

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
**FAKULTA STROJNÍ**

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: Materiálové inženýrství a strojírenská  
metalurgie

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Návrh a ověření tvaru kovádky pro kování nerovnoměrného průřezu

Autor: **Žaneta DLOUHÁ**

Vedoucí práce: **Ing. Soňa Benešová Ph.D.**

Akademický rok 2017/2018

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne: .....

.....  
podpis autora

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	Příjmení Dlouhá	Jméno Žaneta		
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	B2301 Strojní inženýrství			
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	Příjmení (včetně titulů) Ing. Benešová, Ph.D.		Jméno Soňa	
<b>PRACOVISŤE</b>	ZČU - FST - KMM			
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	Nehodící se škrtněte	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Návrh a ověření tvaru kovadla pro kování nerovnoměrného průřezu			

<b>FAKULTA</b>	Strojní	<b>KATEDRA</b>	KMM	<b>ROK ODEVZD.</b>	2018
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

**POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)**

<b>CELKEM</b>	55	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	51	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	4
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;"><b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b></p> <p><b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b></p>	<p style="text-align: center;">Bakalářská práce je zaměřena na problematiku tváření rychlořezných nástrojových ocelí. Obsahuje návrhy dvou technologických postupů kování polotovaru pro sonotrodu a také výkresovou dokumentaci použitých kovadel.</p>
<p style="text-align: center;"><b>KLÍČOVÁ SLOVA</b></p> <p style="text-align: center;"><b>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</b></p>	<p style="text-align: center;">Technologie kování, rychlořezné nástrojové oceli, zápustkové kování, Autodesk Inventor, sonotrody, ultrazvukové svařování</p>

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	Surname Dlouhá	Name Žaneta	
<b>FIELD OF STUDY</b>	Mechanical Engineering		
<b>SUPERVISOR</b>	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Benešová, Ph.D.	Name Soňa	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KKS		
<b>TYPE OF WORK</b>	<del>DIPLOMA</del>	BACHELOR	Delete when not applicable
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Design of equipment used for forging unequal cross section		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Material Science and Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2018
----------------	------------------------	-------------------	---------------------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	55	<b>TEXT PART</b>	51	<b>GRAPHICAL PART</b>	4
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

<b>BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	This bachelor thesis is focused on forming tool steels. The thesis contains technological procedures of forging special tool used in ultrasonic welding. Another part of the work is drawing documentation of the used equipment.
<b>KEY WORDS</b>	forging technology, tool steel, die forging, Autodesk Inventor, sonotrode, ultrasonic welding

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Soně Benešové, Ph.D. a Ing. Davidu Bricínovi za odborné vedení, podnětné rady a zapůjčenou literaturu. Dále děkuji svým rodičům za jejich podporu během celého studia.

## Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratk .....	3
Úvod .....	4
1 Technologie kování .....	5
1.1 Rozdělení kování .....	5
1.1.1 Volné kování .....	5
1.1.2 Zápustkové kování .....	11
2 Nástroje pro kování .....	12
2.1 Zápustky .....	12
2.2 Kovářské nástroje a nářadí .....	16
2.2.1 Kovadla .....	16
2.2.2 Kovátka .....	16
2.2.3 Kovací trny .....	16
2.2.4 Strojní sekáčky .....	17
2.2.5 Průbojníky .....	17
2.2.6 Kalibrovací trny .....	17
2.3 Základní tvářecí stroje pro kování .....	18
2.3.1 Buchary .....	18
2.3.2 Lisy .....	20
3 Typy speciálních kovaných nástrojů pro obrábění a další aplikace .....	22
3.1 Soustružnické nože .....	24
3.2 Kopinaté vrtáky .....	25
4 Zpracování nástrojových rychlořezných ocelí .....	26
4.1 Nástrojové oceli .....	26
4.1.1 Chemické složení nástrojových ocelí .....	29
4.1.2 Tepelné zpracování nástrojových ocelí .....	30
4.2 Rychlořezné oceli .....	32
4.2.1 Kování nástrojových rychlořezných ocelí .....	33
5 Ověření kování polotovaru pro obráběcí nůž .....	35
5.2 Simulace kování nástrojové rychlořezné oceli .....	35
5.3 Simulace rozložení deformace uvnitř tělesa .....	37
6 Kování tyče s nestejným průřezem .....	39
6.1 Použitý materiál .....	39
6.2 Použitá zařízení a vybavení .....	41
6.3 Technologický postup kování tyče s nestejným průřezem .....	42
6.3.1 Výpočet úběrů u prvního kavadla .....	43
6.3.2 Výpočet úběrů u druhého kavadla .....	44

6.4 Použitý software .....	45
6.4.1 Konstrukce kovadel s kruhovými kalibry.....	45
7 Návrh kovadla eliptického průřezu .....	48
7.1 Použitá zařízení a vybavení .....	48
7.2 Technologický postup kování v kovadle eliptického průřezu .....	48
7.3 Úprava konstrukce eliptických kovadel.....	49
8 Vyhodnocení experimentálního programu.....	54
Závěr .....	54
Seznam použité literatury.....	55

## Seznam použitých symbolů a zkratk

$R_p 0,2$  – mez kluzu [MPa]

$R_m$  – mez pevnosti [MPa]

U – úběr [%]



## Úvod

Zadané téma bakalářské práce se zaměřuje především na problematiku objemového tváření, přesněji řečeno na kování polotovarů nerovnoměrného průřezu z nástrojových rychlořezných ocelí. Práce obsahuje základní popis technologie kování, charakteristiku a rozdělení. V dalších kapitolách se zabývá nástroji pro kování a obrábění. Závěr práce se věnuje nástrojovým rychlořezným ocelím, jejich rozdělení, chemickým složením, tepelným zpracováním a v neposlední řadě jejich problematikým tváření.

Experimentální část se pak primárně zabývá kováním tohoto typu ocelí a výrobou polotovarů pro obráběcí a jiné nástroje. Součástí práce je tvorba výkresové dokumentace jako podklad pro výrobu použitých kovadel. Praktická část dále úzce souvisí a spolupracuje s jinou, v dnešní době velmi moderní, technologií – tzv. ultrazvukovým svařováním. Tato spolupráce spočívá v navržení technologického postupu pro výrobu polotovaru pro nástroj používaný v ultrazvukovém svařování – sonotrodu.

# 1 Technologie kování

Pojmem kování se rozumí objemové tváření materiálu za tepla. Provádí se dvěma způsoby – úderem na buchuru, nebo působící silou s využitím lisu a konstantní rychlostí kovádkla. Cílem této technologie je především odstranění nestejnoroďé hrubozrnňé struktury, dosažení předepsaných mechanických vlastností a získání požadovaného tvaru výkovku.

Tvářením za tepla dendrity v lité struktuře mění svůj tvar – přecházejí ve vlákna. Tato vlákna musí kopírovat tvar součásti a nesmí být přerušovaná. [1]

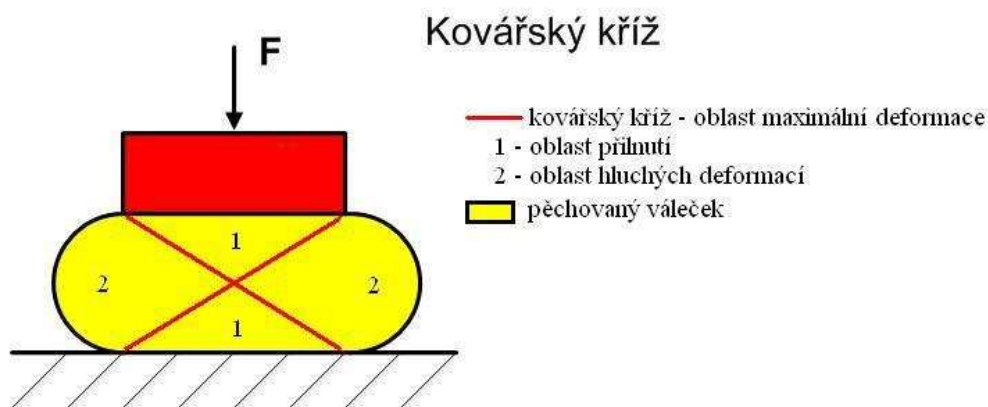
## 1.1 Rozdělení kování

Kování se rozděluje podle způsobu provedení. V případě použití jednoduchých nástrojů se jedná o volné kování. Jestliže se místo jednoduchých nástrojů kov zatlačuje do dutiny (tzv. zápustky), jedná se o zápustkové kování.

### 1.1.1 Volné kování

Volné kování se dále ještě rozděluje na ruční (v dnešní době méně významné) a strojní. Tato technologie je vhodná především pro rozměrné výkovky a kusovou výrobu, protože výroba zápustek je poměrně nákladná.

Výchozím materiálem jsou ingoty nebo předvalky. Při volném kování se využívá více tvářecích strojů, jako jsou například lisy a buchary. Buchary, na rozdíl od lisů, působí na materiál rázem. Povrch výkovku je navíc čistý, protože působením úderů odpadají okuje. Použitím lisů se na materiál působí statickou silou. Problémem volného kování je tření mezi materiálem a tvářecím nástrojem. V důsledku tření dochází k soudečkovitosti výkovku a rozdílnému stupni prokování v jednotlivých částech (z tohoto důvodu je nutné otáčení výkovku). Tento jev se nazývá kovářský kříž. [1]



Obr. 1 Kovářský kříž [1]

Pro volné kování se používají jednoduché nástroje, jako jsou horní a spodní kovádla. Tato kovádla mohou mít různý tvar (klínová, rovinná, válcová). Výsledného tvaru výkovku se dosahuje speciálním polohováním.

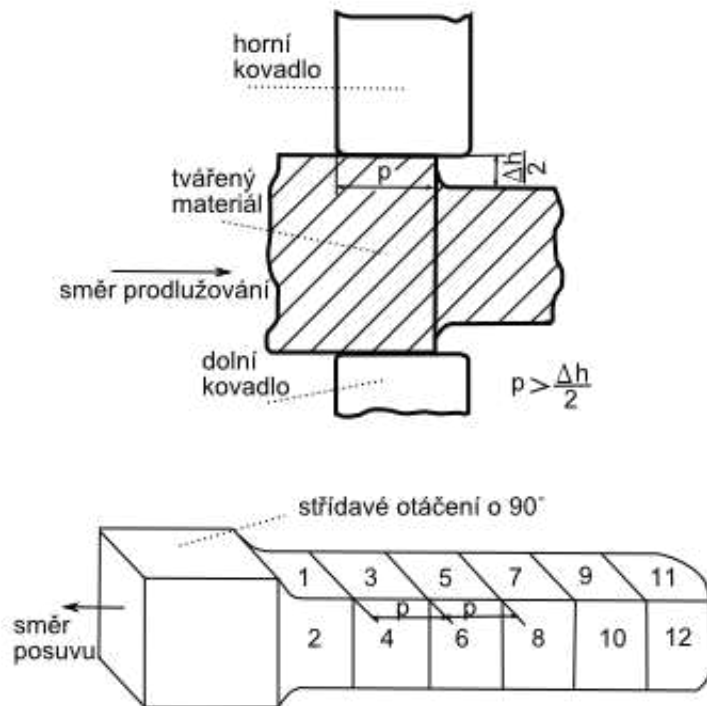
Důležitou částí technologie kování jsou přídavky. Čím složitější je tvar výkovku, tím dochází k větším nepřesnostem kování. Mezi tyto nepřesnosti patří zejména přesazení jednotlivých částí výkovku a křivost. Z tohoto důvodu jsou přídavky u tvarově složitějších výkovků větší. Horní mez velikosti přídavku omezuje hospodárnost výroby a náklady. Zároveň ale musí být přídavek tak velký, aby po obrábění nezůstaly na povrchu žádné vady (trhliny, vměstky). Nejlépe se velikost přídavku určí v závislosti na průměru a délce výkovku. [1]

Volné kování se skládá z několika základních kovářských operací. Mezi tyto operace patří:

#### 1. Prodlužování

Jedná se o nejčastěji prováděnou kovářskou operaci. Výhodou této operace je její rychlý průběh. Účelem je prodlužovat výkovek za zmenšování počátečního průřezu výkovku. Je nutné co nejvíce omezit rozšiřování materiálu, například obrácením nebo otáčením (záleží na tvaru kovádel). Další možností je použití tvarových kovádel. Ovšem se zmenšováním výšky výkovku je možné připustit určité zvětšování šířky při celkovém prodloužení výkovku. Poměr rozšiřování a prodloužení závisí na šířce kovádel, jejich tvaru a stupni stlačování.

Na rozšiřování materiálu během prodlužování má vliv i šířka kovádla. Čím menší je šířka kovádla, tím méně dochází k rozšiřování výkovku při kování a zvětšuje se prodlužování. [2]



Obr. 2 Prodlužování na čtyřhran [2]

## 2. Sekání

Během sekání se materiál rozděluje na několik částí, nebo se odděluje pouze část materiálu, která bude následně prodlužována. Sekání se může provádět z jedné strany, obou stran nebo ze čtyř stran. Při sekání ze čtyř stran se sekáče postupně zatlačují, aby uprostřed zbyla kvadratická neoddělená část, která se oddělí až naposled. [2]

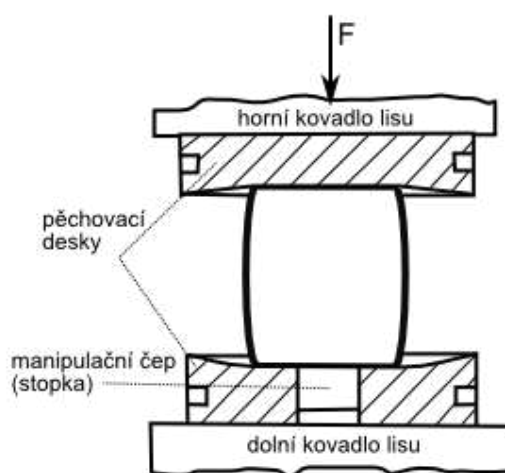
## 3. Pěchování

Materiál je stlačován ve směru osy, příčný průřez se rozšiřuje. Tato operace je vhodná především pro kování kotoučů a jiných rotačních součástí. Důvody pro použití pěchování jsou následující:

- Získání většího stupně prokování
- Snížení anizotropie mechanických vlastností
- Získání děrovaných předkovek pro kování na trnu

- Rozrušení karbidů při kování nástrojových ocelí

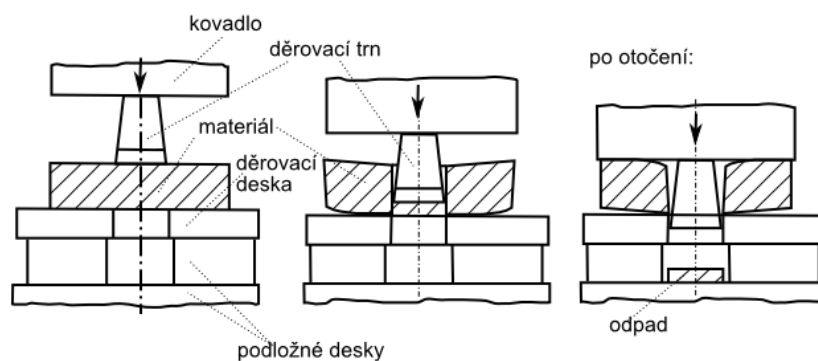
Délka pēchovaného materiálu je omezená, nesmí být větší než 2,5–3násobek průměru. Pokud by tato podmínka nebyla splněna, dojde k ohýbání výkovku. Dalším nepříznivým jevem doprovázejícím pēchování je vznik soudkovitého tvaru. Děje se tak z důvodu nerovnoměrnosti deformací vznikajících ve výkovku. [2]



Obr. 3 Pēchování [2]

#### 4. Děrování

Před děrováním je nutné materiál rovnoměrně prohřát a dostatečně zpēchovat, aby byla tloušťka materiálu co nejmenší. Děrování se provádí plným nebo dutým trnem (záleží na velikosti průměru). [2]



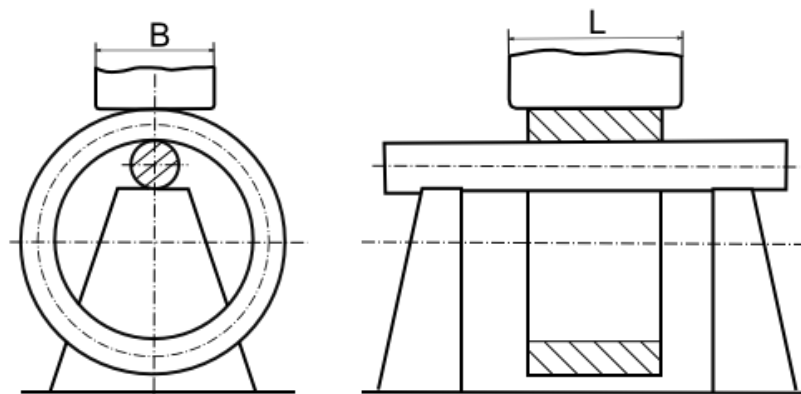
Obr. 4 Děrování plným trnem [2]

## 5. Kování na trnu

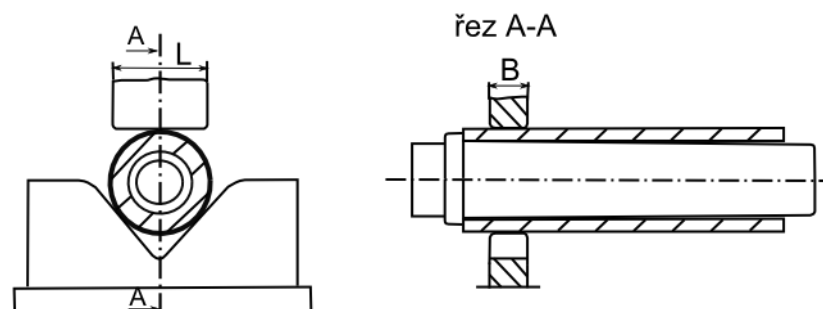
Kování na trnu se dále dělí na rozšiřování (kování do obvodu a na průměr) a prodlužování (kování do délky).

Při rozšiřování se materiál rozšiřuje kolmo na šířku věnce. Pro urychlení operace se doporučuje použít trn malého průměru a úzké horní kovádko s klenutou plochou. Díky tomu dojde k malému prodlužování ve směru šířky věnce a k rychlému zvětšování průměru. Průměr trnu se volí v závislosti na šířce věnce. Pro dokončení kování se volí trn s větším průměrem (dosáhne se tak hladšího povrchu věnce).

Během prodlužování se děrovaný předkovek nasadí na mírně kuželový trn s úkosem 5-10 mm na 1 m délky. Průměr trnu odpovídá průměru otvoru ve výkovku, který se má vyrobit. Kovadla se používají úzká, obě úhlová nebo oválná. Další možností je spodní kovádko úhlové a horní rovné. [2]



Obr. 5 Rozkování na trnu [2]



Obr. 6 Prodlužování na trnu [2]

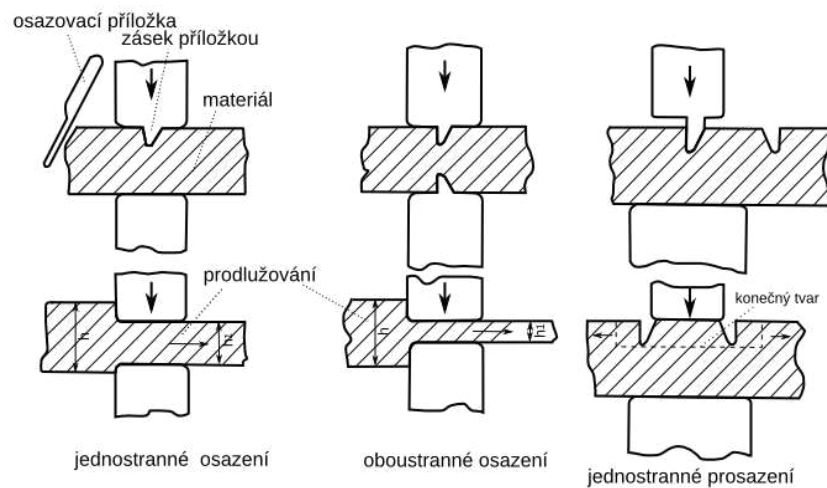
## 6. Osazování, prosazování a přesazování

Jedná se o operace sloužící ke zmenšení průřezu osazovaných hřídelí. Samozřejmostí je zachování sousostí všech částí polotovaru. V místě změny průřezu se udělá zářez (zaseknutí, které má dosahovat hloubky osazování). Toto zaseknutí může být jednostranné nebo oboustranné.

