

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# KONSTRUKCE PŘÍPRAVKU PRO OHÝBÁNÍ DÍLCŮ Z TENKOSTĚNNÝCH TRUBEK

DESIGN OF TOOL FOR THIN WALLED TUBES BENDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MARTIN MACHALA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

prof. Ing. RADKO SAMEK, CSc.



## **ABSTRAKT**

MACHALA Martin: Konstrukce přípravku pro ohýbání dílců z tenkostěnných trubek.

---

Projekt vypracovaný v rámci bakalářského studia oboru strojírenská technologie (2303R002) předkládá přehled metod a způsobů tváření trubek. Na základě literární studie zabývající se problematikou ohybu tenkostěnných trubek byl vytvořen popis základních způsobů ohybu trubek s ohledem na použitelnost a nebezpečí vzniku defektů. Hlavní cíl projektu je konstrukční návrh přípravku pro ruční ohyb tenkostěnných trubek.

**Klíčová slova:** Ohýbání tenkostěnných trubek, defekty při ohýbání trubek, konstrukce přípravku pro ohyb dílců z tenkostěnných trubek.

## **ABSTRACT**

MACHALA Martin: Design of tool for thin walled tubes bending.

---

Project elaborated in the frame of the Bachelor study branch Manufacturing Technology (2303R002) is concerned with the summary methods and forming processes of tubes. On the basis of the literary study dealing with problems of thin walled tubes bending a description of basic methods of thin walled tubes bending was created with regard to usability and danger of defects generation. The main target of this project is to make a draft a manual tool for thin walled tubes bending.

**Keywords:** Bending of thin walled tubes, defects of tube bending, design of tool for thin walled tubes bending.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MACHALA, M. *Konstrukce přípravku pro ohýbání dílců z tenkostěnných trubek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 36 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Radko Samek, CSc.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 13.5.2008

.....  
Podpis





## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu prof. Ing. Radko Samkovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.



## OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
ÚVOD .....	12
<b>1. TVAROVÉ SKUPINY DÍLCŮ Z TRUBEK.....</b>	<b>13</b>
<b>2. ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY TVÁŘENÍ TRUBEK.....</b>	<b>14</b>
2.1. Vyboulování.....	14
2.2. Radiální a stranové vypínání.....	15
2.3. Kombinace metod .....	16
2.4. Úprava konců trubek .....	16
2.4.1. Rozšiřování .....	16
2.4.2. Zužování konců trubek.....	17
2.4.3. Zplošťování konců trubek.. .....	18
2.5. Ohýbání.....	18
2.5.1. Technologické parametry.....	18
2.5.2. Defekty vzniklé ohybem trubky.....	20
2.5.3. Druhy a vlastnosti výplní.....	23
<b>3. METODY OHYBU TRUBEK.....</b>	<b>27</b>
3.1. Ruční ohyb v přípravku.....	27
3.2. Ohyb navíjením.....	28
3.3. Ohyb kombinovaný s osovou tlakovou silou.....	29
3.4. Ohyb s ohřevem.....	29
3.5. Příklady ručních ohýbaček.....	30
<b>4. VLASTNÍ KONCEPCE OHÝBACÍHO PŘÍPRAVKU.....</b>	<b>31</b>
4.1. Popis a funkce ohýbacího přípravku.....	31
4.2. Schéma přípravku pro ruční ohyb trubek.....	32
<b>5. ZÁVĚR .....</b>	<b>33</b>
Seznam použité literatury.....	34
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	35
Seznam příloh.....	36

## ÚVOD

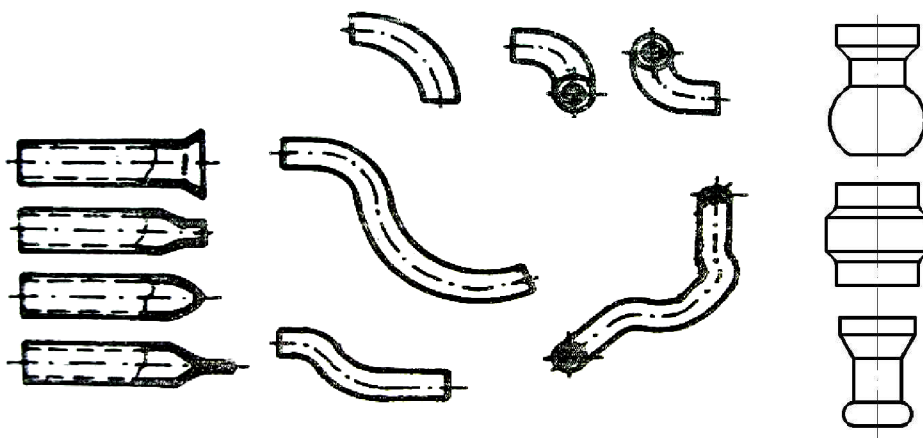
Technologie tváření, která patří mezi technologie beztržského zpracování materiálu se snaží zavádět stále novější technologie do svého výrobního procesu. V současné době je trendem zvýšené používání tenkostěnných trubek a profilů ve vývoji odlehčených konstrukcí jako součást konstrukčních prvků a vyrábění dílců tzv. na hotovo. Tyto prvky se využívají v různých odvětvích průmyslu, například leteckém, chemickém, potravinářském, automobilovém nebo v instalačních, hydraulických, palivových, vzduchových a mazacích systémech. Na dílce jsou však kladeny stále větší požadavky na stabilitu provedení, přesnost, jakost a mechanické vlastnosti výrobku. Dílce jsou zhotovovány různými metodami například ohybem, rozšiřováním, zužováním, zploštěním, radiálním a stranovým vypínáním, vybulováním, lokálním prosazením a částečnou změnou průřezu z kruhového na čtvercový. Součásti tvářené z trubek představují širokou škálu tvarů a rozměrů. Patří mezi ně trubky, tvarovky, koncovky, spojky a redukce. Materiálem pro dílce jsou titanové slitiny, hliníkové slitiny, mosaz, měď, nerezavějící, legované a uhlíkové oceli.

V této práci se však budu zaměřovat především na skupinu tenkostěnných trubek a problematiku jejich ohybu. Při tváření dochází u součásti ke změně tvaru a průřezu, které sebou nesou řadu problémů v podobě defektů. Tyto defekty se snažíme buď úplně eliminovat nebo tolerovat v přípustné míře. K zamezení tvorby defektů se používá již vyzkoušených postupů popsanych v této práci. Hlavním cílem mé práce je však návrh konstrukčního řešení přípravku pro ohyb tenkostěnných trubek. Tyto přípravky mají většinou jednoduchou konstrukci, ale jsou omezeny velikostí ohýbané trubky a z toho odvozené ohybové síly, kterou může vyvodit dělník vlastní silou.

# 1. TVAROVÉ SKUPINY DÍLCŮ Z TRUBEK

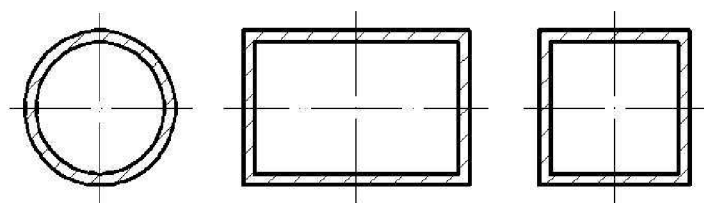
## Hlavní členění trubek

Dílce z trubek můžeme rozdělit do dvou tvarových skupin. Jsou to především trubky přímé, dále pak dílce, které mají jeden nebo více poloměrů ohybu v jedné rovině. Jako poslední se zde nachází skupina dílců, které jsou ohýbané ve více rovinách. Konce trubek jsou také různě upravovány například rozválcováním, zužováním a zplošťováním. Nakonec se zde nachází dílce krátkých trubek vyrobené radiálním a stranovým vypínáním a také vyboulováním.



Obr. 1 Příklady tvarů dílců z trubek [1]

Trubky mohou mít nejen průřez kruhový ale také čtvercový a obdelníkový.



Obr. 2 Průřezy trubek

Nejčastějším používaným materiálem jsou titanové slitiny, hliníkové slitiny, mosaz, měď, nerezavějící, legované a uhlíkové oceli.

## Další charakteristiky dílců z trubek [9]

Malé průměry trubek do  $\Phi$  30 mm zejména tenkostěnné jsou vyráběny jako bezešvé, větší průměry nad  $\Phi$  80 mm jsou vyráběny z plechu zakružováním a poté svařením.

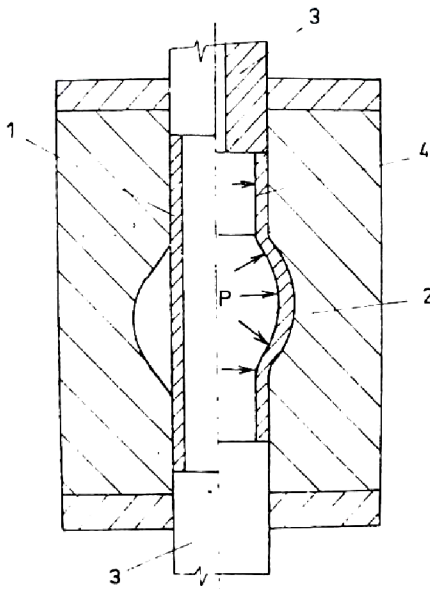
Trubky malých  $\Phi$  ( 6 ÷ 25 mm ) a trubky středních  $\Phi$  ( 25 ÷ 80 mm ) se používají převážně v automobilovém průmyslu, v sanitární technice výrobě jízdních kol, instalačních systémech, a letecké technice. Trubky velkých  $\Phi$  ( nad 100 mm ) vyžadují při výrobě většinou kombinace metod.

