti výroby většího množství kotlů doporučuji tuto investici.

## 2. Technologický a výrobní postup

Kotel JE 6/12 bude vyráběn technologiemi vybranými v bode 2. této diplomové práce. Jednotlivé technologické metody jsou shrnuty v technologický postup. Jelikož se diplomová práce zabývá pouze volbou vhodných technologií, nebude rozebírán detailně výrobní postup, který zohledňuje i pracovníky a jejich úkony, pouze montážní proces. Po porovnání metod, zvážení všech výsledků a výpočtů navrhuji metody, stroje a podmínky uvedeny v přehledu níže.

Přehled navržených technologií i se stroji a výrobními podmínkami:

### a) Dělení materiálu

Metoda: Dělení paprskem laseru

Stroj: CO<sub>2</sub> laser TruLaser 3030 od firmy Trumpf

Charakteristiky stroje:

- Řezaná tloušťka materiálu 0,5 až 15 mm konstrukční ocel

- Drsnost vzniklých hran  $Ra=6,3$ , hrany bez otřepů
- Přesnost řezání  $\pm 0,1$  mm, řezná spára 0,3 mm
- Výkon laseru 3200 W
- Pracovní rozsah 1500x3000 mm

Operace:

Vypálení všech potřebných tvarů z plechu tloušťky 1,3 pro plechové dílce a 3 mm pro kotlové těleso. Pálení probíhá ve standardním režimu, jelikož se jedná o obyčejnou konstrukční ocel S235JR. Kvalita řezu je velmi vysoká a rozměry výpalku přesné.



Obr. 5.3 Laser TruLaser 3030

#### b) Ohýbání

Metoda: Ohraňování plechů

Stroj: ohraňovací lis Amada HFE-M2

Charakteristiky stroje:

- Lisovací síla  $F=800$  kN
- Délka beranu 2570 mm
- Přesnost polohování os  $\pm 0,1$  mm
- Počet řízených os 4
- Pracovní rychlost 1-10 m/s, rychlost zpětného chodu 1-100 m/s

Operace:

Plechové díly vypálené z laseru se ohnou pomocí razníku a matrice určené pro plech tloušťky 1,3 a 3 mm. Pro každou tloušťku je potřeba jiný razník a matrice s jiným poloměrem ohybu, a tedy určením pro jiné tloušťky materiálu. Při ohýbání jsou využity zadní automatické dorazy, které určují délku ohybu. Lis má automatické korekce, které dorovnávají nepřesnosti ohybu a vzniká velmi přesný ohyb.





Obr. 5.4 Ohraňovací lis Amada.

c) *Svařování*

Metoda: robotické svařování metodou MAG 88% Ar: 12% CO<sub>2</sub>

Stroj: Svařovací robot Panasonic TL-2000

Charakteristiky stroje:

- Svařovací proud  $I=30$  až  $350$  A, svařovací napětí  $U=12$  až  $36$  V
- Rychlost podavače drátu  $14$  m/min
- Počet řízených os  $6$
- Opakovatelná přesnost polohy  $\pm 0,15$  mm
- Dosah robota  $1\ 999$  mm

Operace:

Kotlové těleso z vnějšího a vnitřního pláště se nejprve sbduje společně s nátrubky a poté zavaří za pomoci svařovacího přípravku na robotickém pracovišti. Jedná se o velmi přesné a kvalitní svary, které potřebují velmi přesnou přípravu spojovaných plechových dílů. Svařování probíhá metodou MAG zkratovým svařováním. Přesné parametry jsou uvedeny v bodě 2. a 4. této diplomové práce.





Obr. 5.5 Robot se svařovací hlavou.

d) *Povrchová úprava*

Metoda: Práškové lakování (komaxitování)

Stroj: kooperace – lakovací box s tlakovou nanášecí pistolí

Charakteristiky metody:

- Vypalovací teplota 180 až 200 °C
- Očištění a alkalické odmaštění hydroxidem sodným a smáčedly
- Rovnoměrný nános barvy
- Šetrnost vůči životnímu prostředí

Operace:

Plechys jsou chemicky zbaveny mastnoty a nečistot s následným vysušením. Na připravený povrch je nanášen plast ve formě prášku. Pro kotlové těleso bude použita barva RAL 9004 černá a pro ostatní plechové dílce RAL 9003 bílá. Barvy jsou lesklé a dodávají kotli výrazný designový prvek. Současně nástřik zvyšuje odolnost především kotlového tělesa vůči korozi. Práškové lakování má velkou výhodu při nanášení na hrany plechů, které zaoblí a sníží se tak riziko poranění.

e) *Montáž*

Pro finální montáž kotle je vyhrazena samostatná elektro dílna, ve které je rozmístění regálů a spotřebního materiálu řešeno tak, aby bylo dostupné a snadno přehledné. Montáž kotle se skládá ze 4 základních částí [2, 5]:

1. Příprava
2. Manipulace
3. Spojování
4. Kontrola

Tyto části zahrnují spojení všech plechových dílců, propojení komponent potrubím, zapojením elektrických obvodů a zakrytíváním kotle. Následuje tlaková zkouška těsnosti spojů, vizuální kontrola všech částí kotle a vyzkoušení funkčnosti elektrických prvků. Montáž je rozdělena na 4 pracovní místa, u kterých se postupně základní části montážního postupu realizují.

