



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA TĚLA GRANÁTU

PRODUCING OF ARTILLERY SHELL

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Zdeněk Moravec

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2021

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Zdeněk Moravec</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.</b>
Akademický rok:	2020/21

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:

## Výroba těla granátu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Těla střel velkých ráží jsou tlustostěnné ocelové nádoby s proměnnou tloušťkou stěny. Oba konce střely mají tvar ogivalů, přičemž jeden ogival je otevřený (tzv. zadní) a jeden je uzavřený. Střela spolu s nábojnicí a vhodnou výplní pak tvoří náboj. Účelem práce je prověřit výrobní možnosti těla dělostřeleckého granátu a na podkladě provedené analýzy navrhnout a zpracovat postup výroby střely zadané ráže.

### Cíle diplomové práce:

- Zhodnotit technologičnost řešené součásti.
- Analyzovat možné způsoby výroby dělostřelecké střely se zhodnocením jejich vhodnosti pro zadanou ráži náboje.
- Vybrat optimální technologii výroby a pro zvolenou výrobní technologii zpracovat literární studii.
- Sestavit technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Pro zvolenou operaci zpracovat výkresovou dokumentaci nástroje.
- Zpracovat technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

### Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

JANKOVÝCH, Róbert Hlavňové zbraně a střelivo, Vysoké učení technické v Brně, 2012. ISBN 978-8-260-2384-5.

ASM-Metals Handbook. Formig and Forging.Vol.14. USA ASM International. 2004 S.978. ISBN 0-87170-020-4.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. Strojírenská technologie II, Technologie ve výrobě zbraní a munice. VA Brno.1999. 169 s.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

MORAVEC Zdeněk: Výroba těla granátu.

---

Diplomová práce pojednává o technologii výroby těla dělostřeleckého granátu ráže 155 mm z oceli C60. Součást je vyráběna v sérii po 100 000 kusech. Na základě literární studie a podkladů byl navržen technologický postup zápusťkového kování zohledňující specifický tvar výkovku. Určen byl objem výchozího polotovaru a tvářecí síla. Na základě velikosti tvářecí síly byl vybrán vhodný tvářecí stroj. Proveden byl i návrh nástrojů pro operaci děrování a redukční průměry sad kladek pro protahování výkovku. V technicko-ekonomickém zhodnocení byly vyčísleny materiálové náklady na výrobu celé série.

Klíčová slova: Tělo granátu, zápusťkové kování, ocel C60, dutý výkovek

## **ABSTRACT**

MORAVEC Zdeněk: Producing of artillery shell.

---

The diploma thesis deals with the technology of production of the body of an artillery shell caliber 155 mm from C60 steel. The part is manufactured in series of 100,000 pieces. Based on a literature study and materials, a technological procedure of drop forging was designed, taking into account the specific shape of the forging. The volume of the starting blank and the forming force were determined. A suitable forming machine was selected based on the magnitude of the forming force. The design of tools for punching operations and reduction diameters of sets of rollers for forging stretching was also performed. In the technical and economic evaluation, the material costs for the production of the entire series were quantified.

Keywords: Artillery shell, die forging, steel C60, hollow forging

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

MORAVEC, Zdeněk. *Výroba těla granátu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132195>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 21.5.2021

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce a panu Ing. Janu Řiháčkovi Ph.D. za zprostředkování simulací tvářecích procesů. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za umožnění studia. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své přítelkyni za obrovskou podporu při studiu a tvorbě této práce.

## OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD	9
1 DĚLOSTŘELECKÁ MUNICE	10
2 ŘEŠENÁ SOUČÁST	12
2.1 Možnosti výroby	14
3 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	15
3.1 Dělení vstupního materiálu	15
3.2 Ohřev polotovarů	16
3.2.1 Kovací teploty a rychlost ohřevu	16
3.2.2 Nežádoucí jevy a vady při ohřevu	18
3.2.3 Způsoby ohřevu	19
3.3 Konstrukce výkovku	20
3.4 Stroje pro zápustkové kování	24
4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY TĚLA GRANÁTU	27
4.1 Stanovení mezioperačních tvarů výkovku	31
4.1.1 Rozvinutí ogiválu	31
4.1.2 Simulace uzavírání ústí	34
4.1.3 Určení objemu protaženého výkovku	40
4.1.4 Určení rozměrů děrovaného výkovku	42
4.1.5 Určení tvaru předděrovaného výkovku	45
4.1.6 Výpočet výchozího polotovaru	46
4.2 Návrh nástrojů	47
4.2.1 Nástroj pro děrování	47
4.2.1 Průměry protahovacích kladek	49
4.3 Výpočet tvářecí síly pro děrování výkovku	50
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	55
6 ZÁVĚRY	58
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	



## ÚVOD [1], [2], [3], [4]

„Mířič svižně uskočil. Kovově, ohlušivě třesklo dělo, nad hlavami našich pod kopcem zasvištěl granát, dopadl daleko před nepřítele, označil obláčkem místo svého dopadu a roztrhl se.“ [1]

Dělostřelectvo (obr.1), jako jedna z neúčinnějších a zároveň nejstrašnějších zbraní, bylo a je nedílnou součástí většiny armád. Dělostřelectvo ke své činnosti potřebuje střelivo nejrozličnějších typů, a to je vyráběno nejrozličnějšími technologiemi. Při jejich výrobě se aplikují všechny výrobní technologie využívané v běžné strojírenské výrobě. Technologie používané ve výrobě zbraní a munice jsou však mnohdy přizpůsobeny atypickým dílům a speciálním požadavkům, které jsou na tyto součásti kladeny. Tyto speciální metody jsou z pohledu strojírenské technologie velice zajímavé a stojí za pozornost. Významnými technologiemi používanými při výrobě munice (obr. 2) jsou technologie tváření kovů, mezi které se řadí i zápusťkové kování, příklad běžných výkovků na obr. 3.



Obr. 1 Houfnice M777A2 v okamžiku výstřelu [2]



Obr. 2 Kované části střel [3]



Obr. 3 Příklady běžných zápusťkových výkovků [4]

## 1 DĚLOSTŘELECKÁ MUNICE [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]

Vývoj dělostřelecké munice jde ruku v ruce s vývojem dělostřelectva. Základním impulzem pro vznik dělostřeleckých zbraní byl vynález střelného prachu, který byl vynalezen v Číně v 7.-8. století našeho letopočtu. Do Evropy se střelný prach dostal někdy na konci 13. století a začátkem 14. století se objevují první palné zbraně, včetně děl. Jako první střelivo se začaly používat olověné a kamenné koule. Dělostřelectvo se tehdy uplatňovalo především při boření hradeb a ani jeden druh nebyl ideální, olověné koule byly měkké a drané, kamenné koule zase náročné na výrobu a při nárazu často praskaly, což snižovalo jejich účinnost. Nevhodnější se nakonec ukázaly železné koule (obr. 4), které



Obr. 4 Dělové koule [7]

byly až do druhé poloviny 19. století hlavním druhem dělostřelecké munice. Rozvoj přírodních věd v 17. a 18. století umožnil i rozvoj dělostřelectva. Začali vycházet teoretické práce zabývající se nejen problematikou střelby, ale také zásadami konstrukce dělostřeleckého materiálu. Dělostřelectvo se začíná uplatňovat i v polních bitvách, pro tento účel se objevují kartáčové a šrapnelové střely. Průmyslová revoluce přinesla pokrok i v oblasti dělostřelectva



Obr. 5 Obrábění válcových střel za 1. sv. války [8]

a dělostřelecké munice. Drážkované ocelové hlavně nahradily hladké bronzové. To spolu s vynálezem bezdýmného střelného prachu a nabíjením zezadu umožnilo zvýšení výkonu a zlepšení přesnosti děl a tím i nahrazení dělových koulí střelami válcového tvaru (obr 5). 20. století a v něm probíhající světové války a následné závody ve zbrojení znamenaly rychlý vývoj bojové techniky, to si vyžádalo vznik nových druhů dělostřelectva (protitankové a protiletadlové) a jeho munice. Novým typem je např. průbojná protipancéřová střela. Většina těchto typů munice se ve stejné nebo modifikované podobě používána dodnes a je popsána dále.

Moderní střelivo pro hlavnové dělostřelectvo musí plnit celou řadu nejrůznějších úkolů, což vyžaduje konstrukci širokého sortimentu střel lišících se zejména účinky na cíl. Mezi dělostřeleckou municí se obvykle řadí střelivo v ráží nad 20 mm, které lze klasifikovat podle různých kritérií. Podle ráže a tím i příslušného typu zbraně pro kterou jsou určeny, můžeme střely rozdělit do 3 základních kategorií:

- **Malorážové** (do 75 mm) – používané pro automatické kanóny obrněných transportérů, lehkých bojových vozidel, letecké a protiletadlové kanóny.
- **Středorážové** (75-155 mm) – pro polní dělostřelectvo, tankové a protitankové kanóny.
- **Velkorážové** (nad 155 mm) – výjimečně pro polní dělostřelectvo, ale především pro lodní a pobřežní děla.

Podle druhu stabilizace můžeme střely rozdělit na střely s vodící obroučkou a střely šípové. Střely s vodící obroučkou jsou stabilizovány rotací, která je střele udělena drážkováním hlavně. Šípové střely jsou typické pro tankové kanóny s hladkým vývrtem, za letu jsou stabilizovány křídélky připojenými k jejímu tělu. Sklopená stabilizační křídélka jsou vidět v zadní části střely na obr.6. Dalším podstatným dělením je rozdělení podle účelu a účinku na cíl:



Obr. 6 Šípová střela [10]

- **Tříštivé granáty** – jedná se o nejpoužívanější typ střel, jsou určeny k ničení živé síly, a to účinkem střepin vzniklých roztrháním pláště střely explozí výbušné náplně, podrobněji budou rozebrány v příští kapitole.
- **Trhavé (tříštivo-trhavé) střely** – cíl ničí především tlakovou vlnou, v menší míře střepinami z pláště, vzniklou výbuchem náplně, jsou určeny především na ničení budov a lehce pancéřovaných cílů.
- **Průbojné střely** – jsou určeny k ničení obrněných vozidel proražením pancíře využitím své kinetické energie, existuje jich celá řada podskupin, ale obecně se skládají z těla vyráběného z ušlechtilých legovaných ocelí s měkkou čepicí chránící špicí těla a omezující sklouznutí střely po pancíři, mohou obsahovat i malé množství trhaviny, která exploduje po proražení pancíře a znásobí tak účinek.
- **Podkaliberní střely** – jsou určeny k proražení pancíře vysokou kinetickou energií jádra, střela se skládá z jádra vyrobeného z vysoce tvrdého kovu (např. wolframu) a lehkého obalu určeného k utěsnění střely v hlavni a její stabilizaci v letu.
- **Kumulativní (průpalné) střely** – určeny opět k ničení obrněných vozidel, pancíř proráží účinkem výbuchu usměrněného do tenkého paprsku, to je způsobeno speciálním tvarováním výbušné náplně a usměrňující vložky.
- **Nesmrtící granáty** – skládají se z obalu a náplně s různým účinkem, který však není určen k ničení, jedná se o granáty osvětlovací, kouřové nebo i agitační sloužící k rozhazování letáků.

Dělostřelecké střely mohou být řešeny jako jednotné, kdy je střela spojena spolu s náloží do jednoho celku (jednotný náboj). Nebo mohou být řešeny jako dělené, kdy je střela oddělena od nálože a do komory zbraně jsou vkládány odděleně. Jako dělené jsou většinou řešeny střely větších ráží, a to z důvodu velké hmotnosti a tím obtížné manipulace. Ukázka různých typů střel, dělených i nedělených je na obr. 7.



Obr. 7 Různé typy dělostřeleckých střel [11]

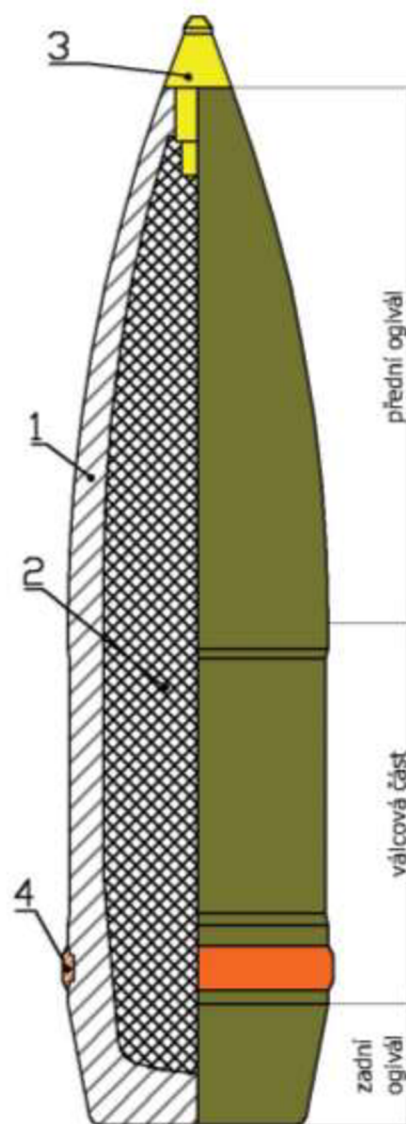
## 2 ŘEŠENÁ SOUČÁST [9], [12], [13]

Řešenou součástí je tělo dělostřelecké střely, konkrétně nárazového tříštivého granátu ráže 155 mm, 3D model součásti je na obr. 9. Jedná se o tělo středorážového granátu určeného pro kanón s drážkovanou hlavní. Výška těla řešeného granátu je 607 mm a největší průměr je 152,5 mm, všechny ostatní rozměry jsou na výkresu DP\_01\_191464. Největší průměr těla se volí o 2,5 mm menší než ráže zbraně, pro kterou je střela určena. Volí se tak proto, aby ocelová střela nepoškodila vývrt hlavně, samotné utěsnění v hlavni zajišťuje nalisovaná vodící obroučka. Jedná se tedy o rozměrnou součást jejíž hmotnost činí 34,67 kg, tomu se musí přizpůsobit použité výrobní technologie. Velikost výrobní série činí 100 000 ks za rok. Velikost ráže má z konstrukčního pohledu vliv především na tvar a objem vnitřní dutiny, druh a způsob plnění účinnou náplní. Z pohledu technologie výroby těla má velikost ráže, čím větší ráže tím větší rozměry střely, vliv zejména na volbu strojů, na nichž bude výroba realizována.

Tělo granátu (pozice 1 na obr. 8) má charakter rotační, tlustostěnné duté nádoby s proměnnou tloušťkou stěny, z jedné strany otevřená a z druhé uzavřená. Pro zajištění co nejlepších letových vlastností musí mít vnější povrch vhodný aerodynamický tvar. Střela je proto konstruována jako biogivální, to znamená že je tvořena předním a zadním ogivalem. Celý vnější povrch střely lze rozdělit na tři části:

- **Přední ogivál** – je otevřený a tvořený částí kruhového oblouku. Je to hlavová část střely o délce 1 až 4 ráže, s rostoucí délkou se zlepšují aerodynamické vlastnosti střely, ale zmenšuje se objem vnitřní dutiny, a tedy i množství účinné náplně (pozice 2 na obr. 8). Zakončen je ústím se závitem sloužícím pro našroubování nárazového zapalovače (pozice 3 na obr. 8).
- **Válcová část** – jedná se o část vodící a jako taková zabezpečuje vedení střely v hlavni, nachází se na ní rybinovitá drážka pro zalisování vodící obroučky (pozice 4 na obr. 8). Ta je obvykle vyrobena z mědi, slouží pro utěsnění střely v drážkách hlavně. Zařízením vodící obroučky do drážek vývrtu hlavně je střele udělena stabilizační rotace.
- **Zadní ogivál** – je uzavřený a je to dnová část střely ve tvaru komolého kuželu a také část s největší tloušťkou stěny, při výstřelu je vystavena největším tlakům.

Dutina tvarem do jisté míry kopíruje vnější tvar a tvoří jí opět přední ogivál, válcová část, zadní ogivál a dnová část.



Obr. 8 Řez nárazovým granátem

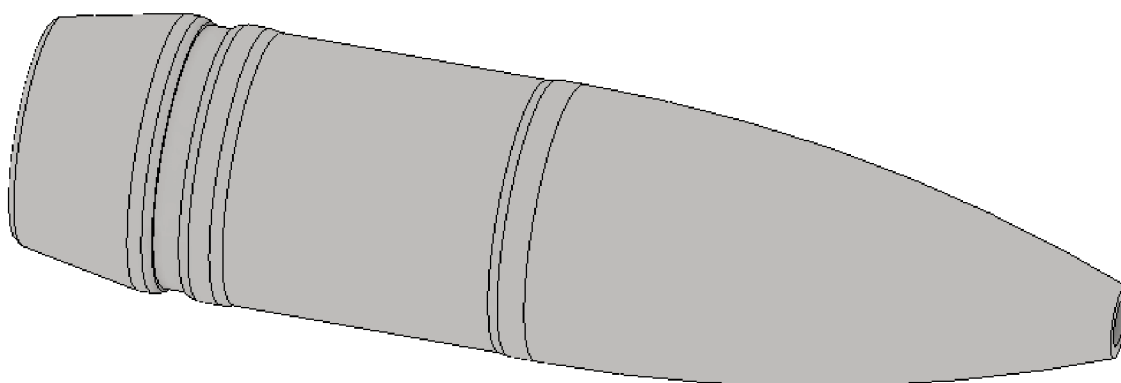
Materiálem součásti je ocel C60, jedná se o uhlíkovou ocel k zušlechťování. Obvyklé použití je na vysoce namáhané strojní součásti ve strojírenství a dopravní technice, jako jsou hřídele, osy, šrouby. Chemické složení je uvedeno v Tab. 1 a základní mechanické vlastnosti pro průměr od 101 do 250 mm a normalizačně vyžádaný stav jsou uvedeny v Tab. 2. Ostatní údaje jsou uvedeny v materiálovém listu oceli C60 v příloze 1.

Tab. 1 Chemické složení oceli C60 [hm. %]

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+Ni
0,57-0,65	max 0,40	0,60-0,90	max 0,045	max 0,045	max 0,040	max 0,10	max 0,40	max 0,63

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli C60

Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Tažnost $A_5$ [%]
310	650	11



Obr. 9 3D model řešené součásti

Ráže 155 mm byla při návrhu součásti zvolena na základě aktuálního tématu modernizace dělostřelectva Armády České republiky, která se tímto krokem snaží nahradit zastaralou a standardům NATO nevyhovující techniku. U dělostřeleckých systémů je důležitým kritériem právě ráže, chystaná modernizace tedy znamená i přechod od dosud používané ráže 152 mm na ráži 155 mm, která je standardní dělostřeleckou ráží většiny armád NATO.

## 2.1 Možnosti výroby [14], [15], [16], [17], [18]

Vzhledem k charakteru součásti, tj. duté rotační nádoby je zřejmé že pro její výrobu je reálně možné použití dvou výrobních technologií, kterými jsou:

- **Odlévání** (obr. 10) – jedná se o potenciálně nejekonomičtější způsob výroby dutých součástí. Technologie spočívá v nalití roztaveného kovu do předem vytvořené formy jejíž dutina má tvar negativu tvaru výsledné součásti, zde kov chladnutím ztuhne a odlitek je z formy vyjmut. Používají se formy dvou druhů netrvalé a trvalé. Netrvalé formy jsou vytvořeny z pískové formovací směsi a po odlití jednoho odlitku je při jeho vyjímání rozbita. Oproti tomu trvalá forma je vyrobena z kovových slitin a lze ji použít opakovaně. Pro vytvoření otvorů a dutin slouží jádra vkládaná do forem. Při tuhnutí odlitků dochází k smrštění kovu, zvláště u oceli je toto smrštění veliké. Proto se ocelové odlitky pro doplnění taveniny do tuhajícího odlitku nálitkují, což vede k velkému množství taveného kovu a nutnosti jejich následného odstranění. V součásti následkem toho vznikají pnutí a další vady (trhliny, bubliny atd.). Ocel má oproti litině také menší zabíhavost, což může způsobovat nedotečení do úzkých částí dutiny.



Obr. 10 Odlévání [17]

- **Zápustkové kování** (obr. 11) – je to technologie objemového tváření za tepla, kdy výkovek vzniká z ohřátého polotovaru, který je tvarován v dutině zápustky působením vnějších sil vyvozených tvářecím strojem. Tváření může probíhat na různý počet operací. Zápustkové kování je využíváno především v sériové a hromadné výrobě, kde je vysoce produktivní. Vzniká rovněž velmi malé množství odpadu, a tak je tato technologie i úsporná. U zápustkových výkovků se dosahuje i poměrně dobré přesnosti. Nevýhodou jsou vysoké náklady na výrobu jednoúčelového nástrojů.

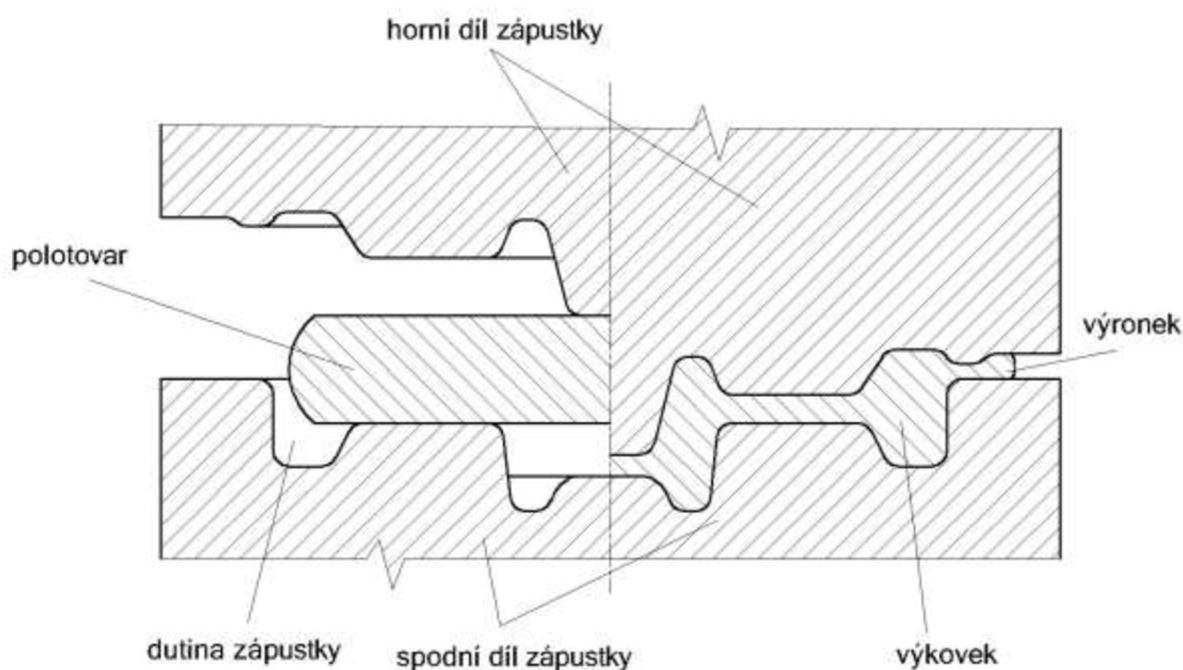


Obr. 11 Zápustkové kování [18]

Při porovnání těchto dvou výrobních možností se jako vhodnější jeví technologie zápustkového kování. Struktura výkovku je protvářena a tvořena vlákny, které kopírují směr tečení materiálu. Vlákniatá struktura zlepšuje houževnatost součásti. U odlitků oproti tomu vzniká při tuhnutí heterogenní struktura, která má za následek rozdílné mechanické vlastnosti uvnitř a na povrchu součásti což není optimální pro řešenou součást. Dalším problémem při odlévání součásti by bylo odstraňování jádra z dutiny skrze malý otvor v ústí granátu. Samotná ocel C60 je navíc pro odlévání nevhodná. S ohledem na tyto skutečnosti a technologičnost řešené součásti bude následující rešeršní část práce zaměřena na technologii zápustkového kování.

### 3 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ [16], [19], [20], [21], [22]

Zápustkové kování je nejčastěji používanou metodu kování a jako výrobní proces spadá do technologie objemového tváření a patří tak do oblasti beztržkových technologií výroby. Při kování dostávají polotovary výsledný požadovaný tvar bez porušení materiálu, a to působením vnějších sil. Zhotovují se jím nejen polotovary určené pro další zpracování, ať už dalším tvářením nebo obráběním, ale často i hotové výrobky. Vyrobit lze výkovky tvarově rozmanité o hmotnostech od několika gramů až po několik set kilogramů. Charakteristikou procesu je tečení ohřátého materiálu podle tvaru dutiny zápustky pod vlivem vnější síly. Zápustka je dvoudílná ocelová forma rozdělená dělicí rovinou v takovém místě, aby bylo možné výkovek snadno vyjmout a její dutina je tvarově shodná s tvarem výkovku. Princip procesu je znázorněn na obr. 12 a probíhá následovně. Polotovar ve formě špalíku materiálu nebo předkovku z předchozí operace je vložen do dutiny spodního dílu zápustky a následně se působením rázů nebo tlaku horního dílu zápustky zhotoví výkovek, materiál tak vyplní celý objem dutiny zápustky. Přebytečný materiál vyteče do mezery mezi horní a dolní zápustkou, tzv. výronek. Vytečený přebytečný materiál se nazývá výronek a po dokování je v následující operaci ostřížen. Pro malé množství odpadu a rychlost výroby je kování ekonomicky efektivní výrobní metoda, a to především v sériové a hromadné výrobě.



