



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## LISOVÁNÍ MATIC DO PLECHOVÝCH POLOTOVARŮ

PRESSING THE NUTS TO SHEET METAL BLANKS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Drápal

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2016

## Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Michal Drápal
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Milan Kalivoda
Akademický rok:	2015/16

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 bakalářské práce:

### Lisování matic do plechových polotovarů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Stroje používané ve firmě.
3. Příprava plechových polotovarů.
4. Způsoby lisování matic.
5. Funkční parametry provedení lisování.
6. Vyhodnocení zjištěných experimentálních dat.
7. Diskuze.
8. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše zachycující problematiku výroby závitů v tenkostěnných materiálech.

Seznam literatury:

Dvořák, M., Gajdoš, F. a Novotný, K. (2013): Technologie tváření, plošné a objemové tváření. CERM, s. r. o., Brno.

Hrivňák, A. a Evin, E. (2004): Lisovatelnost plechov. Alfa, Košice.

Ptáček, L. et al (2003): Nauka o materiálu I. CERM, s. r. o., Brno.

Píška, M. et al. (2009): Speciální technologie obrábění. CERM, s. r. o., Brno.

Kolektiv autorů. (1997): Příručka obrábění, kniha pro praktiky. Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., Praha.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce obsahuje teoretický úvod do problematiky lisování matic, seznámení se s použitými stroji a následné testování a vyhodnocování výsledků. Zalisování je testováno na namáhání krutem a také tahem. V praktické části budeme testovat vybraný druh lisovacích matic. Cílem práce je najít vhodné lisovací parametry, které by nahradily současné nevyhovující praktiky.

### **Klíčová slova**

lisovací matice, razící síla, doba lisování, řezaná díra, sekaná díra

## **ABSTRACT**

The bachelor thesis consists of the theoretical introduction into pressing the nuts, familiarization with used machines followed by testing and evaluating of outcomes. Pressing the nuts is tested for torque and pulling force. In the practical part of the thesis chosen press nuts will be tested. Objective of this thesis is to find out suitable pressing parameters, which can substitute present unsuitable practices.

### **Key words**

the pressing nuts, punching force, pressing time, laser cut hole, punched hole

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DRÁPAL, M. *Lisování matic do plechových polotovarů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 44 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

### PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Lisování matic do plechových polotovarů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

-----  
Datum

-----  
Michal DRÁPAL

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce, vedení firmy EDP s.r.o., jmenovitě pánům Ing. Jiřímu Brožinovi a Bc. Jaroslavovi Podsedníkovi za poskytnuté informace k lisování a zázemí při testování parametrů lisování. Chtěl bych také poděkovat slečně Petře Koránové a celé rodině za podporu při vypracovávání této bakalářské práce.

**OBSAH**

ABSTRAKT .....	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 Uvedení do problematiky.....	10
1.1 Lisování matic .....	10
1.2 Deformace plechového polotovaru .....	11
1.2.1 Elastická deformace .....	11
1.2.2 Plastická deformace .....	11
1.2.3 Struktura krystalické mřížky.....	12
1.2.4 Poruchy krystalické mřížky .....	12
2 Způsoby lisování matic .....	15
2.1 Rozdělení lisů.....	15
2.1.1 Manuální lisy .....	15
2.1.2 Pneumatické lisy .....	15
2.1.3 Hydraulické lisy.....	16
2.1.4 Elektrické lisy .....	16
2.1.5 Mechanické lisy .....	17
2.2 Otvory pro lisování .....	18
2.2.1 Vyseknuté díry .....	18
2.2.2 Řezané díry .....	19
2.2.3 Vyvrtané díry .....	19
2.3 Lisovací parametry.....	19
3 Lisovací stroje použité ve firmě.....	20
3.1 Uvedení firmy EDP s.r.o.....	20
3.2 Specifikace lisu Haeger.....	20
3.2.1 Příprava stroje .....	21
3.2.2 Plán údržby stroje HAEGER 824 (t) .....	22
3.3 Další stroje .....	23
3.3.1 Řezání laserem.....	23
3.3.2 Vysekávací stroje.....	23
3.3.3 Kombinované stroje.....	23
4 Příprava plechových polotovarů .....	24

4.1	Vlastnosti plechů vhodných ke tváření .....	24
4.2	Základní rozdělení ocelí dle chemického složení .....	24
4.2.1	Používané materiály ve firmě: materiál EN 1.0330 (11 321).....	25
4.2.2	Používané materiály ve firmě: materiál EN 1.4301 ( X5CrNi 18-10 ).....	25
4.3	Tváření plechů ve firmě .....	26
4.3.1	Obrábění plechů na vysekávacích strojích.....	26
4.3.2	Tváření plechů laserem .....	26
5	Funkční parametry lisování .....	28
6	Vyhodnocení zjištěných experimentálních dat .....	30
6.1	Doba tlačení 0,5 sekund .....	30
6.1.1	Sekaná díra - doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN .....	30
6.1.2	Řezaná díra - doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN.....	30
6.2	Doba tlačení 1 sekunda .....	31
6.2.1	Sekaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 13 kN.....	31
6.2.2	Řezaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 13 kN.....	32
6.2.3	Sekaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 27 kN .....	32
6.2.4	Řezaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 27 kN.....	33
6.2.5	Sekaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 40 kN .....	34
6.2.6	Řezaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 40 kN.....	34
6.3	Doba tlačení 2 sekundy .....	35
6.3.1	Sekaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 13 kN.....	35
6.3.2	Řezaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 13 kN.....	36
6.3.3	Sekaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 27 kN.....	36
6.3.4	Řezaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 27 kN.....	37
6.3.5	Sekaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 40 kN .....	38
6.3.6	Řezaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 40 kN.....	38
6.4	Vyhodnocení výsledků zalisování.....	39
6.4.1	Výsledky pro sekanou díru .....	39
6.4.2	Výsledky pro řezanou díru.....	39
7	Diskuse.....	40
8	Závěr .....	41
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	42
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	44

## ÚVOD

Při výrobě závitů v tenkostěnných materiálech se často využívá technologie lisování matic, a to zejména díky jednoduchosti celého procesu. Existuje celá řada různých způsobů, jakými lisování provést, a parametrů, jež lze při lisování využít, přičemž právě zvolení nejefektivnějšího způsobu společně s vhodnými parametry může v mnoha podnicích příznivě ovlivnit kalkulaci výrobních nákladů.

Hlavním cíle práce je nalezení optimálních lisovacích parametrů pro lisování matic při volbě lisovacích postupů a při využití materiálů, které jsou používány v konkrétním výrobním podniku. Dílčím cílem práce je představení a teoretický úvod problematiky lisování matic takovým způsobem, aby se i čtenáři netechnického zaměření dokázali v dané problematice elementárně zorientovat.

V úvodní části práce si představíme obecné postupy při lisování matic, osvětlíme si procesy, které probíhají uvnitř materiálu, a současně nastíníme jistá úskalí, která jsou s nimi spojená. Následuje představení konkrétních způsobů lisování matic, a to zejména rozdělení nástrojů využívaných k lisování, popsání různých druhů otvorů pro lisování a také vysvětlení podstaty a významu jednotlivých lisovacích parametrů pro úspěšný průběh lisování.

Postupně přejdeme ke konkrétním ukázkám v rámci praktické části a to nejprve představením společnosti EDP s.r.o. a jejího přístrojového vybavení, na kterém probíhalo hledání optimálních parametrů lisování a následné měření a testování. Představíme si rozdělení materiálu vhodného k tváření, z čehož vybereme ty materiály, jež využijeme k samotnému lisování a které si blíže představíme.

Nakonec zvolíme funkční parametry lisování, které postupně otestujeme na dostupných přístrojích. V poslední části pak data získaná experimentálně vyhodnotíme a vybereme ty parametry, při nichž dosáhneme optimálních výsledků tváření.

Při hledání nejvhodnějších parametrů pro lisování matic využijeme vzorky používaného materiálu, které budeme postupně lisovat podle jednotlivých parametrů síly stlačení a délky doby stlačení. Podle kritéria síly na zpětné vytlačení a síly potřebné k protočení pak při testování určíme, které z parametrů lisování byly nejvhodnější.

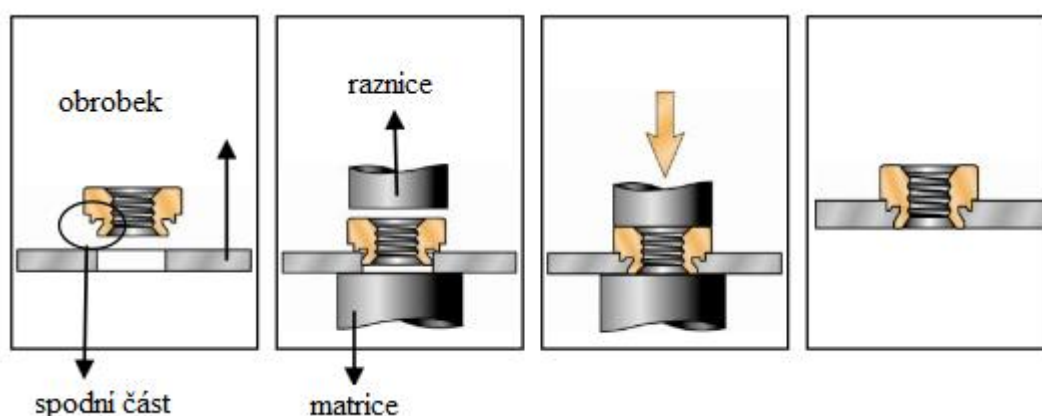
## 1 UVEDENÍ DO PROBLEMATIKY

### 1.1 Lisování matic

Lisování matic je jedním z nejjednodušších způsobů výroby závitu v tenkostěnných materiálech. Mezi lisovací prvky zařazujeme lisovací matice, šrouby, distanční sloupky a další pouzdra, které jsou snadno zalisovatelné pomocí ručního nebo automatického lisovacího stroje. Tento proces probíhá do předem připravené díry, která je vyseknutá, vyvrtaná nebo vyřezaná, obvykle laserovým paprskem nebo plazmou.

V dalších částech práce si představíme jednotlivé způsoby a možnosti lisování, z nichž následně jeden vybereme a provedeme na něm testování a měření. Lisovací prvek nám bude představovat matice a v plechových polotovarech budou díry buďto vyseknuté nebo vyřezané.

Zalisování funguje na principu zatečení materiálu do sebe, kdy se nám plechový polotovar tváří a dochází k plastické deformaci. Z lisovací matice vystupují obvodové zoubky a mezi nimi a hlavou matice se nachází zápich. Obvodové zoubky vytlačí materiál plechu a ten zateče do zápichu matice, tímto způsobem se matice upne do plechového polotovaru. Pro ilustraci použijme obrázek od výrobce lisovacích matic. Můžeme zde vidět zatečení plechového polotovaru do zápichu matice [3].



Obr. 1 Průběh lisování matic do plechových polotovarů [26].

Pokud se omezíme pouze na jeden druh plechového polotovaru a jeden druh matic, které jsou problematické, stává se pro nás nejdůležitějším aspektem doba tlačení a razící síla. Doba tlačení musí být pokud možno co nejnižší, protože výrazně ovlivňuje efektivitu práce a razící síla musí být dostatečně velká, aby docházelo k zatečení materiálu, přitom však nesmí být příliš velká, protože poté by docházelo k deformaci závitu matice.

V praktické části se budeme snažit najít optimální parametry lisování, abychom zalisovali běžné netvrzené lisovací matice z legovaných ocelí (nerezy) do předem připravené díry. Tyto matice jsou levnější než tvrzené, proto se z důvodu finančních úspor ve společnosti, kde budeme testování provádět, používají netvrzené matice, které mají stejnou jakost (tvrdość) jako materiál plechu. Nemůžeme tedy počítat s tím, že budeme deformovat pouze plechový polotovar, nýbrž může dojít i k deformaci matice.

Při správném nastavení parametrů budeme chtít, aby naše zalisování přeneslo krouticí moment bez proklouznutí a sílu na vytažení, jakou udává výrobce matic pro tvrzené matice. Použití dostatečné razící síly ověříme mimo jiné pomocí vizuální kontroly. V řezu budou

materiály přilísované dohromady aniž by mezi nimi vznikla mezera. Při pohledu na zalísovanou matici bychom neměli vidět zápich ani obvodové vroubky matice.

