



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH KOVACÍ LINKY

DESIGN OF FORGING LINE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Pazour

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2022

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Jiří Pazour**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2021/22

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

### Návrh kovací linky

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o komplexní návrh kovací linky pro zadaný symetrický rotační výkovek z oceli. Na tuto problematiku bude zaměřena literární studie.

#### Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit součást a strojní vybavení firmy,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na manipulaci v kovárně,
- pro linku navrhnout vhodné stroje a zařízení,
- ověřit jejich vhodnost nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout systém manipulace,
- navrhnout rozmístění strojů a zařízení – layout linky,
- provést časový rozbor taktu linky.

#### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.

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.

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

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.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

Práce řeší návrh výrobní linky pro ozubené kolo z oceli 11 523 v sérii 500 000 kusů. Po zvážení všech aspektů zadávací dokumentace byla pro výrobu vybrána technologie zápustkového kování na lise. Z původního tvaru kola byl navržen výkovek s výronkem. Byla stanovena potřebná kovací síla o velikosti 25,08 MN a na jejím základě byl zvolen lis LZK 4000 B, který byl uspořádán spolu s dalšími zařízeními do kovací linky, která se skládá z indukčního ohříváče KSO 1200/1,2-C40, ostříhovacího lisu LDO 500 A/S a míchače maziva DAG 183 BMS. Manipulaci s materiálem zajišťují průmyslové roboty IRB 6660 spolu s dopravníky. Součástí je návrh dvou rozložení linek, jedna čtvercová o rozloze 400 m<sup>2</sup> a druhá obdélníková o rozloze 420 m<sup>2</sup>. Na závěr byl proveden výpočet taktu linky. Pokud by se roboty pohybovaly rychlostí 1 m·s<sup>-1</sup> výroba jednoho kusu trvá 25,9 s a při navýšení rychlosti na 2 m·s<sup>-1</sup> se doba zkrátí na 18,2 s.

### Klíčová slova

výkovek, zápustkové kování, kovací lis, robot, dopravník, kovací linka

## ABSTRACT

The thesis is focused on designing of automated workplace meant for production of gear made of steel 11 523 with yearly production of 500 000 pieces. After considering all of the input data, it was decided to use die forging. A forging with flash was designed from the original shape of the gear. Forging force was calculated, and its value is 25,08 MN. Press LZK 4000 B was chosen for such force and is part of a forging line. Another machinery are induction heater KSO 1200/1,2-C40, trimming press LDO 500 A/S and lubricant mixing and supply system DAG 183 BMS. The choice of presses was justified by calculated forces. Industrial robots IRB 6660 and conveyors are providing material handling. Thesis contains two possible layouts, one with a square area of 400 m<sup>2</sup> and another with a rectangular area of 420 m<sup>2</sup>. At the end was calculated production time of a piece. If robot were moving at 1 m·s<sup>-1</sup>, production of one piece would take 25,9 s and for 2 m·s<sup>-1</sup> it would take 18,2 s.

### Key words

forging, die forging, forge press, robot, conveyor, forge line

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

PAZOUR, Jiří. *Návrh kovací linky* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139752>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

---

## PROHLÁŠENÍ

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

V Brně, dne 19.5.2022

.....  
místo, datum

.....  
Jiří Pazour

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Také bych rád poděkoval společnosti DEL a.s. za poskytnutí informací a prostředků pro vypracování práce, zejména panu Ing. Radkovi Zavadilovi. V neposlední řadě bych poděkoval svojí rodině za její trpělivost a podporu.

---

---

**OBSAH**

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Varianty výroby.....	11
2 AUTOMATIZOVANÉ ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ .....	13
2.1 Návrh tvaru výkovku a polotovaru.....	14
2.2 Síly.....	16
2.3 Automatizace.....	17
3 NÁVRH ŘEŠENÍ.....	21
3.1 Polotovar .....	24
3.2 Návrh linky a zařízení .....	25
3.3 Uspořádání linky .....	31
3.4 Časový takt linky.....	32
ZÁVĚR.....	34
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	35
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	38
SEZNAM PŘÍLOH.....	40

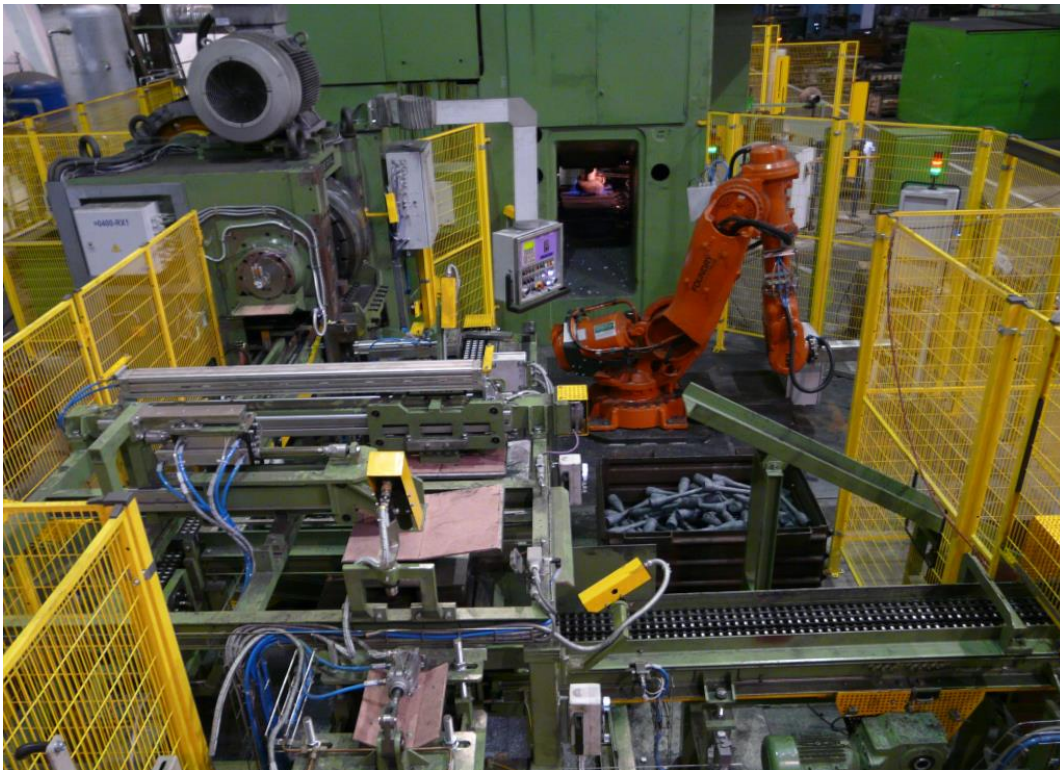
---

## ÚVOD

V současné strojírenské praxi musí být stále častěji uvažována, kromě správné technologie výroby, i efektivní automatizace procesu. Dobře navržený proces dokáže značně minimalizovat chybu vlivem lidského faktoru a nezanedbatelně zvýšit efektivitu procesu nebo navýšit výrobní kapacitu bez potřeby značného nábory zaměstnanců. [1]

Pro výběr správné technologie má současný konstruktér, nebo technolog, možnost volby od konvenčních metod, jakými jsou slévání, tváření a obrábění, až po nekonvenční, mezi něž patří ku příkladu 3D tisk. Každá technologie má své přednosti a nedostatky, jejichž aspekty musí být pečlivě zváženy, neboť výrazně ovlivňují technologičnost a ekonomičnost. Ovšem volbou technologie návrh výrobního procesu nekončí.

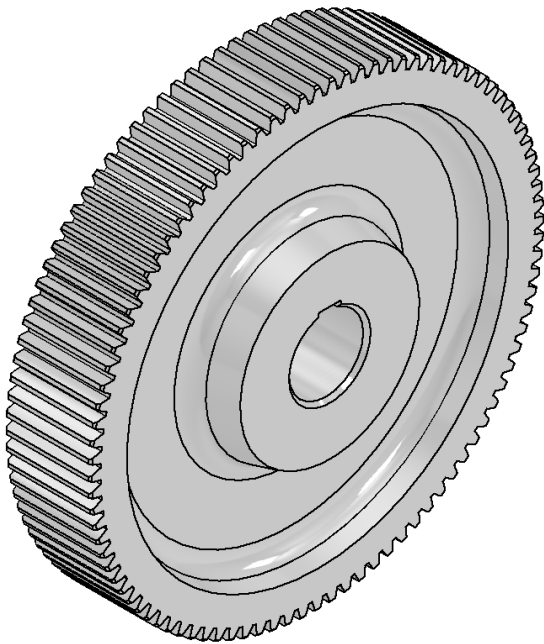
Nepostradatelnou částí při navrhování moderních linek je manipulace s materiálem mezi jednotlivými výrobními operacemi. Vhodným řešením lze dosáhnout zkrácení výrobního času, potažmo snížení výrobních nákladů. Způsob automatizace a dopravy materiálu závisí především na jeho typu, velikosti, teplotě a v neposlední řadě na sériovosti. Není ekonomické řešit důmyslnou manipulaci pro několik kusů a naopak. U hromadné výroby se s oblibou používá průmyslových robotů nejrůznějších nosností, dosahů a specializací. Na obr. 1 je možno vidět část automatizované kovací linky, která je obsluhována robotem. [1; 2]



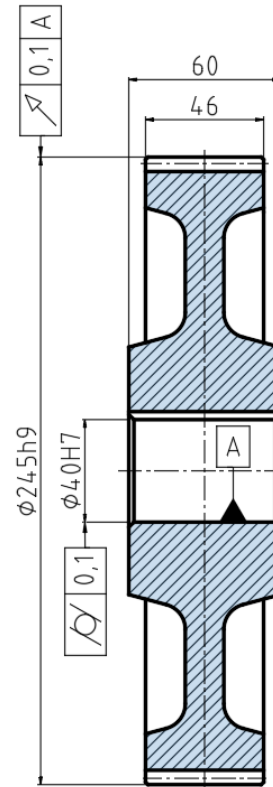
Obr. 1 Foto kovací linky [3].

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

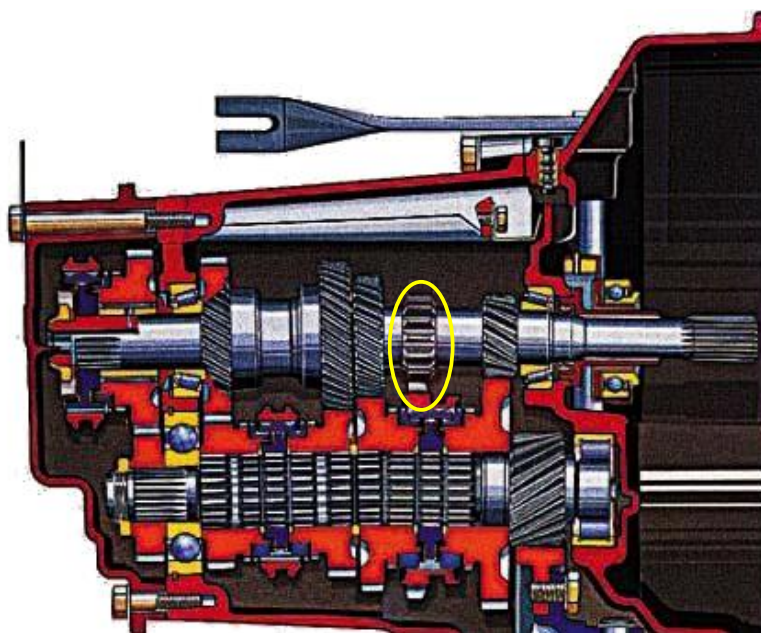
Práce řeší návrh automatizované linky pro výrobu polotovaru ozubeného kola s přímými zuby (obr. 2), které se bude nacházet v převodové skříni nákladních aut. Typická převodová skříň (obr. 4) obsahuje několik hřídelů a sad ozubených kol, které zajišťují plynulý převod mezi hnacím a hnaným strojem. Vzhledem k druhu součásti se jedná o hromadnou výrobu s roční výrobou 500.000 kusů, kterou navržená linka musí splnit.



Obr. 2 3D vizualizace kola.



Obr. 3 Hlavní rozměry kola.



Obr. 4 Schéma převodovky [4].

Zadaná technická dokumentace (2022-BP-217521-OZK) specifikuje přesný tvar a materiál ozubeného kola. Na obrázku 2 je znázorněn 3D model a na obrázku 3 řez součástí, kde lze vidět zakótované nejdůležitější rozměry. Ohledně materiálu zadavatel trvá na použití oceli 11 523. Její mechanické vlastnosti jsou v tab. 1 a chemické složení v tab. 2. Jedná se o nelegovanou konstrukční jemnozrnnou ocel vhodnou ke svařování. Typické použití je pro konstrukce, ohýbané profily, součásti strojů a energetických zařízení [5]. Hotová součást musí mít, vzhledem k použití, dobrou houževnatost, pevnost a odolnost proti únavovému porušení.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 11 523 [5].

Mechanické vlastnosti		
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Tažnost $A_5$ [%]
min 450	min 275	min 17

Tab. 2 Chemické složení oceli 11 523 [5].

Chemické složení [hm.%]					
C	Mn	Si	P	S	N
max 0,20	max 1,60	max 0,55	max 0,040	max 0,040	max 0,009

Zadání bylo vypracováno ve spolupráci s firmou DEL a.s. Jedná se českou společnost sídlící ve Žďáře nad Sázavou s víc než 25letou tradicí. Firma zaměstnává na 300 zaměstnanců a ročně vyhotoví až 500 projektů nejrůznějšího zaměření, od robotizace výroby až po nabíjecí stanice elektromobilů.

## 1.1 Varianty výroby

Výrobu tvaru dané součásti lze rozdělit na zhotovení základního rotačního tvaru včetně otvoru a následné dokončení drážky pro pero a ozubení. Zmíněné detaily se, vzhledem k tvarovým a geometrickým požadavkům (obr. 3), budou dokončovat pomocí třískového obrábění. Prioritou je především návrh linky pro výrobu vhodného polotovaru. Možné technologie jsou:

- Soustružení – spočívá v úběru materiálu z obráběného polotovaru ve formě třísek (obr. 5). Díky velké tvarové a geometrické přesnosti a dobré drsnosti povrchu se technologie bude uplatňovat během dokončovacích operací. Pro výrobu polotovaru by se vycházelo z tyče kruhového průřezu. I přestože ocel 11 523 má třídu obrobitelnosti 14b, hromadná výroba součástí by nebyla ekonomická především z důvodů malého využití materiálu a dlouhé doby soustružení. [6; 7]



Obr. 5 princip soustružení [8].



Obr. 6 Princip svařování [9].