Obr. 12 Schéma zápustkového kování [22]

#### 3.1 Dělení vstupního materiálu [12], [23], [24], [25]

Pokud není jako vstupní materiál použit předkovek z předchozí operace, je nutné vytvořit polotovar dělením z hutních polotovarů. Nejčastěji používané hutní polotovary jsou za tepla válcované tyče kruhového nebo čtvercového průřezu. Hutní polotovary výchozích délek je nutné nadělit na přířezy požadované délky. K dělení tyčí na přířezy se nejčastěji využívá následujících metod:

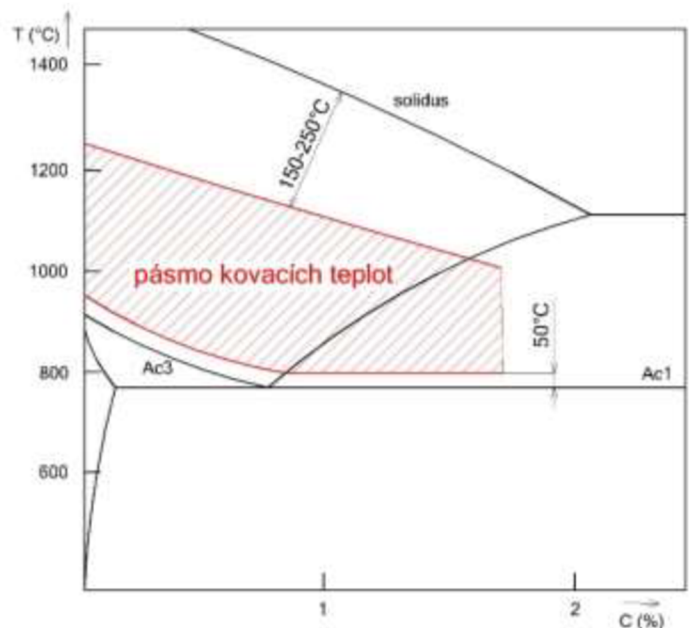
- **Lámání** – používá se pro velké průřezy tyčí a materiály s mezí pevnosti vyšší než 600 MPa a těžko obrobitelné materiály. Před samotnou operací lámání je nutné v místě lomu zhotovit vrub (koncentrátor napětí). Vrub se zhotovuje nařiznutím pilou nebo napálením plamenem. Výhodou metody je především vysoká produktivita. Nevýhodou metody je nízká kvalita dělené plochy.
- **Řezání** – provádí se na rámových, pásových nebo kotoučových pilách. Při řezání dojde ke ztrátě části materiálu, a to ve formě třísek. Množství odpadu závisí na šířce pily. Výhodou je vysoká kolmost, kvalita dělených ploch a přesnost délky přířezu a tím možnost zajištění jeho přesné hmotnosti. Nevýhodou je pomalost procesu způsobující jeho nízkou produktivitu.
- **Stříhání** – nízkouhlikové a nízkolegované oceli lze stříhat za studena, vysokouhlikové a vysokolegované oceli nebo tyče velkých rozměrů je nutné stříhat za tepla. Teploty předehřevu se pohybují v rozmezí 300-550 °C v pásmu křehkosti čímž dojde ke snížení střížné síly. Výhodou je velká produktivita a malé náklady. Nevýhodou je horší kvalita dělené plochy.

### 3.2 Ohřev polotovarů [16], [19], [20], [21]

Protože zápuštěkové kování je nejčastěji realizováno za tepla, je nutné před samotným tvářením polotovar ohřát na danou kovací teplotu. Správným ohřevem na kovací teplotu se zvýší tvařitelnost materiálu při poklesu jeho deformačního odporu. Ohřev by měl proběhnout tak, aby se v co nejkratším čase dosáhlo dané kovací teploty a co nejvíce se omezily jeho nežádoucí průvodní jevy způsobující zhoršení povrchové a vnitřní jakosti ohřivaného materiálu a tím i výslednou jakost výkovku.

#### 3.2.1 Kovací teploty a rychlost ohřevu [16], [20]

Pásmo kovacích teplot je interval teplot, při kterých je vhodné tvářet ocel za tepla. Tento interval je ohraničen horní kovací teplotou, která je o 150-250 °C nižší než teplota solidu a dolní kovací teplotou, která se nachází přibližně 50 °C nad teplotou A3 u podeutektoidních ocelí a nad teplotou A1 u ocelí nadeutektoidních. Interval kovacích teplot je znázorněn na obr.13. Samotné kování by mělo začít při počáteční teplotě kování, která se nižší než horní kovací teplota a končit při dokovací teplotě, pro kterou platí že je vyšší než dolní kovací teplota. Dokovací teplota nesmí být příliš vysoká, protože při dokování vysoko nad teplotou A3 dochází ke vzniku hrubozrnné struktury, a to především u velkých výkovků. Kování nesmí končit pod dolní kovací teplotou, protože při dokování pod teplotami A1 a A3 dochází ke vzniku řádkovité struktury a zvýraznění anizotropie vlastností.



Obr. 13 Pásmo kovacích teplot [16]



Při ohřevu na kovací teplotu je nutné dodržet přípustnou rychlost ohřevu. Ta závisí především na teplotní vodivosti ohřívaného materiálu a na rozměrech ohřívaného tělesa, při dodržení přípustného rozdílu teplot mezi povrchem ohřívaného polotovaru a jeho středem. Přípustná rychlost ohřevu se stanoví z následujícího vzorce:

$$v_0 = \frac{k \cdot a \cdot \Delta T}{s^2} [Kh^{-1}] \quad (3.1)$$

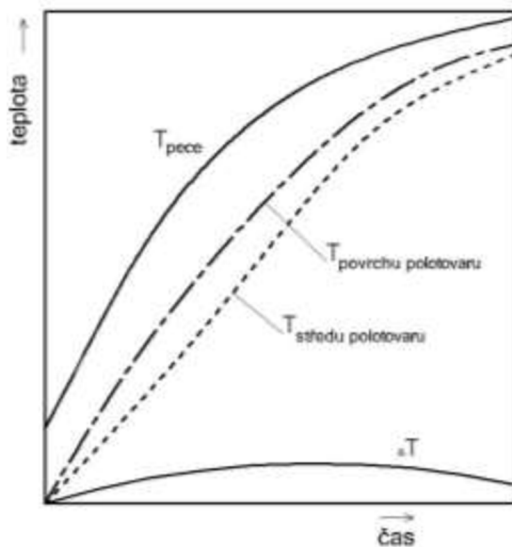
kde:  $k$  – tvarový součinitel, deska  $k = 2,1$ , válec  $k = 5,6$   
 $a$  – součinitel teplotní vodivosti [ $m^2h^{-1}$ ]  
 $s$  – tloušťka ohřívaného tělesa [m]  
 $\Delta T$  – přípustný teplotní rozdíl v ohřívaném tělese [K]

V ohřívaném materiálu vznikají v důsledku rozdílné teploty středu a povrchu tepelná pnutí. Tato pnutí nesmí překročit dovolené napětí  $\sigma_m = (0,5 - 0,67)R_m$  a proto se stanovuje přípustný rozdíl teplot, a to vztahem:

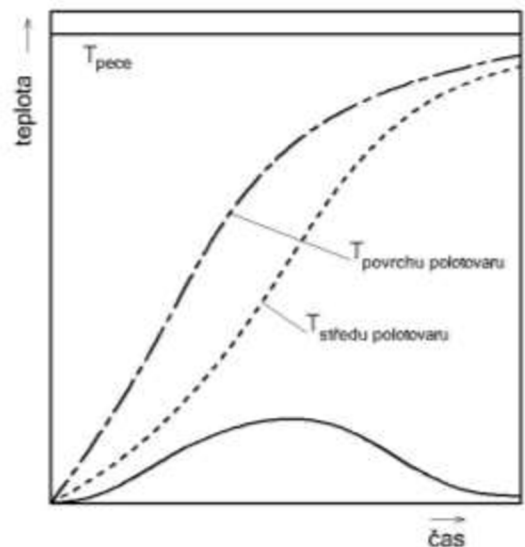
$$\Delta T = \frac{k \cdot \sigma_m}{\alpha_1 \cdot E} [K] \quad (3.2)$$

kde:  $k$  – tvarový součinitel, deska  $k = 2,1$ , válec  $k = 5,6$   
 $\alpha_1$  – teplotní délková roztažnost [ $K^{-1}$ ]  
 $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa]

Tepelná pnutí jsou zvláště nebezpečná u polotovarů považovaných za tlusté, u polotovarů považovaných za tenké je možno tepelná pnutí zanedbat. Hranice mezi tlustým a tenkým polotovarem je orientačně 100 mm. Velké polotovary se proto ohřívají v řízeném režimu, který respektuje přípustný rozdíl teplot, průběh řízeného režimu ohřevu je znázorněn na obr. 14. Malé polotovary se ohřívají při konstantní teplotě, režim konstantního ohřevu je znázorněn na obr. 15.



Obr. 14 Režim řízeného ohřevu [16]



Obr. 15 Režim konstantního ohřevu [16]

### 3.2.2 Nežádoucí jevy a vady při ohřevu [16], [20], [26], [27]

Nejvýraznějším nežádoucím jevem způsobujícím znehodnocení povrchové vrstvy je oxidace povrchových vrstev materiálu neboli opal. Při ohřevu oceli vznikají oxidy železa  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  a  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , tzv. okuje, na obr. 16. Oxidace se při ohřívání urychluje opadáváním již vzniklých okují. Ty od povrchu odpadají v důsledku jiné teplotní roztažnosti základního materiálu a okují. Opal způsobí ztrátu určitého množství kovu ohřivaného polotovaru. Existence okují na povrchu polotovaru znamená nutnost zařadit mezi ohřev a následující tváření odkujňovací operaci, aby při následném tváření nedošlo k jejich zatlačení do povrchu dílce. Přítomnost tvrdých okují na povrchu polotovaru také snižuje životnost nástrojů. K odstranění okují se nejčastěji využívá ostříku ohřátého polotovaru vodním paprskem, jako je možné vidět na obr. 17. Nejvýraznější vliv na vznik okují má teplota ohřevu, na oceli se okuje začínají tvořit při 600-700 °C, nejintenzivněji se tvoří při teplotách nad 1000 °C, tedy při horních kovacích teplotách. Významný vliv na množství vzniklých okují má i rychlost ohřevu. Zkrácením doby ohřevu lze opal výrazně snížit. Na množství vzniklých oxidů má vliv také složení pecní atmosféry, a to působením volného kyslíku ze vzduchu a plynů obsahujících kyslík jako jsou kysličník siřičitý, vodní páry a kysličník uhličitý. Snížit nebo naopak zvýšit opal může i chemické složení ohřívanej oceli. Uhlíkové oceli do 0,3 % uhlíku se opalují více, vyšší obsah uhlíku opal snižuje. U legovaných ocelí legující prvky většinou míru oxidace snižují.



Obr. 16 Okuje [26]

Styk povrchové vrstvy ohřivaného materiálu s okolní atmosférou, působení  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$  a  $\text{H}_2$ , způsobuje také oduhličení povrchové vrstvy, které se projevuje snížením pevnosti, povrchové tvrdosti a ostatních vlastností závislých na množství uhlíku. Oduhličená vrstva může dosahovat až 2 mm tloušťky. K tomuto jevu dochází při dolních kovacích teplotách.

Pokud by byl materiál ohřátý až nad horní kovací teplotu, došlo by k jeho přehřátí až spálení. K přehřátí dojde při delší prodlevě na teplotách nad horní kovací teplotou, nastává růst zrn a difuze síry, v podobě siričků, z oceli na hranice austenitických zrn. Tyto vyloučené siričky pak brání vzniku jemné struktury při ochlazování a zhoršují plastické vlastnosti oceli. Přehřátí oceli lze napravit dostatečným překováním. Pokud by se teplota ohřevu blížila teplotě tavení dojde ke spálení oceli. Při spálení oceli se natavují hranice austenitických zrn. V tomto natavení se začne rozpouštět síra a fosfor. Po ochlazení zůstanou na hranicích zrn vyloučené siričky, fosfidy a místa s vysokou koncentrací fosforu. Spálená ocel má velice špatné mechanické vlastnosti a je velmi křehká. Spálení oceli je nevratné.



Obr. 17 Odstraňování okují vodním paprskem [27]

### 3.2.3 Způsoby ohřevu [16], [20], [25], [28], [29]

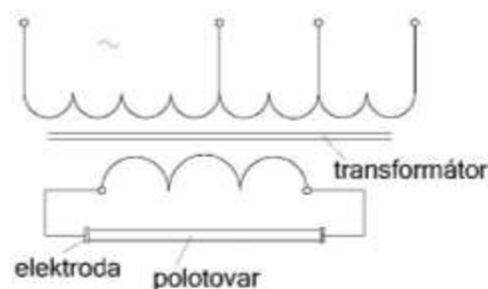
Ohřev polotovarů pro zápusťkové kování probíhá v pecích. Pece se konstrukčně liší nejen podle zdroje tepla, ale i podle výkonu pece a velikosti ohříváných polotovarů. Výkon pece se udává v množství ohřátého materiálu za jednotku času. Výkony pecí se podle druhu mohou pohybovat od jednotek kilogramů až po desítky tun za 24 hodin. Velikost pece záleží na velikosti polotovarů, které se v ní budou ohřívat. Podle zdroje tepla lze rozlišit tyto způsoby ohřevu:

- **V plynové peci** – kde vzniká teplo spalováním plynů. Plynové pece mohou být s přímým nebo nepřímým topením. U pecí s přímým topením je ohříváný polotovar přímo vystaven oxidačním účinkům plamene a zplodin, na ohříváném polotovaru se tak budou vždy tvořit okuje. V pecích s nepřímým topením je polotovar uložen ve skříních nebo pouzdrech a ohříván teplem vyzářeným z jejich stěn, tím je polotovar chráněn před oxidačními účinky plamene a zplodin. Pece jsou konstruovány jako komorové, průběžné nebo štěrbínové. Komorové pece (obr. 18) mají jedny společné dveře pro naložení i vyložení polotovarů. Ty po založení zůstávají na jednom místě, dokud nedojde k jejich ohřevu na požadovanou teplotu a potom jsou z pece vyjmuty. Průběžné strkácké pece fungují tak, že se do nich polotovary vkládají z jedné strany, kus za kusem a pomocí strkáckého zařízení umístěného mimo pec jsou posouvány skrz ohřívací komoru na druhou stranu, kde se odebírají. Průběžné pece mohou být řešeny i jako karuselové, u nich je zakládací a vykládací otvor umístěn blízko sebe a polotovary jsou založeny na otočném dně, které se v komoře pece otáčí od vkládacích dveří po vykládací. Štěrbínové používané pro ohřevy konců trubek a tyčí. Polotovar je zde položen na stůl a ohříváným koncem, přes štěrbinu, zasahuje do ohřívací komory pece.



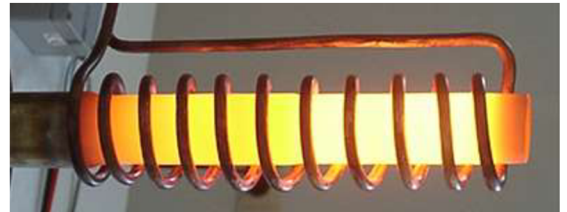
Obr. 18 Komorová pec [28]

- **V elektrické odporové peci** – přechod tepla do ohříváného polotovarů může být realizován přímým průchodem el. proudu nebo jako nepřímý ohřev. Přímý průchod el. proudu probíhá tak, že proud z transformátoru je do polotovarů zaveden pomocí elektrod umístěných na jeho konce, schéma na obr. 19. U velkých průměrů ohříváných polotovarů se vlivem skin-efektu ohřívá vrstva těsně pod povrchem intenzivněji než zbytek objemu, proto je tento způsob vhodný pouze pro štíhlé polotovary. Výhodou je malá spotřeba energie a jednoduchost zařízení. Nepřímý odporový ohřev je většinou využíván v komorových pecích, kde jsou odporové články zabudovány do ohřívací komory pece a polotovar se ohřívá teplem vyzářeným těmito články. Tento způsob ohřevu je vcelku pomalý, a proto se využívá zejména při ohřevu barevných kovů a v případech ohřevu v ochranných atmosférách zamezujících vzniku okujů a ve vakuu.



Obr. 19 Schéma ohřevu přímým průchodem el. proudu [16]

- **Elektrickou indukci** – podstatou tohoto způsobu ohřevu je indukování vířivých proudů v materiálu polotovaru, který je umístěn v magnetickém poli cívky. Ohřivaný polotovár tak tvoří jádro cívky (obr. 20) a v něm naindukované proudy dosahují vysokých hodnot a rychle ohřívají polotovár. Teplo nevzniká rovnoměrně v celém průřezu, ale až 87 % ho vzniká pouze pod povrchem v tzv. hloubce vniku. Hloubka vzniku závisí na vlastnostech materiálu a hlavně na frekvenci proudu napájecího cívky. Běžně se používá frekvenční rozsah od 600 do 10 000 Hz. Výhodou je rychlost ohřevu a malé zokoujení ohřivaného polotovaru.



Obr. 20 Indukční ohřev [29]

### 3.3 Konstrukce výkovku [16], [20], [30], [31], [32]

Při zpracování návrhu výkovku se vychází z tvaru hotové součásti. Proto by již hotová součást měla být konstruována tak aby splňovala specifika nutná pro realizaci technologie kování. Tvar a rozměry výkovku jsou přizpůsobovány i dalším požadavkům, jako jsou:

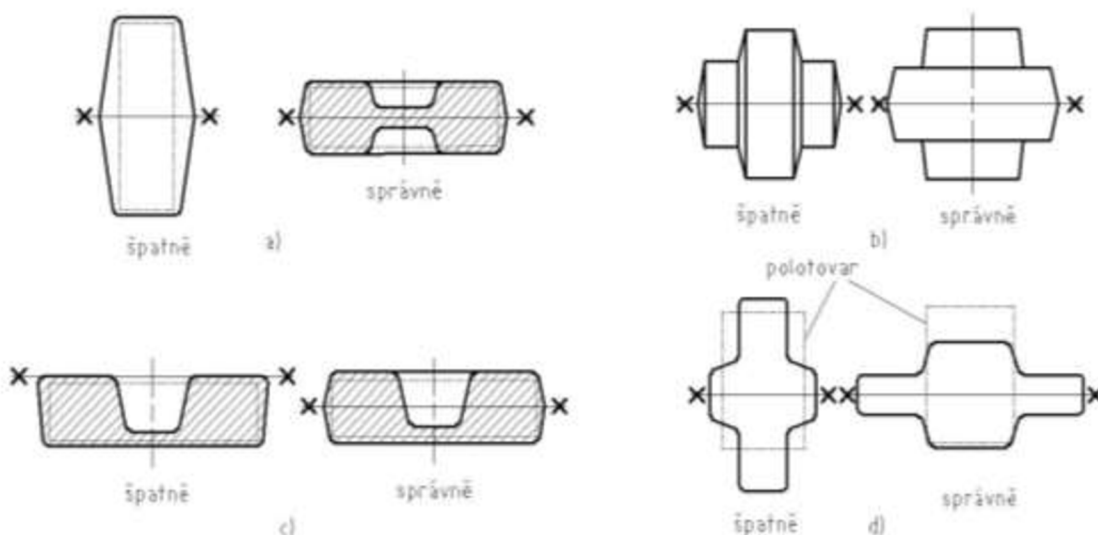
- **Požadavky na přesnost výkovku** – podle normy ČSN 42 0271 se zápusťkové výkovky vyrábějí ve 4 stupních přesnosti, které jsou:
  - obvyklé provedení,
  - přesné provedení,
  - velmi přesné provedení,
  - provedení podle dohody.

Stupeň přesnosti ovlivní velikost přídavek na obrábění a velikost tolerancí rozměrů výkovku. Výkovky v provedení podle dohody se vyrábějí s jinými přídávky na obrobení a mají jiné mezní úchylnky tvarů a rozměrů, než jsou hodnoty uvedené v normě.

- **Požadavky na mechanické vlastnosti, vnitřní vady a kvalitu povrchu** – požadavkem na mechanické vlastnosti se rozumí především předepsaný průběh vláken ve výkovku, které musí jeho konstrukce respektovat. V materiálových listech jsou uvedeny hodnoty mechanických vlastností, které platí pro podélný směr vláken. Jiné směry vláken tyto hodnoty snižují. Vnitřní vady jako jsou dutiny, trhliny, vměstky, pórovitost atd. mohou být ve výkovku přítomny pouze když nemají vliv na použití výkovku. Vady kvality povrchu jako trhliny, přeložky, záseky atd. nevadí v případě, že nezasahují do větší hloubky, než je dovolená tolerance.
- **Použitý tvářecí stroj** – bude mít vliv přesnost výsledného výkovku a na jeho konstrukci. Menší přesnost mají výkovky kované na bucharech a konstrukčně se u nich volí větší úkosy zabezpečující vyjmutí ze zápusťky. Oproti tomu výkovky zhotovené na lisech mají větší přesnost a konstruují se s menšími úkosy, protože je zde možné pro usnadnění vyjmutí ze zápusťky použít vyhazovače.
- **Požadavek na automatizaci procesu** – zahrnují technologické úpravy tvaru výkovků jako jsou plochy pro orientaci výkovků v automatických linkách a stopky pro přenášení výkovků ze zápusťky do zápusťky.

Výkres každého zápusťového výkovku musí obsahovat rozměry a pohledy potřebné nejen pro zhotovení výkovku, ale také pro konstrukci dutiny zápusťky. Základní parametry, které je nutné při konstrukci zápusťového výkovku určit jsou následující:

- **Dělicí rovina výkovku** – jedná se o rovinu rozdělující výkovek na část kovanou v horní a dolní zápusťce. Její volba má vliv na výsledný průběh vláken ve výkovku a musí být vedena největším průřezem výkovku nebo jeho rovinou souměrnosti, tak aby se zaručilo jeho snadné vyjmutí ze zápusťky. Dělicí rovina by měla být rovná, pouze pokud je to vzhledem ke konstrukci výkovku nutné volí se jako lomená. Pokud je výkovek opatřen otvory musí se zvolit tak aby je bylo možné předkovat. Její poloha by měla zajišťovat také co nejlepší zatékání kovu do dutiny zápusťky tak aby se dutina vyplňovala pēchováním a protlačováním. Volba dělicí roviny ovlivňuje také náročnost výroby dutiny zápusťky a případného ostřihovacího nástroje, protože výronek vzniká po jejím obvodu. Správné umístění může zajistit i vizuální kontrolu toho, že nedošlo k přesazení horní a dolní zápusťky a tím zmenšení technologických přídavek. Příklady správné a špatné volby dělicí roviny jsou na obr. 21.



Obr. 21 Zásady volby dělicí roviny [16]

- **Přídavky na obrábění** (obr. 22) – předepisuje se na plochách mechanicky obráběných, jedná se většinou o funkční plochy součásti. Způsob stanovení a velikost konkrétních přídavek závisí na použité normě. Podle normy ČSN 42 9030 (Výkovky ocelové zápusťkové – Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů) se přídavky určují podle stupně přesnosti a největšího rozměru ve směru kolmo na ráz a největší výšky hotové součásti. U nerotačních výkovků je největší rozměr ve směru kolmo k rázu určen jako střední hodnota součtu největší délky a šířky součásti. Hodnoty přídavek pro stupeň přesnosti v běžném provedení jsou jako příklad uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení (rozměry v mm) [30]

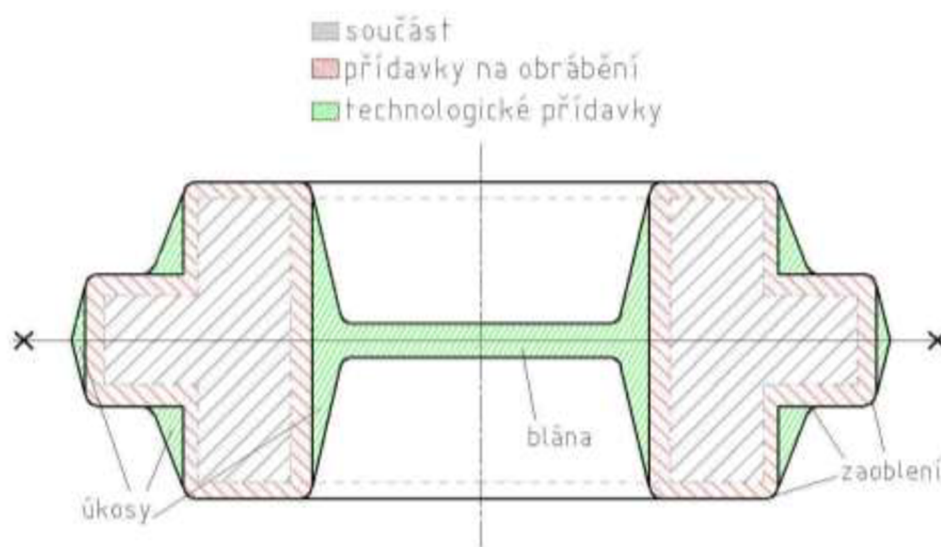
Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přídavky na obrábění ploch							
	20	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

- **Technologické přídavky** (obr. 22) – upravují tvar výkovku tak aby byl technologicky vhodný ke kování. Patří sem i přídavky které případně zjednoduší příliš složitý tvar součásti, sloužící pro manipulaci s výkovkem nebo pro odebrání vzorku na mechanické zkoušky. Nejdůležitějšími a nejčastějšími technologickými přídavky jsou:
  - **Úkosy** – přidávají se na plochy, které jsou kolmé k dělicí rovině a zaručují snadné vyjímání výkovků z dutiny zápustky. Na vnitřních plochách jsou voleny úkosy větší než na vnějších plochách, a to z důvodu smršťování materiálu výkovku při chladnutí. Norma ČSN 42 9030 doporučuje hodnoty úkosů dle Tab. 4.