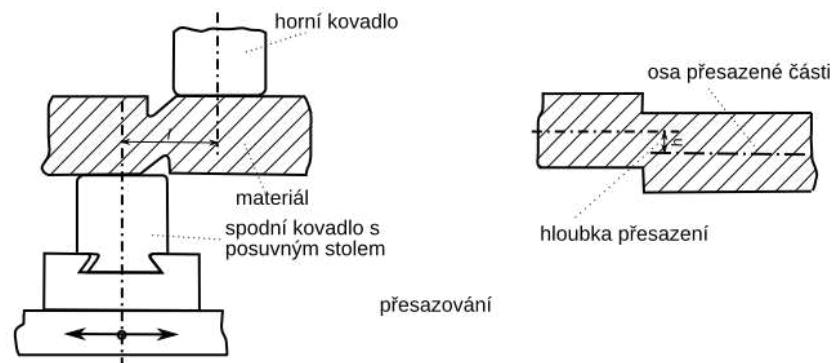
Při přesazování se průřez umísťuje tak, aby osa přesazené části byla rovnoběžná s původní částí (využívá se pro výrobu zalomených hřídelí). Přesazování může probíhat v jedné nebo ve dvou rovinách. Pokud se jedná o první případ, tak je hrana spodního kovádla pod hranou horního kovádla nebo příložky. Při přesazování ve dvou rovinách jsou krajní hrany kovádel u záseků.

Tato operace značně namáhá materiál. Je tedy potřeba optimální teploty (900 °C).

[2]



Obr. 7 Osazování a prosazování [2]



Obr. 8 Přesazování [2]

## 7. Ohýbání

Pokud materiál namáháme ohýbáním, dochází na vnější straně k prodlužování vláken, což zvětšuje riziko trhlin. Naopak na vnitřní straně se vlákna stlačují, a proto hrozí tvorba překladů. Z tohoto důvodu se materiál v místě ohybu zesiluje, aby po dokončení operace nebyl v tvářené části slabší. [2]

## 8. Zkrucování

Jeden konec výkovku se upne do kovadel, druhý konec se začne zkručováním vidlicí. Během této operace se délka materiálu zkručuje a průměr se zvětšuje.

Po dokončení zkručování má být povrch výkovku hladký. Problémem může být ohýbání volné části, kterému se dá předejít upnutím výkovku do lunet nebo protizávažím. [2]

### 1.1.2 Zápustkové kování

Jedná se o tváření ohřátého materiálu v dutině zápustky. Zápustka je speciální, většinou dvoudílný nástroj. Její tvar je shodný s tvarem budoucího výkovku, ale rozměry zápustky jsou zvětšeny o hodnotu smrštění vychladlého materiálu (1-1,5 %). Zápustkové kování je vhodné pro tvarově složitější součásti a pro sériovou výrobu (z ekonomického hlediska by nebylo výhodné vyrábět zápustku pouze pro jeden kus). Výhodou této metody je snadná obsluha a vysoká výkonnost. Nevýhoda ovšem spočívá v omezení rozměrů a hmotnosti výkovků. Na rozdíl od volného kování je možné zápustkovým kovááním získat přesnější tvar výkovku.

Při zápustkovém kování se výchozí polotovár vloží do dutiny zápustky. Zápustku je možno vyplnit vtlačováním nebo pýchováním, z čehož je pýchování je vhodnější. Stejně jako u volného kování se používají tvářecí stroje jako jsou lisu a buchary. Po vyplnění zápustky následuje působení úderů na bucharu, nebo působení tlaku od lisu. V případě použití bucharu dochází k naplnění zápustky několika údery. Pomocí lisu je dutina zápustky naplněna během jednoho nebo několika zdvihů.

Obecně pro kování složitějších tvarů výkovků platí: [1]

- V jedné dutině se nedeformuje kov v příčném i podélném směru
- Tvar předkovku se volí nejlépe tak, aby se částice při kování pohybovaly v příčných řezech a předkovek byl rotační



- Materiál se rozděluje nejdříve v podélném směru, až potom v příčném.

## 2 Nástroje pro kování

Kovářské nástroje lze rozdělit na tři skupiny. První skupinou jsou základní kovářské nástroje, například kovádla, kovátko, sekáče a průbojníky. Do druhé skupiny se řadí kleště, vidlice a objímky. Tato skupina nástrojů se nazývá pomocná. Třetí skupinou jsou nástroje měřící. Mezi tyto nástroje patří úhelníky a šablony. [5]

Dále je možné do nástrojů pro kování zahrnout i zápustky.

### 2.1 Zápustky

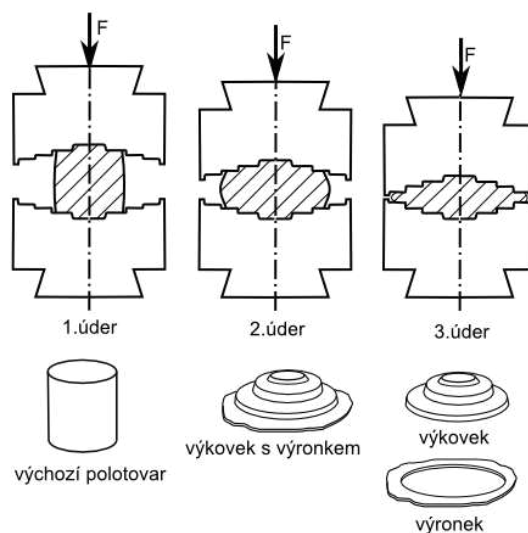
Zápustky lze rozdělit podle počtu dutin na:

#### 1. Jednodutinové zápustky

Jednodutinové zápustky se využívají pro kování jednodušších tvarů výkovků, které nepotřebují předkování. Pro kování v jednodutinové zápustce je nutné rovnoměrně vytížit tvářecí stroj. [2]

Jsou vhodné zejména pro:

- Těžké nebo rozměrné výkovky, které nelze vyrábět postupově.
- Pro malé série výkovků, pro které by nebylo ekonomické vyrábět drahé postupové zápustky.



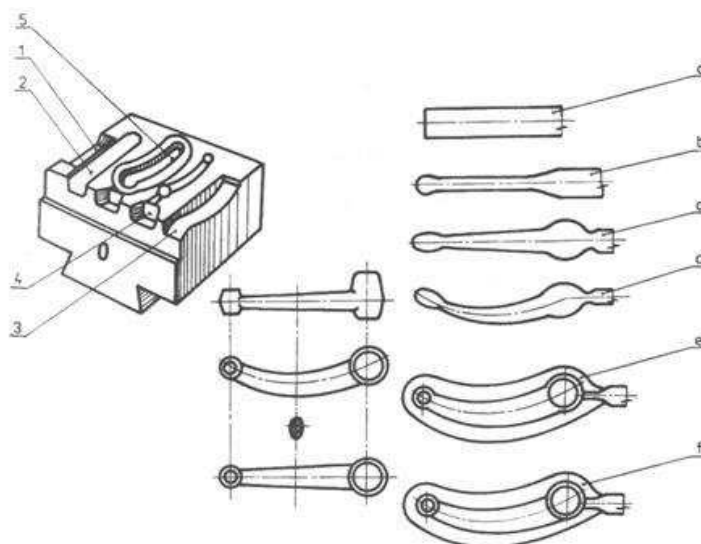
Obr. 9 Kování v jednodutinové zápustce [2]

## 2. Vícedutinové zápustky

Jedná se o tzv. postupovou zápustku. Využívá se pro kování ve více dutinách a pro kování složitějších tvarů výkovku. Při této metodě se hotový výkovek vyrábí výlučně v zápustkách. Tyto postupové zápustky jsou vhodné především pro výrobu velkých sérií výkovků. Výhody používání postupových zápustek jsou následující: [2]

- Výkovek je vždy kován z jednoho ohřevu
- Úspora materiálu
- Dosažení velkého výkonu
- Dokonalé využívání stroje

V postupové zápustce nejsou dutiny seřazeny za sebou podle technologického postupu. Poslední (dokončovací) dutina je umístěna uprostřed zápustky tak, aby její těžiště bylo blízko těžiště celého bloku. Je tak umístěna z toho důvodu, že síla/energie na kování výkovku je větší než na kování předkovek. Dalším důvodem je, že výkovek chladne a tím roste jeho přetvárná pevnost, a dále proto, že výkovek má včetně výronkové drážky největší plochu. Ostatní dutiny postupové zápustky jsou rozmístěny kolem dokončovací dutiny. [2]



Obr. 10 Postupová zápustka pro buchar (vlevo dutiny zápustky, vpravo technologický postup) [2]

Jak je vidět na obrázku č. 10, postupová zápusťka obsahuje více tvarově odlišných dutin. Tyto dutiny se podle svého tvaru a funkce rozdělují na následující skupiny: [2]

- 1– Prodlužovací
- 2– Rozdělovací
- 3– Předkovací
- 4– Kovací
- 5– Dokončovací

Vpravo od schématu postupové zápusťky je na obrázku č. 10 znázorněn technologický postup, který se skládá z těchto operací: [2]

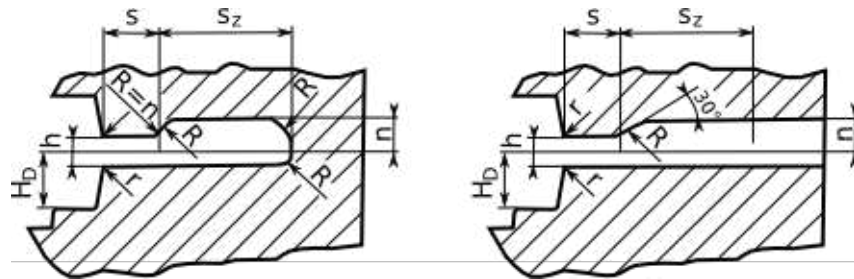
- a) Polotovar
- b) Prodlužování
- c) Rozdělování
- d) Ohýbání
- e) Kování v 1. dohotovní dutině
- f) Dokování

Obecně lze dutiny zápusťky rozdělit na předkovací a dokončovací (dohotovní) dutiny. V případě předkovacích dutin se často jedná o otevřené dutiny. Slouží především k přemístění materiálu do míst budoucího složitějšího tvaru výkovku a k předběžnému tvarování. Na rozdíl od předkovacích dutin jsou dokončovací dutiny uzavřené.

Mezi předkovací dutiny patří: [2]

- Prodlužovací dutiny
- Pěchovací dutiny
- Rozdělovací dutiny (otevřené nebo uzavřené)
- Zužovací dutiny
- Ohýbací dutiny
- Tvarovací dutiny

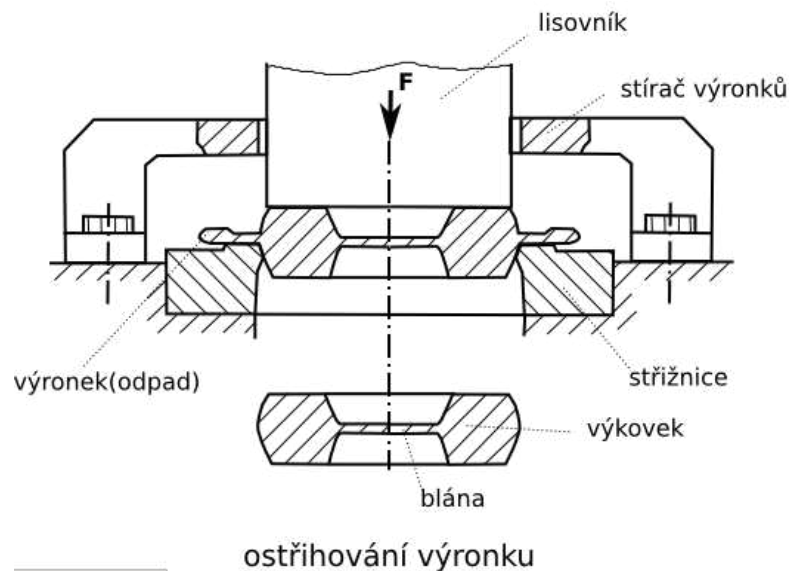
Poslední (dokončovací) dutina má na rozdíl od ostatních okolo obrysu tvaru výkovku výronkovou drážku. Výronek slouží k pojmnutí přebytečného materiálu, protože dutina zápustky musí být dokonale vyplněna. Dále pak ovlivňuje tok materiálu uvnitř zápustky, což znamená, že zajišťuje stoupání materiálu díky zvýšenému odporu rychle chladnoucího materiálu ve zúžené části výronkové drážky. Výronek se dodatečně odstraňuje ostříhováním. [2]



Obr. 11 Výronková drážka v zápustce (vlevo: buchar, vpravo: lis) [2]

Mezi konečné úpravy výronku patří:

- Odstřížení výronku
- Prostřížení blan v otvorech
- Rovnání
- Odstraňování okují (například mořením nebo otryskáváním)
- Tepelné zpracování (například normalizační žíhání)



Obr. 12 Ostříhování výronku [2]

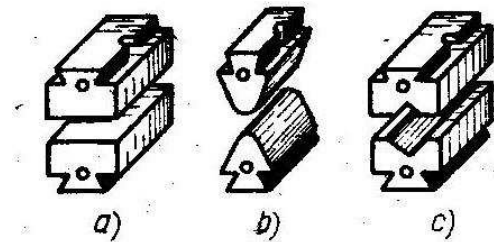
## 2.2 Kovářské nástroje a nářadí

Jak už bylo řečeno, kovářské nástroje a nářadí se dělí na tři skupiny. Jedná se o základní kovářské nástroje, pomocné kovářské nástroje a měřicí kovářské nástroje. [3] [5]

### 2.2.1 Kovadla

Kovadla jsou základním úderným nástrojem pro kování. Upevňují se pomocí rybiny a klínu na buchar nebo lis. Podle tvaru lze kovadla rozdělit na: [3] [5]

- a) Plochá
- b) Zaoblená
- c) Tvarová

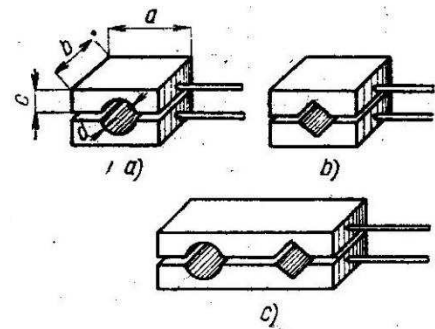


Obr. 13 Druhy kovadel [5]

### 2.2.2 Kovátka

Kovátka se používají zejména na bucharech na osazování, kulacení a dokončování výkovek. Stejně jako kovadla je lze rozdělit podle tvaru: [3] [5]

- a) Kruhová
- b) Čtvercová
- c) Kombinovaná



Obr. 14 Kovátka [5]

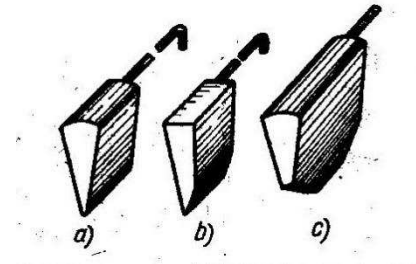
### 2.2.3 Kovací trny

Kovací trny slouží ke kování dutých výkovek. [5]

### 2.2.4 Strojní sekáčky

Jak napovídá název, strojní sekáčky slouží k sekání nebo vysekávání výkovků. Rozdělují se na: [3] [5]

- a) Dvoustranné
- b) Jednostranné
- c) Tvarové

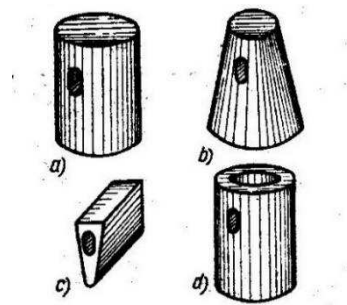


Obr. 15 Strojní sekáčky [5]

### 2.2.5 Průbojníky

Průbojníky se používají k děrování a prorážení výkovků. Stejně jako ostatní kovářské nástroje se rozdělují podle tvaru: [3] [5]

- a) Válcové
- b) Kuželové
- c) Klínové
- d) Duté

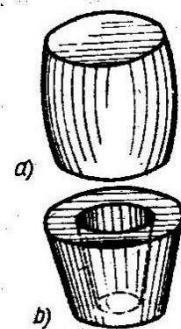


Obr. 16 Průbojníky [5]

### 2.2.6 Kalibrovací trny

Kalibrovací trny na rozdíl od kovacích trnů slouží pouze ke kalibrování a malé rozšiřování otvorů. [3] [5]

- a) Soudkovité
- b) Kuželovité



Obr. 17 Kalibrovací trn [5]

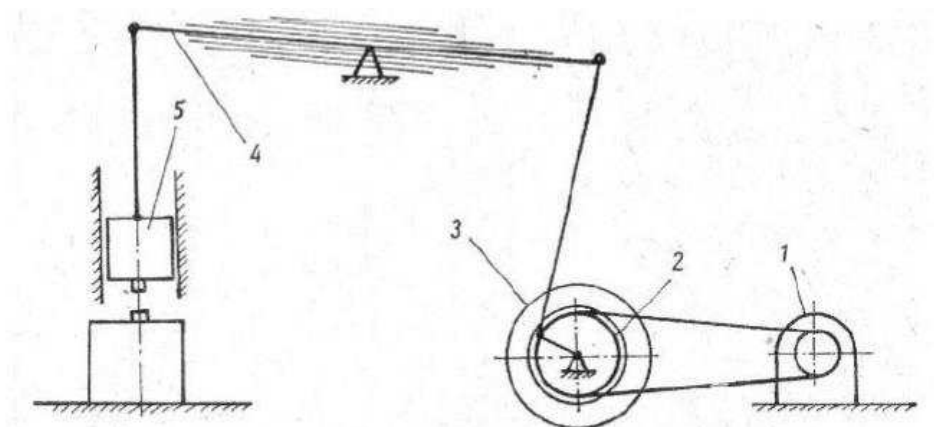
## 2.3 Základní tvářecí stroje pro kování

Mezi základní tvářecí kovací stroje patří jednoznačně buchary a lisy. Jak už bylo uvedeno výše, buchary působí na materiál rázy, zatímco lisy působí statickou silou. Tvářecí stroje pro kování se dále rozdělují na tvářecí stroje pro volné kování a tvářecí stroje pro zápusťkové kování.

