

**ČESKÉ VYSOKÉ  
UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA  
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ  
PRÁCE**

**2018**

**JAN  
POSPÍŠIL**



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pospíšil** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **438965**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav strojírenské technologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Přehled možností nedestrukčního měření tloušťky dílů karoserie automobilu**

Název bakalářské práce anglicky:

**Overview of non-destructive measurement of car body parts thickness**

Pokyny pro vypracování:

Body k vypracování:

- 1) seznámení s problematikou
- 2) návrh nedestrukčních metod pro měření tloušťky dílů karoserie
- 3) popis výhod a nevýhod jednotlivých metod
- 4) závěrečné zhodnocení

Seznam doporučené literatury:

dle doporučení vedoucího BP

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. František Tatiček, Ph.D., ústav strojírenské technologie FS**


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

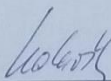
**Ing. Michal Valeš, ústav strojírenské technologie FS**

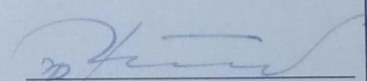
Datum zadání bakalářské práce: **23.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **10.08.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **10.08.2018**

  
Ing. František Tatiček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

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

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

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

17.5.2018  
Datum převzetí zadání

Pospíšil  
Podpis studenta

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Přehled možností nedestrukčního měření tloušťky dílů karoserie automobilu“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Františka Tatíčka, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 1.6.2018

.....

Jan Pospíšil

### **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu práce Ing. Františku Tatíčkoví, Ph.D., za vedení při vypracování bakalářské práce, poskytnutí cenných rad a ochotu konzultovat danou problematiku. Poděkování patří také zaměstnancům společnosti ŠKODA AUTO, a.s., za faktické připomínky a poskytnuté informace.

# Anotace

<b>Vysoká škola:</b>	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
<b>Ústav:</b>	Ústav strojírenské technologie
<b>Název bakalářské práce:</b>	Přehled možností nedestrukčního měření tloušťky dílů karoserie automobilu
<b>Akademický rok:</b>	2017/2018
<b>Autor:</b>	Jan Pospíšil
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. František Tatíček, Ph.D.

## Abstrakt:

Předmětem bakalářské práce „Přehled možností nedestrukčního měření tloušťky dílů karoserie automobilu“ je vytvoření a zhodnocení metod pro nedestrukční detekci tloušťky plechových dílů karoserie automobilu. Teoretická část pojednává o procesech plošného tváření, v praktické části jsou zkoumány vady na výliscích, které se v praxi vyskytují. Na základě těchto vad bylo vybráno několik metod, kterými je možné měření. Získané metody jsou zhodnoceny a komentovány.

**Klíčová slova:** Hluboké tažení, vady výlisku, měření tloušťky

## Rozsah práce a příloh

<b>Počet stran:</b>	37
<b>Počet obrázků:</b>	18
<b>Počet tabulek:</b>	1

# Annotation

<b>University:</b>	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
<b>Department:</b>	Department of Manufacturing Technology
<b>Title of work:</b>	Overview of non-destructive measurement of car body parts thickness
<b>Academic year:</b>	2017/2018
<b>Author:</b>	Jan Pospíšil
<b>Supervisor:</b>	Ing. František Tatíček, Ph.D.

**Abstract:**

The subject of this bachelor thesis „Overview of non-destructive measurement of car body parts thickness“ is to create and evaluate methods for non-destructive thickness detection of sheet metal car body parts. The introductory part deals about processes of metal forming, the practical part is focused on defects, which occurs in practice. Based on these defects, several methods of measurement was selected. Each method is evaluate and commented.

**Key words:** Deep drawing, defects, thickness measurement

**Volume of work**

<b>Number of pages:</b>	37
<b>Number of pictures:</b>	18
<b>Number of tables:</b>	1

## Obsah

Úvod .....	8
1 Tváření.....	9
1.1 Technologie plošného tváření.....	9
1.1.1 Stříhání .....	11
1.1.2 Ohýbání .....	13
1.1.3 Hluboké tažení.....	15
2 Definice požadavků pro měřicí metodu .....	20
2.1 Vady na výlisku .....	20
2.1.1 Prohlubně – iniciace krčku .....	23
2.1.2 Trhliny.....	23
2.1.3 Zvlnění .....	24
3 Charakteristika vybraných metod .....	26
3.1 Ultrazvukové měření .....	26
3.2 Rentgenospektrometrické měření .....	28
3.3 Magnetické metody .....	29
3.4 Elektrické metody.....	30
3.5 Počítačová tomografie (CT) .....	31
3.6 Destruktivní metody měření .....	32
4 Závěr.....	34
Zdroje .....	36

## Úvod

Automobil je tvořen celou řadou dílů. Podíváme-li se na jeho karoserii, je tvořena několika plechovými výlisky. Každý z nich zde má svůj význam. Mnohé udávají automobilu jeho vzhled, jiné slouží k zajištění pasivní bezpečnosti apod. Všechny výlisky na karoserii však musí splňovat požadavky z hlediska kvality.

Jedním z mnoha faktorů při výrobě je snižování hmotnosti. Toho lze dosáhnout například zmenšením tloušťky plechu nebo použitím materiálu o nižší měrné hmotnosti. Mezi materiálové jakosti, které jsou používány pro stavbu karoserie a splňují kritérium nižší měrné hmotnosti, se řadí slitiny hliníku a hořčíku, dále pak případně sendvičové materiály (tenké ocelové plechy, mezi kterými je plastové jádro). Zde však narážíme mimo jiné na problematiku vzájemného spojování výlisků do sestavy.

Při snižování hmotnosti zmenšením tloušťky plechu se dostáváme do problému, jelikož je ovlivněna možnost dosažení správné kvality výlisku – zvyšuje se riziko vzniku některé vady.

Dalšími významnými faktory jsou zvyšování produktivity práce, požadavek na zkrácení výrobního taktu. Při zkrácení času potřebného na výrobu se zvyšuje nejen riziko vzniku vady, ale současně roste i možnost, že vadný výlisek projde kontrolou a bude namontován na karoserii automobilu. Existuje proto řada kontrolních bodů, která má za cíl tyto nedostatky odhalit. Určení, zda se na výlisku vada vyskytuje, či nikoli, je však značně komplikované.

Mnohdy se setkáváme s požadavkem na určení možné vady u výlisku, který je již namontován do karoserie automobilu. Tento výlisek je často přístupný pouze z jedné strany, může na něm být nanesena dokonce i vrstva povrchových úprav (laku).

Tato omezení kladou vysoké požadavky na měřicí metodu. Cílem této práce je vytipování několika možných, kterými je možné analyzovat tloušťku na výlisku nedestruktivně.

V rámci práce se budu zabývat způsoby výroby výlisku. V části jsou popsány metody vhodné ke zjištění tloušťky výlisku. Je zde provedena rovněž analýza možných vad (z hlediska tloušťky). Pro vybrané metody jsou uvedeny jejich výhody a nevýhody.



# 1 Tváření

Tváření je technologický proces, při kterém dochází vlivem působení vnějších sil k požadované trvalé změně tvaru (případně i vlastností) výrobku. [2] Vlivem tváření vznikají plastické deformace, dochází zde tedy k přemístování částic v materiálu. Tímto může docházet ke změně jak mechanických, tak i fyzikálních vlastností materiálu, v závislosti na okolnostech a konkrétním způsobu technologického procesu. [1]

Jelikož se jedná o spojitý děj, při kterém se nemění objem tvářeného materiálu, využíváme ve výpočtech rovnici kontinuity. Díky tomu můžeme navrhovat tvářecí stroje přesně pro cílové určení. [1]

Tváření se rozděluje na dva hlavní typy podle působení vnějších sil:

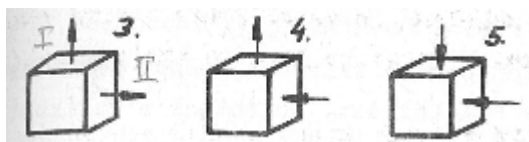
- **Objemové tváření** – trojosá (prostorová) napjatost; zde dochází k výrazné změně tvaru původního polotovaru, tím se zvětší i jeho plocha (válcování, kování, tažení, protlačování) [3]
- **Plošné tváření** – dvojosá (rovinná) napjatost; dochází ke změně tvaru součásti (převážně z plechu) při malé změně tloušťky (hluboké tažení, stříhání, ohýbání) [3]

Dalším nejčastěji uváděným rozdělením je rozdělení podle teploty:

- **Tváření za studena [1]**
  - probíhá pod rekrystalizační teplotou materiálu (v praxi  $<0,3 T_{\text{tání}}$ )
  - dochází zde ke zpevňování materiálu vlivem deformací zrn ve směru tváření
  - roste odpor proti dalšímu tváření
- **Tváření za tepla [1]**
  - Probíhá nad rekrystalizační teplotou materiálu (v praxi  $>0,7 T_{\text{tání}}$ ) – vysoká rychlost rekrystalizace -> nedochází ke zpevňování
  - K tváření stačí mnohem menší tvářecí síly
  - Hrubné zrnno – může mít vliv např. na kvalitu stříhu

## 1.1 Technologie plošného tváření

Plošným tvářením rozumíme takové, při kterém vzniká teoreticky pouze dvojosá (rovinná) deformace (obr. 1) – znamená to tedy, že se rozměr mění pouze ve dvou směrech.