Tab. 4. Úkosy [30]

	vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosy	7°	10°
- pro buchary a lisy bez vyhazovače		
- lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
- vodorovné kovací stroje	0 až 5°	0 až 5°

- **Zaoblení hran a přechodů** – přidávají se proto, že do ostrých hran zápustky by kov nezatekl i proto, že ostré hrany v dutině zápustky jsou obtížně vyrobitelné. Podobně jako u úkosů jsou i zaoblení vnitřních hran větší než vnějších a jejich konkrétní velikost se určuje z příslušných norem.
- **Blána** – pokud je u výkovku předkováván otvor větších průměrů tvoří v něm přepážku, kterou je po dokování nutno prostříhnout. Otvory malých průměrů se nepředkovávají a technologický přídavek tak vyplňuje celý objem otvoru. Konkrétní tvary a rozměry blan jsou opět určeny příslušnou normou.
- **Zesílení tenkých stěn a žebér** – je potřebné proto, že kov při tváření špatně zatéká do úzkých štěrbin a tenké detaily se intenzivněji ochlazují a tím je zatékání ještě víc ztíženo. Tenká žebra tak zvyšují energetickou náročnost kování a zvyšují opotřebení nástrojů, chladný kov více vydírá stěny zápustky.



Obr. 22 Přidavky výkovku [20], [32]

- **Úchylky rozměrů a tvarů** – metodika stanovení konkrétních hodnot dovolených úchylek závisí na použité normě. Podle normy ČSN 42 9030 se dovolené mezní úchylky určují v závislosti na stupni přesnosti výkovku, určeného podle složitosti tvaru a největším rozměru výkovku ve směru kolmo na ráz a ve směru rázu. Složitost tvaru výkovku se určuje podle tvarového druhu, tvarové třídy, tvarové skupiny a technologického hlediska kování. Úchylky rozměrů jsou dovolené nepřesnosti jmenovitých rozměrů, tyto nepřesnosti jsou nejčastěji zapříčiněny opotřebením zápustkové dutiny a takové opotřebení vzniká nejvíce v místech největšího přemístění kovu jako jsou přechody do výronkové drážky, žebér a výstupků. Dále jsou předepsány úchylky tvarů, které jsou ovlivněny vadami jako je dovolené přesazení, otřep, sestřížení a průhyb. Dovolené přesazení je rozměr, o který mohou být přesazeny body na jedné straně dělicí roviny proti odpovídajícím bodům na straně druhé. Dovolенý otřep je zbytek materiálu, který po ostřížení výronku může zůstat na výkovku a dovolené sestřížení je stopa ostříhovacího nástroje přítomná na výkovku. Dovolенý průhyb je odchylka střední přímky od roviny výkovku.

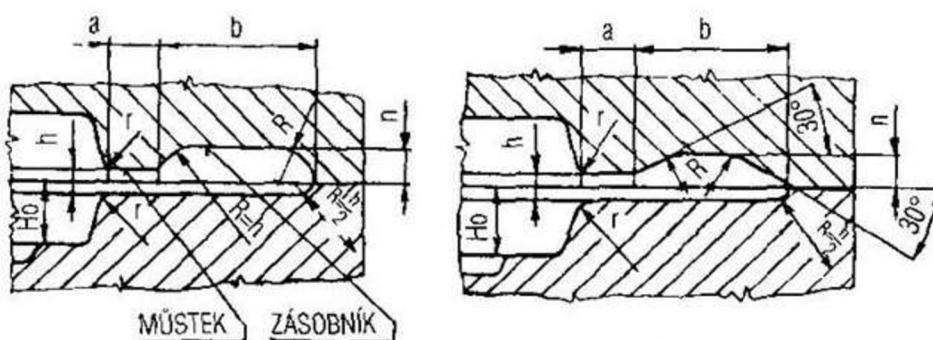
### 3.4 Stroje pro zápusťkové kování [20], [23], [33], [34], [35]

Zápusťkové kování lze realizovat na různých strojích jejichž nejčastějšími typy jsou buchary a lisy. Tyto stroje se liší nejen způsobem vyvození tvářecí síly, ale i typem působení síly na výkovek. Pro zápusťkové kování se nejčastěji využívá následujících typů tvářecích strojů:

- **Buchary** – k překonání přetvárného odporu materiálu využívají kinetickou energii pohybujícího se beranu. Materiál je u nich tedy tvářen rázem, a to vícenásobnými údery beranu do šaboty. Šabota je pevná spodní část bucharu. Rychlost beranu se pohybuje v rozmezí 4 až 9 mm/s. Tváření rázem při zápusťkovém kování způsobuje lepší zaplňování dutiny ve směru rázu. Umožňují tak kování výškově složitých výkovek. V důsledku rázů během kování opadávají okraje z povrchu materiálu, dochází tak ke zkvalitnění povrchu hotového výkovek. Zápusťkové výkovek jsou na bucharech kování převážně postupově. Postupové kování se provádí v postupové (vícedutinové) zápusťce. Ta obsahuje dutiny předkovací a dutinu dokovací. Finální dutina je umístována tak, aby její těžiště bylo co nejbližší ose beranu. Důvodem je, že síla potřebná pro dokování výkovek je vlivem jeho chladnutí a tím rostoucího přetvárného odporu největší. Okolo dokovací dutiny je zhotovena výronková drážka, která je u zápusťek určených pro buchary uzavřená, typické tvary výronkových drážek jsou na obr. 24. Rázové údery také způsobují přenos nežádoucích otřesů do okolí, které se musí být různými prvky tlumené. Buchary mohou být konstruovány jako padací, parovzdušné a protiběžné. Padací buchary pracují na nejjednodušším principu, beran je vyzvednut do určité výšky a poté uvolněný padá vlastní vahou na šabotu. Parovzdušné buchary využívají k zvedání beranu do horní polohy a k jeho urychlování během pádu páry, to vede k zvýšení intenzity rázu. Protiběžné buchary nemají šabotu, místo ní mají spodní beran pohybující se současně s horním proti sobě. Odstraní se tak rázové ztráty v šabotě a omezí se otřesy, které se šíří do okolí. Využívají se u výkovek větších rozměrů, kde je k přetvoření třeba velké energie. Pneumaticko-hydraulický protiběžný buchar je na obr. 23. Buchary jsou dnes stále častěji nahrazovány kovacími lisami.



Obr. 23 Pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 16A [33]



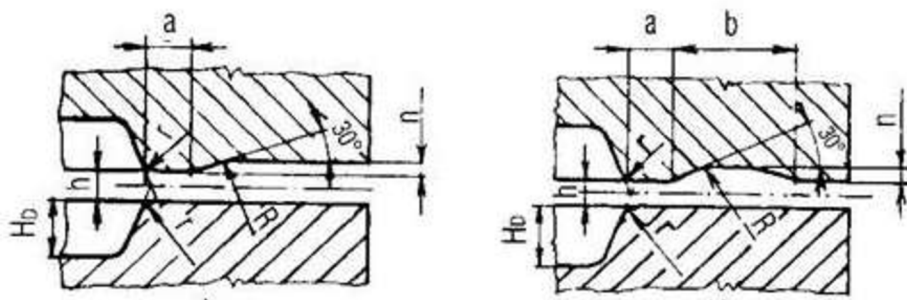
Obr. 24 Výronkové drážky zápusťek pro buchar [23]



- Svislé klikové kovací lisy** (obr. 25) – k překonání přetvárného odporu materiálu využívá pozvolně stoupající síly. Beran stroje je zvedán pomocí klikového mechanismu a pracuje tlakem, který od dotyku zápustky s materiálem plynule stoupá až k jeho maximu. Maximální síly je dosaženo až v dolní úvrati klikového mechanismu. Maximálně může být zatížen pouze jmenovitou silou, při síle vyšší dojde k poškození lisu. Pracovní rychlost se pohybuje okolo 0,5 až 0,8 m/s. Horní část zápustky má přesně určenou dolní polohu a čela zápustek do sebe nezapadají. Díky absenci rázů z výkovku neopadávají okraje. Ty je nutné před tvářením odstranit, aby nedošlo k jejich zakování do povrchu. Zápustky jsou také konstruovány jako postupové a výronková drážka okolo dokovací dutiny zápustky pro lis je otevřená (obr. 26). Rozdílem oproti bucharu je, že se každá dutina zaplňuje při jediném zdvihu a počet dutin tedy musí být stejný jako počet zdvihů na které má být výkovek vyroben. U lisů lze výkovky z dutiny zápustky vyhazovat pomocí automatického vyhazovače, což umožňuje zmenšit úkosy výkovků. Celý proces kování na klikových lisech lze snadno automatizovat a zařadovat do celých linek. Vhodné jsou především na kování symetrických a kruhových výkovků s krátkou podélnou osou jako jsou čepy, páky, ojnice, vidlice, kliky.



Obr. 25 Svislý kovací lis LZK 1600 P/SH [33]



Obr. 26 Výronkové drážky zápustek pro lis [23]

- **Vřetenové lisy** – charakterem překonání přetvárného odporu materiálu se podobají bucharům. Pracují rázem kdy se celá energie nashromážděná v setrvačnicku lisu se při tváření spotřebuje. Síla ze setrvačnicku je na beran převáděna pomocí šroubu a matice. Třecí kotouče, které jsou vidět na lisu na obr. 27 se střídavě roztahují a přitlačují k setrvačnicku. Ten roztáčí šroub vřetena a pohybuje beranem lisu. Na vřetenovém lisu lze kovat opakovanými rázy. Dosedací rychlost beranu je 0,5 až 0,9 m/s. Kování nejčastěji probíhá v jednodutinové zápustce polohované tak aby těžiště dutiny bylo vždy v ose vřetene. Nejčastěji se využívají v malosériové výrobě pro rovnání, kalibrování, děrování a ostříhování výronku.



Obr. 27 Vřetenový lis [34]

- **Hydraulické lisy** (obr. 28) – k překonání přetvárného odporu materiálu využívají tlaku stlačeného média (např. oleje). Maximální jmenovité síly lze dosáhnout v jakékoliv poloze beranu a lis není možné přetížit. Rychlost beranu je v porovnání s klikovými, vřetenovými lisy a buchary značně menší, pro ocel 0,01 až 0,05 m/s. Využívají se hlavně pro kování velkorozměrových výkovků (rámy, přepážky, panely), kování protlačováním (dlouhé duté výkovky) a přesné kování tvarově složitých výkovků v uzavřených zápustkách. Zápustkové kování se na hydraulických lisech provádí v jednodutinových zápustkách.



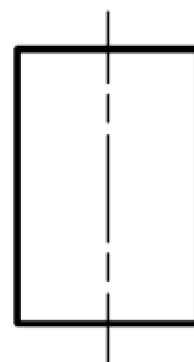
Obr. 28 Hydraulický lis [35]

#### 4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY TĚLA GRANÁTU [36], [22], [37], [35]

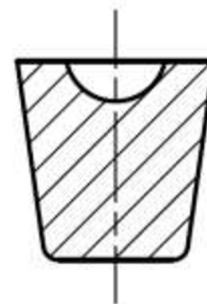
Pro stanovení postupu řešené součásti lze vycházet z obecných, v předchozí kapitole popsaných, zásad. Specifický tvar zápusťkového výkovku však vyžaduje nestandardní technologický postup jeho výroby. Protože se jedná o dutou nádobu s přivřeným ústím, musí postup kování sestávat ze dvou základních fází – a) zhotovení hluboké duté nádoby s proměnnou tloušťkou stěny, b) částečné uzavření ústí takto získaného předkovku.

Samotná první fáze procesu je značně náročná, neboť požadovaný tvar výkovku, tj. hluboká nádoba s proměnnou a relativně tenkou stěnou vyžaduje specifický výrobní postup sestávající z předkovací a dokovací operace a následného protažení průvlaky. Postup výroby střely biogiválního tvaru bude následující:

- **Dělení vstupního materiálu** – Vstupním materiálem pro kování těla granátu budou kruhové tyče válcované za tepla požadovaného průměru, vycházejícího z příslušných technologických výpočtů a respektující normu EN 10 060 (Ocelové tyče kruhové válcované za tepla - Rozměry, mezní úchytky rozměrů a tolerance tvarů). Jako dělicí metoda bude zvolena technologie stříhání poskytující dostatečnou přesnost ústřížku a kvalitu dělené plochy pro následující zpracování a zároveň bude stále dostatečně produktivní. Tyče budou touto technologií naděleny na ústřížky požadované délky, vycházející opět z příslušných technologických výpočtů. Takto vyrobený výchozí polotovár (znázorněný na obr. 29) bude dále zpracováván v následující operaci předděrování.
- **Předděrování polotovaru** – Tato operace se provádí kvůli zajištění úspěšného provedení následující vlačovací operace při děrování výkovku. Výchozí válcový polotovár bude, v plynové peci ohřátý na vhodnou kovací teplotu. Ta bude pro ocel C60, dle materiálového listu (příloha x), zvolena 1000 °C. Vzhledem k předpokládané rozměrnosti polotovaru bude ohřev realizován v řízeném režimu. Následně bude v předděrovací napěchován do mírně kuželovitěho tvaru, takových rozměrů, aby se po vložení předděrovaného výkovku do děrovací zápusťky zajistilo jeho „zakotvení“ v její horní části. V horní části předděrovaného výkovku bude v této operaci předlisováno lůžko, patrné z obr. 30, sloužící pro vystředění vlačovacího trnu v počátku následující děrovací operace.
- **Děrování výkovku** – Předděrovaný výkovek bude v plynové peci ohřátý na kovací teplotu (opět 1000 °C) a následně vložený do děrovací zápusťky. V její horní části zůstane „zakotven“ a to takovým způsobem jaký je znázorněn na obr. 31. Takto „zakotvený“ předkovek bude následně tlakem vlačovacího trnu vtlačěn do dutiny děrovací zápusťky. Tímto způsobem se docílí tečení materiálu ve dvou směrech, jako je znázorněno na obr. 32. Nejedná se tedy o zpětné protlačování. Tímto způsobem děrování se sníží nutná tvářecí síla a také opotřebení děrovací zápusťky. Schéma nástroje pro děrování výkovku je v příloze 2. Na tomto schématu je znázorněn řez nástrojem ve fázi uzavření. Horní část nástroje se skládá z upínací objímky (1), části pro upnutí děrovacího trnu (3) a děleného vlačovacího trnu (9), (10). Vlačovací trn

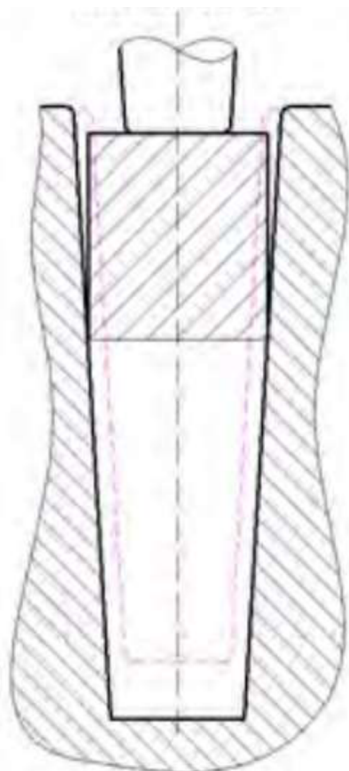


Obr. 29 Výchozí polotovár

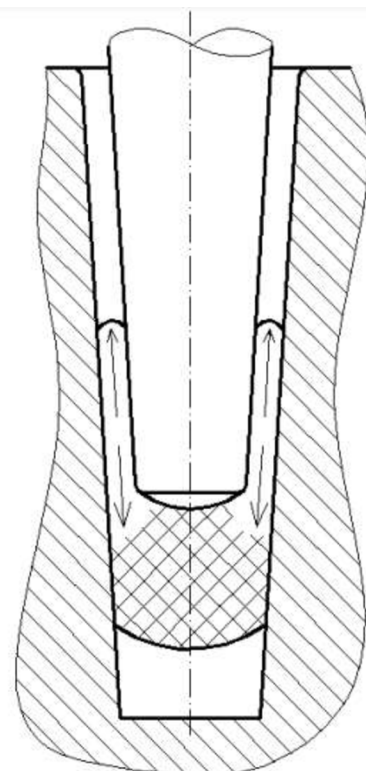


Obr. 30 Předděrovaný výkovek

by měl být opatřen kanálky pro cirkulaci chladícího média. Nástroj je vybaven pohyblivými stěrači (6) pro setření výkovku z vlačovacího trnu. Pohyblivé jsou proto



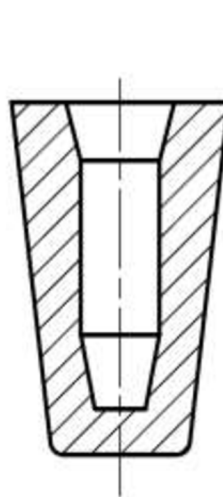
Obr. 31 Předkovek „zakotvený“ horní části děrovací zápustky [22]



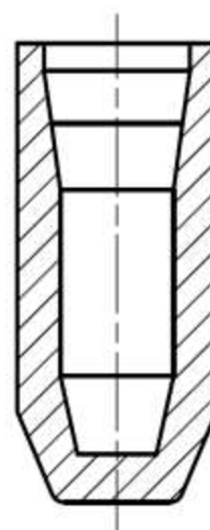
Obr. 32 Tečení materiálu v děrovací zápustce [22]

aby bylo umožněno založení předděrovaného výkovku. Dolní část nástroje se skládá ze spodní upínací objímky (2), objímky (5) opatřené kanálky pro cirkulaci chladícího média a ve které je zalisovaná děrovací zápustka (4). Dno děrovací zápustky tvoří vyhazovač (8), který je podepřen deskou vyhazovače (7). V této operaci vznikne dutý výkovek se silnou stěnou, kterou je nutné v následující operaci ztenčit.

- **Protahování** – U děrovaného výkovku získaného v předchozí operaci (obr. 33) je nutné ztenčit stěnu. Děrovaný výkovek je v plynové peci ohřátý na kovací teplotu (opět 1000 °C). Ztenčení stěny se poté provádí jeho nasazením na trn, tvarem odpovídající tvaru vnitřní dutiny a protažením skrz průvlastky tvořené sadou kroužků postupně se zmenšujících průměrů nebo přes sadu profilových kladek. Každá sada obsahuje čtyři kladky jejichž pracovní plochy obepínají obvod protahovaného



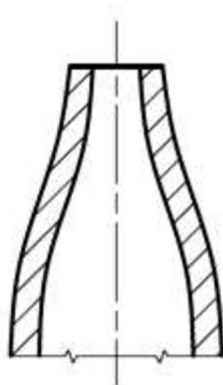
Obr. 33 Děrovaný výkovek



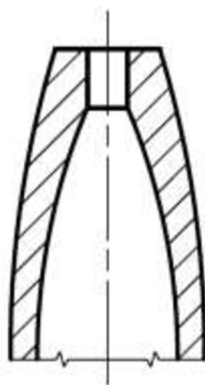
Obr. 34 Protažený výkovek

výkovky. Pro eliminaci tvoření švů na povrchu výkovku jsou jednotlivé sady kladek vůči sobě pootočený. Protahování kladkami je výhodnější než protahování skrz kroužky. Dosáhne se větších redukcí a zvýší se kvalita povrchu protahovaného výkovku. Redukce, které se musí protahováním dosáhnout je rozdělena mezi jednotlivé průvlakly (každá sada kladek tvoří jeden průvlak). Největší část redukce se děje v prvním průvlaklu a v každém dalším se snižuje. Schéma nástroje s kladkovými průvlakly je v příloze 3. Protahování musí být provedeno tak, aby končilo na spodní kovací teplotě. Dle materiálového listu oceli C60 (příloha 1) to bude těsně nad teplotou 850 °C. Z této teploty je protažený výkovek pozvolně, řízeně ochlazován v ochlazovací komoře na teplotu okolo 50 °C. Po protahování následuje třískové opracování přídavků na kování a dna vnitřní dutiny. Touto operací také dokončena fáze a) zhotovení hluboké duté nádoby s proměnnou tloušťkou stěny. Tvar protaženého výkovku je znázorněn na obr. 34.

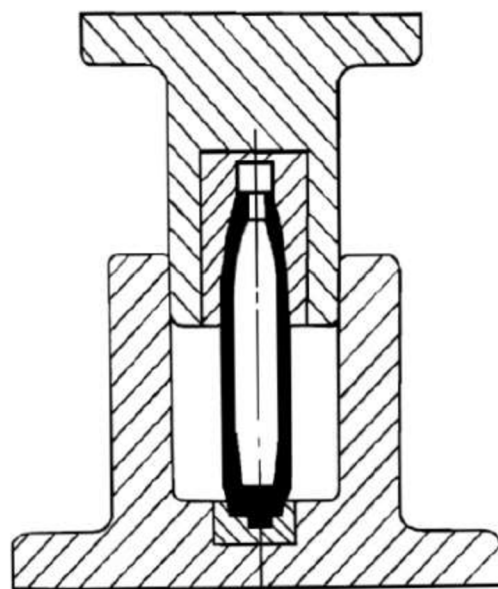
- **Uzavírání ústí** – Protažený a obrobený výkovek z předchozí operace vstupuje do fáze b) částečné uzavření ústí takto získaného předkovku. U střel malých ráží může být uzavírání ústí prováděno za studena. U řešené součásti (ráže 155 mm) musí být uzavírání provedena za kovací teploty. Uzavírání probíhá tak, že délka otevřeného konce, která odpovídá délce uzavřeného ogiválu, ohřátá v indukčním ohřívacím zařízení na kovací teplotu 1000 °C. Ohřátý výkovek je následně vložen do spodní části nástroje a poté stlačen horní částí nástroje ve tvaru uzavřeného konce střely. Schéma nástroje pro uzavírání je na obr. 35. Pro ráže, uvádí se od cca. 122 mm, se uzavírání provádí jako dvouoperační. Při něm je před samotným uzavřením výkovek stejným postupem nejprve přivřen do tvaru na obr. 36. finální uzavřený tvar je znázorněn na obr. 37. Pokud je ústí uzavíráno v dvouoperačním procesu zařazuje se mezi přivření a zavření další ohřev na kovací teplotu provedený v indukčním ohřívacím zařízení. Po uzavření ústí následuje finální třískové opracování povrchu součásti, rybinovité drážky pro vodící obroučku a závitů pro zapalovač.



Obr. 36 Přivřené ústí



Obr. 37 Uzavřené ústí



Obr. 35 Schéma nástroje pro uzavírání ústí [36]

Rozměrnost řešené součásti a zejména značná pracovní délka v operaci protahování vyžadují použití speciálních tvářecích zařízení. Pro kování, tj předděrování a děrování výkovků a následné protahování se nejčastěji používají hydraulické lisy. V rámci České republiky těmto požadavkům odpovídají hydraulické lisy řady CTH pro kování (předděrování, děrování) a řady CKT pro protahování, které nabízí firma Žďas a.s. Pro výkovky menších rozměrů jsou stavěny jako vertikální, pro větší rozměry jsou řešeny jako horizontální. Při požadavku automatizace celého procesu lze využít vícepozicový automatizovaný lis TYH (rovněž z nabídky firmy Žďas a.s.), který je vybaven i zařízením pro mezioperační přenášení výkovků a systémem pro mazání nástrojů. Na lisu TYH lze realizovat všechny operace (předděrování, děrování a protahování), tj. celou fázi a) zhotovení hluboké duté nádoby s proměnnou tloušťkou stěny, najednou. Další možností je použití dvoupozicového hydraulického lisu CKQ (obr. 36), určeného pro děrování a protahování dutých těles za tepla. Výroba zadané součásti se předpokládá na vícepozicovém automatu TYH 630 následujících parametrů (Tab. 5):



Obr. 36 Dvoupozicový hydraulický lis řady CKQ [35]

Tab. 5 Technické parametry lisu TYH 630 [35]

<b>I. Pěchovací pozice</b>	
Tvářecí síla 1. stupeň/ 2. stupeň	3150/ 4000 kN
Zpětná síla	850 kN
Zdvih beranu	1250 mm
Zdvih vyrážече	1250 mm
Lisovací rychlost	160 mm/s
<b>II. Děrovací pozice</b>	
Tvářecí síla děrovací/ stírací beran	6300/ 3000 kN
Vyrážecí síla	360 kN
Zdvih děrovacího beranu	2100 mm
Zdvih stíracího beranu	1300 mm
Zdvih vyrážече	1250 mm
Max. lisovací rychlost	100 mm/s
<b>III. Protahovací pozice</b>	
Protahovací síla 1. stupeň/ 2. stupeň	2000/ 2600 kN
Zpětná síla	600 kN
Maximální lisovací rychlost	400 mm/s

## 4.1 Stanovení mezioperačních tvarů výkovku [37]

Řešení mezioperačních tvarů výkovku je prováděno v opačném sledu kroků, než ve kterém je následně granát vyráběn. Cílem tohoto řešení je stanovit rozměry výchozího válcového polotovaru. Při výpočtu se vychází z rozměrů hotového granátu (výkres DP\_01\_191464), zvětšených o potřebném přídavky na finální třískové opracování. Vznikne tak tvar výkovku s předpokládanými rozměry po poslední tvářecí operaci, kterou je uzavírání ústí. Tento tvar je znázorněn v příloze 4, přídavky k základnímu tvaru granátu jsou voleny následovně:

- v závitě na hrdle granátu je přídavek 4 mm na stěnu,
- ten v délce 40 mm přechází v dutině pozvolna do vnitřního ogiválu,
- na délku je u ústí zvolen přídavek taktéž 4 mm,
- na vnější válcovou plochu, vnější ogivál a dno se přídavek volí jako 1 % největšího průměru + 0,4 mm, v tomto případě konkrétně  $1,525 + 0,4 = 1,925$  mm, zvolen je přídavek 2 mm.