## 2. ZÁKLADNÍ ZPŮSOBY TVÁŘENÍ TRUBEK

Podle způsobu zpracování se trubky zpracovávají zejména vyboulováním, radiálním a stranovým vypínáním, ohýbáním, úpravami konců trubek, zplošťováním a kombinací metod.

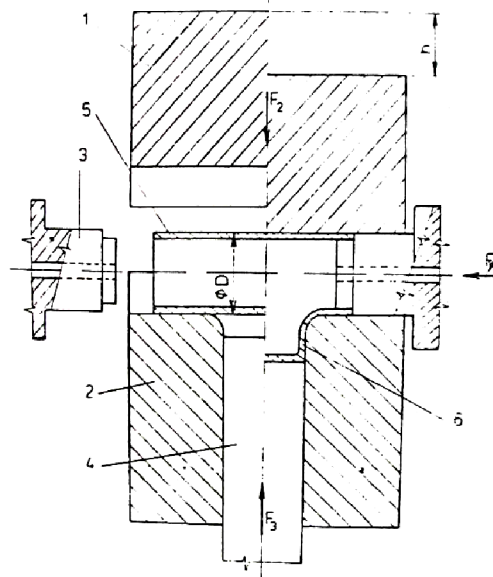
### 2.1. VYBOULOVÁNÍ [4]

Použití této metody je převážně pro rozšiřování trubek, které mohou být symetrické i asymetrické. Principem této metody je působení hydrostatického tlaku s axiální kompresí. Trubka se vloží do duté lisovnice, která má tvar výsledného polotovaru. Pomocí trnů se trubka sevře a utěsní trny. Otvorem v trnech se přivádí tlaková kapalina. Ta se zvyšuje za současného působení trnů na polotovar dokud se nevytvoří požadovaný tvar výrobku.



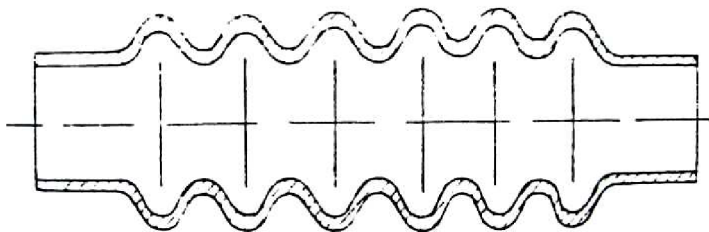
Obr. 3 Výroba rozšířené součásti [4]

- 1 – polotovár
- 2 – lisovnice
- 3 – trny
- 4 - konečný tvar výrobku

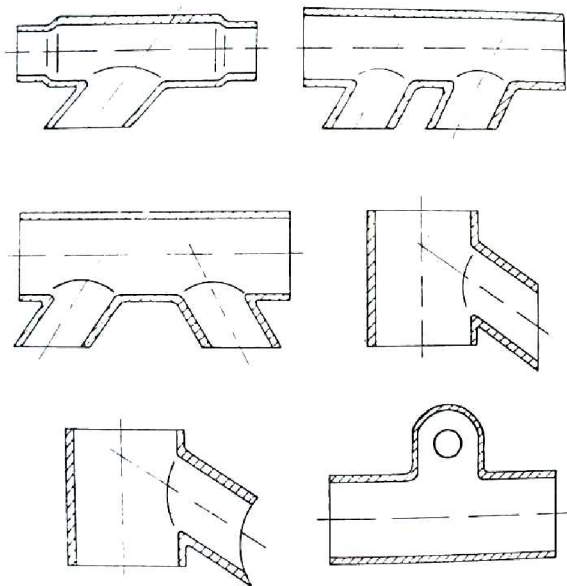


Obr. 4 Tváření T tvarovky [4]

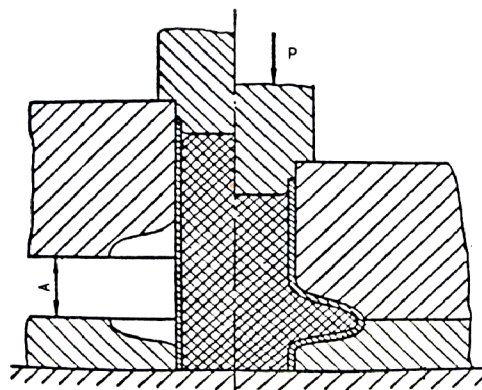
- 1 – dělená lisovnice
- 2 – dělená lisovnice
- 3 – trny
- 4 – píst
- 5 – polotovár
- 6 – konečný tvar výrobku



Obr. 5 Symetrická součást - Vlnovec [4]



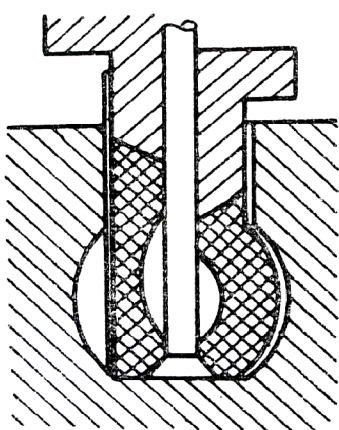
Obr. 6 Asymetrické součásti  
Součásti potrubí [4]



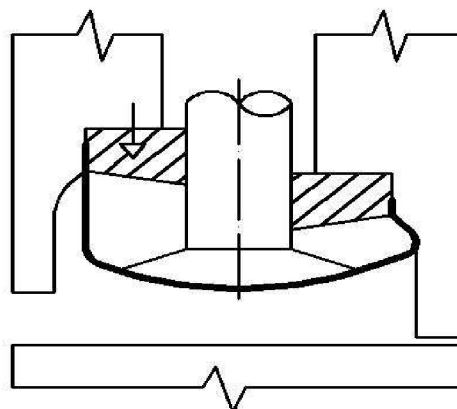
Obr. 7 Rozhánění osově  
symetrické součásti [6]

## 2.2. RADIÁLNÍ A STRANOVÉ VYPÍNÁNÍ [1]

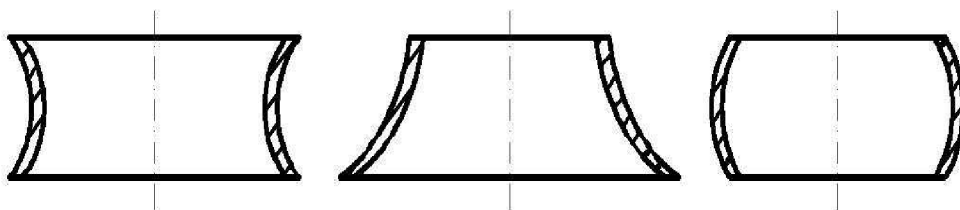
Provádí se u krátkých dílců například letecké techniky vyráběných z tenkostěnných bezešvých trubek. Dílce jsou opatřeny lokálním zúžením nebo rozšířením válcového tvaru. U této metody se využívá jako vhodné plnidlo polyuretan. Je však potřeba dodržovat základní doporučení při návrhu nástroje, aby došlo k usnadnění radiálního přemístění polyuretanu, zvýšení přesnosti výtvarku a snížení zatěžovací síly. Polyuretanové desky jsou proto opatřeny vnitřním otvorem patrným na obrázku.



Obr. 8 Úprava polyuretanu pro  
radiální vypínání trubek [1]



Obr. 9 Radiální vypínání

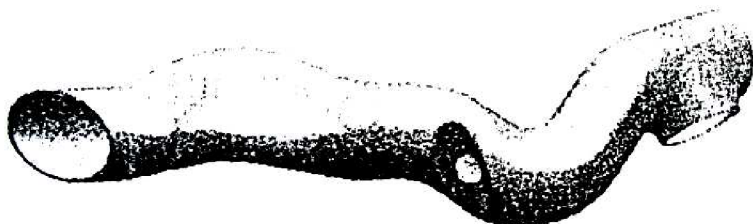


Obr. 10 Příklady dílců upravených radiálním vypínáním

Polyuretan má proti kapalině mnohé výhody zejména v těsnění v pracovním prostoru. Touto metodou lze zhotovit například tvarovky, koncovky a redukce, které jsou součástí potrubních soustav. Stranové vypínání se provádí pomocí statického tlaku elastického média na univerzálním hydraulickém lisu.

### 2.3. KOMBINACE METOD [7]

Tímto způsobem se vyrábí součástky obecného tvaru, které získají výsledný tvar kombinací metod, například ohybem, rozšířením, zploštěním a změnou průřezu z kruhového na čtvercový. Tyto součásti se využívají například v automobilovém průmyslu jako součásti výfukových systémů.



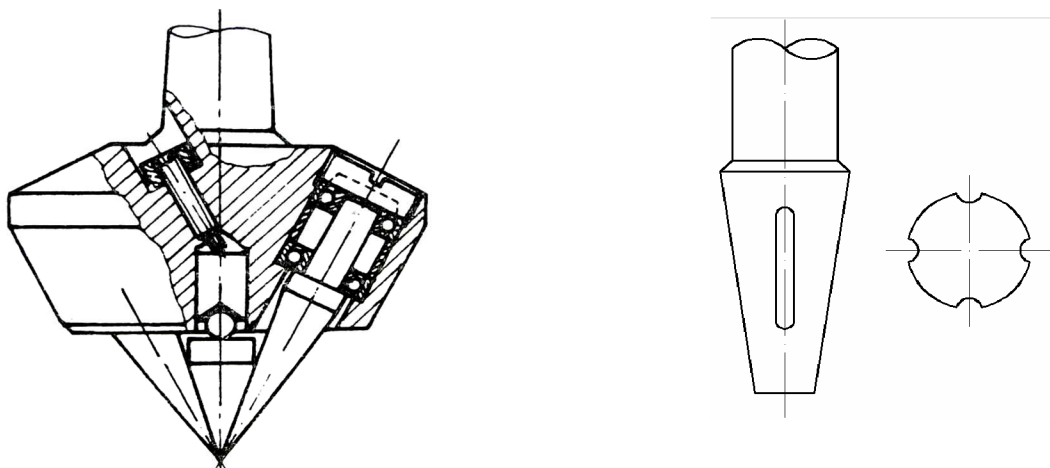
Obr. 11 Součást potrubí

Parametry procesu jsou vnitřní tlak, axiální síla, posuvná síla, nejčastějšími defekty jsou protržení, zvlnění, zborcení.

### 2.4. ÚPRAVA KONCŮ TRUBEK [1]

#### 2.4.1. Rozšiřování [1]

Jedná se o metodu úpravy konců trubek, které jsou součástí hydraulických a palivových systémů. Pro úpravu konců trubek rozválnováním se používá buď speciálních trnů upnutých do vřetene, vrtačky nebo jednoúčelového stroje. Rozválnování vzniká tlakem kuželů při současném rotačním pohybu nástroje.

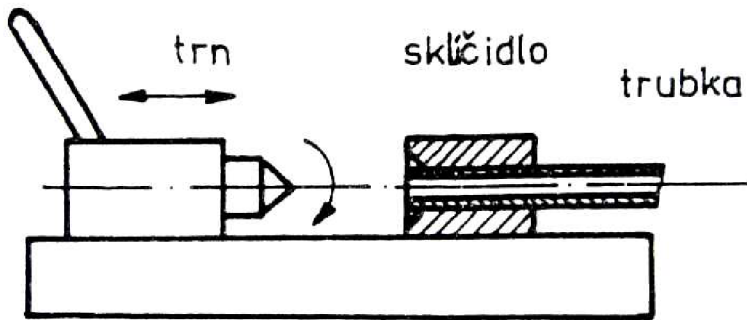




Obr. 12 Rozválcování trn [1]

Obr.13 Trn s kuželovým zakončením a mazací drážkou

Lze také použít upravený soustruh, kdy trubka prochází vřetenem upnutým ve sklíčidle, ve kterém je vložka s kuželovou dutinou. Do koníku se upne rozválcovací trn nebo trn s kuželovým zakončením a mazací drážkou. Výhodou tohoto způsobu je valivé tření díky mazivu.

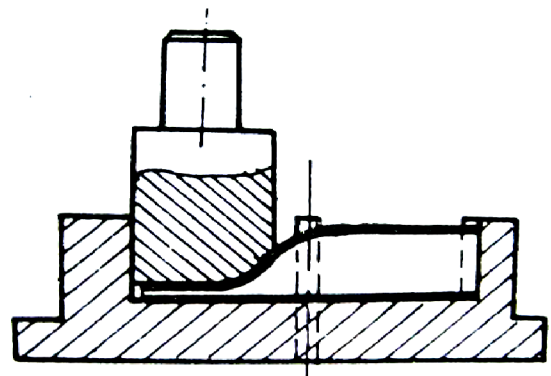
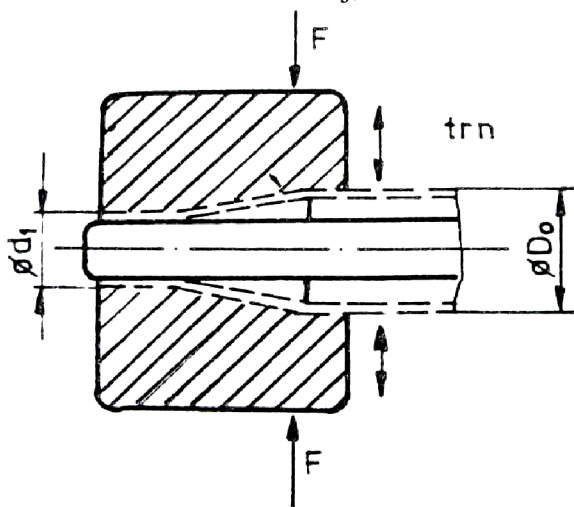


Obr 13 Přípravek na rozválcování trubek [1]

Kvalita rozválcování se kontroluje z hlediska výskytu trhlin.

#### 2.4.2. Zužování konců trubek [1]

Provádí se nejčastěji pomocí protlačování trubky do matrice, která má tvar zužující se kuželové dutiny s požadovaným úhlem. Používaným zařízením je zde soustruh, kde se místo vřeteníku používá konzola s matricí. Místo koníku je umístěn nástroj ovládaný mechanicky nebo hydraulicky, který působí tlakem na volný konec trubky. Kritériem pro zužování je vzpěrnost trubky a relativní poloměr ohybu. Vybočení nebo ohybu trubky jde předejít podepřením uprostřed trubky nebo pomocným upnutím. Dále je možno použít pro tuto metodu rotační kovací stroj, kde se trubka vtlačuje do pracovní dutiny kovacích zápustek.

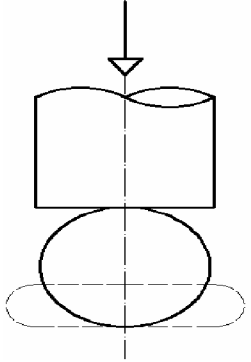


Obr. 14 Zužování trubky s užitím kalibračního trnu [1]

Obr. 15 Přípravek na zplošťování trubek pro nesymetrické zploštění [1]

### 2.4.3. Zplošťování konců trubek [1]

Konce dílců trubek např. rozpěrek a vzpěr se tvarují zplošťováním v přípravku na ručním lisu. Zápustka má tvar podle druhu zploštění a může být symetrická nebo nesymetrická.



Obr. 16 Symetrické zplošťování

## 2.5. OHÝBÁNÍ [1] [2] [3]

U ohýbání trubek rozlišujeme tyto základní metody

### Ruční Ohyb

Kritériem pro volbu ruční metody ohybu trubek je především velikost průměru trubky, dále pak velikost ohybového momentu a relativní poloměr ohybu  $R/D$ . Ruční ohýbací přípravek je tedy vhodný pro trubky do  $\Phi 20$  mm a  $R_{\min} \geq 2,5D$ , u větších průměrů se je nutno zvětšit ohýbací páku přípravku nebo zvolit strojní ohyb.

### Strojní ohyb

Pro strojní ohyb se rozhodneme, je-li ohýbaná trubka většího průměru, nebo když je potřeba vyvinout větší ohybový moment, který nelze realizovat ručně. Dále když je trubka ohýbána na ostrý poloměr ohybu.

### 2.5.1. TECHNOLOGICKÉ PARAMETRY [1] [2] [3]

Hlavními technologickými parametry při ohybu tenkostěnných trubek jsou :

- relativní tloušťka stěny ( $s_0/D$ )
- relativní poloměr ohybu ( $R/D$ )

Tyto technologická kritéria hodnotí stupeň obtížnosti procesu ohybu. Hodnota relativní tloušťky stěny určuje do určuje hranici mezi tenkostěnnými a tlustostěnnými trubkami. Za tenkostěnnou trubku považujeme tehdy je-li  $s_0/D = 1/25$  až  $1/30$ .

Pro optimální podmínky ohybu platí :

$$\frac{s_0}{D} \geq 0,1 \quad \text{při} \quad \frac{R}{D} \geq 3 \quad (1)$$

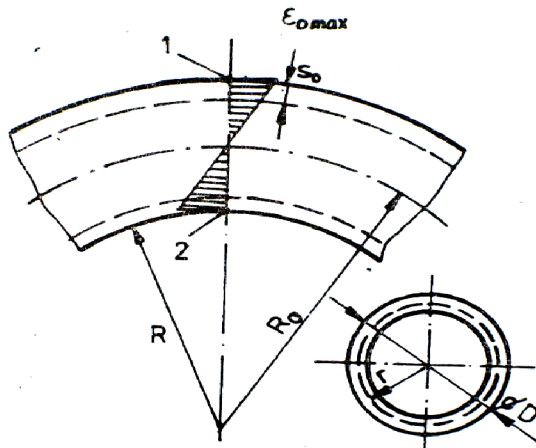
Přijatelné podmínky ohybu nastanou při :

$$\frac{s_0}{D} \geq 0,075 \quad \text{při} \quad \frac{R}{D} = 2,5 \quad \text{tyto hodnoty se již blíží kritickým podmínkám ohybu} \quad (2)$$

Nevhodné podmínky nastávají když :

$$\frac{s_0}{D} \geq 0,05 \text{ při } \frac{R}{D} < 2,5 \quad (3)$$

Při ohybu trubky na poloměr blízký ke kritickému se doporučuje použití výplně ke stabilizaci průměru.



Obr. 17 Průběh napětí na ohýbané části trubky [1]

Body 1 a 2 jsou kritická místa, kde je může dojít k defektům.

V oblasti ohybu dochází na vnějším průměru k vypínání a na vnitřním průměru ke zpěchování. Pokud se poloměr ohybu blíží ke kritickému poloměru, doporučuje se užití výplně.

Smluvně se za poloměr ohybu považuje vnitřní poloměr ohybu  $R_0$

Při výpočtu  $R_{\min}$  vycházíme z předpokladu přípustného ztenčení :

$$R_{\min} = \frac{K \cdot D \cdot (2 \cdot s - s_0)}{2(s_0 - s)} \quad (4)$$

K – Součinitel úhlu ohybu

Tab. 1 Hodnoty součinitele K pro výpočet  $R_{\min}$  trubky [1]

$s_0$ [mm]	$\Phi D$ [mm]	Úhel ohybu				
		30°	60°	90°	120°	180°
1,0	26 – 32	2,58	2,6	2,6	2,65	2,65
1,0	33 - 45	2,89	2,93	2,93	3,39	3,82
1,5	33 - 45	2,02	2,02	2,02	2,44	2,44

Se zmenšováním poloměru ohybu souvisí nárůst defektů proto jsou v normě předepsané minimální poloměry ohybu

Tab. 2 [5]

(D x $s_0$ )	6 x 1	6 x 0,5	8 x 1	8 x 0,6	10 x 1	10 x 0,75	12 x 1	12 x 0,9
(R)	9	12	12	16	16	30	24	36
R/D	1,5	2,0	1,5	2,0	1,6	3,0	2,0	3,0
$s_0/D$	0,168	0,083	0,125	0,075	0,1	0,075	0,083	0,075

## 2.5.2. DEFEKTY VZNIKLÉ OHYBEM TRUBKY [1] [2] [3]

Při ohybu dochází k negativním jevům které se projevují ve formě defektů :

- Ztenčení tloušťky stěny
- Zploštění trubky
- Zvlnění stěny trubky
- Odpružení trubky po ohybu
- 

Tyto defekty narůstají se zmenšujícím se poloměrem ohybu trubky a také ze zvětšujícím se průměrem trubky.

### Ztenčení tloušťky stěny

Se zmenšením poloměru ohybu [3]

$$2 \cdot R_0 = 2 \cdot \left( R + \frac{D}{2} \right) \quad (5)$$

případně se zvětšením průměru trubky roste ztenčení tloušťky stěny trubky.

Pro dílce z trubek v letecké technice je dovolené maximální ztenčení 25%

Tab.3 Tabulka hodnot přepočítaná pro tři hodnoty R/D [3]

$s_0/D = 0,1$	R/D	$s_{min}/s_0$
	2,5	0,97
	2,0	0,83
	1,5	0,75

### Minimální tloušťka stěny :

Vycházíme z předpokladu rovinnosti řezu :

$$\epsilon_0 = \frac{y}{R_0} \quad (6)$$

a tangenciálního přetvoření  $\epsilon_t = 0$  (7)

Ze zákona o konstantním objemu vyplývá :

$$\epsilon_r = \epsilon_0 \quad (8)$$

Maximální hodnota osového přetvoření je dána vztahem :

$$\epsilon_{0max} = \frac{r}{R_0} = \frac{d}{2 \cdot R_0} = \frac{D - s_0}{2 \cdot R_0} \quad (9)$$

Radiální přetvoření ve směru tloušťky stěny :

$$\epsilon_{rmax} = \frac{s_0 - s_{min}}{s_0} = 1 - \frac{s_{min}}{s_0} \quad (10)$$

Po dosazení rovnic (9) a (10) do vztahu (8) dostaneme : [1]

$$s_{\min} = s_0 \cdot \left( 1 - \frac{D - S_0}{2 \cdot R_0} \right) \quad (11)$$

Ztenčování nelze zcela potlačit ani při použití výplní a je třeba s ním počítat.

### Zploštění průřezu trubky [1]

U trubky dochází ke změně kruhového průřezu na oválný. Ovalita u trubek zhoršuje proudění kapaliny a také zvětšuje velikost odpružení materiálu.

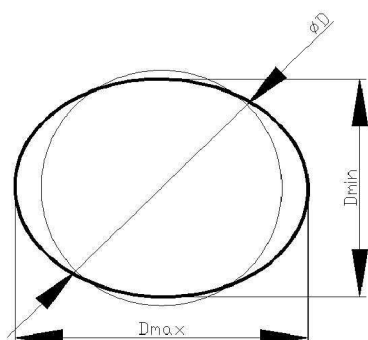
Ovalitu můžeme vysvětlit pomocí rozkladu vnitřních sil v místě ohybu. Zde působením vnějšího ohybového momentu  $M$  vznikají v průřezu tlakové a tahové osové napětí.

Velikost ovality snížíme :

- zvýšením relativní tloušťky stěny  $s_0/D$
- Snížením relativního poloměru ohybu  $R_0/D$

Tento defekt se hodnotí podle koeficientu ovality  $K_0$  : [1]

$$K_0 = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D} \cdot 100 \quad [\%] \quad (12)$$

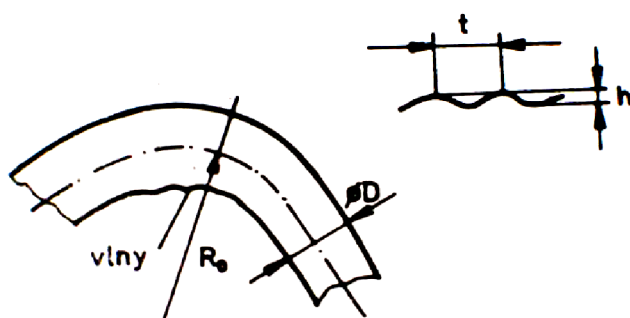


Zploštění se kontroluje průchodem normované kuličky. Zploštění lze částečně redukovat pomocí výplní.

Obr. 18 Schéma zploštění trubky [2]

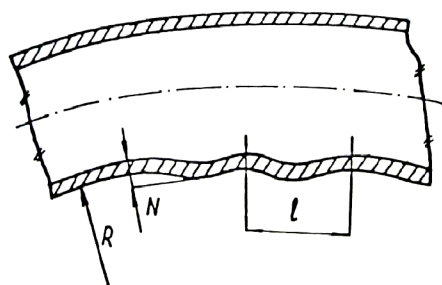
### Zvlnění stěny trubky

Na vnitřní straně trubky vlivem tlakového napětí dochází ke ztrátě stability, tedy zvlnění



Obr. 19 Znázornění zvlnění trubky [1]

Vlny jsou nežádoucí u dílců namáhaných vysokými tlaky a vibracemi. Jsou totiž zdrojem únavových trhlin.



Vnější $\Phi$ / vnitřní $\Phi$	R [mm]	N max. [mm]	l min. [mm]
10/8	15	0,15	4
12/10	18	0,16	4
14/12	21	0,18	4,5
18/16	27	0,20	5
22/20	33	0,30	5
32/30	48	0,40	6
34/32	51	0,50	7
40/38	60	0,50	9

Obr.19, Tab. 4 Dovolené úchytky nepřesností [2]

### Odpružení trubky po ohybu [2] [3]

Je způsobeno plastickými vlastnostmi materiálu. Vychází ze zákona o odpružení plastických těles

$$\frac{1}{R_{od}} = \frac{M}{E \cdot I} \quad (13)$$

$$\frac{1}{R_{zb}} - \text{zbytková křivost} \quad (14)$$

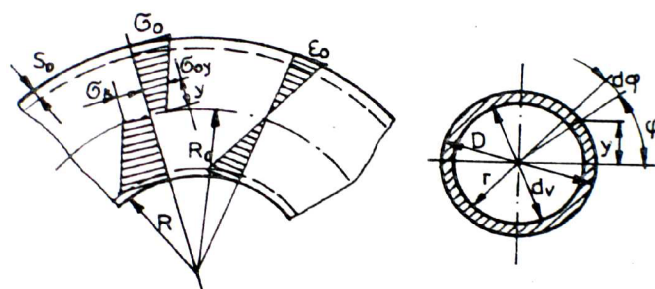
$$\frac{1}{R_0} - \text{křivost po zatížení ohybovým momentem} \quad (15)$$

Úpravou vzorce dostaneme buď zbytkový poloměr odpovídající jmenovité hodnotě, nebo poloměr  $R_0$ , na který má být trubka ohnutá.

Zbytkový poloměr je tedy dán vztahem :

$$R_{zb} = \frac{R_0}{1 - \frac{M \cdot R_0}{E \cdot I}} \quad (16)$$

Ohybový moment je důležitý pro určení vnějších sil potřebných při ohybu, ale také pro konstrukční řešení ohýbacího přípravku a zvolení metody ohybu. Dále je také důležitým parametrem ovlivňujícím odpružení.



Obr. 20 Rozložení osového napětí a přetvoření [1]

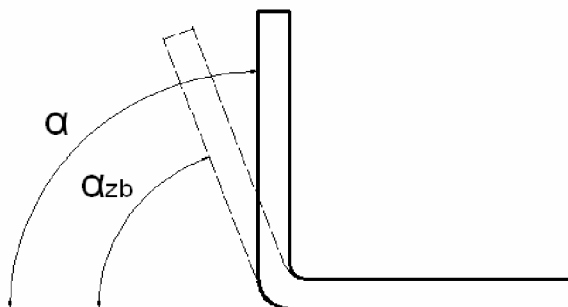
$$M = \overline{\sigma_k} \cdot d^2 \cdot s_0 + \frac{\overline{D} \cdot d^3 \cdot s_0 \cdot \pi}{8 \cdot R_0} \quad (17)$$

neuvažujeme – li zpevnění tak  $\bar{D} = 0$  [1]

$$M = \bar{\sigma}_k \cdot d^2 \cdot s_0 \quad (18)$$

Změna úhlu souvisí se změnou poloměru a stanoví se z podmínky zachování původní délky neutrálního vlákna po odpružení. [1]

$$\Delta\alpha = \alpha - \alpha_{zb} = \alpha \cdot \frac{M \cdot R_0}{E \cdot I} \quad (19)$$



Obr. 21 Schéma odpružení

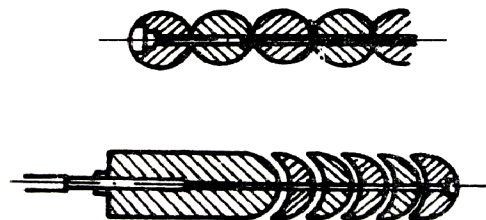
### 2.5.3. DRUHY A VLASTNOSTI VÝPLNÍ [1] [2] [3]

Pomocí výplní lze částečně potlačit vznik defektů. Výplně slouží ke stabilizaci kruhového průřezu, dále zabraňují zploštění a zvlnění.

Výplně lze rozdělit do několika skupin a podle vhodnosti použití se dělí výplně na :

**Mechanické** – vhodné pro kratší dílce s větším průměrem.

Hustě vinutá pružina, silonové nebo kovové vložky ve tvaru kulových segmentů.



Obr. 22 Mechanické výplně [1]

**Tuhé** – vhodné pro ohyb krátkých dílců s větším průměrem.

Technická močovina, ledek draselný, dusičnan vápenatý, zmrazená voda, kalafuna, lehkotavitelné slitiny na bázi bizmutu (např. slitina MCP). Dále slitiny jejichž teplota tavení je do 90°C.

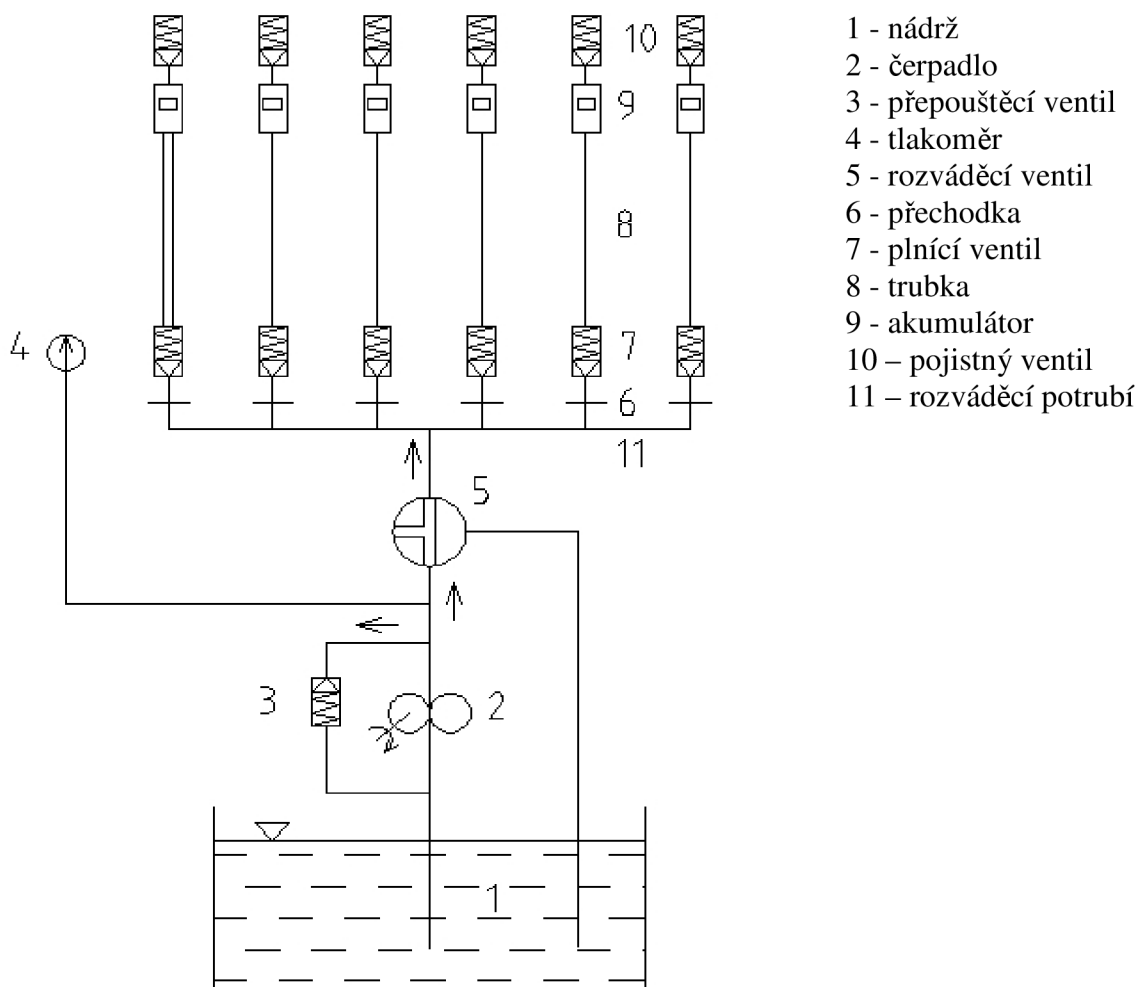
Výhodou je jejich lehká odstranitelnost výplachem pomocí horké vody.

Nevýhodou je možnost ovlivnění základního materiálu vlivem provozní teploty.

**Kapalinné** – vhodné pro ruční ohyb

Používaná kapalina je hydraulická směs-olej AMG-10

Výhodou použití kapaliny je její lehká plnitelnost a odstranitelnost i z dlouhých dílců. Tlak kapaliny použité při ohybu dosahuje od 25 do 40 MPa a volí se z ohledem na průměr trubky, tloušťku stěny a mez kluzu. Nevýhodou je, že dílce musí být opatřeny koncovkami s maticemi pro upnutí plnicího ventilu a pojišťovacího ventilu kombinovaného s akumulátorem.



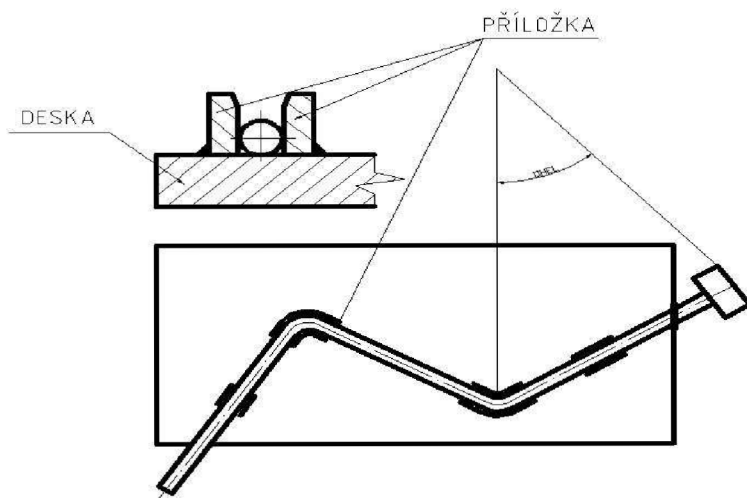
Obr. 23 K plnění se používá jednoúčelové zařízení [2]

Pro vhodné zvolení tlaku kapaliny v trubce je potřeba vypočítat maximální přípustnou hodnotu tlaku, aby nedošlo k poruše stěny trubky. [2]

$$p_{\text{MAX}} = \frac{\frac{d}{s_0} + 1}{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d}{s_0}\right)^2 + \frac{d}{s_0} + 1} \quad (20)$$

Po samotném procesu ohybu pomocí kapaliny je třeba zkontrolovat trubku jestli nedošlo k nafouknutí. Kontrola se provádí na speciálním přípravku ve tvaru šablony, která kontroluje jednotlivé rádiusy, ale také konečný úhel. Pokud je trubka zohnutá korektně a nedošlo ke změně rádiusu, trubka zapadne mezi dvě příložky na desce. V opačném případě je trubka nevyhovující a musí být vyřazena jako zmetek.

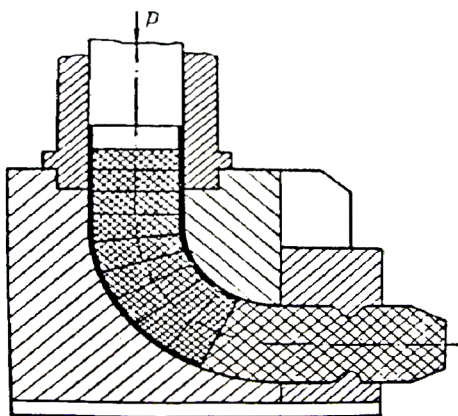




Obr. 24 Schéma šablony kopírující tvar trubky

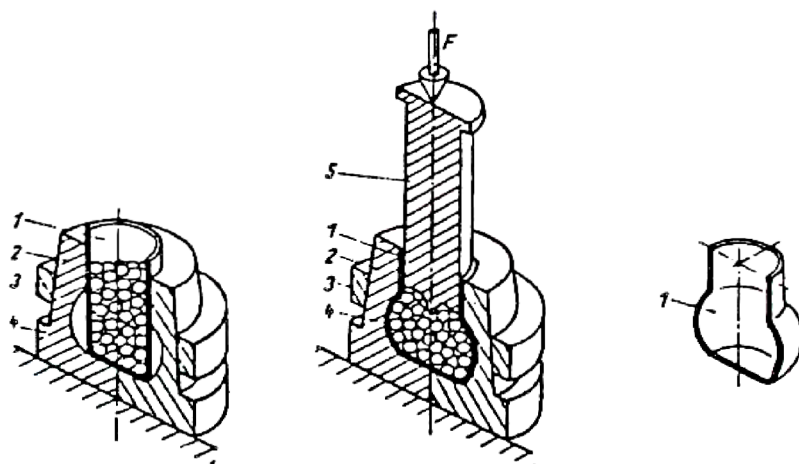
**Elastické** – např. polyuretan

Použití polyuretanu pro zhotovení tenkostěnných součástí má oproti kapalině značné přednosti zejména díky lepšímu těsnění v pracovní oblasti.



Obr. 25 Ohyb trubky pomocí ohebného polyuretanového trnu [6]

**Sypké** – např. sklářský písek a nebo ocelové broky



Obr. 26 Výplň pomocí ocelových broků [8]

Další možností je také absence plnidla, ovšem tato možnost má své omezení. Přesná kritéria, kdy je nutno užít plnidla nejsou v literatuře uváděna.

Bez plnidla lze ohýbat je-li :

$$\frac{s_0}{D} > 0,062 \quad \text{při} \quad \frac{R}{D} \geq 2,5 \quad \text{s přihlédnutím na technické požadavky}$$

$R/D \geq 6$  pro ocelové trubky kde  $D < 8$  mm

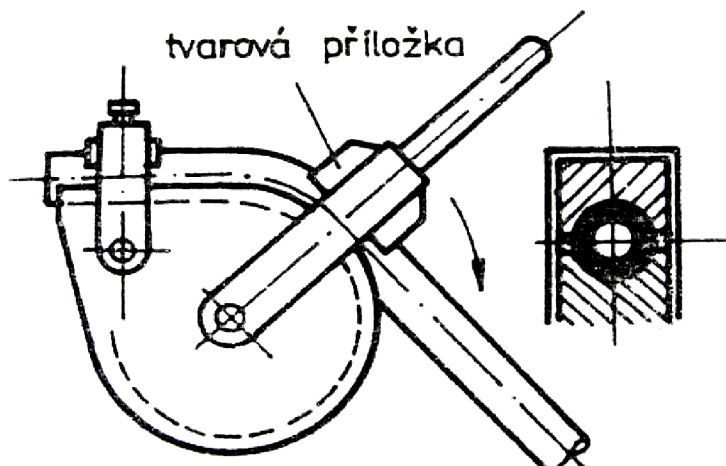
$R/D \geq 4$  pro duralové trubky kde  $D < 12$  mm

Dalším kritériem pro ohyb duralové trubky bez plnidla je poměr

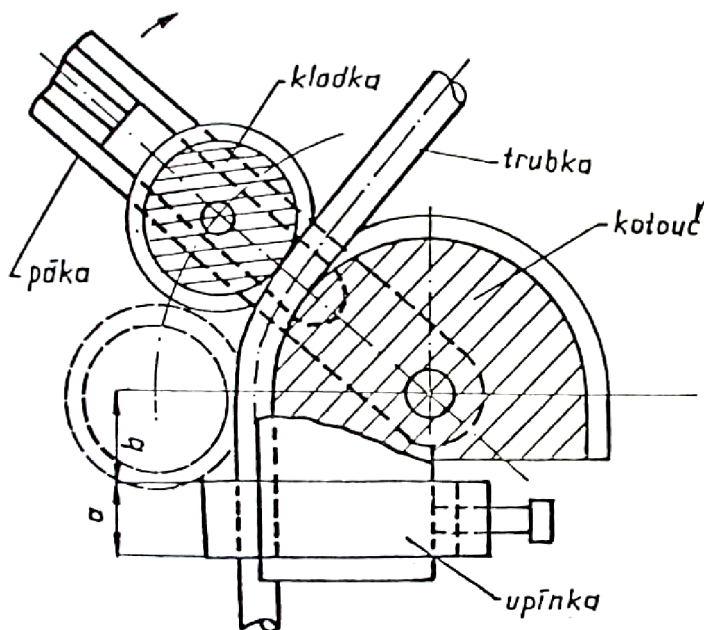
$s/D > 0,05$  pro poměr  $R/D > 4,5$

### 3. METODY OHYBU TRUBEK

#### 3.1. Ruční ohyb v přípravku - metoda nabalování [1]



Obr. 27 Schéma přípravku pro ruční ohyb [1]

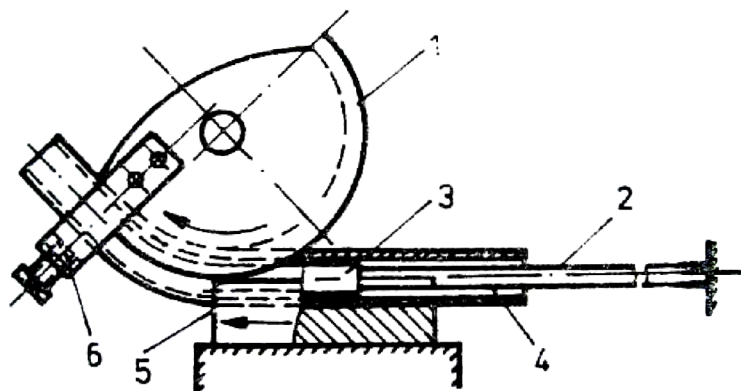


Obr. 28 Schéma nástroje pro ohyb nabalováním [3]

Tato metoda je vhodná zejména pro trubky do průměru  $D < 20$  mm a  $R_{\min} = 2,5D$ . Jednoduchý přípravek má nastavitelnou tvarovou příložku ve tvaru trubky a pomocí kladky se trubka vytvaruje do požadovaného tvaru. Stabilizace trubky se provádí pomocí hydraulické kapaliny.

Tato technicky velmi jednoduchá metoda ohybu pomocí nabalování a uplatňuje především u ručních ohýbacích přípravků. Přípravek se zhotovuje na tvar trubky s několika výměnnými kladkami, na kterých se trubka zohne až do požadovaného tvaru.

### 3.2. Ohyb navíjením [1]



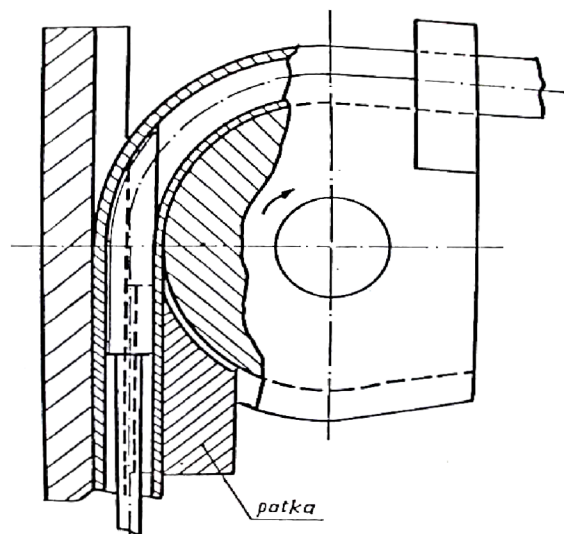
- 1 - segmentový kotouč
- 2 - nosná tyč
- 3 - trn
- 4 - trubka
- 5 - lišta
- 6 - upínka

Obr. 29 Ohyb navíjením [1]

Trny mají tři základní typy – tuhý, pružný a spojený a slouží ke stabilizaci trubky během ohybu.



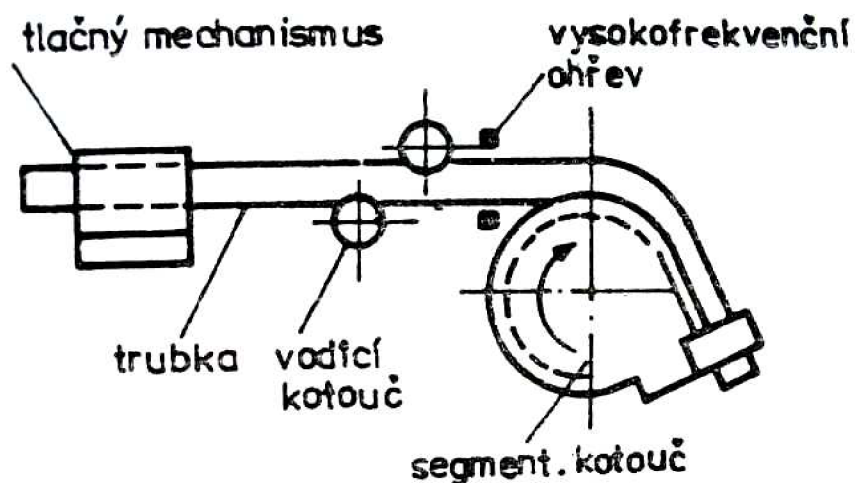
Obr. 30 Příklady různých tvarů trnů [7]



Obr. 31 Schéma navíjení s trnem a podpěrnou lištou [3]

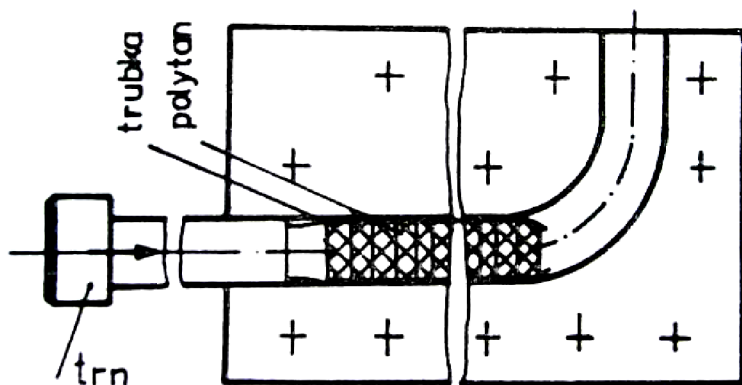
Tato metoda se provádí na strojních ohýbačkách pro rozsah  $\Phi$  12-80 mm. Pro stabilizaci trubky se používají mechanické vložky. Pomocí segmentového kotouče, který se otáčí dochází k postupnému navíjení trubky. Při ohybu pomáhá lišta dotlačovat trubku do drážky kotouče.

### 3.3. Ohyb kombinovaný s osovou tlakovou silou [1]



Obr. 32 Schéma Ohybu kombinovaného s osovou tlakovou silou [1]

Při ohýbání na velmi ostrý poloměr ohybu dochází ke značnému ztenčení tloušťky na vnějším poloměru ohybu. Tento proces může pozitivně ovlivnit technologie ohybu za současného tlaku. Při ohybu kombinovaném s osovou tlakovou silou za vysokofrekvenčního ohřevu se dosahuje nejlepších výsledků.

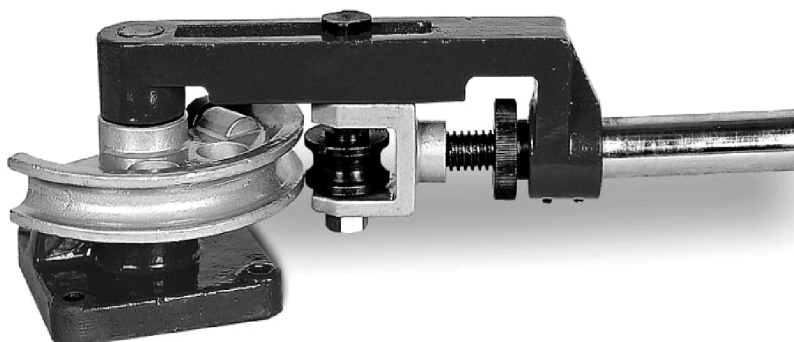


Obr. 33 Ohyb za současného tlaku [1]

### 3.4. Ohyb s ohřevem [1]

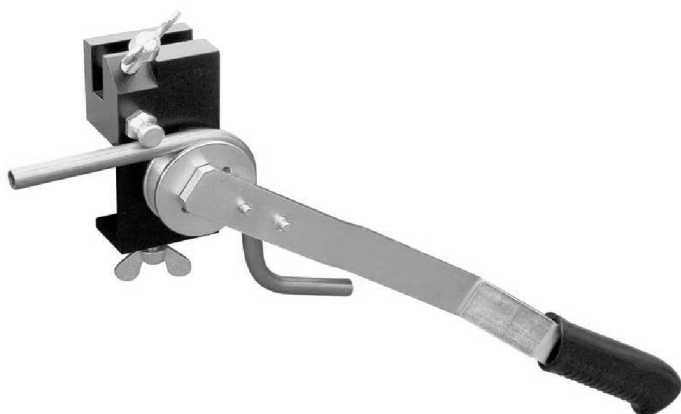
Pokud ohyb za studena nepřináší výsledky je třeba použít ohyb kombinovaný s ohřevem. U této metody je výhodou menší ohýbací síla a menší odpružení. Nevýhodou je zhoršený povrch vlivem ohřevu, vyšší pořizovací náklady na ohřev, čištění a tepelné zpracování. Nejčastěji se u této metody používá ohřev pomocí plamene nebo vysokofrekvenčního ohřevu. Trubka se musí před ohřevem důkladně odmastit a očistit vnitřní i vnější průměr. Dále se zazátkuje jeden konec a dutina se naplní pískem. Ohřev kyslíko-acetylenovým plamenem se provádí v místě ohybu a více na vnitřní straně poloměru.

### 3.5. Příklady ručních ohýbaček



Obr. 34 Ohýbačka trubek ROT-180K – fa PROMA

Ruční ohýbačka trubek do průměru 1". Kapacita trubek 3/8", 1/2", 9/16", 5/8", 3/4", 7/8", 1". Síla stěny trubek 0,8-1,2mm. Max. ohýbací úhel 180st. Vhodná pro ohýbání měděných trubek. Hmotnost čistá/hrubá 25/27kg.



Obr. 35 Ohýbačka trubek kombi model 040 – fa První hanácká BOW

Pomocník při ohýbání trubek z žíhaných ocelových, mosazných a měděných materiálů. Sada kladek pro ohyb trubek  $\varnothing$  5 – 6, 8, 10, 12 mm. Maximální úhel ohybu 180°, maximální tloušťka stěny 1 mm, ostatní materiály 1,5 mm. Hmotnost 3 kg.



Obr. 36 Ohýbačka trubek

## 4. VLASTNÍ KONCEPCE OHÝBACÍHO PŘÍPRAVKU

Z konstrukčního hlediska je ruční přípravek velmi jednoduchý, ale je omezen velikostí ohybové síly, kterou může vyvodit dělník vlastní silou. Jako plnidlo použiji tlakovou kapalinu AMG – 10, která má však několik kritérií :

- dostatečný tlak, který zabraňuje zvlnění
- vyvození menší plastické deformace než je tolerance průměru a tloušťky stěny
- Nepřekročení tlaku, který by vyvolal porušení stěny trubky.

Maximální tlak kapalinové výplně vypočítáme ze vztahu :

$$P_{\text{MAX}} = \frac{\frac{d}{s_0} + 1}{\frac{1}{2} \cdot \left(\frac{d}{s_0}\right)^2 + \frac{d}{s_0} + 1} \quad (21)$$

Tlak kapaliny použité při ohybu se volí od 25 do 40 MPa s ohledem na průměr trubky a tloušťku stěny trubky.

Ohybový moment slouží k určení vnějších sil při ohybu.

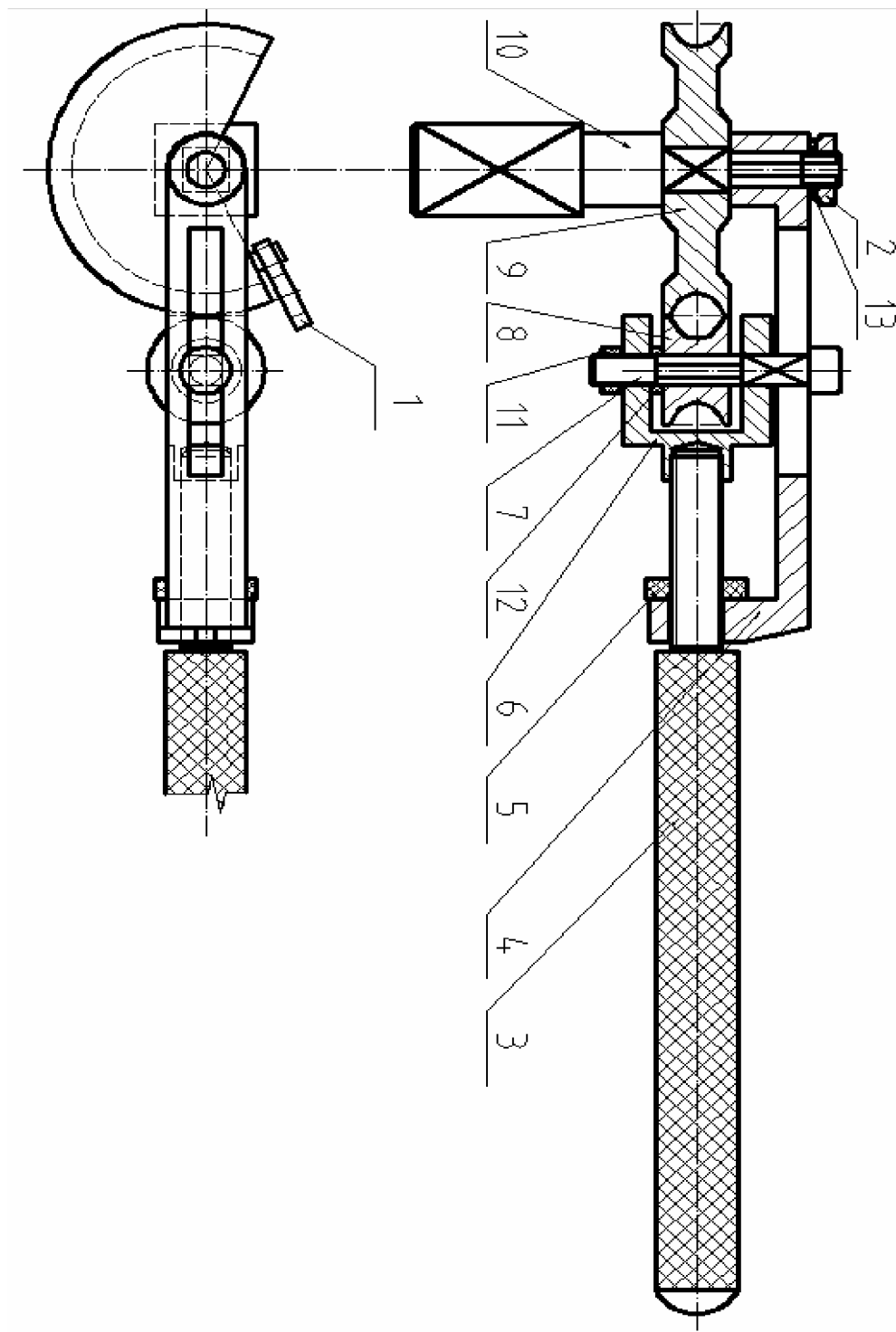
$$M = \overline{\sigma}_k \cdot d^2 \cdot s_0 + \frac{\overline{D} \cdot d^3 \cdot s_0 \cdot \pi}{8 \cdot R_0} \quad (22)$$

### 4.1. POPIS A FUNKCE OHÝBACÍHO PŘÍPRAVKU

Podle zadání jsem vytvořil nákras ručního přípravku pro ohyb tenkostěnných trubek a jako stabilizačního média jsem využil kapalinu. Konce trubky musí být opatřeny koncovkami s maticemi pro upnutí plnicího ventilu a pojišťovacího ventilu kombinovaného s akumulátorem. Nákras je umístěn v příloze č.1 a na další stránce jako schématický obrázek. Dále je přiložen v příloze č.2 výrobní výkres ramene ohýbacího přípravku (4) a v příloze č.3 výrobní výkres držáku kladky (6).

Ohyb na ohýbadle se realizuje pomocí páky (3), kladky (8) a ohýbacího segmentu (9) upevněného na hřídeli (10), která je upnuta do dílenského svěráku pomocí čtyřhranného konce (10). Hřídel má na konci válcové části vyfrézované drážky pro mazání. Ohýbací segment (9) je nasazen na čtyřhrannou část hřídele, na kterou se poté nasadí rameno ohýbacího přípravku (4) a pomocí šroubu (2) a podložky (13) je zajištěn proti vypadávání. Kladka (8) se otáčí na čepu (7), který je spojen s držákem kladky (6) a ramenem ohýbacího přípravku (4). Proti pootočení čepu (7) v rameni ohýbacího přípravku (4) má čep čtyřhrannou část. Trubka se vkládá mezi ohýbací segment (9) a kladku (8) a je zajištěna proti vysmeknutí pomocí třmenu (1). Pro různé průměry trubek a poloměry ohybu se musí vyměnit příslušný ohybový segment i kladka. Přípravek je konstruován tak, aby byl rozebíratelný a skladovatelný.

#### 4.2. SCHÉMA PŘÍPRAVKU PRO RUČNÍ OHYB TRUBEK



Obr. 37 Schéma ohýbacího přípravku



## **5. ZÁVĚR**

Práce měla za úkol jednak podat přehled způsobů tváření dílců z trubek a dále vyřešit ruční ohyb tenkostěnných trubek návrhem potřebného přípravku. Podkladem pro řešení byly informace nashromážděné z literatury a prospektů. Vycházelo se z předpokladu, že se jedná o kusovou výrobu. Z toho důvodu byla navržena co nejjednodušší konstrukce přípravku, který je prezentován na výkresové sestavě. Přípravek je možno použít v dílenském provozu s tím, že k jeho upnutí dostačuje dílenský svěrák.

## Seznam použité literatury

- [1] ŽÁK, Doc. Ing. Jan, SAMEK, CSc, Doc. Ing. Radko, BUMBÁLEK CSc, Doc. Ing. Bohumil. *Speciální letecké technologie I*. Brno : VUT Brno, fakulta strojní, 1980. 220 s. ISBN 80-214-0128-1.
- [2] JURČACKO, Ing. Josef. *Závěrečná práce PGŠ*. Brno, 1988. 34 s. Vojenská akademie Antonína Zápotockého, fakulta vojensko - inženýrska. Závěrečná práce.
- [3] ŠUŠLÍK, Miroslav. *Prieskum využitia nepevnej výplne pri ohybe tenkostenných trubiek leteckých motorov pretlačovaním*. Brno, 1985. 23 s. , 4 výkresy. Vojenská akademie Antonína Zápotockého. Konzultant soutěžní práce prof. Ing. Radko Samek, CSc.
- [4] KRÁL, CSc, Doc. Ing. Mirko. *Strojírenská výroba*. Praha : ČVUT Praha, 1988. Výroba součástí z trubek hydrostatickým tlakem s axiální kompresí, s. 51-55.
- [5] SAMEK, CSc, Doc. Ing. Radko, NETUŠILOVÁ, Ing Renata. *Návrh rovinného a prostorového ohybu tenkostěnných trubek pro dílce leteckých motorů*. Brno : Vojenská akademie Antonína Zápotockého, 1983. 60 s.
- [6] PISMENNYJ, E.I., ERBEIGEL, S.A. *Tváření součástí potrubí s použitím polyuretanu*. [s.l.] : [s.n.], 1989. s. 8-10.
- [7] *ASM Metals Handbook Vol.4 : Formung*. Ohio : [s.n.], 1969. 400 s.
- [8] NEFF, Dipl. - Wirtsch - Ing.Fritz J. *Blech Rohre Profile 28*. Urach/Württ. : [s.n.], 1981. 120 s.
- [9] SAMEK, CSC, Prof. Ing.Radko. Definice přirozeného deformačního napětí materiálu trubek. In *Sborník UO*. Brno : [s.n.], 2004. Úvod do problematiky. s. 85-86.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Legenda	Jednotka
$\Phi$	Průměr trubky	[mm]
D	Vnější průměr trubky	[mm]
$D_{\max}$	Maximální průměr trubky	[mm]
$D_{\min}$	Minimální průměr trubky	[mm]
s	Obecná proměnná tloušťka stěny trubky	[mm]
$s_0$	Výchozí tloušťka stěny trubky	[mm]
$s_{\min}$	Minimální tloušťka stěny	[mm]
R	Vnitřní poloměr trubky	[mm]
$R_{\min}$	Minimální poloměr trubky	[mm]
$R_0$	Poloměr ohybu trubky	[mm]
$R_{od}$	Poloměr po odpružení	[mm]
$R_{zb}$	Zbytkový poloměr	[mm]
$\varepsilon_0$	Přetvoření v osové směru	[-]
$\varepsilon_{0 \max}$	Maximální přetvoření v osové směru	[-]
$\varepsilon_t$	Tangenciální přetvoření	[-]
$\varepsilon_r$	Radiální přetvoření	[-]
$\varepsilon_{r \max}$	Maximální radiální přetvoření	[-]
y	Vzdálenost od osy nulové deformace	[mm]
p	Tlak	[MPa]
$p_{\max}$	Maximální přípustný tlak	[MPa]
F	Síla	[N]
K	Součinitel úhlu ohybu	[-]
M	Ohybový moment	[Nm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
I	Kvadratický modul průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
$\overline{\sigma}_k$	Extrapolovaná mez kluzu	[MPa]
$\Delta\alpha$	Změna úhlu ohybu	[°]
$\alpha$	Úhel ohybu	[°]
$\alpha_{zb}$	Zbytkový úhel	[°]

## **Seznam příloh**

Příloha č.1 – Konstrukční návrh přípravku pro ruční ohyb

Příloha č.2 – Rameno ohýbacího přípravku

Příloha č.3 – Držák kladky