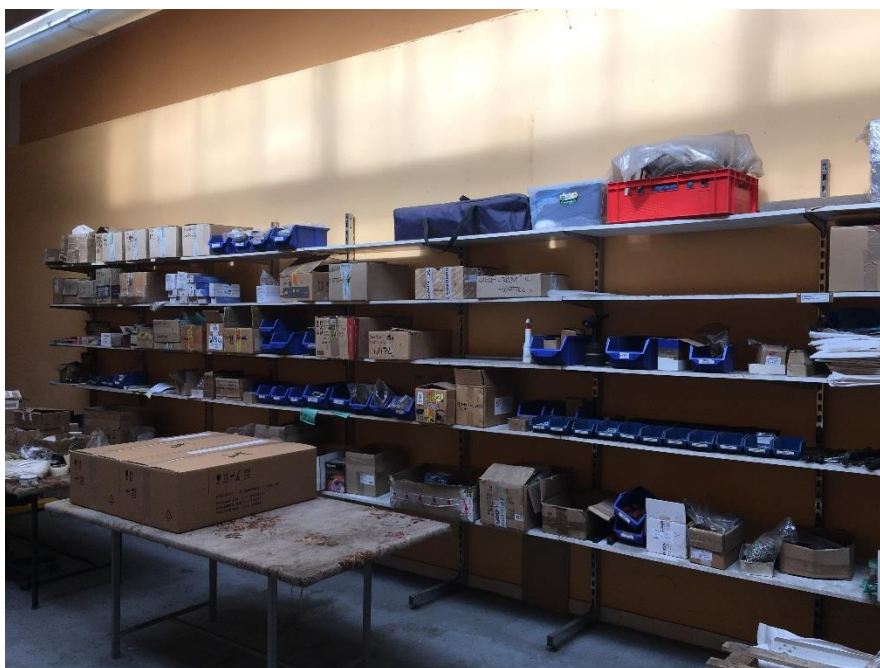
Pro montáž je velmi důležité, aby s ní počítal konstruktér při navrhování kotle a všechny potřebné spoje a manipulační prostory byly dostupné a snadno smontovatelné.

Při výrobě jednotlivých plechových dílců je vyžadována vysoká přesnost i vzhledem k použitým měděným trubkám, které mají přesně stanovené rozměry a je potřeba s nimi propojit výstupy z jednotlivých komponent kotle. V případě nepřesností by montážní pracovníci nebyli schopni kotel sestavit a výroba by se opožďovala. Jedná se o názornou ukázkou, jak důležitá je volba vhodné technologie při přípravě materiálu, jelikož důsledky se projevují až po finální část výroby. O této problematice blíže pojednává bod 3.

Počet pracovníků:

v závislosti podle počtu montovaných kusů (pracovník zajišťuje také balení kotle):

- méně než 100 ks kotlů měsíčně 1 pracovník
- více než 100 ks kotlů měsíčně 2 pracovníci



Obr. 5.6 Montážní dílna elektrokotlů.

### Shrnutí:

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

Tab. 5.3 Shrnutí technologického postupu.

<b>Číslo operace</b>	<b>Název operace</b>	<b>Stroj</b>	<b>Popis operace</b>
<b>1</b>	Dělení plechů laserovým paprsek	Trumf L3030 CO <sub>2</sub> laser	Vypálení plechových dílů.
<b>2</b>	Ohýbání plechů	Ohraňovací lis Amada HFE-M2	Ohýbání plechu na požadované tvary.
<b>3</b>	Svařování plechů	Svařovací robot Panasonic TL 2000	Svaření kotlového tělesa metodou MAG.
<b>4</b>	Povrchová úprava	Lakovací komora	Práškové lakování plechových dílů. (kooperace)
<b>5</b>	Montáž	-	Spojení plechových dílů a sestavení kotle.
<b>6</b>	Výstupní kontrola	Tlakové zkušební zařízení	Kontrola těsnosti kompletovaného kotle.

---

## ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo navrhnout vhodné technologie sloužící k výrobě elektrokotle JE 6/12. K porovnání se vybraly technologie, které jsou dostupné ve firmě nebo jejím blízkém okolí. Jednotlivé metody byly nejprve rozebrány teoreticky a následně prakticky porovnány na konkrétních součástech elektrokotle. Výsledky z praktické části se srovnaly a byly navrženy nejvhodnější technologie a jejich postup výroby.

V první části diplomové práce je teoretický rozbor jednotlivých technologií. Nejprve technologie dělení materiálu, následně ohýbání děleného materiálu, svařování a povrchové úpravy. Vzhledem k zahrnutí i konstrukční části do práce, je teoreticky popsána i návaznost CAD a CAM ve výrobě. Technologie jsou popsány z hlediska použití, jejich výhody a nevýhody a charakteristika dané technologie.

V druhé části jsou jednotlivé metody porovnávány na konkrétních plechových dílech z elektrokotle. Hlavním srovnávacím hlediskem je ekonomika, čas a přesnost výroby vzhledem k použití svařovacího robota na svařování. Z metod dělení materiálu se jako nejvhodnější technologie nabízí řezání paprskem laseru, které také bylo navrženo. Jedná se o dražší technologii, která je ale výrazně nejrychlejší z porovnávaných metod a zároveň nejpřesnější. Pro ohýbání byla navržena metoda s ohraňovacím lisem. Ohraňovací lis je výrazně rychlejší, přesnější a jen nepatrně dražší oproti ohýbačkám. Svařování se realizuje pomocí svařovacího robota. Tato metoda je navržena na základě nižších časů oproti ručnímu svařování, lepšího provedení svarů a snížení spotřeby přídavného materiálu a plynů. Pro svařování robotem je důležitá vysoká přesnost výroby, která zajistí opakovatelnost provedení svarů. Z povrchových úprav byla navržena jako nejvhodnější metoda práškového lakování. Zajišťuje vyšší a delší korozní odolnost spolu s lepším vzhledem dílců a zaoblením hran plechu. Postup výroby kotle obsahuje navržení parametrů montáže, které vychází z použitých metod a zkušeností firmy z dané oblasti.

Třetí část obsahuje popis konstrukčních změn vzhledem k výběru vhodných technologií oproti původně navrženému provedení kotle, které sloužilo pro prvotní prototyp. Změny jsou porovnány a je zdůvodněna nutnost jednotlivých úprav.

Čtvrtý bod zahrnuje navržení kotlového tělesa tak, aby bylo možné využít svařovacího robota. V tomto bodě je detailně popsán robot a jeho parametry. Kotlové těleso musí být upraveno tak, aby bylo možné všechny svary zhotovit a těleso upnout do svařovacího přípravku, který byl navržen. Parametry robotického svařování se srovnaly s ručním svařováním. Výsledkem bylo lepší provedení svarů svařovacím robotem.

V poslední části je shrnuto ekonomické hodnocení vybraných metod. Ekonomické hodnocení bere v potaz nejen finanční náklady, ale také čas výroby. Součástí poslední kapitoly je technologický postup, který obsahuje konkrétní stroje a podmínky pro výrobu součástí elektrokotle.