### 2.3.1 Buchary

- Pružinové buchary

Pružinové buchary jsou tvářecí stroje používané pro volné kování. Patří mezi nejjednodušší tvářecí stroje. Jejich pohon je zajištěn od elektromotoru třecím převodem na setrvačnick a od klikové hřídele mechanicky pákami na beran. Rychlost beranu (spolu s rázovou energií) se zvyšuje pomocí dvouramenné horní páky, která je vytvořena svazkem listových pružin. [4]



Legenda: 1) elektromotor, 2) třecí spojka, 3) setrvačnick, dvooramenná páka, 5) beran

Obr. 18 Pružinový buchar [4]

- Kompresorové buchary

Tento typ bucharu je vhodný především pro volné kování malých i středně velkých výkovků. Skládají se ze stojanu a šaboty. Ve stojanu se nachází pracovní a kompresorový válec. V pracovním válci se pohybuje beran, který je poháněn stlačeným vzduchem. Úder bucharu závisí na sešlápnutí nožní páky nebo pootočení ruční páky. [3] [5]

- Parní a vzduchové jednostranné dvojčinné buchary

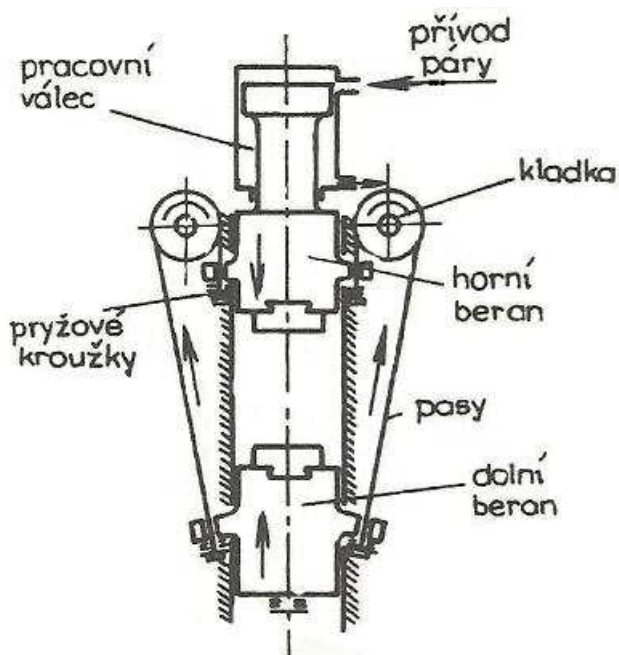
Bucharý slouží především pro volné kování středně velkých výkovků. Pára nebo stlačený vzduch se přivádějí rozvodem střídavě nad pracovní píst bucharu nebo pod něj. Píst bucharu spojený pístnicí s beranem se díky tomu pohybuje střídavě nahoru a dolů ve válci, který je uchycen na stojanu bucharu. [3] [5]

- Padací buchary

Padací buchary jsou jednoduché tvářecí stroje. Při kování na těchto strojích je beran zvednut do určité výšky a po uvolnění padá vlastní vahou na kovadlinu. U řemenových bucharů je beran zvedán řemenem. Řemenice poháněná elektromotorem unáší kladkou přitlačovaný řemen a zvedne beran. Ten padá při povolení přitlačné kladky. [5]

- Protiúderové buchary

Použití protiúderových bucharů bez šaboty je ekonomicky výhodné pro kování větších výkovků. Místo šaboty je ve stroji spodní beran, který se pohybuje současně proti hornímu beranu. [5]



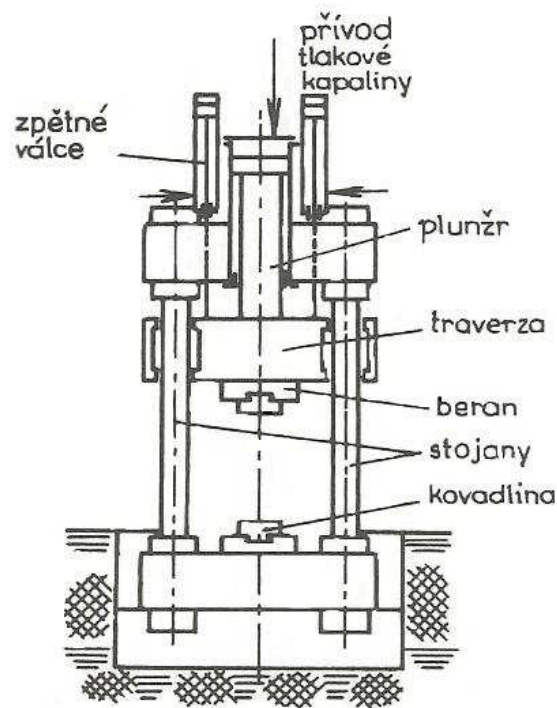
Obr. 19 Protiúderový buchar [3]



### 2.3.2 Lisy

- Hydraulický lis

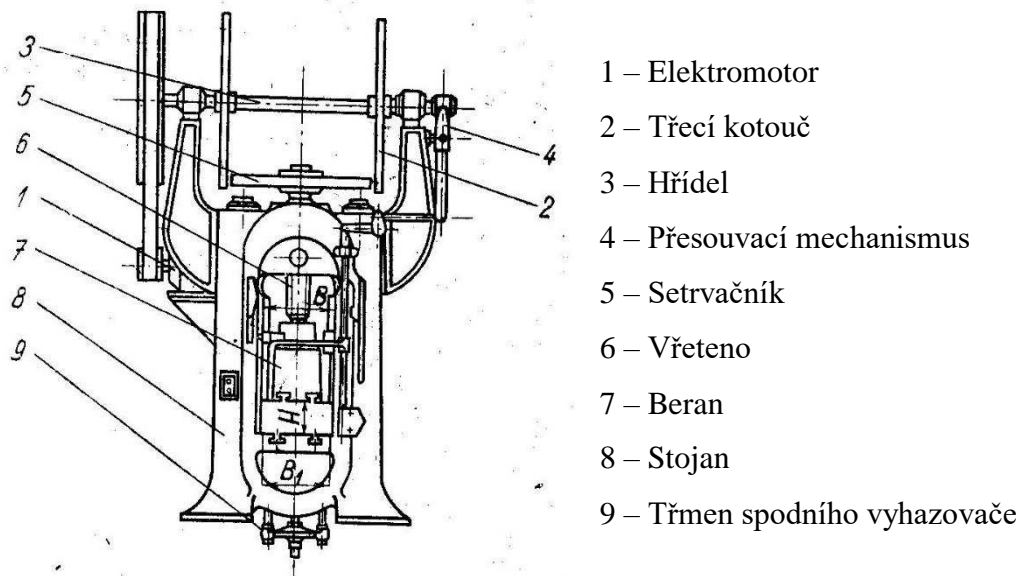
Hydraulické lisy slouží většinou k volnému kování velkých výkovků z ingotů do váhy přibližně 350 tun. Tyto lisy bývají obvykle svislé, dvousloupové nebo častěji čtyřsloupové. Princip jejich práce je založen na využití Pascalova zákona. Výhodou hydraulických lisů jsou vysoké síly, kterými může píst tlačit a možnost regulace tlaku a rychlosti. Nevýhodou je naopak nižší účinnost než u mechanických lisů a vyšší pořizovací cena. [5]



Obr. 20 Hydraulický lis [3]

- Vřetenový lis

Jedná se o jednoduché tvářecí stroje s převodem síly od pohonu vřetenem na beran. Principem práce se podobají bucharům, protože celá pohybová energie nashromážděná v setrvačnicku je při tváření spotřebována, až se setrvačnick zastaví. [5]

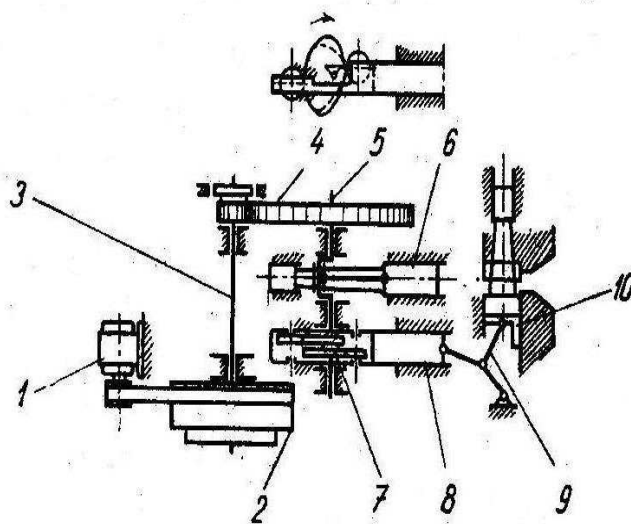


Obr. 21 Vřetenový lis [5]

- Vodorovný klikový lis

Jedná se o horizontální kovací stroj. Dělicí rovina je vertikálně dělená a lisovník stlačuje materiál po uzavření čelistí do uzavřené dutiny. Je důležité dodržet následující podmínky: [5]

- Napěchovat lze maximálně délku o trojnásobném průměru (pokud není omezen rozměr po napěchování). Toto pravidlo závisí také na tvaru konce tyče, tvaru čela lisovníku i na absolutní velikosti průměru pěchované tyče. [5]
- Druhá podmínka se týká nejmenší přípustné délky při omezeném průměru. Pokud je průměr po pěchování omezen na  $1,5 d$ , může být volná délka  $l \leq d$ . Pokud je průměr dutiny menší ( $1,25 d$ ), může být volná délka větší ( $l = 1,5 d$ ). [5]



- 1 – Elektromotor
- 2 – Setrvačník
- 3 – Hřídel
- 4 – Ozubená kola
- 5 – Klikový hřídel
- 6 – Beran
- 7 – Vačka
- 8 – Sáně
- 9 – Kolenopákový mechanismus
- 10 – Svírací beran

Obr. 22 Vodorovný klikový lis [5]

### 3 Typy speciálních kovaných nástrojů pro obrábění a další aplikace

Obrábění je technologický proces, kterým se vytváří povrchy požadovaného tvaru, rozměrů a drsností prostřednictvím nástroje. Nástrojem se rozumí část výrobních prostředků, které slouží k opracování různých druhů materiálu při ručním nebo strojním obrábění. Jedná se také o kinematický prvek procesu řezání (tzn. oddělování částic materiálu ve tvaru třísek břitem obráběcího nástroje). Při řezání se břit nástroje opotřebovává a mění své rozměry, což ovlivňuje přesnost obrobku. Nástroje mohou být rozděleny podle počtu břitů na: [9]

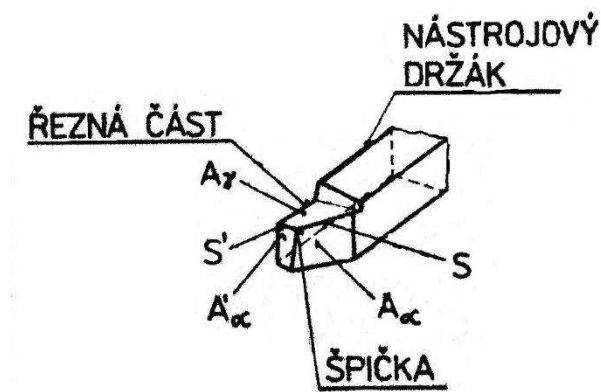
- Jednobřité (soustružnické a hoblovací nože)
- Dvoubřité (šroubovitě vrtáky)
- Vícebřité (frézy a výstružníky)
- Mnohabřité s pravidelnou geometrií břitů (pilníky)
- Mnohabřité s nepravidelnou geometrií břitu (brousící nástroje)

Hlavními požadavky na nástroj je především zabezpečení požadovaného tvaru, rozměrové přesnosti a předepsané drsnosti obráběné součásti.

Další jeho funkcí je zabezpečení efektivity výroby a maximální produktivity. Od nástrojů se také očekává jejich optimální trvanlivost. Samotný nástroj se skládá ze tří hlavních částí: [9]

- Řezná část (břit)
- Upínací část
- Těleso nástroje

Břit nástroje má tvar klínu a je určen plochou čela  $A_\gamma$ , plochou hřbetu  $A_\alpha$  a plochou vedlejšího hřbetu  $A'_\alpha$ . Průsečnicí plochy čela a hřbetu vzniká ostří. Vedlejší ostří je tvořeno průsečnicí plochy čela a vedlejšího hřbetu. [9]



Obr. č. 23 Břit nástroje [9]

Z hlediska konstrukce je podstatná geometrie břitu, která je tvořena soustavou nástrojových úhlů. Tyto nástrojové úhly vychází z předpokládaného směru hlavního pohybu a směru podélného posuvu. Používají se při konstrukci nástroje, jeho výrobě a kontrole.

Velikost pracovních úhlů ovlivňuje produktivitu obrábění, drsnost obrobených ploch, velikost řezného odporu a opotřebení břitu. Stanovení optimální velikosti pracovních úhlů závisí především na materiálu nástroje, mechanických vlastnostech obráběného materiálu a na hodnotách řezných podmínek. Největší vliv na řezný proces má úhel čela. Čím menší úhel, tím větší intenzita plastických deformací a velikost tření mezi čelem nástroje a třískou. Se zvětšujícím se úhlem čela roste i mechanické namáhání břitu, které může vést k jeho poškození. Zpravidla se tedy úhel čela volí co největší, ale zároveň nesmí vlivem mechanického namáhání břitu dojít k překročení jeho pevnosti. [9]

### 3.1 Soustružnické nože

Soustružení je technologie sloužící k obrábění válcových tvarů, při které se materiál obrobku odebírá jednobřítým nástrojem pohybujícím se rovnoběžně k ose rotace obrobku. Touto technologií lze řezat závity, soustružit kužele a rovinné nebo čelní plochy, vrtat a vyvrtávat.

Soustružnické nože se nejčastěji vyrábějí z rychlořezných ocelí anebo ze slinutých karbidů. Méně používané materiály pro výrobu soustružnických nožů jsou řezná keramika, diamant a kubický nitrid bóru. Ostří těchto nožů má obvykle tvar přímky. Jejich průřez je zpravidla čtvercový, obdélníkový nebo kruhový. [9]

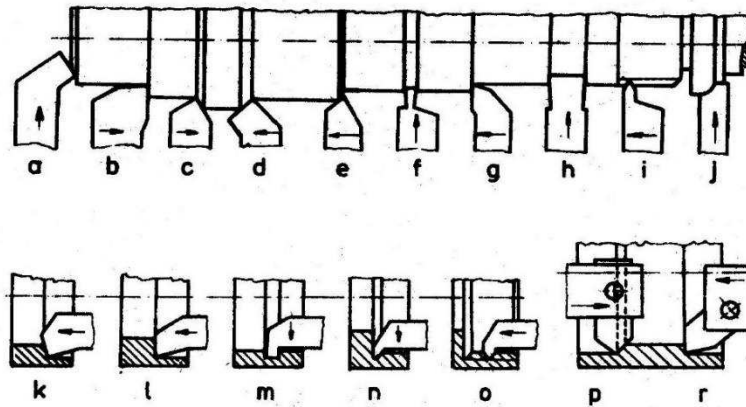
Nejčastěji se používají břitové destičky z rychlořezné oceli, které se k tělu nože přivařují nebo mechanicky připevňují. Dále je možno používat břitové destičky ze slinutých karbidů nebo z řezné keramiky (břitové destičky z těchto materiálu se nepřivařují, ale pouze mechanicky připevňují).

Rozdělení soustružnických nožů podle tvaru a jejich upnutí v nožovém držáku: [9]

- Radiální
- Prizmatické
- Kotoučové
- Tangenciální

Radiální soustružnické nože patří mezi nejrozšířenější tvarové nože. Tvarové nože se nejčastěji vyrábějí z rychlořezné oceli, protože výroba ze slinutých karbidů by byla z hlediska přesnosti velmi náročná. Úhel řezu tvarových nožů je většinou  $90^\circ$  a ostří má tvar odpovídající profilu obrobku. Používají se při výrobě strojních součástí menších rozměrů a složitějšího tvaru. Celý tvar součásti se zpravidla provádí najednou (jedním nástrojem). Díky tomu se ušetří několik operací a nástrojů a sníží se hlavní i vedlejší časy potřebné pro obrábění.

Na rozdíl od radiálních nožů, snesou prizmatické a kotoučové nože velký počet ostření. Tangenciální nože jsou podobné těm prizmatickým. Rozdíl mezi nimi je v posuvu nože do řezu (u tangenciálních nožů probíhá tangenciálně k povrchu). Mají pouze omezené využití (například soustružení mělkých profilů). [9]

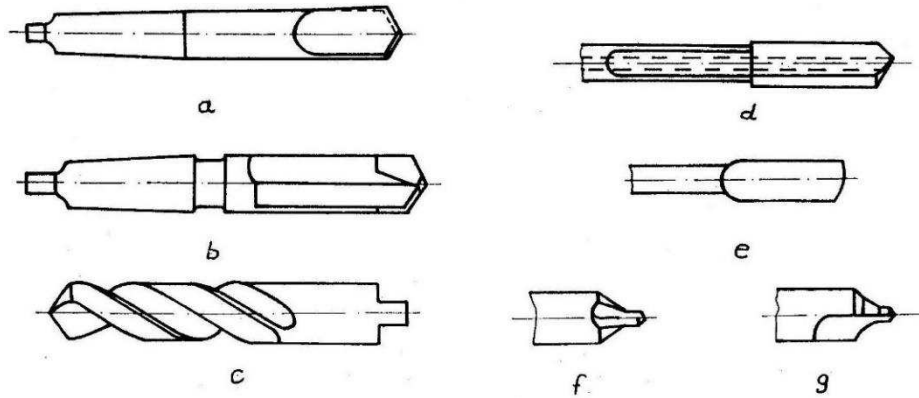


Obr. č. 24 a) uběrací nůž čelní; b) rohový nůž; c) uběrací nůž přímý; d) uběrací nůž ohnutý; e) hladicí nůž; f) zapichovací nůž; g) uběrací nůž stranový; h) naběrací nůž; i) závitový nůž; j) rádiusový nůž; k) vnitřní uběrací nůž; l) vnitřní nůž rohový; m), n) vnitřní zapichovací nože; o) vnitřní nůž závitový; p), r) vyvrtávací nůž kolmý, šikmý [9]

### 3.2 Kopinaté vrtáky

Vrtání je hned po soustružení nejčastěji používaná metoda obrábění součástí. Pomocí této technologie se zhotovují nebo zvětšují díry rotujícím nástrojem. V tomto případě vykonává řezný pohyb nástroj, méně často obrobek. Nástroje umožňují vrtání a vyvrtávání válcových, kuželových a různých osazených děr. Nejčastější používanou operací je vrtání děr do plného materiálu pomocí jednobřítých nebo dvoubřítých vrtáků. Pro zpřesnění vyvrtávaných otvorů se používají výhrubníky, výstružníky, tvarové vrtáky a záhlubníky. Rozlišují se následující druhy vrtáků: [8]

- a) Ploché (kopinaté)
- b) Vrtáky s rovnými drážkami
- c) Šroubovité
- d) Vrtáky pro hluboké díry s přívodem pro chladicí tekutinu
- e) Dělové
- f) Tvarové – nejčastěji pro středící otvory (jednoduché nebo kombinované)



Obr. č. 25 Druhy vrtáků [8]

Kopinaté vrtáky jsou nejjednodušší vrtací nástroje. Jejich řezná část je tvořena dvěma hlavními břity a příčným ostřím. Používají se pro práci na automatech jako doplněk šroubových vrtáků, pro vrtání krátkých děr větších průměrů a děr s větší požadovanou přesností. Nejčastěji se vyrábějí z rychlořezných ocelí nebo ze slinutých karbidů.

