



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

KONTROLA PŘESNOSTI OHYBU MATERIÁLU U KLEMPÍŘSKÝCH OHÝBAČEK VANMARK

CHECKING THE ACCURACY OF BENDING OF THE MATERIAL IN SHEET METAL BENDING MACHINES
VANMARK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michael Fara

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Šrámek, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Michael Fara
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	Ing. Jan Šrámek, Ph.D.
Akademický rok:	2019/20

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

Kontrola přesnosti ohybu materiálu u klempířských ohýbaček VanMark

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zvýšení přesnosti a rychlosti ohýbání pomocí technologie klempířských ohýbaček. Porovnání stávající metody měření ohybu s technologiemi 3D dotykového a optického měření.

Cíle diplomové práce:

Analýza současného stavu v oblasti měření ohybů plechů na klempířských ohýbačkách.
Provedení ohybů u vybraných vzorků plechu (různých tloušťek) v rozsahu 30°, 60°, 90° a 120°.
Provedení měření parametrů ohybu na dvou typech 3D měřicího zařízení (optické, dotykové).
Porovnání a vyhodnocení výsledků měření s údaji udávaných výrobcem ohýbaček.
Doporučení pro praxi při měření ohybů na klempířských ohýbačkách.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 9001. Systém managementu kvality: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 48 s. Třídící znak 010321.

ČSN EN ISO 14253-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením: Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 36 s. Třídící znak 014100.

Karpíšek, Zdeněk. Matematika IV Statistika a pravděpodobnost. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-214-4858-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

Specification Master's Thesis

Department: Institute of Production Machines, Systems and Robotics
Student: **Bc. Michael Fara**
Study programme: Mechanical Engineering
Study branch: Quality, Reliability and Safety
Supervisor: **Ing. Jan Šrámek, Ph.D.**
Academic year: 2019/20

Pursuant to Act no. 111/1998 concerning universities and the BUT study and examination rules, you have been assigned the following topic by the institute director Master's Thesis:

Checking the accuracy of bending of the material in sheet metal bending machines VanMark

Recommended bibliography:

ČSN EN ISO 9001. Systém managementu kvality: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 48 s. Třídící znak 010321.

ČSN EN ISO 14253-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením: Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 36 s. Třídící znak 014100.

Karpíšek, Zdeněk. Matematika IV Statistika a pravděpodobnost. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2014. ISBN 978-80-214-4858-2.

Deadline for submission Master's Thesis is given by the Schedule of the Academic year 2019/20

In Brno,

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Director of the Institute

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
FME dean

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá metodami plošného tváření, především přesností a měřením ohybu plechu na klempířských ohýbačkách Van Mark. Cílem práce bylo provedení ohybů vzorků v rozsahu 30°, 60°, 90° a 120°. Na velikost ohybu zkoumaných vzorků má vliv odpružení plechu, které není zohledněno na v současnosti používaném typu úhlooměru. Vzorky byly následně analyzovány na dvou typech měřících zařízení – dotykovém a optickém. Po naměření hodnot jednotlivých vzorků byly výsledky měření vyhodnoceny a zakresleny do příslušných grafů. Na základě výsledků měření byl navržen nový typ úhlooměru, který uživateli usnadní a zefektivní práci na stroji.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with surface forming methods, especially accuracy and measurement of sheet metal bending on Van Mark brakes. The aim of the work was to make bends of samples in the range of 30 °, 60 °, 90 ° and 120 °. The size of the bend of the examined samples is influenced by the suspension of the sheet, which is not taken into account in the currently used type of protractor. The samples were then analyzed on two types of measuring devices - tactile and optical. After measuring, results were evaluated and plotted in the appropriate graphs. Based on the measurement results, a new type of protractor was designed, which will make the user's work easier and more efficient.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ohýbání plechu, měření ohybových vlastností, klempířská ohýbačka Van Mark, dotykové a optické metrologické zařízení, návrh nového typu úhlooměru

KEYWORDS

Sheet Metal Bending, Measurement of Bending Properties, Van Mark Brake, Tactile and Optical Metrological Equipment, Design of a New Type of Protractor

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FARA, Michael. Kontrola přesnosti ohybu materiálu u klempířských ohýbaček VanMark [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124429>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Šrámek.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Janu Šrámkovi, Ph.D. za cenné rady, věcné připomínky a profesionální přístup. Dále bych rád poděkoval rodině, přítelkyni a kamarádům za podporu během celého studia. V neposlední řadě bych rád poděkoval zaměstnancům školy, kteří mi pomohli zvládnout celé studium.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Šrámka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu literatury.

V Brně dne 25. 6. 2020

.....

Bc. Michael Fara

OBSAH

1. ÚVOD	15
2. MOTIVACE	17
3. TEORETICKÁ ČÁST	19
3.1. OHÝBAČKY PLECHU	19
3.1.1 Elektrické ohýbačky	19
3.1.2 Hydraulické ohýbačky	19
3.1.3 Ruční ohýbačky	19
3.2. TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ	21
3.2.1 Stříhání	22
3.2.2 Ohýbání	26
3.2.3 Tažení	28
3.3. TYPY PLECHŮ, KTERÉ JSOU NEJČASTĚJI VYUŽÍVÁNY V KLEMPÍŘSKÉ PRAXI	31
3.3.1 Plech z nerezové oceli	31
3.3.2 Měděné plechy	31
3.3.3 Mosazné plechy	32
3.3.4 Pozinkované plechy	32
3.3.5 Hliníkové plechy	32
4. PRAKTICKÁ ČÁST	35
4.1. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI MĚŘENÍ OHYBŮ PLECHŮ NA KLEMPÍŘSKÝCH OHÝBAČKÁCH	35
4.2. PROVEDENÍ OHYBŮ U VYBRANÝCH VZORKŮ PLECHU	37
4.3. PROVEDENÍ MĚŘENÍ PARAMETRŮ OHYBU	43
4.3.1 Provedení měření na dotykovém měřicím zařízení	43
4.3.2 Provedení měření na optickém měřicím zařízení	51
4.4. POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ	57
4.5. DOPORUČENÍ PRO PRAXI PŘI MĚŘENÍ OHYBU NA KLEMPÍŘSKÝCH OHÝBAČKÁCH	66
5. ZÁVĚR	67
6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	69
7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	71

1. ÚVOD

Tato diplomová práce pojednává o přesnosti ohybu materiálu u klempířských ohýbaček značky Van Mark.

První část práce je věnována teorii. V úvodní kapitole teoretické části je popsáno základní dělení ohýbacích strojů, kde je kladen největší důraz na ruční ohýbačku Industrial Metal Master od výrobce Van Mark, která je využívána pro ohýbání vzorků v praktické části diplomové práce. Dále jsou v teorii popsány a charakterizovány technologie plošného tváření, konkrétně tedy technologie stříhání, ohýbání a tažení. V závěru teoretické části je popsáno pět nejčastěji využívaných typů plechu v klempířské praxi. Plechy jsou děleny v závislosti na materiálu, z něhož jsou vyrobeny. Každý typ plechu má specifické fyzikální vlastnosti a je tedy důležitá dobrá volba materiálu, v závislosti na jeho následném využití.

V úvodu praktické části je popsán současný stav měření ohybu při klempířských pracích, který je doplněn odpověďmi na zpětnou vazbu, kterou společnost získala od svých zákazníků. Dále je v práci popsán postup při realizaci a přípravě vzorků, který je doplněn fotodokumentací celého pracovního postupu.

Vzorky využívané v praktické části jsou vyrobeny ze tří různých materiálů (pohliníkový, pozinkovaný a nerezový pás plechu). Vzorky o velikosti 195×75 mm byly tvářeny za stejných podmínek na velikosti úhlů 30° , 60° , 90° a 120° . Důležitým faktorem bylo odpružení plechů po uvolnění ohýbací hlavy stroje. Odpružením byla výrazným způsobem ovlivněna výsledná velikost požadovaného úhlu. Právě kvůli zmíněnému odpružení neodpovídá výsledný ohyb hodnotě, která je při ohýbání uvedena na úhломěru. Výsledky měření byly následně zpracovány a vyhodnoceny v aplikaci Microsoft Excel.

Z výsledků měření, vypočtených hodnot a nejistot měření jsou vytvořeny grafy, ve kterých jsou znázorněny rozdíly velikosti ohybu zkoumaných vzorků, které jsou měřeny dvěma typy metrologických zařízení. Analýza vzorků je provedena třemi typy dotykových zařízení (Zeiss UPMC Carat, digitální úhломěr Mitutoyo a Hexagon Arm) a dvěma typy optických zařízení (Micro-Vu Excel a 3D skener Atlascan). K naměřeným hodnotám byly zpracovány základní metrologické výpočty, na jejichž základě je stanovena výsledná hodnota průměrného odpružení při ohýbání na klempířské ohýbačce Van Mark.

Poslední kapitola „Doporučení pro praxi při měření ohybu na klempířských ohýbačkách“ obsahuje návrh nového designu klempířského úhломěru Van Mark, v němž budou obsaženy i vypočtené údaje průměrného odpružení tvářených plechů. Na základě vypočtených hodnot byla navržena nová stupnice úhломěru, díky které bude mít uživatel ohýbačky informaci o tom, na jakou hodnotu má být plech ohýbán, aby po následném odpružení velikost úhlu plechu odpovídala požadované hodnotě. Tento návrh bude společně s naměřenými údaji prezentován výrobcí klempířských ohýbaček a příslušenství Van Mark a bude sloužit jako nosné podklady k návrhu nových úhломěrů.

2. MOTIVACE

Vzhledem k tomu, že pracuji v rodinné firmě, která se zabývá distribucí klempířského vybavení z USA do států Evropské unie, tak jsem chtěl, aby moje diplomová práce byla přínosem pro firmu a usnadnila práci lidem, kteří jsou našimi zákazníky a pravidelnými uživateli klempířských ohýbaček. Zhruba šedesát procent zisku firmy tvoří právě prodej klempířských ohýbaček Van Mark.

Díky zpětné vazbě, kterou získáváme od svých zákazníků jsem si vybral téma, jenž je zaměřeno na velikost úhlu ohybu, která je v praxi udávána univerzálním úhломěrem od výrobce Van Mark. Mým cílem tedy bylo zjistit, jak se údaje o ohybu liší od údajů udávaných na úhломěru. Při ohybu plechu dochází k odpružení, které má za následek, že po uvolnění ohýbací čelisti je materiál částečně vrácen a ohyb tak v konečném důsledku neodpovídá údajům na úhломěru. Pracovní doba se strojem je u zákazníka tím pádem delší, protože se stává, že ohyb musí být proveden nadvakrát. S každým dalším tvarováním pak klesají i kvalitativní parametry výsledného ohybu.

Dále mě zajímalo, jaké metrologické zařízení by bylo vhodné pro kontrolu velikosti ohybu do praxe. Taky jsem si chtěl vyzkoušet měření na různých typech metrologických přístrojů a zjistit, jak přesně tyto přístroje měří.

Naměřená data následně budou prezentována výrobcí Van Mark a ten je pak bude moci zohlednit při návrhu, vývoji a výrobě nových úhломěrů. Nové úhloměry pak usnadní práci zákazníkům při používání stroje a tím pádem zvýší efektivitu zákazníka, což bude mít pozitivní vliv na finanční náklady uživatele. Na základě naměřených a vyhodnocených údajů bude navržena nová podoba úhломěru, na který bude přidána stupnice, jenž v sobě ponese i údaje o odpružení plechu.

Návrh úhломěru a naměřené výsledky budou prezentovány výrobcí Van Mark. Naše firma si upevní své dobré jméno u výrobce a zároveň získá náskok před konkurencí na tuzemském a evropském trhu.

3. TEORETICKÁ ČÁST

3.1. OHÝBAČKY PLECHU

Ohýbání je jedna z metod plošného tváření, ke které je využíváno ohýbacích strojů (tzv. ohýbaček), které jsou rozdělovány podle své funkce a konstrukce na: [4]

- Elektrické ohýbačky
- Hydraulické ohýbačky
- Ruční ohýbačky

3.1.1 Elektrické ohýbačky

Elektrické ohýbačky plechu slouží především k tvarování běžných plechových pásů v sériové výrobě. Elektricky ovládané dorazy a čelisti zaručují vysokou přesnost při ohýbání nebo stříhání. Elektrické ohýbačky plechu jsou řádově dražší a jejich váha a elektrický pohon neposkytuje uživateli širokou škálu použití na stavbě, jako u ručních ohýbaček. Oproti ručním ohýbačkám je tento typ přesnější. [4], [6]

3.1.2 Hydraulické ohýbačky

Hydraulické ohýbačky slouží především k sériové výrobě a tváření plechů větších rozměrů a tlouštěk, než u elektrických ohýbaček. Hydraulické ohýbačky jsou stejně jako většina moderních elektrických ohýbaček řízeny a ovládány systémem CNC¹. [4], [6]

3.1.3 Ruční ohýbačky

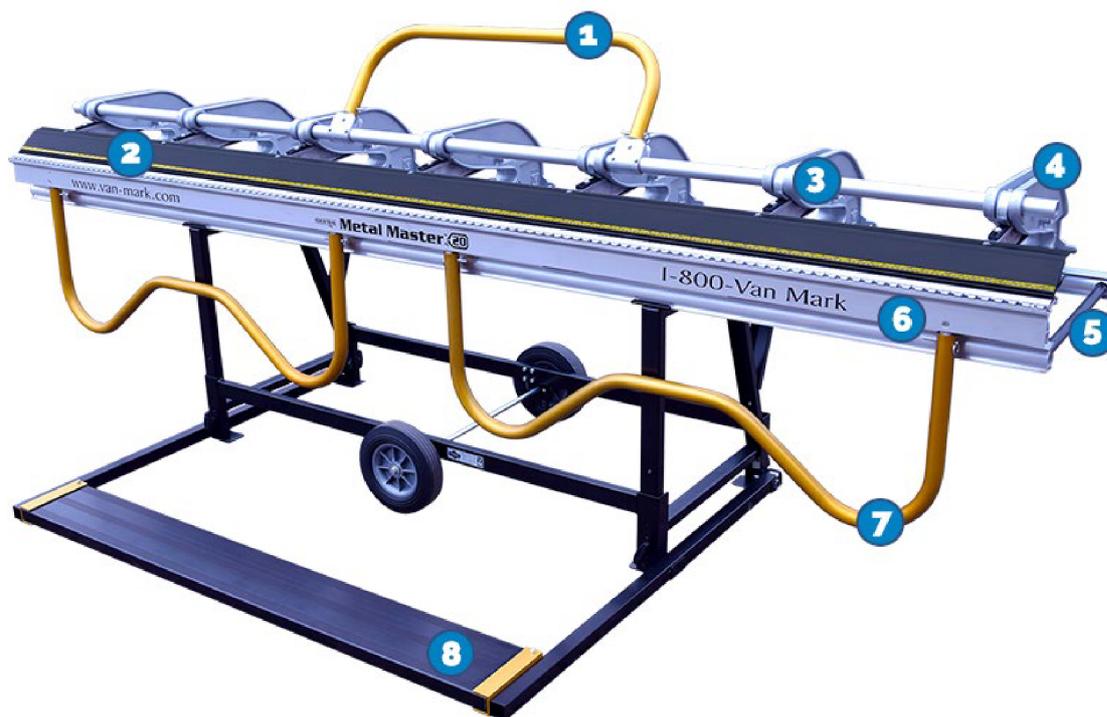
Pro ohýbání a tvarování plechu je často využíváno ručních ohýbaček. Výhodami ručních ohýbacích strojů jsou zejména nízká pořizovací cena, pracovní flexibilita² a jednoduché ovládání. Tento typ ohýbaček je vhodný pro zámečnické a klempířské práce. Stroje jsou vybaveny dorazy, které uživateli zaručí, že jsou ohýbané plechy rozměrově stejné. [4], [6]

Klempířská ohýbačka Van Mark Industrial Metal Master EZ

Výrobcem klempířské ohýbačky Van Mark Industrial Metal Master je americká společnost Van Mark, která se zabývá výrobou, vývojem a prodejem klempířského nářadí a příslušenství. Vlajkovou lodí společnosti jsou klempířské ohýbačky, které jsou rozděleny do tří skupin na základě svých rozměrů a ohýbací kapacity. Výhodou těchto ohýbaček je přítlačná síla, velikost, malá váha, která hraje důležitou roli při transportu a použití ohýbačky v obtížných podmínkách (např. na střeše budovy), snadná manipulace a cenová dostupnost. Další výhodou těchto ohýbaček je možnost využití široké škály příslušenství, jako například úhloměr, rezačku nebo pojezdy, které usnadní uživateli práci se strojem. Vzhled ohýbačky Van Mark Industrial Metal Master a popis komponentů stroje je popsán na *Obr. 1)* a v *Tab. 1)*. [5]

¹ CNC – zkratka pro Computer Numerical Control. Systém, který slouží k automatizaci tvářecích strojů.

² Ruční ohýbačky jsou vhodné pro použití v dílnách nebo v terénu. Ohýbačky značky Van Mark jsou díky své lehké konstrukci vhodné na převážení, a tedy použití přímo na stavbě, což uživatelům šetří čas a také peníze, protože je možné tváření plechu provést přímo na stavbě.



Obr. 1) Ohýbačka Van Mark Industrial Metal Master. [5]

Tab 1) Popis komponentů ohýbačky zobrazených na *Obr. 1)*. [5]

Číslo komponentu	Název komponentu	Funkce komponentu
1	Horní rukojeť	Díky ní je vykonáván pohyb rukojeti směrem od uživatele. Slouží k dostatečnému upnutí pechu v ohýbačce.
2	Horní (upínací) čelist	Je stlačována horní rukojetí a slouží k dobrému uchycení plechu.
3	Spojovací tyč	Spojení přítlačných hlav.
4	Přítlačné hlavy	Plech je díky tomuto komponentu stlačován směrem dolů a je zaručena stabilita plechu v uchycení.
5	Pomocná konstrukce	Podpěra pro plech a konstrukce ohýbačky.
6	Spodní (ohýbací) čelist	Pohybem směrem nahoru je plech ohýbán.
7	Spodní rukojeť	Je spojena s ohýbací čelistí. Pohybem rukojeti směrem nahoru je plech tvarován do úhlu požadované velikosti.
8	Nášlap	Slouží jako protizávaží pro větší stabilitu stroje při ohýbání.

3.2. TECHNOLOGIE PLOŠNÉHO TVÁŘENÍ

Metodami plošného tváření jsou vytvářeny a upravovány výlisky různých rozměrů. Typickými vlastnostmi vyráběných výlisků jsou nízká hmotnost, dostatečná pevnost i tuhost. V mnoha případech jsou výlisky schopny nahradit odlitky a svařence³. Toto nahrazení má za následek úsporu pracovního času a úsporu použitého materiálu, což je zohledněno v konečném porovnání finančních nákladů. [2], [7]

Následující polotovary jsou považovány za základní a výchozí polotovary při používání metod plošného tváření: [7]

- Plech
- Tenkostěnné profily
- Trubky

U plošného tváření zpravidla dochází k deformacím tvářeného materiálu. Na základě těchto deformací jsou metody plošného tváření děleny do následujících skupin: [7]

- Deformace s místním porušením soudržnosti materiálu
- Deformace bez porušení soudržnosti – tzv. deformace tvárné

Procesy plošného tváření dle jednotlivých lisařských prací jsou podle normy ČSN 22 6001⁴ děleny na: [7]

- Stříhání – prosté stříhání, děrování, vystřihování, přistřihování, prostřihování, protrhávání a vysekávání
- Ohýbání – prosté ohýbání, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování, obrubování a osazování
- Tažení – prosté tažení, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování, zužování
- Tlačení – tlačení tvaru, rotační obrubování, rotační lemování, rotační rozšiřování, rotační zužování, rotační žlábkování

Před začátkem výroby nebo úpravy výlisků bývá stanovena správná a adekvátní metoda plošného tváření. Výběr vhodné metody je závislý na několika faktorech. Nejčastějšími faktory, které jsou zohledňovány při výběru správné metody, jsou rozměry, požadovaná rozměrová přesnost vyráběného dílu, druh a polotovar tvářeného materiálu, sériovost a dostupnost výrobního zařízení. Volba správného pracovního postupu je většinou udávána technologem, který je za výrobní proces a výslednou kvalitu výrobku zodpovědný. [1], [7]

³ Při tomto způsobu nahrazení bývá ušetřeno 10 % až 50 % materiálu a pracnost je snížena o 25 % až 75 %. [7]

⁴ Norma definuje základní pojmy a základní práce a operace. Názvosloví je uvedeno česky a slovensky, česky je celkem definováno asi 60 základních a desítky odvozených pojmů, a to v oboru stříhání, ohýbání, tažení, tlačení, protlačování, ražení, kování, válcování, kalibrování a dalších. Většina definic je doplněna nákresey.