### 4.1.1 Rozvinutí ogiválu [37]

Výkovek získaný po protažení přes kladkové průvlastky má vnější plochu válcovou a vnitřní plochu tvořenou sestavou válce a jednoho nebo více kuželů. Pro získání tohoto tvaru je nutné rozdělit řez ogivální části granátu, zvětšeného o přídavky, na  $i$  elementárních plošek. Výpočetně se zjistí velikost plochy ( $S_i$ ) a poloha těžiště těchto plošek. Odměří se vzdálenost těžišť od osy výkovku a označí se jako  $R_i$ . Podle Guldinovy věty (rovnice 4.1) se vypočte objem elementárních těles vzniklých rozřezáním ogivální části granátu, označený jako  $O_i$ . Vlastní přepočty je realizován tak, že se vnější povrch vnějšího ogiválu rozvine do válcového tvaru stejného průměru jako je průměr válcové části (tj. průměr  $D_0$ ) a do rozvinutého tvaru se přepočte vnitřní ogivál. Přepočty vychází z předpokladu, že se objemy elementárních těles zavíráním nemění. Od válce s průměrem  $D_0$  a výšce stejné jako je výška  $i$ -tého elementu objemy elementárních těles  $O_i$ , dostaneme elementární válce o vnitřních průměrech  $d_i$ . Vynesením těchto průměrů vznikne kaskádovitý průběh tvaru dutiny, jeho spojením plynulou křivkou vznikne kuželovitý tvar vnitřní dutiny rozvinutého výkovku.

$$O_i = 2 \cdot \pi \cdot R_i \cdot S_i \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.1)$$

Dle tohoto postupu byla vnitřní ogivální část řešeného výkovku, dlouhá 240,5 mm, rozdělena na 23 elementárních ploch o výškách  $a_{1-23} = 10$  mm. Vzhledem k délce vnitřní ogivální části byla poslednímu elementu  $i = 24$  ponechána výška  $a_{24} = 10,5$  mm. Rozdělení na elementy je znázorněno na obr. 37. Plochy řezů byly pro výpočet nahrazeny ekvivalentními obdélníky o rozměrech  $a_i \times b_i$ . Konkrétní výsledky jsou shrnuty v Tab. 6 a zde je uveden vzorový výpočet pro element  $i = 1$ :

- Objem válce o průměru  $D_0$  a výšce  $a_1 = 10$  mm

$$O_o = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot a_i = \frac{\pi}{4} \cdot 156,5^2 \cdot 10 = 192361,68 \text{ mm}^3$$

- Obsah elementární plochy:

$$S_1 = a_1 \cdot b_1 = 10 \cdot 22,51 = 225,1 \text{ mm}^2$$

- Vzdálenost těžiště od osy výkovku:

$$R_1 = 66,25 \text{ mm}$$

- Objem elementárního tělesa:

$$O_1 = 2 \cdot \pi \cdot R_1 \cdot S_1 = 2 \cdot \pi \cdot 66,25 \cdot 225,1 = 93700,36 \text{ mm}^3$$

- Vyjádření průměru  $d_i$  z rozdílu objemů:

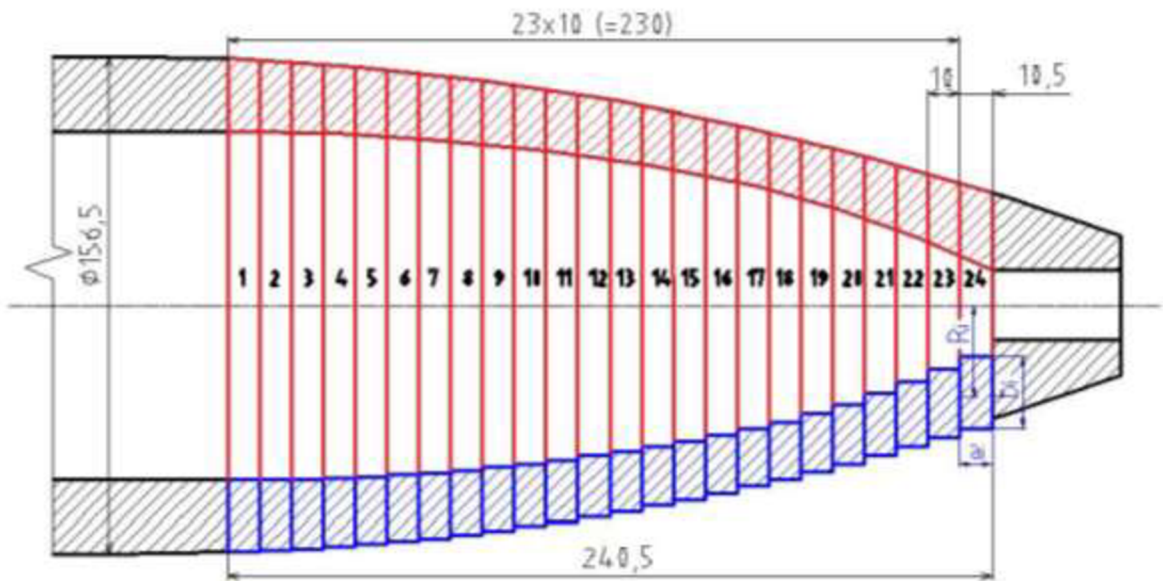
$$O_0 - O_1 = \frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \cdot a_i$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot (O_0 - O_1)}{\pi \cdot a_i}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (192361,68 - 93700,36)}{\pi \cdot 10}} = 112,08 \text{ mm}$$

Tab. 6 Výpočet vnitřních průměrů  $d_i$  rozvinutého vnitřního ogiválu

Číslo elementu $i$ [-]	Výška elementu $a_i$ [mm]	Šířka elementu $b_i$ [mm]	Obsah řezu $S_i$ [mm <sup>2</sup> ]	Vzdálenost těžiště $R_i$ [mm]	Objem elementu $O_i$ [mm <sup>3</sup> ]	Vnitřní průměr $d_i$ [mm]
1	10,00	22,51	225,10	66,25	93700,36	112,08
2	10,00	22,12	221,20	66,00	91729,48	113,19
3	10,00	21,74	217,40	65,62	89634,59	114,37
4	10,00	21,38	213,80	65,13	87492,06	115,55
5	10,00	21,03	210,30	64,52	85253,75	116,78
6	10,00	20,69	206,90	63,80	82939,43	118,03
7	10,00	20,38	203,80	62,96	80621,11	119,28
8	10,00	20,07	200,70	62,00	78184,19	120,57
9	10,00	19,78	197,80	60,92	75712,23	121,87
10	10,00	19,51	195,10	59,73	73219,99	123,16
11	10,00	19,25	192,50	58,41	70647,66	124,49
12	10,00	19,01	190,10	56,98	68058,82	125,80
13	10,00	18,78	187,80	55,43	65406,41	127,14
14	10,00	18,56	185,60	53,75	62681,06	128,50
15	10,00	18,36	183,60	51,96	59940,68	129,85
16	10,00	18,18	181,80	50,04	57159,85	131,20
17	10,00	18,01	180,10	48,00	54316,88	132,58
18	10,00	17,98	179,80	45,78	51718,43	133,82
19	10,00	18,31	183,10	43,26	49768,52	134,74
20	10,00	18,83	188,30	40,53	47952,01	135,60
21	10,00	19,54	195,40	37,58	46138,26	136,45
22	10,00	20,45	204,50	34,40	44200,95	137,35
23	10,00	21,58	215,80	31,01	42046,81	138,34
24	10,50	22,93	240,77	27,37	41404,55	139,54





Obr. 37 Řezy ogivální částí

Samostatně byl, podle stejného postupu, řešen přepočítání ústí s tím rozdílem, že jako plocha řezu byl zvolen lichoběžník. Rozměry řezu jsou znázorněny na obr. 38 a postup přepočtu je následující:

- Objem válce o průměru  $D_0$  a výšce  $a_{ustí}$ :

$$O_{o,ustí} = \frac{\pi}{4} \cdot D_0^2 \cdot a_i$$

$$O_{o,ustí} = \frac{\pi}{4} \cdot 156,5^2 \cdot 40$$

$$O_{o,ustí} = 769446,73 \text{ mm}^3$$

- Obsah elementární plochy:

$$S_{ustí} = b_{1,ustí} \cdot a_{ustí} + \frac{b_{2,ustí} \cdot a_{ustí}}{2}$$

$$S_{ustí} = 11 \cdot 40 + \frac{13,6 \cdot 40}{2}$$

$$S_{ustí} = 712 \text{ mm}^2$$

- Vzdálenost těžiště od osy výkovku:

$$R_{ustí} = 20,33 \text{ mm}$$

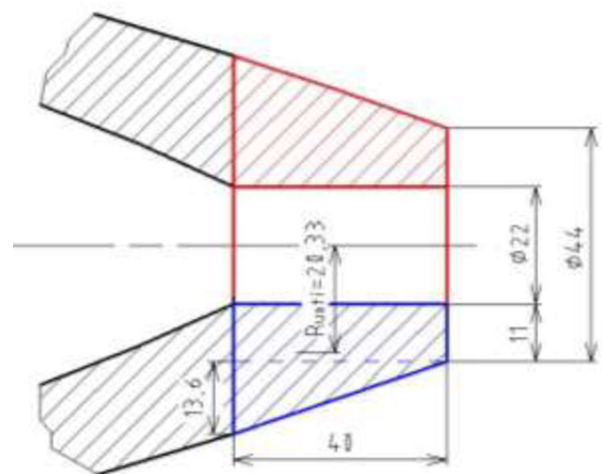
- Objem elementárního tělesa:

$$O_{ustí} = 2 \cdot \pi \cdot R_{ustí} \cdot S_{ustí} = 2 \cdot \pi \cdot 20,33 \cdot 712 = 90962,28 \text{ mm}^3$$

- Vyjádření průměru  $d_{ustí}$  z rozdílu objemů:

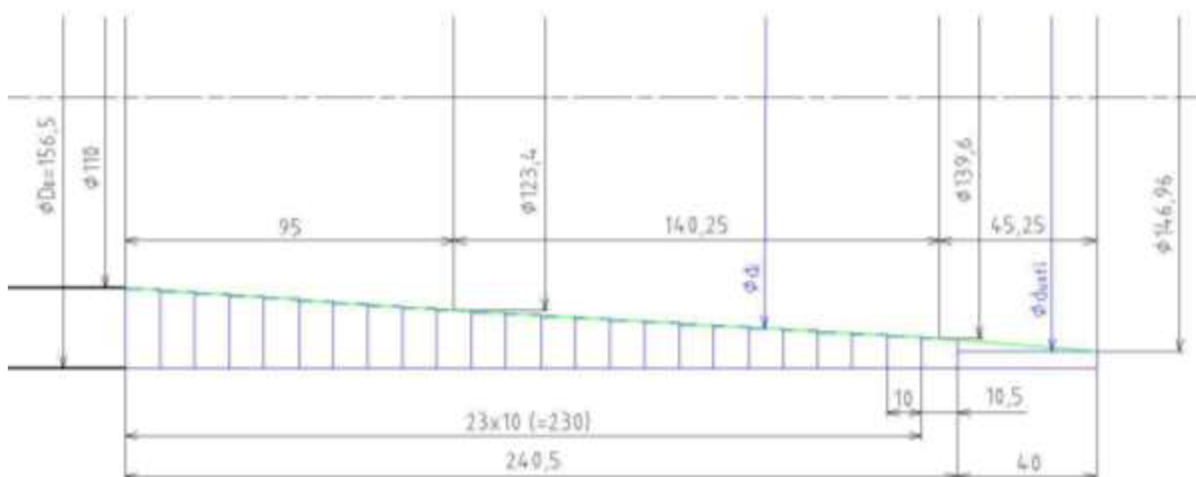
$$O_{o,ustí} - O_{ustí} = \frac{\pi}{4} \cdot d_{ustí}^2 \cdot a_{ustí}$$

$$d_{ustí} = \sqrt{\frac{4 \cdot (O_{o,ustí} - O_{ustí})}{\pi \cdot a_{ustí}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (769446,73 - 90962,28)}{\pi \cdot 40}} = 146,96 \text{ mm}$$



Obr. 38 Řez ústím

Všechny průměry zjištěné přepočtem elementů byly jako vnitřní průměry prstenců s vnějším průměrem  $D_0$  vyneseny do náčrtu rozvinutého ústí a následně spojeny plynulými křivkami (zeleně na obr. 39) spojující jejich středy a tvořící tři navazující kužely, které tvoří vnitřní plochu ohrubku. Vynesení prstenců a konstrukce vnitřní plochy je znázorněna na obr. 39.



Obr. 39 Rozvinutí ogivální části

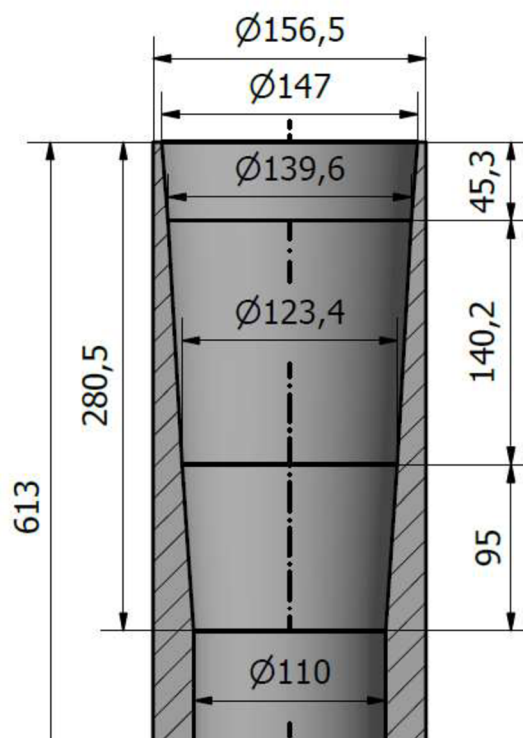
#### 4.1.2 Simulace uzavírání ústí

Simulace uzavírání ústí střely byla provedena pro ověření správnosti tvaru rozvinuté ogivální části střely získané předchozím výpočtem. Cílem simulace bylo ověřit, zda dojde bez vzniku defektů, k požadovanému uzavření a zda bylo výpočtem vyšetřeno dostatečné množství materiálu v úst'ové části střely určené pro obrábění závitu. A také ověření, zda by nebylo možné, i u střely ráže 155 mm, proces výroby zkrátit uzavíráním jen na jednu operaci.

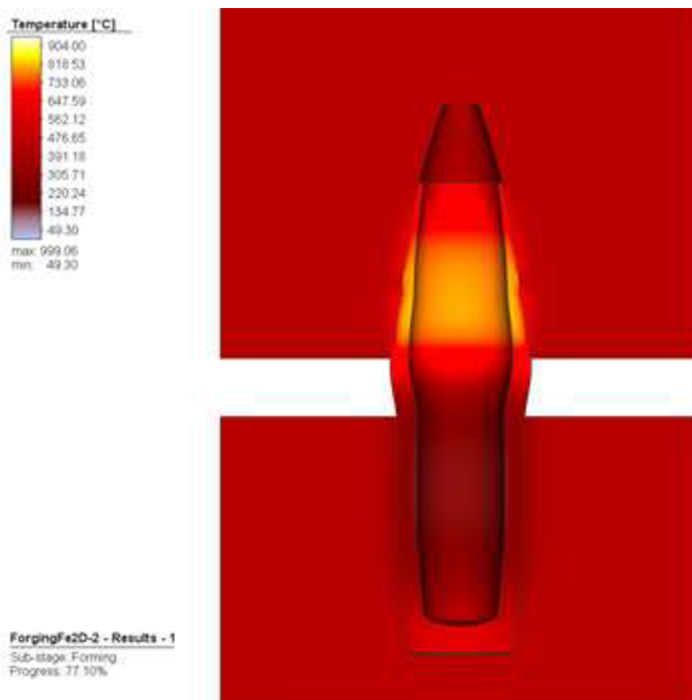
Simulace byla provedena v simulačním softwaru Simufact. Tvar a rozměry vstupního polotovaru jsou na obr. 40. Parametry procesu byly zvoleny následovně:

- **Teplota ohřevu uzavírané části** (280,5 mm) – stejná jako zvolená kovací teplota dle materiálového listu, tedy 1000 °C.
- **Teplota předehřevu nástrojů** – zvolena na 300 °C.
- **Součinitel tření  $f$**  – pro tření mezi nástrojem a tvářeným polotovarem zvolena hodnota 0,3

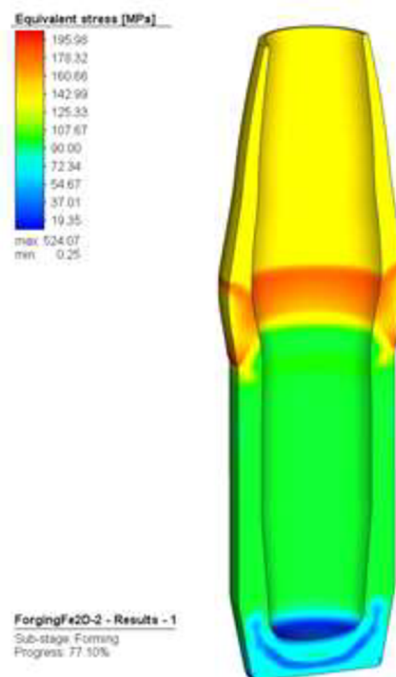
Výsledek simulačního procesu je na obr. 41. a obr. 42. Simulace ukázala, že uzavírání jen na jednu operaci nebude u této ráže střely možné. Na obr. 41 je patrné, že v cca. 77 % procesu došlo k zpomalení až zadření toku materiálu po stěně nástroje. Následkem toho se v prostoru mezi horním a dolním nástrojem začalo tvořit značné vyboulení.



Obr. 40 Vstupní polotovar simulace



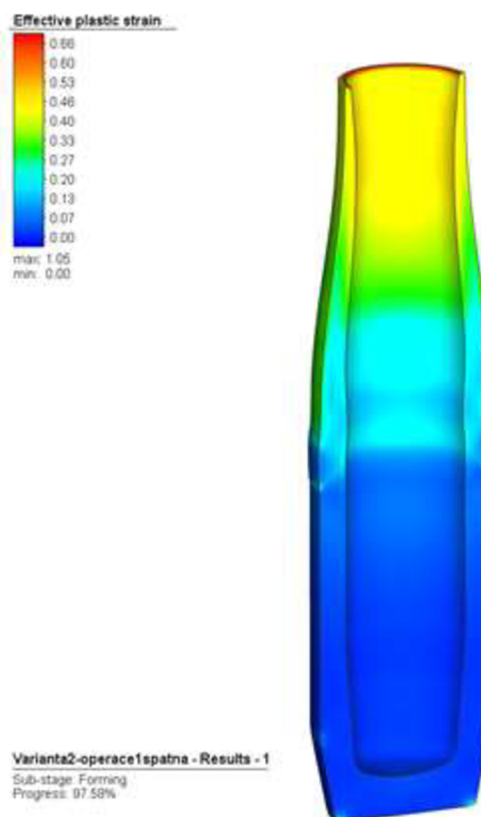
Obr. 41 Okamžik zadření



Obr. 42 Vyboulení výkovku

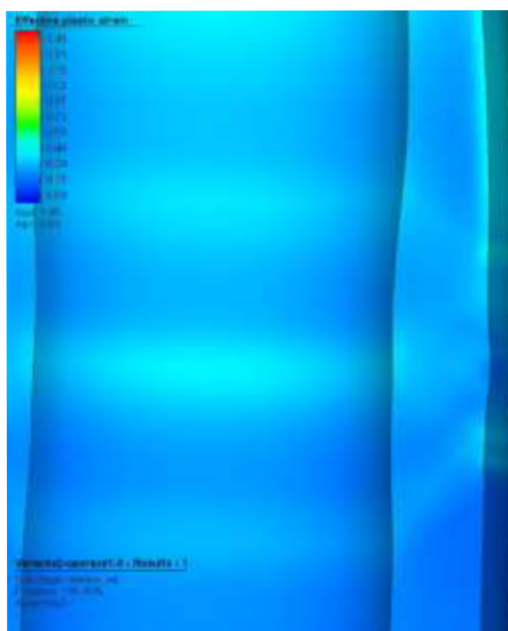
Vzhledem k nepříznivému výsledku simulace jednooperačního uzavírání byl proces upraven na dvouoperační. V první operaci dojde k přivření ústí a ve druhé k dovření ogivální části a napěchování úst'ové části (vytvoření dostatečného objemu materiálu pro obrobení závitu). Parametry procesu zůstaly stejné jako v předchozí simulaci, s jedinou úpravou. A to takovou, že předehřev dolního nástroje se ukázal jako zbytečný. Dále bude aplikován jen na horní část nástroje.

Simulace první operace přivření proběhla úspěšně a její výsledek je na obr. 43. Výstupní přivřený tvar byl použit do simulace druhé operace dovření ogivální části. Tato část simulace ukázala, že tvar přivření byl zvolen nevhodně, vyboulení se sice značně zmenšilo, ale je stále přítomné a zasahující do funkce součástí. Toto vyboulení je k vidění v detailu na obr. 44.

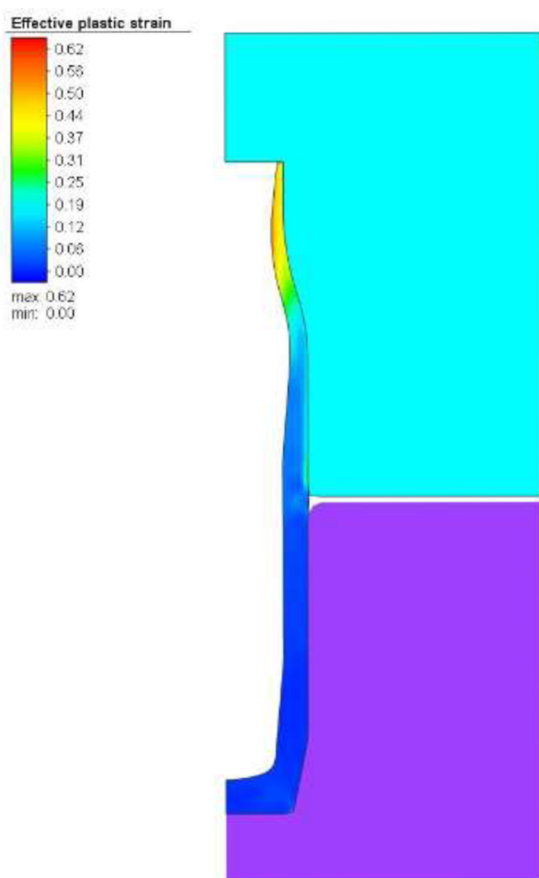


Obr. 43 První tvar přivření

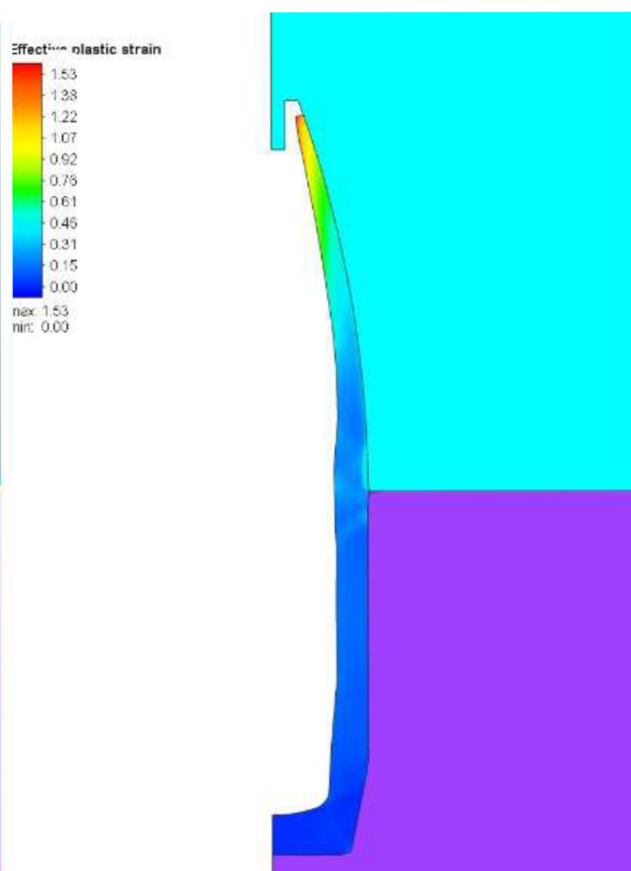
Tvar přivření byl následně mírně upraven, ale ani toto upravení vyboulení úplně neodstranilo, jen jej výrazně zmenšilo. V této fázi simulace se nicméně podařilo dospět k úplnému uzavření nástroje. Tím bylo zjištěno, že i samotný tvar polotovaru je nedostatečný. Nedošlo požadovanému vyplnění dutiny, a tedy ani výsledný tvar a výška výkovku neodpovídá požadavku. Upravený tvar přivření je na obr. 45 a nedotečení materiálu v nástroji při jeho uzavření je na obr. 46.



