



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY STOJANU NA KYTARU

THE PRODUCTION OF A GUITAR STAND

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Miroslav Holub

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Miroslav Holub**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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

Návrh výroby stojanu na kytaru

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bakalářská práce spočívá v návržení nového designu stojanu na kytaru a následného návrhu postupu výroby. V rámci řešení práce bude proveden průzkum trhu zaměřený na stávající výrobky tohoto typu, vlastní návrh tvaru stojanu, volba vhodného polotovaru a návrh postupu výroby daného dílce doloženého potřebnými výpočty.

Cíle bakalářské práce:

Provedení průzkumu trhu zaměřeného na výrobky typu „stojan na kytaru“.
Návrh nového designu řešeného dílce.
Návrh vhodného způsobu výroby.
Provedení aktuální literární studie se zaměřením na použitou technologii výroby.
Provedení technologických a kontrolních výpočtů.
Zhodnocení vhodnosti a uplatnění nově navrženého dílce.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

BIRZER, Franz. Forming and fineblanking: cost effective manufacture of accurate sheetmetal parts. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, c1997. ISBN 34-789-3161-4.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na návrh a výrobu stojanu na kytaru. Stojan byl navrhnout jako prostorově ohýbaná trubka z materiálu AlMg2 o průměru 32 mm a tloušťce stěny 1 mm. Pro výrobu byl zvolen stroj ABM 50 CNC od firmy Akyapak. Při výrobě došlo ke kolizi, a proto byl prototyp vyroben alternativním způsobem. Pro úplné dokončení stojanu byla navržena povrchová úprava eloxováním a montáž doplňkových komponent.

Klíčová slova

stojan na kytaru, materiál AlMg2, ohýbání trubek, ohyb navíjením

ABSTRACT

The bachelor's thesis focuses on the design and production of guitar stand. The stand was designed as a spatially bended tube made of AlMg2 material with a diameter of 32 mm and a wall thickness of 1 mm. The ABM 50 CNC machine from Akyapak was chosen for production. A collision occurred during production, so the prototype was produced in an alternative way. To fully complete the stand, anodizing and mounting of additional components were designed.

Keywords

guitar stand, material AlMg2, tube bending, rotary draw bending

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HOLUB, Miroslav. *Návrh výroby stojanu na kytaru*. Online, bakalářská práce. Eva PETERKOVÁ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165738>.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh výroby stojanu na kytaru vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 22.5.2025

místo, datum

Miroslav Holub

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování bakalářské práce. Děkuji také firmě Aircraft Industries, a.s. za poskytnutí cenných znalostí a možnost výroby stojanu, děkuji také všem zaměstnancům, kteří mi jakkoli pomohli, zejména pak děkuji Michalu Kirchnerovi. Na závěr bych chtěl poděkovat své rodině, společenství a přátelům, kteří mě během studia podporovali.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Možnosti ohýbání trubek.....	12
2 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ TRUBEK	15
2.1 Princip ohybu trubek	15
2.2 Členění dle technologičnosti	16
2.3 Defekty při ohybu trubek	17
2.3.1 Předcházení defektů.....	20
2.4 Ohyb navíjením	22
3 PRAKTICKÁ ČÁST	23
3.1 Návrh stojanu	23
3.2 Technologické výpočty	26
3.2.1 Výpočet odpružení.....	27
3.2.2 Rozvinutá délka	30
3.3 Volba ohýbacího stroje.....	32
3.4 Výroba stojanu	33
3.4.1 Alternativní výroba.....	36
3.5 Dokončovací práce	37
ZÁVĚR.....	39

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

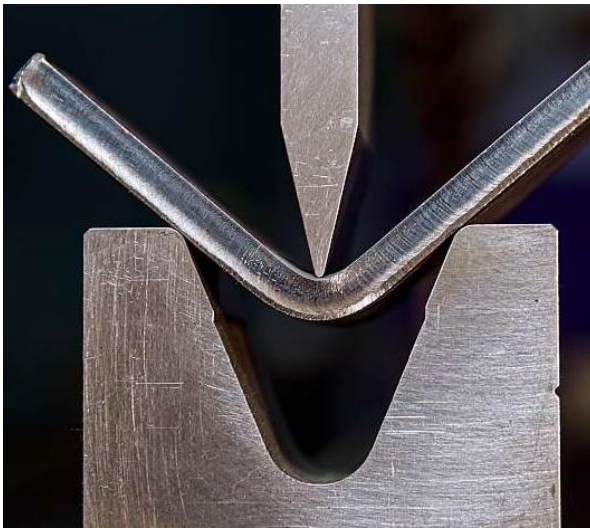
Seznam výkresů

ÚVOD

Výrobní technologie jsou v současné době potřeba zdokonalovat zejména z důvodů stále vyšší poptávky po produktech, větších nároků na kvalitu produktu, norem stanovujících výrobní emise a zákazníka požadujícího nižší cenu. Ze strojírenských technologií zaznamenávají největší rozmach a zlepšení odlévání, obrábění, svařování a tváření.

Tváření, spočívající v řízené změně tvaru za pomoci vnější síly, se dělí na objemové, které se zabývá změnou tvaru ve třech osách, a plošné, zabývající se změnou v jedné nebo dvou osách. U plošného tváření se jako polotovary používají zejména plechy, tenkostěnné profily a trubky. Typickými metodami jsou tažení, stříhání, kovotlačení a ohýbání (obr. 1). [1; 2]

Ohýbání je jedna z nejběžnějších metod plošného tváření, při které je materiál vzniklým napětím trvale deformován bez podstatné změny průřezu. Plastická deformace zasahuje do poměrně malého objemu tvářeného materiálu a tvoří ostrou nebo oblou hranu. Běžně se ohýbají nejen plechy, ale i tenkostěnné trubky a tvarové profily. Nejznámější typy ohýbání pak jsou prosté ohýbání, ohraňování, rovnání, zakružování, lemování a osazování. [1; 2; 3]



Obr. 1 Příklady plošného tváření [4; 5; 6].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Cílem práce je zhodnocení aktuálně používaných stojanů na kytaru (obr. 2), navrhnutí nového designu, zvolení vhodné výrobní technologie a navrhnutí adekvátního výrobního postupu. Dále bude vynaložena snaha o reálnou výrobu prototypu stojanu, ačkoli to není cílem této práce.



Obr. 2 Kytara ve stojanu. [7]

V současnosti je spousta druhů stojanů na kytaru, které jsou vyráběny z různých materiálů a pomocí kombinace řady technologií. Design těchto stojanů bývá zaměřen na funkčnost, ekonomičnost a estetičnost. Často se vyskytující typy stojanů pak jsou [7]:

- Stojan typu A (obr. 3a) – jeho tvar připomíná písmeno A. Kytara je držena za tělo a výjimečně i za krk. Výhodou tohoto stojanu je jeho malá velikost a možnost složení a snadného přenosu. Kvůli většinové absenci držení krku kytary má stojan nižší stabilitu, a tím zaostává v bezpečnosti za ostatními typy stojanů.
- Stojan na trojnožce (obr. 3b) – na nízkou trojnožku je připevněna tyč, která fixuje krk kytary a dále je zesponu jistěno tělo kytary. Stojan je stabilnější a pevnější oproti typu A, ovšem kvůli stabilnější konstrukci je také prostorově objemnější. Pro uskladnění stojanu je nutné jej složit.
- Věšák (obr. 3c) – od ostatních stojanů se liší tím, že je zabudován do stěny. Kytara je držena pouze za krk. Díky připevnění ke stěně je stojan velmi malý a jednoduchý, zároveň to znamená, že stojan je nepřenosný. Kvůli držení kytary pouze za krk je potřebné dbát na nosnost více než u jiných stojanů.



a) Stojan typu A.

b) Stojan na trojnožce.

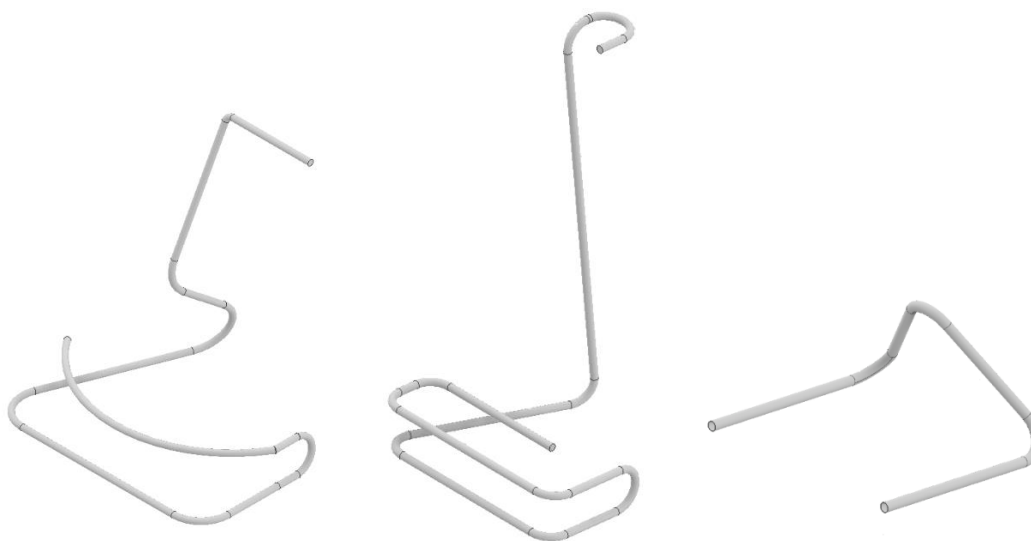
c) Věšák.

Obr. 3 Typy stojanů na kytaru [7].

Zmíněné typy stojanů mají své výhody i nevýhody. Výrazná nevýhoda, která nebyla zmíněna, je velký počet součástí z různých materiálů, ze kterých jsou stojany montovány a rozličné metody jejich spojení od sešroubování, přes nýtování, až po svařování, viz obr. 3. Práce se dále bude zabývat návrhem stojanu s nižším počtem součástí, jednodušší smontovatelností a výrobou s použitím co nejnižšího počtu technologií.

Z důvodu zajištění mobility a vyhovění tvarové jednoduchosti bude stojan navrhnout podobně jako stojany na obr. 3a a obr. 3b. Prvotní návrhy designu jsou znázorněny na obr. 4. Při zjednodušení výroby však už nebude možné stojan složit, což zapříčiní náročnější skladování. Podrobný návrh stojanu bude popsán v praktické části práce.

Spousta stojanů je vytvářena z dutých profilů a trubek kvůli šetření materiálu a snížení váhy dílce. Proto bude i v této práci ze stejných důvodů použita trubka jako výchozí polotovár. Při oslovení firem, které se zabývají zpracováváním trubek, vyšla vstříc této práci firma Aircraft Industries a.s. Firma se zabývá ohýbáním trubek, což je technologie vhodná pro výrobu uvažovaných designů. Firmou byl doporučen materiál AlMg2, což je slitina hliníku a hořčíku. Materiál je vhodný ke tváření a není třeba ho vytvrzovat, pro výrobu stojanu tedy bude použit. Základní chemické a mechanické vlastnosti materiálu jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2. Materiálový list je v příloze 1.



Obr. 4 Hrubý model designu stojanu.

Tab. 1 Chemické vlastnosti materiálu AlMg2 [8].

Mg [%]	Fe [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ti [%]	Cu [%]	Zn [%]
1,4 - 2,1	max 0,45	max 0,3	max 0,25	max 0,3	max 0,1	max 0,05	max 0,2

Tab. 2 Mechanické vlastnosti materiálu AlMg2 [8].

Mez pevnosti v tahu – Rm	Mez kluzu v tahu – Re	Tažnost – A
150 MPa	60 MPa	16 %

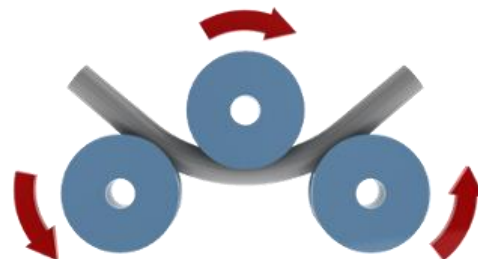
1.1 Možnosti ohýbání trubek

Stojan nově navrženého designu lze vyrobit několika metodami. Z těchto metod bude vybrána ta nejvhodnější podle kritérií, mezi které se řadí vyrobitelnost bez výrazných defektů, maximální a minimální rádius ohybu, úhel ohybu, profil ohýbané trubky a také dostupnost strojů pro danou metodu v oslovené firmě. Zvažované metody ohýbání trubek [9]:

- Zakružování trubek (obr. 5) – provádí se nejčastěji na třívalcových symetrických zakružovačkách a princip je velmi podobný zakružování plechů, viz obr. 6. Válce mají po odvodu drážku ve tvaru profilu ohýbané trubky. Kvůli zabránění deformace profilu trubky je posuv trubky zajištěn přídatnou silou. Dle [10] je metoda vhodná pro trubky větších průměrů (80 mm a více) s tloušťkou 5-krát až 10-krát menší, než je průměr a pro tvary, kde je pouze jeden poloměr ohybu, což není vyhovující pro navržené designy.



Obr. 5 Zakružování trubek [11].

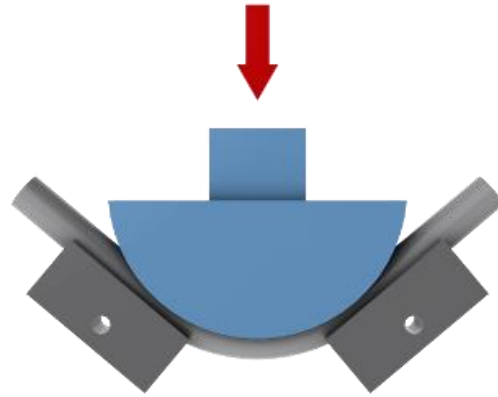


Obr. 6. Princip zakružování trubek [12]

- Ohýbání lisováním (obr. 7) – je možné tvarovat trubky buď s jedním nebo s více ohyby. Při tvarování s jedním ohybem se používá ohýbací matrice (beranu) a otočných či pevných opěrných lišt, metoda je v principu podobná volnému ohýbání (obr. 8). U vícenásobného ohybu se ohýbá buď postupně, což se podobá tvarování s jedním ohybem, nebo najednou, kde se obvykle ohýbá v zápustce a většinou je třeba výrobu seřadit dle praktických výsledků pro danou součást. Dle [1] lze ohýbat trubky o průměru až 350 mm a úhlu ohybu až 165°. Z důvodu, že se jedná o prototypovou výrobu a nástroj pro vícenásobné ohýbání najednou je náročný na výrobu a umožňuje ohyb pouze v jedné rovině, je metoda pro výrobu stojanu nevhodná. Způsob postupného ohybu je ale vyhovující pro danou součást.