Předností kopinatých vrtáků je jejich vysoká tuhost, která u krátkých vrtáků umožňuje navrtání otvoru. Další výhodou je snadná výměna a možnost vrtání i velkých otvorů zplna. Naopak nevýhodou je ztížený odvod třísek z místa řezu. Z tohoto důvodu má většina držáků vnitřní přívod chladicí kapaliny, kterou se třísky z místa řezu odplavují. Řezné destičky mají navíc podél břitu vybroušeny utvařeče třísek. Otvory vyvrtané kopinatými vrtáky jsou přesnější než u šroubovitých vrtáků, drsnost jejich povrchu je ale horší. [8]

## 4 Zpracování nástrojových rychlořezných ocelí

### 4.1 Nástrojové oceli

Nástrojové oceli jsou ušlechtilé oceli, které se vyrábějí z nejkvalitnějších surovin. Jejich výroba obvykle probíhá v elektrických pecích. Hlavní požadavky kladené na tyto oceli jsou:

- Vysoká tvrdost

Tvrdost lze ovlivnit především uhlíkem – roste se zvyšujícím se obsahem uhlíku do 0,8 % (nad 0,8 % se tvrdost téměř nemění, ale vzrůstá množství karbidů, které ovlivňují řezivost a odolnost proti otěru). Ostatní prvky zvyšují tvrdost pouze tehdy, tvoří-li s uhlíkem tvrdé karbidy (např. Cr, W, V, Mo). [6] [15]

- **Vysoká pevnost**  
Pevnost, stejně jako tvrdost, závisí na obsahu uhlíku a také na způsobu tepelného zpracování. Dalším důležitým faktorem je i pevnost základní matrice. Ta je obvykle tvořena popuštěným martenzitem a malým množstvím zbytkového austenitu. [6] [15]
- **Houževnatost**  
Nástroje jsou často kombinovaně (staticky i dynamicky) mechanicky namáhány. Jedná se o namáhání v tahu, tlaku, ohybu a krutu. Proto je důležité zajistit při vysoké tvrdosti poměrně nízkou, ale dostatečnou houževnatost. Houževnatost lze zvýšit zjemněním zrna a minimalizováním vnitřních pnutí. Naopak nežádoucí je karbidická řádkovitost, která houževnatost snižuje. Houževnatost je důležitá především u nástrojů pro stříhání a tváření. [6] [15]
- **Odolnost proti popuštění**  
Vlivem vysokých teplot při tváření materiálu za tepla (až 1200 °C), dochází k ohřívání funkčních částí nástroje (především povrchu) na vysoké teploty. Toto vyhřátí vede ke snížení tvrdosti, pevnosti, odolnosti proti otěru a k plastické deformaci (k tzv. popuštění). Důsledkem popuštění je snížení odolnosti proti otěru a menší řezivost, což vede ke snížení životnosti nástroje. Stabilitu struktury nástrojových ocelí lze zvýšit legujícími prvky (např. Co, W, Mo, V). [6] [15]
- **Prokalitelnost**  
Prokalitelnost je schopnost oceli získat požadovanou tvrdost do určité hloubky. Závisí především na velikosti nástroje, rychlosti ochlazování z austenitizační teploty, velikosti zrna a chemickém složení. Prokalitelnost se zvyšuje přidáním legujících prvků jako je Mn, Ni a Cr. Tato schopnost zaručuje vyšší tvrdost a izotropii vlastností. [6] [15]



- Stálost rozměrů  
Během tepelného zpracování může dojít k určité deformaci a změně rozměrů nástrojů (především vlivem tepelných a strukturních pnutí). Tyto nerovnoměrné změny rozměrů nástrojů podporuje zejména řádkovitost oceli. Zabránit těmto změnám lze pečlivým výběrem ocelí a vhodným postupem při tepelném zpracování. [6] [15]
- Odolnost proti otěru a otupení  
Otěr negativně ovlivňuje velikost opotřebení a řezivost (odolnost proti otupení) nástroje. Funkční části nástroje se během tření zahřívají, proto je nutné, aby měla ocel také dobrou odolnost proti popuštění. Tato vlastnost je ovlivněna zejména množstvím, typem a rozložením karbidů ve struktuře. [6] [15]

Rozdělení ocelí podle druhu nástroje a technologického postupu: [6]

- Oceli na řezné nástroje
- Oceli na nástroje pro stříhání
- Oceli na nástroje pro tváření
- Oceli na formy
- Oceli na nástroje pro drcení
- Oceli na ruční nástroje a nářadí
- Oceli a měřidla
- Oceli na upínací nářadí

Rozdělení ocelí podle chemického složení: [6]

- Oceli uhlíkové
- Oceli slitinové
- Oceli rychlořezné

Číselná značka	Význam třetí číslice	
19 0 X X		Nástrojové oceli uhlíkové
19 1 X X	Dvojčíslí ze 3. a 4. číslice vyjadřuje u nelegovaných ocelí střední obsah uhlíku	
19 2 X X		
19 3 X X	Oceli manganové, křemikové, vanadové	Nástrojové oceli legované
19 4 X X	Oceli chromové	
19 5 X X	Oceli chrommolybdenové	
19 6 X X	Oceli niklové	
19 7 X X	Oceli wolframové	
19 8 X X	Oceli rychlořezné	
19 9 X X	Speciální oceli	

Obr. č. 26 Značení nástrojových ocelí [7]

#### 4.1.1 Chemické složení nástrojových ocelí

Nástrojové oceli obsahují kromě uhlíku i množství legujících a doprovodných prvků. Mezi prvky, které pozitivně ovlivňují vlastnosti nástrojových ocelí patří:

- **Uhlík**  
Uhlík zvyšuje důležité vlastnosti nástrojových ocelí – kalitelnost a prokalitelnost. S některými dalšími prvky (Cr, W, Mo, V, Ti) tvoří karbidy, díky kterým je zajištěna odolnost proti popouštění, odolnost proti otěru a řezné vlastnosti. [15]
- **Mangan**  
Mangan, stejně jako uhlík, zvyšuje prokalitelnost oceli. Zároveň snižuje vliv síry, čímž zabraňuje křehkosti oceli za tepla. [15]
- **Wolfram**  
Pozitivně ovlivňuje odolnost proti popouštění a vznik sekundární tvrdosti. Ve větším množství však snižuje prokalitelnost a kalitelnost. [15]
- **Vanad**  
Vanad je jedním z prvků, které s uhlíkem tvoří samostatný karbid, čímž přispívá ke zvýšení tvrdosti, řezivosti a odolnosti proti otěru. Při malém obsahu vanad zvyšuje jemnozrnnost oceli, což má za následek zvýšení houževnatosti materiálu. [15]

- Chrom  
Patří mezi prvky, které zvyšují odolnost proti popouštění a prokalitelnost. Při větším obsahu pozitivně ovlivňuje řezivost a odolnost proti otěru. Dále působí korozivzdorně. [15]
- Nikl  
Nikl, na rozdíl od většiny zmíněných prvků, netvoří s uhlíkem karbidy. Jeho pozitivní vlastností je zvýšení kalitelnosti i prokalitelnosti už při nižších koncentracích. Stejně jako vanad příznivě ovlivňuje houževnatost materiálu. [15]

Kromě prospěšných legujících prvků obsahují oceli i malé množství prvků, které jejich vlastnosti ovlivňují negativně.

- Fosfor  
Fosfor vyvolává u ocelí popouštěcí křehkost a zhoršuje vrubovou houževnatost. Dále vyvolává sklon k lámavosti za studena a zhoršuje tvařitelnost materiálu. [15]
- Síra  
Do ocelí se dostává většinou z rud. Síra oslabuje soudržnost austenitických zrn, čímž vyvolává křehkost při teplotách v oblasti tváření za tepla. [15]
- Kyslík  
Přítomnost kyslíku zvyšuje náchylnost ke křehnutí materiálu. Také nepříznivě ovlivňuje vrubovou houževnatost, čímž dochází k anizotropii tváření. [15]

#### **4.1.2 Tepelné zpracování nástrojových ocelí**

Vzhledem k vysokému obsahu uhlíku jsou nástrojové oceli během tepelného zpracování náchylné k oduhličování povrchu. Toto oduhličování může vést ke snížení tvrdosti a k praskání materiálu. U rychlořezných ocelí navíc vzniká pnutí v důsledku nízké tepelné vodivosti. Z tohoto důvodu je důležité dodržet následující podmínky: [6]

- Předehřátí
- Správný ohřev v ochranném obalu nebo neutrální lázni

- Stejněměrné kalení
- Po kalení neprodleně provést popouštění

Většina nástrojů se před samotným tepelným zpracováním (většinou kalením a popouštěním) ještě žihá na odstranění pnutí. Je to z toho důvodu, že žihání na odstranění pnutí snižuje tvrdost nástroje a zlepšuje následnou obrobiteľnosť a tvařitelnost za studena. Další výhodou je větší homogenizace struktury. Probíhá nejčastěji při teplotách 600-650 °C po dobu 1 hodiny. Následuje pomalé ochlazování na vzduchu.

Jak už bylo řečeno, po žihání na snížení pnutí většinou následuje kalení. Tato technologie, společně s následným popouštěním, vede k získání konečných vlastností nástroje.

Tepelné zpracování nástrojů začíná předehřevem. Předehřátí nástroje by mělo být postupné. Nerovnoměrný ohřev nástroje může způsobit tvarové deformace a trhliny, proto je vhodné ohřívání na několik teplotních stupňů. Dále se materiál krátce austenitizuje na kalící teplotu, která závisí na složení oceli. Většinou se tato teplota volí vysoko nad bodem  $A_1$  (727 °C), aby se rozpustilo co nejvíce karbidů a vznikl homogenní austenit nasycený uhlíkem a slitinovými prvky, které se na tvorbě karbidů podílely. Výdrž na kalící teplotě musí být krátká, aby nedošlo ke zhrubnutí austenitického zrna (zhrubnutí zrna způsobuje i překročení hranice kalící teploty, k čemuž by v žádném případě nemělo dojít). Výdrž na kalící teplotě dále umožňuje přechod karbidů do roztoku. Nízká kalící teplota je také nevhodná, protože nedojde k dostatečnému rozpuštění karbidů. [5] [6]

Po ohřevu na kalící teplotu následuje ochlazování. Prostředí ochlazování závisí na druhu oceli, velikosti a tvaru nástroje. Nejčastěji se používá voda, olej, solná lázeň nebo vzduch. S volbou prostředí souvisí i rychlost ochlazování (ta se u jednotlivých druhů prostředí liší). Rychlost ochlazování by měla být taková, aby se co nejvíce austenitu přeměnilo na martenzit (závisí na ní konečná tvrdost daná vznikem martenzitu). Při příliš pomalém ochlazování se karbidy začnou vylučovat po hranicích zrn austenitu, což způsobuje pokles houževnatosti nástroje. Naopak příliš vysoká rychlost ochlazování způsobuje vznik nadměrných pnutí, která mohou vést až ke zničení nástroje. [5] [16]

V případě rychlořezných ocelí dochází k ohřevu alespoň na dvou teplotních stupních. V prvním stupni se ohřívají při teplotě 500-550 °C, ve druhém při 850 °C. U složitějších nástrojů se zavádí ještě třetí předehřev při teplotě 1050 °C. Doba ohřevu potřebná k dosažení kalící teploty v celém průřezu je závislá na: [6] [16]

- Průřezu
- Výši přehřívací a kalící teploty
- Použitím zařízení pro ohřev

Po dosažení kalící teploty je nutné dodržet výdrž na teplotě, která závisí na druhu oceli (u běžných ocelí trvá 10-15 minut, u více legovaných ocelí 20-25 minut). U rychlořezných ocelí jsou prodlevy s ohledem na vysoké kalící teploty výrazně kratší.

Rychlořezné oceli se nejčastěji kalí termálně do lázně (o teplotě 500 °C). Prodleva v lázni trvá 15-30 minut, potom se dochladí na vzduchu. Protože nástroje po kalení jsou křehké a náchylné k praskání, musí po něm následovat popouštění. [16]

Popouštěcí teplota se volí podle požadované tvrdosti nebo pevnosti a podle druhu oceli (obvykle 540-600 °C). Popouští se po dobu 2 hodin s následným ochlazením na vzduchu. Při tomto ochlazení se většina austenitu přemění na martenzit, který se musí také popustit. Rychlořezné oceli se popouštějí minimálně 3x. Díky tomuto násobnému popouštění dochází k dokonalejšímu rozpadu austenitu a zároveň k popouštění martenzitu.

Při vyšších požadavcích na rozměrovou stálost při zachování maximální tvrdosti se používá technologie zmrazování (u měřidel, kalibrů, ložisek nebo cementovaných nástrojů). Pomocí zmrazování se docílí vyšší tvrdosti řezného nástroje. Většinou stačí zmrazení na teplotu -80 °C pomocí směsi lihu a kysličníku uhličitého (v krajních případech může být použit i tekutý dusík).

Při opakovaném tepelném zpracování se nástroj musí nejprve vyžít (například před opravným kalením nebo renovací nástroje). [5] [16]

## 4.2 Rychlořezné oceli

Pojmem rychlořezné oceli jsou nazvány oceli pro výrobu vysoce namáhaných nástrojů, jako jsou například soustružnické nože, vrtáky, frézy apod. U těchto obráběcích nástrojů nesmí dojít k popouštění břitu, poklesu tvrdosti nebo ke ztrátě řezivosti.

Dále je pro ně velmi důležitá stálost rozměrů za tepla. Těchto vlastností lze dosáhnout díky legujícím prvkům (např. W, Cr, V), které jsou obsaženy v rychlořezných nástrojových ocelích. Nejvýkonnější rychlořezné oceli mají obsah Co do 12 %. Rozpustnost uhlíku u rychlořezných ocelí je maximálně 0,7 %. Z tohoto důvodu mají

většinou ledeburitickou strukturu, která je tvořena směsí krystalů austenitu a cementitu. [6]

#### 4.2.1 Kování nástrojových rychlořezných ocelí

Vzhledem k tomu, že nástrojové rychlořezné oceli jsou nadeutektoidní uhlíkové oceli, je jejich kování velmi obtížné. Záměrně se volí nižší teploty, protože kovááním se rozrušuje tvrdá karbidická složka. Dolní hranice teplot u tváření je blízko nad bodem  $A_1$  (tento bod vyznačuje eutektoidní teplotu 727 °C). Použití nižších teplot při kování by také mělo zamezit oduhlíčení povrchu.

Tvárnost nástrojových ocelí klesá se snižováním teploty, proto dokovací teplota musí být vyšší než u konstrukčních ocelí. Pokud by tomu tak nebylo, hrozí vznik trhliny. Tepelný interval pro kování nástrojových ocelí je relativně malý. Z toho důvodu se oceli musí během kování přehřívat. Další nevýhodou je malá tepelná vodivost těchto materiálů, ohřev tedy musí být pomalý a opatrný. V opačném případě je ocel vlivem nižší teploty uvnitř průřezu méně tvárná a mohlo by dojít ke vzniku trhliny. Vzniku trhlín lze zabránit kovááním rychlými silnými údery za současného otáčení výkovku. Kromě ohřevu je důležité myslet i na pozvolné ochlazování výkovku. Při příliš rychlém ochlazování může dojít ke vzniku povrchových prasklin. [5]

Z důvodu špatné tvárnosti rychlořezných ocelí je první operací výrobní technologie kování pod buchary a kovacími lisami. Aby se dosáhlo čistého povrchu bez povrchových vad a podpovrchových trhlín je nutné zařadit hrubování povrchu ingotů. Tyto hrubované ingoty se ohřívají v kovářských pecích a dále se kovou. Před kovááním musí být ingoty čisté a osoustružené (kvůli odstranění trhlín a nečistot). Před samotným soustružením jsou žíhány. [5] [6]

Větší ingoty se ohřívají ve vozových plynových pecích s výjezdnou nístějí. U menších ingotů ohřev probíhá v plynových ohřívacích kontinuálních pecích. Jak už bylo řečeno, kvůli špatné tepelné vodivosti je nutné zavést dlouhý předeřev. Z celého času potřebného pro ohřev materiálu na kovací teplotu se počítají 2/3 na předeřev a 1/3 na ohřev na kovací teplotu a vyrovnání na teplotě. Po takto provedeném ohřevu je možné kovat. [5]

Hlavním požadavkem na polotovary je dostatečné zjemnění struktury a zamezení vzniku středových trhlín. Zjemnit strukturu lze volbou dostatečně velkého ingotu, aby došlo k dosažení správného stupně prokovaní, který zaručí další bezpečné zpracování oceli.

V případě středových trhlin nelze přesně určit pravý důvod jejich vzniku. Z toho důvodu je nutné dodržet následující podmínky: [5]

- Správný ohřev
- Vedlejší přípravné časy musí být co nejkratší (dovoz ingotu pod buchar, upnutí ingotu)
- Kování pod bucharem by mělo začínat lehkými a rychlými údery po celém obvodu ingotu

Během kování na kovacím lisu se ingot nesmí tvářet v jednom místě. V opačném případě dojde vlivem nadměrné deformace k místnímu vnitřnímu přehřátí nebo rozštěpení středu. Dále se pomocí posuvu (ve směru osy ingotu) musí zamezit prodlužování staženiny při tváření. Na začátku tváření se provádí tzv. zakování hlavy ingotu. Jedná se o tváření mírnějšími údery těsně za hlavou ingotu. Cílem je zamezení šíření staženiny do polotovaru a omezení štěpení polotovaru v konci po odseknutí hlavy. Konečné rozměry ingotů se většinou kovou na několik ohřevů. [5]

## 5 Ověření kování polotovaru pro obráběcí nůž

Tato experimentální část bakalářské práce se zabývá návrhem postupu kování rychlořezných nástrojových ocelí s ohledem na dosažení všestranně protvářené jemnozrné struktury bez vláknitosti a karbidické řádkovitosti. Tento technologický postup se primárně využívá ve dvou hlavních oblastech:

- Výroba polotovaru pro obráběcí nástroje
- Výroba polotovaru pro nástroj používaný v ultrazvukovém svařování – sonotrodu

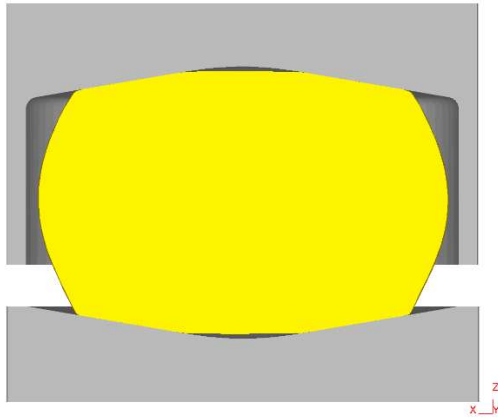
Změna struktury materiálu velmi úzce souvisí s deformací. Při opakovaném tváření petchování a prodlužování mohou být konečné rozměry přibližně stejné jako rozměry výchozí, ale konečná struktura může být zcela odlišná. Souvislost mezi strukturou materiálu a technologickým postupem kování lze vyjádřit pomocí tzv. stupně prokování (poměr většího průřezu k menšímu průřezu polotovaru). V případě opakovaného petchování se poměry napetchovaného průřezu a průřezu po prodlužování mezi sebou násobí. Pro zamezení vláknitosti struktury je vhodné kombinovat tvářecí operace, aby tok materiálu probíhal v různých směrech, včetně směrů na sebe kolmých. [10]

### 5.2 Simulace kování nástrojové rychlořezné oceli

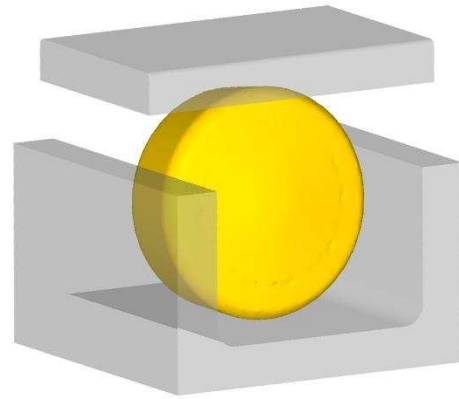
Cílem této simulace bylo návrh technologického postupu pro kování vysoce prokovaného špalku nástrojové rychlořezné oceli a zamezení vláknitosti struktury. Postup byl navrhován s ohledem na vybavení a zařízení univerzitní halové laboratoře (model kovacího lisu CKW 6000 s maximální silou 1 MN).

Výchozím polotovarem byla válcovaná tyč o průměru 50 mm. Tato tyč byla považována za polotovar s nulovým stupněm prokování. Pro tento případ byla v softwaru Deform navržena speciální sada kovadel tak, aby byl zajištěn kvalitní výkovek bez přeložek a jiných vad. Dále byl v simulaci předpokládán ohřev kovaného materiálu na horní kovací teplotu 1150 °C před každou operací. U teploty kovadel se počítalo s konstantní hodnotou 20 °C a to z důvodu relativně pomalé ruční manipulace s nástroji a tělesy. [10]

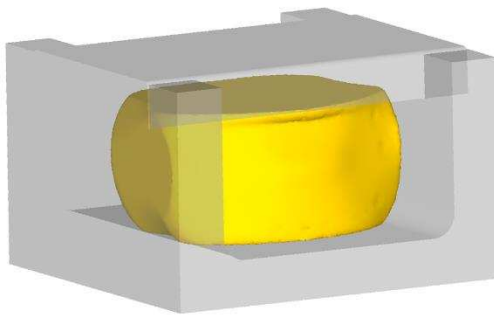




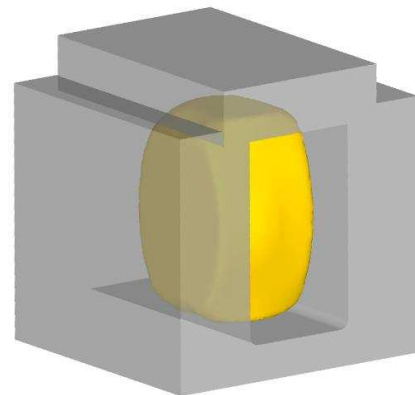
Obr. 27 Simulace sestavy pro přechování [11]



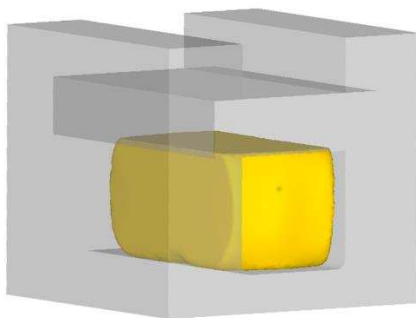
Obr. 28 Simulace uspořádání nástrojů pro první fázi prodluřovn [11]



Obr. 29 Situace po první fázi prodluřovn [11]



Obr. 30 Simulace uspořádání nástrojů pro druhou fázi prodluřovn [11]

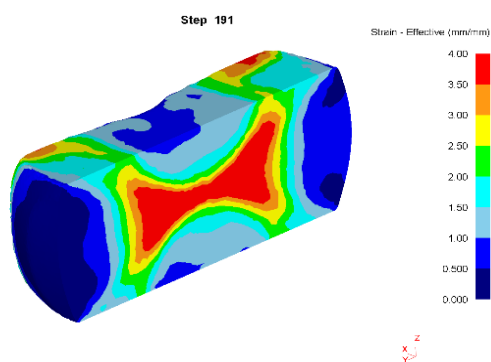


Obr. 31 Simulace vykování špalku o průřezových rozměrech 40×40 mm [11]

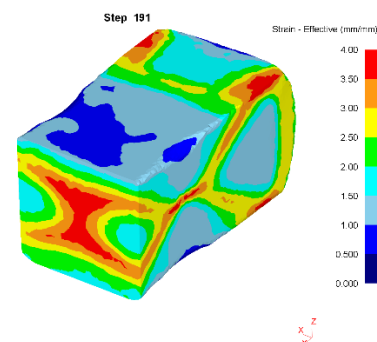
Simulací navržené tvary pracovních částí jsou uvedeny na obrázcích číslo 1-5. Obrázek č. 1 znázorňuje sestavu pro pěchování, přičemž vnitřní průměr horního kovádla byl 74 mm. Na obrázku č. 2 je znázorněna první fáze prodlužování. Napěchovaný kotouč byl otočen o 90° a následně prodloužen v nástroji o šířce 82 mm na výšku 40 mm (viz. obrázek č. 3). Druhá fáze prodlužování je znázorněna na obrázcích č. 4 a 5. Tato fáze probíhala v nástroji o šířce 40 mm za vzniku špaluku s průřezovými rozměry 40×40 mm. Dále postup pokračoval překováním vzorku do tvaru osmihranu pomocí úhlové vložky, která byla zasunuta do kovádla o šířce 82 mm. Proces pěchování a prodlužování byl opakován. V dalším kroku byl čtyřhran ještě jednou překován na osmihran a následovalo třetí pěchování a prodlužování. [10]

### 5.3 Simulace rozložení deformace uvnitř tělesa

Po prvním zpracování materiálu nastává výrazná nehomogenita deformace. Středová část je vysoce deformovaná (červená oblast), zatímco oblasti na čele výkovku jsou nedeformované a zasahují do hloubky přibližně 15 mm (tmavě modrá oblast). Takové rozložení deformace je typické pro běžné zpracování. V tomto případě nelze očekávat eliminaci vláknitosti. [10]

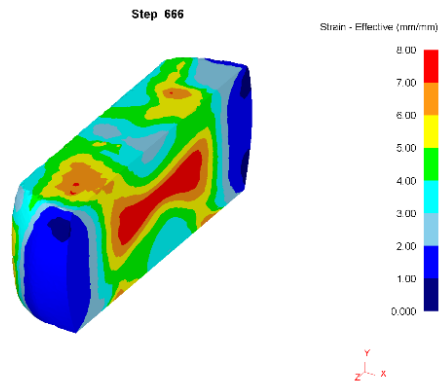


Obr. 32 a) Podélný řez vedený středem (postup 1) [11]

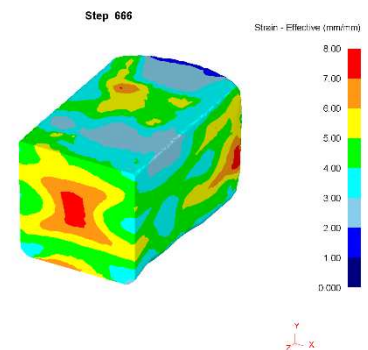


Obr. 32 b) Příčný řez ve vzdálenosti y=20 mm od středu (postup 1) [11]

Následující obrázek znázorňuje rozložení deformace po dvakrát zopakovaném pěchování a prodlužování. Efektivní deformace je v tomto případě mnohem vyšší. Vysoký stupeň protváření se vyskytuje v celém tělese s výjimkou oblastí na čele výkovku. Stejně jako v předchozím případě je maximum deformace ve středové oblasti. [10]

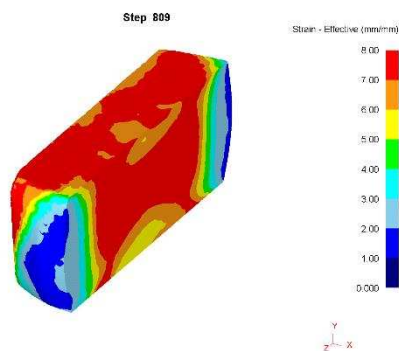


Obr. 33 a) Podélný řez vedený středem (postup 2) [11]

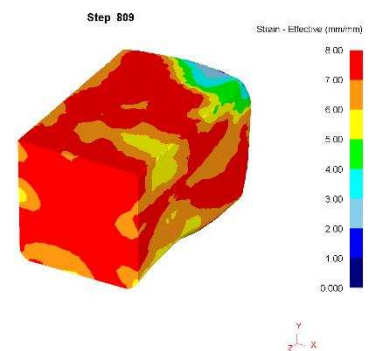


Obr. 33 b) Příčný řez ve vzdálenosti  $z=20$  mm od středu (postup 2) [11]

Na simulaci třetího postupu je evidentní, že typická symetrie rozložení deformace zmizela. Celé těleso se vyznačuje efektivní deformací (výjimku tvoří čela, která ale nezasahují do hloubky). U takto protvářené struktury lze očekávat vysokou homogenitu a zároveň eliminaci vláknitosti. [10]



Obr. 34 a) Podélný řez vedený středem (postup 3) [11]



Obr. 34 b) Příčný řez ve vzdálenosti  $z=20$  mm od středu [11]



Obr. 35 Kovaný soustružnický nůž

Pomocí modelování procesu tváření lze zjistit rozložení deformace uvnitř tělesa. Díky tomu je možné vyrobit pracovní část obráběcího nástroje s ohledem na rozložení deformace tak, aby spadala do nejvíce prokované oblasti.

## 6 Kování tyče s nestejným průřezem

Tato kapitola experimentální části bakalářské práce se zabývá již zmíněnou výrobou polotovaru pro speciální nástroj pro ultrazvukové svařování – sonotrodu. Kromě přesného technologického postupu se tato část zaměřuje především na výrobní výkresy obou použitých kovadel s kruhovými kalibry, které jsou obsaženy v příloze 1.



Obr. 36 Sonotroda pro ultrazvukové svařování [12]

### 6.1 Použitý materiál

Kovadla, která byla použita při kování polotovaru pro sonotrodu jsou podle návrhu firmy PilsenTools vyrobená z oceli ČSN EN 19552.4. Tato ocel se využívá především pro výrobu nástrojů pro stříhání za tepla, výrobu nástrojů pro tváření za tepla a pro výrobu forem pro tlakové lití. V tomto případě je ocel navíc tepelně zpracovaná kalením (teplota pro kalení této oceli se pohybuje mezi 1000 °C až 1050 °C) a popuštěním. Její chemické

složení a základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1 a 2. Pro přehlednost jsou ekvivalentní oceli podle jiných norem uvedeny v tab. 3.

	Si	C	Mn	Cr	Mo	V	S	P
Minimální hodnota [%]	0,8	0,32	0,2	4,5	1,1	0,35	–	–
Maximální hodnota [%]	1,2	0,42	0,5	5,5	1,6	0,6	0,03	0,03

Tab. 1 Chemické složení oceli ČSN EN 19552 [18]

Mechanické vlastnosti	Teplota [°C]	Hodnota [MPa]
Mez kluzu $R_p$ 0,2	600	660
Mez kluzu $R_p$ 0,2	200	1350
Mez kluzu $R_p$ 0,2	20	1050-1650
Mez pevnosti $R_m$	20	1220-1880
Mez pevnosti $R_m$	200	1520
Mez pevnosti $R_m$	600	800

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli ČSN EN 19552 [18]

Název	Značka	Stát
ISO 4957	X37CrMoV5 1	ISO
EN 96-79	X37CrMoV5-1	EURO
1.2343	–	Německo
DIN 17350-80	X38CrMoV5 1	Německo
NF A35-590-92	X38CrMoV5	Francie
NF A35-590-78	Z38CDV5	Francie
BS 4659-89	BH11	Velká Británie
GOST 5950-73	4Ch5MFS	Rusko
AISI	H11	USA
JIS G4404-83	SKD6	Japonsko
UNI 2955-82	X37CrMoV51KU	Itálie
VEW-78	W300	Rakousko
PN H85021-86	WCL	Polsko
SFS 913	913	Finsko
UNE 36018-94	X37CrMoSiV5	Španělsko
GB 1299-85	4Cr5MoSiV	Čína

Tab. 3 Přehled značení oceli ČSN EN 19552 v různých státech [18]

Jinou alternativou pro výrobu použitého typu kovadel je ocel ČSN EN 19554, která má podobné chemické složení jako ocel ČSN EN 19552, ale navíc obsahuje větší procento legujících prvků – viz tab. 4

	Si	C	Mn	Cr	Mo	V	S	P
Minimální hodnota [%]	0,8	0,34	0,2	4,8	1,1	0,8	–	–
Maximální hodnota [%]	1,2	0,44	0,5	5,8	1,6	1,2	0,03	0,03

Tab. 4 Chemické složení oceli ČSN EN 19554 [18]

Mechanické vlastnosti	Teplota [°C]	Hodnota [MPa]
Mez kluzu $R_p$ 0,2	600	990
Mez kluzu $R_p$ 0,2	200	1550
Mez kluzu $R_p$ 0,2	20	1150-1720
Mez pevnosti $R_m$	20	1200-1890
Mez pevnosti $R_m$	200	1700
Mez pevnosti $R_m$	600	1060

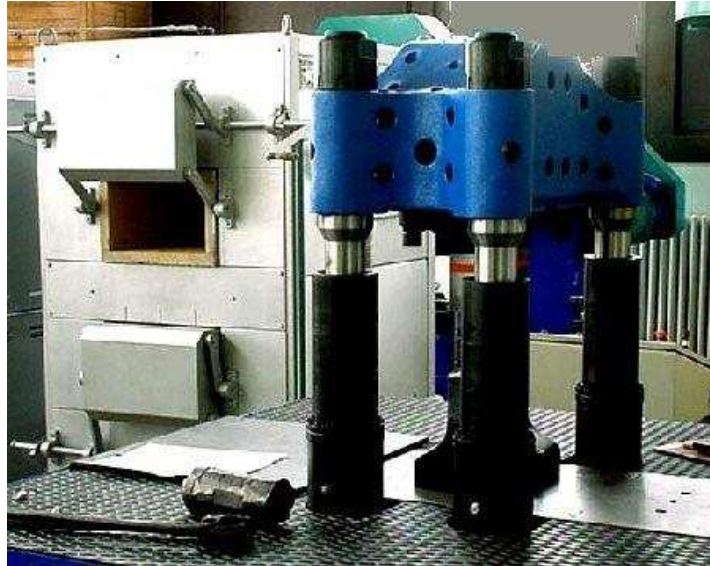
Tab. 5 Mechanické vlastnosti oceli ČSN EN 19554 [18]

## 6.2 Použitá zařízení a vybavení

K provedení technologické operace bylo zapotřebí zajistit pec pro ohřev materiálu a dále kovací lis pro provedení samotné operace. V obou případech byla použita zařízení ze školní halové laboratoře.

Ohřev materiálu na správnou kovací teplotu probíhal ve dvoukomorové ohřívací peci typu DKO4 (VEM). První odporová komora této pece působí až do teploty 1100 °C. Druhá komora je odporově ohřívána pomocí SiC tyčí a její teplota sahá až do 1250 °C. Samotné kování bylo prováděno na modelu kovacího lisu CKW6000, jehož maximální síla je 1 MN a ovládání je řízené programově. [17]

Během kování bylo také používáno mazivo, konkrétně emulze grafitu ve vodě. Posledním nezbytným vybavením byla klasická kovádkla s kruhovými kalibry vypůjčená od firmy PilsenTools.

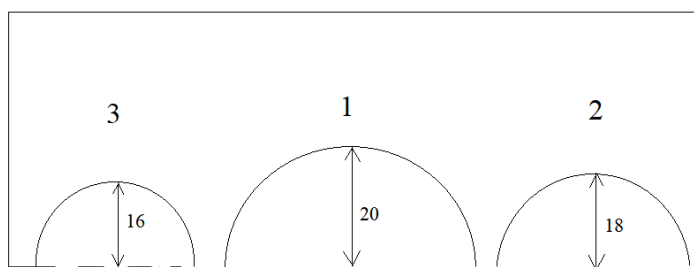


Obr. 37 Model školního kovacího lisu CKW6000 [17]

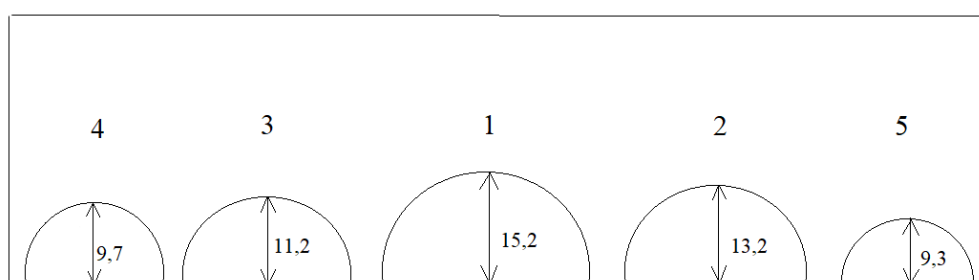
### 6.3 Technologický postup kování tyče s nestejným průřezem

Jak už bylo zmíněno výše, kování probíhalo ve dvou klasických kovádlech s kruhovými kalibry stejného typu, ale různé velikosti. Polotovarem k této operaci byla tyčovina o průměru 45 mm a délky 120 mm. Cílem tohoto technologického postupu bylo vykovat osazenou tyč o délce minimálně 180 mm, minimálním průměru 18 mm a průměru osazení 35 mm při délce osazení alespoň 30 mm.

Nejdříve bylo nutné polotovary ohřát na dostatečnou kovací teplotu ve dvoukomorové ohřívací peci. Pec byla předehřáta na horní kovací teplotu 1150 °C (hodnota dolní kovací teploty byla 950 °C). Poté byly do pece vloženy polotovary předehřáté na 700 °C. Z důvodu nižší teploty polotovarů došlo k mírnému poklesu teploty v peci. Bylo tedy nutné počkat, než teplota v peci opět dosáhne hodnoty horní kovací teploty. Toto ohřátí materiálu trvalo přibližně 20 minut. Po uplynutí této doby došlo k postupnému kování nejdříve ve větších kovádlech, kde byly využity všechny tři kalibry. Po překování v každém kalibru bylo nutno zařadit příhřev polotovaru na horní kovací teplotu z důvodu ochlazení při kování. Následovalo kování v menších kovádlech, kde postačily první tři kalibry (kování v menších kalibrech by v tomto případě nebylo vhodné, protože výsledný polotovar pro sonotrodu by neměl požadované rozměry).



Obr. 38 Schéma prvního kovádra



Obr. 39 Schéma druhého kovádra

Čísla kalibrů na obrázku 38 a 39 znázorňují postup kování v prvním a druhém kovádle. Pro vykování požadovaného tvaru polotovaru bylo potřeba kovat velkým počtem úderů a úhlem otočení 45° postupně v šesti kalibrech různých velikostí. Kování proběhlo bez potíží a s přijatelnou přesností.

### 6.3.1 Výpočet úběrů u prvního kovádra

Postupné úběry materiálu mezi jednotlivými kalibry slouží k dosažení požadovaného tvaru výkovku. Pomocí těchto výpočtů lze procentuálně určit, k jak velkým úběrům v jednotlivých kalibrech došlo. Základní vztah pro tento výpočet je následující:

$$\frac{D_0^2 - D_1^2}{D_0^2} = U$$

$U$  – Úběr [%]

$D_0$  – Průměr polotovaru

$D_1$  – Průměr prvního kalibru



Za počáteční průměr se dosazuje průměr polotovaru (v tomto případě tedy 45 mm). První indexy průměrů značí číslo kalibru kovádky, druhé indexy určují samotné kovádko. Výpočet hodnoty úběru v prvním kalibru je proto:

$$\frac{D_{01}^2 - D_{11}^2}{D_{01}^2} = \frac{45^2 - 40^2}{45^2} = 0,2098 \approx 21\%$$

Velikost hodnoty úběru ve druhém kalibru v prvním kovádku:

$$\frac{D_{11}^2 - D_{21}^2}{D_{11}^2} = \frac{40^2 - (2 * 18)^2}{40^2} = 0,19 \approx 19\%$$

Velikost hodnoty posledního úběru v prvním kovádku v kalibru 3:

$$\frac{D_{21}^2 - D_{31}^2}{D_{21}^2} = \frac{(2 * 18)^2 - (2 * 16)^2}{(2 * 18)^2} = 0,2098 \approx 21\%$$

### 6.3.2 Výpočet úběrů u druhého kovádky

Jak je vidět na obrázku č. 39, druhé kovádko je typově stejné jako první. Rozdílem je větší počet kalibrů menších rozměrů. Pro vykování polotovaru pro zadanou sonotrodu postačilo kování v prvních třech kalibrech.

Velikost hodnoty úběru v prvním kalibru druhého kovádky:

$$\frac{D_{02}^2 - D_{12}^2}{D_{02}^2} = \frac{(2 * 16)^2 - (2 * 15,2)^2}{(2 * 16)^2} = 0,098 \approx 9,8\%$$

Velikost hodnoty úběru ve druhém kalibru druhého kovádky:

$$\frac{D_{12}^2 - D_{22}^2}{D_{12}^2} = \frac{(2 * 15,2)^2 - (2 * 13,2)^2}{(2 * 15,2)^2} = 0,2458 \approx 24,6\%$$

Velikost hodnoty posledního úběru ve druhém kovádku v kalibru 3:

$$\frac{D_{22}^2 - D_{32}^2}{D_{22}^2} = \frac{(2 * 13,2)^2 - (2 * 11,2)^2}{(2 * 13,2)^2} = 0,28 \approx 28\%$$

Pomocí tohoto postupu proběhlo kování polotovaru bez potíží a s přijatelnou přesností.



Obr. 40 Výsledný polotovar pro sonotrodu

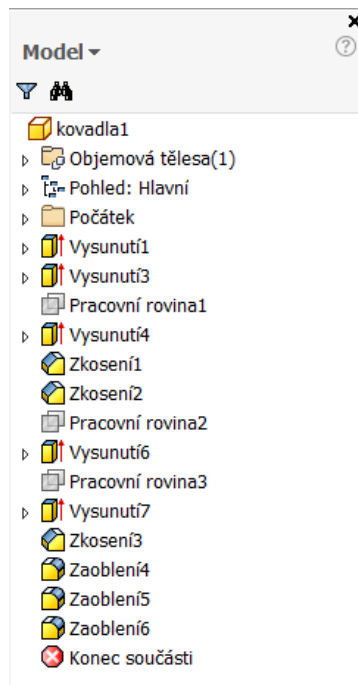
## 6.4 Použitý software

Všechny výrobní výkresy včetně modelů byly vytvořeny ve 3D modeláři Autodesk Inventor. Jedná se o aplikaci umožňující parametrické 3D navrhování, tvorbu 2D výkresové dokumentace a správu dokumentů a konstrukčních dat.

Základem pro práci v Inventoru je vytvoření 2D náčrtu. Pomocí kombinace různých funkcí lze z vytvořeného 2D náčrtu vytvořit 3D model. Tento model je s náčrtem úzce spojený. Při změně kóty, parametru nebo geometrie v náčrtu dojde k automatické aktualizaci celého modelu včetně výkresové dokumentace (pohledy, řezy, detaily, kusovníky). Součástí Inventoru je i vestavěná SQL databáze (tzv. obsahové centrum) obsahující statisíce normalizovaných součástí. Výkresy jsou zpracovány ve formátu DWG nebo IDW.

