



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# NÁVRH PŘÍPRAVKU PRO VÝROBU PRUŽIN DO VARHAN

TOOL DESIGN FOR PRODUCTION OF SPRINGS FOR AN ORGAN

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub

Svoboda

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2024

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Jakub Svoboda**  
Studijní program: Strojírenská technologie  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**  
Akademický rok: 2023/24

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

## Návrh přípravku pro výrobu pružin do varhan

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Varhany obsahují ventilové pružiny, pomocí kterých je (včetně dalších mechanismů) primární pohyb kláves přenášén na ventily, ovládající přívod vzduchu do píšťal. Ventilové pružiny mají různé rozměry, proto jejich výroba vyžaduje nastavitelný (přeseřizovatelný) přípravek, většinou se jedná o kusovou a malosériovou produkci.

### Cíle diplomové práce:

- Mechanické systémy s ventilovými pružinami pro ovládání varhan.
- Požadavky na navrhovaný přípravek pro výrobu pružin.
- Konstrukční řešení přípravku v 3D softwaru.
- Návrh výrobního postupu.
- Provedení montážní sestavy, ověření funkce.
- Vyhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

BHATTACHARYYA, Bijoy a DOLOI, Biswanath. Modern Machining Technology. 1st edition. London: Academic Press, 2020. 764 s. ISBN 978-0-12-812894-7.

BUDYNAS, Richard G. a NISBETT, Keith J. Shigleyho konstruování strojních součástí. Přeložil Martin Hartl et al. 10. vyd. Brno: VUTIUM, 2023. 1296 s. ISBN 978-80-214-5471-2.

DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření, plošné a objemové tváření. 3. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2013. 170 s. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

GRZESIK, Wit. Advanced Machining Processes of Metallic Materials. 2nd edition. Amsterdam: Eisevier B. V., 2017. 578 s. ISBN 978-0-444-63711-6.

LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PERNIKÁŘ, Jiří a TYKAL, Miroslav. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-720-4283-1.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. 651 s. ISBN 0-19-514206-3.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. 730 s. ISBN 0-07-146271-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Práce je zaměřena na návrh obráběného ohýbacího přípravku, jenž umožňuje výrobu ventilových pružin do varhan. Důvodem zpracování tohoto tématu byla potřeba zdokonalit stávající proces výroby pružin ve varhanářství. Hlavním problémem původního přípravku bylo nekvalitní provedení závitu pružiny, což je u řemeslné práce neméně důležitý faktor. Ventilové pružiny mají různé vlastnosti a parametry, ze kterých vycházejí požadavky na přípravek. Na základě autorovi myšlenky a těchto požadavků byl vytvořen 3D model kompletního přípravku. Následně byly provedeny výpočty, které se týkají pružiny o konkrétních rozměrech. Díky těmto výpočtům bylo zjištěno, že navržený rozměr otáčivé kliky je adekvátní síle lidské ruky. K vyvinutí ohybového momentu potřebného pro správné vytvoření závitu pružiny, je potřeba na konci ramene kliky působit silou o velikosti 28 N. Tato hodnota je nižší než tabulkové hodnoty obecné evropské pracující populace. Z toho vyplývá, že rameno kliky má navrženou úměrnou délku. Pro výpočty stejné konkrétní pružiny byla využita i softwarová simulace, díky níž byla zároveň ověřena funkce přípravku. Během tvorby modelu byl kromě výpočtů a simulace také proveden experiment ověřující funkci a hlavní ideu přípravku, kterou je ohýbání s přídavným tahovým napětím. Výsledkem experimentu byla pružina, která byla následně porovnána s pružinou vyrobenou pomocí původního přípravku. Markantní rozdíl ve vzhledu závitu potvrdil správnost autorovy úvahy. Celý přípravek a jeho součásti jsou v práci podrobně popsány. Komplexně zpracovaný návrh přípravku ve formě 3D modelu, je připravený ke konzultaci ve varhanářské dílně a k následnému zařazení do výroby.

### Klíčová slova

přípravek, pružina, varhany, ruční práce, obrábění, ohýbání

## ABSTRACT

This thesis focuses on a design for a machined bending fixture to enable the production of valve springs for organs. The reason for choosing this topic was the need to perfect the existing process of making organ springs. The main problem with the original fixture was the poor quality of the spring thread. Valve springs have varying properties and parameters that determine the requirements for the fixture. A 3D model of the complete fixture was created based on the author's ideas and these requirements. Calculations were then made for a spring of specific dimensions. These calculations showed that the proposed size of the crank is adequate to enable it to be turned by the human hand. A force of 28 N is required at the end of the crank arm to exert the bending torque required to properly thread the spring. This figure is lower than the tabular values for the general European working population. This implies that the crank arm has the designed proportional length. To calculate the same specific spring and verify the function of the fixture, software simulation was also used. When creating the model, in addition to the calculations and simulation, an experiment was also conducted to verify the function and the main idea of the fixture, which is to bend with additional tensile stress. The result of the experiment was a spring that was subsequently compared with a spring produced using the original fixture. The marked difference in the appearance of the thread proved that the author's idea was correct. The entire fixture and its components are described in detail in the thesis. The comprehensive design of the fixture in the form of a 3D model is prepared for consultation in an organ-making workshop and then for use in production.

### Keywords

fixture, spring, organ, handwork, machining, bending

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

SVOBODA, Jakub. *Návrh přípravku pro výrobu pružin do varhan* [online]. Brno, 2024. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157839>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Kalivoda.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh přípravku pro výrobu pružin do varhan vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně, 24. 5. 2024

.....  
Jakub Svoboda

---

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Milanovi Kalivodovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Daliborovi Michkovi děkuji za poskytnutí fotografií týkajících se varhan. Za konzultace ve varhanářské dílně spojené s návrhem přípravku děkuji Milanovi Novotnému a Petrovi Brychtovi. Dále pak Radimovi Vichrovi a Karlovi Bečvářovi za vnuknutí několika myšlenek týkajících se detailů na přípravku. Za pomoc s řešením otázek v oblasti tváření mockrát děkuji Ing. Evě Peterkové, Ph.D. a zvláště Ing. Janovi Řiháčkovi, Ph.D. za velkou pomoc se simulací výroby pružiny. Dále děkuji Mgr. Kateřině Dvořákové za pomoc s jazykovou úpravou práce. Na závěr bych chtěl velice poděkovat celé svojí rodině za velkou psychickou podporu, obzvláště děkuji manželce Bc. Elišce Svobodové.

---

**OBSAH**

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Mechanické systémy pro ovládání varhan .....	11
1.1.1 Počty pružin ve varhanách.....	14
1.2 Stávající stav.....	15
1.3 Návrh výrobní technologie .....	17
2 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PŘI VÝROBĚ.....	18
2.1 Frézování .....	18
2.2 Soustružení .....	21
2.3 Vrtání.....	23
2.4 Ohýbání .....	25
2.4.1 Výpočet délky polotovaru .....	26
2.4.2 Kontrola poloměru ohybu.....	28
2.5 Povrchová úprava .....	29
3 NÁVRH PŘÍPRAVKU .....	30
3.1 Popis funkce přípravku.....	31
3.2 Výpočty pro konkrétní pružinu .....	32
3.2.1 Výpočet délky polotovaru .....	33
3.2.2 Kontrola minimálního a maximálního poloměru ohybu .....	35
3.2.3 Kontrola velikosti ohybového momentu .....	36
3.2.4 Výpočet odpružení.....	39
3.2.5 Simulace .....	40
3.3 Ověření funkce přípravku.....	43
3.4 Popis a funkce jednotlivých částí navrženého přípravku .....	46
3.4.1 Základová deska .....	46
3.4.2 Svěrák .....	47
3.4.3 Klika .....	54
3.4.4 Zjednodušený výrobní postup hlavní části jezdce .....	61
3.5 Povrchová úprava přípravku .....	62
4 VYHODNOCENÍ.....	63
ZÁVĚR.....	64

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

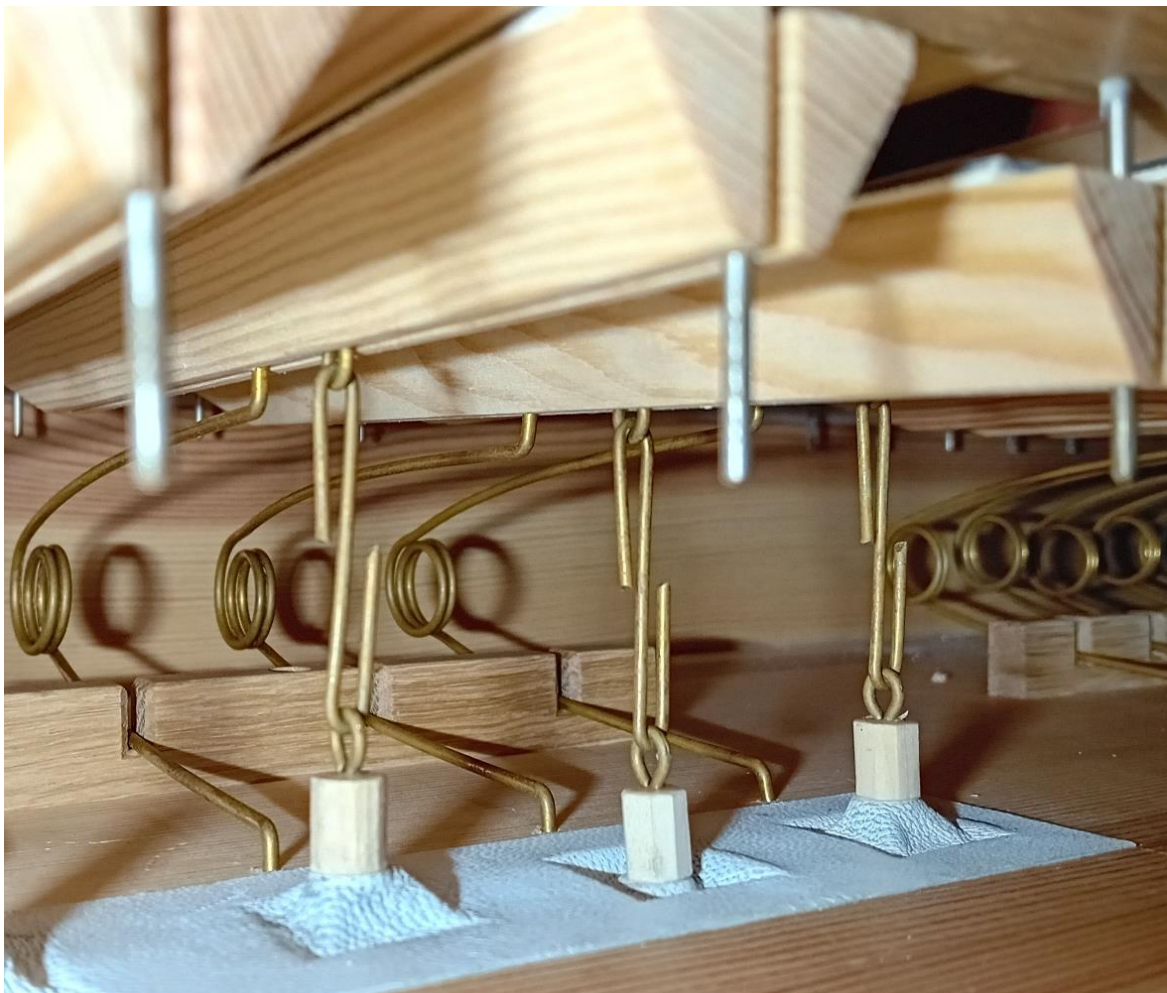


## ÚVOD

Ačkoliv je možné pomocí dosavadních technologií a postupů, nebo např. přípravků, vyrábět různé součásti, v některých případech vzniká potřeba vyvinout lepší, dokonalejší způsob výroby daného dílu. Důvodů může být více, např. kvůli rychlosti či přesnosti výroby, nebo výsledné kvalitě provedení hotového výrobku.

Podnětem k vypracování tohoto návrhu bylo vylepšit stávající, nebo vymyslet nový ruční přípravek pro stáčení ventilových pružin do varhan. Tyto pružiny jsou stěžejní pro správné fungování klaviatury a celých varhan. Díky nim se vrací klávesy zpět do výchozí polohy a ventil uzavírá přívod vzduchu k píšťálám. Na obr. 1 je možné si prohlédnout detail ventilové komory, kde je vidět, jak jsou pružiny ve varhanách umístěny.

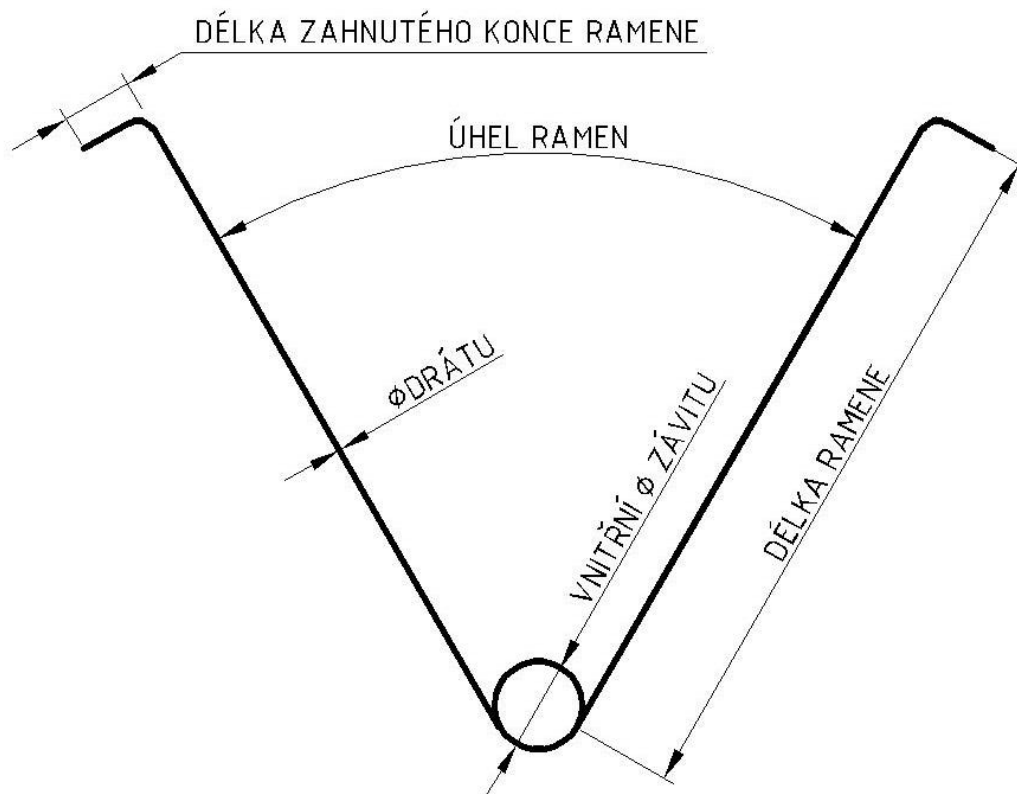
Důvod náhrady stávajícího přípravku je jeho nedostatečná variabilita a nemožnost zhotovit vizuálně atraktivní závit pružiny, což je v řemeslné práci považováno za neméně důležitý faktor. Navrhované řešení by mělo nabízet možnost nastavitelných rozměrů pružiny, jako je délka ramene a průměr závitu a lepší namotávání drátu na formu. Zároveň by nový přípravek nemělo být obtížné vyrobit za pomoci běžných obráběcích strojů a nástrojů.



Obr. 1 Pohled do varhan na ventilové pružiny.

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešeným problémem je zpracovat návrh ručního přípravku pro stáčení ventilových pružin do varhan. Nákres takové pružiny je uveden na obr. 2. Podnětem k vypracování tohoto úkolu byly dva hlavní důvody. Prvním je nevhodně řešená variabilita stávajícího přípravku. Různé varhany mají pružiny podobné, avšak ne stejné. Liší se počtem závitů, jejich průměrem a také délkou ramene. Druhým, a možná podstatnějším důvodem je nepěkný vzhled závitu pružiny, což je neméně důležitý faktor při ruční řemeslné práci.



Obr. 2 Nákres ventilové pružiny s kótami.

Všechny zakótované rozměry jsou shrnuty v přehledné tab. 1. Tyto parametry ventilových pružin byly domluveny při konzultaci ve varhanářské dílně. Z těchto hodnot zároveň vyplývají požadavky na vylepšený původní či nově navržený přípravek.

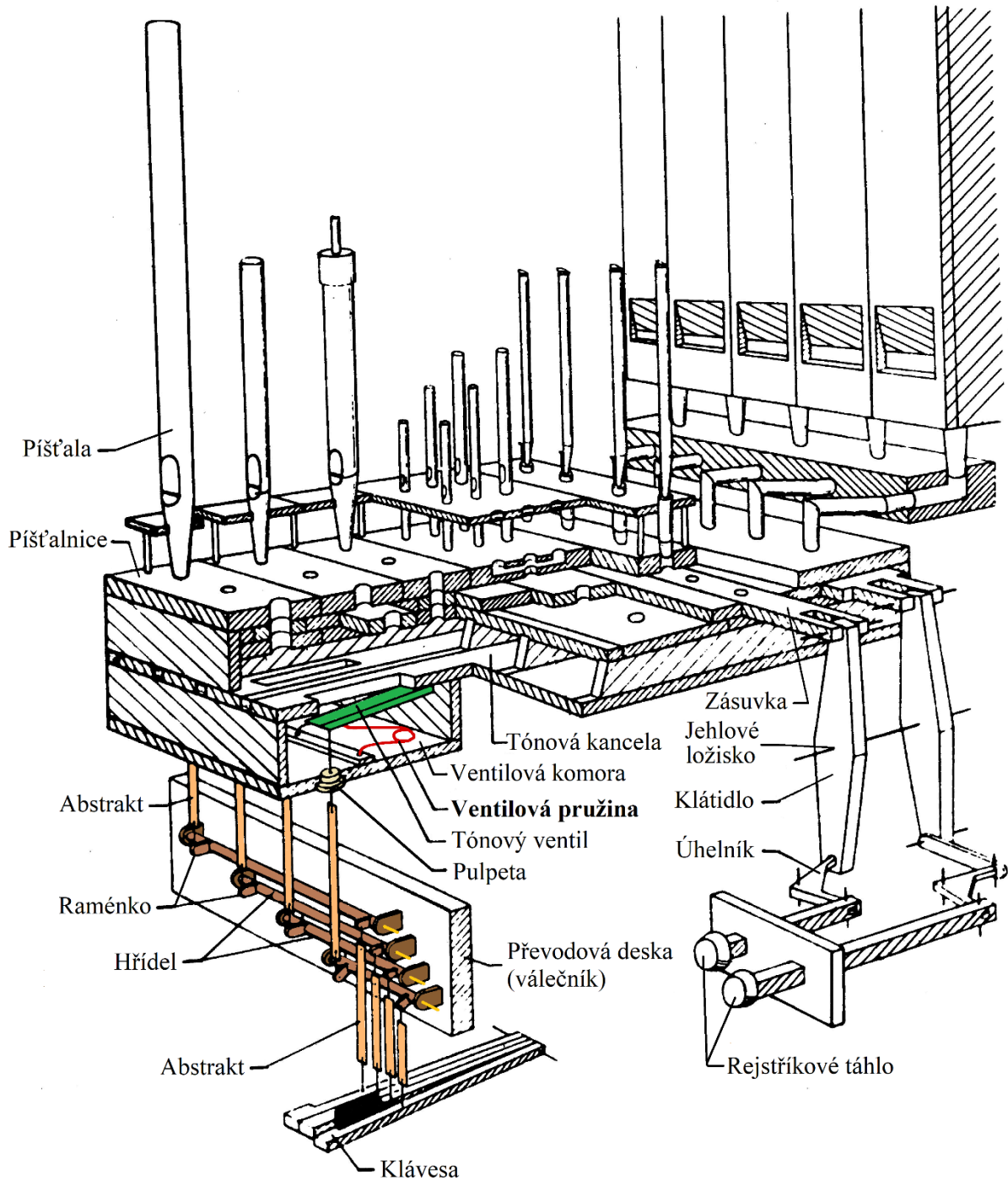
Tab. 1 Parametry ventilových pružin vyráběných na novém přípravku.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Průměr drátu	1,5; 2,0	[mm]
Vnitřní průměr závitu	10; 16	[mm]
Délka ramene (nastavitelná v rozmezí)	60–120	[mm]
Délka zahnutého konce ramene	10	[mm]
Úhel mezi rameny (nastavitelný v rozmezí)	60–120	[°]
Počet závitů (v rozmezí)	1–3	[-]
Materiál drátu	Cu 470; 1.4301	[-]

Aby bylo možné mít jeden přípravek na výrobu pružin různých rozměrů a průměrů drátu, je nutné ho navrhnout tak, aby byl dostatečně variabilní. Jednoduchým přemontováním jeho dílčích částí by se pak mohla připravit výroba konkrétní pružiny.

## 1.1 Mechanické systémy pro ovládání varhan

Stěžejním segmentem pro správné fungování varhan s mechanickým ovládáním přívodu vzduchu k píšťálám jsou ventilové pružiny. Mechanická soustava prvků, která převádí pohyb klávesy na ventil, jež při otevření vypouští stlačený vzduch do píšťalnice, na níž stojí jednotlivé píšťaly, se nazývá hrací (tónová) traktura. Nachází se ve spodní levé části obr. 3, kde je schematicky znázorněna. Pro přehlednost je vybarvena a jednotlivé elementy jsou popsány pomocí odkazů. V pravé dolní části je vidět rejstříková traktura umožňující pomocí tzv. zásuvky otevírat či zavírat přívod vzduchu k ucelným řadám píšťal, které se nazývají rejstříky. [1; 2]



Obr. 3 Schéma mechanické traktury se zásuvkovou vzdušnicí [2].

Píšťaly ve varhanách často nestojí v řadě od největší po nejmenší, ale jsou rozmístěny tak, jako přední prospektové píšťaly, které jsou vidět při prvním pohledu na varhany, nebo jinak dle různých aspektů. U nástrojů s mechanickou trakturou je k převedení a rozšíření klaviatury podle rozpětí mezi krajními píšťalami nejčastěji používána převodová deska. Společně se zbytkem traktury je převodová deska vidět na obr. 4. V dolní části obrázku se nachází páky kláves zapojeny do převodníku, na něž navazují abstrakty navázané k převodové desce. Z převodové desky pak míří další táhla směrem ke vzdušnici, kde tahají za okožený míšek zvaný pulpeta. V levé a pravé části obr. 4 je vidět rejstříková traktura. [1; 2]



Obr. 4 Pohled do varhan na mechanickou trakturu [3].

V některých případech může být rozvod tónů vytvořen přímo v píšťalnici, což se týká především menších nástrojů. Klaviatura je tedy se vzdušnicí spojena přímo od klávesy bez použití převodové desky. Pohled do otevřené vzdušnice s atypickým tvarem nabízí obr. 5.



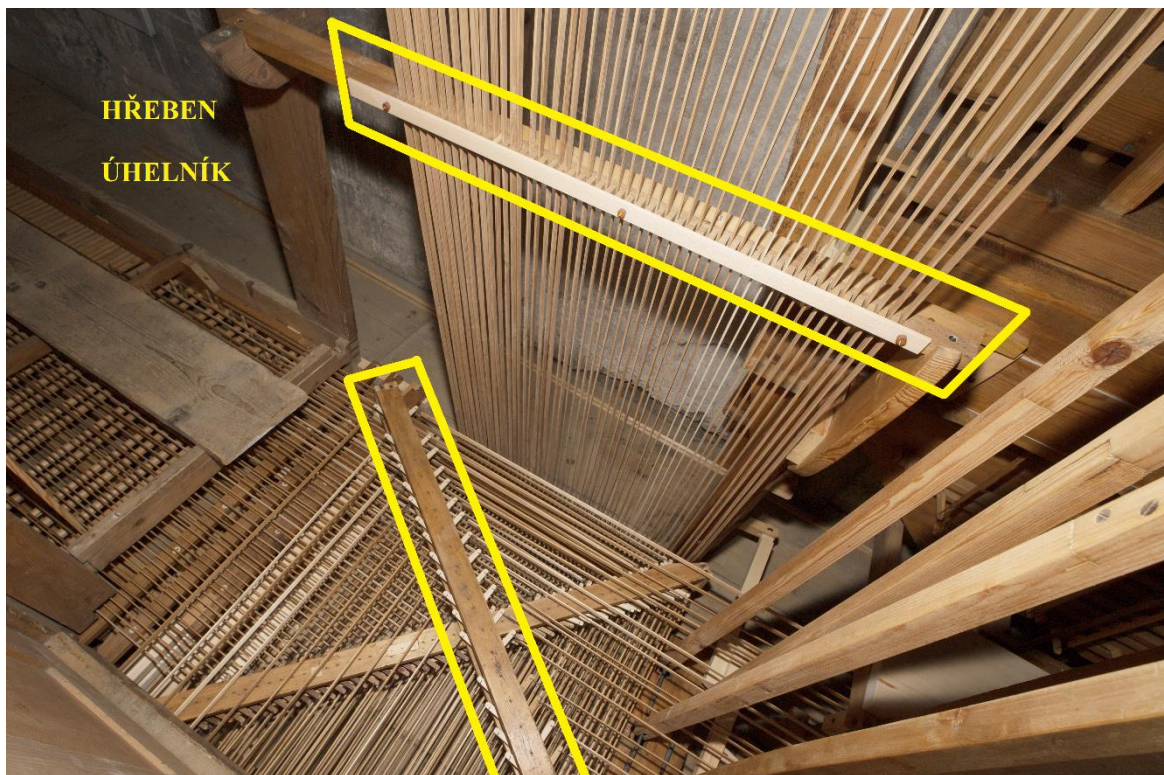
Obr. 5 Vzdušnice s otevřenou ventilovou komorou [3].

Detailní pohled do restaurované ventilové komory se nachází na obr. 6. Je zde vidět druhá strana pulpety, která při stisknutí klávesy přes krátké kovové táhlo otevírá ventil. Celá komora je zaplněna vzduchem, který má určitý tlak. Přívod vzduchu zajišťuje měchová soustava. Po otevření ventilu dochází k přivedení vzduchu do píšťaly, která se následně rozezní. Jakmile varhaník pustí klávesu, ventilová pružina zavírá ventil a píšťala přestane hrát. [1; 2]



Obr. 6 Pohled do restaurované ventilové komory [3].

U velkých nástrojů bývá cesta od klávesy ke vzdušnici poměrně složitá. Je zde využito různých mechanických prvků, jako jsou např. úhelníky (někdy také vinglovníky), viz obr. 7. Pro vedení abstraktů u delších tras se využívá tzv. hřebenu, rovněž k vidění na obr. 7. Další případy mechanických traktur jsou uvedeny v příloze 1. [1; 2]



Obr. 7 Složitá mechanická traktura [3].

### 1.1.1 Počty pružin ve varhanách

V rámci jednoho nástroje se jedná vždy o stejné pružiny, resp. o stejné pružiny v jedné vzdušnici. Vzdušnice je tzv. srdcem varhan a každá klaviatura má jednu. Pokud by se jednalo o středně velké barokní dvoumanuálové varhany, mohly by mít vzdušnice tři, a to pro [1; 2]:

- hlavní stroj – zde je umístěna většina píšťal. Je ovládán prvním manuálem, tj. klaviatura pro hru rukama. U barokních varhan se často vyskytuje 45–49 tónů, u novějších je to např. 54 tónů nebo i více.
- positiv – často se jedná o menší varhanní stroj, který je umístěn v rámci jedné skříně s hlavním strojem, nebo je např. zabudován v zábradlí kostelní kruchty. Má stejný počet kláves jako stroj hlavní a ovládá se druhým manuálem. Ten je umístěn zpravidla nad první klaviaturou.
- pedálový stroj – je ovládán tzv. pedálem, což je klaviatura pro hru nohama. Zpravidla obsahuje největší píšťaly, tedy nejhlubší tóny, ale i vyšší hlasy. Má menší počet kláves, které jsou mnohem větší než u manuálů. Proto bývají i samotné klávesy vráceny pružinou. U barokních varhan je jich často 18–24, novější nástroje jich mohou mít až 32. Píšťal však může být pouze 12. Pedálový stroj je umístěn buď ve stejné skříně s hlavním strojem, nebo může stát samostatně mimo varhanní skříně.

Počet ventilových pružin je dán počtem píšťal v jednotlivých hlasech, někdy může být násobný z důvodu zajištění větší přitlačné síly na ventil. Tedy na jeden ventil působí např. 2 nebo i 3 pružiny. U manuálů je počet ventilů často shodný s počtem kláves. U pedálů spíše odpovídá počtu píšťal. V některých případech je rozezněna jedna píšťala ze dvou různých míst. Pedálové ventilové pružiny bývají ze silnějšího drátu a mívají i větší rozměry. Hrací stůl varhan z poloviny 19. století se dvěma manuály a pedálem je zachycen na obr. 8. [2]



Obr. 8 Hrací stůl [4].

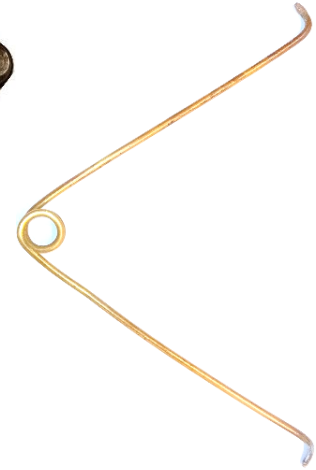
V případě, že hlavní stroj varhan bude mít 45 tónů na klaviatuře, bude se jednat o výrobní sérii 45 ventilových pružin. Pro pedálový stroj je počet obdobný, pokud v něm bude stát 12 píšťal, vyrobí se 12 kusů. Tyto série nejsou nijak velké a pokaždé se může jednat o jiné rozměry, tudíž je ruční přípravek vhodným řešením. Ruční přípravek je zároveň i praktickým řešením, poněvadž je možné ho s sebou jednoduše odvézt na montáž a pružinu vyrobit přímo na místě, dle konkrétní potřeby.

## 1.2 Stávající stav

Dosavadní řešení přípravku je vidět na obr. 9. Jedná se o jednoduchý obráběný přípravek, který sice plní funkci, ale v některých ohledech ne dostatečně. Skládá se ze základové desky, kliky a přídržky drátu. Vzhled reálné ventilové pružiny je zachycen hned na vedlejším snímku, viz obr. 10.



Obr. 9 Stávající řešení přípravku.



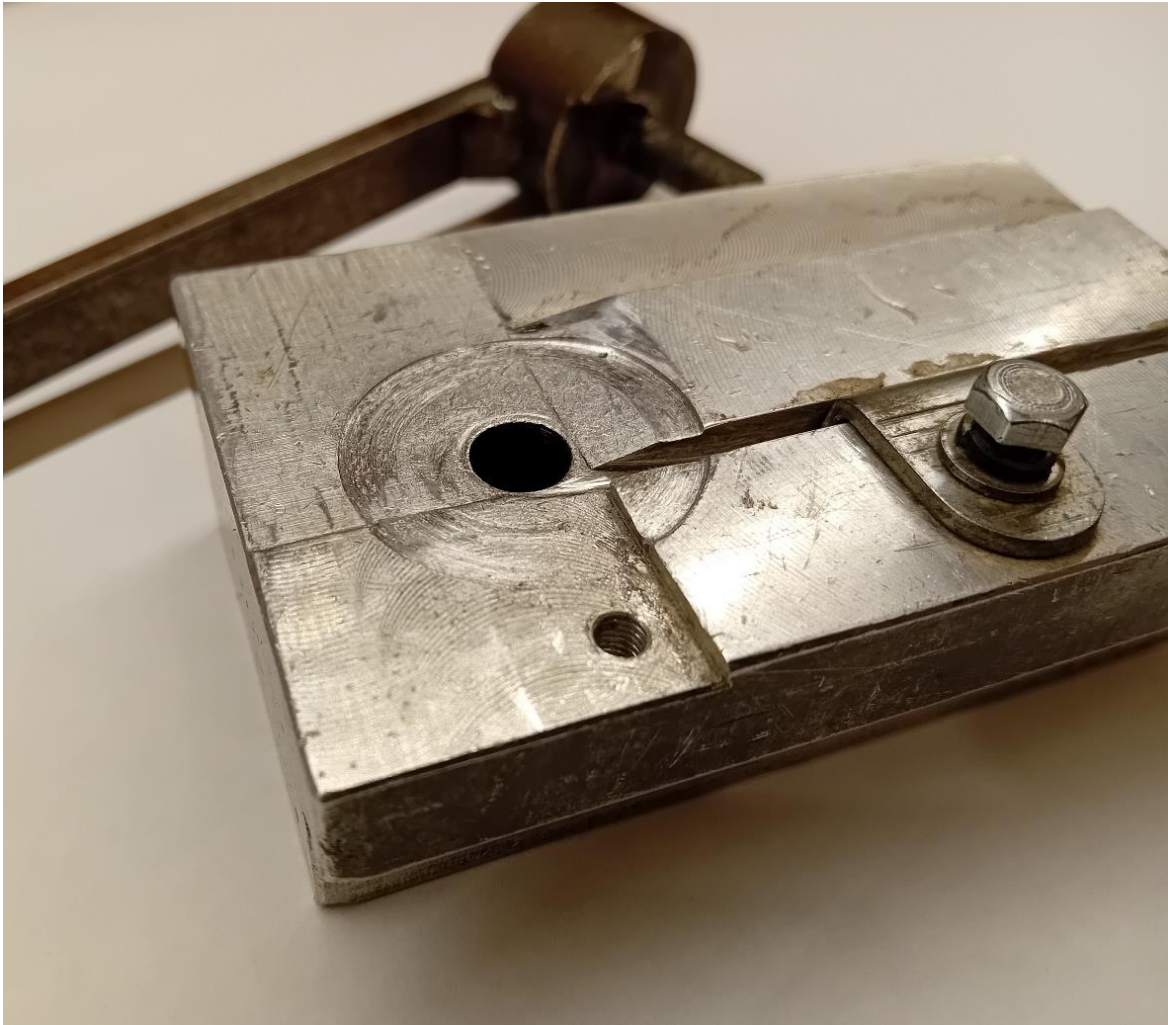
Obr. 10 Ventilová pružina

Problémem stávajícího přípravku je výroba nepěkného prvního závitu. Obr. 11 zobrazuje nedokonale vyrobený závit. Tuto vadu je potřeba novým provedením odstranit. Vzniklý nedostatek by mohl být způsoben pouze volným nabalováním drátu na čep bez síly, která by dělala při stáčení odpor (přídavné tahové napětí). Podobně jako u tažení plechů je materiál přitlačován přídržovačem, drát by zde byl brzděn čelistmi. Druhý konec by musel být pevně uchycen ke klice. Myšlenku je potřeba detailněji prozkoumat.



Obr. 11 Nedokonale vyrobený závit.

Stoupání závitů pružiny je další aspekt, který bude potřeba vyřešit. U současného přípravku je stoupání prvního závitu zajištěno úsekem šroubovitě plochy, viz obr. 12. Plocha je již značně opotřebovaná. Vize u nového řešení je využít metrický závit, který by měl stoupání podle průměru drátu. Tedy pro drát, který má průměr 1,5 mm, by se využil závit M10 x 1,5.



Obr. 12 Detail původního přípravku – část šroubovitě plochy.

Ohyb drátu u dosavadního přípravku byl zajištěn vyfrézovaným výstupkem na spodní straně kličky. Drát byl provlečen drážkou, viz obr. 12 a následně protažen mezi navíjecím trnem a výstupkem. Již z obr. 13 je patrné, že je mezi těmito elementy poměrně velká vůle. Proto také docházelo k nehezkému ohybu u prvního závitu.



Obr. 13 Detail původní kličky.



### 1.3 Návrh výrobní technologie

Protože se jedná o návrh výroby přípravku, byly zvoleny technologie obrábění. Je potřeba vyrobit testovací prototyp, na kterém se ověří funkčnost. Po reálném použití přípravku se následně zhodnotí funkce. Pokud bude potřeba přípravek zdokonalit, provedou se dílčí úpravy jednotlivých dílů. V případě, že by byl o přípravek zájem v odvětví varhanářství, jednalo by se o kusovou výrobu, několik kusů ročně. Proto je technologie obrábění nejlepší volbou i pro výrobu dalších přípravků.

Konkrétně se bude jednat o technologii třískového obrábění. Převážně pak frézování (obr. 14), v němž bude obsaženo i vrtání. V menší míře bude využito soustružení. Výroba by neměla být extrémně náročná, aby nebylo nutné kupovat speciální nástroje a aby postačily běžné a dostupné obráběcí stroje.



Obr. 14 Ukázka frézování [5].

Další možností, která by byla v rámci výroby přípravku přípustná je zhotovení za pomoci 3D tisku kovů (obr. 15), který je taktéž v současné době vhodným řešením pro kusové výroby. Vzhledem k tomu, že tento způsob je momentálně stále minimálně rozšířený, jednalo by se o poměrně drahé řešení. Dostupnost 3D tiskáren na kov a obráběcích nástrojů je velice rozdílná ve prospěch obrábění, což je bezesporu nevýhoda pro tisk. Přípravek bude obsahovat mnoho, převážně vnitřních, závitů, které by se pravděpodobně musely v případě 3D tisku doobrobit, nebo v případě menších závitů vyrobit zcela obráběcí metodou. Také je třeba brát v potaz snahu využít normalizované tažené profily, na kterých může zůstat povrch po tažení a obrobí se pouze nutné plochy či díry. Z výše jmenovaných důvodů byla zvolena technologie běžného obrábění.



Obr. 15 Ukázka 3D tisku kovů [6].