Obr. 2) Výrobní postup při používání metody plošného tváření. [7]

3.2.1 Stříhání

Nejrozšířenější tvářecí operací je metoda stříhání. Stříhání může být využíváno hned v několika krocích výrobního procesu. Často bývá tato operace aplikována při přípravě polotovarů, dále jsou pomocí vystřihování plechu vyráběny součásti pro finální nebo předfinální použití. Proces stříhání bývá dále aplikován při dokončovacích nebo pomocných pracích. Metoda stříhání může být rozdělena dle teploty procesu do následujících kategorií: [8], [2]

- Stříhání za studena⁵
- Stříhání za tepla⁶

Stříháním dochází k oddělení materiálu polotovaru díky působení protilehlých řezných hran, které v řezné rovině způsobují smykové napětí. Následná kvalita střížné plochy je závislá na několika faktorech, jako například na velikosti střížné mezery, kvalitě střížného nástroje, způsobu stříhání nebo na vlastnostech stříhaného materiálu⁷. [3], [8]

Průběh stříhu je rozdělován do tří, po sobě jdoucích, fází:

- 1. fáze: oblast pružných deformací
- 2. fáze: oblast plastických deformací
- 3. fáze: oddělení materiálu

Prosté stříhání

Prostý stříh je stříhací metoda, jejíž postup se liší v závislosti na typu používaného nástroje a bývá realizován na následujících typech střížných nástrojů: [7]

- Tabulové nůžky s paralelními noži. Ty bývají nejčastěji využívány k oddělení plechového polotovaru (nejčastěji plechových tabulí). Dochází při něm k oddělování části polotovaru v jednom okamžiku podél celé délky. Horní nůž je poháněn mechanicky nebo hydraulicky.
- Tabulové nůžky se šikmým horním nožem. U tohoto druhu stříhání probíhá stříh postupným způsobem. Nevýhodou je ohyb konců odstříhované části plechu, jenž musí být v dalším kroku tvářecí operace narovnan.
- Kotoučové nůžky. Stříh probíhá postupně za pomoci otáčejících se nožů, které jsou děleny na okružní a křivkové.

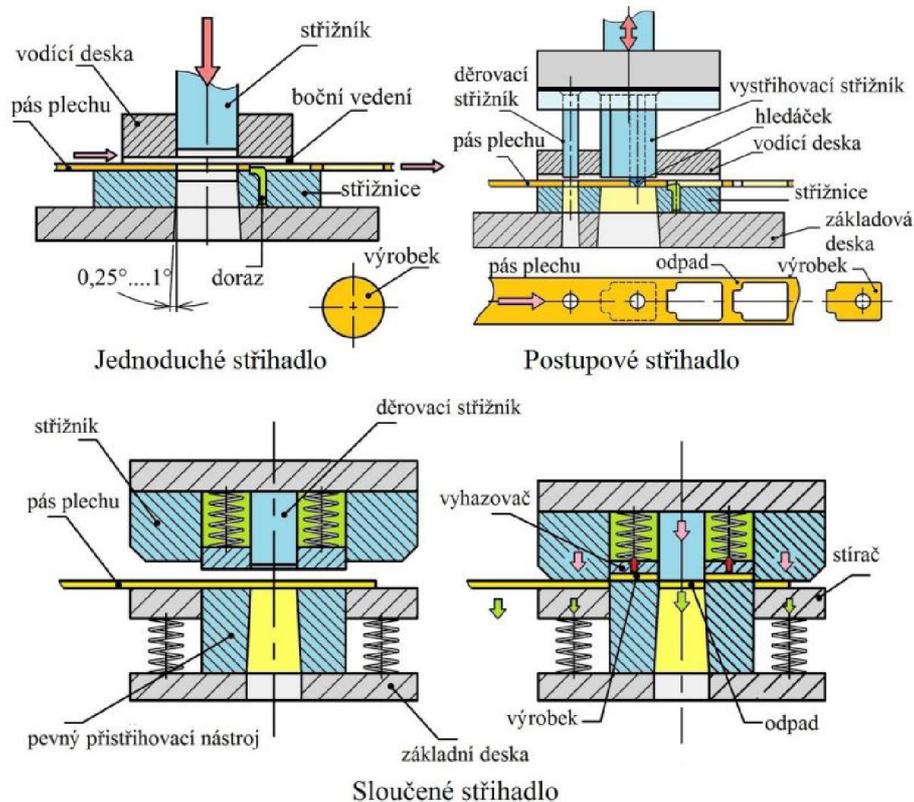
⁵ Metoda stříhání za studena je využívána zejména pro práci s měkkou ocelí (do pevnosti 400 MPa) nebo pro práci s plechem.

⁶ Metoda stříhání za tepla je využívána zejména pro práci s tvrdým a tuhým materiálem. Při práci s takovým typem materiálu bývá materiál ohříván na teplotu okolo 700 °C.

⁷ Hloubka vniknutí břitu do materiálu je závislá na vlastnostech používaného polotovaru. U tvrdého a křehkého materiálu bývá hloubka vniknutí $h = 10 \% t$. U měkkého a houževnatého materiálu $h = 60 \% t$.

- Kmitací nůžky jsou využívány pro vystřihování křivkových tvarů, dále pro vystřihování děr a otvorů.

Typy stříhadel jsou znázorněny na *Obr. 3*).



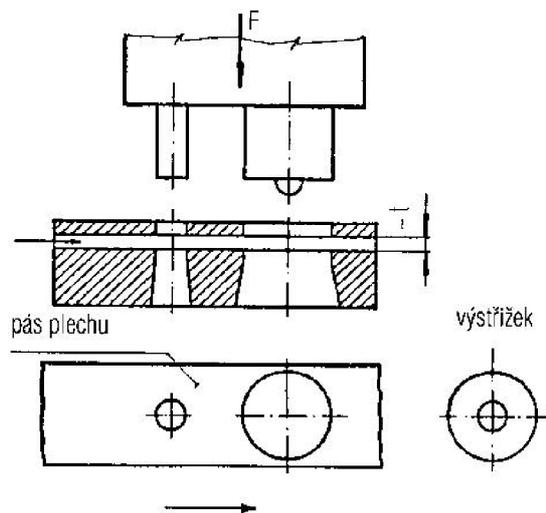
Obr. 3) Typy stříhadel. [9]

Vystřihování

Metodou vystřihování jsou tvořeny přístřihy, polotovary, které jsou určeny k dalšímu zpracování nebo součástky, které jsou schopny být hned využívány. Výhodou popisovaného pracovního postupu je zrychlení a usnadnění pracovního postupu. Hlavními částmi stříhadel jsou střížník a střížnice. Popis stříhadla je uveden na *Obrázku 3*).

Polotovarem je automaticky podáván pás plechu. Důležité je navrhnout pracovní postup tak, aby bylo dosaženo minimálního množství odpadu, který má vliv na spotřebu polotovaru. Vysoké množství odpadu znamená nevyužitý potenciál pracoviště a zbytečné finanční náklady. K minimalizaci odpadu je důležité navrhnout dobrý stříhový plán a nastavit správné vstupní parametry do výrobního procesu.

Tvary obrysu střížnicové dutiny a střížníku jsou navrženy tak, aby byly stejné a jejich tvar odpovídal tvaru požadovaného obrysu plechové součásti, která je vystříhována. Mezi střížníkem a střížnicí bývá nastavena vůle, jejíž velikost ovlivňuje několik parametrů⁸. Obecně platí, že čím větší vůle je nastavena mezi střížníkem a střížnicí, tím horší je kvalita střížné plochy. Nastavení větší vůle v praxi znamená zmenšení velikosti tření a zvyšování životnosti hrdla střížnice. Stříhadla jsou dělena na jednoduchá, postupová a sloučená. Schéma sloučeného stříhadla je znázorněno na *Obr. 4*). [7]



Obr. 4) Schéma sloučeného stříhadla. [7]

Děrování

Proces děrování funguje na stejném principu jako proces využívaný u vystříhování. Výrobkem je zpravidla otvor, který je vytvořen do výstřížku, výlisku nebo jiného typu součásti. Jedná se především o otvory kruhového tvaru. Nevýhodou je vznik mikrotrhlin. [7]

Přesné stříhání

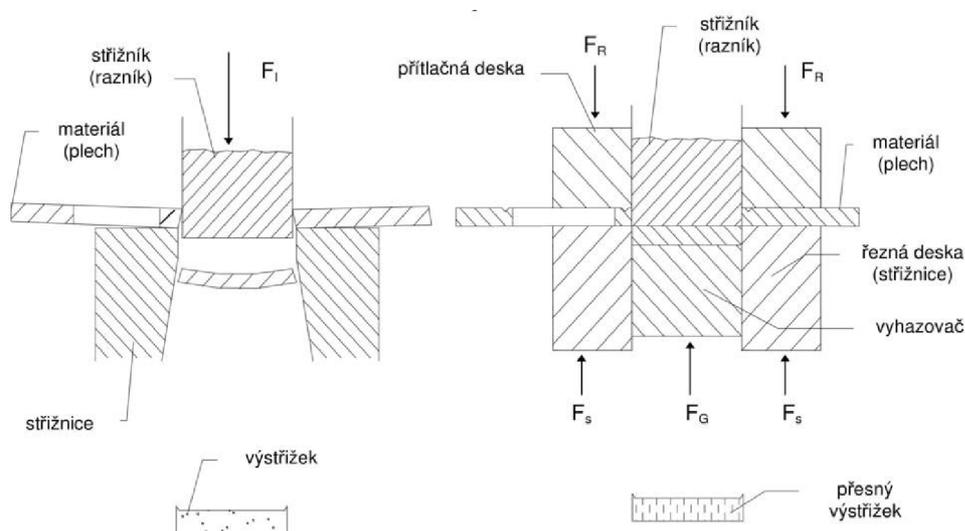
Metoda přesného stříhání spočívá ve vytvoření velice přesných výstřížků nebo otvorů, které už nemusí být dále opracovány. Změna oproti klasickému vystříhování spočívá v tom, že jsou ke stříhu využívány nátláčné hrany a dochází tak ke změně stavu napjatosti ve stříhové oblasti. V závislosti na pracovním postupu je technologie přesného stříhání rozdělována do následujících skupin: [2], [3], [7]

- Přesné stříhání s nátláčnou hranou: Principem přesného stříhání s nátláčnou hranou je sevření materiálu mezi přidržovač a střížnicí, čímž je tlačná hrana vmáčknuta do materiálu polotvaru ještě před samotným stříhem. Umístění tlačné hrany na přidržovači je voleno mimo oblast stříhové křivky. Vlastnostmi tlačné hrany, kterými jsou například tvar nebo poloha je ovlivněna kvalita střížné plochy a životnost používaného nástroje. U procesu přesného stříhání je velikost vůle stanovena na hodnotu cca $0,05t$, kde t je tloušťka stříhaného plechu.

⁸ Velikost vůle mezi střížníkem a střížnicí ovlivňuje kvalitu střížné plochy, přesnost výstřížku, velikost střížné síly a životnost nástroje.

- Stříhání se zaoblenou hranou stříhu: U této metody je zabráněno výskytu střížné trhliny v používaném polotovaru, díky zaoblení hrany střížnice nebo střížníku. Velikost poloměru střížné hrany R je zpravidla stanoven na hodnotu $R = 0,15t$, kde t je tloušťka stříhaného polotovaru (plechu).
- Přistříhování: U tohoto technologického procesu jsou odstraňovány kovové třísky ze stříhaného materiálu. Důvodem je eliminace a odstranění nežádoucích elementů (např. mikrotrhlin). Tato operace není doporučována pro sériovou výrobu.
- Přesné stříhání se zkoseným přidržovačem: Použitím zkoseného přidržovače je dosaženo dvojosého stavu napjatosti. Velikost vrcholového úhlu přidržovače je stanovena na hodnotu $\alpha = 178^{\circ}30'$ a poloměr zaoblení $R \leq 0,01 \text{ mm}$. Volba metody přesného stříhání zkracuje výrobní dobu.

Rozdíl mezi standartním a přesným stříháním je znázorněn na *Obr. 5*).



Obr. 5) Rozdíl mezi standartním stříháním (vlevo) a přesným stříháním (vpravo). [8]

3.2.2 Ohýbání

Ohýbání je technologický proces, při němž dochází k trvalé deformaci používaného materiálu tím, že je materiál ohýbán do různých velikostí úhlů. K procesu ohýbání jsou používány ohýbací nástroje⁹ skládající se z ohybníku a ohybnice. Při ohybu dochází k překročení meze kluzu, po které se materiál dostane do oblasti plastické deformace, která je doprovázena elastickou deformací, jenž má za následek odpružení materiálu. Nejčastěji je prováděno ohýbání za studena. Ohýbání za tepla je prováděno u pevnějších materiálů, dále u materiálů s větší tloušťkou nebo křehkých materiálů. Ohýbání je nejčastěji děleno na: [7]

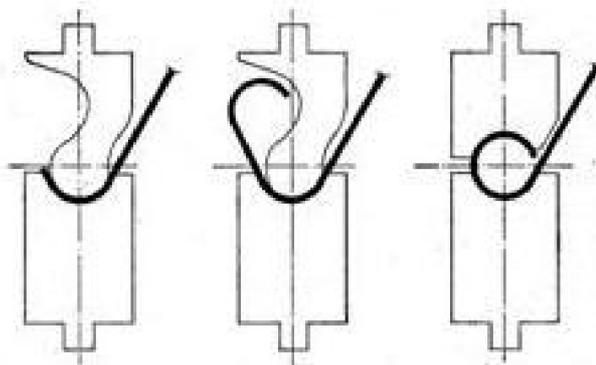
- Prosté ohýbání
- Ohraňování
- Lemování
- Zakružování

Prosté ohýbání

Je využíváno především u ohýbání součástí menších rozměrů s ostrými poloměry ohybu. Konečná podoba ohýbaného materiálu je závislá na typu ohybu. Polotovarem bývá nejčastěji tenký pás plechu a ohyb je prováděn v ruce nebo na ručních ohýbačkách. Při volbě ohýbadla vždy záleží na požadavku na rozměrovou přesnost ohýbané součásti a její využití. Při prostém ohybu jsou nejčastěji využívána ohýbadla jednoduchá, postupová nebo sdružená. [3], [7]

Ohraňování

Proces ohraňování je využíván především při tvarování plechu do profilu. Velice často jsou k ohraňování využívány mechanické ohraňovací lis. Výchozím polotovarem jsou většinou pásy plechu, které jsou za pomoci nástroje ohýbány do požadovaných tvarů. Aby bylo dosaženo požadovaného tvaru, bývá horní část nástroje většinou tvarová a ohraňování materiálu se tak provádí na jeden zdvih po celé délce materiálu. [1], [7]

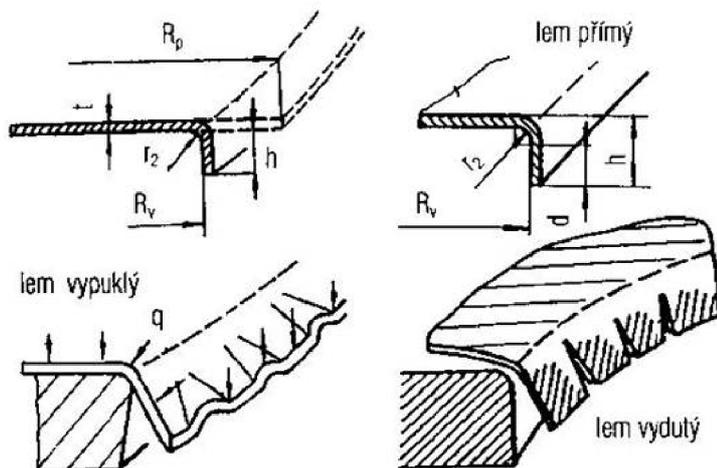


Obr. 6) Příklady ohraňování za použití různých horních součástí nástroje. [8]

⁹ Nástroje používané při procesu ohýbání jsou nejčastěji označovány jako ohýbadla.

Lemování

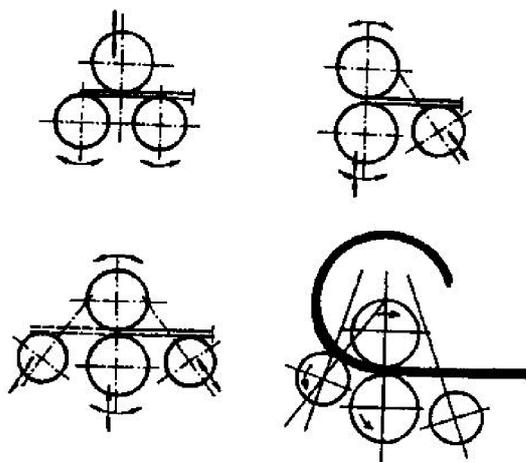
Lemování je využíváno k vyztužení nebo zaoblení okraje, přípravě spoje použitého polotovaru nebo dosažení estetického výsledku finálního výrobku. Další možností je vytvoření žlábků, které má za následek zvýšení tuhosti výlisku. Tato operace je využívána z estetických důvodů nebo kvůli požadavku na odstranění ostrých hran. Typy lemů, které bývají tvořeny zejména na okrajích plechu jsou rozděleny podle jejich geometrie na *Obr. 7)*



Obr. 7) Operace lemování a geometrie lemu. [7]

Zakružování

Proces zakružování je volný ohyb materiálu, který je prováděn na zakružovačkách¹⁰. Jde o ohýbání materiálu zejména do tvaru předepsaného rádiusu. U většiny zakružovaček je materiál po prvním zakružení otočen a vložen do zakružovačky naopak, aby byla eliminována chyba, kdy se ohne i rovná strana, která vzniká na začátku materiálu při vkládání do stroje. Plechy o malých tloušťkách se zakružují za studena. Tlusté plechy ($t > 40 \text{ mm}$) jsou válcovány za tepla. Na *Obr. 8)* jsou znázorněna jednotlivá uspořádání zakružovacích válců. [2], [3], [7]



Obr. 8) Uspořádání zakružovacích válců. [7]

¹⁰ Nejčastěji využívané typy zakružovaček jsou zakružovačky čtyřválcové nebo tříválcové (nesymetrické), u nichž nedochází k proboření plechu.

Odpružení

Odpružení ohýbaného materiálu má za následek změnu tvaru a velikosti ohybu polotovaru. Tyto rozměry následně neodpovídají rozměrům, které jsou dány nástrojem. Ohyb je pružně tvárná deformace, a ve chvíli, kdy na polotovaz přestane působit deformační síla, nastane i zrušení pružné deformace, což má za následek změnu úhlu ohybu.

Velikost odpružení je dána hned několika faktory, jako například mechanickými vlastnostmi¹¹ ohýbaného polotovaru, tloušťkou polotovaru, velikostí úhlu ohybu, konstrukcí používaného ohýbadla, způsobu provedení¹² ohybu a tvaru ohybu¹³. K určení velikosti ohybu slouží tabulky, v nichž jsou zobrazeny diagramy odpružení pro jednotlivé materiály. [2], [3]

3.2.3 Tažení

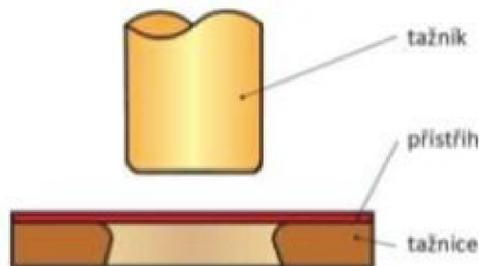
Tažení je technologický proces plošného tváření, při kterém je dosaženo trvalého přetvoření původního polotovaru (například přístřihu nebo pásu plechu). Výtažky mohou být vyhotoveny jednooperačním tažením nebo víceoperačním tažením. V závislosti na pracovním postupu jsou členěny technologie tažení následujícím způsobem: [8], [10]

Tažení bez ztenčení stěny (tzv. prosté tažení)

Při tomto technologickém procesu je zachována tloušťka stěny, která se v průběhu procesu nemění. Nástroj je označován jako tažidlo, který je sestaven z tažníku (pohyblivá část) a tažnice (pevná část). Finální produkt je označován jako výtažek. Prosté tažení je dále děleno na dva následující typy tažení: [10]

- Tažení bez přídržovače

Výhodou těchto tažidel je jednoduchá konstrukce a levná cena. Pokud není dodržena dostatečně malá redukce¹⁴, může nastat vlnění (deformace) materiálu na okraji plechu. Schéma technologie tažení bez přídržovače je zobrazeno na *Obr. 9*.