Obr.: 1 Rovinná napjatost [1]

Pro upřesnění bychom mohli uvést, že se rozměr výrobku mění ve dvou směrech zásadně, ve třetím je tato změna zanedbatelná, ale přesto se mírně mění. Platí tedy zákon zachování objemu:

$$V_0 = V_1$$

$$a_0 \cdot b_0 \cdot v_0 = a_1 \cdot b_1 \cdot v_1$$

$$\frac{a_1 \cdot b_1 \cdot v_1}{a_0 \cdot b_0 \cdot v_0} = 1$$

Po zlogaritmování:

$$\ln \frac{a_1}{a_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} + \ln \frac{v_1}{v_0} = 0$$

Tedy pro deformace platí:

$$\varphi_a + \varphi_b + \varphi_v = 0$$

$$\Rightarrow \varphi_v = -\varphi_a - \varphi_b$$

Z výše uvedené rovnice můžeme vidět, že deformace třetího rozměru, tedy tloušťky materiálu, je rovna součtu deformací ostatních dvou rozměrů.

Tímto způsobem se vyrábí součásti (výlisky) výhradně za studena. Výrobky mohou mít jak velmi malé, tak i velkoplošné rozměry. Technologie je v dnešní době v největší míře využívána k výrobě karoserie automobilů. Nahrazujeme jí například svařované dílce a odlitky, čímž lze ušetřit jak na materiálu (10 až 50 %), tak i na pracnosti produktu (až o 75 %). Jako výrobní materiál se používá nejčastěji plech (ve formě tabulí nebo svitků), dále tenkostěnné profily (ve formě tyčí) a trubky. [3]

Technologii plošného tváření lze rozlišit podle deformace na dva základní způsoby:

- Deformace, při které dojde cíleně k místnímu porušení soudržnosti materiálu (tj. střih)
- Tvárná deformace, při které nedojde k porušení soudržnosti – dojde ke změně tvaru bez oddělení materiálu

Výrobní postup součásti závisí na mnoha faktorech (druh materiálu, rozměry, požadovaná přesnost, sériovost...) Obecně při výrobě z plechu zahrnuje tyto následující operace:

1. Dělení plechu (stříhání)
2. Úprava přístřihů (narovnání plechu, odstranění otřepů...)
3. Tváření (před tímto krokem může být ještě zahrnuto nanesení maziva – buď mechanicky, nebo automaticky)
4. Úpravy po tváření, mytí
5. Dokončovací operace

Proces výroby je poměrně složitý. Ovlivňuje jej řada faktorů a parametrů, které se obecně označují jako okrajové podmínky výrobního pochodu. Mezi tyto okrajové podmínky můžeme například zařadit vliv materiálu, jakosti a tloušťky výlisku, podmínek procesu, ale i konstrukce stroje a nástroje apod. Při nevhodném zvolení podmínek mohou na finálním výlisku vznikat vady, které můžeme rozdělit do dvou skupin. První skupinu tvoří vady, kdy dochází k porušení stability. Sem patří například iniciace makroskopických trhlin, ztenčení, zvlnění. Druhou skupinu pak tvoří problematika geometrických vad, mezi které řadíme například odpružení. [2][3]

#### 1.1.1 Stříhání

Tato technologie patří k nejpoužívanějším operacím tváření. Je využívána jak k přípravě polotovarů (přístřihů), tak i k vystřihování částí z plechu. Stříháním rozumíme oddělování materiálu pomocí protilehlých břitů nožů. [2] Jedná se o jedinou operaci, při které dochází k porušení soudržnosti materiálu. Přehled základních střížných operací a názvosloví stříhání můžeme najít např. v normě ČSN 22 6001. Zde jsou střížné operace klasifikovány na prosté stříhání, vystřihování, děrování, prostřihování, prosekávání, ostřihování, přístřihování, vysekávání nebo přesné stříhání. [4]

Stříhání se dá popsat ve třech fázích. V první fázi začínající dosednutím střížného nástroje na stříhaný materiál (obr. 2a) dochází k pružné deformaci. Materiál se stlačuje, ohýbá a postupně vtlačuje do otvoru střížnice (obr. 2b). Napětí ve tvářeném kovu je v této fázi menší než napětí na mezi úměrnosti. V druhé fázi, kdy se napětí dostane až na mez kluzu stříhaného materiálu, dochází k plastické deformaci. Střížník se vtlačuje do plechu, který postupně vniká do otvoru střížnice, napětí na hranách střížníku a střížnice se blíží až k mezi pevnosti (obr. 2c). V poslední fázi se začnou iniciovat trhliny. Napětí v materiálu přesahuje mez pevnosti ve

stříhu, čímž dochází u hran střížníku a střížnice nejprve ke vzniku mikrotrhlin, které se postupně zvětšují, až nakonec dojde k odtržení materiálu (obr. 2d). Rychlost a kvalita stříhu závisí na mechanických vlastnostech materiálu – tvrdý a křehký materiál se oddělí téměř okamžitě, naopak u měkkých a houževnatých materiálů dojde k oddělení pomaleji. Průběh stříhu dále závisí na velikosti střížné vůle. [2][4]



Obr.: 2 Princip stříhání pomocí stříhadla [2]

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměry střížníku a střížnice. Má zásadní vliv na velikost střížné síly, trvanlivost břitů, kvalitu střížných ploch a vznik ostřin. Pro zachování co nejlepší kvality by měla být rovnoměrná po celé délce křivky stříhu. Při nerovnoměrném rozložení střížné vůle vznikají ostřiny a povrchové vady po obvodě stříhu. Další možná příčina těchto vad je otupení břitů nástrojů, čímž se střížná vůle zvětšuje. [2]

Střížná síla je dalším základním parametrem střížného procesu. Využívá se pro výběr vhodného lisu, jelikož při překročení jmenovité síly může být lis i poškozen. Její velikost se v průběhu procesu stříhání mění. Vzniká při dotyku střížníku s materiálem a postupně narůstá, až dokud se nezačnou iniciovat trhliny. Poté začne tato síla klesat až na nulu, kdy dojde k oddělení materiálu. U křehkých materiálů dochází k ustřížení již při malém vniknutí střížníku, jelikož tyto mají velmi malý rozdíl mezi mezí kluzu a pevnosti. Naopak materiály měkké a houževnatější odstřížení nastává až po větším vniknutí střížníku. [4]

Velikost střížné síly (zde pro stříh s rovnoběžnými noži) se vypočítá ze vztahu:

$$F_S = k \cdot S \cdot \tau_{ps} = k \cdot l \cdot s \cdot 0,8R_m [N]$$

Kde	k	...součinitel otupení břitů
	$\tau_{ps}$	...pevnost materiálu ve smyku [MPa]
	S	...plocha roviny stříhu $S = l \cdot s$ [m <sup>2</sup> ]
	l	...délka stříhu [mm]

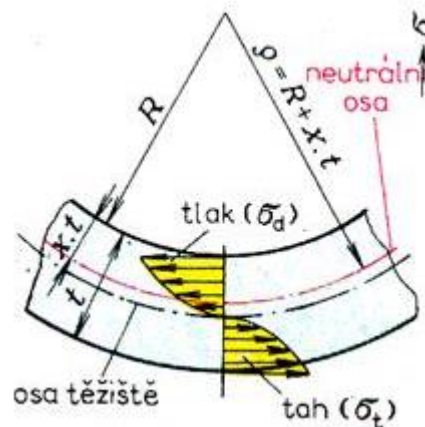
$s$  ...tloušťka plechu [mm]

$R_m$  ...mez pevnosti v tahu [MPa]

### 1.1.2 Ohýbání

Ohýbání se provádí jak ručně, tak i strojně. Nástrojem je ohybadlo, které se dále skládá z ohybníku a ohybnice. [4]

Při ohýbání dochází na vnitřní straně ke stlačování materiálu (vznik tlakových napětí), naopak na straně vnější se materiál natahuje (vznik tahových napětí). Mezi těmito vrstvami se nachází vrstva neutrální, kde nevznikají ani tahová, ani tlaková napětí (obr. 3). Zejména touto vrstvou a její polohou v ohybu se budeme nadále zabývat. Má zásadní vliv na výpočet rozměrů vstupního polotovaru a na určení minimálního poloměru zaoblení  $r$ . [4]



Obr.: 3: Průběh a velikost napětí v ohýbaném materiálu [4]

Poloměr neutrální vrstvy je tedy

$$\rho = r + x \cdot s$$

Délka oblouku uvažovaného ohybu se stanovuje ze vztahu

$$L = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180}$$

Kde

$\rho$  ...poloměr neutrální vrstvy [mm]

$r$  ...poloměr zaoblení

$s$  ...tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

$x$  ...součinitel posunutí neutrální vrstvy [-]

$\alpha$  ...úhel ohybu [°]

L ...délka ohybu [mm]

Řešíme dva základní případy, u kterých využíváme poměru poloměru zaoblení  $r$  ku tloušťce materiálu  $s$ . Poměr  $r/s > 6$  nazýváme volný ohyb. Dochází zde k malé pružně plastické deformaci a lze předpokládat průchod neutrální vrstvy středem tloušťky výchozího materiálu. Poměr větší než 6 znamená ostrý pohyb. Zde máme malý poloměr zaoblení a dochází ke změně průřezu. Dalšími parametry jsou minimální poloměr, tedy  $t$ , při jehož překročení by v krajních vláknech materiálu došlo k jeho porušení a vzniku vady. Je dán jako násobek tloušťky polotovaru (pro měkkou ocel  $r_{min} = (0,4 - 0,8)t$ , pro středně tvrdou ocel  $1,5t$ , pro měď je to  $0,25t$  a pro hliník  $0,35t$ ). Výpočet tohoto minimálního poloměru se dá zapsat pomocí vzorce:

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

Kde:

$s$  ...tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

$\varepsilon_c$  ...mezní prodloužení – při takovémto prodloužení dojde k porušení ohýbaného materiálu (napětí přesáhne mez pevnosti v tahu) [-]

$c$  ...koeficient [-]

Dalším parametrem je maximální poloměr, tedy poloměr, při kterém dojde na natahované straně k trvalé deformaci. Dá se rovněž spočítat dle vztahu:

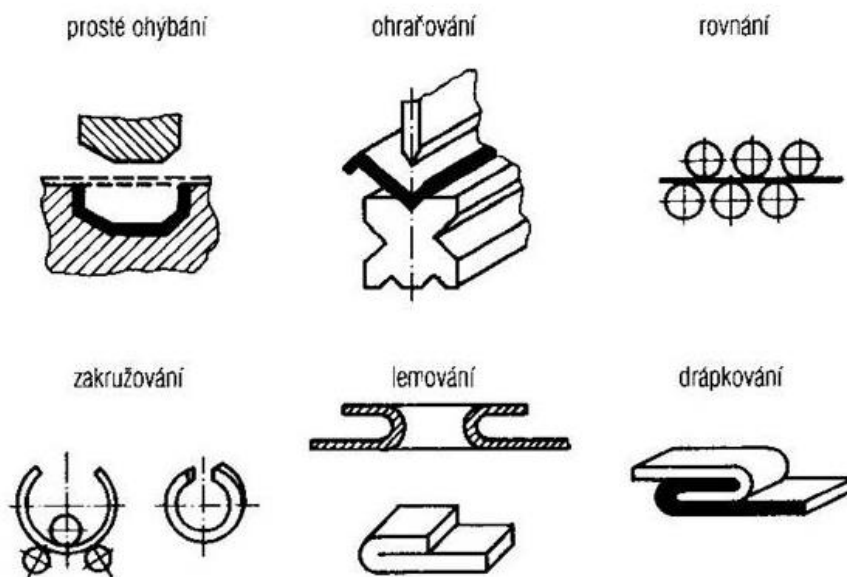
$$r_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \text{ [mm]}$$

Kde:

$E$  ...modul pružnosti v tahu [MPa]

$R_e$  ...mez kluzu materiálu [MPa]

Mezi základní rozdělení ohýbání patří ohyb do tvaru „U“ a do tvaru „V“. Dalším rozdělením podle způsobu se ohýbání může dělit na prosté, ohraňování, lemování, rovnání, zakružování apod. – viz obr. 4. [4]



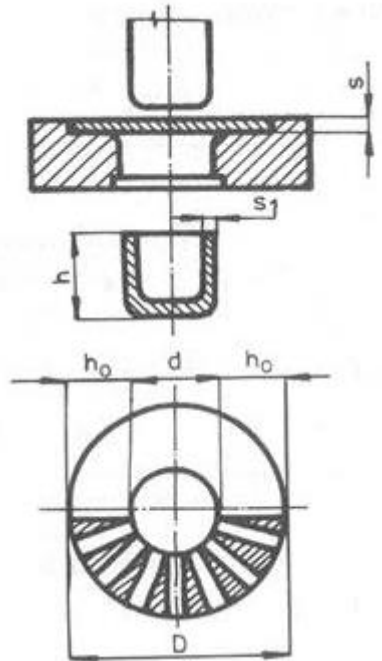
Obr.: 4 Metody procesu ohýbání [4]

K nežádoucím jevům řadíme kromě deformace průřezu také odpružení. Jedná se o dodatečnou deformaci, kdy se materiál po odlehčení snaží vrátit do původního tvaru. Odpružení se projevuje jako úhlová odchylka  $\gamma$  a je způsobeno pružnou deformací kolem neutrální osy. Velikost odchylky závisí na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Nejčastěji bývá v rozsahu 3 až 15°. Tuto nežádoucí dodatečnou deformaci můžeme eliminovat vhodným návrhem nástroje, kdy materiál ohneme více právě o hodnotu odpružení, využijeme tedy korekci, abychom dostali požadovaný tvar. Hodnota odchylky, a tedy i navrhované korekce se určuje buď podle empirických vzorců, nebo z tabulek. [4]

### 1.1.3 Hluboké tažení

Je to způsob, při kterém se v jednom či několika krocích dostává vlivem působení tažníku přes tažnou hranu tažnice z přístřihu rovinného tvaru duté těleso – polouzavřená nádoba. Takto vzniklé těleso se nazývá výtažek. U vyšších nádob může tečné napětí dosáhnout až kritických hodnot, takže dojde k tvorbě vln a jejich volnému zvětšování, což vede k výraznému růstu tažné síly a následnému utržení dna. Tažení je proces, při kterém se přesouvá významná část materiálu, tudíž dochází k malé změně tloušťky. Abychom zamezili tvorbě nežádoucích vad na výtažku, je nutné zvolit správné podmínky a výsledný výtažek v kritických místech kontrolovat. [2][4][6]

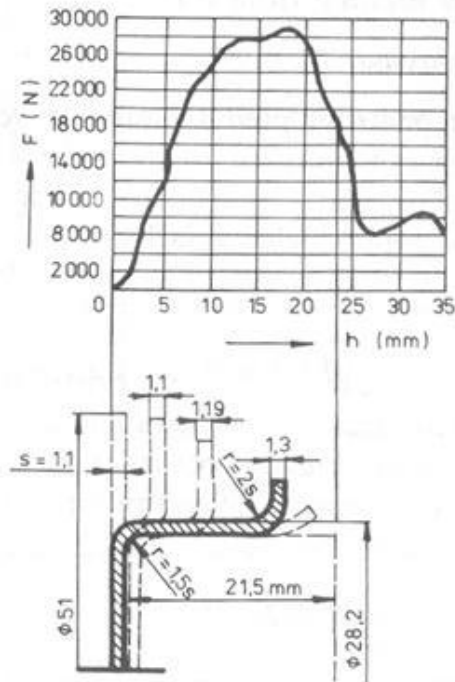
Při tažení kruhového přístřihu o původním průměru  $D$  se mezikruží ( $D - d$ ) změní na válec s průměrem  $d$  (průměr dna) a výškou  $h$ . Výška  $h$  výtazku musí být větší než šířka mezikruží  $D - d$ , jelikož platí zákon zachování objemu. Princip tažení je zobrazen na obr. 5. [2]



Obr.: 5 Princip tažení nádoby válcového tvaru [2]

Proces tažení je poměrně komplikovaný a specifický pro každý výtazek, proto se matematické vztahy pro výpočet zjednodušují. Vycházíme z principu, že tažná síla (která v materiálu způsobuje dovolené napětí) musí být o něco menší než síla způsobující utržení dna (vznik napětí na mezi pevnosti). Průběh tažné síly je zobrazen na obr. 6. [2]





Obr.: 6 Průběh tažné síly v jednotlivých fázích tažení [2]

Velikost tažné síly pro nástroj s přidržovačem můžeme zjednodušeně vypočítat podle vztahu:

$$F_c = F_t + F_p = L \cdot s \cdot R_m + S_p \cdot p$$

Kde

$F_c$  ...celková síla

$F_t$  ...tažná síla

$F_p$  ...síla od přidržovače

$L$  ...délka obvodu polotovaru [mm]

$s$  ...tloušťka plechu

$R_m$  ...mez pevnosti materiálu [mm]

$S_p$  ...plocha přidržovače [mm<sup>2</sup>]

$p$  ...specifický tlak přidržovače (od 0,8 do 3) [Mpa]

Ke snížení tažné síly se využívá mazání. Je výhodné mít co nejvyšší tření ze strany tažníku, ze strany tažnice pak co nejnižší. [2]

Hluboké tažení můžeme rozdělovat různými způsoby. Existuje mnoho metod při výrobě, například i s využitím kapaliny či jiných pružných médií. Základní způsob dělení však určuje norma ČSN 22 6001. [4]

- a) Tažení bez ztenčení stěny (tj. jednoduché či prosté tažení)
- b) Tažení se ztenčením stěny
- c) Tažení s přidržovačem
- d) Tažení bez přidržovače
- e) Tažení zpětné
- f) Protahování
- g) Rozšiřování
- h) Zuzování
- i) Přetahování

Při tažení musíme brát v potaz tažnou mezeru (vůli). Pokud nechceme ztenčovat stěnu, volí se mezera mezi tažnicí a tažníkem větší než tloušťka plechu, což má za následek kompenzaci zesílení plechu a jeho rozměrové tolerance a umožňuje jednodušší průchod materiálu s přijatelným třením. Doporučené hodnoty tažné mezery lze nalézt v normách ČSN a v příručkách tažení, v závislosti na tloušťce materiálu a typu tahu. [2]

Pro určení maximální deformace, které lze dosáhnout jedním tahem, se používá součinitel tažení nebo také stupeň tažení.

$$m = \frac{d}{D} = \frac{1}{K}$$

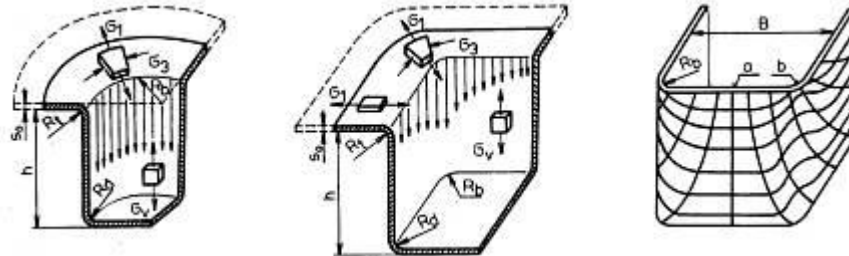
Kde

- m ...součinitel tažení
- d ...průměr výtažku [mm]
- D ...průměr přístřihu [mm]
- K ...stupeň tažení

Součinitel tažení se takto určuje pro každý tah a celkový výsledný je roven součinu jednotlivých součinitelů.

Určování velikosti a tvaru přístřihu je velmi důležité zejména pro kvalitu výtažku. Pro rotační tělesa se využívají různé tabulky z odborných knih nebo grafické metody, u hranatých tvarů jsou k dispozici různé metody grafické výpočtové, nebo jejich kombinace. Je však zásadou, že plocha přístřihu je rovna ploše výtažku s přídavkem na odstřižení. [2][4]

Tažení hranatých výtažků je poněkud složitější proces, jelikož vznikají nerovnoměrné deformace a napětové stavy. Největší napětí vzniká v rozích výtažků, ve svislých stěnách je stav napjatosti podobný jako u ohybu. [4]



Obr.: 7 Napětové schéma při tažení a) válcového, b) hranatého výtažku, c) deformace (původně pravoúhlé) síť na hranatém výtažku [4]

Z hlediska technologie je dobré držet se určitých zásad, jako jsou:

- Co nejmenší výška tažníku
- Nejlépe výtažky rotačního tvaru s rovným dnem
- Co nejvíce zaoblit rohy hranatých výtažků
- Volit materiál s dobrými tažnými vlastnostmi

## 2 Definice požadavků pro měřicí metodu

U lisovacích operací při výrobě karoserie automobilu musíme brát ohled zejména na bezpečnost a vzhled výsledného výlisku. Pokud vznikne vada v nějakém místě, je nejprve třeba uvědomit si, jaký vliv má právě na bezpečnost či vzhled, je-li tato vada ještě tolerovatelná. U vady typu ztenčení se hledá přípustná velikost uváděná někde okolo 20 až 25 %. Je ale nutné si uvědomit, že těchto cca 20 % z plechu o tloušťce cca 0,7 mm je poměrně malá změna tloušťky, která klade vysoké požadavky na měřicí metodu, abychom tuto změnu tloušťky byli schopni registrovat. Snažíme se najít takovou metodu, která by byla schopna měřit s přesností na mikrometry.

Existuje mnoho metod, kterými lze detekovat vady výlisku. Metody se rozdělují do dvou základních skupin, a to na destruktivní – takové, při kterých dochází k trvalému – nevratnému poškození analyzovaného materiálu a ten se posléze zkoumá; a nedestruktivní – při nich se do materiálu nezasahuje, výrobek může být i po měření dále použit. Měření dále můžeme rozdělit na přímé a nepřímé. Přímé měření značí, že měřidlem zaznamenáváme stejnou měřenou vlastnost. U nepřímého měření se měří jiná než přímo požadovaná veličina a ta se pomocí známých vztahů dopočítává.

Musíme brát rovněž v potaz, že ne vždy je možné dostat se k materiálu z obou stran. Vybraná měřicí metoda by tedy měla být použitelná i bez přístupu k odvrácené straně materiálu.

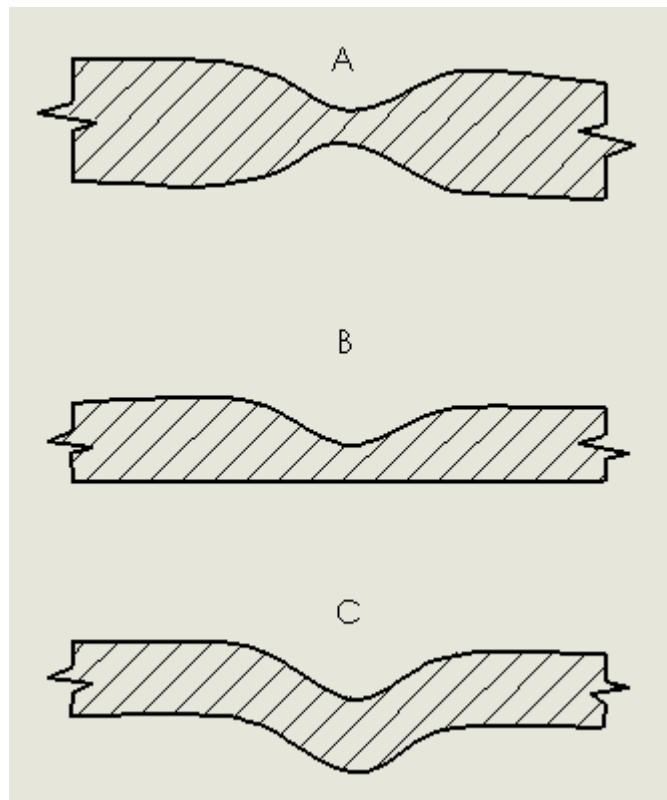
Nejčastější vady, které jsme v závodě vyzorovali, jsem analyzoval v praktické části níže.

### 2.1 Vady na výlisku

Při plošném tváření dochází k mnohdy výraznému přesunu materiálu, tudíž se nemusíme vyhnout vzniku vad na výlisku, které jsou samozřejmě nežádoucí. Základní předpoklad, abychom byli schopni vyrábět nejlépe bezvadné výrobky, je mít správně zvolené parametry při tváření. Vady můžeme primárně rozdělit na makroskopické a mikroskopické. Makroskopická vada má tu vlastnost, že ji lze většinou zaznamenat pouhým okem, tudíž tyto vady se nedostávají až k zákazníkovi, neboť jsou viditelné už při výrobě. Takto odhalené výrobky se mohou ihned vyřadit a zkoumat, aby se vadám při další výrobě předcházelo. Mikroskopické vady jsou oproti tomu mnohem hůře odhalitelné.

V praxi se vytipují místa, kde by k těmto vadám mohlo docházet, a ta se primárně kontrolují. Vezmeme v úvahu nejprve plochou část výlisku, kde vznikají vady pouze výjimečně. Vada v ploché části výlisku nebývá způsobena vlastnostmi tvářeného materiálu, její vznik je způsoben vadou uvnitř materiálu, která vzniká již při výrobě polotovaru (plechu), jako například vměstek či nějaká zaválcovaná nečistota. Tyto vady jsou však ojedinělé a je otázkou, zda je nutné systematicky je kontrolovat.

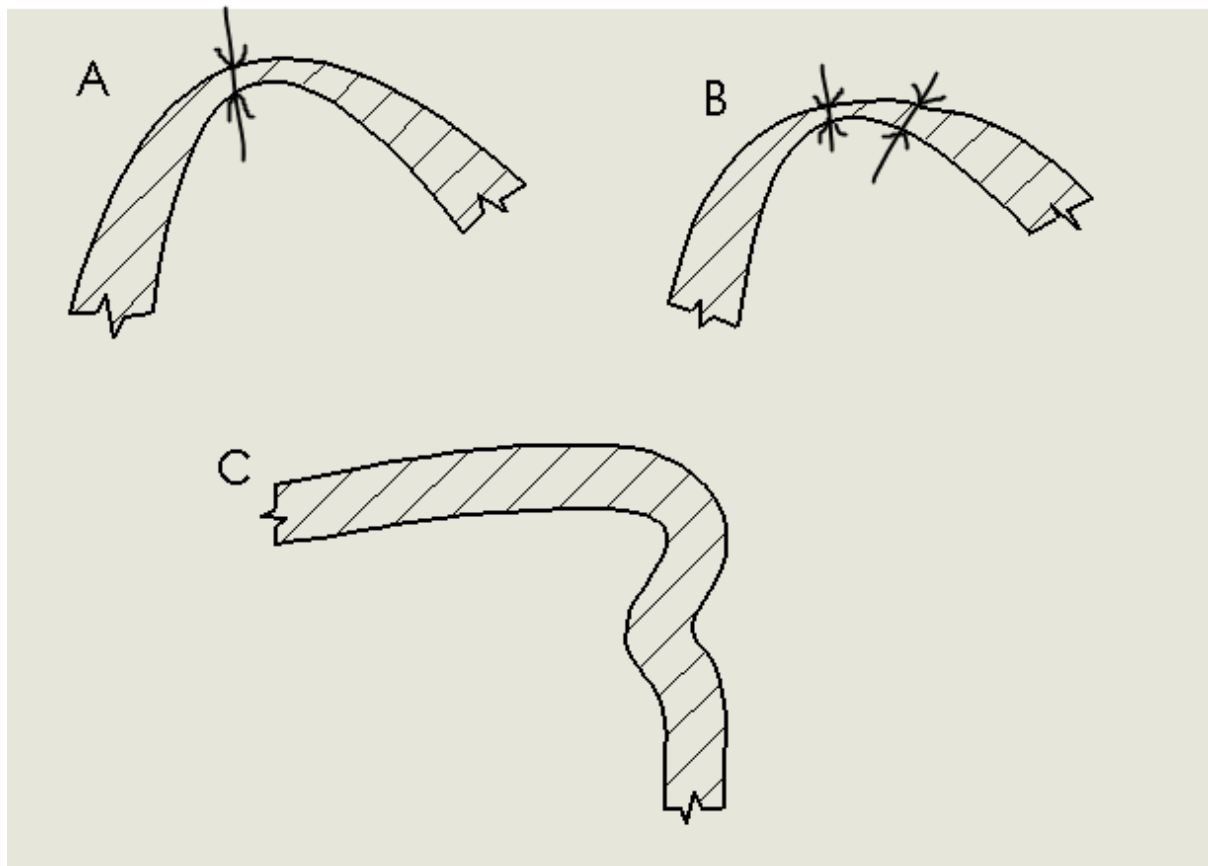
Další skupinou vad mohou být vady, jejichž typové příklady jsou patrné z obrázku č. 8. Jedná se o ztenčení materiálu či lokální deformaci.



Obr.: 8: Vady vznikající v praxi při lisování

Z obrázku 8 lze usoudit, že varianta A je snadno detekovatelná opticky (zrakem) i hmatem. Oproti tomu u varianty B záleží na tom, z které strany daná vada vzniká. Materiál se z jedné strany může jevit jako neporušený, avšak z druhé strany může docházet k lokální změně tloušťky. Pokud není možné provést kontrolu a následnou analýzu výlisku i z druhé strany, může se jednat o těžko odhalitelnou vadu. Varianta C je z hlediska změny tloušťky přípustná, jelikož může jít například pouze o stopu po nástroji a ke ztenčení materiálu nedochází.

Výše uvedené vady, které se vyskytují nejčastěji, bývají například v místě nějakého rádiu. Je ovšem obtížné definovat, zda se o vadu jedná, nebo jde pouze o stopu po nástroji. Na dalším obrázku (obr. č.9:) je patrný modelový příklad vad.



Obr.: 9: Zkoumané vady z lisovny z praxe

Na obrázku 9 A je vidět nepřijatelné ztenčení materiálu, které může přesahovat povolených cca 20 % a je velmi těžko rozpoznatelné bez důkladného změření. Materiál se z obou stran jeví jako neporušený (bez závady), ale významně se změnila tloušťka materiálu. Další případ (Obr. 9 B) je možné uvažovat jako stopu po nástroji, analýzou však může být zjištěno, že tomu tak není. Obrázek navíc ukazuje modelový příklad, kdy se nejmenší tloušťka nenachází v místě vady, ale těsně vedle ní. Obr. 9 C ukazuje vadu způsobenou stopou po nástroji, která je z hlediska ztenčení přijatelná. Stopa po nástroji je vada, kdy při tváření se vlivem následných operací posune lisovaný materiál mimo daný rádius.

Detailnější popis mechaniky vzniku vad je popsán v následujících několika kapitolách.

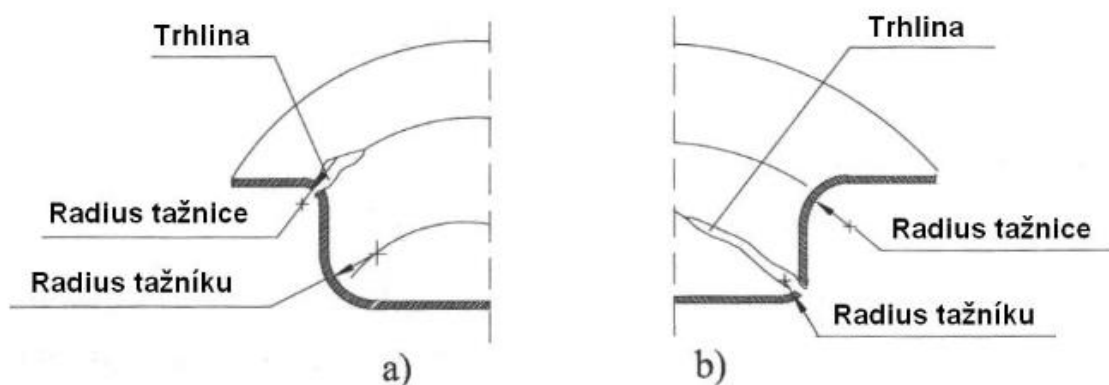
### 2.1.1 Prohlubně – iniciace krčku

Prohlubně mohou vznikat v místech, kde je nerovnoměrná deformace plechu. Jedná se o místa, ve kterých je překročena mez pevnosti, případně je na nástroji nějaká nerovnost, která způsobí vznik lokalizace deformace. Prohlubní tedy rozumíme zúžení plechu v určitém bodě, které může mít za následek i následný vznik trhliny.

Mnohdy může být prohlubeň viditelná pouhým okem nebo po hmatu. Problém ovšem nastává, pokud prohlubeň vznikne pouze z jedné strany, ze které v horším případě není možný přístup. Z pohledové strany se výrobek jeví jako bezvadný. Pro dobrou detekci je nutné vytipovat místa s možným vznikem prohlubní a zvolit vhodnou metodu pro jejich detekci, dále volit co nejvhodnější podmínky pro předcházení těmto vadám.

### 2.1.2 Trhliny

Ke vzniku trhlin (praskání) v materiálu dochází zejména v nejvíce deformovaných částech. Při návrhu musíme respektovat požadavky na hodnotu poloměrů ohybu – poloměrů tažnice a tažníku (obr.10), dbát na mez pevnosti materiálu. [6] Značný vliv na iniciaci trhlin má také stav materiálu před tvářením (žíhaný, tvářený za studena apod.) nebo průběh vláken. Polotovary připravované stříháním mívají otřep na střižných plochách, proto musíme dbát na umístění přístřihu, případně jej odstranit. [4]



Obr.: 10 Trhliny na výtažku: příčina a) příliš malý rádius tažnice, b) příliš malý rádius tažníku [6]

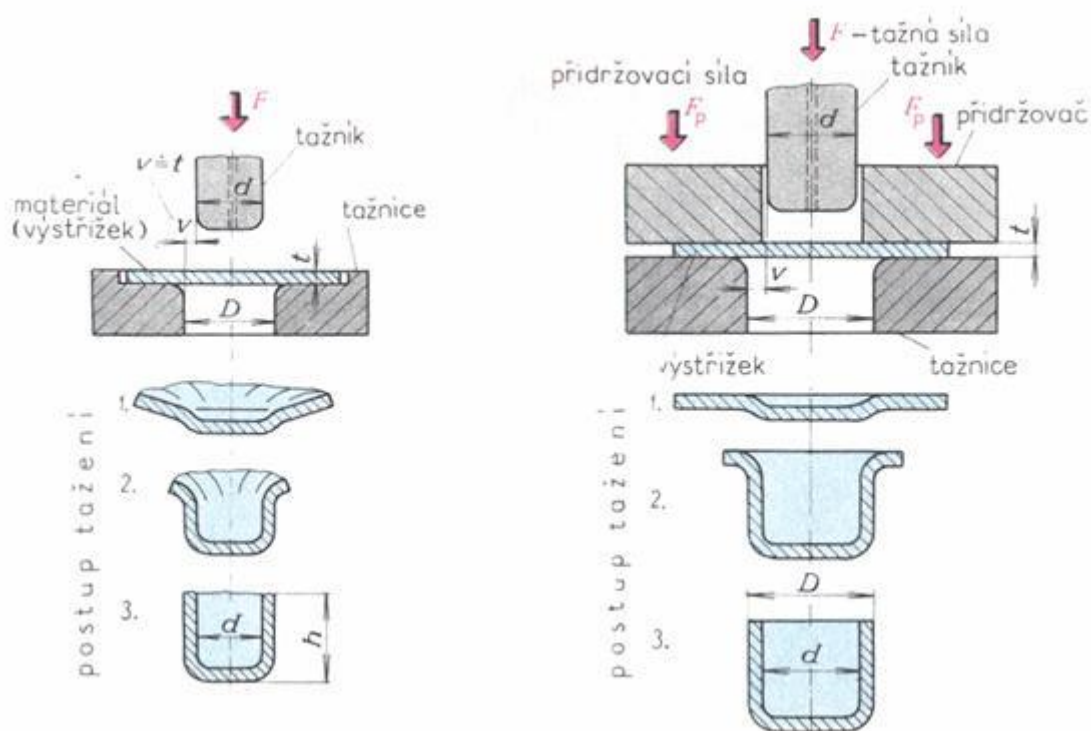
U ohýbaných dílů je třeba respektovat požadavky na hodnoty poloměrů ohybu. Ten musí být alespoň takový, aby v krajních vláknech došlo k překročení hodnoty meze kluzu (vznik plastické deformace), avšak poloměr nesmí být příliš malý, aby deformace v krajních vláknech nepřekročila hodnotu meze pevnosti. Poloměr ohybu by měl být z hlediska odpružení co nejmenší, ale vzhledem k tvárnosti a tloušťce ohýbaného materiálu co největší, aby

nedocházelo k destrukci v ohýbaném průřezu. Pro správný ohyb a zachování kvalitních výrobků je ovšem nutné dodržovat i další různé obecné zásady. [4]

U výtažků dochází ke zpevňování materiálu. Abychom zamezili tvorbě trhlin, je dobré materiál tvářet po malých krocích, při složitějších výtažcích je možné volit regeneraci povrchu (vyžihání apod.), čímž se materiál odpevní a je schopen následné větší deformace s menší možností vzniku vady. [2]