- Svařování – je způsob zhotovení nové součásti pomocí nerozebíratelného spoje, při němž se nataví základní a přídatný materiál (obr. 6). Kolo by se pro výrobu dalo

rozdělit na tři části, které by se za pomoci přípravků svařily. Výhodou je zaručená svařitelnost oceli 11 523 a snadná možnost automatizace. Nevýhody jsou spojené s tepelným ovlivněním, které znesnadní nebo dokonce i znemožní dosažení požadovaných tvarových a geometrických přesností (kolmosti a rovinnosti). Další problém svařování je v okolí svaru, kde se do materiálu vnesou vady a pnutí, které lze odstranit pomocí žíhání. Právě vnitřní vady poté slouží jako trhliny, na nichž se může iniciovat lom. Z uvedených důvodů má svařenec obvykle zhoršené mechanické vlastnosti. [5; 6; 10]

- Odlévání – spočívá v nalévání roztaveného kovu přes vtokovou soustavu do formy, která má tvar budoucího výrobku (obr. 7), což umožňuje zhotovení součástí a polotovarů velmi složitých tvarů. Pro odlitek požadovaného tvaru lze využít netrvalých pískových forem. Vzhledem k charakteru odlitků, kde se musí výchozí tvar upravit, je nemožné dosáhnout výkresem předepsaných přesností. Hlavním problémem je však nevhodnost oceli 11523 k odlévání. Materiál nelze změnit, neboť zadavatel na jejím použití oceli trvá. Taktéž by se vzhledem k tvaru a kusovosti nejednalo ekonomickou výrobu. [6; 10; 11]



Obr. 7 Zaformovaná písková forma [12].



Obr. 8 Zápustkové kování [13].

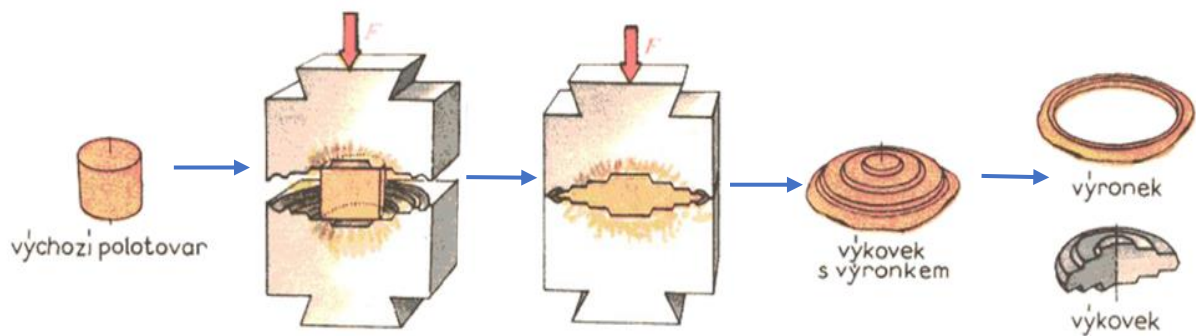
- Zápustkové kování – formuje výchozí materiál do požadované podoby pomocí plastické deformace v nástroji (obr. 8). Původní tvar součásti se musí vhodně upravit pro ekonomickou a technologicky správnou výrobu. Jelikož došlo k změně tvaru, tak není možné dodržet předepsané přesnosti. Výkovky mají vynikající mechanické vlastnosti, jakými jsou pevnost, houževnatost, tažnost a odolnost proti opotřebení a únavě materiálu. Využití technologie je zejména výhodné pro hromadnou výrobu. Největší potíže představuje tvorba okujů, jejich odstraňování a práce za vysoké teploty. [6; 11; 14]

Po zvážení vlastností materiálu, počtu kusů, požadovaných mechanických vlastností a náročnosti výroby bylo z výše uvedeného výčtu technologií vybráno zápustkové kování jako nejvhodnější a nejekonomičtější řešení. Pro správné zhotovení výkovku se materiál musí ohřát na kovací teplotu, která se pro ocel 11 523 pohybuje v rozmezí od 800 do 1150 °C [5]. Vybraná technologie je také vhodná, protože zadavatel disponuje několika stroji, kterými jsou kovací lisy LZK 2500 a LZK 4000 B a ostříhovací lis LDO 500 A/S. S přihlédnutím k strojovému parku se jedná přesně o zápustkové kování s lisy.

Z důvodu hromadné výroby a charakteru kovárenského prostředí zadavatel požaduje zautomatizování linky. Dále apeluje na použití průmyslových robotů od výrobce ABB, jelikož je s jejich údržbou a obsluhou seznámen. Zmíněná automatizace a návrh sestavení linky je nejdůležitější částí práce, na kterou se zaměří teoretická i návrhová část. Vzhledem ke vstupům se také práce zaměří na návrh výkovku, který je stěžejní pro určení kovacích sil.

## 2 AUTOMATIZOVANÉ ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

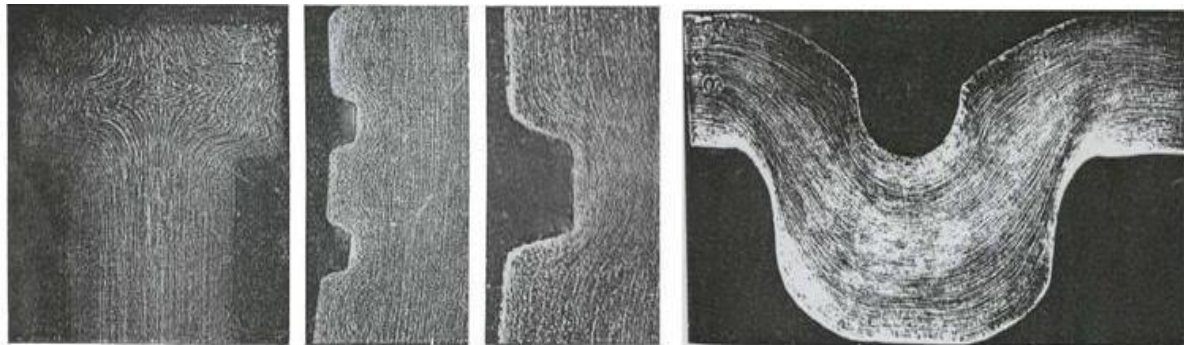
Při kování se využívá možnosti velké plastické deformace vlivem vysoké teploty. Materiál při deformaci teče a zaplňuje dutinu nástroje, který se nazývá zápustka a bývá nejméně dvoudílná, viz obr. 9. Právě díky přesnému tvaru dutiny je možno vyrábět velké množství tvarově a geometricky přesných výkovků. Taktéž se v hromadné výrobě často používá postupové zápustky, kde se dílec kove v několika pozicích a tím postupně získává požadovaný tvar. Důvodem volby je především zvýšení životnosti zápustky. [10; 11; 14]



Obr. 9 Schéma zápusťkového kování [10].

Pro dosažení velkých deformací se materiál musí ohřát. To umožňuje využití zvýšené plasticity a snížení přetvárného otvoru, díky čemuž se následně sníží potřebná kovací síla. Vysoká teplota umožňuje okamžitou rekrytalizaci a relaxaci vnitřních napětí, která vznikají během procesu. Při ohřevu dochází k oduhličení svrchních vrstev a jejich opalu, který může tvořit ztráty na hmotnosti od 1 % do 5 %. [11; 14; 17; 18]

Během kování se tváří celý objem, což zapříčiní několik strukturních změn. Znatelnější z nich je vznik vláknité makrostruktury, kterou lze vidět při provedení metalografického výbrusu, viz obr 10. Další změna je mikrostrukturní, kde na hranicích deformovaných zrn dochází díky vysoké teplotě tváření k nukleaci nových zrn, čímž dochází k zjemňování struktury. Jednotlivé strukturní změny vedou ke zlepšení mechanických a fyzikálních vlastností. [10; 11; 14]



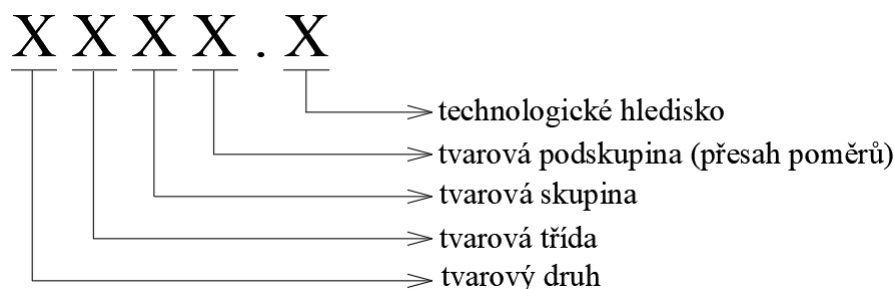
Obr. 10 Vlákňitost vzniklá tvářením. [6]

Z důvodu vysokých teplot, bezpečnosti a navýšení produktivity jsou moderní kovárny automatizovány. Tím dochází k tomu, že se personál přímo nepodílí na výrobě, ale pouze provádí obsluhu a údržbu linky. Automatizování monotónních úkonů má také vliv na zvýšení hygieny a bezpečnosti práce. [2]

## 2.1 Návrh tvaru výkovku a polotovaru

Než se začne s návrhem výkovku je vhodné zadanou součást zjednodušit o tvarové detaily, které jsou obtížně vyrobitelné nebo by výslednou produkci značně znesnadnily. [7; 11; 19] Následné určení tvaru výkovku spočívá v několika bodech, které se řídí normami:

- Dělicí rovina – se určuje podle tvaru součásti a nachází se mezi horní a dolní zápustkou. Je preferované ji mít umístěnou na ose symetrie. Podle nutnosti se může volit lomená nebo zakřivená, ale vzhledem k vzniku bočních sil je vhodnější použít rovnou. [19; 21]
- Přídavky na obrábění – zajišťují dostatečnou tloušťku vrstvy určenou pro odstranění nekvalitního zpevněného svrchního povrchu funkčních ploch výkovku. Také se zajistí dosažení předepsaných tvarových a geometrických tolerancí. Přídavky jsou nutné, jelikož po kování jsou na povrchu vady a oduhličení do určité hloubky. Tabulky, které stanovují doporučené přídavky, je možno nalézt v příloze 2. [19; 21]
- Technologické přídavky – mají zajistit efektivní a bezporuchovou výrobu, čehož se dosahuje úpravami tvaru, kterými jsou zejména zkosení bočních stěn směrem k dělicí rovině, určení zaoblení hran a přechodů. U kování tenkých profilů je potřeba stanovit minimální tloušťku stěny, protože by při kontaktu kovu se zápustkou docházelo k rychlému chladnutí kovu a zhoršení kovitelnosti. U průchozích předkovaných děr se stanoví tloušťka blány. Tabulky pro stanovení technologických přídavků jsou v přílohách 3 a 4. [17; 19; 21]
- Zařazení výkovku dle složitosti tvaru – obsahuje pět číslic, jejichž význam popisuje tvarový druh, třídu, skupinu, podskupinu a technologické hledisko (příloha 1 a obr. 11). Jejich přesný popis a rozhodovací kritéria je možno najít v normě ČSN 42 9002. [20]



Obr. 11 Značení výkovku dle složitosti [20]

- Úchytky rozměrů a tvarů – se určují podle velikosti a ze stupně přesnosti provedení, který vychází z tvarové složitosti výkovku. Tolerance se určují zvlášť pro rozměry kolmo a ve směru rázu. Důležité tabulky lze najít v přílohách 3, 5 a 6. [17; 19; 21]
- Výronek – je důležitou částí správného výkovku umožňující vytečení přebytečného kovu po zaplnění nástroje a díky můstku ovlivňuje tok kovu v zápustce, což umožňuje její vyplnění. Pro kování na lisech se využívá několika typů (obr. 12). Stanovení velikosti výronkové drážky je následovné [17; 22]:

- výška můstku – volí se buď dle nomogramu (příloha 7), nebo výpočtem [14; 23]:

$$h = 0,015 \cdot \sqrt{S_V}, \quad (2.1)$$

kde:  $S_V$  - plocha výkovku v dělicí rovině [mm<sup>2</sup>]

$$S_V = \pi \cdot \frac{D_V^2}{4}, \quad (2.2)$$

kde:  $D_V$  - největší průměr výkovku [mm]

- šířka můstku:

$$b = 2 \cdot h. \quad (2.3)$$

- hloubka zásobníku:

$$n = 0,4 \cdot h + 2. \quad (2.4)$$

- poloměr zaoblení přechodu:

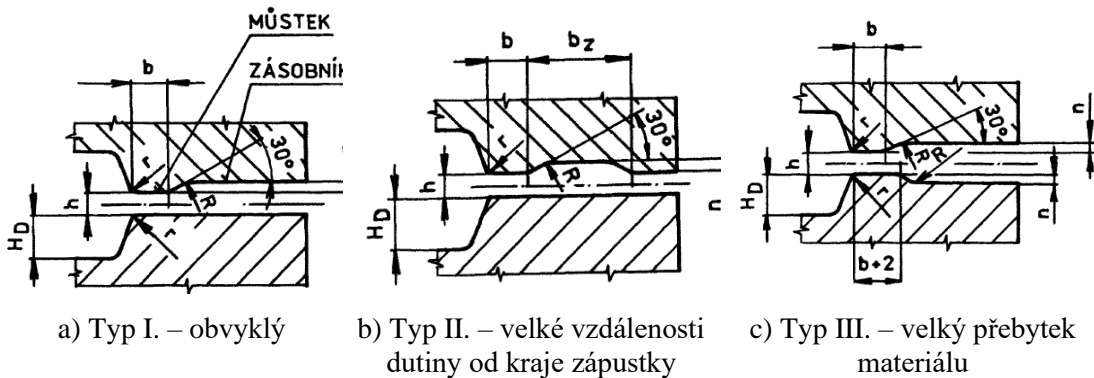
$$r = \frac{\sqrt{S_V}}{200} + 0,04 \cdot H_D, \quad (2.5)$$

kde:  $H_D$  - výška k prvnímu osazení výkovku [mm]

- objem výronku:

$$V_{výr} = \pi \cdot D_V \cdot \left[ b \cdot h + \left( n + \frac{h}{2} \right) \cdot b_z \right], \quad (2.6)$$

kde:  $b_z$  - šířka výronku v zásobníku [mm]



Obr. 12 Typy výronkových drážek pro lisy [21].