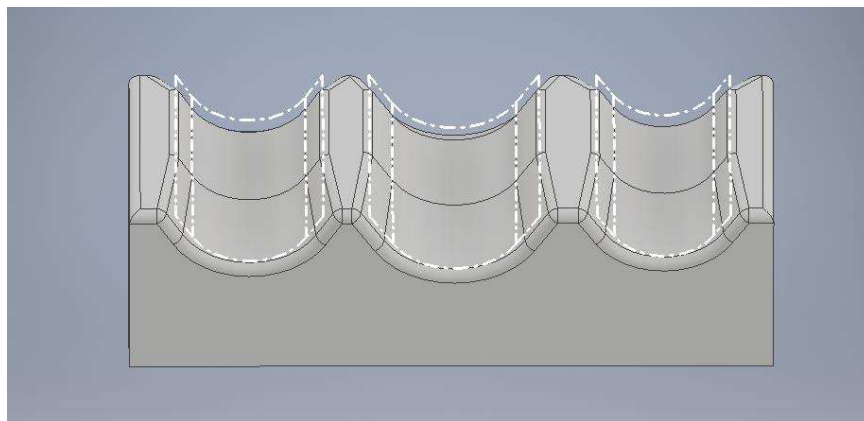
### 6.4.1 Konstrukce kovadel s kruhovými kalibry

Jak už bylo řečeno, obě kovadla byla navržena v aplikaci Autodesk Inventor. Tato aplikace zobrazuje postup tvorby celého modelu (viz. obrázek 41). Návrh konstrukce začíná jednoduchým náčrtem obdélníku o rozměrech 55×60 mm, který pomocí funkce „Vysunutí“ vytvoří kvádr o délce 180 mm.



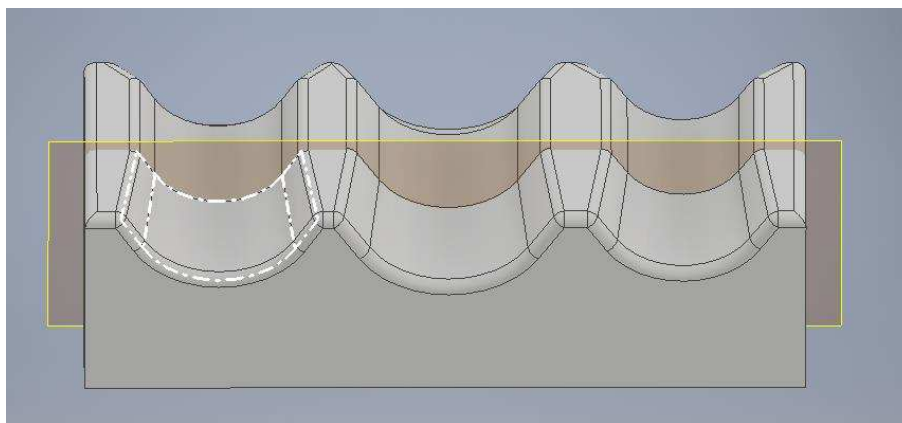
Obr. 41 „Strom“ z aplikace Autodesk Inventor [13]

Dalším krokem bylo do vytvořeného kvádrů vysunout jednotlivé kalibry. Do přední stěny kvádrů byly zakresleny jednotlivé náčrty, které se dále vysunuly přes celou šířku kvádrů.

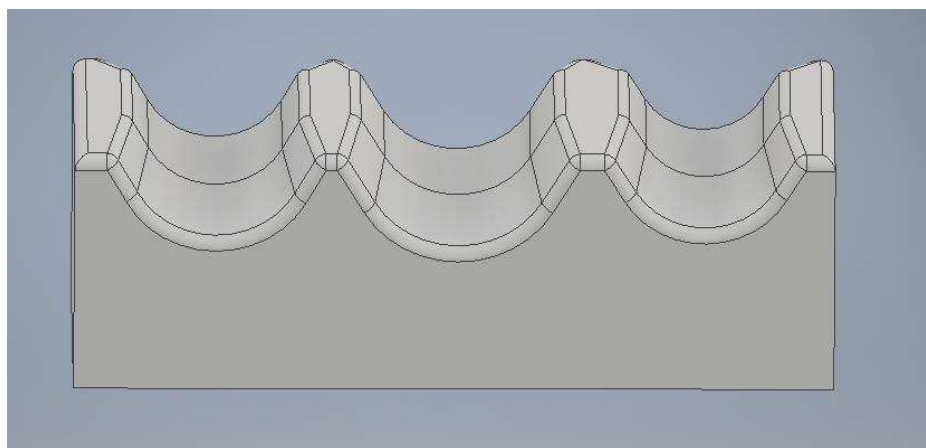


Obr. 42 Vysunutí kruhových kalibrů [13]

Vzhledem ke kuželovému tvaru kalibrů bylo zapotřebí vytvořit pracovní rovinu ve vzdálenosti 24 mm od kraje. V této pracovní rovině stačilo zvýraznit geometrii profilu a poté ho vysunout pod úhlem  $8,4^\circ$ . Posledními kroky v konstrukci kovadel byla zkosení čelních hran a zaoblení hran mezi jednotlivými kalibry.

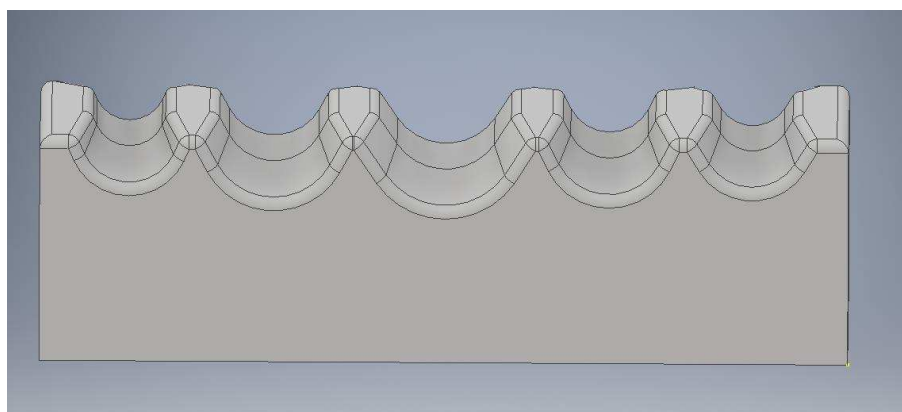


Obr. 43 Vytvoření kuželové části kalibrů pomocí pracovní roviny [13]



Obr. 44 Výsledný model prvního kovádra [13]

Návrh konstrukce druhého kovádra začínal stejným způsobem jako ten první – náčrtem obdélníku o rozměrech 55×60 mm. Druhé kovádro je ale větší než to první, vysunutí tedy proběhlo do vzdálenosti 210 mm. Následující kroky byly stejné jako u předchozího kovádra, lišily se pouze v rozměrech, počtu kalibrů a délce kuželové části kalibrů (v tomto případě 26 mm).



Obr. 45 Výsledný model druhého kovádra [13]

## 7 Návrh kovádkla eliptického průřezu

Následující kapitola se zabývá obdobnou problematikou jako kapitola předešlá. V tomto případě je snahou zjednodušit a zefektivnit předchozí postup kování tyče s nestejným průřezem pomocí simulace kovádkla eliptického průřezu. Stejně jako v předchozím případě jsou výrobní výkresy k této části práce obsaženy v příloze.

### 7.1 Použitá zařízení a vybavení

Stejně jako v předchozím případě bylo nutné navrhnout technologický postup tak, aby bylo možné využít vybavení univerzitní halové laboratoře (model kovacího lisu CKW 6000 s výkonem 10 tun a dvoukomorová ohřívací pec).

Hlavním rozdílem mezi oběma technologiemi je použití odlišného tvaru kovadel (v tomto případě eliptického kovádkla). Dále pak použití odlišných polotovarů (v tomto případě pravidelný osmistěn z oceli ČSN EN 19830).



Obr. 46 Polotovar pro kování v kovádlech eliptického průřezu

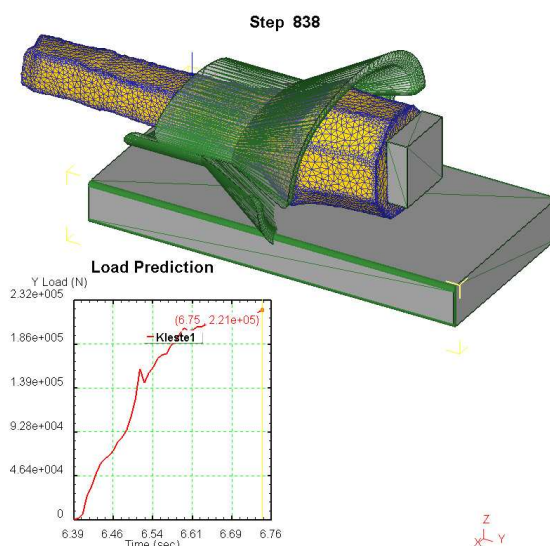
### 7.2 Technologický postup kování v kovádle eliptického průřezu

Technologický postup byl navržen tak, aby s jeho pomocí bylo možné vykovat polotovar pro sonotrodu stejných rozměrů jako v předchozí kapitole. Návrh byl založen na konstrukci prodlužovacího kalibru s eliptickým průřezem, přičemž inspiraci tvořil princip kovacích válců.

Simulace byla nejdříve prováděna při uspořádání horního a dolního kalibru přesně proti sobě. V tomto případě ale docházelo k šíření polotovaru a jeho prodlužování bylo velmi malé. Z toho důvodu došlo k úpravě vzájemné polohy kalibrů, kdy byl dolní kalibr posunut o 30 mm v horizontálním směru. Oba kalibry se tak dostaly do přesazené polohy. Následně simulace ukázala, že při otáčení polotovaru o 90° po každém úderu docházelo

k rychlému prodlužování a vzniku přibližně čtvercového průřezu zúžené části tyče. Tento čtvercový průřez by se následně překoval na průřez kruhový.

Simulace dále ukázala, že síla potřebná k této technologii nepřevyšuje 0,8 MN, což splňuje podmínku využití školního zařízení. Další podmínkou, která měla být splněna byla ruční manipulace s výkovkem. V tomto případě výpočet síly působící proti ruce kováře a směřující k vyhazování polotovaru z nástroje ukázal, že tato síla dosahuje hodnoty 2210 N. Kovář by tedy musel udržet přibližně 220 kg, což není možné. [14]



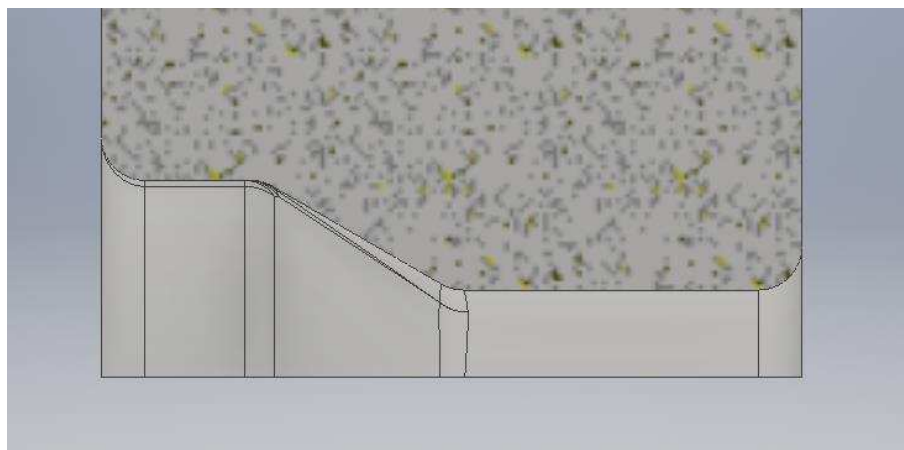
Obr. 47 Sestava pro simulace [14]

Cílem návrhu této technologie bylo vymyslet efektivnější a rychlejší postup pro vykování tyče s nestejným průřezem. Z hlediska podmínky ruční manipulace je tento postup samozřejmě zcela nevhodný. Ovšem vzhledem ke stále většímu nárůstu automatizace a nahrazování lidské síly stroji, mohla by tato technologie najít uplatnění ve velkosériové výrobě.

### 7.3 Úprava konstrukce eliptických kovadel

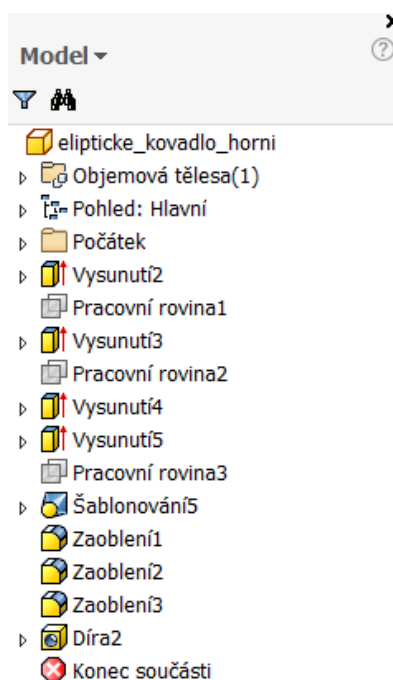
Jak už bylo řečeno, navržená konstrukce eliptických kovadel nesplňuje podmínku ruční manipulace s výkovkem. Z toho důvodu byla dále navržena úprava konstrukce kovadel, která spočívá ve změně profilu vnitřní dutiny kovadel. V předchozím případě byl přechod mezi jednotlivými průřezy lineární. V novém návrhu konstrukce je tento přechod

eliptický. Tento nový konstrukční návrh dále poslouží jako podklad pro simulaci. Zároveň je kovádko navrženo s ohledem na školní vybavení univerzitní laboratoře.



Obr. 48 Původní lineární přechod dutiny [13]

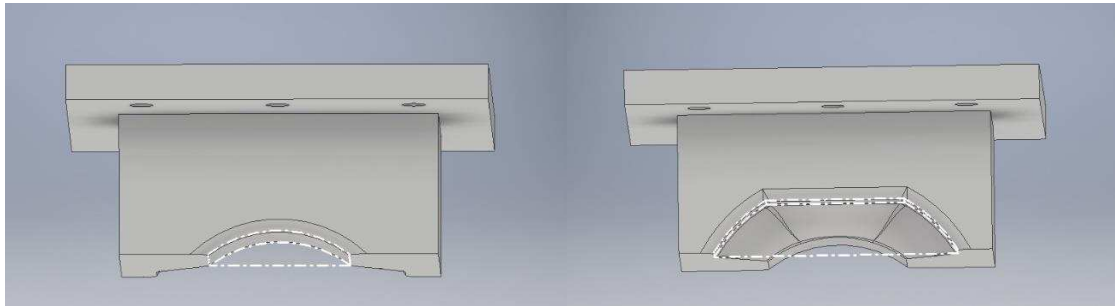
Nový návrh konstrukce byl opět vytvořen v programu Autodesk Inventor (celý postup znázorňuje obrázek 49). Stejně jako v předchozích případech návrh vychází z jednoduchého náčrtu, který slouží k tvorbě modelu kovádkla. Do tohoto modelu je dále pomocí náčrtu vytvořena dutina požadovaného tvaru a rozměrů.



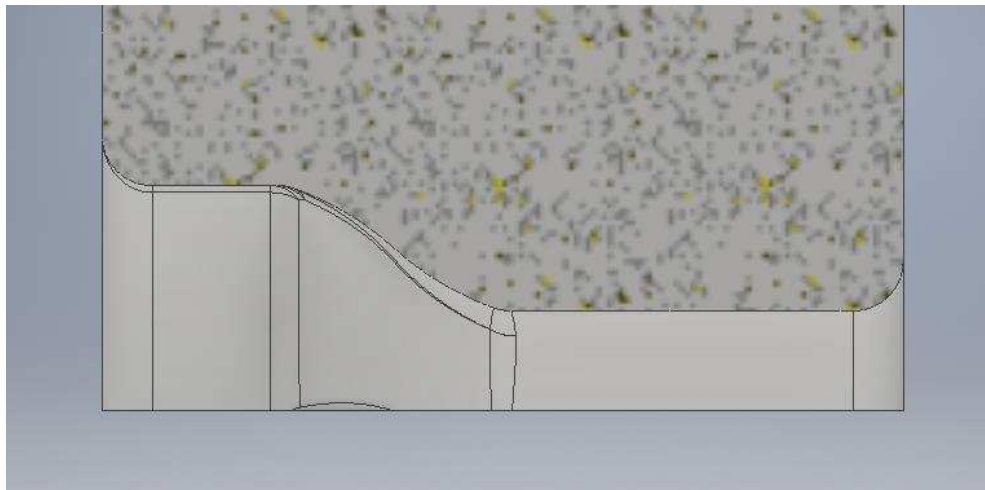
Obr. 49 „Strom“ horního eliptického kovádkla [13]

Z obrázku 49 je patrné, že posledními kroky v návrhu tohoto modelu bylo zaoblení funkčních ploch a vytvoření děr pro uchopení kovádla do stroje.

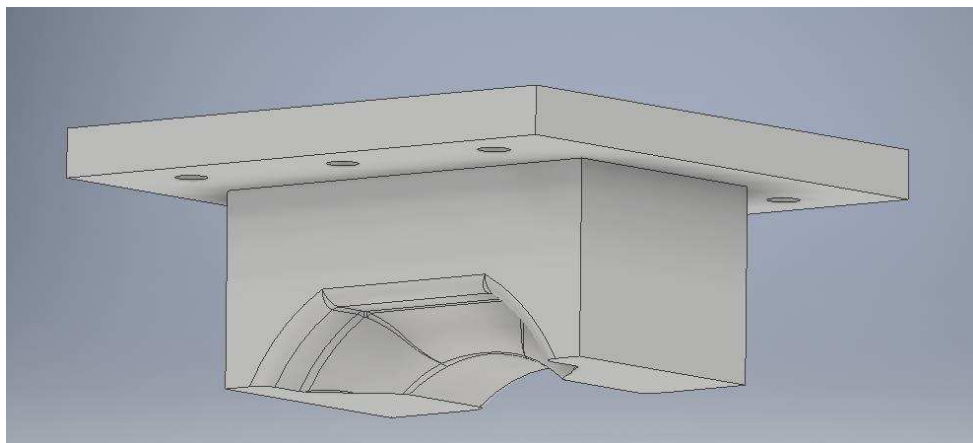
Do tohoto modelu bylo zapotřebí vytvořit dutinu eliptického tvaru a požadovaných rozměrů. Toho bylo dosaženo pomocí vysunutí dvou průřezů (z každé strany modelu jeden) a jejich spojením funkcí „Šablonování“, přičemž v tomto novém návrhu se propojení průřezů vytvořilo pomocí křivky.



Obr. 50 Vysunutí dvou průřezů [13]



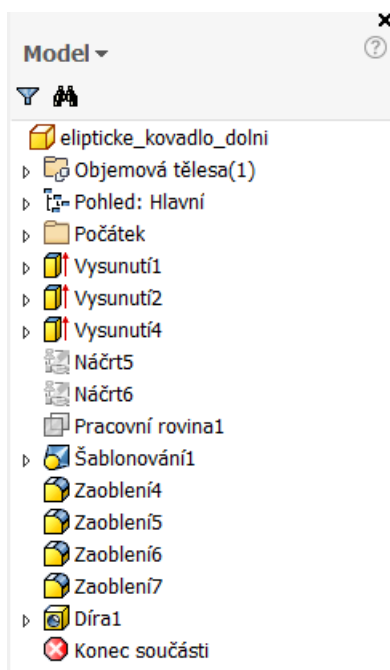
Obr. 51 Nový návrh profilu dutiny horního eliptického kovádla [13]



Obr. 52 Výsledný model horního eliptického kovádla [13]

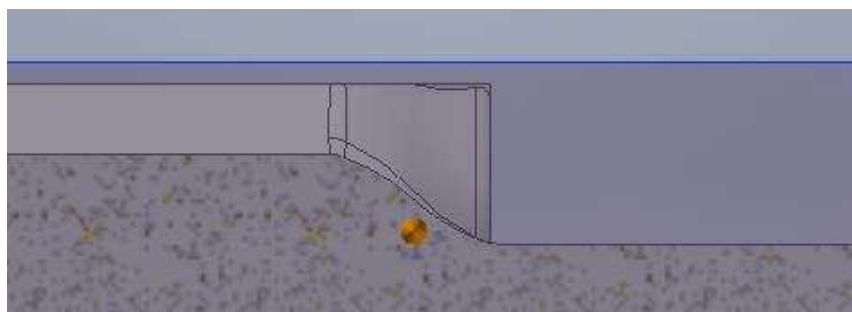


Stejně jako v předchozím případě byla úprava dolního kovadla provedena v programu Autodesk Inventor. Následující obrázek znázorňuje postup vytvoření celého modelu kovadla. Z obrázku 53 je patrné, že postup návrhu kovadla začíná vysunutím bloku „materiálu“, do kterého je následně vytvořen náčrt požadované dutiny.

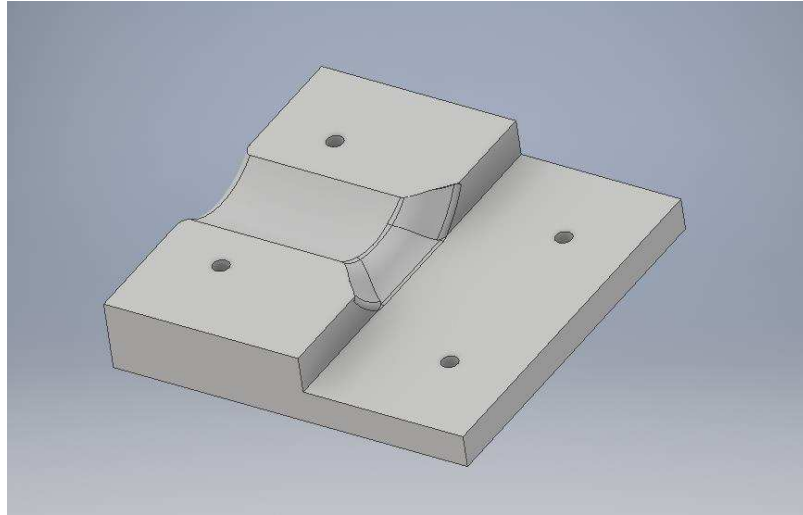


Obr. 53 Postup vytvoření dolního eliptického kovadla [13]

Hlavním důvodem úpravy konstrukce byla změna profilu vnitřní dutiny z lineárního na eliptický. I u dolního kovadla byl tento přechod proveden funkcí šablonování.



Obr. 54 Nový návrh profilu vnitřní dutiny dolního eliptického kovadla [13]



Obr. 55 Výsledný model dolního eliptického kovádkla [13]

Stejně jako u horního eliptického kovádkla byla až jako poslední vytvořena zaoblení hran a vytvoření děr pro uchopení kovádkla do stroje.

## **8 Vyhodnocení experimentálního programu**

Ke splnění cíle (vykování polotovaru pro nástroj používaný v ultrazvukovém svařování) experimentálního programu byly použity dvě rozdílné metody. V první (klasické) metodě byla použita dvojice kovádla s kruhovými kalibry odlišných rozměrů. Celkem proběhlo kování polotovaru v šesti kalibrech různých velikostí (kovalo se ve třech kalibrech v každém kovádle).

Druhá modernější metoda byla založena na návržení a použití speciálních eliptických kovádel. Tento technologický postup byl navržen za účelem zrychlení a zefektivnění předešlého postupu. Z ekonomických a časových důvodů byla tato metoda ověřena pomocí simulace.

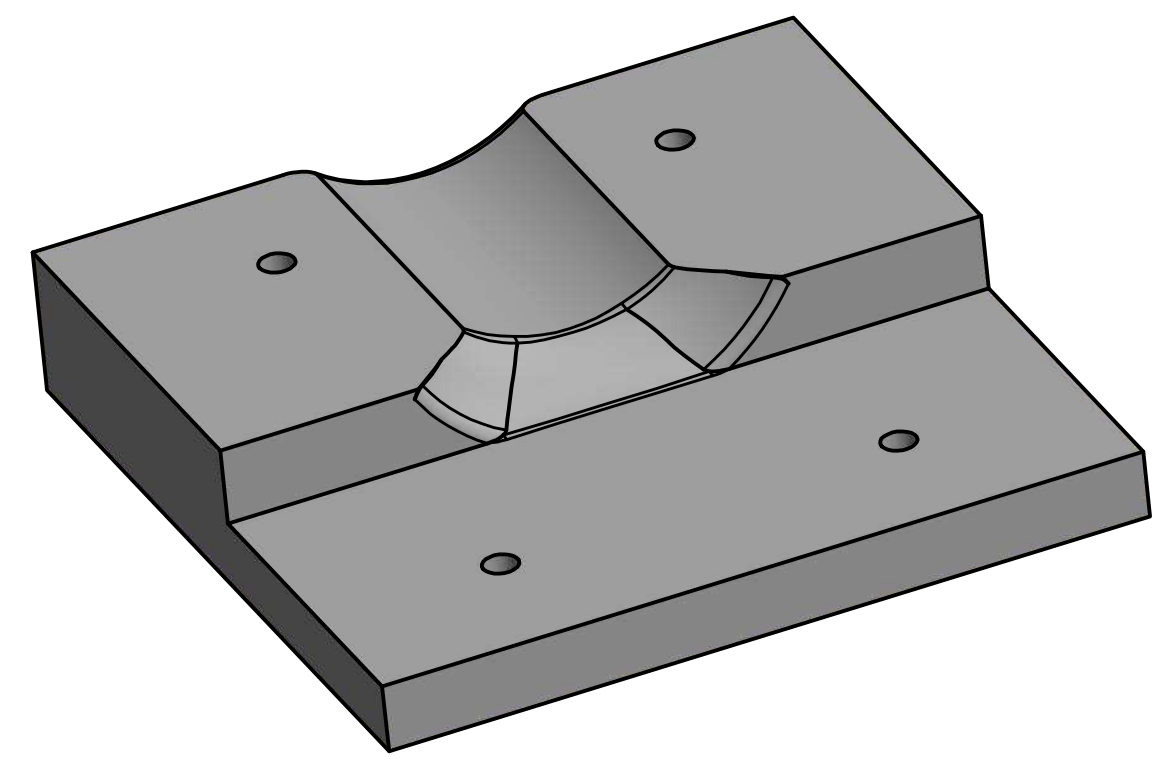
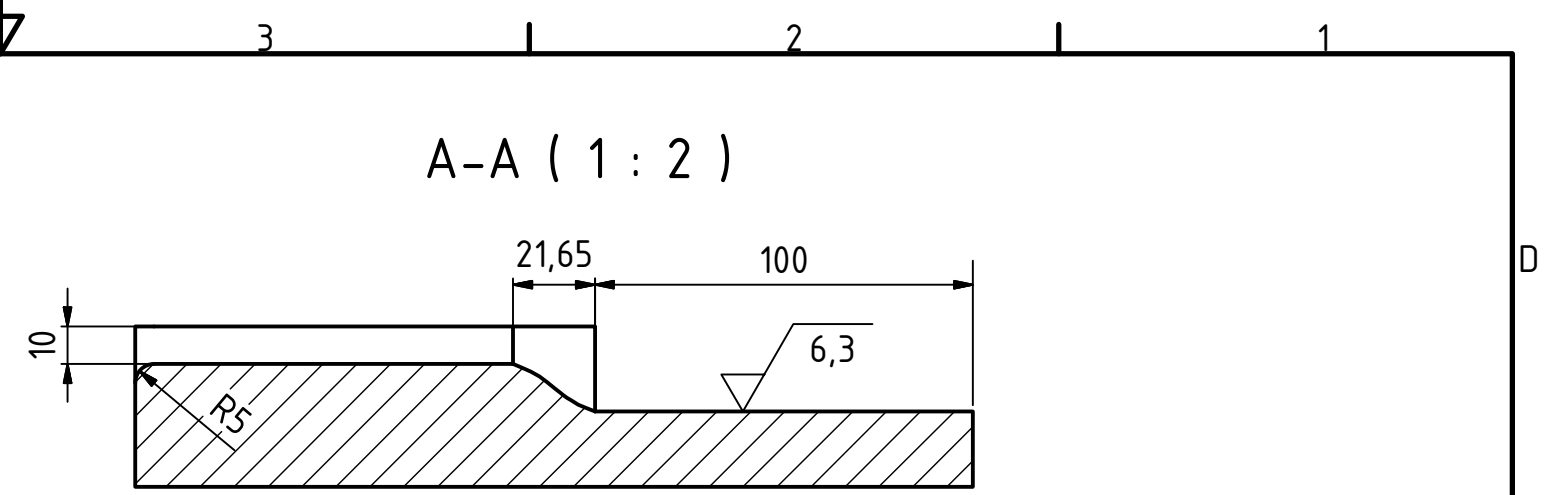
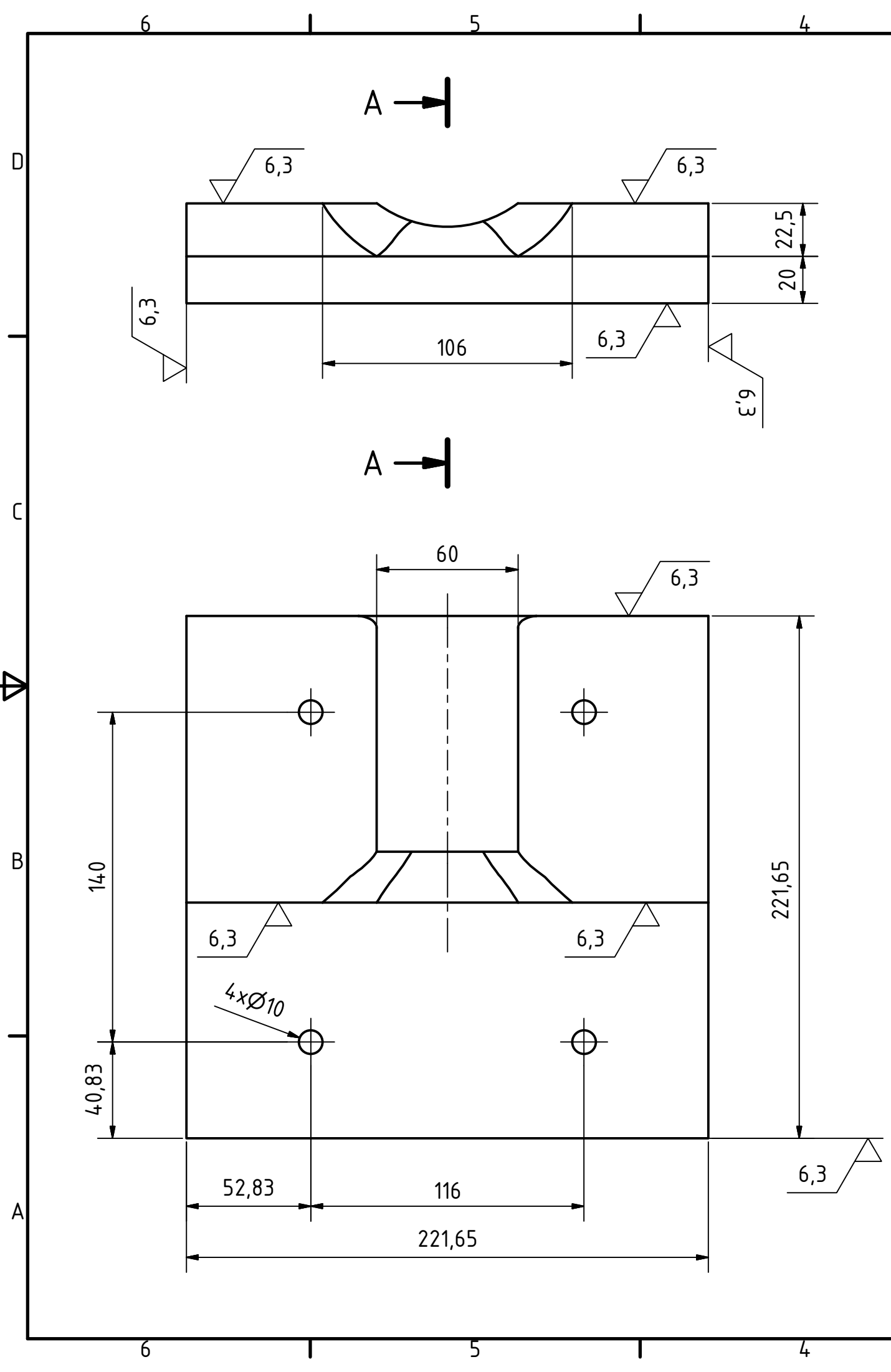
### **Závěr**

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo návržení technologického postupu a kovádel pro kování polotovaru z nástrojové rychlořezné oceli pro nástroj používaný v ultrazvukovém svařování – sonotrodu. První navržený technologický postup založený na použití klasických kovádel se ukázal jako velmi přínosný a vyhovující. S jeho pomocí se podařilo vykovat polotovar pro sonotrodu požadovaných rozměrů a přesností.

Přestože první technologický postup splnil zadané podmínky, hledala se dále možnost ke zrychlení a zefektivnění výroby polotovarů pro sonotrody. K tomuto účelu slouží druhý navržený technologický postup, který byl založen na návrhu konstrukce speciálních eliptických kovádel. Pomocí těchto kovádel lze vykovat takřka čtvercový průřez, který by se dále překoval na průřez kruhový. Tato metoda ovšem nesplnila podmínku ruční manipulace s výkovkem, protože síla vyhazující tvářený polotovar z nástroje (kovadla) dosáhla hodnoty 2210 N. Z tohoto důvodu byl profil vnitřní dutiny kovádel upraven. Tento upravený konstrukční návrh poslouží dále jako podklad pro simulaci.

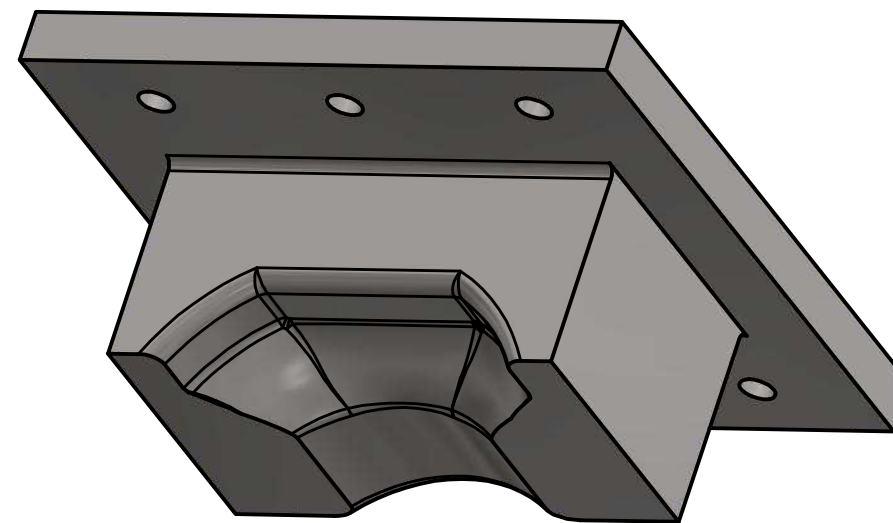
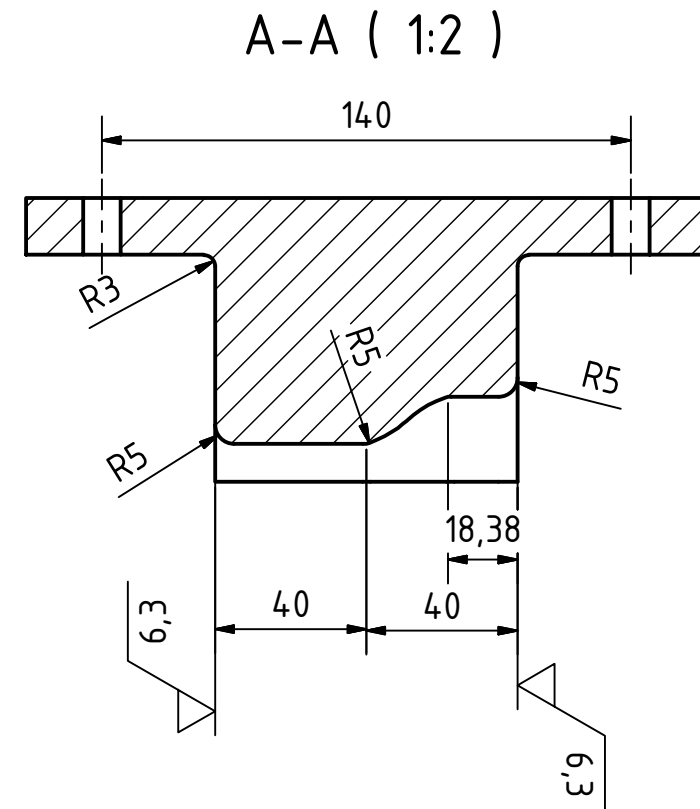
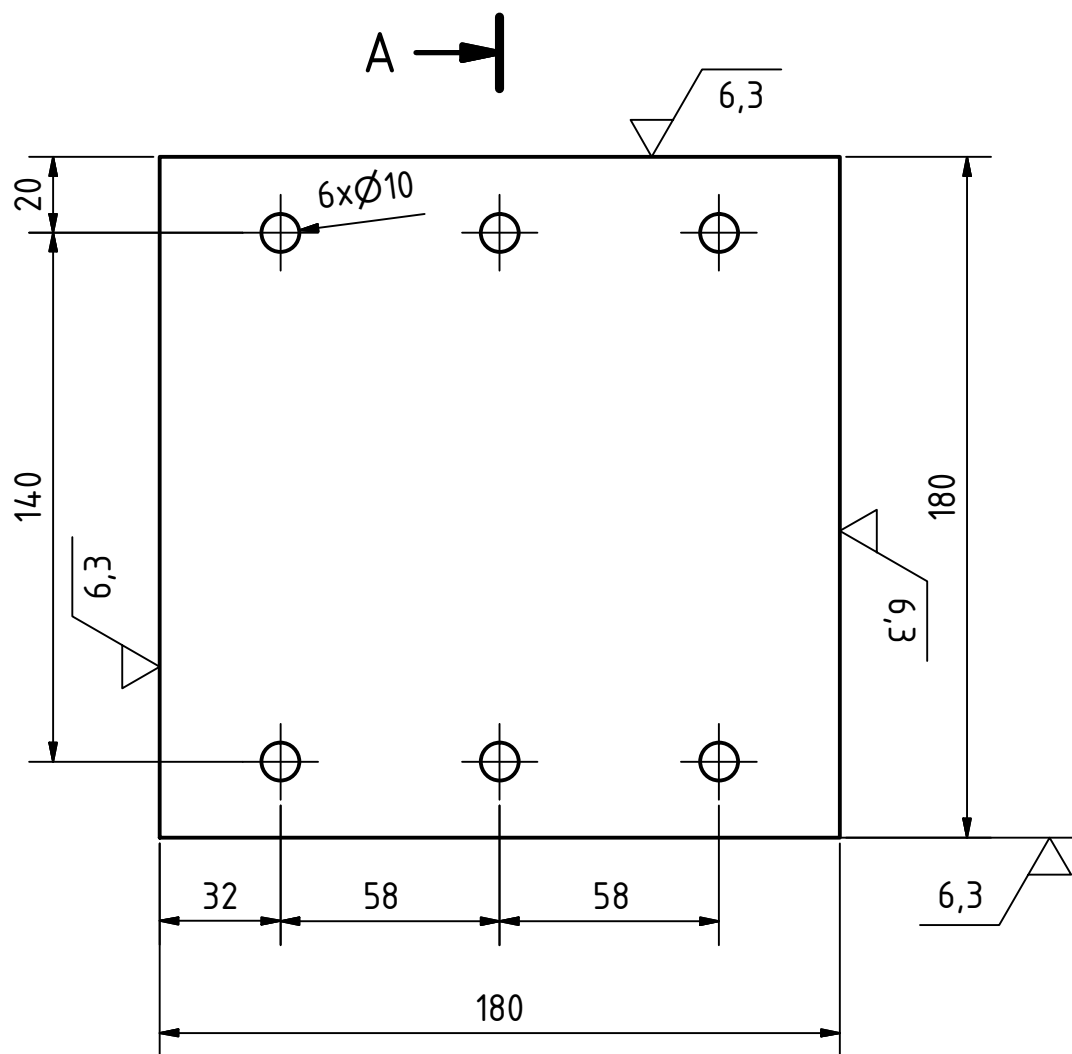
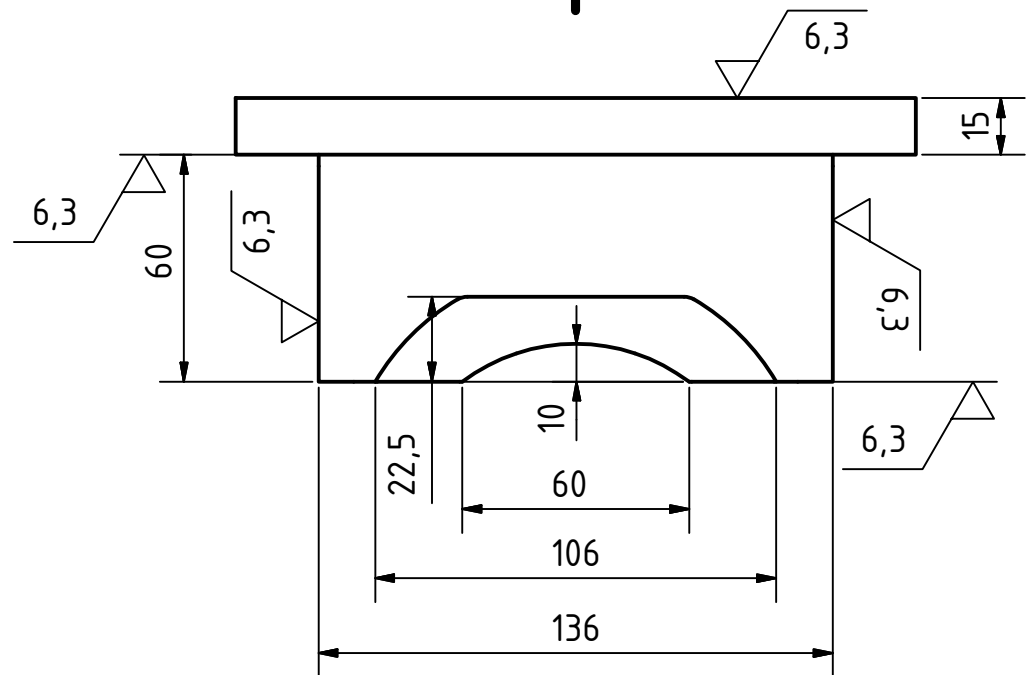
## Seznam použité literatury