Obr. 44 Detail vyboulení výkovku

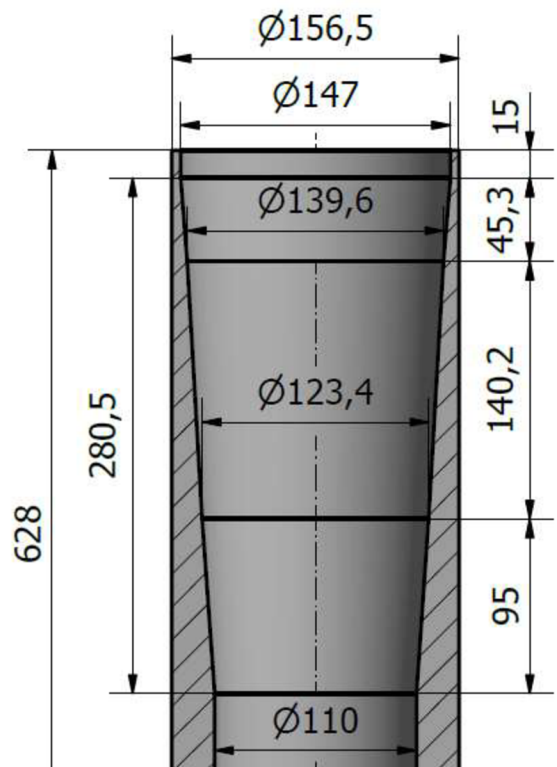


Obr. 45 Upravený tvar přivření

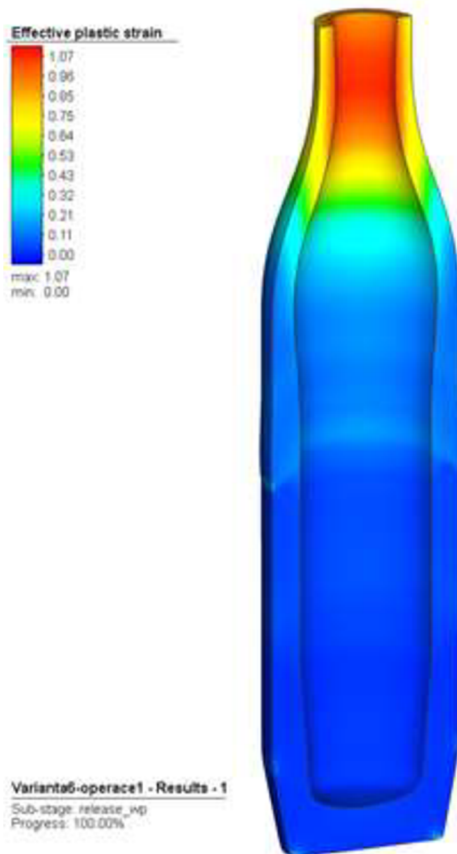


Obr. 46 Nedotečení materiálu

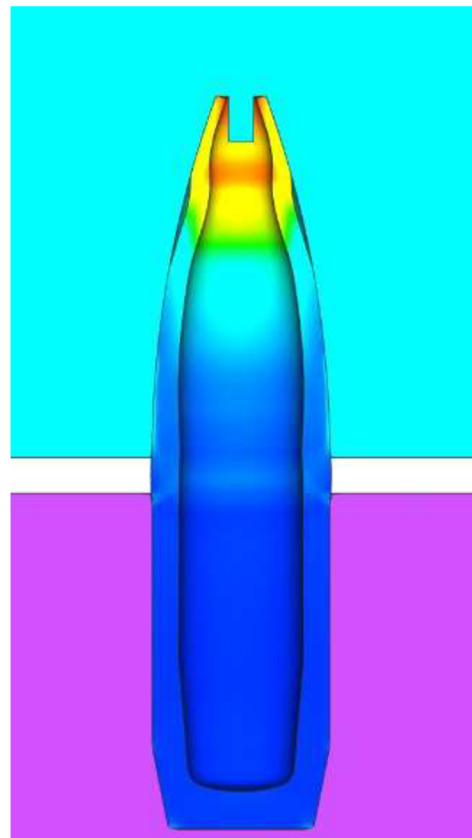
Na základě stále neuspokojivých výsledků byl tvar přivření opět upraven (obr. 48). Tak aby došlo k většímu přivření ústové části a vytvoření prostoru nad požadovanou výškou součásti, proto aby při přivření nedocházelo k pěchování a zvětšila se tak výška výkovku, která bude upravena až při následném uzavření. Výrazně zkrácena byla i zbývající válcová část, z důvodu lepší stability, a tedy i eliminace vyboulení. Upraven byl i polotovár, a to přidáním přídavku v ústí. Byly vytvořeny dvě verze přídavku, a to o délce 15 a 20 mm (přídavek na délku 15 mm je znázorněn na obr. 47.). Přídavek 15 mm se ukázal jako nedostatečný, stále nedošlo k napěchování dostatku materiálu v ústí (pro obrobení závitu), výsledek na obr. 50. U přídavku 20 mm nastalo napěchování, ale ne v požadované části výkovku, tj. v ústí, ale pěchovat a tím zesilovat se začala stěna ogivální části, pěchování stěny v nástroji na obr. 49 a výsledek na obr. 51.



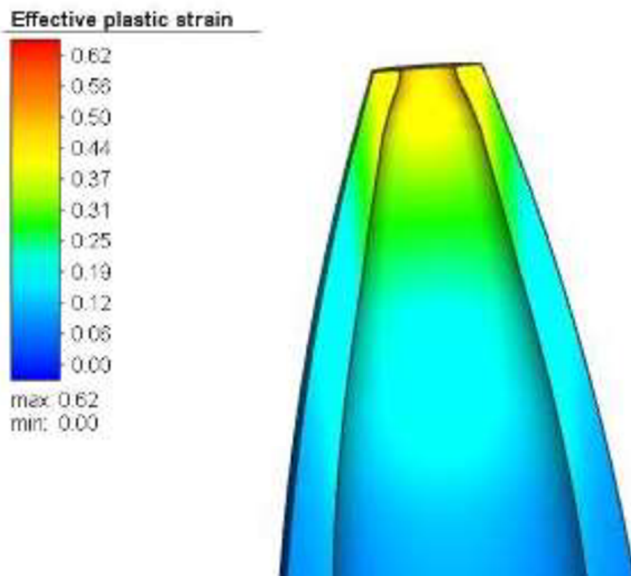
Obr. 47 Polotovár s přídavkem 15 mm



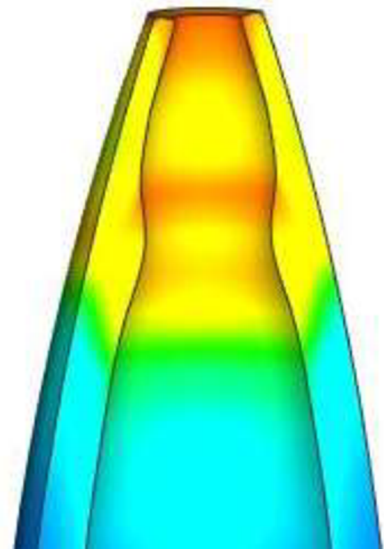
Obr. 48 Finální tvar přivření



Obr. 49 Pěchování stěny při přídavku 20 mm



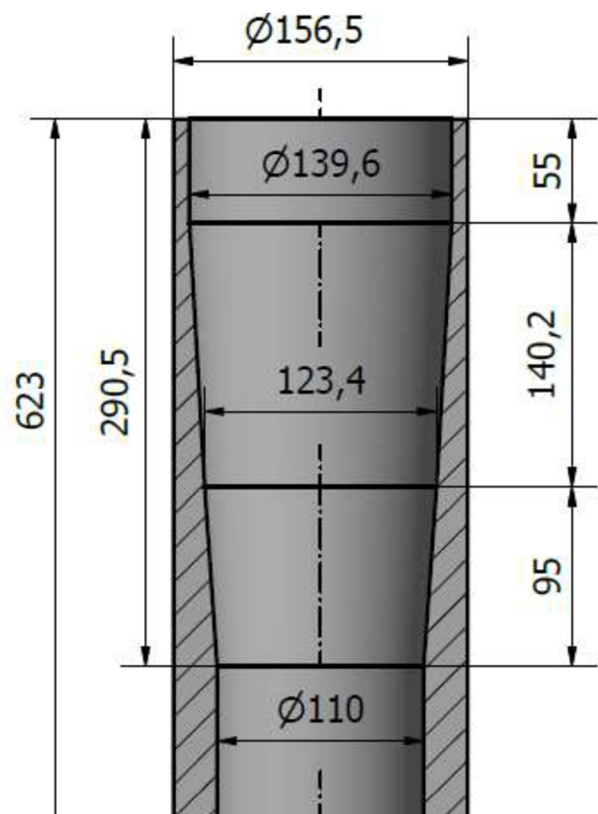
Obr. 50 Výsledek uzavření s přídavkem 15 mm



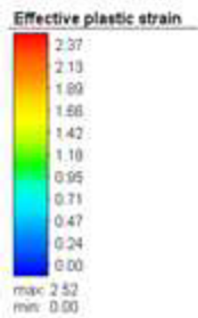
Obr. 51 Výsledek uzavření s přídavkem 20 mm

Vzhledem k tomuto výsledku byl vstupní polotovár pro simulaci upraven podle obr. 52. Upraven byl tvar v místě ústí, a to tak že poslední kuželová část (45,3 mm na obr. 52) byla nahrazena válcem. Ten vznikl tak, že od přechodu do tohoto posledního kužele (139,6 mm na obr. 52) byl tvar vnitřní dutiny změněn na válec o průměru 139,6 mm. Následně byl ještě přidán délkový přídavek 15 mm.

Výsledek simulace s touto úpravou vstupního polotovaru je na obr. 53 a detail ustí na obr. 54. Tento výsledek už je uspokojivý. Sice se jím nedosáhlo tvaru z teoreticky vytvořeného výkovku z přílohy 4, ale tato odchylka tvaru nebude mít žádný vliv na funkčnost řešené součásti. V úst'ové části bylo docíleno dostatku materiálu pro obrobení funkční části ustí a závitu pro zapalovač. Takto získaný tvar protaženého výkovku po obrobení přídavků na kování je použit v další části výpočtu, tj. určení objemu protaženého výkovku.

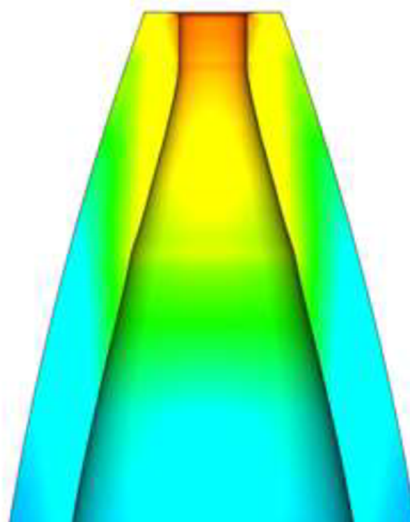


Obr. 52 Finální tvar vstupu pro simulaci



Varianta4-operace2.2 - Results - 1  
Sub-stage: release\_wp  
Progress: 100.00%

Obr. 53 Finální výsledek simulace



Obr. 54 Detail ústí výsledku simulace

#### 4.1.3 Určení objemu protaženého výkovku [37]

Po zakreslení přídavek pro hrubování dostaneme tvar a rozměry výkovku po protažení. Zakreslení těchto přídavek na tvar ohrubovaného výkovku před uzavřením ústí (příloha 5) jsou znázorněny v příloze 6 a volí se následovně:

- **Přídavek na stěnu** – z rozmezí (3-5 mm) zvolen 4 mm a sestává z přídavek na:
  - Excentricnost výkovku: (2,5 – 3) mm
  - Rýhy po nástroji: 1 mm
  - Nezbytný úběr: 1 mm

Výsledný průměr vnější válcové plochy je:  
 $D_1 = 156,5 + 2 \cdot 4 = 164,5 \text{ mm}$

- **Přídavek na zadní ogivál** – volí se jako: 1,5 · přídavek na stěnu  
 $1,5 \cdot 4 = 6 \text{ mm}$
- **Přídavek na dno** – sestává z:
  - Přídavku (4 – 6) mm a
  - tolerance pro zápich při hrubování (3 – 5) mm.
 Zvolen jako 10 mm
- **Přídavek na délku** – sestává z:
  - Přídavku (15 – 20) mm a
  - předpokládané šířky upichovacího nože 8 mm.
 Zvolen jako 25 mm

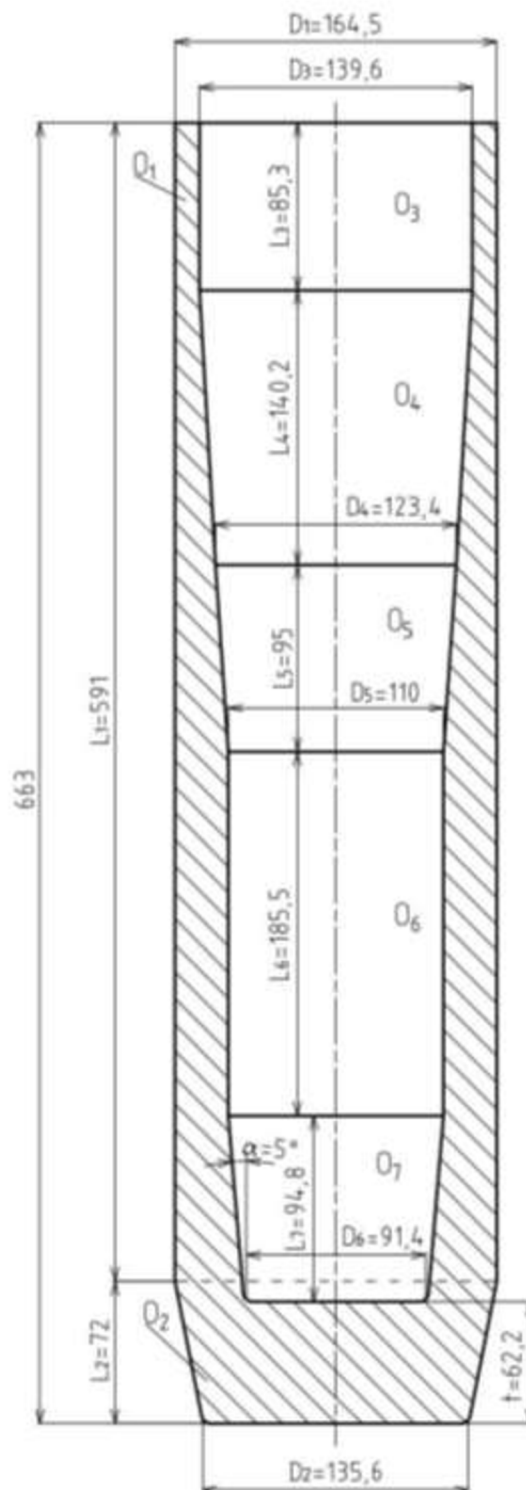
Dno dutiny bude po protažení obráběno do finální podoby dle výkresu DP\_01\_191464. Proto je zde volen „přídavek“, který zjednoduší tvar pro výpočet objemu protaženého výkovku a zároveň zesílí dno pro operace děrování a protahování.

Objem celého protaženého výkovku získaného přidáním předchozích přídavek je spočítán z dílčích objemů znázorněných spolu s potřebnými rozměry na obr. 55 a je určen vztahem:

$$O_c = O_1 + O_2 - O_3 - O_4 - O_5 - O_6 - O_7 \quad (4.2)$$

kde:  $O_c$  - celkový objem protaženého výkovku [mm<sup>3</sup>]

$O_1, O_2, O_3 \dots O_7$  - dílčí objemy znázorněné na obr. 55 [mm<sup>3</sup>]



Obr. 55 Protážený výkovek schéma



Objemy válcových částí jsou počítané z následujících vztahů:

$$O_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot L_1 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.3)$$

$$O_3 = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} \cdot L_3 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.4)$$

$$O_6 = \frac{\pi \cdot D_5^2}{4} \cdot L_6 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.5)$$

kde:  $D_1, D_3, D_5$  – průměry válcových částí [mm]  
 $L_1, L_3, L_6$  – výšky válcových částí [mm]

Objemy částí počítané jako komolé kužely jsou počítané z následujících vztahů:

$$O_2 = \frac{\pi}{12} \cdot L_2 \cdot \frac{D_1^3 - D_2^3}{D_1 - D_2} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.6)$$

$$O_4 = \frac{\pi}{12} \cdot L_4 \cdot \frac{D_3^3 - D_4^3}{D_3 - D_4} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.7)$$

$$O_5 = \frac{\pi}{12} \cdot L_5 \cdot \frac{D_4^3 - D_5^3}{D_4 - D_5} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.8)$$

$$O_7 = \frac{\pi}{12} \cdot L_7 \cdot \frac{D_5^3 - D_6^3}{D_5 - D_6} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.9)$$

kde:  $D_2, D_4, D_6$  – průměry kuželových částí [mm]  
 $L_2, L_4, L_5, L_7$  – výšky kuželových částí [mm]

Po dosazení rozměrů z obr. 55 do rovnic (4.3), (4.4) a (4.5) pro válcové části a rovnic (4.6), (4.7), (4.8) a (4.9) pro části počítané jako komolé kužely dostaneme následující dílčí objemy:

$$O_1 = \frac{\pi \cdot 164,5^2}{4} \cdot 591 = 12\,560\,564,75 \text{ mm}^3$$

$$O_3 = \frac{\pi \cdot 139,6^2}{4} \cdot 85,3 = 1\,305\,598,82 \text{ mm}^3$$

$$O_6 = \frac{\pi \cdot 110^2}{4} \cdot 185,5 = 1\,762\,865,45 \text{ mm}^3$$

$$O_2 = \frac{\pi}{12} \cdot 72 \cdot \frac{164,5^3 - 135,6^3}{164,5 - 135,6} = 1\,277\,159,32 \text{ mm}^3$$

$$O_4 = \frac{\pi}{12} \cdot 140,2 \cdot \frac{139,6^3 - 123,4^3}{139,6 - 123,4} = 1\,906\,284,61 \text{ mm}^3$$

$$O_5 = \frac{\pi}{12} \cdot 95 \cdot \frac{123,4^3 - 110^3}{123,4 - 110} = 1\,017\,221,79 \text{ mm}^3$$

$$O_7 = \frac{\pi}{12} \cdot 94,8 \cdot \frac{110^3 - 91,4^3}{110 - 91,4} = 757\,207,57 \text{ mm}^3$$

Celkový objem protaženého výtažku  $O_c$  potřebný pro další postup určení tvaru a rozměrů děrovaného výkovku je vypočítáný ze vztahu (4.2) po dosazení dílčích objemů  $O_1, O_2, O_3 \dots O_7$ :

$$O_c = 12\,560\,564,75 + 1\,277\,159,32 - 1\,305\,598,82 - 1\,906\,284,61 - 1\,017\,221,79 - 1\,762\,865,45 - 757\,207,57 = 7\,088\,545,83 \text{ mm}^3$$

#### 4.1.4 Určení rozměrů děrovaného výkovku [37]

Při určení rozměrů a tvaru děrovaného výkovku se vychází z podmínky rovnosti objemů ( $O_c$ ) děrovaného a protaženého výkovku. Stejně jsou rovněž průměry  $D_2, D_6$  a tloušťka dna značená jako  $t$ , pro rozlišení od rozměrů protaženého výkovku budou veškeré rozměry děrovaného výkovku značeny s indexem čárky. Zmíněné průměry budou tedy označeny jako  $D_2 = D_2'$ ,  $D_6 = D_6'$  a tloušťka dna  $t = t'$ . Postup výpočtu je následovný:

- **Vnitřní průměry  $D_3'$  a  $D_5'$**  - vzniknou přidáním přídavek k průměrům  $D_3$  a  $D_5$ . Tyto přídávky zajistí snadné vniknutí protahovacího trnu do dutiny děrovaného výkovku a jsou voleny takto:
  - Pro průměr  $D_3'$  je přídavek  $(0,5 - 2) \text{ mm}$ , zvolen je přídavek  $1,4 \text{ mm}$  a tedy:
 
$$D_3' = 139,6 + 1,4 = 141 \text{ mm}$$
  - Pro průměr  $D_5'$  je přídavek  $(0,5 - 3) \text{ mm}$ , zvolen je přídavek  $2 \text{ mm}$  a tedy:
 
$$D_5' = 110 + 2 = 112 \text{ mm}$$
- **Délka  $L_7'$**  - musí být taková, aby byl úhel  $\alpha'$  u děrovaného výkovku roven úhlu  $\alpha$  protaženého výkovku a vychází z následující rovnosti:

$$\frac{D_5 - D_6}{2} \div L_7 = \frac{D_5' - D_6'}{2} \div L_7' \quad (4.10)$$

Vyjádřením z rovnice (4.10) a dosazením do získaného vztahu je vypočtena délka  $L_7'$ .

$$L_7' = \frac{L_7 \cdot \frac{D_5' - D_6'}{2}}{\frac{D_5 - D_6}{2}} = \frac{L_7 \cdot (D_5' - D_6')}{D_5 - D_6} = \frac{94,8 \cdot (112 - 91,4)}{110 - 91,4} = 104,99 \text{ mm}$$

Délka  $L_7'$  je zaokrouhlena na  $105 \text{ mm}$ .

- **Celková délka děrovaného výkovku  $L'$**  – určuje se jako 70 % délky protaženého výkovku a tedy:

$$L' = 0,7 \cdot L = 0,7 \cdot 663 = 464,1 \text{ mm}$$

Délka  $L'$  je zaokrouhlena na 464 mm a sestává z úseků dle vztahu (4.11):

$$L' = t' + L_7 + L_6 + L_8 \text{ [mm]} \quad (4.11)$$

kde:  $t'$  – tloušťka dna [mm]

$L_7, L_6, L_8$  – délky vnitřních dílčích částí [mm]

Při děrování výkovku budou válcová část ústí s přídavkem délky  $L_7$  a kuželové části  $L_4$  a  $L_5$  protaženého výkovku z obr. 55 uvažovány jako jeden kužel o délce  $L_8 = 165 \text{ mm}$ . Tato délka je zjištěna graficky z úhlu  $\beta'$ , který se volí větší než úhel  $\beta$  u protaženého výkovku a byl zvolen  $\beta' = 5^\circ$ . Dosazením těchto hodnot do vztahu (4.11) a vyjádřením délky  $L_6$  získáme její velikost:

$$L_6 = L' - t' - L_7 - L_8 = 464 - 62,2 - 105 - 165 = 131,8 \text{ mm}$$

- **Vnější průměr děrovaného výkovku  $D'_v$**  – vypočte se z celkového objemu děrovaného výkovku  $O_c$  a jeho dílčích objemů  $O', O_6, O_7, O_8$  znázorněných na obr. 56. Při výpočtu se vychází z následujících vztahů pro celkový objem a dílčí objemy:

$$O_c = O' - O_6 - O_7 - O_8 \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.12)$$

kde:  $O', O_6, O_7, O_8$  – objemy dílčích částí [mm<sup>3</sup>]

$$O' = \frac{\pi}{12} \cdot L' \cdot \frac{D_v'^3 - D_2'^3}{D_v' - D_2'} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.13)$$

$$O_6 = \frac{\pi}{4} \cdot L_6 \cdot D_5' \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.14)$$

$$O_7 = \frac{\pi}{12} \cdot L_7 \cdot \frac{D_5'^3 - D_6'^3}{D_5' - D_6'} \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.15)$$

$$O'_8 = \frac{\pi}{12} \cdot L'_8 \cdot \frac{D_3'^3 - D_5'^3}{D_3' - D_5'} \quad [\text{mm}^3] \quad (4.16)$$

kde:  $D_2', D_3', D_5', D_6'$  – průměry dílčích částí [mm]

$L_7', L_6', L_8'$ , – délky vnitřních dílčích částí [mm]

$L'$  – výška děrovaného výkovku [mm]

Následujícím dosazením hodnot do vztahů (4.13), (4.14), (4.15) a (4.16) a jejich dosazením do vztahu (4.12) a následnou úpravou vznikne následující kubická rovnice s jedinou neznámou  $D_v'$ .

$$O' = O_c + O'_6 + O'_7 + O'_8$$

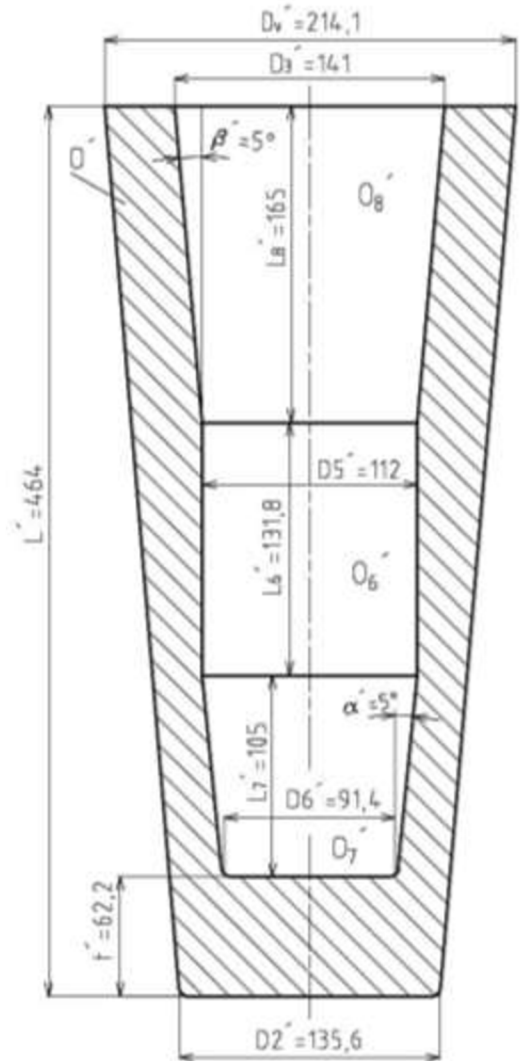
a zároveň platí

$$O' = \frac{\pi}{12} \cdot L' \cdot \frac{D_v'^3 - D_2'^3}{D_v' - D_2'}$$

po vyjádření

$$O' \cdot (D_v' - D_2') - \frac{\pi}{12} \cdot L' \cdot (D_v'^3 - D_2'^3) = 0$$

a dosazení



Obr. 56 Děrovaný výkovek schéma

$$O' = 7\,088\,545,83 + \frac{\pi}{4} \cdot 131,8 \cdot 112 + \frac{\pi}{12} \cdot 105 \cdot \frac{112^3 - 91,4^3}{112 - 91,4} + \frac{\pi}{12} \cdot 165 \cdot \frac{141^3 - 112^3}{141 - 112}$$

$$= 10\,038\,825,86 \text{ mm}^3$$

$$10\,038\,825,86 \cdot (D_v' - 135,6) - \frac{\pi}{12} \cdot 464 \cdot (D_v'^3 - 135,6^3) = 0$$

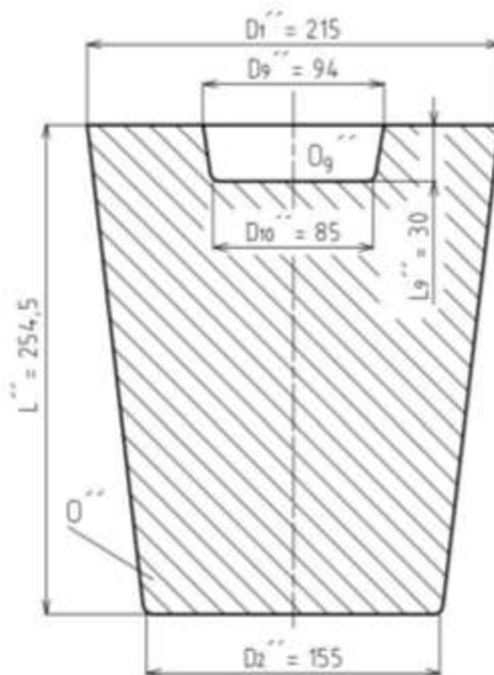
Tato rovnice je řešitelná interpolací kdy se  $D_v'$  sevře mezi dva výsledky dávající opačné znaménko a interval je postupně zužuje. Zde byl průměr  $D_v'$  zjištěn pomocí programu Autodesk Inventor 2020, kde byl tvar vymodelován a zvolen takový průměr  $D_v'$ , aby souhlasil objem  $O_c$ . Tímto postupem byl zvolen průměr  $D_v' = 214,1 \text{ mm}$ .