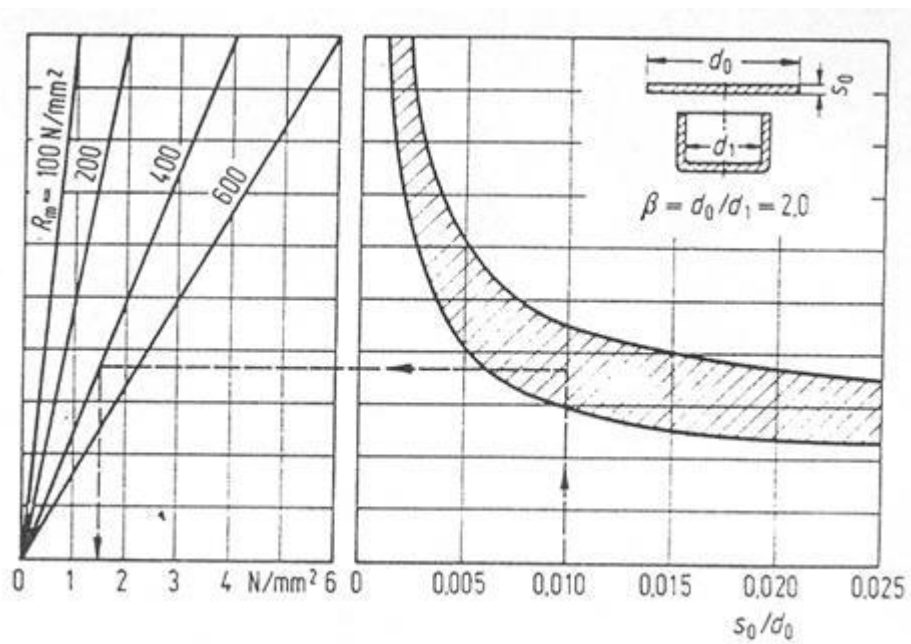
### 2.1.3 Zvlnění

Vlnění materiálu vzniká zejména při procesu hlubokého tažení. Přesouvá se zde značný objem materiálu. Tento objem se během tažení vytlačuje, mění tloušťku stěny a zvyšuje výšku nádoby. Materiál postupuje z příruby do válcové části a plech má snahu se zvltnit. Zvlnění je tím vyšší, čím je větší stupeň deformace. Vzniku vln se zabraňuje přidržovačem. Zde dochází ovšem k pěchování materiálu pod ním a růstu tloušťky. Pro správné použití přidržovače musíme znát velikost měrného tlaku  $p$  přidržovače. Ten závisí na tloušťce plechu ku průměru nádoby, jakosti plechu a součiniteli tažení. K určení můžeme využívat např. nomogramy. [2]



Obr.: 11 Tvorba vln u tažení bez přidržovače (vlevo) a s přidržovačem (vpravo) [2]





Obr.: 12 Diagram pro zjišťování měrného tlaku přidržovače pro první tah [2]

### 3 Charakteristika vybraných metod

V následující kapitole jsou představeny jednotlivé metody, které s ohledem na jejich určitou přesnost je možné použít pro analýzu tloušťky plechu.

Může se jednat o metody destruktivní či nedestruktivní. Vzhledem k tomu, že je stále častěji kladen požadavek na kontrolu výlisku v již hotové karoserii automobilu, je snahou vybírat metody nedestruktivní. Jednotlivé metody, jejich možnosti a jejich výhody a nevýhody, jsou uvedeny v následující části práce.

#### 3.1 Ultrazvukové měření

Tato metoda je poměrně hojně rozšířená, protože ultrazvukové přístroje na měření tloušťky patří k těm levnějším. Je specifikována normou – ČSN EN 14127 – Nedestruktivní zkoušení – Měření tloušťky ultrazvukem. Jedná se o nepřímé měření, využívá se rychlost šíření vln materiálem, případně i jejich odraz (to závisí na metodě – průchodová, nebo impulsová odrazová – častěji využívaná). Sondou zaznamenáváme čas, za který se tyto vlny o určité frekvenci (10-20 MHz) dostanou z jednoho rozhraní materiálu k dalšímu, u kterého se částečně odrazí. Pro správnou detekci tloušťky musíme znát některé vlastnosti materiálu – rychlost šíření zvuku tímto materiálem. [7] Rychlost šíření vln v některých materiálech je popsána v tabulce.

Materiál	Rychlost podélných vln [m/s]
Ocel feritická	5 920
Litina	3 500 až 5 600
Titan	6 100
Hliník	6 320
Měď	4 600
Plasty	1 800 až 2 680
Voda	1 480 až 1 500

Uvedené hodnoty jsou informativní. Skutečné hodnoty závisí na složení materiálu, teplotě a zpracování.

Tabulka 1: Rychlost šíření ultrazvuku ve vybraných materiálech [9]

Rychlost šíření vln  $c$  v homogenním prostředí je konstantní a závisí na modulu pružnosti  $E$  a hustotě prostředí  $\rho$  ( $E = c \cdot \rho$ ). Rychlost je definována vztahem: [9]

$$c = \frac{2d}{t}$$

Kde  $c$  ...rychlost šíření vln v prostředí,  
 $d$  ...tloušťka prostředí,  
 $t$  ...doba průchodu vlny prostředím.

Měření je ovlivněno i přípravou povrchu a teplotou zkoušeného materiálu. Pokud není použito správné uspořádání a dodrženy vhodné podmínky, můžeme dostat diametrálně odlišné výsledky. Přesnost měření závisí rovněž i na zvolené metodě. Existují základní metody pro přestup ultrazvukových vln do rozhraní. Nejvíce používaná je tzv. klasická ultrazvuková metoda, kdy vzniká ultrazvuková vazba po přiložení jednoduché sondy k materiálu. [8] Pro tuto metodu však musí být připraven povrch. Další způsob je laserem generovaný ultrazvuk. Výhoda této metody je, že sondou nemusíme být přímo v kontaktu s materiálem, ale můžeme být lehce vzdálení. Ultrazvuk je do materiálu generován krátkým impulsem (5 až 100 ns). Nevýhodou ovšem je, že vzniká velký rozptyl tohoto vlnění, zaznamenávají se vady ve všech směrech. Pro zjištění tloušťky vezmeme nejkratší změřenou vzdálenost.

Další ultrazvuková metoda je EMAT (Electromagnetic Acoustic Transducer), která se liší zejména sondou. Jde o vytvoření a snímání ultrazvukové vlny v materiálu pomocí kombinace magnetického pole a indukovaných proudů. Tento způsob nevyžaduje akustickou vazbu, čímž se liší od klasické metody. Nejjednodušší metody jsou tvořeny permanentním magnetem a cívkou, jsou však i systémy skládající se z desítek sond EMAT. Tato metoda je vhodná pro měření i na horkém povrchu. [7][8]

Tímto měřením můžeme zjistit kromě tloušťky také plošné vady typu trhlin, ale i samostatné objemové vady jak základního materiálu, tak i svarových spojů.

Hlavní výhodou této metody je především její dostupnost a cena. Ultrazvukové přístroje jsou v porovnání s ostatními poměrně levné. Další výhodou je, že nám stačí přístup pouze z jedné strany materiálu, čehož lze právě u karoserie automobilu využít. Nevýhodou však může být nutnost zajištění správné polohy vůči povrchu materiálu, což má značný vliv na přesnost měření. Ultrazvukový signál se materiálem šíří ve všech směrech, proto může být obtížné odražený paprsek analyzovat. Velikost nejmenší sondy na trhu je asi 1 mm, což může být v některých aplikacích rovněž problém. Pokud se na plechu již nachází povrchová úprava, zvyšuje se nepřesnost daného měření, která při malých tloušťkách rozhodně není zanedbatelná.

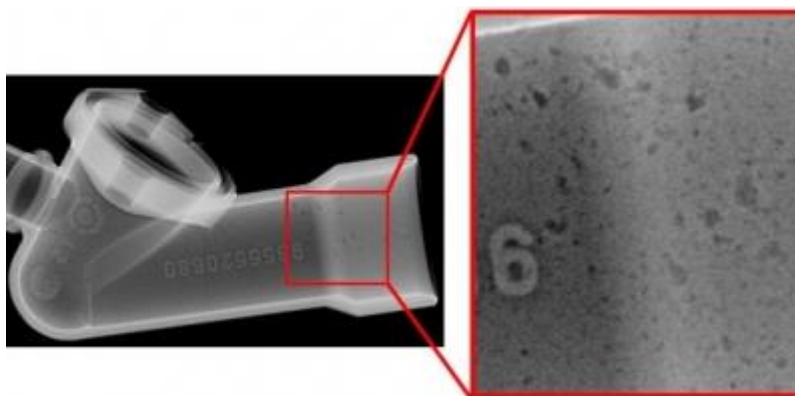


Obr.: 13: Ultrazvukový tloušťkoměr metodou EMAT [10]

### 3.2 Rentgenospektrometrické měření

Tuto metodu využíváme nejen pro měření tloušťky materiálu, ale také pro zjištění vnitřních vad či detailní analýzu chemického složení. Laboratorní přístroje pracující na tomto principu (emisní a absorpční metoda) umožňují měřit tloušťku i více vrstev zároveň, kdy se využívá různá absorpce záření v různých materiálech. Přesnost tohoto měření může být až od 0,001 do 0,025 mm v závislosti na typu materiálu. [11] Pro technické účely lze využít ustanovení normy ČSN EN ISO 3497 Kovové povlaky – Měření tloušťky povlaku – Rentgenospektrometrické metody. [12]

Princip je založen na prozáření materiálu. Využívá se lokální změna intenzity pronikavého záření prošlého zkoušeným předmětem, která se zaznamenává pomocí radiografického filmu. Změna záření je vizualizována, určení vady výrobku je tedy po vyvolání velmi jednoduché. [13] Snímek radiografického filmu s detekovanými vadami je na obrázku níže.