- [1] [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm)
- [2] BENEŠOVÁ, S., BERNÁŠEK, V. *Technologie tváření*. Plzeň: ZČU, 2013.
- [3] <http://mlgeardesigns.blog.cz/1504/kovani>
- [4] <http://vzdelavaniirs.cz/moderni-technologie-vyuzivane-v-kovarstvi/buchary>
- [5] HAŠEK, V., *Kování*. Praha: SNTL, 1965.
- [6] SKÁLOVÁ, J., BENEDIKT, V. *Nauka o kovech*. Plzeň: Ediční středisko VŠSE, 1987.
- [7] [http://uvp3d.cz/drtic/?page\\_id=2667](http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2667)
- [8] CHLADIL, J. *Přípravky a nástroje – část obrábění*. Brno: Nakladatelství VUT, 1992.
- [9] VLACH, B. *Technologie obrábění*. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1986.
- [10] BENEŠOVÁ, S., KŘÍŽ, A. *Kovárenství*. Plzeň: ZČU – KMM, 2012.
- [11] Software Deform: System documentation.pdf, V11.0.1, 2010
- [12] [<http://www.dukane.eu/cz>]
- [13] Software Autodesk Inventor Professional 2017
- [14] BENEŠOVÁ, S., KŘÍŽ, A. *Využití numerické simulace k odhalení chyb a nesprávných cest při navrhování technologie tváření*. Plzeň: ZČU – KMM, 2017.
- [15] <http://www.tumlikovo.cz/rubriky/materialy/nastrojovematerialy/nastrojove-oceli/>
- [16] [http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove\\_oceli/MOP\\_Zpracovani%20nastrojovych\\_%20oceli.pdf](http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_Zpracovani%20nastrojovych_%20oceli.pdf)
- [17] <http://kmm.zcu.cz/Okatedre/vybavenikatedry.html>
- [18] Software Lexikon kovů se zahraničními ekvivalenty

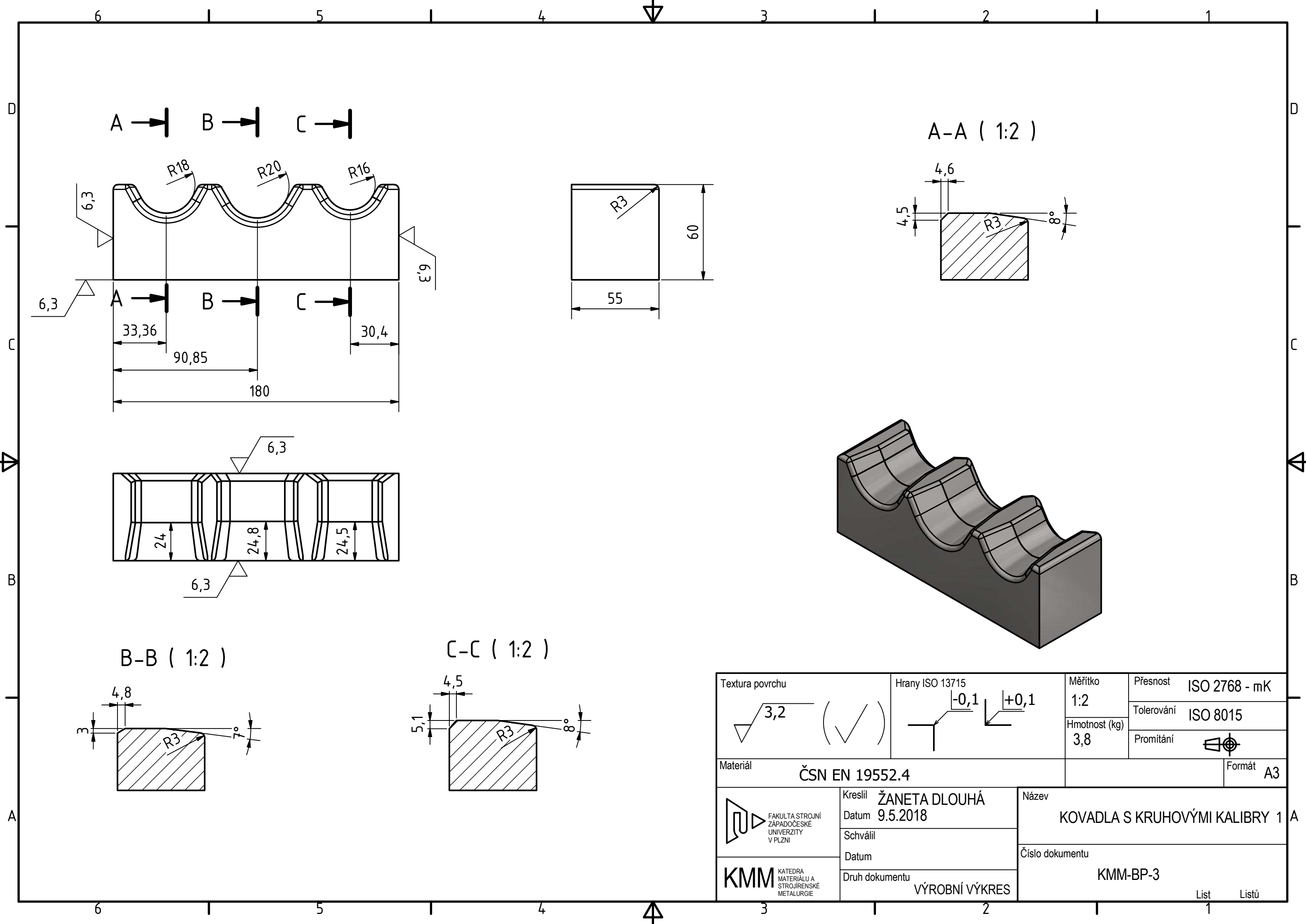


FUNKČNÍ HRANY ZAOPLENY R5

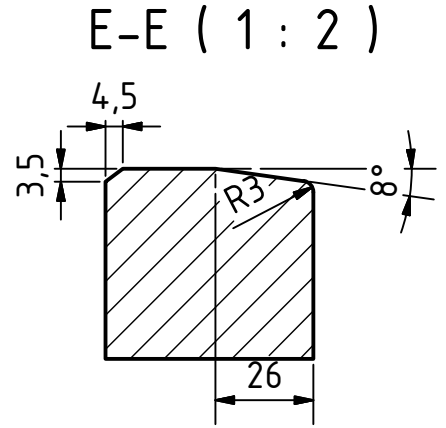
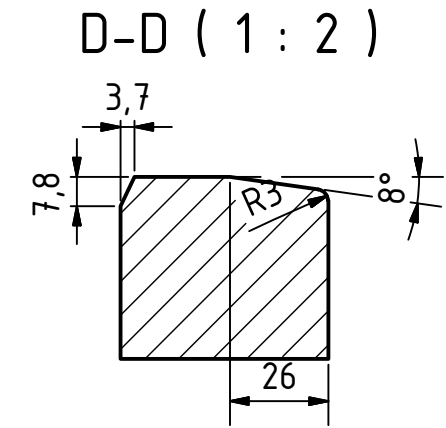
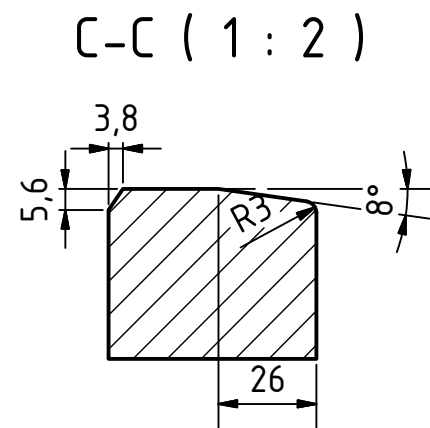
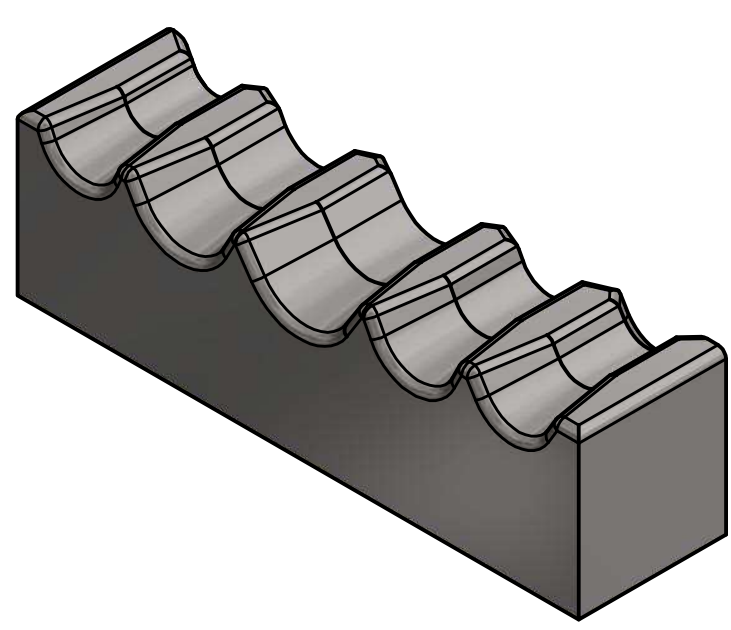
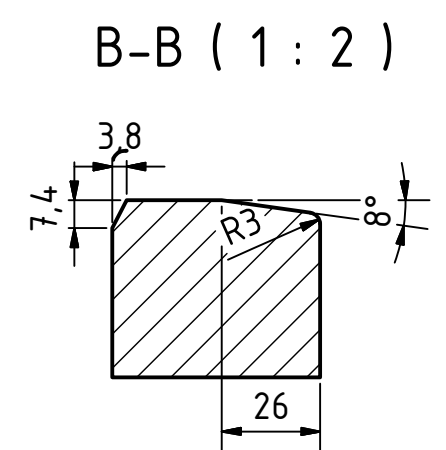
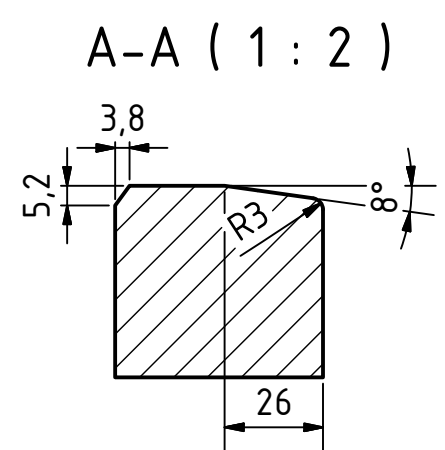
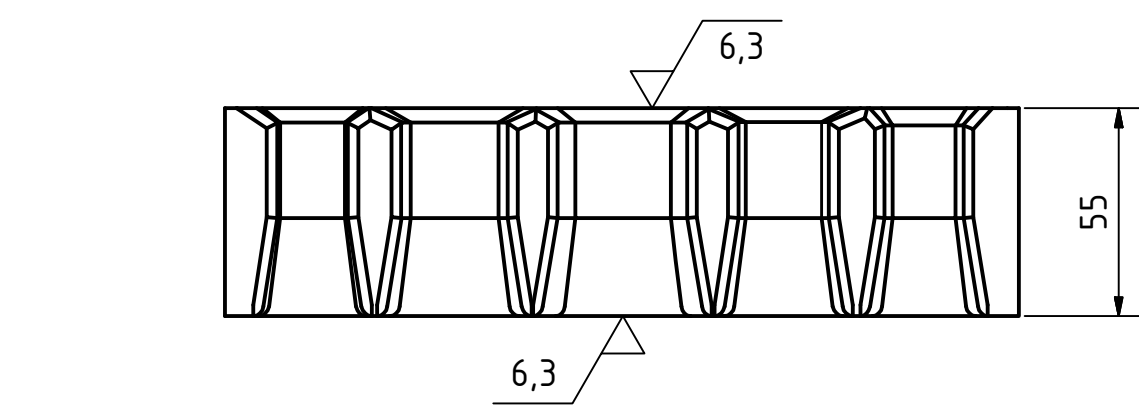
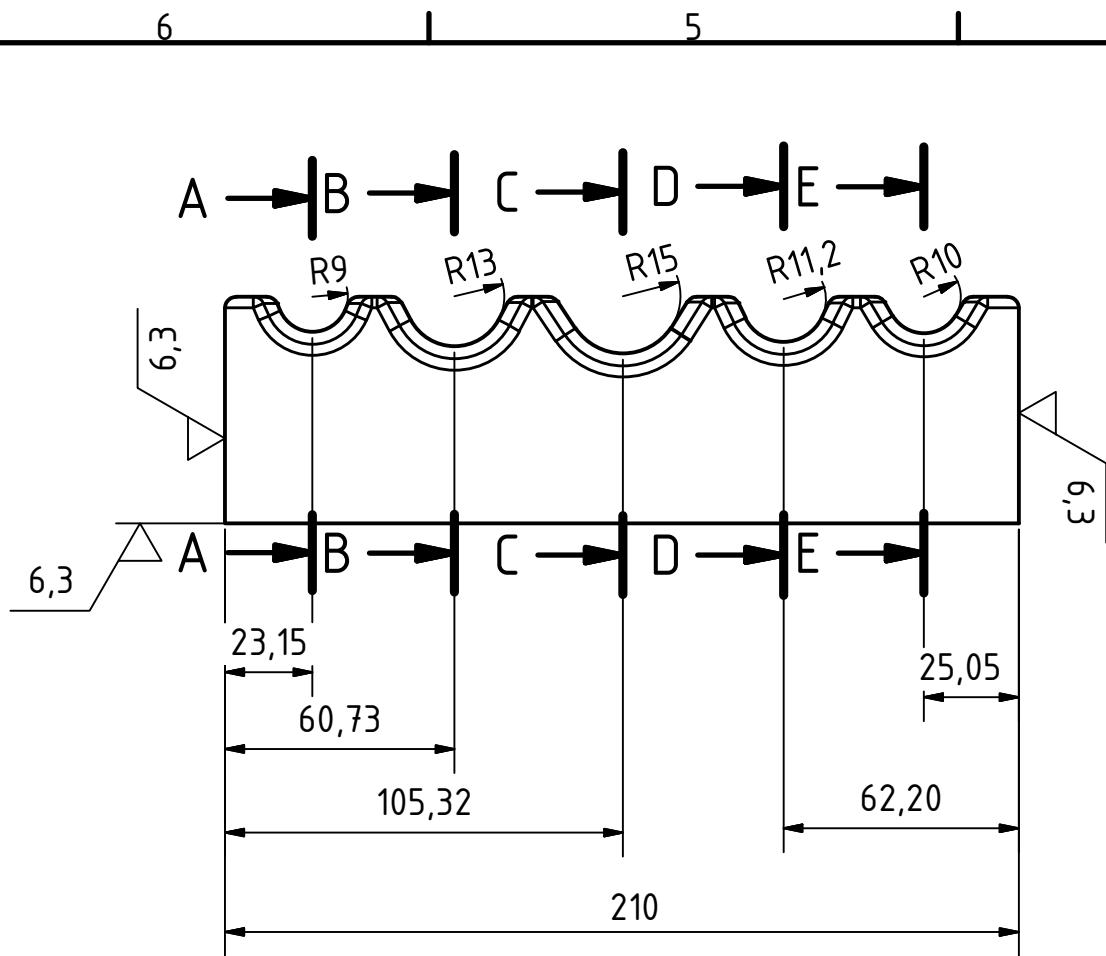
Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítka	Přesnost	ISO 2768 - mK
		1:2	Tolerování	ISO 8015
		Hmotnost (kg)	Promítání	
		11,7		
Materiál			Formát	
ČSN EN 19552.4			A3	
	Kreslil	Název		
	Datum	DOLNÍ ELIPTICKÉ KOVADLO		
Schválil	Číslo dokumentu			
Datum	KMM-BP-1			
Druh dokumentu	List Listů			
VÝROBNÍ VÝKRES				



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítka	Přesnost	ISO 2768 - mK
		1:2	Tolerování	ISO 8015
		Hmotnost (kg)	Promítání	
		8,1	Formát	A3
Materiál ČSN EN 19552.4				
	Kreslil	ŽANETA DLOUHÁ		Název HORNÍ ELIPTICKÉ KOVADLO
	Datum	9.5.2018		
KMM KATEDRA MATERIÁLU A STROJIRENSKÉ METALURGIE	Schválil			Číslo dokumentu KMM-BP-2
	Datum			
		Druh dokumentu	VÝROBNÍ VÝKRES	
		List	1	Listů



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítka	Přesnost	ISO 2768 - mK
		1:2	Tolerování	ISO 8015
Materiál		Hmotnost (kg)	Promítání	
ČSN EN 19552.4		3,8		
Kreslil ŽANETA DLOUHÁ Datum 9.5.2018 Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		Název KOVADLA S KRUHOVÝMI KALIBRY 1 A Číslo dokumentu KMM-BP-3		
FAKULTA STROJNÍ ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITY V PLZNI KMM KATEDRA MATERIÁLU A STROJÍRENSKÉ METALURGIE		Formát A3 List Listů		



Textura povrchu 	Hrany ISO 13715 	Měřítka	Přesnost
		1:2	ISO 2768 - mK
Materiál		Hmotnost (kg)	Tolerování
ČSN EN 19552.4		4,7	ISO 8015
Kreslil ŽANETA DLOUHÁ Datum 21.3.2018 Schválil Datum Druh dokumentu VÝROBNÍ VÝKRES		Promítání  Formát A3	
NÁZEV KOVADLA S KRUHOVÝMI KALIBRY 2		Číslo dokumentu KMM-BP-4	
Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni KMM KATEDRA MATERIÁLU A STROJIRENSKÉ METALURGIE		List 1	Listů 1