---

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. SADÍLEK, Marek. *Nekonvenční metody obrábění II: obrábění laserem, plazmou, ultrazvukem, elektronovým, iontovým a vodním paprskem*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3944-8.
2. MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie: Advanced methods of material removal*. Košice: Vienala, 2000. ISBN 80-709-9430-4.
3. MIČIETOVÁ, A.: *Nekonvenčné metódy obrábania*. Žilina, Žilinská univerzita v Žilíně, 2001. ISBN 80-7100-853-2.
4. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. ISBN L 13-B 3-IV-41/22674.
5. KAMELANDER, Ivan a Zdeněk LANGER. *Tvařecí stroje II*. Vyd. 2. Brno: Ediční středisko VUT., 1989. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1038-8.
6. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
7. KOČMAN, Karel. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-3068-0
8. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*. 1. vyd. Praha: SNTL; ALFA, 1979, MDT 627.97.
9. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3244-8.
10. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
11. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.
12. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
13. ORSZÁGH, Peter a Viktor ORSZÁGH. *ZVÁRANIE MIG/MAG OCELÍ A NEŽELEZNÝCH KOVŮ*. Bratislava: Polygrafia SAV, 2000. ISBN 80-88780-36-5.
14. AMBROŽ, O.; KUBÍČEK, J.; KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení*. svařování, 1. vydání. svařování, 1. vydání. Ostrava: ZEROSS, 2001. 398 s. ISBN: 80-85771-81- 0.
15. KRŮŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka*. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-718-3054-2.
16. MOHYLA, Miroslav. *Technologie povrchových úprav kovů*. 3. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1217-7.
17. DORAZIL, Eduard a Jan HRSTKA. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1988. ISBN MK 12470.

18. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-214-2219-X.
19. KUBÍK, Roman a Jan STREJČEK. *Technologické projekty a manipulace s materiálem*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-214-5260-2.
20. *Obchodní společnost Slokov a.s.: Stránky společnosti* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.slokov.cz/>
21. *Jablotron Alarms a.s.: Stránky společnosti* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://www.jablotron.com/cz/>
22. HUMÁR, A.: *Technologie I, Technologie obrábění – 3. část*, Interaktivní multimediální text pro bakalářský a magisterský studijní program, VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2005.
23. ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Vydavatelství norem, 1991.
24. ZOUHAR, J. *Aplikace CAD/CAM v technologii I - HCI*. (přednáška) Brno :VUT FSI, 20.3.2016.
25. *Technologie děrování kompaktně* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/produkty/stroje-systemy/derovaci-stroje/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/stroje-systemy/derovaci-stroje/)
26. *Děrování v nové třídě ekeftivity* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/mytrumpf/translate-to-cs-cz-oeffentliche-seiten/download-center-trumpf/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/mytrumpf/translate-to-cs-cz-oeffentliche-seiten/download-center-trumpf/)
27. *Technologie plošného tváření-ohýbání: Technická univerzita Liberec Fakulta strojní* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
28. *Technologie plošného tváření-stříhání: Technická univerzita Liberec Fakulta strojní* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
29. *Technologie výroby I svařování: Technologie svařování* [online]. [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory\\_soubory/technologie\\_vyroby\\_I\\_svarovani\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/technologie_vyroby_I_svarovani_kubicek.pdf)
30. *Plazma přednosti a nevýhody: Plazmacz* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
31. *Jak řešit problémy s kvalitou řezu při řezání plazmou: Vzdělávací centrum společnosti ESAB* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/education/blog/how-to-troubleshoot-plasma-cut-quality.cfm>
32. *Technologie řezání laserem* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://aollaser.cz/technologie/>
33. *Děrování a vysekávání plechů: CNC děrování a opracování plechů* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.prostor-design.cz>
34. *MM Spektrum: Akademie tváření: stříhání* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>



- 
35. *Technologie II TUL Fakulta strojní: Technologie plošného tváření: stříhání* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm#063](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm#063)
  36. *Formetal: Elektromechanické tabulové nůžky* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.formetal.cz/elektromechanicke-nuzky>
  37. *Sheet metal cutting: Shearing* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>
  38. *Bystronic: Řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [https://www.bystronic.cz/cs/produkty/systemy\\_rezani\\_vodnim\\_paprskem/](https://www.bystronic.cz/cs/produkty/systemy_rezani_vodnim_paprskem/)
  39. *TFsteel: Řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.tfsteel.cz/fotogalerie/rezani-vodnim-paprskem.html>
  40. *VSB: Vodní paprsek* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/2-17.pdf>
  41. *Motrom: Řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.motrom.cz/sluzby/>
  42. *Laserové řezání kovů* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://auto-grad73.ru/images/stati/laser\\_1.JPG](http://auto-grad73.ru/images/stati/laser_1.JPG)
  43. *LAO-lasery a optika: Seriál na téma laserové řezání* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
  44. *A selection of videos and images of worldwide projects using a CNC plasma cutter* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.westermans.com/cncplasma.aspx>
  45. *Plazmové technologie: Ostatní využití plazmatu* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004\\_20\\_plt.php](http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.php)
  46. *MM spektrum: Obrábění plazmatem* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-8-dil.html>
  47. *Vystřihování, děrování a vysekávání plechu* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.vystrihovani-derovani-vysekavani.cz>
  48. *Technologie tváření a slévání-teoretický základ: Plošné stříhání* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_004/](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/)
  49. *Technologie II TUL Fakulta strojní: Technologie plošného tváření: Ohýbání* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
  50. *MM spektrum: Akademie tváření: Odpružení v plošném tváření* [online]. In: . [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni.html>
  51. *MM spektrum: Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
  52. *How sheet metal bending works* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.hydrum.co.uk/technical/how-bending-works/>
-