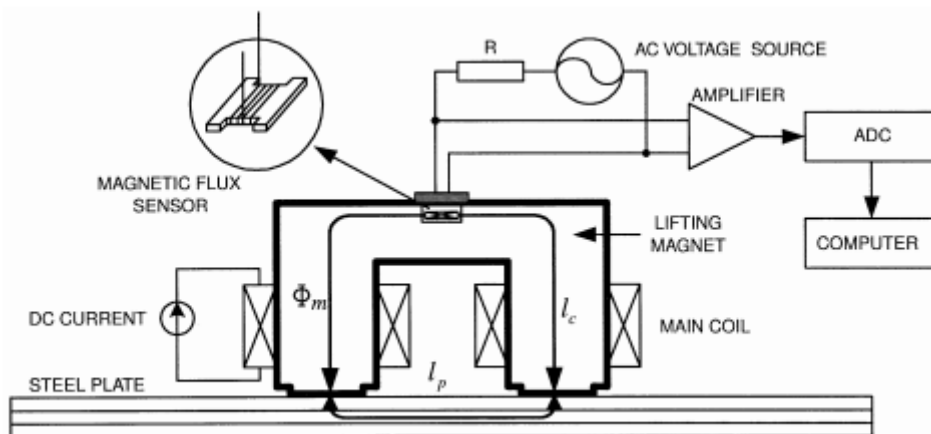
Obr.: 14: Rentgenový snímek výrobku s detekovanými vnitřními vadami [14]

Výhodou této metody je bezesporu široké spektrum získaných informací o součásti. Jde tedy o komplexní metodu. Na druhé straně však stojí nevýhody, jako jsou vysoká pořizovací cena přístroje a nutnost ochrany před škodlivým zářením. Tyto přístroje proto nejsou vhodné pro velkosériovou výrobu. Využívají se zejména pro kontrolu v kusové výrobě u odlitků a svarů, kde se nejlépe zhodnotí vlastnosti této metody.

### 3.3 Magnetické metody

Tato metoda se využívá hlavně ve velkých provozech zpracovávajících ocelové plechy větších tloušťek. Jedná se o nepřímé měření, kdy zaznamenáváme pomocí senzoru změnu hustoty magnetického toku materiálem.

Měření touto metodou je následovné. Měřený plech je pomocí elektromagnetu přitáhnut k feromagnetickému jádru cívky. Mezi jádrem a plechem nesmí být žádné vměstky, prach ani vzduchové kapsy či jiné nečistoty, aby byla metoda co nejpřesnější. Senzor zaznamená magnetický tok protékající jádrem cívky a následně pomocí známých vztahů vyhodnotí tloušťku materiálu. [15] Schematický diagram systému měření tloušťky ocelového plechu je znázorněn na obr. 15:



Obr.: 15: Schematický diagram systému měření tloušťky plechu [15]

Tato metoda se využívá zejména v automatizovaných provozech pro určení tloušťky plechů větších rozměrů a tloušťky. Cena těchto plechů je poměrně vysoká, proto se důkladně kontroluje, aby nevznikaly při měření a propočtech příliš velké chyby. [15]

Výhodou magnetické metody je, že stačí přístup pouze z jedné strany materiálu. Má však značnou nevýhodu, jelikož je nutné zajistit minimální plochu povrchu, na kterém se měří. U karoserie automobilu je však tato plocha zakřivená a je rovněž pro tuto metodu poměrně malá. Z tohoto důvodu se metoda využívá spíše při výrobě plechů, zejména pak větší tloušťky.

### 3.4 Elektrické metody

Jedná se o nedestruktivní nepřímou metodu, která je závislá na měřeném materiálu, ten ale musí být elektricky vodivý. Další název pro tuto metodu je například testování pomocí vířivých proudů. Oproti ultrazvuku má výhodu, jelikož je možné jí měřit i materiály, ve kterých jsou mezi vrstvami vzduchové „bubliny“. Toto testování totiž nepožaduje mechanickou vazbu pro přímý přístup ke struktuře materiálu. [17]

Princip je velmi podobný jako u magnetické metody, tedy že zaznamenáváme změny magnetického toku materiálem. Změna je funkcí elektromagnetických vlastností jak cívky a jejího jádra, tak i měřeného objektu a jeho geometrie (tloušťka, přítomnost různých defektů v materiálu apod.). [16]

Metoda vířivých proudů je užívána již od 60. let. Novodobé přístroje mají mnoho různých sond, které jsou určeny pro různé aplikace. Navzdory těmto vylepšeným sondám je však nutné dbát na správné seřízení hloubky proniknutí vířivých proudů a přibližné tloušťky měřeného materiálu. Pro přesné měření je nutné nastavit frekvenci tak, aby se produkovaly

vířivé proudy odpovídající jedné standardní tloušťce. Tímto způsobem je možné měřit nejen tloušťku materiálu, ale i tloušťku povlaku na feromagnetickém podkladu. [17]

Výhoda metody opět spočívá v možnosti měřit tloušťku, pokud máme přístup pouze z jedné strany. Nevýhodou však může být nutnost jisté znalosti, protože pro jistou tloušťku materiálu je nutné nastavit správnou frekvenci pro přesnou analýzu. Další omezení je shodné s předchozí metodou – je nutná určitá plocha s minimálním zakřivením, na které lze měřit.



Obr.: 16: Víceúčelový defektoskop pro měření metodou vířivými proudy [10]

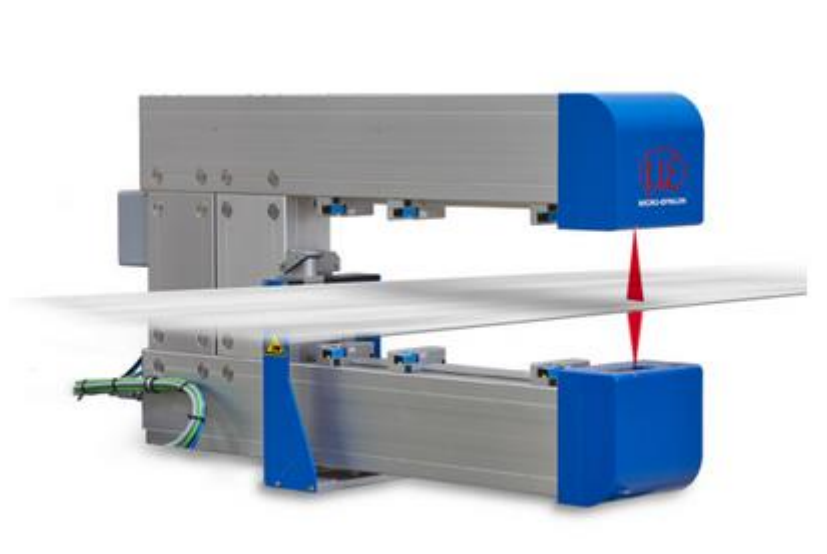
### 3.5 Počítačová tomografie (CT)

Tato metoda se hojně využívá v mnoha výrobních závodech. Princip CT měření zahrnuje jeden optický snímač vzdálenosti na každé straně materiálu, jejichž vzdálenost (tj. provozní rozsah) je určena v kalibračním procesu. Pro měření tloušťky při výrobě se využívá laserového paprsku z obou stran materiálu, který se odrazí od povrchu a systém následně vyhodnotí tloušťku. Výsledná hodnota je tedy určena rozdílem mezi součtem signálů vzdálenosti a hodnotou provozního rozsahu. Při použití speciálních čoček můžeme laserový paprsek zvětšit tak, aby vytvořil laserovou linii, pomocí které můžeme dosáhnout oproti laserovým bodovým snímačům přesnosti v rozsahu mikrometrů, a to i v případě, že je měřený plech nakloněný, čehož se dá právě při výrobě karoserie automobilu využít. [18]

Tato metoda má tedy velkou výhodu v tom, že dokáže měřit tloušťku s vysokou přesností, a to dokonce bezkontaktně. Nevýhodou je však nutnost přístupu k povrchu z obou stran a rovněž i nutnost zajištění správného nastavení laserových čidel vůči měřenému

výrobku. Dalším problémem může být i nemožnost využití měření na již polakovaném povrchu, jelikož by výsledkem byla tloušťka včetně tohoto povlakování. Toto měření by tedy muselo následovat bezprostředně po tvářecím procesu na nepolakovaném plechu.

Ukázka CT měřícího přístroje od firmy Micro-epsilon je na obr. 17.



Obr.: 17: Měřící přístroj typu C od firmy Micro-epsilon [18]