## 2 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PŘI VÝROBĚ

Pro výrobu přípravku bude využita technologie obrábění. Jedná se o velmi rozsáhlou technologii, ve které se dosahuje požadovaného tvaru, rozměrů a textury povrchu výrobku odebráním materiálu. Rozlišují se tři možnosti způsobu úběru. První možností je mechanický účinek, třískové obrábění (frézování, soustružení, vrtání atd.). Elektrický (elektrojiskrové obrábění) a chemický způsob úběru (chemické rozměrové leptání) jsou další možnosti. V některých případech se jedná o kombinaci všech těchto účinků. [7; 8]

Pro výrobu přípravku budou využity metody třískového obrábění. V největším rozsahu se bude jednat o technologii frézování, která je vhodná pro výrobu nerotačních součástí. Dále vrtání, kterým se zhotovují otvory a soustružení, jež je vhodné pro zhotovení rotačních dílců. [8]

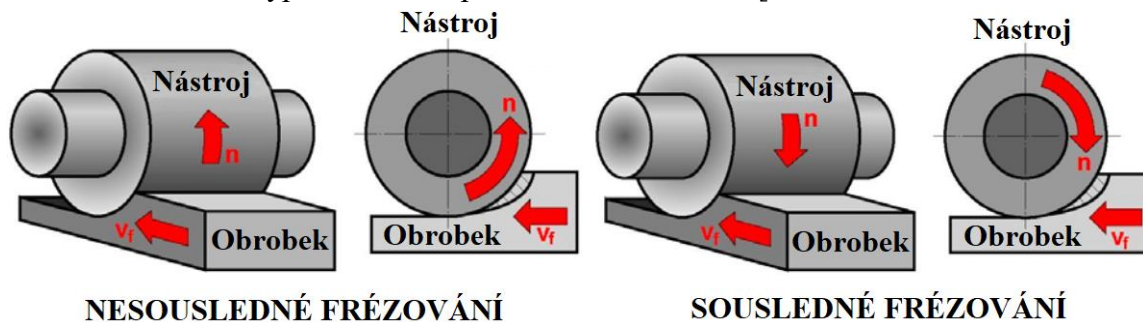
Samotná výroba pružiny je realizována tvářením, konkrétně ohýbáním drátu kruhového průřezu do šroubovice. Jedná se o navíjení drátu na válcový trn. Pro vytvoření závitů pružiny je nutné zajistit otáčivý pohyb s osovým posunem.

Části přípravku, které budou přicházet do styku s lidskou pokožkou, bude nutné opatřit povrchovou úpravou. Jedná se o opatření, které ochrání přípravek proti nežádoucí korozi a prodlouží tak jeho životnost.

### 2.1 Frézování

Obráběcí metoda, při které je materiál z obrobku odebrán břity rotujícího nástroje. Obrobek většinou koná hlavní pohyb, převážně kolmý k ose nástroje, jímž je v tomto případě fréza. Její zuby odřezávají krátké třísky o proměnné tloušťce. Jedná se o přerušovaný řezný proces. Stroj se nazývá frézka. [8]

Základní rozdělení frézování je na sousledné a nesousledné, viz obr. 16. Podle použité frézy se dělí na válcové a čelní, z nichž jsou odvozeny i další způsoby jako je např. okružní či planetové. Pokud je materiál odebrán obvodem nástroje, jedná se o válcové frézování, které je vidět na obrázku 16. Pro tento typ obrábění se používá válcová fréza. [8; 9]

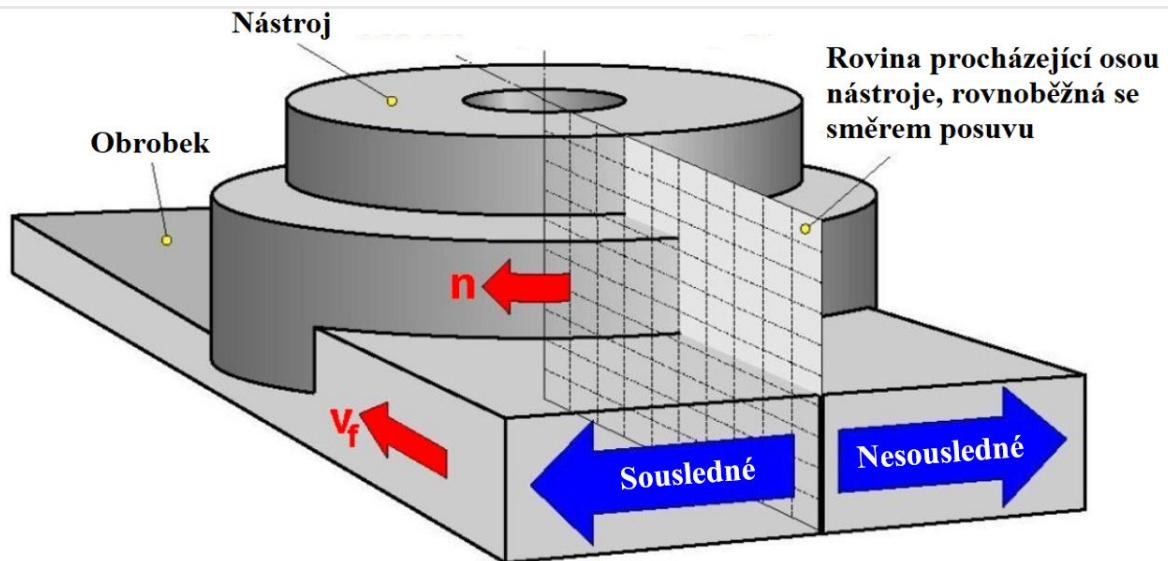


Obr. 16 Válcové frézování [8].

U nesousledného frézování se obrobek pohybuje proti smyslu rotace nástroje. Průřez třísky nabývá z nulové hodnoty do maximální. Výsledná řezná síla působí nahoru a obrobek je tak odtažován od stolu. [8]

V případě sousledného frézování obrobek koná pohyb ve stejném směru jako je smysl rotace nástroje. Při vnikání zuby frézy do povrchu obrobku je průřez třísky maximální a postupně se zmenšuje k nulové hodnotě. Síly působí většinou proti stolu stroje, tedy dolů. Jednou z výhod sousledného frézování je větší trvanlivost břitů, z čehož vyplývá možnost využití vyšších posuvů a řezných rychlostí. [8]

Druhým základním typem je čelní frézování. Rozlišuje se symetrické (obr. 17) a nesymetrické. Rozdíl je v tom, zda nástroj jede svou osou po ose obrobku či mimo, kde zabírá jedna strana frézy více než druhá. Dochází zde k souslednému i nesouslednému frézování zároveň. Používaný nástroj se nazývá čelní fréza. [8; 9]



Obr. 17 Čelní frézování (symetrické) [8].

Kromě čelní a válcové frézy se používají i další typy fréz dělené podle tvaru, jako jsou například kotoučové, úhlové, tvarové. Dále se rozlišují podle průběhu ostří na frézy se zuby přímými, šikmými a ve šroubovici (obr. 18). Důležitým prvkem je také upínání fréz. To je zajištěno válcovou či kuželovou stopkou. Větší frézy mohou být nástrčné a upínají se pomocí upínacího trnu. V průběhu let se ve způsobu upínání nástrojů pokročilo a upíná se například pomocí tepelné roztažnosti. Dutina pro upínání nástroje je indukčně zahřáta, následně je do ní vložen nástroj se stopkou v toleranci h6 a poté je upínač ochlazen. Dochází k upnutí po celém obvodu nástroje. [9; 10]

Základní výpočtový vztah u frézování je výpočet řezné rychlosti [8]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_f \cdot n_f}{1000} [m \cdot \min^{-1}], \quad (2.1)$$

kde:  $D_f$  – průměr nástroje [mm],  
 $n_f$  – otáčky nástroje [ $\min^{-1}$ ].

Ze základní jednotky posuvového pohybu, kterou je posuv na zub, je možné vypočítat posuv na otáčku [8]:

$$f = f_z \cdot z [mm], \quad (2.2)$$

kde:  $f_z$  – posuv na zub [mm],  
 $z$  – počet břitů (zubů) nástroje [-].

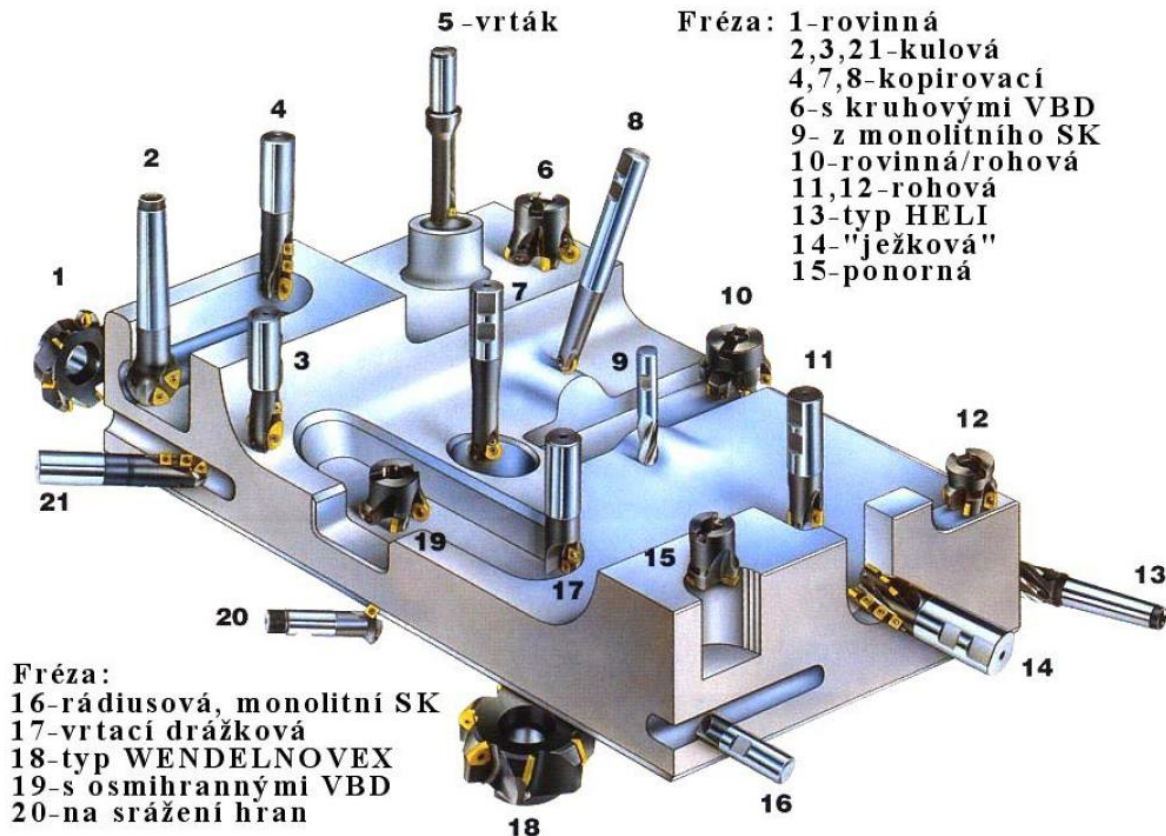
Následně je možné určit posuvovou rychlost [8]:

$$v_f = f \cdot n [mm \cdot \min^{-1}]. \quad (2.3)$$



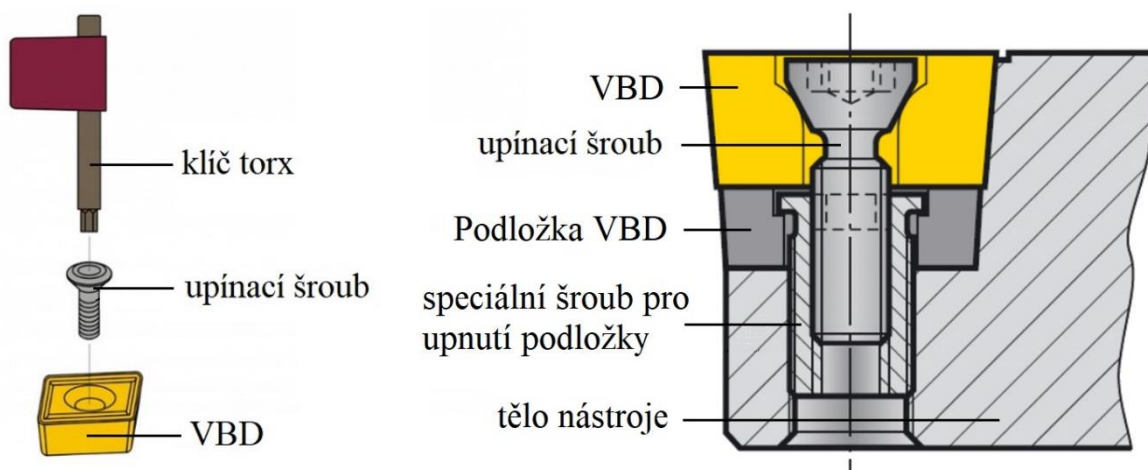
Obr. 18 Válcová čelní fréza se zuby ve šroubovici.

Postupným vývojem, kterým frézy a jiné obráběcí nástroje procházely, se dospělo ke koncepci skládaných nástrojů. Jedná se o držáky potřebných tvarů, na které se mechanicky připevňují tzv. výměnné břitové destičky. Ty jsou nejčastěji ze slinutých karbidů, což jsou materiály vyrobené práškovou metalurgií spékáním neboli slinováním kovů ve formě prášku. Následně bývají povlakovány různými povlaky, dle obráběného materiálu a dalších aspektů. Dalším materiálem destiček je také řezná keramika. Několik fréz nejen s výměnnými břitovými destičkami je vidět na obr. 19. [8; 11]



Obr. 19 Frézy firmy Walter (SRN) [8].

Detailnější pohled na upínání výměnné břitové destičky, zkráceně VBD, je na obr. 20 a 21. Jedná se o upínání typu „systém S“, kde je přídržovací síla vytvářena šroubem s kuželovou hlavou. Tento a další systémy jsou používány i pro nástroje v ostatních obráběcích metodách. Pro frézy je tento systém nejvhodnější. [8; 11]



Obr. 20 Upínání VBD šroubem [12].

Obr. 21 Řez nástrojem s upínáním VBD se systémem S [8].

## 2.2 Soustružení

Jedná se o obráběcí metodu, která se používá pro zhotovení rotačních součástí. Je to nejrozšířenější a z mnoha pohledů i nejjednodušší způsob obrábění. Materiál je odebrán většinou jednobřítým nástrojem z čelní plochy nebo z vnějších i vnitřních válcových, kuželových i tvarových ploch. Pomocí soustružení lze také zhotovit zápichy a závity. Na soustruhu je možné vrtat, vyvrtávat, vystružovat, válečkovat, vroubkovat. Je zde i možnost hladit či leštit výsledný povrch. Vnější válcové soustružení je vidět na obr. 22. [8]

Při soustružení vykonává hlavní pohyb obrobek, tento pohyb je rotační. Řezná rychlost je pak dána vztahem [7]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_s \cdot n_s}{1000} [m \cdot \min^{-1}], \quad (2.4)$$

kde:  $D_s$  – průměr obrobku [mm],  
 $n_s$  – otáčky obrobku [ $\min^{-1}$ ].

Posuvová rychlost nástroje, který vykonává hlavní pohyb, lze vypočítat ze vztahu [7]:

$$v_f = f \cdot n_s [mm \cdot \min^{-1}], \quad (2.5)$$

kde:  $f$  – posuv na otáčku [mm].

Výsledný řezný pohyb je dán vektorovým součtem dle vztahu [7]:

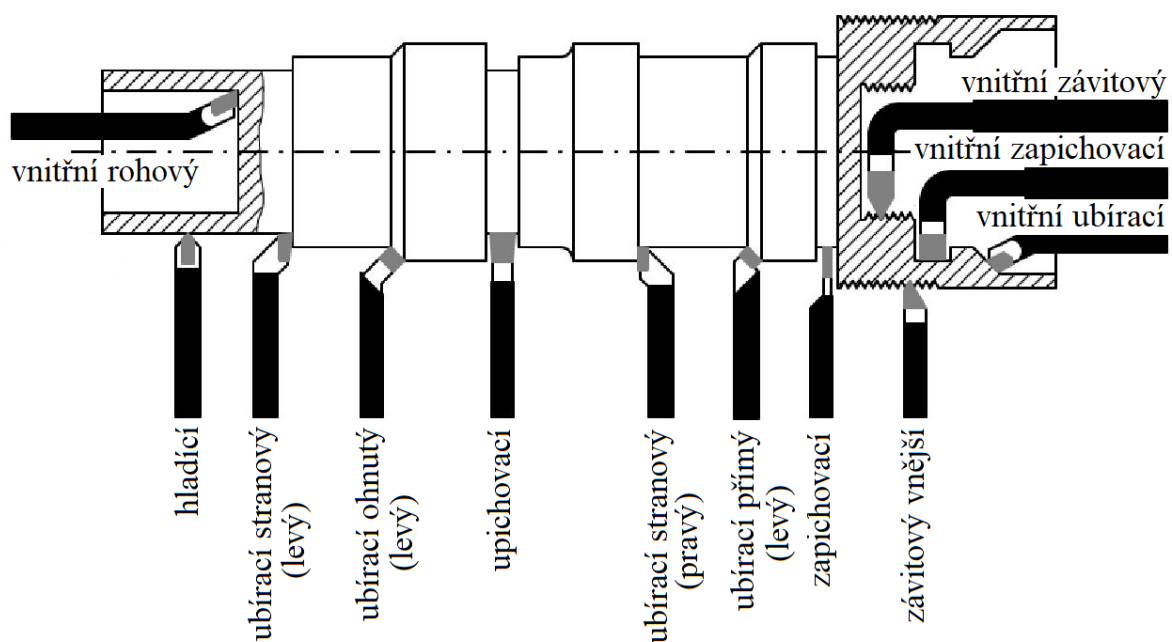
$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [m \cdot \min^{-1}]. \quad (2.6)$$



Obr. 22 Soustružení vnější válcové plochy.

Nástrojem metody soustružení je soustružnický nůž, který je buď monolitní, nebo složený. Tento složený typ se v posledních letech využívá nejčastěji. Konkrétně se skládá z držáku nože, na nějž se různými způsoby uchycení, např. šroubkem, mechanicky upne výměnná břitová destička ze slinutého karbidu. Destička, spíše v dřívějších dobách, může být na držák pájena. Celistvý nůž je pak celý z nástrojové oceli. Lze ho libovolně vybrušovat do potřebných tvarů, či několikrát ostřit. To u výměnných destiček možné není, avšak mívají více ostří, které lze používat. Po uvolnění mechanického upnutí se destička otočí a je možno používat další neopotřebované ostří. Soustružnických nožů je několik druhů. Některé z nich se nachází na obr. 23. Základní rozdělení je podle způsobu obrábění na vnější a vnitřní a podle směru posuvu na pravé a levé. Jejich další rozlišení je podle těchto kritérií [7; 8; 9]:

- Dle technologického hlediska:
  - radiální – nejčastěji používané nože,
  - prizmatické,
  - kotoučové,
  - tangenciální.
- Dle konstrukce:
  - celistvé,
  - s pájenými břitovými destičkami,
  - s vyměnitelnými břitovými destičkami.
- Dle tvaru:
  - přímé,
  - ohnuté,
  - prohnuté,
  - osazené.
- Dle způsobu použití:
  - uběrací,
  - zapichovací,
  - upichovací,
  - kopírovací,
  - závitové,
  - tvarové – vybrušené do složitějších tvarů, které je potřeba vytvořit na obrobku.



Obr. 23 Přehled některých soustružnických nožů [13].

### 2.3 Vrtání

Výrobní metoda, díky které je možné zhotovit otvory v plném materiálu, nebo již jinak připravené otvory zvětšit. Ty mohou být předvrtané, předlité, předkované apod. Někdy se zvětšování nazývá vyvrtávání. Na obr. 24 je vidět vrtání na vrtačce a na obr. 25 je ukázka zvětšování otvoru na soustruhu, kde se točí obrobek a vrták stojí. [14]

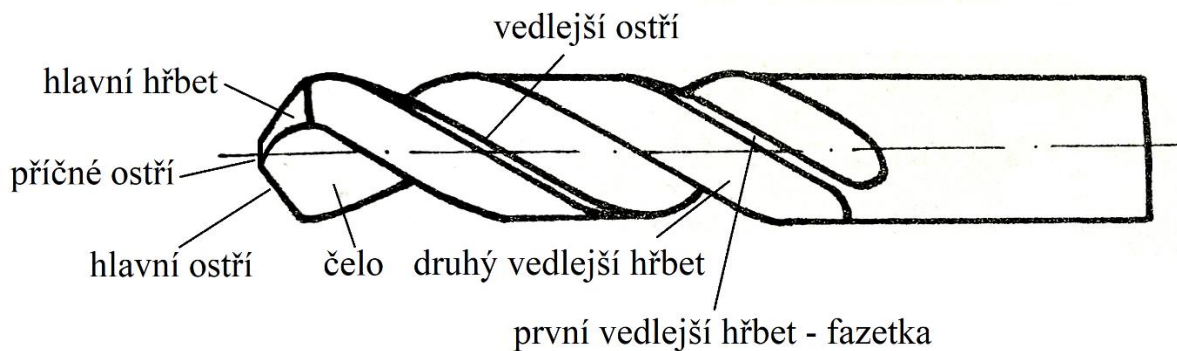


Obr. 24 Vrtání na stojanové vrtačce.



Obr. 25 Vrtání na soustruhu.

Hlavní řezný pohyb u vrtání vykonává nástroj, jímž je vrták. Jeho osa bývá kolmá k vrtané ploše. Mezi nejpoužívanější vrtáky patří šroubovitý, viz obr. 26. Před samotným vrtáním otvoru se používají středící vrtáky, které slouží k navrtání technologického důlku nebo povrchu součásti. Dalšími typy vrtáků jsou kopinaté, korunkové, dělové, hlavňové atd. Stejně jako u fréz a soustružnických nožů, i zde se používají vrtáky s výměnnými částmi z povlakovaných slinutých karbidů. Buď se vyměňuje celá špička, nebo pouze břitové destičky. [9; 11; 14]



Obr. 26 Základní popis šroubovitého vrtáku [9; 14].

Typickou vlastností nástrojů pro vytváření otvorů, kdy nástroje konají hlavní řezný pohyb, je zmenšující se řezná rychlost podél hlavního ostří od největšího průměru směrem do jeho středu. Její velikost odpovídá obvodové rychlosti na největším (jmenovitém) průměru vrtáku a vypočítá se dle vztahu [14]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_v \cdot n_v}{1000} [m \cdot \min^{-1}], \quad (2.7)$$

kde:  $D_v$  – průměr vrtáku [mm],  
 $n_v$  – otáčky vrtáku [ $\min^{-1}$ ].

Vedlejší řezný pohyb v tomto případě rovněž vykonává nástroj. Posuvovou rychlost lze vypočítat takto [14]:

$$v_f = f \cdot n_v [mm \cdot min^{-1}], \quad (2.8)$$

kde:  $f$  – posuv na otáčku [mm],

Vektorovým součtem řezné a posuvové rychlosti je dána rychlost řezného pohybu [14]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} [m \cdot min^{-1}]. \quad (2.9)$$

U vrtáků, výhrubníků, výstružníků a záhlubníků, které jsou vícebřité, je možné počítat posuv na zub dle vzorce [14]:

$$f_z = \frac{f}{z} [mm], \quad (2.10)$$

kde:  $z$  – počet břitů (zubů) nástroje [-].

Upínání vrtáků a jiných vrtacích nástrojů je buď za válcovou, nebo kuželovou stopku. V tomto případě se vrták narazí ručně do otvoru, ve kterém musí dojít k samosvornému upnutí. Jedná se o otvor s kuželovitostí  $k = 1:30$  nebo se používá tzv. Morse kužel. Na obr. 27 je několik vybraných vrtacích nástrojů, jak s výměnnými částmi, tak monolitní. U vrtáku s výměnnou špičkou je možné vidět dvě díry v těle, jedná se o přívodní otvory pro procesní kapalinu, která má za úkol, u všech typů obrábění, chladit nástroj, usnadnit odvod třísek, popř. konzervovat hotový výrobek. [9; 11]



Obr. 27 Výběr z vrtacích nástrojů [14].



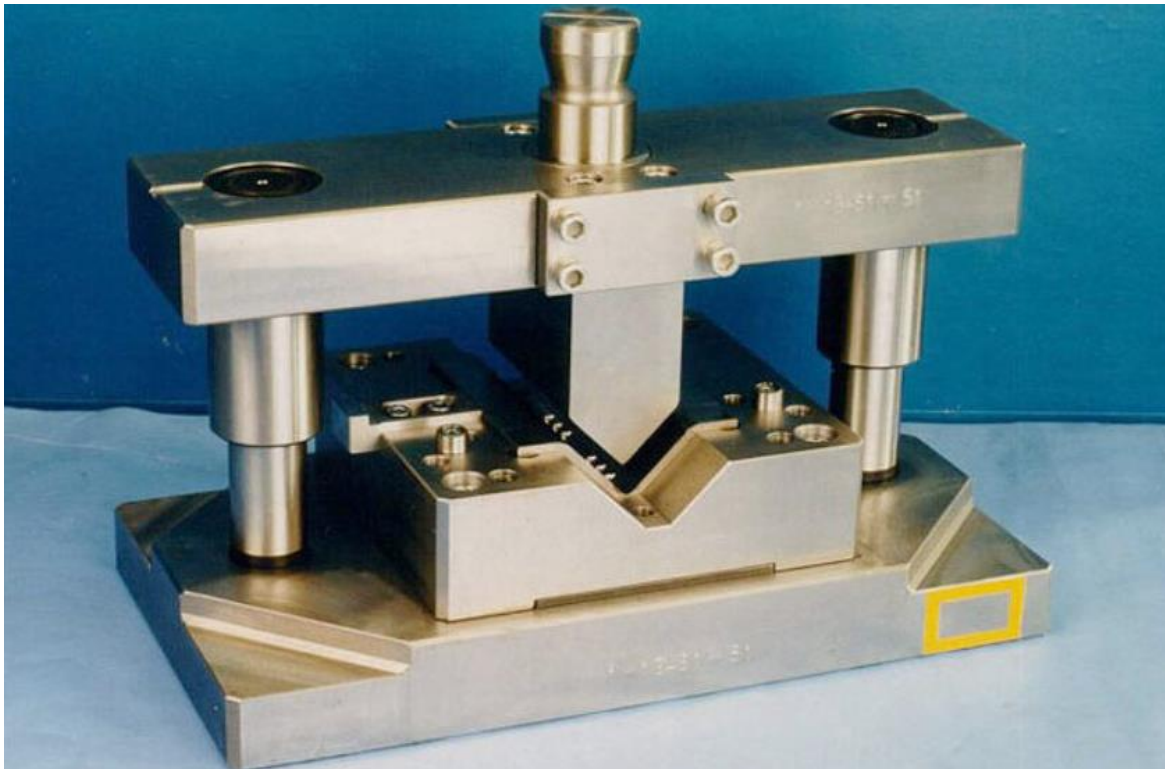
## 2.4 Ohýbání

Velice rozšířená technologická operace, při níž je dosahováno trvalé deformace materiálu pomocí působení lokálních sil nebo ohybových momentů. Nejčastějším způsobem je zmenšování poloměru zakřivení, tedy ohýbání. V opačném případě, kdy je poloměr zakřivení zvětšován, se jedná o rovnání. Ohýbání se řadí mezi plošné tváření a používá se pro výrobu dílců z plechu, profilů, tyčí, trubek a drátů, viz obr. 28. Často se jedná i o několik ohybů na jednom dílci. Ohýbání je převážně prováděno za studena, což obecně znamená, že se teploty při tváření pohybují do 0,3násobku teploty tavení ohýbaného materiálu. U křehkých a tvrdých materiálů je potřeba provést ohyb za tepla, tedy nad teplotou rekrystalizace. [7, 15]



Obr. 28 Součásti vyrobené metodou ohýbání [16; 17; 18].

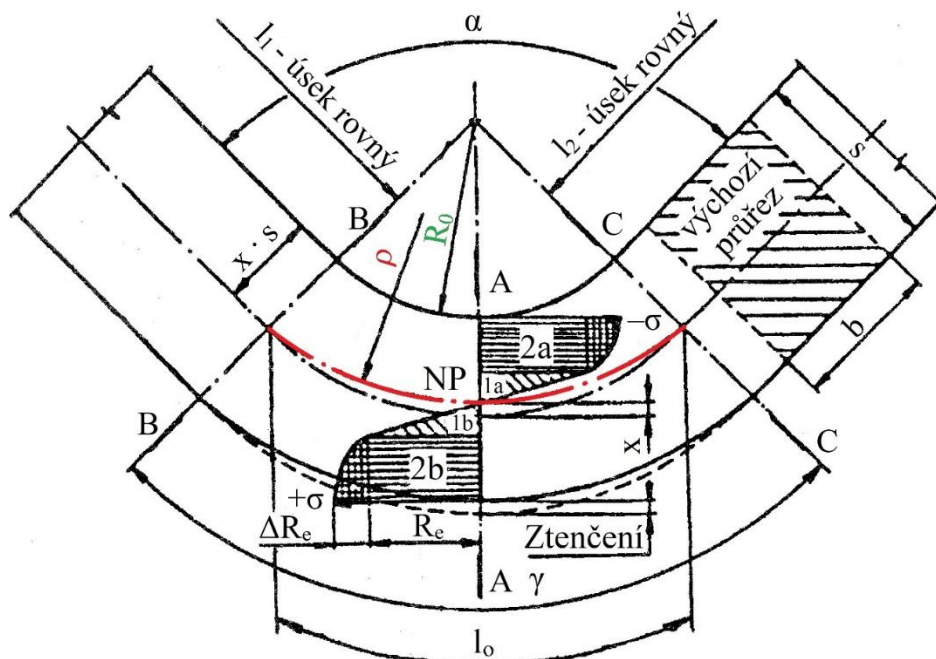
Nejčastější rozdělení ohýbání plechů je podle tvaru výsledného ohybu, a to na U a V ohyb. Nástrojem pro ohýbání je ohýbadlo, které je k vidění na obr. 29. To má dvě hlavní části, které se nazývají ohybník a ohybnice. Ohybník se spustí shora, dosedne na plechový polotovár a působením další síly začne plech pomocí ohybnice ohýbat, dokud nedosedne na ohybnici po celé ploše. V některých případech dochází k tzv. kalibraci, což znamená zvětšení síly po dosednutí. Tím se sníží nebo odstraní odporu plechu, které ohýbání provází. [7; 15; 19]



Obr. 29 Ohýbadlo [19].

### 2.4.1 Výpočet délky polotovaru

Na obr. 28 je vidět schéma ohýbání pravoúhlého průřezu. Při ohybu v určitých případech dochází k posunu neutrální plochy. To způsobuje ztenčení materiálu v místě ohybu. Zda dojde k posunutí či nikoliv záleží na poměru poloměru ohybu  $R_o$  a tloušťky materiálu  $s$ . Je patrné, že na vnitřní straně ohybu dochází v ohýbaném dílci k tlakovým napětím, a naopak na vnější straně je materiál zatěžován tahem. [15; 19]



- 1a, 1b – oblast pružné deformace
- 2a, 2b – oblast plastické deformace se zpevněním  $\Delta R_e$
- NP – neutrální plocha
- x – velikost posunutí neutrální plochy od původní osy průřezu
- $R_o$  – poloměr ohybu
- $l_o$  – délka ohnutého úseku v neutrální ploše
- $\rho$  – poloměr neutrální plochy
- $\gamma$  – úhel ohnutého úseku ( $\gamma = 180 - \alpha$ )
- $\alpha$  – úhel ohybu

Obr. 28 Schéma ohýbání [15].

Pro výpočet výchozí délky polotovaru u ohýbání je potřebné znát polohu neutrální plochy ohýbaného průřezu. Tato poloha je dána poloměrem  $\rho$  (obr. 28), který lze vypočítat dle následujících vzorců [15]:

- Pro ohyb s velkými poloměry zaoblení, kde:

$$\frac{R_o}{s} \geq 12, \quad (2.11)$$

kde:  $R_o$  – poloměr ohybu [mm],  
 $s$  – tloušťka ohýbaného materiálu [mm].  
 platí:

$$\rho = R_o + \frac{s}{2} \text{ [mm]} \quad (2.12)$$

Ze vzorce je zřejmé, že pro velké poloměry ohybu nedochází k posunu neutrální plochy.

- Pro ohyb s malými poloměry zaoblení, kde:

$$\frac{R_o}{s} \leq 6, \quad (2.13)$$

platí:

$$\rho = \left(R_o + \frac{s}{2}\right) \cdot z_z \cdot z_r \text{ [mm]}, \quad (2.14)$$

kde:  $z_z$  – součinitel ztenčení,

$z_r$  – součinitel rozšíření původního průřezu.

Součinitel ztenčení  $z_z$  během ohýbání závisí na několika faktorech, jimiž jsou tvárnost materiálu, stupeň deformace, úhel ohybu a tření materiálu o nástroj. Je možné ho odečíst z příslušných grafů, nebo lze vypočítat dle vztahu [15]:

$$z_z = \frac{s_1}{s} [-], \quad (2.15)$$

kde:  $s_1$  – tloušťka ohýbaného materiálu po ohnutí [mm].

Tloušťka plechu po ohnutí se vypočítá pomocí vzorce [15]:

$$s_1 = s - \Delta s \text{ [mm]}, \quad (2.16)$$

kde:  $\Delta s$  – ztenčení plechu [mm].

Ztenčení plechu je pak dáno vztahem [15]:

$$\Delta s = \frac{s^3}{4 \cdot (2R_o + s)^2} \text{ [mm]}, \quad (2.17)$$

Součinitel rozšíření původního průřezu  $z_r$  je možné odečíst z tab. 2.

Tab. 2 Součinitel rozšíření původního průřezu při ohýbání [15].

Šířka ohýbaného dílce $b$ [mm]	$b = 0,5 \cdot s$	$b = s$	$b = 1,5 \cdot s$	$b = 2 \cdot s$	$b = 2,5 \cdot s$	$b \geq 3 \cdot s$
Součinitel rozšíření $z_r$ [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1,0

- ohyb širokých pásů plechu, kde [15]:

$$b > 3 \cdot s, \quad (2.18)$$

platí:

$$\rho = R_o + x \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.19)$$

kde:  $x$  – součinitel vyjadřující posun neutrální plochy

Z tab. 3 je možné zjistit součinitel  $x$ .

Tab. 3 Závislost součinitele  $x$  a ztenčení  $z_z$  na poměrném poloměru ohybu  $R_o/s$  [15].

$R_o/s$	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10
$x$	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,498
$z_z$	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998

Délka ohnuté části se vypočítá dle následujícího vzorce [15]:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho \text{ [mm]}, \quad (2.20)$$

kde:  $\gamma = 180 - \alpha$  [°] – úhel ohnutého úseku,

kde:  $\alpha$  – úhel ohybu.

Celková délka polotovaru je pak dána součtem všech délek rovných a obloukových částí výrobku. K výpočtu je potřeba znát výkres výrobku a jeho materiál, resp. vlastnosti ohýbaného materiálu. [15]

Pro kruhové průřezy o průměru  $d$  s poloměrem  $R_o$  platí [15]:

$$R_o < 1,5 \cdot d \Rightarrow \text{dochází k deformaci průřezu} \quad (2.21)$$

kde:  $d$  – poloměr ohýbaného kruhového průřezu.

$$R_o \geq 1,5 \cdot d \Rightarrow \text{lze uvažovat, že k deformaci průřezu nedochází} \quad (2.22)$$

## 2.4.2 Kontrola poloměru ohybu

Dalším důležitým výpočtem při ohýbání je kontrola maximálního poloměru ohybu  $R_{max}$  a minimálního poloměru  $R_{min}$ . Maximální poloměr ohybu je největší poloměr, při kterém dojde k trvalé deformaci. U většího poloměru, než je  $R_{max}$  by došlo pouze k elastické (pružné) deformaci a materiál by se po odtížení vrátil do původní polohy.  $R_{min}$  je naopak hodnota nejmenšího poloměru ohybu, při kterém ještě v ohýbaném materiálu nedojde k porušení krajních vláken. Tuto vlastnost lze částečně ovlivnit zařazením vhodného tepelného zpracování, např. žíhání, před samotné ohýbání. Další aspekt, který ovlivňuje minimální poloměr ohybu je směr vláken v materiálu. V ideálním případě by měl být ohyb prováděn napříč tomuto směru. [7; 15; 19]

Minimální poloměr ohybu se v praxi využívá jen v nutných případech, většinou se volí hodnoty o 20 % větší. Pro výpočet je nutné znát hodnotu mezního prodloužení. To je takové prodloužení, při němž napětí v materiálu dosáhne meze pevnosti v tahu a dojde k porušení soudržnosti materiálu. Zjednodušené výpočty  $R_{min}$  pro některé materiály jsou vidět v tab. 4. Obecně se minimální poloměr ohybu vypočítá dle vztahu [15]:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) \text{ [mm]}, \quad (2.23)$$

kde:  $\varepsilon_c$  – mezní prodloužení [-].

Pro výpočet maximálního poloměru ohybu je nutné znát modul pružnosti v tahu pro ohýbaný materiál a jeho mez kluzu.  $R_{max}$  je pak dán vztahem [15]:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{Re} - 1 \right) \text{ [mm]}, \quad (2.24)$$

kde:  $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa],

$Re$  – mez kluzu materiálu [MPa].