- 
53. *Ohraňování plechu* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.ohranovaniplechu.cz/>
  54. *Results of our 2015 CAD Survey* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://blog.cnccookbook.com/2015/01/20/results-2015-cad-survey/>
  55. *ČVUT Fakulta strojní: Chemie I: Korozie* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch\\_pre dn13-Ko.pdf](http://www1.fs.cvut.cz/cz/U218/pedagog/predmety/1rocnik/chemie1r/prednes/Ch_pre dn13-Ko.pdf)
  56. *Povrchové úpravy kovů* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://nabidky.edb.cz/Nabidka-35181-Povrchove-upravy-kovu-otryskani-Hodonin-Brno>
  57. *Přehled svařování* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT\\_01\\_Prehled\\_svarovani\\_T08.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf)
  58. *Magazín praktického svařování: MIG nebo MAG, jaký je rozdíl?* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2007101501>
  59. *Wiring diagram: Diffusion welding diagram* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://pneuhiver.info/diffusion-welding-diagram/>
  60. *Test metals: Vickers hardness testing* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.testmetals.com/vickers-hardness/>
  61. *Nýtovací matice s plochou hlavou* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.wintech.cz/cs/visimpex-standard/katalog/matice-36/nytovaci-matice-s-plochou-hlavou-12571>
  62. *Abaut spojovací materiál: Trhací nýt ocelový standardní ST* [online]. [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.abaut.cz/trhaci-nyt-ocelovy-standardni-st>
  63. *Svařování: Svařování ruční obalovanou elektrodou* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://michalprovaz-zamecnictvi.cz/index.php/moznosti>
  64. *Volba konstrukčních ocelí pro stavební svařované konstrukce podle významu označení: Uhlíkový ekvivalent CET* [online]. [cit. 2017-05-09]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/volba-konstrukcnich-oceli-pro-stavebni-svarovane-konstrukce-podle-vyznamu-oznaceni/>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
2D	-	Dvoudimenzionální prostor
3D	-	Trojdimenzionální prostor
AJM	-	Abrasive water jet machining
Al	-	Hliník
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	Oxid hlinitý
Ar	-	Argon
Ar	-	Argon
ASJ	-	Abrasive water jet machining
C	-	Uhlík
CAD	-	Computer aided design
CAE	-	Computer aided engineering
CAM	-	Computer aided manufacturing
CAQ	-	Computer aided quality
CET	-	Uhlíkový ekvivalent
CNC	-	Computer numeric control
CO <sub>2</sub>	-	Oxid uhličitý
Cr	-	Chróm
Cu	-	Měď
CVD	-	Chemical vapour deposition
Fe	-	Železo
H <sub>2</sub>	-	Vodík
He	-	Hélium
HRC	-	Tvrlost měřená dle Rockwella
IT	-	Stupeň přesnosti
JE	-	Elektrokotel Jablotron
LBM	-	Laser beam machining
MAG	-	Metal activ gas
Mg	-	Magnesium
MIG	-	Metal inert gas
Mn	-	Mangan
Mo	-	Molybden
N	-	Dusík
Nd:YAG	-	Neodym yttrium aluminium granát

Ne	-	Neon
Ni	-	Nikl
O <sub>2</sub>	-	Kyslík
P	-	Fosfor
PBM	-	Plasma beam machining
PVD	-	Physical vapour deposition
Si	-	Křemík
TIG	-	Tungsten inert gas
TOO	-	Tepelně ovlivněná oblast
WJM	-	Water jet machining

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

Zkratka	Jednotka	Popis
A	[J]	Práce
a	[mm]	Délka ohýbaného ramene
b	[mm]	Délka stříhu
c	[-]	konstanta
E	[MPa]	Modul pružnosti v tahu
E <sub>1</sub>	[J]	Energie v dolní hladině
E <sub>2</sub>	[J]	Energie v horní hladině
F	[N]	Síla
F <sub>s</sub>	[N]	Střížná síla
h	[mm]	Hloubka (výška)
h <sub>1</sub>	[J/s]	Energie paprsku plazmy
H <sub>2</sub>	[J/m <sup>3</sup> ]	Absorbovaný obsah tepla
I	[A]	Proud
k	[-]	Koeficient
l	[mm]	Délka
L	[J/kg]	Energie potřebná pro řezný proces
m	[-]	součinitel
p	[Pa]	Tlak
R	[mm]	Poloměr
R <sub>a</sub>	[μm]	Střední aritmetická odchylka profilu
R <sub>e</sub>	[MPa]	Mez kluzu
R <sub>m</sub>	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
R <sub>p</sub>	[mm]	Poloměr neutrální osy
S <sub>p</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha plechu
S <sub>v</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	Plocha rozmístění výstřížku
T	[°C]	Teplota
t	[mm]	Tloušťka materiálu
U	[V]	Napětí
v	[m·s <sup>-1</sup> ]	Rychlost
V	[mm]	Zdvih
z	[mm]	Střížná vůle
μ	[-]	Poissonovo číslo
α <sub>1</sub>	[°]	Úhel ohybu před odpružením

---

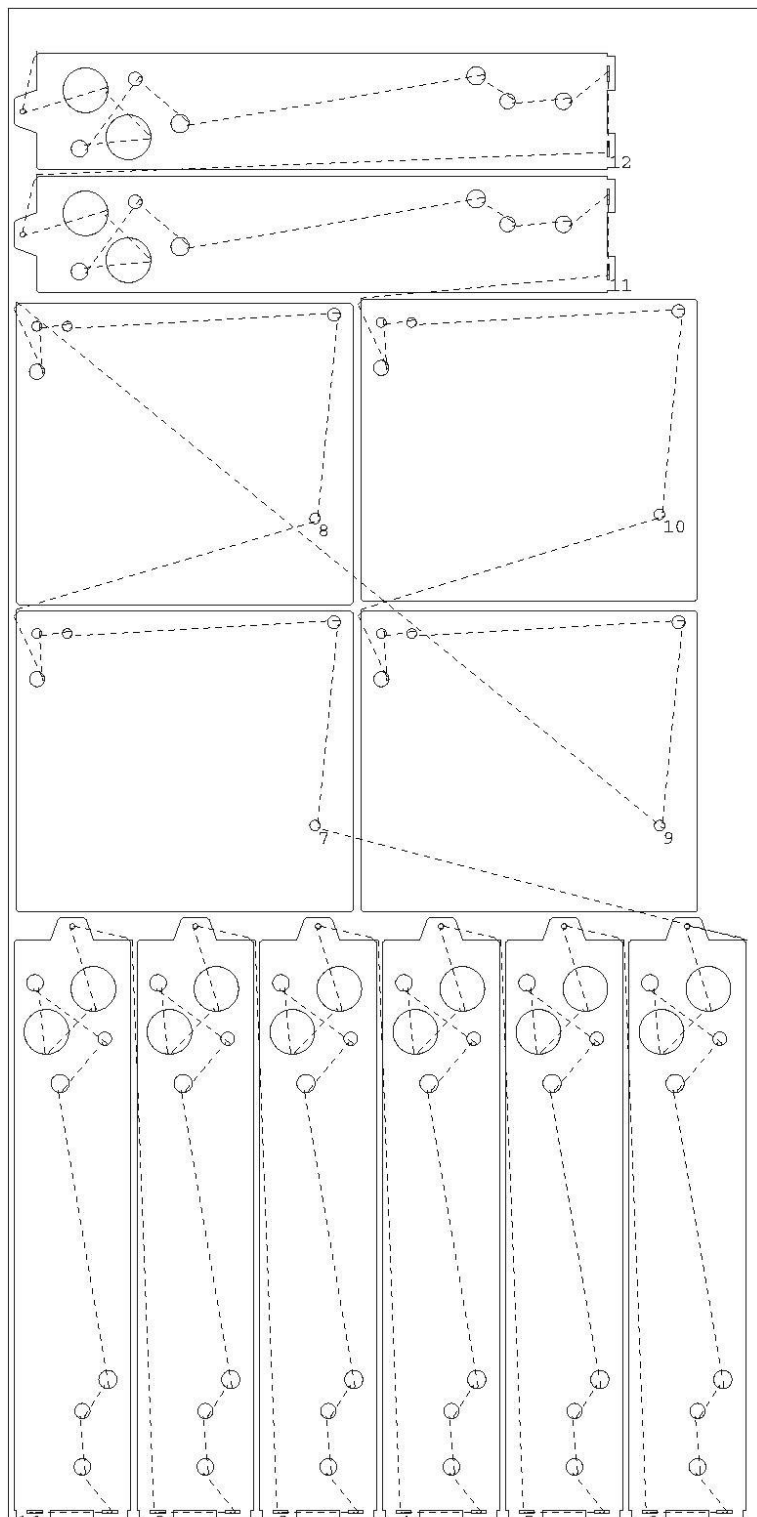
$\alpha_2$	[°]	Úhel ohybu po odpružení
$\eta$	[%]	Součinitel využití materiálu
$\lambda$	[°]	Úhel mezi noži
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	Hustota
$\sigma_o$	[MPa]	Ohybové napětí
$\tau_s$	[MPa]	Pevnost ve stříhu
$\varphi$	[°]	Úhel stříhu, úhel sklonu nožů
$\phi$	[mm]	Průměr



**SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Program pro řezání plazmou
- Příloha 2 Program pro vysekávání na vysekávacím stroji
- Příloha 3 Program pro řezání laserem
- Příloha 4 Materiálové listy použitých ocelí
- Příloha 5 Výkres vnitřního pláště kotlového tělesa
- Příloha 6 Výkres vnějšího pláště kotlového tělesa
- Příloha 7 Výkres plechu zad

# Příloha 1



Tabule: 3.0x1000x2000=46kg Využití: 79.22% Rez31.09m Kusů:12

Název sestavy :	JE6/12	Síla plechu :	3.0 mm	Jakost mat. :				
Rozměr tabule :	1000x2000 mm	Kusů tabule :	1	Váha tabule :	46.2 kg			
Programoval :	JANAS	Chodu / hoř.:	1 / 1	Datum tisku :	7.4.2017			
Celkem korun :	1824.8	Celkem NM :	45.8	Využití ČS/HR :	79 % / 84 %			
Zakázka	Jméno	Kusů	Váha čs	Váha hr	Řez	Prop	Minuty	Koruny
	JE12004	8	20.4	22.6	23.180	96	18.7	1351.0
	JE12005	4	16.2	16.3	7.911	24	5.9	443.5
Celkové součty pro výkresy		12	36.6	38.9	31.091	120	24.7	1794.6

Vypočet pro koruny

Řez	50.0 x	31.1 =	1554.6	85.2 %
Propal	2.0 x	120 =	240.0	13.2 %
Manipulace	20.0 x	1 =	20.0	1.1 %
Přesunu	0.5 x	20.4 =	10.2	0.6 %
Celkem			1824.8	100 %

Vypočet pro minuty

Řez	0.6 x	31.1 =	18.7	40.7 %
Propal	0.1 x	120 =	6.0	13.1 %
Manipulace	15.0 x	1 =	15.0	32.8 %
Přesunu	0.3 x	20.4 =	6.1	13.4 %
Celkem			45.8	100 %



# NESTREPORT

07.IV.2017 11:38  
p. 1 / 3

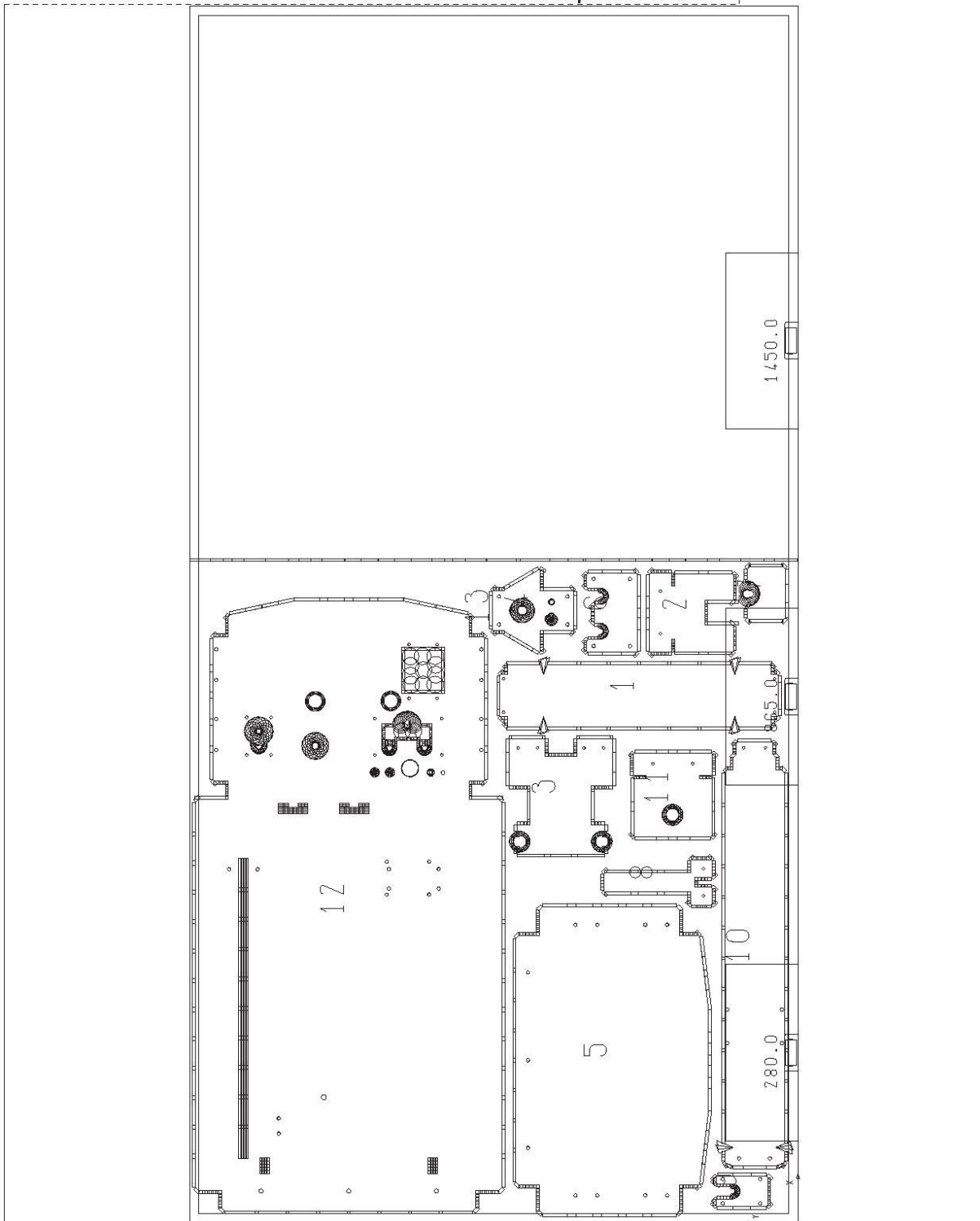
Machine: OMATIC130

Length: 2000 Height: 1000 Thickness: 2

Waste(%): 60.07 Cutting Time: 7.52

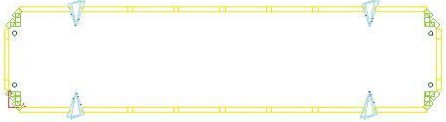
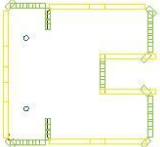
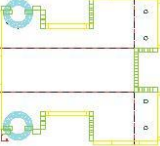
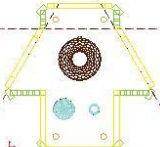

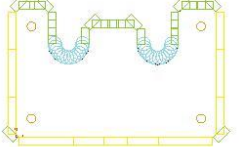
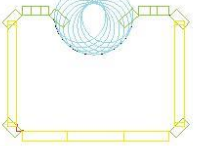
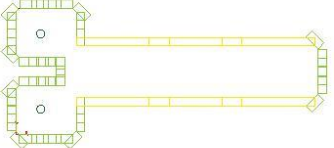
Net Weight: 12.29 Brut.weight: 13.88 Sheet weight: 30.8 Scrap weight: 18.5

Total Cut Cost: 0 Total Mat Cost: 0 Sheet cost: 4620 Scrap cost: 2220.14



## LIST OF USED TOOLS

Station	Description	Dim1	Dim2	Angle	Strokes
1	RE 55 CL 0.35	55	5	-	271
2	RE 10 CL 0.35	10	5	-	517
3	RO 28 CL 0.35	28	28	-	0
4	RO 9 CL 0.35	9	9	-	134
5	Triangle Tool	0	0	-	12
6.1	RO 5 CL 0.35 MT	5	5	0	28
6.2	RO 6 CL 0.35 MT	6	6	0	49
6.3	RO 7 CL 0.35 MT	7	7	0	4
6.4	RO 9 CL 0.35 MT	9	9	0	1
6.5	RO 12 CL 0.35 MT	12	12	0	3

<p>1</p> 	<p>Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON                      Partname : JE 12-821-V1 PREDNI VYZTUHA.PRT                      # still to nest : 0</p>
<p>2</p> 	<p>Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON                      Partname : JE 12-801-V1 DRZAK CERPADLA.PRT                      # still to nest : 0</p>
<p>3</p> 	<p>Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON                      Partname : JE 12-804-V1 DRZAK VENTILU.PRT                      # still to nest : 0</p>
<p>4</p> 	<p>Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON                      Partname : JE 12-805-V1 PLECH PRO BUDIK.PRT                      # still to nest : 0</p>
<p>5</p> 	<p>Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON                      Partname : JE 12-809-V1 HORNÍ VIKO.PRT                      # still to nest : 0</p>
<p>6</p> 	<p>Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON                      Partname : JE 12-810-V1 PLECH KRYCI 2.PRT                      # still to nest : 0</p>
<p>7</p> 	<p>Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON                      Partname : JE 12-811-V1 PLECH DRZAKU VYZTUHA.PRT                      # still to nest : 0</p>
<p>8</p> 	<p>Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON                      Partname : JE 12-812-V1 DRZAK EXPANZKY.PRT                      # still to nest : 0</p>

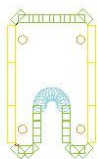


# NESTREPORT

07.IV.2017 11:38

p. 3 / 3

9



Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON  
Partname : JE 12-818-V1 PLECH KRYCI 1.PRT  
# still to nest : 0

--

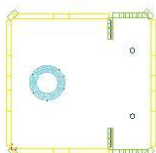
10



Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON  
Partname : JE 12-819-V1 VYZTUHA SVISLA.PRT  
# still to nest : 0

--

11



Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON  
Partname : JE 12-820-V1 DRZAK CERPADLA HORNI DIL.PRT  
# still to nest : 0

--

12



Order : ELEKTROKOTLE JABLOTRON  
Partname : JE 12-800-V1 PLECH ZADNI.PRT  
# still to nest : 0