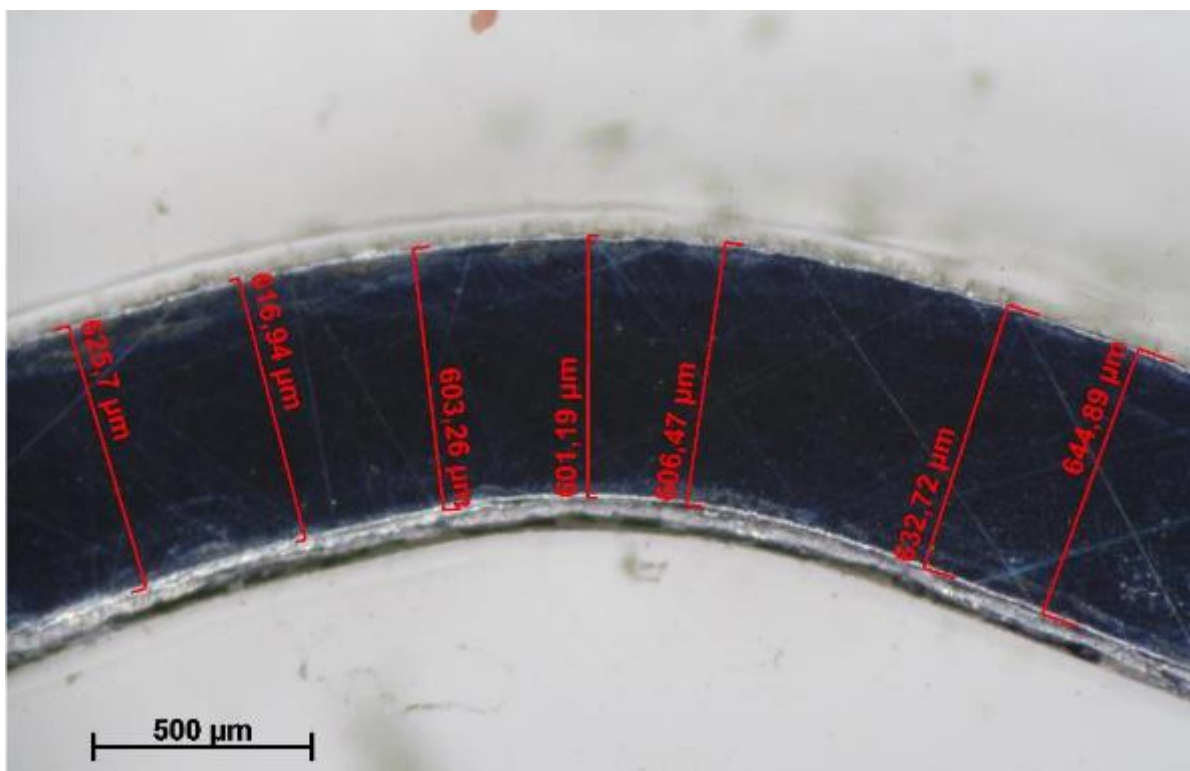
Výhoda této metody je zejména její přesnost. Dalším plusem může být možnost využití kontroly již na výrobní lince, jelikož může analyzovat tloušťku ve velmi krátkém čase. Pro kontrolu plechů na smontované karoserii automobilu tato metoda však vhodná není, protože nedokáže vyhodnotit tloušťku povrchových úprav a pro měření je nutný přístup k povrchu z obou stran. Další nevýhodou je také poměrně vysoká pořizovací cena.

### 3.6 Destruktivní metody měření

Pro detailní analýzu a přesné určení tloušťky materiálu je možné využít i destruktivní metody, tedy takové, při kterých dojde k trvalému poškození materiálu. Mezi nejhojněji využívané destruktivní metody měření patří zejména metalografie – tzv. mikroskopická metoda.

Nejprve se provede příčný řez materiálem, ze kterého se vytvoří vzorek pro zkoumání pod mikroskopem, který se zalije do pryskyřice a po jejím vytvrnutí se brousí a leští. Tento vzorek se nazývá metalografický výbrus. Pod mikroskopem lze kromě přesné tloušťky materiálu v řezu vidět i jeho strukturu. Vzorek s metalografickým výbrusem je vidět na obr. 18.





Obr.: 18: Snímek z metalografického výbrusu

## 4 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo seznámení s problematikou možností měření tloušťky výlisků v automobilovém průmyslu, navrhnout a zhodnotit jednotlivé metody pro posouzení kvality výlisků při stavbě karoserie automobilu. Jde o stále se rozvíjející odvětví, především po stránce zdokonalování měřicí techniky.

Pro pochopení práce je třeba si uvědomit dvě zásadní věci. Jednou věcí je určení, co vlastně lze za vadu již považovat. Druhou věcí je určit velikost změny tloušťky materiálu tak, aby nedošlo k vzniku vady na výlisku.

Vlastní práce je rozdělena na dvě části. V rámci úvodní části práce se věnuji problematice principu vzniku výlisků. Provádím základní popis technologií, kterými vznikají výlisky, především procesů stříhání, ohýbání a hlubokého tažení.

V další kapitole jsem se věnoval popisu možných vad výlisků z hlediska možné změny tloušťky a definic požadavků na měřicí metodu. V této části byly využity praktické zkušenosti z prostředí výroby výlisků pro automobilový průmysl.

Dále jsem se zabýval vytvořením přehledu možných měřících metod, které je možné pro kontrolu kvality výlisku použít. Možné metody jsem rozdělil na destruktivní a nedestruktivní. Z hlediska požadavku jsou upřednostněny metody nedestruktivní, snahou je výlisek použít pro stavbu karoserie automobilu, pokud je bez vad.

Vyhodnocení možnosti využití jednotlivých metod v automobilovém průmyslu je poměrně složité. Jako nejméně vhodné se zdají být magnetické a elektrické metody měření. Mají značná omezení, jako je například požadavek větších tloušťek analyzovaného materiálu, nutnost dokonalého přilnutí, nebo potřeba měřit na větší části povrchu. Tato omezení jsou rozhodující, jelikož u karoserie automobilu se mnohokrát jedná o měření v rádiu o velmi malém poloměru. Další vytipovaná metoda rentgenospektro-metrického měření má oproti ostatním metodám značnou nevýhodu, jelikož je nutná ochrana proti škodlivému záření. Tato metoda není příliš rychlá, je nutné vyhodnocení na snímcích, proto rovněž není vhodná pro rychlá a přesná měření. Jako nejvhodnější se tedy jeví metody ultrazvukové a CT měření. Ultrazvukové přístroje mají výhodu, jelikož stačí přístup pouze z jedné strany. Avšak nevýhodou může být oproti CT měření menší přesnost či nutnost přesného určení polohy měřicí sondy vůči povrchu materiálu.

Tuto práci je třeba brát jako seznámení s problematikou. V další fázi práce je třeba vytipované metody měření deformace použít pro analýzu vybraných výlisků a výsledky porovnat s jinými metodami, jako je například měření tloušťky pomocí metalografického výbrusu. Dále je nutné zabývat se otázkou, co je z hlediska změny tloušťky třeba za vadu již považovat, či co je kvalitní výlisek, který je použitelný pro stavbu karoserie automobilu.

## Zdroje

- [1] *Technologie I: (slévání, tváření, svařování a povrchové úpravy)*. Vyd. 2. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-02351-6.
- [2] LENFELD, Petr: *Technologie II – Část 1 – tváření kovů*, [online] [cit. 2018-05-31]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm)
- [3] DVOŘÁK, Milan, MAREČKOVÁ, Michaela. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. Stupeň, 2. ročník CTT-K* [online]. Brno 2006. [cit. 2018-05-31] Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm)
- [4] MM Průmyslové spektrum: *Akademie tváření* [online], 2010-2012. [cit. 2018-05-31]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/akademie-tvareni.html>
- [5] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.
- [6] BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, ©2004, ISBN 0-8311-3182-9.
- [7] DIXON, S., S.E. BURROWS, B. DUTTON a Y. FAN. Detection of cracks in metal sheets using pulsed laser generated ultrasound and EMAT detection. *Ultrasonics* [online]. 2011, 51(1), 7-16 [cit. 2018-05-31]. DOI: 10.1016/j.ultras.2010.05.002. ISSN 0041624X. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0041624X10000818>
- [8] Tediko: Měření tloušťky materiálu za zvýšených teplot. *Techmagazín*, srpen 2017, str.29.
- [9] Dvořák J. *Nedestruktivní zkoušení – Měření tloušťky ultrazvukem. Echo-Test Dvořák*, [online] Praha, 2006 [cit. 2018-05-31]. Dostupné z: <http://www.tlakinfo.cz/t.py?t=2&i=1306>
- [10] Testima – firemní materiály. [online], [cit. 2018-05-31]. Dostupné z: <http://www.testima.eu/mereni-tloustky>
- [11] SIM, L.M., T.C. TAN, A.A. MON a B.S. WONG. X-ray absorption-based technique to measure the thickness of multi-layered structures. *NDT & E International* [online]. 2009, 42(4), 291-296 [cit. 2018-06-01]. DOI: 10.1016/j.ndteint.2008.12.002. ISSN 09638695. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0963869508001461>

- [12] Kreislová K, Paráková M. Měření tloušťky povlaků. *Tribotechnika*. [online], 4/2014 [cit. 2018-05-31]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42014/mereni-tloustky-povlaku-.html>
- [13] Tediko – firemní materiály. [online], [cit. 2018-05-31]. Dostupné z: <http://www.tediko.cz/>
- [14] Weldinspect – firemní materiály. [online], [cit. 2018-05-31]. Dostupné z: <https://weldinspect.cz/>
- [15] KI-HYEON PARK, DONG EON KIM, SEONG-HOON JEONG a BONGKOO KANG. Laminated magnetic flux sensor for thick-steel-plate control. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* [online]. 2003, 50(2), 379-384 [cit. 2018-05-31]. DOI: 10.1109/TIE.2003.809408. ISSN 0278-0046. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1191814/>
- [16] CHENG, Weiying. Thickness Measurement of Metal Plates Using Swept-Frequency Eddy Current Testing and Impedance Normalization. *IEEE Sensors Journal* [online]. 2017, 17(14), 4558-4569 [cit. 2018-05-31]. DOI: 10.1109/JSEN.2017.2710356. ISSN 1530-437X. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7937800/>
- [17] RAMOS, Helena G., Tiago ROCHA, Jakub KRÁL, Dário PASADAS a Artur L. RIBEIRO. An SVM approach with electromagnetic methods to assess metal plate thickness. *Measurement* [online]. 2014, 54, 201-206 [cit. 2018-05-31]. DOI: 10.1016/j.measurement.2014.01.035. ISSN 02632241. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263224114000499>
- [18] Micro-epsilon – firemní materiály. [online], [cit. 2018-05-31]. Dostupné z: <https://www.micro-epsilon.cz/measurement-systems/metal/Technology/>