Tab. 4 Přibližné hodnoty  $R_{min}$  pro základní materiály [15].

měkká ocel	$R_{min} = (0,4-0,8) \cdot s$
měkká měď	$R_{min} = 0,25 \cdot s$
hliník	$R_{min} = 0,35 \cdot s$

## 2.5 Povrchová úprava

Ve strojírenské praxi je častým problémem škodlivé narušování povrchu kovů. Jedná se o korozi kovů, která je způsobena chemickým a elektrochemickým vlivem okolního prostředí. Chemická koroze je např. oxidování oceli za vyšších teplot. Častější případ, elektrochemická koroze, narušuje povrch kovů působením elektrochemického proudu. Ten často vzniká během samotné koroze a není tedy potřeba ho přivádět z dalšího zdroje. [20]

Korozi je několik typů. V některých případech se jedná o pozitivní vlastnost kovů např. u mědi či hliníku, kde se koroze vytváří na celém povrchu rovnoměrně (celková koroze, viz obr. 29). Pokud je zvolen dostatečný přídavek vzhledem k tloušťce materiálu, vytvoří se poměrně rychle souvislá oxidovaná vrstva, která další korozi brání. V ostatních typech koroze, které jsou vidět na obr. 29, je koroze nežádoucím jevem, kterému je potřeba zabránit. K tomu slouží tzv. povrchová úprava. [20]



Obr. 29 Druhy koroze [20].

Povrchovou úpravou se rozumí taková úprava povrchu materiálu, která vede ke zlepšení vlastností finálního výrobku. Nejprve se jedná o předúpravu materiálu, a to buď mechanickou (otryskání, broušení a leštění, omývání, kartáčování), nebo chemickou a elektrochemickou (odmašťování, moření). Po přípravě povrchu je možné provádět vlastní povrchovou úpravu, která v sobě zahrnuje anorganické nekovové povlaky, kovové povlaky a organické povlaky. Jedním z organických povlaků jsou nátěrové hmoty. [20; 21]

Nátěrové hmoty jsou sice nejstarší prostředky používané pro ochranu povrchu, ale i přesto patří mezi běžné a ekonomicky výhodné ochranné povlaky. Jejich výhodou je také to, že nátěry nejsou omezeny velikostí ani tvarem výrobku. Nátěrem se rozumí ucelený ochranný povlak, který je složen z jedné nebo více vrstev vyschlé nátěrové hmoty. Dle účelu se nátěry dělí na ochranné, dekorativní, signální, maskovací a speciální. Před provedením nátěru je nutné povrch odmastit či odrezit. Nanášení nátěrové vrstvy je prováděno několika způsoby. Nejznámějšími nanášecími metodami jsou natírání (obr. 30) nebo stříkání pomocí pistole (obr. 31). Mezi další způsoby nanášení nátěrové hmoty patří např. máčení, polévání či bubnování. [20, 22]



Obr. 30 Nanášení nátěrové hmoty štětcem [23].



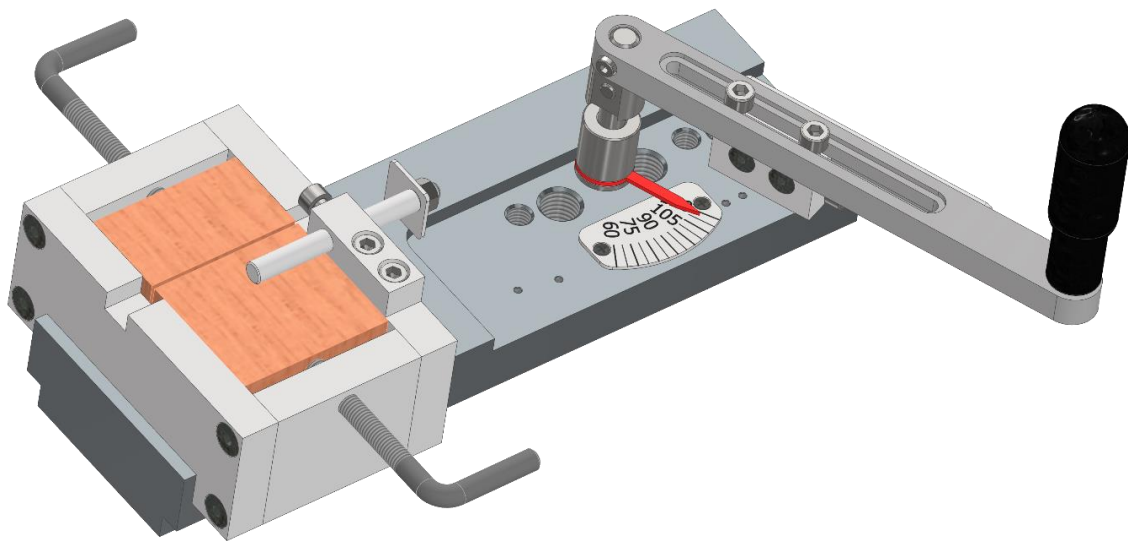
Obr. 31 Nanášení barvy stříkácí pistolí [24].

### 3 NÁVRH PŘÍPRAVKU

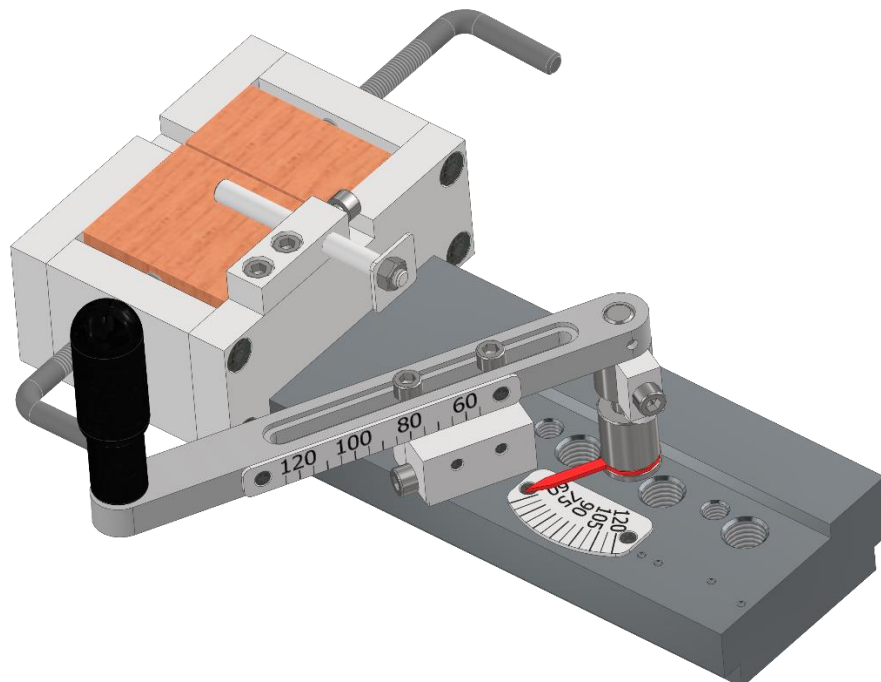
Řešenou úlohou je návrh ohýbacího přípravku, který má sloužit pro výrobu ventilových pružin do varhan. Zvolenou technologií pro výrobu takového přípravku je obrábění. Ventilové pružiny mají pro různé varhany různé parametry. Proto je kladen důraz na variabilitu přípravku a další aspekty. Důvodů k návrhu přípravku je několik. Jedná se o tyto problémy stávajícího přípravku:

- malá variabilita výroby,
- nepřilíš vzhledný první závit pružiny,
- odírání drátu o přípravek,
- mechanické opotřebování funkčních částí přípravku.

Na základě autorovy myšlenky, která byla vyvolána výše uvedenými skutečnostmi a podložena několikaletou praxí, byl vytvořen ve 3D softwaru v programu Autodesk Inventor Professional 2022 návrh nového přípravku, jehož model je vidět na obr. 32. Pohled na přípravek z druhé strany ukazuje obr. 33.



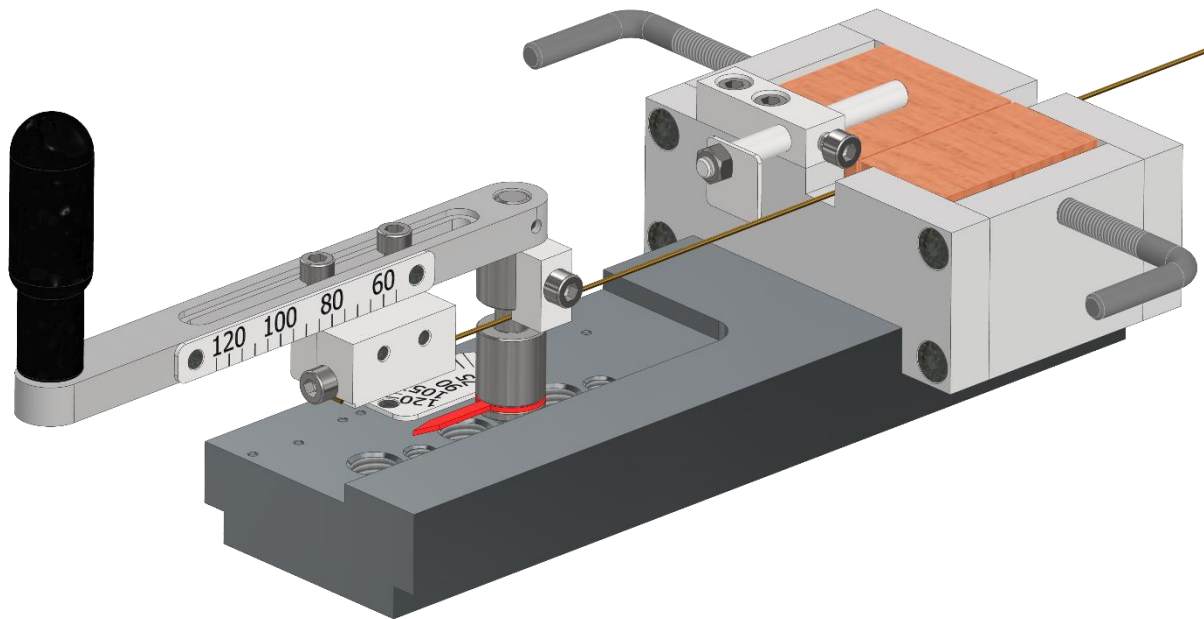
Obr. 32 Celkový pohled na nově navržený přípravek.



Obr. 33 Celkový pohled na nově navržený přípravek z druhé strany.

### 3.1 Popis funkce přípravku

Na základě některých znalostí v oblasti technologie tváření bylo navrženo konstrukční řešení, díky kterému je možné pomocí přípravku ohýbat pružinu s přídavným tahovým zatížením. Tento způsob ohybu patří mezi speciální technologie tváření a zajišťuje minimální hodnoty odpružení [27]. Osově tahové zatížení v drátu je zajištěno pevným uchycením jednoho konce drátu na klice a zároveň brzděním druhého konce drátu v čelistech z tvrdého dřeva, např. z dubu. Výchozí poloha přípravku s upnutým polotovarem je k vidění na obr. 34. Délku ramene pružiny je na přípravku možné nastavit pojízdným dílcem, který se zajistí v potřebné poloze dle stupnice na rameni kliky, viz obr. 34.



Obr. 34 Výchozí poloha přípravku s upnutým drátem.

Po nastavení přípravku do výchozí polohy je drát uchycen ke klice a jeho druhý konec sevřen do dřevěných čelistí (obr. 34). Pomocí kliky je ručním otáčivým pohybem vytvářen ohybový moment, který začíná vytvářet závit pružiny. Současně s otáčením se celá klika vysunuje díky závit, který má stoupání shodné s průměrem použitého drátu. Po vytvoření otočky o  $360^\circ$ , resp.  $720^\circ$  (pro 2 závity) či  $1080^\circ$  (pro 3 závity), musí obsluha začít sledovat střelku, která ukazuje výsledný úhel mezi rameny pružiny.

Až je pružina vytvořena dle zadání, je možné pomocí bočních štípacích kleští podle destičky na dorazu ustříhnout druhý konec drátu. Speciálně upravenými kleštěmi s hladkými čelistmi se potom provede ohyb konce ramene.

Před výrobou další ventilové pružiny je nutno kliku otočit zpět do výchozí polohy o stejný počet otáček, kterým byla předchozí pružina vyrobena. Dále je potřeba si na uštípnutém konci drátu vytvořit pomocí kleští ohyb, za který bude konec drátu upnut na klice. Připravený konec drátu před výrobou je zároveň součástí výsledné pružiny a je vidět na obr. 35.

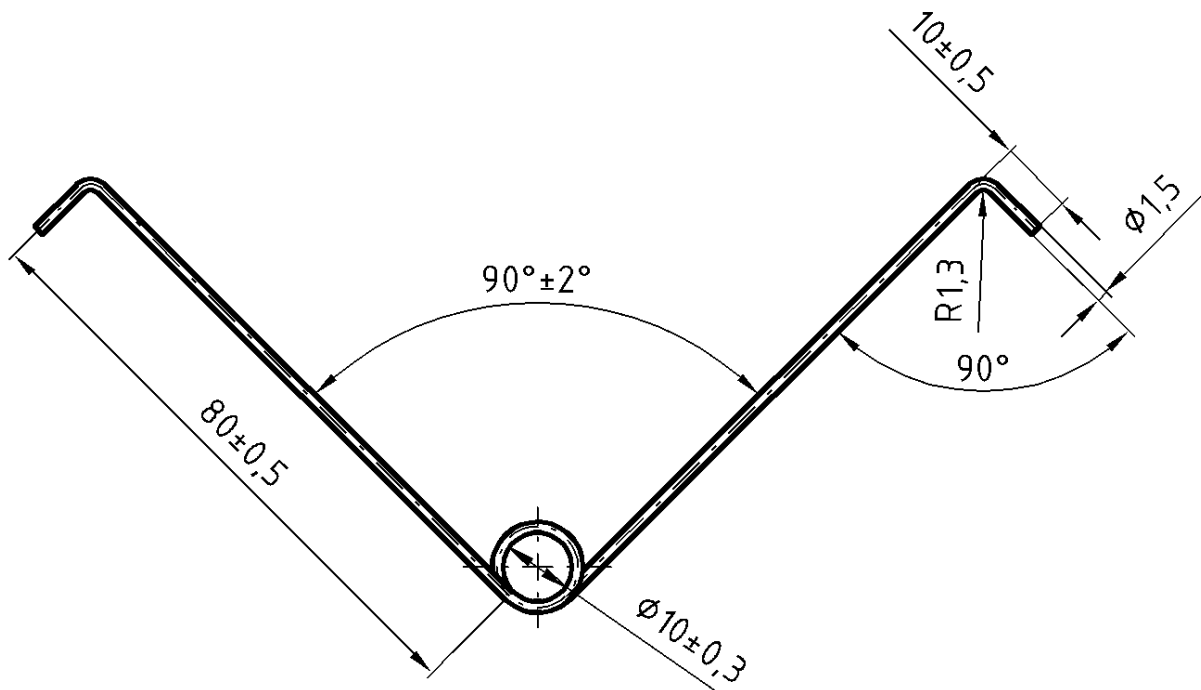


Obr. 35 Připravený drát pro stáčení pružiny.

Podrobnějšímu popisu a principu nově navrhnutého přípravku bude věnován prostor v dalších kapitolách. Avšak ještě než bude přípravek blíže popisován, je nutné ověřit několik problémů, které jsou s výrobou pružiny spjaty. Mezi tyto problémy patří kontrola velikosti ohybového momentu a odpružení pružiny po skončení navíjení.

### 3.2 Výpočty pro konkrétní pružinu

Kvůli některým vlastnostem navrhnutého přípravku a zjištění bližších informací o nově vyrobených pružinách vznikla potřeba provést některé výpočty. Tyto výpočty budou prováděny pro pružinu s průměrnými vlastnostmi a rozměry reálně používaných pružin. Na obr. 36 je náčrt pružiny se skutečnými rozměry.



Obr. 36 Výkres pružiny určené k výpočtům.

Materiály používané na výrobu pružin jsou ve varhanářské dílně dva. Jedním z nich je mosaz s označením Cu 470, druhým je korozivzdorná ocel s označením 1.4301. Tento materiál byl vybrán pro výpočty z důvodu vyšších hodnot mechanických vlastností. Z toho vyplývá, že mosazné pružiny musí jít vždy vyrobit snáz než ty z korozivzdorné oceli. V tab. 5 jsou uvedeny mechanické vlastnosti materiálu 1.4301, pro polotovary, tyče, válcované dráty a profily při 20 °C ve stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-3 [25]. Chemické složení tavby materiálu dle EN 10088 je uvedeno v tab. 6 [25]. Celý materiálový list je v příloze 2.

Tab. 5 Mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli s označením 1.4301 (X5CrNi18-10) [25; 26].

tloušťka, průměr [mm]	Tvrdość [HB]	Rp0,2 min. [MPa]	Rp1,0 min. [MPa]	Rm [MPa]	Modul pružnosti E [GPa]	A % min.		Vrub. houž. (ISO-V)KV [J] min.	
						L	Q	L	Q
≤ 160	215	190	225	500–700	193	45	-	100	
160–250	215	190	225	500–700	193	-	35		60

L – podélný směr zkoušení, Q – příčný směr zkoušení

Tab. 6 Chemické složení v % hmotnosti korozivzdorné oceli s označením 1.4301 (X5CrNi18-10) [25].

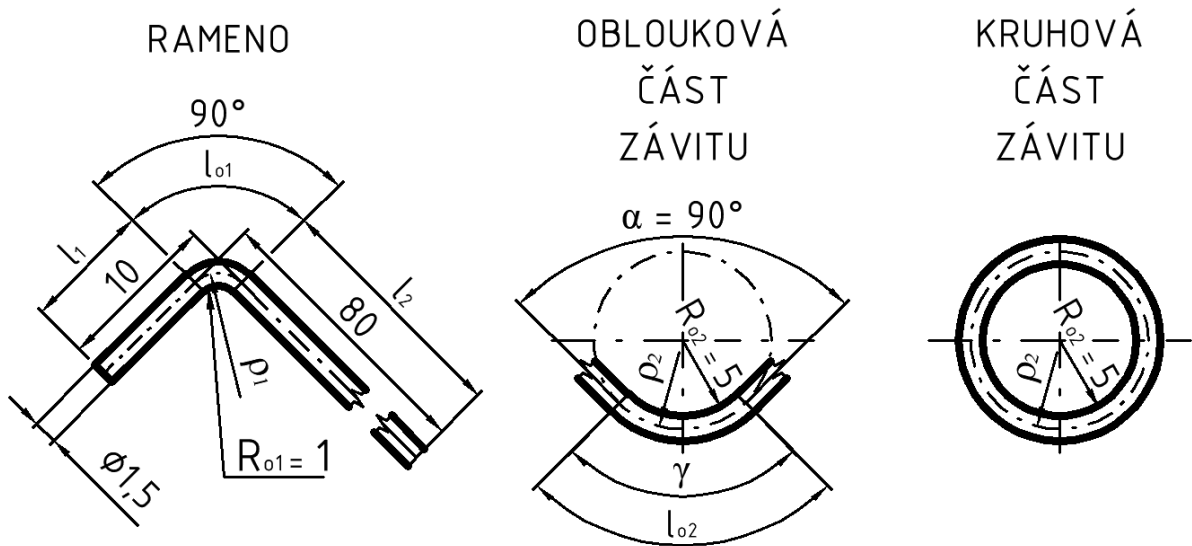
C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni
max. 0,07	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,030	max. 0,11	17,00–19,50	8,00–10,50



### 3.2.1 Výpočet délky polotovaru

Prvním výpočtem, který se u ohýbaných součástí provádí, je spočtení délky polotovaru. Z důvodu nenalezení potřebné literatury pro ohyb plných kruhových průřezů se u výpočtu bude vycházet z ohybu čtyřhranného průřezu. Na vlastní výsledek tento krok nebude mít vliv, protože se jedná o výrobek s velkými výrobními tolerancemi.

Na základě výkresu z obr. 36 byly rozkresleny jednotlivé části pružiny (obr. 37). Výpočty stanovující délku polotovaru vycházejí z obr. 37, kde jsou pro přehlednost zakótovány jak známé rozměry, tak i ty hledané.



Obr. 37 Nákres jednotlivých úseků pro výpočet délky polotovaru.

Jediná informace o ohýbání kruhových průřezů, kterou se podařilo v literatuře dohledat, je rozhodnutí, zda dochází při daném poloměru ohybu v závislosti na průměru drátu či tyče k deformaci průřezu či nikoliv. U pružiny je potřeba zkontrolovat dva poloměry ohybu, a to  $R_{01}$  a  $R_{02}$ . Tato kontrola je provedena na základě vztahů (2.21) a (2.22):

$$R_{01} < 1,5 \cdot d,$$

$$1 < 1,5 \cdot 1,5,$$

$$1 < 2,25 \quad \Rightarrow \quad \text{dochází k deformaci průřezu,}$$

kde:  $d = 1,5$ ; průměr drátu.

$$R_{02} \geq 1,5 \cdot d,$$

$$5 \geq 1,5 \cdot 1,5,$$

$$5 \geq 2,25 \quad \Rightarrow \quad \text{lze uvažovat, že k deformaci průřezu nedochází.}$$

Pro poloměr ohybu  $R_{01}$  je potřeba vypočítat poloměr posunuté neutrální osy. Tento posun je vidět v teoretické části na obr. 28. K výpočtu je použit vzorec pro ohyb s malým poloměrem zaoblení (2.14) při kterém musí být splněna podmínka (2.13):

$$\frac{R_{01}}{d} \leq 6,$$

$$\frac{1}{1,5} \leq 6,$$

$$0,67 \leq 6.$$

platí:

$$\rho_1 = \left( R_{o1} + \frac{d}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r = \left( 1 + \frac{1,5}{2} \right) \cdot 0,954 \cdot 1,05 \doteq 1,753 \text{ mm},$$

kde:  $z_z = 0,954$  – součinitel ztenčení; vypočten dle rovnic (2.17), (2.16), (2.15):

$$\Delta d = \frac{d^3}{4 \cdot (2R_{o1} + d)^2} = \frac{1,5^3}{4 \cdot (2 \cdot 1 + 1,5)^2} \doteq 0,069 \text{ mm},$$

$$d_1 = d - \Delta d = 1,5 - 0,05 = 1,431 \text{ mm},$$

$$z_z = \frac{d_1}{d} = \frac{1,431}{1,5} \doteq 0,954,$$

$z_r = 1,05$ ; součinitel rozšíření původního průřezu zjištěn dle tab. 2

podle hodnoty v tabulce  $b = s$ .

Poloměr ohybu  $R_{o2}$  je dostatečně velký na to, aby nedocházelo k deformování průřezu, proto platí vztah 2.12, upravený pro kruhový průřez:

$$\rho_2 = R_{o2} + \frac{d}{2} = 5 + \frac{1,5}{2} = 5,75 \text{ mm},$$

kde:  $\rho_2$  – poloměr neutrální osy pro závit pružiny.

Po spočtení poloměrů neutrálních os v obloukových částech výrobku je možné spočítat jednotlivé délky úseků. Výpočty vychází z obr. 37. Pro délku  $l_1$  platí vztah:

$$l_1 = 10 - \frac{d}{2} - R_{o1} = 10 - \frac{1,5}{2} - 1 = 8,25 \text{ mm}.$$

Délka  $l_2$  se vypočítá:

$$l_2 = 80 - \frac{d}{2} - R_{o1} = 80 - \frac{1,5}{2} - 1 = 78,25 \text{ mm}.$$

Pro výpočet délky oblouku platí vztah (2.20), do kterého je dosazeno pro zahnutý konec ramena pružiny pro délku  $l_{o1}$ :

$$l_{o1} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho_1 = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 1,753 \doteq 2,75 \text{ mm},$$

kde:  $\gamma = 180 - \alpha = 180 - 90 = 90^\circ$  – úhel ohnutého úseku,

kde:  $\alpha = 90$  – úhel ohybu.

Dále je do vztahu (2.20) dosazeno pro výpočet délky oblouku  $l_{o2}$ , která odpovídá délce překrytí jednoho a druhého závitu:

$$l_{o2} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho_2 = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 5,75 \doteq 9 \text{ mm},$$

kde:  $\gamma = 180 - \alpha = 180 - 90 = 90^\circ$  – úhel ohnutého úseku (mezi rameny pružiny).

Na závěr je potřeba spočítat délku jednoho závitu, obvod kruhu na neutrální ose, dle vztahu:

$$l_{o3} = 2 \cdot \pi \cdot \rho_2 = 2 \cdot \pi \cdot 5,75 \doteq 36,1 \text{ mm}.$$

Celková délka rozvinutého drátu je pak dána součtem všech obloukových a rovných částí [15]. Pro tento konkrétní případ se nesmí zapomenout  $l_1$ ,  $l_{o1}$  a  $l_2$  vynásobit dvěma, protože pružina má ramena dvě. Výpočet celkové délky, pro tento konkrétní případ, vypadá takto:

$$l_c = 2 \cdot (l_1 + l_{o1} + l_2) + l_{o2} + l_{o3} = 2 \cdot (8,25 + 2,75 + 78,25) + 9 + 36,1 = 223,6 \text{ mm}$$

### 3.2.2 Kontrola minimálního a maximálního poloměru ohybu

Druhým výpočtem u ohýbaných dílců bývá kontrola minimálního poloměru ohybu ( $R_{min}$ ) a maximálního poloměru ohybu ( $R_{max}$ ). Minimálním poloměrem se rozumí takový poloměr ohybu, při kterém ještě nedojde k porušení krajních vláken materiálu. Pokud by se tato hodnota zmenšila, je velice pravděpodobné, že při ohybu dojde ke tvoření trhlin v krajních vrstvách materiálu, který je na vnější straně ohybu namáhán tahovým napětím. Naopak maximální poloměr je největší možný poloměr ohybu, při kterém zůstane ohýbaná součást trvale deformovaná. Při použití poloměru většího by došlo při ohýbání pouze k pružné deformaci. Jakmile by se materiál přestal zatěžovat, vrátil by se do původní polohy. [15]

Pro výpočty těchto poloměrů je nutné znát některé mechanické vlastnosti počítaného materiálu. Každý materiál má jiné hodnoty a poloměry ohybu se pak mohou velice výrazně lišit. Jedná se o hodnoty mezního prodloužení, což jsou hodnoty prodloužení materiálu při tahové zkoušce, při které ještě nedošlo k porušení, avšak při jejichž překročení dojde k přesažení meze pevnosti v tahu. Dalšími potřebnými hodnotami jsou modul pružnosti v tahu a mez kluzu materiálu. To je hranice, před kterou se napětí v materiálu pohybuje pouze v hodnotách elastické (pružné) deformace, a za kterou dochází k plastické (trvalé) deformaci [15]

Výpočet  $R_{min}$  se vypočítá dle vztahu (2.23):

$$R_{min} = \frac{d}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left( \frac{1}{0,45} - 1 \right) \doteq 0,92 \text{ mm},$$

kde:  $\varepsilon_c = 0,45$  – mezní prodloužení, odečteno z tabulky 4.

Kontrola nejmenšího navrženého poloměru je dána rovnicí:

$$R_{min} < R_{o1},$$

$$0,92 < 1 \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje.}$$

Maximální poloměru ohybu  $R_{max}$  je pak dán vztahem (2.24):

$$R_{max} = \frac{d}{2} \cdot \left( \frac{E}{Re} - 1 \right) = \frac{1,5}{2} \cdot \left( \frac{193\,000}{190} - 1 \right) \doteq 761 \text{ mm},$$

kde:  $E = 193\,000 \text{ MPa}$  – modul pružnosti v tahu, odečten z tabulky 4,  
 $Re = 190 \text{ MPa}$  mez kluzu materiálu, hodnota odečtena z tabulky 4.

Kontrola největšího navrženého poloměru je dána rovnicí:

$$R_{max} > R_{o2},$$

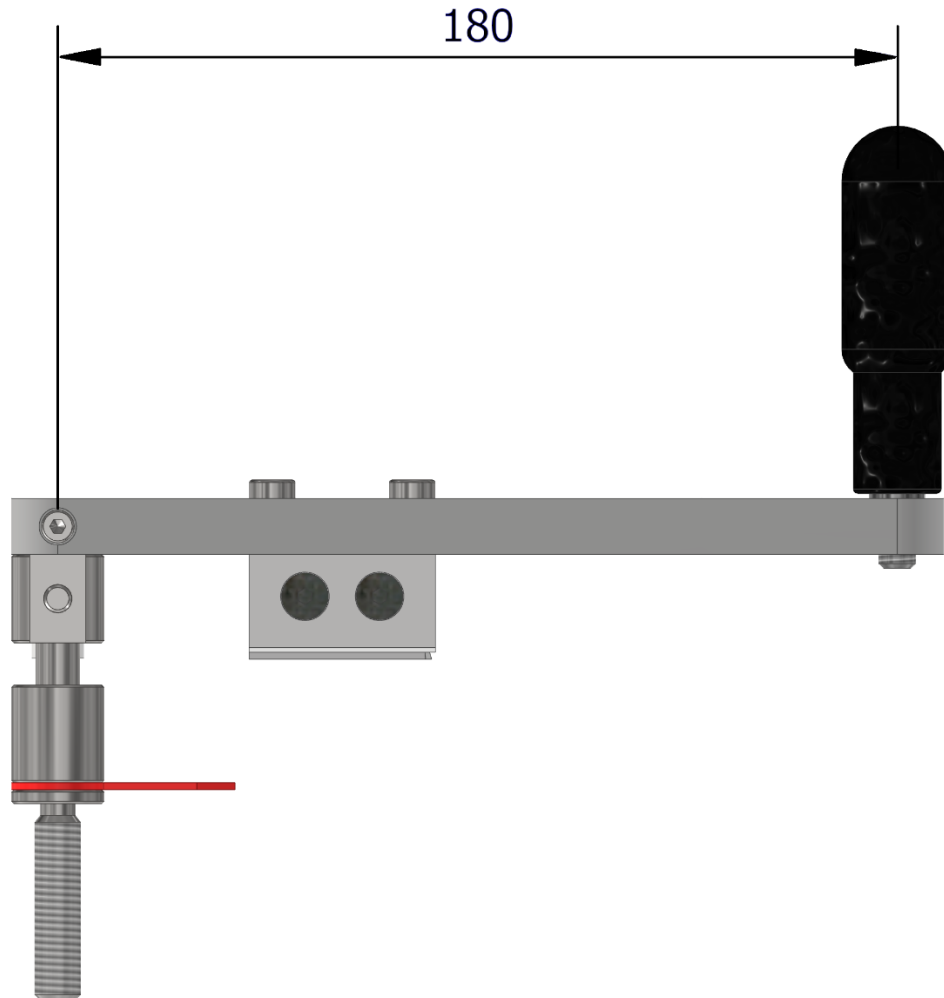
$$761 > 5 \quad \Rightarrow \quad \text{vyhovuje.}$$

Nejmenší navržený poloměr ohybu, který se nachází na konci ramen pružiny, je dostatečně velký a nedojde k porušení materiálu. V případě, že by kontrola minimálního poloměru ohybu dopadla tak, že navržený poloměr nevyhoví, je potřeba udělat technologické úpravy a tento problematický poloměr zvětšit.

Při kontrole poloměru závitů pružiny, jenž je největším poloměrem na ohýbané součástce, bylo zjištěno, že je několikanásobně menší na vypočtený maximální poloměr ohybu. Je tedy dostatečně malý a pružina zůstane ve smotaném stavu.

### 3.2.3 Kontrola velikosti ohybového momentu

Otáčivý pohyb potřebný pro navinutí závitů pružiny je v návrhu přípravku řešen pomocí otočné kliky. Délka ramene, které tvoří ohybový moment je u této kliky 180 mm, viz obr. 38. Je potřeba zjistit, zda je osová vzdálenost navíjecí hřídele a otočné rukojeti, úměrná síle, kterou je schopen vyvinout průměrný člověk. Ve výpočtu je uvažováno tváření ohybem s přidavným tahovým zatížením.



Obr. 38 Pohled na kliku z boku.

Pro tento typ tváření opět nebyla nalezena literatura, ve které by bylo možno nalézt výpočty pro kruhový průřez. Proto i zde jsou použity výpočty pro plechové výrobky, avšak budou dle potřeby upraveny pro kruhový průřez.

Prvním výpočtem nutným ke zjištění celkového ohybového momentu je výpočet modulu zpevnění  $D$ , který je potřebný pro další výpočty. Vzorec obsahuje hodnoty, které je potřeba experimentálně zjistit. Hodnoty pro materiál 1.4301 jsou tyto: exponent deformačního zpevnění  $n = 0,42$  a materiálová konstanta  $K = 1480 \text{ MPa}$  [27]. Hodnota modulu zpevnění vychází ze vztahu [28]:

$$D = \frac{2}{1+n} K \cdot n^n \text{ [MPa]}, \quad (3.1)$$

kde:  $n = 0,42$  – exponent deformačního zpevnění [27],  
 $K = 1480 \text{ MPa}$  – materiálová konstanta [27],

$$D = \frac{2}{1+0,42} \cdot 1480 \cdot 0,42^{0,42} \doteq 1448 \text{ MPa}.$$

Dalším výpočet je stanovení extrapolované meze kluzu  $\sigma_{ke}$ . Výpočet je dán vztahem [28]:

$$\sigma_{ke} = \frac{1-n}{1+n} K \cdot n^n \text{ [MPa]}, \quad (3.2)$$

$$\sigma_{ke} = \frac{1-0,42}{1+0,42} \cdot 1480 \cdot 0,42^{0,42} \doteq 419,9 \text{ MPa}.$$

Po zjištění modulu zpevnění  $D$  a extrapolované meze kluzu  $\sigma_{ke}$ , je možné vypočítat vnitřní tahovou sílu. Ve výpočtu je uveden poloměr ohybu, ten je u navrženého přípravku  $R_{opř} = 4,75$  mm. Jedná se o poloměr navíjecí hřídele. Průměr se tedy rovná 9,5 mm. Tento navržený průměr počítá s jistým odpružením drátu po ukončení zatěžování. Proto neodpovídá vnitřnímu průměru závitů pružiny, který je na obr. 36. Vnitřní tahová síla  $F_{Tvn}$  se vypočítá pomocí vzorce [28]:

$$F_{Tvn} = \frac{\sigma_{ke} + D \cdot \frac{d}{R_{opř}} + \sigma_{ke} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}}{2} \text{ [N]}, \quad (3.3)$$

kde:  $R_{opř} = 4,75$  mm – poloměr ohybu na přípravku,

$$F_{Tvn} = \frac{419,9 + 1448 \cdot \frac{1,5}{4,75} + 419,9 \cdot \frac{\pi \cdot 1,5^2}{4}}{2} \doteq 1146 \text{ N}$$

Vnitřní tahová síla vyvolává určitý moment, který je potřebný ke zjištění celkového momentu. Moment od vnitřní tahové síly se vypočítá dle jednoduchého vztahu [28]:

$$M_F = F_{Tvn} \cdot \frac{d}{2} \text{ [N} \cdot \text{mm]}, \quad (3.4)$$

$$M_F = 1146 \cdot \frac{1,5}{2} = 859,5 \text{ N} \cdot \text{mm}.$$

Dalším výpočtem je zjištěna velikost čistého ohybového momentu. Jedná se o tento vzorec [28]:

$$M_o = \sigma_{ke} \cdot S_M + \frac{D}{R_{opř}} \cdot J_k \text{ [N} \cdot \text{mm]}, \quad (3.5)$$

kde:  $S_M = (R_{opř} + \frac{d}{2}) \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = (4,75 + \frac{1,5}{2}) \cdot \frac{\pi \cdot 1,5^2}{4} = 9,72 \text{ mm}^3$  – lineární moment průřezu,

$J_k = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$  pro kruhový průřez, kvadratický moment průřezu [29],

$$M_o = 419,9 \cdot 9,72 + \frac{1448}{4,75} \cdot \frac{\pi \cdot 1,5^4}{64} \doteq 4\,157 \text{ N} \cdot \text{mm}.$$

Celkový ohybový moment je dán součtem momentu od tahové síly a ohybového momentu. Výpočet celkového momentu potřebného k ohnutí vypadá takto:

$$M_C = M_F + M_o \text{ [N} \cdot \text{mm]}, \quad (3.6)$$

$$M_C = 859,5 + 4\,157 = 5\,016,5 \text{ N} \cdot \text{mm}.$$

Na konci ramene s navrženou délkou 180 mm, které vytváří ohybový moment, je síla vypočtena dle vzorce:

$$F_R = \frac{M_C}{180} [N \cdot mm], \quad (3.7)$$

$$F_R = \frac{5\,016,5}{180} = 27,9 \text{ N}$$

Dle normy ČSN EN 1005–3+A1 byly zjištěny hodnoty maximálních sil pro obvyklé činnosti pro profesionální použití a domácí použití. Jedná se o průměrné hodnoty všeobecné pracující evropské populace. Celková hodnota vynaložené síly jednou rukou je u profesionálního použití 250 N a u domácího použití 184 N. Na základě normy ČSN EN 1005–3+A1 byla sestrojena tab. 7, která shrnuje možné způsoby použití síly lidské ruky a jim odpovídající hodnoty v Newtonech [30].

Tab. 7 Maximální izometrická síla  $F_B$  [30].

Název činnosti	Profesionální použití $F_B$ [N]	Domácí použití $F_B$ [N]
Ruční práce jednou rukou, vynaložená síla	250	184
Práce celého těla vstoje, tlačení	200	119
Práce celého těla vstoje, tažení	145	96
Práce paže vsedě, ven	55	31
Práce paže vsedě, dovnitř	75	49
Práce paže vsedě, s oporou trupu tlačit	275	186
Práce paže vsedě, s oporou trupu táhnout	225	169

Protože se u přípravku jedná o otáčivý pohyb, budou se kombinovat pohyby ven, dovnitř, tlačení i tažení. Předpokládaná poloha pracovníka u přípravku je vstoje, avšak ne všechny hodnoty se pro tuto polohu podařilo dohledat. Kontrola délky ramene bude provedena pro nejnižší hodnotu z tabulky, aby byla zajištěna jistota správného zatížení pracovníka a nebyla překročena doporučená hodnota izometrické síly. Výsledná kontrola je provedena pomocí tohoto vztahu:

$$F_R < F_B,$$

$$27,9 < 31 \quad \Rightarrow \quad \text{délka ramene přípravku vyhovuje.}$$

Síla potřebná pro vyvinutí ohybového momentu nutného k výrobě ventilové pružiny je nižší než nejnižší hodnota doporučené maximální síly pro ruční práci. Z toho vyplývá, že navržená délka ramene tvořícího ohybový moment vyhovuje.