Obr. 7 Ohýbání beranem [13].

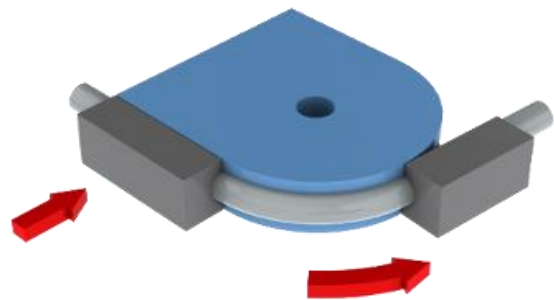


Obr. 8 Princip ohýbání beranem [12]

- Ohyb nabalováním (obr. 9) – principem je, že trubka je posazena a upnuta do matrice a pomocí páky s tvarovou příložkou je trubka ohýbána tak, aby kopírovala zaoblení matrice, viz obr. 10. Dle [9] je obvyklý poloměr ohybu přibližně čtyřnásobek průměru trubky, přičemž úhel ohybu může být až 170°. Oslovená firma disponuje ručním strojem pro zmiňovanou metodu.



Obr. 9 Nabalování [14].

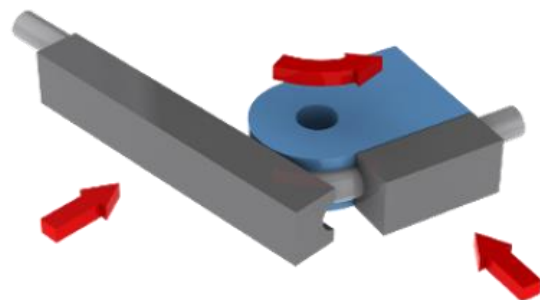


Obr. 10 Princip nabalování [12].

- Ohyb navíjením (obr. 11) – spočívá v ohýbání trubky uložené do otáčivé matrice, ve které je trubka upnuta pomocí upínací lišty. Trubka je ještě dotlačena přítlačnou lištou, která má odpovídající profil dle trubky, viz obr. 12. Ohyb navíjením je metoda běžně používaná pro trubky kruhového i jiného průřezu, dle [1] lze ohýbat průměry od cca 12 mm do 250 mm, a to až do úhlu 180° a poloměru ohybu blízcímu se průměru ohýbané trubky. Oslovená firma disponuje CNC strojem pro danou metodu.



Obr. 11 Navíjení.

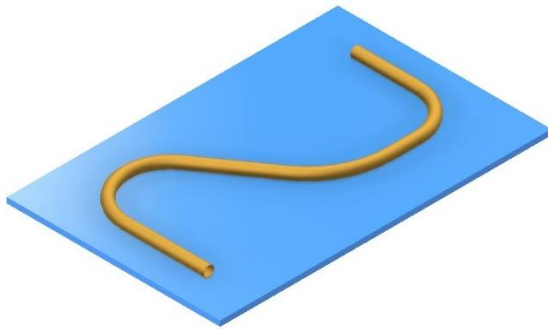


Obr. 12 Princip navíjení [12].

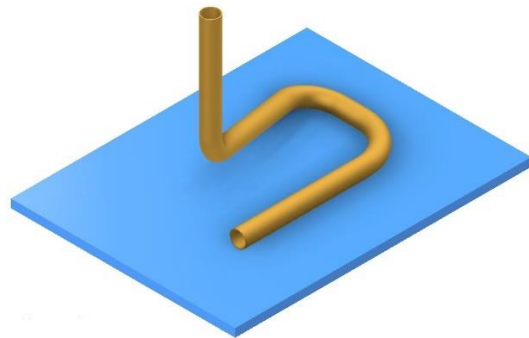
Při porovnání uvedených technologií je možno zakružování vyloučit jako použitelnou metodu z důvodu, že pro vícenásobné ohýbání není vhodná. S ohledem na výrobu je možné použít stroje pro metody navíjení a nabalování, přičemž pro navíjení je dostupný stroj číslicově řízený a ve srovnání s ručním strojem dosahuje vyšších přesností a má jednodušší ovládání. Pro výrobu stojanu na kytaru bude z těchto důvodů použita metoda strojního navíjení trubek.

2 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ TRUBEK

Technologie ohýbání trubek náleží mezi základní technologie užívané při výrobě dílců z trubek. Provádí se buď ve speciálních přípravcích nebo pomocí ručních či strojních ohýbaček. Lze ohýbat v jedné (obr. 13), ale i ve více rovinách (obr. 14). Při ohýbání ve více rovinách jde o tzv. prostorový ohyb, který je výrazně náročnější pro dokumentaci, realizaci a kontrolu, ta je obvykle prováděna za použití přípravků. Prostorový ohyb se převážně provádí na strojních ohýbačkách. [9]



Obr. 13 Díl ohýbaný v jedné rovině.



Obr. 14 Díl ohýbaný ve více rovinách.

2.1 Princip ohybu trubek

Hlavním specifikem ohybu trubek je, že ohýbaný polotovár je dutý. K přetvoření dochází za pomoci působení vnějších ohybových momentů M_o , které vznikají od ohybové síly vytvářené nástrojem. Zároveň je vnější ohybový moment roven vnitřnímu ohybovému momentu M_{ov} . Ohybový moment vnějších sil je tedy závislý nejen na ohybové síle, ale i na technologii ohýbání, poněvadž je třeba zohlednit působení vnitřních sil. [9; 15]

Pro stanovení ohybového momentu lze použít různých metod, některé z nich lze nalézt v [16] a [17]. Vybraná metoda pro stanovení ohybového momentu vychází z [9], zpevnění materiálu je ve vzorci zanedbáno:

$$M_{ov} = R_e \cdot (2r_s)^2 \cdot t_0 \quad (2.1)$$

kde: t_0 – výchozí tloušťka stěny trubky [mm],
 r_s – střední poloměr trubky [mm].

Ohýbání trubek probíhá podobně jako klasický ohyb na lisu (obr. 15). Mezi vrstvami natahovanými a stlačovanými je neutrální osa, v níž je ohybové napětí nulové. Neutrální osa se na počátku ohybu nachází ve středu průřezu a v průběhu ohybu se její délka nemění. Se zmenšujícím se poloměrem ohybu se materiál přesouvá z tahové oblasti do oblasti tlakové a neutrální osa se posouvá ke středu ohybu. K přesunu osy dochází pouze v oblasti vymezené úhlem φ , kde dochází k přetvoření, viz obr. 15. Posuv neutrální osy od osy původní je na obr. 15 označen jako x . [9]

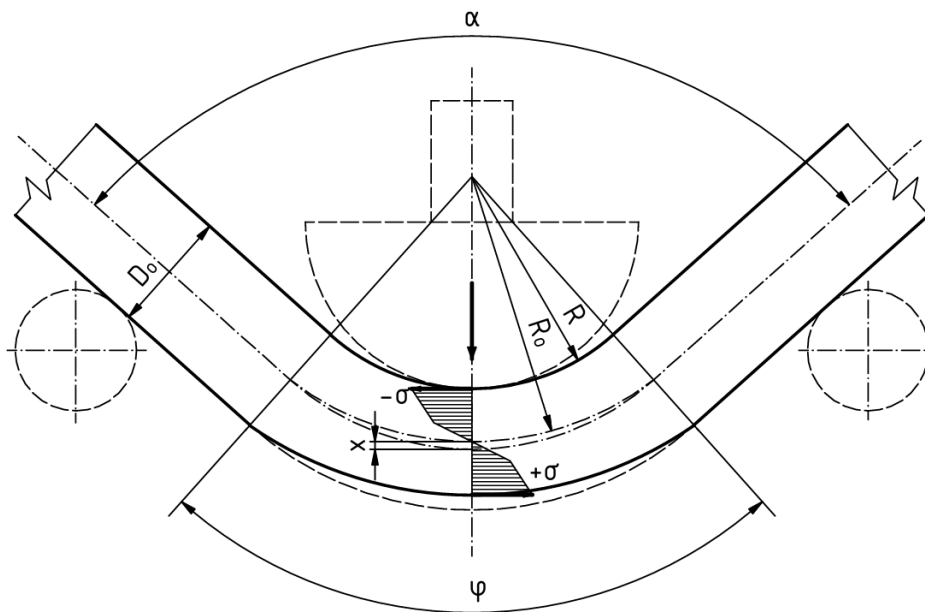
Tato vzdálenost je dle [16] dána vztahem:

$$x = \frac{0,42}{k} \cdot r_s, \quad (2.2)$$

kde: k – poměr poloměru ohybu střední osy a středního průměru trubky [-],
 $k = \frac{R_s}{2 \cdot r_s}, \quad (2.3)$

kde: R_s – poloměr ohybu střední osy [mm].

Ze vztahů (2.2) a (2.3) lze usoudit, že čím menší je poloměr ohybu, tím více se bude neutrální osa posouvat. Význam neutrální osy spočívá hlavně ve výpočtu délky výchozího polotovaru a ve stanovení kvadratického momentu průřezu při velkých změnách tloušťky stěny. [9]



Obr. 15 Princip ohybu na lisu [9].

Posunutí neutrální osy není stejné v celém průběhu ohybu, viz obr. 15. V krajních neboli přechodových oblastech je posunutí osy proměnlivé a ve středových oblastech je posunutí konstantní. Délka neutrální osy l_o se v místě ohybu počítá dle [16] následovně: [9]

$$l_o = \varphi \cdot R_o , \quad (2.4)$$

kde: φ – úhel ohybu [rad],
 R_o – poloměr ohybu neutrální osy [mm],
 $R_o = R_s - x$. (2.5)

2.2 Členění dle technologičnosti

Před zahájením ohybu je třeba vyhodnotit základní kritéria technologičnosti dílce, pomocí nichž lze odhadnout stupeň obtížnosti procesu ohybu a posoudit možnost dosažení požadované kvality, tato kritéria jsou: [9; 17]

- Relativní tloušťka stěny – trubky jsou obecně děleny na tenkostěnné a tlustostěnné. Pro jejich rozdělení se používá poměru tloušťky stěny ku vnějšímu průměru trubky. Dle [17] se rozdělují:

- na tenkostěnné trubky, při vyhovění podmínce:

$$\frac{t_o}{D_o} \leq 0,1 , \quad (2.6)$$

kde: D_o – vnější průměr trubky [mm],

- na trubky tlustostěnné, které jsou dané podmínkou:

$$\frac{t_o}{D_o} > 0,1 . \quad (2.7)$$

- Relativní poloměr ohybu – rozlišuje mezi ohyby na malé poloměry (ostrý ohyb) a ohyby na velké poloměry (volný ohyb). Je určován za pomoci poměru vnitřního poloměru ohybu a vnějšího průměru trubky. Podle [17] je rozdělení:

- na ohyby na malé poloměry, za podmínky:

$$\frac{R}{D_0} \leq 6, \quad (2.8)$$

kde: R – vnitřní poloměr ohybu [mm],

- na ohyby na velké poloměry, dle podmínky:

$$\frac{R}{D_0} > 6. \quad (2.9)$$

- Stupeň obtížnosti ohybu – zohledňuje relativní tloušťku stěny a relativní poloměr ohybu a je možné jej hodnotit pomocí empiricky stanovených technologických limitů. Dle [17] jsou následující:

- pro optimální podmínky procesu platí:

$$\frac{t_0}{D_0} \geq 0,1, \quad (2.10)$$

$$\frac{R}{D_0} \geq 2,5, \quad (2.11)$$

- pro přijatelné podmínky procesu jsou vhodné následující parametry:

$$\frac{t_0}{D_0} = 0,075, \quad (2.12)$$

$$\frac{R}{D_0} = 2,5, \quad (2.13)$$

- nevhodné podmínky procesu jsou stanoveny:

$$\frac{t_0}{D_0} \leq 0,05, \quad (2.14)$$

$$\frac{R}{D_0} \leq 2,5. \quad (2.15)$$

- Minimální vnitřní poloměr ohybu R_{min} – zastává kritickou hodnotu, při jejímž překročení dochází na vnější straně ohybu trubky k přílišnému ztenčení stěny s následným vznikem trhlin. Trhliny vznikají z důvodu lokálního překročení meze pevnosti v tahu R_m , které je závislá zejména na druhu materiálu, jeho plastičnosti, tloušťce stěny, metodě ohýbání a kvalitě povrchu. Dle [17] se určuje podle vzorce:

$$R_{min} = \frac{K \cdot D_0 \cdot (2t_p - t_0)}{2 \cdot (t_0 - t_p)}, \quad (2.16)$$

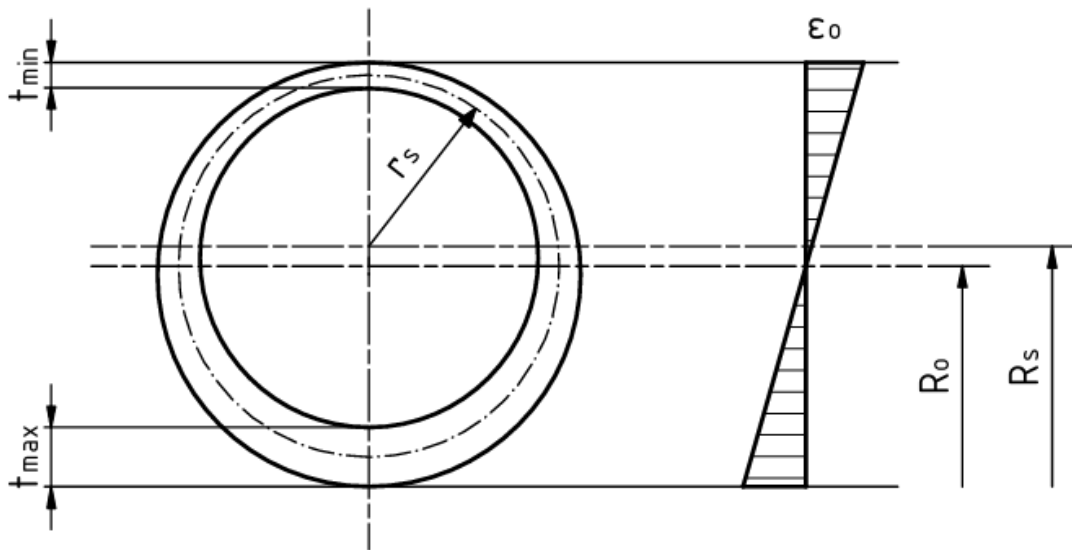
kde: t_p – přípustná tloušťka stěny trubky [mm],
 K – součinitel minimálního poloměru ohybu [-].