Obr. 9) Tažení bez přídržovače. [10]

¹¹ Čím je materiál polotovaru tvrdší, tím je větší výsledná velikost odpružení.

¹² Volný ohyb nebo ohyb s kalibrací.

¹³ V technologii plošného tváření jsou rozlišovány dva druhy ohybu: Do „U“ tvaru a „V“ tvaru.

¹⁴ Redukce je poměr průměru přístřihu vůči výtažku.

- Tažení s přidržovačem

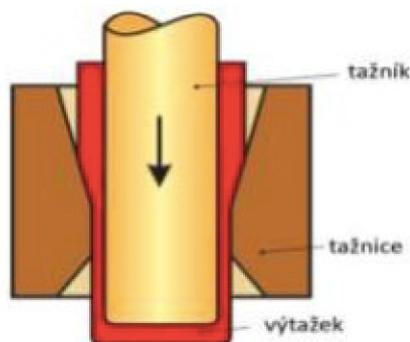
Materiál je zadržován přidržovačem pod tlakem, který jej svírá, a díky tomu nedochází k vlnění materiálu na okrajích plechu. Schéma technologie tažení s přidržovačem je znázorněno na *Obr. 10*). [10]



Obr. 10) Tažení s přidržovačem [10]

Tažení se ztenčením stěny

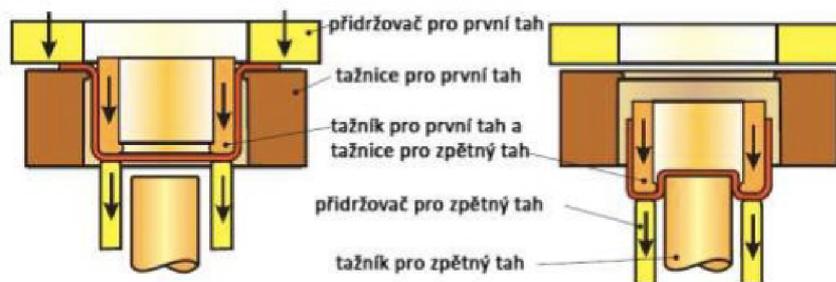
Dalším typem technologického postupu tažení je tažení se ztenčením stěny polotovaru. U tohoto způsobu tažení dochází k podstatnému ztenčení stěny výtažku a výsledná délka výtažku je větší (tloušťka dna zůstává neměnná). Nejčastější hodnota zkosení stěny tažnice je udávána na hodnotu 60° . Tato metoda bývá nejčastěji využívána k výrobě válcových výtažků bez příruby, nádob, obalů nebo pouzder. V praxi bývá tažení se ztenčením stěny prováděno na jednočinných lisech. Nákres tažení se ztenčením stěny je znázorněn na *Obr. 11*) [2], [10]



Obr. 11) Tažení se ztenčením stěny. [10]

Zpětné tažení

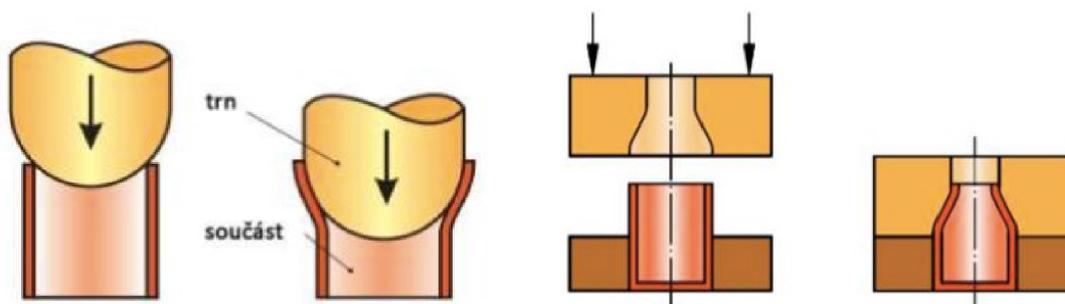
Metoda zpětného (obráceného) tažení bývá nejčastěji používána při tváření o více tazích a bývá využívána především při tažení rotačních nebo válcovitých tvarů. Při zpětném tažení dochází k menšímu namáhání materiálu. Tato metoda bývá používána při výrobě nádob, které mají válcovitý tvar nebo případně tvar komolého kužele. Za hlavní výhodu metody zpětného tažení je zmenšení ohybového namáhání oproti namáhání, které je vyvoláno u metod prostého tažení. Nákres metody zpětného tažení a popis jednotlivých částí tažidla je zakreslen na *Obr. 12*) [2], [10]



Obr. 12) Zpětné tažení. [10]

Rozšiřování a zužování

Poslední metoda, která je v této kapitole popsána je metoda rozšiřování a zužování. Metoda rozšiřování spočívá ve zvětšování průměru polotovaru. Je využívána při výrobě misek a nádob. U metody zužování dochází ke změně volného konce výtažku, kdy má konec menší průměr než dno nádoby, u něhož zůstává velikost průměru zachována. Obě metody jsou znázorněny na *Obr. 13*). [8], [10]



Obr. 13) Metoda rozšiřování (vlevo) a zužování (vpravo). [10]

3.3. TYPY PLECHŮ, KTERÉ JSOU NEJČASTĚJI VYUŽÍVÁNY V KLEMPÍŘSKÉ PRAXI

3.3.1 Plech z nerezové oceli

Jedním z nejpoužívanějších klempířských plechů jsou plechy z nerezové oceli. Tyto plechy obsahují třináct nebo méně procent chromu. Někdy jsou do materiálu přidávány další příměsi, jako je například nikl nebo molybden. Výhodou nerezové oceli je především její odolnost vůči nežádoucím vlivům prostředí¹⁵. Mezi nejpoužívanější typy nerezových plechů patří plechy z následujících typů nerezové oceli:

- Austenitická nerezová ocel – v austenitické oceli je obsaženo cca osmnáct procent chromu, minimum uhlíku a také nikl. Díky minimálnímu množství uhlíku je austenitická ocel dobře svařitelná. Povrch austenitického nerezového plechu je dobře udržovatelný. Austenitické nerezové plechy jsou dražší, než plechy feritické, a to především kvůli niklu, který je v plechu obsažen. Austenitické nerezové plechy jsou využívány ve farmaceutickém průmyslu (výroba chirurgických nástrojů), v domácnostech (výroba dřezů nebo příborů) nebo průmyslu (v hutních nebo spalovacích pecích)
- Feritická nerezová ocel – obsahuje nejméně dvanáct procent chromu¹⁶, minimální množství uhlíku a žádný nikl. Při zahřívání feritické oceli není zvyšována její pevnost nebo tvrdost. Feritické nerezové plechy jsou využívány v automobilovém průmyslu (při výrobě výfuků a katalyzátorů) nebo v domácnostech (výroba kuchyňských dřezů).
- Martenzitická nerezová ocel – martenzitická ocel je magnetická a vzniká rychlým ochlazením austenitické oceli, v níž není obsahován nikl. Martenzitická ocel je používána hlavně v oblastech, kde je kladen důraz na pevnost materiálu. Martenzitické nerezové oceli mohou být děleny dle obsahu uhlíku. Ocel s vysokým obsahem uhlíku nelze svařovat.

3.3.2 Měděné plechy

Měděné plechy jsou typické svojí načervenalou barvou a jsou vyznačovány dobrou tepelnou a elektrickou vodivostí. Měď je měkký a tažný kov, proto je jeho mechanické zpracování považováno za snadné. Měděné plechy jsou typické svojí odolností vůči atmosférické korozi, proto produkty, které jsou vyrobeny z měděných plechů, jsou typicky charakterizovány svojí bezúdržbovostí a dlouhou životností. Své uplatnění mají měděné materiály v elektropřemyslu a energetice (především kvůli své vodivosti), v automobilovém průmyslu nebo stavebnictví (hromosvody, krytiny střech nebo opláštění budov).

¹⁵ Výhodou nerezové oceli je především vysoká odolnost vůči nežádoucím vlivům prostředí, jako je například déšť, vítr nebo sůl.

¹⁶ S větším obsahem chromu klesá pevnost feritické oceli při žhání.

3.3.3 Mosazné plechy

Mosaz je slitina mědi a zinku. Hlavními přednostmi mosazných plechů jsou dobrá obrobiteľnosť, korozivzdornosť a vodivosť. Mosaz má své využití v závislosti na obsahu mědi. Mosazi s obsahem mědi menším, než padesát osm procent nejsou moc často používané kvôli svojej krehkosti. Mosazi s obsahom viac než osmdesát procent mědi jsou nazývané jako tombaky. S väčším obsahom mědi roste pevnosť mosazného materiálu. Mosaz je používaná v automobilovom priemysle, zbrojnóm priemysle alebo pri výrobe dekoratívnych predmetů a šperků. V porovnaní s jiným slitinami jsou mosazné plechy relativně lehké.

3.3.4 Pozinkované plechy

Zinkování plechů je technologický proces, při němž je na ocelový plech nanášena vrstva zinku. Zinkový povlak prodlužuje životnost materiálu, chrání materiál proti korozi a nežádoucím vlivům okolního prostředí. Tloušťka zinkového povlaku je udávána v rozmezí 15–30 μm na každou stranu plechu. Pozinkované plechy jsou používané ve stavebnictví (výroba střešní krytiny) nebo v automobilovom priemysle (pri výrobe karosérií). Proces nanášení zinkové vrstvy je dělen do následujících skupin v závislosti na technologickém postupu: [11], [12]

- Žárové zinkování ponorem¹⁷
- Galvanické zinkování¹⁸
- Další typy zinkování, kterými jsou například difúzní zinkování, mechanické zinkování nebo metalizace.

3.3.5 Hliníkové plechy

Díky kombinaci svých mechanických vlastností, odolnosti proti korozi a nízké hmotnosti jsou slitiny hliníku velice často používané ve strojírenství, stavebnictví, letectví, automobilovom priemysle nebo chemickom priemysle. Výhodou hliníku je taky jeho vodivosť. V porovnaní s měděným nebo mosazným plechem je výhodou hliníkového plechu nízká pořizovací cena. Nejpoužívanější slitiny hliníku, jejich vlastnosti a využití jsou uvedeny v *Tabulce 2*). [13]

¹⁷ Žárové zinkování ponorem je nejčastěji používanou metodou zinkování plechu. Ocelový plech je při této metodě vložen do taveniny zinku. Při jeho vložení do taveniny dojde k chemické reakci a na povrchu plechu se vytvoří vrstva zinku. Tloušťka a vzhled vytvořené vrstvy závisí na několika faktorech, jako například na složením oceli a době ponoru. Čím déle je materiál ponořen v zinkové lázni, tím silnější je pak zinková vrstva. [11]

¹⁸ U galvanického zinkování je využíváno elektrochemické reakce mezi ocelovým materiálem a elektrolytem. Před samotným galvanickým zinkováním musí být materiál mechanicky a chemicky očištěn. [12]

Tab 2) Výhody a využití nejpoužívanějších typů pohliníkových plechů. [13]

Označení	Výhody	Využití
EN AW 1050A	Odolnost proti korozi Tvárnost a svařitelnost	Chemický průmysl Potravinářské obaly a kontejnery Opláštění kabelů a budov Automobilový průmysl
EN AW 5754	Tvarovatelnost za studena Svařitelnost Odolnost proti korozi	Tlakové nádoby, trubky a kotle Automobilový průmysl Potravinářský průmysl
EN AW 6063	Odolnost proti korozi Svařitelnost	Interiérové vybavení Elektronické moduly a kryty elektromotorů

Vzhledové rozdíly výše popsaných klempířských plechů jsou zobrazeny na *Obr. 14*.



Plech z nerezové oceli



Měděný plech



Mosazný plech



Pozinkovaný plech



Hliníkový plech

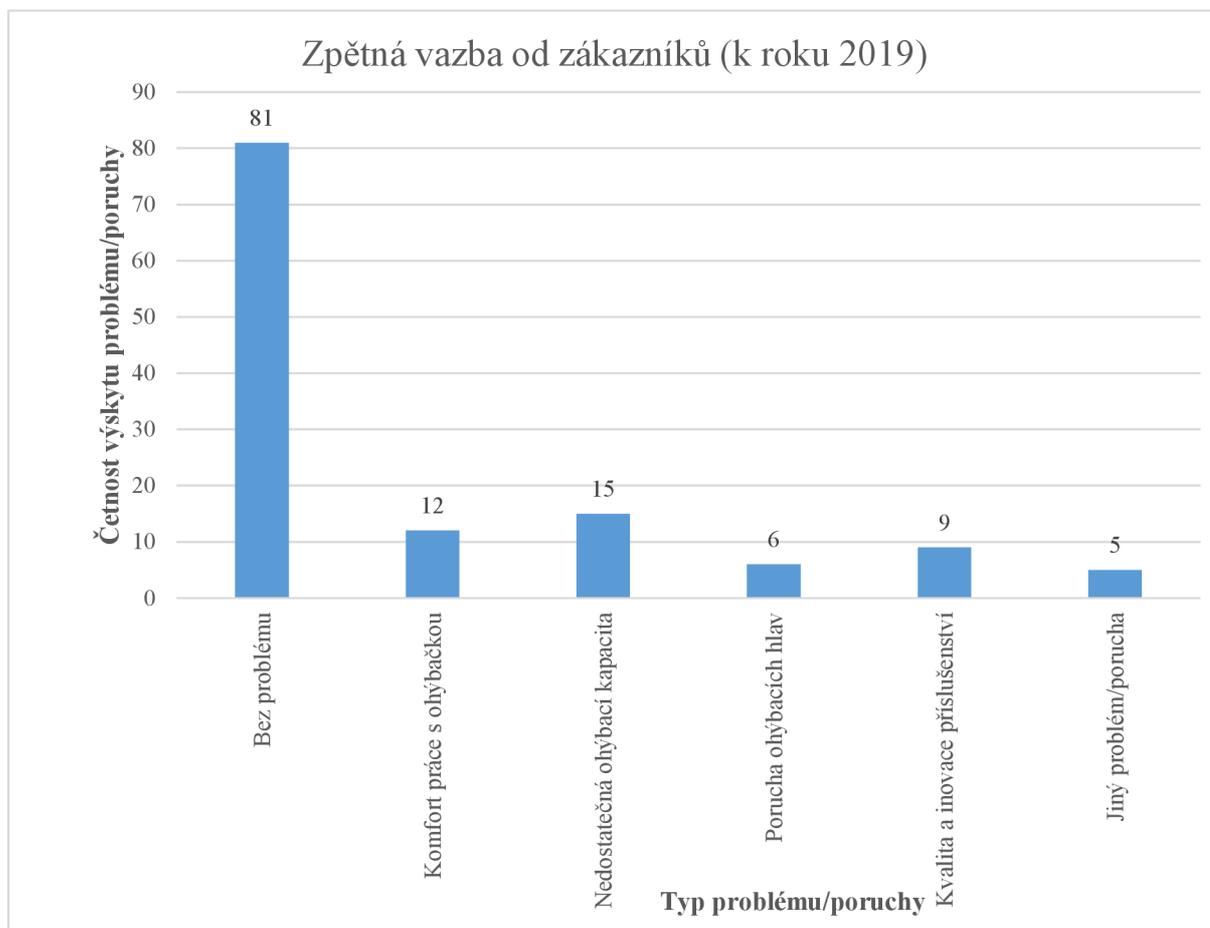
Obr. 14) Nejčastěji využívané klempířské plechy. [11], [14]

4. PRAKTICKÁ ČÁST

4.1. ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU V OBLASTI MĚŘENÍ OHYBŮ PLECHŮ NA KLEMPÍŘSKÝCH OHÝBAČKÁCH

V prosinci kalendářního roku 2019 naše společnost poslala všem svým zákazníkům z Evropské unie dotazník spokojenosti se zakoupenými výrobky (klempířskými ohýbačkami). Na dotazník odpovědělo devadesát šest respondentů. V případě, že zákazník nebyl s výrobkem stoprocentně spokojen, tak vybral jednu nebo více z nabízených odpovědí typu poruch, se kterou se setkal při používání stroje.

Zákazníci, kteří v dotazníku odpověděli, že měli nějaký problém se strojem, byly následně kontaktováni servisním technikem. Na základě kontroly se ukázalo, že některé poruchy byly zapříčiněny nevhodným pracovním postupem nebo ignorací pravidelné kontroly stroje, na kterou je zákazník upozorňován při zakoupení zboží našim obchodním zástupcem. Společnost je distributorem několika typů klempířských strojů, které jsou zákazníkem voleny na základě realizované práce a parametrů stroje, kterými jsou například rozměry, váha a ohýbací kapacita. Poruchy se tedy vyskytovaly na různých strojích, které byly obsluhovány za různých pracovních podmínek. Odpovědi zákazníků jsou zobrazeny v *Obr. 15*).



Obr. 15) Výsledky dotazníku spokojenosti, které byly zákazníkům doručeny v prosinci 2019.

Devět dotázaných respondentů bylo nespokojeno s kvalitou a inovací příslušenství, které je určeno k používání klempířských ohýbaček značky Van Mark. Nejprodávanějším příslušenstvím k ohýbačkám Van Mark je univerzální¹⁹ úhloměr (Obr. 16), který je standardně dodáván ke každé prodané ohýbačce. Velikost úhlu ohýbaného polotovaru je uživatelem měřena na základě údajů udávaných na úhloměru Multi Gauge od výrobce Van Mark. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl změřit a zanalyzovat údaje uváděné na úhloměru, na základě kterých, bude výrobcí Van Mark předložen návrh na nový typ úhloměru.

Návrh prototypu nového úhloměru usnadní stávajícím i novým zákazníkům práci se strojem. Cílem nového úhloměru je ušetření pracovního času na stroji. V současné podobě úhloměru (Obr. 16) není počítáno s odpružením a v praxi se tak stává, že je klempíř přinucen ohýbat plech na vícekrát. Kvůli tomu, že není ohyb proveden na poprvé, tak je prodloužen pracovní čas a díky opakovanému ohýbání klesá i kvalita ostatních ohybových parametrů.



Obr. 16) Úhloměr Van Mark Multi Gauge.

¹⁹ Úhloměry dodávané k ohýbačkám jsou univerzální, tedy úhloměr je vždy stejný bez ohledu na typ používaného ohýbacího stroje.

4.2. PROVEDENÍ OHYBŮ U VYBRANÝCH VZORKŮ PLECHU

Jedním z cílů této diplomové práce je provedení ohybů u vybraných vzorků plechu. Tento cíl byl kompletně realizován v následujících, po sobě jdoucích etapách:

1. Volba a sehnání polotovaru na vzorky: Volba materiálu jednotlivých vzorků byla zvolena v závislosti na četnosti používání materiálu v klempířském průmyslu. Podmínkou bylo použití plechů stejné tloušťky (dále t_1 , t_2 a t_3), kde $t = t_1 = t_2 = t_3 = 0,08 \text{ mm}$. Plechy jsou standardně dodávány ve formě plechových pásů, kde nejmenší možný rozměr plechového pásu je o velikosti $2000 \times 1000 \text{ mm}$.
2. Nachystání vzorků: Plechové pásy jednotlivých materiálů byly, za použití přídavné řezačky Trim Cutter od společnosti Van Mark, nařezány na jednotlivé vzorky o rozměrech $195 \times 75 \text{ mm}$. Z každého zvoleného materiálu byly připraveny čtyři vzorky o stejných rozměrech.
3. Ohyb vzorků: Po volbě materiálu a nachystání jednotlivých vzorků byly plechové plátky ohnuty na klempířské ohýbačce Van Mark. Velikost ohybu je dána úhloměrem Van Mark, jenž je ve formě příslušenství dodáván ke každé prodané ohýbačce. Velikost úhlů ohybu je volena na 30° , 60° , 90° a 120° u každého vzorku. Výstupem ohybu tedy je dvanáct různých vzorků (tři různé materiály vzorků, které jsou ohnuty pod čtyřmi různými velikostmi úhlů).