Některé pohyby byly nalezeny pouze v pozici vsedě. Díky tomuto faktu bude v reálném provozu větší rozdíl mezi doporučenou a skutečně potřebnou silou. Další rezervu tvoří výběr hodnoty z pole pro domácí použití. Ve varhanářské dílně lze uvažovat profesionální použití.

### 3.2.4 Výpočet odpružení

Průvodním jevem u ohýbání je odpružení součásti po odtížení. Z hlediska navrženého polotovaru je potřeba provést orientační výpočet odpružení pružiny po skončení zatěžování. Tedy jakmile se povolí ruka držící rukojeť kliky. Pro stanovení velikosti odpružení je nutné nejdříve vypočítat odpružující moment  $M_{od}$ . Ten je dán vztahem [28]:

$$M_{od} = \frac{D}{R_{opř}} \cdot J_k [N \cdot mm], \quad (3.8)$$

$$M_{od} = \frac{1448}{4,75} \cdot \frac{\pi \cdot 1,5^4}{64} \doteq 75,75 N \cdot mm.$$

Velikost zbytkového poloměru, tj. poloměru součásti po odtížení, se vypočte dle vztahu [28]:

$$R_{zb} = \frac{R_{opř}}{1 - \frac{M_{od} \cdot R_{opř}}{E \cdot J_k}} [mm], \quad (3.9)$$

$$R_{zb} = \frac{4,75}{1 - \frac{75,75 \cdot 4,75}{193\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 1,5^4}{64}}} \doteq 4,79 mm.$$

Na základě zbytkového poloměru  $R_{zb}$  je možno vypočítat úhel mezi rameny pružiny po odpružení. Pro jednoduchost výpočtu a pouze orientační zjištění bude zanedbán závit pružiny. Výpočet bude proveden pro ohyb drátu do tvaru V. K tomu je zapotřebí nejdříve vypočítat délku oblouku ohnuté části  $L_o$ . Uvedený vzorec platí pro všechny pružiny z nastavitelného rozmezí přípravku. Délka oblouku se vypočítá pomocí vztahu:

$$L_o = \frac{\pi \cdot R_{opř} \cdot (180 - \alpha)}{180} [mm], \quad (3.10)$$

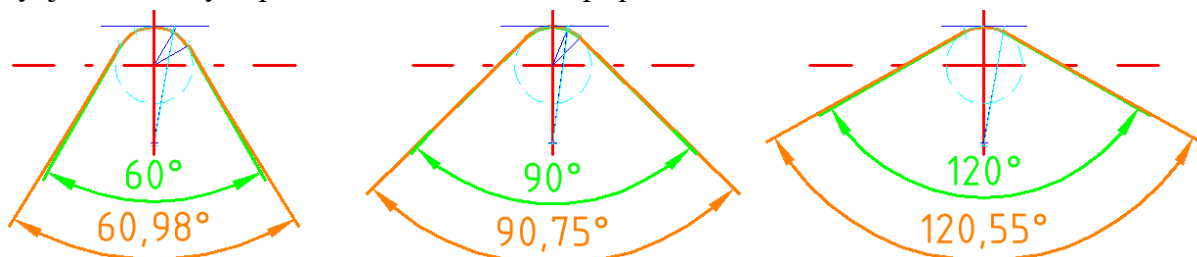
$$L_o = \frac{\pi \cdot 4,75 \cdot (180 - 90)}{180} = 7,46 [mm].$$

Výsledný úhel mezi rameny po odpružení  $\alpha_{odpr}$  je dán odvozeným vztahem:

$$\alpha_{odpr} = \frac{180 \cdot (\pi \cdot R_{zb} - L)}{\pi \cdot R_{zb}} [^\circ], \quad (3.11)$$

$$\alpha_{odpr} = \frac{180 \cdot (\pi \cdot 4,79 - 7,46)}{\pi \cdot 4,79} = 90,77^\circ,$$

Po vypočtení odpružení pomocí vzorců byla provedena kontrola grafickým řešením, viz obr. 39. Pro přenesení délky oblouku z jednoho poloměru ( $R_{opř}$ ) na druhý ( $R_{zb}$ ) byla použita Sobotkova rektifikace. Zároveň bylo grafické řešení vypracováno i pro krajní meze úhlu mezi rameny dle zadání varhanářství. Ve všech případech se jedná o hodnotu odpružení do  $1^\circ$ , což je ve výrobní toleranci. Hodnota spočteného  $R_{zb}$  odpovídá přibližně průměru 9,6 mm, což je o 0,1 mm méně, než by bylo potřeba pro dodržení tolerance, avšak všechny tyto hodnoty musí být ještě ověřeny experimentálně na reálném přípravku.

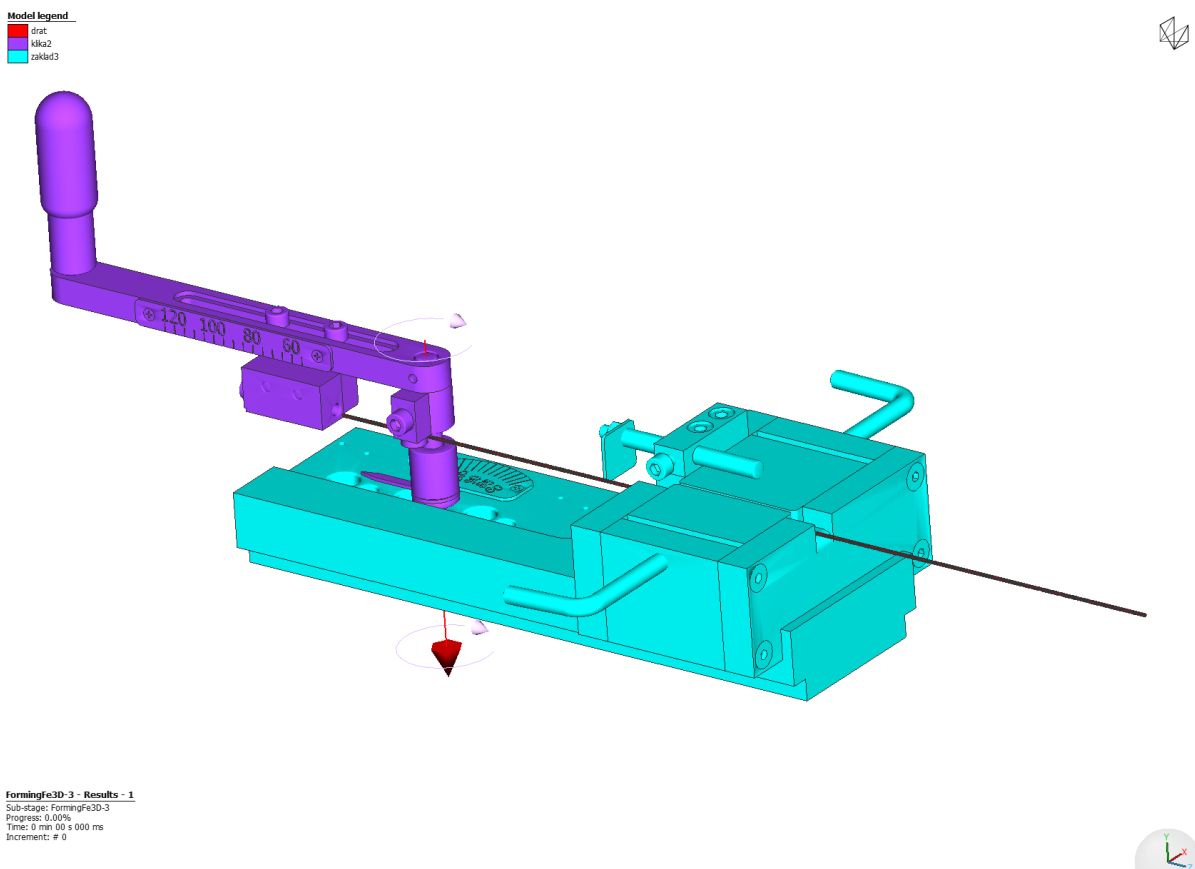


Obr. 39 Grafické řešení odpružení konkrétního drátu při ohybu pružiny.

### 3.2.5 Simulace

K ověření funkčnosti přípravku a také provedených výpočtů byla realizována počítačová simulace v programu Simufact Forming, což je software, který při simulaci využívá tzv. metodu konečných prvků. Simulaci předcházelo vytvoření 3D modelu přípravku a jeho ustavení pomocí vazeb do výchozí polohy s připevněným drátěným polotovarem. Do programu byl tento model následně implementován. Takto připravený model v prostředí simulačního programu je vidět na obr. 40. Dalšími vstupy nutnými pro výpočet jsou materiálové údaje, jejichž hodnoty a grafy jsou v příloze 4. Pro simulaci byl použit stejný materiál jako pro výpočet v předchozích kapitolách, tj. 1.4301 (korozivzdorná ocel). Podmínky definující výpočet vypadaly takto:

- nástroje byly nadefinovány jako ideálně tuhé,
- kontakt mezi drátem a nástroji byl definován jako  $f_c = 0,15$  ( $f_c$  – součinitel smykového tření dle Coulomba),
- v místě sevření drátu čelistmi byla zvolena hodnota  $f_c = 0,4$

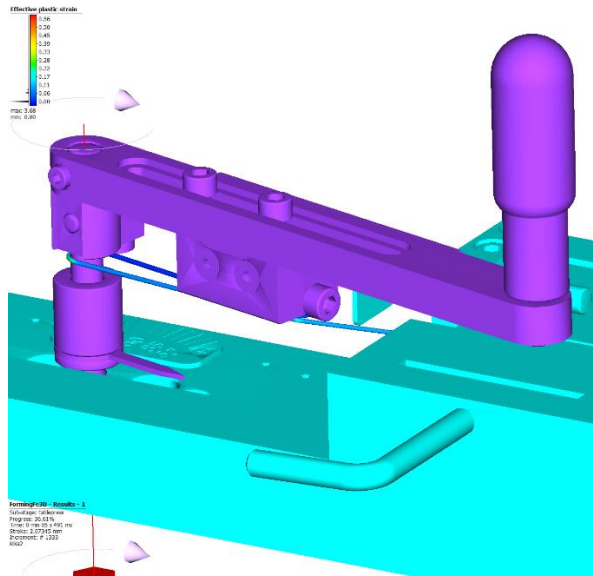


Obr. 40 Model přípravku ve výchozí poloze v softwaru Simufact Forming.

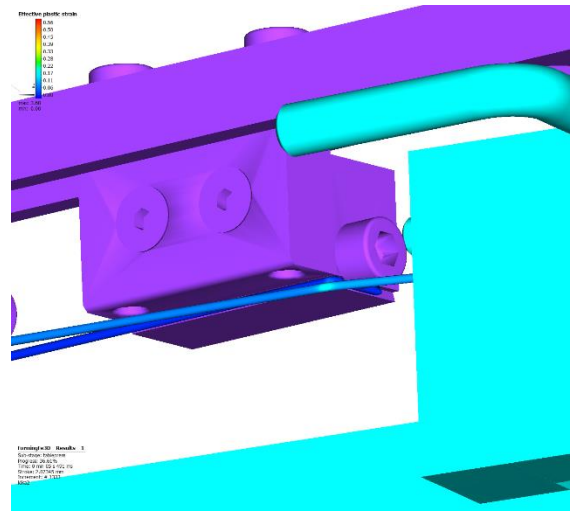
Při prvním pokusu simulace odhalila kolizi, která byla očekávána. V důsledku nemožnosti nastavit některé parametry, které v reálném prostoru bude možné ovlivnit, narazila otočná klika na drát vycházející z čelistí. Tento problém je zachycen na obr. 41 a obr. 42. K odstranění tohoto problému bylo nutné upravit podmínky simulace, které by neměly mít vliv na celkový výsledek. Došlo ke zvětšení stoupání závitu na klice.

Během provádění výpočtu úspěšné simulace byly provedeny tři snímky obrazovky, na kterých je zachycena poloha kliky přibližně po otočení o  $90^\circ$ , poté při otočení o  $270^\circ$  a následně po otočení přibližně o  $360^\circ$ . Tyto pohledy byly sjednoceny do jednoho snímku na obr. 43. Úspěšné provedení simulace dokazuje funkčnost přípravku.

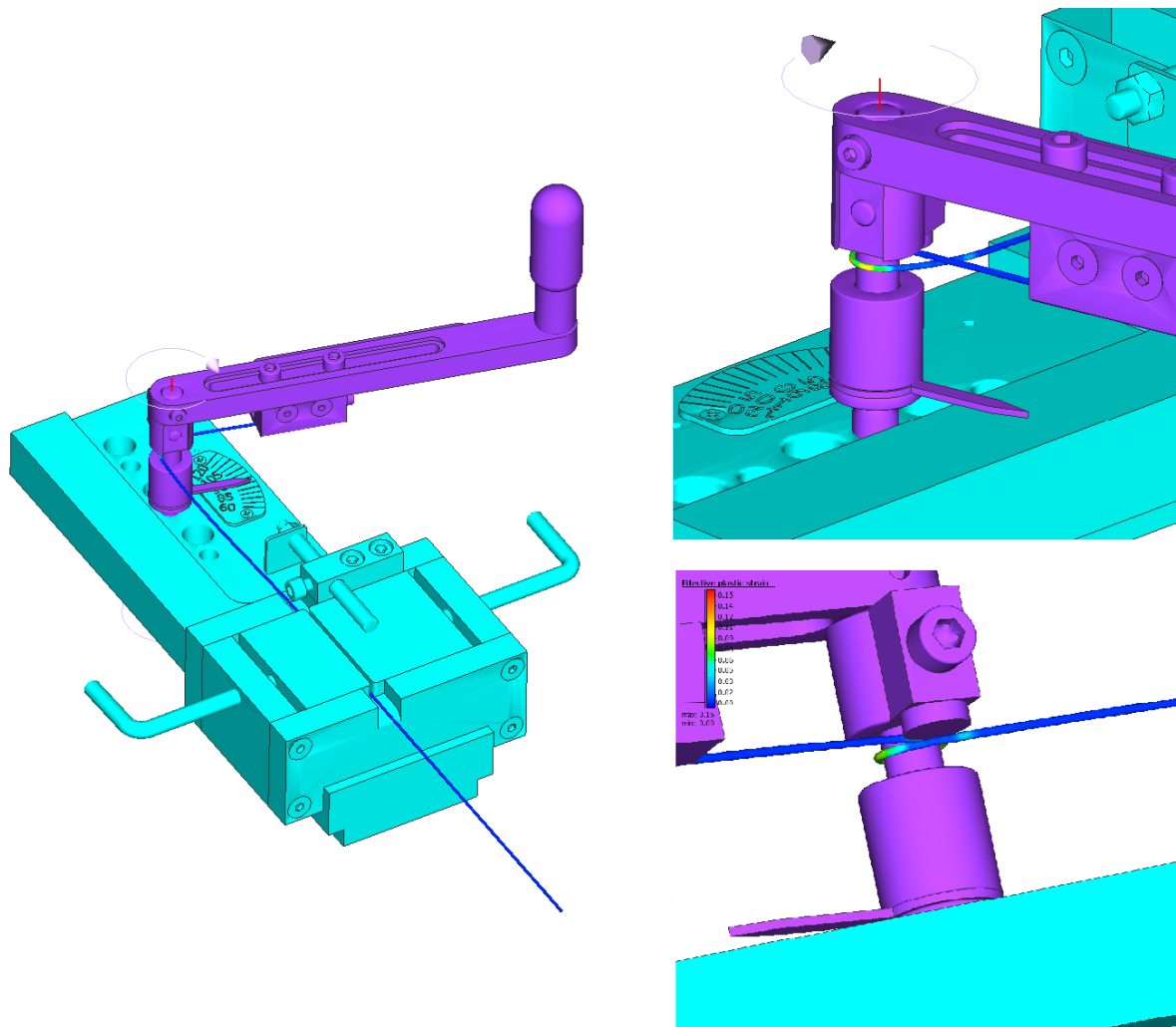




Obr. 41 Pohled na defekt prvního pokusu shora.



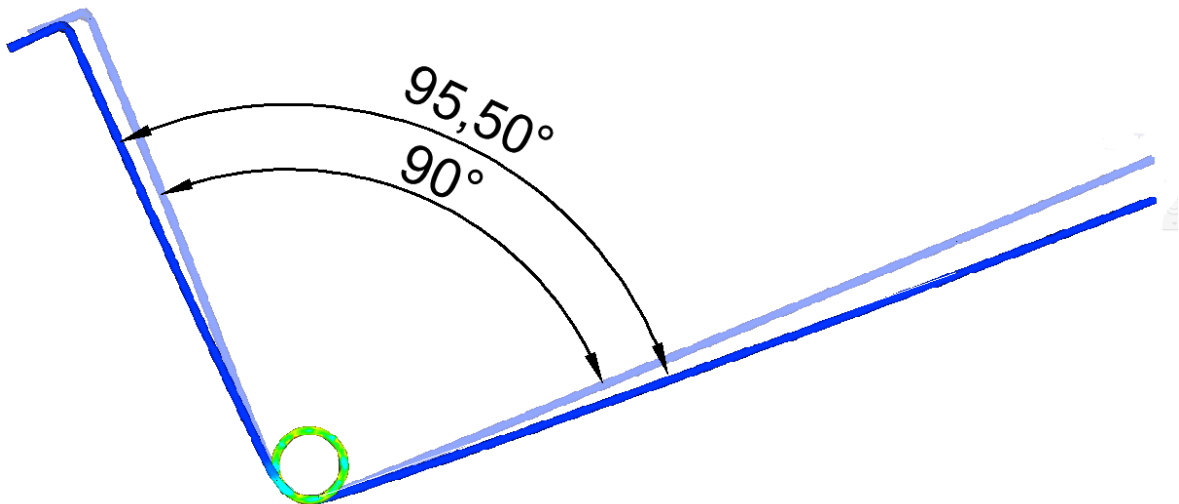
Obr. 42 Pohled na defekt prvního pokusu zespod.



Obr. 43 Snímky z úspěšného provádění simulace.

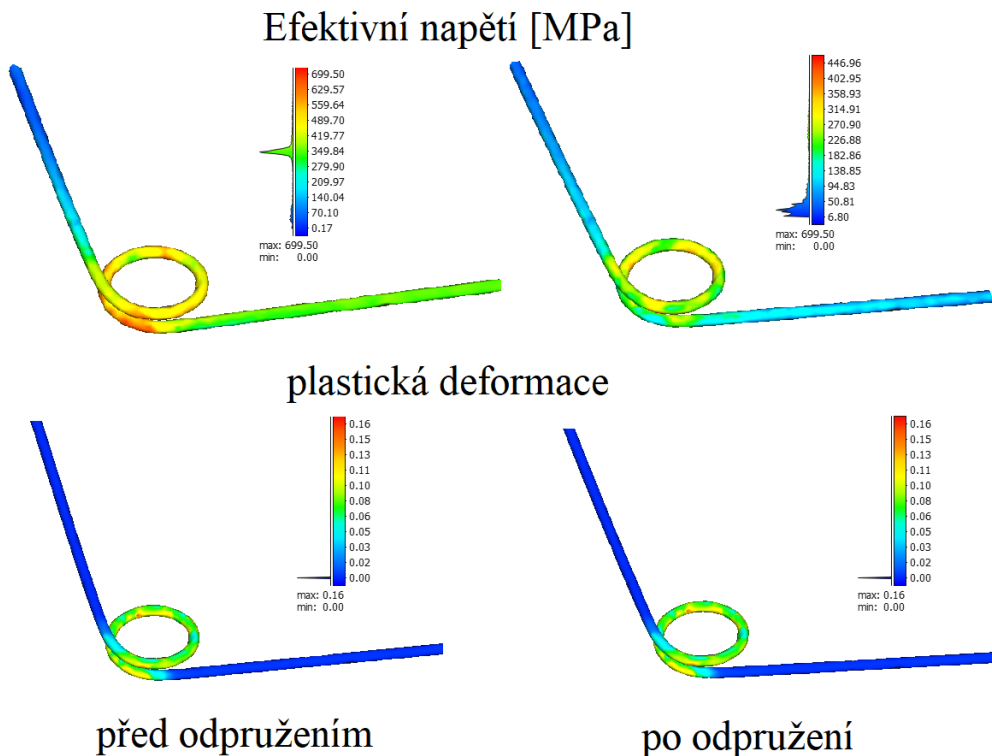
Výsledků simulace bylo hned několik. Jedním z nich je např. odpružení ramen po ukončení navíjení. Porovnání úhlu ve stavu bez odpružení a s odpružením je na obr. 44. Hodnota odpružení je přibližně sedmkrát větší než u běžného výpočtu. Tento rozdíl je dán několika faktory:

- zanedbání celé závitové části u ručního výpočtu,
- nedohledání potřebných podkladů pro výpočty kruhových průřezů u ručního výpočtu,
- v simulaci záleží na tom, jaká se nastaví hodnota tření  $f_c$  pro drát a brzdící čelisti. Je možné předpokládat, že pro vyšší hodnotu, by odpružení bylo nižší.



Obr. 44 Porovnání výsledků simulace – úhel odpružení.

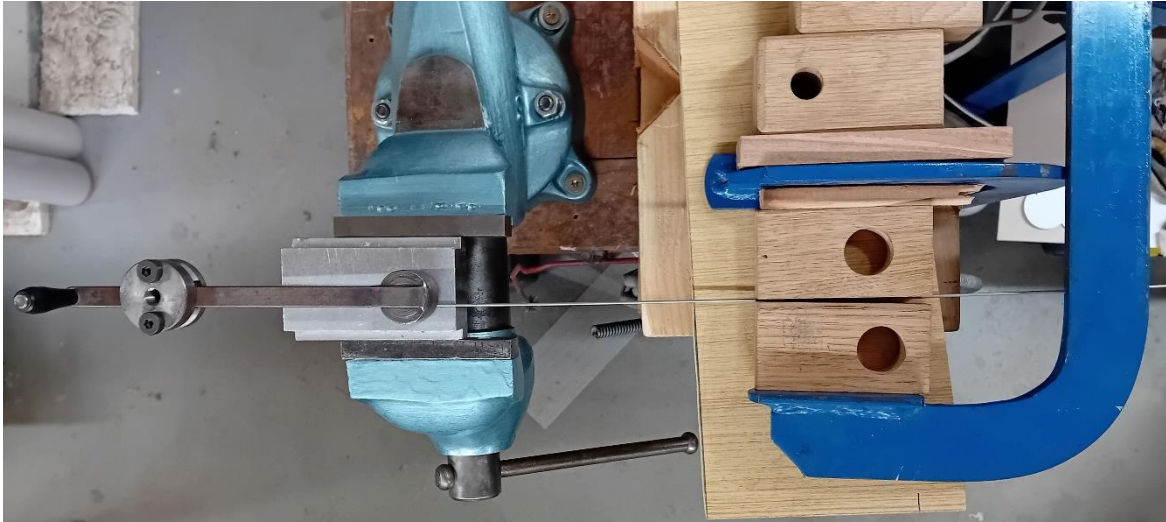
Dalším grafickým výsledkem simulace je rozložení napětí v materiálu a jeho deformace před a po odpružení. Porovnání obou výsledků je k vidění na obr. 45. Podrobnější výstupy softwarového výpočtu jsou uvedeny v příloze 5 a v příloze 6.



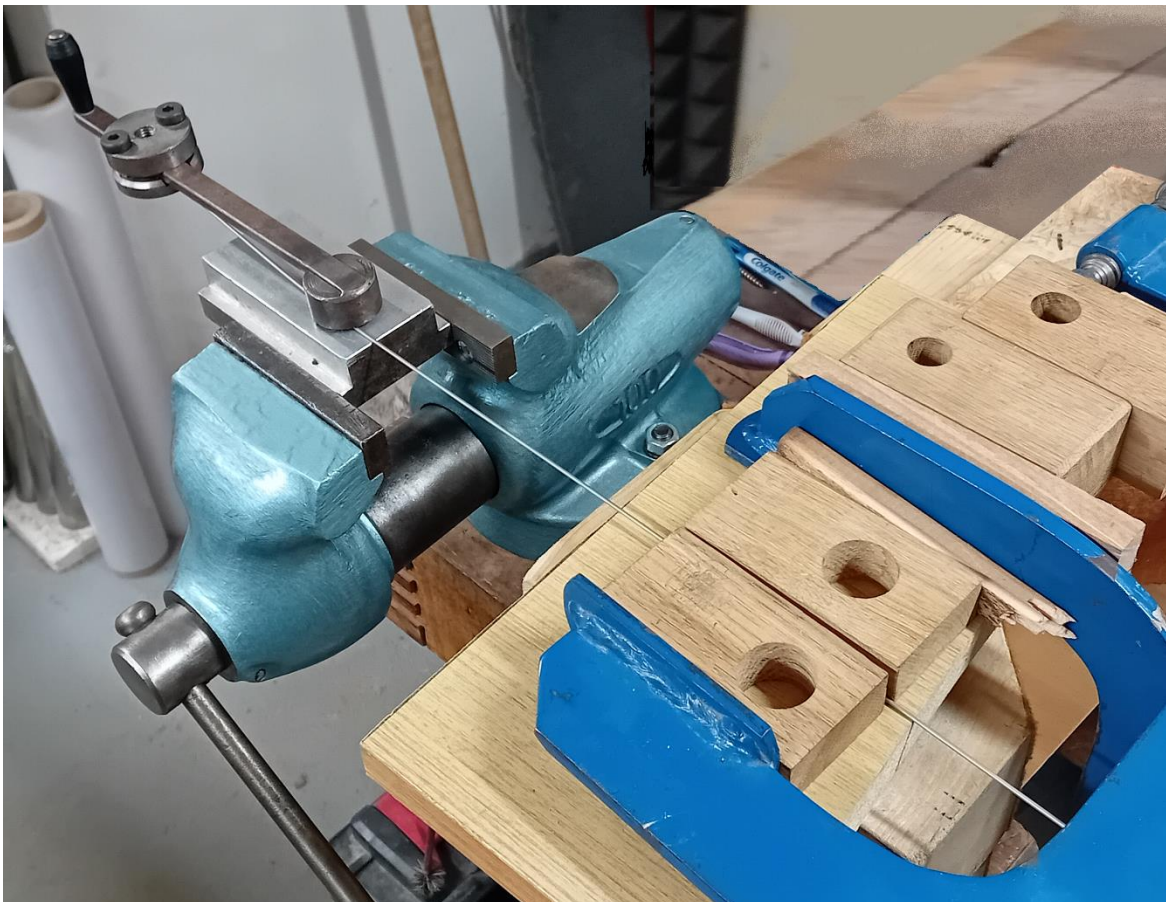
Obr. 45 Hodnoty efektivního napětí a plastické deformace

### 3.3 Ověření funkce přípravku

Pro ověření platnosti myšlenky, na jejímž základě je navržený přípravek postaven, byl uskutečněn kromě simulace také experiment, který vystihuje hlavní nápady. Mezi ně patří pevné uchycení jednoho konce drátu a brzdění druhého konce. Pro uskutečnění experimentu byl využit původní přípravek, dílenský svěrák, dubové špalíky, speciální úchytka pro konec drátu a truhlářské svěrky. Foto z provádění experimentu je vidět na obrázcích 46, 47, 48 a 49.



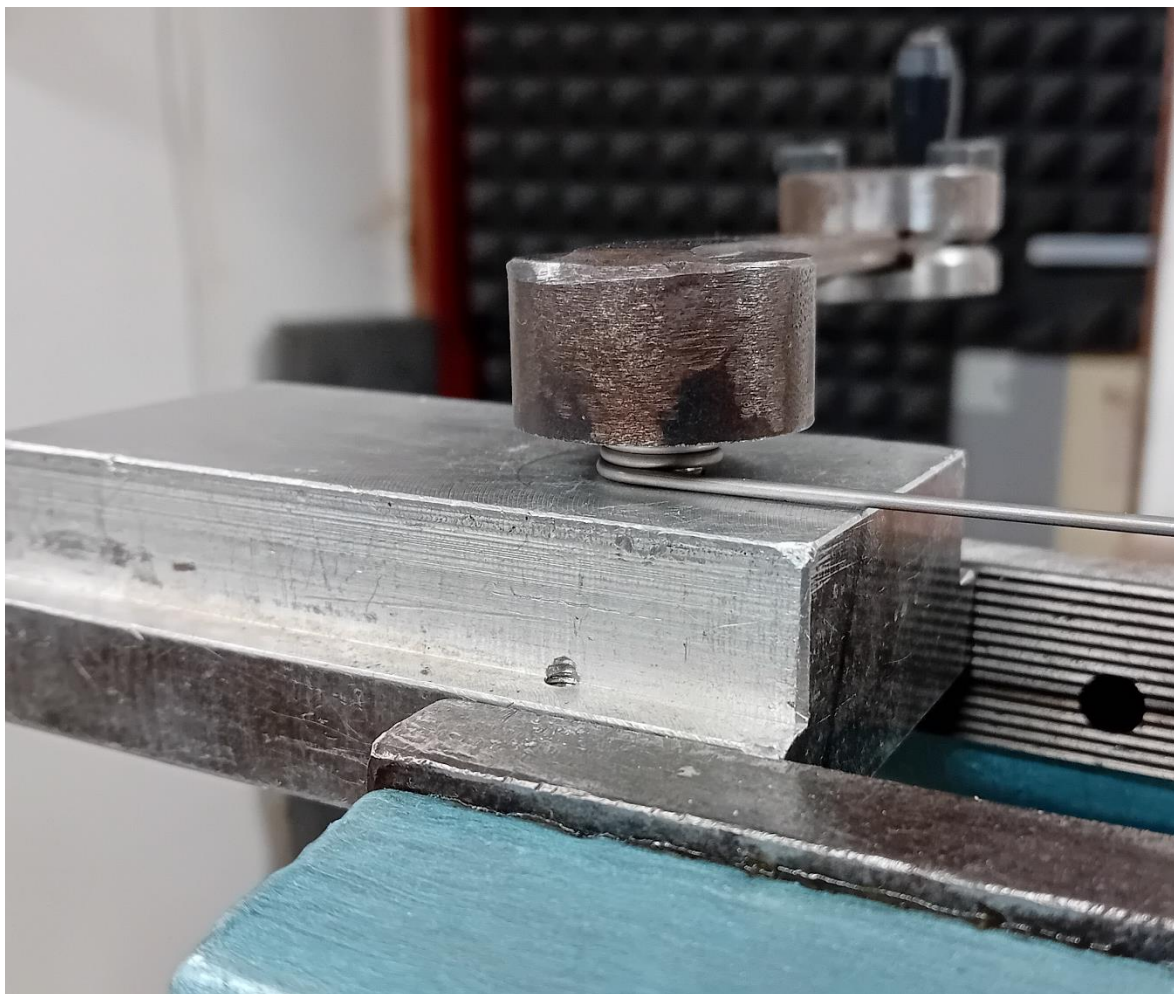
Obr. 46 Celkový pohled na experiment shora.



Obr. 47 Celkový pohled na experiment ze šikma.

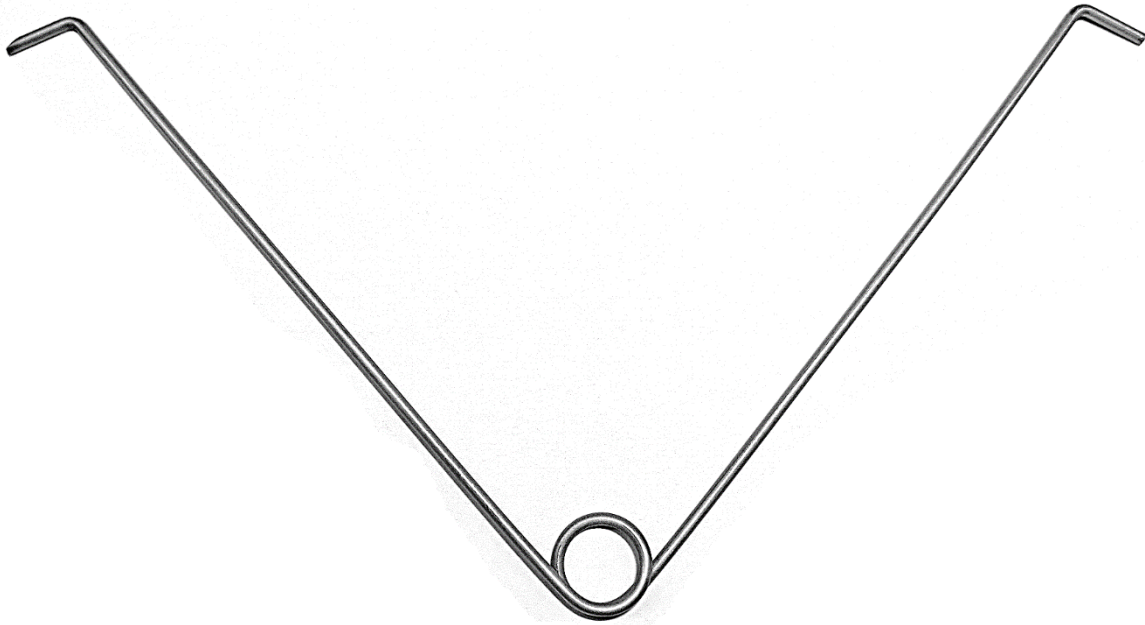


Obr. 48 Bližší pohled na kliku.



Obr. 49 Detail navíjení drátu.

Během experimentu se podařilo vyrobit ventilovou pružinu z korozivzdorného drátu o průměru 1,5 mm. Takto by mohly vypadat i pružiny vyrobené pomocí nově navrhnutého přípravku. Na obr. 50 je vidět pružina vyrobená během experimentu.



Obr. 50 Zkušebně vyrobená kompletní pružina během experimentu.

Na závěr experimentu byly porovnány závity vyrobené na původním přípravku a nově vyrobené. U nově vzniklé pružiny byl znatelně lépe provedený závit, než jak tomu bylo u původní výroby. Porovnání těchto dvou závitů je vidět na obr. 51. Funkčnost přípravku daná myšlenkou autora byla experimentem ověřena a shledána jako úspěšná.

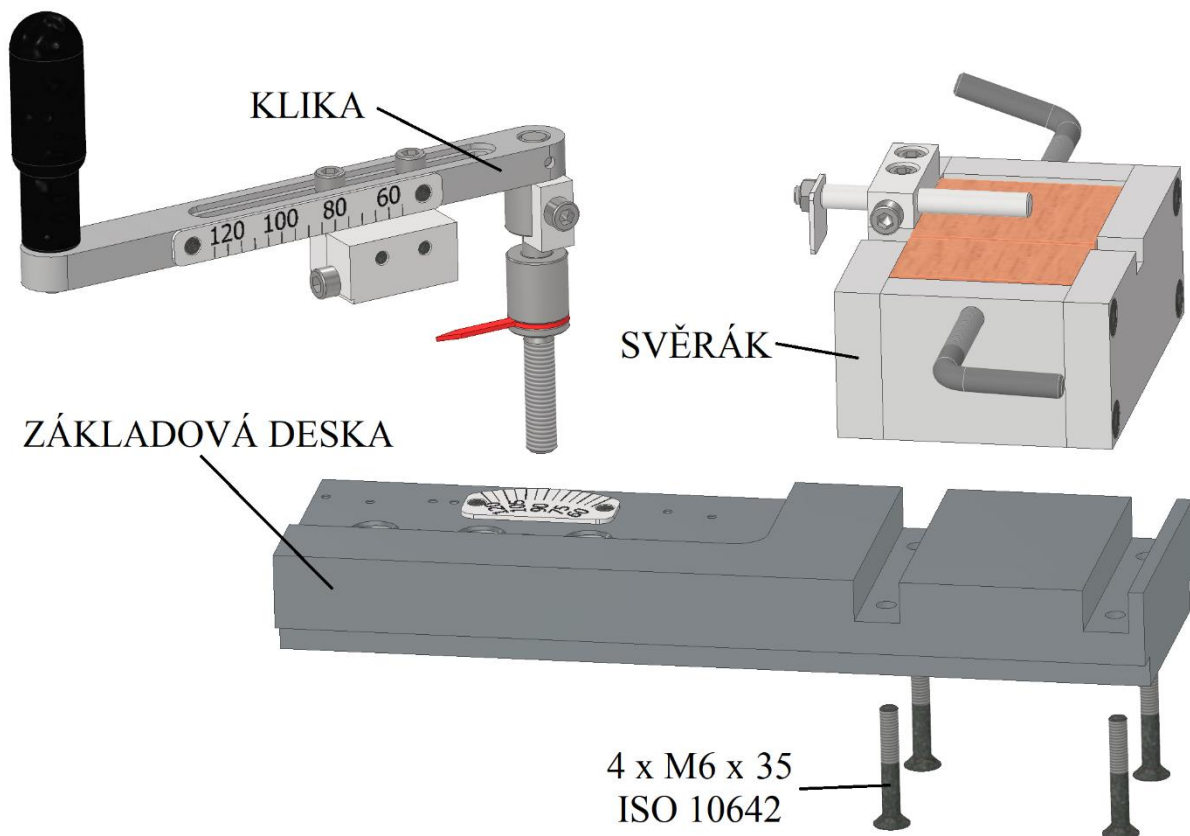


Obr. 51 Porovnání nově a původně vyrobeného závitu pružiny.

### 3.4 Popis a funkce jednotlivých částí navrženého přípravku

Na základě provedených kontrol a ověření je takto navržený přípravek možné ponechat zatím beze změn a popsat detailněji jeho princip a funkci jednotlivých součástí. Přípravek je potřeba otestovat v praxi a na základě reálných hodnot odpružení lze posoudit, zda bude nutné jednotlivé díly předělat či nikoliv. Dle výpočtu úhlu odpružení mezi rameny, který si obsluha spočítá na základě vztahů (3.9) a (3.11), se klikou otočí o rozdíl úhlu odpružení a chtěného úhlu mezi rameny. Přesný úhel se pak musí přizpůsobit přímo při výrobě dle skutečného odpružení. Přípravek, viz obr. 52, lze rozdělit na 3 hlavní části:

- základová deska,
- svěrák,
- klika.



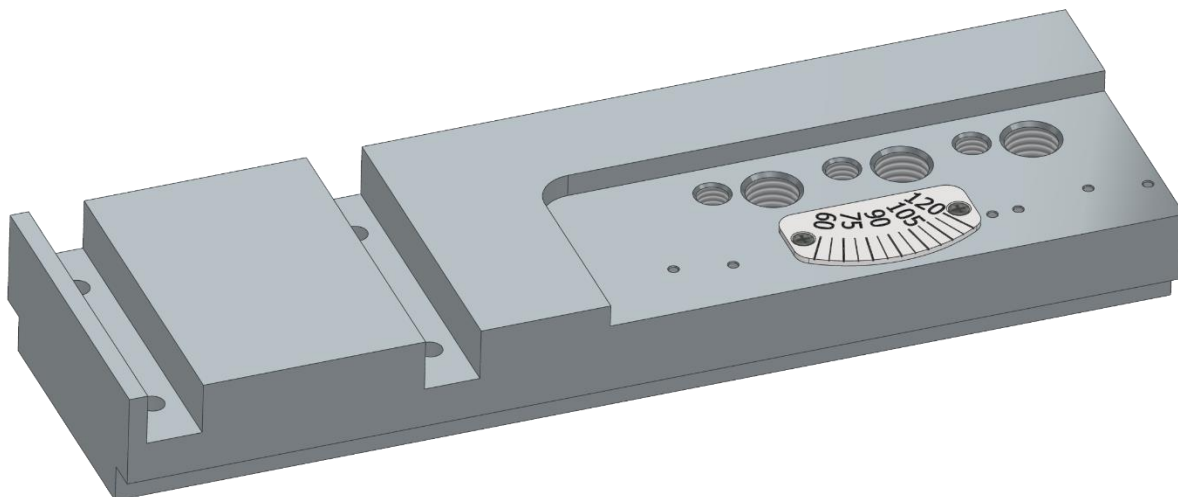
Obr. 52 Přípravek rozdělený na části.

#### 3.4.1 Základová deska

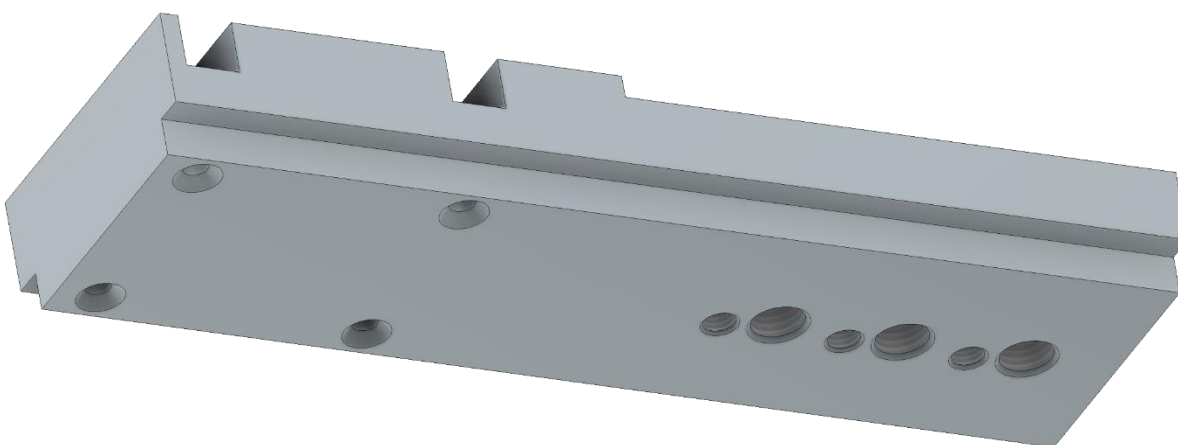
Dílcem, který celý přípravek drží pohromadě, a za který je přípravek uchycován, je základová deska. Jedná se o ze všech stran frézovaný dílec. Polotovarem je tyč plochá válcovaná za tepla dle normy EN 10058 s rozměrem průřezu 90 x 40 mm a délkou 290 mm. [31]

Základová deska v sobě má 4 válcové díry pro šrouby M6, kterými je uchycen svěrák. Díry jsou ze spodní části kuželově zahloubeny a nacházejí se ve vyfrézovaných drážkách, které slouží pro zajištění polohy a pro pevné uchycení svěráku. Dále obsahuje 3 vnitřní levotočivé metrické závity o jmenovitém průměru 16 mm a stejně tak o průměru 10 mm. Tyto závity slouží k zajištění šroubovitého pohybu při otáčení kliky. Jsou ve třech polohách z důvodu úspory drátu. Pro dlouhá ramena pružiny se použije otvor nejvzdálenější od svěráku. Pro pružiny s krátkými rameny naopak nejbližší. Je to z důvodu brzdění drátu v čelistech. Kdyby se používal pouze nejvzdálenější otvor i pro nejkratší ramena, byl by potřeba delší konec drátu kvůli brzdění.

Dalším prvkem základové desky je úhlový štítek. Jedná se o výpalek z plechu tloušťky 1,5 mm s úhlovou stupnicí, který je k desce přišroubován pomocí dvou šroubů M3 x 8 dle normy ISO 7046-1 H [32]. Deska má v sobě 12 otvorů s vnitřním závitem M3, pro přešroubování úhlového štítku do potřebné polohy podle aktuální osy kliky pro danou výrobní sérii pružin. Základová deska je společně s úhlovým štítkem vidět na obr. 53 shora. Zespod je zobrazena na obr. 54.



Obr. 53 Základová deska – pohled shora.



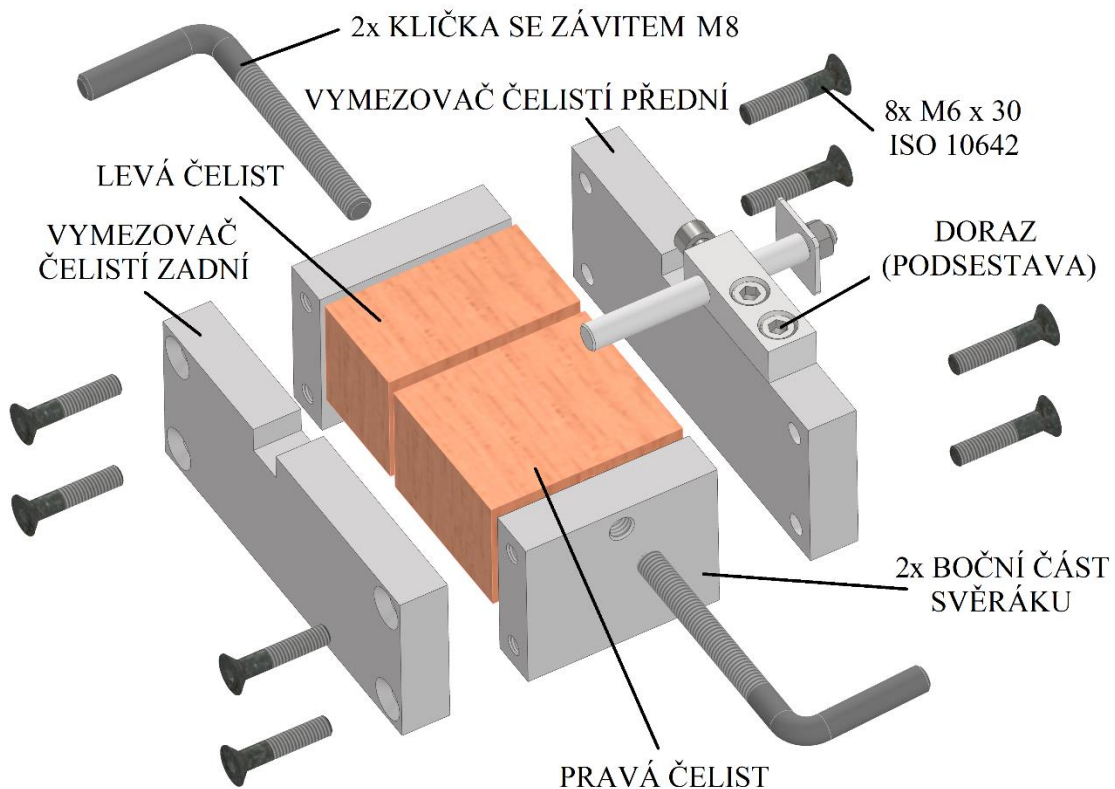
Obr. 54 Základová deska – pohled zespod.

### 3.4.2 Svěrák

Podsestavou, která zajišťuje brzdění drátu, je svěrák. Svěrák se skládá z několika jednotlivých součástí, které jsou přehledně ukázány na obr. 55, kde je k vidění částečně rozložený svěrákový díl.

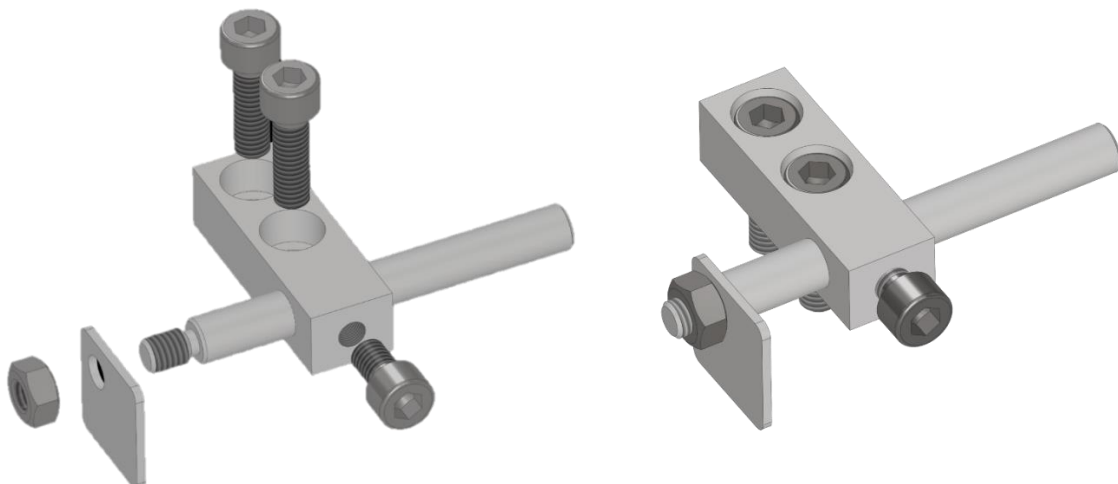
Brzdění je prováděno pomocí čelistí z tvrdého dřeva, kterým je například dub. Důvody výběru materiálu jsou dva. Prvním důvodem je snaha o co nejmenší či žádné poškrábání drátu při výrobě pružiny. Druhým důvodem je fakt, že přípravek bude používán ve varhanářské dílně, kde je vždy dostatek dřevěného materiálu a strojů, pro výrobu nových čelistí, takže je snadné čelisti kdykoli nahradit novými.

Rám svěráku je sešroubován pomocí osmi šroubů s kuželovou hlavou a vnitřním šestihranem M6 x 30 dle ISO 10642 [33]. Celý rám je potom připevněn k základové desce do vyfrézovaných drážek. Přišroubován je opět pomocí šroubů s kuželovou hlavou a vnitřním šestihranem, ale tentokrát je rozměr šroubu M6 x 35.



Obr. 55 Částečně rozložený svěrák s popisem dílů.

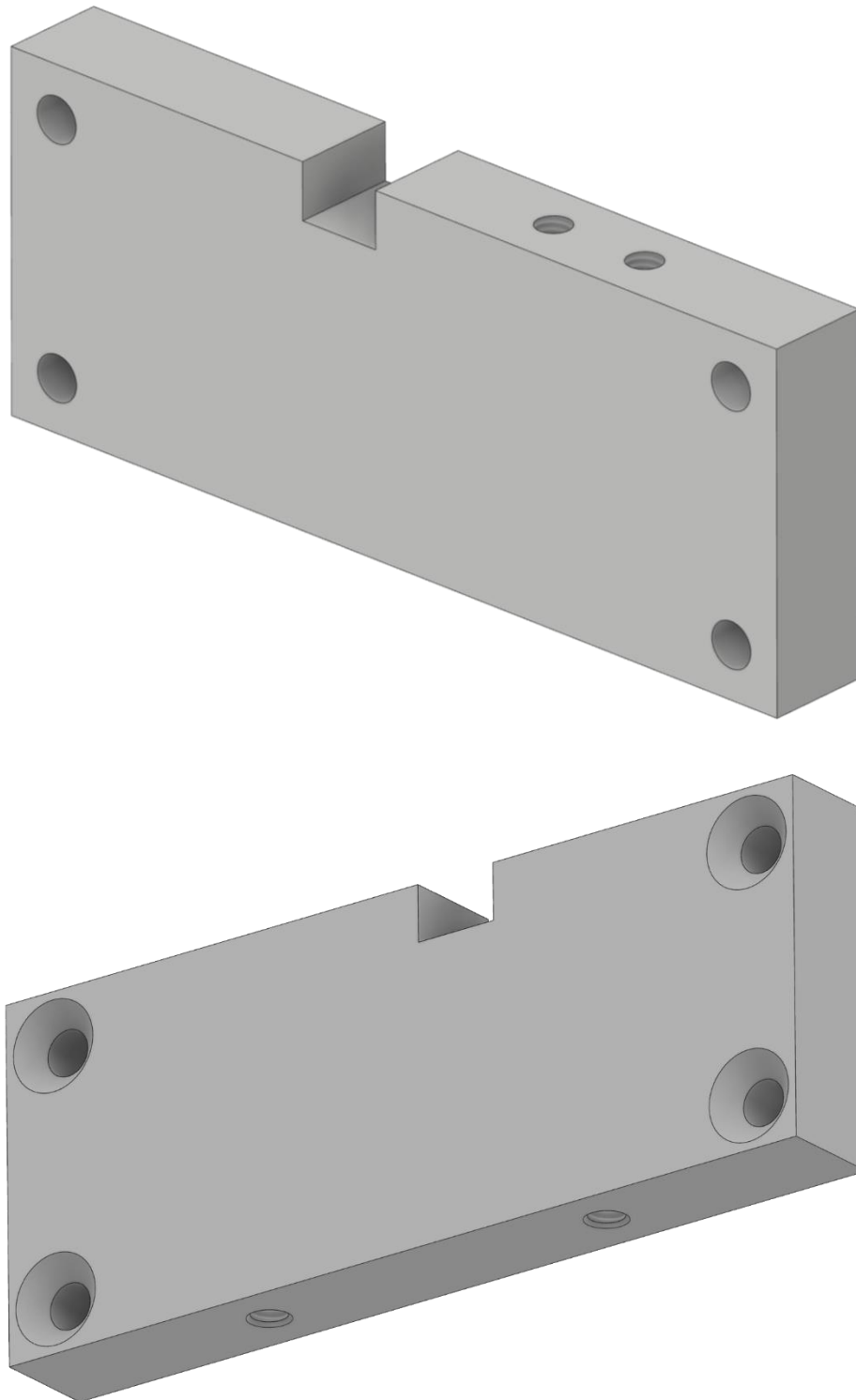
Na svěráku se nachází přišroubovaná podsestava dorazu, podle níž je možné ustříhnout brzděný konec drátu. Jedná se o jednoduchý mechanismus. V těle dorazu se pohybuje tyč, která je v potřebné poloze zajištěna šroubem M6 x 10 dle normy ISO 4762 [32]. Tělo je vyrobeno z tyče čtvercové tažené za studena dle normy EN 10278 a o rozměru 15 x 15 délky 47 mm [31]. Tyč má na jednom konci vytvořen závit M6, na který je navlečena destička, která je následně zajištěna pomocí matice M6. Destička je výpalek z plechu o tloušťce 1,5 mm. Na destičku je možno přiložit boční štípací kleště, kterými se následně drát ustříhne. Přípravek je navržen tak, že doraz přiléhá přes 3 mm tlustou podložku drženou v ruce při dorážení, na plochu jezdece kliky, jenž určuje délku ramene pružiny. Distanční podložku je nutno použít z důvodu zajištění průchodnosti kliky s jezdcem kolem dorazu. Pokud by byl doraz nastaven přímo na čelní plochu jezdece, nebylo by možné klikou otočit. Kompletní sestava dorazu je pak našroubována ke svěráku pomocí dvou šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M6 x 20 dle normy ISO 4762 [32]. Detail rozloženého i složeného dorazu je na obr. 56.



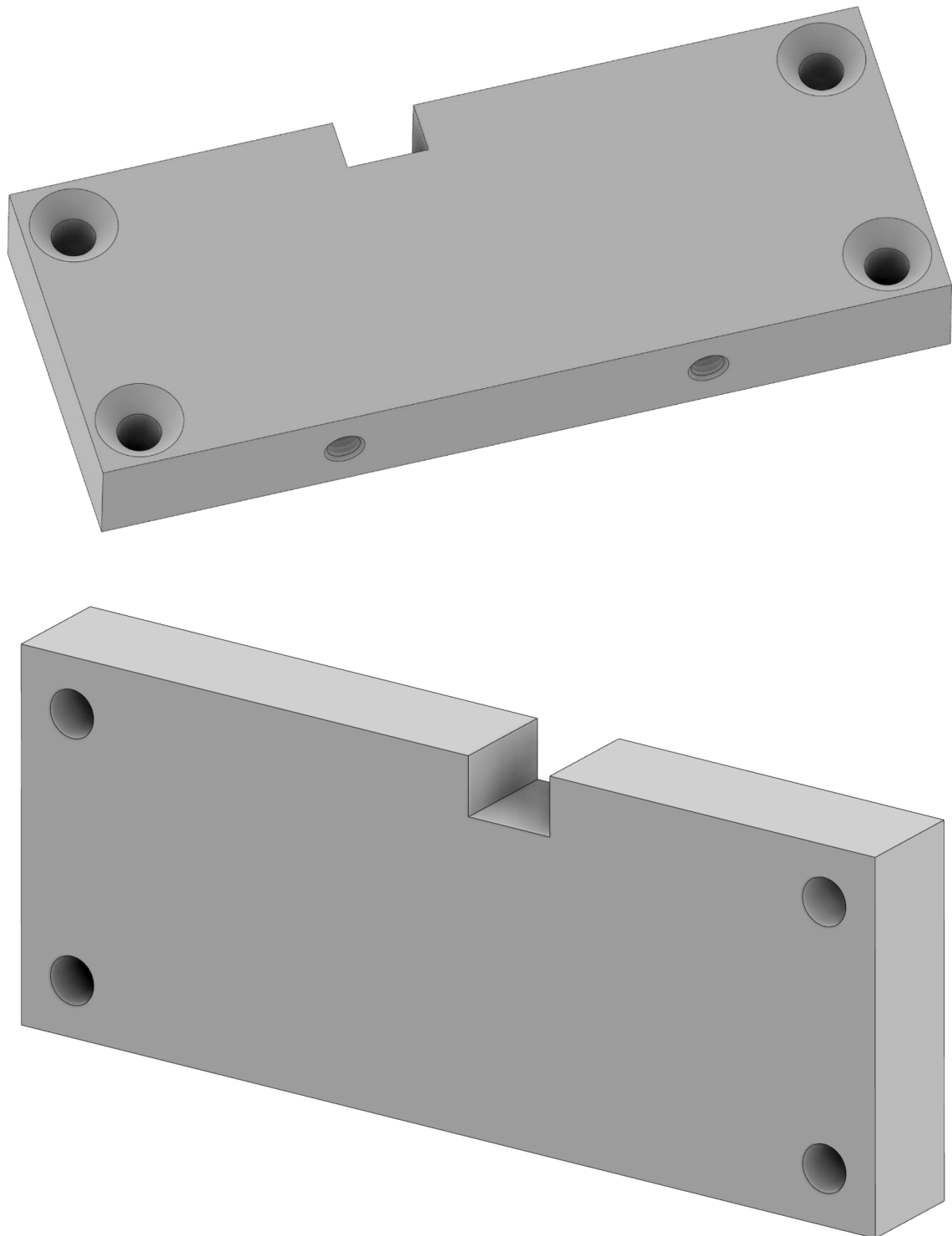
Obr. 56 Doraz – rozložená a složená sestava.



Pro vedení dřevěných čelistí slouží díly s názvem vymezoavače čelistí, které se rozlišují na přední a zadní. Polotovarem je tyč plochá tažená za studena s úchylkou h11 dle normy EN 10278 [31]. Rozměr polotovaru pro oba díly je 50 x 15 – 128. Oba díly mají 4 průchozí kruhové otvory zahloubené pro šrouby s kuželovou hlavou. Pomocí šroubů M6 x 30 dle ISO 10642, je pak sešroubován rám svěráku. Oba dva díly mají vyfrézovanou drážku pro průchod drátu. Vymezoavač čelistí přední je vidět na obr. 57 a zadní dílec je k vidění na obr. 58.

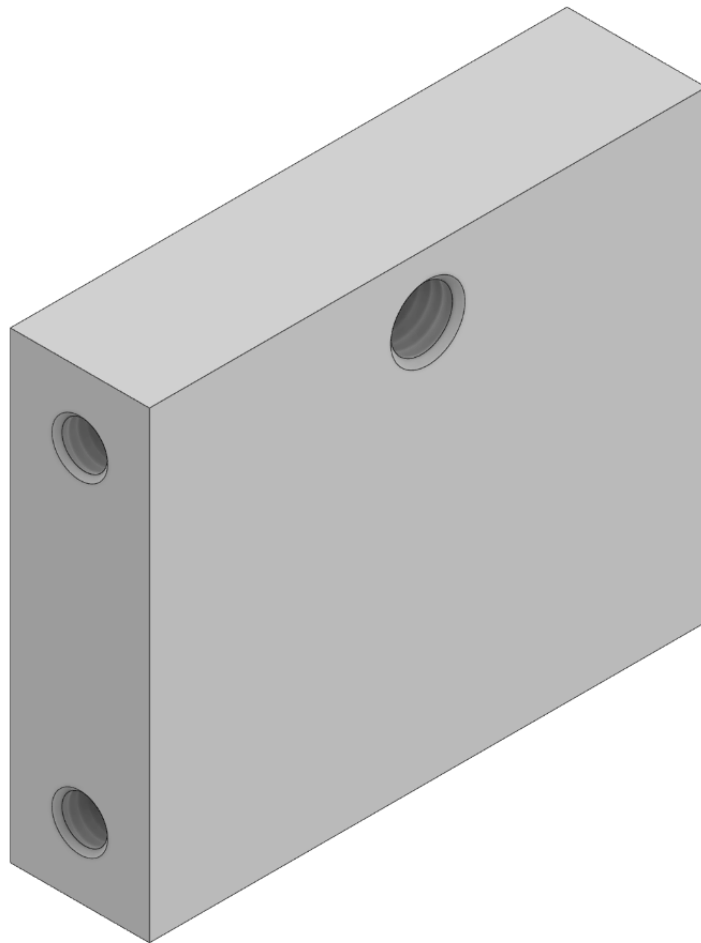


Obr. 57 Vymezoavač čelistí přední.



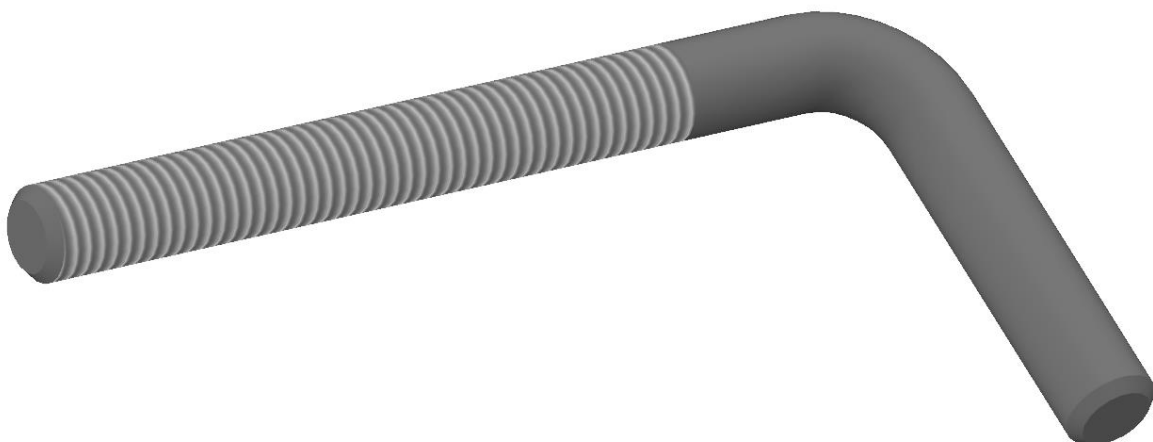
Obr. 58 Vymezovač čelistí zadní.

K vytvoření rámu svěráku je potřeba ještě po dvou kusech boční části svěráku. Tento díl je ze stejného polotovaru jako vymezovače čelistí, pouze s tím rozdílem, že délka činí 62 mm. Kromě zajištění ucelení rámu svěráku, má boční část ještě funkci samotného svírání čelistí. Obsahuje díru s vnitřním závitem M8, do nějž patří jednoduchá klička (obr. 60), která díky šroubovitému pohybu, tedy přímočarého pohybu za otáčení kličky, vyvolá tlak na čelist. Boční část svěráku je na obr. 59.

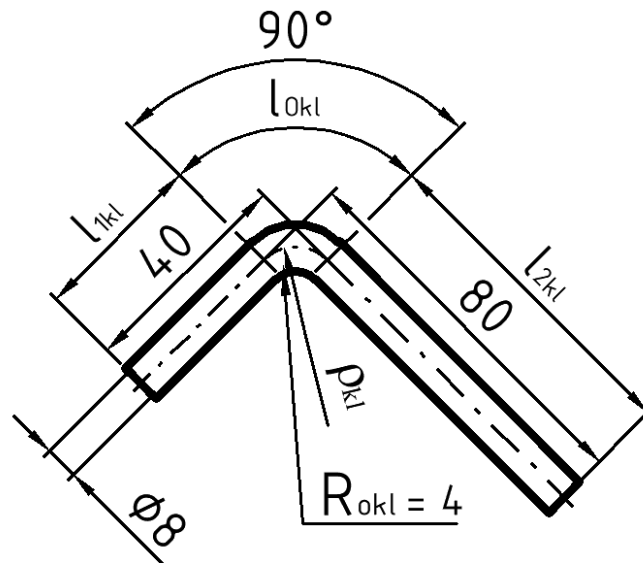


Obr. 59 Boční část svěráku.

Klíčka se závitem je dalším dílem potřebným pro správnou funkci svěráku. Je vidět na obr. 60. Na klíčce je vyřezán závit M8, který zapadá do závitu na boční části svěráku. Jedná se o tyč kruhovou taženou za studena, dle EN 10278, o průměru 8 h9, která je ohnutá do pravého úhlu, aby bylo možné s klíčkou otáčet [31]. Délku polotovaru je třeba vypočítat. Výpočet je proveden na základě obr. 61.



Obr. 60 Klíčka se závitem M8.



Obr. 61 Náskres jednotlivých délek a rozměrů kličky.

K určení délky polotovaru pro výrobu kličky je v první řadě nutné provést kontrolu, zda dochází či nikoliv k deformaci kruhového průřezu a tím k posunu neutrální osy. K tomuto zjištění se použije vztah (2.21):

$$R_{0kl} < 1,5 \cdot d,$$

$$4 < 1,5 \cdot 8,$$

$$4 < 12 \quad \Rightarrow \quad \text{dochází k deformaci průřezu,}$$

kde:  $d = 8$ ; průměr tyče.

Pro poloměr ohybu kličky  $R_{0kl}$  je potřeba spočítat poloměr posunuté neutrální osy  $\rho_{kl}$ . Posun neutrální osy je vidět v teoretické části na obr. 28. Pro výpočet je použit vzorec pro ohyb s malým poloměrem zaoblění (2.14) při kterém musí být splněna podmínka (2.13):

$$\frac{R_{0kl}}{d} \leq 6,$$

$$\frac{4}{8} \leq 6,$$

$$0,5 \leq 6.$$

platí:

$$\rho_{kl} = \left( R_{0kl} + \frac{d}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r = \left( 4 + \frac{8}{2} \right) \cdot 0,938 \cdot 1,05 \doteq 7,9 \text{ mm},$$

kde:  $z_z = 0,938$  – součinitel ztenčení; vypočten dle rovnic (2.17), (2.16), (2.15):

$$\Delta d = \frac{d^3}{4 \cdot (2R_{0kl} + d)^2} = \frac{8^3}{4 \cdot (2 \cdot 4 + 8)^2} = 0,5 \text{ mm},$$

$$d_1 = d - \Delta d = 8 - 0,5 = 7,5 \text{ mm},$$

$$z_z = \frac{d_1}{d} = \frac{7,5}{8} \doteq 0,938,$$

$z_r = 1,05$ ; součinitel rozšíření původního průřezu zjištěn dle tab. 2

podle hodnoty v tabulce  $b = s$ .

Po spočtení posunutého poloměru neutrální osy  $\rho_{kl}$  je možné vypočítat délku obloukové části kličky. Délka oblouku se spočte dosazením do vztahu (2.20):

$$l_{okl} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho_{kl} = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 7,9 \doteq 12,4 \text{ mm},$$

kde:  $\gamma = 90^\circ$  – úhel ohnutého úseku,

Před spočtením celkové délky polotovaru, je potřeba spočítat délky rovných částí. Výpočty vychází z obr. 61. Pro délku  $l_{1kl}$  platí vztah:

$$l_{1kl} = 40 - \frac{d}{2} - R_{okl} = 40 - \frac{8}{2} - 4 = 32 \text{ mm}.$$

Délka  $l_2$  se vypočítá:

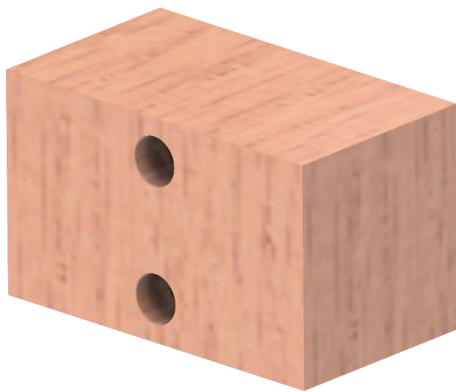
$$l_{2kl} = 80 - \frac{d}{2} - R_{okl} = 80 - \frac{8}{2} - 4 = 72 \text{ mm}.$$

Celková délka rozvinutého polotovaru pro výrobu kličky je pak dána součtem všech rovných částí a délky oblouku  $l_{okl}$  [15]. Výpočet celkové délky je dán vztahem:

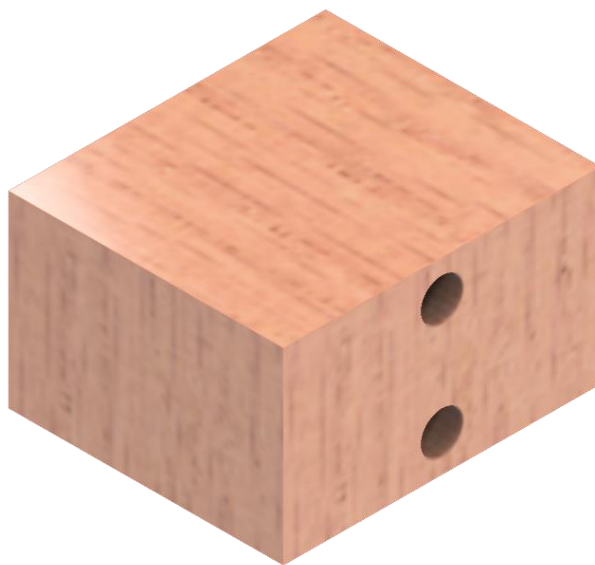
$$l_{ckl} = l_{1kl} + l_{okl} + l_{2kl} = 32 + 12,4 + 72 = 116,4 \text{ mm}$$

Posledními částmi svěráku jsou čelisti, které jsou vidět na obr. 62 a obr. 63. Pro každou stranu je rozměr čelisti jiný, a proto se rozlišují na levou a pravou. Materiálem čelistí je tvrdé dřevo. Při provádění experimentu bylo použito dubové dřevo, které svoji funkci plnilo dobře, proto se čelisti pro první zkušební výrobky vyrobí z dubu. Jsou navrženy tak, že se po otláčení mohou otočit. Při otláčení i z druhé strany se následně čelisti mohou zabrousit a jsou připraveny k dalšímu používání. Dokonce se pravá čelist, po dosažení potřebné délky, dá použít jako levá a stačí vyrobít pouze jednu novou čelist. Dřevěná čelist má několik výhod:

- na drátu nevzniknou při brzdění rýhy,
- ve varhanářské dílně je dřevo velmi dostupný materiál,
- taktéž se v dílně nachází dostatek strojů pro výrobu čelistí,
- po otláčení je čelisti možné několikrát zbrousit,
- až čelisti přestanou vyhovovat, je možné je přeměnit v teplo.



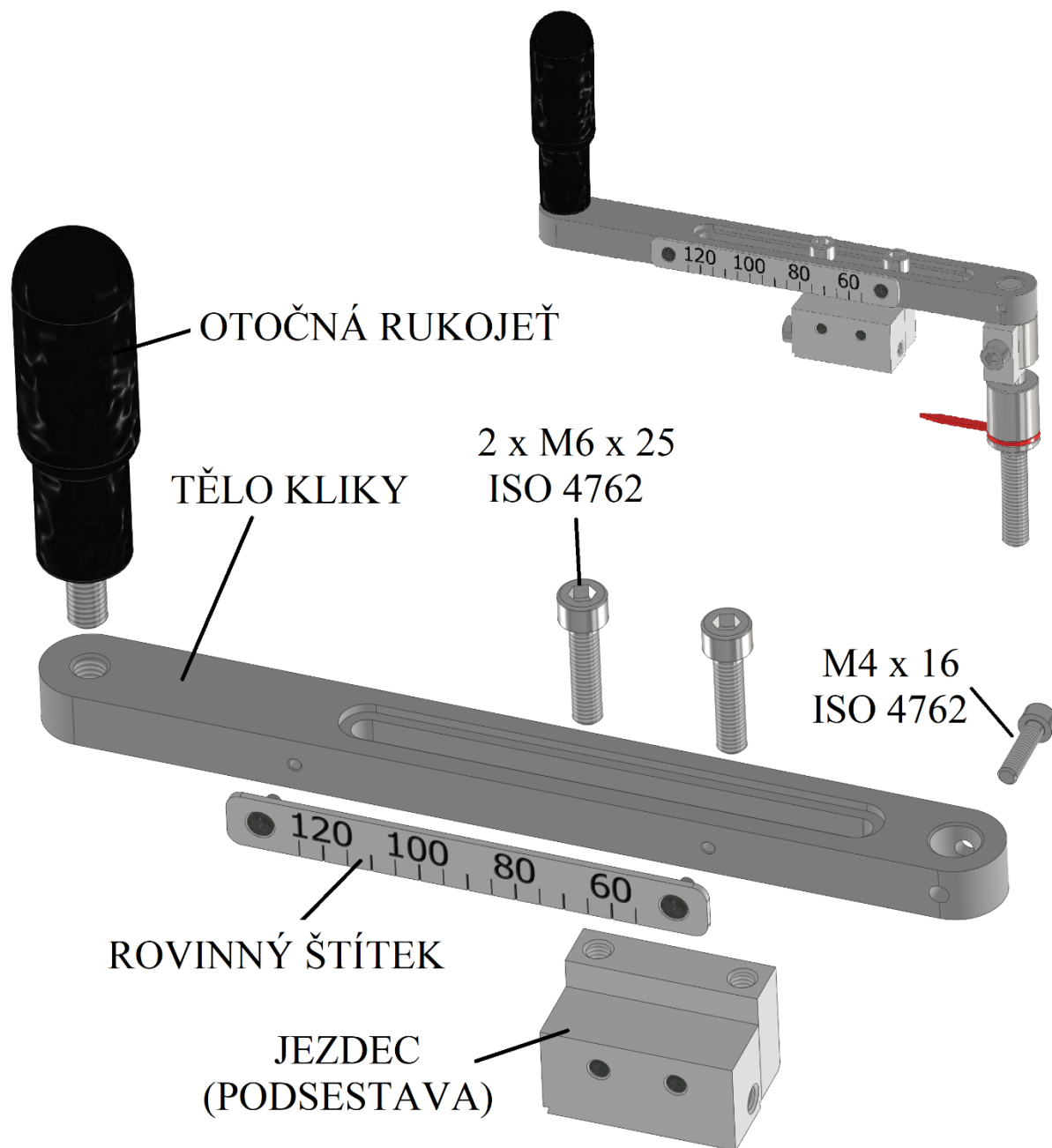
Obr. 62 Levá čelist.



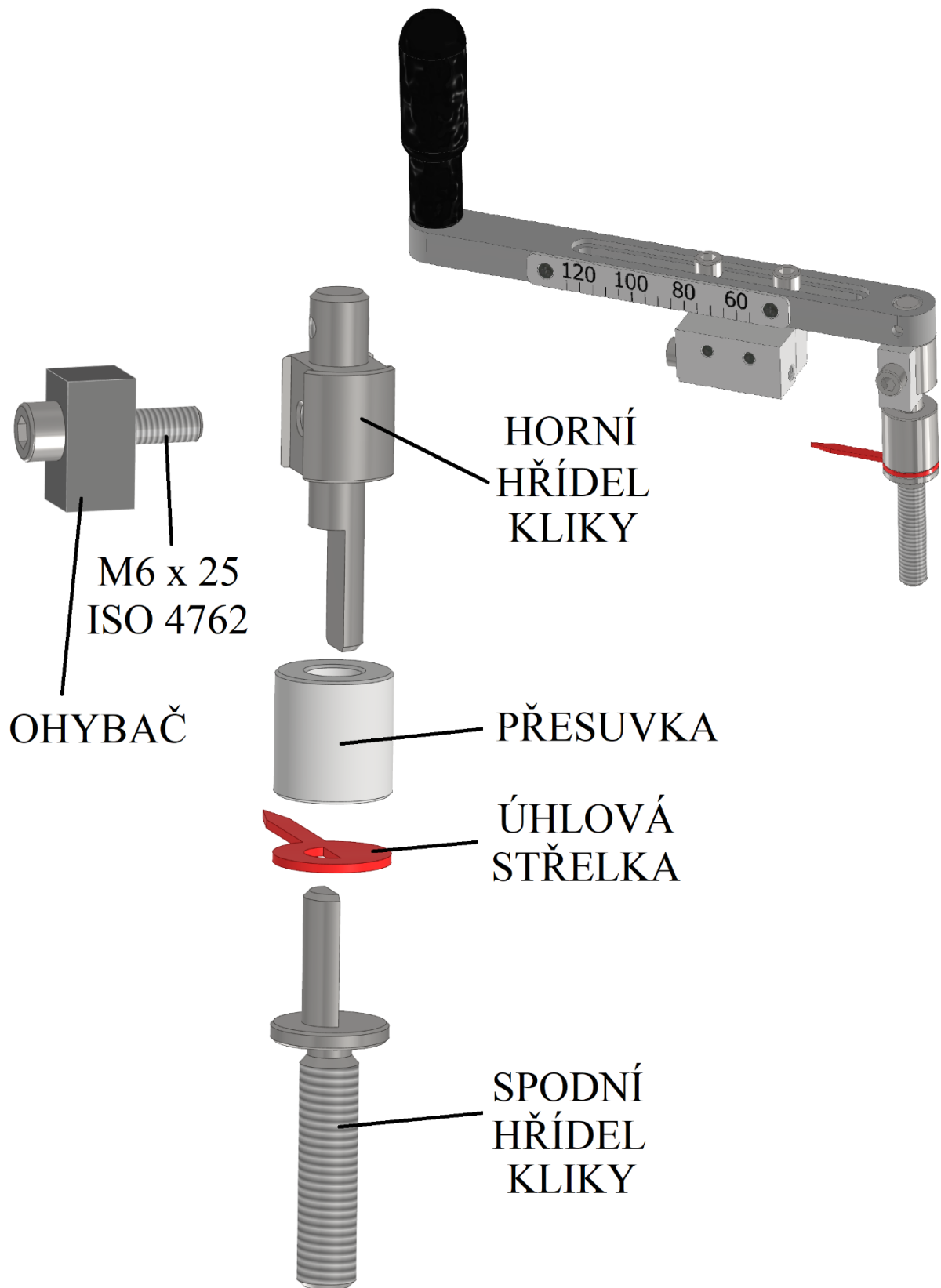
Obr. 63 Pravá čelist.

### 3.4.3 Klika

Nejsložitější částí přípravku je klika, která zajišťuje otáčivý a zároveň přímočarý pohyb směrem vzhůru. V důsledku tohoto šroubovitého pohybu je možné vytvářet na pružinách závity. Díky takto navržené klice je možné splnit zadání od varhanářství. Na klice je totiž nastavována délka ramene a zároveň i průměr závitu pružiny. Podle průměru drátu v dané sérii je možno nastavit i stoupání závitů pružiny a při sledování úhlové střelky je možno vyrábět pružiny podle potřebného úhlu mezi rameny. Pro větší přehlednost byly jednotlivé části klice popsány pomocí dvou obrázků. Součásti, které tvoří rameno klice, jsou pojmenované na obr. 64. Hřídelová část je tvořena součástmi, které jsou vidět na obr. 65.



Obr. 64 Částečně rozložené rameno klice s popisem dílů.

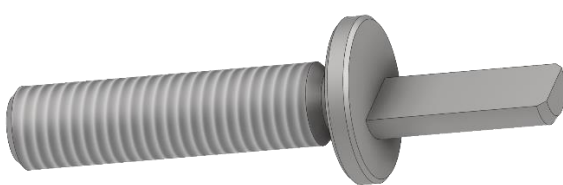


Obr. 65 Částečně rozložená hřídelová část klinky s popisem dílů.

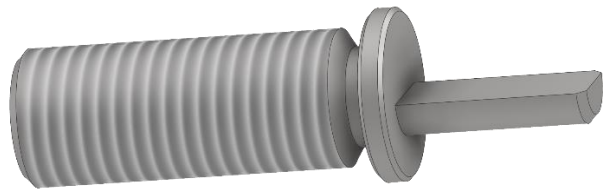
Dílcem, který umožňuje přímočarý vertikální pohyb celého tělesa kliky za jejího otáčení, je spodní hřídel. Tento šroubový pohyb je zajištěn metrickým závitem. Aby byly splněny požadavky ze strany varhanářství, bylo potřeba navrhnout dvě spodní hřídele, které se do přípravku namontují podle dané výrobní série. Na obr. 66 je vidět první hřídel, na níž je vyřezán levotočivý závit M10 x 1,5 – LH. Stoupání tohoto závitu odpovídá průměru drátu 1,5 mm. Závity pružiny budou navinuty těsně na sebe. Druhá hřídel, která je na obr. 67, slouží pro výrobu pružin z drátu o průměru 2 mm, tudíž obsahuje levotočivý závit M10 x 2 – LH. Levé závity jsou použity z důvodu přirozeného směru otáčení kliky při výrobě pružiny podle směru hodinových ručiček. Konstrukce přípravku totiž vyžaduje, aby klika při otáčení stoupala směrem nahoru. Po výrobě každé pružiny se musí klika opět otočit zpět do výchozí polohy.

Spodní hřídele jsou rozděleny největším průměrem o délce 3 mm (obr. 66, obr. 67) na dvě části – část se závitem a část, která je do poloviny průměru odfrézovaná. Čelní plocha největšího průměru slouží jako dosedací plocha úhlové střelky (obr. 68) a následně dílce nazvaného přesuvka (obr. 69).

Polotovarem pro spodní hřídele je tyč ocelová kruhová dle normy EN 10060 o průměru 24 mm a délce 70 mm. Materiál je dle příslušné normy zvolen C45. Je vhodný pro výrobu čepů a šroubů. Spodní hřídel bude v závitové části namáhána na ořez a jako celek na krut.

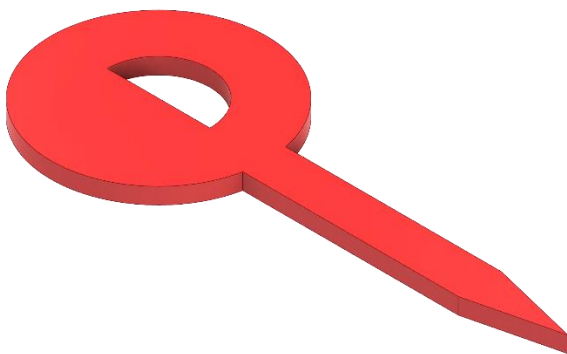


Obr. 66 Spodní hřídel 1,5.

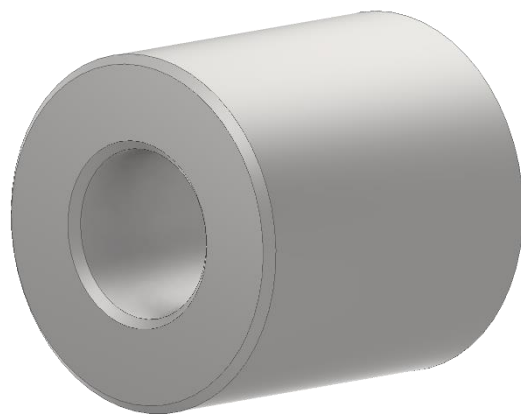


Obr. 67 Spodní hřídel 2.

Na spodní hřídel je nastrčen výpalek z plechu o tloušťce 1,5 mm s názvem úhlová střelka, která ukazuje na stupnici úhlového štítku (součást základové desky) aktuální úhel mezi rameny pružiny (bez odpružení). Jedná se o jednoduchý díl, který je opatřen z důvodu lepší orientace při výrobě pružiny červeným nátěrem, viz obr. 60.



Obr. 68 Úhlová střelka.

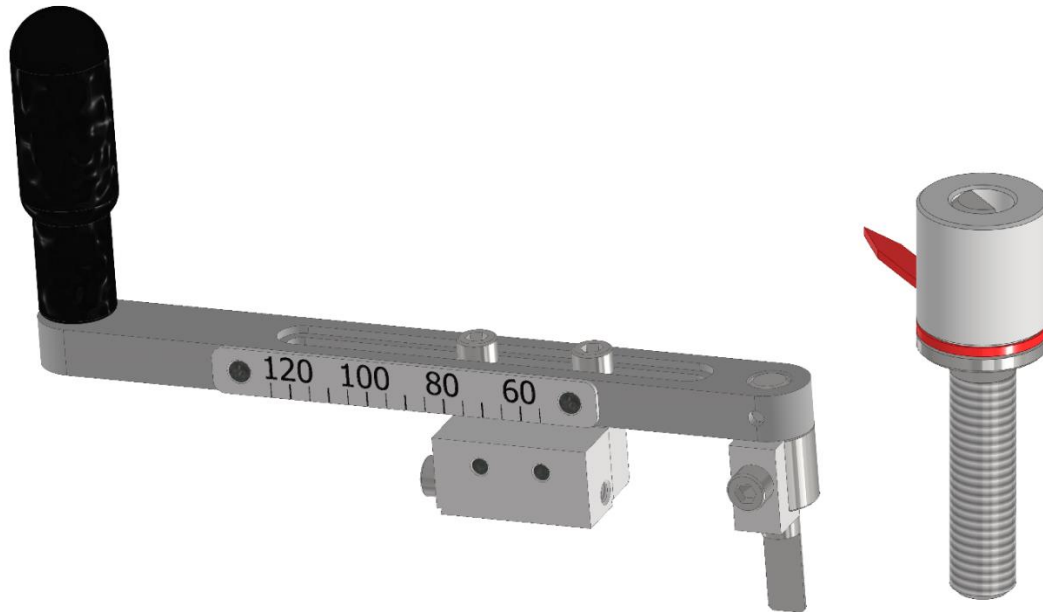


Obr. 69 Přesuvka.

Přenášení otáčivého pohybu z horní části kliky je zajištěno přesuvkou, dílcem, který je na obr. 69. Přesuvka je nasazena na spodní hřídel s úhlovou střelkou. Do takto sestavených dílců zapadá zbylá část kliky, která je, z důvodu vyjímání hotových pružin z přípravku, vyjímatelná. Rozdělená klika je vidět na obr. 70.

Přesuvka je vyrobená ze stejného polotovaru jako spodní hřídel. Liší se pouze v délce. Délka kruhové tyče, kterou je potřeba řezat, je 24 mm. Přesuvka je jednoduchá válcová součást s průchozím otvorem, který odpovídá daným průměrům spodní a horní hřídele.





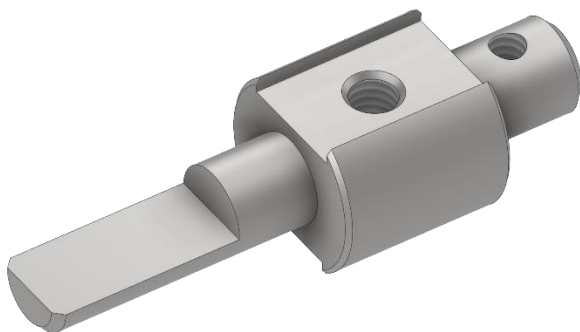
Obr. 70 Vyjmutá část kliky (vlevo) a druhá část kliky zašroubovaná v základové desce (vpravo).

Dalším kritériem, které bylo třeba splnit, je možnost vyrábět pružiny s vnitřním průměrem závitu 10 mm nebo 16 mm. Tento požadavek splňují horní hřídele, které jsou na obr. 71 a obr. 72. Obdobně jako spodní hřídele, jsou horní hřídele vyměnitelné podle potřeby. Liší se v průměru, na který je namotáván drát, a také v největším průměru součástky. Spodní a horní hřídele jsou navrženy tak, že je možné je libovolně kombinovat.

Horní hřídele mají, stejně jako ty spodní, odfrézovanou část průměru na polovinu. Tím je zajištěno spojení horní a spodní části kliky. Při jednom upnutí do svěraku frézky je potřeba také vyfrézovat drážku pro ohybač (obr. 73), vyvrtat průchozí otvory pro závity a následně závity vyřezat. Poté je třeba frézovat drážku pro ohybač i z druhé strany. Drážka je frézována z obou stran, protože po výrobě závitu v základové desce není zřejmé, do jaké výšky bude vycházet jezdec kliky vůči založenému drátu ve svěraku. V případě nutnosti bude možné kliku otočit o  $180^\circ$  a tím celou sestavu kliky zvednout o půl otáčky závitu. Alespoň takto bude docíleno optimálních výrobních podmínek.

Polotovaru i materiál pro horní hřídel s menším průměrem je stejný jako u spodních hřídelí, jen s tím rozdílem, že délka polotovaru je 64 mm. Větší horní hřídel bude nutné vyrobít z tyče o větším průměru, a to 28 mm.

Část horní hřídele bude namáhána na otlačení od drátu při navíjení pružiny. V úvahu přichází povrchové kalení tohoto namáhaného průměru, pro které je vhodný zvolený materiál polotovaru C45 (12 050 dle starého značení). Další alternativou k povrchovému kalení by byla výroba celé součásti např. z legované oceli s označením 18CrMo4, která je dobře obrobitelná. [31; 32]

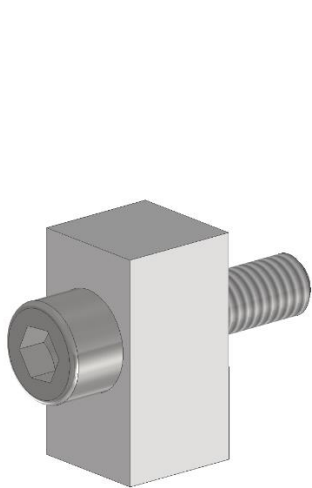


Obr. 71 Horní hřídel 10.

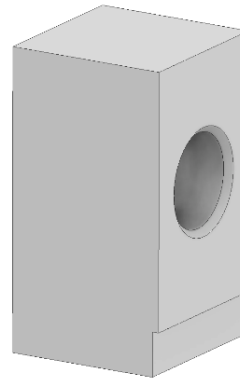


Obr. 72 Horní hřídel 16.

Posledním dílcem z hřídelové části kliky je ohybač, který je vidět na obr. 73. Jeho funkcí je vymezit a ohýbat drát přímo u osy ohybu a zajistit tak správné navíjení drátu na horní hřídel. Ohybače jsou opět potřeba dva. Pro drát o průměru 1,5 mm a druhý pro drát o průměru 2 mm. Jedná se o kvádr se čtvercovou podstavou. Polotovarem je tyč čtvercová tažená za studena o průřezu 12 x 12 mm a délce 25 mm. Ohybač je k horní hřídeli připevněn šroubem M6 x 25 ISO 4762, viz obr. 73 [32]. Druhý ohybač se liší pouze o frézované vybrání, viz obr. 74.

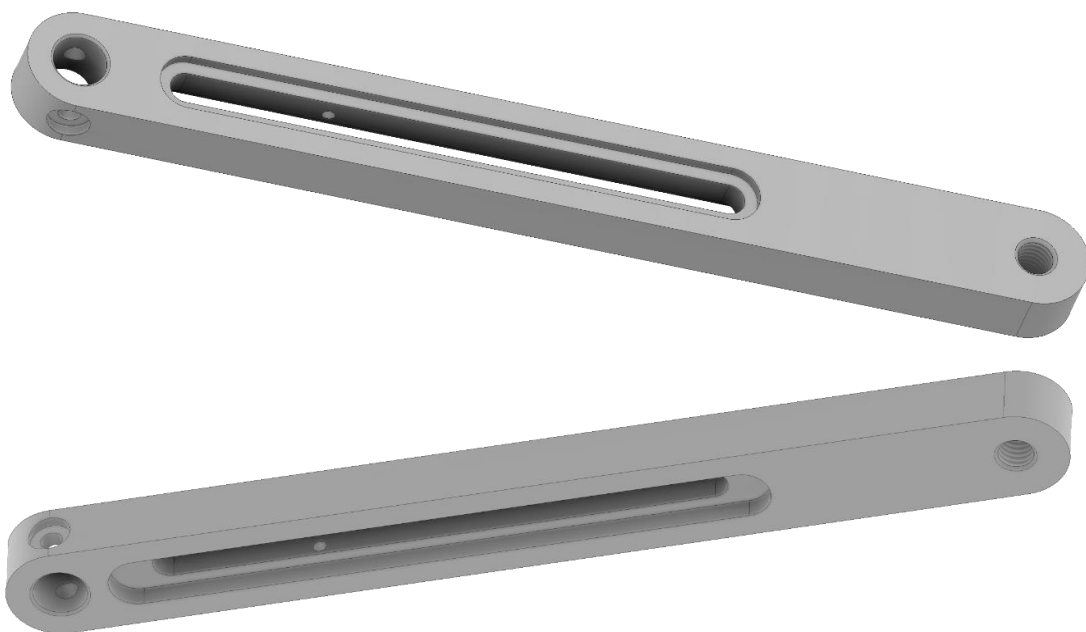


Obr. 73 Ohybač 1,5.



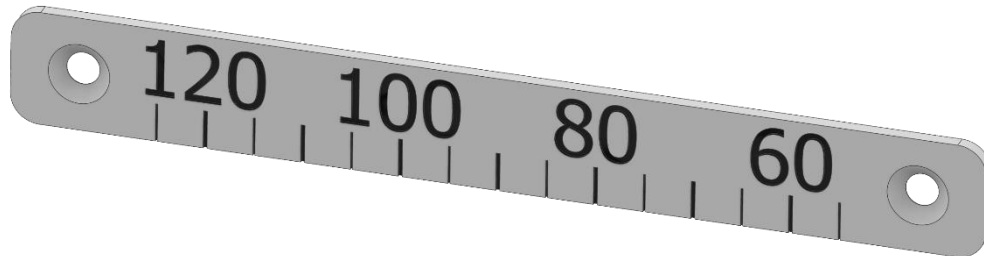
Obr. 74 Ohybač 2.

Prvním a podstatným dílem tvořící rameno kliky je součást s názvem tělo kliky. Na těle je možné nastavit délku ramene pružiny pomocí k tomuto určenému dílu – jezdec. Délka ramene se nastavuje podle rovinného štítku, což je díl, který je připevněn ke klice dvěma šrouby M3 x 8 dle normy ISO 7046-1 H [32]. Jezdec se pohybuje ve vyfrézované drážce v těle kliky, které je vidět ze dvou stran na obr. 75. Polotovarem pro tělo kliky je tyč plochá o průřezu 20 x 12 a délce 203 mm dle normy EN 10278 [31].



Obr. 75 Tělo kliky.

Druhým dílem, který je součástí ramene kliky, je rovinný štítek. Díky němu je možné nastavit délku ramene po pěti milimetrech v zadaném rozmezí, tedy od 60 do 120 mm. Jedná se o výpalek z plechu o tloušťce 1,5 mm s vygravírovanou stupnicí. K tělu kliky je připevněn pomocí dvou šroubů s kuželovou hlavou M3 x 8 dle normy ISO 7046–1 H [32]. Rovinný štítek je na obr. 76.



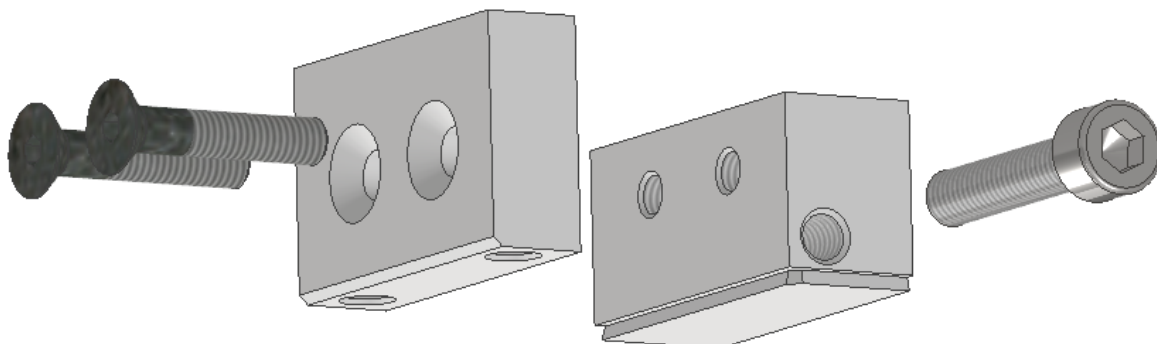
Obr. 76 Rovinný štítek.

Dalším dílem ramene kliky je otočná rukojeť, která umožňuje obsluze pohodlně ovládat přípravek. Její vzhled je zachycen na obr. 77. Jedná se o díl, který lze koupit a nemusí se vyrábět. Je k nalezení na webových stránkách firmy Mateza pod kódem produktu OVL RO 80/24 M8 [34]. Detailnější popis a rozměry otočné rukojeti jsou v příloze 3. Připevňovacím elementem rukojeti vnější závit M8.

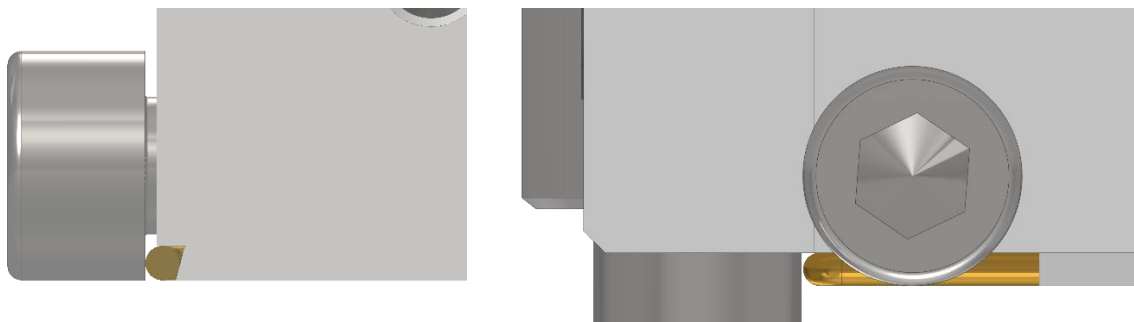


Obr. 77 Otočná rukojeť od výrobce Eles+Ganter [34].

Poslední a zásadní částí ramene kliky je sestava jezdec, jejíž díly jsou vidět na obr. 78. Za jezdec se upíná zahnutý konec připraveného drátu, který dosedne do poloviny rybinové drážky a následně je zajištěn šroubem s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem M6 x 25 dle ISO 4762. Detail tohoto upevnění je vidět na obr. 79. Díly, které dohromady tvoří jezdec, jsou spojeny pomocí šroubů s kuželovou hlavou a vnitřním šestihranem M5 x 25 dle ISO 10642 [33].

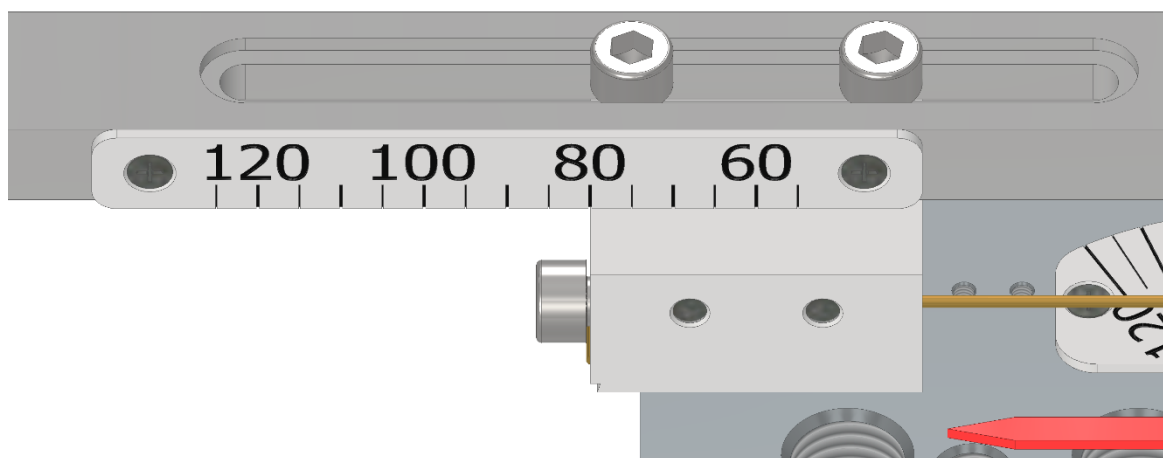


Obr. 78 Částečně rozložená podsestava jezdec.



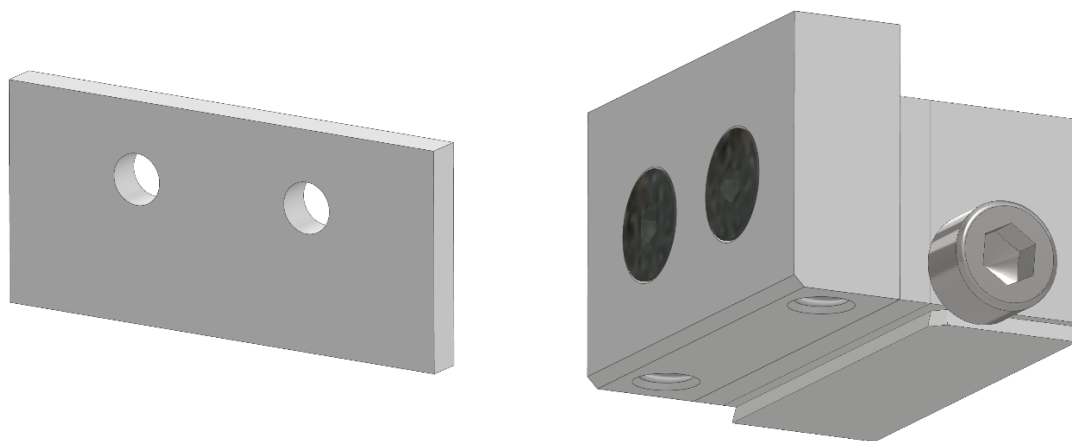
Obr. 79 Detail upnutí zahnutého konce drátu.

Nastavení délky ramene pružiny pro danou výrobní sérii se provede posunutím jezdec do potřebné polohy. Hrana jezdec se přistaví k potřebné hodnotě na rovinném štítku. Polohování jezdec je nastíněno na obr. 80.



Obr. 80 Jezdec nastaven na délku ramene 80 mm.

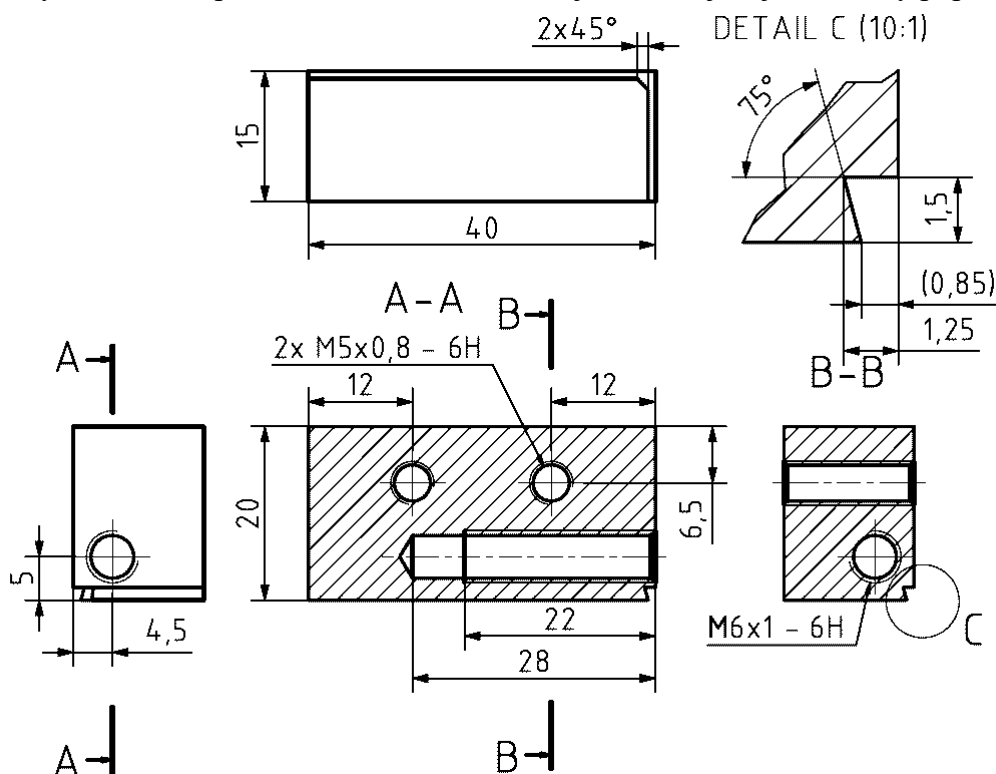
Polotovarem obou dílů je tyč plochá tažená za studena, avšak s rozdílným rozměrem. Jedná se o průřez 20 x 15 mm a 25 x 15 mm o délce 43 mm. Jezdec je navržen jako sestava z důvodu vycházejícího ze změny průměru závitu, resp. horní hřídele. Jezdec na obr. 78 slouží k výrobě pružin s vnitřním průměrem závitu 10 mm. Pro výrobu větších pružin s průměrem 16 mm je potřeba mezi díly jezdec vložit destičku o tloušťce 3 mm. Pro případ potřeby v budoucnu vyrábět pružiny ještě s jinými průměry závitů by stačilo změnit tloušťku destičky a vyrobit horní hřídel s odpovídajícím průměrem, na který se navíjí drát. Destička a složený jezdec se nacházejí na obr. 81. Dílec jezdec sloužící k upínání drátu je nutné ověřit v praxi. Je potřeba zjistit, zda bude vyhovovat i pro upínání drátu o průměru 2 mm či bude nutné vyrobit ještě jeden vyměnitelný díl.



Obr. 81 Destička a složený jezdec pro vnitřní průměr závitu 16 mm.

### 3.4.4 Zjednodušený výrobní postup hlavní části jezdec

Jezdec je jeden z nejpodstatnějších dílů celého přípravku, a proto byl vytvořen zjednodušený výrobní postup pro část upínající drát. Postup výroby je v tab. 8 a vychází z obr. 82. Obsahuje pouze názvy stanovišť, operací, obecné označení strojů a nástrojů a jednoduchý popis operace.



Obr. 82 Návrh součásti JEZDEC-DRŽÁK 1,5.

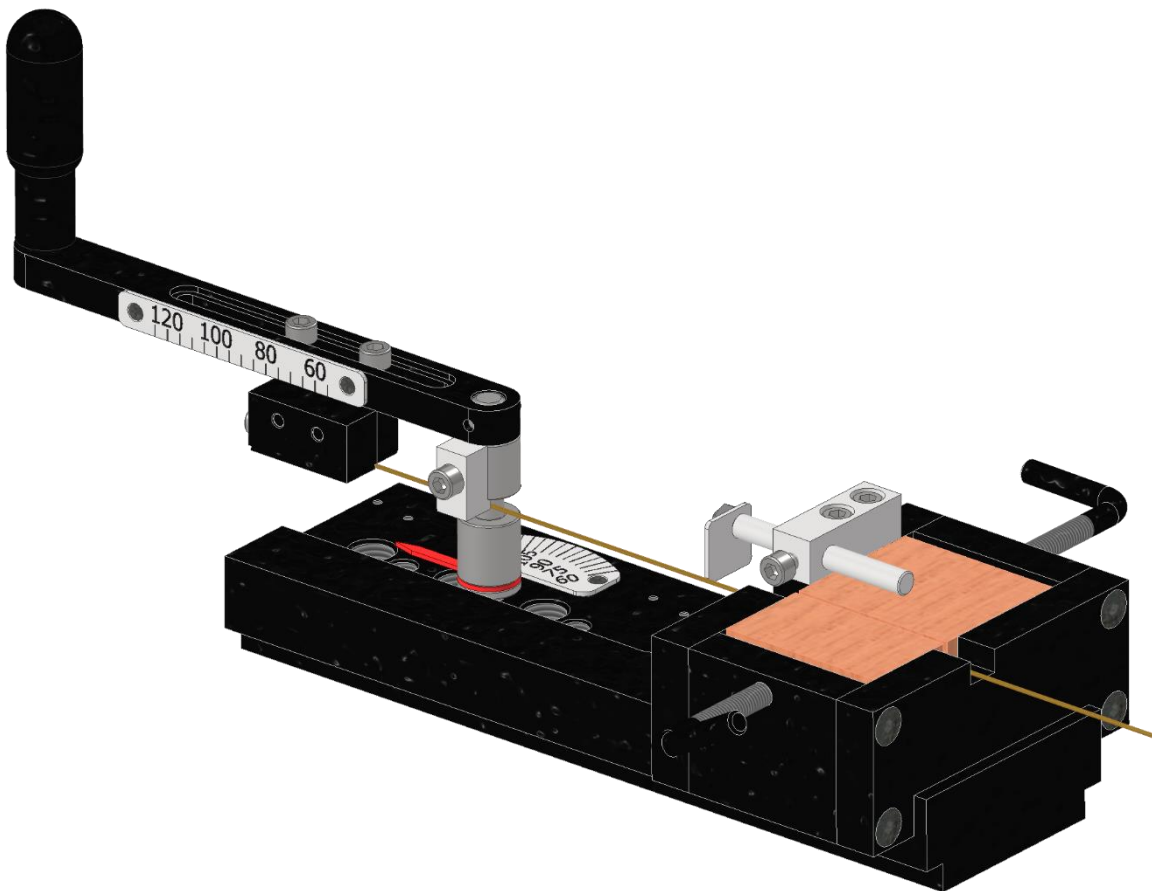
Tab. 8 Zjednodušený výrobní postup pro součást JEZDEC-DRŽÁK 1,5.

Výrobní postup			Datum: 23. 05. 2024
Název součásti: JEZDEC-DRŽÁK 1,5		Číslo výkresu: 2024-DP-200567-01	
Vypracoval: Jakub Svoboda		Polotovar: 20 x 15 – 43 EN 10278	
Pracoviště	stroj	nástroj	popis operace
Obrobna	pásová pila	pilový pás	dělit materiál na délku 43 mm
Obrobna	CNC frézovací centrum	fréza válcová $\varnothing 20$	upnout do svěráku na kótě 15 mm frézovat z obou stran na délku 40 mm
		fréza úhlová čelní $75^\circ \times 20$	frézovat drážku dle detailu C a pohledu s kótami 40 mm a 15 mm
		vrták $\varnothing 4,2$	upnout do svěráku za rozměr 20 mm vrtat 2x průchozí otvor pro závit M5 srazit hrany otvoru řezat 2x závit M5 v plné hloubce
		záhlubník $90^\circ$	
		strojný závitník M5	
Kontrola	-	posuvné měřidlo	kontrolovat délku 40 mm, rozměry drážky 2x kontrolovat závit M5
		kalibr M5	

Pracoviště	stroj	nástroj	popis operace
Obrobna	CNC frézovací centrum	vrták $\varnothing 5$	upnout do svěráku za rozměr 20 mm svisle vrtat otvor pro závit M6 srazit hranu otvoru řezat závit M6 do hloubky 22 mm
		záhlubník $90^\circ$	
		strojní závitník M6	
Kontrola	–	posuvné měřidlo	kontrolovat hloubku 28 mm kontrolovat závit M6
		kalibr M6	
Omílací linka	–	–	omílat hotový výrobek
Konzervace	–	–	olejovat výrobek
Balení	–	–	zabalit do voskovaného papíru uložit na sklad

### 3.5 Povrchová úprava přípravku

Protože přípravek bude přicházet do styku s lidskou pokožkou, hrozilo by nebezpečí vzniku koroze. Pro ochranu bude použit ochranný nátěr černé barvy. Před barvením bude nutné jednotlivé díly odmastit. Poté bude nanášena barva stříkací pistolí. Předběžná finální podoba přípravku je na obr. 83. Konečná povrchová úprava bude teprve s varhanářstvím domlouvána.



Obr. 83 Návrh finální podoby přípravku.