2.3 Defekty při ohybu trubek

Při ohýbání trubek dochází vždy k defektům, tyto defekty nelze eliminovat, ale lze je omezit na únosnou míru, a to dodržením základních kritérií technologičnosti. V případě nedodržení těchto kritérií začne docházet k výrazným defektům na ohýbaném dílci, mezi nejčastější se řadí [9; 16; 17; 18]:

- Ztenčení stěny – při postupném zmenšování poloměru ohybu se tahová napětí na vnější straně ohybu zvětšují. Zároveň dochází k přesunu materiálu z vnějšího poloměru ohybu

(oblasti tahové) na vnitřní poloměr ohybu (oblasti tlakové) (obr. 16), což vede k ještě větší intenzitě ztenčování stěny. V případě že dojde k překročení meze pevnosti v tahu, začne docházet ke vzniku trhlin na vnější straně ohybu.



Obr. 16 Ztenčení stěny [9].

Pro výpočet minimální tloušťky stěny trubky t_{min} lze dle [16] použít vzorec:

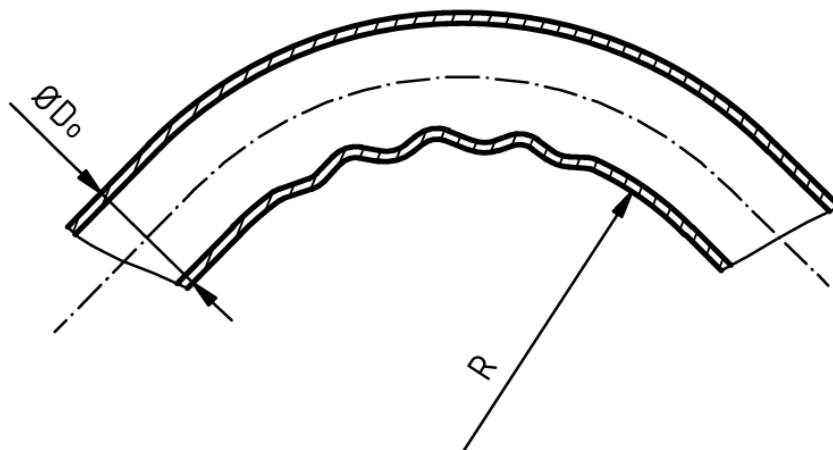
$$t_{min} = \left(1 - \frac{2k'+1}{2k' \cdot (4k'+2)}\right) \cdot t_0, \quad (2.17)$$

kde: k' – poměr poloměru ohybu neutrální osy a středního průměru trubky [-],

$$k' = \frac{R_o}{2 \cdot r_s}. \quad (2.18)$$

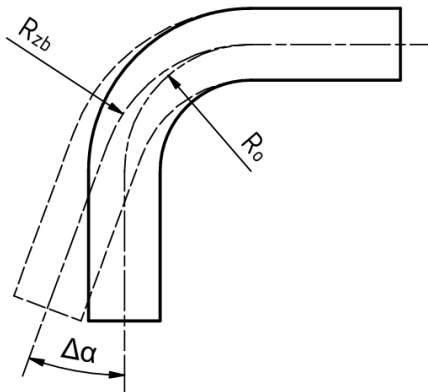
Obecně se dle [17] povoluje maximální ztenčení stěny 25 %, zvláště je na to dbáno u trubek namáhaných vnitřním tlakem.

- Zvlnění stěny – v případě, že je stěna trubky na vnitřním poloměru ohybu příliš zatížena tlakem, začne docházet ke ztrátě stability a na stěně vzniká zvlnění (obr. 17). U dílců, které jsou vystavovány vibracím a extrémním změnám provozních tlaků, je zvlnění zvláště nežádoucí, protože napomáhá ke vzniku únavových trhlin.

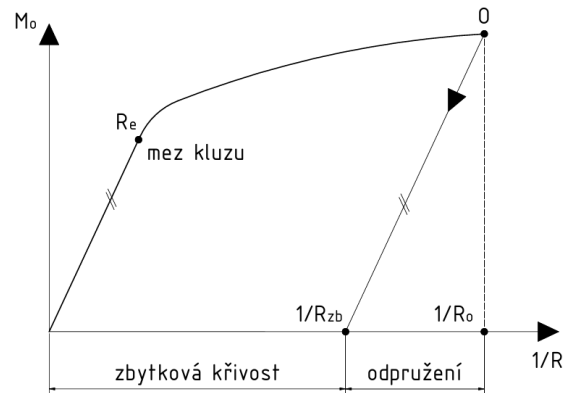


Obr. 17 Zvlnění stěny [18].

- Odpružení – vzniká po uvolnění ohybového momentu, kdy elastická deformace klesá na nulovou hodnotu. Má za následek změnu poloměru ohybu a úhlu ohybu trubkového dílce (obr. 18). Po odpružení zůstává již jen tzv. zbytková křivost, která je definovaná jako převrácená hodnota zbytkového poloměru, tedy poloměru konečného, viz obr. 19.



Obr. 18 Odpružení [19].



Obr. 19 Schéma velikosti odpružení [9].

Změna poloměru po odpružení je závislá především na ohybovém momentu, tuhosti dílce, poloměru ohybu v ose trubky a úhlu ohybu. Tento poloměr je dle [17] určen vztahem:

$$R_{zb} = \frac{R_0}{1 - \frac{M_0 R_0}{EJ}}, \quad (2.19)$$

kde: R_{zb} – zbytkový poloměr ohybu [mm],
 M_0 – ohybový moment [Nmm],
 E – modul pružnosti materiálu [MPa],
 J – kvadratický moment průřezu [mm⁴].

Velikost odpružení lze stanovit i přímo, a to pomocí úhlu odpružení. Za předpokladu, že tangenciální délka neutrální osy ohnuté části trubky je stejná před i po uvolnění ohybové síly, dle [9] je možno použít výpočet:

$$\Delta\alpha = \frac{M_0 R_0}{EJ} \cdot \alpha, \quad (2.20)$$

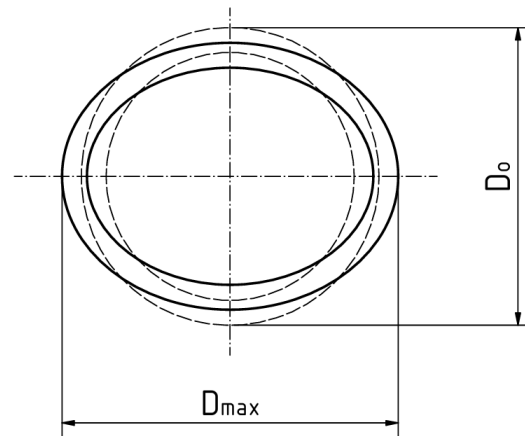
kde: $\Delta\alpha$ – úhel odpružení [°],
 α – úhel ohybu [°].

- Ovalita průřezu – je běžný defekt, při kterém dochází ke zploštění kruhového profilu trubky na tvar eliptický, viz obr. 20. K vyjádření míry deformace lze použít vícero metod, jednou z nich je koeficient ovality K_0 , který je dán dle [9] vzorcem:

$$K_0 = \frac{D_{max} - D_0}{D_0} \cdot 100\%, \quad (2.21)$$

kde: D_{max} – maximální rozměr zploštěného tvaru [mm].

Přípustné hodnoty ovality mohou být také kontrolovány průchodem kuličky, jejíž průměr je určován podnikovými normami. Dle [18] jsou předepsané hodnoty průměru kuličky pro trubky z materiálu AlMg2 zapsány v Tab. 3.

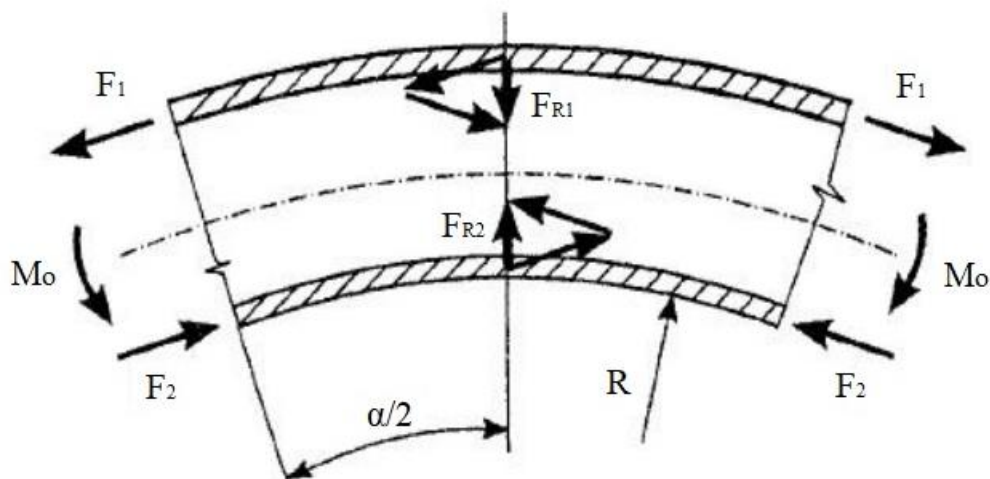


Obr. 20 Zploštění trubky [9].

Tab. 3 Rozměry kuliček pro kontrolu vnitřních průměrů [18].

Vnitřní průměr trubky [mm]	16	18	20	23	25	28	30	32	34	36
Průměr kuličky [mm]	12	14	16	19	20,5	23,5	25,5	27,5	29,5	31,5

Vznik ovality lze vysvětlit na základě rozkladu vnitřních sil a za podmínky zanedbání vlivu opěrného tlaku od ohýbacích nástrojů, které ke vzniku ovality také přispívají. V důsledku působení vnějšího ohybového momentu vznikají ve vnitřní a vnější polovině průřezu tlaková a tahová napětí působící podél křivky ohybu. Těmto napětím odpovídají vnitřní tahové síly F_1 a tlakové síly F_2 , jejichž působení je schematicky znázorněno na obr. 21. Složením sil, viz obr. 21, vznikají radiální síly F_{R1} a F_{R2} , které působí směrem k ose trubky a tím vyvolávají vznik zploštění.



Obr. 21 Vnitřní síly v trubce [9].

2.3.1 Předcházení defektů

Při nedodržení kritérií technologičnosti je ještě možnost některé defekty minimalizovat. Nejčastěji se tak činí za použití výplní. Díky nim má trubka plný průřez, a tudíž lze její ohýbání připodobnit k ohýbání tyče kruhového průřezu. [9]

Výplně se dělí zejména dle skupenství, ve kterém se při použití nachází [9; 17]:

- Tuhé a lehko tavitelné výplně – jsou vhodné pro kratší dílce s větším průměrem. Mezi tuhé výplně se například řadí technická močovina, ledek draselný, dusičnan vápenatý, zmrazená voda nebo kalafuna. Lehko tavitelné výplně jsou zejména lehko-tavitelné slitiny na bázi bismutu. Výplně jsou z trubek odstraňovány pomocí horké vody, v některých případech musí teplota vody dosahovat až 80°C.
- Tekuté výplně – se používají v podobě různých hydraulických směsí či olejů, jsou vhodné pro všechny průměry trubek ohýbaných převážně ručně. Výhodou je snadné plnění a odstranění kapaliny, převážně u dlouhých dílců. Nevýhodou je nutnost úpravy konců trubek, aby na ně bylo možné upevnit ventily. Obvykle užívané plnicí tlaky bývají v rozsahu mezi 25 a 40 MPa.
- Sypké výplně – používá se jemnozrnný sklářský písek nebo ocelové kuličky malých průměrů. Trubky je nutno z obou stran utěsnit. Pro zvýšení tuhosti bývá výplň vibračně setřepávána. Při použití ocelových kuliček vzniká riziko, že na vnitřní stěně trubky po nich zůstanou otisky, tedy důlky.
- Mechanické výplně – používají se u kratších dílců s relativně většími průměry. Jako výplň se používají např. hustě vinuté pružiny, polyuretanové válečky, silikonové nebo kovové ohebné vložky ve tvaru kulových segmentů nebo pevné či ohebné stabilizační trny.

Pro strojní výrobu jsou jako výplně nejčastěji používané stabilizační trny. Vyskytují se většinou jako pevné, pružné a segmentové (obr. 22). [9]



Obr. 22 Přehled trnů [20].

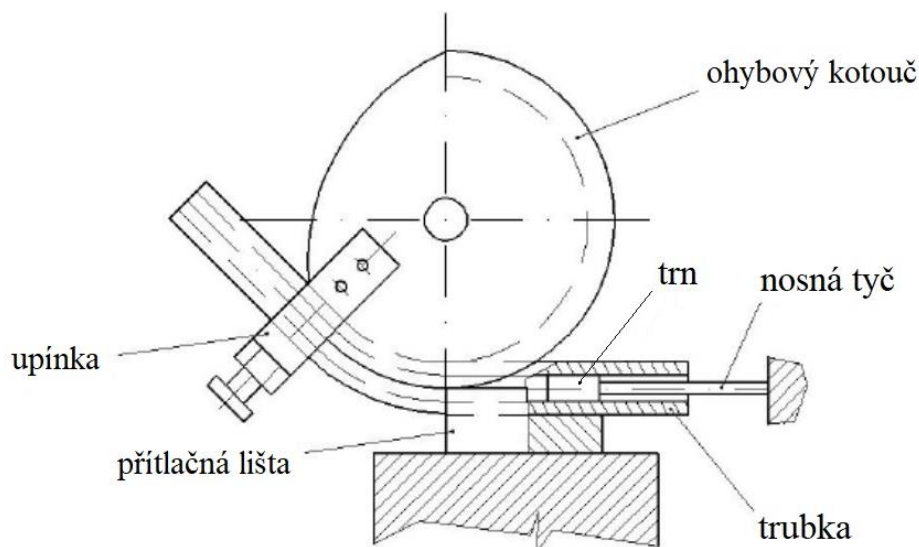
Pro volbu vhodného typu trnu je třeba vycházet z relativní tloušťky stěny a relativního poloměru ohybu (v tomto případě je počítán z R_s poloměru ohybu stření osy). Dle [20] je pro určení typu trnu vhodná tab. 4, kde P znamená pevný trn, M segmentový trn, TW segmentový tenkostěnný trn, číslo označuje počet segmentů a W označuje nutnost použití vyhlazovače, např. M3W značí segmentový trn se třemi segmenty a vyhlazovačem [20].

Tab. 4 Tabulka pro výběr trnu [20].

		$\frac{R_s}{D_0}$							
		1	1,25	1,5	2	2,5	3	4	5
$\frac{t_0}{D_0}$	1/10	M1	M1	M1	M1	P	P		
	1/15	M1W	M1W	M1	M1	P	P		
	1/20	M2W	M2W	M1W	M1	M1	M1	P	
	1/25	M3W	M2W	M1W	M1W	M1	M1	M1	
	1/30	M3W	M3W	M2W	M2W	M1W	M1	M1	M1
	1/35	M3W	M3W	M3W	M2W	M2W	M2W	M1	M1
	1/40	TW4W	M3W	M3W	M3W	M3W	M3W	M2W	M2
	1/45	TW4W	M3W	M3W	M3W	M3W	M3W	M2W	M2W

2.4 Ohyb navíjením

Natáčením ohybového kotouče, ke kterému je přichycena trubka pomocí upínky popřípadě upínací lišty, dochází k postupnému navíjení, viz. obr. 23. Trubka je dotlačena do drážky kotouče přítlačnou lištou, která má rovněž odpovídající profilovou drážku. Přítlačná lišta může být pevná nebo také pohyblivá. V případě pevné lišty dochází ke vzniku větších třecích odporů v důsledku smykového posunu trubky v průběhu navíjení. Pohyblivá lišta má délku větší, než navíjená část trubky a pohybuje se zároveň s trubkou. Při ohybu trubek navíjením se kvalita ohybu zlepši použitím stabilizačních trnů. Trn stabilizuje vnitřní stěnu trubky proti zvlnění, je pevný, nepohyblivý a ustavený v dané poloze, kde začíná docházet k ohybu. [2; 9; 10; 17]



Obr. 23 Schéma stroje pro ohyb navíjením [10].

3 PRAKTICKÁ ČÁST

Praktická část práce bude zaměřena na návrh designu stojanu a jeho kompletní výrobu. Nejprve je třeba definovat, pro jakou kytaru bude stojan určen a rozměry dané kytary. Stojan bude určen pro akustickou kytaru, která má na rozdíl od kytary elektrické rozměrnější však lehčí tělo. Rozměrnější tělo kytary poslouží ke snadnějšímu ustavení kytary ve stojanu. Rozměry kytary důležité pro návrh zvoleného typu stojanu jsou výška těla 505 mm, spodní šířka těla 395 mm a délka těla 120 mm, viz obr. 24.

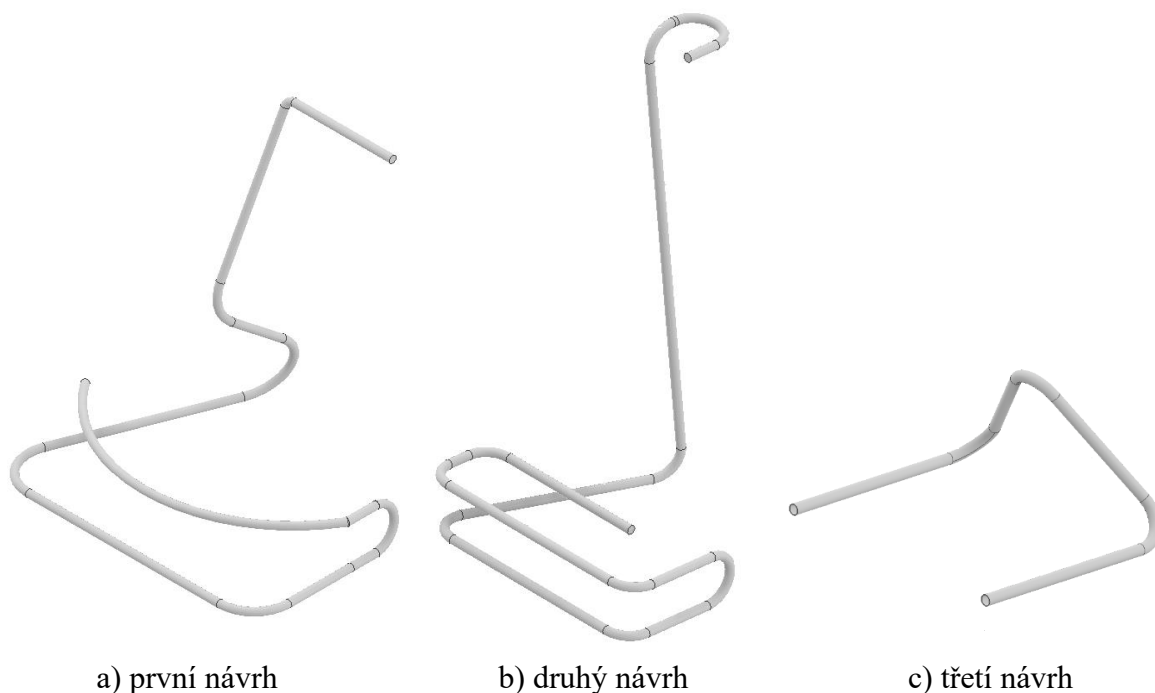


Obr. 24 Rozměry kytary [21].

3.1 Návrh stojanu

S ohledem na zvolenou technologii ohýbání trubek, bude stojan navrhnout jako prostorově ohýbaná trubka. Firma disponuje trubkami o průměru 32 mm a tloušťce 1 mm, tyto trubky budou použity jako polotovar pro návrh stojanu.

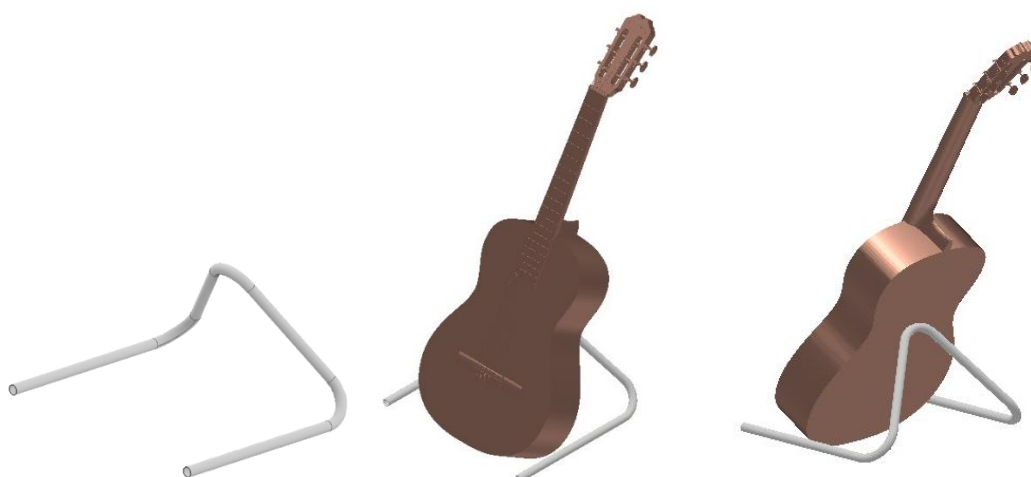
Prvotní návrhy stojanu jsou znázorněny na obr. 25. První návrh, viz obr. 25a, je vzhledově zajímavý, avšak jeho funkčnost je horší. Uvažuje s uchycením kytary za spodní část těla a za krk, přičemž uchycení těla není funkční a uchycení krku není nijak jištěné. Návrh též obsahuje různé radiusy ohybu, které vytvářejí nutnost použití stroje s více aktivními ohybovými kotouči najednou. Prostorový ohyb tohoto návrhu je vzhledem k tomu, jak jsou části trubky blízko sebe, na většině strojů nevyrobitelný.



Obr. 25 Uvažované návrhy designu.

Druhý návrh, viz obr. 25b, drží kytaru za spodní část těla a za krk, oproti prvnímu návrhu je držení těla funkční a držení krku je jištěné. Design je navrhnut se stejnými poloměry ohybů, což zjednodušuje výrobu, ovšem stejně jako u prvního návrhu je daný prostorový ohyb na většině strojů nevyrobitelný.

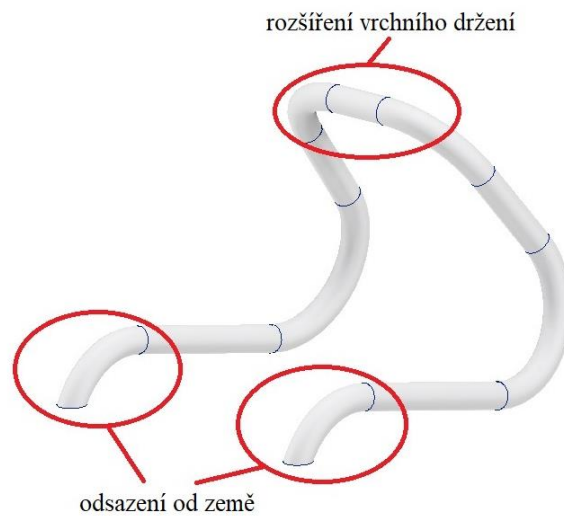
Při třetím návrhu stojanu, viz obr. 25c, byla vynaložena snaha o co nejjednodušší design. Kytara je opírána o spodní a vrchní část těla. Krk kytary není jištěn, čímž vzniká vyšší riziko pádu kytary ze stojanu. Držení spodní části těla není odsazeno od země, a proto hrozí poničení spodku kytary. Design je navržen se stejnými poloměry ohybu a obsahuje pouze tři ohyby, což podstatně zjednodušuje výrobu. Prostorový ohyb je dostatečně jednoduchý na to, aby byl vyroben na většině strojů.



Obr. 26 Uložení kytary do stojanu.

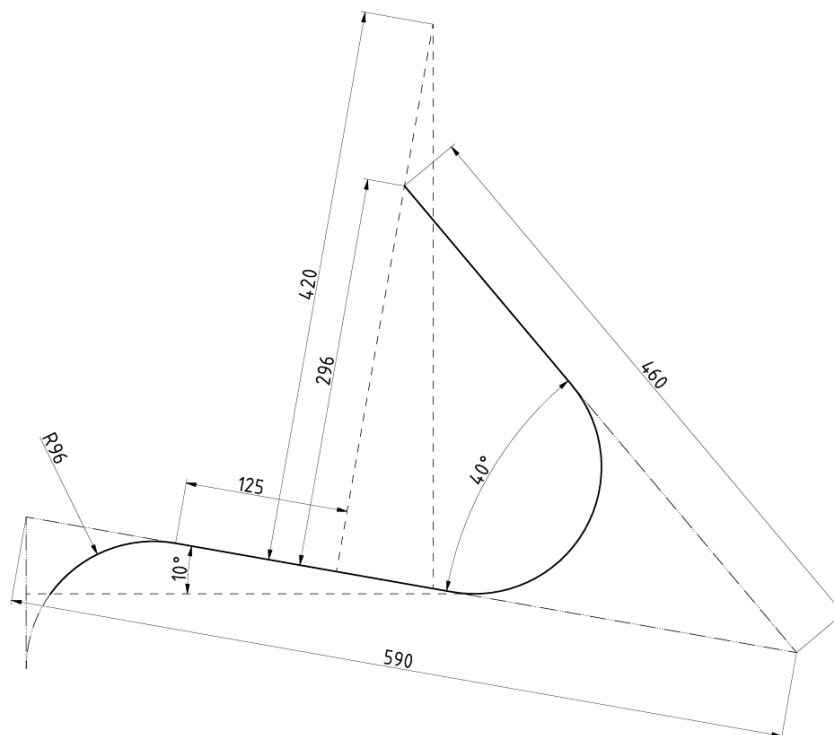
Pro finální řešení designu stojanu bude vycházeno z třetího návrhu (obr. 25c). Na obr. 26 je znázorněno uložení kytary do zvoleného designu. Zmiňované nedostatky designu je třeba vyřešit. Konce trubky, držící spodek kytary a zároveň stojící na zemi, budou odsazeny od země

pomocí ohybů na konci trubky, viz obr. 27. Pro zajištění větší stability, bude držení vrchní části kytary změněno. Původní ohyb bude rozdělen na dva, mezi kterými vznikne rovná část, o kterou bude kytara opřena, viz obr. 27.

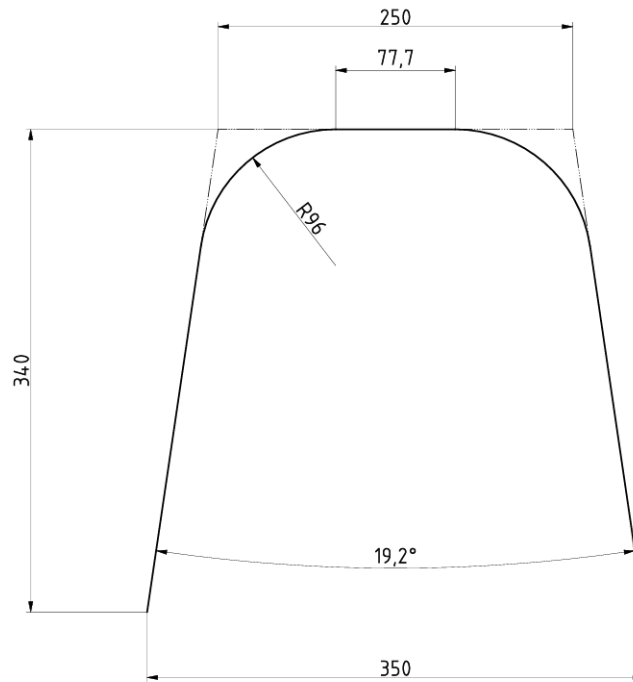


Obr. 27 Upravený design stojanu.

Dále je třeba určit rozměry stojanu, které budou navrženy podle rozměrů kytary (obr. 24). Těžiště kytary je též nutné znát, proto bylo praktickou zkouškou zjištěno že se nachází ve středu kytary cca 420 mm od spodní hrany těla. Rozměry součásti byly určeny, jak je zobrazeno na obr. 28 a obr. 29. Náklon uložené kytary bývá běžně u jiných stojanů kolem 10° , proto byl tento náklon použit i zde (obr. 28). Stojan má vymezený prostor pro kytaru 125 mm (obr. 28). Těžiště kytary je mezi opěrnými body stojanu, což znamená, že se stojan s kytarou nepřevrhne (obr. 28). Na náčrtech (obr. 28; obr. 29) byly zvoleny poloměry ohybu 96 mm, jelikož jde o poloměr v ose, tak vnitřní poloměr ohybu bude o velikosti 80 mm.



Obr. 28 Náčrt z boku.



Obr. 29 Náčrt zepředu.

Kompletní výkres součásti je v příloženém dokumentu pod označením 2025-BP-248493-01, rozměry podléhají toleranci ISO 2768 – cK. Byla zvolena hrubá třída přesnosti, protože součást nepotřebuje nikterak přesné rozměry. Této normě odpovídají tolerance zapsané v tab. 5.

Tab. 5 Rozměrové tolerance hrubé třídy přesnosti [22].

Od [mm]	0,5	3	6	30	120
Do [mm]	3	6	30	120	400
Tolerance [mm]	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2

3.2 Technologické výpočty

Nejprve je třeba rozčlenit navržený dílec dle technologičnosti. Zdali se jedná o tenkostěnnou či tlustostěnnou trubku lze zjistit po dosazení do nerovnic (2.6) a (2.7):

$$\frac{t_0}{D_0} = \frac{1}{32} = 0,03 \leq 0,1.$$

Z nerovnice vyplývá, že se jedná o trubku tenkostěnnou. Trubka bude tedy náchylnější k defektům v průběhu ohýbání.

Jedná-li se o ohyb na malé poloměry či o ohyb na velké poloměry lze zjistit z nerovnic (2.8) a (2.9):

$$\frac{R}{D_0} = \frac{80}{32} = 2,5 \leq 6.$$

Po dosazení do nerovnic vychází, že relativní poloměr ohybu je menší než 6 a tudíž se jedná o ohyb na malé poloměry, tedy ohyb ostrý.

Pro zjištění, jak jsou podmínky ohybu optimální lze použít nerovnic (2.10), (2.11), (2.12), (2.13), (2.14) a (2.15). Jedná se o kombinaci podmínek daných relativní tloušťkou stěny trubky a relativním poloměrem ohybu:

$$\frac{t_0}{D_0} = 0,03 \leq 0,05,$$

$$\frac{R}{D_0} = 2,5 \leq 2,5.$$

Dle dosazení do nerovnic se zjistilo, že se jedná o podmínky nevhodné k ohybu. Je tedy téměř jisté, že bude docházet k defektům, a proto je nutné mít tento fakt na zřeteli při samotné výrobě dílce.

Dále je třeba zkontrolovat jaký minimální poloměr je vyrobitelný dle vzorce (2.16) a (3.1):

$$R_{min} = \frac{K \cdot D_0 \cdot (2t_p - t_0)}{2 \cdot (t_0 - t_p)} = \frac{2,65 \cdot 32 \cdot (2 \cdot 0,75 - 1)}{2 \cdot (1 - 0,75)} = 84,8 \text{ mm},$$

kde: t_p – přípustná tloušťka stěny trubky [mm],
 t_p zvoleno 75% z t_0 (přípustné ztenčení se volí 70 až 80%) [17],

$$t_p = t_0 \cdot 0,75, \quad (3.1)$$

$$= 1 \cdot 0,75 = 0,75 \text{ mm},$$

K – součinitel minimálního poloměru ohybu [-],

K se pro materiál AlMg2 určí dle tab. 6, kde bude brán v úvahu největší úhel ohybu dle výkresu, tedy 140° ,

$K = 2,65$.

Tab. 6 Hodnoty součinitele K pro výpočet R_{min} [17].

t_0 [mm]	D_0 [mm]	Úhel ohybu				
		30°	60°	90°	120°	180°
		Součinitel K [-]				
1	26 – 32	2,58	2,60	2,60	2,65	2,65

Dle vzorce (2.16) vychází, že nejmenší vyrobitelný poloměr je 84,8 mm, přičemž poloměry určené ve výkrese jsou rovny 80 mm. Určené poloměry jsou tedy dle (2.16) nevyrobitelné, aniž by došlo k porušení. Ovšem dle praktických zkušeností ve firmě je známo, že danou trubku lze ohnout o 180° při vnitřním poloměru ohybu 80 mm. Proto bude dále uvažováno, že daný ohyb je vyrobitelný bez porušení. Tato úvaha bude ještě prakticky ověřena při výrobě.

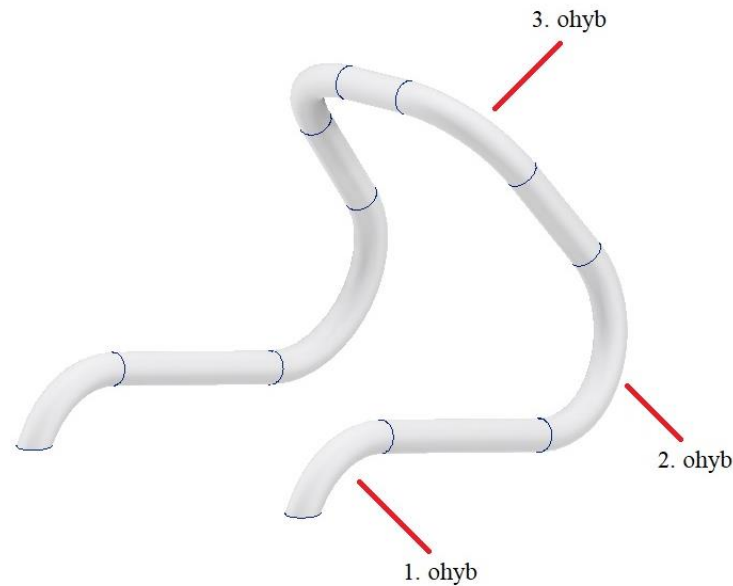
Nutnost použití výplně se určí z relativní tloušťky stěny a upraveného relativního poloměru ohybu, které určí doporučený typ trnu dle tab. 4. Relativní tloušťka stěny je rovna 0,003 (1/32) a upravený relativní poloměr je počítán dle upravené nerovnice (2.8):

$$\frac{R_s}{D_0} = \frac{96}{32} = 3.$$

Hodnota relativní tloušťky stěny 1/32 není v tab. 4 uvedena proto bude uvažována nejbližší hodnota 1/30. S touto úvahou je dle tab. 4 doporučené použít segmentový trn s minimálně jedním segmentem. Při návrhu stroje bude uvažována nutnost použití segmentového trnu.

3.2.1 Výpočet odpružení

Součást obsahuje šest ohybů, přičemž je rovinně souměrná. Součást tedy obsahuje pouze tři různé ohyby, proto budou výpočty zpracovány pouze pro tři různé ohyby, které jsou označeny na obr. 30.



Obr. 30 Označení ohybů na součásti.

Pro určení odpružení je třeba nejprve určit ohybový moment vnitřních sil, ten se vypočítá ze vztahu (2.1):

$$M_{ov} = R_e \cdot (2r_s)^2 \cdot t_0 = 60 \cdot (2 \cdot 15,5)^2 \cdot 1 = 57\,660 \text{ Nmm},$$

kde: r_s – střední poloměr trubky [mm],

$$\begin{aligned} r_s &= \frac{D_0 - t_0}{2}, \\ &= \frac{32 - 1}{2} = 15,5 \text{ mm}. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Ohybový moment vnitřních sil je roven 57 660 Nmm.

Pro výpočet odpružení je také zapotřebí znát R_o , které se vypočítá z posunutí neutrální osy x . Bylo použito vzorců (2.2), (2.3) a (2.5):

$$R_o = R_s - x = 96 - 2,1 = 93,9 \text{ mm},$$

kde: x – posuv neutrální osy [mm],

$$x = \frac{0,42}{k} \cdot r_s = \frac{0,42}{3,10} \cdot 15,5 = 2,1 \text{ mm},$$

kde: k – poměr poloměru ohybu střední osy a středního průměru trubky [-],

$$k = \frac{R_s}{2 \cdot r_s} = \frac{96}{2 \cdot 15,5} = 3,10.$$

Pro výpočet odpružení se použije vzorec (2.20), který stanovuje velikost odpružení v úhlu. Nákresy jednotlivých ohybů jsou na obr. 31, obr. 32 a obr. 33:

- Odpružení v prvním ohybu se vypočítá následovně:

$$\Delta\alpha_1 = \frac{M_o R_o}{EJ} \cdot \alpha_1 = \frac{57\,660 \cdot 93,9}{70\,000 \cdot 11\,711} \cdot 79,2 = 0,52^\circ,$$

Kde: E – modul pružnosti materiálu [MPa],

$$E = 70\,000 \text{ MPa} [23],$$

J – kvadratický moment průřezu [mm⁴],

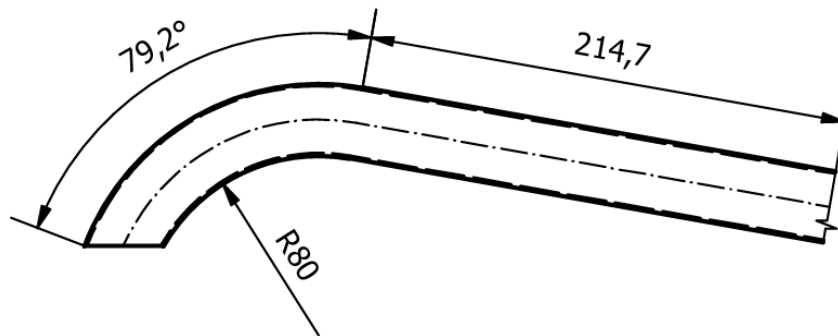
$$J = \frac{\pi}{64} \cdot (D_0^4 - D_v^4) = \frac{\pi}{64} \cdot (32^4 - 30^4) = 11\,711 \text{ mm}^4,$$

kde: D_v – vnitřní průměr trubky [mm],

$$D_v = D_0 - 2t_0 = 32 - 2 \cdot 1 = 30 \text{ mm},$$

α_1 – úhel prvního ohybu [°],

$$\alpha_1 = 79,2^\circ, \text{ viz obr. 31.}$$



Obr. 31 Nákres prvního ohybu.

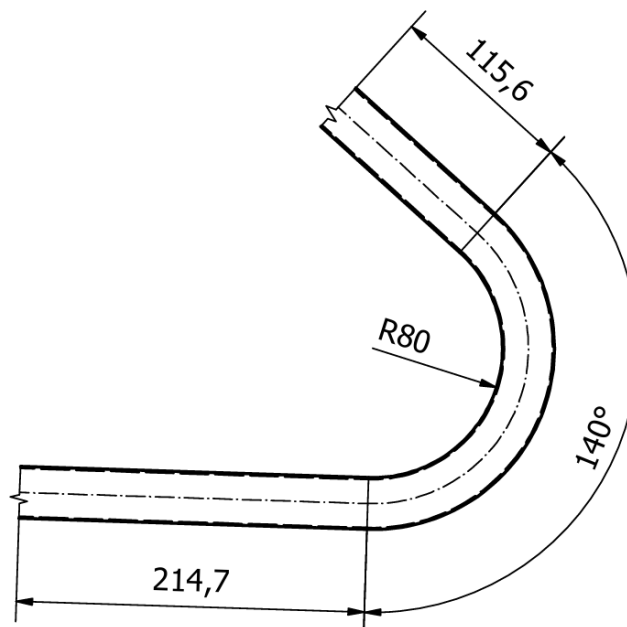
Odpružení v prvním ohybu činí $0,52^\circ$. Úhel byl zaokrouhlen na setiny. Aby došlo ke správnému ohnutí trubky úhel ohybu musí být nastaven o $0,52^\circ$ větší.

- Odpružení ve druhém ohybu je počítáno:

$$\Delta\alpha_2 = \frac{M_0 R_0}{EJ} \cdot \alpha_2 = \frac{57\,660 \cdot 93,9}{70\,000 \cdot 11\,711} \cdot 140 = 0,92^\circ,$$

kde: α_2 – úhel druhého ohybu [°],

$$\alpha_2 = 140^\circ, \text{ viz obr. 32.}$$



Obr. 32 Nákres druhého ohybu.

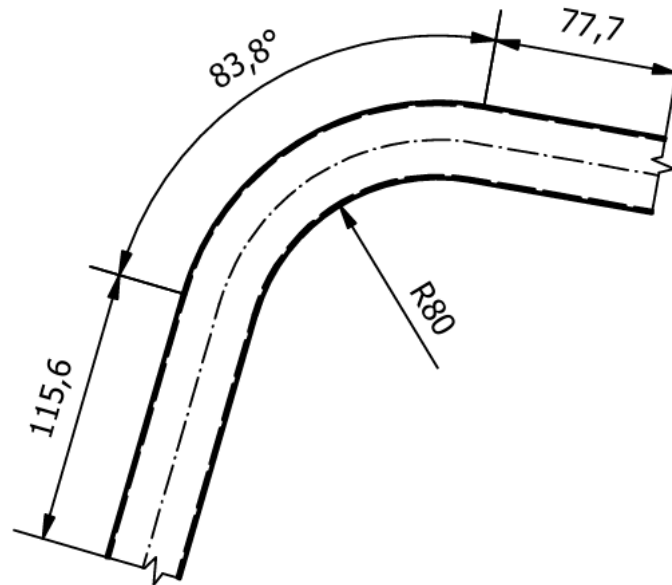
Odpružení ve druhém ohybu je rovno $0,92^\circ$. Úhel byl zaokrouhlen na setiny. Proto bude u druhého ohybu úhel ohybu navýšen o $0,92^\circ$.

- Odpružení ve třetím ohybu je počítáno:

$$\Delta\alpha_3 = \frac{M_o R_o}{EJ} \cdot \alpha_3 = \frac{57\,660 \cdot 93,9}{70\,000 \cdot 11\,711} \cdot 83,8 = 0,55^\circ,$$

kde: α_3 – úhel třetího ohybu [$^\circ$],

$$\alpha_3 = 83,8^\circ, \text{ viz obr. 33.}$$



Obr. 33 Nákres třetího ohybu.

Odpružení ve třetím ohybu se rovná $0,55^\circ$. Úhel byl zaokrouhlen na setiny. Vzhledem k odpružení bude úhel ohybu u třetího ohybu nastaven o $0,55^\circ$ vyšší.

Odpružení v daných ohybech sice není příliš veliké, ale i tak s ním musí být počítáno i nadále. Reálné odpružení se může od početního lišit.

3.2.2 Rozvinutá délka

Pro výrobu je nutné znát délku polotovaru, ta se určuje z rozvinuté délky, která je rovna délce neutrální osy dílce. K výpočtu budou použity úhly ohybu před odpružením, budou tedy počítány ze vzorce (3.3):

- Výpočet prvního úhlu ohybu α_{o1} před odpružením:

$$\alpha_o = \alpha + \Delta\alpha, \tag{3.3}$$

$$\alpha_{o1} = \alpha_1 + \Delta\alpha_1 = 79,2 + 0,52 = 79,72^\circ.$$

Úhel ohybu v prvním ohybu před odpružením činí $79,72^\circ$.

- Výpočet druhého úhlu ohybu α_{o2} před odpružením:

$$\alpha_{o2} = \alpha_2 + \Delta\alpha_2 = 140 + 0,92 = 140,92^\circ.$$

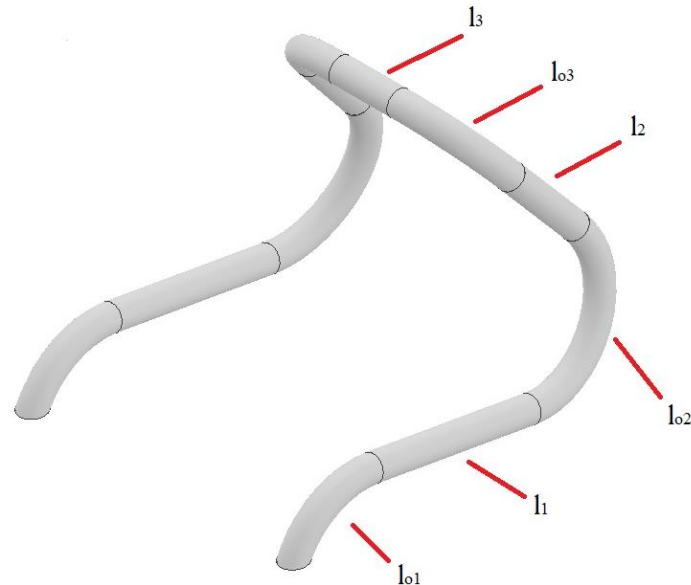
Úhel ohybu ve druhém ohybu před odpružením činí $140,92^\circ$.

