



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# NÁVRH ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ PRO ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

DESIGN OF ROBOTIZED WORKPLACE FOR DIE FORGING

## DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radek Krejčí

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2019

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Radek Krejčí</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Kamil Podaný, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2018/19

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

## Návrh robotizovaného pracoviště pro zápustkové kování

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh robotizovaného pracoviště a technologie výroby kola objemovým tvářením za tepla. Součástka je prostorového tvaru a bude vyráběna technologií zápustkového kování. Na tuto problematiku a možnosti robotizace bude také zaměřena literární studie.

### Cíle diplomové práce:

- zhodnotit technologičnost kola,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje a kusovník,
- zpracovat návrh robotizovaného pracoviště,
- provést technicko–ekonomické hodnocení.

### 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.

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.

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.

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

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

KREJČÍ Radek: Návrh robotizovaného pracoviště pro zápustkové kování.

---

Práce se zabývá návrhem technologie výroby kola, které bude vyráběno zápustkovým kovááním z nízkolegované oceli 15 142 v množství 500 000 ks za rok. Na základě rozvahy vhodných metod výroby bylo jako optimální vybráno zápustkové kování na svislém kovacím lisu Jing Duann FP-1600G, což bylo doloženo nezbytnými technologickými a konstrukčními výkresy. Pro tento stroj byla navržena zápustka s vložkami z materiálu z oceli 19 552. Vzhledem k roční produkci byl proveden návrh plně automatizovaného pracoviště, které se bude skládat ze tří robotů, řetězového a článkového dopravníku. Na závěr bylo provedeno technicko–ekonomické zhodnocení nákladů na materiál polotovarů a ceny zápustek pro roční produkci.

Klíčová slova: Ocel 15 142, zápustkové kování, kovací lis, zápustka, robot, dopravník

## **ABSTRACT**

KREJČÍ Radek: Design of robotized workplace for die forging.

---

The thesis deals with the design of technology for production of wheels to be manufactured by die forging 15 142 low-alloy steel at an amount of 500,000 items per year. Based on a consideration of the suitable methods of manufacture, die forging on a Jing Duann FP-1600G vertical forging press was chosen as the best, as documented by the necessary technological and design drawings. A die with inserts made of 19 552 steel was designed for this machine. In view of the volume of annual production, a fully automated workplace was designed consisting of three robots and a chain and pan conveyor. In the conclusion there was a technical-economic evaluation of costs for the material of the semi-finished products and price of dies for annual production.

Keywords: 15 142 steel, die forging, forging press, die, robot, conveyor

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KREJČÍ, Radek. *Návrh robotizovaného pracoviště pro zápusťkové kování*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117038>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

## **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 ..... dne 24.5.2019

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat společnosti Del a.s. za poskytnutí informací a prostředků pro vypracování práce.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	10
<b>2 TECHNOLOGIE KOVÁNÍ A MANIPULACE</b> .....	12
<b>2.1 Návrh výkovku</b> .....	12
<b>2.2 Volba polotovaru</b> .....	15
<b>2.3 Zápustky</b> .....	17
2.3.1 Mazání .....	20
<b>2.4 Kovací síla</b> .....	21
<b>2.5 Dokončovací operace výkovků</b> .....	22
<b>2.6 Průmyslové roboty a manipulátory</b> .....	24
<b>2.7 Prostředky a zařízení hmotného toku</b> .....	27
<b>2.8 Technologičnost</b> .....	31
<b>3 NÁVRH VÝROBY</b> .....	32
<b>3.1 Stanovení mezních úchylek</b> .....	34
<b>3.2 Návrh výronkové drážky</b> .....	35
<b>3.3 Polotovar</b> .....	36
<b>3.4 Výpočet kovací síly</b> .....	38
<b>3.5 Návrh zápustek</b> .....	41
<b>3.6 Dokončovací operace výkovků</b> .....	45
<b>3.7 Technologický postup</b> .....	47
<b>3.8 Návrh robotizovaného pracoviště</b> .....	48
<b>4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	56
<b>5 ZÁVĚRY</b> .....	58

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů



## ÚVOD [1], [2], [3]

V běžném životě se využívají stroje a zařízení, do kterých se vyrábějí součástky technologiemi, jako jsou tváření, svařování a obrábění. Jednou z nejpoužívanějších ve strojírenství je objemové tváření za tepla. Jedná se o proces, při kterém se polotovary ohřeje nad teplotu rekrystalizace a mění se jeho tvar a mechanické vlastnosti působením vnějších sil. Základem je vznik plastických deformací při překročení meze kluzu daného materiálu.

Jednou z metod je kování, které se začalo využívat již v dávných dobách a sloužilo pro výrobu náradí, zbraní a šperků. Postupně se vyvinulo do zápusťkové varianty a získávaly se součástky složitějších tvarů (obr. 1). Výkovky mají přesnost od IT 12 do IT 16 a mezi jejich předností patří malá spotřeba materiálu, příznivý průběh vláken a ekonomický provoz. Vzhledem k dostačující přesnosti, malé odpadovosti atd. našly uplatnění v dopravních prostředcích, obráběcích, textilních a zemědělských strojích a tam, kde je potřeba velké množství tvarově shodných součástí.