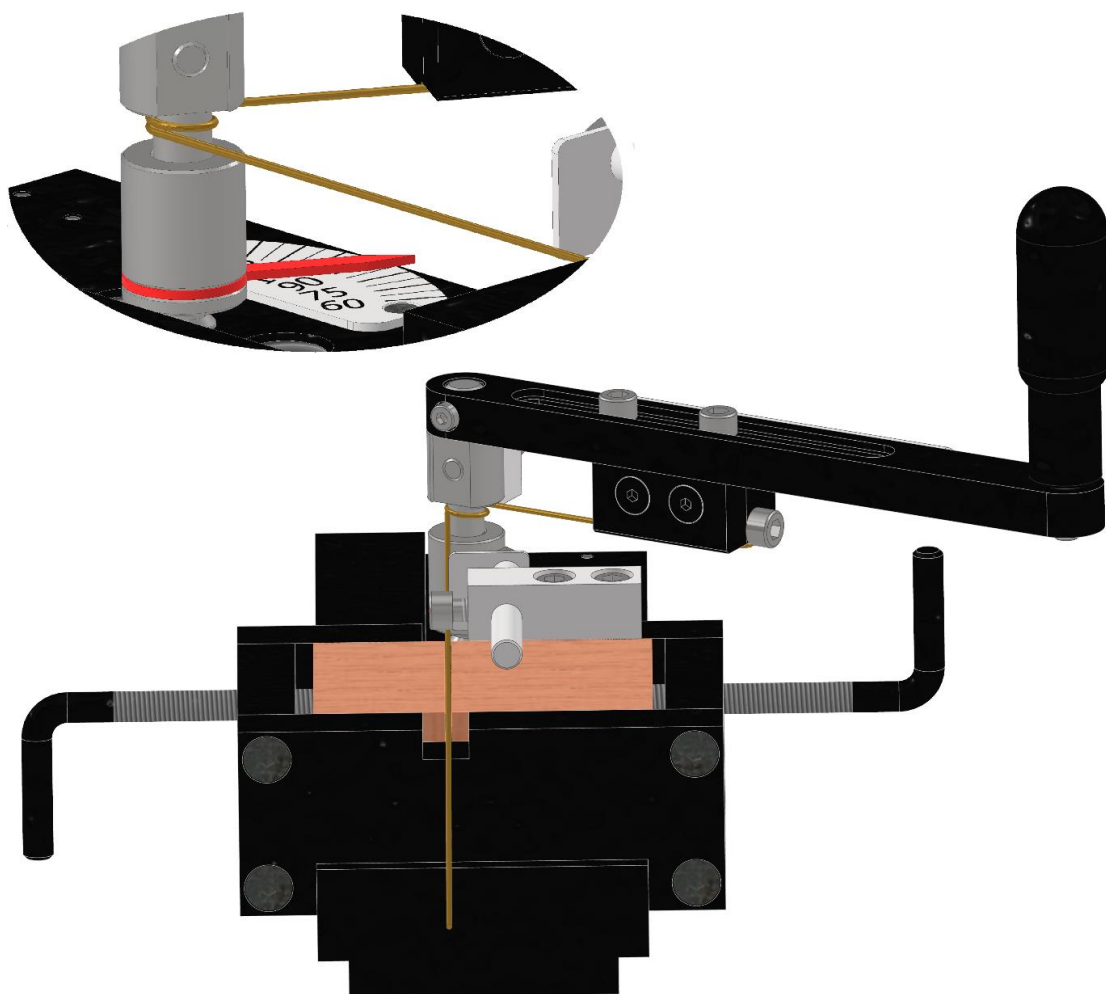
## 4 VYHODNOCENÍ

Konstrukci přípravku byla věnována náležitá pozornost. Jednotlivé etapy, jako počátky nákresu různých mechanismů, konzultace s pracovníky ve varhanářství, otázky ohledně tváření, vytváření modelu, byly prováděny pečlivě.

Během vytváření návrhu docházelo několikrát k úpravám, které byly často i poměrně velké a zasahovaly do více součástí najednou. Při studování problematiky navíjení pružin přicházely během procesu návrhu další nové podněty, na základě kterých bylo nutné dílčí části předělat. Základní myšlenka však byla od začátku stejná. Uchytit jeden konec drátu na rameno otáčivé páky a druhý konec brzdít pomocí dřevěných čelistí.

Problémy, které bylo nutné řešit byly spjaty s poměrně obsáhlými nároky na přípravek. Některé tyto požadavky byly udávány v rozmezí hodnot, jako např. nastavitelná délka ramene pružiny, jiné v konkrétních hodnotách, např. vnitřní průměr závitu pružiny. Ze všech požadavků uvedených v tab. 1 vyplývá nutnost stavebnicového charakteru přípravku. Před každou výrobní sérií je možné přípravek nastavit dle požadovaných hodnot a vytvářet tak všechny pružiny v sérii stejné.

Na základě provedení výpočtů, experimentu a počítačové simulace lze označit konstrukci přípravku za úspěšnou a předpřipravenou k reálné výrobě. Pokud takto navržený přípravek bude mít ve varhanářské dílně úspěch, budou dále vypracovány jednotlivé výkresy a výkres sestavy. Dále bude probíhat konzultace ohledně výroby. Na obr. 84 je vidět přípravek s navinutou pružinou.



Obr. 84 Pohled obsluhy na přípravek s navinutou pružinou.

---

## ZÁVĚR

Výstupem práce je graficky zpracovaný 3D model přípravku pro výrobu ventilových pružin do varhan, který byl ověřen výpočty, počítačovou simulací i experimentem. Parametry pružin, které se mají na nově navrženém přípravku vyrábět zároveň tvořily požadavky na návrh. Ze strany varhanářství byl kladen důraz na zlepšení kvality výroby pružiny. Na původním přípravku byly vyráběné pružiny funkční, ale jejich závity vzhledově neodpovídaly kvalitně odvedené řemeslné práci.

Nově navržený přípravek splňuje všechny požadavky, které byly varhanářstvím stanoveny. Toto tvrzení je podloženo provedením amatérského experimentu během tvorby 3D modelu. Simulace společně s experimentem potvrdila platnost úvahy, která byla na počátku stanovena. Jedná se o zajištění takových výrobních podmínek, při kterých dochází ke tváření drátu ohybem s přidavným tahovým zatížením. Tyto podmínky jsou zajištěny svěrákem s dřevěnými čelistmi, které při výrobě pružiny brzdí jeden konec drátu, přičemž druhý konec drátu je pevně uchycen na otáčecí kliku přípravku. Tento mechanismus byl nasimulován v počítačovém programu Simufact Forming na 3D modelu, který byl předem vytvořen v CAD systému Autodesk Inventor 2022. Software po odladění prokázal funkčnost nově navrženého přípravku.

Protože požadavky byly poměrně rozsáhlé, došlo k návrhu tzv. stavebnicového přípravku. Před každou výrobní sérií je možné přípravek sestavit a nastavit dle požadovaných rozměrů pružin. Během procesu navrhování došlo k vytvoření několika dílčích řešení. Některé díly přípravku jsou např. zdvojené, avšak ne všechny rozměry jsou stejné, a to především z důvodu zajištění nároků na variabilitu přípravku. Dalším přínosem vzniklým během tvorby návrhu je jednoduchá, ale velmi důležitá spojka dolní a horní hřídele. Pomocí tvarového styku spodní a horní hřídele zajištěného přesuvkou, je zaručeno přenášení otáčivého pohybu kliky z horní hřídele na spodní hřídel. Díky spodní hřídeli, na které je vyřezán závit, je zajištěn svislý pohyb kliky během otáčení.

Záležitostí, která by mohla být více prozkoumána, je zajištění šroubového pohybu jinak než pomocí závitu, případně s jeho využitím, ale odstraněním zpětného otáčení kliky po výrobě každé pružiny zpět do výchozí polohy.

Závěrem lze konstatovat, že se podařilo navrhnout velice variabilní, a podle výpočtů i provedeného experimentu funkční, ohýbací přípravek, při jehož výrobě byly užity převážně obráběcí metody. Čtyři dílce je nutné vyrobít pomocí technologie laseru a dva dílce je nutné po obrobení dotvořit ohybem. Během výroby dané série pružin je díky takto navrženému přípravku zaručená výroba stejných pružin.



---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BERNAT, Petr. *Anatomie varhan* [online]. 2003 [cit. 2024-03-27]. Dostupné z: <http://www.anatomie-varhan.cz/texty/varhany/anatomie/anatomie.htm>
  2. BĚLSKÝ, Vratislav. *Nauka o varhanách pro 2. a 5. ročník konzervatoře: stud. zaměření Hra na klávesové nástroje*. Praha: Supraphon, 1982, 174 s.
  3. MICHEK, Dalibor. *Re: Foto varhan, traktura* [e-mailová komunikace]. 25. března 2024 19:48 [cit. 2024-03-25].
  4. MICHEK, Dalibor. *Re: Foto Bozkov* [e-mailová komunikace]. 29. března 2024 17:25 [cit. 2024-03-29].
  5. *CNC Obrábění*. Online. OPETECH S. R. O. OpeTech. [2014]. Dostupné z: <https://www.opetech.cz/cnc-obrabeni-frezovani-kovu-plastu-a-svarencu/>. [cit. 2024-04-03].
  6. *3D tisk kovových materiálů*. Online. STROJIRENSTVI.CZ. C2013-2024. Dostupné z: <https://www.strojirenstvi.cz/3d-tisk-kovovych-materialu/>. [cit. 2024-04-03].
  7. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
  8. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění – 1. část*. Online. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf). [cit. 2022-04-04].
  9. CHLADIL, Josef. *Přípravky a nástroje: Část - obrábění*. Třetí. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. ISBN 80-214-0408-6.
  10. *Nová koncepce tepelného upínání nástrojů*. Online. *MM Průmyslové spektrum*. 2004, č. 5, article 40541. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nova-koncepce-tepelneho-upinani-nastroju>. [cit. 2024-04-05].
  11. FISCHER, Ulrich; MICHŇOVÁ, Iva a MICHŇA, Zdeněk. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles, 2004. ISBN 80-86706-09-5.
  12. MARKAGRO S. R. O. *Upínací šroub m4 x 8 mm*. Online. ARCIMPEX. Dostupné z: <https://eshop.markagro.cz/prislusenstvi/3444-upinaci-sroub-m4-x-8-mm.html>. [cit. 2024-4-18].
  13. *Soustružení*. Online. Ostrava: SPŠ Zengrova. Dostupné z: [https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT2-9\\_soustruzeni\\_RAJ.pdf](https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT2-9_soustruzeni_RAJ.pdf). [cit. 2024-04-18].
  14. HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění – 2. část*. Online. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2004. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI\\_TO-2cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf). [cit. 2024-04-19].
  15. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
  16. *Ohýbání*. Online. In: Petr Klobás kovovýroba. [1998]. Dostupné z: <https://www.kovo-klobas.cz/ohybani/>. [cit. 2024-04-25].
  17. *Ohýbání drátu*. Online. In: Etma metal parts. © 2024. Dostupné z: <https://etmametalparts.com/cs/10-integrovaných-procesu/ohybani-dratu/>. [cit. 2024-04-25].
  18. *Ohýbání*. Online. In: Kovovýroba Smejkal. © 2019. Dostupné z: <https://www.kovosmejkal.cz/ohybani>. [cit. 2024-04-25].
-

- 
19. LENFELD, Petr. *Technologie plošného tváření - ohýbání*. Online. TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI FAKULTA STROJNÍ. Technologie II. [21. století]. Dostupné z: [https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm). [cit. 2024-04-25].
  20. DORAZIL, Eduard a HRSTKA, Jan. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy*. Druhé. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1988.
  21. *Povrchové úpravy materiálů*. Online. Brno: Masarykova univerzita, 2016. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/ped/podzim2016/UOPK\\_2007/um/Povrchove\\_upravy\\_materialu.pdf](https://is.muni.cz/el/ped/podzim2016/UOPK_2007/um/Povrchove_upravy_materialu.pdf). [cit. 2024-04-26].
  22. PAVLÍK, Zdeněk. *Učební text pro obor Malíř a lakýrník 2. ročník*. Online. Střední škola polytechnická, Brno, Jílová 36g, 2009. ISBN 978-80-88058-47-2. Dostupné z: <https://publi.cz/books/166/13.html>. [cit. 2024-04-26].
  23. *Natírání kovů má svoje pravidla. Víte jaká?* Online. In: Český kutil. 2022. Dostupné z: <https://ceskykutil.cz/clanek-297441-natirani-kovu-ma-svoje-pravidla-vite-jaka>. [cit. 2024-04-26].
  24. *Jak natírat kov? Dejte si pozor na....* Online. In: Dům barev. © 2020. Dostupné z: <https://www.dumbarev.cz/blog/jak-natirat-kov>. [cit. 2024-04-26].
  25. *X5CrNi18-10*. Online. BOHDAN BOLZANO, S. R. O. Bohdan Bolzano. ©2020. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozivzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozivzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke#>. [cit. 2024-04-27].
  26. GNEE (TIANJIN) MULTINATIONAL TRADE CO, LTD. *AISI 304 (1.4301) Nerezová ocel*. Online. [GNEE]. [2007]. Dostupné z: <https://cz.coldrolledsteels.com/stainless-steel/aisi-304-1-4301-stainless-steel.html>. [cit. 2024-04-27].
  27. ŘIHÁČEK, Jan. *Re: Dotaz na hodnoty n a K* [e-mailová komunikace]. 30. dubna 2024 10:53 [cit. 2024-04-30].
  28. SAMEK, Radko; ŠMEHLÍKOVÁ, Eva a LIDMILA, Zdeněk. *Speciální technologie tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4220-7.
  29. LEINVEBER, Jan a VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-736-1033-7.
  30. ČSN EN 1005-3+A1, *Bezpečnost strojních zařízení – Fyzická výkonnost člověka – Část 3: Doporučené mezní síly pro obsluhu strojních zařízení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 40 s.
  31. FERONA A. S. *ONLINE FERONA*. Online. © 2017. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/>. [cit. 2024-05-03].
  32. SVOBODA, Pavel a BRANDEJS, Jan. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vydání šesté, přepracované a doplněné. Brno: CERM, akademické nakladatelství, 2019. ISBN 978-80-7623-010-1.
  33. WÜRTH, SPOL. S R. O. *Zápusťné šrouby s šestihrannou hlavou ISO 10642, ocel 8,8, pozinkovaná, modře pasivovaná (A2K)*. Online. WÜRTH. ©2023. Dostupné z: <https://eshop.wuerth.cz/Kategorie-produktu/DIN-7991-ISO-10642-ocel-08-8-pozinkovana/31463511120104.cyid/3146.cgid/cs/CZ/CZK/>. [cit. 2024-05-05].
  34. *Rukojeť ELESA+GANTER otočná dvoustupňová I.621/80+x-M8 (80x24)*. Online. Mateza. ©1991–2024. Dostupné z: <https://www.mateza.cz/e-shop/ovladaci-prvky-rukojet-otocna-dvoustupnova-i-621-80-x-m8-80x24#ke-stazeni>. [cit. 2024-05-20].
  35. *Citace PRO*. Online. Brno: Citace.com, © 2015–2024. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/info>. [cit. 2024-05-24].
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
D	modul zpevnění	[MPa]
$D_f$	průměr nástroje u frézování	[mm]
$D_s$	průměr obrobku u soustružení	[mm]
$D_v$	průměr vrtáku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[GPa]
d	průměr kruhového průřezu u ohybu	[mm]
$F_B$	doporučená maximální síla pro ruku při ruční práci	[N]
$F_R$	síla vyvinutá rukou	[N]
$F_{Tvn}$	vnitřní tahová síla	[N]
f	posuv na otáčku (soustružení)	[mm]
$f_c$	součinitel smykového tření dle Coulomba	[-]
$f_z$	posuv na zub	[mm]
$J_k$	kvadratický moment kruhového průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
K	materiálová konstanta	[MPa]
$L_O$	délka oblouku ohnuté části pružiny	[mm]
$l_1$ ,	délka zahnuté části ramene pružiny	[mm]
$l_2$	délka ramene pružiny	[mm]
$l_{1kl}$	délka kratší hladké části kličky	[mm]
$l_{2kl}$	délka delší části kličky se závitem	[mm]
$l_c$	celková délka polotovaru pružiny	[mm]
$l_{ckl}$	celková délka polotovaru kličky	[mm]
$l_{o1}$	délka oblouku u zahnutého konce ramene pružiny	[mm]
$l_{o2}$	délka oblouku - překrývající se část dvou závitů	[mm]
$l_{o3}$	délka jednoho závitu	[mm]
$M_C$	Celkový ohybový moment	[N·mm]
$M_F$	moment od vnitřní tahové síly	[N·mm]
$M_O$	ohybový moment	[N·mm]
$M_{od}$	odpružující moment	[N·mm]
n	exponent deformačního zpevnění	[-]
$n_f$	otáčky nástroje u frézování	[min <sup>-1</sup> ]
$n_s$	otáčky obrobku u soustružení	[min <sup>-1</sup> ]
$n_v$	otáčky vrtáku	[min <sup>-1</sup> ]
$R_e$	mez kluzu materiálu	[MPa]
$R_{max}$	maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_o$	poloměr ohybu	[mm]
$R_{o1}$	poloměr ohybu zahnutého konce pružiny	[mm]
$R_{o2}$	poloměr ohybu závitu pružiny	[mm]
$R_{okl}$	poloměr ohybu kličky	[mm]
$R_{opř}$	poloměr ohybu na přípravku	[mm]
$R_{zb}$	zbytkový poloměr	[mm]
$S_M$	lineární (statický) moment průřezu	[mm <sup>3</sup> ]
$\Delta s$	ztenčení plechu při ohybu	[mm]
s	tloušťka ohýbaného materiálu	[mm]
$s_1$	tloušťka ohýbaného materiálu po ohnutí	[mm]
$v_c$	řezná rychlost	[m·min <sup>-1</sup> ]

---

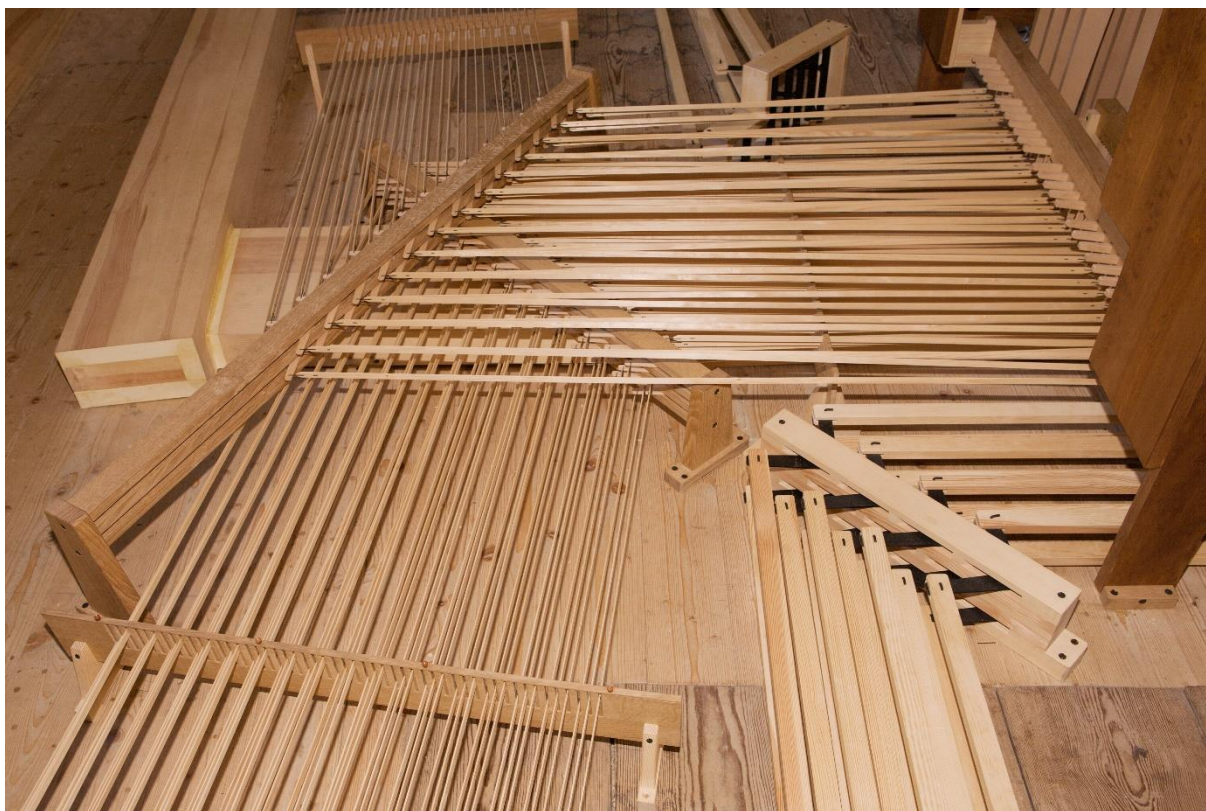
Označení	Legenda	Jednotka
$v_e$	efektivní výsledný pohyb	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
$v_f$	posuvová rychlost	$[\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$
$x$	součinitel vyjadřující posun neutrální plochy	[-]
$z_r$	součinitel rozšíření původního průřezu při ohýbání	[-]
$z_z$	součinitel ztenčení plechu při ohýbání	[-]
$\alpha$	úhel ohybu	$[\text{°}]$
$\alpha_{\text{odpr}}$	úhel mezi rameny po odpružení	$[\text{°}]$
$\gamma$	úhel ohnutého úseku	$[\text{°}]$
$\varepsilon_c$	mezní prodloužení	[-]
$\rho$	poloměr neutrální plochy	[mm]
$\rho_1$	poloměr neutrální osy pro zahnutý konec pružiny	[mm]
$\rho_2$	poloměr neutrální osy pro závit pružiny	[mm]
$\sigma_{ke}$	extrapolovaná mez kluzu	[MPa]

---

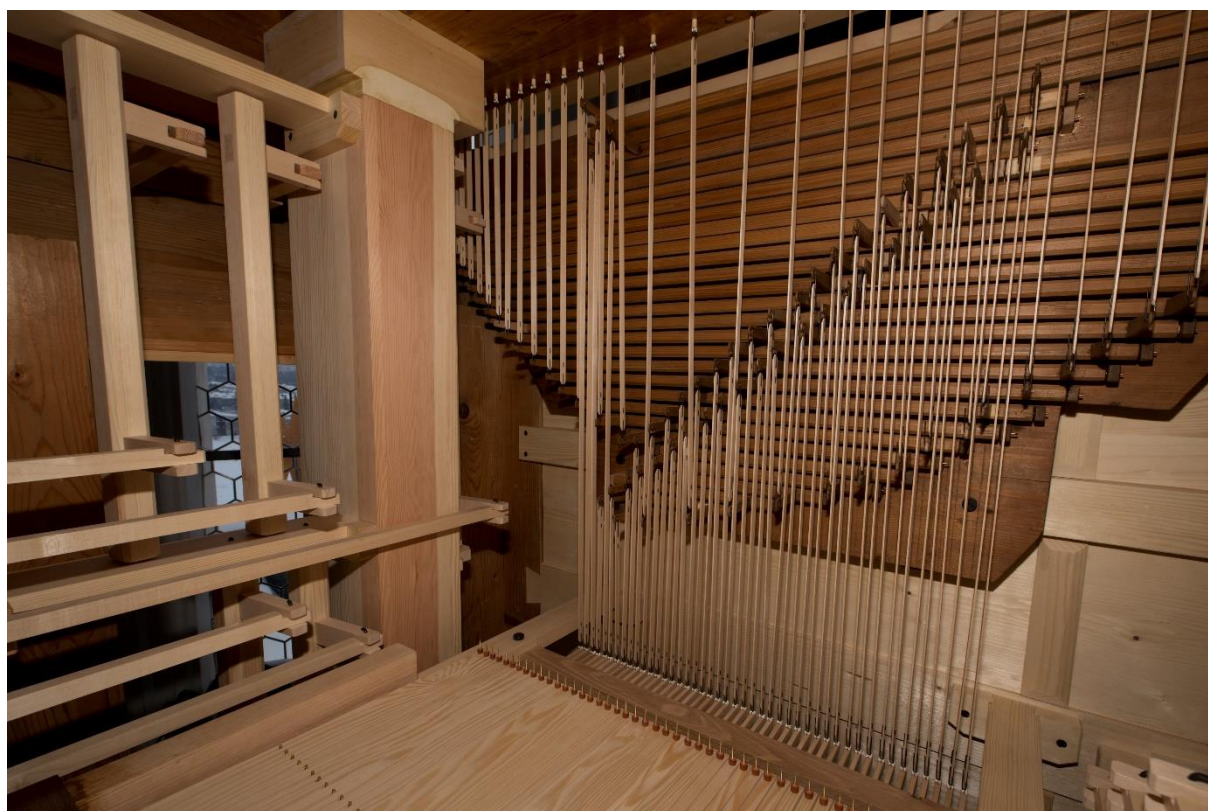
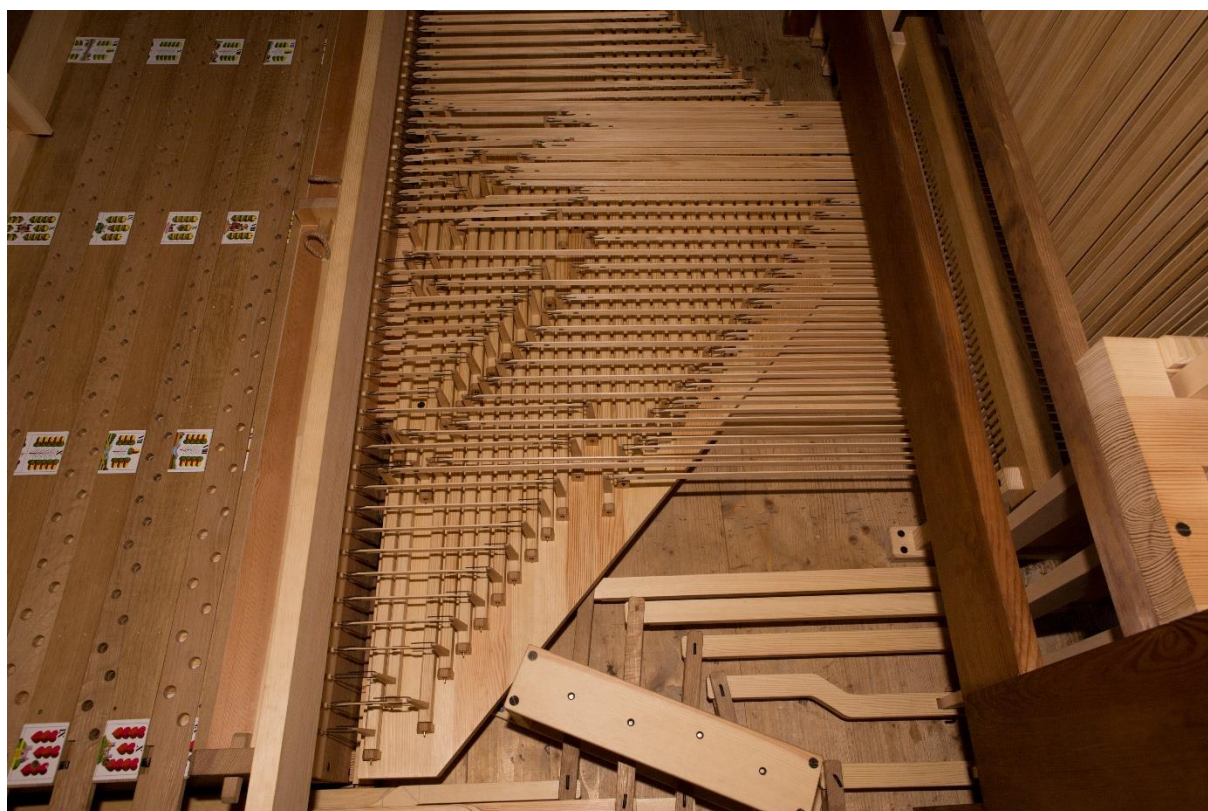
## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Další případy mechanické traktury
  - Příloha 2 Materiálový list X5CrNi18-10 (1.4301) austenitická korozivzdorná ocel
  - Příloha 3 Rukojeť ELESA+GANTER otočná dvoustupňová I.621/80+x-M8 (80x24)
  - Příloha 4 Materiálový model a další vstupní hodnoty pro simulaci
  - Příloha 5 Výstupy simulace – plastická deformace
  - Příloha 6 Výstupy simulace – efektivní napětí
-

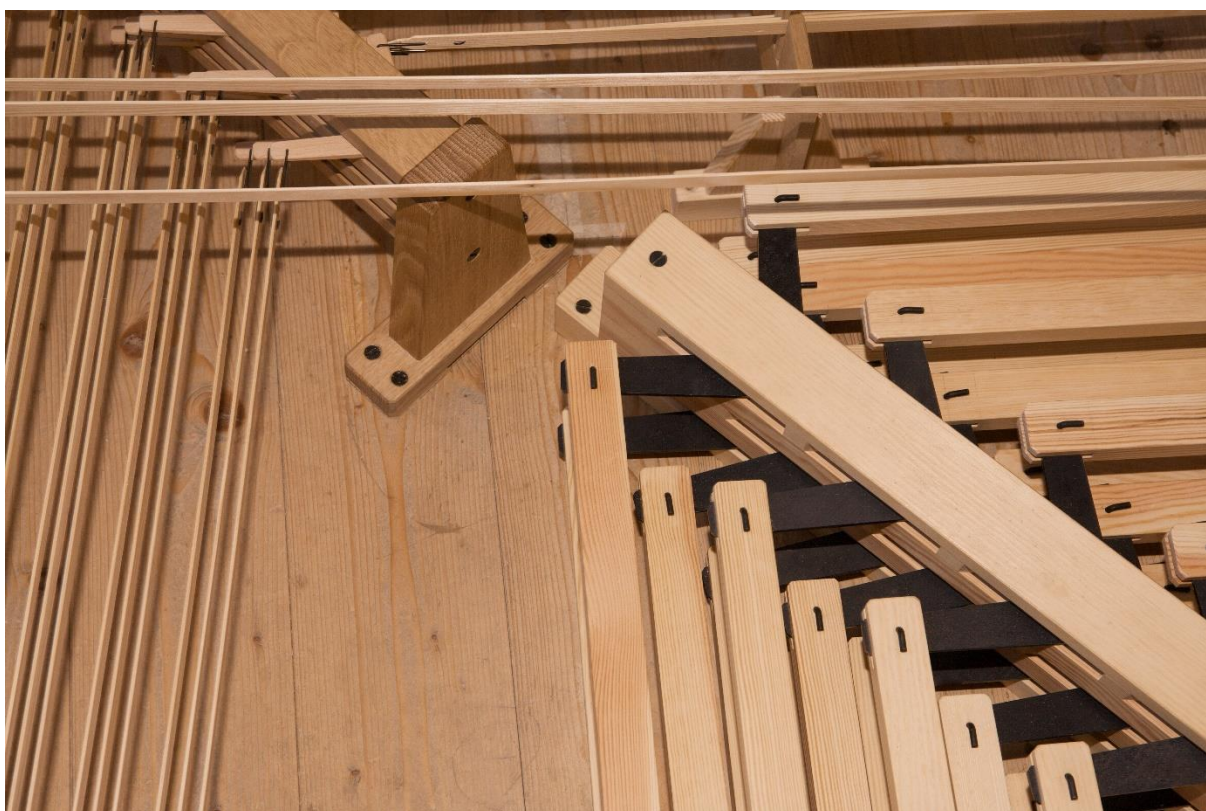
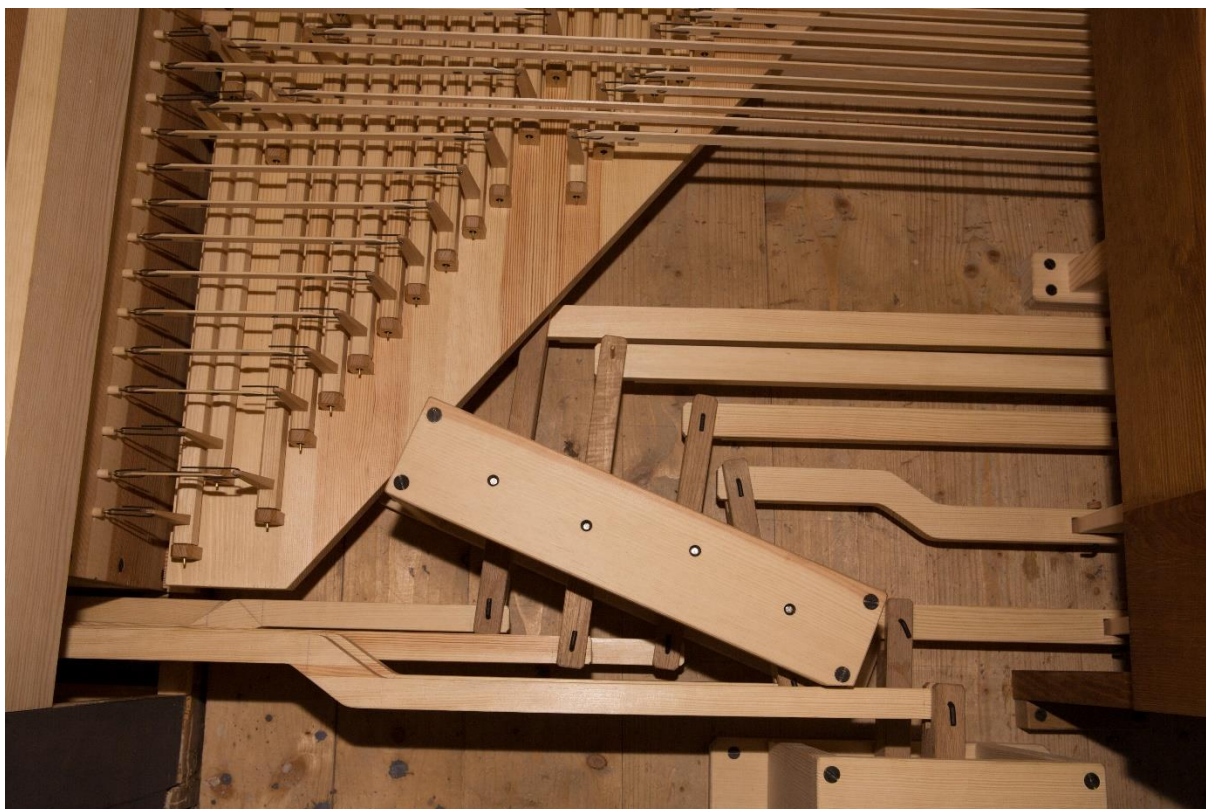
Další případy mechanické traktury [3]



Další případy mechanické traktury [3]



Další případy mechanické traktury - detaily [3]





## Materiálový list X5CrNi18-10 (1.4301) austenitická korozivzdorná ocel [25]

<b>X5CrNi18-10</b>																				
Druh oceli	Austenitická korozivzdorná ocel.																			
TDP	EN 10088-3 (polotovary, tyče, válcovaný drát, profily), EN 10088-2 (plechy a pásy), DIN 17455 (trubky kruhové svařované), DIN 17456 (trubky kruhové bezešvé) – pro všeobecné použití. DIN 17 440 (tažený drát).																			
Označení	EN 10088, DIN 17455, 17456, 17440	AISI (USA)			JIS (Japan)		ČSN													
	X5CrNi18-10 (1. 4301)	304			SUS 304		17 240													
Korozní odolnost	Ocel velmi dobře odolává : atmosferické korozi v ne příliš znečištěném venkovním prostředí, pitné vodě, zředěné kyselině dusičné a některým organickým kyselinám. Ocel dobře odolává produktům potravinářského průmyslu, jako jsou např. ovocné šťávy, mléčné výrobky, pivo a další. Sniženou odolnost vykazuje vůči vinu, resp. vinnému moštu. V prostředí halogenidů může dojít k napadení bodovou korozi. Ve stavu po rozpouštěcím žihání bez následného zcitlivění odolává též mezikystalové korozi. Ke zcitlivění a vzniku náchylnosti k mezikystalové korozi může dojít, je-li ocel vystavena po určitou dobu teplotám v rozmezí 500 až 900°C.																			
Chemické složení tabvy v % hmot. podle EN 10088, DIN 17455, 17456 a DIN 17 440.	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni												
	<= 0.07	<= 1.00	<= 2.00	max. 0.045	max. 0.030	<= 0.11	17,00-19,50	8,00 – 10,50												
1) Pro EN 10088-2, DIN 17455 a DIN 17456 je S <= 0.015 % . Pro výrobky určené k obrábění je dovolen obsah S 0,015 – 0,030% .																				
Dovolené úchytky chem. složení v hotovém výrobku v % hmot.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N												
	C<= 0.03 C> 0.03	+0.005 +0.01	+ 0,05	<= 1.0 +0.03 > 1.0 +0.04	+ 0,005	S <= 0.015 + 0.03 S > 0.015 + 0.05	+0.20	<= 10.0 +0.10 > 10.0 +0.15	+0.01											
Mechanické vlastnosti pro polotovary, tyče, válcovaný drát a profily při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-3	Tloušťka (d) mm	Tvrdost HB max. inf. 1)	Rp0,2 min. MPa		Rp 1,0 min. MPa		Rm MPa 1)	A % min. 1)		Vrubová houž. (ISO-V) KV J min.										
			L	Q	L	Q		L	Q											
	d <= 160	215	190	225	500 až 700	45	-	100	-											
	160 < d <= 250	215	190	225	500 až 700	-	35	-	60											
L – podélný směr zkoušení, Q – příčný směr zkoušení. 1) pro za studena tažené profily a tyče tloušťky <= 35 mm se může maximální hodnota tvrdosti zvýšit o 100 jednotek a pevnost o 200 MPa. Minimální hodnota prodloužení (A) se v tomto případě sniž i na 20%. Pro válcovaný drát platí pouze hodnoty pevnosti.																				
Minimální hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 při vyšších teplotách pro stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-3.	Rp0,2 v MPa při teplotách ve ° C										Rp1,0 v MPa při teplotách ve ° C									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
	155	140	127	118	110	104	98	95	92	90	190	170	155	145	135	129	125	122	120	120
Mechanické vlastnosti při 20°C po zpevnění za studena (např. po tažení) podle EN 10088-3.	Označení třídy pevnosti		Rp0,2 min. MPa				Rm MPa				Prodloužení A % min.									
	C700 (do průměru 25 mm)		350				700 až 850				20									
	C800 (do průměru 35 mm)		500				800 až 1000				12									

## Materiálový list X5CrNi18-10 (1.4301) austenitická korozivzdorná ocel [25]

<b>Mechanické vlastnosti pro plechy a pásy při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-2.</b>	Výrobek	Tloušťka d min. mm	Rp0,2 min. MPa Q	Rp1,0 min. MPa Q	Rm MPa	A <sub>80mm</sub> % tl. < 3 mm min. Q	A % tl. >= 3 mm min. Q	Vrubová houževnatost (ISO-V) KV J min. tl. > 10 mm												
	1)		2)	2)		3)	4)	L	Q											
	C	6	230	260	540 až 750	45 5)	45 5)	-	-											
	H	12	210	250	520 až 720	45 5)	45 5)	90	60											
P	75	210	250	500 až 700	45	45	90	60												
<p>1) C – za studena válcovaný pás, H – za tepla válcovaný pás, P – za tepla válcovaný plech.  2) Q – příčný směr zkoušení. Jsou-li u pásu šířky &lt; 300 mm odebírány zkušební vzorky v podélném směru, snižují se hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 o 15 MPa a prodloužení pro konstantní měřenou délku o 5% a pro proporcionální měřenou délku o 2%. Pro výrobky kontinuálně válcované lze v objednávce dohodnout min. hodnotu Rp0,2 o 20 MPa vyšší a pro Rp1,0 o 10 MPa vyšší.  3) Hodnoty platí pro příčný směr zkoušení a vzorky měřené délky 80 mm a šířky 20 mm. Vzorky o měřené délce 50 mm a šířce 12,5 mm mohou být též použity.  4) Hodnoty platí pro příčný směr zkoušení a vzorky o měřené délce 5,65ÖS<sub>0</sub>. 5) Pro výrobky rovnané napínáním je hodnota o 5% nižší.</p>																				
<b>Minimální hodnoty Rp0,2 a Rp1,0 při vyšších teplotách pro stav po rozpouštěcím žihání podle EN 10088-2.</b>	Rp0,2 v MPa při teplotách ve °C										Rp1,0 v MPa při teplotách ve °C									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
	157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	191	172	157	145	135	129	125	122	120	120
<b>Mechanické vlastnosti při 20°C ve stavu po rozpouštěcím žihání pro svařované trubky podle DIN 17 455 a bezešvé trubky podle DIN 17 456.</b>	Uvedené hodnoty platí pro tloušťku stěny do 50 mm.										Prodloužení A (L <sub>0</sub> = 5,65ÖS <sub>0</sub> ) % min 1)									
	Rp0,2 min. MPa		Rp1,0 min. MPa		Pevnost v tahu MPa		1)		V podélném směru		V příčném směru									
	195		230		500 až 720				40		35									
1) Pokud nejsou výrobky podle DIN 17455 dodávány ve stavu po rozpouštěcím žihání, může být horní hranice pevnosti překročena o 70 MPa a prodloužení o 5 jednotek podkročeno. Poznámka neplatí pro výrobky podle DIN 17456																				

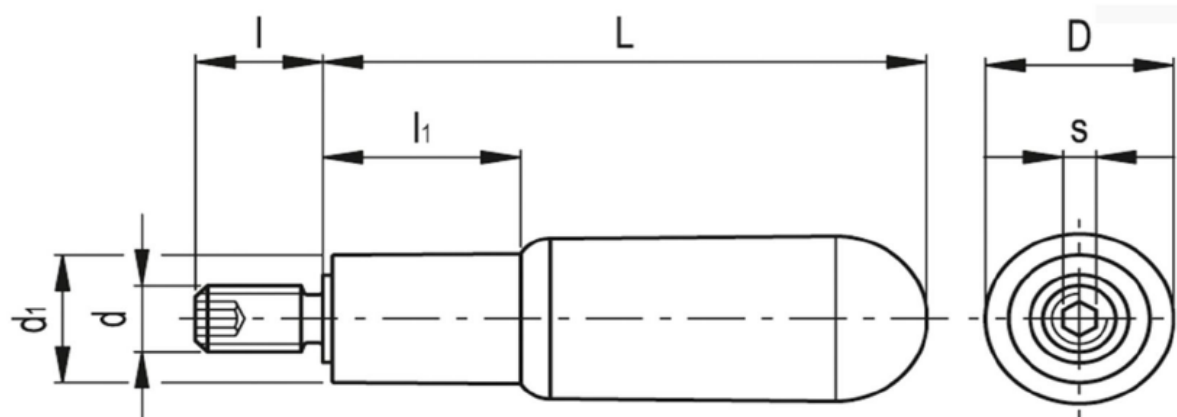
**Popis**

Otočná dvoustupňová rukojeť s typickým designovým prvkem, kterým je její stupňovitý tvar, sestávající ze dvou válců.