- Určení polotovaru – vychází ze zákona zachování objemu, kdy se musí rovnat velikost hrubého výkovku  $V_c$  s polotovarem  $V_{pol}$ . Pak platí následující [14; 19]:

$$V_c = V_{ok} + V_{výr} + V_{op} = V_{pol}, \quad (2.7)$$

kde:  $V_{ok}$  - objem ozubeného kola [mm<sup>3</sup>]

$V_{op}$  - objem opalu [mm<sup>3</sup>]

$$V_{op} = (1,01 \div 1,05) \cdot (V_{ok} + V_{výr}) \quad (2.8)$$

Rozměry polotovaru musí splňovat podmínku štíhlosti z důvodu vzpěrné stability. Pokud by ji nedodržel může dojít k zborcení a znehodnocení dílu, proto musí být štíhlostní poměr  $\lambda$  v rozmezí 1,5 – 2,8 a počítá se dle [14]:

$$\lambda = \frac{l_{pol}}{D_{pol}}. \quad (2.9)$$

kde:  $l_{pol}$  - délka polotovaru [mm]

$D_{pol}$  - průměr polotovaru [mm]

Kombinací znalosti zákona zachování objemu s rovnicí (2.9) lze dospět ke vzorci, který stanovuje velikost předběžného průměru. Ten se následně zaokrouhlí na nejbližší vyšší průměr normalizované tyče. Vzorec pro výpočet je následující:

$$D'_{pol} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot \lambda}}. \quad (2.10)$$

Ke zvolenému průměru polotovaru  $D_{pol}$  se vypočte předběžná délka, která se taktéž případně zaokrouhlí na celé číslo:

$$l'_{pol} = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_{pol}^2}. \quad (2.11)$$

Pro návrh vhodné manipulace a výpočtu materiálového toku je důležité znát hmotnost polotovaru, která se spočte:

$$m_{pol} = \rho_{pol} \cdot V_{pol}, \quad (2.12)$$

kde:  $\rho_{pol}$  - hustota polotovaru [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

## 2.2 Síly

K správnému zhotovení výkovku je třeba navrhnou kovací lis. Jeho základním parametrem je kovací síla, kterou je možno spočítat pomocí několika metod:

- Storožev [17]:

$$F_{kST} = \sigma_p \cdot \left( \left( 1,5 + \frac{b}{2 \cdot h} \right) \cdot S_{\check{c}v} + \left( 1,25 \cdot \left( \ln \left( \frac{D_V}{h} \right) + 2 \cdot \frac{b}{D_V} \right) + \frac{b}{h} - 0,375 \right) \cdot S_V \right), \quad (2.13)$$

kde:  $\sigma_p$  - přirozený (základní) přetvárný odpor [MPa]  
 $S_{\check{c}v}$  - čelní plocha výronku [ $\text{mm}^2$ ]

$$S_{\check{c}v} = \pi \cdot \frac{(D_V + 2 \cdot b_z)^2 - D_V^2}{4}. \quad (2.14)$$

- Tomlenov [17; 22; 24]:

Princip výpočtu výsledné velikosti síly je jednoduchý. Spočívá v součtu normálové  $F_n$  a tangenciální  $F_t$  složky síly:

$$F_{kTO} = F_n + F_t, \quad (2.15)$$

A však výpočet jednotlivých složek je složitější a je více rozebrán:

- tangenciální síla

$$F_t = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S_T, \quad (2.16)$$

kde:  $R_{mT}$  - pevnost materiálu za kovací teploty [MPa]  
 $S_T$  - velikost povrchů bočních stěn zápustky [ $\text{mm}^2$ ]

$$S_T = \pi \cdot \sum_{i=1}^n D_i \cdot s_i, \quad (2.17)$$

kde:  $D_i$  - vnější průměr dutiny [mm]  
 $s_i$  - hloubka dutiny [mm]

- normálová síla

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n (A_i \cdot x_i), \quad (2.18)$$

kde:  $A_i$  - velikost dílčí plochy pod křivkou [MPa·mm]  
 $x_i$  - vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku [mm]

Pro určení ploch k výpočtu je prvně potřeba rozdělit průřez výkovku na několik částí, u nichž se určí jejich velikost a těžiště, viz příloha 8. Taktéž se na nich stanoví velikost napětí podle následujících rovnic:

- ❖ okrajový přetvárný odpor:

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0, \quad (2.19)$$

kde:  $C_0$  - součinitel snížení plasticity materiálu [-]

❖ přetvárné odpory na jednotlivých plochách:

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} + R_i \cdot \frac{B_i}{H_i}, \quad (2.20)$$

kde:  $\sigma_{i-1}$  - předchozí napětí [MPa]  
 $R_i$  - pevnost materiálu dané plochy [MPa]  
 kde:  $R_1 = R_{mT} \cdot C_0$ , platí pro  $i = 1$   
 $R_i = R_{mT}$ , platí pro  $i > 1$   
 $B_i$  - šířka průřezu [mm]  
 $H_i$  - výška průřezu [mm]

Po dokování se výkovek zakládá do ostříhovacího lisu, kde se vystříhne blána a ostříhne výronek. Pro kontrolu vhodnosti stroje se musí vypočíst střížná síla [17; 23]:

$$F_{\text{stříž}} = \eta \cdot S_{\text{stříž}} \cdot \tau_s = \eta \cdot S_{\text{stříž}} \cdot 0,8 \cdot R_m, \quad (2.21)$$

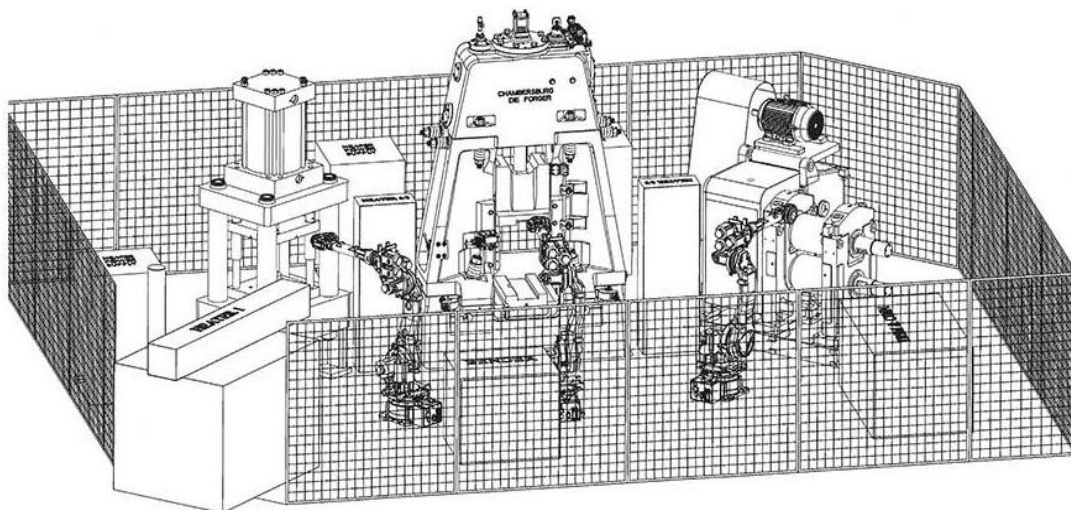
kde:  $\eta$  - součinitel otupení nástroje [-]  
 $\tau_s$  - mez pevnosti ve stříhu [MPa]  
 $S_{\text{stříž}}$  - střížná plocha [mm<sup>2</sup>]  
 $R_m$  - mez pevnosti v tahu [MPa]

### 2.3 Automatizace

Proces, který nahrazuje manuální práci člověka autonomní prací stroje, se nazývá automatizace. K plnému dosažení se využívá široké škály strojů a senzorů. Nejvíce viditelnou částí jsou průmyslové roboty, které bývají nejčastěji řízené počítači s pomocí senzorů. [1]

Při vyhodnocování vhodnosti automatizace se musí vzít v potaz typ produktu a jeho množství, úroveň dovednosti zaměstnanců, spolehlivost, bezpečnost a ekonomičnost provozu. Nejčastější důvod k automatizaci je nedostatek dělníků nebo vysoké mzdové náklady. Nevýhoda automatizace je zejména v počátečních nákladech na pořízení strojů a zaškolení dělníků. Pomocí vhodné volby automatizace lze docílit zvýšení produktivity a kvality výrobků, lepší kompaktnosti a bezpečnosti. [1]

Automatizované kovárny mají povětšinou velmi podobnou stavbu, viz obr. 13. Na vstupu je nadělený materiál, který se ohřeje na kovací teplotu. Po ohřevu je materiál uchopen robotem a založen do kovacího lisu. Hotový výkovek vezme další robot a založí ho do ostříhovacího lisu, kde je zbaven prvně blány a následně výronku. Po ostřížení má výkovek stále vysokou teplotu, takže se ochladí na dopravníku předtím, než vyjede z linky do expediční bedny. [1; 32]



Obr. 13 Vizualizace automatizované kovací linky [32].

Díky vysoké teplotě materiálu jsou kladeny zvýšené požadavky na manipulační zařízení, zejména na jejich odolnost, bezporuchovost a bezpečnost. Ohřátý materiál musí dostatečně rychle přemístit ke zpracování. Automatizované linky jsou oplocené a mohou být rozdělené na několik pásem. Ohrazení slouží jako ochrana zaměstnanců proti náhodnému vstupu do dráhy robota a předejití úrazu. [1; 2]

K přemístění materiálu v kovárnách lze používat velkého množství nejrůznějších strojů, kterými mohou být manipulátory, skluzy, dopravníky a průmyslové roboty. Každý typ má své výhody, nevýhody a typické použití. Výběr metody musí zohlednit sériovost výroby, velikost a hmotnost výkovku a zástavbovou plochu linky. [2; 25] Při zohlednění těchto parametrů, jsou pro zadaný dílec vhodné následující typy:

- Skluzy – jsou nejjednodušší a nejlevnější zařízení využívající vlastní gravitační síly materiálu k dopravě (obr. 14). Díky jejich jednoduché stavbě jsou velmi spolehlivé, bezporuchové a prakticky bezúdržbové. Důležité u navrhování je úhel sklonu, který musí být větší než třetí úhel mezi skluzem a dopravovaným materiálem, ale zároveň se materiál musí pohybovat přiměřenou rychlostí. Pro rychlý návrh jsou zpracovány různé nomogramy. [1; 2]

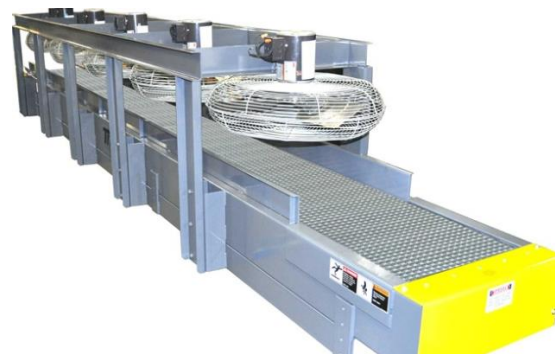


Obr. 14 Skluzy použité pro dopravu balíků [26].

- Dopravníky – jsou používány pro velmi snadnou, rychlou a efektivní dopravu materiálu. Lze je rozdělit podle několika kritérií. Nejčastěji je možno se setkat s pásovými, šnekovými, vibračními, řetězovými, řemenovými a článkovými bez (obr. 15) a s ventilátory (obr. 16). Výhodně je lze použít na přepravu objemného a těžkého zboží. Jednotlivé typy se odlišují stavbou a použitím podle druhu přepravovaného materiálu. Pro použití v kovárně jsou efektivní článkové a řetězové. Ocelové provedení se dá využít až do 1200 °C. Výhodou je prodyšnost roštu a dopravník lze využít i pro chlazení. [1; 2; 25]



Obr. 15 Článkový dopravník [27].



Obr. 16 Článkový dopravník s ventilátory [27].

- Válečkové tratě – jsou jednoduché kontinuálně pracující zařízení pro dopravu materiálu. Jednoduší válečkové tratě jsou nepoháněné (obr 17), kde se využívá síly obsluhy nebo gravitační síly pro dopravu materiálu. Pro přepravu větších hmotnostních toků se využívají tratě hnané (obr. 18), u kterých se podle potřeby volí počet hnaných válečků a jejich pohon. Nejčastější použití je pro transport rozměrných předmětů, například balíků. [2; 25]

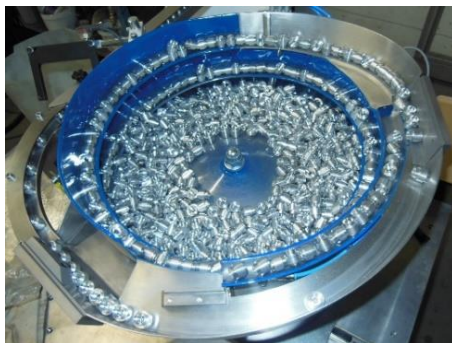


Obr. 17 Nepoháněná válečková trať [28].

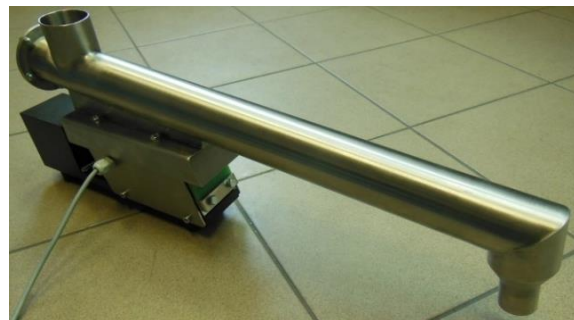


Obr. Poháněná válečková trať 18 [27].

- Vibrační zásobníky – slouží k uskladnění a přesné orientaci různých předmětů, kterými mohou být polotovary, nástroje, obroky a další. Používá se buď jako akumulátor před dalším technologickým krokem, nebo jako kompenzátor výkyvů výroby. V automatizovaných provozech jsou často doplněny o podávací zařízení. Typickým představitelem pak bývá kruhový (obr. 19) nebo lineární (obr. 20) vibrační dopravník, který na výstupu orientuje dílec do správné polohy. Často je soustrojí možno korigovat pomocí frekvenčního měniče. [2; 28; 29]



Obr. 19 Vibrační kruhový zásobník [29].



Obr. 20 Lineární vibrační zásobník [29].

- Průmyslové roboty – jsou pokročilé automatizované systémy, které jsou řízeny pomocí programů. Jejich typickým znakem je robotické rameno, které připomíná lidskou ruku. Důležitým parametrem je počet stupňů volnosti. Nová generace robotů sehrává důležitou roli v průmyslové automatizaci. Jejich velká výhoda spočívá v schopnosti provedení široké škály úkonů s velkou přesností a rychlostí. Taktéž se při jejich nasazení ve výrobě nemusí používat bezpečnostní prvky, které jsou nutné u lidské obsluhy. Počítačové programy přinášejí možnost rychlé a snadné změny jejich provozu a tím zvýšení flexibility výroby. [1; 2; 25; 30]

Při porovnání s lidmi průmyslové roboty excelují zejména ve vykonávání monotónní práce, kde dosahují dlouhodobé přesnosti, spolehlivosti, rychlosti a kvality výroby. Jejich nedostatek se projevuje v případě nepředvídaných mimořádných situací, kdy na ni roboti nejsou schopni adekvátně odpovědět. Z toho důvodu se při jejich nasazení musí opatřit bezpečnostními čidly a oplocením, aby se předešlo úrazům a zdravotnímu poškození. Pořizovací cena a náklady na zakomponování do výroby mohou mít delší dobu návratnosti. [1]

Názvy některých částí robota se inspirovaly, vzhledem k jejich podobnosti, u lidské paže, kde na obr. 21 je znázorněn robot s českým překladem. S tímto pojmenováním se lze setkat zejména v anglicky psané literatuře. [1]



Obr. 21 Popis průmyslového robota [31].