## 1.2 Deformace plechového polotovaru

Lisování matic způsobuje deformaci plechu, který se tváří. Lisování probíhá bez přehřevu, jedná se tedy o tváření za studena, kdy materiál mění svůj tvar a velikost. Deformace plechového polotovaru probíhá ve všech směrech, jedná se tedy o druh objemového tváření.

### 1.2.1 Elastická deformace

Polotovary můžeme zatížit takovým způsobem, že se nám po odlehčení vrátí zpátky do původní polohy, pak mluvíme o deformaci elastické. V případě elastické deformace platí Hookeův zákon.

Elastická deformace vyjádřena pomocí Hookova zákona (1.1).

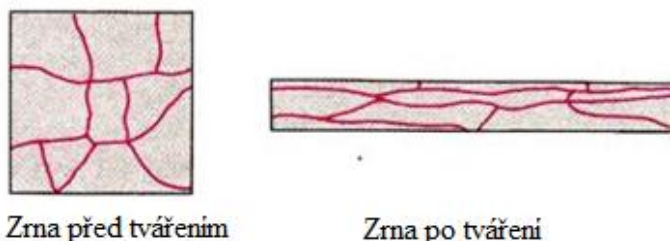
$$\sigma = E * \varepsilon \quad (1.1)$$

Kde:  $\sigma$  [Pa] - mechanické napětí,  
 $E$  [Pa] - Youngův modul pružnosti,  
 $\varepsilon$  [-] - relativní prodloužení.

Elastická deformace není vhodná pro náš případ, protože chceme mít upnutí matice pevné a trvalé, musíme tedy použít takovou vnější sílu a typ zatížení, aby došlo k trvalé (plastické) deformaci.

### 1.2.2 Plastická deformace

Zažením materiálu nad mez platnosti Hookova zákona způsobujeme trvalou (plastickou) deformaci, atomy se po odlehčení nevrátí do původních rovnovážných poloh, a dochází tedy k nevratné změně tvaru. Tato změna tvaru je způsobena deformací zrn a s tím spojené deformaci struktury krystalografické mřížky [2,7].



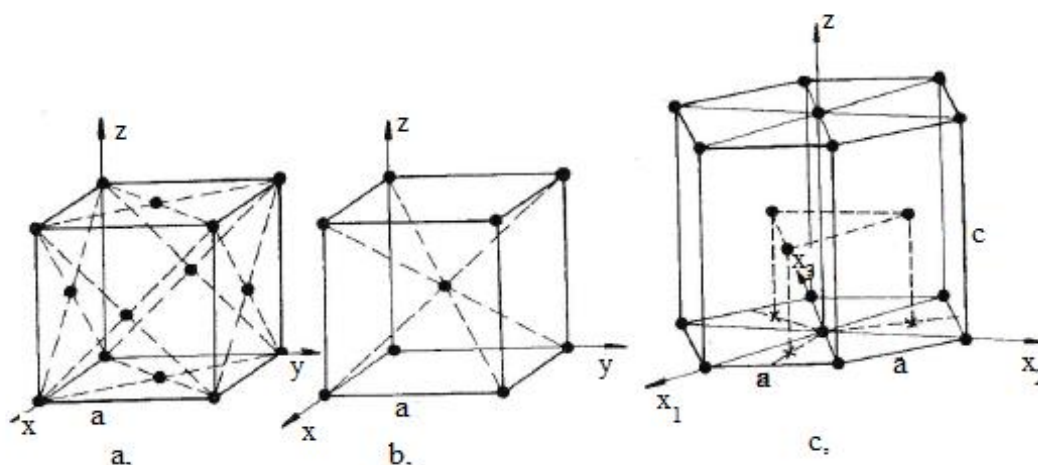
Obr. 2 Změna tvaru a velikosti zrn po tváření [3].

Zatečení materiálu je možné díky dvěma zákonům plastické deformace: zákonem stálosti objemu a zákonem nejmenšího odporu. Ze zákona stálosti objemu nám vyplývá, že materiál se po stlačení přemísťuje. Díky zákonu nejmenšího odporu se přemísťuje do připraveného zápichu matice, protože tento pohyb je pro materiál energeticky nejméně náročný.

Plastickou deformaci uvidíme pouhým okem, v následujících podkapitolách se budeme zabývat tím, co se s materiálem děje na elementární úrovni vlivem plastické deformace.

### 1.2.3 Struktura krystalické mřížky

Atomy kovů a jejich slitin jsou uspořádány v určitých geometrických útvarech, tyto geometrické útvary jsou znázorněny pomocí krystalografické mřížky. Krystalizace většiny kovů probíhá v kubické nebo hexagonální soustavě. Speciálními případy jsou oceli s nízkým obsahem uhlíku, které mají kubickou krystalografickou mřížku, tyto oceli mají vyšší pevnostní vlastnosti [7].



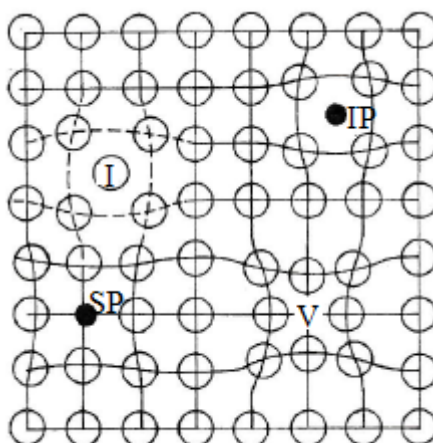
Obr. 3 Typy kovových struktur [7], a) krychlově plošně centrovaná mřížka f.c.c., b) krychlově prostorově centrovaná mřížka b.c.c., c) hexagonální těsně uspořádaná mřížka h.c.p..

### 1.2.4 Poruchy krystalické mřížky

Uspořádání atomů v reálných kovech není ideální, protože je závislé na prostorovém uspořádání atomů, druhu vazby a na chování vad, které jsou způsobeny nepravidelným uspořádáním atomů v krystalické mřížce. Při plastické deformaci dochází k těmto poruchám krystalické mřížky:

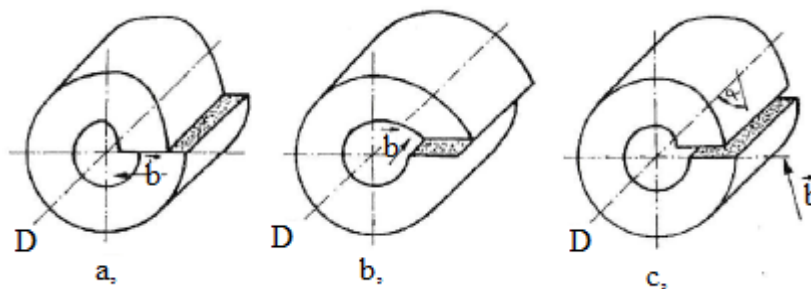
- bodové (bezrozměrné) vady,
- čárové (jednorozměrné) vady,
- plošné (dvojrzměrné) vady,
- prostorové (trojrozměrné) vady [2,4,7].

Mezi základní bodové poruchy krystalické mřížky řadíme vakance a intersticiály, protože se ale nebudeme zabývat čistými kovy, musíme mezi bodové poruchy zařadit ještě substituční a intersticiální příměsi. Vakance mohou u kovů vznikat přechodem atomu ze základní mřížky do uzlové polohy, přechodem mřížkového atomu do intersticiální polohy nebo při primární krystalizaci. Vakance dále najdeme například na hranicích zrn. Intersticiály se vyskytují v krystalech, které mají velkou meziatomovou vzdálenost. Aby docházelo k poruchám krystalické mřížky je zapotřebí dodat aktivační energie. V našem případě dodáváme energii z vnějšku díky plastické deformaci, která má za důsledek interakce mezi dislokacemi [7].



Obr. 4 Příklady bodových poruch. V – vakance, I – Intersticiál, IP – Intersticiální příměs, SP – substituční příměs [7]

Pro plastickou deformaci jsou nejvýznamnější čárové poruchy (viz. obr. 5). Čárové poruchy vznikají přesunutím určitého množství atomů a tento posuv je dán skluzem k sousední vrstvě. Těmto čárovým poruchám říkáme dislokace, které dělíme na šroubovité a hranové. Hlavní rozdíl mezi hranovou a šroubovitou dislokací spočívá ve skutečnosti, že šroubovitá dislokace je válcově symetrická podle své osy. Vznik hranové dislokace je jednoduše představitelný, do naříznutého krystalu zasuneme polorovinu atomů. Zasunutím poloroviny můžeme jednoduše definovat dislokační čáru, která je spojnicí koncových bodů. Vznik šroubovité dislokace definujeme tak, že dochází k posuvu atomů a původně rovnoběžné roviny se deformují na šroubovitou plochu. Posuv atomů je způsoben skluzem (konzervativní pohyb), nebo šplháním (difúzní pohyb). Hlavním rozdílem mezi šplháním a skluzem je takový, že skluz probíhá pouze v jedné rovině, oproti tomu šplhání probíhá ještě také ve spodní nebo horní rovnoběžné rovině v závislosti na tom, zda difundují vakance nebo intersticiály [2,7,8].



Obr. 5 Definice základních typů dislokací podle Volterra [7].

Na obr. 5a vidíme vytvoření hranové dislokace, kdy se roviny řezu vzájemně posunou a spojí ve směru vektoru  $\mathbf{b}$  (Burgesova vektoru), tento posuv je kolmý na dislokační čáru  $D$ . Na obr. 5b je znázorněna šroubová dislokace vytvořená obdobným způsobem jako hranová. Obr. 5c nám ukazuje spojení šroubové a hranové dislokace, posuv je opět ve směru vektoru  $\mathbf{b}$ . [7]

Plošné vady nalezneme na vnitřním rozhraní (hranice subzrn, hranice zrn), ať už na oblasti stejné mřížky nebo oblasti mřížky odlišného typu, a okrajové i volné plochy krystalů. Dále mezi plošné vady řadíme vrstevné chyby, které vznikají odstraněním nebo přidáním části roviny atomů do krystalické struktury [7].

Objemové poruchy, zaujímají v krystalu určitý objem, ať už formou dutin nebo plynových bublin. Jsou spojeny s tvárným lomem, kdy se v první fázi vytvoří malé dutiny na vnitřních rozhraních. Díky plastické deformaci dochází ke zvětšování dutiny a na konec dochází k vláknitému lomu. Tento lom je způsoben růstem dutiny a následným zaškrcováním směrem ven [8].

## 2 ZPŮSOBY LISOVÁNÍ MATIC

Pro lisování matic můžeme použít širokou škálu lisovacích strojů, které se liší v rozměrech a hlavně ve velikosti razící síly, kterou jsou schopny vyvinout.

Matice se lisují do předem řezané, vyseknuté nebo vyvrtané díry při použití různé razící síly.

### 2.1 Rozdělení lisů

Základní rozdělení lisů dle německé firmy Schmidt Technology a firmy Pramark, která se zabývá distribucí lisů [22], [24]:

- manuální lisy,
- pneumatické lisy,
- hydraulické lisy,
- elektrické lisy,
- mechanické lisy.

#### 2.1.1 Manuální lisy

Manuální lisy dělíme na pákové a hřebenové, kdy se rozmezí razící síly pohybuje až do 50 kN, tyto lisy patří k nejjednodušší a nejlevnější variantě lisovacího zařízení (viz. obr. 6). Hlavní výhodou jsou rozměry a bezpečnost, a proto je nejčastěji najdeme na pracovních stolech v různých menších dílnách.



Obr. 6 Manuální lisy výrobce Pramark [22]. a) pákový ruční lis, b) hřebenový ruční lis

#### 2.1.2 Pneumatické lisy

U standardních pneumatických lisů si můžeme nastavit razící sílu, rychlost posuvu a dobu tlačení. Po zjištění optimálních parametrů lisování nastavíme danou sílu, rychlost posuvu a dobu tlačení pro všechny další operace, a tím zajistíme stejnou kvalitu zalisování

pro všechny matice a zautomatizování procesu. Na obr. 7 je znázorněn lis 6T, který má razicí sílu 60 kN a nejmenší pneumatický lis výrobce Pramark 6PHR, jenž můžeme rovněž snadno umístit na pracovní stůl.