Volba polotovaru na vzorky

Volba materiálu byla volena na základě dvou parametrů. Prvním parametrem je četnost využití daného materiálu při klempířských pracích. Většina klempířských plechů bývá používána do venkovního prostředí, je tedy důležité, aby byl materiál odolný vůči venkovním vlivům. Druhým výběrovým parametrem je cena polotovaru. Vzhledem k tomu, že jsou plechové pásy standardně dodávány v tabulích o rozměrech $2000 \times 1000 \text{ mm}$ a k přípravě vzorů bylo potřeba 2,93 % tabule plechu, tak byl při volbě materiálu zohledněn finanční²⁰ parametr. V praktické části diplomové práce byly používány následující typy plechů:

- Hliníkový plech *EN AW-1050 H24*
- Pozinkovaný plech *DC01+ZE*
- Nerezový plech *1.4016 (ČSN 17041)*

²⁰ Cena měděného pásu plechu potřebné tloušťky (t) je devětkrát vyšší, než cena pozinkovaného plechu potřebné tloušťky (t).

Nachystání vzorků

V předchozím kroku popisovaného cíle diplomové práce byl zvolen materiál, z něhož jsou vyrobeny vzorky, které budou následně ohýbány a dále analyzovány. Polotovarem jsou pásy plechu o velikosti $200 \times 100 \text{ cm}$. Tyto pásy jsou v tomto kroku nařezány na menší vzorky.

K řezání plechových pásů na menší plátky je používáno příslušenství *Trim Cutter* (dále označováno jako *řezačka*), které je kompatibilní s každým typem klempířské ohýbačky Van Mark. Pás plechu je sevřen mezi čelisti ohýbačky, kterými je plech přidržen dostatečně silně, aby při jeho řezání nedocházelo k pohybu nebo uvolnění řezaného plechu. Řezačka je snadno vyjmutelná, aby uživatel nepřekážela při ohýbání větších plechových pásů. Příslušenství Trim Cutter je zobrazeno na *Obr. 17*).



Obr. 17) Příslušenství Trim Cutter. [5]

Z každé plechové tabule byl vyříznut plechový pás o velikosti $100 \times 75 \text{ mm}$. Vyříznuté plechové pásy byly následně vloženy do ohýbačky a nařezány na velikost konečných vzorků. K zajištění řezání vzorků stejných rozměrů jsou u ohýbaček používány dorazy, které zajistí, aby byly plechy ohýbány nebo řezány na požadovanou velikost. Postup přípravy vzorků je zdokumentován na *Obr. 18*).



Obr. 18) Řezání plechových tabulí pomocí příslušenství Trim Cutter.

Ohyb vzorků

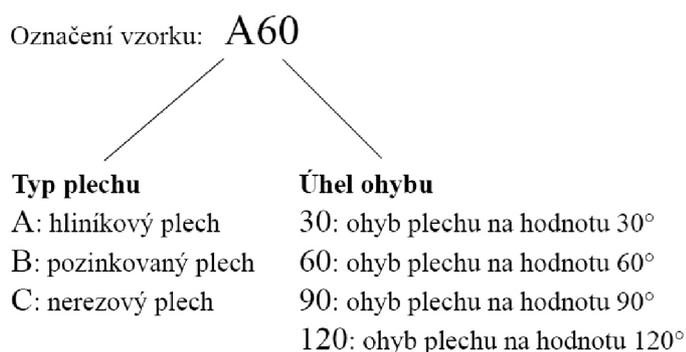
Vzorky byly ohýbány na klempířské ohýbačce Van Mark. Vlastnosti prostředí, ve kterém byly ohyby realizovány jsou uvedeny v *Tabulce 3*). Připravené vzorky byly vloženy a uchyceny do ohýbačky. Ohybová vzdálenost byla zajištěna dorazy, aby byl ohyb proveden uprostřed daného vzorku. Před každým ohybem byl plech vložen a upevněn do stejného místa na ohýbačce, aby byly zachovány stejné podmínky ohybu pro každý realizovaný plech.

Tab 3) Vlastnosti okolí na pracovišti.

Parametr	Hodnota parametru
Teplota	22,5 °C
Vlhkost vzduchu	58 %

Od každého použitého materiálu (celkem tři různé typy materiálu) byly ohýbány vzorky pod různým, předem stanoveným, úhlem o velikosti 30°, 60°, 90° a 120°. V první fázi procesu byl plech vložen mezi čelisti a horní rukojetí dostatečně upevněn tak, aby se při ohybu plech nepohnul. Po uchycení byl proveden ohyb pomocí zvednutí dolní rukojeti, která pohybuje ohybovou čelistí stroje. Ohyb byl proveden specializovaným technikem, který má s ohýbačkami Van Mark více než desetiletou praxi. Já jsem monitoroval celý proces z boku, aby byla zajištěna dobrá viditelnost na hodnoty udávající úhloměrem. Jakmile byl vzorek ohnut na požadovanou velikost, dal jsem technikovi pokyn k povolení dolního madla, a tedy povolení ohybové čelisti. Po uvolnění ohybové čelisti došlo k odpružení plechu na viditelně nižší hodnotu. Stejný postup byl proveden i u zbylých plechových vzorků.

Okamžitě po uvolnění plechu z ohýbacího stroje byl každý vzorek vyjmut z ohýbačky a označen tak, aby bylo zřejmé, o jaký materiál a úhel se jedná. Systém označení vzorků je zobrazen a popsán na *Obr. 19*).



Obr. 19) Systém značení vzorků

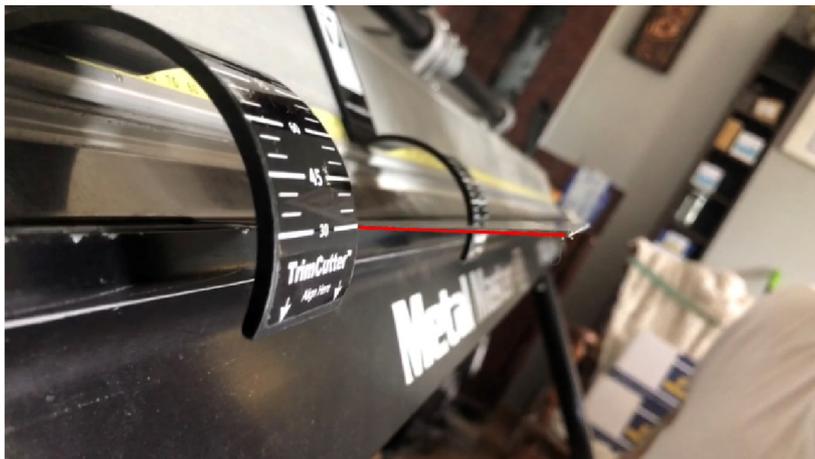
Ohyb vzorků plechu na hodnotu velikosti úhlu 30°

Na *Obr. 20* (vlevo) je zobrazena poloha plechu a dolní rukojeti před začátkem procesu ohýbání. Na *Obr. 20* (vpravo) je dále zdokumentována poloha plechu a dolní rukojeti v průběhu ohýbacího procesu. Je zde pěkně vidět, jak se zvednutím dolní rukojeti mění poloha plechu.



Obr. 20) Průběh ohybu vzorku na hodnotu 30°. Vlevo je znázorněna počáteční poloha plechu a rukojeti. Vpravo je zobrazena závislost polohy ohýbací čelisti vůči velikosti úhlu ohybu.

Na dalších snímcích (*Obr. 21*) a *Obr. 22*) je viditelná poloha plechu (pro větší přehlednost je hrana plechu vyznačena červenou barvou) před uvolněním ohýbací čelisti a po uvolnění ohýbací čelisti. Ze snímku je patrné, že po uvolnění čelisti dochází ke značnému odpružení plechu.



Obr. 21) Poloha plechu před uvolněním ohýbací čelisti (velikost ohybu 30°).



Obr. 22) Odpružení plechu (velikost ohybu 30°).

Ohyb vzorků plechu na hodnotu velikosti úhlu 60°



Obr. 23) Průběh ohybu vzorku na hodnotu 60°. Vlevo je znázorněna počáteční pozice plechu a rukojeti. Vpravo je zobrazena závislost polohy ohýbací čelisti vůči velikosti úhlu ohybu.



Obr. 24) Poloha plechu před uvolněním ohýbací čelisti a po uvolnění čelisti (velikost ohybu 60°).

Ohyb vzorků plechu na hodnotu velikosti úhlu 90°



Obr. 25) Poloha plechu před uvolněním ohýbací čelisti a po uvolnění čelisti (velikost ohybu 90°).

Ohyb vzorků plechu na hodnotu velikosti úhlu 120°



Obr. 26) Poloha plechu před uvolněním ohýbací čelisti a po uvolnění čelisti (velikost ohybu 120°).

4.3. PROVEDENÍ MĚŘENÍ PARAMETRŮ OHYBU

Dalším cílem diplomové práce bylo provedení měření ohýbaných vzorků. Pro nosný výsledek z měření byl zvolen postup, ve kterém bude každý vzorek změřen a zanalyzován na pěti různých metrologických přístrojích. V zadání práce je uvedeno, že mají být jednotlivé vzorky změřeny na dotykovém a optickém měřicím zařízení.

4.3.1 Provedení měření na dotykovém měřicím zařízení CMM Zeiss UPMC Carat

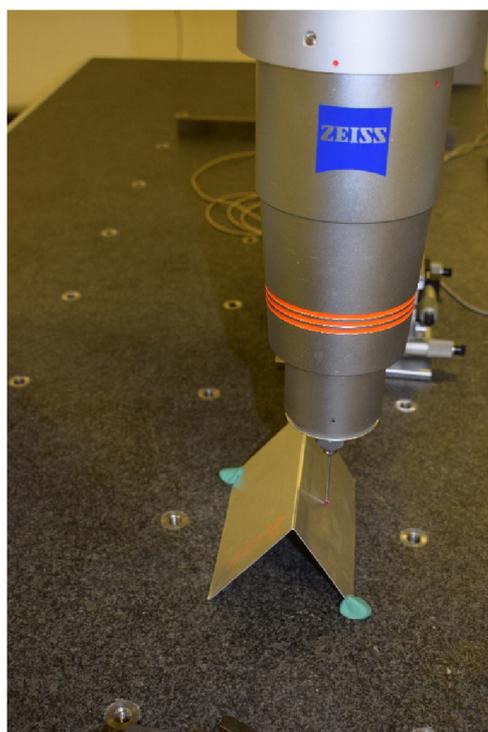
Zeiss UPMC 850 Carat je souřadnicový měřicí stroj (ve zkratce CMM²¹) splňující ty nejnáročnější požadavky na přesnost. Hlavními výhodami stroje jsou schopnost měření vysokou rychlostí, která je vhodně kombinována s dynamickou tuhostí ovládní, snadnou obsluhou, nízkými náklady na údržbu a vysoké rozlišení stroje. Technické specifikace stroje jsou detailně vypsány v *Tabulce č. 4*. [15]

Tab 4) Technické specifikace měřicího zařízení Zeiss UPMC 850 Carat. [15]

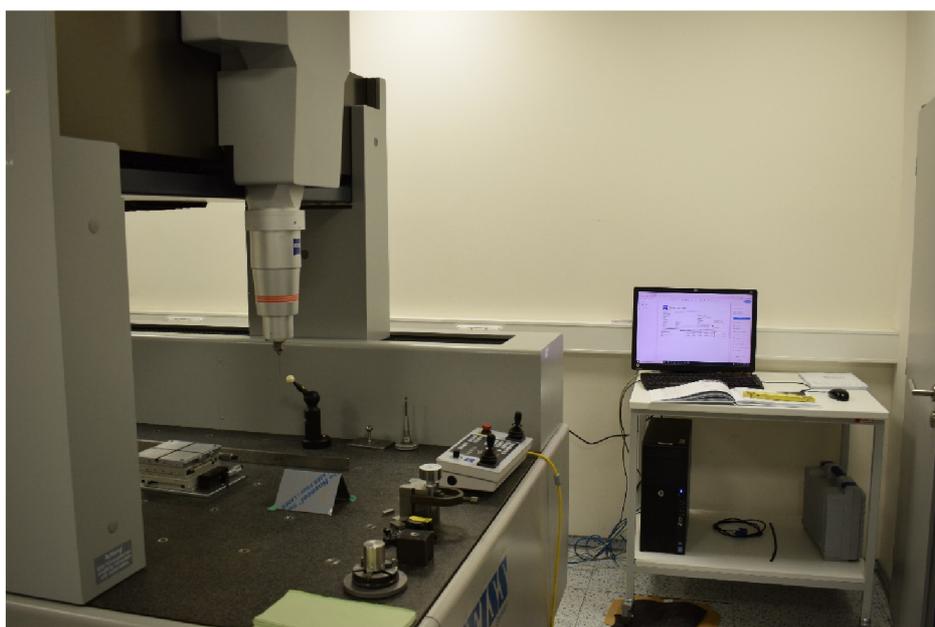
Model		ZEISS UPMC 850 Carat
Stůl – základ (materiál)		Gabro
Měřicí rozsah	Osa X (mm)	850
	Osa Y (mm)	1150
	Osa Z (mm)	600
Měřicí stupnice		Optika: ZEISS PHOCOSIN, ZERODUR
Rozlišení snímačů (μm)		0,2
Dotyková (měřicí) síla (N)		0,2 (Rozsah 0,1 - 1,0 N. Lze měnit s krokem o velikosti 1 mN)
Počet snímaných bodů za sekundu		100
Napájení		100 V/50 – 60 Hz
Maximální ovládací rychlost (mm/s)		130
Rozměry zařízení	Délka (mm)	1590
	Šířka (mm)	2935
	Výška (mm)	3025
Váha zařízení (kg)		4000

Při provedení měření byly vzorky uchyceny ke stolu stroje pomocí snímatelné lepicí hmoty. Dotykem byly následně analyzovány jednotlivé roviny plechu, které mezi sebou svírají zkoumaný úhel. Při kontaktu senzoru s právě zkoumanou rovinou vzorku docházelo k mírnému prohnutí roviny vzorku, což určitě mělo vliv na výsledky měření. Z tohoto důvodu jsem u dotykových měření senzorem získával výsledky a měřil body z různých míst analyzovaných rovin. Průběh měření dotykovým zařízením je zobrazen na *Obr. 27*) a *Obr. 28*). Výsledky měření na zařízení CMM Zeiss UPMC Carat jsou uvedeny v *Tabulce 5*).

²¹ CMM je zkratka pro Coordinate Measuring Machines (souřadnicový měřicí stroj).



Obr. 27) Zařízení Zeiss UPMC 850 Carat (vlevo). Dotyk senzoru s měřenou rovinou vzorku (vpravo).



Obr. 28) Pracoviště vybaveno přístrojem Zeiss UPMC 850 Carat na ČMI²².

²² ČMI – zkratka pro Český metrologický institut.

Tab 5) Zeiss UPMC Carat – naměřené hodnoty [°]

CMM Zeiss UPMC Carat												
	A30	B30	C30	A60	B60	C60	A90	B90	C90	A120	B120	C120
1	17,66	20,33	18,92	50,42	51,25	49,50	81,58	81,92	80,33	112,00	110,08	113,00
2	19,00	19,83	19,58	51,50	51,08	49,75	80,92	81,66	79,83	111,92	109,50	111,58
3	21,00	22,25	22,25	49,92	50,33	50,50	82,83	81,00	80,00	112,75	112,00	112,92
4	19,75	21,83	20,00	48,50	49,92	51,33	80,58	80,50	80,33	110,50	109,92	110,42
5	21,25	22,33	19,83	51,75	50,66	49,92	83,83	82,66	79,58	112,75	112,00	109,92
6	18,92	19,58	20,50	52,00	50,08	49,08	80,75	79,92	81,25	112,92	110,50	114,00
7	19,50	18,92	19,58	52,25	50,25	48,92	81,92	82,33	81,33	111,25	109,58	113,66
8	20,08	19,08	21,25	50,58	48,83	49,08	80,33	80,66	80,92	112,17	111,75	113,50
9	19,58	17,75	20,83	50,92	52,08	51,50	82,25	81,66	80,25	113,00	112,08	113,50
10	19,42	22,25	18,92	49,75	51,83	50,83	82,50	81,25	80,50	111,75	110,50	112,42
Součet	196,16	204,16	201,66	507,58	506,32	500,41	817,49	813,55	804,32	1121,00	1107,92	1124,91
Průměr	19,62	20,42	20,17	50,76	50,63	50,04	81,75	81,36	80,43	112,10	110,79	112,49
Směr. odhylnka	0,98	1,57	1,00	1,11	0,92	0,90	1,07	0,81	0,55	0,76	1,00	1,34
Rozptyl	1,06	2,73	1,11	1,37	0,94	0,90	1,27	0,73	0,34	0,64	1,12	1,99
Nejistota typu A	0,33	0,52	0,33	0,37	0,31	0,30	0,36	0,27	0,18	0,25	0,33	0,45
Nejistota typu B	0,001154701											
Kombinovaná nejistota	0,3261137	0,52253671	0,33362951	0,3696755	0,30589571	0,30041244	0,35673776	0,270313431	0,18362297	0,253290953	0,334572704	0,445793277
Rozšířená nejistota	0,6522274	1,04507343	0,66725902	0,7399511	0,61179143	0,60082487	0,71347551	0,540626862	0,36724594	0,506581905	0,669145409	0,891586553
Výsledná hodnota	19,62±0,65	20,42±1,05	20,17±0,67	50,76±0,74	50,63±0,61	50,04±0,6	81,75±0,71	81,75±0,54	80,43±0,37	112,1±0,5	110,79±0,67	112,49±0,89
Odpružení	10,38	9,58	9,83	9,24	9,37	9,96	8,25	8,64	9,57	7,90	9,21	7,51

Hexagon Absolute Arm 8312-6

Zařízení Absolute Arm od společnosti Hexagon je dotykové měřicí zařízení, jehož hlavní předností je unikátní design výrobku, který zajišťuje uživateli komfort, rychlost a přesnost měření.

Programem *PC-DMIS 2020 R1* (Obr. 30)) byl zajištěn správný průběh měření a vyhodnocení výsledků. Export měřicích protokolů je následně uložen do dvou formátů souboru (.pdf a .txt). Díky systému Zero-G CounterBalance jsou minimalizována tření v rotačním kloubu ramene, což uživateli poskytne pohodlí a dostatečnou přesnost při měření.



[16]

Obr. 29) Měřicí rameno Hexagon Absolute Arm 8312-6. [16]

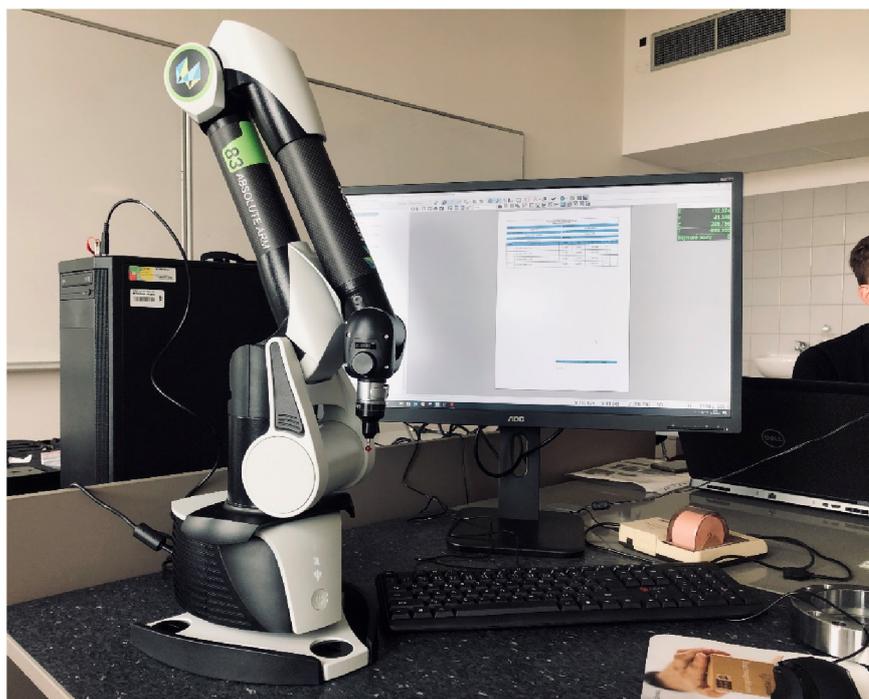
Při kontaktu senzoru s právě zkoumanou rovinou vzorku docházelo k mírnému pronutí roviny vzorku, což určitě mělo vliv na výsledky měření. Z tohoto důvodu jsem u dotykových měření senzorem získával výsledky a měřil body z různých míst analyzovaných rovin. Průběh měření dotykovým zařízením je zobrazen na Obr. 31) a Obr. 32). Výsledky měření na zařízení Hexagon Absolute At, jsou uvedeny v Tabuce 6).

Pc		NÁZEV DÍLU : Pledh_A_80					červen 11, 2020	15:40	
		ČÍSLO REVIZE :			SÉRIOVÉ ČÍSLO :		POČÍTADLO STATISTIK : 1		
⏪	STUP	ANGL1 - PLN1 K PLN2							
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL			
A	113.000	1.000	-1.000	112.540	-0.460	0.000			
	PRVEK	NÁRAZY	MĚŘ X	Y	Z	VEKTOR I	J	K	ODCH
	PLN1	0	389.181	-32.133	35.135	-0.512	0.015	0.859	61.306
	PLN2	0	335.546	-35.147	46.201	-0.597	0.001	-0.802	48.749
⏪	STUP	ANGL1 - PLN1 K PLN2							
OS	NOMINÁLNÍ	+TOL	-TOL	MĚŘ	ODCH	EXTTOL			
A	113.000	2.000	-2.000	113.439	0.439	0.000			
	PRVEK	NÁRAZY	MĚŘ X	Y	Z	VEKTOR I	J	K	ODCH
	PLN1	0	385.963	-24.705	40.664	-0.505	0.010	0.863	66.706
	PLN2	0	326.752	-30.474	34.212	-0.591	0.003	-0.807	55.362

Obr. 30) Screenshot měřicího protokolu z programu PC-DMIS 2020 R1



Obr. 31) Měření dotykovým měřícím zařízením Hexagon Absolute Arm 8312-6.



Obr. 32) Pracoviště vybavené ramenem Hexagon na FSI²³.

²³ FSI – zkratka pro Fakultu strojního inženýrství na VUT v Brně.

Hexagon Absolute Arm												
	A30	B30	C30	A60	B60	C60	A90	B90	C90	A120	B120	C120
1	21,20	19,91	21,16	52,39	49,47	52,58	83,21	83,58	82,46	112,54	111,25	112,31
2	20,75	20,22	22,68	52,63	48,90	52,34	82,81	82,32	83,22	113,44	110,54	111,96
3	21,17	20,94	21,59	50,80	48,84	52,94	83,00	82,56	82,76	113,68	110,65	113,01
4	21,03	20,43	21,42	51,37	49,33	52,00	82,30	83,25	81,95	113,49	110,75	111,69
5	20,95	19,98	22,13	51,95	48,96	52,25	83,17	82,57	82,24	112,85	110,43	112,55
6	21,19	21,15	22,46	50,97	49,86	52,37	82,62	82,95	83,26	113,54	110,98	113,23
7	20,68	20,65	21,42	52,19	48,52	51,87	82,26	82,65	82,47	113,38	111,16	112,72
8	21,10	20,54	21,89	51,75	49,24	52,42	83,13	83,42	81,79	112,97	110,55	112,23
9	21,03	20,23	22,056	51,37	49,87	52,99	82,55	83,15	82,82	112,52	110,86	113,02
10	20,87	19,85	20,95	52,26	48,65	52,65	83,28	82,95	82,46	113,56	110,12	111,98
Součet	209,98	203,89	217,75	517,66	491,63	524,40	828,32	829,39	825,41	1131,99	1107,29	1124,70
Průměr	21,00	20,39	21,77	51,77	49,16	52,44	82,83	82,94	82,54	113,20	110,73	112,47
Směr. odchylka	0,17	0,42	0,53	0,59	0,45	0,34	0,36	0,39	0,46	0,42	0,33	0,50
Rozptyl	0,03	0,19	0,32	0,38	0,22	0,13	0,15	0,17	0,24	0,19	0,12	0,27
Nejistota typu A	0,06	0,14	0,18	0,20	0,15	0,11	0,12	0,13	0,15	0,14	0,11	0,17
Nejistota typu B	0,004618802											
Kombinovaná nejistota	0,05757261	0,13857361	0,17811476	0,196053349	0,149257585	0,114871624	0,120718907	0,130174071	0,153519398	0,138484271	0,10877441	0,165090753
Rozšířená nejistota	0,11514522	0,27714722	0,35622952	0,392106697	0,29851517	0,229743248	0,241437813	0,260348143	0,307038796	0,276968542	0,21754882	0,330181506
Výsledná hodnota	21±0,12	20,39±0,28	21,77±0,36	51,77±0,39	49,16±0,3	52,44±0,23	82,83±0,24	82,94±0,26	82,54±0,3	113,2±0,28	110,73±0,22	112,47±0,33
Odpružení	9,00	9,61	8,23	8,23	10,84	7,56	7,17	7,06	7,46	6,80	9,27	7,53

Digitální úhloměr MITUTOYO

Ze všech použitých zařízení, ke změření ohybových vlastností jednotlivých vzorků, je digitální úhloměr značky MITUTOYO jednoznačně nejvhodnější volbou ke kontrole velikosti ohybu materiálu při klempířských, pracích a to zejména díky svým rozměrům, rozlišitelnosti a cenové dostupnosti. Práce na úhloměru je uživateli usnadněna díky digitálnímu displeji. Zařízení je vybaveno vodícím ramenem a je možné ho nainstalovat na výškoměry nebo rýsovací stroje. [17]

Tab 7) Vlastnosti digitálního úhloměru MITUTOYO. [17]

<i>Model</i>	MITUTOYO Digmatic 187-551
<i>Délka vodícího ramene (mm)</i>	152
<i>Rozlišitelnost (°)</i>	0,03
<i>Životnost baterie (hod.)</i>	2 000
<i>Displej</i>	LCD
<i>Systém</i>	Metrický, palcový

Na Obr.33) je zobrazeno popisované metrologické zařízení a měření ohybových parametrů vzorků v laboratoři na ČMI. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 8).



Obr. 33) Digitální úhloměr MITUTOYO (vlevo). Měření parametrů ohybu u zkoumaných vzorků (vpravo). [17]

Digitální úhloměr Mitutoyo												
	A30	B30	C30	A60	B60	C60	A90	B90	C90	A120	B120	C120
1	17,83	20,25	20,83	52,00	50,08	49,42	83,17	82,66	79,92	111,25	109,58	113,66
2	19,50	18,83	19,50	52,25	50,25	48,92	80,75	79,92	81,25	112,17	110,50	113,50
3	20,50	19,25	22,25	50,58	48,83	49,08	81,92	82,33	81,33	113,00	112,08	110,92
4	19,58	19,83	19,33	51,50	51,83	49,50	80,33	80,66	80,92	111,75	110,50	112,42
5	21,25	22,25	19,66	51,42	51,08	49,75	82,25	80,50	80,25	110,83	111,50	113,50
6	18,50	20,50	20,50	50,17	51,83	49,25	82,83	81,66	80,33	112,33	110,58	113,50
7	19,66	17,92	18,83	50,42	51,25	49,50	82,83	80,00	81,83	112,75	112,00	112,92
8	20,25	22,08	21,25	51,50	51,08	49,75	81,58	81,92	82,42	110,50	109,92	110,42
9	18,50	20,75	18,83	49,92	50,33	50,50	80,92	81,66	79,83	112,75	112,00	109,92
10	19,83	22,25	20,75	48,50	49,92	51,33	82,83	80,33	81,17	112,92	110,50	114,00
Součet	195,41	203,92	201,74	508,25	506,49	497,00	819,41	811,63	809,24	1120,25	1109,17	1124,74
Průměr	19,54	20,39	20,17	50,82	50,65	49,70	81,94	81,16	80,92	112,02	110,92	112,47
Směr. odhylnka	0,98	1,42	1,07	1,08	0,89	0,68	0,96	0,95	0,80	0,86	0,86	1,42
Rozptyl	1,06	2,23	1,26	1,28	0,88	0,52	1,02	1,00	0,71	0,81	0,83	2,26
Nejistota typu A	0,33	0,47	0,36	0,36	0,30	0,23	0,32	0,32	0,27	0,29	0,29	0,47
Nejistota typu B	0,017320508											
Kombinovaná nejistota	0,325875554	0,472599202	0,355391098	0,35845056	0,29736036	0,22755704	0,31931026	0,3154885	0,26657378	0,285411954	0,287904315	0,474904903
Rozšířená nejistota	0,651751108	0,945198404	0,710782195	0,71690111	0,59472072	0,45511408	0,63862053	0,63097701	0,53314755	0,570823907	0,575808629	0,949809806
Výsledná hodnota	19,54±0,65	20,39±0,95	20,17±0,71	50,82±0,72	50,65±0,59	49,7±0,46	81,94±0,64	81,16±0,63	80,92±0,53	112,02±0,57	110,92±0,58	112,47±0,95
Odpružení	10,46	9,61	9,83	9,18	9,35	10,30	8,06	8,84	9,08	7,98	9,08	7,53

4.3.2 Provedení měření na optickém měřicím zařízení Micro-Vu Excel 4520

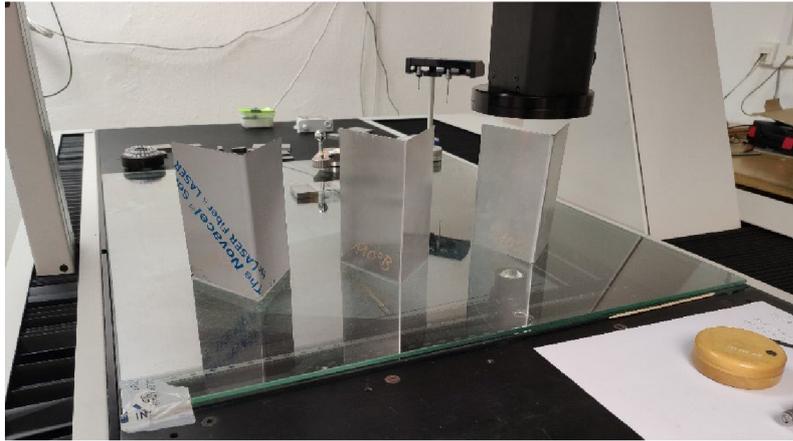
Metrologické zařízení Excel 4520 od společnosti Micro-Vu je využíváno k přesnému a rychlému měření objektů a součástek, díky vyhodnocení a analýze získaného obrazu, který je pořízen pomocí CCD kamery. Na měřicí zařízení mohou být napojeny laserové i dotykové sondy. Vyhodnocení a zobrazení měřicích protokolů je zpracováno v programu *InSpec* (Obr. 37). Měřicí protokol může obsahovat grafické vyobrazení měřené součástky a je exportován do více typů souborů (například do souborů *.pdf* nebo *.txt*). Technické specifikace stroje jsou zobrazeny v *Tabulce 9*). Metrologické optické zařízení Micro-Vu Excel je znázorněno na *Obr. 35*). Postup měření je zdokumentován na *Obr. 36*) a *Obr. 38*). Naměřené údaje jsou vypsány v *Tabulce 10*). [18]

Tab 9) Technické specifikace stroje Excel 4520 od společnosti Micro-Vu. [18]

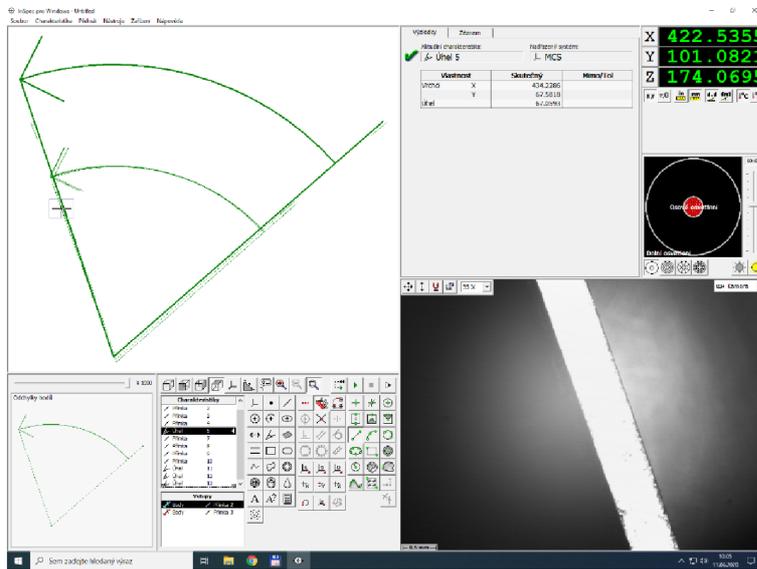
Model		Micro-Vu Excel 4520
Stůl – základ (materiál)		žula
Měřicí rozsah	Osa X (mm)	600
	Osa Y (mm)	600
	Osa Z (mm)	300
Měřicí stupnice		Optika: ZEISS PHOCOSIN, ZERODUR
Rozlišení snímačů (μm)		0,5
Počet snímaných bodů za sekundu		100
Napájení		110-220 V/50 – 60 Hz
Rychlost pojezdů (mm/s)		500
Video zoom		12:1 se zvětšením 0,6x až 7x



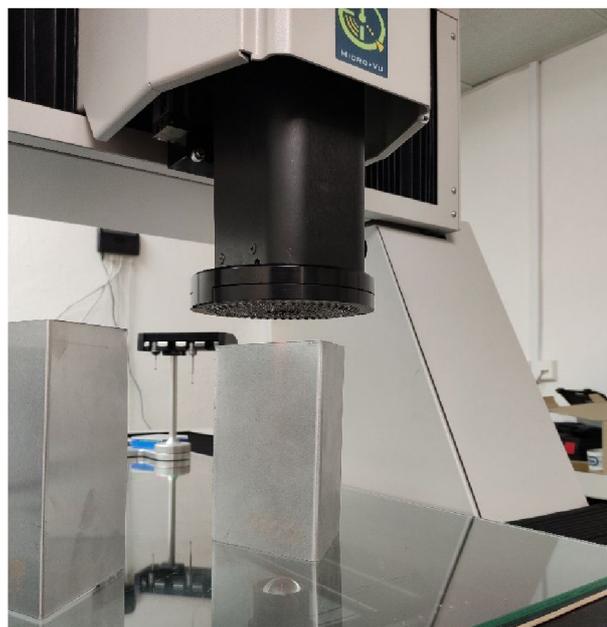
Obr. 35) Optické měřicí zařízení Micro-Vu Excel 4520 na pracovišti ČMI.



Obr. 36) Měření vzorků optickým metrologickým zařízením.



Obr. 37) Screenshot měření z programu InSpec.



Obr. 38) Optické měření přístrojem Micro-Vu Excel.

CMM MicroVu Excel 4520												
	A30	B30	C30	A60	B60	C60	A90	B90	C90	A120	B120	C120
1	17,83	19,25	18,92	51,00	50,08	49,08	77,83	80,00	79,33	102,75	108,00	103,92
2	19,50	18,83	19,50	52,25	50,25	48,92	82,83	79,83	80,00	108,50	109,92	106,42
3	17,83	19,25	17,25	50,58	48,83	49,08	77,83	80,17	77,58	110,75	106,17	107,92
4	19,83	19,83	18,50	51,50	51,08	49,75	79,58	77,75	77,83	102,92	104,50	104,00
5	18,50	20,25	19,83	49,92	50,33	50,50	76,83	80,66	76,42	109,17	105,50	106,50
6	18,66	20,50	16,50	51,50	51,83	49,50	77,25	80,92	80,33	105,42	105,17	104,92
7	19,50	17,92	18,83	52,25	50,25	48,92	78,83	77,75	78,33	107,17	107,50	103,50
8	20,25	18,25	17,25	50,58	48,83	49,08	80,33	80,00	77,92	110,00	106,08	110,00
9	18,50	19,75	18,83	51,50	51,83	49,50	79,83	75,92	80,25	108,92	109,66	105,58
10	19,83	20,25	16,75	50,50	50,58	47,83	76,83	79,66	76,17	107,75	111,00	107,92
Součet	190,24	194,08	182,17	511,58	503,91	492,16	787,99	792,65	784,15	1073,33	1073,49	1060,66
Průměr	19,02	19,41	18,22	51,16	50,39	49,22	78,80	79,27	78,42	107,33	107,35	106,07
Směr. odhylnka	0,82	0,83	1,12	0,73	0,98	0,65	1,80	1,51	1,44	2,65	2,12	1,99
Rozptyl	0,75	0,76	1,40	0,60	1,07	0,47	3,59	2,54	2,30	7,82	5,00	4,41
Nejistota typu A	0,27	0,28	0,37	0,24	0,33	0,22	0,60	0,50	0,48	0,88	0,71	0,66
Nejistota typu B	0,002886751											
Kombinovaná nejistota	0,274561258	0,275994396	0,373504433	0,244893664	0,327745343	0,217073423	0,599055816	0,503862601	0,47987353	0,884476556	0,707184943	0,663854168
Rozšířená nejistota	0,549122516	0,551988792	0,747008865	0,489787328	0,655490686	0,434146847	1,198111633	1,007725203	0,959747059	1,768953112	1,414369886	1,327708336
Výsledná hodnota	19,02±0,55	19,41±0,55	18,22±0,75	51,16±0,49	50,39±0,66	49,22±0,43	78,80±1,20	79,27±1	78,42±0,96	107,33±1,77	107,35±1,41	16,07±1,33
Odpružení	10,98	10,59	11,78	8,84	9,61	10,78	11,20	10,73	11,58	12,67	12,65	13,93

3D skener Atlascan

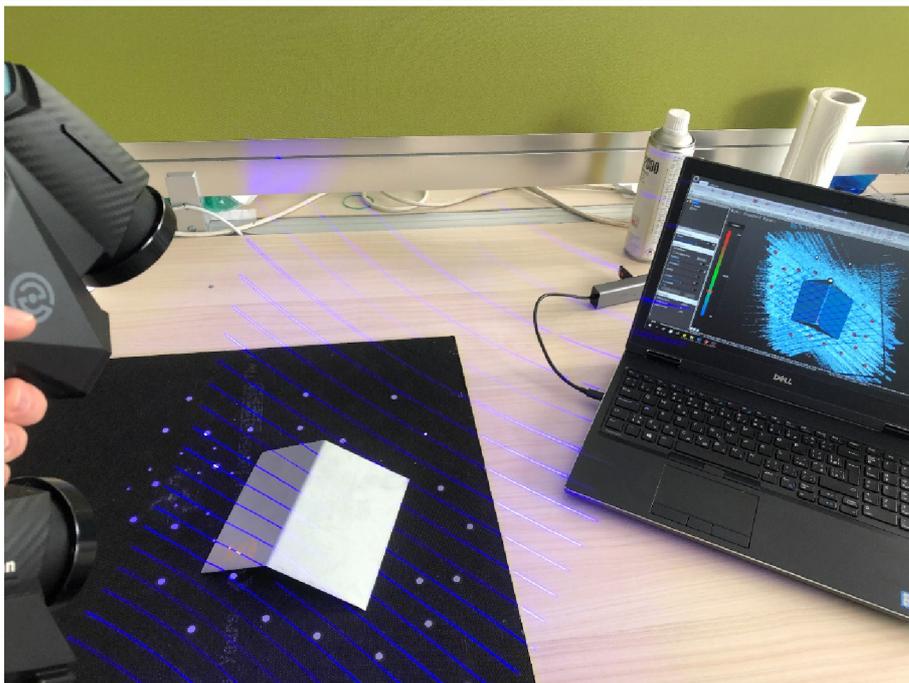
Optické 3D měřicí zařízení Atlascan (*Obr. 39*) je skener nejvyšší úrovně, určený především pro metrologii. Schopnost skenování součástky, bez ohledu na změnu prostředí a vibrací, dělá ze stroje vhodné metrologické zařízení i v místech, kde nejsou stálé a plně příznivé podmínky měření. Pohodlí a komfort při skenování je poskytováno skvělým ergonomickým designem přístroje. Vlastnosti přístroje jsou vypsány v *Tabulce 11*). Na *Obr. 40*) a *Obr. 41*) je zdokumentován postup měření. Výsledky samotného měření jsou uvedeny v *Tabulce 12*). [19]

<i>Model</i>	Atlascan Standart Mode
<i>Oblast skenování (mm)</i>	500 x 550
<i>Laser</i>	Třída 2
<i>Rozlišení (mm)</i>	0,02
<i>Počet snímaných bodů za sekundu</i>	100
<i>Napájení</i>	110-220 V/50 – 60 Hz
<i>Rychlost pojezdů (mm/s)</i>	500
<i>Video zoom</i>	12:1 se zvětšením 0,6x až 7x

Tab 11) Vlastnosti 3D skeneru Atlascan. [19]



Obr. 39) 3D skener Atlascan. [19]



Obr. 40) Měření vzorků ručním 3D skenerem.