Toto tvarové provedení umožňuje obsluhu lepší uchopení rukojeti.

Vyrobena z technopolymeru (Polyamid PA), který odolává teplotám až 90 °C. Barva černá, matný povrch.

Šroub s vnitřním šestihranem. pozinkováno.

**I.621/80+x-M8**

D	L	d	d1	l	l1	s
(mm)						
24	80	M8	19	15	27	4

Materiálový model a další vstupní hodnoty pro simulaci [27]

Temperature: °C Stress: N/mm<sup>2</sup>

Temperature range: Range 1 (20 - 600)°C Current equation: GMT Model: 1

Formula for GMT

$$\sigma_F = c_1 \cdot e^{(c_2 \cdot T)} \cdot \varphi^{(n_1 \cdot T + n_2)} \cdot e^{\left(\frac{l_1 \cdot T + l_2}{\dot{\varphi}}\right)} \cdot \dot{\varphi}^{(m_1 \cdot T + m_2)}$$

Name	Abbr.	Value	
Temperature min	T	20.0	°C
Temperature max	T	600.0	°C
Strain min	$\varphi$	0.05	-
Strain max	$\varphi$	0.8	-
Strain rate min	$\dot{\varphi}$	0.01	1/s
Strain rate max	$\dot{\varphi}$	63.0	1/s
Parameter 01	c1	1020.45	-
Parameter 02	c2	-0.000993253	-
Parameter 03	n1	8.91007e-05	-
Parameter 04	n2	0.0503077	-
Parameter 05	l1	4.41945e-05	-
Parameter 06	l2	-0.0295719	-
Parameter 07	m1	8.95034e-06	-
Parameter 08	m2	0.00228418	-

## GMT

## Formula

$$\sigma_F = c_1 \cdot e^{(c_2 \cdot T)} \cdot \varphi^{(n_1 \cdot T + n_2)} \cdot e^{\left(\frac{l_1 \cdot T + l_2}{\varphi}\right)} \cdot \dot{\varphi}^{(m_1 \cdot T + m_2)}$$

Edit parameters:



## Constants

Constant	Abbr.	Value		
Temperature min	T	20.0	°C	▼
Temperature max	T	1250.0	°C	▼
Strain min	$\varphi$	0.05	-	▼
Strain max	$\varphi$	2.0	-	▼
Strain rate min	$\dot{\varphi}$	0.01	1/s	▼
Strain rate max	$\dot{\varphi}$	225.0	1/s	▼

x-axis dimension:

Effective plastic strain ▼

 Specific curve (only for info)

Temperature:



635.0

°C



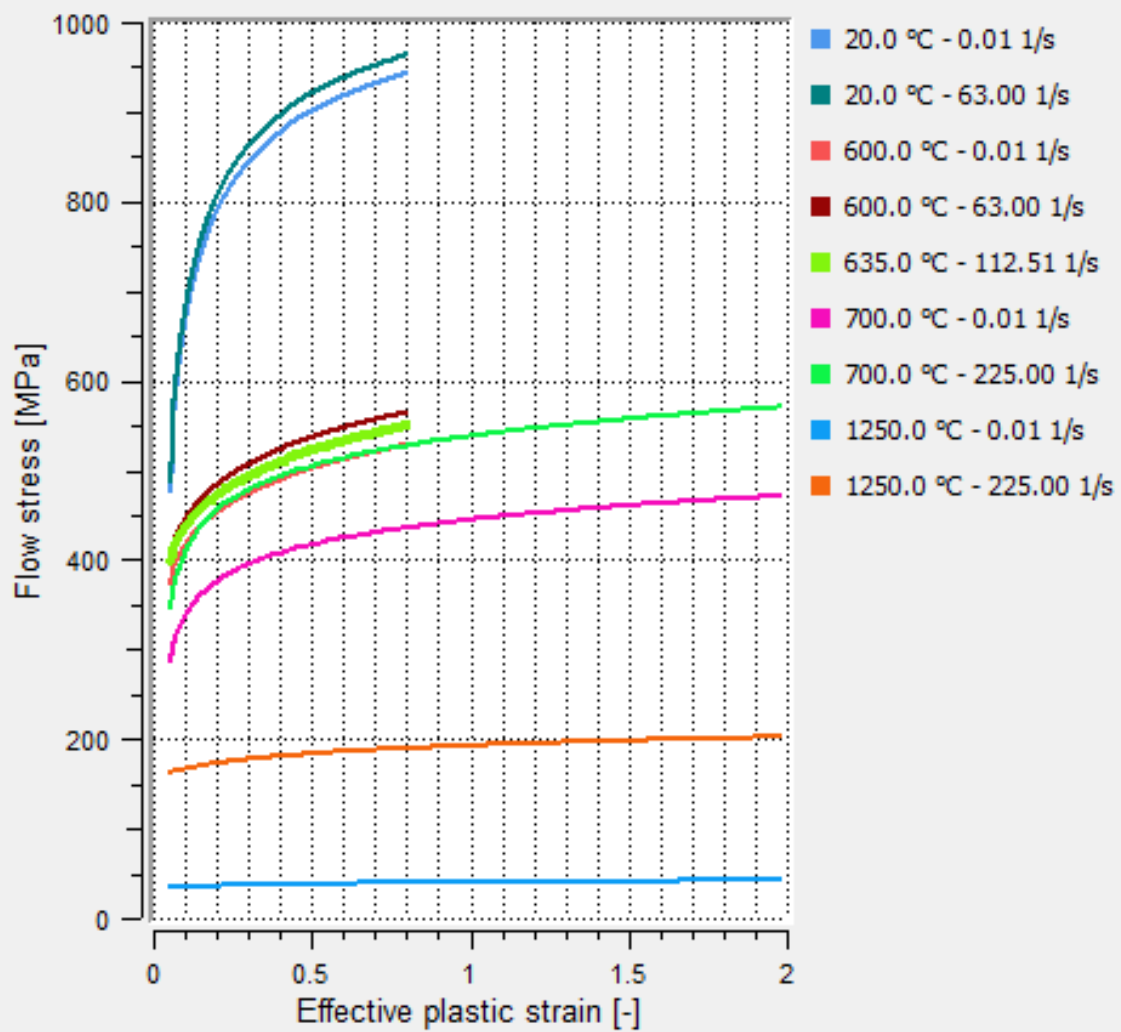
Strain rate:



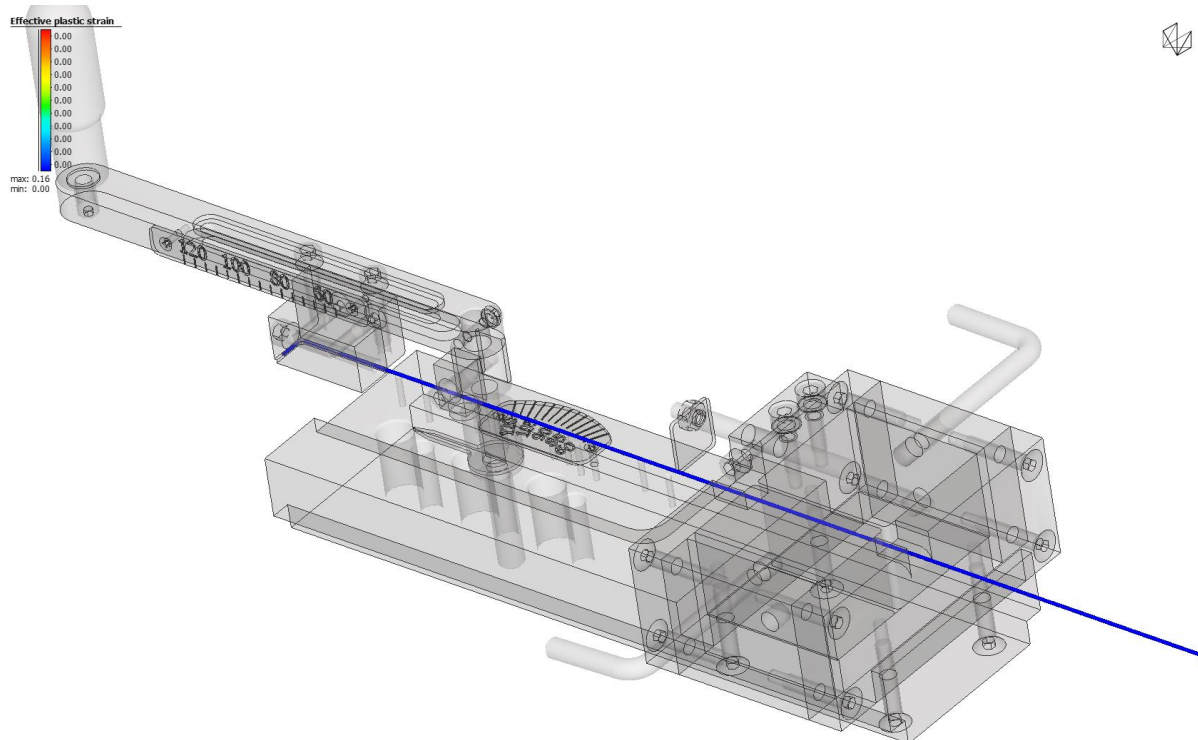
112.505

1/s

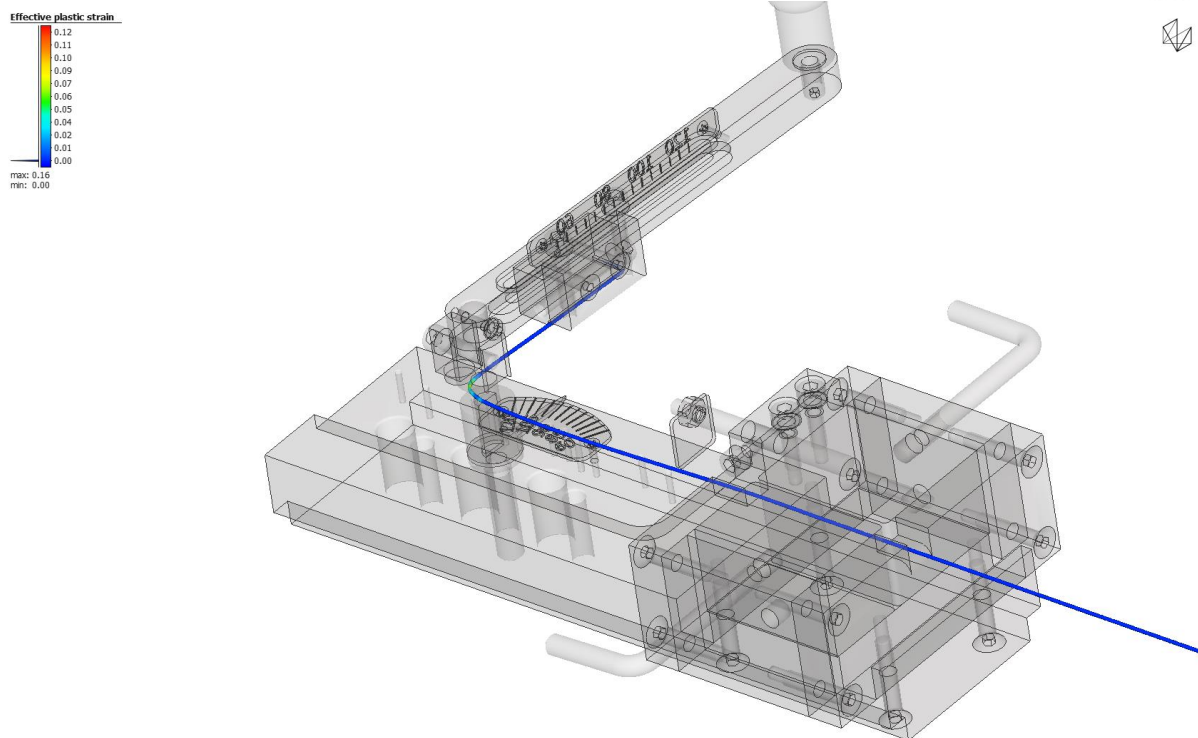




# Příloha 5 Výstupy simulace – plastická deformace



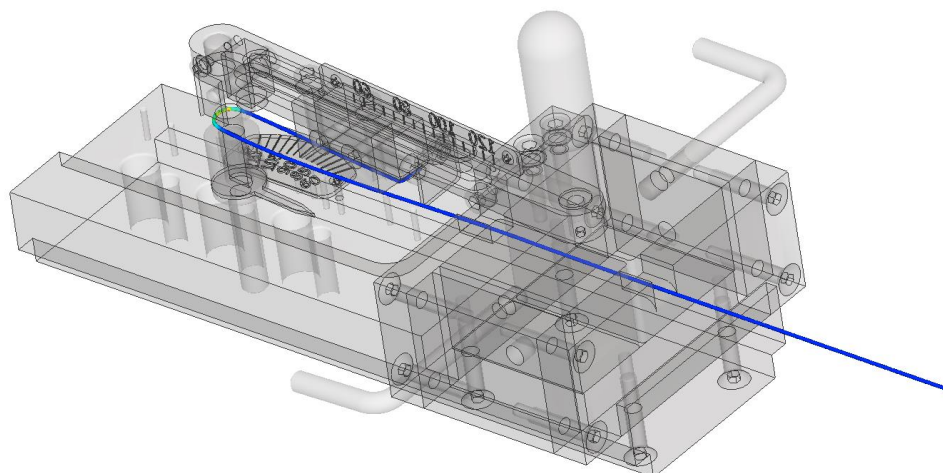
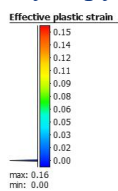
FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: FormingFe3D-3  
Increment: # 0



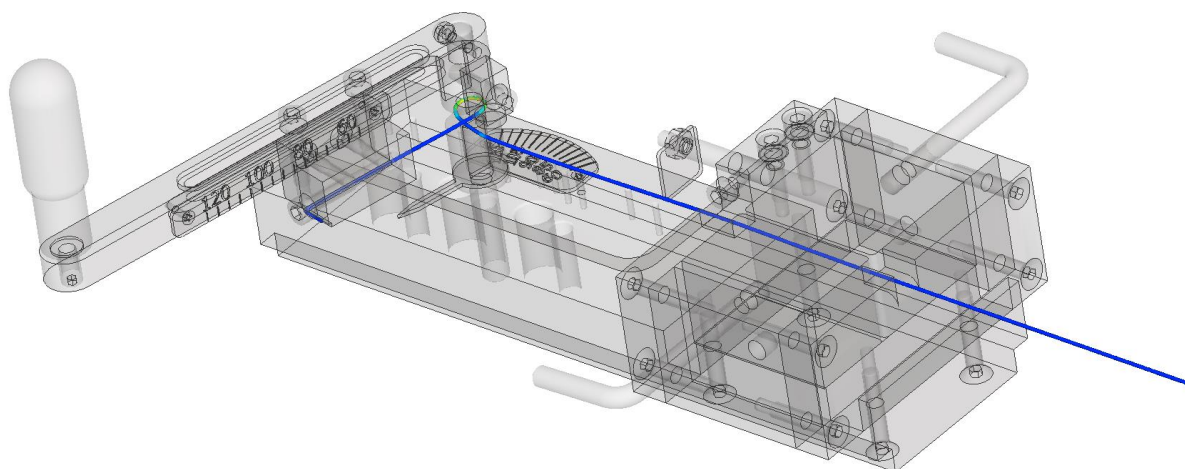
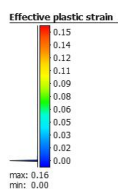
FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: tabpress  
Increment: # 1500



# Příloha 5 Výstupy simulace – plastická deformace



FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: tablepress  
Increment: # 3029



FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: tablepress  
Increment: # 4129

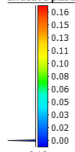




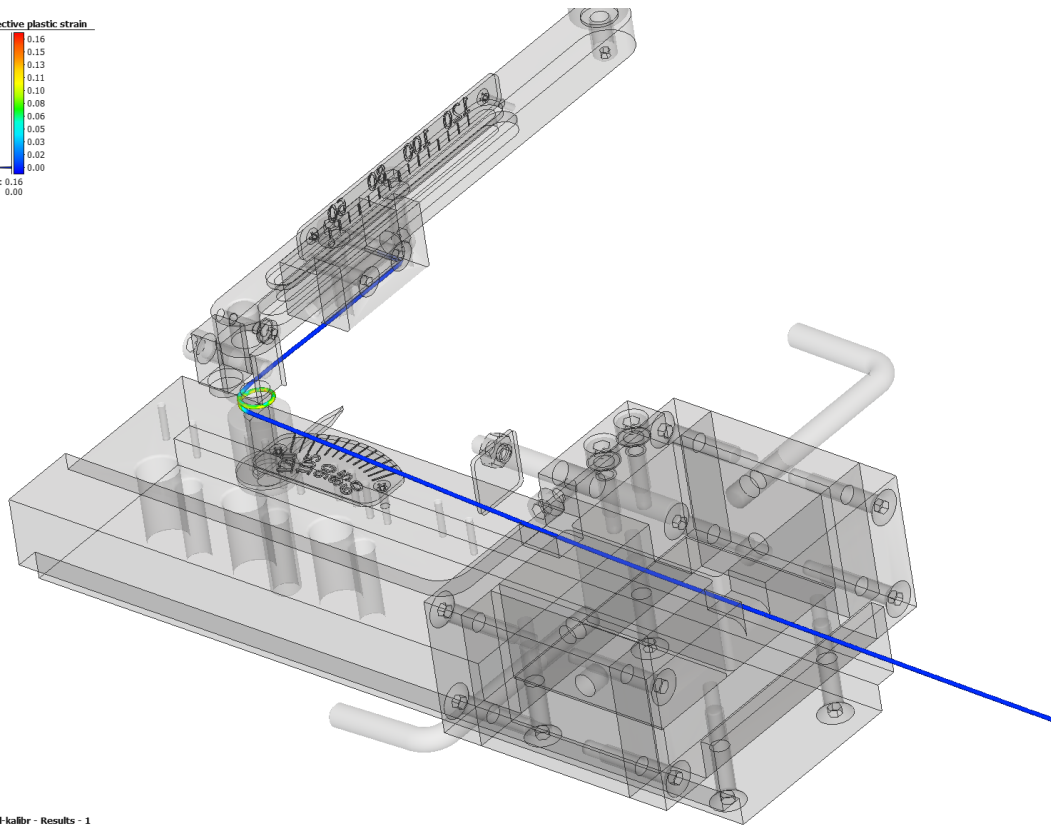
# Příloha 5

## Výstupy simulace – plastická deformace

Effective plastic strain



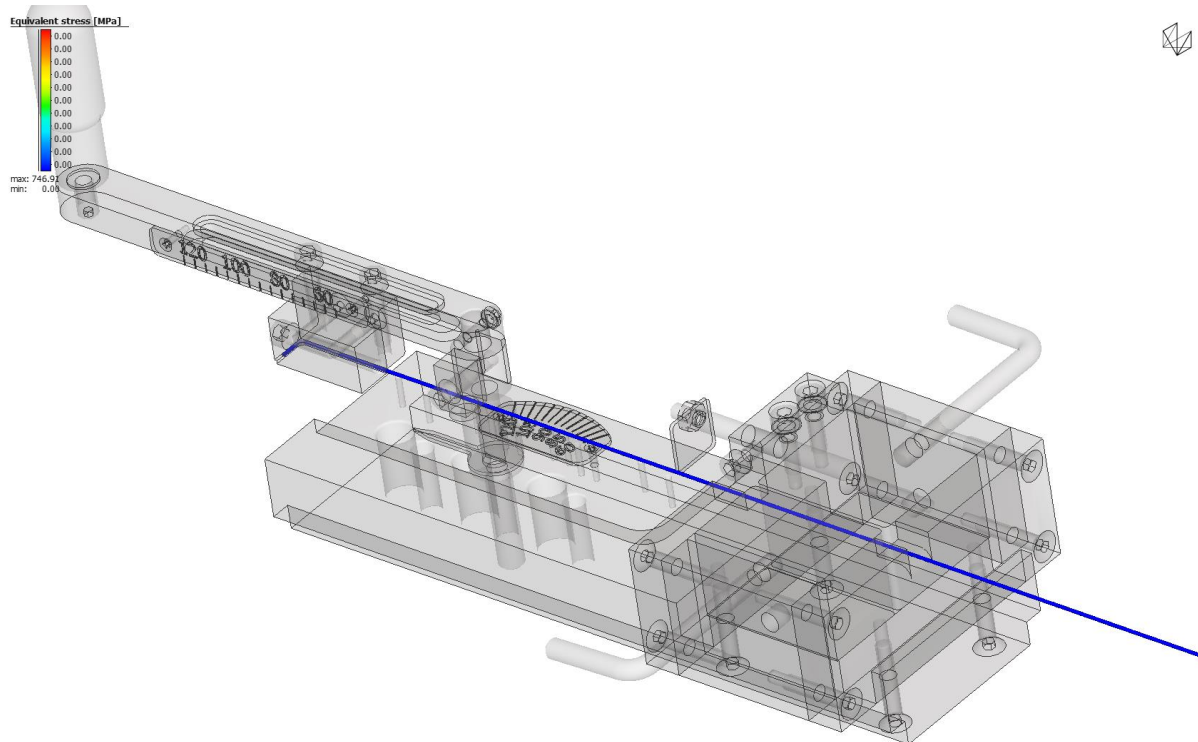
max: 0.16  
min: 0.00



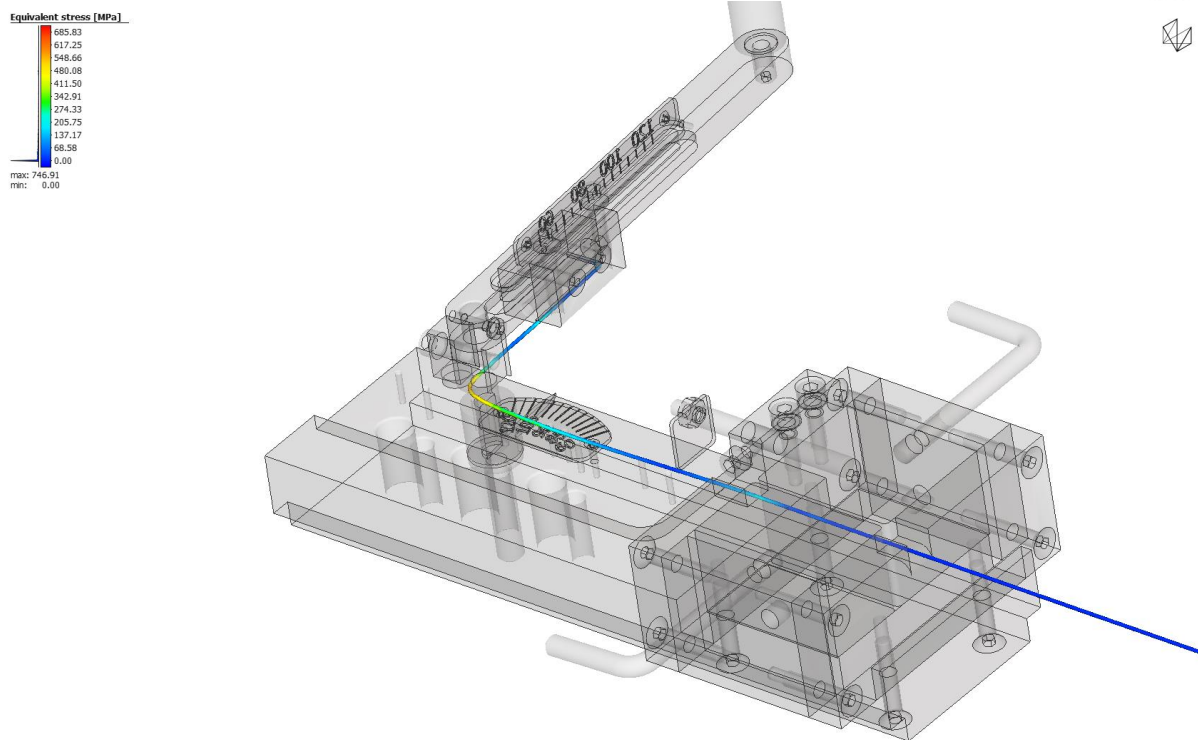
final kalibr - Results - 1  
Sub-stage: tablepress  
Increment: # 5



# Příloha 6 Výstupy simulace – efektivní napětí



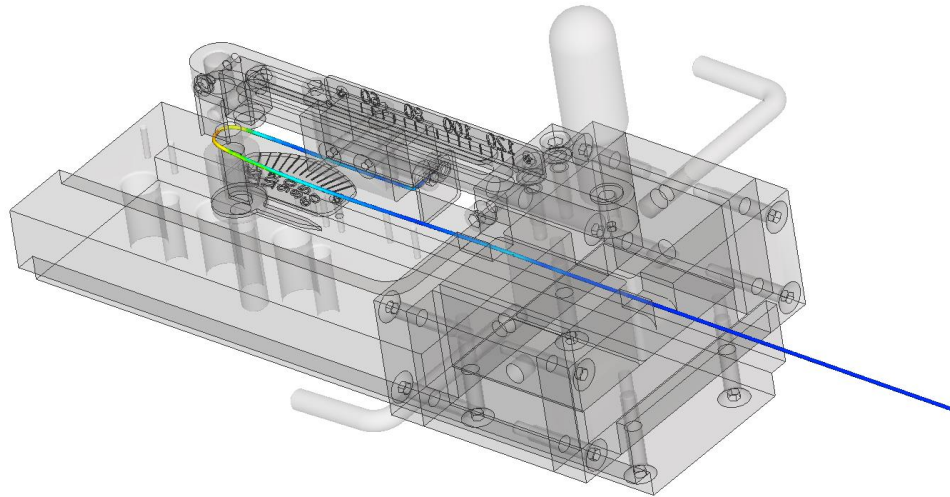
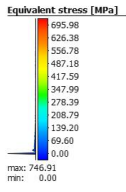
FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: FormingFe3D-3  
Increments: # 0



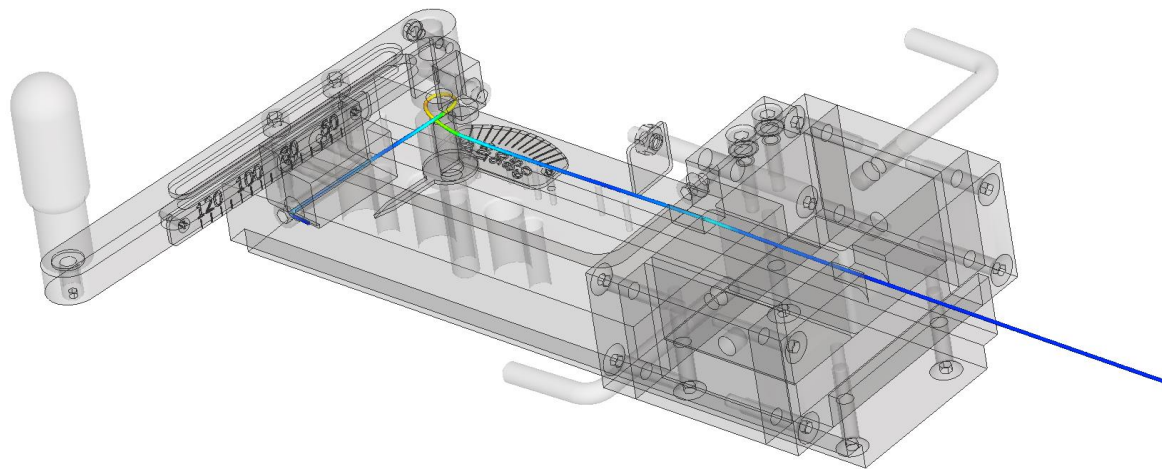
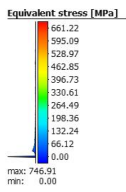
FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: tabrepress  
Increments: # 1441



# Příloha 6 Výstupy simulace – efektivní napětí



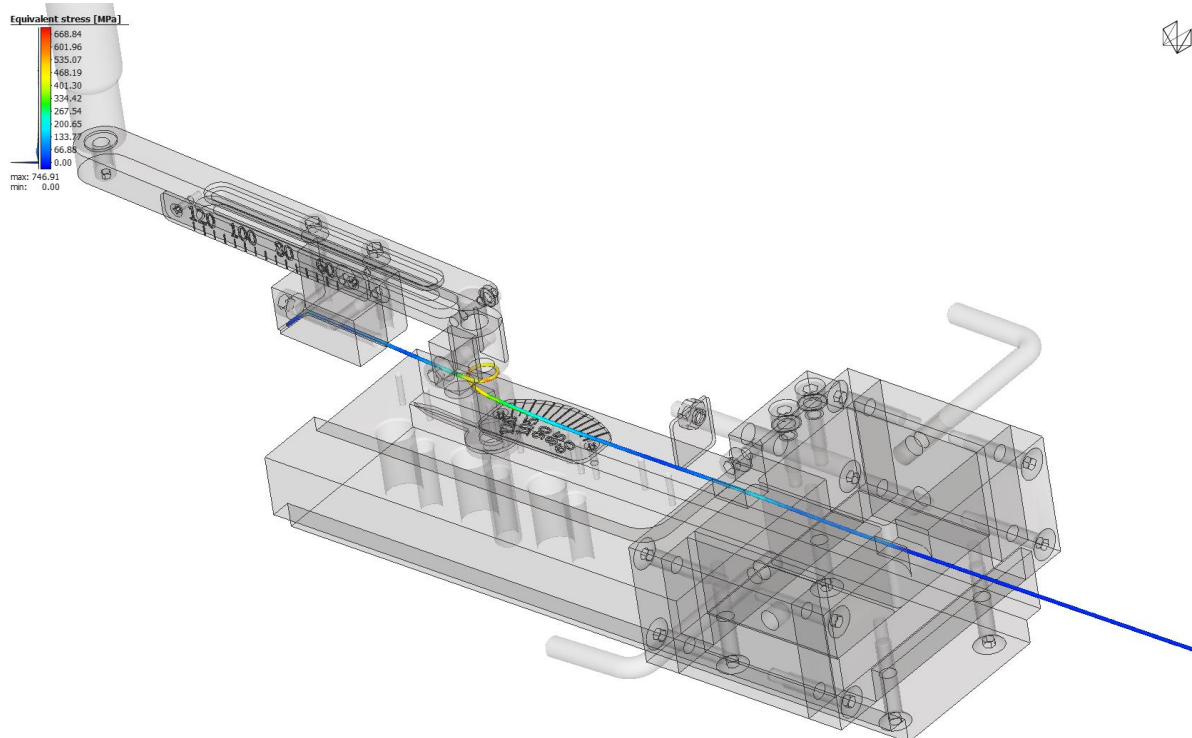
FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: tablepress  
Increment: # 2999



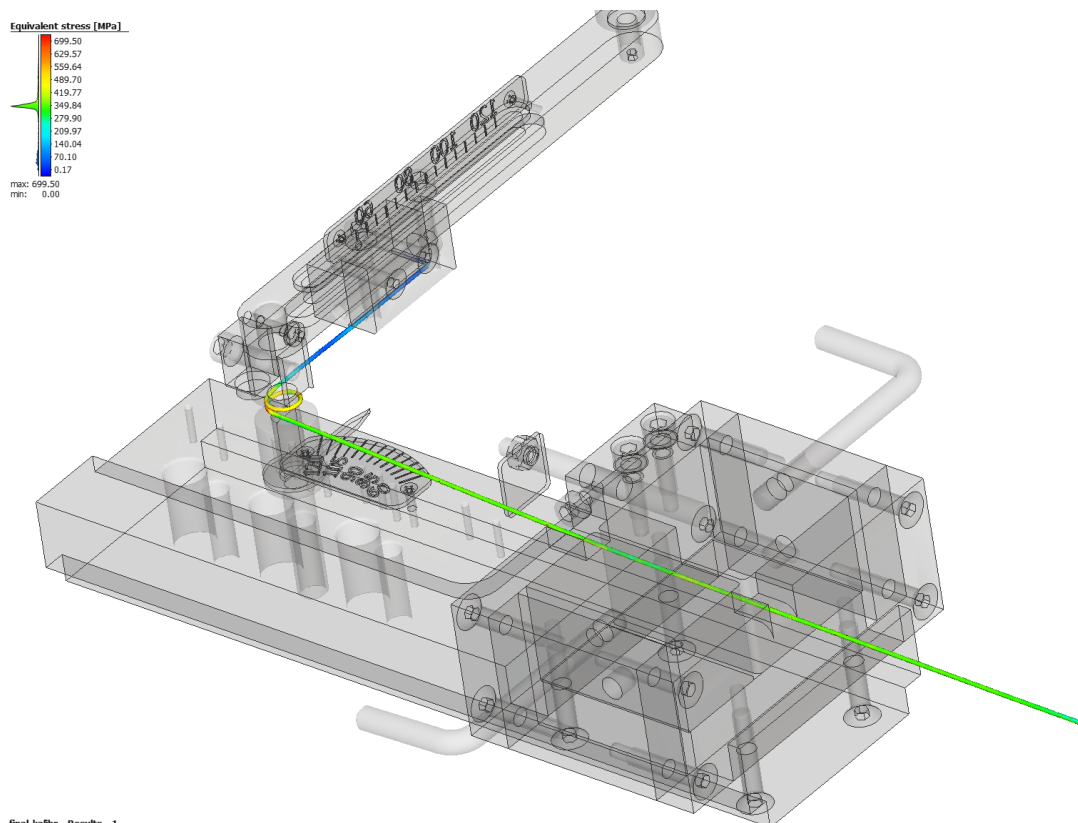
FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: tablepress  
Increment: # 4079



# Příloha 6 Výstupy simulace – efektivní napětí



FormingFe3D-3 - Results - 1  
Sub-stage: tablepress  
Increment: # 3039



final-kalibr - Results - 1  
Sub-stage: tablepress  
Increment: # 5  
zaklad3