#### 4.1.5 Určení tvaru předděřovaného výkovku [37]

U předděřovaného výkovku budou všechny proměnné označeny indexem dvou čárek. Je zde nutné zvolit takový horní průměr  $D_1''$  aby zajistil to, že po vložení do děrovací zápustky zůstane předděřovaný výkovek „zakotven“ v horní části její dutiny a umožní tak úspěšné provedení jeho vtlačení do dutiny zápustky při operaci děrování výkovku. Z tohoto důvodu je průměr  $D_1''$  zvolen větší, než je průměr  $D_1'$  u děřovaného výkovku a jeho velikost činí  $D_1'' = 215 \text{ mm}$ . Dolní průměr předděřovaného výkovku  $D_2''$  je opět o něco větší než průměr  $D_2'$  děřovaného výkovku a jeho velikost je  $D_2'' = 155 \text{ mm}$ .

V operaci předděřování je zhotoven také vmáčkнутý důlek znázorněný na obr. 57 s rozměry  $D_9'' = 94 \text{ mm}$ ,  $D_{10}'' = 85 \text{ mm}$  a  $L_9'' = 30 \text{ mm}$ . Tento důlek slouží pro vystředění děrovacího trnu v počátku vtačovací operace při děřování výkovku.

Výška předděřovaného výkovku je určena z předpokladu, že předděřovaný výkovek bude mít stejný objem jako je objem  $O_c$  děřovaného výkovku a vztahů (4.18), (4.19) pro dílčí objemy  $O''$  a  $O_9''$  (znázorněny na obr. 57) předděřovaného výkovku následujícím způsobem:



Obr. 57 Předděřovaný výkovek schéma

$$O'' = \frac{\pi}{12} \cdot L'' \cdot \frac{D_1''^3 - D_2''^3}{D_1'' - D_2''} [\text{mm}^3] \quad (4.18)$$

$$O_9'' = \frac{\pi}{12} \cdot L_9'' \cdot \frac{D_9''^3 - D_{10}''^3}{D_9'' - D_{10}''} [\text{mm}^3] \quad (4.19)$$

kde:  $D_1'', D_2'', D_9'', D_{10}''$  – průměry dílčích částí [mm]  
 $L'', L_9''$  – délky dílčích částí [mm]

Dosazením vztahů (4.18), (4.19) a příslušných hodnot do následující rovnosti (4.20) a její úpravou získáme hodnotu výšky předděřovaného výkovku:

$$O_c = O'' - O_9'' [\text{mm}^3] \quad (4.20)$$

$$L'' = \frac{O_c + \frac{\pi}{12} \cdot L_9'' \cdot \frac{D_9''^3 - D_{10}''^3}{D_9'' - D_{10}''}}{\frac{\pi}{12} \cdot \frac{D_1''^3 - D_2''^3}{D_1'' - D_2''}} = \frac{7\,088\,545,83 + \frac{\pi}{12} \cdot 30 \cdot \frac{94^3 - 85^3}{94 - 85}}{\frac{\pi}{12} \cdot \frac{215^3 - 155^3}{215 - 155}} = 254,45 \text{ mm}$$

Výška  $L''$  je zaokrouhlena na hodnotu  $L'' = 254,5 \text{ mm}$ .

#### 4.1.6 Výpočet výchozího polotovaru [37], [38]

Objem výchozího polotovaru ( $O$ ) bude objem výkovku ( $O_c$ ) zvětšený o přídavek na opal vzniklý při ohřevu na kovací teplotu. Ztráta materiálu opalem při jednom ohřevu se udává přibližně v rozmezí 2 – 4 %. Ohřevů bude při výrobě celkem 5 a to před operacemi předděrováním, děrováním, protahováním, přivřením ústí a zavíráním ústí. Ohřevy před operacemi předděrování, děrování a protahování proběhnou v plynové peci, a proto je zvolena ztráta opalem 3 %. Ohřevy před operacemi přivření a zavření ústí proběhnou elektrickou indukcí ztráta opalem je zvolena menší, konkrétně 2 %. Objem výchozího polotovaru je tedy rovný:

$$O = O_c + 3 \cdot 0,03 \cdot O_c + 2 \cdot 0,02 \cdot O_c$$

$$O = 7\,088\,545,83 + 3 \cdot 0,03 \cdot 7\,088\,545,83 + 2 \cdot 0,02 \cdot 7\,088\,545,83$$

$$O = 8\,010\,056,66 \text{ mm}^3$$

Průměr výchozího polotovaru  $D_p$  je o (4 – 8) mm větší než průměr protaženého výkovku  $D_1$ . Zvolené zvětšení činí 6 mm a průměr výchozího polotovaru je:

$$D_p = D_1 + 6 = 164,5 + 6 = 170,5 \text{ mm}$$



Obr. 58 Výchozí polotovar schéma

S přihlédnutím k rozměrové řadě přednostních rozměrů kruhových tyčí válcovaných za tepla uvedených v normě EN 10 060 (Ocelové tyče kruhové válcované za tepla - Rozměry, mezní úchytky rozměrů a tolerance tvarů) je průměr polotovaru upraven na hodnotu  $D_p = 170 \text{ mm}$ . Délka výchozího polotovaru  $L_p$  je vypočtena z jeho objemu  $O$  a průměru  $D_p$  vyjádřením z rovnice (4.17):

$$O = \frac{D_p^2 \cdot \pi}{4} \cdot L_p \text{ [mm}^3\text{]} \quad (4.17)$$

$$L_p = \frac{4 \cdot O}{D_p^2 \cdot \pi} = \frac{4 \cdot 8\,010\,056,66}{170^2 \cdot \pi} = 352,9 \text{ mm}$$

Délka výchozího polotovaru zaokrouhlena na 353 mm.

Při procesu předděrování by mohl při stlačování výchozího polotovaru nastat stav porušení vzpěrné stability. Tento stav nastává, pokud je poměr  $L_p/D_p$  větší než 2,5. V tomto případě je poměr:

$$\frac{L_p}{D_p} = \frac{353}{170} = 2,08$$

Což je menší než 2,5 a výchozí polotovar tedy vyhovuje. Polotovar s rozměry je znázorněn na obr.58.

## 4.2 Návrh nástrojů [37]

Navrženy budou rozměry funkčních částí děrovacího trnu a děrovací zápusťky. Rozměry funkčních částí nástrojů pro děrování (průměry i délky) musí být přepočteny s ohledem na smrštění výkovku při ochlazení z teploty kovací na teplotu pokojovou. Určeny budou také průměry jednotlivých sad kladek pro protahování výkovku. Předpokládané teploty tváření a nástrojů jsou následující:

- Předpokládaná teplota při děrování výkovku  $t_V = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$
- Pracovní teplota nástroje  $t_n = 300 \text{ }^\circ\text{C}$

Průměry děrovacího trnu a zápusťky budou vypočítány vztahem (4.18):

$$D'_x = d'_x \cdot \frac{1 + \alpha_1 \cdot t_V}{1 + \alpha_1 \cdot t_n} + k_1 + k_2 \text{ [mm]} \quad (4.18)$$

kde:  $D'_x$  – průměr děrovacího trnu [mm]  
 $d'_x$  – průměr dutiny chladného výkovku [mm]  
 $\alpha_1$  – součinitel tepelné roztažnosti oceli,  $\alpha_1 = 14 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$   
 $t_V$  – teplota výkovku [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $t_n$  – teplota nástroje [ $^\circ\text{C}$ ]  
 $k_1$  – koeficient smrštění a ovality, volí se 0,4 mm  
 $k_2$  – koeficient tolerance, volí se 0,012 mm

Délky děrovacího trnu a zápusťky budou vypočteny vztahem (4.19):

$$L'_x = l'_x \cdot \frac{1 + \alpha_1 \cdot t_V}{1 + \alpha_1 \cdot t_n} \text{ [mm]} \quad (4.19)$$

kde:  $L'_x$  – délka děrovacího trnu [mm]  
 $l'_x$  – délka dutiny chladného výkovku [mm]

### 4.2.1 Nástroj pro děrování [37]

Dosazením rozměrů z mezioperačního tvaru děrovaného výkovku zjištěného předchozím výpočtem budou určeny rozměry děrovacích nástrojů:

- **Děrovací zápusťka** – rozměry budou stanoveny z vnějšího tvaru děrovaného výkovku z obr. 56. Jedná se o určení délky komolého kužele  $L' = 464$  a jeho koncových průměrů  $D'_v = 214,1 \text{ mm}$  a  $D'_2 = 135,6 \text{ mm}$ , ve stavu ohřátí na kovací teplotu  $t_V = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dosazením do vztahu (4.19) se získá délka funkční dutiny děrovací zápusťky:

$$L'_z = 464 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} = 468,62 \text{ mm}$$

Délka dutiny zaokrouhlena na  $L'_z = 469 \text{ mm}$ .

Dosazením do vztahu (4.18) se získají průměry funkční dutiny děrovací zápusťky:

$$D'_{vz} = 214,1 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} + 0,4 + 0,012 = 216,64 \text{ mm}$$

Horní průměr dutiny zaokrouhlena na  $D'_{vz} = 216,6 \text{ mm}$ .

$$D'_{2z} = 135,6 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} + 0,4 + 0,012 = 137,36 \text{ mm}$$

Dolní průměr dutiny zaokrouhlena na  $D'_{2z} = 137,4 \text{ mm}$ .

Takto byly získány potřebné rozměry pro konstrukci dutiny děrovací zápustky, která je nakreslena na výkrese DP\_02\_191464.

- **Děrovací trn** – rozměry budou stanoveny z vnitřního tvaru děrovaného výkovku z obr. 56. Jedná se o určení délky  $L'_6 = 131,8 \text{ mm}$  a průměru  $D'_5 = 112 \text{ mm}$  a dvou komolých kuželů. Jednoho délky  $L'_7 = 105 \text{ mm}$  a průměrů  $D'_6 = 91,4 \text{ mm}$  a  $D'_5$ , druhého délky  $L'_8 = 165 \text{ mm}$  a průměrů  $D'_3 = 141 \text{ mm}$  a  $D'_5$ . Zvětšených o roztažnost kovu při ohřátí na kovací teplotu  $t_V = 1000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Dosazením do vztahu (4.19) se získají délky funkčních částí děrovacího trnu:

$$L'_{6t} = 131,8 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} = 133,11 \text{ mm}$$

Zaokrouhleno na  $L'_{6t} = 133 \text{ mm}$ .

$$L'_{7t} = 105 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} = 106,05 \text{ mm}$$

Zaokrouhleno na  $L'_{7t} = 106 \text{ mm}$ .

$$L'_{8t} = 165 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} = 166,64 \text{ mm}$$

Zaokrouhleno na  $L'_{8t} = 167 \text{ mm}$ .

Dosazením do vztahu (4.18) se získají průměry funkčních částí děrovacího trnu:

$$D'_{5t} = 112 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} + 0,4 + 0,012 = 113,53 \text{ mm}$$

Zaokrouhleno na  $D'_{5t} = 113,6 \text{ mm}$ .

$$D'_{3t} = 141 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} + 0,4 + 0,012 = 142,82 \text{ mm}$$

Zaokrouhleno na  $D'_{3t} = 143 \text{ mm}$ .



$$D'_{6t} = 91,4 \cdot \frac{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 1000}{1 + 14 \cdot 10^{-6} \cdot 300} + 0,4 + 0,012 = 92,72 \text{ mm}$$

Zaokrouhleno na  $D'_{6t} = 93 \text{ mm}$ .

Takto byly získány potřebné rozměry pro konstrukci děrovacího trnu, který je nakreslen na výkrese DP\_03\_191464.

Výkres DP\_04\_191464 obsahuje sestavu celého děrovacího nástroje. Samotná zápustka je ve vložce snadno vyměnitelná, stejně tak děrovací trn, a tak by stejná sestava (s jinou zápustkou a horním nástrojem) byla použita i k předděrování výkovku.

#### 4.2.1 Průměry protahovacích kladek [37]

Nejprve je nutné zvolit počet sad protahovacích kladek. Po konstrukční stránce je počet sad kladek omezen zdvihem lisu a jeho tvářecí silou. Při malém zdvihu se používají 2 a při dostatečně velkém zdvihu 3 sady kladek. V tomto případě při uvažovaném použití vícepozicového automatu TYH bude protahování děrovaného výkovku probíhat skrze 3 sady kladek v nástroji, který je schematicky znázorněn na obr. 59. Ke změně průřezu dochází postupně průchodem jednotlivými sadami kladek, přičemž v první sadě kladek je redukce největší a v každé další se zmenšuje.

K největší změně průřezu dochází v ústí výkovku, a proto bude tato změny průřezu použita pro procentuální rozdělení redukci v jednotlivých sadách. Z těchto rozdělení budou následně stanoveny průměry jednotlivých sad kladek.

Celková změna průřezu je získána z průměrů děrovaného výkovku (obr. x)  $D'_v = 214,1 \text{ mm}$ ,  $D'_3 = 141 \text{ mm}$  a protaženého výkovku  $D_1 = 164,5 \text{ mm}$ ,  $D_3 = 139,6 \text{ mm}$  dosazených do vztahu (4.20):

$$S = S_v - S_p \text{ [mm}^2\text{]} \quad (4.20)$$

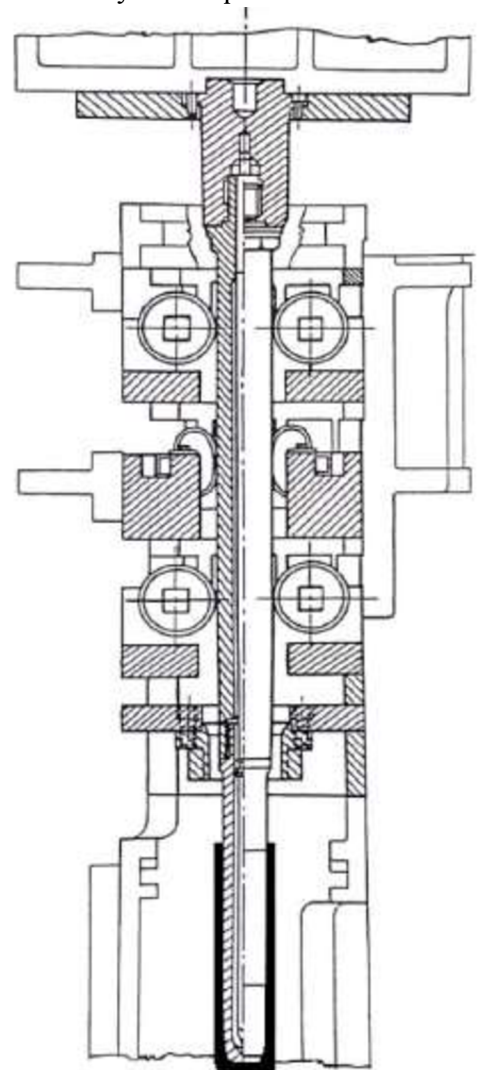
kde:  $S_v$  – průřez ústí děrovaného výkovku [ $\text{mm}^2$ ]  
 $S_p$  – průřez ústí protaženého výkovku [ $\text{mm}^2$ ]

A jejím rozvedením na tvar:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot [(D'_v)^2 - (D'_3)^2] - (D_1^2 - D_3^2)$$

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot [(214,1^2 - 141^2) - (164,5^2 - 139,6^2)]$$

$$S = 14\,440 \text{ mm}^2$$



Obr. 59 Schéma nástroje pro protahování [36]

Redukce průřezu v jednotlivých sadách kladek budou rozděleny následovně:

- V první sadě -  $S_{k1} = 55 \% S$ ,  $S_{k1} = 7942 \text{ mm}^2$
- V druhé sadě -  $S_{k2} = 33 \% S$ ,  $S_{k2} = 4765,2 \text{ mm}^2$
- Ve třetí sadě -  $S_{k3} = 12 \% S$ ,  $S_{k3} = 1732,8 \text{ mm}^2$

Z těchto úběrů jsou následně vyjádřením ze vztahu (4.21) určeny průměry jednotlivých sad kladek:

$$S_{ki} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{i-1}^2 - d_{ki}^2) [\text{mm}^2] \quad (4.21)$$

kde:  $S_{ki}$  – redukce průřezu  $i$ -té sady [ $\text{mm}^2$ ]

$D_{i-1}$  – redukovaný průměr [ $\text{mm}$ ]

$d_{ki}$  – průměr  $i$ -té sady kladek [ $\text{mm}$ ]

$$d_{k1} = \sqrt{D_v'^2 - \frac{\pi}{4} \cdot S_{k1}} = \sqrt{214,1^2 - \frac{4}{\pi} \cdot 7942} = 189,02 \text{ mm}$$

Zaokrouhloeno na  $d_{k1} = 189 \text{ mm}$ .

$$d_{k2} = \sqrt{D_v'^2 - \frac{\pi}{4} \cdot S_{k1}} = \sqrt{189^2 - \frac{4}{\pi} \cdot 4765,2} = 172,2 \text{ mm}$$

$$d_{k3} = \sqrt{D_v'^2 - \frac{\pi}{4} \cdot S_{k1}} = \sqrt{172^2 - \frac{4}{\pi} \cdot 1732,8} = 165,46 \text{ mm}$$

Zvolen průměr protaženého výkovku, tj.  $d_{k3} = 164,5 \text{ mm}$

### 4.3 Výpočet tvářecí síly pro děrování výkovku [37], [39], [40], [41]

Vzhledem k nestandardnímu principu tváření, tj. vlačování se k výpočtu tvářecí síly využívá empirického vztahu, rovnice dle Schneidera (4.22), kterou bude po dosazení určena tvářecí síla pro děrování výkovku  $F_d$ .

$$F_d = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot k_3 \cdot R_{mt} [\text{N}] \quad (4.22)$$

kde:  $d$  – největší průměr děrovacího trnu [ $\text{mm}$ ]

$k_3$  – součinitel závislý na poměru  $\frac{d}{a}$ , kde  $a$  je tloušťka stěny (volí se hodnota 2 až 5)

$R_{mt}$  – mez pevnosti při teplotě tváření [ $\text{MPa}$ ]

Jako průměr děrovaného trnu bude dosazen největší průměr děrovacího trnu, tj.  $D'_{3t} = 143 \text{ mm}$ . Mez pevnosti oceli C60 při kovací teplotě  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$  je určena z normy ČSN 22 8306 (Tvářecí nástroje. Zápustky pro svislé kovací lis. Technické požadavky na konstrukci) a její hodnota činí  $R_{mt} = 102 \text{ MPa}$ .

$$F_d = \frac{\pi}{4} \cdot 143^2 \cdot 4 \cdot 102 = 6552727,67 \text{ N} \cong 6552,73 \text{ kN}$$

I když je princip tváření kovu v zápustce nestandartní bude pro porovnání tvářecí síla pokusně vypočítána i výpočtem podle Tomlenova. Výpočet bude v některých ohledech modifikován, aby se co nejvíce přiblížil tomuto nestandartnímu principu tváření. Výkovek je při děrování kován bez výronku, proto bude zanedbán součinitel snížení plasticity  $C_0$  udávající vliv poklesu teploty ve výronku. Vstupní hodnoty výpočtu budou následující:

- Mez pevnosti za kovací teploty -  $R_{mt} = 102 \text{ MPa}$
- Součinitel tření -  $f = 0,3$

Výpočet bude proveden podle následujících vztahů:

- Přetvárný odpor  $\sigma_{d0}$  v bodě 0

$$\sigma_{d0} = (1 + 0,73 \cdot f) \cdot R_{mt} [\text{Mpa}] \quad (4.23)$$

kde:  $f$  – součinitel tření

$R_{mt}$  – mez pevnosti při teplotě tváření [MPa]

$$\sigma_{d0} = (1 + 0,73 \cdot 0,3) \cdot 102 = 124,34 \text{ Mpa}$$

- Přetvárný odpor v dalších bodech výkovku

$$\sigma_{dn} = \sigma_{dn-1} + R_{mt} \cdot \frac{\Delta r_n}{z_n} [\text{Mpa}] \quad (4.23)$$

kde:  $\sigma_{dn-1}$  – napětí v předchozím bodě [MPa]

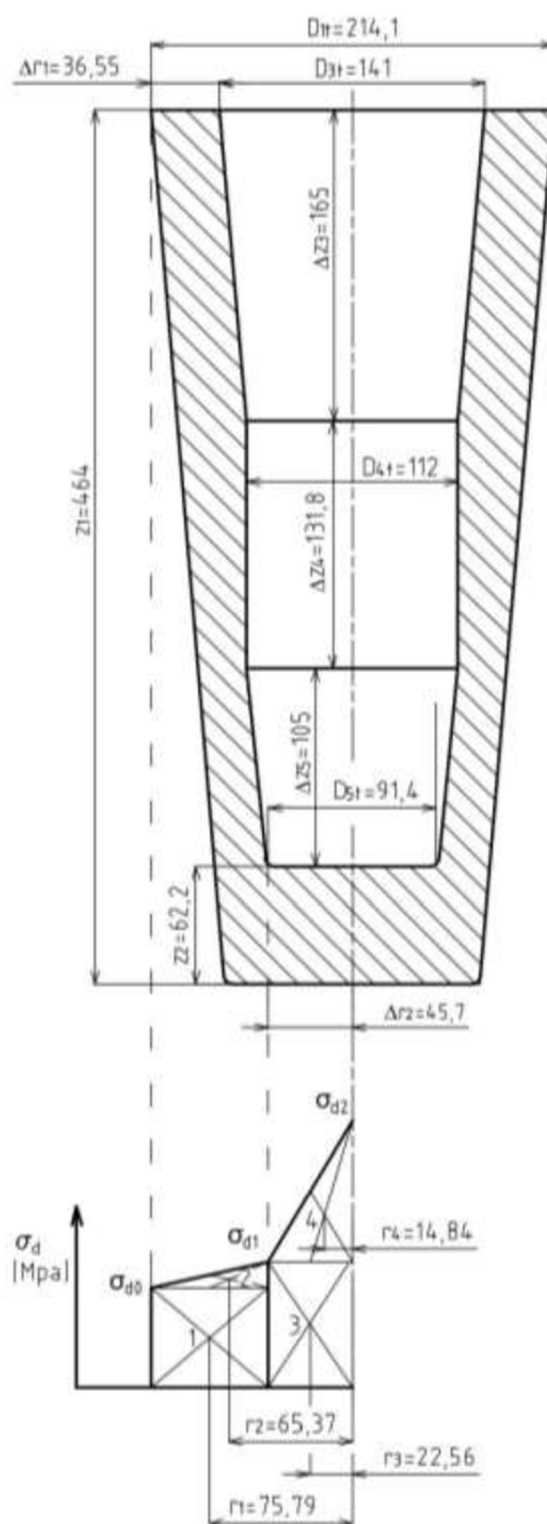
$\Delta r_n$  – šířka příslušné části výkovku [mm]

$z_n$  – výška příslušné části výkovku [mm]

$$\sigma_{d1} = \sigma_{d0} + R_{mt} \cdot \frac{\Delta r_1}{z_1} = 124,34 + 102 \cdot \frac{35,55}{464} = 132,15 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{d2} = \sigma_{d1} + R_{mt} \cdot \frac{\Delta r_2}{z_2} = 132,15 + 102 \cdot \frac{45,7}{62,2} = 207,09 \text{ Mpa}$$

Vypočtené hodnoty deformačních odporů jsou vyneseny v diagram pod geometrickým modelem výkovku na obr. 60.



Obr. 60 Rozložení deformačních odporů na výkovku

Celková tvářecí síla dle Tomlenova (4.26) se skládá z normálové (4.24) a tečné složky (4.25), přičemž tečná složka překonává smyková napětí na bočních stěnách výkovku v pohybující se zápustce.