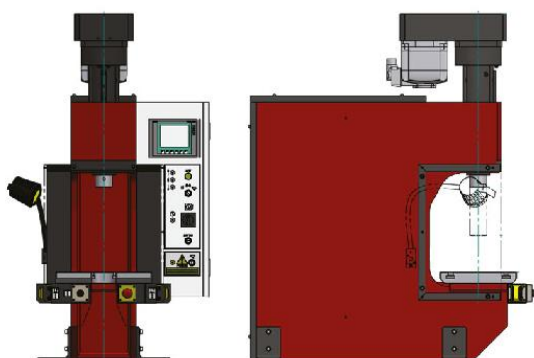
Obr. 7 Pneumatické lisy výrobce Pramark [22]. a) 6T LP, b) 6PHR

### 2.1.3 Hydraulické lisy

Hydraulické lisy fungují na základě Pascalova zákon, tedy na rovnoměrném šíření kapalin do všech směrů. Hydraulické stroje budou rozebrány v kapitole 3, kde si popíšeme lis Haeger 824 (t) a dále se o nich zmíníme v kapitole diskuze.

### 2.1.4 Elektrické lisy

Elektrické motory a pohony jsou poslední dobou stále více populární, na což reaguje například firma HŠV Polička, která neustále vyvíjí nové typy elektrických lisů (viz. obr. 8). Hlavní výhodou elektrických lisů je jejich velikost, kdy můžeme vytvořit velkou sílu pomocí menšího lisu než například u pneumatických a hydraulických. Lisy nemusíme kotvit a můžeme je umístit i na pracovní stůl [23].



Obr. 8 Elektrický lis firmy HŠV Polička[23].

Mezi nejzajímavější elektrické lisy patří lis firmy Schmidt Technology nazvaný ServoPress tedy servolis (elektricky poháněné vřetenové lisy), jenž můžeme vidět na následujícím obrázku. Schmidt Technology se věnuje velmi detailně uživatelskému rozhraní, které nám poskytne velmi přesnou regulaci síly, optimalizaci procesních časů díky grafickému znázornění na displeji a další [25].



Obr. 9 ServoPress [24].

### 2.1.5 Mechanické lisy

Mechanické lisy nám nabízí robustní a univerzální řešení pro tvářecí operace. Jako příklad si uvedeme mechanický montážní lis firmy Pramark (viz. obr. 10), který je schopný vyvinout sílu až 800 kN. Nejsnadnějším rozdělením mechanických lisů je rozdělení podle síly, kdy stroje, které vyvinou sílu pod 500 kN nazýváme lehkými a ty, jejichž razící síla přesahuje 500 kN nazýváme těžkými [22].



Obr. 10 Mechanický lis 80T [22].

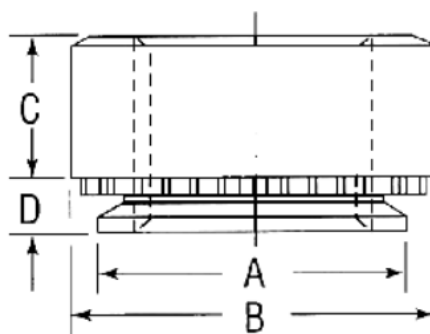
## 2.2 Otvory pro lisování

Způsob, jaký zvolíme pro tvorbu díry v plechových polotovarech, má vliv na kvalitu zalisování. Výrobci matic neudávají přesný způsob výroby otvoru, ale udává velikost díry a její toleranci (viz tab. 1). Matice jsou vyrobeny takovým způsobem, aby vyhovovali jakékoliv výrobě díry. Způsob výroby díry a její přesnost má výrazný vliv na upevnění matice v materiálu [9].

Tab. 1 Velikost otvoru a matice uvedený výrobcem [25].

Rozměry otvoru a matice (všechny rozměry jsou uvedené v mm)							
Závit Stoupání	Ocel	D max.	Minimální tloušťka materiálu	Velikost otvoru +0,08 -0,00	A max.	B ±0,2	C ±0,1
M4x0,7	C-M4-2	1,37	1,4	5,4	5,38	7,9	2

Zkratky uvedené v tab. 1 si vysvětlíme pomocí následujícího obrázku.



Obr. 11 Lisovací matice [25].

### 2.2.1 Vyseknuté díry

Při děrování na vysekávacích strojích dochází k deformaci, kterou jsme viděli na obr 8. Na okrajích vyseknutých děr jsou vidět otlaky. Zaoblené kraje způsobují nižší objem materiálu, který zatéká do zápichu matice (viz. obr. 12) [9].



Obr. 12 Vyseknutý otvor.

### 2.2.2 Řezané díry

Při vypalování díry laserem dochází k tepelnému ovlivnění nejbližšího okolí materiálu. Materiál je laserem zahřátý nad bod tání a vyfouknutý nebo vypařený ven, při tomto procesu dochází k vysokému vedení tepla do okolí díry, kde se teploty po dobu řezání pohybují pod bodem tání oceli a dochází ke kalení. Při nastavení optimálních parametrů laseru získáváme ostrou hranu díry bez natavení a okují (viz. obr. 13) [9].



Obr. 13 Řezaný otvor.

### 2.2.3 Vyvrtané díry

Vyvrtané díry nám poskytnou přesný tvar díry, která u řezání laserem není úplně přesná (viz. obr 13.). U vrtání plechů musíme dbát na pevném upevnění ke stolu, protože jinak se nám může stát, že se plech začne točit společně s vrtákem.

## 2.3 Lisovací parametry

Výrobce matic nám udává razící (instalační) sílu, kterou doporučuje v poměrně velkém rozsahu. Bohužel už ale neudává dobu tlačení, která je pro lisování nerezové oceli velmi důležitá, protože přesné nastavení doby tlačení nám pomáhá překonat odolnost nerezové oceli proti deformaci [26].

Tab. 2 Lisovací parametry [25].

Instalační parametry a požadované vlastnosti lisovaných matic					
Závit	výška nýtovací části	Instalační síla (kN)	Síla na zpětné vytlačení (N)	Moment na protočení (N/m)	Minimální vzdálenost od okraje (mm)
M4	2	18-27	1020	4,2	6,9

### 3 LISOVACÍ STROJE POUŽITÉ VE FIRMĚ

#### 3.1 Uvedení firmy EDP s.r.o.

Firma European Data Project s.r.o. je dceřinou společností skupiny Novomatic Group of Companies, která vstoupila na český trh v roce 1989. V roce 1996 založila firmu EDP, která v průběhu následujících let získala vedoucí postavení v herním a zábavním průmyslu České republiky. V dnešní době se výrobní haly firmy EDP (dále jen „firma“) rozléhají na 120 000 m<sup>2</sup> a poskytují zaměstnání pro více než 1000 osob [1].

Ve firmě se používají k lisování lisy od výrobců Haeger a ze společnosti SV metal. Kvůli lepší přesnosti parametrů zalisování jsme pro naše testování zvolili lis od výrobce Haeger a to z toho důvodu, že na tomto lisu můžeme nastavit dobu stlačení, tak aby byla pro všechny testované matice stejná. Tuto dobu nám však stroj neukáže přesně, proto byla délka tlačení experimentálně změřena pomocí stopek. Nejnižší nastavitelná hodnota a také hodnota, kterou používají zaměstnanci ve firmě je 0,5 sekund. Nastavení razící síly se dá odečíst pomocí stupnice uvedené okolo budíku ukazující velikost síly.

#### 3.2 Specifikace lisu Haeger

Tyto hydraulické lisy jsou nejpoužívanějšími pro lisování matic a ostatních lisovacích prvků ve firmě. Firma vlastní 3 tyto lisy a z toho 2 z nich jsou v provozu takřka nepřetržitě (viz. tab. 3 a obr. 14). Výrobce Haeger je na trhu už od roku 1979. V České republice je výhradním dovozcem těchto lisů Sp-Tech s.r.o. Nymburk, z jejichž produktových materiálů jsem čerpal základní údaje uvedené v tabulce 3 [5].

Tab. 3 Tabulka základních údajů lisu Haeger [6].

Specifikace lisu Haeger	824 (8t)
Max. lisovací síla [kN]	72
Vyložení [mm]	610
Pracovní zdvih [mm]	0-203
Napájení	3x400V/50Hz
Příkon [kW]	2,2
Olejová náplň [l]	68
Výška stroje [mm]	2286
Hloubka stroje [mm]	1422
Hmotnost bez oleje [kg]	850



Obr. 14 Lis HAEGER 824 [21].

### 3.2.1 Příprava stroje

Ještě před tím než začneme lisovat, je třeba zkontrolovat souosost horního a dolního nástroje. Tuto kontrolu by měla obsluha zkontrolovat před započítím každé práce. Ve firmě je tato kontrola prováděna vždy jednou denně, tak jak doporučuje výrobce. Dalším důležitým aspektem je zvolení správných nástrojů pro lisování. V případě automatického podávání je horní nástroj (dále úderník) daný výrobcem. Ve firmě se ale automatické podávání nepoužívá. Matice se vkládají ručně do matrice. V případě, že se používá ruční podávání, máme volnější výběr ve volbě úderníku, kdy můžeme použít širší úderník s průměrem 25,7 mm, kterému se v praxi říká placka (viz. obr 15). Tato placka nám zaručí rovnoměrné rozložení tlaku a výsledkem jsou i menší otlaky na plechu. Některé sestavy nám její použití nedovolí z důvodů nedostatku prostoru. V takových případech se používá klasický úderník o průměru 12,7 mm. Použití dolního nástroje (dále matrice) je vždy specifikované výrobcem, ať už pro automatické podávání nebo pro ruční podávání. Spodní nástroj musí mít správný průměr otvoru, do kterého se vkládají matice, šroubky, sloupky a další. Pokud bychom použili větší průměr, mohlo by dojít k zatečení plechu do matrice, což by zhoršilo kvalitu zalisování, pohledovou stránku a v neposlední řadě způsobilo nadměrné opotřebování nástroje [9].



Obr. 15 Lis HAEGER 824 (t).

Na obrázku č. 15 vidíme stroj připravený k práci. Vlevo si můžeme všimnout široké škály matic, které vybíráme podle lisovaného prvku. Matrice se upínají do držáku, který je posuvný a slouží nám pro přesné nastavení souososti úderníku a matrice. Úderník klesá tak dlouho, dokud netlačí nastavenou silou po nastavený čas, proto není důležitá délka matrice, a jak můžeme vidět na obrázku, jednotlivé nástroje jsou různě dlouhé, ale mají stejný dolní průměr, který je upnutý v držáku. V držáku matrice už máme na obrázku upnutý spodní nástroj doporučený výrobcem a uvnitř něho je vložena lisovací matice, tak aby její vroubky byly směrem nahoru k hornímu nástroji. Nad spodním nástrojem s maticí vidíme úderník placku. V pozadí je vidět řídicí panel, na kterém se nastavují požadované parametry lisování jako razící síla a doba tlačení.

### 3.2.2 Plán údržby stroje HAEGER 824 (t)

Vzhledem k věkovému stáří strojů ve firmě a také pracovnímu vytížení, je důležité zmínit části stroje, které potřebují častější údržbu (viz. tab. 4), bez níž bychom neměli jistotu stejných parametrů lisování pro každou matici. Abychom mohli zjistit hodnoty ideálních lisovacích parametrů, provádíme údržbu popsanou v tab. 4. V případě nedostatečné údržby stroje nemůžeme počítat s tím, že nastavená razící síla je opravdu taková, jakou lis tlačí matici do plechového polotovaru. V případě špatné údržby navíc dochází k nadměrnému opotřebení až zničení stroje nebo jeho částí [9].

Tab. 4 Části stroje potřebující údržbu [6].

Součást stroje	Oblast	Údržba	Frekvence
Bezpečnostní systém	Horní beran	Kontrolu bezpečnostního systému použijeme systém "Zkoušení bezpečnostního systému"	denně
Držák úderníku (viz upozornění výše)	Horní beran	Malé množství lithiového plastického maziva (bílého) mezi držák úderníku a tyče válce stroje	1 x měsíčně
Filtr hydraulického systému	Spodní díl stroje	Vyjmutí a vyměnění náplně číslo dílu H-2013	1 x ročně
Hydraulický olej	Spodní díl stroje	Výměna oleje. Použití mobil DTE 26 nebo ekvivalentní olej.	1 x za dva roky

### 3.3 Další stroje

- Rovnání plechů probíhá na vlastním rovnacím zařízení od výrobce Forstner [17]:
  - rovnací zařízení: Forstner – straightening line 101 965 RM-6
- Dělení a úprava plechů se provádí na strojích od výrobce Trumpf [17]:
  - řezání laserem: TruLaser3030 a TruFiber,
  - vysekávací stroje: TruPunch 5000 a TruMatic5000R,
  - kombinované stroje: TruMatic 7000 a 2 stroje TruMatic 6000L.

#### 3.3.1 Řezání laserem

Laserové řezací zařízení TruLaser3030 poskytuje uživateli možnost velice přesného dělení materiálu a to do tloušťky dle materiálu a výkonu laseru TruFlow5000, kdy konstrukční ocel můžeme řezat do maximální tloušťky 25 mm a ušlechtilou (nerezovou) ocel do 20 mm. Hliník můžeme řezat do menších tloušťek z toho důvodu, že hliník je vysoce odrazivý materiál. Řezání hliníku můžeme provést do maximálně 15 mm v závislosti na čistotě hliníku, čím je slitina hliníku čistší a měkčí, tím je řezání laserem obtížnější [10,11].

Vláknový laser TruFiber se používá pro velmi přesné operace, ať už je to hluboké, skenerové, bodové a švové svařování nebo řezání plamenem. Vláknový laser si zakládá na vysoké kvalitě paprsku, díky které vytvoříme tenké svary a úzké štěrbinu řezu. Řezání dosahuje u konstrukční oceli až do hloubky vyšší než 30 mm. [12]

#### 3.3.2 Vysekávací stroje

Vysekávací stroj TruPunch 5000 je alternativní náhradou za laserové stroje. Děrování probíhá rychlostí až 1600 zdvihů za minutu s velice vysokou přesností a nedochází k otláčení povrchů díky programovatelnému přidržovači. Maximální tloušťka plechu je 8 mm [13].

Vysekávací stroj TruMatic 5000R použitím síly 22 kN dokáže vysekávat plechy až do tloušťky 6,4 mm [13].

#### 3.3.3 Kombinované stroje

TruMatic 7000 a stroje TruMatic 6000L kombinují technologii vysekávání s technologií laseru a využívají jednotlivé výhody obou druhů obrábění. Vysekávací hlava se použije pro standardní obrysy a hlava laseru se použije pro komplexní vyřezávání. Maximální tloušťka plechů je do 8 mm [14].

## 4 PŘÍPRAVA PLECHOVÝCH POLOTOVARŮ

Firma nakupuje nízkouhlíkové nelegované ocelové (černé) plechy DC01 - 11 321 ve čtyřtunových svitcích šířky plechu 1500 mm z firmy US Steel Košice. Ty se následně rovnají na rovnacím zařízení od firmy Forstner. Korozivzdornou ocel kupuje firma v naformátovaných rozměrech plechů buďto 2000x1000 mm nebo 2500x1250 mm od firmy Italinox.

### 4.1 Vlastnosti plechů vhodných ke tváření

Tvařitelnost ovlivňuje zejména chemické složení, textura a mikrostruktura materiálu [19]:

- Chemické složení výrazně ovlivňuje vlastnosti materiálu, materiály si rozdělíme podle chemického složení v další podkapitole.
- Textura materiálu: Pro hlubokotažené plechy je nejvhodnější zploštěný tvar feritických zrn, kde velikost zrn ovlivňuje kvalitu povrchu po tažení. Velikost zrn by měla být rovnoměrná, protože nerovnoměrnost zrn způsobuje nerovnoměrnou deformaci (nebezpečí vzniku trhlin).
- Mikrostruktura má také velký vliv na tvařitelnost a také mechanické vlastnosti. Základní složkou mikrostruktury je ferit a cementit, jejichž velikost, rozložení a tvar mají vliv na tvařitelnost. Nejvýhodnější je, aby cementit byl vyloučen v globulích a rovnoměrně rozložen ve feritické části.

### 4.2 Základní rozdělení ocelí dle chemického složení

Hlavní složkou oceli je železo a rozhodujícím prvkem, který má největší vliv na její mechanické vlastnosti je uhlík. Ocel si nejjednodušeji můžeme rozdělit na nelegovanou uhlíkovou ocel a legovanou ocel [18]:

- U nelegované uhlíkové oceli udává další rozdělení podíl uhlíku na:
  - ocel zvlášť nízkouhlíková,  $C = 0,05 - 0,1 \%$ ,
  - ocel nízkouhlíková  $C = 0,1 - 0,25 \%$ ,
  - ocel se středním obsahem uhlíku  $C = 0,25 - 0,55 \%$ ,
  - ocel s vysokým obsahem uhlíku  $C = 0,55 - 0,8 \%$ .
- Legovanou ocel rozdělujeme podle podílu legujících prvků na:
  - nízkolegovaná ocel, obsah legujících prvků je nižší než 5 %,
  - vysoce legovaná ocel, obsah legujících prvků je vyšší než 5 %.
- Pod vysoce legovanou ocelí najdeme korozivzdornou ocel, kterou si také rozdělíme na:
  - feritická ocel, 16 – 30% Cr, Ni, Mo, maximálně 0,2 % C,
  - martenzitická ocel (kalitelná), 12 – 18 % Cr, 2 – 4 % Ni, 0,1 – 0,8 % C,
  - austenitická ocel, 12 – 30 % Cr, 7 – 25 % Ni,
  - austenitická ocel (s velkým obsahem manganu a menším množstvím niklu)
  - martenziticky vytvrditelné oceli, 9 – 25 % Ni s přísadami Cr, Co, Mo, Ti a Al,
  - feriticko-austenitická, 22 – 25 % Cr, 4 – 7 % Ni, Mo, N, malé množství C.

#### 4.2.1 Používané materiály ve firmě: materiál EN 1.0330 (11 321)

Jedná se o nelegovanou jakostní ocel, která je vhodná ke tváření za studena. Používá se ke středně hlubokému tažení, ohýbání, potisku, pokovování v tavenině, lakování. Svařitelnost je zaručená, ale závisí na velikosti polotovaru. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou popsány v následujících tabulkách [15].

Tab. 5 Chemické složení oceli 11 321 [15].

Materiál	Chemický rozbor tavební analýzy v %, maximální zastoupení legur			
	C	Mn	P	S
EN 1.0330	0,12	0,6	0,045	0,045

Tab. 6 Mechanické vlastnosti oceli 11 321 [15].

Materiál	Rp 0.2 MAX [Mpa]	Rm [Mpa]	AMIN [%] L <sub>0</sub> = 80 mm
EN 1.0330	280	270-410	28

#### 4.2.2 Používané materiály ve firmě: materiál EN 1.4301 ( X5CrNi 18-10 )

Korozivzdorné oceli jsou schopny pasivace, tato pasivace jim umožňuje odolávat elektrochemické korozi v oxidačním prostředí. Hlavní prvek, který dodává oceli korozivzdornost je chrom, který bývá zastoupen alespoň z 12 %. Do oceli se přidávají ještě další legující prvky, jedná se o austenitotvorné prvky jako uhlík, molybden, nikl, dusík atd. Dle chemického složení dělíme tyto oceli na chrómové, chrómmanganové a chrómniklové [16].

Korozi definujeme jako samovolné znehodnocování materiálu. Toto znehodnocování je způsobeno vzájemným působením materiálu a okolí. Pasivitu oceli si definujeme jako neviditelný, velmi tenký povlak oxidů na povrchu, díky kterým se ocel chová jako imunní [16].

Firma nakupuje korozivzdornou ocel s označením EN 1.4301 (X5CrNi 18-10) Super mirror, (přesné chemické a mechanické vlastnosti plechů v tab. 7 a 8), a nechává si korozivzdorné ocelové plechy pokrýt folií Novacel 4228REF [17].

Tab. 7 Chemické složení korozivzdorné oceli garantované výrobcem Italinox [17].

Materiál	Maximální obsah legur v %							
	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni
EN 1.4301	0,07	1	2	0,045	0,03	0,11	17 až 19,5	8 až 10,5

Tab. 8 Mechanické vlastnosti garantované výrobcem Italinox [17].

Materiál	Rp 0.2 MAX [Mpa]	Rm [Mpa]	AMIN [%] L <sub>0</sub> = 80 mm
EN 1.4301	210	520 - 720	45

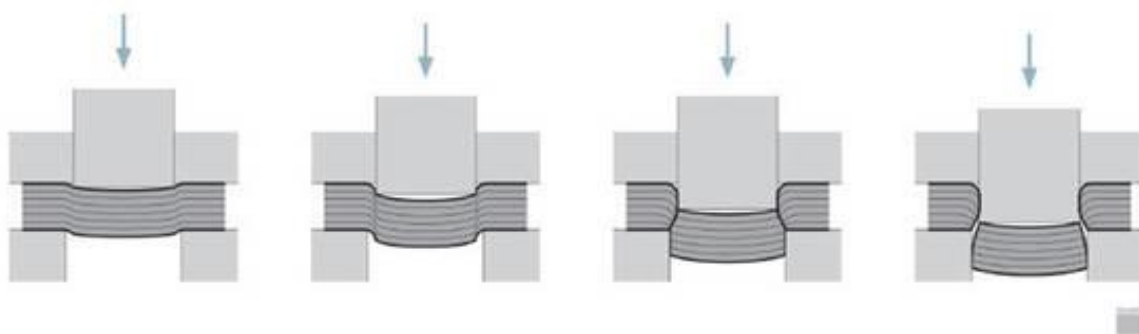
### 4.3 Tváření plechů ve firmě

Firma nakupuje hotové plechy v rozměrech, které jsem uvedl na začátku kapitoly. Plechy se dělí pomocí vysekávání nebo vypalování laserem. Pro obě varianty pracovníci naprogramují stroje, které operaci automaticky dokončí.

#### 4.3.1 Obrábění plechů na vysekávacích strojích

Pro úpravu plechu používají vysekávací stroje řezání jednotlivými tahy. Pro matice se díry vystřihávají, tento proces nazýváme děrování. Děrování můžeme použít pro jakékoliv kruhové otvory. Jediné omezení nastává ve velikosti nástroje, který děrování provádí [20].

Vysekávání plechu probíhá stejně jako děrování papíru pomocí děrovačky. Razník tlačí na plech proti spodní podpěře a projíždí otvorem v této podpěře. Šrot z děrování se shromažďuje v zásobníku pod spodní podpěrou. Princip děrování můžeme vidět na obrázku výrobce lisů [20].

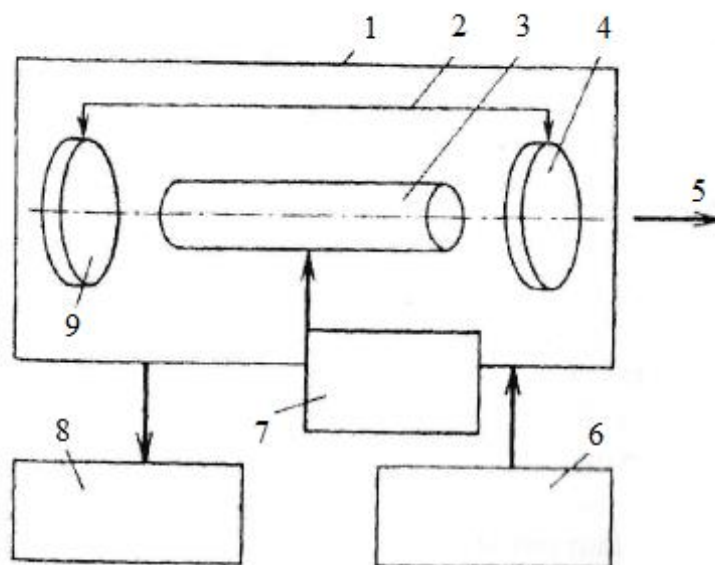


Obr. 16 Děrování plechů jedním tahem.

Pokud se hrana razníku a matrice plechu pohybují paralelně, dochází k řezání plechu. Řezání plechu se ve firmě používá hlavně k vytvoření vnější kontury [17].

#### 4.3.2 Tváření plechů laserem

Řezání laserem funguje na principu roztavení a následném vypaření nebo vyfouknutí tvářeného materiálu. Tohoto roztavení materiálu docílíme stimulovanou emisí záření, kdy je vytvořen úzký svazek fotonů o jedné vlnové délce. Svazek je koherentní a monochromatický, fotony se pohybují jedním směrem a jsou uspořádané. Vlnovou délku určuje tzv. laserové medium, které můžeme mít buďto plynné nebo pevné. Medium nalezneme uvnitř laserové hlavice znázorněné na obrázku č. 17 [20].



Obr. 17 Schéma zařízení pro obrábění laserem:

1 – laserová hlavice, 2 – rezonátor, 3 – laserové médium, 4 – polopropustné zrcadlo, 5 – výstup paprsku, 6 – zdroj energie buzení, 7 – budící zařízení, 8 – chladič systém, 9 – nepropustné zrcadlo

## 5 FUNKČNÍ PARAMETRY LISOVÁNÍ

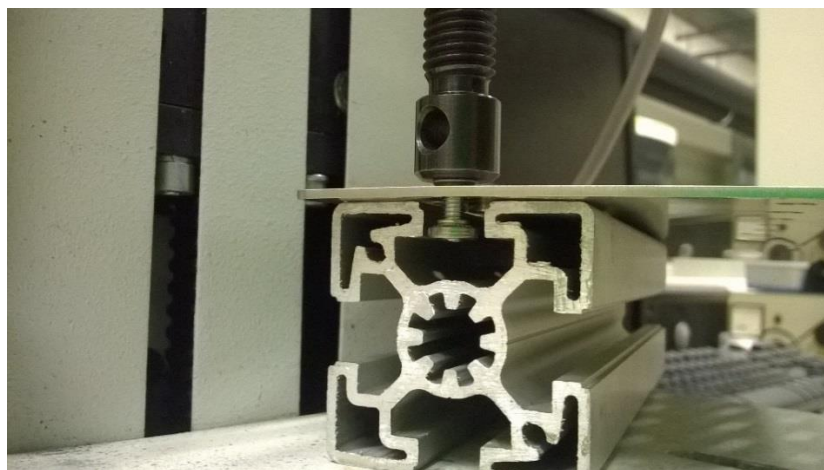
Jako funkční parametry, které budeme testovat, jsme zvolili tyto:

- Způsob výroby díry:
  - řezaná laserem,
  - sekaná.
- Doba tlačení:
  - doba tlačení používaná ve firmě  $t = 0,5$  s,
  - $t = 1$  s,
  - $t = 2$  s.
- Velikost razící síly:
  - razící síla používaná ve firmě  $F_N = 13$  kN,
  - $F_N = 27$  kN,
  - $F_N = 40$  kN.

Velikost díry a tloušťku plechu nastavíme jednotnou a to M4 a tloušťku 2 mm. Materiál si zvolíme také jednotný a to korozivzdornou ocel EN 1.4301, u které počítáme s tím, že nalezení vhodných parametrů bude složitější než u běžné oceli a to z důvodu její vysoké tvrdosti.

U každé kombinace parametrů doby tlačení a velikosti razící síly zalisujeme vždy 20 matic. Z toho zalisujeme 10 do řezané díry a 10 do sekané díry. Po zalisování budeme testovat vždy 5 matic na krouticí moment a 5 matic na zpětné vyražení pro řezanou a sekanou díru. Krouticí moment na protočení budeme měřit pomocí ručního digitálního momentového adaptéru od výrobce Gola (viz. obr. 19). Sílu potřebnou na zpětné vyražení budeme měřit pomocí tenzometru (viz obr. 18) a program LabView nám vykreslí závislost síly na poloze, kde očekáváme exponenciální nárůst síly těsně před zpětným vyražením. Na obr. 20 můžeme vidět optický skener, díky kterému jsme změřili velikosti jednotlivých děr.

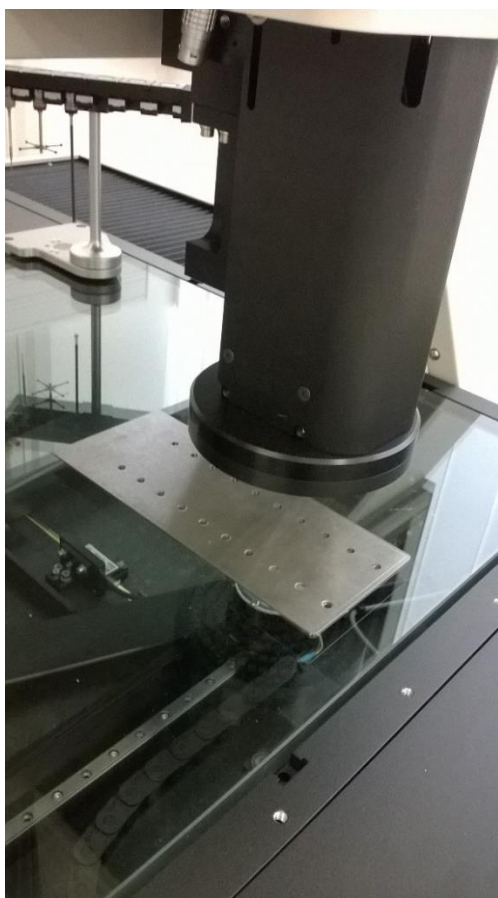
Výsledné nejvhodnější parametry nám zajistí přenos točivého momentu a sílu potřebnou na zpětné vytlačení jakou udává výrobce.



Obr. 18 Testování na zpětné vytlačení.



Obr. 19 Měření pomocí digitálního momentového adaptéru.



Obr. 20 Měření velikosti řezaných a sekaných děr.

## 6 VYHODNOCENÍ ZJIŠTĚNÝCH EXPERIMENTÁLNÍCH DAT

V následujících grafech uvidíme závislost síly na vzdálenosti. Do nulového bodu polohy jsme sjížděli manuálně, proto je nárůst síly vždy jiný, my se ale zaměříme na maximální sílu na zpětné vytlačení, po které budeme požadovat, aby byla větší než 1020 N (viz. tab. 8).

V tabulkách najdeme velikost, kterou budeme muset vyvinout pro protočení, po zalisované matici budeme chtít, aby přenesla moment 4,2 N/m (viz. tab. 8).

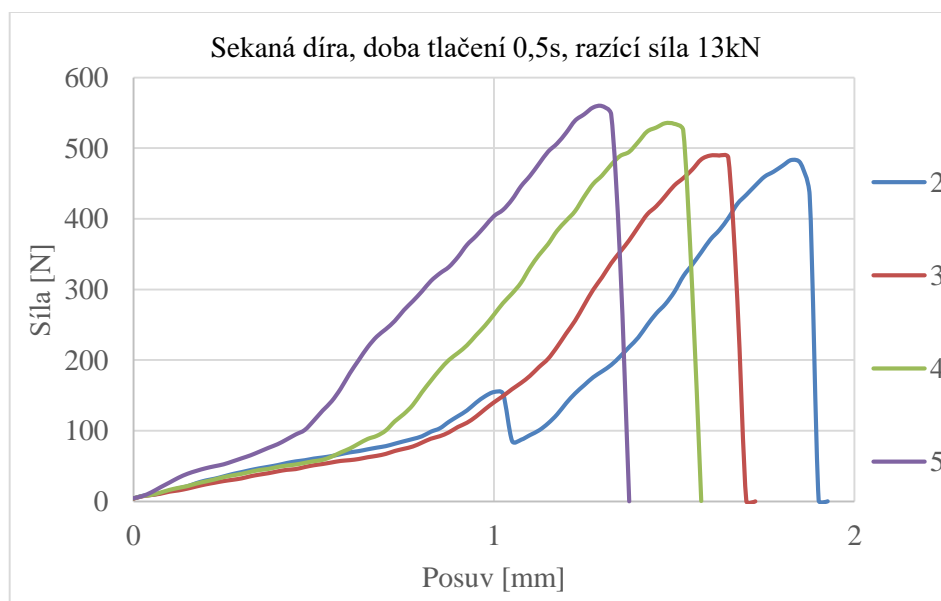
Pro přehlednost si jednotlivé měření rozdělíme podle doby tlačení, kdy si v kapitole 6.1 ukážeme parametry, jaké se používají ve firmě. V dalších kapitolách si otestujeme nové parametry lisování a nakonec si je porovnáme. V některých grafech a tabulkách chybí naměřené hodnoty, k těmto výsledkům měření se budeme věnovat v podkapitole 6.4.

### 6.1 Doba tlačení 0,5 sekund

#### 6.1.1 Sekaná díra - doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN

Tab. 9 Velikost síly potřebné k protočení - sekaná díra, doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN

Výdrž před protočením [N/m] - sekaná díra, doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	-	-	1,1	-	-

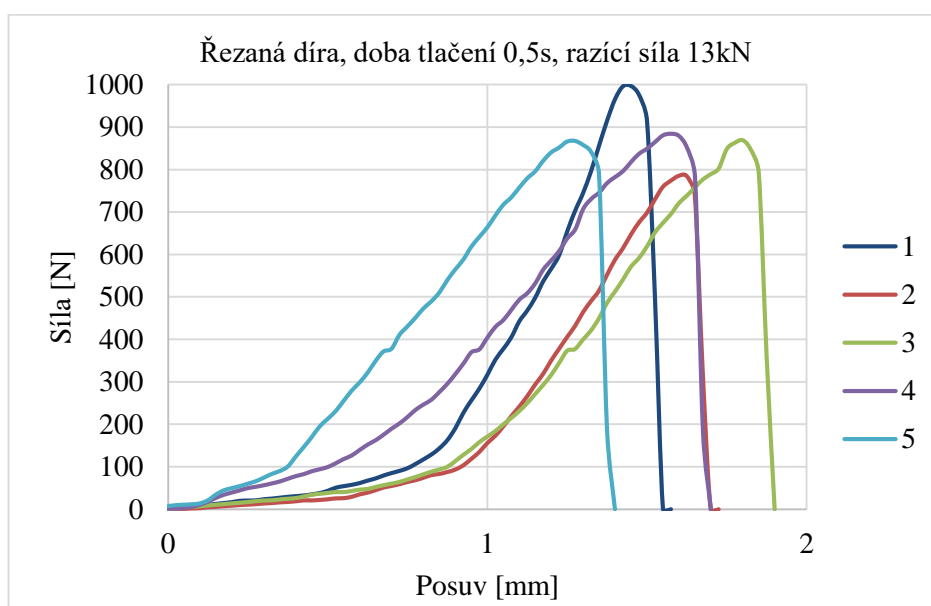


Obr. 21 Síla potřebná na zpětné protlačení pro sekanou díru, 0,5 s, 13 kN.

#### 6.1.2 Řezaná díra - doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN

Tab. 10 Velikost síly potřebné k protočení - řezaná díra, doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN

Výdrž před protočením [N/m] - řezaná díra, doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	4,2	3,6	2,9	3,6	3



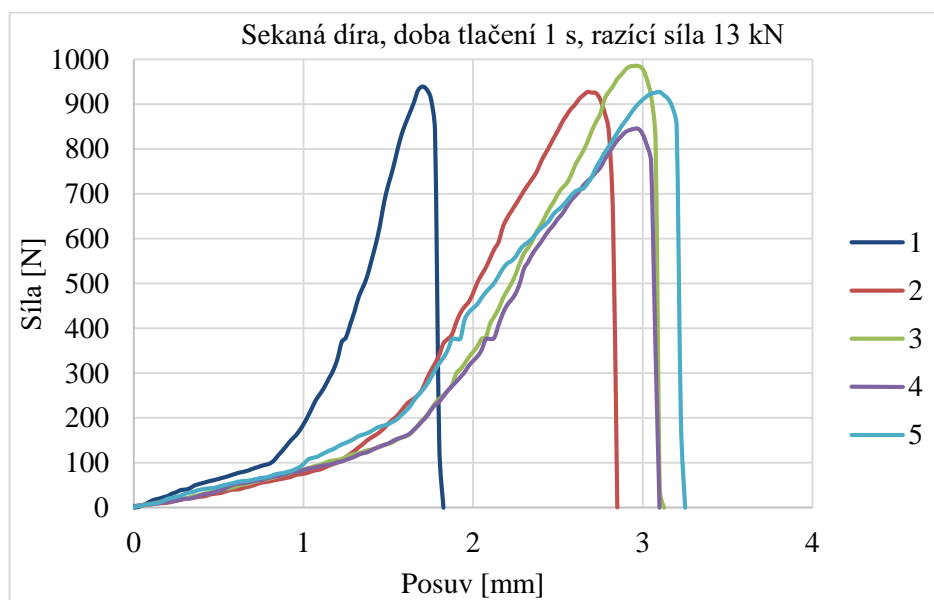
Obr. 22 Síla potřebná na zpětné protlačení pro řezanou díru, 0,5 s, 13 kN.

## 6.2 Doba tlačení 1 sekunda

### 6.2.1 Sekaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 13 kN

Tab. 11 Velikost síly potřebné k protočení – sekaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 13 kN

Výdrž před protočením [N/m] - řezaná díra, doba tlačení 0,5 s, razící síla 13 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	3,1	2,5	3,1	3,2	3,4

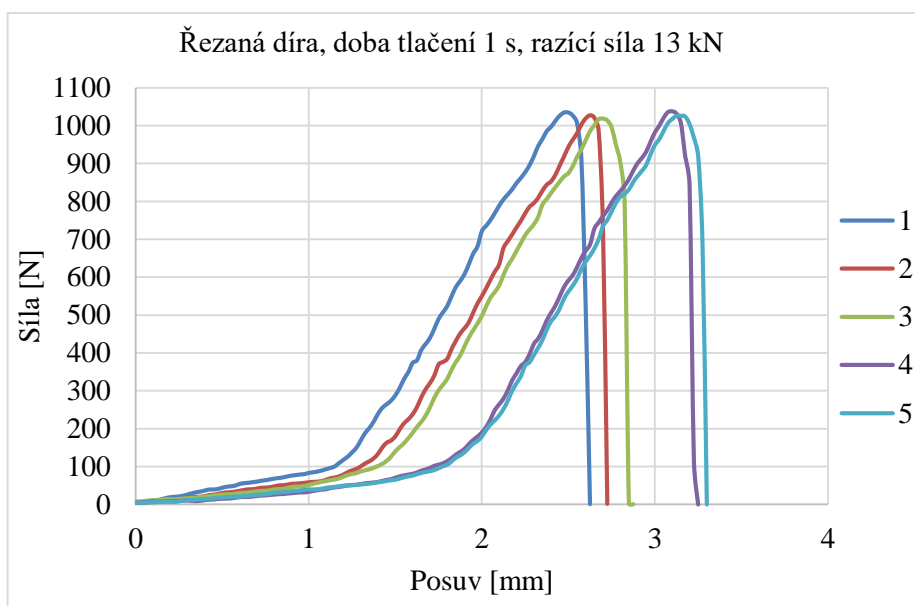


Obr. 23 Síla potřebná na zpětné protlačení pro sekanou díru, 1 s, 13 kN.

### 6.2.2 Řezaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 13 kN

Tab. 12 Velikost síly potřebné k protočení – řezaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 13 kN

Výdrž před protočením [N/m] - řezaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 13 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	3,6	4,4	5,1	4,7	4

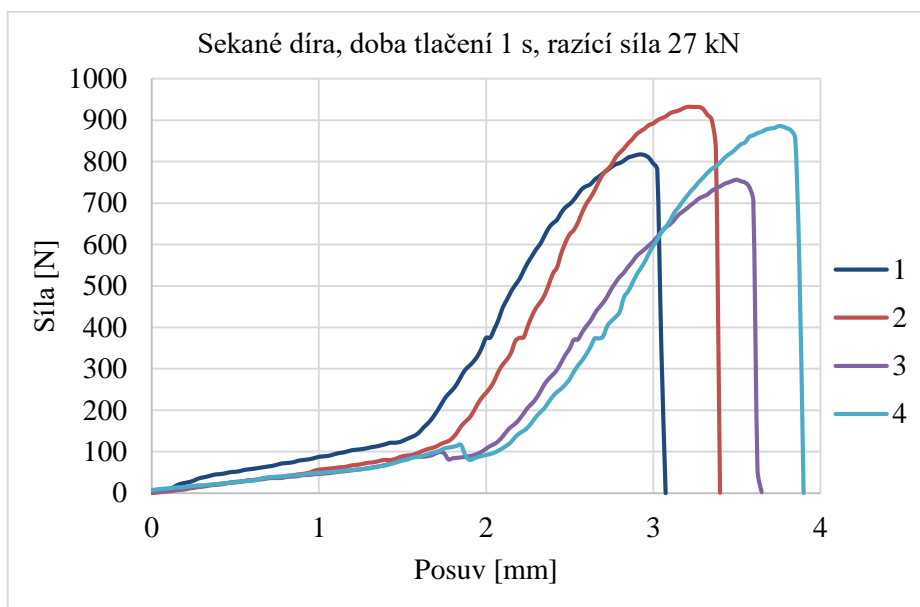


Obr. 24 Síla potřebná na zpětné protlačení pro řezanou díru, 1 s, 13 kN.

### 6.2.3 Sekaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 27 kN

Tab. 13 Velikost síly potřebné k protočení – sekaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 27 kN

Výdrž před protočením [N/m] - sekaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 27 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	2,7	2,4	2,8	2,4	2,1

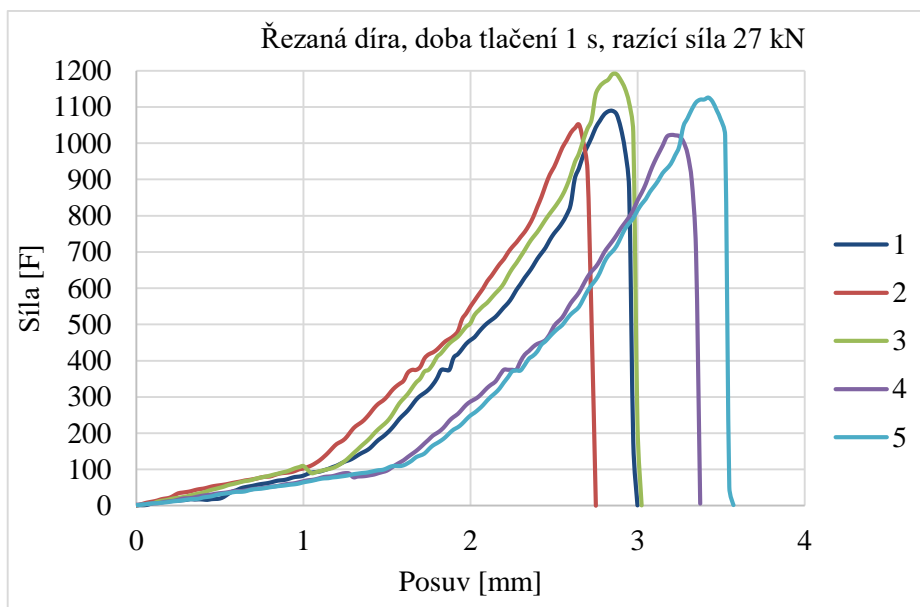


Obr. 25 Síla potřebná na zpětné protlačení pro sekanou díru, 1 s, 27 kN.

#### 6.2.4 Řezaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 27 kN

Tab. 14 Velikost síly potřebné k protočení – řezaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 27 kN

Výdrž před protočením [N/m] – řezaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 27 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	5,5	5,7	5,6	4,4	5,6

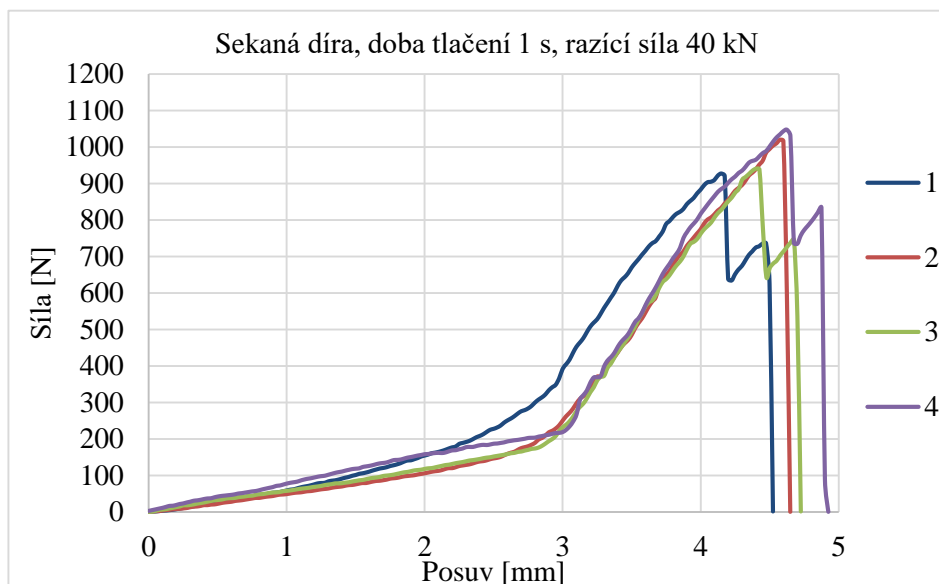


Obr. 26 Síla potřebná na zpětné protlačení pro řezanou díru, 1 s, 27 kN.

### 6.2.5 Sekaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 40 kN

Tab. 15 Velikost síly potřebné k protočení – sekaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 40 kN.

Výdrž před protočením [N/m] – sekaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 40 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	1,1	1,5	1,6	1,5	1,2

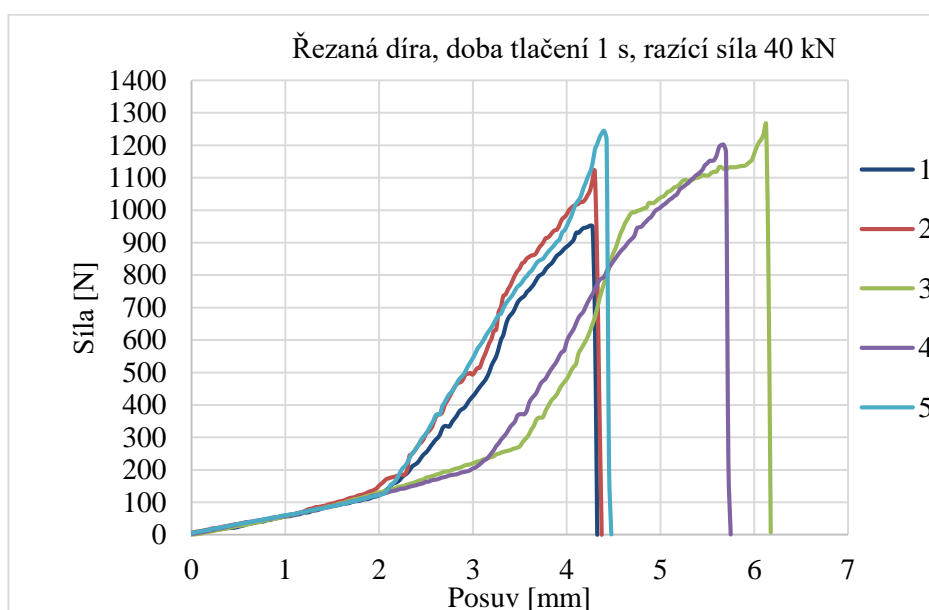


Obr. 27 Síla potřebná na zpětné protlačení pro sekanou díru, 1 s, 40 kN.

### 6.2.6 Řezaná díra - doba tlačení 1 s, razící síla 40 kN

Tab. 16 Velikost síly potřebné k protočení – řezaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 40 kN.

Výdrž před protočením [N/m] – řezaná díra, doba tlačení 1 s, razící síla 40 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	3,2	3	3,6	3,1	1,1



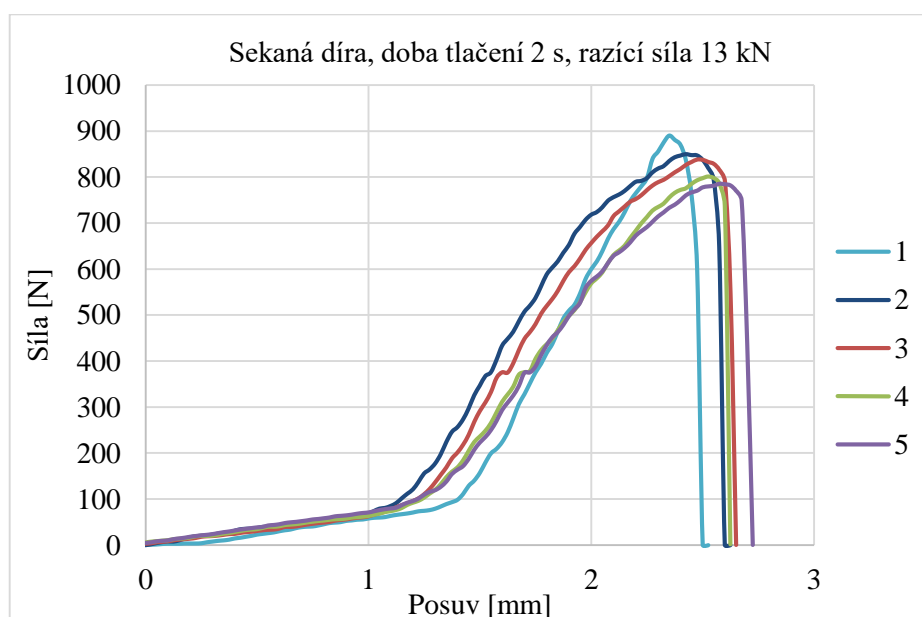
Obr. 28 Síla potřebná na zpětné protlačení pro řezanou díru, 1 s, 40 kN.

### 6.3 Doba tlačení 2 sekundy

#### 6.3.1 Sekaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 13 kN

Tab. 17 Velikost síly potřebné k protočení – sekaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 13 kN.

Výdrž před protočením [N/m] – sekaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 13 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	2,9	3,1	2,7	3,1	3,3

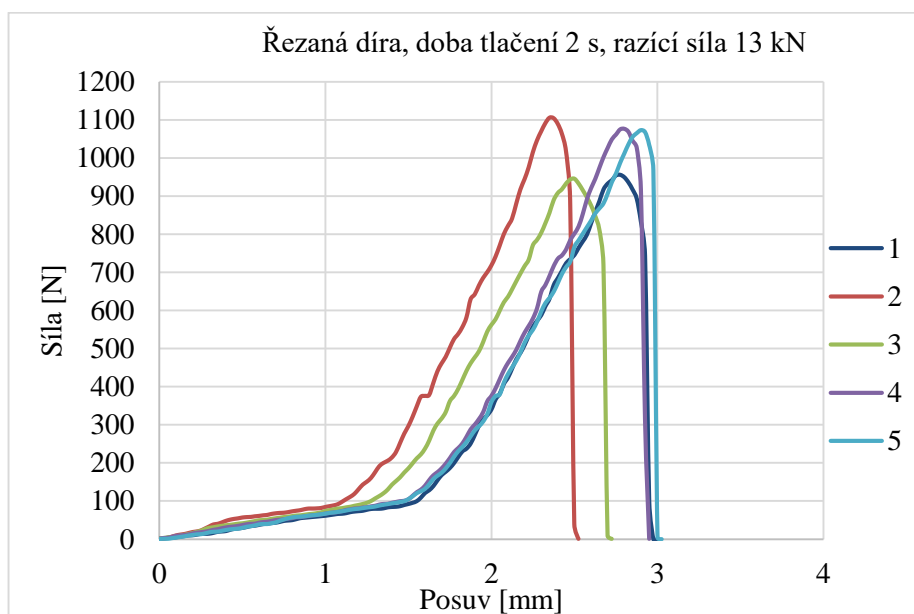


Obr. 29 Síla potřebná na zpětné protlačení pro sekanou díru, 2 s, 13 kN.

### 6.3.2 Řezaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 13 kN

Tab. 18 Velikost síly potřebné k protočení – řezaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 13 kN.

Výdrž před protočením [N/m] - řezaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 13 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	5,3	4	3,6	5,5	4,7

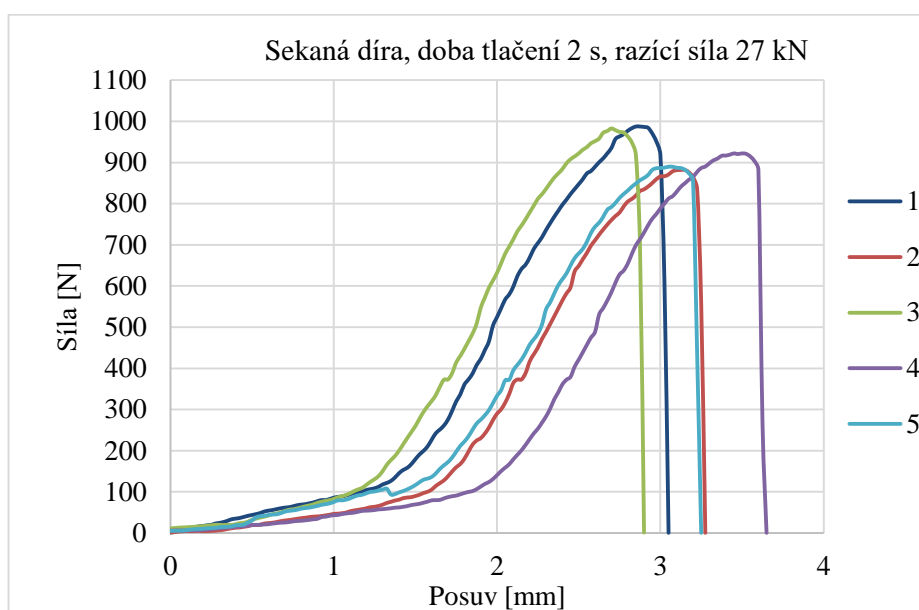


Obr. 30 Síla potřebná na zpětné protlačení pro řezanou díru, 2 s, 13 kN.

### 6.3.3 Sekaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 27 kN

Tab. 19 Velikost síly potřebné k protočení – sekaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 27 kN.

Výdrž před protočením [N/m] – sekaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 27 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	2,6	2,1	2,9	2,6	2,8

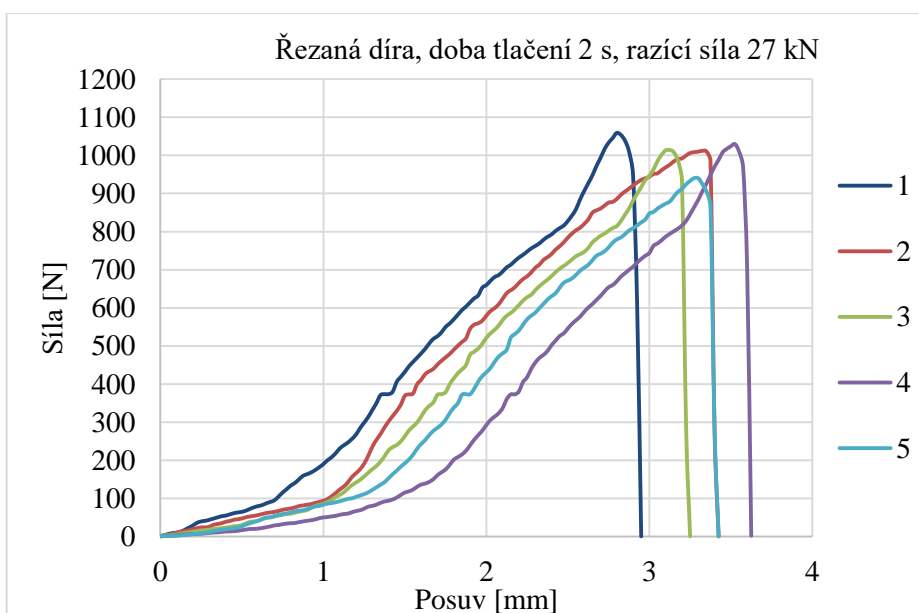


Obr. 31 Síla potřebná na zpětné protlačení pro sekanou díru, 2 s, 27 kN.

#### 6.3.4 Řezaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 27 kN

Tab. 20 Velikost síly potřebné k protočení – řezaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 27 kN.

Výdrž před protočením [N/m] - řezaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 27 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	4,8	4,1	5	4,7	5,2

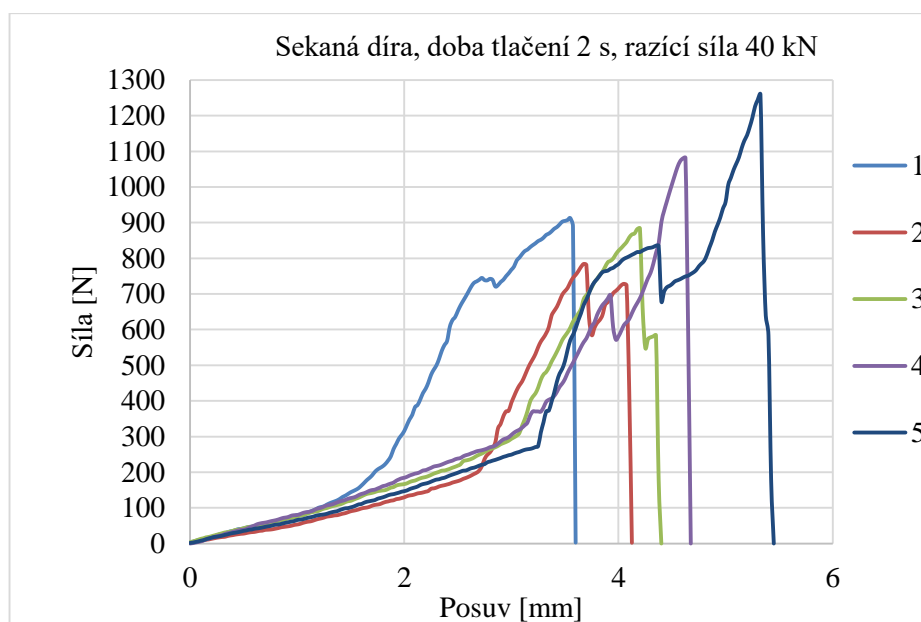


Obr. 32 Síla potřebná na zpětné protlačení pro řezanou díru, 2 s, 27 kN.

### 6.3.5 Sekaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 40 kN

Tab. 21 Velikost síly potřebné k protočení – sekaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 40 kN.

Výdrž před protočením [N/m] – sekaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 40 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	1,1	-	-	-	-

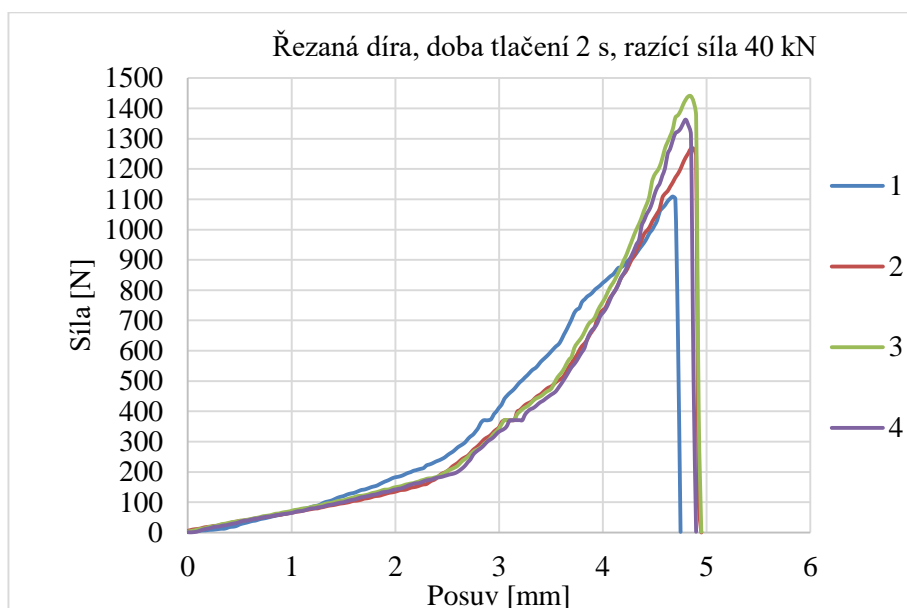


Obr. 33 Síla potřebná na zpětné protlačení pro sekanou díru, 2 s, 40 kN.

### 6.3.6 Řezaná díra - doba tlačení 2 s, razící síla 40 kN

Tab. 22 Velikost síly potřebné k protočení – řezaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 40 kN.

Výdrž před protočením [N/m] - řezaná díra, doba tlačení 2 s, razící síla 40 kN					
Vzorky	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
	3	4,4	3,8	3,2	3,3



Obr. 34 Síla potřebná na zpětné protlačení pro řezanou díru, 1 s, 40 kN.

#### 6.4 Vyhodnocení výsledků zalisování

V přechozích grafech a tabulkách můžeme vidět, že parametry zalisovaného spoje stanovené výrobcem se nám podařilo získat pouze v jednom případě pro řezanou díru. Pro sekanou díru si uvedeme parametry lisování, které v testování vyšly nejlépe.

V tabulkách můžeme vidět, že nám chybí některé hodnoty u vzorků. Tyto krouticí momenty byly nižší než 1 N/m a momentový adaptér nebyl schopný je změřit. V grafech 1, 5, 7 a 14 (obr. 21, 25, 27, 34) můžeme vidět, že nám chybí data vždy pro jeden vzorek, toto měření nebylo uskutečněno kvůli porušení závitů matice nebo kvůli vypadení matice během transportu k měřicím přístrojům. Vypadnutí matice během transportu a deformace závitů vede k reklamaci celého dílu, a tím zvyšuje nákladnost výroby.

##### 6.4.1 Výsledky pro sekanou díru

Nejlepší mechanické vlastnosti má spoj po lisování razící silou 13 kN a po dobu 1 s. (viz tab. 11 a obr. 23).

##### 6.4.2 Výsledky pro řezanou díru

Pro lisování do řezané díry nacházíme optimální parametry, které nám zaručí mechanické vlastnosti tvrzených korozivzdorných matic. Do řezané díry je nejlepším řešením lisování razící silou 27 kN po dobu 1 s (viz tab. 14 a obr. 26).

## 7 DISKUSE

Vytvoření tématu bakalářské práce probíhalo ve spolupráci s vedoucím práce a vedením firmy, kdy jsme se zaměřili na problém, který trápí firmu. Zákazníci reklamují zalisované spoje, protože spoj vzniklý lisováním nemá dostatečné mechanické vlastnosti. Dochází k vypadávání matic už během transportu, případně během instalace zařízení. Toto vypadnutí je důvodem reklamace celého dílu a výrazně zvyšuje nákladnost výroby.

Po několika schůzkách a konzultacích jsme zvolili parametry lisování, které jsme testovali. V průběhu několika hodin jsme zalisovali 240 matic do 12 připravených plechů. Nejsložitějším nastavením lisovacího stroje byla doba tlačení, kterou jsme museli měřit pomocí ručních stopek. Vzhledem k nízkému času a velké nepřesnosti měření, jsme provedli 15 krát tlačení na prázdno pouze do plechu a výsledné časy jsme sečetli a zprůměrovali. Tento proces jsme opakovali pro všechny 3 doby tlačení.

Po zalisování 80 matic jsme si ověřili nastavení parametrů, které jsme si zvolili, ať už dobu lisování nebo razící sílu. Setkali jsme se s problémem, jak změřit velikost síly na zpětné protlačení, protože ze školy VUT Brno mi byl poskytnutý tenzometr do 25 kg tedy do 250 N, který se ukázal, tak jak jsme předpokládali, nedostačující. Pro těchto 40 matic jsme využili působení gravitační síly, kdy jsme zašroubovaný šroub postupně zatěžovali ocelovými polotovary, které jsme si předem zvážili. Sílu potřebnou k protočení jsme si otestovali pomocí ručního momentového klíče.

Po tomto měření jsme vyřadili lisování matic do sekaných děr v proti směru vyseknutí, tzn. z druhé strany, než kterou vysekávací stroj vyseknul díru. Dále jsme vyřadili použití síly větší než 40 kN, které nám deformovalo závit a nebylo schopné do matice zašroubovat šroub. A dobu kratší než 1 s, protože docházelo k častému vypadávání matic.

Testování kvality zalisovaných vzorků jsme provedli ve spolupráci s firmou Honeywell spol. s.r.o., která nám poskytla příslušné přístroje a programy.

Výsledky testování ukazují rozdíl mezi řezanou a sekanou dírou a abychom vyloučili nepřesnosti stroje, provedli jsme měření velikosti děr (viz. obr. 20), které nám ukázalo, že všechny díry spadají do tolerance uváděné výrobcem (viz. tab. 1) a jejich rozdíl je v jednotkách setin milimetru. Nemůžeme ovšem vyřadit otláčení okrajů díry u sekaných děr, jež je následkem menšího množství materiálu zatečeného do zápichu matice a mezi vroubky, což je jedno z hlavních důvodů rozdílných vlastností vzniklých spojů (viz. kap. 2.2).

Zvolením doby tlačení 1 sekundy jsme našli optimální dobu pro tečení materiálu do zápichu matice. Delší časový úsek se neukázal jako výhodný, protože snižuje efektivitu výroby, kdy se za hodinu zalisuje méně matic a navíc byl u použití vyšších sil horším, protože došlo k deformaci zoubků matice a spoj přenesl nižší krouticí moment než při lisování stejnou silou, ale kratší čas. Použití vyšší razící síly nám sice zajistilo větší odolnost proti zpětnému vyražení, ale naopak zhoršilo odolnost vůči protočení, toto zhoršení bylo stejně jako v předchozím bodě z důvodů deformace zoubků.

## 8 ZÁVĚR

V této práci jsme se seznámili s jedním ze způsobů výroby závitů v tenkostěnných materiálech. V úvodních kapitolách jsme si vysvětlili, jak a na jakých strojích probíhá lisování matic.

V rámci praktické části byly nejprve představeny stroje, které používá společnost EDP s.r.o. na nichž byla prováděna měření pro získání optimálních lisovacích parametrů. Následně jsme si představili i materiál obvykle používaný k lisování matic včetně podrobnějšího rozboru vlastností materiálu, jenž byl zvolen k samotnému testování a měření.

V poslední části práce jsou pak v tabulkách a graficky představeny výsledky jednotlivých měření zalisovaných vzorků, završené jejich vyhodnocením a určením optimálních lisovacích parametrů.

Pomocí měření jsme si ukázali vliv síly a doby tlačením na mechanické vlastnosti spoje pro jednotlivé díry. Díky dosaženým výsledkům měření jsme dokázali nalézt nejvhodnější parametry, při jejichž použití splňuje finální výrobek požadavky kladené na vlastnosti tvrzených korozivzdorných matic.

Podrobnější popis metodiky měření, včetně různých obtíží, na které jsme narazili, jsme si mimo jiné ukázali v diskusi, díky čemuž může čtenář sám posoudit validitu získaných výsledků a přesvědčit se o platnosti závěrů práce.

Hlavní cíl práce se podařilo naplnit, jelikož matice lisované za pomoci nalezených optimálních parametrů, vykazovaly při testování výrazně lepší vlastnosti než matice lisované za stejných podmínek s jinými parametry.

Naplnění dílčího cíle představení problematiky lisování matic může vyhodnotit pouze čtenář sám, přesto autor práce věří, že i lidé, jež jsou netechnického zaměření, si po přečtení práce dokáží udělat o podstatě lisování matic a problémech s tím spojených základní představu.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. EDP [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: <http://www2.edpsro.cz/cs/o-nas>
2. HRIVŇÁK, Andrej a Emil EVIN. *Lisovateľnosť plechov: predikcia lisovateľnosti oceľových plechov s vyššími pevnostnými vlastnosťami*. Košice: Elfa, 2004. ISBN 80-89066-93-3.
3. HEYMAN® Manufacturing GmbH [online]. [cit. 2016-03-22]. Dostupné z: [https://www.heyman.cz/media/useruploads/files/documentation\\_cz/Technische%20Angaben%20CZ/technicke\\_informace-sroubove\\_spoje.pdf](https://www.heyman.cz/media/useruploads/files/documentation_cz/Technische%20Angaben%20CZ/technicke_informace-sroubove_spoje.pdf)
4. Doc. Dr. Ing. Petr Lenfeld: *Technologie tváření kovů* [online]. Liberec [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
5. Sp-Tech s.r.o. [online]. [cit. 2016-03-23]. Dostupné z: <http://www.sp-tech.cz/produkty/haeger/>
6. SP-TECH S.R.O. *Návod k použití lisu: Haeger 824 PLUS*. Nymburk, 2006.
7. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I. 2.*, opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.
8. Doc. RNDr. Miloš Janeček, CSc. *Poruchy krystalové mříže* [online prezentace]. [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: [http://material.karlov.mff.cuni.cz/people/janecek/studenti/Fyzika\\_materialu1/BP/](http://material.karlov.mff.cuni.cz/people/janecek/studenti/Fyzika_materialu1/BP/)
9. Bc. Jan Maxa. *Ústní sdělení* (Obchodní manažer, Sp-Tech, s.r.o., Za Žoskou 2506, Nymburk) [cit. 2016-03-15]
10. TRUMPF International. *Technické údaje Trulaser 3030* [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/rezani-2d-laserem/laserova-rezaci-zarizeni/trulaser-3030-3040.html>
11. KOLKOP, David. *Technologie řezání laserem*. Brno, 2010. Diplomová práce. Vysoké učení technické Brno. Vedoucí práce Ing. Karel Osíčka.
12. TRUMPF International. *Technické údaje TruFiber* [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/laserova-technika/vyrobyk/pevnotatkove-lasery/vlaknove-lasery.html>
13. TRUMPF International. *Technické údaje vysekávacích strojů* [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/vysekavani.html>
14. TRUMPF International. *Technické údaje vysekávacích strojů* [online]. [cit. 2016-04-08]. Dostupné z: <http://www.cz.trumpf.com/cs/produkty/obrabeci-stroje/produkty/obrabeni-vysekavanimlaserem/vysekavacilaserove-stroje/trumatic-6000.html>
15. Technická specifikace: Jakosti tažených ocelí. *U. S. Steel Košice* [online]. Košice, 2015 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.usske.sk/sk/produkty/ocel-valcovana-a-studena/tazne-akosti-ocele>
16. CHÁRA, Tomáš. *Korozivzdorné oceli*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické Brno. Vedoucí práce Ing. Martin Zmrzlý, Ph.D.
17. Bc. Jaroslav Podsedník. *Ústní sdělení* (Vedoucí výroby, EDP, s.r.o., Rousínov) [cit. 2016-05-02]

18. AB SANDVIK COROMANT - SANDIK CZ s.r.o., *Příručka obrábění - Kniha pro praxe*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: *Modern Metal Cutting - A Practical Handbook*. ISBN 91-97 22 99-4-6.
19. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
20. Princip vysekávání. *TRUMPF* [online]. [cit. 2016-05-3]. Dostupné z: <http://www.trumpf-machines.com/de/loesungen/basiswissen/stanzprinzip.html>
21. GotMachinery. [online]. [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <https://www.gotmachinery.com>
22. Pramark. [online]. [cit. 2016-03-28]. Dostupné z: <http://www.pramark.cz/montazni-lisy/>
23. HŠV Polička. [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: <http://www.hsvpolicka.cz/elektricke-lisy.aspx>
24. Schmidt Technology. [online]. [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: [http://www.presston.cz/KATALOG\\_Schmidt/SCHMIDT\\_KATALOG\\_cz\\_06\\_ServoPress.pdf](http://www.presston.cz/KATALOG_Schmidt/SCHMIDT_KATALOG_cz_06_ServoPress.pdf)
25. Katalog: Samočytné spojovací prvky do plechu a plošných spojů. *ProTech SpT s.r.o.* [online]. Nymburk, 2015 [cit. 2016-04-13]. Dostupné z: <http://www.protech-spt.cz/files/katalog.pdf>
26. HEYMAN® Manufacturing GmbH [online]. [cit. 2016-05-5]. Dostupné z: [http://heyman.cz/media/useruploads/images/0\\_FILES/cz/technische\\_angaben/Einpressen\\_in\\_edelstahl-2014.pdf](http://heyman.cz/media/useruploads/images/0_FILES/cz/technische_angaben/Einpressen_in_edelstahl-2014.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>Zkratka</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>A</b>	[mm]	vnější průměr zápichu matice
<b>B</b>	[mm]	vnější průměr matice
<b>C</b>	[mm]	výška hlavy matice
<b>Dmax</b>	[mm]	výška zápichu matice
<b>I</b>	[-]	intersticiál
<b>IP</b>	[-]	intersticiální příměs
<b>M4</b>	[-]	velikost závitů
<b>SP</b>	[-]	substituční příměs
<b>V</b>	[-]	vakance

<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>E</b>	[Pa]	Youngův modul pružnosti
<b>FN</b>	[N]	razící síla
<b>t</b>	[s]	doba tlačení
<b><math>\varepsilon</math></b>	[-]	relativní rodloužení
<b><math>\sigma</math></b>	[Pa]	mechanické napětí