--



TRUMPF

**NASTAVOVACÍ PLAN  
OBECNÉ UDAJE**

 User  
 18.04.2017  
 TruTops Laser V13.02.00

STROJ:	TruLaser 3030 (L3030) (MAX.VYKON LASERU 3200 WATT)
SYSTEM RIZENÍ:	Sin 840D
Firma:	Trumpf
NAZEV ZAKAZKY:	P1,5 S235JR+N
CESTA PROGRAMU NC:	C:\TRUMPF.NET\Workfiles\ZAKAZKY\17-02178-402\P1,5 S235JR+N\P1,5 S235JR+N_1.LST
NAZEV PROGRAMU:	P1_5_S235JR_N_1 ()
ID MATERIÁLU (TABULE):	St37-15 (1.0038)
MATERIAL (TT):	St37-15 (1.0038)
ID zboží na skladě:	ST000150----2500x1250
SKLADOVACÍ MÍSTO	
PŘIREZ:	2500.00 x 1250.00 x 1.50 mm
MINIMÁLNÍ PŘÍŘEZ:	2053.60 x 1012.20 mm
SMER VÁLCE:	*
HMOTNOST:	37.50 kg
STROJNÍ ČAS	0 : 09 : 34 [h:min:s]
POTŘEBA PAMĚTI:	15364 ZNAK
CELKOVÁ DELKA REZU:	26800.4 mm
POČET PROGRAMOVÝCH CYKLU:	25
PRŮREZ:	42.54 %

**VYROBNÍ INSTRUKCE**

PLECHOVÝ DORAZ	1
MIKROMŮSTKY, ZMĚNITELNÉ NA STROJI:	nenastaveno
NÁZEV OSAZENÍ OPĚRNÝCH LIŠT:	Standardní stroj, každý druhý nastaven
VZDÁLENOST OPĚRNÝCH BODŮ NA OPĚRNÉ LIŠTĚ	38 mm
VZDÁLENOST OPĚRNÝCH LIŠT:	67 mm
UPŘEDNOSTNIT ZPRACOVÁNÍ:	bez
POZNAMKY:	

**LASER-TECHNOLOGICKE TABULKY**

CISLO TABULKY	MEZERA REZU	OHNISKOVÁ VZDALENOST COCKY	PRŮMĚR TRYSKY	MAX. VYKON LASERU	SERIZOVACÍ ROZMĚR	PLYN
T2D-5852	0.25	7.50	0.8	3200	-1.50	1

Druh plynu: 1 = kyslík, 2 = dusík, 3 = zákazník, 4 = stlačený vzduch

**TECHNOLOGICKE TABULKY**

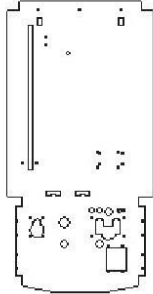
CISLO	DRUH VPICHOVANI	DRUH REZANI	DRUH OBRYSU
T2D-5852	KOMPLETNI	NORMALNI	VELKY

**INFORMACE O JEDNOTLIVÝCH DÍLECH**

CISLO DILU:	CISLO VYKRESU:	NAZEV GEOM:SOUBORU	POČET:
1	NOID_1	C:\TRUMPF.NET\Workfiles\ZAKAZKY\17-02178-402\GEO\P1,5-JE 12-800-V1-POZ3.GEO	4

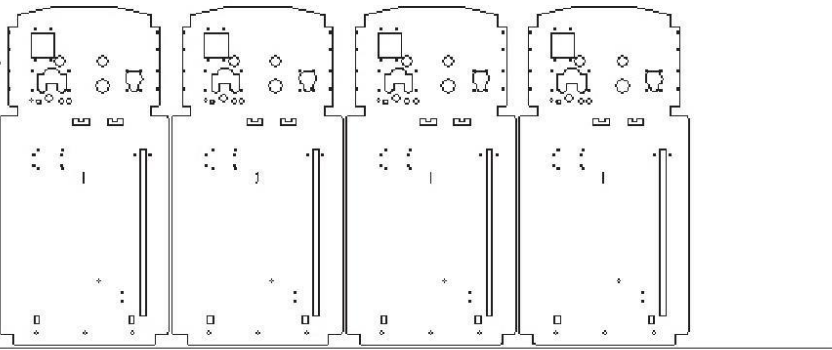
NAZEV DESKY: C:\TR...7-02178-402\P1,5 S235JR+N\P1,5 S235JR+N\_1.taf

## INFORMACE O JEDNOTLIVÝCH DÍLECH



CISLO DÍLU:	1
CISLO VÝKRESU:	NOID_1
NAZEV VÝKRESU:	
JMENO ZAKÁZNIKA:	
POČET:	4
ROZMERY:	503.369 x 1002.079 mm
PLOCHA:	448917,51 mm <sup>2</sup>
NAZEV PRACOVNÍHO PŘEDPISU:	T2D-5852-5
CISLO PODPROGRAMU:	SP1P1_5_S235JR_N_1
DOBA ZPRACOVÁNÍ:	2.37 min
REZNA DELKA:	6700.09 mm
HMOTNOST:	5.387 kg
POČET VPICHOVACÍCH BODŮ:	53
DOBA ZAPÍCHOVÁNÍ:	2.65 s
NAZEV GEOM:SOUBORU	C:\TRUMPF.NET\Workfiles\ZAKÁZKY\ 17-02178-402\GEO\P1,5-JE 12-800-V1-POZ3.GEO

C:\TRUMPF.NET\Workfiles\ZAKÁZKY\17-02178-402\GEO\P1,5-JE 12-800-V1-POZ3.GEO 18.04.2017



Inšpekčný certifikát podľa EN 10 204-3.1

A02

U. S. Steel Košice, s.r.o. A01 Vstupný areál U. S. Steel 044 S4 Košice SLOVAK REPUBLIC	Číslo artikla zák: 787061S7/11 A08 Číslo zákazky: XC730975 A08 Číslo faktúry: 17/103307 01 A10 Vaša objednávka: 20170207KRCW A07	
K U T N Ý A T E S T (číslo): 17/103307 01 A02		B08
Názov výrobku: PLECHY V TABULIACH TENKE VALCOVANE ZA TEPLA B01	Rozmery: 3 000 x 1500,0 x 3000,0 mm EN 10051/10	
Norma: EN 10025-2/04 B02	B03	Počet tab.: 238 B08 Net hmotnosť: 25 704 kg B13
Akosť: S235JR1X B02	Číslo ložiska: 303020C1 A10	

Čís. jed.	Čís.zvit.	Tavba	B07	Čís. jed.	Čís.zvit.	Tavba	B07
434550302	4345503	43455		434550307	4345503	43455	
434550303	4345503	43455		538680201	5386802	53868	
434550304	4345503	43455		538680503	5386805	53868	
434550305	4345503	43455		538680504	5386805	53868	
434550306	4345503	43455					

V Ý S L E D K Y M E C H A N I C K Ý C H S K Ť Ť Ť Ť

				Číslo		
				zvitku	zvitku	zvitku
Min. / Max.	4345503	5386802	5386806			
C12 Rm C03 +20°C(T)	(MPa)	360/510	448	452	452	
C11 ReH C03 +20°C(T)	(MPa)	235/	337	366	366	
C13 A50 C03 +20°C(T)	(%)	19,0/	27,5	24,0	24,0	
C43 KV C03 +20°C pr. (L)	(J)	/	28	27	27	
C42 KV1 C03 +20°C(L)	(J)	/	27	27	27	
C42 KV2 C03 +20°C(L)	(J)	/	29	26	26	
C42 KV3 C03 +20°C(L)	(J)	/	28	27	27	

C03 Směr odboru: (T)-priehy; (L)-pozdĺany;

C71

C H E M I C K É Z L O Ž E N I E, %

	Min. / Max.	Čís. tavby		Min. / Max.	Čís. tavby		
		43455	53868		43455	53868	
C	/0,17	0,14	0,14	Mn	/1,40	0,49	0,52
Si	/0,03	0,01	0,01	P	/0,035	0,008	0,013
Al	0,020/	0,039	0,030	N	/0,012	0,005	0,003
S	/0,035	0,007	0,006	Cr	/0,205	0,011	0,042
Cu	/0,55	0,02	0,04	CEV	/0,550	0,230	0,243
Mo	/0,050	0,002	0,003	Ni	/0,205	0,010	0,026
V	/0,008	0,001	0,001				

MATERIÁL JE V ZHODE S POŽIADAVKAMI OBJEDNÁVKY. Z01		571	Posl. str.: 1
Numerická hmotnosť aktivity rádioaktívnych Co60 + Cs137 + Am241 nie je väčšia ako 100 Bq/kg. D02		F-USM/0063-04/10-06-15	
Z04	Z05	Z02	Z03
		Dokument certifikoval užívateľ Jozef Červeňák jcervenak@ussk.com. Digitally signed by Jozef Červeňák Date: 2017.09.09 10:34:57 Reason: Zavesuje vierohodnosť pôvodu.	U. S. Steel Košice, s.r.o. 02 Vstupný areál U. S. STEEL Odbor Analýzy kvality a špecifikácie Uvoľňovanie výrobkov a Hmotné akcie 044 S4 Košice
Košice: 9.09.2017, 7:31:32 JOZEF ČERVEŇÁK, OPRAVNENÝ ZÁSTUPCA KONTROLY. DARINA BERNÁTOVÁ, OPRAVNENÝ ZÁSTUPCA KONTROLY.		e-mail: jcervenak@sk.uss.com, tel.: +421-55-6737464 e-mail: dbernatova@sk.uss.com, tel.: +421-55-6732373	

U.S. Steel Košice, s.r.o. A01 Vstupný areál U.S. Steel 044 54 Košice SLOVAK REPUBLIC	Purchaser Art. No: 7278AIY7/03C A09 Works Order No: XC721555 A08 Advice No: 17/311152 01 A10 Your order: 20170089 A07	B&B commercial activity s.r.o. C05 Roháčova 188/37 130 00 PRAHA 3 Česká republika					
METALLURGICAL CERTIFICATE NO: 17/311152 01 A03		B09					
Desc. of goods: HEAVY PLATES 12MM AND UNDER A01		Size: 5,000 x 1000,0 x 2000,0 mm EN 10051/10					
Standard: EN 10025-2/04 B02		B03					
Quality: S235JR+N B02	Delivery Note: 30166401 A10	Net Weight: 13 694 kg B13					
Unit No	Coil No	Heat	B07	Unit No	Coil No	Heat	B07
534490901	5344909	53449		534490904	5344909	53449	
534490902	5344909	53449		534490905	5344909	53449	
534490903	5344909	53449		534490906	5344909	53449	

M E C H A N I C A L T E S T R E S U L T S


			Coil No	
			Min. / Max.	5344909
C1	Ym C03 +20°C(T)	(MPa)	350/510	452
C1	ReH C03 +20°C(T)	(MPa)	235/	344
C13	A5 C03 +20°C(T)	(% )	24,0/	29,0

C02 Direction: (T)-transversal;

071

C H E M I C A L C O M P O S I T I O N, %

	Heat No			Heat No	
	Min. / Max.	53449		Min. / Max.	53449
C	/0,17	0,16	Mn	/1,40	0,49
Si	/0,030	0,011	P	/0,035	0,006
Al	0,020/	0,035	N	/0,012	0,008
S	/0,0035	0,010	Cr	/0,305	0,012
Cu	/0,55	0,02	CEV	/0,350	0,248
Mo	/0,060	0,003	Ni	/0,305	0,014
V	/0,008	0,001			

THE MATERIAL IS IN COMPLIANCE WITH ORDER REQUIREMENTS. Z61				351 Last Page: 1	
The measured weight-based activity of Co60 + Cs137 + Am241 radionuclide is not higher than 100 Bq/kg. D02				E-USM/0063-04/10-01-12	
 <p>06 1015-CPR-E-30-20419-15 DoP USSK-29/2015 www.uske.sk</p>		<p>Certifikát podpísaný Jozefom Červenákom JozefCervenak@uske.com.sk Digitálny podpis Jozef Červenák Date: 2017.12.09 10:24:40 UTC Reason: Zabezpečuje vierohodnosť pôvodu.</p>		<p>U. S. Steel Košice, s.r.o. 02 Vstupný areál U. S. STEEL Odbor Analýzy kvality a špecifikácie Uvoľňovanie výrobkov a Hutmé areály 044 54 Košice</p>	
Košice: 8.02.2017, 7:31:42 Z02					
JOZEF ČERVENÁK, AUTHORIZED INSPECTION REPRESENTATIVE. e-mail: jcervenak@sk.usc.com, tel.: +421-55-6737464 DARINA BERNÁTOVÁ, AUTHORIZED INSPECTION REPRESENTATIVE. e-mail: dbernatova@sk.usc.com, tel.: +421-55-6732273					