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{j=1}^n S_j \cdot r_j [N] \quad (4.24)$$

kde:  $S_j$  – plocha pod křivkou deformačních odporů [ $\text{mm}^2$ ]  
 $r_j$  – vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku [mm]

$$F_T = \pi \cdot f \cdot R_{mt} \cdot \sum_{j=1}^n D_j \cdot \Delta z_j [N] \quad (4.25)$$

kde:  $D_j$  – průměr boční stěny [mm]  
 $\Delta z_j$  – výška boční stěny [mm]

$$F_C = F_N + F_T [N] \quad (4.26)$$

Výpočet ploch pod křivkou deformačních odporů budou shrnuty v Tab. 7 a počítány podle následujících vztahů:

$$\text{Plochy počítané jako obdélník: } S_j = \sigma_{dn} \cdot \Delta r_n [N \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (4.27)$$

$$\text{Plochy počítané jako trojúhelník: } S_j = \frac{1}{2} (\sigma_{dn+1} - \sigma_{dn}) \cdot \Delta r_n [N \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (4.28)$$

Tab. 7 Plochy pod křivkou deformačních odporů

Plocha	$S_j [N \cdot \text{mm}^{-1}]$
1	$S_1 = \sigma_{d0} \cdot \Delta r_1 = 124 \cdot 36,55 = 4532,2$
2	$S_2 = \frac{1}{2} (\sigma_{d1} - \sigma_{d0}) \cdot \Delta r_1 = \frac{1}{2} (132,15 - 124) \cdot 36,55 = 292,4$
3	$S_3 = \sigma_{d1} \cdot \Delta r_2 = 132,15 \cdot 45,7 = 6032,4$
4	$S_4 = \frac{1}{2} (\sigma_{d2} - \sigma_{d1}) \cdot \Delta r_1 = \frac{1}{2} (206 - 132,15) \cdot 45,7 = 3381,8$

$$F_N = 2 \cdot \pi \cdot (4532,2 \cdot 75,79 + 292,4 \cdot 65,37 + 6032,4 \cdot 22,26 + 3381,8 \cdot 14,84)$$

$$F_N = 3437384,67 \text{ N}$$

Jako plochy v kontaktu s nástrojem byly do výpočtu zahrnuty plochy výkovku, které jsou v kontaktu s děrovačím trnem, tj. plochy vnitřní dutiny výkovku. Výpočet tečné složky síly je po dosazení do vztahu (4.25) následující:

$$F_T = \pi \cdot f \cdot R_{mt} \cdot (D_{3t} \cdot \Delta z_3 + D_{4t} \cdot \Delta z_4 + D_{5t} \cdot \Delta z_5)$$

$$F_T = \pi \cdot 0,3 \cdot 102 \cdot (141 \cdot 165 + 112 \cdot 131,8 + 105 \cdot 91,4) = 4578186,93 \text{ N}$$

$$F_C = 3437384,67 + 4578186,93 = 8015571,6 \text{ N} \cong 8015,57 \text{ kN}$$

Tab. 8 Porovnání metod výpočtu

Metoda výpočtu	Tvářecí síla [kN]
dle Schneidera	6 552,73
dle Tomlenova	8 015,57

Z porovnání výsledků těchto dvou postupů výpočtu tvářecí síly (Tab. 8) je patrné, že pokusně vypočítaná síla dle Tomlenova je o 1462,84 kN větší, než tvářecí síla vypočítána empirickým vztahem dle Schneidera (4.22). Tento rozdíl by mohl být způsoben nevhodností metody dle Tomlenova, která tak vhodně nepopisuje tento specifický typ tváření. Specifický princip tečení kovu v zápustce napomáhá i snížení tvářecí síly, a to tato metoda nebere do úvahy. Naproti tomu vztah dle Schneidera (4.22) by měl být prakticky ověřen, neboť byl používán při reálné výrobě dělostřeleckých střel v 70. a 80. letech minulého století, proto se z něho bude vycházet při následujícím posouzení vhodnosti předpokládaného tvářecího stroje.

Výroba byla předpokládána na vícepozicovém automatu TYH 630, jenže dle Tab. x je jeho tvářecí síla v děrovací pozici 6 300 kN, to neodpovídá velikosti tvářecí síly zjištěné dle Schneidera. Vzhledem k tomuto zjištění je použití automatu TYH 630 k děrování výkovku nevhodné. Jako náhrada by mohl posloužit dvoupozicový hydraulický lis CKQ 1000/335, umožňující děrování a protahování výkovku, se silou v děrovací pozici 10 000 kN.

## 5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [38], [42], [43]

Náklady na nástroje, mzdy dělníků, provoz strojů a výrobní časy a režie nejsou známy, proto nebudou v zhodnocení zahrnuty. Technicko-ekonomické zhodnocení tedy bude zaměřeno na stanovení materiálových nákladů pro výrobu celé série 100 000 kusů. V tabulce Tab. 9 jsou shrnuty vstupní hodnoty pro výpočet materiálových nákladů. Jako přímé náklady bude uvažována cena tyčí a jako vratné náklady, cena zpětně prodaného odpadu, tj. konce tyčí a obrobené třísky.

Tab. 9 Vstupní hodnoty pro výpočet materiálových nákladů

Počet vyrobených kusů	$n = 100\,000\text{ ks}$
Hmotnost těla granátu	$m_c = 34,67\text{ kg}$
Cena za 1 kg oceli C60	$C = 38,90\text{ Kč}$
Cena výkupu ocelového odpadu (1 kg)	$C_{vt} = 5,00\text{ Kč}$
Cena výkupu ocelových třísek (1 kg)	$C_v = 3,00\text{ Kč}$
Rozměry výchozího polotovaru	$\emptyset 170 \times 353\text{ mm}$

- **Přímé náklady na materiál**

Určí se potřebný počet tyčí materiálu a jejich výsledná cena. Uvažovány budou tyče délky 6 m o průměru uvedeném v Tab. x na požadovaný rozměr budou děleny stříháním.

- Počet ústřížků z jedné tyče:

$$n_p = \frac{L_t}{L} = \frac{6000}{353} = 16,99\text{ ks} \quad (5.1)$$

kde:  $n_p$  – počet ústřížků z jedné tyče [ks]

$L_t$  – délka jedné tyče [mm]

$L$  – délka jednoho ústřížku [mm]

Počet využitelných ústřížků z jedné tyče bude 16 ks.

- Spotřeba tyčí na celou výrobní sérii:

$$n_t = \frac{n}{n_p} = \frac{100\,000}{16} = 6250\text{ ks} \quad (5.2)$$

kde:  $n_t$  – počet tyčí na celou výrobní sérii [ks]

$n$  – počet vyrobených kusů [ks]

Na celou výrobní sérii bude spotřebováno 6250 ks tyčí.

- Hmotnost jedné tyče:

$$m_t = L_t \cdot \frac{D_t^2 \cdot \pi}{4} \cdot \rho_o \cdot 10^{-9} \quad (5.3)$$

$$m_t = 6000 \cdot \frac{170^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 1069,08 \text{ kg}$$

kde:  $m_t$  – hmotnost tyče [kg]

$D_t$  – průměr tyče [mm]

$\rho_o$  – hustota oceli [kg/m<sup>3</sup>]

Hmotnost jedné tyče činí 1069,08 kg.

- Cena tyčí potřebných na celou výrobní sérii:

$$N_p = n_t \cdot m_t \cdot C = 6250 \cdot 1069,08 \cdot 38,90 = 259\,920\,075 \text{ Kč} \quad (5.4)$$

kde:  $N_p$  – cena tyčí na celou výrobní sérii [Kč]

$C$  – cena 1 kg oceli C60 [Kč]

Cena tyčí na celou výrobní sérii a tím i přímé náklady na materiál činí 259 920 075 Kč.

- **Vratné náklady**

Určeny z počtu a hmotnosti nevyužitých konců tyčí a hmotnosti třískového odpadu.

- Hmotnost nevyužitého konce tyče:

$$m_{to} = (L_t - n_p \cdot L) \cdot \frac{D_t^2 \cdot \pi}{4} \cdot \rho_o \cdot 10^{-9} \quad (5.5)$$

$$m_{to} = (6000 - 16 \cdot 353) \cdot \frac{170^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 62,72 \text{ kg}$$

kde:  $m_{to}$  – hmotnost nevyužitého konce tyče [kg]

- Cena odpadu ve formě nevyužitých konců tyčí:

$$N_{vt} = m_{to} \cdot n_t \cdot C_{vt} = 62,72 \cdot 6250 \cdot 5 = 1\,960\,000 \text{ Kč} \quad (5.6)$$

kde:  $N_{vt}$  – cena odpadu ve formě nevyužitých konců tyčí [Kč]

- Hmotnost výchozího polotovaru zmenšená o hmotnost opalu:

$$m_p = L \cdot \frac{D_t^2 \cdot \pi}{4} \cdot \rho_o \cdot 10^{-9} = 353 \cdot \frac{170^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 62,9 \text{ kg} \quad (5.7)$$

kde:  $m_p$  – hmotnost výchozího polotovaru [kg]

$$m_{po} = m_p - 3 \cdot 0,03 \cdot m_p - 2 \cdot 0,02 \cdot m_p \quad (5.8)$$

$$m_{po} = 62,9 - 3 \cdot 0,03 \cdot 62,9 - 2 \cdot 0,02 \cdot 62,9 = 54,72 \text{ kg}$$



kde:  $m_{po}$  – hmotnost výchozího polotovaru zmenšená o opal [kg]

- Hmotnost třísek:

$$m_o = (m_{po} - m_c) \cdot n = (54,72 - 34,67) \cdot 100\,000 = 2\,005\,000 \text{ kg} \quad (5.9)$$

kde:  $m_o$  – hmotnost třísek [kg]

- Cena odpadu ve formě třísek:

$$N_o = m_o \cdot C_v = 2\,005\,000 \cdot 3 = 6\,015\,000 \text{ Kč} \quad (5.10)$$

kde:  $N_o$  – cena odpadu ve formě třísek [Kč]

- Celkové vratné náklady:

$$N_v = N_{vt} + N_o = 1\,960\,000 + 6\,015\,000 = 7\,975\,000 \text{ Kč} \quad (5.11)$$

kde:  $N_v$  – Celkové vratné náklady [Kč]

Celkové vratné náklady činí 7 975 000 Kč.

- **Celkové materiálové náklady**

Jsou shrnuty v Tab. 10 a získáme je odečtením vratných nákladů od přímých nákladů na materiál.

Tab. 10 Materiálové náklady

Typ nákladů	Cena [Kč]
Přímé náklady na materiál	259 920 075
Vratné náklady	-7 975 000
Celkové materiálové náklady	251 945 075

Celkové materiálové náklady na výrobu série 100 000 ks těl granátů činí 251 945 075 Kč.

## 6 ZÁVĚRY

U navržené součásti, těla dělostřelecké střely ráže 155 mm z oceli C60 vyráběné v sérii po 100 000 kusech, bylo po zhodnocení parametrů a na základě její technologičnosti rozhodlo o použití metody zápustkového kování.

Literární studie zápustkového kování pojednává o principu metody, popisuje vhodné teploty a různé režimy ohřevu na kovací teplotu, jednotlivé způsoby ohřevu materiálu na kovací teplotu a jejich vhodnost. Zaobírá se také správnou konstrukcí výkovku a popisuje různé stroje na nichž lze technologii zápustkového kování realizovat.

Dále byl popsán technologický postup výroby vhodný pro řešenou ráži střely sestávající z popisu operací a jejich parametrů na základě kterých byl zvolen předpokládaný výrobní stroj. Z důvodu specifického tvaru zápustkového výkovku, tj. duté nádoby s přivřeným ústím biogiválního tvaru, je tento technologický postup nestandartní. Sestávající ze zhotovení hluboké duté nádoby s proměnnou tloušťkou stěny a částečné uzavření ústí takto získaného předkovku. Výrobě součástí těchto tvarů jsou uzpůsobeny i uvažované výrobní stroje. Pro získání objemu výchozího polotovaru byl proveden výpočet mezioperačních tvarů výkovku. Správnost určení tvaru výkovku před uzavíráním ogivální byla ověřena sérií simulací v softwaru Simufact, které vedli k několika úpravám tohoto tvaru.

Proveden byl i návrh nástrojů. Konkrétně děrovací zápustky a trnu pro, které byla zpracována technická dokumentace v podobě výkresů DP\_02\_191464 a DP\_03\_191464, zpracován byl rovněž výkres sestavy nástroje pro operaci děrování DP\_04\_191464. U protahovacích kladek byly výpočtem určeny redukční průměry jednotlivých sad.

Pro ověření vhodnosti předpokládaného stroje byl proveden výpočet velikosti síly potřebné k děrování výkovku. Síla byla nejprve vypočtena empirickým vztahem dle Schneidera a následně byl proveden pokusný výpočet síly metodou dle Tomlenova. Porovnání zjištěných velikostí sil ukázalo nevhodnost metody dle Tomlenova pro tento specifický případ tváření. Pro posouzení vhodnosti stroje byla proto uvažována síla zjištěná vztahem dle Schneidera. Předpokládaný stroj TYH 630 se ukázal jako nedostačující a jako náhrada byl vybrán hydraulický lis CKQ 1000/335.

Technicko-ekonomické zhodnocení určuje celkové materiálové náklady na sérii 100 000 kusů součásti. Celkové materiálové náklady byly vyčísleny na 251 945 075 Kč.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [44], [45]

1. TOLSTOJ, Lev Nikolajevič. *Vojna a mír*. V tomto překladu vydání druhé. Přeložil Libor DVORŽÁK, přeložil Veronika SYSALOVÁ. Praha: Odeon, 2018. Knihovna klasiků (Odeon). s. 168. ISBN 978-80-207-1851-8.
2. M777 howitzer. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/M777\\_howitzer](https://en.wikipedia.org/wiki/M777_howitzer)
3. *Emirates Ballistics* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <http://www.emiratesballistics.com/>
4. SWR JIHLAVA spol. s.r.o. [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.swrjihlava.cz/index.php?page=vyroba>
5. *Společnost historického šermu Flamberg* [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <https://www.flamberg.cz/delostrelectvo-v-obdobi-tricetilete-valky/34-strucny-vyvoj-delostrelby-v-evrope-do-16-stoleti>
6. UNIVERZITA OBRANY V BRNĚ [online]. [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <https://www.unob.cz/fvl/struktura/k107/Stranky/historieARTY.aspx>
7. Category:Cannonballs. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Cannonballs>
8. IMPERIAL WAR MUSEUMS [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.iwm.org.uk/collections/item/object/205352971>
9. BEER, Stanislav, Jan KOMENDA, Luděk JEDLIČKA a Univerzita obrany. *Munice*. Brno: Univerzita obrany, 2004 [i.e. 2005]. [cit. 2021-3-15]. ISBN 80-85960-84-2. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:6765f190-910f-11e6-9325-005056827e52>
10. *Arcon Partners Ltd.* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://arconpartners.net/products/ammunition/large-caliber/125-mm-round-3vbk-10m-with-high-explosive-anti-tank-fin-stabilized-projectile-3bk-14m-heat-fs-for-125-mm-tank-gun-2a46-d81/>
11. *EMGEPRON* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.marinha.mil.br/emgepron/en-us/areas/ammunition>
12. KOLEKTIV AUTORŮ. *Speciální technika: II. díl*. Federální ministerstvo všeobecného strojírenství, 1976.
13. JANKOVÝCH, Róbert. *Hlavnové zbraně a střelivo*. Brno, 2012, 115 s. ISBN 978-80-260-2384-5.
14. *SLÉVÁRENSKÁ TECHNOLOGIE* [online]. UST, FME, VUT Brno [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/sites/default/files/clanky/slevarenska-technologie/slevtech.pdf>

15. NOVÁ, Iva a Jiří MACHUTA. *Prezentace-TEORIE SLÉVÁNÍ: přednáška č.10* [online]. TUL-FS, Katedra strojírenské technologie [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: [http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/strojtech/05\\_Iva%20Nova\\_Zasady\\_metalurgicke\\_pripravy\\_oceli\\_na\\_odlitky.pdf](http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/strojtech/05_Iva%20Nova_Zasady_metalurgicke_pripravy_oceli_na_odlitky.pdf)
16. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008, 113 s. ISBN 978-80-7231-580-2.
17. *Metalweb* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://belgorod.metalweb.ru/obrabotka749/sell/message155783.html>
18. *Direct Industry* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.directindustry.com/prod/sino-industry-co-limited/product-205509-2127977.html>
19. DOUBRAVSKÝ, Miroslav, Zdeněk MACHÁČEK, Igor MACÁŠEK a Jan ŽÁK. *Technologie I*. SNTL, 1982.
20. DVOŘÁK, Milan. *TECHNOLOGIE II*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
21. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ: PLOŠNÉ A OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ*. Brno: CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
22. *Hutnické listy: odborný časopis pro metalurgii a materiálové inženýrství* [online]. LXW. 2012 [cit. 2021-5-12]. ISSN 0018-8069. Dostupné z: <https://www.hutnickelisty.cz/wp-content/uploads/2019/11/HL1-2012.pdf>
23. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ: Studijní opory pro kombinované studium* [online]. Brno, 2006 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/kapitola\\_2.htm](https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/kapitola_2.htm)
24. SPURNÝ, P. *Technologie plošného tváření v hromadné výrobě* [online]. Brno, 2008 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=5326](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5326). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ladislav Žák.
25. *Technologie II: tváření kovů, sekce 01. Technická univerzita Liberec: Katedra strojírenské technologie* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/01.htm#019](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm#019)
26. *E-konstrukter: Portál pro strojní konstruktéry* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-litinou-a-kovanou-oceli>
27. *Strojírny a stavby Třinec, a.s.* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.sas-trinec.cz/index.php/ostrik-okuji/>
28. *TE-FORGING* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <http://www.te-forging.com/en/prodotto/forging-furnaces/forno-a-camera-per-forgia/>
29. *Germanflux-NOHA* [online]. [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.germanflux-noha.de/de/>
30. ČSN 42 9030. *VÝKOVKY OCELOVÉ ZÁPUSTKOVÉ: Příkladky na obrábění, mezní úchylky rozměrů a tvarů*. Praha: Český normalizační institut, 1986.

31. ČSN 42 0271. *VÝKOVKY OCELOVÉ ZÁPUSTKOVÉ: Všeobecné technické požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 1993.
32. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. Vydání sedmé, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 978-80-7623-009-5.
33. ŠMERAL [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/home/tvareci-stroje>
34. ELUC: *ELEKTRONICKÁ UČEBNICE* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1853>
35. KATALOG. *ŽĎAS: nabídka zařízení pro speciální účely*.
36. LIDMILA, Zdeněk, Jan LUKEŠ a Emil SVOBODA. *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE II: Technologie ve výrobě zbraní a munice*. Brno: RVO VA, 1999, 164 s.
37. KHALAF, Kasim Abdulhassan. *TECHNOLOGY OF FORGING OF THE 155 mm ARTILLERY SHELL*. Brno, 1983. Disertační práce. Vojenská Akademie Antonína Zápotockého.
38. ČSN EN 10060. *Ocelové tyče kruhové válcované za tepla: Rozměry, mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
39. *Výroba munice I. díl: mechanická výroba*. Brno: VAAZ, 1964.
40. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
41. ČSN 22 8306. *Tvářecí nástroje. Zápustky pro svislé kovací lisy. Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1991.
42. *Ferona a.s.* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.ferona.cz/>
43. *Barko s.r.o.* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: <https://www.druhotnesuroviny.cz/cenik-kovu/cenik-zeleza-zelezného-srotu.htm>
44. KRČÁL, Martin a Zuzana TEPLÍKOVÁ. *Naučte (se) citovat*. Blansko: Citace.com, 2014. ISBN 978-80-260-6074-1.
45. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$a$	Součinitel teplotní vodivosti	$[m^2h^{-1}]$
$a_i$	Výška elementu ogivální části	$[mm]$
$a_{ustí}$	Výška elementu ústí	$[mm]$
$b_i$	Šířka elementu ogivální části	$[mm]$
$b_{ustí}$	Šířka elementu ústí	$[mm]$
$C$	Cena za 1 kg oceli C60	$[Kč]$
$C_0$	Součinitel snížení plasticity	$[-]$
$C_v$	Cena výkupu 1 kg ocelových třísek	$[Kč]$
$C_{vt}$	Cena výkupu 1 kg ocelového odpadu	$[Kč]$
$d$	Největší průměr děr trnu	$[mm]$
$d_i$	Vnitřní průměr válce	$[mm]$
$d_{ki}$	Průměr $i$ -té sady kladek ( $d_{k1}, d_{k2}, d_{k3}$ )	$[mm]$
$d_{ustí}$	Průměr ústí	$[mm]$
$d_x$	Průměr dutiny chladného výkovku	$[mm]$
$D_{i-1}$	Redukovaný průměr	$[mm]$
$D_j$	Průměr boční stěny	$[mm]$
$D_0$	Vnější průměr	$[mm]$
$D_p$	Průměr výchozího polotovaru	$[mm]$
$D_t$	Průměr tyče	$[mm]$
$D_v$	Vnější průměr děrovaného výkovku	$[mm]$
$D'_{vz}$	Horní průměr dutiny	$[mm]$
$D'_{2z}$	Dolní průměr dutiny	$[mm]$
$D_x$	Průměr děrovacího trnu	$[mm]$
$D_1, D_3, D_5$	Průměry válcových částí	$[mm]$
$D_2, D_4, D_6$	Průměry kuželových částí	$[mm]$
$D'_2, D'_3, D'_5,$	Průměry dílčích částí	$[mm]$
$D''_6$		
$D''_1$	Horní průměr předděrovaného výkovku	$[mm]$
$D''_2$	Dolní průměr předděrovaného výkovku	$[mm]$
$D''_9, D''_{10}$	Průměry vmáčknutého důlku	$[mm]$
$D_{3t}, D_{5t}$	Průměry funkčních částí děrovacího trnu	$[mm]$
$E$	Modul pružnosti v tahu	$[MPa]$
$F$	Součinitel tření	$[-]$
$F_d$	Tvářecí síla pro děrování výkovku	$[N]$
$F_c$	Celková tvářecí síla	$[N]$
$F_N$	Celková tvářecí síla, normálová složka	$[N]$
$F_T$	Celková tvářecí síla, tečná složka	$[N]$
$k$	Tvarový součinitel	$[-]$
$k_1$	Koeficient smrštění a ovality	$[-]$
$k_2$	Koeficient tolerance	$[-]$
$k_3$	Součinitel závislý na poměru $\frac{d}{a}$	$[-]$
$l_x$	Délka dutiny chladného výkovku	$[mm]$
$L$	Délka jednoho ústrižku	$[mm]$

$L_1, L_3, L_6$	Výšky válcových částí	[mm]
$L_2, L_4, L_5, L_7$	Výšky kuželových částí	[mm]
$L'$	Celková délka děrovaného výkovku	[mm]
$L_7, L_6', L_8,$	Délky vnitřních dílčích částí děrovaného výkovku	[mm]
$L''$	Délka předděrovaného výkovku	[mm]
$L_9$	Délka dílčí částí předděrovaného výkovku	[mm]
$L_p$	Délka výchozího polotovaru	[mm]
$L_t$	Délka jedné tyče	[mm]
$L_x$	Délka děrovacího trnu	[mm]
$L_z$	Délka funkční dutiny děrovací zápusťky	[mm]
$L_{6t}, L_{7t}, L_{8t}$	Délky funkčních částí děrovacího trnu	[mm]
$m_c$	Hmotnost těla granátu	[kg]
$m_o$	Hmotnost třísek	[kg]
$m_{p0}$	Hmotnost výchozího polotovaru zmenšená o opal	[kg]
$m_t$	Hmotnost tyče	[kg]
$m_{t0}$	Hmotnost nevyužitého konce tyče	[kg]
$n$	Velikost výrobní série	[ks]
$n_p$	Počet ústřížků z jedné tyče	[ks]
$n_t$	Počet tyčí na celou výrobní sérii	[ks]
$N_o$	Cena odpadu ve formě třísek	[Kč]
$N_p$	Cena tyčí na celou výrobní sérii	[Kč]
$N_v$	Celkové vratné náklady	[Kč]
$N_{vt}$	Cena odpadu ve formě nevyužitých konců tyčí	[Kč]
$O$	Objem výchozího polotovaru	[mm <sup>3</sup> ]
$O_1, O_3, O_6$	Dílčí objemy válcových částí protaženého výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$O_2, O_4, O_7$	Dílčí objemy kuželových částí protaženého výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$O$	Objem děrovaného prvku	[mm <sup>3</sup> ]
$O_6', O_7', O_8'$	Objemy dílčích částí děrovaného prvku	[mm <sup>3</sup> ]
$O''$	Objem předděrovaného výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$O_9$	Dílčí objem předděrovaného výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$O_c$	Celkový objem protaženého výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$O_i$	Objem elementu ogivální části	[mm <sup>3</sup> ]
$O_o$	Objem válce o průměru D0	[mm <sup>3</sup> ]
$O_{o,ustí}$	Objem válce o průměru D0 pro ústí	[mm <sup>3</sup> ]
$O_{ustí}$	Objem elementárního tělesa ústí	[mm <sup>3</sup> ]
$r_j$	Vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku	[mm]
$\Delta r_n$	Šířka příslušné části výkovku	[mm]
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]
$R_i$	Vzdálenost těžiště od osy	[mm]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$R_{mt}$	Mez pevnosti při teplotě tváření	[MPa]
$R_{ustí}$	Vzdálenost těžiště od osy pro ústí	[mm]
$s$	Tloušťka ohřívaného tělesa	[mm]
$S$	Celková změna průřezu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_i$	Obsah řezu, elementární plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_j$	Plocha pod křivkou deformačních odporů	[N/mm]
$S_{ki}$	Redukce průřezu i-té sady	[mm <sup>2</sup> ]

$S_p$	Průřez ústí protaženého výkovku	$[mm^2]$
$S_{ústí}$	Průřez ústí	$[mm^2]$
$S_v$	Průřez ústí děrovaného výkovku	$[mm^2]$
$t$	Tloušťka dna	$[mm]$
$t_v$	Předpokládána teplota výkovku	$[°C]$
$t_n$	Pracovní teplota nástroje	$[°C]$
$\Delta T$	Přípustný teplotní rozdíl v ohřivaném tělese	$[K]$
$v_0$	Přípustná rychlost ohřevu	$[K/h]$
$\Delta z_j$	Výška boční stěny	$[mm]$
$z_n$	Výška příslušné části výkovku	$[mm]$
$\alpha_1$	Teplotní délková roztažnost	$[K^{-1}]$
$\alpha$	Úhel stěny protaženého výkovku	$[°]$
$\alpha'$	Úhel stěny děrovaného výkovku	$[°]$
$\beta$	Úhel stěny protaženého výkovku	$[°]$
$\beta'$	Úhel stěny děrovaného výkovku	$[°]$
$\rho_o$	Hustota oceli	$[kg/m^3]$
$\sigma_{d0}$	Přetvárný odpor v bodě 0	$[MPa]$
$\sigma_{dn}$	Přetvárný odpor v dalších bodech výkovku	$[MPa]$
$\sigma_{dn-1}$	Napětí v předchozím bodě	$[MPa]$
$\sigma_m$	Dovolené napětí	$[MPa]$



## SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 4 Houfnice M777A2 v okamžiku výstřelu [2]
- Obr. 5 Kované části střel [3]
- Obr. 6 Příklady běžných zápustkových výkovků [4]
- Obr. 4 Dělové koule [7]
- Obr. 5 Obrábění válcových střel za 1 sv. války [8]
- Obr. 6 Šípová střela [10]
- Obr. 7 Různé typy dělostřeleckých střel [11]
- Obr. 8 Řez nárazovým granátem
- Obr. 9 3D model řešené součásti
- Obr. 10 Odlévání [17]
- Obr. 11 Zápustkové kování [18]
- Obr. 12 Schéma zápustkového kování [22]
- Obr. 13 Pásmo kovacíh teplot [16]
- Obr. 14 Režim řízeného ohřevu [16]
- Obr. 15 Režim konstantního ohřevu [16]
- Obr. 16 Okuje [26]
- Obr. 17 Odstraňování okují vodním paprskem [27]
- Obr. 18 Komerová pec [28]
- Obr. 19 Schéma ohřevu přímým průchodem el. proudu [16]
- Obr. 20 Indukční ohřev [29]
- Obr. 21 Zásady volby dělicí roviny [16]
- Obr. 22 Přidávky výkovku [20], [32]
- Obr. 23 Pneumaticko-hydraulický buchar KHZ 16A [33]
- Obr. 24 Výronkové drážky zápustek pro buchar [23]
- Obr. 25 Svislý kovací lis LZK 1600 P/SH [33]
- Obr. 26 Výronkové drážky zápustek pro lisy [23]
- Obr. 27 Vřetenový lis [34]
- Obr. 28 Hydraulický lis []
- Obr. 29 Výchozí polotovar
- Obr. 30 Předděrovaný výkovek
- Obr. 31 Předkovek „zakotvený“ horní části děrovací zápustky [22]
- Obr. 32 Tečení materiálu v děrovací zápustce [22]
- Obr. 33 Děrovaný výkovek
- Obr. 34 Protážený výkovek
- Obr. 36 Přivřené ústí
- Obr. 37 Uzavřené ústí
- Obr. 35 Schéma nástroje pro uzavírání ústí [36]
- Obr. 36 Dvoupozicový hydraulický lis řady CKQ [35]
- Obr. 37 Řezy ogivální části
- Obr. 38 Řez ústím
- Obr. 39 Rozvinutí ogivální části
- Obr. 40 Vstupní polotovar simulace
- Obr. 41 Okamžik zadření
- Obr. 42 Vyboulení výkovku
- Obr. 43 První tvar přivření
- Obr. 44 Detail vyboulení výkovku
- Obr. 45 Upravený tvar přivření

- Obr. 46 Nedotečení materiálu
- Obr. 47 Polotovár s přídavkem 15 mm
- Obr. 48 Finální tvar přivření
- Obr. 49 Pěchování stěny při přídavku 20 mm
- Obr. 50 Výsledek uzavření s přídavkem 15 mm
- Obr. 51 Výsledek uzavření s přídavkem 20 mm
- Obr. 52 Finální tvar vstupu pro simulaci
- Obr. 53 Finální výsledek simulace
- Obr. 54 Detail ústí výsledku simulace
- Obr. 55 Protážený výkovek schéma
- Obr. 56 Děrovaný výkovek schéma
- Obr. 57 Předděrovaný výkovek schéma
- Obr. 58 Výchozí polotovár schéma
- Obr. 59 Schéma nástroje pro protahování [36]
- Obr. 60 Rozložení deformačních odporů na výkovku

## **SEZNAM TABULEK**

Tab. 3 Chemické složení oceli C60

Tab. 4 Mechanické vlastnosti oceli C60

Tab. 3 Přídavky na obrábění ploch pro obvyklé provedení (rozměry v mm) [30]

Tab. 4. Úkosy [30]

Tab. 5 Technické parametry lisu TYH 630 [35]

Tab. 6 Výpočet vnitřních průměrů di rozvinutého vnitřního ogiválu

Tab. 7 Plochy pod křivkou deformačních odporů

Tab. 8 Porovnání metod výpočtu

Tab. 9 Vstupní hodnoty pro výpočet materiálových nákladů

Tab. 10 Materiálové náklady

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Materiálový list oceli C60
- Příloha 2 Schéma děrovacího nástroje [36]
- Příloha 3 Kladkové průvlaky [12]
- Příloha 4 Schéma přídavek na výkovku
- Příloha 5 Schéma ohrubovaného výkovku po protažení
- Příloha 6 Schéma výkovku po protažení s přídávky na hrubování

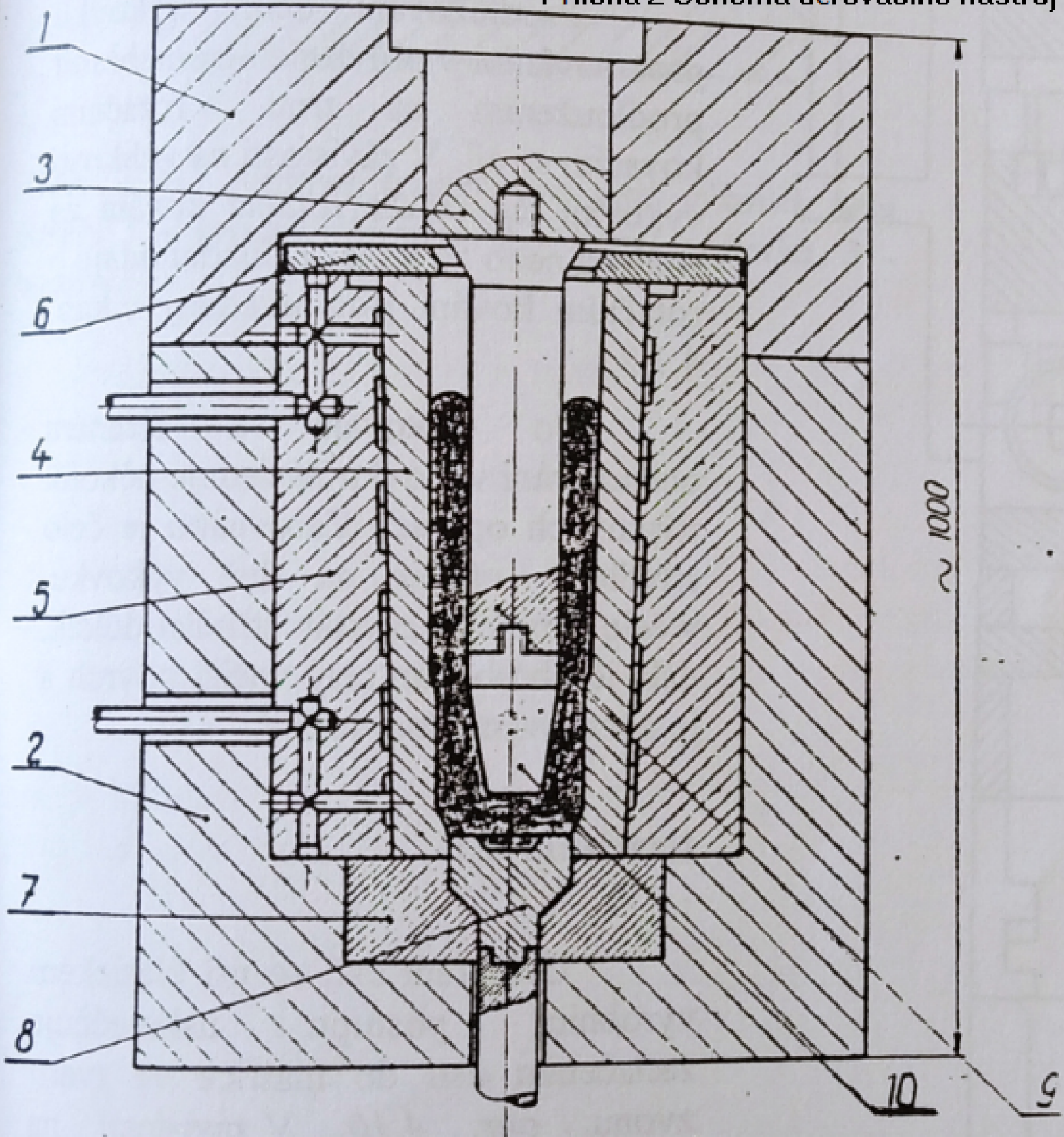
## **SEZNAM VÝKRESŮ**

- DP\_01\_191464 Tělo granátu 155 mm
- DP\_02\_191464 Děrovací zápustka
- DP\_03\_191464 Děrovací trn
- DP\_04\_191464 Děrovací nástroj

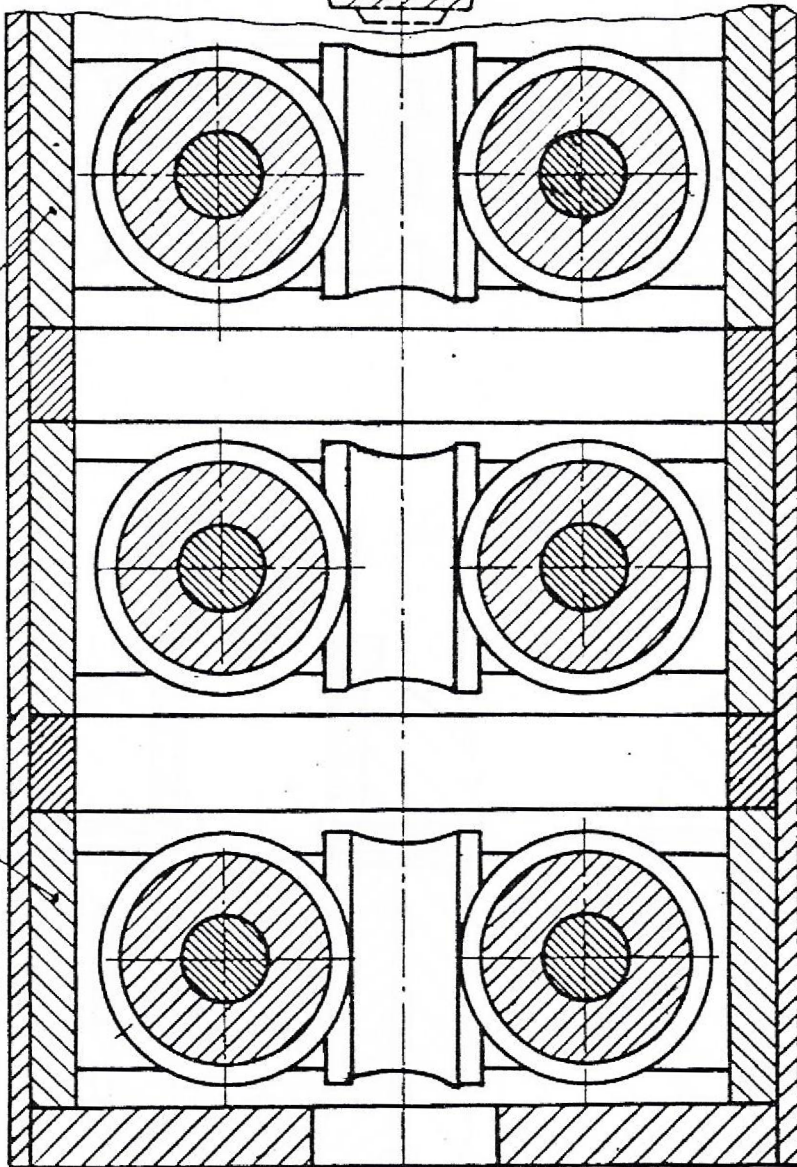
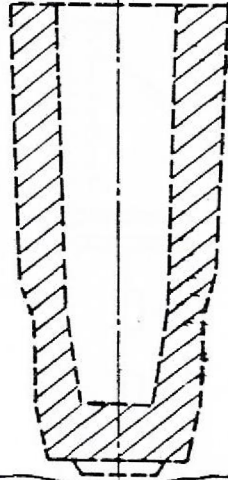
<b>WNr.</b> (číslo materiálu) <b>1.0601</b>		Uhlíková ocel k zušlechťování				<b>OCEL</b> Kurzname (značka) <b>C60</b>			
<b>Chemické složení [hm. %]</b>									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cr+Mo+Ni	
0,57-0,65	max 0,40	0,60-0,90	max 0,045	max 0,045	max 0,40	max 0,10	max 0,40	max 0,63	
<b>Normy DIN</b>									
[1] DIN EN 10083/2-91 – nelegované oceli k zušlechťování (označení Stahl EN 10083–C60)									
[2] DIN 17204 – bezešvé trubky z ocelí k zušlechťování									
[3] DIN 17222 – ocelové pásy na pružiny válcované za studena									
<b>Mechanické vlastnosti</b>									
Rozměr t, d [mm]	≤ 16	17-40	41-100	–					
Stav	zušlechťený						žháný na měkko		
Mez kluzu R <sub>0,2</sub> [MPa] min	580	520	450	–					
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa]	850–1 000	800–950	750–900	–					
Tažnost A <sub>5</sub> [%] min	11	13	14	–					
Kontrakce Z [%] min	25	30	35	–					
Nárazová práce KV [J] min	–						–		
Tvrdost HB max	–						241		
Rozměr t, d [mm]	≤ 16	17-100	101-250						
Stav	normalizačně žháný								
Mez kluzu R <sub>0,2</sub> [MPa] min	380	340	310						
Mez pevnosti R <sub>m</sub> [MPa] min	710	670	650						
Tažnost A <sub>5</sub> [%] min	10	11	11						
Kontrakce Z [%] min	–								
Nárazová práce KV [J] min	–								
Tvrdost HB max	–								
<b>Fyzikální vlastnosti</b>									
Hustota ρ [kg . m <sup>-3</sup> ]	7 850								
<b>Technologické údaje</b>									
<b>TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ</b>									
normalizační žhání	820–860 °C	ochlazovat na vzduchu							
žhání na měkko	650–700 °C	ochlazovat v peci							
kalení	800–840 °C	ochlazovat ve vodě nebo v oleji							
popouštění	550–660 °C								
minimální tvrdost pásku t ≤ 2 mm kaleného do oleje – 670 HV									
<b>TVÁŘITELNOST</b>									
teploty tváření 1 050–850 °C									

<b>Použití</b>					
Strojní části vysoce namáhané ve strojírenství a dopravní technice, např. hřídele, osy, šrouby.					
<b>Ostatní vlastnosti</b>					
Desoxidace: uklidněná					
<b>Porovnání se zahraničními materiály</b>					
<i>ISO</i>		<i>EURO</i>		<i>Česká republika</i>	
–	–	C60 1CS 60	EN 10083/2-91 EN 132-79	12 061	ČSN 41 2061
<i>Francie</i>		<i>Velká Británie</i>		<i>Rusko</i>	
C60 C60	NF EN 10083/2-91 NF A37-502-84	C60 060A62 60HS, CS	BS EN 10083/2-91 BS 970/1-91 BS 1449-91	60 60G	GOST 1050-88 GOST 14959-79
<i>USA</i>		<i>Japonsko</i>		<i>Kanada</i>	
1060 1060 1060 1060 1060	SAE J403 ASTM A29 ASTM A510 ASTM A513 ASTM A576	S58C S60C-CSP	JIS G4051-79 JIS G4802-83	–	–
<i>Itálie</i>		<i>Rakousko</i>		<i>Švédsko</i>	
C60 C60 C60	UNI EN 10083/2-91 UNI 7065-72 UNI 7064-82	–	–	–	–
<i>Polsko</i>		<i>Maďarsko</i>		<i>Norsko</i>	
60	PN H-84019-93	–	–	C60	EN 10083/2-91
<i>Finsko</i>		<i>Švýcarsko</i>		<i>Španělsko</i>	
–	–	C60	10645	–	–
<i>Austrálie</i>		<i>Belgie</i>		<i>Bulharsko</i>	
K 1060 1060	AS 1442-83 AS 1442-92	C60-1	NBN 253-02-72	60	BDS 5785-83
<i>Rumunsko</i>		<i>Jugoslávie</i>		<i>Slovenská republika</i>	
OLC 60	STAS 880-88	Č. 1730	JUS C.B9.021-89	12 061	STN 41 2061

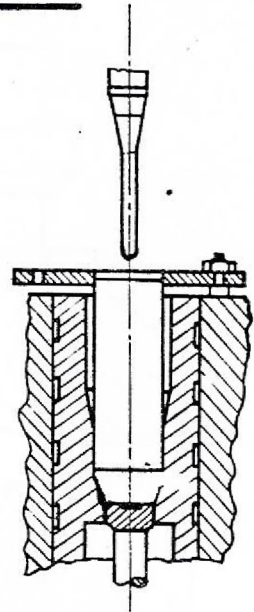
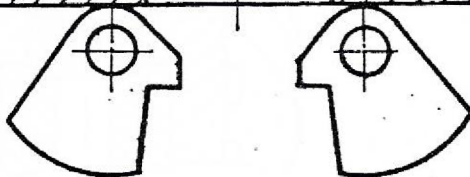
Příloha 2 Schéma děrovacího nástroj



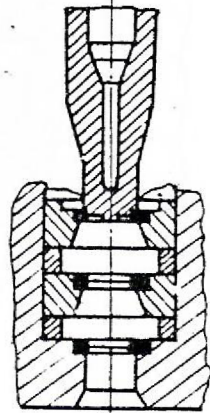
I.8 PROTAHOVÁNÍ KLADKAMI  
DĚROVANÝ VÝLISEK



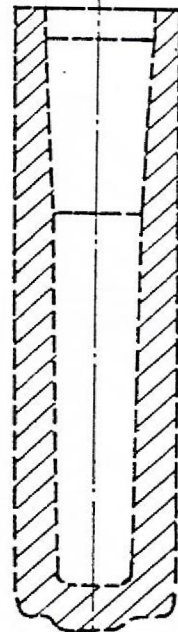
1 VÍČÍ I. A III. SOUPRAVĚ POTOČENO O 45°



I.7 PROTAHOVÁNÍ



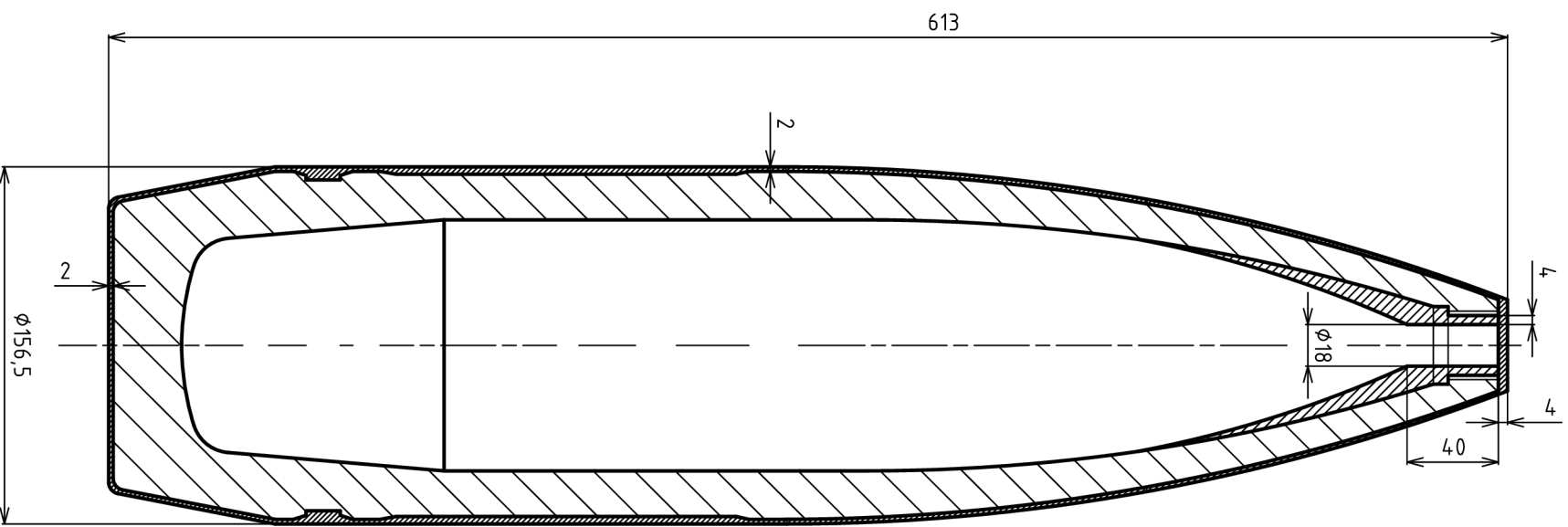
PROTAŽENÝ VÝLISEK





VYTVORENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

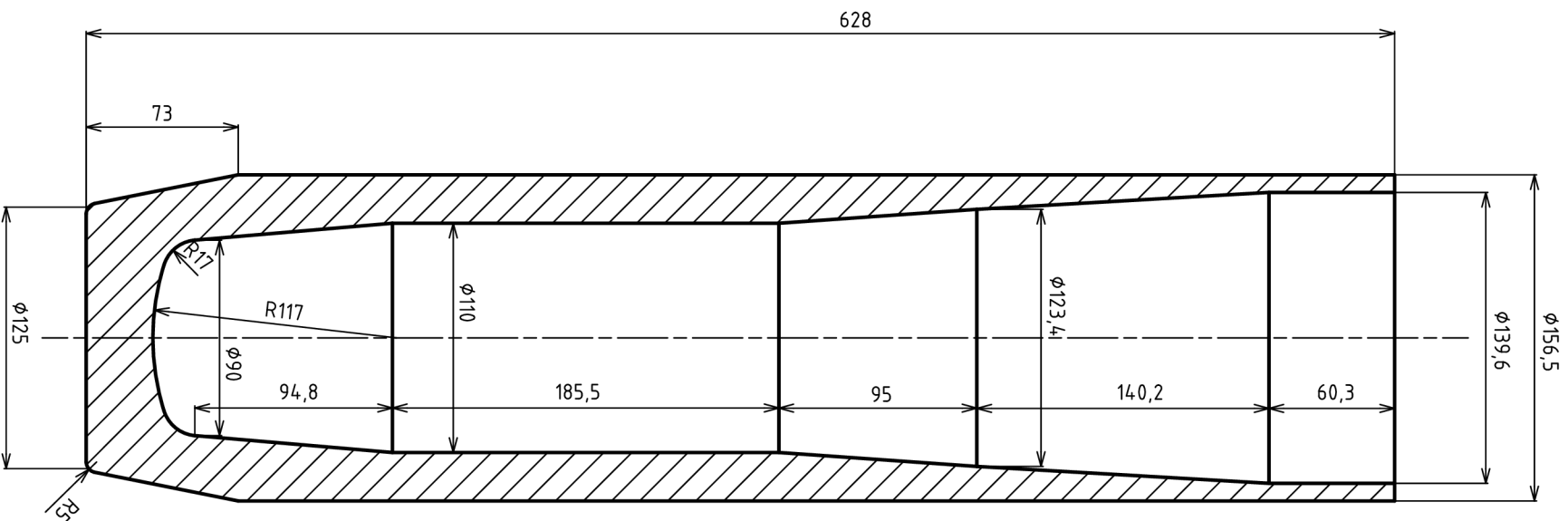
příloha 4 Schéma přidavků na výkovku



VYTVORENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVORENO VE STUDENTSKE VERZI PRODUKTU AUTODESK

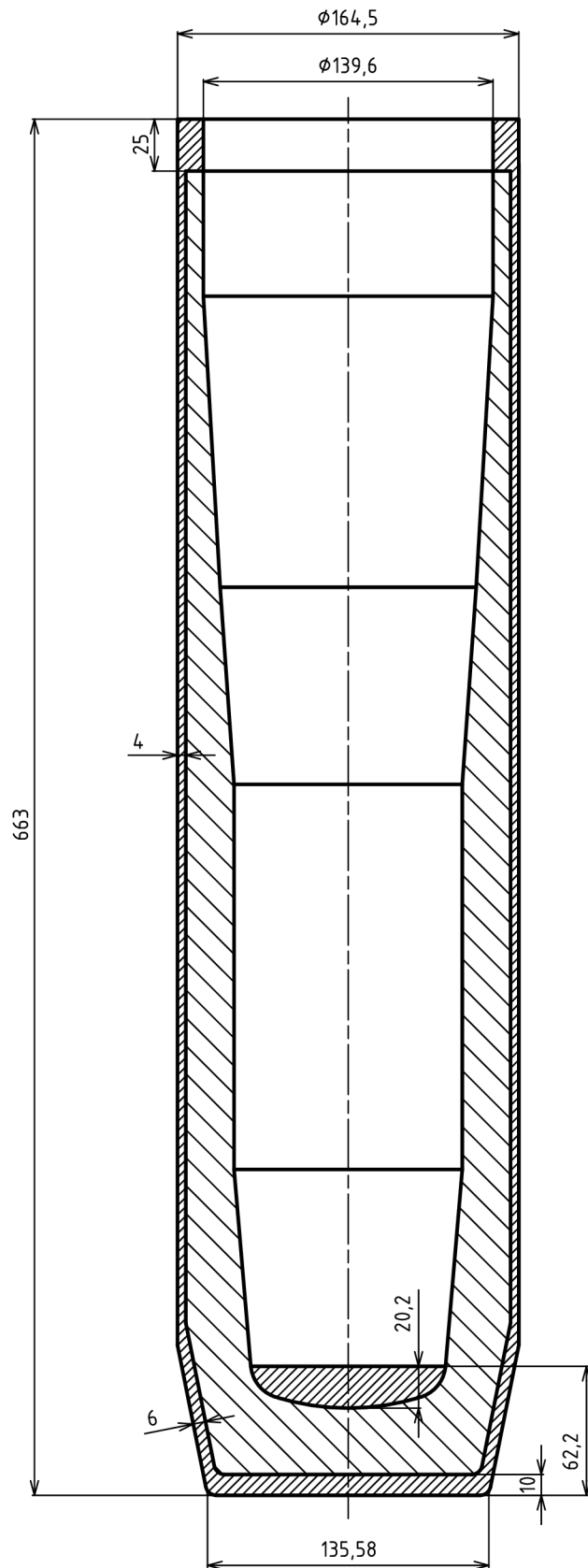
příloha 5 Schéma ohrubovaného výkrovku  
po protažení



VYTVORENO VE STUDENTSKE VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVORENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

příloha 6 Schéma výkovku po protažení  
s přídavky na hrubování



VYTVORENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVORENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

VYTVORENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK