



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NAVRŽENÍ VHODNÝCH TECHNOLOGIÍ VÝROBY ZADANÉ PLOCHÉ SOUČÁSTI Z PLECHU

SUGGESTION OF CONVENIENT TECHNOLOGIES OF PRODUCTION FOR SUBMITTED
FLAT SHEET METAL PART

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUCIE CHALOUPKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JINDŘICH ŠPAČEK, CSc.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Lucie Chaloupková

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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:

Navržení vhodných technologií výroby zadané ploché součásti z plechu

v anglickém jazyce:

Suggestion of convenient technologies of production for submitted flat sheet metal part

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návržení možných alternativ technologií výroby zadané součásti - stříhání v postupovém nástroji, dělení plasmou, laserem a vodním paprskem. Výběr nejoptimálnější varianty výroby dle technicko-ekonomických kritérií pro sériovou výrobu.

Cíle diplomové práce:

Návrh postupového nástroje pro postupové stříhání zadané součásti, vypracování technologického postupu a výkresové dokumentace. Zpracování technologických postupů pro výrobu zadané součásti moderními technologiemi - plasmou, laserem a vodním paprskem. Technicko-ekonomické vyhodnocení jednotlivých způsobů výroby a výběr jejich optimální varianty

Seznam odborné literatury:

NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. SNTL. 1. vyd. Praha :

SNTL, 1980. 216 s. ISBN 04-234-80.

LANGE, K. Umformtechnik Handbuch für Industrie und Wissenschaft : Band 1: Massivumformung. Springer-Verlag Berlin. 1. Auflage. Berlin : Springer Verlag, 1988. 679 s. ISBN 3-540-17709-4.

FOREJT, Milan, PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Vysoké učení technické v Brně. 1. vyd. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

CHALOUPKOVÁ Lucie: Navržení vhodných technologií výroby zadané ploché součásti z plechu.

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru 2303T002 předkládá návrh vhodných technologií výroby zadané ploché součásti z ocelového plechu 11 375. V práci je zpracováno několik variant výroby a to: výroba na postupovém střížném nástroji, výroba pomocí plazmového zařízení, laserového zařízení a zařízení pro vodní paprsek. Výrobní série součásti je 380 000 kusů za rok. Na základě literární studie problematiky stříhání a výpočtu byl navržen postupový střížný nástroj pro danou součást. Pro tento nástroj byl zvolen lis CDCH 3000 P (výrobce HESSE+CO Maschinenfabrik GmbH), se jmenovitou silou 3 000 kN. V práci jsou zahrnuty potřebné výpočty pro všechny varianty výroby včetně technologického a ekonomického zhodnocení.

Klíčová slova: postupové stříhání, střížný nástroj, plazmové řezání, laserové řezání, řezání vodním paprskem

ABSTRACT

CHALOUPKOVÁ Lucie: Suggestion of convenient technologies of production for submitted flat sheet metal part.

The project is elaborated in frame of engineering studies branch 2303T002. The project is submitting suggestion of convenient technologies of production for submitted flat sheet metal part 11 375. There are proposed a number of variants of production method, namely: production on sequence shearing tool, production by means of plasma machine, laser machines and machines for waterjets cutting. Particular part is designed for the production quantity of 380 000 pieces per year. Based on the literary study of the shear and calculations, there were designed shearing tool for given part. For this tool the press CDCH 3000 P was selected (producer HESSE+CO Maschinenfabrik GmbH), with nominal force 3 000 kN. In the work there are included necessary calculations for all variants including technological and economical evaluation.

Keywords: following shear, shear tool, plasma cutting, laser cutting, waterjet cutting

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

CHALOUPKOVÁ, L. *Navržení vhodných technologií výroby zadané ploché součásti z plechu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 78 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jindřich Špaček, CSc..

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 27.5.2011

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu doc. Ing. Jindřichu Špačkovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych ráda poděkovala firmám R+W Ferra s.r.o., Dendera a.s., AQUAdem s.r.o. za ochotnou spolupráci při získávání informací.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
1 ÚVOD	11
2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	12
3 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ	13
3.1 Průběh střížného procesu	13
3.2 Střížná síla, práce a vůle	14
3.3 Těžiště střížných sil	15
4 PLAZMA	17
4.1 Řezání plazmou	17
4.2 Princip řezání plazmou	17
4.3 Varianty řezání plazmou	18
4.4 Výhody a nevýhody plazmového řezání	20
5 LASER	21
5.1 Řezání laserem	21
5.2 Princip laseru	22
5.3 Rozdělení laseru	24
5.4 Výhody a nevýhody laserového řezání	25
6 VODNÍ PAPERSEK	26
6.1 Princip řezání vodním paprskem	26
6.2 Výhody a nevýhody řezání vodním paprskem	27
7 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI	29
7.1 Volba nástřihového plánu	29
7.2 Zvolený nástřihový plán	31
7.3 Technologické a kontrolní výpočty	32
7.3.1 Výpočet spotřeby materiálu	32
7.3.2 Využití tabule plechu	33
7.3.3 Výpočet střížné síly a střížné práce	34
7.3.4 Výpočet střížné vůle	35
7.3.5 Pevnostní výpočet střížného nástroje	35
7.3.6 Těžiště střížných sil	36
7.3.7 Stanovení rozměrů střížnice a střížníků	39

8	VOLBA STROJE	44
8.1	Popis nástroje	45
9	SPOLUPRÁCE FIREM	46
9.1	R+W Ferra s.r.o.	46
9.2	Dendera a.s.	47
9.3	AQUAdem s.r.o.	48
10	TECHNOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ	49
11	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	52
11.1	Postupový střížný nástroj	52
11.1.1	Výchozí hodnoty	52
11.1.2	Náklady na materiál a nástroj	53
11.1.3	Náklady na mzdy a na spotřebovanou energii	54
11.1.4	Celková cena výstřižku	55
11.1.5	Výpočet bodu zvratu	57
11.2	Řezání plazmou	57
11.2.1	Výchozí hodnoty	57
11.2.2	Náklady na materiál a mzdy	58
11.2.3	Celková cena výpalku	58
11.3	Řezání laserem	58
11.3.1	Výchozí hodnoty	58
11.3.2	Náklady na materiál a mzdy	59
11.3.3	Celková cena výpalku	60
11.4	Řezání vodním paprskem	60
11.4.1	Výchozí hodnoty	60
11.4.2	Náklady na materiál a mzdy	60
11.4.3	Celková cena výpalku	62
12	ZÁVĚRY	63

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

1 ÚVOD

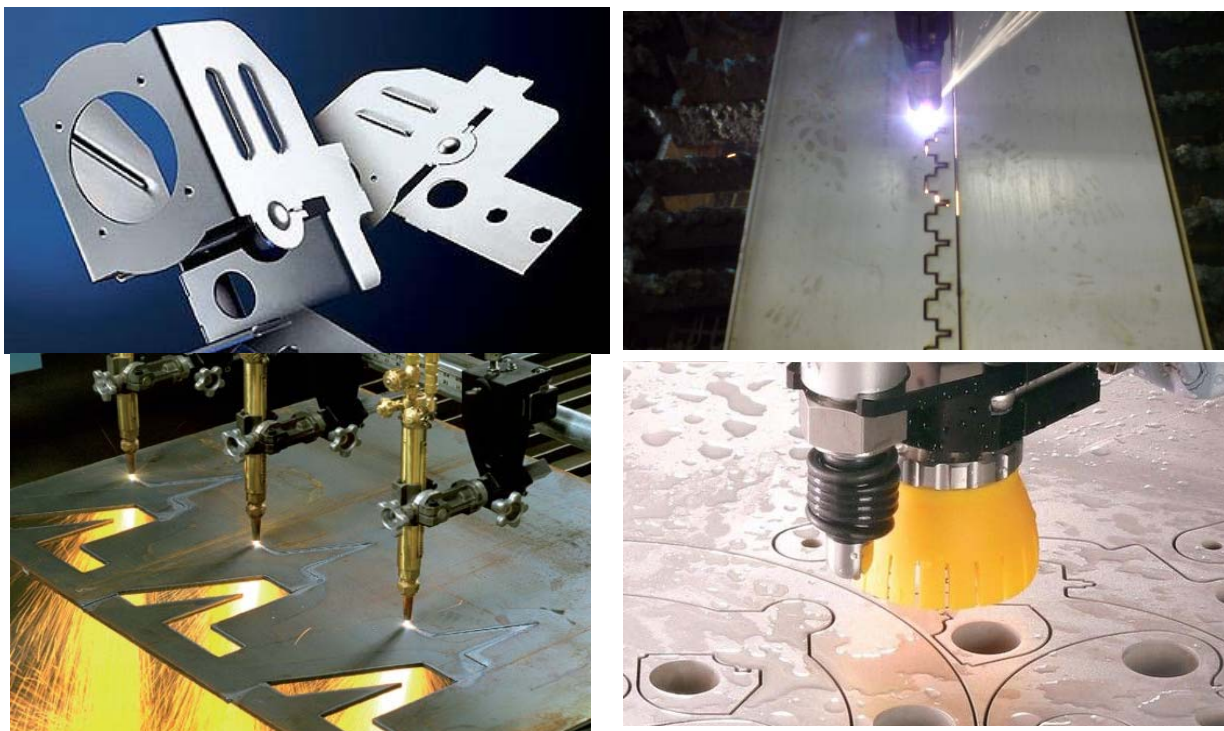
Strojírenské technologie jsou a v budoucnu také budou základní a neoddělitelnou částí průmyslu a jsou oborem, který se rychle rozvíjí.

Mezi nejvýznamnější obory z hlediska množství a přesnosti výroby strojních součástí patří v současné době obrábění a tváření. Při klasickém obrábění dochází ke vzniku odpadu ve formě třísek, zatímco technologie tváření je tzv. beztržisková, která využívá stříhání plošné nebo objemové. U některých technologií tváření dokonce nedochází ke vzniku žádného odpadu, což má v dnešní době nezanedbatelný význam.

Součástí přípravy výrobního procesu se stává i certifikace kvality a řízení, která zahrnuje postupy přípravy dokumentace, systém řízení všech fází výroby včetně hodnocení rizik, snížení nehodovosti, možnosti vzniku nežádoucích situací, kontroly výroby, inspekce, skladování a expedice. Pohled na výrobek se nesoustřeďuje jen na technologii výroby, ale je pojmán komplexně, tak že všechny fáze přípravy jsou systémově dokumentovány. Každý výrobní proces by měl navazovat na další moduly a vývoj. K tomu patří i standardní postupy řešení reklamací, které jsou zpětnou vazbou dalšího rozvoje.

Navrhovaný díl "Bezpečnostní pojistka" je součástí lineárních dopravních strojů a zařízení, jako jsou výtahy, dopravníky, jeřábové dráhy, výrobní linky, vyprošťovací zařízení, zavážecí a důlní dopravníky, třídící skladové zásobníky a podobná zařízení. Součást plní bezpečnostní funkci. Při dojezdu na kulisu se zvedá a dává přes kontaktní spínač nebo příslušné čidlo povel ve shodě na požadovanou funkci zařízení. Funkce spočívá v zajištění činností, které slouží především k ochraně osob a zařízení, nebo navedení zařízení do předem definované polohy. Součást musí být dostatečně dimenzována tak, aby ani při neočekávaném zatížení nedošlo k její deformaci nebo vyřazení z provozu.

Hlavním cílem předloženého projektu je navržení optimální metody výroby zadané součásti technologií stříhání.



Obr. 1.1 Výstřižky a výpalky [10], [12], [14], [24]

2 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU

Součást, kterou se tato práce zabývá, je bezpečnostní pojistka, viz obr. 2.1. Je používána k dojezdům koncových elektrických spínačů a vyrábět v sérii 380 000 kusů za rok. Součást se bude vyrábět z ocelového plechu. Hotová součást má celkové rozměry: délku 135 mm, šířku 70 mm a tloušťku 5 mm. Průměr kruhového otvoru je 15 mm, obdélníkový otvor má rozměry 11,5 x 48 mm a rozměry otvoru ve tvaru šipky jsou délka 59 mm a šířka 45 mm. Na tuto součást nejsou kladeny vysoké nároky na jakost povrchu a ani na geometrickou přesnost.



Obr. 2.1 Bezpečnostní pojistka - součást

Výchozím materiálem je ocelový plech dle normy ČSN 41 1375. Jedná se o nelegovanou konstrukční ocel 11 375, která má zaručenou svařitelnost. Ocel je vhodná na svařované mostní a jeřábové konstrukce, na strojní součásti, na součásti tepelných energetických zařízení a na tlakové nádoby. Vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab. 2.1.

Tab. 2.1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli 11 375 [21]

ocel 11 375			
Mechanické vlastnosti			
Mez pevnosti v tahu	R_m	340 - 470	MPa
Mez kluzu	R_e	235	MPa
Tažnost	A_5	26	%
Chemické složení			
Uhlík	C	max. 0,17	%
Mangan	Mn	max. 1,40	%
Fosfor	P	max. 0,045	%
Síra	S	max. 0,045	%
Dusík	N	max. 0,009	%

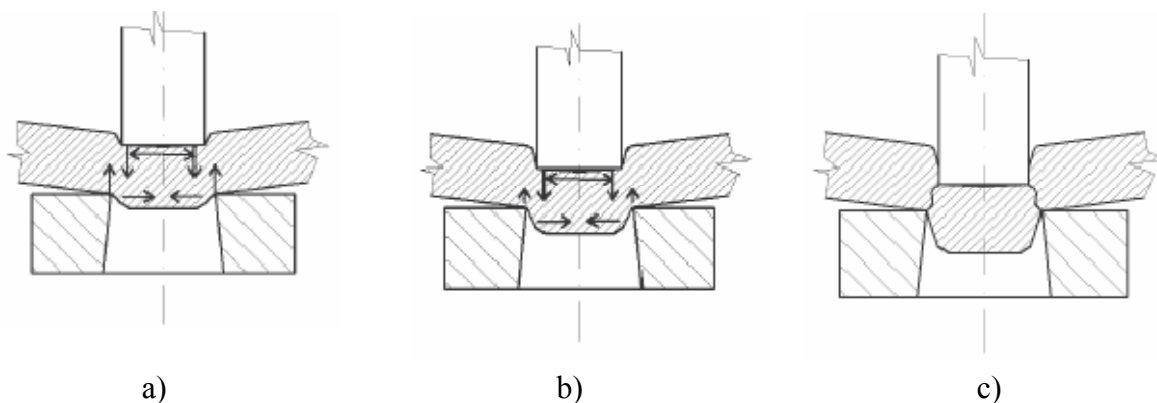
Cílem této práce je technicko-ekonomické zhodnocení všech zadaných variant výroby součástí. Jedná se o varianty: postupové stříhání, řezání plazmou, laserem a vodním paprskem.

3 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [5], [26]

Při stříhání dochází k působení stříhadel na materiál tak, aby se daný materiál ustříhl v požadované ploše. Stříhání je tedy postupné nebo současné oddělování částic materiálu. Pro dosažení požadované kvality stříhu je nutné zabezpečit určité podmínky. Při nedodržení podmínek se může dosáhnout nekvalitní střížné plochy nebo zničení nástroje.

3.1 Průběh střížného procesu [5], [26]

Průběh stříhání lze rozdělit do tří základních částí. Stříhání začne při dosednutí střížného nástroje na stříhaný materiál. V první části dochází k pružné deformaci stříhaného materiálu (obr. 3.1 a).



Obr. 3.1 Průběh stříhání - a) první část, b) druhá část, c) třetí část [5]

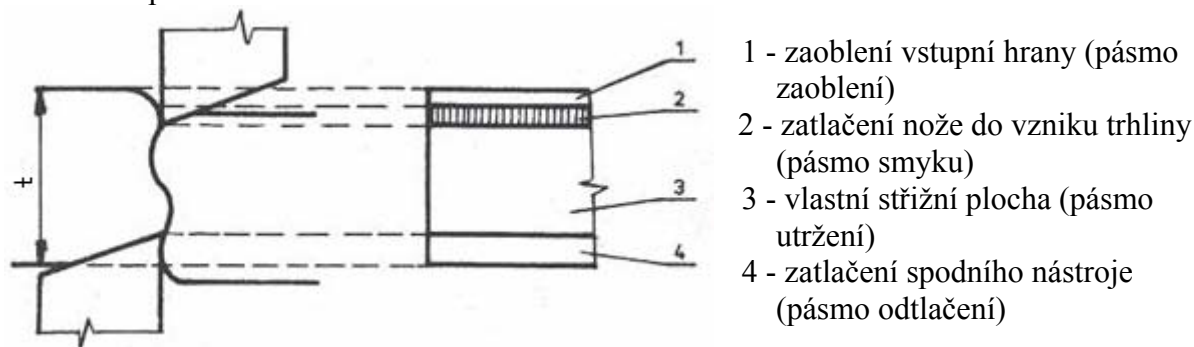
Ve druhé části dochází k trvalé deformaci, což je způsobeno tím, že napětí je větší než mez kluzu daného stříhaného materiálu (obr. 3.1 b).

Ve třetí části je stříhaný materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu (obr. 3.1 c). Dochází ke vzniku trhlinky u hran střížnice a střížníku. Tyto trhlinky se rychle šíří a prodlužují, čímž dojde k oddělení výstřížku nebo odpadu od výchozího materiálu. Mechanické vlastnosti stříhaného materiálu a velikost střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí ovlivňují rychlost vzniku a postup trhlinek.

• Kvalita střížné plochy

Kvalita střížné plochy závisí na těchto faktorech:

- velikost a rovnoměrnost střížné vůle
- vlastnosti stříhaného materiálu
- kvalitě střížného nástroje
- způsobu stříhání



Obr. 3.2 Kvalita střížné plochy [26]

3.2 Střížná síla, práce a vůle [5], [26], [27], [28]

• Střížná síla

Střížná síla roste při stříhání až do určitého maxima. Jakmile ve stříhaném materiálu vznikne trhlinka, začne střížná síla klesat až do okamžiku, kdy se materiál oddělí a střížná síla klesne na nulu.

Střížná síla je síla, která je potřebná k vystřížení nebo děrování výstřížku nebo odpadu z pásu, z tabule plechu nebo ze svitku.

Střížná síla je závislá na:

- velikosti střížné vůle
- naostření střížných hran
- tvaru čelních ploch
- vlastnostech a tloušťce materiálu

$$F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \quad [\text{N}] \quad (3.1)$$

Kde	F_s	... maximální střížná síla	[N]
	n	... koeficient zahrnující opotřebení (otupení) nástroje ($n = 1,2 \div 1,55$)	[-]
	S	... plocha stříhu ($S = l \cdot t$)	[mm ²]
	τ_s	... střížný odpor ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$)	[MPa]
	l	... délka stříhu	[mm]
	t	... tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
	R_m	... mez pevnosti v tahu	[MPa]

• Střížná práce

Střížnou práci lze definovat jako plochu pod křivkou střížné síly.

$$A = k \cdot F_s \cdot t \cdot 10^{-3} \quad [\text{J}] \quad (3.2)$$

Kde	A	... střížná práce	[J]
	k	... koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu	[-]

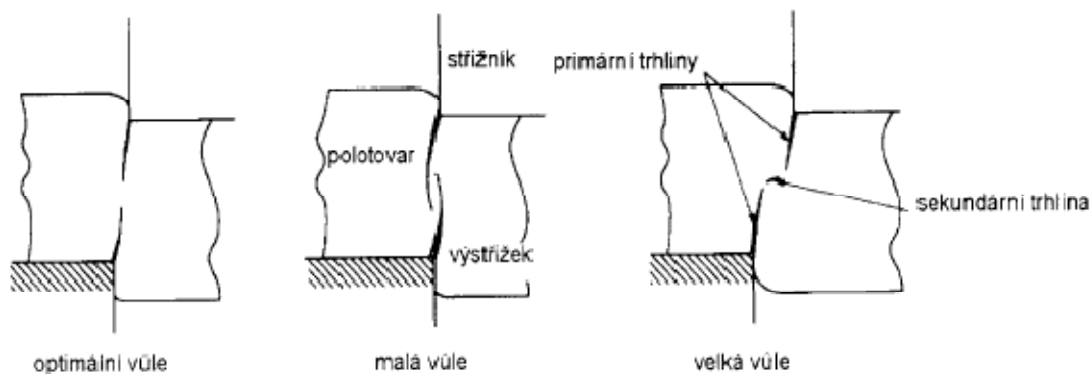
Tab. 3.1 Hodnoty koeficientu k [26]

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
ocel o pevnosti 250 až 350 MPa	0,70 až 0,65	0,65 až 0,60	0,60 až 0,50	0,45 až 0,36
ocel o pevnosti 350 až 500 MPa	0,60 až 0,55	0,55 až 0,50	0,50 až 0,42	0,40 až 0,30
ocel o pevnosti 500 až 700 MPa	0,45 až 0,40	0,40 až 0,35	0,35 až 0,30	0,30 až 0,15

- **Střížná vůle**

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem střížníku a střížnice, což lze také napsat jako součet mezer po obou stranách mezi střížnicí a střížníkem. Vůle má významný vliv především na trvanlivost nástroje a proto by mezera měla být stejná ve všech místech mezi střížnicí a střížníkem.

U optimální vůle se trhlinky od střížných hran setkají a tím se materiál oddělí. Při malé nebo velké vůli se kvalita střížné plochy podstatně zhoršuje a snižuje se trvanlivost nástroje.



Obr. 3.3 Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy [28]

Pro materiál tloušťky $t \leq 3 \text{ mm}$

$$v/2 = m_s = 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (3.3)$$

Pro materiál tloušťky $t > 3 \text{ mm}$

$$v/2 = m_s = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (3.4)$$

Kde	v	...	střížná vůle	[mm]
	m_s	...	střížná mezera	[mm]
	c	...	součinitel, nižší hodnoty se volí, pokud chceme lepší střížnou plochu, při vyšších hodnotách lze dosáhnout minimální střížné síly ($c = 0,005 - 0,035$)	[-]

3.3 Těžiště střížných sil [26], [27]

Pokud se v nástroji objevuje několik střížníků, musí výslednice všech sil působit v ose beranu lisu. V této výslednici je umístěna stopka nástroje, která je středícím a upínacím prvkem. Kdyby stopka nebyla umístěna ve výslednici střížných sil, docházelo by k naklánění beranu lisu, což by mělo za následek ovlivnění funkce nástroje (menší přesnost výrobků, snížení životnosti nástroje a předčasné opotřebení beranu lisu).

Umístění stopky lze určit graficky nebo počteně. Nalezne se výslednice sil od střížníků v obou směrech, do průsečíků těchto výslednic se umístí stopka.

- Početní řešení

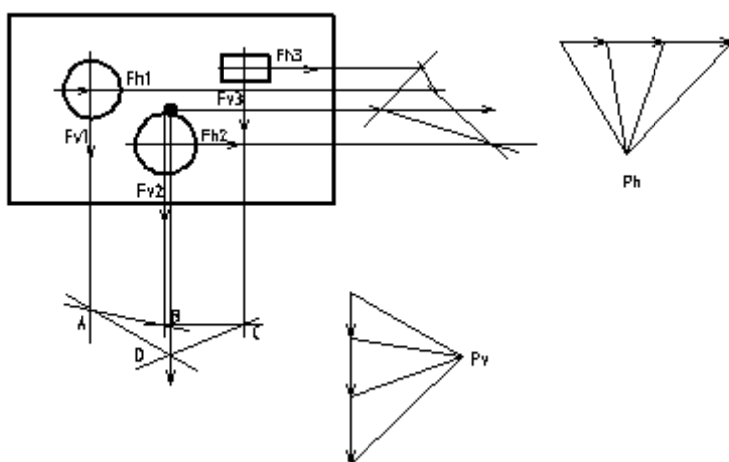
$$x_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} \quad [\text{mm}] \quad (3.5)$$

$$y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} \quad [\text{mm}] \quad (3.6)$$

Kde	x_T ... vzdálenost od počátku v ose x odpovídající těžišti střižných sil	[mm]
	y_T ... vzdálenost od počátku v ose y odpovídající těžišti střižných sil	[mm]
	F_i ... střižná síla pro vystřížení i-tého prvku	[N]
	x_i ... vzdálenost od počátku v ose x odpovídající těžišti i-tého prvku	[mm]
	y_i ... vzdálenost od počátku v ose y odpovídající těžišti i-tého prvku	[mm]

- Grafické řešení

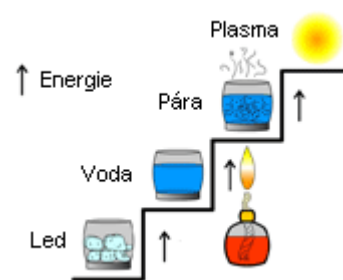
Z těžiště tvaru daného střižníku se vynese úsečka (obvod v libovolném měřítku) a pomocí pólového obrazce se nalezne výslednice sil v ose x a y.



Obr. 3.4 Grafické řešení těžiště [26]

4 PLAZMA [18]

Fyzikální pojem plazma je někdy označován jako čtvrtý stav hmoty (látky). Normálně se uvažuje o třech stavech hmoty a to o: pevné látce, kapalině a plynu. Pro jeden společný prvek, např. vodu, jsou tyto tři stavy: led, voda a pára. Rozdíly mezi těmito stavy jsou vztaženy k jejich energetickým hladinám. Pokud led ohřejeme, stane se z něj voda, dalším zvýšením teploty se z vody stane pára. Pokud přivedeme zvýšenou energii do páry, začne pára ionizovat. Ionizační proces způsobí, že se plyn stane elektricky vodivým. Takto elektricky vodivému, ionizovanému plynu, se říká plazma.



Obr. 4.1 Stavy hmoty [18]

4.1 Řezání plazmou [18]

Řezací proces plazmy, který se používá k řezání různých materiálů, využívá elektricky vodivý plyn k přenosu energie z elektrického zdroje prostřednictvím plazmového hořáku, čímž dochází k řezání materiálu.

Základní plasmový oblouk řezacího systému se skládá z napájecího zdroje, pilotního obvodu oblouku a hořáku. Tento systém zajistí elektrickou energii, ionizační schopnost a řízení procesu, které jsou nutné k vytvoření vysoce kvalitního a produktivního řezu různých materiálů.

Silovým zdrojem je konstantní proud stejnosměrného elektrického zdroje. Typické napětí je v rozsahu od 240 do 400 V (při otevřeném obvodu). Rychlost řezání je závislá na výkonu zdroje, tloušťce a druhu řezaného materiálu a jeho fyzikálních vlastnostech. Hlavní funkcí napájecího zdroje je zajistit energii k udržení plazmového oblouku po ionizaci.

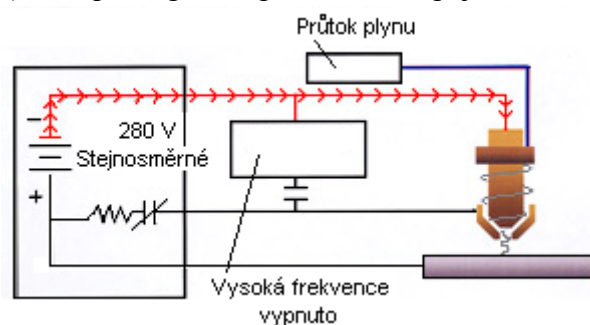
Pilotní obvod oblouku je vysokofrekvenční generátor produkující střídavé napětí. Toto napětí se použije k ionizaci plynu, tedy k vytvoření plazmatu.

Hořák slouží jako držák pro trysky a elektrody, a také zajišťuje chlazení (buď plynové, nebo vodní).

4.2 Princip řezání plazmou [18]

Zdroj energie a pilotní obvod oblouku jsou připojeny k hořáku přes vedení a kabely. Tyto kabely a napájecí vedení zajišťují správný průtok plynu, elektrického proudu a vysoké frekvence do hořáku k nastartování a udržení procesu.

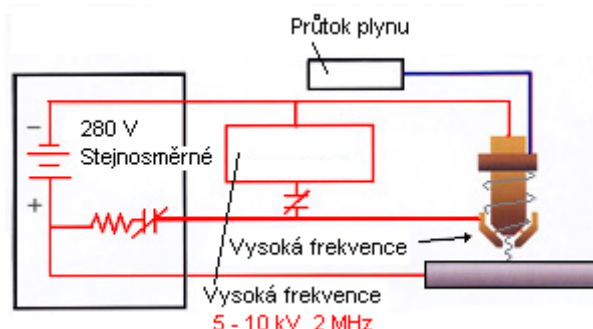
a) Vstupní signál zapne silové napájení, které současně aktivuje obvod napětí a spustí proud



Obr. 4.2 Obvod stejnosměrného napětí [18]

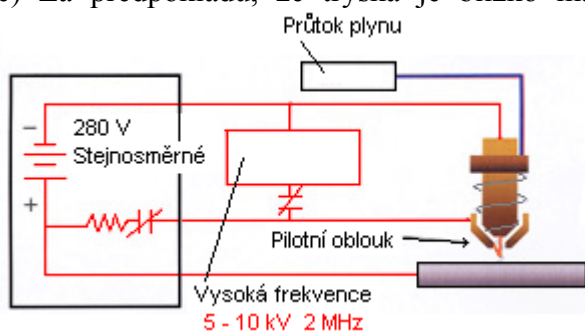
plynu do hořáku (viz obr. 4.2). Napětí otevřeného obvodu se měří mezi elektrodou (-) a tryskou (+). Tryska je spojena s kladným pólem zdroje přes odpor a relé (pilotní relé oblouku), zatímco materiál je napojen na kladný pól napřímo. Plyn proudí přes trysku a vytéká přes výstupní zúžení (trysku). V tomto čase ještě není aktivován oblouk a není vytvořena proudová cesta pro stejnosměrné napětí.

b) Po stabilizaci průtoku plynu se aktivuje obvod vysoké frekvence. Vysoká frekvence překlene elektrodu a trysku uvnitř hořáku takovým způsobem, že plyn musí protékat přes tento oblouk před výstupní tryskou (zúžením). Energie přenesená přes vysokofrekvenční oblouk do plynu způsobí ionizaci plynu, tedy jeho elektrickou vodivost. Tento vodivý plyn způsobí průtok elektrického proudu mezi elektrodou a tryskou a výsledkem je plazmový oblouk.



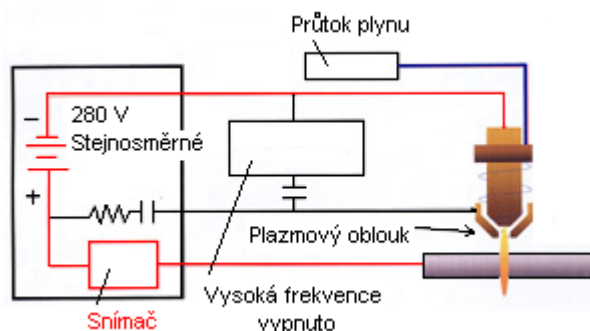
Obr. 4.3 Aktivace obvodu vysoké frekvence [18]

c) Za předpokladu, že tryska je blízko materiálu, pilotní oblouk se připojí k řezanému materiálu jako kladné části zdroje. Není tedy omezen odporem kladného pólu trysky. Proud řezané části je snímán elektronicky v napájecím zdroji. Jakmile je tento proud zjištěn, je vysokofrekvenční zdroj odpojen a řídicí relé vysokofrekvenční části oblouku je odpojeno. Ionizace plynu a oblouku je nyní zajištěna energií z hlavního stejnosměrného zdroje.



Obr. 4.4 Pilotní oblouk [18]

d) Teplota plazmového oblouku taví kov a proniká přes řezaný materiál. Vysoká rychlost plynu odstraňuje tavený materiál ze spodní části řezu. Ve stejném čase je zahájen řezací proces a pohybem hořáku začíná řezání.

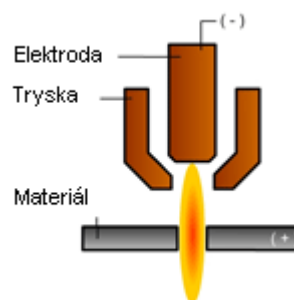


Obr. 4.5 Plazmový oblouk [18]

4.3 Varianty řezání plazmou [18]

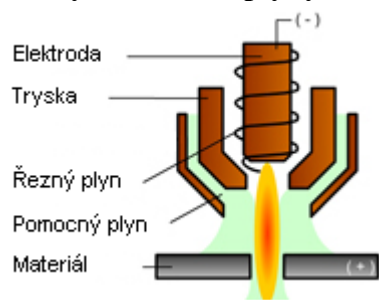
a) Konvenční řez

Při tomto řezání se používá jen jeden plyn (obvykle vzduch nebo dusík), který je současně použit jak k chlazení, tak i k tvorbě plazmatu. Většina těchto systémů je navržena se zdroji pod 100 A a pro řezání materiálu do tloušťky 16mm. Tento způsob se primárně používá pro ruční řezání.



Obr. 4.6 Konvenční řez [18]

b) Plazmový řez dvěma plyny

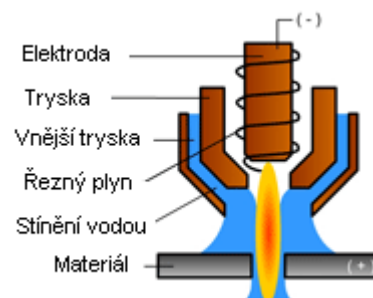


Obr. 4.7 Plazmový řez dvěma plyny [18]

Při tomto řezání se využívají dva plyny. Jeden pro tvorbu plazmatu a druhý jako pomocný plyn. Tento plyn se využívá k ochraně řezaného místa před okolní atmosférou a vytváří čistý ostrý řez. Toto je pravděpodobně nejpoblárnější varianta. Pro daný řezaný materiál můžeme použít různé kombinace plynů k vytvoření nejlepší možné kvality řezu.

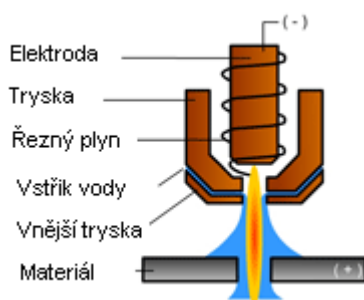
c) Řezání vodou stíněné

Toto je variace předchozího dvojího plynu, kde místo druhého plynu se používá voda. Voda zajišťuje vylepšené chlazení trysky a řezaného materiálu, současně s lepší kvalitou řezu při řezání nerezové oceli. Tento proces se hodí jen pro mechanizované aplikace.



Obr. 4.8 Vodou stíněné řezání plazmou [18]

d) Řezání se vstřikováním vody

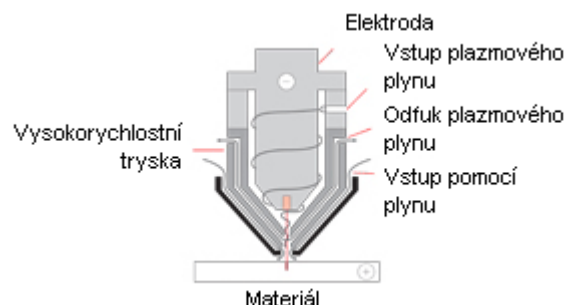


Obr. 4.9 Řezání se vstřikováním vody [18]

Tento proces využívá jeden plyn pro plazmu. Voda, která je vstřikována radikálně nebo turbulentně přímo do oblouku, zlepšuje seškracení oblouku a zvýší hustotu energie a teplotu oblouku. Tento řezací proces používá 260 A až 750 A pro vysoce kvalitní řezy rozličných materiálů a tloušťek. Používá se jen pro mechanizované aplikace.

e) Přesné plazmové řezy

Tento proces zajišťuje dokonalou kvalitu řezu tenkých materiálů (méně než 12 mm) při pomalých rychlostech posunu. Tato zvýšená kvalita je výsledkem využití posledních technologií k zúžení oblouku při dramatickém zvýšení hustoty energie. Menší rychlost je vyžadovaná proto, aby se pohybové ústrojí navádělo mnohem přesněji. Tento proces je pouze pro mechanizované aplikace.



Obr. 4.10 Přesné plazmové řezy [18]

4.4 Výhody a nevýhody plazmového řezání [17]

Výhody:

- řezání všech elektricky vodivých materiálů
- řezání vysoce pevné konstrukční oceli s menším tepelným příkonem
- provoz jednoho a více hořáků podle série
- bez alternativy při řezání vysokolegované oceli a hliníkových materiálů ve střední a větší tloušťce
- vynikající schopnost u slabých a středních tloušťek konstrukční oceli (do 30 mm)
- řezání vysoce pevné konstrukční oceli s menším tepelným příkonem
- vysoká řezná rychlost
- velmi dobrá automatizace
- řezání plazmou pod vodou pro velmi malé tepelné ovlivnění řezaného materiálu a malou hladinou hluku v okolí pracoviště

Nevýhody:

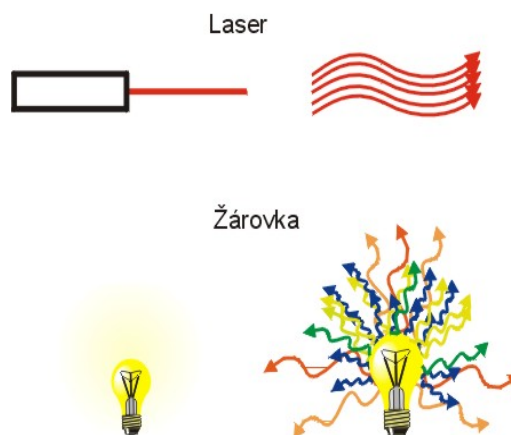
- použití omezeno do 160 mm (180 mm) tloušťky u suchého řezání a 120 mm u řezání pod vodou
- poněkud širší řezná spára
- zaoblení horní hrany
- řezatelné pouze elektricky vodivé materiály
- obtížné propalování tloušťek nad 15 mm

5 LASER [20], [22], [25], [31], [38]

Historie laseru sahá do roku 1916, kdy Albert Einstein ve své práci poprvé upozornil na možnost existence kromě spontánní, i stimulované emise.

"LASER" je zkratka složená z počátečních písmen anglického názvu "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", tj. zesilování světla stimulovanou emisí záření.

Je to optický zdroj světla, kde světlo je vyzařováno v podobě úzkého paprsku. Oproti běžným světelným zdrojům (např. žárovka) je světlo koherentní a monochromatické, viz obr. 5.1. Koherentní znamená, že svazek má stejnou vlnovou délku (barvu) a stejný směr (vyzařuje jeden bod). Monochromatické se vyznačuje tím, že světelný paprsek má stejnou barvu (vlnovou délku).



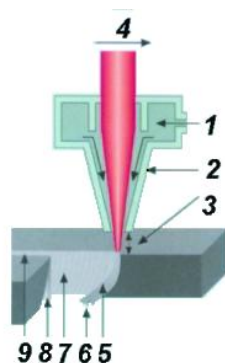
Obr. 5.1 Srovnání záření laseru a žárovky [25]

5.1 Řezání laserem [23], [30], [32], [37]

Tepelné dělení materiálu je založeno na vysoké hustotě výkonu, který je produkován laserovým zařízením. Po dopadu svazku na materiál dochází k jeho prudkému ohřevu, natavení a odpaření. Z fyzikálního hlediska jsou známy tři způsoby vytváření řezné spáry:

- sublimační - materiál je odstraněn převážně odpařováním (důsledek vysoké intenzity záření laseru v místě řezu).
- tavné - v místě řezu je materiál roztaven a asistenčním plynem odfukován. Vhodné pro nekovové materiály (např. keramika, plasty, dřevo, sklo).
- pálením - paprsek laseru ohřeje materiál na zápalnou teplotu, materiál poté shoří v exotermické reakci s přiváděným asistenčním plynem. Vhodné pro řezání korozivzdorné ocele, titanu, ocele s nízkým obsahem uhlíku.

Pro odstraňování taveniny, oxidů a výparů se využívají asistenční plyny, které jsou přiváděny do místa řezu tryškou, jejímž středem prochází laserový svazek, viz obr. 5.2. Jako asistenční (řezací) plyn se používá kyslík, dusík nebo argon u speciálních materiálů.



- 1 - asistenční plyn
- 2 - řezací tryška
- 3 - pracovní vzdálenost trysky
- 4 - rychlost
- 5 - tavenina
- 6 - odtavený materiál
- 7 - stopy po paprsku laseru
- 8 - tepelně ovlivněná oblast
- 9 - šířka řezu

Obr. 5.2 Princip metody řezání laserem [32]

Řezací plyn (kyslík, dusík nebo argon) se volí podle druhu materiálu a požadované kvality. Kyslík chemicky reaguje s řezaným materiálem, to nám zajistí vyšší řezné rychlosti oproti dusíku. Kyslík se využívá pro řezání nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. U vysokolegovaných ocelí kyslík způsobí vznik těžko odstranitelné strusky v oblasti řezných hran.

Dusík se tedy využívá pro řezání vysokolegovaných ocelí, hliníku a jeho slitin. Při řezání dusíkem je snížena řezná rychlost a maximální řezná tloušťka, což lze částečně kompenzovat zvýšením tlaku asistenčního plynu

Argon je velmi drahý plyn, proto se výhradně využívá při řezání vysoce reaktivních materiálů jako je titan a jeho slitiny nebo zirkonium. Tyto kovy musí být chráněny před účinky kyslíku a dusíku, popř. vzduchu.

Základní charakteristiky procesu řezání laserem:

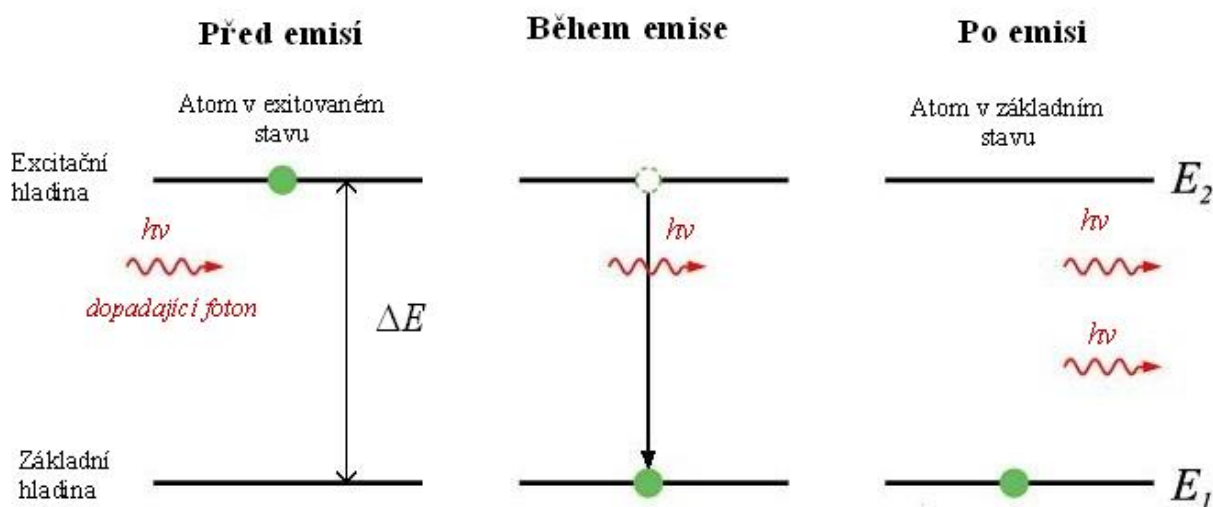
- rychlost řezání - závisí na způsobu řezání, výstupním výkonu paprsku laseru, požadované kvalitě řezu, tloušťce a druhu řezaného materiálu
- kvalita řezu - hodnotí se dle jakosti řezané plochy a tloušťky tepelně ovlivněné oblasti
- šířka řezné spáry - je dána druhem laseru, druhem a tloušťkou řezaného materiálu

5.2 Princip laseru [15], [31], [34], [35], [38]

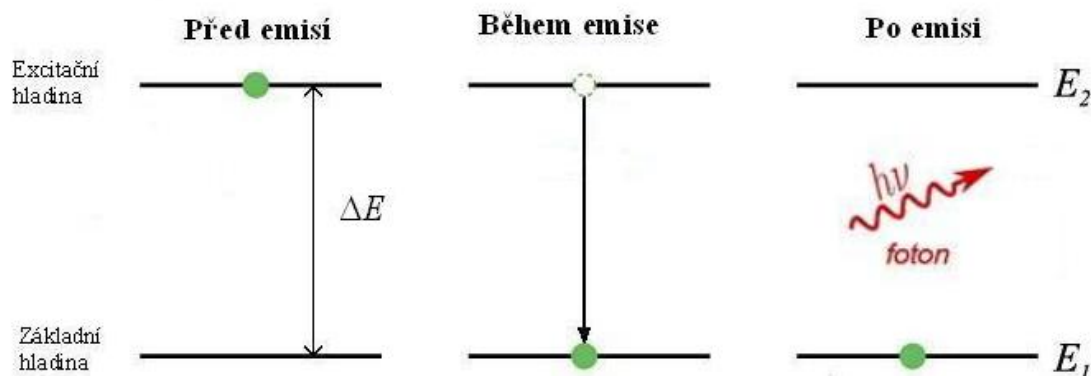
Existuje velké množství různých typů laserů generátorů, ale každý v sobě zahrnuje tři základní součásti:

1. *laserové aktivní prostředí* - zde probíhá zesilování záření
2. *zdroj čerpání* - pro vybuzení aktivního prostředí
3. *rezonátor (optický nebo laserový)* - vytváří zpětnou vazbu mezi zářením a aktivním prostředím, které vede k laserovému kmitání

Proces stimulované emise má základní význam pro funkci laseru. Stimulovaná emise je charakterizována tak, že nabuzený atom nacházející se na vyšší energetické hladině pod vlivem dopadajícího záření vyzařuje energii a přechází na nižší energetickou úroveň, viz obr 5.3.

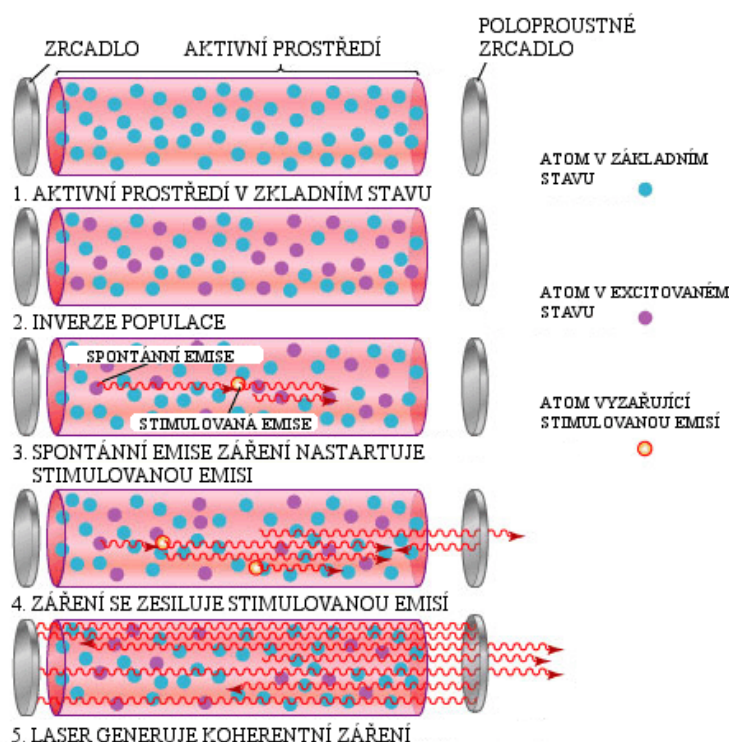


Obr. 5.3 Schéma stimulované emise: vlevo: atom v excitovaném stavu a dopadající foton, uprostřed: přechod atomu do základního stavu a emise fotonu, vpravo: atom v základním stavu a dva odchozí fotony stejné vlnové délky, polarizace a směru [35]



Obr. 5.4 Schéma spontánní emise: vlevo: atom v excitovaném stavu, uprostřed: přechod atomu do základního stavu, vpravo: atom v základním stavu a odchozí foton náhodné polarizace a směru s energií rovnou rozdílu energetických hladin [34]

Obecný princip laseru je následující: zdroj budící energie zajišťuje, aby se v aktivním prostředí nacházelo dostatečné množství soustav v excitovaném (nabuzeném) stavu. Poté, co některá soustava aktivního prostředí přejde náhodně spontánní emisí, viz obr 5.4, na nižší hladinu, bude uvolněné množství stimulovat i další soustavy k přechodu na spodní energetickou hladinu a emisi fotonů. Část fotonů se může opět absorbovat. Pokud však bude v aktivním prostředí více soustav v excitovaném stavu, bude se optické záření zesilovat. Spontánní emise se stane zanedbatelnou vzhledem k emisi stimulované a generované záření bude koherentní a monochromatické. Aby se zajistila směrovost laserového záření, formuje se aktivní prostředí do dlouhého válce a je umístěno uvnitř optického rezonátoru. Ten zajišťuje



Obr. 5.5 Schéma čerpání a vzniku stimulované emise v rezonátoru [15]

selektivní kladnou vazbu systému - jen rezonující fotony se budou zesilovat. Její velikost lze nastavit tak, aby byla maximální pro laserový paprsek požadovaných vlastností. Po dostatečném zesílení je laserový svazek z rezonátoru vyveden.

Aktivní prostředí rezonátoru je umístěné mezi dvěma zrcadly, ze kterých je jedno polopropustné. Polopropustné zrcadlo přepustí část vzniklé světelné vlny ven z aktivního prostředí a druhá část vlny se vrací zpět, kde umožňuje další zesílení světla. Nejjednodušším a nejrozšířenějším rezonátorem je rovinný rezonátor s paralelními zrcadly. Dalším používaným typem jsou konfokální rezonátory, polokoncentrické anebo prstencové (kruhové) rezonátory.

5.3 Rozdělení laseru [6], [31], [38], [39]

a) Aktivní prostředí

V závislosti na použitém laserovém prostředí mohou lasery produkovat záření různé barvy (vlnové délky).

- **Pevnolátkové lasery**

Do této skupiny laserů lze zařadit všechny lasery, jejichž aktivní prostředí se nachází v pevném stavu. Nejvýznamnější je neodymový YAG laser, který generuje infračervené záření. Využívá syntetický monokrystal yttrium-aluminiového granátu.

Pevnolátkové lasery jsou schopny pracovat ve všech možných režimech a jsou velmi flexibilní. Generované vlnové délky pokrývají viditelnou a infračervenou oblast. Jejich výhoda spočívá v robustnosti, stabilitě a v malých nárocích na údržbu a provozní podmínky.

- **Kapalinové lasery**

Médiem laseru je roztok barviva, díky němuž může být barva laserového světla měněna v širokém rozmezí.

Toxicita a krátká životnost aktivního prostředí (účinkem tepla a světla se rozkládá) je jejich hlavní nevýhoda.

- **Plynové lasery**

U plynových laserů vzniká paprsek v plynném prostředí, kterým je nejčastěji argon, helium nebo neon či jejich směsi. Světelná emise vzniká po přivedení dostatečně vysokého napětí na elektrody, umístěné uvnitř trubice s plynem. Plynové lasery pro průmyslové využití mohou dosahovat i velmi vysokých výkonů. Jejich nevýhodou je nutnost složitého chlazení i relativní nákladnost. Nejdůležitější jsou CO₂ laser a excimerový laser.

Výhoda těchto laserů je jejich vysoká účinnost, homogenita aktivního prostředí a nízká rozbíhavost. Nevýhoda je však v malém výkonu.

- **Polovodičové / diodové lasery**

Nejmenší typy laserů, u kterých k účinnému vytváření světelného paprsku dochází v laserovém prostředí s velmi malým objemem.

Vyznačují se vysokou účinností a dosahují vysokých výkonů při malých rozměrech.

b) Vlnová délka záření

Podle vlnové délky, kterou má dané laserové zařízení, dělíme lasery do těchto kategorií:

- infračervené lasery
- lasery viditelného pásma
- ultrafialové lasery
- rentgenové lasery

c) Délka generovaného impulsu

Lasery dělíme podle délky pulsu, kterou má dané laserové záření

- kontinuální lasery
- pulzní - zdroj mohutných světelných záblesků

d) Typ čerpání

Dle typu buzení rozlišujeme lasery buzené:

- opticky (světlem) - Nd:YAG, vláknové lasery
- elektrickým výbojem - CO₂, He-Ne, excimerové lasery
- injekcí nosičů náboje (elektrickým proudem) - laserové diody
- chemicky - chemické lasery používané v armádě
- elektronovým svazkem
- tepelnými změnami
- rekombinací

5.4 Výhody a nevýhody laserového řezání [17]

Výhody:

- vysoká přesnost řezaných dílů u slabých a středních tloušťek materiálu
- řezání velmi malých otvorů, úzkých pásků, výroba komplexních obrysových dílů
- pravoúhlá řezná hrana
- velmi dobrá automatizace
- velmi malé přivedené teplo, žádné deformace obráběného předmětu
- velmi malá šířka řezné spáry
- vysoká řezná rychlost u tenkých materiálů
- lze řezat téměř všechny technické materiály

Nevýhody:

- vysoké investiční a provozní náklady (vysoká spotřeba plynů)
- u středně tlustých materiálů žádná přímá hladká řezná plocha
- omezení tloušťky materiálu
- omezení stability paprsku u řezání konstrukční oceli
- snížení stability procesu u řezání lesknoucích se povrchů materiálu
- menší účinnost

6 VODNÍ PAPERSEK [14], [33]

Historie využití vodního paprsku sahá do 50. let 20. století, kdy se začalo experimentovat s využitím síly vodního paprsku při řezání dřeva. Tato technologie byla vylepšena v 70 letech, kdy se při řezání začalo využívat abraziv. Tehdy byla vyvíjena především pro vojenský a kosmický program. Dnes se rozšiřuje do všech oblastí průmyslu.

6.1 Princip řezání vodním paprskem [1], [14], [19], [40]

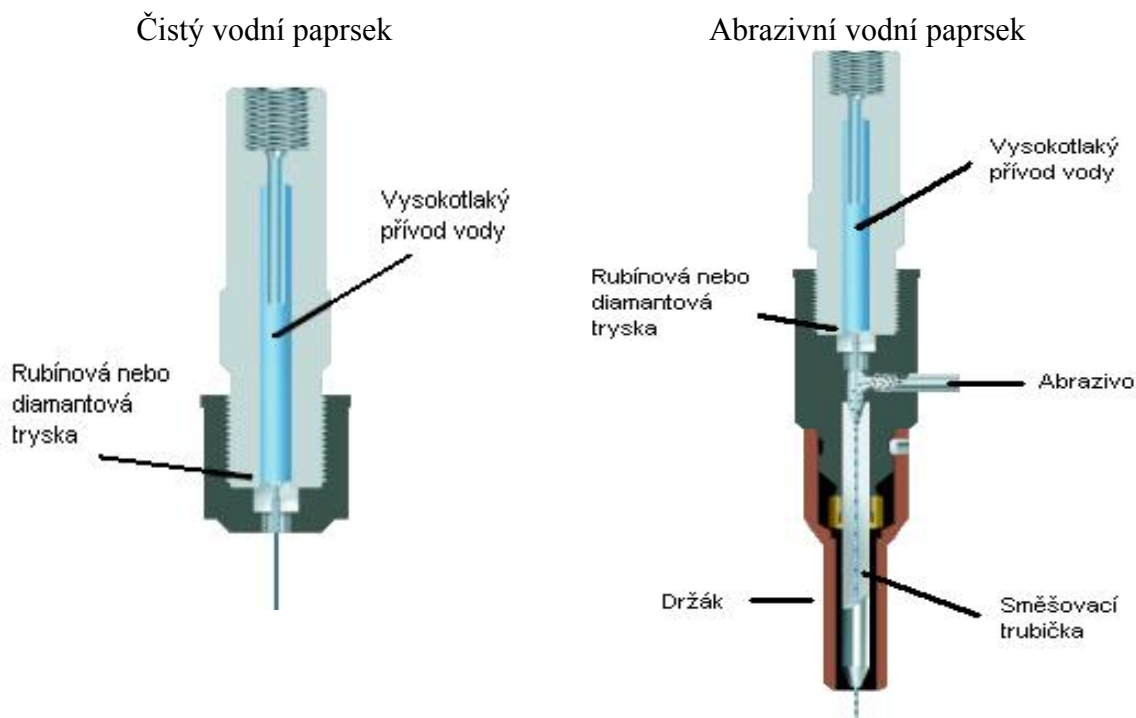
Podstata této metody dělení materiálu spočívá v obrušování děleného materiálu tlakem vodního paprsku. Pracovní tlak vody se pohybuje v rozmezí 800 - 4100 Bar. Jako zdroj tlaku slouží vysokotlaká čerpadla, která se liší příkonem (9 - 75 kW) a průtokem vody (1,2 - 7,6 l/min). Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené tryskou

Při zpracování měkkých materiálů se používá čistý vodní paprsek, pro ostatní materiály je použito abrazivního paprsku. Abrazivo si volí dle tvrdosti řezaného materiálu.

Dělený materiál není silově namáhán. Řezná hrana není tepelně ovlivněna, jedná se tedy o studený řez, který odlišuje vodní paprsek od ostatních technologií na dělení materiálů.

Jak je uvedeno výše, existují dva typy technologie:

- řezání čistou vodou (bez abraziva)
 - tato technologie se nejvíce využívá pro dělení měkkých materiálů, jako je papír nebo díly automobilových interiérů.
- řezání abrazivním vodním paprskem
 - u abrazivního vodního paprsku slouží vodní paprsek k urychlování abrazivních částic. Uplatnění pro abrazivo je v řezání tvrdých materiálů jako jsou kovy, kámen, keramika a jiné.



Obr. 6.1 Čistý vodní paprsek (bez abraziva) a abrazivní vodní paprsek [40]

Technologii řezání vodním paprskem lze využít pro dělení různých materiálů, například všechny typy ocelí včetně nerezových, kalených, slitiny hliníku, mědi, titanu, niklu apod., plasty, sklo (výjimka je sklo kalené), mramor, žula, pískovec, těsnicí a pěnové materiály a jiné.

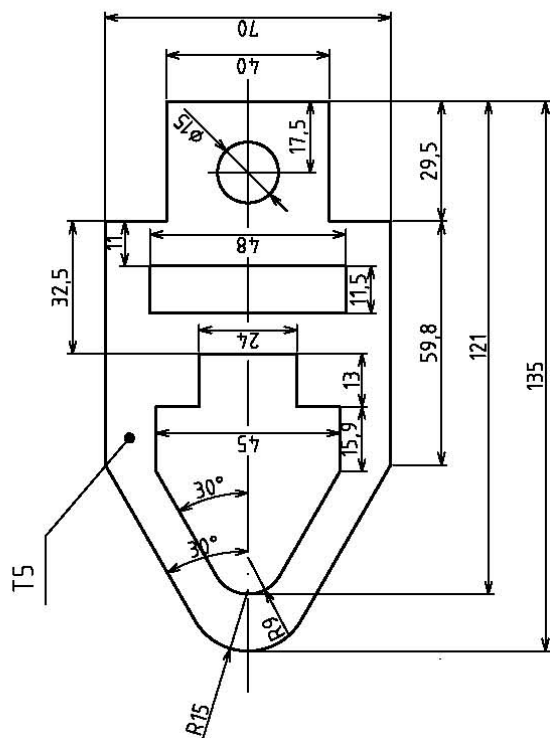
6.2 Výhody a nevýhody řezání vodním paprskem [17]

Výhody:

- řezání od kovových, nekovových a kompozitních materiálů, velkých tloušťek
- nevznikají tepelně ovlivněné zóny
- žádná mechanická pnutí
- úzká řezná spára, vertikální řezání, přesná geometrie, vynikající kvality řezu
- přesná geometrie řezaných materiálů
- dobrá automatizace průběhu řezání
- řezání ve více vrstvách
- provoz s více řezacími hlavami

Nevýhody:

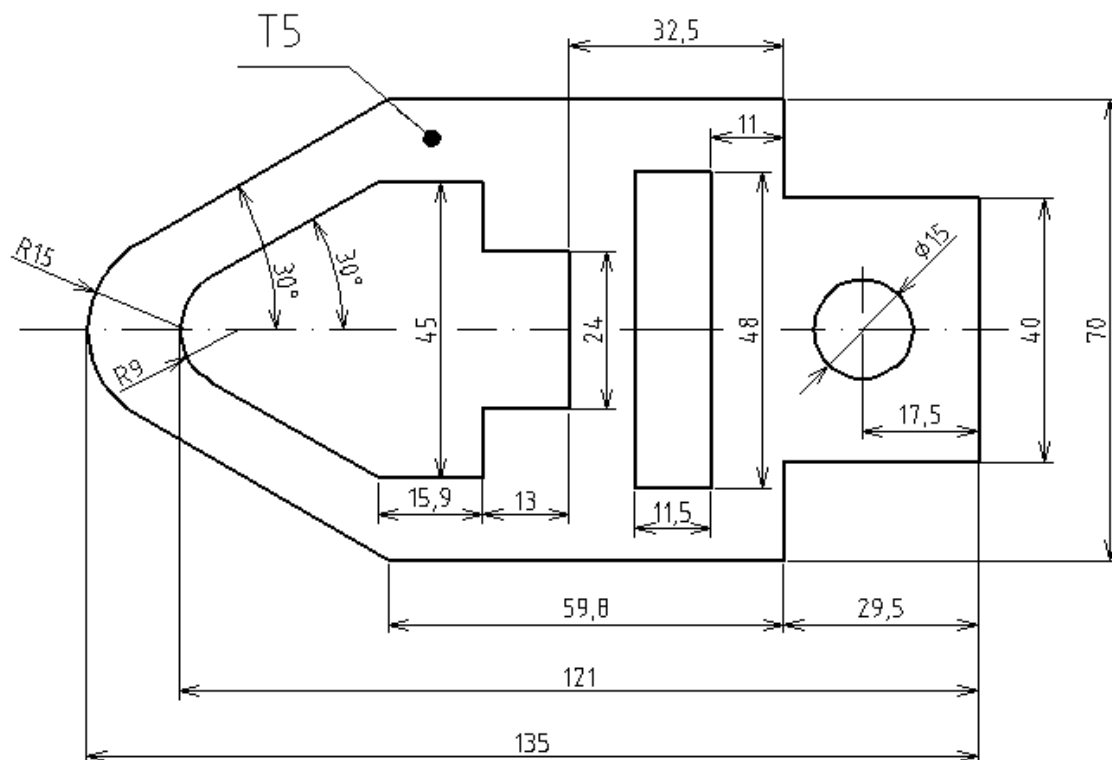
- vysoké investiční a provozní náklady
- relativně malá řezná rychlost
- hlučný a mokrá způsob řezání
- omezená možnost výroby hodně malých dílců
- možnost změna barvy či znečištění některých materiálů
- kovové materiály nutno vhodně ošetřit



Struktura povrchu:		Hrany:		Měřítko		Přesnost
				1:1		Tolerování
						Proměření
						CHRAŇENO PODLE ISO 16016
	Hmotnost		kg		Házev	
	Druh dokumentu				BEZPEČNOSTNÍ POJISTKA	
	Kreslil				Číslo dokumentu	
	Schválil				3-5060-DP/02	
Datum vydání						List /

7 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Dle zadání se bude součást vyrábět v postupovém střížném nástroji. Bude vyráběna z oceli 11 375 o tloušťce 5 mm ve výrobní sérii 380 000 kusů za rok. Rozměry součásti jsou uvedeny na obr. 7.1. Tolerance netolerovaných rozměrů jsou uvedeny v tabulce mezních úchylek délkových rozměrů - střední třída přesnosti, viz tab. 7.1.



Obr. 7.1 Rozměry zadané součásti

Tab. 7.1 Mezní úchylky délkových rozměrů [21]

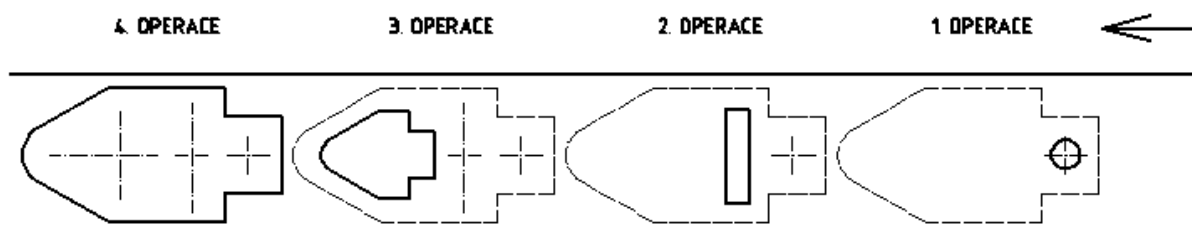
Třída přesnosti		Mezní úchylky pro základní rozsah rozměrů				
Označení	Název	0,5 do 3	přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400
m	střední	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$

7.1 Volba nástřihového plánu

Tvar součásti umožňuje několik variant nástřihového plánu. Výroba součásti je uvažována ve 4 operacích. V první operaci bude vystřižen kruhový otvor, který bude použit k zahledání. Ve druhé a třetí operaci se vystřihnou zbylé vnitřní otvory a poslední operace, tedy čtvrtá, bude použita k vystřižení celkového tvaru součásti.

1. Varianta č. 1

Umístění výstřižků v první variantě nástřihového plánu je podélné: ve směru pohybu pásu plechu v nástroji je umístěna osa výstřižku viz obr. 8.2.

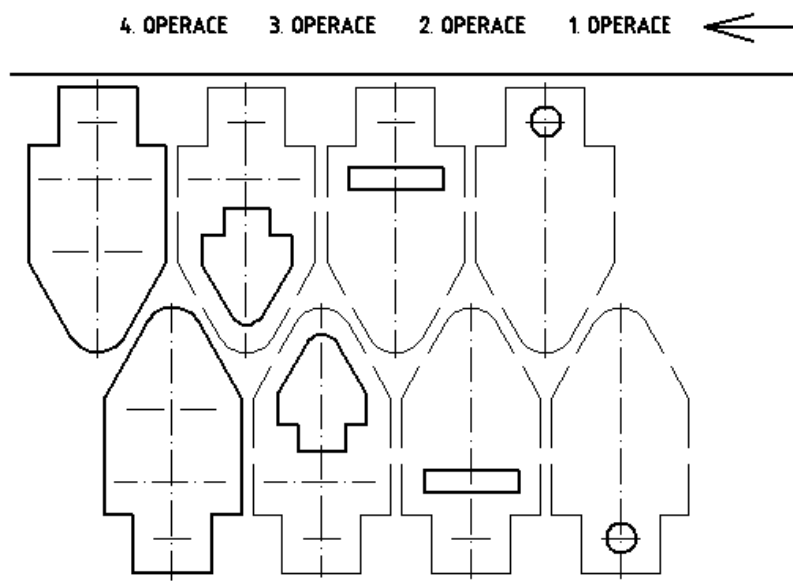


Obr. 7.2 Nástřihový plán - varianta č. 1

2. Varianta č. 2

Ve druhé variantě je umístění výstřižků takové, že osa výstřižku bude kolmá na směr pohybu pásu plechu v nástroji. Výstřižky jsou umístěny ve dvou řadách z důvodu lepšího využití materiálu, viz obr. 8.3. U této varianty je nutnost otáčet pás plechu po vystřížení jedné řady.

Otáčení plechu je nevýhodou této varianty. Avšak jednotlivé kroky jsou kratší, což je výhodné pro rozměry nástroje. Z důvodu výrobní série a tloušťky materiálu je manipulace s materiálem (otáčení pásu plechu), a tím i tato varianta, nevýhodná. Proto v dalších výpočtech a kapitolách nebude druhá varianta zmiňována.

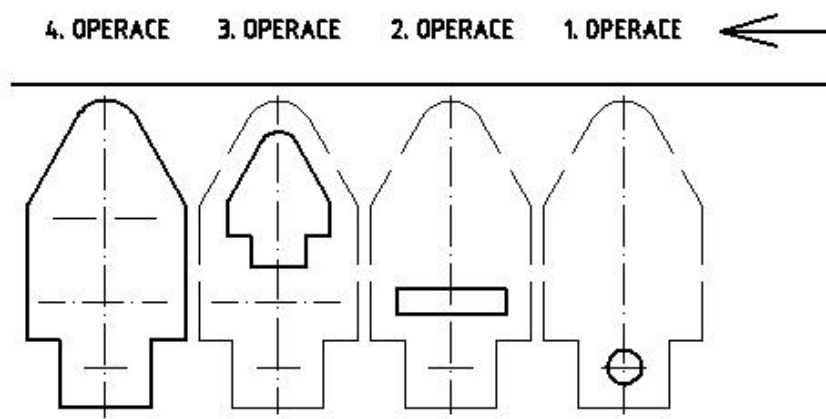


Obr. 7.3 Nástřihový plán - varianta č. 2

3. Varianta č. 3

Umístění výstřižků ve třetí variantě je opět takové, že osa výstřižku bude kolmá na směr pohybu pásu plechu v nástroji, viz obr. 8.3, ale jen v jedné řadě. Oproti první variantě je délka kroku kratší, což je výhodnější pro rozměrnost nástroje.

Tato varianta je výhodnější jak pro rozměrnost nástroje, tak i pro tloušťku materiálu a výrobní sérii. Oproti první a třetí variantě má druhá varianta vyšší využití tabule plechu, avšak je nevýhodná kvůli otáčení plechu.



Obr. 7.4 Nástřihový plán - varianta č. 3

Byla vybrána třetí varianta nástřihového plánu a to z důvodu výhodnějšího rozměru nástroje a nejvyššího využití tabule plechu, které bylo počítáno pro standardní rozměry tabule plechu. Rozměry a využití tabule plechu jsou uvedeny v tab. 7.2.

Výpočet využití tabule plechu pro zvolenou variantu je uvedeno v kapitole 7.3.2.

Tab. 7.2 Využití tabule plechu

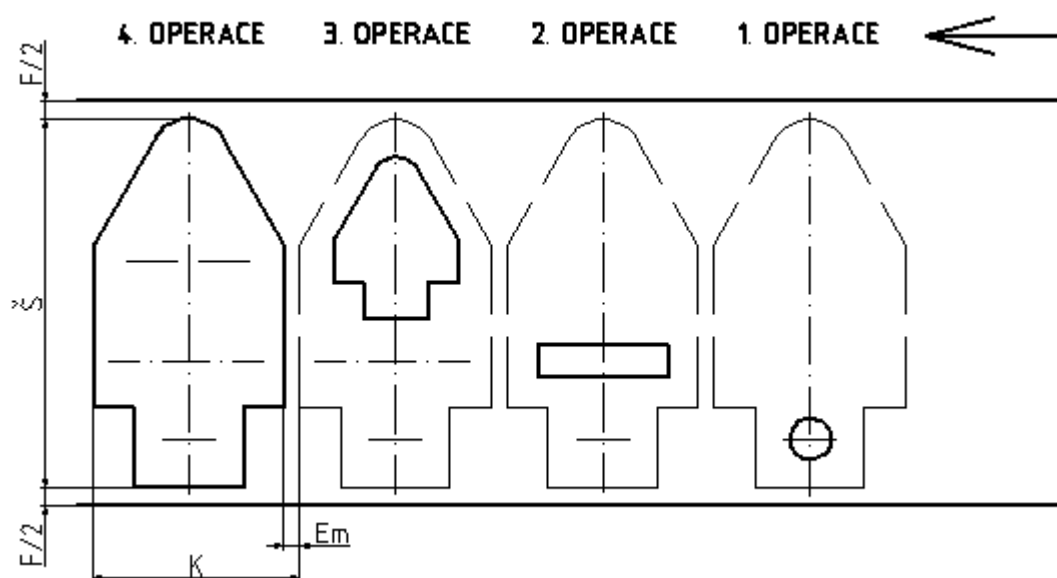
Rozměr tabule plechu	1. Varianta	3. Varianta
Využití tabule plechu [%]		
1 000 x 2 000	61,65 %	57,25 %
2 000 x 1 000	61,65 %	62,02 %
1 250 x 2 500	59,88 %	60,12 %
2 500 x 1 250	56,36 %	56,36 %
1 500 x 3 000	61,65 %	63,61 %
3 000 x 1 500	57,71 %	61,98 %

7.2 Zvolený nástřihový plán

Výstřižky jsou vyráběny z pásu plechu, který je vystřižen z tabule plechu o rozměrech 1500 x 3 000 mm z materiálu 11 375.

Jak již bylo uvedeno, výstřižek se bude vystřihovat ve čtyřech krocích. První krok slouží k vložení pásu mezi vodící lišty, kde se dorazí na první načínací doraz. V první operaci se děruje otvor o průměru 15 mm, který bude také sloužit pro zahledání pásu. V druhém kroku se pás plechu posune ke druhému dorazu. Ve druhé operaci se zahledá otvor o průměru 15

mm a děruje se otvor 11,5 x 48. V předposledním kroku, tedy třetím, se opět posune pás až ke třetímu dorazu a děruje se vnitřní otvor ve tvaru šipky. V posledním, čtvrtém, kroku se vystřihne tvar součásti.



Obr. 7.5 Zvolený nástřihový plán

Velikost můstku

E_m ... určen z přílohy 1 6 mm

Velikost okraje

F ... určen z přílohy 1 13 mm

Šířka součásti

$\check{s}$... dle přílohy 10 135 mm

Délka součásti

D ... dle přílohy 10 70 mm

Šířka pásu

$\check{s}_p$... šířka pásu plechu

$\check{s}_p = \check{s} + F = 135 + 13$ (4.1) 148 mm

Krok

K ... velikost kroku

$K = D + E_m = 70 + 6$ (4.2) 76 mm

7.3 Technologické a kontrolní výpočty

Technologické výpočty slouží k získání potřebných informací k navržení nástroje a stroje. Kontrolní výpočty jsou důležitou součástí při navrhování nástroje a stroje. Z jejich výsledků můžeme posoudit, zda navržený nástroj vyhovuje silovému zatížení a jestli navržený stroj vyvine dostatečnou tvářecí sílu.

7.3.1 Výpočet spotřeby materiálu [11]

Počet pásů z jedné tabule

$$P_p = \frac{1\,500}{\check{s}_p} = \frac{1\,500}{148} = 10,14 = 10 \text{ ks pásů} \quad (4.3)$$

Kde P_p ... počet pásů z jedné tabule [ks]

Počet kusů výstřížků z jednoho pásu

$$P_{kp} = \frac{3\,000}{K} = \frac{3\,000}{76} = 39,47 = 39 \text{ ks} \quad (4.4)$$

Kde P_{kp} ... počet kusů výstřížků z jednoho pásu [ks]

Počet kusů výstřížků z jedné tabule

$$P_{kt} = P_{kp} \cdot P_p = 10 \cdot 39 = 390 \text{ ks} \quad (4.5)$$

Kde P_{kt} ... počet kusů výstřížků z jedné tabule [ks]

Počet tabulí na zhotovení 380 000 ks

$$V_{tab} = \frac{380\,000}{P_{kt}} = \frac{380\,000}{390} = 974,36 = 975 \text{ ks} \quad (4.6)$$

Kde V_{tab} ... počet tabulí na zhotovení výrobní série [ks]

7.3.2 Využití tabule plechu [11]

Obsah výstřížku byl zjištěn v programu Autodesk Inventor Professional 2008

Obsah: $S_v = 7\,339,15 \text{ mm}^2$

$$\frac{S_v \cdot P_{kt}}{S_t} \cdot 100 = \frac{7\,339,15 \cdot 390}{1\,500 \cdot 3\,000} = 63,61 \% \quad (4.7)$$

Kde S_v ... obsah výstřížku [mm²]
 S_t ... obsah tabule plechu [mm²]

Objem tabule plechu o rozměrech 1 500 x 3 000 mm

$$V = a \cdot b \cdot t = 1\,500 \cdot 3\,000 \cdot 5 = 22\,500\,000 \text{ mm}^3 = 0,0225 \text{ m}^3 \quad (4.8)$$

Kde V ... objem tabule plechu [mm³]
 a ... šířka tabule plechu [mm]
 b ... délka tabule plechu [mm]

Hmotnost jedné tabule plechu o rozměrech 1 500 x 3 000 mm

$$m = \rho \cdot V = 7\,850 \cdot 0,0225 = 176,63 \text{ kg} \quad (4.9)$$

Kde m ... hmotnost tabule plechu [kg]
 ρ ... hustota oceli [kg/m³]

Hmotnost tabulí pro zhotovení výrobní série 380 000 ks

$$m_{vs} = V_{tab} \cdot m = 975 \cdot 176,625 = 172\,209,38 \text{ kg} \quad (4.10)$$

Kde m_{vs} ... hmotnost tabulí pro danou sérii [kg]

Odpad

$$100 - 63,21 = 36,79 \% \quad (4.11)$$

Celková hmotnost odpadu

$$m_o = m_{vs} \cdot 36,79 / 100 = 172\,209,38 \cdot 0,3679 = 63\,355,83 \text{ kg} \quad (4.12)$$

Kde m_o ... celková hmotnost odpadu [kg]

7.3.3 Výpočet střížné síly a střížné práce

Celková střížná síla je velmi důležitá z hlediska volby střížného stroje a je počítána pro jeden výstřížek. Výpočtem této síly je zajištěno, že při správném výběru stroje, nedojde k jeho přetížení.

a) Střížná síla

Střížná síla je vypočítána dle kapitoly 3.2.

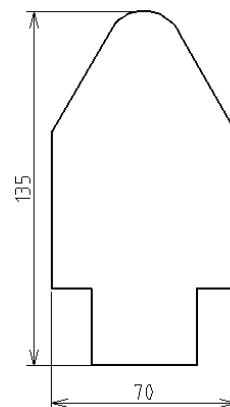
Střížná síla pro tvar (obr. 8.6)

$$F_{s1} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (4.13)$$

$$F_{s1} = 1,3 \cdot 368,21 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 400$$

$$F_{s1} = 1\,486\,801,66 \text{ N} = 1\,486,8 \text{ kN}$$

$l = 368,21 \text{ mm} \rightarrow$ zjištěno programem Autodesk Inventor Professional 2008



Obr. 7.6 Vnější tvar

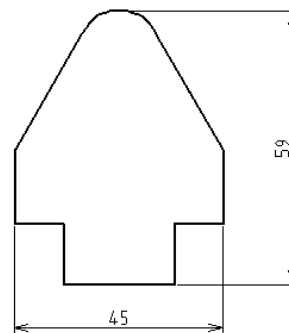
Střížná síla pro vnitřní otvor (obr. 8.7)

$$F_{s2} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (4.14)$$

$$F_{s2} = 1,3 \cdot 180,47 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 400$$

$$F_{s2} = 375\,385,09 \text{ N} = 375,4 \text{ kN}$$

$l = 180,47 \text{ mm} \rightarrow$ zjištěno programem Autodesk Inventor Professional 2008



Obr. 7.7 Vnitřní otvor

Střížná síla pro otvor 11,5 x 48 mm

$$F_{s3} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (4.15)$$

$$F_{s3} = 1,3 \cdot [2 \cdot (11,5 + 48)] \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 400$$

$$F_{s3} = 247\,520 \text{ N} = 247,5 \text{ kN}$$

Střížná síla pro otvor $\varnothing 15 \text{ mm}$

$$F_{s4} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_{s4} = 1,3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 7,5) \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 400 \quad (4.16)$$

$$F_{s4} = 98\,017,69 \text{ N} = 98 \text{ kN}$$

Celková střížná síla

$$F_{s\text{cel}} = F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} \quad (4.17)$$

$$F_{s\text{cel}} = 98 + 247,5 + 375,4 + 1\,486,8$$

$$F_{s\text{cel}} = 2\,207,7 \text{ kN}$$

b) Střížná práce

Střížná práce

$$A = k \cdot F_{s\text{cel}} \cdot t \cdot 10^{-3} = 0,35 \cdot 2\,207\,700 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 3\,863,47 \text{ J} \quad (4.18)$$

Dle kapitoly 3.2 tabulky 3.1 pro oceli $R_m = 350$ až 500 MPa a tloušťku materiálu 5 mm je hodnota koeficientu $k = 0,4 - 0,3$. Zvoleno $k = 0,35$.

7.3.4 Výpočet střížné vůle

Střížná vůle

$$m = v / 2 = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot 0,32 \sqrt{\tau_s} \quad (4.19)$$

$$m = (1,5 \cdot 0,01 \cdot 5 - 0,015) \cdot 0,32 \sqrt{(0,8 \cdot 400)} = 0,34 \text{ mm}$$

$$v = 2 \cdot m = 2 \cdot 0,34 = 0,68 \text{ mm}$$

7.3.5 Pevnostní výpočet střížného nástroje [26], [27]

Pevnostní výpočty pro střížník

- Kontrola na namáhání tlakem

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S} \leq \sigma_{dov} \quad (4.20)$$

Kde F_s ... střížná síla [N]
 S ... plocha průřezu střížníku [mm²]
 σ_{dov} ... dovolené namáhání střížníku na tlak [MPa]

Pro nástrojové materiály je $\sigma_{dov} = 1\,600 - 2\,000 \text{ MPa}$

Výpočet pro střížník ø 15 mm:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{98\,017,69}{176,7} = 554,67 \text{ [MPa]}$$

$$\sigma_s = 554,67 \leq \sigma_{dov} \rightarrow \text{podmínka je splněna}$$

Jestliže je namáhání na dosedací ploše střížníku v kotevní desce větší jak 180 MPa, je nutné použít v upínací hlavici kalenou opěrnou desku.

$\sigma_s > 180 \text{ MPa} \rightarrow$ je nutné použít opěrnou desku

- Kontrola střížníku na vzpěr:

Uvedený vzorec platí pro vedený střížník ø 15, nejmenší průměr na výstřižku.

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 2\,485,05}{1,8 \cdot \pi \cdot 15 \cdot 5 \cdot 0,8 \cdot 400}} = 389,67 \text{ mm} \quad (4.21)$$

$$E = 2,1 \cdot 10^5$$

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = 0,05 \text{ d}^4$$

Kde l_{krit} ... kritická délka střížníku [mm]
 E ... modul pružnosti v tahu ($E = 2,1 \cdot 10^5$) [MPa]
 I ... moment setrvačnosti průřezu [mm⁴]
 μ ... koeficient bezpečnosti ($\mu = 1,5 \div 2$) [-]
 d ... průměr střížníku [mm]

Střížník by neměl být delší než 389,7 mm.

Pevnostní výpočet pro střižnici

- Výpočet ohybového napětí

Celistvé střižnice je možné považovat za rovinné desky, které jsou namáhané ohybem. Tlak je rovnoměrně rozložen na střižném obvodu.

Pro hrubou kontrolu tloušťky střižnice H se může použít vztah:

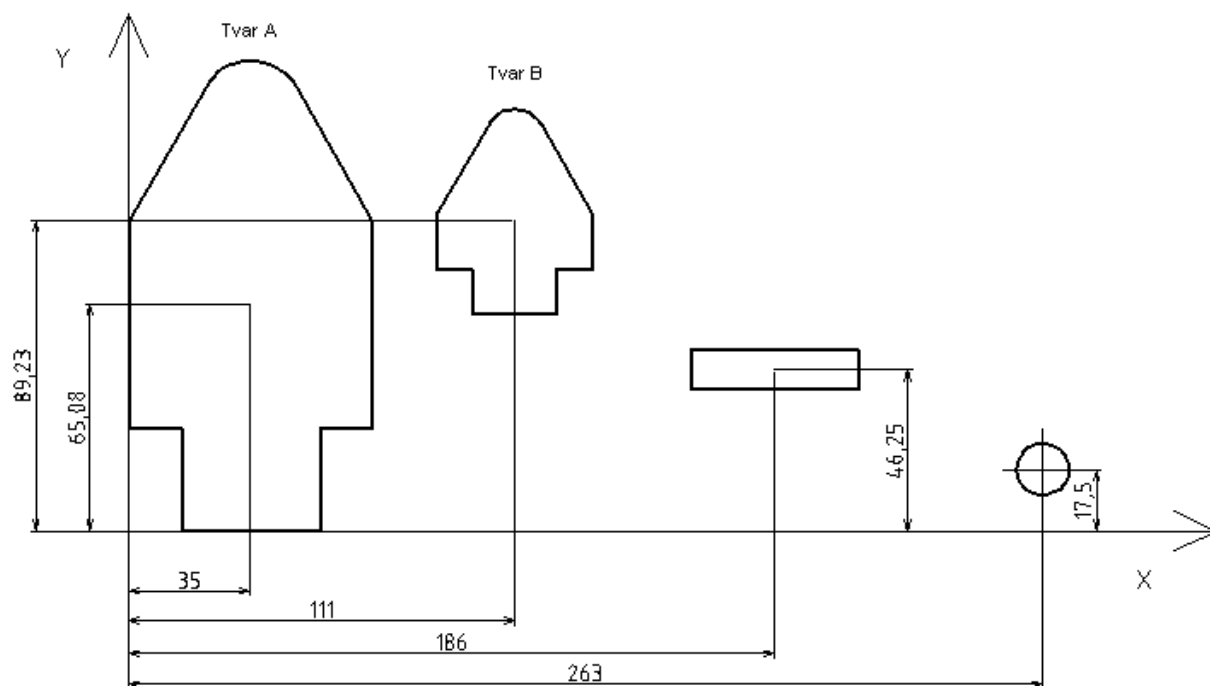
$$H = 1,3 \cdot \sqrt{(d \cdot t)} = 1,3 \cdot \sqrt{(15 \cdot 5)} = 11,26 \text{ mm} \quad (4.22)$$

Kde H ... tloušťka střižnice [mm]

Minimální tloušťka střižnice je 12 mm.

7.3.6 Těžiště střižných sil

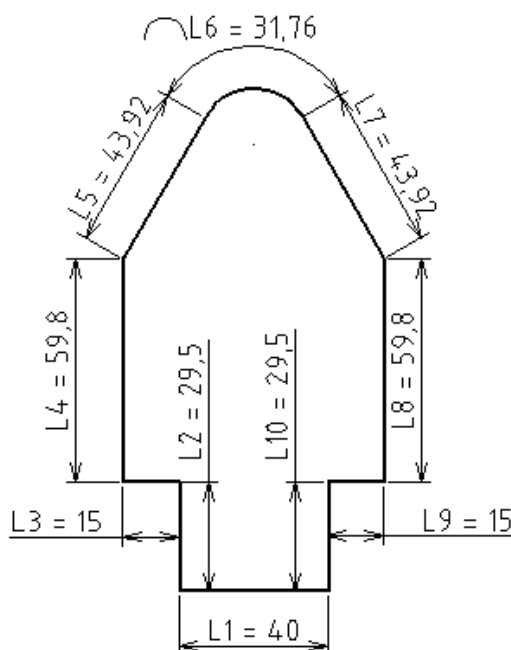
Těžiště střižných sil je stanoveno početní metodou a je důležité z důvodu správného připevnění upínací hlavice nástroje k beranu lisu za pomoci upínací stopky.



Obr. 7.8 Souřadnice os jednotlivých otvorů

Těžiště pro tvar A

Pro složitost tvaru A je těžiště vypočítáno níže:



Tab. 8.2 Rozměry délek pro tvar A

	L [mm]	x [mm]	y [mm]
1	40,00	35,00	0
2	29,50	15,00	14,75
3	15,00	7,50	29,50
4	59,80	0	59,40
5	43,92	10,96	108,33
6	31,76	35,00	130,14
7	43,92	59,04	108,33
8	59,80	70,00	59,40
9	15,00	62,50	29,50
10	29,50	55,00	14,75

Obr. 7.9 Rozměry délek pro tvar A

$$F_{Ti} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (4.23)$$

$F_{T1} = 83,2 \text{ kN}$	$F_{T6} = 66,1 \text{ kN}$
$F_{T2} = 61,4 \text{ kN}$	$F_{T7} = 91,4 \text{ kN}$
$F_{T3} = 31,2 \text{ kN}$	$F_{T8} = 124,4 \text{ kN}$
$F_{T4} = 124,4 \text{ kN}$	$F_{T9} = 31,2 \text{ kN}$
$F_{T5} = 91,4 \text{ kN}$	$F_{T10} = 61,4 \text{ kN}$
$\Sigma F_{Ti} = 766,1 \text{ kN}$	

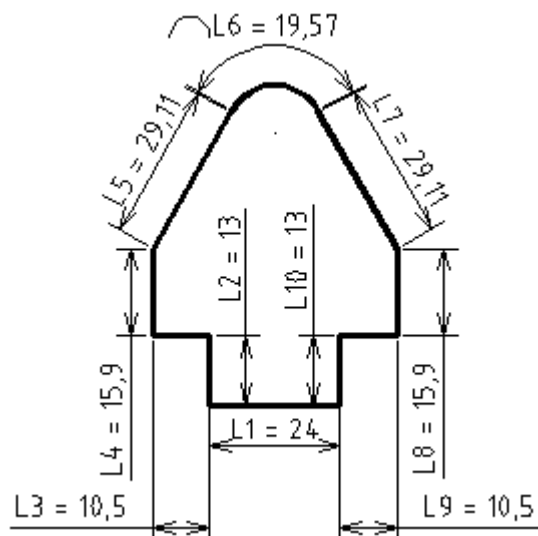
$$x_T = \frac{\Sigma F_{Ti} \cdot y_i}{\Sigma F_{Ti}} = \frac{26\,813,5}{766,1} = 35 \text{ mm} \quad (4.24)$$

$$y_T = \frac{\Sigma F_{Ti} \cdot x_i}{\Sigma F_{Ti}} = \frac{46\,835,8}{766,1} = 61,14 \text{ mm} \quad (4.25)$$

V programu Autodesk Inventor Professional 2008 byly zjištěny přesné hodnoty těžiště pro výpočet těžiště sřížných sil: $x_T = 35 \text{ mm}$
 $y_T = 65,08 \text{ mm}$

Těžiště pro tvar B

Pro složitost tvaru B je těžiště vypočítáno níže:



Tab. 8.3 Rozměry délek pro tvar B

	L [mm]	x [mm]	y [mm]
1	24,00	22,50	0
2	13,00	10,50	6,50
3	10,50	5,25	13,00
4	15,90	0	20,95
5	29,11	7,27	41,57
6	19,57	22,50	56,07
7	29,11	37,73	41,07
8	15,90	45,00	20,95
9	10,50	39,75	13,00
10	13,00	34,50	6,50

Obr. 7.10 Rozměry délek pro tvar B

$$F_{Ti} = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \quad (4.26)$$

$$\begin{aligned} F_{T1} &= 49,9 \text{ kN} & F_{T6} &= 40,7 \text{ kN} \\ F_{T2} &= 27 \text{ kN} & F_{T7} &= 86,5 \text{ kN} \\ F_{T3} &= 21,8 \text{ kN} & F_{T8} &= 60,5 \text{ kN} \\ F_{T4} &= 60,5 \text{ kN} & F_{T9} &= 21,8 \text{ kN} \\ F_{T5} &= 86,5 \text{ kN} & F_{T10} &= 27 \text{ kN} \\ \Sigma F_{Ti} &= 482,2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$x_T = \frac{\Sigma F_{Ti} \cdot y_i}{\Sigma F_{Ti}} = \frac{10\,849,5}{482,2} = 22,5 \text{ mm} \quad (4.27)$$

$$y_T = \frac{\Sigma F_{Ti} \cdot x_i}{\Sigma F_{Ti}} = \frac{12\,926,4}{482,2} = 26,8 \text{ mm} \quad (4.28)$$

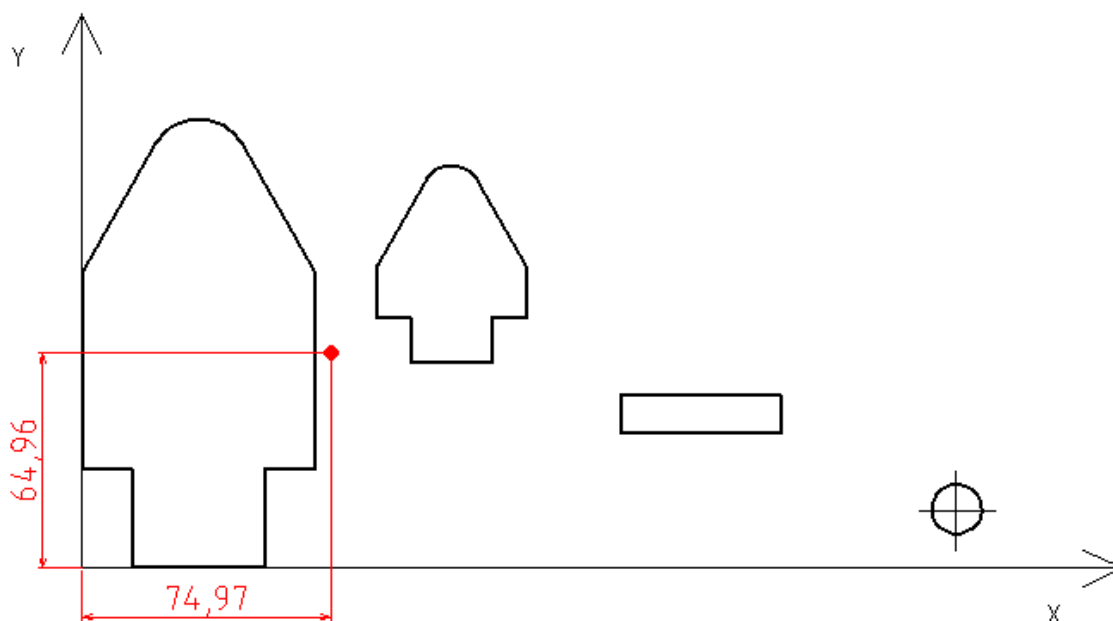
V programu Autodesk Inventor Professional 2008 byly zjištěny přesné hodnoty těžiště pro výpočet těžiště střížných sil: $x_T = 22,5 \text{ mm}$
 $y_T = 27,23 \text{ mm}$

Zjištěné těžiště je těžiště tvaru B. Dle obr. 8.8 je třeba zjistit souřadnice od počátku souřadného systému. Souřadnice byly zjištěny programem AutoCAD 2008. Hodnoty x a y souřadnic jsou: $x_T = 111 \text{ mm}$
 $y_T = 89,23 \text{ mm}$

Těžiště střížných sil

Umístění stopky v těžišti střížných sil je znázorněno na obr 8.11.

T [74,97 ; 64,96]



Obr. 7.11 Těžiště střížných sil

$$x_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} \quad (4.29)$$

$$x_T = \frac{98 \cdot 263 + 247,5 \cdot 186 + 375,4 \cdot 111 + 1\,486,8 \cdot 35}{98 + 247,5 + 375,4 + 1\,486,8} = \frac{165\,523,2}{2\,207,7}$$

$$x_T = 74,97 \text{ mm}$$

$$y_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} \quad (4.30)$$

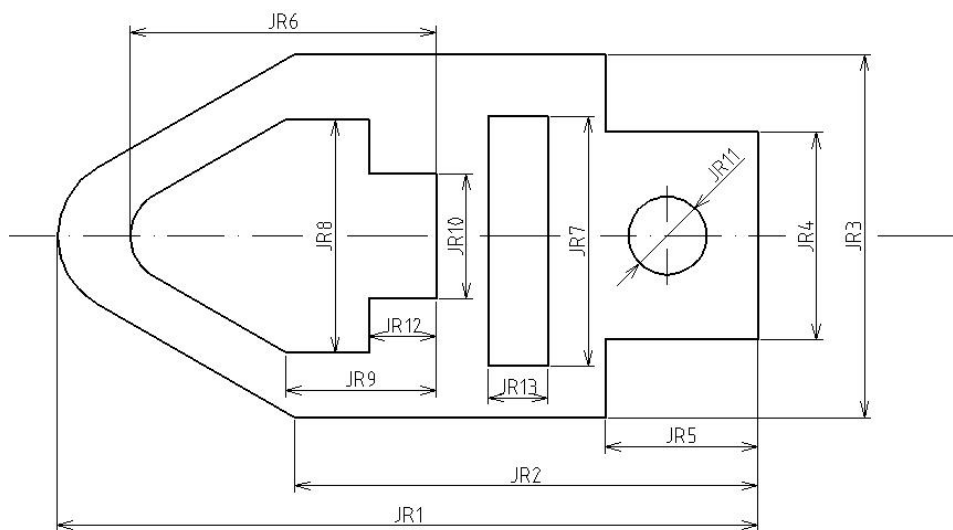
$$y_T = \frac{98 \cdot 17,5 + 247,5 \cdot 46,25 + 375,4 \cdot 89,23 + 1\,486,8 \cdot 65,08}{98 + 247,5 + 375,4 + 1\,486,8} = \frac{143\,419,8}{2\,207,7}$$

$$y_T = 64,96 \text{ mm}$$

7.3.7 Stanovení rozměrů střížnice a střížníku [5]

Aby výstřížek měl požadované tolerance i při větší výrobě, je nutné, aby se rozměry stříhadla navrhovaly s přihlédnutím na jejich opotřebení během jeho pracovní činnosti. Opotřebení pracovních částí stříhadla (střížníku a střížnice) způsobuje zvětšení nebo zmenšení výstřížku, ale také stříhaných otvorů.

Během oddělování materiálů se pracovní části stříhadla opotřebovávají. Střížník se během stříhání zmenšuje a střížnice zvětšuje.

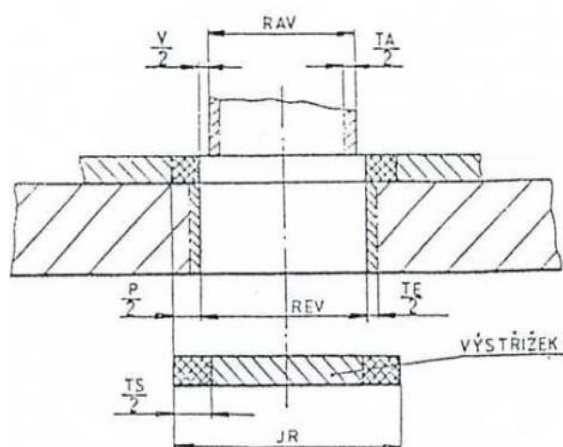


JR1 = 135 mm	JR6 = 58,9 mm	JR10 = 24 mm
JR2 = 89,3 mm	JR7 = 48 mm	JR11 = 15 mm
JR3 = 70 mm	JR8 = 45 mm	JR12 = 13 mm
JR4 = 40 mm	JR9 = 28,9 mm	JR13 = 11,5 mm
JR5 = 29,5 mm		

Obr. 7.12 Jmenovité rozměry

Rozměry součásti nejsou tolerovány, proto jsou potřebné tolerance pro výpočty stanoveny z tab. 7.1 v kapitole 7 pro střední třídu přesnosti.

a) Vystříhování:



REV	- rozměr střížnice při vystříhování
RAV	- rozměr střížníku při vystříhování
JR	- jmenovitý rozměr součásti
v	- střížná vůle
TS	- tolerance jmenovitého rozměru
P	- přípustná míra opotřebení
TE	- výrobní tolerance střížnice
TA	- výrobní tolerance střížníku

Obr. 7.13 Vystříhování [8]

Tab. 7.4 Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních nástrojů

Jmenovitý rozměr JR [mm]	Tolerance součástky TS [mm]	Přípustná míra opotřebení P [mm]	Výrobní tolerance střížnice TE [mm]	Výrobní tolerance střížníku TA [mm]
JR1 = 135	± 0,5	0,41	0,16	0,1
JR2 = 89,3	± 0,3	0,25	0,1	0,062
JR3 = 70	± 0,3	0,25	0,1	0,062
JR4 = 40	± 0,3	0,25	0,1	0,062
JR5 = 29,5	± 0,2	0,17	0,063	0,04

Rozměry střížnice

$$REV = (JR - P)^{+TE} \quad (4.31)$$

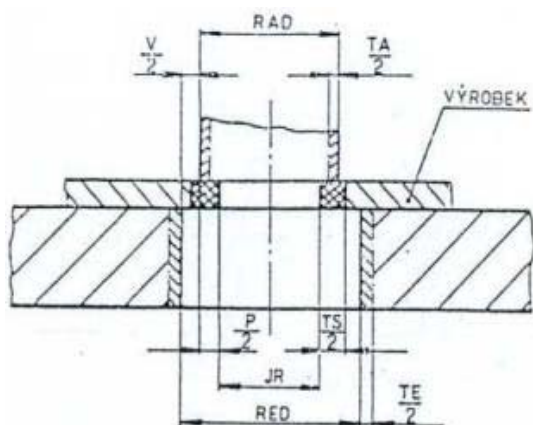
- rozměr 135 mm
 $REV = (135 - 0,41)^{+0,16} = 134,59^{+0,16} \text{ mm}$
- rozměr 89,3 mm
 $REV = (89,3 - 0,25)^{+0,1} = 89,05^{+0,1} \text{ mm}$
- rozměr 70 mm
 $REV = (70 - 0,25)^{+0,1} = 69,75^{+0,1} \text{ mm}$
- rozměr 40 mm
 $REV = (40 - 0,25)^{+0,1} = 39,75^{+0,1} \text{ mm}$
- rozměr 29,5 mm
 $REV = (29,5 - 0,17)^{+0,063} = 29,33^{+0,063} \text{ mm}$

Rozměry střížníku

$$RAV = (REV - v + TA)^{-TA} \quad (4.32)$$

- rozměr 135 mm
 $RAV = (134,59 - 0,68 + 0,1)_{-0,1} = 134,01_{-0,1} \text{ mm}$
- rozměr 89,3 mm
 $RAV = (89,05 - 0,68 + 0,062)_{-0,062} = 88,432_{-0,062} \text{ mm}$
- rozměr 70 mm
 $RAV = (69,75 - 0,68 + 0,062)_{-0,062} = 69,132_{-0,062} \text{ mm}$
- rozměr 40 mm
 $RAV = (39,75 - 0,68 + 0,062)_{-0,062} = 39,132_{-0,062} \text{ mm}$
- rozměr 29,5 mm
 $RAV = (29,33 - 0,68 + 0,04)_{-0,04} = 28,69_{-0,04} \text{ mm}$

b) Děrování:



- RED - rozměr střížnice při děrování
- RAD - rozměr střížníku při děrování
- JR - jmenovitý rozměr součásti
- v - střížná vůle
- TS - tolerance jmenovitého rozměru
- P - přípustná míra opotřebení
- TE - výrobní tolerance střížnice
- TA - výrobní tolerance střížníku

Obr. 7.14 Děrování [8]

Tab. 7.5 Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí nástroje

Jmenovitý rozměr JR [mm]	Tolerance součástky TS [mm]	Přípustná míra opotřebení P [mm]	Výrobní tolerance střížnice TE [mm]	Výrobní tolerance střížníku TA [mm]
JR6 = 58,9	± 0,3	0,25	0,1	0,062
JR7 = 48	± 0,3	0,25	0,1	0,062
JR8 = 45	± 0,3	0,25	0,1	0,062
JR9 = 28,9	± 0,2	0,17	0,063	0,040
JR10 = 24	± 0,2	0,17	0,063	0,040
JR11 = 15	± 0,2	0,17	0,063	0,040
JR12 = 13	± 0,2	0,17	0,063	0,040
JR13 = 11,5	± 0,2	0,17	0,063	0,040

Rozměry střížníku

$$RAD = (JR + P) - TA \quad (4.33)$$

- rozměr 58,9 mm
 $RAD = (58,9 + 0,25) - 0,062 = 59,15 - 0,062 \text{ mm}$
- rozměr 48 mm
 $RAD = (48 + 0,25) - 0,062 = 48,25 - 0,062 \text{ mm}$
- rozměr 45 mm
 $RAD = (45 + 0,25) - 0,062 = 45,25 - 0,062 \text{ mm}$
- rozměr 28,9 mm
 $RAD = (28,9 + 0,17) - 0,04 = 29,07 - 0,04 \text{ mm}$
- rozměr 24 mm
 $RAD = (24 + 0,17) - 0,04 = 24,17 - 0,04 \text{ mm}$
- rozměr 15 mm
 $RAD = (15 + 0,17) - 0,04 = 15,17 - 0,04 \text{ mm}$

- rozměr 13 mm
 $RAD = (13 + 0,17) - 0,04 = 13,17 - 0,04 \text{ mm}$
- rozměr 11,5 mm
 $RAD = (11,5 + 0,17) - 0,04 = 11,67 - 0,04 \text{ mm}$

Rozměry střížnice

$$RED = (RAD + v - TE)^{+TE} \quad (4.34)$$

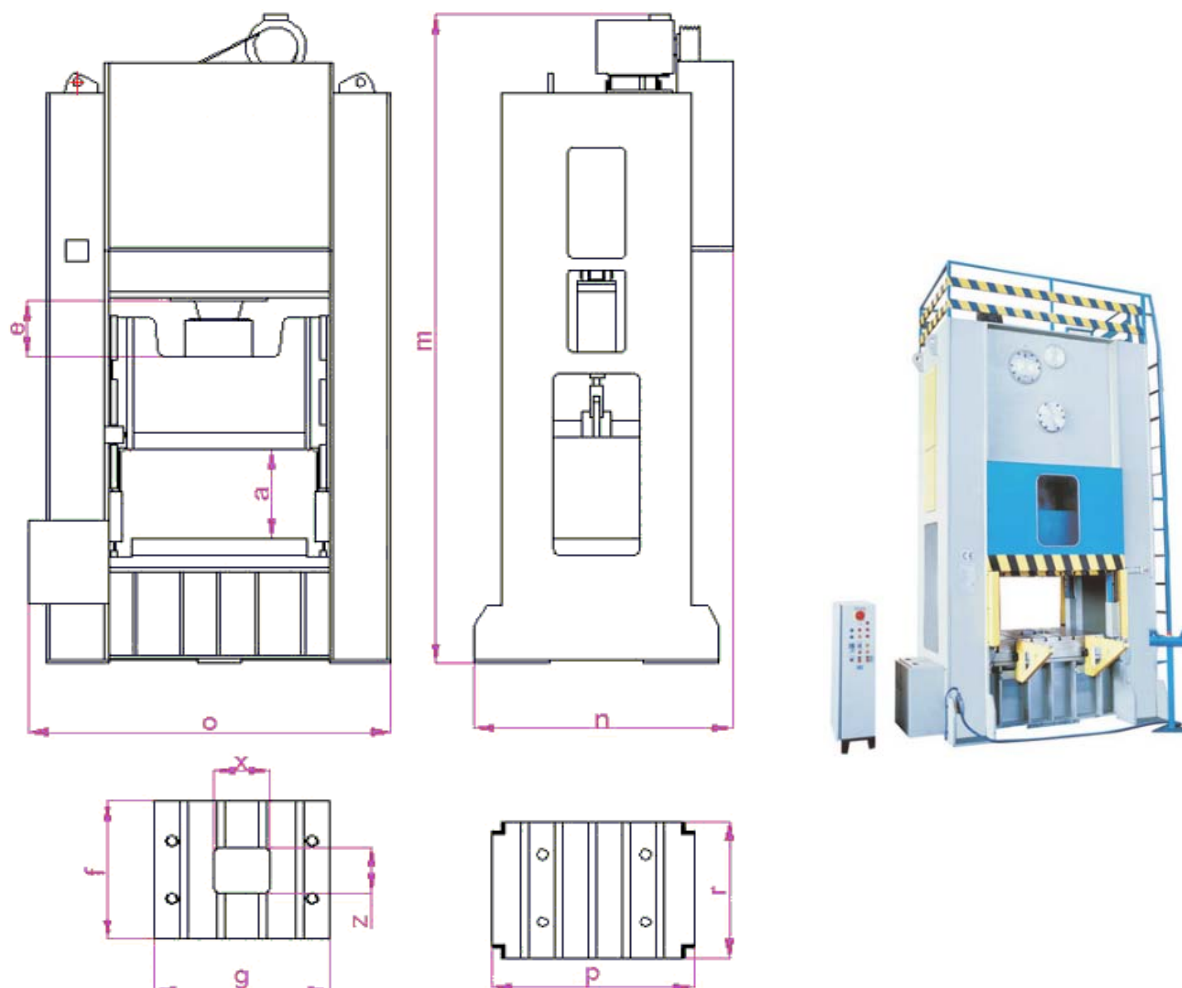
- rozměr 58,9 mm
 $RED = (59,15 + 0,68 - 0,1)^{+0,1} = 59,73^{+0,1} \text{ mm}$
- rozměr 48 mm
 $RED = (48,25 + 0,68 - 0,1)^{+0,1} = 48,83^{+0,1} \text{ mm}$
- rozměr 45 mm
 $RED = (45,25 + 0,68 - 0,1)^{+0,1} = 45,83^{+0,1} \text{ mm}$
- rozměr 28,9 mm
 $RED = (29,07 + 0,68 - 0,063)^{+0,063} = 28,687^{+0,063} \text{ mm}$
- rozměr 24 mm
 $RED = (24,17 + 0,68 - 0,063)^{+0,063} = 24,787^{+0,063} \text{ mm}$
- rozměr 15 mm
 $RED = (15,17 + 0,68 - 0,063)^{+0,063} = 15,787^{+0,063} \text{ mm}$
- rozměr 13 mm
 $RED = (13,17 + 0,68 - 0,063)^{+0,063} = 13,787^{+0,063} \text{ mm}$
- rozměr 11,5 mm
 $RED = (11,67 + 0,68 - 0,063)^{+0,063} = 11,287^{+0,063} \text{ mm}$

Tab. 7.6 Rozměry střížnice a střížníku

Rozměr	Jmenovitý rozměr JR [mm]	Rozměr střížnice REV/RED [mm]	Rozměr střížníku RAV/RAD [mm]
JR1	135	134,59 ^{+0,16}	134,01 ^{-0,1}
JR2	89,3	89,05 ^{+0,1}	88,432 ^{-0,062}
JR3	70	69,75 ^{+0,1}	69,132 ^{-0,062}
JR4	40	39,75 ^{+0,1}	39,132 ^{-0,062}
JR5	29,5	29,33 ^{+0,063}	28,69 ^{-0,04}
JR6	58,9	59,73 ^{+0,1}	59,15 ^{-0,062}
JR7	48	48,83 ^{+0,1}	48,25 ^{-0,062}
JR8	45	45,83 ^{+0,1}	45,25 ^{-0,062}
JR9	28,9	28,687 ^{+0,063}	29,07 ^{-0,04}
JR10	24	24,787 ^{+0,063}	24,17 ^{-0,04}
JR11	15	15,787 ^{+0,063}	15,17 ^{-0,04}
JR12	13	13,787 ^{+0,063}	13,17 ^{-0,04}
JR13	11,5	11,287 ^{+0,063}	11,67 ^{-0,04}

8 VOLBA STROJE [16]

Pro volbu stroje je důležitá celková tvářecí síla, která byla vypočtena v kap. 7.3.3. Hodnota této síly je 2 207,7 kN. Byl zvolen lis CDCH 3000 P od firmy HESSE+CO Maschinenfabrik GmbH, obr 8.1. Hlavní parametry lisu jsou uvedeny v tab. 9.1. Jmenovitá síla vybraného stroje je 3 000 kN. Pro vypočtenou tvářecí sílu by stačil stroj se jmenovitou silou 2 500 kN, který nebyl zvolen z důvodu malého otvoru ve stole (nemuselo by docházet ke správnému vypadnutí odpadu a výstřižku).



Obr. 8.1 Výstředníkový lis firmy HESSE [16]

Tab. 8.1 Parametry stroje [16]

Jmenovitá síla	3 000	kN
Nastavitelný zdvih	180	mm
Přestavení beranu (e)	140	mm
Počet zdvihů	25	min ⁻¹
Sevření nástroje	310	mm
Rozměr stolu (g/f)	1 400 x 880	mm
Rozměr beranu (p/r)	1 460 x 1 090	mm
Otvor ve stole (x/z)	355	mm
Příkon motoru	22	kW

8.1 Popis nástroje

Sestava postupového střižného nástroje se sestává z několika dílců. Některé dílce nejsou normalizovány, a proto se musí vyrobit.

Ocelový vodící stojánek je nosným prvkem nástroje. V základové desce jsou zalisovány dva vodící sloupky, které jsou vloženy do vodících pouzder. Ta jsou zalisována do horní upínací desky. Přesné vedení horní pohyblivé části nástroje proti dolní nepohyblivé části je zajištěno pomocí těchto sloupků a pouzder.

V horní části nástroje jsou střižníky, které jsou ve své upínací (horní) části osazeny a za toto osazení ukotveny v kotevní desce. Kotevní deska je upevněna k upínací desce. Střižníky vyvíjejí velkou tlakovou sílu, při které může docházet k otláčení na upínací desce, a proto je mezi deskou kotevní a upínací vložena opěrná deska, která je kalena. Vzájemná poloha těchto desek je zajištěna pomocí kolíků, které jsou spojeny šrouby. Dále se v horní části nachází stopka, která je připevněna na upínací desce. Stopka je umístěna tak, aby se nacházela v těžišti střižných sil.

Ve spodní části nástroje se nachází střižnice, jejíž konstrukce je celistvá. Střižnice je připevněna k základové desce. Další deskou, která je připevněna k dolní části nástroje, je deska vodící. Tato deska slouží k vedení střižníků a je umístěna nad základovou deskou. Mezi vodící a základovou deskou se nachází vodící lišty - pravá a levá, které zajišťují správné vedení pásu plechu. Pro snadnější zavedení pásu je použit podpěrný plech, který je připevněn k vodícím lištám šrouby. Přesné spojení střižnice, vodící a základové desky a vodících lišt je pomocí kolíků a poloha je zajištěna pomocí šroubů. Načínací dorazy slouží ke správnému zavedení a zajištění pásu na začátku stříhání. V dalších krocích je poloha pásu zajištěna zpětným dorazem.

Zavádění a posuv pásu plechu je ruční. Odpad, který vznikne děrováním a výstřižek propadají otvory ve střižnici a základovou deskou skrz otvor v upínací desce lisu. Odpad i výstřižky jsou vedeny pomocí skluzů do připravených beden.

9 SPOLUPRÁCE FIREM

9.1 R+W FERRA s.r.o. [29]

Společnost R+W Ferra s.r.o. vznikla v roce 2007 jako společný projekt firem Wirpo s.r.o. a Rapid trade, s.r.o. Tato společnost sídlí v prostorách společnosti Rapid trade, s.r.o.

Služby

- technologická příprava výroby
- tvarové výpalky a výpalky s úkosal (obr. 9.2)
- pálení z vlastního nebo dodaného materiálu
- cenové kalkulace na kompletní zakázky
- dokončovací práce tvarových výpalků (svařování, ohýbání, povrchové úpravy, atd.)

Strojní vybavení

- vysoce precizní CNC zařízení od firmy MicroStep MG (obr. 9.1)
- plazma Kjellberg Fine Focus 800 a Fine Focus 1 600
- hořák 300 A s 3D rotátorem pro uhlové řezání a úkosy
- hořák 600 A pro výpalky z černého a nerez materiálu až do tloušťek 120 mm
- dělicí řezy až do síly materiálu 150 mm
- tvarové řezání pod úhlem, řezání pro přípravu V, X a Y svarů
- možnost pálení s předehřevem
- velmi dobrá kvalita řezu, ostré úhly a rohy, přesné zachování kontur řezaných dílů
- rozměry pálicího stolu 2,5 x 12 m



Obr. 9.1 CNC zařízení MicroStep MG [29]



Obr. 9.2 Ukázka výpalků [29]

CNC Tvarové pálení na plazmě Kjellberg Fine Focus

- plechy z konstrukčních, uhlíkatých, nízko a středně legovaných ocelí
- černý a nerez materiál
- jemnozrnné oceli
- hliník a jeho slitiny
- přesné řezy 3 – 120 mm jak pro černý, tak nerez materiál
- pálení průniků klenbových den



Obr. 9.3 CNC Tvarové pálení na plazmě Kjellberg Fine Focus [29]

- plazma Kjellberg Fine Focus 800 a Fine Focus 1 600 využívá přenesený plasmový oblouk, obr. 9.3. Samotné zapálení vzniká zapálením pilotního oblouku a po ionizaci atomů plazmového plynu dochází k přenesení a vzniku hlavního oblouku mezi elektrodou a řezaným materiálem.
- řezací plamen je směsí argonu a vodíku, nebo je používána plazma kyslíková

9.2 DENDERA a.s. [9]

Firma Dendera a.s. vznikla v roce 2004 jako česká akciová společnost s cílem uspokojovat potřeby menších zákazníků v oblasti výroby komponentů z plechu.



Obr. 9.4 Firma Dendera a.s. [9]

Tato firma se zabývá nejen řezáním laserem a CNC-ohýbáním, ale i dalšími následnými technologiemi, jako vrtáním, vyhrubováním, vystružováním, zahlubováním děr a výrobou závitů. Sortiment služeb byl rozšířen o technologie frézování a soustružení. Dendera a.s. může zajistit komplexní zhotovení zakázek dle požadavků zákazníka, pro tyto účely byla vybudována pracoviště pro svařování pod ochrannou atmosférou a pro finální úpravu povrchu dílů (zinkování nebo práškové lakování). Poslední technologickou novinkou, této firmy, je robotizované ohýbání dílů z tenkých plechů.

Firma Dendera a.s. je vybavena čtyřmi CO2 lasery pro řezání materiálů od firmy Amada řady F/O a nejmodernější řady X1 o výkonu 4 kW (obr. 9.5).



Obr. 9.5 Laser od firmy Amada [3]

Parametry:

- max. rozměr tabule plechu 3000 x 1500 mm
- přesnost řezání: 0,1 mm/1 m
- maximální řezné tloušťky materiálů
 - konstrukční oceli: 20 mm
 - nerezové materiály: 10 mm
 - hliník: 6 mm
 - mosaz: 4 mm



Obr. 9.6 Ukázka výpalků [9]

9.3 AQUADEM s.r.o. [4]

Firma AQUAdem, s.r.o. zahájila svoji činnost v srpnu 1996 a jako první v České republice zakoupila nejmodernější technologii na dělení plošných materiálů vodním paprskem od firmy Flow Europe GmbH.

Pro udržení nejvyššího standardu kvality byly postupně pracoviště doplněny dalšími novými nejmodernějšími CNC stroji od firmy Water Jet Sveden AB (obr. 9.7), které jsou v současné době v provozu. Dalším doplněním byl CNC ohraňovací lis AMADA 100t a svařecí pracoviště.

Hlavní činností společnosti v současné době je dodávat různé vypálené, ohnuté, svařené slepené a smontované díly vyrobené včetně materiálu.



Obr. 9.7 Stroje od firmy Water Jet Sveden

Technické možnosti:

- přesnost tvaru - poziční odchylka +/- 0,1 mm
- ekonomické využití plochy
- grafické pracoviště
- tloušťka řezaného materiálu od folií až do 150 mm

Materiály, které lze řezat:

- oceli konstrukční, nástrojové, legované, nerezové
- hliník, dural, měď, mosaz, titan
- plast, sklo, mramor, žula, pryž



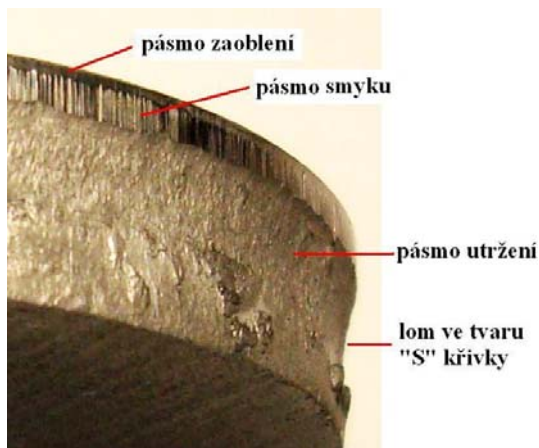
Obr. 9.8 Řezání vodním paprskem

10 TECHNOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ

a) Střížný nástroj

Kvalita střížné plochy nemusí být ideální. Je to způsobeno mnohými faktory, některé z nich byly napsány v kapitole 3.

Střížný proces má tři fáze a to: pásma zaoblení, pásma utržení a pásma smyku. Tato jednotlivé pásma jsou popsána na obr. 10.1. Na tomto obrázku je dále vidět lom ve tvaru "S" křivky.



Obr. 10.1 Střížná plocha

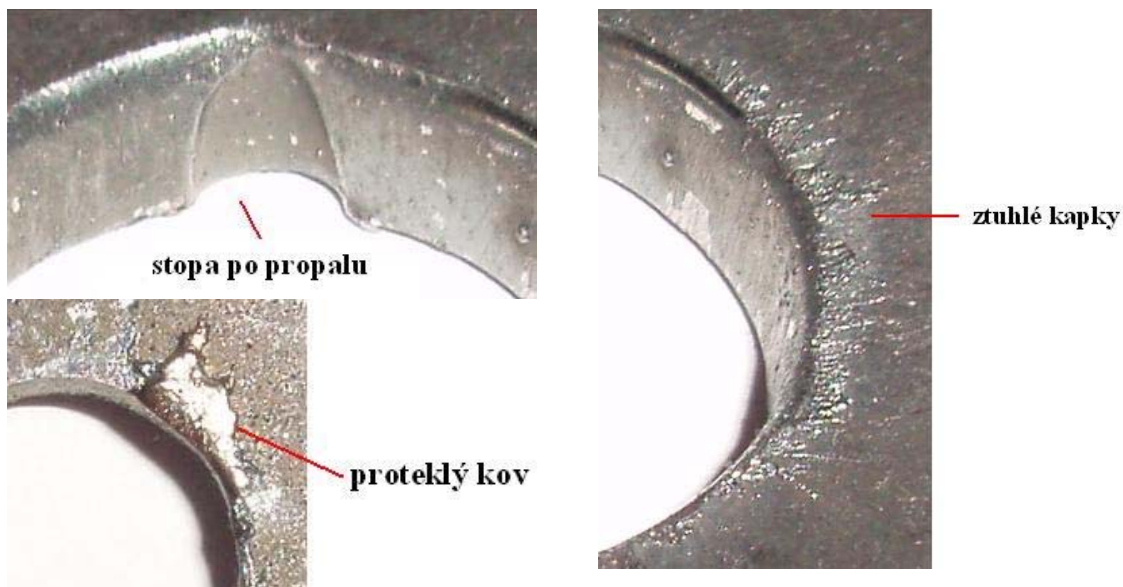


Obr. 10.2 Vady střížné plochy

Součást - bezpečnostní pojistka, která má tloušťku 5 mm, není zcela vhodná pro postupový střížný nástroj. Při stříhání mohou vznikat povrchové vady, nebo otřepy. Také může docházet k prohnutí výstřížku. Některé defekty jsou vidět na obr. 10.2.

b) Řezání plazmou

Kvalita povrchu vypálené součásti je velmi nekvalitní, což je způsobeno vysokým výkonem páličního zařízení. Tloušťka (5 mm) zadané součásti je velmi malá pro takto výkonný stroj.



Obr. 10.3 Vady při plazmovém řezání

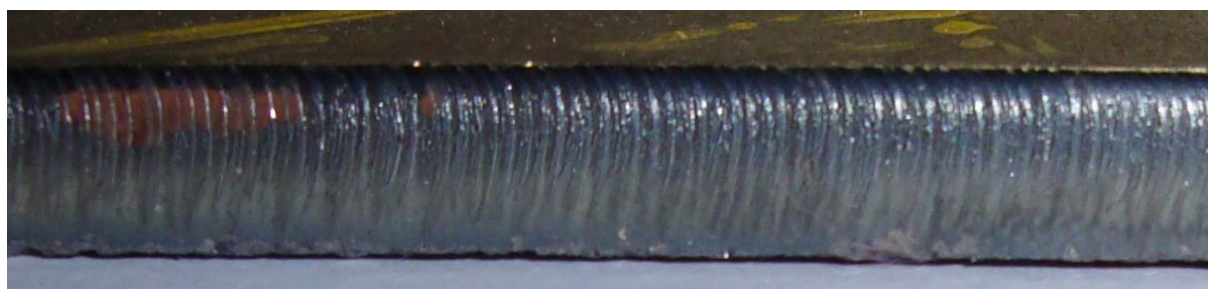
Při tak tenké součásti vzniká řada vad. Jako je stopa po propalu, ztuhlé kapky na horní hraně řezu nebo proteklý kov, viz obr. 10.3. Všechny tyto vady jsou způsobené velkým výkonem pálícího zařízení.



Obr. 10.4 Pravý úhel součásti

Pravý úhel součásti (obr. 10.4) není dodržen z důvodu kruhového průřezu paprsku. Při pálení na plazmě, by se mělo respektovat, že paprsek je kruhový, a tím i volit vhodné geometrie řezu.

Kvalita řezných ploch (obr. 10.5) je nekvalitní, její kvalita závisí na provozních parametrech plazmového zařízení, dále na tloušťce a druhu materiálu.



Obr. 10.5 Kvalita řezné plochy

c) Řezání laserem

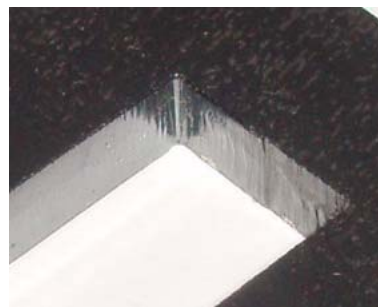
Součást vypálená na laserovém zařízení dosahuje dobré kvality řezu. Kruhový otvor se neblíží tvaru elipsy, ale zachovává si své rozměry (obr. 10.6 a)). Pravý úhel je dodržen. U plazmového řezání bylo uvedeno, že paprsek je kruhového průřezu, to lze pozorovat také při pálení laserem (obr. 10.6 c)).



a)



b)



c)

Obr. 10.6 Řezné hrany

Hladkost povrchu řezných ploch není zcela zajištěna (obr. 10.7). Pro zlepšení kvality povrchu můžou být použity dokončovací operace, např. omílání.



Obr. 10.7 Kvalita řezné plochy

d) Řezání vodním paprskem

Výroba součástí vodním paprskem je velmi nevýhodná, ne kvůli kvalitě řezu, ale výrobní sérii. Řezání vodním paprskem je vhodná pro malosériovou nebo kusovou výrobu.

Jak již bylo zmíněno dříve, i zde se musí respektovat to, že paprsek má kruhový průřez. Proto se musí dbát na geometrii řezu. Kvalita řezu je dobrá, viz obr. 10.8.



Obr. 10.8 Řezná hrana

Kvalita řezných ploch u řezání vodním paprskem není dokonalá



obr. 10.9, je to způsobeno zpomalováním paprsku. Paprsek zpomaluje v důsledku tření mezi povrchem materiálu a povrchem vodního paprsku.

Obr. 10.9 Kvalita řezné plochy

11 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [36]

V ekonomickém hodnocení se budou porovnávat čtyři varianty výroby a to zejména z hlediska nákladů na výrobu součásti - bezpečnostní pojistka. Mezi porovnávané varianty patří postupový střížný nástroj, řezání plazmou, laserem a vodním paprskem.

11.1 Postupový střížný nástroj

V této části bude uveden výpočet nákladů na materiál a celková cena výstřížku. Cena výstřížku bude uvažována bez nákladů na lis a s náklady na lis.

11.1.1 Výchozí hodnoty

– cena tabule plechu 11 375	$C_m = 3\,680 \text{ Kč / tab}$
– cena 1 kg odpadu	$C_o = 4 - 6,5 \text{ Kč / kg}$
– počet tabulí plechu	$V_{\text{tab}} = 975 \text{ ks}$
– výrobní série	$Q = 380\,000 \text{ ks/rok}$
– výrobní režie	$VR = 390 \%$
– správní režie	$SR = 120 \%$
– sociální a zdravotní pojištění	$SZP = 34 \%$

11.1.2 Náklady na materiál a nástroj [2], [13]

a) Náklady na materiál

- Náklady na pořízení počtu tabulí pro sérii 380 000 ks
 - cena materiálu byla zjištěna z ceníku firmy Feromat [13]. Ceník byl aktualizován dne 10. 3. 2011.
 - $C_m = 3\,680 \text{ Kč / tab}$

$$N_m = V_{\text{tab}} \cdot C_m = 975 \cdot 3\,680 = 3\,588\,000 \text{ Kč} \quad (11.1)$$

Kde	N_m	...	náklady na pořízení požadovaného počtu tabulí	[Kč]
	C_m	...	cena materiálu	[Kč/tab]

- Zhodnocení odpadu
 - cena zhodnoceného odpadu byla zjištěna od firmy Agentura D-K, spol. s.r.o. [2]
 - $C_o = 4 - 6,5 \text{ Kč / kg}$, zvoleno $C_o = 5 \text{ Kč / kg}$

$$Z_o = m_o \cdot C_o = 63\,355,83 \cdot 5 = 316\,779,2 \text{ Kč} \quad (11.2)$$

Kde	Z_o	...	zhodnocení odpadu	[Kč]
	C_o	...	cena odpadu	[Kč/kg]

- Náklady na celkový potřebný materiál

$$N_{mc} = N_m - Z_o = 3\,588\,000 - 316\,779,2 = 3\,271\,220,9 \text{ Kč} \quad (11.3)$$

Kde	N_{mc}	...	náklady na celkový potřebný materiál	[Kč]
-----	----------	-----	--------------------------------------	------

b) Náklady na nástroj

- cena nástroje byla vyhodnocena firmou AB NÁSTROJE s.r.o.
- $N_n = 410\,000 \text{ Kč}$

Kde	N_n	...	náklady na nástroj	[Kč]
-----	-------	-----	--------------------	------

11.1.3 Náklady na mzdy a na spotřebovanou energii

a) Náklady na mzdy

- Počet vyrobených výstřižků za jednu hodinu
 - počet zdvihů lisu je $n_z = 25 \text{ min}^{-1}$

$$n_{vh} = n_z \cdot 60 = 25 \cdot 60 = 1\,500 \text{ ks/hod} \quad (11.4)$$

Kde n_{vh} ... počet vyrobených výstřižků za hodinu [ks/hod]
 n_z ... počet zdvihů lisu [min^{-1}]

Během výroby dochází k časovým prodlevám, která jsou způsobena např. při údržbě, při kontrole, při zavádění nového pásu plechu aj., a proto je zvoleno 10 % ztrát z celkové pracovní doby 7,5 hodiny.

- Skutečný počet výstřižků za hodinu

$$n_{vhs} = n_{vh} - (n_{vh} \cdot 0,1) = 1\,500 - (1\,500 \cdot 0,1) = 1\,350 \text{ ks/hod} \quad (11.5)$$

Kde n_{vhs} ... skutečný počet výstřižků za hodinu [ks/hod]

- Počet vyrobených výstřižků za jednu směnu

$$n_{vs} = n_{vhs} \cdot 7,5 = 1\,350 \cdot 7,5 = 10\,125 \text{ ks/směnu} \quad (11.6)$$

Kde n_{vs} ... počet vyrobených výstřižků za jednu směnu [ks/směnu]

- Počet směn na zhotovení výrobní série $Q = 380\,000 \text{ ks}$

$$n_{směna} = \frac{Q}{n_{vs}} = \frac{380\,000}{10\,125} = 37,53 \text{ směn} \quad (11.7)$$

Kde $n_{směna}$... počet směn na zhotovení výrobní série [směna]
 Q ... výrobní série [ks/rok]

– pro výrobu série 380 000 ks je třeba 38 směn

- Počet hodin potřebných na výrobu dané série

$$n_h = n_{směna} \cdot 7,5 = 38 \cdot 7,5 = 285 \text{ hod} \quad (11.8)$$

Kde n_h ... počet hodin potřebných na výrobu série [hod]

- Náklady na mzdy

- hodinová sazba obsluhy stroje je 100 - 140 Kč/hod (dle Úřadu práce ČR)
- zvoleno 120 Kč/hod

$$N_{mz} = n_h \cdot 120 = 285 \cdot 120 = 34\,200 \text{ Kč} \quad (11.9)$$

Kde N_{mz} ... náklady na mzdy [Kč]

- Celkové náklady na mzdy (přímé mzdy)

- sociální a zdravotní pojištění je nutné zahrnout do celkových nákladů na mzdy
- SZP = 34 % = 1,34

$$P_m = N_{mz} \cdot SZP = 34\,200 \cdot 1,34 = 45\,828 \text{ Kč} \quad (11.10)$$

Kde P_m ... celkové náklady na mzdy (včetně sociálního a zdravotního pojištění) [Kč]
 SZP ... sociální a zdravotní pojištění [%]

- Celkové náklady na mzdy a režii
 - výrobní režie 390 % → VR = 3,9
 - správní režie 120 % → SR = 1,2

$$N_{mr} = P_m \cdot (VR + SR) = 45\,828 \cdot (3,9 + 1,2) = 233\,722,8 \text{ Kč} \quad (11.11)$$

Kde	N_{mr}	...	celkové náklady na mzdy a režii	[Kč]
	VR	...	výrobní režie	[%]
	SR	...	správní režie	[%]

b) Náklady na spotřebovanou energii stroje

- příkon lisu $P = 22 \text{ kW}$
- cena elektrické energie je $E_e = 4,61 \text{ Kč/kWh}$ (dle ceníku E.ON)

$$N_{el} = P_p \cdot E_e \cdot n_h = 22 \cdot 4,61 \cdot 285 = 28\,904,7 \text{ Kč} \quad (11.12)$$

Kde	N_{el}	...	náklady na spotřebovanou energii stroje	[Kč]
	P_p	...	příkon lisu	[W]
	E_e	...	cena elektrické energie	[Kč/kWh]

11.1.4 Celková cena výstřižku

- Náklady na materiál pro jednu součást

$$N_{m1} = \frac{N_{mc}}{Q} = \frac{3\,271\,220,9}{380\,000} = 8,61 \text{ Kč/ks} \quad (11.13)$$

Kde	N_{m1}	...	náklady na materiál pro výrobu jedné součásti	[Kč/ks]
-----	----------	-----	---	---------

- Náklady na výrobu jedné součásti

- uvažovány bez pořizovacích nákladů na lis

$$N_{v1} = \frac{N_{mr} + N_n + N_e}{Q} + N_{m1} = \frac{233\,722,8 + 410\,000 + 28\,904,7}{380\,000} + 8,61 \quad (11.14)$$

$$N_{v1} = 10,38 \text{ Kč/ks}$$

Kde	N_{v1}	...	náklady na výrobu jedné součásti	[Kč/ks]
-----	----------	-----	----------------------------------	---------

- Náklady na výrobu jedné součásti

- uvažovány s pořizovacími náklady na lis. Cena lisu byla konzultována s firmou Dirinler Makina Sanayi ve Ticaret A.Ş.
- $N_{lis} = 125\,000 \text{ euro} = 3\,048\,750 \text{ Kč}$ (kurz euro - 24,39 Kč ke dni 14. 5. 2011)

$$N_{v1lis} = \frac{N_{mr} + N_n + N_e + N_{lis}}{Q} + N_{m1} = \frac{233\,722,8 + 410\,000 + 28\,904,7 + 3\,048\,750}{380\,000} + 8,61 \quad (11.15)$$

$$N_{v1lis} = 18,4 \text{ Kč/ks}$$

Kde	N_{v1lis}	...	náklady na výrobu jedné součásti včetně nákladů na lis	[Kč/ks]
-----	-------------	-----	--	---------

- Celková cena součásti

- s uvažováním zisku 25 %
- $Z = 1,25$

$$C_{cs} = N_{v1} \cdot Z = 10,38 \cdot 1,25 = 12,98 \text{ Kč/ks} \quad (11.16)$$

Celková cena součásti s přihlédnutím k ceně lisu

$$C_{clis} = N_{v1lis} \cdot Z = 18,4 \cdot 1,25 = 23 \text{ Kč/ks} \quad (11.17)$$

Kde	C_{cs}	...	celková cena součásti	[Kč/ks]
	C_{clis}	...	celková cena součásti včetně nákladů na lis	[Kč/ks]
	Z	...	uvažovaný zisk	[%]

- Celková cena součástí pro výrobní sérii $Q = 380\,000$ ks

$$C_c = C_{cs} \cdot Q = 12,98 \cdot 380\,000 = 4\,932\,400 \text{ Kč} \quad (11.18)$$

Celková cena součástí pro výrobní sérii včetně nákladů na lis

$$C_{clis} = C_{clis} \cdot Q = 23 \cdot 380\,000 = 8\,740\,000 \text{ Kč} \quad (11.19)$$

Kde	C_c	...	cena součástí pro danou sérii	[Kč]
	C_{clis}	...	cena součástí pro danou sérii včetně nákladů na lis	[Kč]

11.1.5 Výpočet bodu zvratu

- Fixní náklady

$$FN = (N_{mr} - P_m)/Q + N_n \quad (11.20)$$

$$FN = (233\,722,8 - 45\,828)/380\,000 + 410\,000$$

$$FN = 410\,000,5 \text{ Kč}$$

Kde	FN	...	fixní náklady	[Kč]
-----	------	-----	---------------	------

Fixní náklady včetně nákladů na lis

$$FN_{lis} = (N_{mr} - P_m)/Q + N_n + N_{lis} \quad (11.21)$$

$$FN_{lis} = (233\,722,8 - 45\,828)/380\,000 + 410\,000 + 3\,048\,750$$

$$FN_{lis} = 3\,458\,750,5 \text{ Kč}$$

Kde	FN_{lis}	...	fixní náklady včetně nákladů na lis	[Kč]
-----	------------	-----	-------------------------------------	------

- Variabilní náklady

$$VN = N_{m1} + \frac{P_m}{Q} = 8,61 + \frac{45\,828}{380\,000} = 8,73 \text{ Kč} \quad (11.22)$$

Kde	VN	...	variabilní náklady	[Kč]
-----	------	-----	--------------------	------

- Bod zvratu

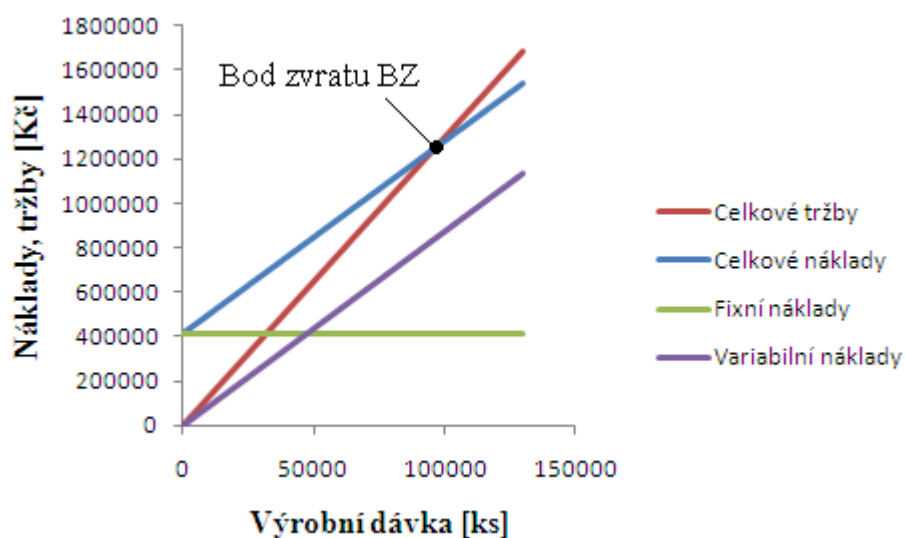
$$BZ = \frac{FN}{C_{cs} - VN} = \frac{410\,000,5}{12,98 - 8,73} = 96\,470,7 \text{ ks} \quad (11.23)$$

Bod zvratu pro náklady včetně lisu

$$BZ = \frac{FN}{C_{slis} - VN} = \frac{3\,458\,750,5}{23 - 8,73} = 242\,379,2 \text{ ks} \quad (11.24)$$

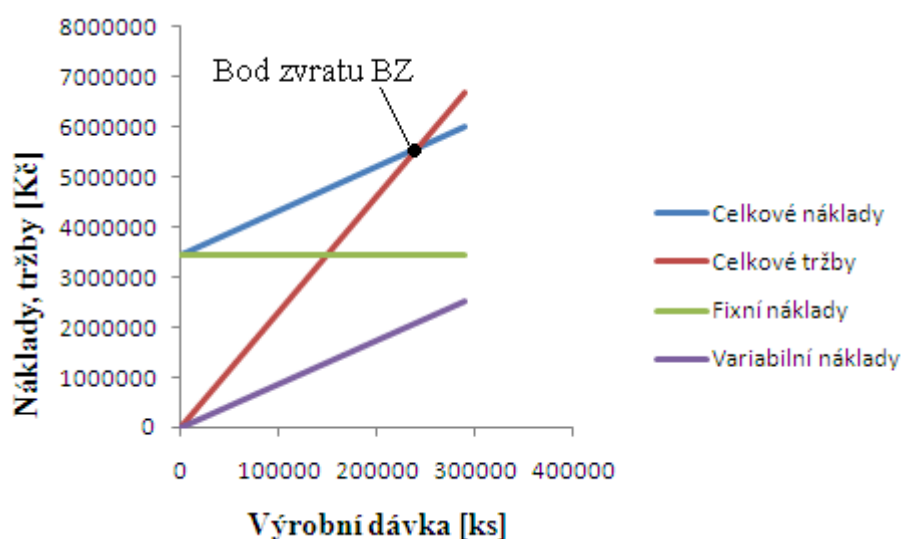
Kde BZ ... bod zvratu [ks]

Bod zvratu BZ nastává při 96 471 vyrobených kusů. Výrobní série je 380 000 kusů, je tedy patrné, že tato série bude zisková, což také dokazuje graf na obr. 11.1, kde byl bod zvratu určen graficky.



Obr. 11.1 Určení bodu zvratu - grafické řešení pro střížný nástroj

Při uvažování nákladů na lis, nastává bod zvratu při 242 380 vyrobených kusů. Stále je výrobní série zisková, i přesto, že jsou nutné investice do lisu. Cena součásti při uvažování nákladů na lis činí 23 Kč.



Obr. 11.2 Určení bodu zvratu včetně nákladů na lis - grafické řešení pro střížný nástroj

11.2 Řezání plazmou

Cena výpalku při řezání plazmou byla stanovena firmou R+W Ferra s.r.o.

11.2.1 Výchozí hodnoty

- | | |
|------------------------------------|---|
| – rozměr tabule plechu | $S_t = 2\,000 \times 6\,000 \text{ mm}$ |
| – počet kusů z jedné tabule plechu | $Pk_t = 984 \text{ ks}$ |
| – cena tabule plechu | $C_m = 10\,560 \text{ Kč / tab}$ |
| – cena 1 kg odpadu | $C_o = 4 - 6,5 \text{ Kč / kg}$ |
| – výrobní série | $Q = 380\,000 \text{ ks/rok}$ |

11.2.2 Náklady na materiál a mzdy

- Počet tabulí na zhotovení výrobní série $Q = 380\,000 \text{ ks}$

$$V_{\text{tab}} = \frac{Q}{Pk_t} = \frac{380\,000}{984} = 386,18 = 387 \text{ ks} \quad (11.25)$$

- Využití tabule plechu
 - obsah výpalku byl zjištěn v programu Autodesk Inventor Professional 2008
 - obsah $S_v = 7\,339,15 \text{ mm}^2$

$$\frac{S_v \cdot Pk_t}{S_t} \cdot 100 = \frac{7\,339,15 \cdot 984}{2\,000 \cdot 6\,000} = 60,18 \% \quad (11.26)$$

- odpad

$$100 - 60,18 = 39,82 \% \quad (11.27)$$

- Objem a hmotnost tabule plechu o rozměrech $2\,000 \times 6\,000 \text{ mm}$

$$V = a \cdot b \cdot t = 2\,000 \cdot 6\,000 \cdot 5 = 60\,000\,000 \text{ mm}^3 = 0,06 \text{ m}^3$$

- hmotnost tabule plechu byla zjištěna z přílohy [3] od firmy R+W Ferra s.r.o.
- $m = 480 \text{ kg}$

- Hmotnost tabulí pro zhotovení výrobní série $Q = 380\,000 \text{ ks}$

$$m_{\text{vs}} = V_{\text{tab}} \cdot m = 387 \cdot 480 = 185\,760 \text{ kg} \quad (11.28)$$

- Celková hmotnost odpadu

$$m_o = m_{\text{vs}} \cdot 39,82 / 100 = 185\,760 \cdot 0,3982 = 73\,969,63 \text{ kg} \quad (11.29)$$

Z počtu tabulí a z hmotnosti odpadu se vypočtou náklady na materiál, který je potřebný pro zpracování potřebného množství.

- Náklady na pořízení počtu tabulí pro sérii $380\,000 \text{ ks}$
 - cena materiálu byla zjištěna od firmy R+W Ferra s.r.o. z přílohy [3]
 - $C_m = 10\,560 \text{ Kč / tab}$

$$N_m = V_{\text{tab}} \cdot C_m = 387 \cdot 10\,560 = 4\,086\,720 \text{ Kč} \quad (11.30)$$

- Zhodnocení odpadu

- cena zhodnoceného odpadu byla zjištěna od firmy Agentura D-K, spol. s.r.o.
- $C_o = 4 - 6,5 \text{ Kč / kg}$, zvoleno $C_o = 5 \text{ Kč / kg}$

$$Z_o = m_o \cdot C_o = 73\,969,63 \cdot 5 = 369\,848,15 \text{ Kč} \quad (11.31)$$

- Náklady na celkový potřebný materiál

$$N_{mc} = N_m - Z_o = 4\,086\,720 - 369\,848,15 = 3\,716\,871,85 \text{ Kč} \quad (11.32)$$

- Náklady na materiál pro jednu součást

$$N_{m1} = \frac{N_{mc}}{Q} = \frac{3\,716\,871,85}{380\,000} = 9,81 \text{ Kč/ks} \quad (11.33)$$

- Počet vyrobených výpalků za jednu směnu

$$n_{vs} = 7,5/t_{st} \cdot Pk_t = 7,5/22\,801 \cdot 984 \cdot 3\,600 = 1\,165 \text{ ks/směnu} \quad (11.34)$$

Kde t_{st} ... strojní čas tabule [s]

- Celkové náklady na mzdy (přímé mzdy)

- sociální a zdravotní pojištění je nutné zahrnout do celkových nákladů na mzdy
- SZP = 34 % = 1,34

$$P_m = Q/n_{vs} \cdot 7,5 \cdot 120 \cdot SZP = 380\,000/1\,165 \cdot 7,5 \cdot 120 \cdot 1,34 = 393\,373,4 \text{ Kč} \quad (11.35)$$

- Celkové náklady na mzdy a režii

- výrobní režie 390 % → VR = 3,9
- správní režie 120 % → SR = 1,2

$$N_{mr} = P_m \cdot (VR + SR) = 393\,373,4 \cdot (3,9 + 1,2) = 2\,006\,204,3 \text{ Kč} \quad (11.36)$$

11.2.3 Celková cena výpalku

Celková cena výpalku byla stanovena firmou R+W Ferra s.r.o. na 92,15 Kč/ks, viz příloha [3]. V této ceně je zahrnuta cena počtu propalů, délky přímého řezu a cena materiálu. Podle přílohy [3] stojí jeden propal 10 Kč, jeden metr přímého řezu 55 Kč a cena materiálu 20 Kč/kg.

Součást - bezpečnostní pojistka:

- cena délky přímého řezu: 0,77 m 42,35 Kč
- počet propalů: 4 ks 40 Kč
- cena materiálu: 9,8 Kč

- Celková cena výpalků pro celou sérii $Q = 380\,000$ ks

- cena jednoho výpalku $C_{cs} = 92,15$ Kč/ks

$$C_c = C_{cs} \cdot Q = 92,15 \cdot 380\,000 = 35\,017\,000 \text{ Kč} \quad (11.37)$$

11.3 Řezání laserem

Firma Dendera a.s. ocenila výpalek při řezáním laserem.

11.3.1 Výchozí hodnoty

- rozměr tabule plechu $S_t = 2\,000 \times 1\,000$ mm
- počet kusů z jedné tabule plechu $Pk_t = 173$ ks
- cena tabule plechu 11 375 $C_m = 1\,660$ Kč / tab
- cena 1 kg odpadu $C_o = 4 - 6,5$ Kč / kg
- výrobní série $Q = 380\,000$ ks/rok

11.3.2 Náklady na materiál a mzdy

- Počet tabulí na zhotovení výrobní série $Q = 380\,000$ ks

$$V_{\text{tab}} = \frac{Q}{P_{k_t}} = \frac{380\,000}{173} = 2\,196,5 = 2\,197 \text{ ks} \quad (11.38)$$

- Využití tabule plechu
 - obsah výpalku byl zjištěn v programu Autodesk Inventor Professional 2008
 - obsah $S_v = 7\,339,15 \text{ mm}^2$

$$\frac{S_v \cdot P_{k_t}}{S_t} \cdot 100 = \frac{7\,339,15 \cdot 173}{2\,000 \cdot 1\,000} = 63,48 \% \quad (11.39)$$

- odpad

$$100 - 63,48 = 36,52 \% \quad (11.40)$$

- Objem a hmotnost tabule plechu o rozměrech $2\,000 \times 6\,000 \text{ mm}$

$$V = a \cdot b \cdot t = 2\,000 \cdot 1\,000 \cdot 5 = 10\,000\,000 \text{ mm}^3 = 0,01 \text{ m}^3 \quad (11.41)$$

- hmotnost tabule plechu byla zjištěna z přílohy [5] od firmy Dendera a.s.
- $m = 78,5 \text{ kg}$

- Hmotnost tabulí pro zhotovení výrobní série $Q = 380\,000$ ks

$$m_{vs} = V_{\text{tab}} \cdot m = 2\,197 \cdot 78,5 = 172\,464,5 \text{ kg} \quad (11.42)$$

- Celková hmotnost odpadu

$$m_o = m_{vs} \cdot 36,52 / 100 = 172\,464,5 \cdot 0,3652 = 62\,984,04 \text{ kg} \quad (11.43)$$

Z počtu tabulí a z hmotnosti odpadu, se vypočtou náklady na materiál, který je potřebný pro zpracování potřebného množství.

- Náklady na pořízení počtu tabulí pro sérii $380\,000$ ks
 - cena materiálu byla zjištěna od firmy R+W Ferra s.r.o. z přílohy [5]
 - $C_m = 1\,660 \text{ Kč / tab}$

$$N_m = V_{\text{tab}} \cdot C_m = 2\,197 \cdot 1\,660 = 3\,647\,020 \text{ Kč} \quad (11.44)$$

- Zhodnocení odpadu
 - cena zhodnoceného odpadu byla zjištěna od firmy Agentura D-K, spol. s.r.o.
 - $C_o = 4 - 6,5 \text{ Kč / kg}$, zvoleno $C_o = 5 \text{ Kč / kg}$

$$Z_o = m_o \cdot C_o = 62\,984,04 \cdot 5 = 314\,920,17 \text{ Kč} \quad (11.45)$$

- Náklady na celkový potřebný materiál

$$N_{mc} = N_m - Z_o = 3\,647\,020 - 314\,920,17 = 3\,332\,099,83 \text{ Kč} \quad (11.46)$$

- Náklady na materiál pro jednu součást

$$N_{m1} = \frac{N_{mc}}{Q} = \frac{3\,332\,099,83}{380\,000} = 8,76 \text{ Kč/ks} \quad (11.47)$$

- Počet vyrobených výpalků za jednu směnu

$$n_{vs} = 7,5/t_{st} \cdot P_{k_t} = 7,5/5\,962 \cdot 173 \cdot 3\,600 = 783 \text{ ks/směnu} \quad (11.48)$$

- Celkové náklady na mzdy (přímé mzdy)
 - sociální a zdravotní pojištění je nutné zahrnout do celkových nákladů na mzdy
 - SZP = 34 % = 1,34

$$P_m = Q/n_{vs} \cdot 7,5 \cdot 120 \cdot SZP = 380\,000/783 \cdot 7,5 \cdot 120 \cdot 1,34 = 585\,287,4 \text{ Kč} \quad (11.49)$$

- Celkové náklady na mzdy a režii
 - výrobní režie 390 % → VR = 3,9
 - správní režie 120 % → SR = 1,2

$$N_{mr} = P_m \cdot (VR + SR) = 585\,287,4 \cdot (3,9 + 1,2) = 2\,984\,965,5 \text{ Kč} \quad (11.50)$$

11.3.3 Celková cena výpalku

Celková cena výpalku byla stanovena firmou Dendera a.s. na 23,24 Kč/ks při sérii větší jak 499 ks, viz příloha [5]. Tato cena je včetně materiálu.

- Celková cena výpalků pro celou sérii $Q = 380\,000$ ks
 - cena jednoho výpalku $C_{cs} = 23,24$ Kč/ks

$$C_c = C_{cs} \cdot Q = 23,24 \cdot 380\,000 = 8\,831\,200 \text{ Kč} \quad (11.51)$$

11.4 Řezání vodním paprskem

Cenu výpalku stanovila firma AQUAdem s.r.o.

11.4.1 Výchozí hodnoty

- | | |
|------------------------------------|---|
| – rozměr tabule plechu | $S_t = 2\,000 \times 1\,000 \text{ mm}$ |
| – počet kusů z jedné tabule plechu | $Pk_t = 192 \text{ ks}$ |
| – cena tabule plechu 11 375 | $C_m = 1\,660 \text{ Kč / tab}$ |
| – cena 1 kg odpadu | $C_o = 4 - 6,5 \text{ Kč / kg}$ |
| – výrobní série | $Q = 380\,000 \text{ ks/rok}$ |

11.4.2 Náklady na materiál a mzdy

- Počet tabulí na zhotovení výrobní série $Q = 380\,000$ ks

$$V_{tab} = \frac{Q}{Pk_t} = \frac{380\,000}{192} = 1\,979,17 = 1\,980 \text{ ks} \quad (11.52)$$

- Využití tabule plechu
 - obsah výpalku byl zjištěn v programu Autodesk Inventor Professional 2008
 - obsah $S_v = 7\,339,15 \text{ mm}^2$

$$\frac{S_v \cdot Pk_t}{S_t} \cdot 100 = \frac{7\,339,15 \cdot 192}{2\,000 \cdot 1\,000} = 70,46 \% \quad (11.53)$$

- odpad

$$100 - 60,18 = 39,82 \% \quad (11.54)$$

- Objem a hmotnost tabule plechu o rozměrech 2 000 x 6 000 mm

$$V = a \cdot b \cdot t = 2\,000 \cdot 1\,000 \cdot 5 = 10\,000\,000 \text{ mm}^3 = 0,01 \text{ m}^3 \quad (11.55)$$

- hmotnost tabule plechu byla zjištěna od firmy AQUAdem s.r.o.
- $m = 78,5 \text{ kg}$

- Hmotnost tabulí pro zhotovení výrobní série $Q = 380\,000 \text{ ks}$

$$m_{vs} = V_{tab} \cdot m = 1\,980 \cdot 78,5 = 155\,430 \text{ kg} \quad (11.56)$$

- Celková hmotnost odpadu

$$m_o = m_{vs} \cdot 39,82 / 100 = 155\,430 \cdot 0,3982 = 61\,892,23 \text{ kg} \quad (11.57)$$

Z počtu tabulí a z hmotnosti odpadu, se vypočtou náklady na materiál, který je potřebný pro zpracování potřebného množství.

- Náklady na pořízení počtu tabulí pro sérii 380 000 ks
 - cena materiálu byla zjištěna od firmy AQUAdem s.r.o.
 - $C_m = 1\,660 \text{ Kč / tab}$
$$N_m = V_{tab} \cdot C_m = 1\,980 \cdot 1\,660 = 3\,286\,800 \text{ Kč} \quad (11.58)$$

- Zhodnocení odpadu
 - cena zhodnoceného odpadu byla zjištěna od firmy Agentura D-K, spol. s.r.o.
 - $C_o = 4 - 6,5 \text{ Kč / kg}$, zvoleno $C_o = 5 \text{ Kč / kg}$
$$Z_o = m_o \cdot C_o = 61\,892,23 \cdot 5 = 309\,461,15 \text{ Kč} \quad (11.59)$$

- Náklady na celkový potřebný materiál

$$N_{mc} = N_m - Z_o = 3\,286\,800 - 309\,461,15 = 2\,977\,338,85 \text{ Kč} \quad (11.60)$$

- Náklady na materiál pro jednu součást

$$N_{m1} = \frac{N_{mc}}{Q} = \frac{2\,977\,338,85}{380\,000} = 7,83 \text{ Kč/ks} \quad (11.61)$$

- Počet vyrobených výpalků za jednu směnu

$$n_{vs} = 7,5 / t_{st} \cdot Pk_t = 7,5 / 64\,896 \cdot 192 \cdot 3\,600 = 79 \text{ ks/směnu} \quad (11.62)$$

- Celkové náklady na mzdy (přímé mzdy)
 - sociální a zdravotní pojištění je nutné zahrnout do celkových nákladů na mzdy
 - SZP = 34 % = 1,34
$$P_m = Q / n_{vs} \cdot 7,5 \cdot 120 \cdot SZP = 380\,000 / 79 \cdot 7,5 \cdot 120 \cdot 1,34 = 5\,801\,012,7 \text{ Kč} \quad (11.63)$$

- Celkové náklady na mzdy a režii
 - výrobní režie 390 % $\rightarrow VR = 3,9$
 - správní režie 120 % $\rightarrow SR = 1,2$
$$N_{mr} = P_m \cdot (VR + SR) = 5\,801\,012,7 \cdot (3,9 + 1,2) = 29\,585\,164,6 \text{ Kč} \quad (11.64)$$

11.4.3 Celková cena výpalku

Celková cena výpalku byla stanovena firmou AQUAdem s.r.o. na 103 Kč/ks. Tato cena je včetně materiálu.

- Celková cena výpalků pro celou sérii $Q = 380\,000$ ks

– cena jednoho výpalku $C_{cs} = 103$ Kč/ks

$$C_c = C_{cs} \cdot Q = 103 \cdot 380\,000 = 39\,140\,000 \text{ Kč} \quad (11.65)$$

Tab. 11.1 Shrnutí nákladů na materiál a ceny výrobku

	Cena materiálu [Kč]	Cena součásti [Kč]
Střížný nástroj bez nákladů na lis	8,61	12,98
Střížný nástroj s náklady na lis	8,61	23,00
Plazma	9,81	92,15
Laser	8,76	23,24
Vodní paprsek	7,83	103,00

Dle tabulky 11.1 je nejvýhodnější výroba postupovým střížným nástrojem bez nákladů na pořízení lisu. Pokud by se musel lis pořídit, výhodnost postupového střížného nástroje se snižuje. Poté by byla výhodná varianta laserové řezání a to i přes to, že má vyšší cenu než postupový střížný nástroj, ale tato vyšší cena je jen v řádu desetin korun. Laserové řezání je výhodné, i co se týče kvality řezu oproti postupovému střížnému nástroji.

Vodní paprsek je používám pro kusové nebo malé série. Pro zadanou sérii 380 000 kusů za rok, je tedy vodní paprsek nevýhodný, jak kvůli ceně, tak i z hlediska výrobního času. Výrobní sérii za rok by se nepodařilo na jednom zařízení pro řezání vodním paprskem vyrobit.

Plazmové zařízení Kjellberg Fine Focus je třetí největší v České republice, kvůli svému výkonu není vhodný pro zadanou součást a to převážně z důvodu nekvalitní plochy řezu. Řeznou plochu by se dalo vylepšit dokončovací operací, ale to by zvýšilo cenu výpalku.

Z technologického a ekonomického hlediska je nejvýhodnější varianta řezání na laseru. Nejnižší cena je u postupového střížného nástroje, ale z důvodu investice do nákupu lisu, se tato varianta jeví jako nevýhodná.

12 ZÁVĚRY

Cílem diplomové práce bylo stanovení vhodné technologie výroby pro zadanou součást - bezpečnostní pojistku, na kterou nejsou kladeny vysoké nároky na jakost povrchu a geometrickou přesnost. Součást je vyráběna z konstrukční oceli 11 375 tloušťky 5 mm ve výrobní sérii 380 000 kusů za rok. Rozbor byl proveden pro postupový střížný nástroj, plazmové řezání, laserové řezání a řezání vodním paprskem. V první části je uvedena studie problematiky z doložené literatury, která rozvádí podstatu jednotlivých metod včetně jejich výhod a nevýhod.

Při návrhu postupového střížného nástroje je nejprve zvolen vhodný nástřihový plán z několika variant. Pro zvolenou variantu a nástroj jsou vypočítány kontrolní a technologické parametry, na základě kterých je zvolen lis CDCH 3000 P od firmy HESSE+CO Maschinenfabrik GmbH.

Součástí práce je technologické a ekonomické zhodnocení. Z technologického hodnocení vychází, že nejvýhodnější, co se týče kvality řezu, je součást vypálená na laserovém zařízení. Ekonomické hodnocení vychází z rozboru ceny výrobku, do kterého jsou zahrnuty náklady na materiál, nástroj a mzdy. Na základě tohoto hodnocení lze uvést, že cenově je nejvýhodnější součást vyrobená metodou postupového střížného nástroje, pokud se do této ceny nebudou zahrnovat náklady na lis. S přihlédnutím na náklady lisu je z ekonomického hlediska výhodnější součást pálená na laseru. Výroba vodním paprskem nelze využít z důvodu vysoké výrobní série. Pro tuto sérii je výhodné pálení na plazmovém zařízení, avšak výrobek má nekvalitní řeznou plochu.

Na základě technologického a ekonomického vyhodnocení je zvolena výroba zadané součásti metodou řezání laserem.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [8]

- [1] *AB JET spol. s r.o.* [online]. c2005-2009 [cit. 2011-05-22]. Řezání materiálu vysokotlakým vodním paprskem. Dostupné z WWW: <<http://www.abjet.cz/web-cz/serv01.htm>>.
- [2] *Agentura D-K spol. s r.o.* [online]. c2011, 17.5.2011 [cit. 2011-05-22]. Ceník železa. Dostupné z WWW: <<http://www.desensky.cz/cenik-sberne-suroviny/cenik-zeleza.htm>>.
- [3] *Amada America, Inc.* [online]. c2010 [cit. 2011-05-22]. Lasers. Dostupné z WWW: <<http://www.amada.com/site/default.asp?format=html&page=fo3015nt.htm>>.
- [4] *AQUAdem s.r.o.* [online]. c2010 [cit. 2011-05-22]. AQUAdem s.r.o. - Komplexní zpracování materiálu CNC technologií. Dostupné z WWW: <<http://www.aquadem.cz/index.htm>>.
- [5] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1971. 544 s.
- [6] *CELAT - Centrum laserových a automatizačních technologií* [online]. c2005-2011 [cit. 2011-05-22]. Rozdělení laserů. Dostupné z WWW: <<http://laser.zcu.cz/wiki/rozdeleni-laseru>>.
- [7] *Citace 2.0 - vše o citování literatury a dokumentů* [online]. c2004-2011 [cit. 2011-05-23]. Generátor citací. Dostupné z WWW: <<http://www.citace.com/generator.php>>.
- [8] ČSN 22 6015 : *Stříhadla a střižné vřely*. Praha 10 - Hostivař : ÚNM, 1977. 28 s.
- [9] *Dendera s.s* [online]. c2011 [cit. 2011-05-22]. O firmě. Dostupné z WWW: <http://www.dendera.cz/o_firme-cz.html>.
- [10] *DENIP, spol. s r.o. - moderní strojírenská firma* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. Děrování, vysekávání a prostřihování plechu. Dostupné z WWW: <<http://www.denip.cz/vystrihovani-plechu/>>.
- [11] DVOŘÁK, Milan; MAREČKOVÁ, Michaela. Vybrané technologie plošného tváření. In *Technologie tváření* [online]. Brno : [s.n.], září 2006 [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/kapitola_4.htm>.
- [12] FEJFAR, Vítězslav. Air Liquide je světovým leaderem v technických a medicínálních plynech a s nimi spojenými službami. *Časopis KONSTRUKCE - informace o uplatnění konstrukcí a návazných oborů při stavbách ve stavebnictví a strojírenství* [online]. 22.5.2008, 5, [cit. 2011-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/air-liquide-je-svetovym-leaderem-v-technickyh-a-medicinalnich-plynech-a-s-nimi-spojenymi-sluzbami/>>.
- [13] *Feromat Brno, s.r.o.* [online]. 2011, 10.3.2011 [cit. 2011-03-11]. Služby a ceník. Dostupné z WWW: <http://www.feromat.cz/sites/default/files/ceniky/FEROMAT_HUTNI.pdf>.
- [14] *Flow International Corporation - Jednička v oboru řezání vodním paprskem* [online]. c2006-2009 [cit. 2011-05-22]. Technologie řezání vodním paprskem. Dostupné z WWW: <<http://www.flowcorp.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem-26/>>.
- [15] HAVRÁNEK, Miroslav. Nejmenší polovodičový laser na světě . *Aldebaran Bulletin* [online]. 27. listopadu 2009, 7, 45, [cit. 2011-05-22]. Dostupný z WWW: <http://www.aldebaran.cz/bulletin/2009_45_las.php>. ISSN 1214-1674.

- [16] *HESSE+CO Maschinenfabrik GmbH* [online]. 2009 [cit. 2011-05-22]. NEUMASCHINEN / NOVÉ STROJE. Dostupné z WWW: <http://www.hesse-maschinen.com/silberkat2008_alle_sprachen_12_D+CZ_LR.pdf>.
- [17] *Hutní materiály, hospodářské potřeby, řezání plazmou, Plazma CZ* [online]. c2010 [cit. 2011-05-22]. Plazma přednosti a nevýhody. Dostupné z WWW: <<http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody>>.
- [18] *Hypertherm, Inc.* [online]. c2011 [cit. 2011-05-22]. What is plasma?. Dostupné z WWW: <http://www.hypertherm.com/en/Training_and_Education/What_is_Plasma/what_is_plasma.jsp>.
- [19] *CHPS s.r.o. - řezání vodním paprskem, řezání laserem, zpracování kovů* [online]. c2006 [cit. 2011-05-22]. Materiály: Co lze řezat vodním či hydroabrazivním paprskem?. Dostupné z WWW: <<http://www.chps.cz/vodni-paprsek/materialy.html>>.
- [20] Laser. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>>.
- [21] LEINVEBER, Jan; VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. druhé doplněné vydání. Úvaly : Albra, 2005. 921 s. ISBN 80-7361-011-6.
- [22] *Linde Gas a.s.* [online]. c2008 [cit. 2011-02-19]. Laserová technologie. Dostupné z WWW: <http://www.linde-gas.cz/international/web/lg/cz/like35lgcz.nsf/docbyalias/nav_ind_las>.
- [23] *Linde Gas a.s.* [online]. c2008 [cit. 2011-03-06]. Řezání laserem. Dostupné z WWW: <http://www.linde-gas.cz/international/web/lg/cz/like35lgcz.nsf/docbyalias/ind_mv_lascut>.
- [24] *MEHARI, s.r.o.* [online]. c2008 [cit. 2011-05-23]. Plazmové řezání. Dostupné z WWW: <http://www.mehari.cz/?s=plazmove_rezani&PHPSESSID=b9ade1dd307713aad293959a6fb31643>.
- [25] NAVRÁTIL, Leoš; KOLÁŘOVÁ, Hana. *EAMOS* [online]. c2002-2011 [cit. 2011-05-23]. Neionizující formy záření. Dostupné z WWW: <http://eamos.pf.jcu.cz/amos/kra/externi/kra_7169/ch08.htm>.
- [26] NOVOTNÝ, Josef; LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 216 s.
- [27] NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky, část I - tváření*. 2., nezměněné. Praha : SNTL, 1985. 180 s.
- [28] PETRUŽELKA, Jiří; BŘEZINA, Richard. *Úvod do tváření II*. [s.l.] : [s.n.], 2001. 2 sv. (161, 115 s.).
- [29] *R+W Ferra s.r.o.* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. R+W Ferra s.r.o. Dostupné z WWW: <<http://www.rwferra.cz/>>.
- [30] ROUBÍČEK, Martin. Řezání CO2 laserem – Optický systém Bifocal. *KONSTRUKCE* [online]. 7.4.2009, 5, [cit. 2011-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.konstrukce.cz/clanek/rezani-co2-laserem-opticky-system-bifocal/>>.

- [31] *RP Photonics Consulting* [online]. cDr. Rüdiger Paschotta, RP Photonics Consulting GmbH, 2011-02-17 [cit. 2011-05-23]. Lasers. Dostupné z WWW: <<http://www.rp-photonics.com/lasers.html>>.
- [32] ŘASA, Jaroslav; KEREČANINOVÁ, Zuzana. Nekonvenční metody obrábění – 5. díl. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 12. května 2008, 5, [cit. 2011-05-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil>>.
- [33] Řezání vodním paprskem. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem>.
- [34] Spontánní emise. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Spont%C3%A1nn%C3%AD_emise>.
- [35] Stimulovaná emise. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida): Wikipedia Foundation, [cit. 2011-05-23]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Stimulovan%C3%A1_emise>.
- [36] SYNEK, Miloslav, et al. *Základy podnikové ekonomiky*. 1. vyd. Praha : Aleko, 1990. 186 s. ISBN 80-85341-00-X.
- [37] ŠULC, Jan. *PLS Laser Systems spol. s.r.o.* [online]. 13.července 2004 [cit. 2011-05-23]. Průmyslové aplikace laserových systémů. Dostupné z WWW: <<http://www.plslaser.cz/pdf/prumysl.pdf>>.
- [38] ŠULC, Jan. *PLS Laser Systems spol. s r.o.* [online]. 8. října 2002 [cit. 2011-05-23]. Lasery a jejich aplikace. Dostupné z WWW: <<http://www.plslaser.cz/pdf/lasery.pdf>>.
- [39] TŘEŠŇÁK, Kamil. *Printing.cz - Server zaměřený na tisk, pre-press a knihařské zpracování*. [online]. 09.02.2001 [cit. 2011-05-23]. Principy laserů a jejich rozdělení. Dostupné z WWW: <http://www.printing.cz/art/ctp/ctp_principy_laseru.html>.
- [40] *Waterjets.org - The most complete waterjet resource on the web* [online]. 2011 [cit. 2011-05-23]. About waterjets: Basic information. Dostupné z WWW: <http://waterjets.org/index.php?option=com_content&task=section&id=4&Itemid=32>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis	Jednotky
a	šířka tabule plechu	[mm]
apod.	a podobně	[-]
A	střížná práce	[J]
b	délka tabule plechu	[mm]
BZ	bod zvratu	[ks]
c	součinitel, nižší hodnoty se volí, pokud chceme lepší střížnou plochu, při vyšších hodnotách lze dosáhnout minimální střížné síly ($c = 0,005 - 0,035$)	[-]
C_c	cena součástí pro danou sérii	[Kč]
C_{clis}	cena součástí pro danou sérii včetně nákladů na lis	[Kč]
C_{cs}	celková cena součástí	[Kč/ks]
C_{cslis}	celková cena součástí včetně nákladů na lis	[Kč/ks]
C_m	cena materiálu tabule plechu	[Kč]
C_o	cena 1 kg odpadu	[Kč/kg]
d	průměr střížníku	[mm]
D	délka součásti	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_e	cena elektrické energie	[Kč/kWh]
E_m	velikost můstku	[mm]
F	velikost okraje	[mm]
F_i	střížná síla pro vystřížení i-tého prvku	[N]
FN	fixní náklady	[Kč]
FN_{lis}	fixní náklady včetně nákladů na lis	[Kč]
F_s	střížná síla	[N]
F_{scl}	celková střížná síla	[N]
H	tloušťka střížnice	[mm]
I	moment setrvačnosti průřezu	[mm ⁴]
JR	jmenovitý rozměr součásti	[mm]
k	koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu	[-]
kap.	kapitola	[-]
K	krok	[mm]
l	délka stříhu	[mm]
l_{krit}	kritická délka střížníku	[mm]
m	hmotnost tabule plechu	[kg]
m_o	celková hmotnost odpadu	[kg]
m_s	střížná mezera	[mm]
m_{vs}	hmotnost tabulí pro danou sérii	[kg]
n	koeficient zahrnující opotřebení (otupení) nástroje	[-]
N_{el}	náklady na spotřebovanou energii stroje	[Kč]
n_h	počet hodin potřebných na výrobu série	[hod]
N_{lis}	cena stroje	[Kč]
N_m	náklady na pořízení požadovaného počtu tabulí	[Kč]
N_{m1}	náklady na materiál pro výrobu jedné součásti	[Kč/ks]
N_{mc}	náklady na celkový potřebný materiál	[Kč]
N_{mr}	celkové náklady na mzdy a režii	[Kč]
N_{mz}	náklady na mzdy	[Kč]
N_n	náklady na nástroj	[Kč]

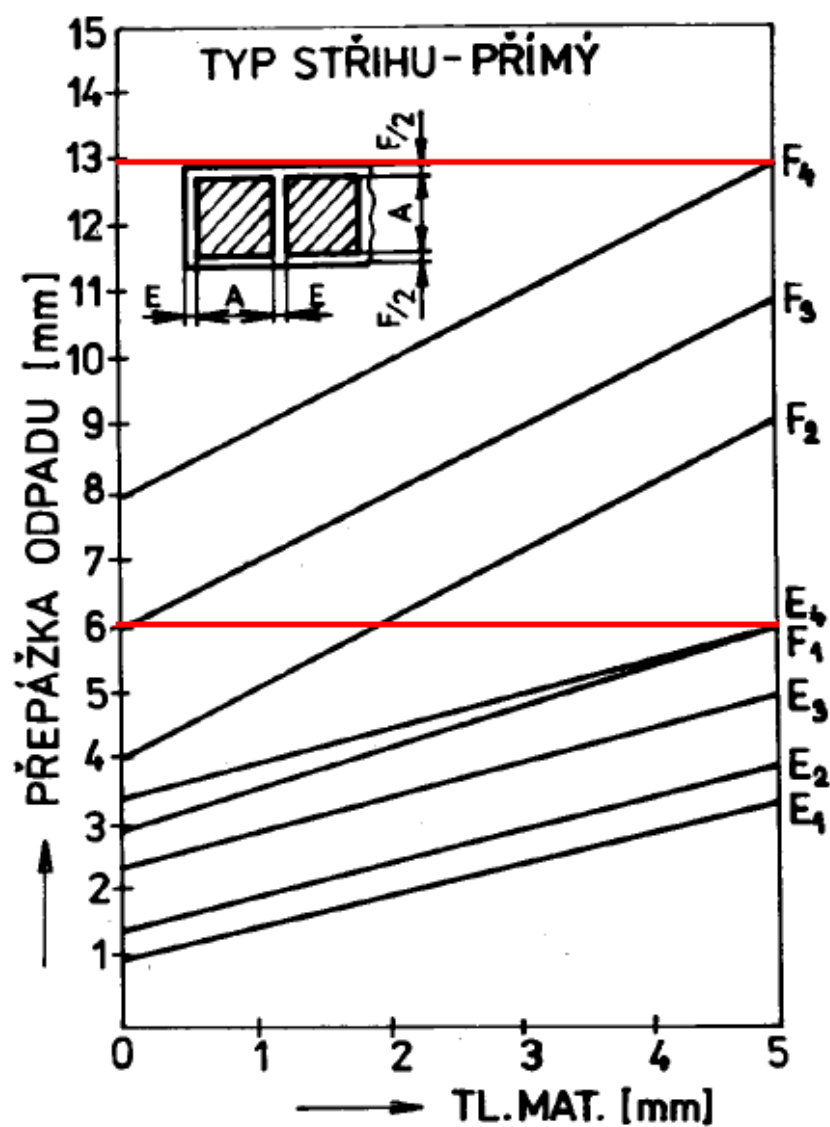
$n_{\text{směna}}$	počet směn na zhotovení výrobní série	[směna]
N_{v1}	náklady na výrobu jedné součásti	[Kč/ks]
N_{v1lis}	náklady na výrobu jedné součásti včetně nákladů na lis	[Kč/ks]
n_{vh}	počet vyrobených výstřížků za hodinu	[ks/hod]
n_{vhs}	skutečný počet výstřížků za hodinu	[ks/hod]
n_{vs}	počet vyrobených výstřížků za jednu směnu	[ks/směnu]
n_z	počet zdvihů lisu	[min ⁻¹]
obr.	obrázek	[-]
P	přípustná míra opotřebení	[mm]
P_{k_p}	počet kusů výstřížků z jednoho pásu	[Ks]
P_{k_t}	počet kusů výstřížků z jedné tabule	[Ks]
P_m	celkové náklady na mzdy	[Kč]
P_p	příkon lisu	[W]
P_p	počet pásů z tabule	[ks]
Q	výrobní série	[ks/rok]
RAD	rozměr střížníku při děrování	[mm]
RAV	rozměr střížníku při vystřihování	[mm]
RED	rozměr střížnice při děrování	[mm]
REV	rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
R_m	mez pevnosti v tahu	[MPa]
S	plocha stříhu	[mm ²]
SR	správné režie	[%]
S_t	obsah tabule	[mm ²]
S_v	obsah výstřížků	[mm ²]
SZP	sociální a zdravotní pojištění	[%]
š	šířka součásti	[mm]
š _p	šířka pásu plechu	[mm]
t	tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
tab.	tabulka	[-]
TA	výrobní tolerance střížníku	[mm]
TE	výrobní tolerance střížnice	[mm]
TS	tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
v	střížná vůle	[mm]
V	objem tabule plechu	[mm ³]
VN	variabilní náklady	[Kč]
VR	výrobní režie	[%]
V_{tab}	počet tabulí na jednu sérii	[Ks]
x_i	vzdálenost od počátku v ose x odpovídající těžišti i-tého prvku	[mm]
x_T	vzdálenost od počátku v ose x odpovídající těžišti střížných sil	[mm]
y_i	vzdálenost od počátku v ose y odpovídající těžišti i-tého prvku	[mm]
y_T	vzdálenost od počátku v ose y odpovídající těžišti střížných sil	[mm]
Z	uvažovaný zisk	[%]
Z_o	zhodnocení odpadu	[Kč]
μ	koeficient bezpečnosti	[-]
ρ	hustota oceli	[kg/m ³]
σ_{dov}	dovolené namáhání střížníku na tlak	[MPa]
τ_s	střížný odpor	[MPa]

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Určení velikosti můstků a okrajů
- Příloha 2: Pálicí plán pro plazmové řezání
- Příloha 3: Cenová nabídka pro řezání plazmou
- Příloha 4: Pálicí plán pro laserové řezání
- Příloha 5: Cenová nabídka pro laserové řezání
- Příloha 6: Pálicí plán pro řezání vodním paprskem
- Příloha 7: Job report pro řezání vodním paprskem
- Příloha 8: Postupový střížný nástroj 0-5O60-DP/00
- Příloha 9: Střížnice 0-5O60-DP/01
- Příloha 10: Bezpečnostní pojistka 3-5O60-DP/02
- Příloha 11: Složený střížník 3-5O60-DP/03
- Příloha 12: Složený střížník - malý 3-5O60-DP/04
- Příloha 13: Střížník 11,5x48 4-5O60-DP/05
- Příloha 14: Střížník 15 4-5O60-DP/06
- Příloha 15: Zpětný doraz 4-5O60-DP/07
- Příloha 16: Načínací doraz 4-5O60-DP/08

Příloha 1

Určení velikosti můstků a okrajů



$E_1F_1 = \text{DO } 15 \text{ mm}$
 $E_2F_2 = 15 - 50 \text{ mm}$
 $E_3F_3 = 50 - 100 \text{ mm}$
 $E_4F_4 = \text{přes } 100 \text{ mm}$

Příloha 2

Pálicí plán pro plazmové řezání



Cenová nabídka pro řezání plazmou

Jméno: D:RW FERRARW ZAKAZKY 2011VUT diplomkyVP5 - 2000x6000mm - bezpečnostní pojistka pla										Datum: 14.4.2011	
Stroj: -										Hodinová sazba [Kč/h]	
Přesunová rychlost 3 000,0 [mm/min] = 50,00[mm/s]										300,00	
Rozměry: 6000mmx2000mmx6mm										22,00	
Hmotnost polotovaru 480,00										10560,00	
Cena polotovaru [Kč/kg]											
Cena polotovaru [Kč]											
Nástroj Plasma										Startovací čas[s]	
Rychlost[mm/min]										50,00	
Cena řezu[Kč/m]											
Množství										Délka [m]	
Řezání										760,66	
Přesuny										227,6	
Startování										0	
Celkový čas										6:20:8	
Čas [s]											
18 256											
4 553											
0											
Materiál										Důly	
Hmotnost [kg]										188,57	
Plocha [m2]										4,71	
Cena materiálu [Kč]										4148,54	
291,43										8411,46	
480,00										10560,00	
Využitelnost[%]:										39,29	
Startování										Čas řezu	
Počet										Čas	
Čas řezu										Čas přesunu	
Délka										Čas Spolu	
Čas řezu										Čas řezu	
[s]										[čas+délka]	
[m]										[Kč]	
[m]										[h:m:s]	
0,77										4,6	
18,5										0:0:23	
10,73										40,58	
18 256										51,32	
10 660,22										39 933,79	
188,57										6:20:9	
0,19 / 0,49										50 494,00	
0,0047											
984											
984											
760,66											
18 256											
4,71											
3 936											
4											
4											
18,5											
10,73											
18 256											
10 660,22											
188,57											
0,19 / 0,49											
0,0047											
984											
984											
760,66											
18 256											
4,71											
3 936											
4											
4											
18,5											
10,73											
18 256											
10 660,22											
188,57											
0,19 / 0,49											
0,0047											
984											
984											
760,66											
18 256											
4,71											
3 936											
4											
4											
18,5											
10,73											
18 256											
10 660,22											
188,57											
0,19 / 0,49											
0,0047											
984											
984											
760,66											
18 256											
4,71											
3 936											
4											
4											
18,5											
10,73											
18 256											
10 660,22											
188,57											
0,19 / 0,49											
0,0047											
984											
984											
760,66											
18 256											
4,71											
3 936											
4											
4											
18,5											
10,73											
18 256											
10 660,22											
188,57											
0,19 / 0,49											
0,0047											
984											
984											
760,66											
18 256											
4,71											
3 936											
4											
4											
18,5											
10,73											
18 256											
10 660,22											
188,57											
0,19 / 0,49											
0,0047											
984											
984											
760,66											
18 256											
4,71											
3 936											
4											
4											
18,5											
10,73											
18 256											
10 660,22											
188,57											
0,19 / 0,49											
0,0047											
984											
984											
760,66											
18 256											
4,71											

Výpalky - cenová nabídka

Zákazník: VUT

Poptávka č.: 0

Objed. č.:

Materiál - plech P= 5mm

Jakost mat.: S235

Výkres č. / polotovar: v.č. bezpečnostní pojistka

L [m]	Kč/m	Propal [ks]	Kč/propal	Man.[hod./ks]	Kč/hod	Program [m]	Kč/hod	Materiál [kg]	Odpad [%]	Materiál [kg]	Kč/kg
délka přímého řezu	cena za metr řezu	počet propalů	cena za propal	doba na manipulaci	cena za manipulaci	doba na tvorbu programu	cena za tvorbu programu	čistá hmotnost výpalku	zbytek materiálu po výpalku	spotřeba mat. na výpalek	cena za materiál
0,77	55	4	10	0	300	0	300	0,19	157,9	0,49001	20
délka úhlového řezu	cena za metr řezu	počet propalů									

Za řez přímý	42,35
Za řez úhlový	0
Za propaly	40
Za manipulaci	0
Za tvorbu programu	0
Za materiál	9,8002

Cena celkem za kus [Kč/ks]	92,1502
----------------------------	---------

Počet kusů výpalku [ks]	984
Cena celková [Kč]	90675,797

Příloha 4

Pálící plán pro laserové řezání

ŘEZNÝ PLÁN :
Štroj : AMADA LASER - FO3015 - DE

Číslo programu

0

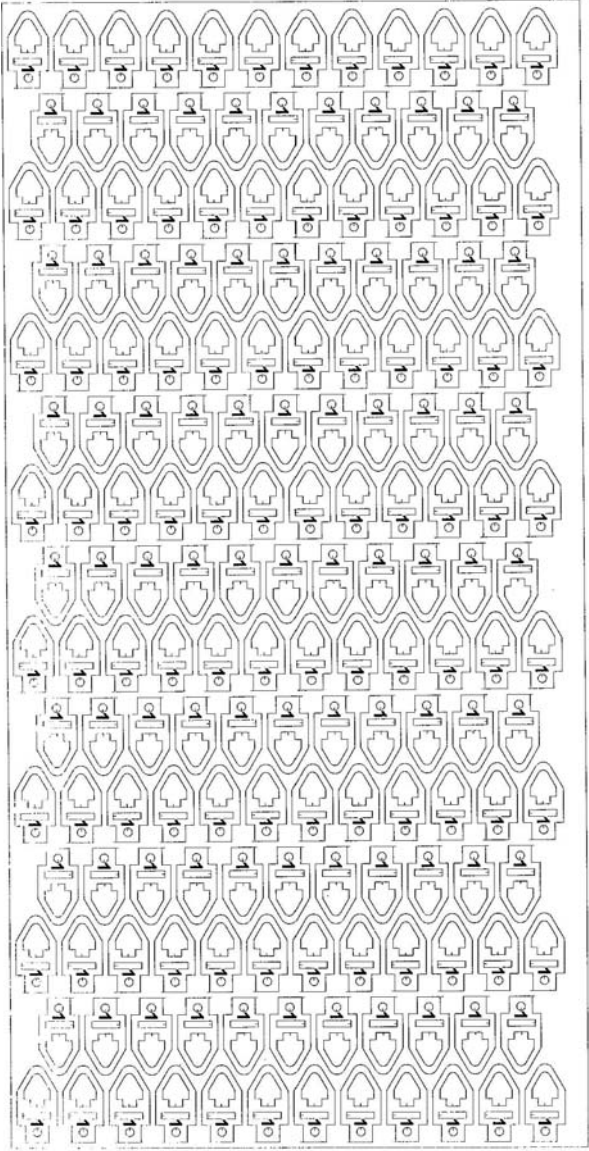
Číslo programu

Umístění rozkladu : H:\ROZKLADY\ROZKLADY_M\2011\BREZEN\28-03-2011\2-2728.JNF

Materiál : 11375 **Tloušťka :** 5.0 (mm) **Váha Odpadu :** 28.65 (kg)
Rozměr tabule : 2000.0 x 1000.0 (mm) **Strojní čas tabule :** 01 : 39 : 22
Počet řezaných tabulí : 1 **Celkový součet rozložených dílů :** 173
Váha tabule : 78.5 (kg)

Seznam dílů v rozkladu

#	Náhled	Název dílu	Ks	Zakazka (MRP)	Rozměr (mm)	Váha (kg)
1		FLM01196	173		135.0 x 70.0	0.19



Příloha 5

Cenová nabídka pro laserové řezání

Dendera a. s.
Kanice 104
664 01 Bílovice nad Svitavou

e-mail: dendera@dendera.cz

tel.: 545 227 785, 545 227 772, 731 419 248
fax: 545 227 715

Cenová nabídka AIJ00287

Cenová nabídka je platná 1 měsíc.

Firma: Dendera a.s.	
Pro:	Od: Honek Zdeněk
Počet stran: 1	Datum: 1.3.2011

Vážený zákazníku,
zasílám Vám cenovou nabídku na výrobu dílů dle Vaší výkresové dokumentace:

Číslo výkresu: 3-5060-00/00, 11375, 5,00 mm			
Cena za kus včetně materiálu při sérii:	1 - 4 ks	39,31	CZK
	5 - 49 ks	25,25	CZK
	50 - 199 ks	24,25	CZK
	200 - 499 ks	23,84	CZK
	více než 499 ks	23,24	CZK
Cena programu - jednorázově při první výrobě:		25,00	CZK

Ceny výrobků jsou EXW (INCOTERMS 2000), bez DPH, bez zvláštního balení, způsob platby hotově.

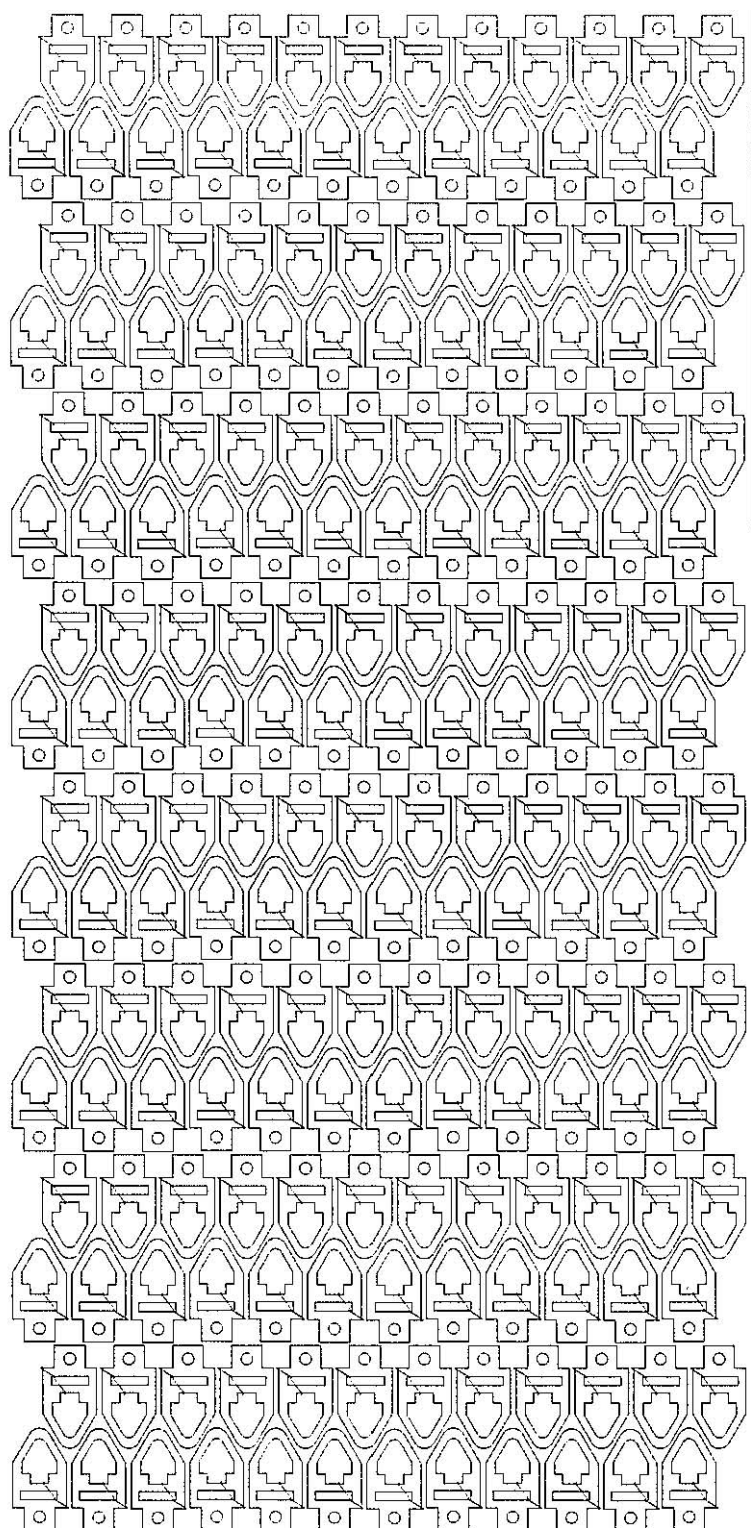
V případě objednání dílů uveďte prosím:

- číslo výkresu,
- tloušťku a třídu materiálu,
- číslo naší cenové nabídky,
- zda byly díly u nás již vyráběny,
- zda si přejete zajistit dopravu hotových dílů.

Děkujeme Vám za projevený zájem o naše služby.

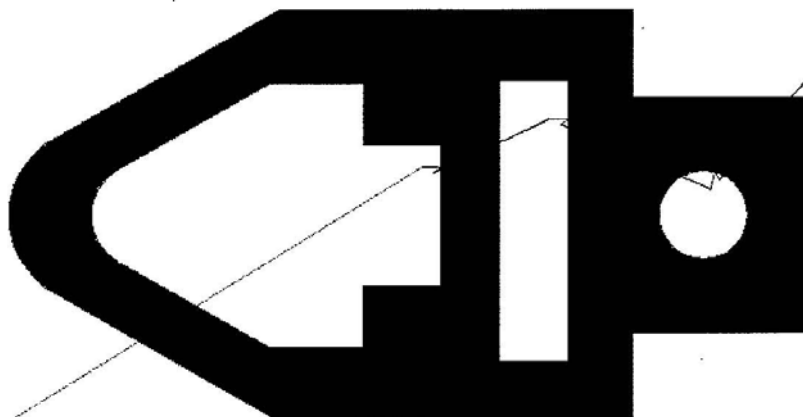
Příloha 6

Pálicí plán pro řezání vodním paprskem



Příloha 7

Job report pro řezání vodním paprskem



ACD soubor: bezpecnostni_pojistka

CNC soubor: V:\Programy\programy_ZC.mch\104.xpi

Material: Steel
Tloušťka.: 5.000

Sheet ID:
Sheet name:

Uložení:

Sheet size X: 0.000
Sheet size Y: 0.000

Stroj: AWJ Num

Tlak: 3600

Abrazivo druh: GMA Garnet 80

Abrazivo g/min: 300

Prumer vodni trysky:

Prumer trysky: 0.254
0.762

Nastroje:1

Rezná délka: 733.027mm

Rapid length: 154.092mm

Marking length: 0.000mm

Max feedrate: 178.000mm/min

Min feedrate: 80.271mm/min

Prumerna rychlost posuvu: 136.839mm/min

Celkový čas: 5m, 38s [0.094h]

Rychlý čas: 0s [0.000h]

Doba znacení: 1s [0.000h]

Prostřelovací čas: 16s [0.004h]

Rezný čas: 5m, 21s [0.089h]

Drilling/Rapid time: 1s [0.000h]



Part name:

Zakaznik:

Datum: 21.3.2011

Vaha: 0.185

X-rozmer: 135.000

Y-rozmer: 70.000

Marking length: 0.000mm

Rezná délka: 733.027mm

Number of parts: 1

Prumerný čas: 5m, 38s [0.094h]

Single time: 5m, 38s [0.094h]

Celkový čas: 5m, 38s [0.094h]