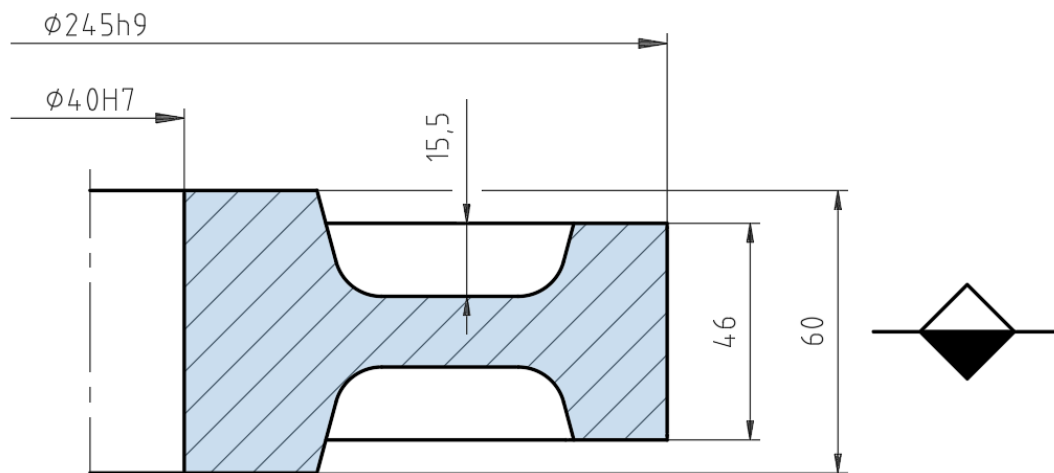
### 3 NÁVRH ŘEŠENÍ

Řešeným úkolem je návrh linky pro zadané ozubené kolo. Pro jeho výrobu bude použito zápusťkové kování na lisech s výronkovou drážkou. Ročně je potřeba vyrobít 500 000 kusů. Materiálem je ocel 11 523 s teplotou tváření pohybující se v rozmezí od 800 - 1150 °C [5]. Vzhledem k velikosti výkovku a nutnosti manipulace byla teplota ohřevu zvolena 1150 °C. Pevnost oceli za zvýšených teplot lze odhadnout pomocí tabulky 3.

Tab. 3 Závislost meze pevnosti na teplotě pro konstrukční oceli [24].

Teplota T [°C]	Pevnost oceli $R_m$ [MPa]		
	400	600	800
1200	18	22	36
1100	22	36	51
1000	30	54	75
900	45	75	115
800	66	111	155
700	95	150	250

Zadané ozubené kolo se musí pro dobrou technologičnost výroby upravit. V první řadě se kolo zjednoduší o tvarové detaily. Po zvážení tolerancí a velikosti bylo rozhodnuto, že ozubení se nebude předkovávat. Otvor kola se vzhledem k jeho rozměrům bude předkovávat. Další nutným bodem je návrh dělicí roviny. Vzhledem k symetrii bude dělicí rovina přímá a bude ležet v polovině tloušťky součásti. Upravený tvar s dělicí rovinou, ze kterého se bude vycházet při návrhu výkovku, je na obr. 22.



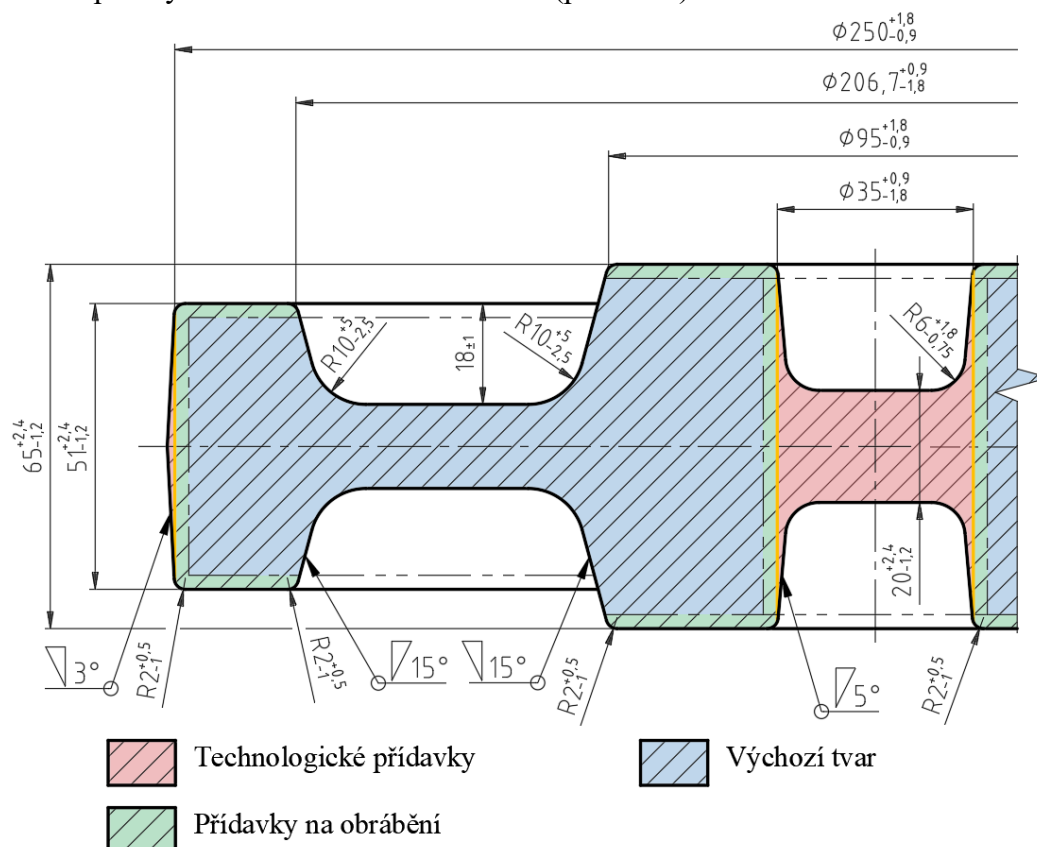
Obr. 22 Upravený výchozí tvar pro návrh výkovek.

Následující úpravou potřebnou pro návrh výkovku je přidavek na obrábění, který zajistí bezvadnost funkčních ploch. Pro rotační součásti se bere největší průměr a výška. Jedná se o výkovek obvyklého provedení s největším průměrem 245 mm a výškou 60 mm. Podle tabulky v příloze 2 vychází přidavek 2,5 mm. Na obr. 23 jsou zelenou barvou zobrazeny místa, kde se nacházejí přídavky na obrábění.

Technologické přídavky zjednodušují a upravují tvar výkovku a zajistí tím jeho ekonomickou výrobu. Volba probíhá podle normy ČSN 42 9030. Veškeré technologické přídavky jsou na obr. 23 zobrazeny červeně. Vzhledem k zadanému tvaru budou přídavky:

- Zaoblení hran – se stanoví podle poměru výšky k šířce příslušné části výkovku (příloha 3). Minimální velikost vnějších zaoblení je 2 mm a vnitřních 6 mm.

- Tolerance pro zaoblení – odpovídají pro vnitřní  $+0,5 \cdot R$  a  $-0,25 \cdot R$ , pro vnější pak  $+0,25 \cdot r$  a  $-0,5 \cdot r$ , viz příloha 3.
- Tloušťka dna, blány a stěn výkovku – se určí podle největšího průměru a výšky výkovku, viz příloha 4. Z tabulky v příloze minimální tloušťka blány  $h_{bl}$  vychází 20 mm.
- Úkosy – se určují podle výrobního stroje. Vzhledem k strojovému parku zadavatele, kde každý lis disponuje vyhazovačem, jsou úkosy zvoleny o velikosti  $3^\circ$  pro vnější a  $5^\circ$  pro vnitřní plochy rovnoběžné se směrem rázu (příloha 4).



Obr. 23 Vizualizace jednotlivých přídavků.

Rozměry výkovku musí být tolerované, proto je nezbytné znát tvarovou složitost výkovku. Označení je pomocí pětice čísel, která se určí podle normy ČSN 42 9002. Pro zadané ozubené kolo je značení následovné [20]:

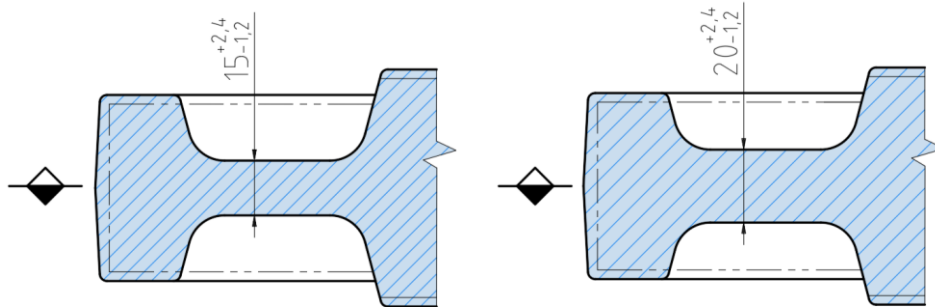
- tvarový druh – 5 – výkovek je kruhového průřezu a je dutý,
- tvarová třída – 4 – oboustranně osazený,
- tvarová skupina – 2 – viz příloha 1,
- tvarová podskupina – 0 – výkovek je bez přesahu,
- technologické hledisko – 3 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu, podle níž jsou souměrné,

Výsledné značení výkovku je 5420.3.

Tolerance výkovku lze stanovit podle normy ČSN 42 9030. Jedná se výkovek obvyklého stupně přesnosti. S přihlédnutím k tvarové složitosti, přesnosti provedení a velikosti výkovku jsou tolerance [21]:

- Rozměry kolmé na směr rázu – mají 5 stupeň přesnosti, kterému odpovídají tolerance  $+1,8$  mm a  $-0,9$  mm, viz příloha 6.
- Rozměry rovnoběžné se směrem rázu – mají 6 stupeň přesnosti, kterému odpovídají tolerance  $+2,4$  mm a  $-1,2$  mm, viz příloha 6.

Podle zmíněných pravidel se upravil tvar výkovku pro zajištění dobré technologičnosti výroby, viz výkres 2022-BP-217521-VYK. Na všech funkčních plochách byl přidán přídavek na obrábění. Ostré hrany byly zaobleny dle požadavků, pouze 10mm rádius byl zachován, protože je větší než minimální velikost. Kolmé stěny byly zkoseny o předepsaný úhel. Zkosení 15° bylo ponecháno, neboť je větší než požadované. Blána má tloušťku 20 mm. Největší změna od původního tvaru byla v místě stěny mezi průměry 95 mm a 206,7 mm (obr. 23), kde by tloušťka vycházela menší než požadovaná, proto byla její velikost zvýšena na požadovaných 20 mm (obr. 24). Zadavatel nemá proti provedené změně tloušťky výhrady.



Obr. 24 Změna tloušťky stěny.

Po určení výkovku je nezbytnou částí návrh velikosti výronkové drážky a objemu výronku. Výronek zajišťuje, aby se správně vyplnila dutina zápustky. Jeho velikosti jsou:

- výška můstku – se stanoví podle:

- výpočtu (2.1):

$$h = 0,015 \cdot \sqrt{S_V} = 0,015 \cdot \sqrt{49\,087,4} = 3,32 \text{ mm}$$

kde:  $S_V$  - plocha výkovku v dělicí rovině, dle rovnice (2.2)

$$S_V = \pi \cdot \frac{D_V^2}{4} = \pi \cdot \frac{250^2}{4} = 49\,087,4 \text{ mm}^2$$

kde:  $D_V$  - největší průměr výkovku; 250 mm dle výkresu

- nomogramu – z přílohy 7, kde výška vyšla 4,1 mm

Po zvážení obou hodnot byla pro další výpočty výška výronkového můstku zaokrouhlena na  $h = 4 \text{ mm}$ .

- šířka můstku – dle rovnice (2.3):

$$b = 2 \cdot h = 2 \cdot 4 = 8 \text{ mm}$$

- hloubka zásobníku – dle rovnice (2.4):

$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 4 + 2 = 3,6 \text{ mm}$$

- poloměr zaoblení přechodu – dle rovnice (2.5):

$$r = \frac{\sqrt{S_V}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{49\,087,4}}{200} + 0,04 \cdot 25,5 = 2,13 \text{ mm}$$

kde:  $H_D = 25,5 \text{ mm}$ , výška k prvnímu osazení výkovku

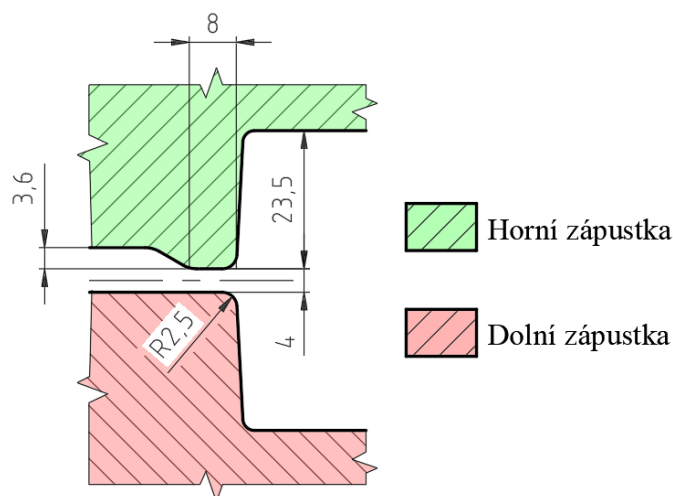
Poloměr je z hlediska konstrukce zaokrouhlen na 2,5 mm.

- objem výronku – dle rovnice (2.6):

$$\begin{aligned} V_{\text{výr}} &= \pi \cdot D_V \cdot \left[ b \cdot h + \left( n + \frac{h}{2} \right) \cdot b_z \right] = \\ &= \pi \cdot 250 \cdot [8 \cdot 4 + (3,6 + 2) \cdot 40] = 201\,061,9 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

kde:  $b_z$  - šířka výronku v zásobníku, dle [22] voleno 40 mm

Výronková drážka byla vybrána obvyklého typu a výše vypočítané hodnoty byly zaneseny do obrázku 25.



Obr. 25 Zobrazení rozměrů výronkové drážky.

### 3.1 Polotovar

Při zápustkovém kování se nejčastěji používají polotovary vyrobené z tyčí. Určení jejich velikostí vychází ze znalosti velikosti potřebného objemu, který se vypočte podle vzorce (2.7):

$$V_c = V_{ok} + V_{výr} + V_{op} = 1\,765\,381 + 201\,062 + 39\,329 = 2\,005\,772 \text{ mm}^3$$

kde:  $V_{ok}$  - objem ozubeného kola, stanoveno s pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2022 na  $1\,765\,381 \text{ mm}^3$ , viz příloha 9

$V_{op}$  - objem opalu, vypočten dle rovnice (2.8)

$$\begin{aligned} V_{op} &= (1,01 \div 1,05) \cdot (V_{ok} + V_{výr}) = \\ &= 1,02 \cdot (1\,765\,381 + 201\,062) = 39329 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Polotovar bude přřízem z kruhové tyče válcované za tepla, což znamená, že dalším krokem ve výpočtu je předběžné stanovení průměru pomocí vzorce (2.10):

$$D'_{pol} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot \lambda}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 2\,005\,772}{\pi \cdot 2}} = 108,49 \text{ mm}$$

kde:  $\lambda = 2$ , štiřlostní poměr

Podle normy ČSN 42 5551 je volen průměr tyče 110 mm. Ze znalosti štiřlostního poměru, průměru a objemu výkovku se dopočítá předběžná délka polotovaru podle vzorce (2.11):

$$l'_{pol} = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_{pol}^2} = \frac{4 \cdot 2\,005\,772}{\pi \cdot 110^2} = 216,98 \text{ mm}$$

Skutečná délka polotovaru  $l_{pol}$  byla zaokrouhlena na 217 mm.