Obr. 41) Skenování plechu optickým zařízením.

Atlascan 3D skener													
	A30	B30	C30	A60	B60	C60	A90	B90	C90	A120	B120	C120	
1	21,42	21,44	21,13	51,66	49,47	51,95	82,48	83,16	81,98	112,87	110,88	112,28	
2	21,95	21,98	20,85	51,48	49,96	51,42	82,44	82,96	81,23	112,45	110,62	112,89	
3	21,56	20,96	20,96	50,96	50,23	52,33	82,95	83,46	82,42	113,23	110,32	111,95	
4	20,95	21,48	21,35	51,55	50,65	52,89	81,85	82,48	82,24	113,02	111,46	113,00	
5	21,23	21,23	21,21	51,37	50,31	52,00	82,12	83,22	80,92	112,75	111,00	112,88	
6	21,54	21,55	21,70	51,88	49,63	51,95	82,63	82,41	81,46	113,26	110,52	112,47	
7	22,03	21,35	20,81	51,36	49,25	52,86	83,23	82,22	81,99	112,20	110,99	112,22	
8	21,74	20,94	21,09	50,90	49,65	52,37	81,95	83,32	82,33	112,37	110,13	112,65	
9	20,85	21,04	20,74	50,94	50,02	52,15	82,65	83,42	82,03	113,24	110,56	113,16	
10	21,74	21,12	20,46	51,24	49,72	51,70	83,16	82,46	82,56	112,95	110,85	112,73	
Součet	215,00	213,09	210,29	513,34	498,89	521,61	825,44	829,11	819,17	1128,33	1107,33	1126,22	
Průměr	21,50	21,31	21,03	51,33	49,89	52,16	82,54	82,91	81,92	112,83	110,73	112,62	
Směr. odhylka	0,38	0,30	0,33	0,31	0,40	0,44	0,45	0,45	0,51	0,36	0,36	0,37	
Rozptyl	0,16	0,10	0,12	0,11	0,18	0,22	0,23	0,22	0,29	0,15	0,15	0,15	
Nejistota typu A	0,13	0,10	0,11	0,10	0,13	0,15	0,15	0,15	0,17	0,12	0,12	0,12	
Nejistota typu B	0,005773503												
Kombinovaná nejistota	0,125562331	0,10140765	0,110108477	0,103169677	0,134935063	0,148183179	0,151390991	0,14910554	0,17106133	0,121426776	0,121127981	0,122200546	
Rozšířená nejistota	0,251124661	0,20281531	0,220216954	0,206339354	0,269870125	0,296366357	0,302781982	0,29821108	0,34212266	0,242853553	0,242255962	0,244401091	
Výsledná hodnota	21,5±0,25	21,31±0,2	21,03±0,22	51,33±0,2	48,89±0,27	52,16±0,3	82,54±0,3	82,91±0,3	81,92±0,34	112,83±0,24	110,73±0,24	112,62±0,24	
Odpružení	8,50	8,69	8,97	8,67	10,11	7,84	7,46	7,09	8,08	7,17	9,27	7,38	

4.4. POROVNÁNÍ A VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ

Každý z dvanácti vzorků byl analyzován a změřen na pěti různých zařízeních, z toho byla tři zařízení dotyková a dvě optická. Výsledky každého měření byly zaznamenány a následně vloženy do programu Microsoft Excel. V programu byly za využití vzorců spočítány základní charakteristiky měření, jako *součet*, *průměr*, *směrodatná odchylka*, *rozptyl*, *standardní nejistota typu A*, *standardní nejistota typu B*, *kombinovaná nejistota* a *rozšířená nejistota*. Z vypočítaných hodnot byly následně stanoveny konečné výsledky velikosti ohybu pro jednotlivé vzorky ohýbaných plechů a pro použité metrologické zařízení.

Každý vzorek byl změřen desetkrát na všech použitých metrologických přístrojích. Prvně byl vypočítán součet naměřených hodnot a následně spočítán aritmetický průměr a rozptyl získaných výsledků. Pokud jsou v praxi odečítány hodnoty ze zařízení s dostatečným rozlišením a měřená hodnota je neměnná, tak se zkoumaná veličina mění a je získán rozptyl měřených hodnot. Za předpokladu, že měřená veličina zkoumaného objektu zůstává neměnná, jsou zaručeny stálé podmínky okolí a počet naměřených hodnot parametru je větší než deset ($n \geq 10$), tak je počítána standardní nejistota typu A podle rovnice (1), kde se vypočtená hodnota nejistoty typu A rovná směrodatné odchylce výběrových průměrů. [20]

$$u_A(x) = s_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Dále byla spočítána standardní nejistota typu B, která byla určena z maximální odchylky zdroje nejistoty z_{max} (použitého metrologického zařízení). Výpočet nejistoty typu B byl určen podle vztahu (2), kde $k = \sqrt{3}$ (rovnoměrné rozdělení). [20]

$$u_B(z) = \frac{z_{max}}{k} \quad (2)$$

Po získání hodnot u_A a u_B byla ze vztahu (3) stanovena hodnota standardní kombinované nejistoty u_c . [21]

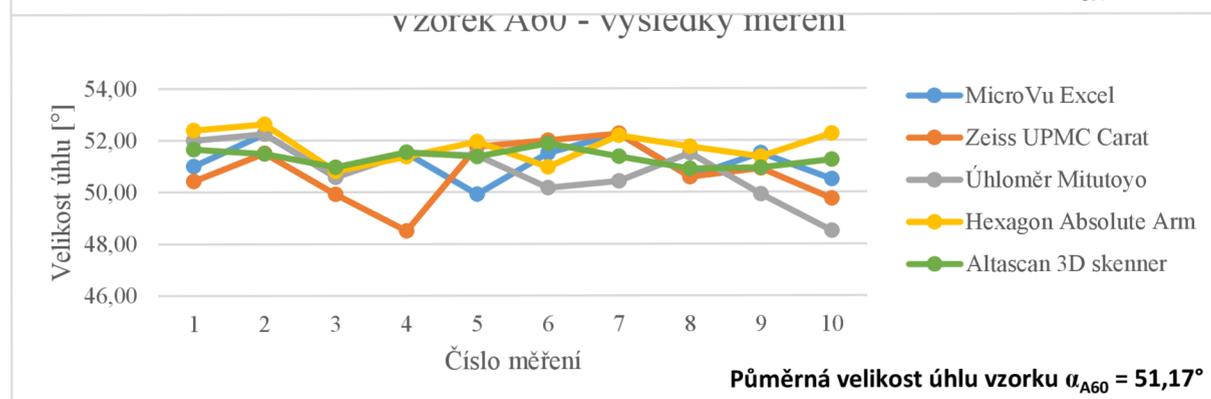
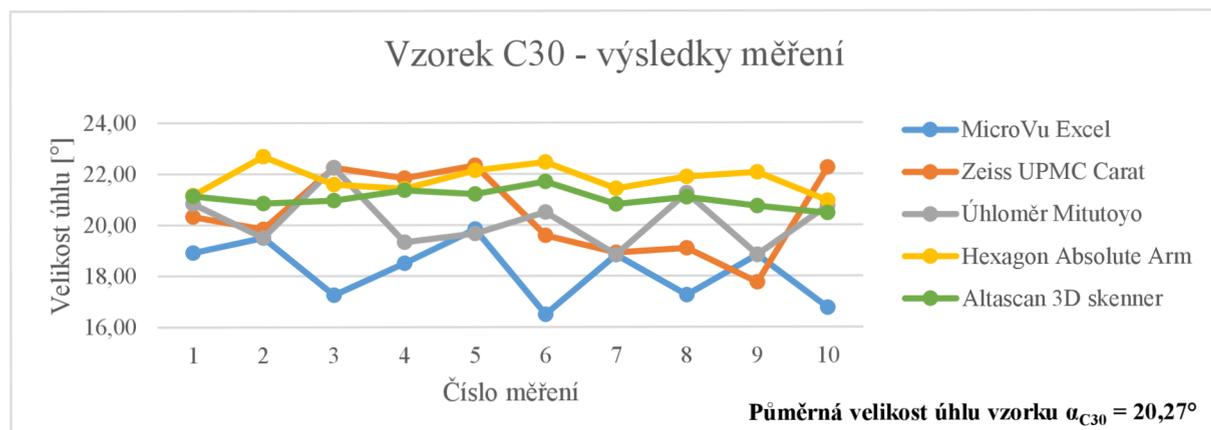
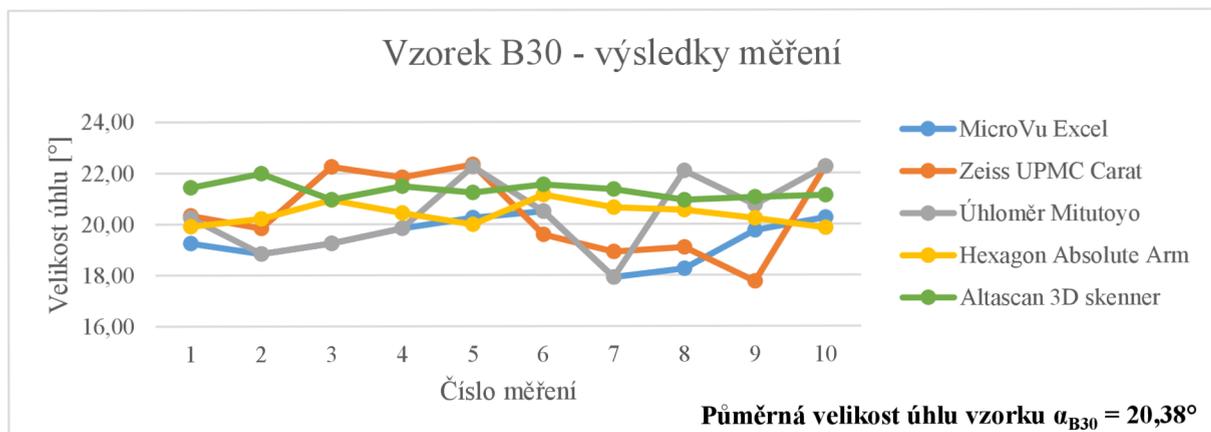
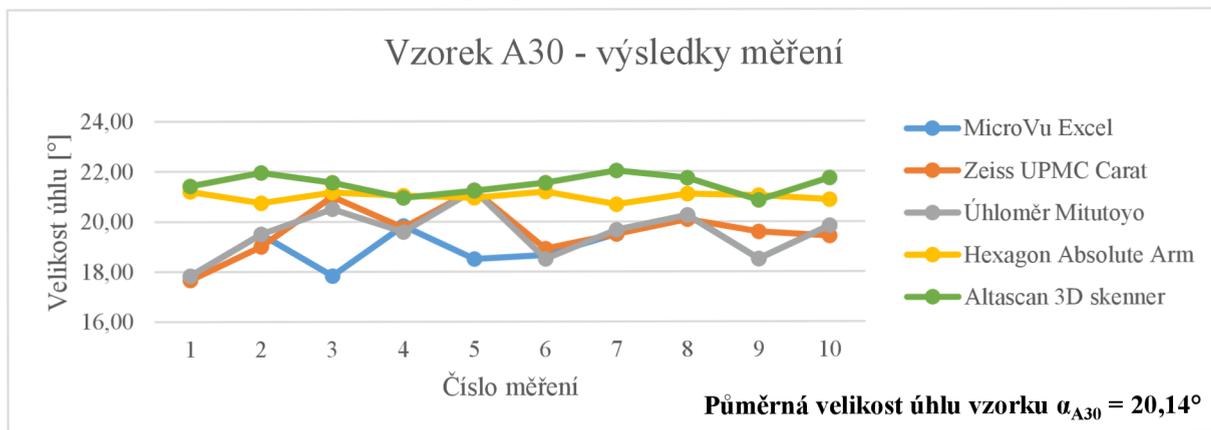
$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)} \quad (3)$$

Následně byla spočítána rozšířená nejistota měření U ze vztahu (4), kde hodnota $k = 2$ (pravděpodobnostní pokrytí 95%). [21]

$$U = k \times u_c \quad (4)$$

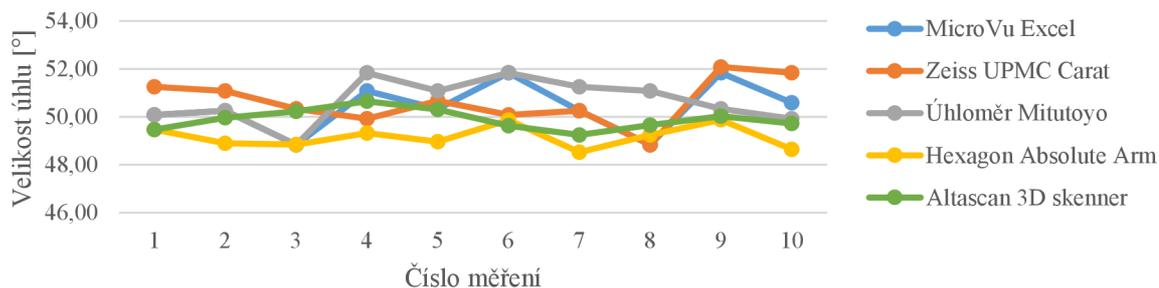
Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 6,8,9,10 a 12.

Po spočítání potřebných údajů z měření byly zjištěné hodnoty jednotlivých vzorků vyneseny do grafů prostřednictvím programu Microsoft Excel.



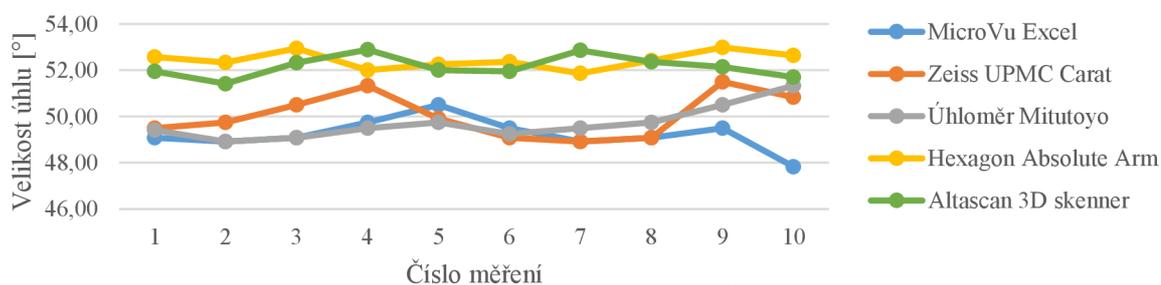


Vzorek B60 - výsledky měření



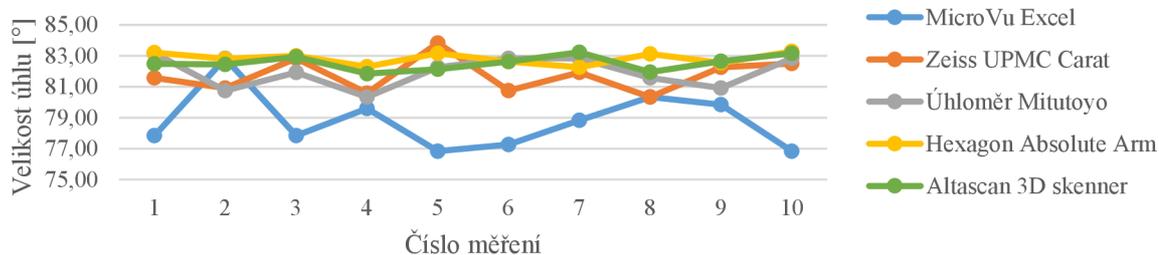
Přůmerná velikost úhlu vzorku $\alpha_{B60} = 50,14^\circ$

Vzorek C60 - výsledky měření



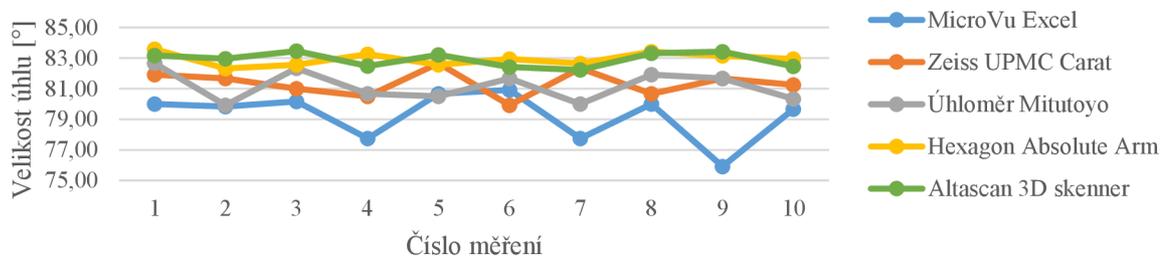
Přůmerná velikost úhlu vzorku $\alpha_{C60} = 50,71^\circ$

Vzorek A90 - výsledky měření

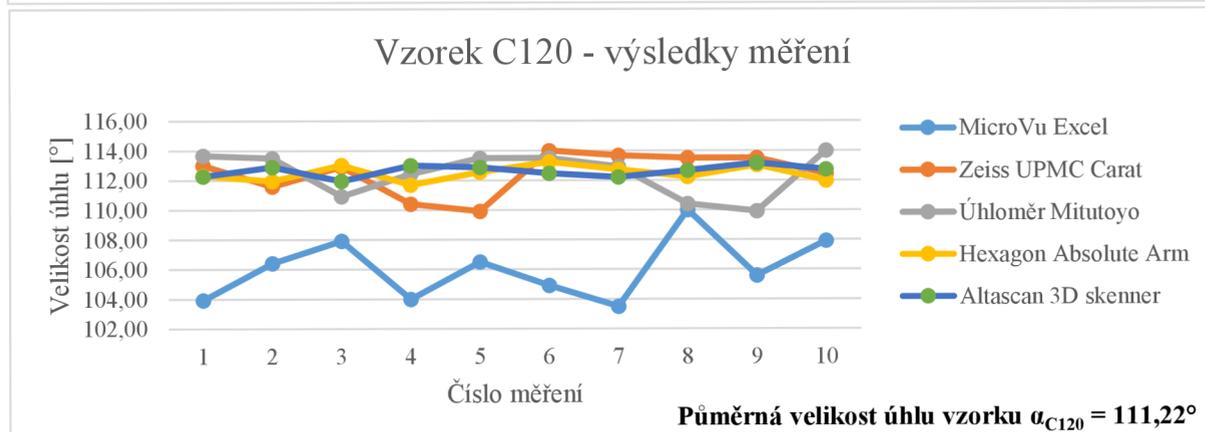
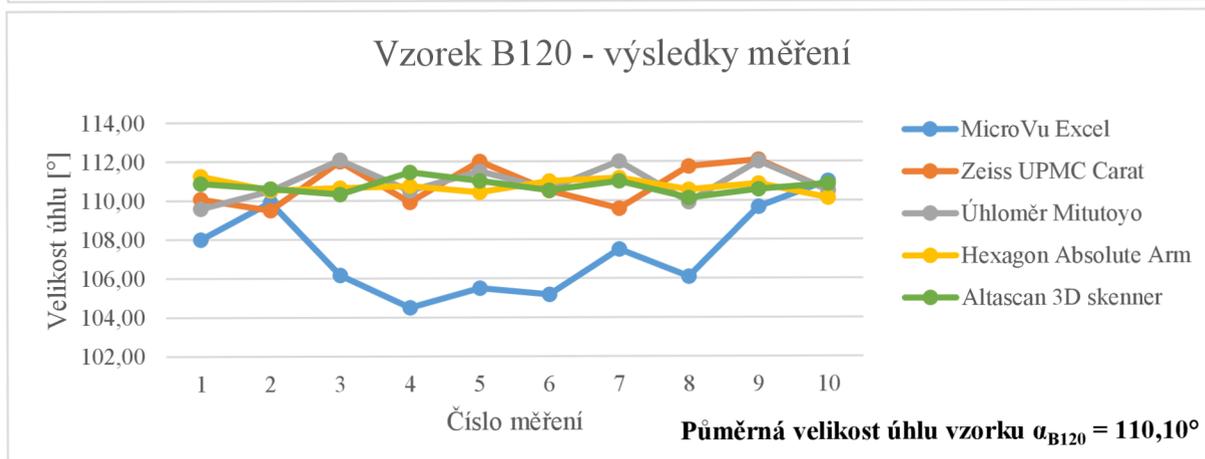
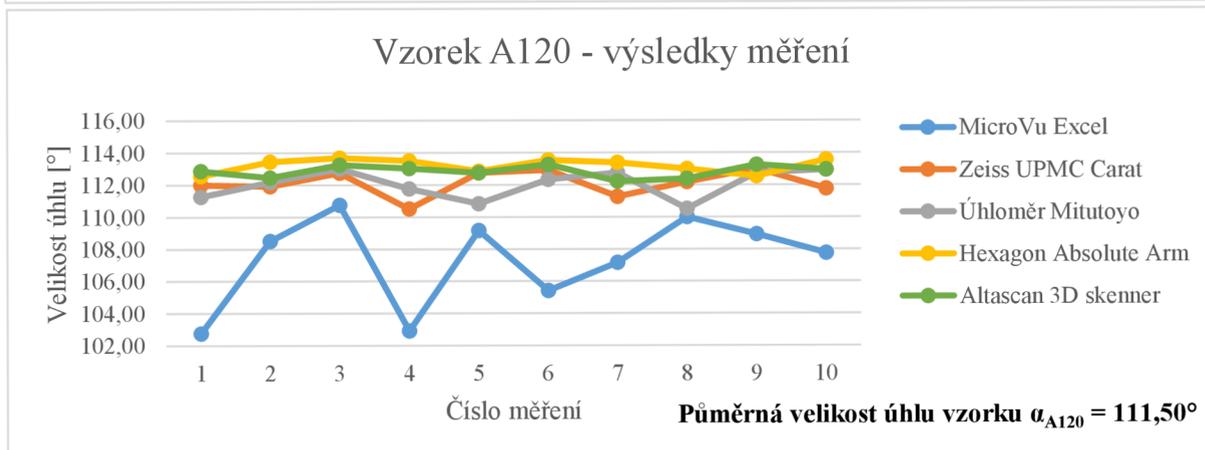
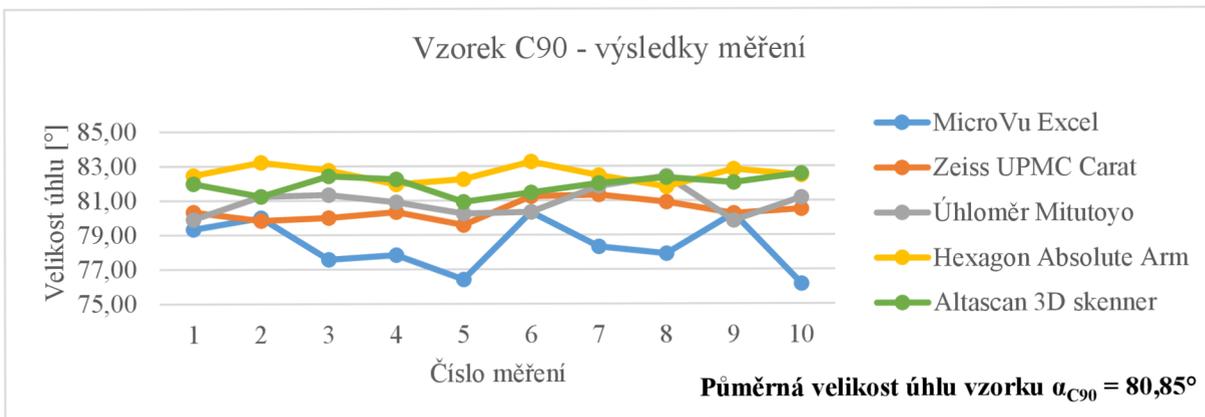


Přůmerná velikost úhlu vzorku $\alpha_{A90} = 81,57^\circ$

Vzorek B90 - výsledky měření



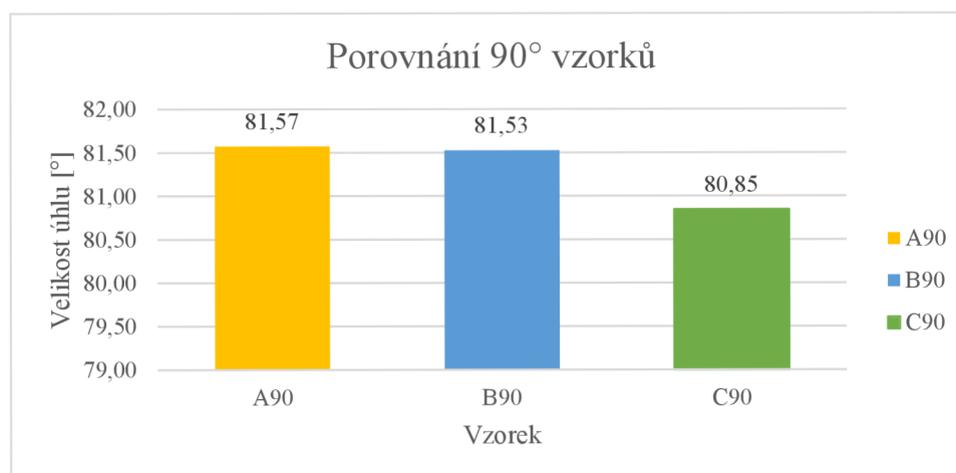
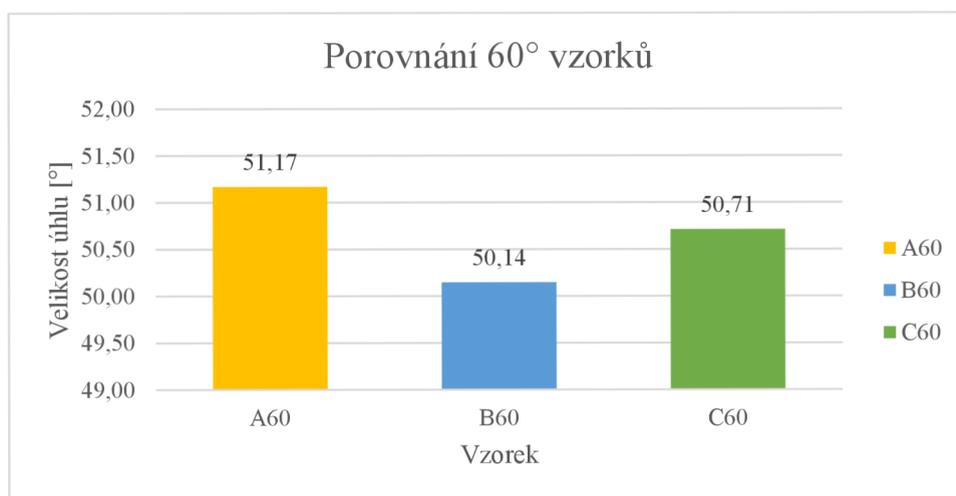
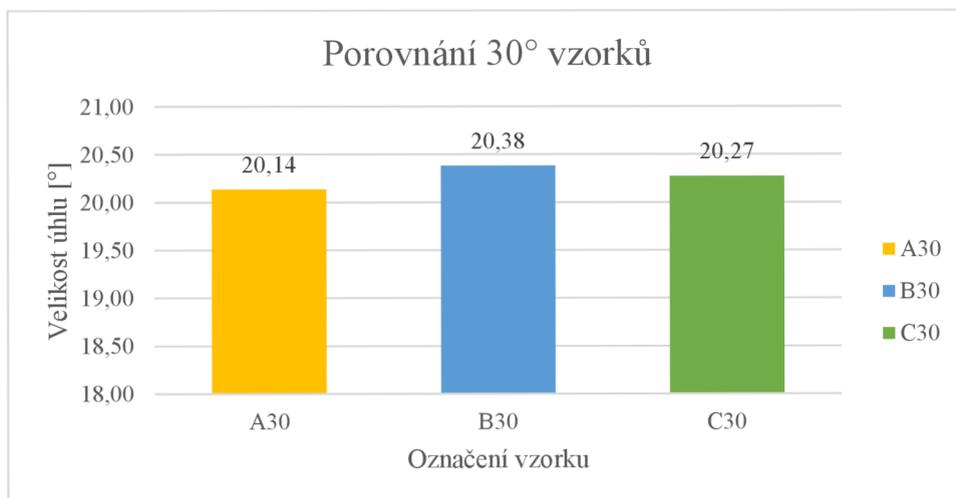
Přůmerná velikost úhlu vzorku $\alpha_{B90} = 81,53^\circ$

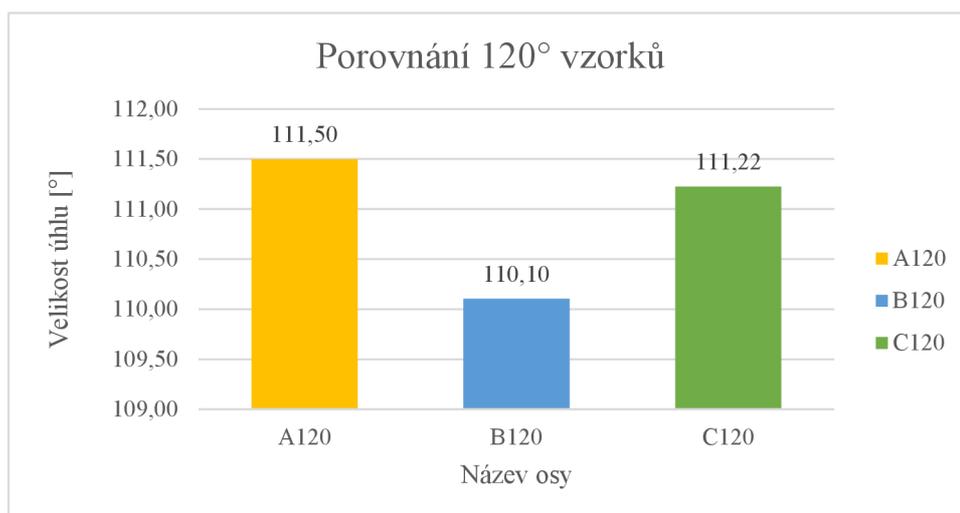


Obr. 42) Grafy naměřených hodnot a průměrná velikost úhlu α_i měřených vzorků.

Z grafů vynesných na Obr. 42) lze vyčíst, že u měření vzorků o velikosti úhlu 120°, pomocí optického metrologického zařízení Micro-Vu Excel, je značný rozdíl, oproti hodnotám velikostí úhlů, jenž byly měřeny zbylými zařízeními. Je to zřejmě kvůli komplikacím při zobrazení a měření úhlu vybraným přístrojem Micro-Vu Excel a díky komplikovanému uchycení hodnocených vzorků.

Porovnání velikosti úhlu ohybu u vzorků různých materiálů je znázorněno v grafech na Obr. 46).



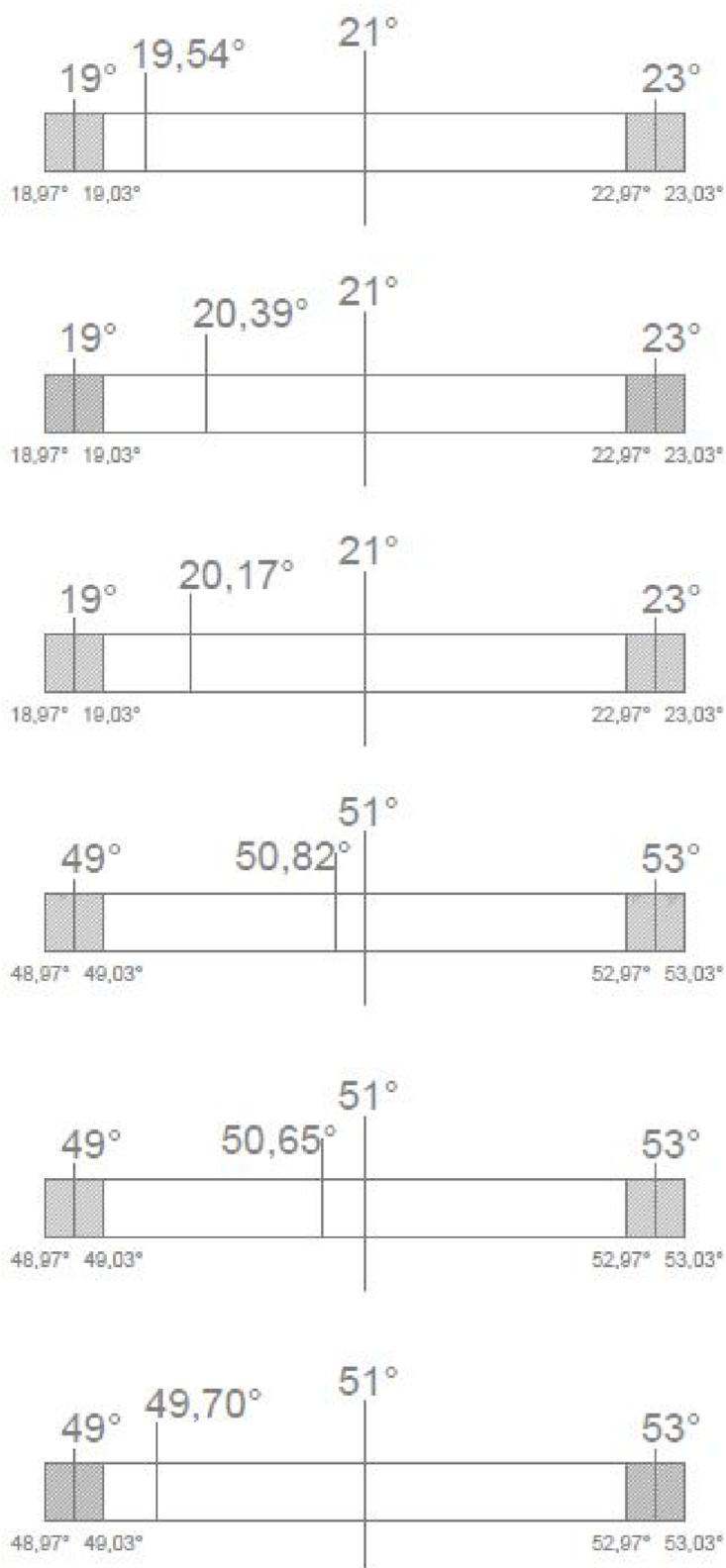


Obr. 43) Porovnání výsledků velikosti ohybu u vzorků vyrobených z navzájem odlišného materiálu.

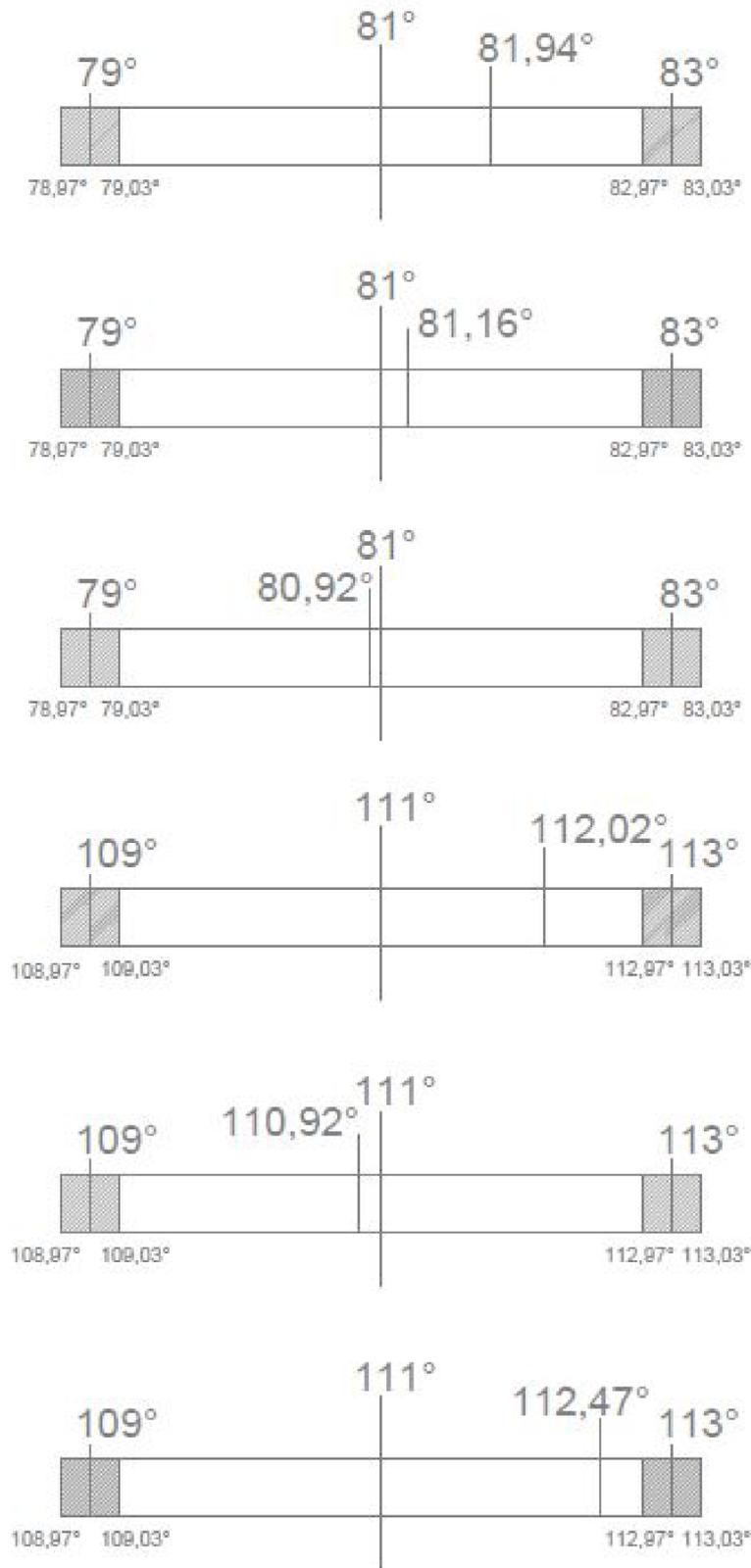
Výrobce ohýbaček Van Mark je udáváno, že se velikost úhlu může lišit od velikosti udávané na úhломěru²⁴ o hodnotu $\pm 2^\circ$. Na velikost ohybu má vliv několik faktorů, jako například vlastnosti ohýbaného vzorku (rozměry a materiál), stav ohýbacích čelistí nebo upnutí plechu. [5]

Z použitých metrologických zařízení je pro použití do praxe nejvhodnější dotykové měřidlo MITUTOYO Digmatic 187-551. Kvůli vlastnostem jako jsou rozměry, rychlost měření, dostatečné rozlišení měřidla a cenová dostupnost je nejvhodnější volbou pro použití na kontrolu velikosti ohybu do klempířské praxe. Aby bylo zjištěno, zdali je zařízení vhodné a dostatečně přesné, byla vypracována pole shody pro každý měřený vzorek (Obr. 44) a Obr. 45)). Výrobce digitálního úhломěru MITUTOYO je udáváno, že *maximální povolená chyba zařízení* = $0,03^\circ$. Další využitá měřicí zařízení byla označena za nevhodná pro využití při klempířských pracích zejména z důvodů rozměrů stroje, složitosti používání a vysokým pořizovacím nákladům. Druhým nejvhodnějším zařízením ke kontrole ohybových vlastností je 3D skener Atlascan, který pro použití v praxi taky není označen za vhodný, a to zejména kvůli vyšším pořizovacím nákladům a nutnosti připojení k počítači. Vysoká rozlišitelnost zařízení je při klempířských pracích považována za nadstandartní a většina uživatelů klempířských ohýbaček ji nedokáže dostatečně využít. Protože je digitální úhломěr pravděpodobně nejpoužitelnějším zařízením na kontrolu velikosti ohybu v praxi, tak pro toto zařízení a měřené vzorky byla vypracována pole shody, která jsou znázorněna na Obr. 44) a Obr. 45). [23], [24]

²⁴ Na úhломěru je zobrazena stupnice po pěti stupních. Pokud vezmeme v úvahu, že velikost úhlu je kontrolována uživatelem ohýbačky pouze pohledem a uživatel se v průběhu kontroly velikosti ohybu soustředí i na pracovní postup ohýbání, tak můžeme říct, že velikost úhlu je určována v jednotkách stupňů a přesnější stanovení výsledné velikosti ohybu není pro klempíře podstatné.