- Výpočet třetího úhlu ohybu α_{o3} před odpružením:

$$\alpha_{o3} = \alpha_3 + \Delta\alpha_3 = 83,8 + 0,55 = 84,35^\circ.$$

Úhel ohybu ve třetím ohybu před odpružením činí $84,35^\circ$.

Pro snadnější výpočet rozvinuté délky bude součást rozdělena na jednodušší úseky, vzhledem k rovinné souměrnosti není nutné počítat všechny úseky. Jednotlivé úseky jsou označeny, jak uvádí obr. 34.



Obr. 34 Označení úseků součásti.

Délka neutrální osy v ohybech se počítá dle vzorce (2.4), kde jsou zanedbány přechodové oblasti:

- Délka neutrální osy v prvním ohybu:

$$l_{o1} = \varphi_1 \cdot R_o = 1,39 \cdot 93,9 = 130,5 \text{ mm},$$

kde: φ_1 – úhel prvního ohybu [rad],

$$\varphi_1 = \alpha_{o1} \cdot \frac{\pi}{180} = 79,72 \cdot \frac{\pi}{180} = 1,39 \text{ rad}.$$

Délka neutrální osy v prvním ohybu je rovna 130,5 mm, délka byla zaokrouhlena na desetiny.

- Délka neutrální osy ve druhém ohybu:

$$l_{o2} = \varphi_2 \cdot R_o = 2,46 \cdot 93,9 = 231 \text{ mm},$$

kde: φ_2 – úhel druhého ohybu [rad],

$$\varphi_2 = \alpha_{o2} \cdot \frac{\pi}{180} = 140,92 \cdot \frac{\pi}{180} = 2,46 \text{ rad}.$$

Délka neutrální osy je ve druhém ohybu rovna 231 mm, délka byla zaokrouhlena na desetiny.

- Výpočet délky neutrální osy ve třetím ohybu:

$$l_{o3} = \varphi_3 \cdot R_o = 1,47 \cdot 93,9 = 138 \text{ mm},$$

kde: φ_3 – úhel třetího ohybu [rad],

$$\varphi_3 = \alpha_{o3} \cdot \frac{\pi}{180} = 84,35 \cdot \frac{\pi}{180} = 1,47 \text{ rad}.$$

Délka neutrální osy ve třetím ohybu je 138 mm, délka byla zaokrouhlena na desetiny.

Nyní jsou délky všech úseků známy, lze tedy vypočítat rozvinutou délku, která se vypočítá dle vzorce (3.4):

$$\begin{aligned} l_{roz} &= \sum_{i=1}^n l_{oi} + \sum_{i=1}^n l_i, \\ &= 2 \cdot l_{o1} + 2 \cdot l_{o2} + 2 \cdot l_{o3} + 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2 + l_3, \\ &= 2 \cdot 130,5 + 2 \cdot 231 + 2 \cdot 138 + 2 \cdot 214,7 + 2 \cdot 115,6 + 77,7 = 1737,3 \text{ mm}, \end{aligned} \quad (3.4)$$

kde: l_1 – délka prvního úseku [mm],
 úsek l_1 je ve výrobku dvakrát,
 $l_1 = 214,7 \text{ mm}$, viz obr. 31,
 l_2 – délka druhého úseku [mm],
 úsek l_2 je ve výrobku dvakrát,
 $l_2 = 115,6 \text{ mm}$, viz obr. 32,
 l_3 – délka třetího úseku [mm],
 úsek l_3 je ve výrobku jednou,
 $l_3 = 77,7 \text{ mm}$, viz obr. 33,
 l_{oi} – délka neutrální osy ohybu [mm],
 úseky l_{oi} se ve výrobku vyskytují dvakrát.

Rozvinutá délka je rovna 1 737,3 mm. Minimální délka polotovaru musí být tedy 1737,3 mm. Reálná délka polotovaru bude ale ještě větší o technologické přídatky na upnutí, které se volí podle použitého ohýbacího stroje.

3.3 Volba ohýbacího stroje

Při volbě stroje budou nejprve zváženy stroje pro ohýbání trubek ve strojním parku firmy. Firma disponuje jen jedním strojem pro ohyb trubek navíjením, a to strojem AMB 50 CNC značky Akyapak. Parametry stroje ABM 50 CNC jsou zapsány v tab. 7 a další informace lze nalézt v příloze 2.

Tab. 7 Technické parametry stroje ABM 50 CNC [24].

Maximální vnější průměr trubky [mm]	Ø50
Maximální tloušťka stěny trubky [mm]	3
Maximální úhel ohybu [°]	180
Maximální rádius ohybu [mm]	170
Rychlost posuvu [mm·s ⁻¹]	max. 1000
Rychlost rotace [°·s ⁻¹]	200
Rychlost ohybu [°·s ⁻¹]	max. 90
Tolerance posuvu [mm]	±0,1
Tolerance rotace [°]	±0,1
Tolerance ohybu [°]	±0,1

Tab. 7 je předepsaná pro ohyb ocelových trubek, ale materiál polotovaru je hliníková slitina. Je obecně známé, že pro tváření hliníku a jeho slitin je potřeba menších sil než pro tváření oceli. Splní-li tedy uvažovaný materiál podmínky pro ocel, bude výsledek vyhovující.

Vnější průměr trubky je 32 mm a tloušťka stěny je 1 mm, v porovnání s tab. 7 jsou hodnoty vyhovující. Maximální užitý úhel ohybu je 140,92°, což splňuje podmínky. Maximální povolený rádius ohybu je 170 mm, není ovšem specifikováno, který je to rádius, bude-li se

uvažovat největší rádius 112 mm na vnější straně, je podmínka splněna. Tolerance jsou vzhledem k předepsané toleranci ISO 2768 – cK vyhovující (tab. 5). Stroj také umožňuje použití trnů a disponuje zásobníkem na 3 ohybové kotouče. [24]

Stroj ABM 50 CNC je tedy pro výrobu navržené součásti vyhovující. Výhodou je, že daný stroj je ve strojovém parku firmy, a tedy je možné výrobu prakticky ověřit. Pro výrobu byl tedy zvolen stroj ABM 50 CNC (obr. 35).



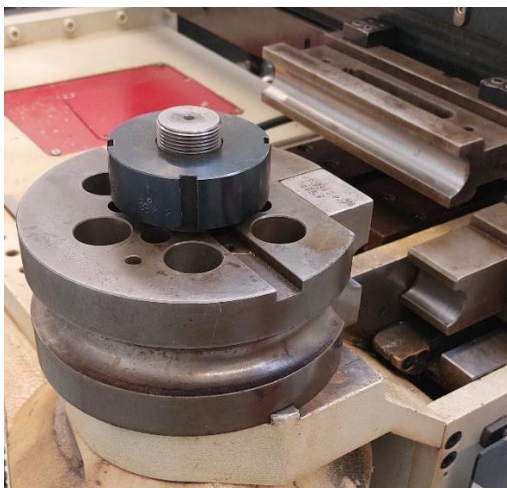
Obr. 35 Stroj ABM 50 CNC ve firmě.

3.4 Výroba stojanu

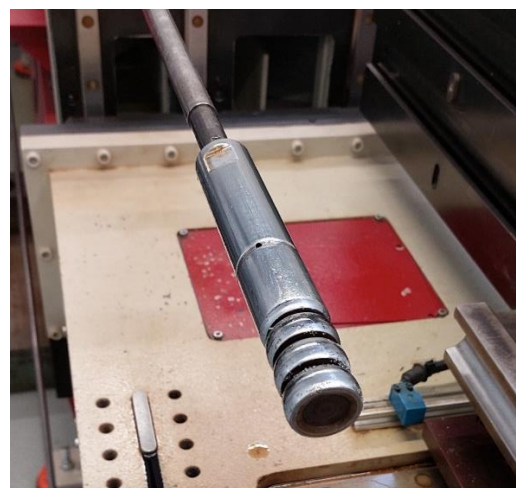
Prototyp stojanu na kytaru bude vyráběn v areálu firmy Aircraft Industries a.s. Pro výrobu budou použity dostupné stroje, nástroje a materiály firmy, také bude užito znalostí a zkušeností firemních zaměstnanců.

Jako polotovar bude použita trubka z materiálu AlMg2 o $\varnothing 32$ mm a tloušťce stěny 1 mm. Ve firmě se nachází dané trubky v délce 2 500 mm. Rozvinutá délka je 1 737,3 mm, pro ustavení trubky bude délka polotovaru l_c navýšena o 300 mm a konec trubky bude z důvodu délky upínací lišty, která zajišťuje přichycení k ohybovému kotouči, navýšen o 100 mm. Celková délka polotovaru l_c bude následně zaokrouhlena nahoru na stovky milimetrů pro snadnější odměření. Délka polotovaru l_c je tedy rovna 2 200 mm.

Stroj ABM 50 CNC byl řádně připraven. Do stroje byl upnut ohybový kotouč o vnitřním poloměru 80 mm, k němu příčná přitlačná a upínací lišta (obr. 36). Byl upnut tří-segmentový trn (obr. 37), a přišroubováno vhodné upínání trubky (obr. 38).



Obr. 36 Ohybový kotouč s lištami.



Obr. 37 Tří-segmentový trn.



Obr. 38 Upínání trubky.

Poté, co byly na stroji připraveny správné komponenty, byl na kontrolním panelu stroje vytvořen program pro ohýbání. Do programu byly zavedeny aktuálně používané nástroje a potom byly zapsány posuvy, rotace a ohyby trubky ve správném pořadí, jak je zapsáno v tab. 8. Úhel ohybu koncových částí trubek byl pro jistotu zvětšen na 90° , protože zbytky trubky budou stejně odřezány. Kontrolní panel následovně vytvořil 3D model znázorňující vyráběnou součást a program byl připraven ke spuštění.

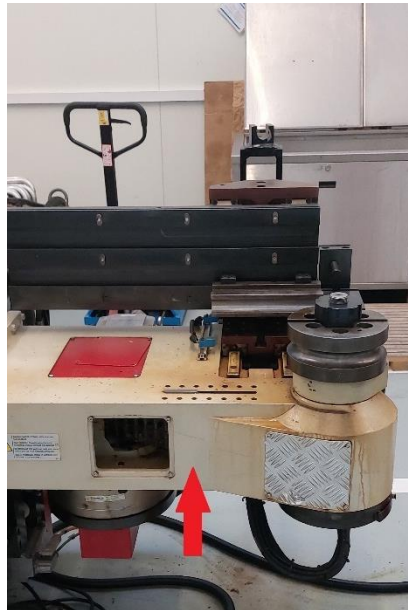
Tab. 8 Zápis operací programu ohybu.

Číslo operace	Typ operace	Velikost operace
1.	Posuv	100 mm
2.	Ohyb	90°
3.	Posuv	214,7 mm
4.	Natočení	$170,4^\circ$
5.	Ohyb	$140,92^\circ$
6.	Posuv	115,6 mm
7.	Natočení	$97,3^\circ$
8.	Ohyb	$84,35^\circ$
9.	Posuv	77,7 mm
10.	Ohyb	$84,35^\circ$
11.	Natočení	$-97,3^\circ$
12.	Posuv	115,6 mm
13.	Ohyb	$140,92^\circ$
14.	Natočení	$-170,4^\circ$
15.	Posuv	214,7 mm
16.	Ohyb	90°
17.	Posuv	50 mm

Trubka byla zkrácena na požadovanou délku 2 200 mm pomocí pásové pily TYP-18 značky Ruhla, technické údaje stroje jsou v příloze 3. Následně byla trubka upnuta do stroje ABM 50 CNC (obr. 39). Program pro ohýbání byl spuštěn a během ohýbání došlo ke kolizi ve 13. operaci. Trubka narazila během ohybu do těla stroje (obr. 40) a byla zdeformována, viz obr. 41.



Obr. 39 Založení trubky.

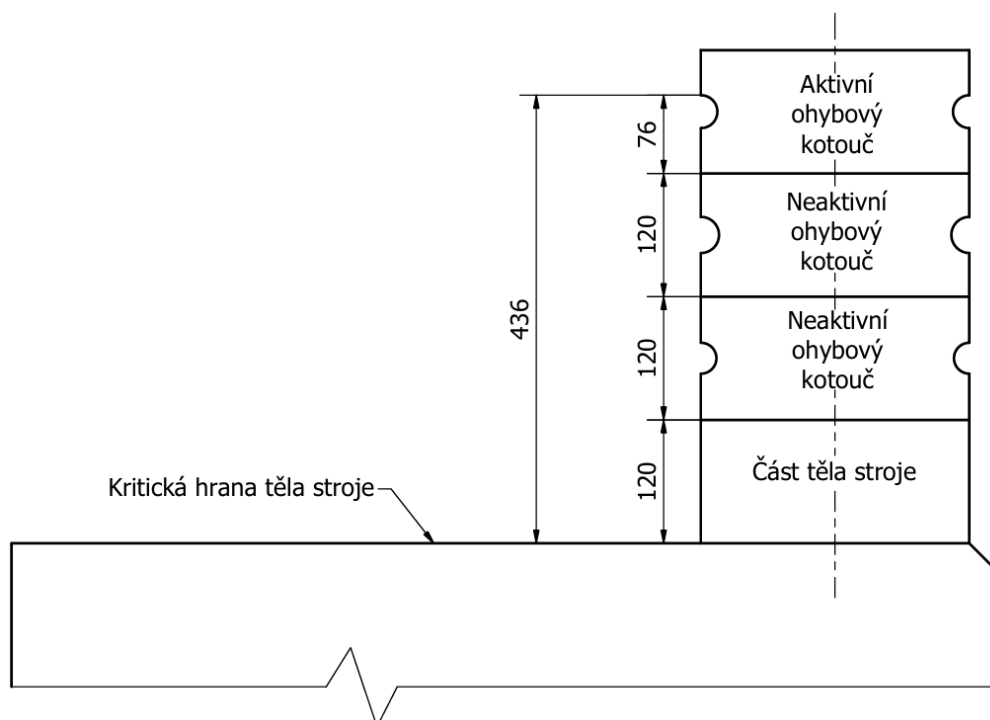


Obr. 40 Místo kolize.



Obr. 41 Zdeformovaný dílec.

Pro zdárnou výrobu bylo navrženo nasadit ohybové kotouče do zásobníku, přičemž nejvýše by byl uložen aktivní ohybový kotouč s vnitřním rádiusem 80 mm. Tím by se mezera mezi aktivním ohybovým kotoučem a kritickou hranou těla stroje zvětšila o výšku dvou ohybových kotoučů, viz obr. 42. V tomto případě by vzdálenost mezi nejvyšší hranou dílce a kritickou hranou těla stroje byla 436 mm, což je větší než šířka dílce 382 mm. Dílec je tedy teoreticky na stroji vyrobitelný, prakticky to ovšem ověřit nelze, protože firma nemá zakoupené originální nástroje pro stroj ABM 50 CNC, takže stroj nemůže operovat ve třetí úrovni zásobníku nástrojů ale pouze v první.



Obr. 42 Teoretický nákres mezery.

3.4.1 Alternativní výroba

Po neúspěšném pokusu o výrobu dílce byla navržena alternativní výroba, která poslouží pouze pro výrobu prototypu. Rovná část stojanu držící vrchní část těla kytary označená také I_3 bude prodloužena, aby nedošlo ke kolizi v průběhu ohybu. Část stojanu, která v prvním pokusu narazila do těla stroje, se bude pohybovat pod tělem stroje. Pro zachování původních rozměrů navrženého stojanu bude z prodloužené části vyřezána délka, která byla přidána a části stojanu budou svařeny.

Původní program pro ohyb byl změněn v 9. operaci, kde namísto posuvu 77,7 mm byl nastaven posuv o 277,7 mm. Kvůli tomu byla změněna i délka polotovaru z 2 200 mm na 2 400 mm. Pozměněný polotovar byl vložen do stroje a program byl spuštěn (obr. 43). Ohyb proběhl bez problémů a výsledný výrobek lze vidět na obr. 44.



Obr. 43 Ohyb druhého dílce.



Obr. 44 Vyrobený dílec.

Přebytečné konce trubky byly odřezány a řezy na koncích trubky byly provedeny dle výkresu odkloněné od osy trubky o 80° . Dále byla odřezána délka 200 mm z úseku I_3 , která byla přidána v 9. operaci. Stojan byl tedy rozdělen na dvě části, jak je vidět na obr. 45. Veškeré řezy byly prováděny na pásové pile TYP-18.



Obr. 45 Dílce po odřezání přebytečných částí.

Dále byly ořezané hrany ožehleny a vnější i vnitřní části trubky byly odmaštěny a úseky určené ke svaření byly mechanicky očištěny kartáčem. Dvě části byly poté k sobě svařeny metodou TIG a pomocí svářečky MagicWave 190 EF značky Fronius, informace o svářečce jsou v příloze 4. Svařovací parametry byly nastaveny dle rad zkušeného svářeče a jsou zapsány v tab. 9. Výsledný vzhled svařeného stojanu je na obr. 46.

Tab. 9 Svařovací parametry.

Polarita	Proud	Frekvence	Balance	Průměr elektrody	Průměr přídatného drátu
AC	50 A	200 Hz	30/70	1 mm	1,6 mm



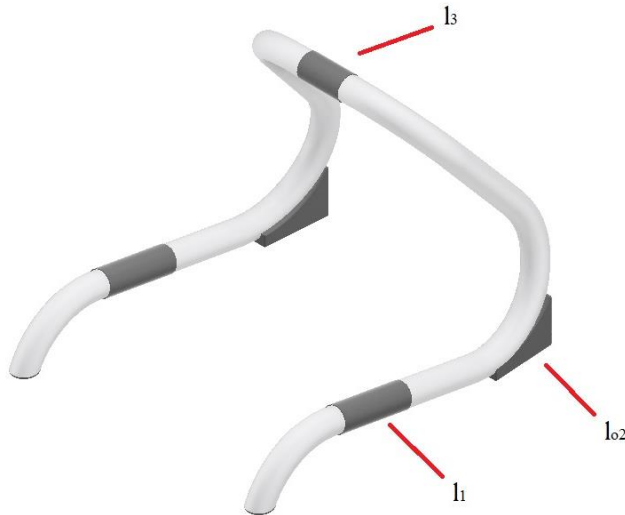
Obr. 46 Svařená součást.

Součást sice nebyla vyrobena dle původně uvažovaného postupu, ovšem alternativně vyrobena verze se vzhledově a rozměrově liší pouze svarem. Tato vyrobená součást bude použita jako prototyp. Funkčnost, jakožto stojanu na kytaru, byla na prototypu úspěšně ověřena.

3.5 Dokončovací práce

Hliník a jeho slitiny mají dobré protikorozi vlastnosti, ale i přesto podléhají korozi. Proto bude povrch součásti upraven. Součást bude eloxována, což znamená, že povrch součásti bude očištěn a poté na ní vznikne tenká vrstva oxidu hlinitého Al_2O_3 , která zvyšuje korozní odolnost a tvrdost. Tato vrstva je také hrubější než původní povrch, a proto je také vhodnější pro následné barvení. Z důvodu estetiky může být součást též obarvena, funkce nabarvení bude čistě vzhledová. [25; 26]

Pro zajištění kytary proti skluzu ve stojanu bude stojan opatřen pryžovými objímkami, které budou umístěny v místech, kde dochází ke styku kytary a stojanu. Skluzu zabraňují tím, že zvyšují tření mezi stojanem a kytarou. Pryžové objímky zároveň budou chránit kytaru před odřením od stojanu. Objímky budou umístěny na úsecích I_1 a úsecu I_3 , jak je znázorněno na obr. 47. Připevnění objímek na stojan bude zajištěno pomocí kyanoakrylátového lepidla, a jejich nasazení na stojan bude zajištěno díky výřezu na straně, viz obr. 48. [27]



Obr. 47 Stojan s doplňkovými součástkami.



Obr. 48 Pryžová objímka s výřezem.

Stojan bude také izolován od země, aby nedošlo k poškrábání povrchů, na kterých bude stojan položen. Konce trubky tedy budou uzavřeny plastovými špunty elipsového tvaru, které budou zajišťovat, aby nedošlo k poškrábání a zároveň budou zabraňovat vnikání nečistot a jiných nežádoucích prvků do trubky. V úsecích s označením l_2 budou kyanoakrylátovým lepidlem přilepeny nožky, viz obr. 47, které budou zabraňovat poškrábání a zároveň budou mít pozitivní vliv na celkovou stabilitu stojanu.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zhodnocení aktuálně používaných stojanů na kytaru a navrhnutí nového designu i s výrobou. Jako polotovár byla zvolena trubka z materiálu AlMg2 o průměru 32 mm a tloušťce 1 mm.

Následně byly zváženy metody ohýbání trubek, ze kterých se jako nejvhodnější zvolila metoda ohýbání navíjením. Jeden z důležitých aspektů volby byla možnost použití ohýbacího stroje pro navíjení v oslovené firmě.

Design stojanu byl navrhnout podobně jako stojan typu A, přičemž bylo dbáno na snížení počtu použitých součástí oproti konkurenčním stojanům. Hlavní část stojanu je celistvá a je z trubky s šesti ohyby o vnitřním poloměru 80 mm. Celková výška stojanu je 340,6 mm, šířka 382 mm a délka 461 mm.

Dle výpočtů je nejmenší možný vyrobiteľný vnitřní poloměr pro danou trubku 84,8 mm, prakticky bylo ale dokázáno, že lze vyrobit navrhovaných 80 mm. Bylo vypočteno odpružení v jednotlivých ohybech, kde v prvním je rovno $0,52^\circ$, ve druhém $0,92^\circ$ a ve třetím $0,55^\circ$. Rozvinutá délka byla vypočtena a je rovna 1737,7 mm, podle ní byla zvolena délka polotovaru 2 200 mm.

Pro výrobu byl na základě dostupných strojů ve firmě zvolen stroj ABM 50 CNC od tureckého výrobce Akyapak. Stroj zvládne ohýbat trubky do průměru 50 mm. Má možnost použití trnů a může operovat ve třech různých úrovních.

Pro výrobu stojanu byl sepsán program. Při spuštění programu došlo ke kolizi a došlo k deformaci trubky. Výrobní postup byl pozmeněn, aby ke kolizi nedošlo. Při použití originálních nástrojů ke stroji by se stojan vyrobil dle uvažované metody. Firma ovšem nedisponuje originálními nástroji, a proto byla pro výrobu prototypu navržena alternativní výroba, v níž je součást svařena. Na prototypu byla ověřena funkčnost stojanu.

Součást byla následně eloxována a je možné ji nabarvit dle potřeby. Bylo navrhnuo pryžové držení kytary na stojanu, plastové špunty do konců trubky stojanu a nožky pro zlepšení stability stojanu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BRALLA, James George. *Handbook of Manufacturing Processes*. Online. Industrial press, 2007. ISBN 978-1-60119-933-1. Dostupné z: https://app.knovel.com/kn/resources/kpHMPHPCMI/toc?b-q=brallajames&include_synonyms=no&q=brallajames&sort_on=default. [cit. 2025-03-12].
 2. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
 3. TATÍČEK, František. *Akademie tváření: Ohýbání*. Online. 2010. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani>. [cit. 2025-03-18].
 4. *Zvládli byste naohýbat plechy bez ohýbačky?* Online. In: Primadoma. C2012-2025. Dostupné z: <https://primadoma.cz/clanek-297117-zvladli-byste-naohybat-plechy-bez-ohybacky>. [cit. 2025-03-13].
 5. *Výroba - ALB forming*. Online. In: Alb. C2020. Dostupné z: <https://alb.cz/vyrobax/>. [cit. 2025-03-13].
 6. *Kovotlačitelství Hönig s.r.o.* Online. In: Zlatestranky. C2025. Dostupné z: <https://www.zlatestranky.cz/profil/H841908>. [cit. 2025-03-14].
 7. *Jak vybrat stojan na kytaru*. Online. In: Topmuzika. C2023. Dostupné z: <https://www.topmuzika.cz/magazin/jak-vybrat-stojan-na-kytaru/>. [cit. 2025-03-14].
 8. *ENAW-ALMg2(B)*. Online. Steelnumber.com. C2011-2024. Dostupné z: https://www.steelnumber.com/en/steel_alloy_composition_eu.php?name_id=1087. [cit. 2025-04-09].
 9. SAMEK, Radko; LIDMILA, Zdeněk a ŠMEHLÍKOVÁ, Eva. *Speciální technologie tváření*. Učební texty vysokých škol. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4406-5.
 10. SAMEK, Radko a NETUŠILOVÁ, Renata. *Návrh a ověření rovinného a prostorového ohybu tenkostěnných trubek pro dílce leteckých motorů*. Výzkumná práce. Brno: Vojenská akademie Antonína Zápotockého, 1983.
 11. *Zakázkové zakružování trubek a profilů*. Online. In: Ohyby-trubek.cz. C2025. Dostupné z: <https://ohyby-trubek.cz/zakruzovacka-trubek/>. [cit. 2025-04-12].
 12. *Průvodce ohýbáním trubek za studena*. Online. In: Omni-x. C2020. Dostupné z: <https://www.omni-x.com/cz/cs/bending-guide#>. [cit. 2025-03-27].
 13. *PVD Tube Bender*. Online. In: Peterverdone.com. 2007. Dostupné z: https://www.peterverdone.com/wiki/index.php?title=PVD_Tube_Bender. [cit. 2025-04-12].
 14. *The art of tube bending*. Online. Georgia.swagelok.com. C2023. Dostupné z: <https://georgia.swagelok.com/en/blog/the-art-of-tube-bending-05-19>. [cit. 2025-05-20].
 15. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
 16. TANG, N.C. Plastic-deformation analysis in tube bending. Online. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*. 2000, vol. 77, no. 12, s. 751-759. ISSN 03080161. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0308-0161\(00\)00061-2](https://doi.org/10.1016/S0308-0161(00)00061-2). [cit. 2025-03-27].
 17. ŽÁK, Jan; SAMEK, Radko a BUMBÁLEK, Bohumil. *Speciální letecké technologie I*. Učební texty vysokých škol. Praha: Mezinárodní organizace novinářů, 1990. ISBN 80-214-0128-1.
 18. AIRCRAFT INDUSTRIES. *Předpis pro výrobu potrubí*. 7. vydání. 2019.
-

-
19. *Tube bending: types, mechanics and terminology*. Online. Iqsdirectory.com. C2025. Dostupné z: <https://www.iqsdirectory.com/articles/tube-fabrication/tube-bending.html#mechanics-of-tube-bending>. [cit. 2025-04-15].
 20. *Mandrel and wiper die selection*. Online. In: Omni-x.com. C2020. Dostupné z: <https://www.omni-x.com/cz/table-for-choosing-mandrels-and-wiper-dies#>. [cit. 2025-04-30].
 21. *TARIO classical guitar*. Online. In: Amazon.com. C1996-2025. Dostupné z: <https://www.amazon.com/TARIO-Fretless-Classical-Acoustic-fingerboard/dp/B0BLJTTDS9?th=1>. [cit. 2025-05-08].
 22. SVOBODA, Pavel a BRANDEJS, Jan. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vydání šesté, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 978-80-7623-010-1.
 23. *Hliník AW-5251*. Online. Emetal.eu. C2025. Dostupné z: <https://emetal.eu/sk/AW-5251/>. [cit. 2025-05-12].
 24. *ABM 50 CNC*. Online. Lasertechnologies.co.in. C2025. Dostupné z: <https://www.lasertechnologies.co.in/products/akyapak-products/tubes-and-pipe-bending-machine/abm-50-cnc>. [cit. 2025-05-13].
 25. *Koroze hliníku: Mýty, fakta a prevence*. Online. Batima.cz. 2024. Dostupné z: <https://www.batima.cz/blog/jak-je-to-s-korozi-hliniku/>. [cit. 2025-05-21].
 26. *Eloxování a moření hliníku*. Online. Galvena.cz. C2025. Dostupné z: <https://www.galvena.cz/eloxovani-a-moreni-hliniku>. [cit. 2025-05-21].
 27. HLADKÝ, Viktor. *Moderní trendy v lepení*. Přednáška. Brno: Fakulta strojního inženýrství, 8. dubna 2025.
 28. *MagicWave 190*. Online. Hbt-weld.cz. C2025. Dostupné z: <https://hbt-weld.cz/produkty/magicwave-190/>. [cit. 2025-05-15].
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
D_{\max}	Maximální rozměr zploštělého tvaru	[mm]
D_o	Vnější průměr trubky	[mm]
D_v	Vnitřní průměr trubky	[mm]
E	Modul pružnosti materiálu	[MPa]
F_1	Vnitřní tahová síla	[N]
F_2	Vnitřní tlaková síla	[N]
F_{R1}	Radiální tahová síla	[N]
F_{R2}	Radiální tlaková síla	[N]
J	Kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
K	Součinitel minimálního poloměru ohybu	[-]
K_0	Koeficient ovality	[-]
k	Poměr poloměru ohybu střední osy a středního průměru trubky	[-]
k'	Poměr poloměru ohybu neutrální osy a středního průměru trubky	[-]
l_1	Délka prvního úseku	[mm]
l_2	Délka druhého úseku	[mm]
l_3	Délka třetího úseku	[mm]
l_c	Celková délka polotovaru	[mm]
l_o	Délka neutrální osy v ohybu	[mm]
l_{o1}	Délka neutrální osy v prvním ohybu	[mm]
l_{o2}	Délka neutrální osy ve druhém ohybu	[mm]
l_{o3}	Délka neutrální osy ve třetím ohybu	[mm]
l_{roz}	Rozvinutá délka	[mm]
M_o	Ohybový moment	[Nmm]
M_{ov}	Ohybový moment vnitřních sil	[Nmm]
R	Vnitřní poloměr ohybu	[mm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Pevnost v tahu	[MPa]
R_{\min}	Minimální vnitřní poloměr ohybu	[mm]
R_o	Poloměr ohybu neutrální osy	[mm]
R_s	Poloměr ohybu střední osy	[mm]
R_{zb}	Zbytkový poloměr ohybu	[mm]
r_s	Střední poloměr trubky	[mm]
t_o	Výchozí tloušťka stěny trubky	[mm]
t_p	Přípustná tloušťka stěny trubky	[mm]
t_{\min}	Minimální tloušťka stěny trubky	[mm]
x	Posuv neutrální osy	[mm]
α	Úhel ohybu	[°]
α_1	Úhel prvního ohybu	[°]
α_2	Úhel druhého ohybu	[°]
α_3	Úhel třetího ohybu	[°]
α_o	Úhel ohybu před odpružením	[°]
α_{o1}	Úhel prvního ohybu před odpružením	[°]
α_{o2}	Úhel druhého ohybu před odpružením	[°]

Označení	Legenda	Jednotka
α_3	Úhel třetího ohybu před odpružením	[°]
$\Delta\alpha$	Úhel odpružení	[°]
$\Delta\alpha_1$	Úhel odpružení v prvním ohybu	[°]
$\Delta\alpha_2$	Úhel odpružení ve druhém ohybu	[°]
$\Delta\alpha_3$	Úhel odpružení ve třetím ohybu	[°]
φ	Úhel ohybu	[rad]
φ_1	Úhel prvního ohybu	[rad]
φ_2	Úhel druhého ohybu	[rad]
φ_3	Úhel třetího ohybu	[rad]

Zkratky

Označení	Legenda
Al_2O_3	Oxid hlinitý
M	Segmentový trn
P	Pevný trn
TW	Segmentový tenkostěnný trn
W	Nutnost použití vyhlazovače

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list materiálu ENAW-ALMg2(B)
Příloha 2 Ohýbací stroj ABM 50 CNC
Příloha 3 Pásová pila TYP-18
Příloha 4 Svářečka MagicWave 190 EF

SEZNAM VÝKRESŮ

Stojan na kytaru 2025-BP-248493-01

Materiálový list materiálu ENAW-AMg2(B) [8]

ENAW-AMg2(B) (ENAW-5051A)

Grade :	ENAW-AMg2(B)
Number:	ENAW-5051A
Classification:	Aluminium - 5000 series (Magnesium Mg is major alloying element)
Standard:	EN 573-3: 2009 Aluminium and aluminium alloys. Chemical composition and form of wrought products. Chemical composition and form of products EN 755-2: 2008 Aluminium and aluminium alloys. Extruded rod/bar, tube and profiles. Mechanical properties EN 1301-2: 1997 Aluminium and aluminium alloys. Drawn wire. Mechanical properties EN 1715-3: 2008 Aluminium and aluminium alloys. Drawing stock. Specific requirements for mechanical uses (excluding welding)
Equivalent grades:	Go here

Chemical composition % of grade ENAW-AMg2(B) (ENAW-5051A)

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Cu	Mg	Zn	Others	-
max 0.45	max 0.3	max 0.25	max 0.3	max 0.1	max 0.05	1.4 - 2.1	max 0.2	each 0.05; total 0.15	Al - remainder

Mechanical properties of grade ENAW-AMg2(B) (ENAW-5051A)

Rm - Tensile strength (MPa) (F) (H112)	150
Rm - Tensile strength (MPa) (O) (H111)	150-200

R_{p0.2} 0.2% proof strength (MPa) (F) (H112)	50-60
R_{p0.2} 0.2% proof strength (MPa) (O) (H111)	50-60

A - Min. elongation at fracture (%) (F) (H112)	16
A - Min. elongation at fracture (%) (O) (H111)	18

A - Min. elongation Lo = 50mm (%) (F) (H112)	14
A - Min. elongation Lo = 50mm (%) (O) (H111)	16

Brinell hardness (HBW): (F) (H112)	40
Brinell hardness (HBW): (O) (H111)	40

Properties ENAW-AMg2(B)

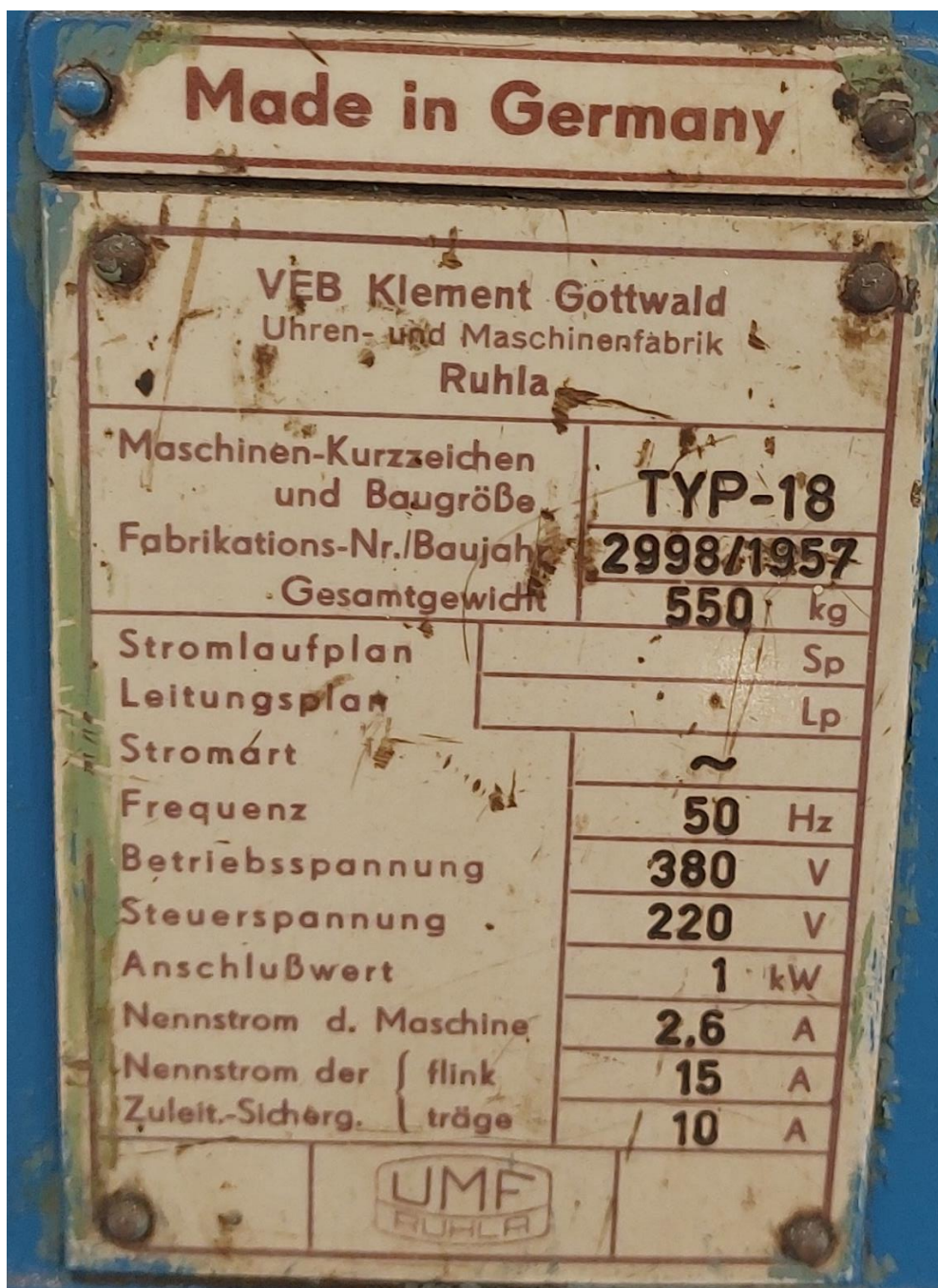
Intended to be contact with food - yes;

ABM TECHNICAL SPECIFICATIONS TEKNİK BİLGİLER	Max. Tube Outside Diameter Maks. Bükme Çapı	Max. Thickness Maks. Malz. Kalınlığı	Bending Degree Max. Büküm Derecesi Maks.	Bending Radius Max. Büküm Yarı Çapı Maks.	Operation Speed Operasyon Hızları			Working Tolerance Çalışma Toleransı			Hydr. System Hidrolik Sistem		Oil Tank Capacity Yağ Tank Kapasitesi
					Feeding Speed Besleme Hızı	Rotation Speed Döndürme Hızı	Bending Speed Bükme Hızı	Feeding Besleme	Rotation Döndürme	Bending Bükme	Total Power Toplam Güç	Max. Hyd. Pressure Maks. Hidr. Basıncı	
	mm	mm	Degree	mm	mm/sec	Degree/ sec	Degree/ sec	mm	Degree	Degree	kW	bar	L
ABM76 CNC3	Ø 76	3	180	260	max.1000	200	30	±0.1	±0.1	±0.1	7.5	180	120
ABM76 CNC1	Ø 76	3	180	260		100	30		±0.1	±0.5	7.5	180	120
ABM76 NC	Ø 76	3	180	260		100	30		±0.1	±0.5	7.5	180	120
ABM50CNC	Ø 50	3	180	170	max.1000	200	max.90	±0.1	±0.1	±0.1	7.5	140	120
ABM38CNC	Ø 38	2	180	150	max. 1000	200	max. 90	±0.1	±0.1	±0.1	5.5	140	120

* The specifications above are based on steel with yield point 240 N/mm²
* All specifications are subject to change without prior notice.

* Yukarıda belirtilen değerler 240 N/mm² akma sınırı olan çeliğe göre verilmiştir.
* Akyapak, bu değerleri haber vermeksizin değiştirme hakkına sahiptir.

- Bending, moving ahead, postponing and turning with servo control
- Controlling ability of servo axis speeds from control panel
- Hydraulic assistant axes
- Foot pedal control
- Step by step and full automatic working capability
- Three lines dies operational ability
- Dies can be supplied for any demanded size
- Operational ability with / without mandrel
- Simple or complex shaped bendings for steel, stainless steel, aluminum and similar bendable materials
- Capability of bending steel, stainless steel, aluminum and similar bendable tubes in simple or complex shapes
- Possibility of bending longer tubes than the machine length. (it's not for all diameters)
- Unlimited angle obtaining possibility with rolling system
- Spiral bending (only on certain diameters)
- Tube punching system
- Auto-lubrication for mandrel
- Hydraulic oil cooler
- Practical interface program prepared in Akyapak
- Program making possibility in YBC mode
- Tube length can be calculated according top art program
- 3D preview of written program
- Motors in variable voltage and frequency
- 15" color touchscreen PC
- Starting up serial production after short period training
- Suitable for CE, ISO 9001-2015, TSEK and TURQUM certificates



Příloha 4
Svářečka MagicWave 190 EF [28]

1/1

	MagicWave 190 (MV)	MagicWave 230i (MV)	TransTig 230i (MV)
Síťové napětí U1	1 x 120 (MV) / 230 V		
Tolerance síťového napětí	± 15 %		
Frekvence sítě	50 / 60 Hz		
Síťové jistiění, zpožděný typ	16 A (U1 = 230 V) 20 A (U1 = 120 V) (MV)		
Cos phi	0,99		
Rozsah svařovacího proudu TIG	3–190 A	3–230 A	
Elektroda	10–170 A	10–190 A	
Svařovací proud při 10 min/40 °C (104 °F) 35 % DZ	190 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 150 A ¹⁾ (U1 = 120 V) 170 A ²⁾ (U1 = 230 V) 100 A ²⁾ (U1 = 120 V)	230 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 170 A ¹⁾ (U1 = 120 V) 190 A ²⁾ (U1 = 230 V) 120 A ²⁾ (U1 = 120 V)	190 A ²⁾ (U1 = 230 V) 120 A ²⁾ (U1 = 120 V) 230 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 170 A ¹⁾ (U1 = 120 V)
10 min/40 °C (104 °F) 60 % DZ	160 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 120 A ¹⁾ (U1 = 120 V) 140 A ²⁾ (U1 = 230 V) 80 A ²⁾ (U1 = 120 V)	195 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 140 A ¹⁾ (U1 = 120 V) 150 A ²⁾ (U1 = 230 V) 105 A ²⁾ (U1 = 120 V)	205 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 155 A ¹⁾ (U1 = 120 V) 155 A ²⁾ (U1 = 230 V) 105 A ²⁾ (U1 = 120 V)
10 min/40 °C (104 °F) 100 % DZ	140 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 100 A ¹⁾ (U1 = 120 V) 120 A ²⁾ (U1 = 230 V) 70 A ²⁾ (U1 = 120 V)	165 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 120 A ¹⁾ (U1 = 120 V) 120 A ²⁾ (U1 = 230 V) 85 A ²⁾ (U1 = 120 V)	170 A ¹⁾ (U1 = 230 V) 130 A ¹⁾ (U1 = 120 V) 125 A ²⁾ (U1 = 230 V) 85 A ²⁾ (U1 = 120 V)
Napětí naprázdno	100 V	100 V	97 V
Pracovní napětí TIG	10,1–17,6 V	10,1–19,2 V	10,1–19,2 V
Elektroda	20,4–26,8 V	20,4–27,6 V	20,4–27,6 V
Krytí	IP 23		
Rozměry d/š/v (s držadlem)	558 / 210 / 369 mm 22,0 / 8,3 / 14,5 in.		
Hmotnost	16,5 kg 36,4 lb.	15,9 kg 35,1 lb.	
Certifikace	S, CE		