Z hlediska návrhu manipulace s materiálem je nutnost znát hmotnost polotovaru. Ta se vypočte podle vzorce (2.12):

$$m_{pol} = \rho_{pol} \cdot V_{pol} = 7,85 \cdot 2,062 = 16,19 \text{ kg}$$

kde:  $\rho_{pol}$  - hustota polotovaru, pro oceli  $7,85 \text{ kg} \cdot \text{dm}^{-3}$

$V_{pol}$  - skutečný objem polotovaru vypočtený podle vzorce (2.7)

$$V_{pol} = \frac{\pi \cdot D_{pol}^2}{4} \cdot l_{pol} = \frac{\pi \cdot 1,1^2}{4} \cdot 2,17 = 2,062 \text{ dm}^3$$

### 3.2 Návrh linky a zařízení

Proces výroby výkovku je možno rozdělit na několik operačních celků podle použitých strojů. Ty musí být vyřešeny tak, aby jejich zkompletování zajistilo vznik funkční kovárny. Linka bude automatizována, jednak je to požadavek zadavatele, jednak to má smysl, protože nebude nutnost hledat a zaučovat nové pracovníky pro práci v prašném a hlučném prostředí. Výhodou je i relativně brzká návratnost počáteční investice vlivem rychlého a nepřetržitého provozu. Do linky je nutno určit několik zařízení pro ohřev polotvarů, lisy, stroj na mazání zápustek, dopravníky a průmyslové roboty.

První operační celek se nachází na začátku linky. Zde se materiál musí roztřídit a ohřát na kovací teplotu. Pro splnění zmíněné funkce byl vybrán indukční ohřívač KSO 1200/1,2-C40 vyráběný společností ROBOTERM spol. s r.o. Ohřívač je dodáván v celku s vibračním zásobníkem, do něhož jsou přířezy zaváženy [33]. Zásobník postupně dávkuje materiál k ohřátí. Na výstupu je stroj vybaven třídícím mechanismem, který rozpozná, zda je díl ohřátý na požadovanou teplotu [33]. Pokud je přířez v pořádku, přenesení ho první robot (R1) k dalšímu zpracování.

Parametry ohřívače je možno vyčíst z tabulky 4. Stroj je dále vybaven frekvenčním měničem pro plynulou regulaci frekvencí v závislosti na průměru přířezu. Obecně platí zásada, že menší průměr má vyšší frekvenci a větší průměr nižší. Zvolený stroj je vhodný používat pro ohřev, neboť rozměry polotovaru splňují požadavky uvedené v tab. 4. Vizualizaci ohřívače je možno vidět na obrázku 26. [33]



Obr. 26 Jednostupňový kompaktní ohřívač [33].

Tab. 4 Technické parametry ohřívače [33].

	<b>KSO 1200/1,2-C40</b>
<b>Průměr přířezů [mm]</b>	55–120
<b>Délka přířezu [mm]</b>	1,4·D–400
<b>Maximální ohřáté množství [kg·h<sup>-1</sup>]</b>	2750
<b>Výstupní teplota [°C]</b>	max. 1250
<b>Příkon [kVA]</b>	1450
<b>Výkon[kW]</b>	1200

Po ohřátí se materiál zakládá do kovacího lisu. Vzhledem k tvaru a konzultaci se zadavatelem bude výkovek kován během tří zdvihů a ve třech zápustkách, kde se během prvního zdvihu polotovar pěchuje, v druhém se předkovává a tvarově se přiblíží hotovému výrobku a v třetím zdvihu se dokovává výsledný tvar.

Pro správnou volbu stroje je potřeba znát velikost kovací síly. Jelikož nikdy neprobíhají dvě operace zároveň, bude vyšetřována pouze pozice poslední, dokovací. Během zmíněné operace je požadována největší kovací síla. Kontrolní výpočet sestává z následujících metod:

- Storožev – podle vzorce (2.13):

$$\begin{aligned}
 F_{\text{kST}} &= \sigma_p \cdot \left( \left(1,5 + \frac{b}{2 \cdot h}\right) \cdot S_{\text{čv}} + \left(1,25 \cdot \left(\ln\left(\frac{D_V}{h}\right) + 2 \cdot \frac{b}{D_V}\right) + \frac{b}{h} - 0,375\right) \cdot S_V \right) = \\
 &= 30 \cdot \left[ \left(1,5 + \frac{8}{2 \cdot 4}\right) \cdot 36\,442 + \left(1,25 \cdot \left(\ln\left(\frac{250}{4}\right) + 2 \cdot \frac{8}{250}\right) + \frac{8}{4} - 0,375\right) \cdot 49\,087 \right] = \\
 &= 12\,797\,020 \text{ N}
 \end{aligned}$$

kde:  $\sigma_p$  - přirozený přetvárný odpor; dle tabulky 3 volen 30 MPa

$S_{\text{čv}}$  - čelní plocha výronku vypočtena dle (2.14)

$$S_{\text{čv}} = \pi \cdot \frac{(D_V + 2 \cdot b_z)^2 - D_V^2}{4} = \pi \cdot \frac{(250 + 2 \cdot 40)^2 - 250^2}{4} = 36\,442 \text{ mm}^2$$

Kovací síla podle Storoževa byla zaokrouhlena a zvolena  $F_{\text{kST}} = 12,80 \text{ MN}$  pro účely snadnějšího porovnávání.

- Tomlenova – má komplexnější výpočet, proto je rozdělen na část několik jednotlivých částí tangenciální, normálovou a celkovou, která je součtem dvou předchozích:
  - tangenciální síla – vypočtena pomocí vzorce (2.16):

$$F_t = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S_t = \frac{30}{2} \cdot 37\,711 = 565\,668 \text{ N}$$

kde:  $R_{mT}$  - pevnost materiálu za kovací teploty, dle tabulky 3 je 30 MPa

$S_T$  - velikost povrchů bočních stěn zápustky, vypočteno dle (2.17)

$$S_t = \pi \cdot \sum_{i=1}^n D_i \cdot s_i = \pi \cdot 12\,003,9 = 37\,711 \text{ mm}^2$$

kde:  $D_i$ , vnější průměr dutiny, dle tabulky 5

$s_i$ , hloubka dutiny, dle tabulky 5

Tab. 5 Velikosti hloubky a průměrů dutin.

Průřez	$D_i$ [mm]	$s_i$ [mm]	$D_i \cdot s_i$ [mm <sup>2</sup> ]
1	35	22,5	787,5
2	95	22,5	2137,5
3	206,7	15,5	3203,85
4	250	23,5	5875
Celkem			12 003,9

Pro snadnější porovnání tangenciální síla zaokrouhlena na  $F_t = 0,57 \text{ MN}$

- normálová síla – podle vzorce (2.18):

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n (A_i \cdot x_i) = 2 \cdot \pi \cdot 3\,901\,441,6 = 24\,513\,480 \text{ N}$$

kde:  $A_i$  - velikost dílčí plochy pod křivkou, dle tabulky 6

$x_i$  - vzdálenost těžiště plochy od osy výkovku, dle tabulky 6

Tab. 6 Plochy, těžiště a síla jednotlivých ploch.

Průřez	$A_i$ [MPa·mm]	$x_i$ [mm]	$A_i \cdot x_i$ [N]
I	2759	129	355963
II	840	128	107240
III	7743	114	884096
IV	138	111	15243
V	24654	75	1859540
VI	2339	66	154674
VII	13658	33	443899
VIII	208	28	5712
IX	8427	9	73735
X	230	6	1340
Celkem			3901441,6

Z důvodu snadnějšího porovnání byla hodnota normálové síly zaokrouhlena na  $F_n = 24,51$  MN. Pro napočítání velikosti ploch je potřeba znát velikosti napětí, viz příloha 8:

- ❖ přetvárný odpor v nulovém bodě – pomocí vzorce (2.19):

$$\sigma_0 = 1,285 \cdot R_{mT} \cdot C_0 = 1,285 \cdot 30 \cdot 3,5 = 134,9 \text{ MPa}$$

kde:  $C_0$  - součinitel snížení plasticity materiálu, dle [22] je 3,5

- ❖ přetvárné odpory na jednotlivých plochách – se dají spočítat pomocí vzorce (2.20):

$$\sigma_1 = \sigma_0 + R_1 \cdot \frac{B_1}{H_1} = 134,9 + 105 \cdot \frac{8}{4} = 344,9 \text{ MPa}$$

kde:  $R_1$  - pevnost materiálu dané plochy, vypočteno dle (2.20)

$$R_1 = R_{mT} \cdot C_0 = 30 \cdot 3,5 = 105 \text{ MPa}$$

$B_1$  - šířka průřezu, 8 mm dle tabulky 7

$H_1$  - výška průřezu, 4 mm dle tabulky 7

Uvedený výpočet je ukázkový. Ostatní plochy se počítají stejně a jejich hodnoty jsou v tabulce 7.

Tab. 7 Rozměry do výpočtu a napětí na průřezích.

Průřez	$B_i$ [mm]	$H_i$ [mm]	Napětí [MPa]
1	8	4	344,93
2	21,65	51	357,66
3	55,85	20	441,44
4	30	65	455,28
5	17,5	20	481,53

- výsledná kovací síla – podle vzorce (2.15):

$$F_{kTO} = F_n + F_t = 24,51 + 0,57 = 25,08 \text{ MN}$$

Při porovnání výsledků metod je možné pozorovat značný rozdíl v hodnotě kovací síly. Z výpočtu podle Storoževovy metody vychází velikost kovací síly 12,80 MN, avšak podle Tomlenovy metody vychází síla až 25,08 MN. Jelikož je nutnost zajistit správný chod lisu, bude se při návrhu stroje pracovat s vyšší hodnotou, tzn. 25,08 MN.

Vypočtenou sílu je schopen vyvinout klikový lis LZK 4000 B od výrobce Šmeral Brno a.s. (obr. 27). Výhodou u něj je, že se nachází ve strojovém parku zadavatele a tím pádem se nebude muset pořizovat nový stroj. Při porovnání velikosti upínací plochy (tab. 8) a velikosti výkovku vychází, že upínací plocha lisu je dostatečná. Umístění zápustek bude postupně za sebou, to znamená, že první bude pýchovací pak předkovací a nakonec dokovací zápustka. Důsledkem zmíněného řešení je to, že bude s výrobkem snazší manipulace. Pro založení materiálu k pýchování bude využit robot R1. Přenášení mezi jednotlivými zápustkami bude zajišťovat druhý robot (R2).

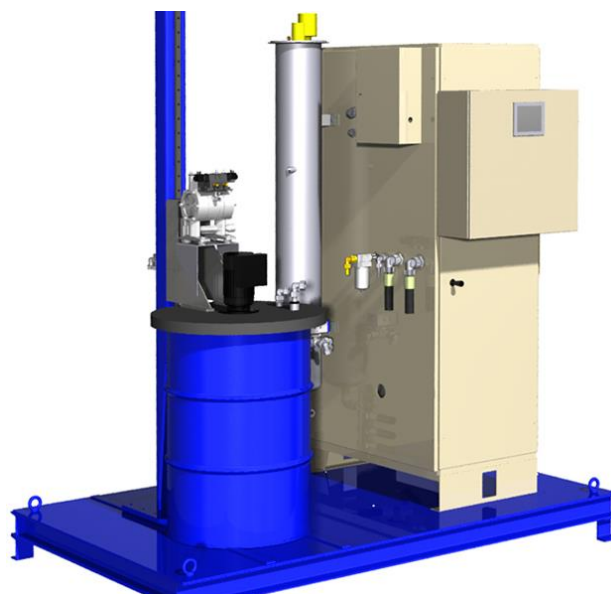
Tab. 8 Technické parametry kovacího lisu [15].

	<b>LZK 4000 B</b>
<b>Tvářecí síla [kN]</b>	40 000
<b>Sevření [mm]</b>	1000
<b>Průchod [mm]</b>	1580
<b>Upínací plocha stolu [mm]</b>	1520x1600
<b>Upínací plocha beranu [mm]</b>	1470x1500
<b>Přestavování beranu [mm]</b>	20
<b>Zdvih [mm]</b>	380
<b>Počet zdvihů [min<sup>-1</sup>]</b>	60
<b>Celkový výkon [kW]</b>	200
<b>Rozměry stroje v*š*h [m]</b>	7,6x4,6x6,5



Obr. 27 Lis LZK 4000 B [15].

Nedílnou součástí kování je mazání, které má za úkol zápustku chladit, chránit před opotřebením, snižovat tření mezi ní a materiálem, oddělovat povrchy, zamezit ulpívání okují a zlepšit tok materiálu [24]. Lubrikant vytváří na povrchu nástroje a materiálu film. Vzhledem k řešené technologii jsou na mazivo kladeny vysoké požadavky především na únosnost a stálost za zvýšených teplot. Ty to požadavky splňují velmi dobře tuhá maziva, z nichž se nejčastěji používá grafit nebo sulfid molybdeničitý ( $\text{MoS}_2$ ) [18]. Do linky bylo zvoleno vodou ředěné mazivo BONDERITE® L-FG F-87 s jemnými částicemi grafitu [35].



Obr. 28 Míchač maziva [35].

Pro nanášení se mazivo míchá s vodou, takže je potřeba vybrat míchací zařízení. Jejich výrobcem je ku příkladu německá společnost AED Automation GmbH, která dodává jak samotné míchače, tak i rozprašovací zařízení, které mohou být buď ukotvené k rámu lisu, nebo na konci robotického ramene. Po zvážení a zkonzultování byla vybrána druhá z uvedených možností. To znamená, že nanášení bude zajišťovat třetí robot (R3) vždy před založením polotovaru. Míchač byl zvolen DAG 183 BMS od společnosti AED, viz obr. 28 [35].

Po dokování je výkovek vzat čtvrtým robotem (R4) a založen do první pozice ostříhovacího lisu, kde je blána prostrižena a propadá skrz stolní desku na vyvážecí dopravník. Následně R4 uchopí součást a přenesení ji do druhé pozice, kde je výronek ostřížen a výkovek propadá deskou stolu na dopravník. Pátý robot (R5) výkovek uchopí a přeloží ho na ochlazovací dopravník. Ostříhnutý výronek je uchopen vysouvacím ramenem a vyvezen na dopravníku do bedny pro výronky.

K výběru ostříhovacího lisu je nutno znát velikost síly. Jelikož ostříhování bude provedeno ve dvou operacích, musí se obě vyřešit zvlášť a nakonec porovnat. Podle větší síly se bude vybírat příslušný stroj. Výpočet pro ostřížení blány je podle rovnice (2.21):

$$F_{sbl} = \eta \cdot S_{sbl} \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,5 \cdot 2199,1 \cdot 0,8 \cdot 75 = 197\,920,3 \text{ N}$$

kde:  $\eta$  - součinitel otupení nástroje, 1,5 voleno dle [17]  
 $S_{sbl}$  - střížná plocha blány [mm<sup>2</sup>], vypočtena dle:

$$S_{sbl} = \pi \cdot D_{bl} \cdot h_{bl} = \pi \cdot 35 \cdot 20 = 2199,1 \text{ mm}^2 \quad (3.1)$$

kde:  $D_{bl}$  - průměr blány, 35 mm dle přílohy 8  
 $R_m$  - mez pevnosti v tahu, 75 MPa dle z tabulky 3 pro teplotu 900 °C

Výpočet síly pro ostříhnutí výronku podle rovnice (2.23) s dosazením střížné plochy:

$$F_{sv} = \eta \cdot S_{sv} \cdot \tau_s = 1,5 \cdot 3141,6 \cdot 0,8 \cdot 75 = 282\,743,3 \text{ N}$$

kde:  $S_{sv}$  - střížná plocha výronku, vypočteno pomocí úpravy vzorce (3.1)

$$S_{sv} = \pi \cdot D_v \cdot h = \pi \cdot 250 \cdot 4 = 3141,6 \text{ mm}^2$$

Větší síla vyšla pro ostříhnutí výronku. S přihlédnutím ke strojovému parku zadavatele byl vybrán lis LDO 500 A/S (obr. 29). Stroj je sice velmi předimenzovaný, ale zadavatel nechce kupovat nový. Další parametry lisu jsou v tabulce 9.

Tab. 9 Technické parametry kovacího lisu [16].

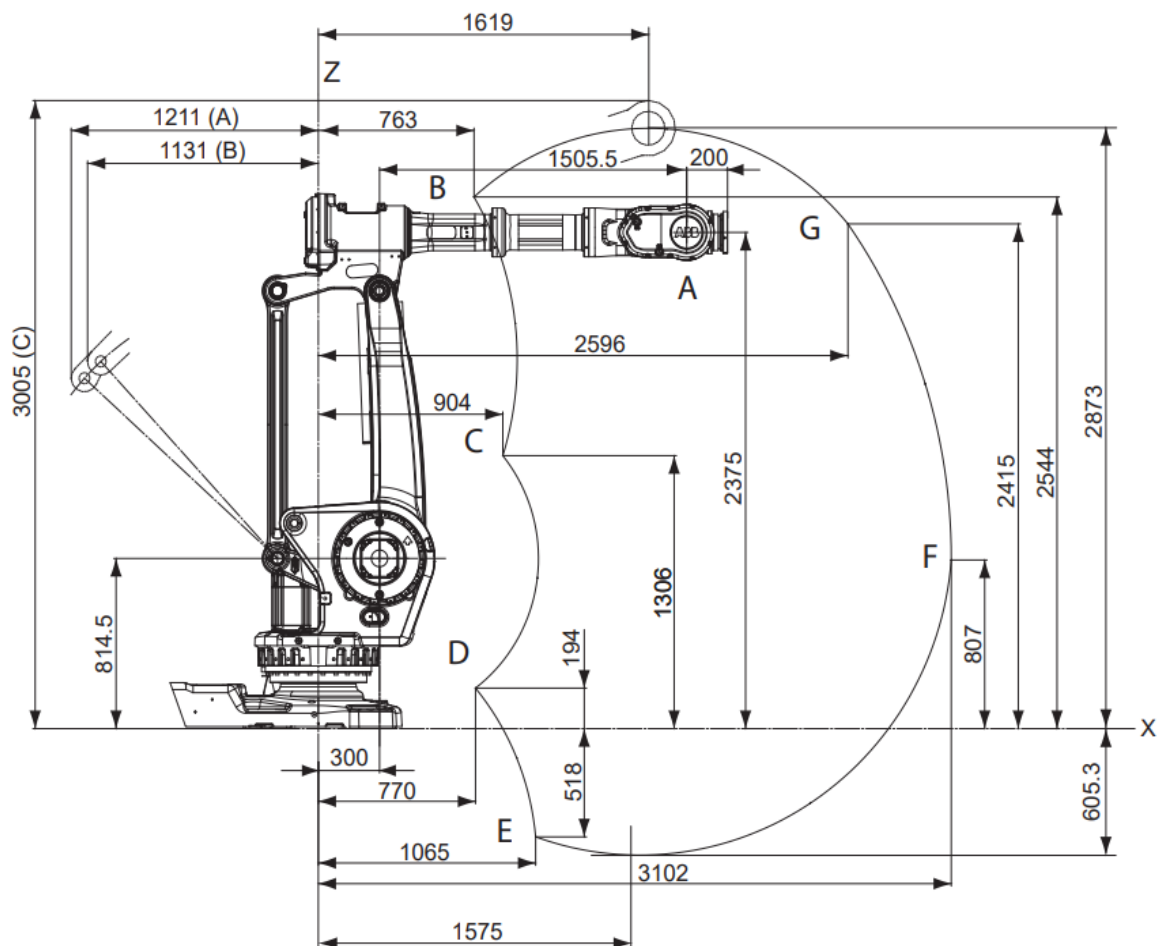
	LDO 500 A/S
Tvářecí síla [kN]	5000
Sevření [mm]	680
Průchod [mm]	1600
Upínací plocha stolu [mm]	1580x1100
Upínací plocha beranu [mm]	1570x1100
Přestavování beranu [mm]	160
Zdvih [mm]	250
Počet zdvihů [min <sup>-1</sup> ]	38
Celkový výkon [kW]	47
Rozměry stroje v*š*h [m]	5,4x2,8x2,6



Obr. 29 Lis LDO 500 A/S [16].

Nedílnou součástí automatizované linky jsou dopravníky. Zajišťují levnou a efektivní dopravu na delší vzdálenosti. V této lince jsou použity pro přemísťování blan, výronků a výkovku. Použity budou článkové a řetězové, protože budou schopny odolat žaru dopravovaných dílů. Dopravník pro výkovky bude mít modifikaci v podobě přidělaných ventilátorů (obr. 16), které zajistí stálý proud studeného vzduchu. Díky nucenému chlazení se teplota výkovku sníží rychleji, což zkrátí potřebnou délku dopravníku a linka bude kompaktnější.

Mezi operační manipulaci zajišťují průmyslové roboty. Při výběru správného typu se musí zvážit především hmotnost břemene, potřebný dosah a pracovní prostředí. Po zohlednění uvedených parametrů byl vybrán robot IRB 6660 s dosahem 3,1 m a nosností 130 kg (obr. 31), jenž vyrábí švédsko-švýcarská firma ABB patřící k světovým špičkám v robotice [37]. Zvolený typ je primárně určen k obsluhování lisů a různých druhů strojů. Pro práci v náročném prostředí je doporučeno použití variantu s přídatnou ochranou tzv. „*Foundry Plus 2*“, která zajišťuje lepší těsnění ložisek a elektrických kontaktů a zpevnění kostry. Robot má také určený pracovní prostor, který je možno vidět na obr. 30. [36]



Obr. 30 Pracovní prostor robotu IRB 6660 [36].

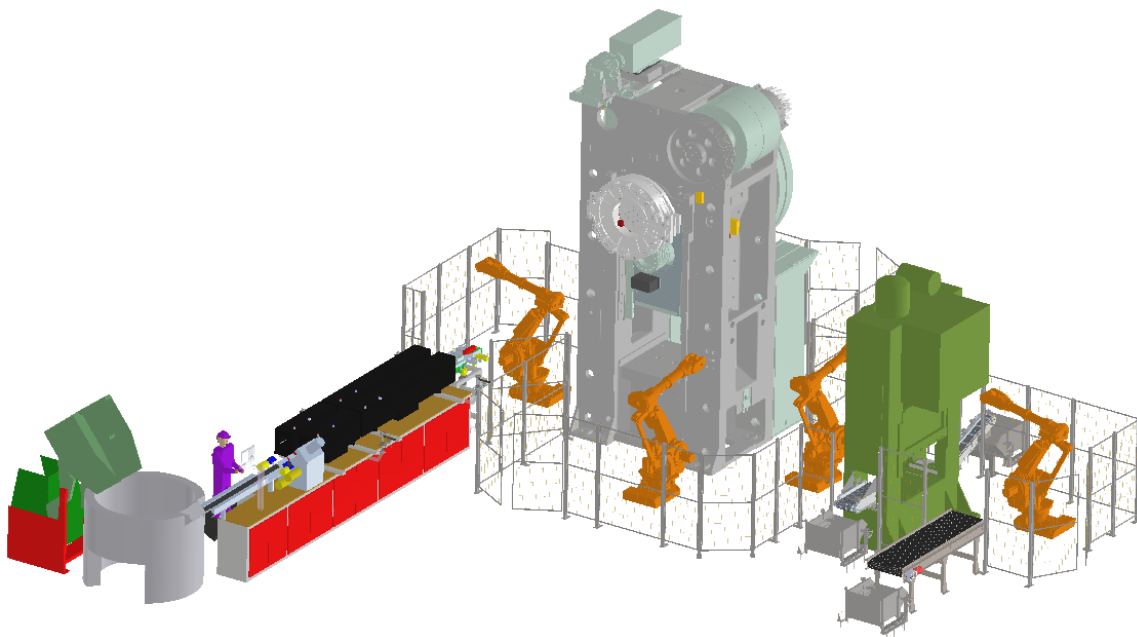


Obr. 31 Průmyslový robot IRB 6660 [36].

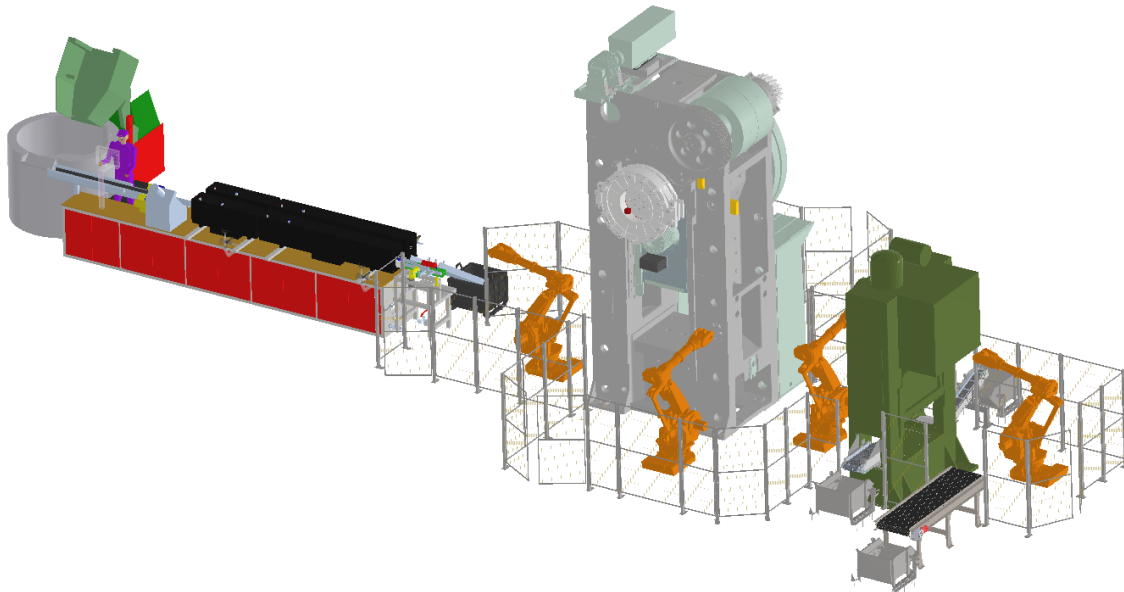
### 3.3 Uspořádání linky

Nejdůležitější parametr pro návrh rozložení pracoviště je velikost volné plochy. V případě aktuálního řešení není určena maximální velikost, ale z důvodu realističnosti je snaha ji minimalizovat. V práci jsou zobrazeny dva možné způsoby uspořádání.

Jednotlivé varianty se od sebe liší především změnou polohy ohřevu, který včetně výklopníku s vibračním zásobníkem měří 10 m. Právě zmíněný stroj značně ovlivňuje nároky na šířku, popřípadě délku linky. V první variantě je ohřev rovnoběžně s hlavní osou kovacího lisu, viz obr 32. Díky čemuž je potřebný půdorys čtvercový s velikostí strany 20 m. Druhá varianta je řešena pro obdélníkový půdorys haly s délkou stran 30 m a 14 m, viz obr 33. Zde je ohříváč pootočen o 90° po směru hodinových ručiček oproti první variantě. Zmíněné délky byly oproti přiloženým výkresům zvětšeny, aby bylo možné linku obsluhovat a servisovat. Nároky na plochu jsou téměř stejné. Je požadováno 400 m<sup>2</sup> resp. 420 m<sup>2</sup>.



Obr. 32 První varianta kovací linky.



Obr. 33 Druhá varianta kovací linky.

Součástí každé linky je bezpečnostní oplocení okolo průmyslových robotů, což výslednou linku rozděluje do 5 buněk. Oplocení je nutné, aby se zabránilo pracovním úrazům. Vstup do každé buňky je vybaven dveřmi se senzory informující o jejich poloze. Pokud se otevrou, robot se zastaví a chod linky se přeruší.

Vybrání správného rozložení je závislé na skutečných podmínkách, podle nichž by se uspořádání mohlo výrazně změnit. Taktéž jednotlivé vzdálenosti mezi stroji by se ve skutečnosti mohli lišit kvůli optimalizaci strojních časů.

### 3.4 Časový takt linky

Z hlediska ekonomiky je nutno znát takt linky neboli jak dlouho trvá, než se dokončí výrobek. Jedná se o komplexní veličinu zahrnující v sobě jak výrobní, tak i manipulační čas. V dnešní době se nejčastěji takt počítá pomocí počítačových programů, do kterých se nahraje model a sestaví pohyby strojů. Jedním z programů je například Process Simulate od společnosti Siemens. V práci byl však zvolen zjednodušený ruční výpočet:

- Určení kritického stroje – je prvním krokem u ručního výpočtu. Ohřev nebude kritický, protože je u něj možno nastavit rychlost dávkování podle potřeby. U ostříhovacího lisu je sice pomalejší zdvih než u kovacího, ale odstraňování blan a výronků je automatické a výkovek je vyvážen na přidavném pásu mimo lis. Posledním strojem je tedy kovací lis, pro který bude vyřešen časový takt.
- Určení sledu operací – je důležité pro stanovení času. Prvně se musí založit ohřátý polotovár robotem R1. Následně se kove celkově na tři zdvihy, kde je materiál přemístován pomocí robotu R2. Po vykování je výkovek uchopen robotem R4 a přenesen do ostříhovacího lisu. Na konci cyklu jsou zápustky mazány robotem R3. U jednotlivých strojů jsou dále operace dále rozepsány na jednotlivé pohyby (tab.10).

Pro výpočet taktu bylo zavedeno zjednodušení, kde se čas počítá pouze z rychlosti pohybu a délkou dráhy mezi začátečním a koncovým bodem. Vzdálenosti jsou určeny z rozložení linky a možnosti polohování ramene. Například u R1 je dráha pouze 0,7 m, jelikož je předpoklad, že robot bude čekat v blízké poloze k založení do zápustky, čímž se dále zkrátí výrobní doba. Rychlost pohybu byla stanovena na 1 a 2 m·s<sup>-1</sup> [25]. Lis je schopný udělat až 60 zdvihů za

minutu, takže doba na jeden chod je pouze 1 s [16]. Ostatní technologické časy byly určeny po konzultacích. Nakonec se jednotlivé doby sečtou a vyjde časový takt linky, viz tab. 10.

Z výpočtu lze vidět, že doba výroby je značně ovlivněna dobou pohybu robotů, což vede k nutnosti optimalizace. Pokud by se roboty pohybovaly rychlostí  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  výroba jednoho kusu trvá necelých 26 s. Při navýšení rychlosti na  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se doba zkrátí na pouhých 18,2 s. Za předpokladu nepřetržitého provozu během pracovních dnů, je roční požadavek 500 000 kusů splněn i v případě nižší rychlosti.

Je nutno brát na vědomí, že se jedná spíše o ilustrační čas, protože bylo zjednodušeno několik veličin. Závěr je však takový, že limitující parametr je rychlost robotů. Pro zvýšení účinnosti je vhodné přezkontrolovat, zda není možné mít v pohybu více robotů zároveň nebo zvýšit jejich rychlost.

Tab. 10 Časový takt.

Stroj	Operace	Dráha [m]	Doba pro $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [s]	Doba pro $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ [s]
R1	založení	0,7	0,7	0,35
	otevření chapadla	-	0,5	0,5
	vyjetí	0,7	0,7	0,35
LZK 4000 B	chod	-	1	1
R2	zajetí	1,5	1,5	0,75
	uchopení	-	1	1
	přenesení	0,5	0,5	0,25
	otevření chapadla	-	0,5	0,5
	vyjetí	1,5	1,5	0,75
LZK 4000 B	chod	-	1	1
R2	zajetí	1,5	1,5	0,75
	uchopení	-	1	1
	přenesení	0,5	0,5	0,25
	otevření chapadla	-	0,5	0,5
	vyjetí	1,5	1,5	0,75
LZK 4000 B	chod	-	1	1
R4	zajetí	1,5	1,5	0,75
	uchopení	-	1	1
	vyjetí	1,5	1,5	0,75
R3	zajetí	2	2	1
	mazání	-	3	3
	vyjetí	2	2	1
Celková doba [s]:			25,9	18,2

## ZÁVĚR

Práce řeší návrh výrobní linky pro ozubené kolo z oceli 11 523 v sérii 500 000 kusů. Po zvážení všech aspektů zadávací dokumentace byla pro výrobu vybrána technologie zápustkového kování na lise. A však pro zhotovení funkčního ozubeného kola se bude používat i třískové obrábění.

Pro zajištění dobré technologičnosti výroby, byl tvar kola zjednodušen. Následně se opatřil přídatky na obrábění a technologickými přídatky, stanovila se tvarová složitost, určila se velikosti tolerancí a v neposlední řadě navrhla velikost výronkové drážky. Díky znalosti výsledné velikosti výkovku a výronku se určil vhodný polotovár, který je z kruhové tyče o průměru 110 mm a délky 218 mm.

Pro plně funkční linku jsou navrženy všechny důležité stroje. Na vstupu do linky se nachází indukční ohříváč KSO 1200/1,2-C40. Po něm následuje kovací lis, pro jehož výběr je nutno určit velikost kovací síly. Výpočet je proveden pomocí dvou metod, kde kritičtější z nich je Tomlenova, u které vyšla 25,08 MN a na jejím základě je zvolen lis LZK 4000 B. Dalším zařízením je ostříhovací lis. I zde je stanovena hodnota síly, která vychází 282,7 kN a je pro ni vybrán lis LDO 500 A/S. Oba lisy se nachází ve strojovém parku zadavatele. Na výstupu se nachází ochlazující dopravník, kam se výkovek po ostříhnutí založí. V lince je ještě míchač maziva DAG 183 BMS, který připravuje směs pro mazání zápustek. Přemístování materiálu mezi stroji zajišťují průmyslové roboty IRB 6660.

V práci jsou vyhotoveny dvě možné řešení rozvržení linky. První varianta má čtvercový půdorys s délkou strany 20 m a druhá obdélníkový s délkami stran 30 a 14 m. Jednotlivá robotická pracoviště jsou z důvodu bezpečnosti oploceny, což způsobilo rozdělení linky do 5 buněk.

Z rozvržení linky vycházel výpočet časového taktu. Nejkritičtější komponentou je kovací lis. Poté se určil sled operací a pohybů, kde se stanovily délky drah. Po sečtení času pro pohyby a technologických operací, vyšla doba výroby jednoho dílu na 25,9 s pro rychlost pohybu robotů  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a 18,2 s pro  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Oba časy splňují požadavek na roční výrobu.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. GUPTA, Ashwani K., Sanjiv K. ARORA a Jean R. WESTCOTT. *Industrial Automation and Robotics*. Herndorn: Mercury Learning and Information, 2016. 560. ISBN 978-1-938549-30-4.
2. HLAVENKA, Bohumil. *Manipulace s materiálem: systémy a prostředky manipulace s materiálem*. Vyd. 4. v Akademickém nakladatelství CERM. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008, 164 s. ISBN 978-80-214-3607-7.
3. *Elektro Sochor spol. s r. o.* [online]. © 2018 Elektro Sochor spol s r.o.-ŠMERAL Group [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <http://www.elektrosochor.cz/>
4. *Manuální převodovky* [online]. ELUC [cit. 2022-02-26]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1476>
5. ČSN 41 1523. *Ocel II 523*. Praha: Český normalizační institut, 1994, 20 s. MDT 669.14.
6. KOPEC, Bernard, Josef NEUGEBAUER a Pavel MAZAL. *Výrobní technologie a typické vady výrobků (Basic): studijní příručka*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2020, 213 stran: ilustrace (převážně barevné). ISBN 978-80-214-5878-9.
7. HUMÁR, Anton. *Technologie obrábění – 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003 [cit. 2022-02-11]. Dostupné z: [https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI\\_TO-1cast.pdf](https://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf)
8. IMMERMANN, Graham. *CNC Turning Basics*. *MaschineMetrics* [online]. MachineMetrics ©2020, 2017 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.machinemetrics.com/blog/cnc-turning-center-basics>
9. GARDNER, Andrew. *MIG Welding Basics*. *Blain's Farm&Fleet* [online]. © 2003 – 2022 Blain Supply, 2015 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.farmandfleet.com/blog/mig-welding-basics/>
10. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 1. díl, Polotovary a jejich technologičnost. 2.*, upr. vyd. Praha: Scientia, 2001, 316 s. ISBN 80-7183-244-8.
11. NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie I. 3. vydání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2016, 160 stran: ilustrace. ISBN 978-80-01-06056-8.
12. *Different Types of Casting Processes Used in Manufacturing*. *Thomasnet* [online]. © 2022 Thomas Publishing Company [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/custom-manufacturing-fabricating/types-of-casting-processes/>
13. *Closed Die Forging*. *DensenGroup* [online]. © Densen Group [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.sydensen.com/CLOSED-DIE-FORGINGS.html>
14. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992, 524 s. : obr., tabulky grafy ; 21 cm. ISBN 80-03-00651-1.
15. *Svislé kovací lis: LZK 4000 B*. *Šmeral* [online]. © 2000 - 2022 Šmeral Brno [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/10/lzk-4000-b#productSpecification>

16. Ostřihovací lisy: LDO 500 A/S. Šmeral [online]. © 2000 - 2022 Šmeral Brno [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/37/ldo-500-a-s>
17. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
18. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York: Cambridge University Press, 2007, 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.
19. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. Praha: SNTL, 1980, 730 s. ISBN 04-233-65.
20. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1968, 36 s. DT 669-134:624.73.043
21. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové: Příkladky na obrábění, mezní úchylky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986, 22 s. MDT 621.73.043.
22. ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svislé kovací stroje: Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1990, 39 s. MDT 621.73.073.
23. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
24. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
25. KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016, 787 s. ISBN 978-80-214-4828-5.
26. Třídící zařízení kusových zásilek SPU Brno. *TRANSLOG s.r.o* [online]. © 2011 TRANSLOG [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.translog.cz/spubrno.htm>
27. Forging Industry: Conveyors. *Titan Conveyors* [online]. © 2022 Titan Industries [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.titanconveyors.com/industry-solutions/forge>
28. Steel Gravity Roller Conveyor. *IndiaMART* [online]. © 1996-2022 IndiaMART InterMESH [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/gravity-roller-conveyor-20610811288.html>
29. Libor Kříž: *Vibrační technika* [online]. ©2020 Libor Kříž [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.liborkriz.eu>
30. MIKUŠOVÁ, Nikoleta, Zdeněk ČUJAN a Eva TOMKOVÁ. Robotization of logistics processes. *MATEC Web of Conferences* [online]. Les Ulis: EDP Sciences, 2017, 134, 38 [cit. 2022-04-14]. ISSN 2261-236X. Dostupné z: doi:10.1051/matecconf/201713400038
31. Industrial Robot Arm. *IndiaMART* [online]. © 1996-2022 IndiaMART InterMESH [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/industrial-robot-arm-18072085973.html>
32. Automation Speeds Production and Increases Safety. *FORGE* [online]. ©2022 BNP Media, 2019 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.forgemag.com/articles/84911-automation-speeds-production-and-increases-safety>
33. Ohříváče přířezů pro tváření. *ROBOTERM* [online]. © 2022 ROBOTERM spol. s r.o. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/cz/indukce/produkty/indukcni-ohrivace/ohrivace-prirezu/>

34. Bonderite L-FG F-87 Forging Lubricant. *Henkel Adhesives* [online]. © 2022 Henkel Adhesive Technologies Vietnam Co. [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: [https://www.henkel-adhesives.com/vn/en/product/forging-ferrous-lubricants/bonderite\\_l-fg\\_f-87.html](https://www.henkel-adhesives.com/vn/en/product/forging-ferrous-lubricants/bonderite_l-fg_f-87.html)
35. Supply Systems. *AED Automation* [online]. 2022 © AED automation [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://www.aed-automation.com/en/products/solutions-forging/supply-systems.html>
36. IRB 6660. *ABB* [online]. © Copyright 2022 ABB [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-6660>
37. VAŇKOVÁ, Radka. TOP 10 výrobců robotů na světě. Kolik instalovali robotů? *FactoryAutomation.cz* [online]. © 2014-2021 FANUC Czech s.r.o, 2017 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/top-10-vyrobcu-robotu-na-svete-kolik-instalovali-robotu/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$A_i$	velikost dílčích ploch pod křivkou	[MPa·mm]
$B_1$	šířka prvního průřezu	[mm]
$B_i$	šířka průřezu	[mm]
$b$	šířka můstku	[mm]
$b_z$	šířka výronku v zásobníku	[mm]
$C_0$	součinitel snížení plasticity materiálu	[-]
$D_{bl}$	průměr blány	[mm]
$D_i$	vnější průměr dutiny	[mm]
$D_{pol}$	průměr polotovaru	[mm]
$D_{pol}$	předběžný průměr polotovaru	[mm]
$D_v$	největší průměr výkovku	[mm]
$F_{kST}$	kovací síla dle Storoževa	[N]
$F_{kTO}$	kovací síla dle Tomlenova	[N]
$F_n$	normálová síla	[N]
$F_{stříž}$	střížná síla	[N]
$F_t$	tangenciální síla	[N]
$H_1$	výška prvního průřezu	[mm]
$H_D$	výška k prvnímu osazení výkovku	[mm]
$H_i$	výška průřezu	[mm]
$h$	výška můstku	[mm]
$h_{bl}$	tloušťka blány	[mm]
$l_{pol}$	délka polotovaru	[mm]
$l_{pol}$	předběžná délka polotovaru	[mm]
$m_{pol}$	hmotnost polotovaru	[kg]
$n$	hloubka zásobníku	[mm]
$R_i$	pevnost materiálu dané plochy	[MPa]
$R_m$	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{mT}$	pevnost materiálu za kovací teploty	[MPa]
$r$	poloměr zaoblení přechodu	[mm]
$S_{bl}$	střížná plocha blány	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{čv}$	čelní plocha výronku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{stříž}$	střížná plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{sv}$	střížná plocha výronku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_T$	velikost povrchů bočních stěn zápusťky	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	plocha výkovku v dělicí rovině	[mm <sup>2</sup> ]
$S_i$	hloubka dutiny	[mm]
$V_c$	objem hrubého výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{ok}$	objem ozubeného kola	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{op}$	objem opalu	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{pol}$	objem polotovaru	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{výr}$	objem výronku	[mm <sup>3</sup> ]
$x_i$	vzdálenost těžiště od osy výkovku	[mm]
$\eta$	součinitel otupení nástroje	[-]
$\lambda$	štíhlostní poměr	[-]
$\rho_{pol}$	hustota polotovaru	[kg·m <sup>-3</sup> ]

$\sigma_0$	okrajový přetvárný odpor	[MPa]
$\sigma_i$	přetvárné odpory na jednotlivých plochách	[MPa]
$\sigma_{i-1}$	předchozí napětí	[MPa]
$\sigma_p$	přirozený (základní) přetvárný odpor	[MPa]
$\tau_s$	mez pevnosti ve smyku	[MPa]

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1      Zařazení výkovku dle složitosti [20]
- Příloha 2      Přídavky na obrábění [21]
- Příloha 3      Zaoblení hran a přechodů a jejich tolerance [21]
- Příloha 4      Nejmenší tloušťka a zkosení stěn výkovku [21]
- Příloha 5      Stupeň přesnosti výkovku [21]
- Příloha 6      Tolerance výkovku [21]
- Příloha 7      Nomogram pro stanovení velikosti výšky můstku výronku [22]
- Příloha 8      Grafické znázornění výpočtu kovací síly podle Tomlenova
- Příloha 9      Data z programu Autodesk Inventor

### Seznam výkresů

Ozubené kolo, 2022-BP-217521-OZK

Výkovek, 2022-BP-217521-VYK

Návrh linky 1, 2022-BP-217521-KL1

Návrh linky 2, 2022-BP-217521-KL2

.

**12. Tvarový druh** — první číslice v číselném označení výkovku (**X x x x - x**).

**X x x x - x**

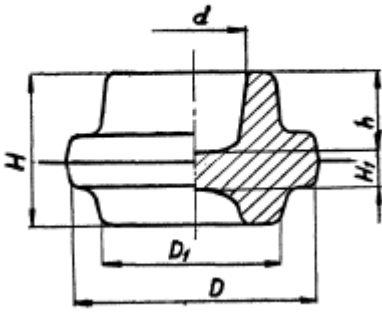
- 4 výkovky kruhového průřezu plné
- 5 výkovky kruhového průřezu duté
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 výkovky s ohnutou osou
- 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou

**13. Tvarová třída** — druhá číslice v číselném označení výkovku (x **X x x - x**)

Výkovky tvarového druhu 4, 5, 6, 7 a 8 se dále rozdělují do tvarových tříd:

x **X x x - x**

- 1 konstantní průřez
- 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 jednostranně osazené
- 4 oboustranně osazené
- 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 6 prosazené
- 7 kombinované
- 8 kombinované s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 9 členité (u tvarového druhu 8 — výkovky háků)
- 0 neobsazeno

Druh a třída 54	VÝKOVKY KRUHOVÉHO PRŮŘEZU DUTÉ Oboustranně osazené														
	$H_{max} = 5D$ $D_{max} = 4D_1$ $H_{max} = 10H_1$														
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Skupina</th> <th><math>H \leq D</math></th> <th><math>H &gt; 2H_1</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td><math>H \leq D</math></td> <td><math>H \leq 2H_1</math></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td><math>H \leq D</math></td> <td><math>H &gt; 2H_1</math></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td><math>H &gt; D</math></td> <td><math>D \leq 2D_1</math></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td><math>H &gt; D</math></td> <td><math>D &gt; 2D_1</math></td> </tr> </tbody> </table>	Skupina	$H \leq D$	$H > 2H_1$	1	$H \leq D$	$H \leq 2H_1$	2	$H \leq D$	$H > 2H_1$	3	$H > D$	$D \leq 2D_1$	4	$H > D$
Skupina	$H \leq D$	$H > 2H_1$													
1	$H \leq D$	$H \leq 2H_1$													
2	$H \leq D$	$H > 2H_1$													
3	$H > D$	$D \leq 2D_1$													
4	$H > D$	$D > 2D_1$													

Tab. 1. PŘÍDAVKY NA OBRÁBĚNÍ PLOCH PRO OBVYKLÉ PROVEDENÍ

Rozměry v mm

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	Přidavky na obrábění ploch							
	25	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



Tab. 5. NEJMENŠÍ TLOUŠŤKA DNA, BLÁNY, DISKU  $H_1$   
A STĚNY S VÝKOVKU

Rozměry v mm

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu ( $B, D$ )		Největší výška výkovku $H$							
		přes	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, disku $H_1$ a stěny $s$							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	5	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1000			25	30	35	40	50	60

Tab. 6. ÚKOSY

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

Tab. 7. STUPNĚ PŘESNOSTI PRO OBVYKLÉ, PŘESNÉ  
A VELMI PŘESNÉ PROVEDENÍ

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskupina	Technolo- gické hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥		⊥		⊥	
4; 6; 7	*	1; 5	*	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5	2; 3; 4	*	3; 4; 5	5	6	4	5	3	4
	9	6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

Tab. 10. MEZNÍ ÚCHYLKY A TOLERANCE ROZMĚRŮ VÝKOVKŮ  
PRO STUPEŇ PŘESNOSTI: 5

Rozměry v mm

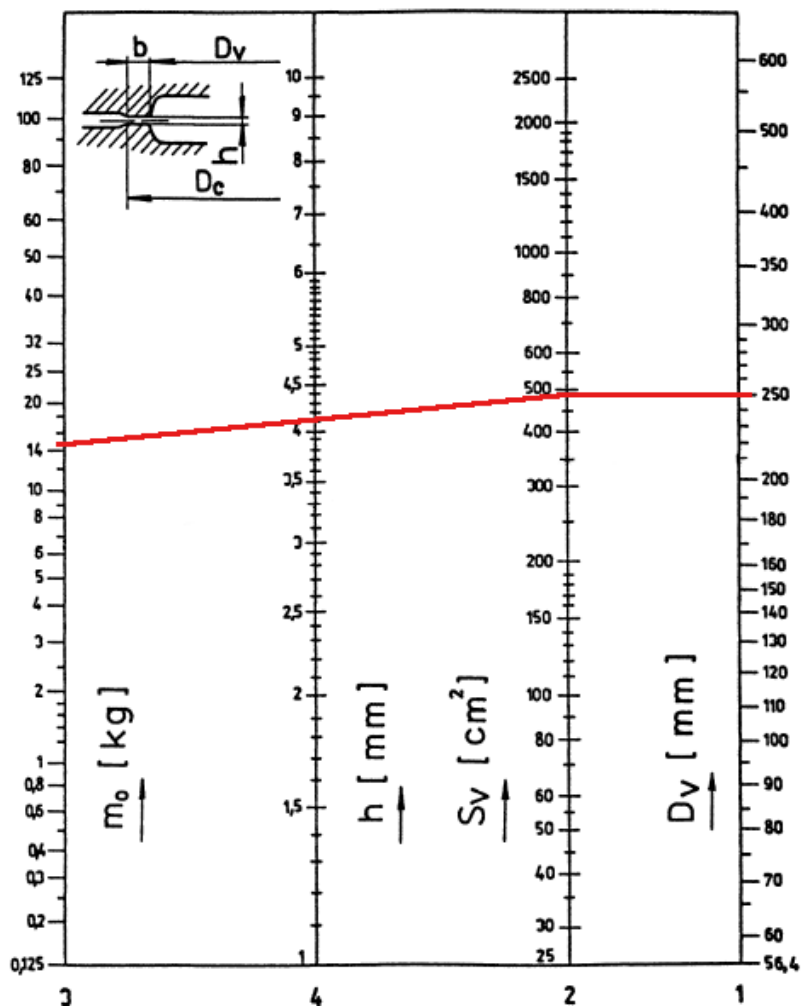
Největší průměr výkovku $D$ nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu ( $H$ )							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes do 25	Mezní úchytky	+0,6 -0,3	+0,6 -0,4	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+1,0 -0,4			
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6		
	Tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6		
	Tolerance	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,5 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0	+2,3 -1,2
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,5
přes 250 do 400	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,8 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,0	+2,3 -1,1	+2,6 -1,3
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9
přes 400 do 630	Mezní úchytky	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,6 -1,3	+3,0 -1,4
	Tolerance	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6	3,9	4,4
přes 630 do 1000	Mezní úchytky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,7 -1,4	+2,9 -1,4	+3,0 -1,5	+3,2 -1,6	+3,5 -1,8
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	5,3

Tab. 11. MEZNÍ ÚCHYLKY A TOLERANCE ROZMĚRŮ VÝKOVKŮ  
PRO STUPEŇ PŘESNOSTI: 6

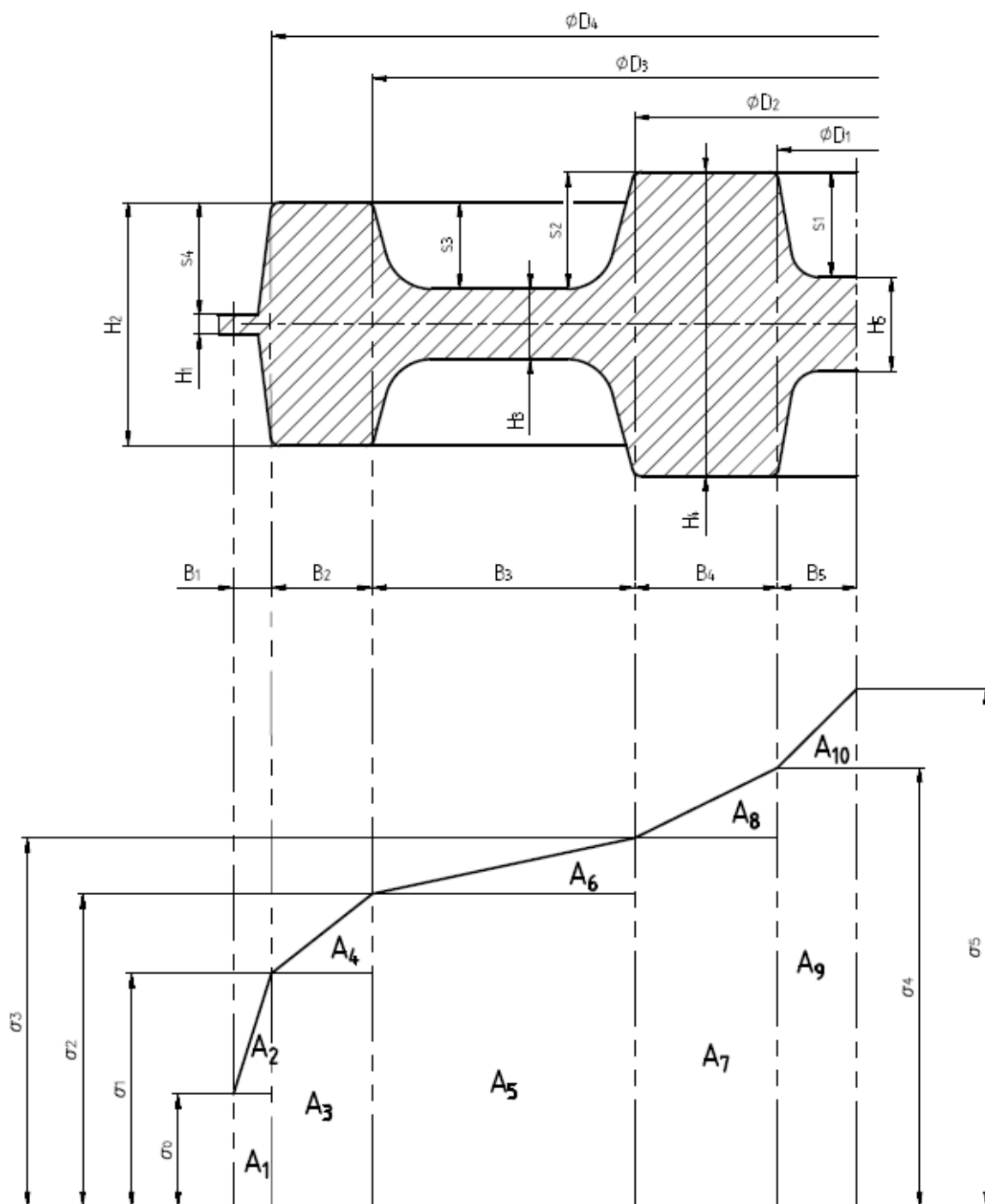
Rozměry v mm

Největší průměr výkovku $D$ nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu ( $H$ )							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes do 25	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7			
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,7	+1,8 -0,8		
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -1,0		
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,5 -1,2	
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,3	3,7	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,9 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,5 -1,2	+2,7 -1,4	
	Tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7	4,1	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+2,1 -1,1	+2,2 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,3	+2,7 -1,4	+3,0 -1,5	+3,4 -1,7
	Tolerance	3,2	3,3	3,4	3,6	3,8	4,1	4,5	5,1
přes 250 do 400	Mezní úchytky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,8 -1,4	+2,9 -1,5	+3,1 -1,6	+3,4 -1,7	+3,8 -1,9
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	5,1	5,7
přes 400 do 630	Mezní úchytky	+3,1 -1,5	+3,1 -1,6	+3,2 -1,6	+3,3 -1,7	+3,5 -1,7	+3,7 -1,8	+3,9 -2,0	+4,3 -2,2
	Tolerance	4,6	4,7	4,8	5,0	5,2	5,5	5,9	6,5
přes 630 do 1000	Mezní úchytky	+4,1 -2,1	+4,2 -2,1	+4,2 -2,2	+4,4 -2,2	+4,5 -2,3	+4,7 -2,4	+5,0 -2,5	+5,4 -2,7
	Tolerance	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8	7,1	7,5	8,1

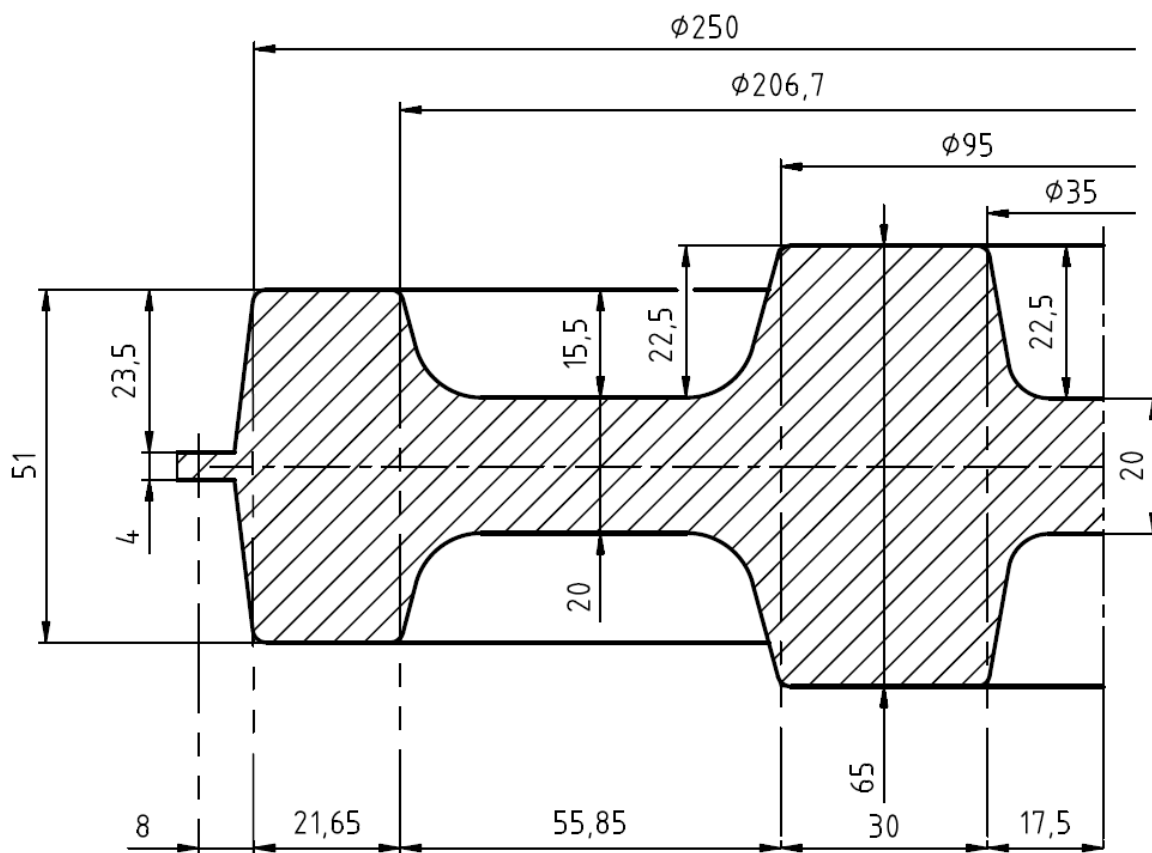
Nomogram pro stanovení velikosti výšky můstku výronku [22]



Grafické znázornění výpočtu kovací síly podle Tomlenova



Grafické znázornění výpočtu kovací síly podle Tomlenova



**Tělesa**  
Součást  Aktualizovat

**Materiál**  
Ocel, kovaná  Schránka

**Hustota** **Požadovaná přesnost**  
7,850 g/cm<sup>3</sup>  Nízká

**Obecné vlastnosti**

		Těžiště	
Hmotnost	13,858 kg (Relativn <input type="text"/>	X	0,000 mm (Relativn <input type="text"/>
Povrch	165494,930 mm <sup>2</sup> <input type="text"/>	Y	0,000 mm (Relativn <input type="text"/>
Objem	1765381,357 mm <sup>3</sup> <input type="text"/>	Z	0,000 mm (Relativn <input type="text"/>

**Vlastnosti setrvačnosti**

Hlavní		Globální	Těžiště
Hlavní momenty			
I1	115586,477 kg <input type="text"/>	I2	60547,955 kg m <sup>2</sup> <input type="text"/>
Rotace na hlavní			
Rx	0,00 deg (Relat <input type="text"/>	Ry	0,00 deg (Relat <input type="text"/>