Obr. 44) Pole shody pro vzorky se jmenovitou hodnotou $\alpha = 21^\circ$ (před odpružením 30°) a jmenovitou hodnotou $\alpha = 51^\circ$ (před odpružením 60°).



Obr. 45) Pole shody pro vzorky se jmenovitou hodnotou $\alpha = 81^\circ$ (před odpružením 90°) a jmenovitou hodnotou $\alpha = 111^\circ$ (před odpružením 120°).

V posledním kroku této kapitoly je stanovena průměrná velikost odpružení plechu β . Aby byla vypočtená hodnota co nejnižší, byly zvoleny tři různé materiály plechových pásů, které jsou vyhodnoceny pěti různými měřidly.

Průměrná velikost odpružení β byla vypočtena jako aritmetický průměr velikosti odpružení zkoumaných vzorků. Průměrné hodnoty odpružení daných vzorků a výsledné odpružení jsou uvedeny v *Tab. 13*).

Tab 13) Průměrné hodnoty odpružení ohýbaných plechů.

Vzorek	Odpružení vzorků [°]	Odpružení skupiny vzorků [°]	Prům. hodnota odpružení [°]
A30	9,86	9,74	9,20
B30	9,62		
C30	9,73		
A60	8,83	9,33	
B60	9,86		
C60	9,29		
A90	8,43	8,68	
B90	8,47		
C90	9,15		
A120	8,50	9,06	
B120	9,90		
C120	8,78		

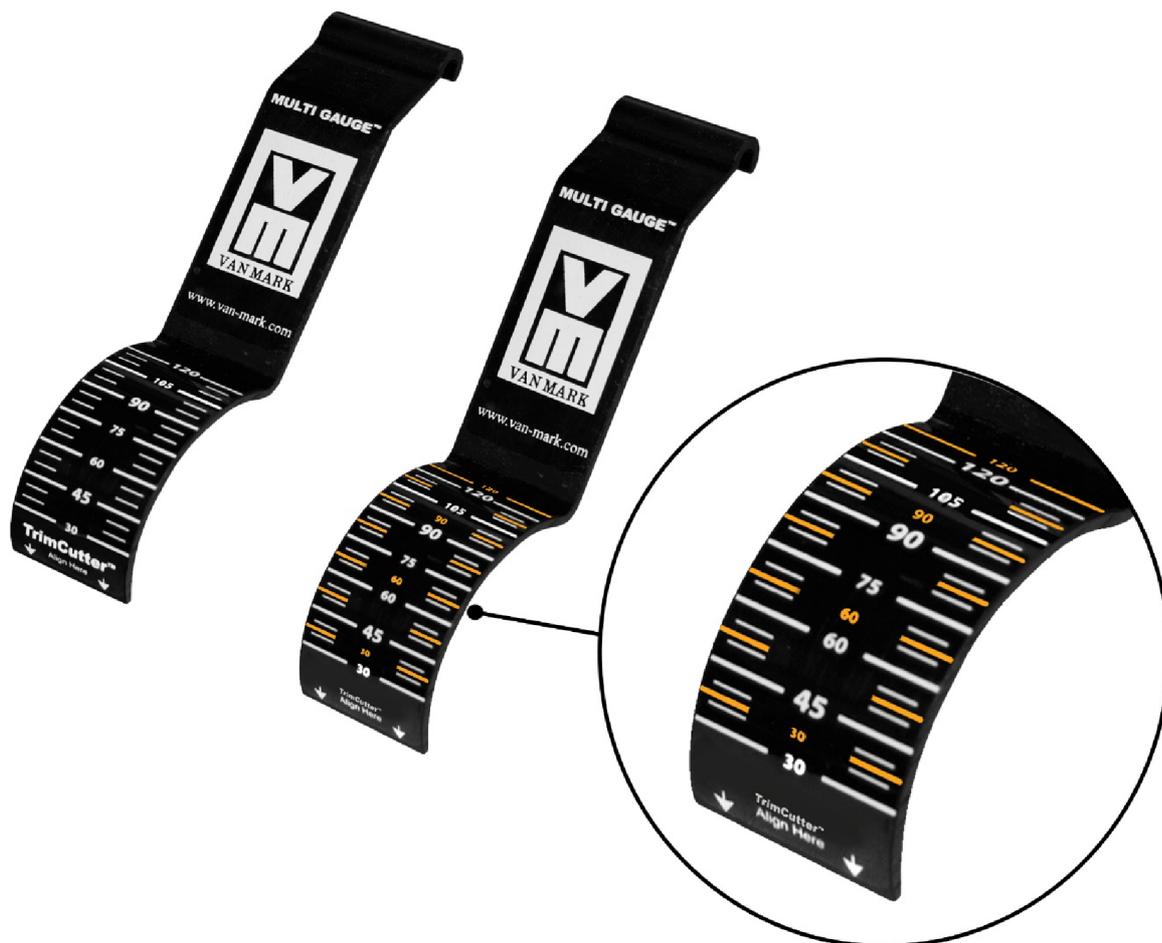
Průměrná hodnota odpružení při ohybu plechů na klempířských ohýbačkách Van Mark je $\beta = 9,20^\circ = 9^\circ 12'$. Tato hodnota je brána jako nosná při návrhu nového typu úhloměru a doporučení pro praxi při ohýbání plechů na klempířských ohýbačkách Van Mark.

4.5. DOPORUČENÍ PRO PRAXI PŘI MĚŘENÍ OHYBU NA KLEMPÍŘSKÝCH OHÝBAČKÁCH

Z naměřených hodnot je vypočtena průměrná hodnota odpružení pro typy plechů používaných při klempířské praxi (viz. Tab. 13)). Uživatelé klempířských ohýbaček Van Mark by tedy měli mít při ohýbání plechu na paměti velikost zpětného odpružení plechu, zhruba o úhel velikosti $\beta = 9,2^\circ$. Uživatelům by byla usnadněna práce zkrácením pracovního času, který byl doposud prodlužován opakovaným ohýbáním. Tento ani podobný druh informace doposud nebyl zákazníkům poskytován a je vhodné tuto informaci předat výrobci.

Z důvodu inovace produktů a odlišení se od konkurence na tuzemském a evropském trhu byla navržena nová podoba klempířských úhломěrů. Tento design bude představen a navržen výrobcí Van Mark na jedné z pravidelných konferencí.

Oranžovou²⁵ barvou je znázorněna pozice, na kterou by měl být plech ohnut (před uvolněním ohýbací čelisti), aby výsledná hodnota ohybu plechu co nejvíce korespondovala s požadovanou hodnotou úhlu. Při návrhu nové stupnice byla brána v úvahu hodnota následného odpružení β .



Obr. 46) Původní úhломěr (vlevo) a návrh nového úhломěru (vpravo) ke klempířským ohýbačkám Van Mark.

²⁵ Pro návrh byla použita barva RAL 2005.

5. ZÁVĚR

V úvodní kapitole diplomové práce jsou popsány a rozděleny ohýbačky plechů v závislosti na svém mechanismu použití. Podstatná část této kapitoly je věnována ručním ohýbačkám, kde je charakterizována klempířská ohýbačka Van Mark Industrial Metal Master, která je následně využívána v praktické části při ohýbání plechových vzorků. Dále jsou v teoretické části diplomové práce uvedeny procesy a technologie, jež jsou využívány při plošném tváření materiálu. Tyto procesy jsou rozděleny na stříhání, ohýbání a tažení, kde každá z uvedených technologií je dále členěna do dílčích podskupin, které jsou vždy stručně vysvětleny.

Stěžejní je pak praktická část diplomové práce, v níž jsou rozebrány a řešeny jednotlivé cíle, které mi byly zadány vedoucím práce. Prvním cílem diplomové práce bylo analyzovat současný stav v oblasti měření ohybů na klempířských ohýbačkách. Na základě odpovědí od zákazníků, kterým je každoročně zasílán dotazník spokojenosti, byl vytvořen graf (*Obr. 15*), z něhož je patrné, že by zhruba deset procent dotázaných zákazníků ocenilo inovaci dodávaného příslušenství. Nejvíce prodávaným příslušenstvím k ohýbačkám Van Mark je úhloměr Multi Gauge, na kterém uživatelé stroje měří a posuzují velikosti prováděných ohybů.

Dalším cílem práce je provedení ohybů u vybraných vzorků plechu v rozsahu 30°, 60°, 90° a 120°. Tento cíl byl v práci rozložen do tří po sobě jdoucích etap. V prvním kroku byly zakoupeny tři typy plechových tabulí (pohlinikovaný, pozinkovaný a nerezový plech), které jsou dodávány v rozměrech 2000 × 1000 mm. Tyto tabule byly následně nařezány na menší plechy řezačkou Trim Cutter, jež je prodávána jako příslušenství k ohýbačkám Van Mark. Z každého typu plechu byly odděleny čtyři stejně velké vzorky, které byly následně ohýbány na ohýbačce v rozsahu 30°, 60°, 90° a 120°. Příprava i ohyb jednotlivých vzorků byly zdokumentovány (*Obr. 18*) – *Obr. 26*). Na snímcích je dobře viditelný vliv odpružení plechu, jež byl následně v diplomové práci analyzován.

Naohýbané vzorky byly dále přemístěny do laboratoří, kde byly měřeny na pěti různých metrologických zařízeních dvou typů – dotykovém a optickém. K měření dotykem bylo využito tři strojů, konkrétně UPMC Zeiss Carat, Hexagon Arm a digitální úhloměr Mitutoyo. Optické měření bylo realizováno na stroji Micro-Vu Excel a 3D skeneru Atlascan. Z těchto zařízení by kontrola ohybu v klempířské praxi byla nejnárodněji realizována digitálním úhloměrem Mitutoyo.

Naměřené hodnoty byly následně převedeny do programu Microsoft Excel, v němž byly pro každý vzorek a příslušné měřicí zařízení vypočítány základní metrologické charakteristiky, jež jsou vypočteny v tabulkách (*Tab. 5*), (*6*), (*8*), (*10*) a (*12*)). Výsledky měření byly pro lepší porovnání vyneseny do grafů. Hodnoty jednotlivých vzorků, které byly zjištěny digitálním úhloměrem Mitutoyo byly zakresleny do odpovídajících polí shody, jež potvrdily, že využití metrologické zařízení je vyhovující pro analýzu velikosti ohybu v klempířské praxi.

Posledním cílem této diplomové práce je doporučení pro praxi. Z naměřených hodnot bylo zjištěno, že je průměrná velikost odpružení $\beta = 9^{\circ}12'$. Na základě této hodnoty byl navržen nový vzhled a stupnice pro úhloměr, který uživatelům klempířských ohýbaček usnadní a zefektivní práci na stroji. Návrh úhloměru bude společně s naměřenými výsledky prezentován výrobcí, čímž si naše firma upevní své postavení u výrobce Van Mark, který využije informace

uvedené v diplomové práci k inovaci nového příslušenství. Uvedením nových typů úhloměřů by naše společnost získala nespornou konkurenční výhodu na tuzemském a evropském trhu.

6. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Brno: CERM, 2001. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2032-4.
- [2] 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.
- [3] MACHÁČEK, Zdeněk a Karel NOVOTNÝ. Speciální technologie I: plošné a objemové tváření. Brno: Vysoké učení technické, 1986
- [4] BENSON, Steve D. Press Brake Technology. USA: Society of Manufacturing Engineers, 1996. ISBN 9780872634831.
- [5] Van Mark Products corp. Van Mark [online]. USA [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://www.VanMark.com/index.shtml>
- [6] Sheet Metal Handbook. USA: HPBooks, 1989. ISBN 0-89586-757-5
- [7] TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE, ODBOR TVÁŘENÍ KOVŮ A PLASTŮ [online]. Brno, 2006 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
- [8] TECHNOLOGIE II. Technická univerzita Liberec: Katedra tváření kovů a plastů [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2020-04-22]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [9] DILLINGER, Josef. Moderní strojírenství: pro školu a praxi. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
- [10] Metal forming handbook. Berlin: Springer, 1998. ISBN 3-540-61185-1
- [11] COTELL, C. M., SPRAGUE, J. A., SMIDT F. A., ASM Handbook: Volume 5: Surface engineering, ASM International, 1996. 1039 s. ISBN 0-87170-384-X.
- [12] MOHYLA, M. Technologie povrchových úprav kovů. 1. vyd. Ostrava: VŠB, 1995, 151 s. ISBN 80-707-8267-6.
- [13] ALUCOM.cz: Hliníkové slitiny [online]. Praha, 2018 [cit. 2020-05-13].
- [14] BANABIC, Dorel, ed. Multiscale Modelling In Sheet Metal Forming. Švýcarsko: Springer International Publishing, 2016. ISBN 978-3-319-44068-2.
- [15] UPMC: Product list [online]. 2016, s. 2-7 [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.hi-top.com.tw/TSK/UPMC.pdf>
- [16] HEXAGON: Přenosná měřicí ramena [online]. [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.hexagonmi.com/>
- [17] MITUTOYO: Mitutoyo shop. Mitutoyo [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://1url.cz/ezalj>
- [18] Micro-Vu: Precision Measurement Equipment. Micro-Vu [online]. [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://www.microvu.com/products/excel.html>

- [19] Atlascan: 3D skener. In: *CATI 3D* [online]. 2019 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://cati3d.vn/3d-scanner/atlascan/>
- [20] EA 4/02 Vyjadřování nejistot měření při kalibracích (Expressions of The Uncertainty of Measurement in Calibration).
- [21] Šrámek J.: Nejistoty přesných délkových měření II, Diplomová práce, VUT – FSI Brno 2011; vedoucí práce Ing. Petr Koška, Ph.D.
- [22] KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: statistika a pravděpodobnost. 3., dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3380-9.
- [23] ČSN EN ISO 9001. Systém managementu kvality: Požadavky. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016, 48 s. Třídící znak 010321.
- [24] ČSN EN ISO 14253-1. Geometrické specifikace produktu (GPS) - Zkouška obrobků a měřidel měřením: Část 1: Pravidla rozhodování pro prokázání shody nebo neshody se specifikacemi. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 36 s. Třídící znak 014100.

7. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Seznam obrázků

Obr. 1) Ohýbačka Van Mark Industrial Metal Master. [5]	20
Obr. 2) Výrobní postup při používání metody plošného tváření. [7]	22
Obr. 3) Typy stříhadel. [9]	23
Obr. 4) Schéma sloučeného stříhadla. [7]	24
Obr. 5) Rozdíl mezi standartním stříháním (vlevo) a přesným stříháním (vpravo). [8]	25
Obr. 6) Příklady ohraňování za použití různých horních součástí nástroje. [8]	26
Obr. 7) Operace lemování a geometrie lemu. [7]	27
Obr. 8) Uspořádání zakružovacích válců. [7]	27
Obr. 9) Tažení bez přidržovače. [10]	28
Obr. 10) Tažení s přidržovačem [10]	29
Obr. 11) Tažení se ztenčením stěny. [10]	29
Obr. 12) Zpětné tažení. [10]	30
Obr. 13) Metoda rozšiřování (vlevo) a zužování (vpravo). [10]	30
Obr. 14) Nejčastěji využívané klempířské plechy. [11], [14]	33
Obr. 15) Výsledky dotazníku spokojenosti, které byly zákazníkům doručeny v prosinci 2019.	35
Obr. 16) Úhломěr Van Mark Multi Gauge.	36
Obr. 17) Příslušenství Trim Cutter. [5]	38
Obr. 18) Řezání plechových tabulí pomocí příslušenství Trim Cutter.	38
Obr. 19) Systém značení vzorků	39
Obr. 20) Průběh ohybu vzorku na hodnotu 30°. Vlevo je znázorněna počáteční pozice plechu a rukojeti. Vpravo je zobrazena závislost polohy ohýbací čelisti vůči velikosti úhlu ohybu.	40
Obr. 21) Poloha plechu před uvolněním ohýbací čelisti (velikost ohybu 30°).	40
Obr. 22) Odpružení plechu (velikost ohybu 30°).	40
Obr. 23) Průběh ohybu vzorku na hodnotu 60°. Vlevo je znázorněna počáteční pozice plechu a rukojeti. Vpravo je zobrazena závislost polohy ohýbací čelisti vůči velikosti úhlu ohybu.	41
Obr. 24) Poloha plechu před uvolněním ohýbací čelisti a po uvolnění čelisti (velikost ohybu 60°).	41
Obr. 25) Poloha plechu před uvolněním ohýbací čelisti a po uvolnění čelisti (velikost ohybu 90°).	41
Obr. 26) Poloha plechu před uvolněním ohýbací čelisti a po uvolnění čelisti (velikost ohybu 120°).	42
Obr. 27) Zařízení Zeiss UPMC 850 Carat (vlevo). Dotyk senzoru s měřenou rovinou vzorku (vpravo).	44
Obr. 28) Pracoviště vybaveno přístrojem Zeiss UPMC 850 Carat na ČMI.	44
Obr. 29) Měřicí rameno Hexagon Absolute Arm 8312-6. [16].	46
Obr. 30) Screenshot měřicího protokolu z programu PC-DMIS 2020 R1	46
Obr. 31) Měření dotykovým měřicím zařízením Hexagon Absolute Arm 8312-6.	47
Obr. 32) Pracoviště vybavené ramenem Hexagon na FSI.	47

Obr. 33) Digitální úhloměr MITUTOYO (vlevo). Měření parametrů ohybu u zkoumaných vzorků (vpravo). [17]	49
Obr. 35) Optické měřicí zařízení Micro-Vu Excel 4520 na pracovišti ČMI.	51
Obr. 36) Měření vzorků optickým metrologickým zařízením.	52
Obr. 37) Screenshot měření z programu InSpec.	52
Obr. 38) Optické měření přístrojem Micro-Vu Excel.	52
Obr. 39) 3D skener Atlascan. [19]	54
Obr. 40) Měření vzorků ručním 3D skenerem.	55
Obr. 41) Skenování plechu optickým zařízením.	55
Obr. 42) Grafy naměřených hodnot a průměrná velikost úhlu α měřených vzorků.	60
Obr. 43) Porovnání výsledků velikosti ohybu u vzorků vyrobených z navzájem odlišného materiálu.	62
Obr. 44) Pole shody pro vzorky se jmenovitou hodnotou $\alpha = 21^\circ$ (před odpružením 30°) a jmenovitou hodnotou $\alpha = 51^\circ$ (před odpružením 60°).	63
Obr. 45) Pole shody pro vzorky se jmenovitou hodnotou $\alpha = 81^\circ$ (před odpružením 90°) a jmenovitou hodnotou $\alpha = 111^\circ$ (před odpružením 120°).	64
Obr. 46) Původní úhloměr (vlevo) a návrh nového úhloměru (vpravo) ke klempířským ohýbačkám Van Mark.	66

Seznam tabulek

Tab 1) Popis komponentů ohýbačky zobrazených na Obr. 1). [5]	20
Tab 2) Výhody a využití nejpoužívanějších typů pohliníkových plechů. [13]	33
Tab 3) Vlastnosti okolí na pracovišti.	39
Tab 4) Technické specifikace měřicího zařízení Zeiss UPMC 850 Carat. [15]	43
Tab 5) Zeiss UPMC Carat – naměřené hodnoty [$^\circ$]	45
Tab 6) Hexagon Absolute Arm – naměřené hodnoty [$^\circ$]	48
Tab 7) Vlastnosti digitálního úhloměru MITUTOYO. [17]	49
Tab 8) Digitální úhloměr MITUTOYO – neměřené hodnoty [$^\circ$]	50
Tab 9) Technické specifikace stroje Excel 4520 od společnosti Micro-Vu. [18]	51
Tab 10) Optické měřicí zařízení Micro-Vu Excel 4520 – naměřené hodnoty [$^\circ$]	53
Tab 11) Vlastnosti 3D skeneru Atlascan. [19]	54
Tab 12) 3D skener Atlascan – naměřené hodnoty [$^\circ$]	56
Tab 13) Průměrné hodnoty odpružení ohýbaných plechů.	65