Pro zefektivnění výroby se i u kovaných dílců začalo využívat robotizace (obr. 1), která při výrobě komplexního výrobku zvyšuje sériovost a udržuje stejnou kvalitu oproti ruční manipulaci. Robotizovaná pracoviště jsou navržena jako samostatně stojící zařízení pro montážní a transportní úkony bez zásahu obsluhy. Dokáží provádět kontrolu dílů pomocí kamerových systémů a vyhodnotit, které výrobky jsou dobré a které ne.



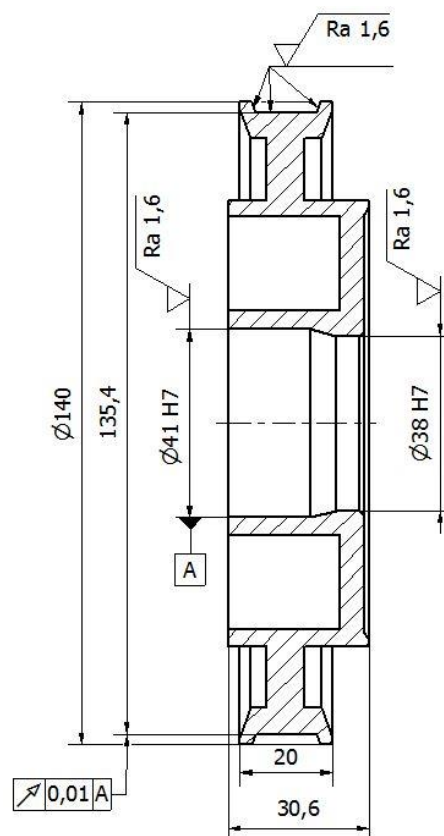
Obr. 1 Příklady výkovků a šestiosého kloubového robota [4], [5]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [6], [7], [8], [9]

Řešený výrobek je kolo (obr. 2) a nachází své uplatnění v převodovce nákladních automobilů. Základní rozměry a geometrie jsou znázorněny na obr. 3. Nepředepsané mezní úchytky rozměrů a geometrické tolerance vyráběné součásti jsou dle ČSN ISO 2768 - mK. Všechny rozměry jsou detailně okótovány na výkresu součásti A3-DP-01-170891 v příloze. Průchozí otvory o průměrech 41 mm a 38 mm mají toleranci H7 a drsnost Ra 1,6 μm, protože dosedají na hřídel. Drážka má předepsanou geometrickou toleranci házení vůči ose hřídele a drsnost povrchu Ra 1,6 μm. Série je zadána na 500 000 kusů za rok.



Obr. 2 Ukázka použití součástky [10], [11]



Obr. 3 Základní rozměry

Součástka je použita v převodovce a musí odolávat dynamickým rázům, mít vysokou mechanickou únosnost a příznivý průběh vláken. Bylo by vhodné, kdyby při výrobě docházelo ke zpevňování materiálu.

Pro výrobu kola je požadováno, aby byly splněny výše požadované vlastnosti. Jako nejvhodnější se jeví nízkolegovaná ušlechtilá chrom-molybdenová ocel 15 142, která se nejčastěji používá k zušlechťování a je vhodná pro namáhané strojní součástky. V zakaleném stavu odolává opotřebení a dosahuje tvrdosti okolo 58 HRC. Chemické složení je uvedeno v tab. 1. Povrchová úprava bude provedena ve formě černění.

Tab. 1 Chemické složení oceli 15 142 [6].

prvek	C	Si max.	Mn	P max.	S max.	Cr	Mo
chemické složení v hmot. %	0,36-0,47	max. 0,43	0,56-0,94	max. 0,03	max. 0,04	0,85-1,25	0,12-0,33

Ocel se obrábí ve stavu žíhaném na měkko a při nižších pevnostech se může obrábět i v zušlechtném stavu. Mechanické vlastnosti oceli jsou uvedeny v tab. 2. Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla je 850 až 1100 °C a údaje o tepelném zpracování udává tab. 3.

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 15 142 [6].

mechanické vlastnosti v zušlechtném stavu pro průměr ( $100 < d \leq 160$ ) mm				
$R_e$ min. [MPa]	$R_m$ [MPa]	A min. [%]	Z min. [%]	KV min. [J]
550	850	13	50	35

Tab. 3 Tepelné zpracování oceli 15 142 [6].

materiál	ocel 15 142				
tepelné zpracování	normalizační žíhání [°C]	žíhání na měkko [°C]	isotermické žíhání [°C]	kalení [°C]	popouštění [°C]
	850–880	680–720	800–900	820–860	540–680

Součástku by bylo možné zhotovit metodami odlévání nebo obrábění, ale při zohlednění zvoleného materiálu, velikosti série a odpadovosti jsou zcela nevhodné, neboť nesplňují rozměrovou přesnost, mechanických vlastností a ekonomičnost. Vzhledem k výše uvedeným požadovaným vlastnostem a zohledněním zvoleného materiálu se jeví jako nejvhodnější zápusťkové kování, kde se ohřátý polotovár na kovací teplotu vloží do zápusťky a působí se na něj tvářecím strojem. Protože povrch součástky má předepsanou drsnost a tolerance, bude na požadovaný tvar s tolerancemi doobroben.

Při procesu kování připadá v úvahu použít jako výrobní stroj lis nebo buchar. Pro zadanou nízkou a širokou součástku je vhodnější lis, navíc to odpovídá strojovému parku firmy. Disponují lisem kovacím od JING DUANN Machinery Industrial Co., Ltd. s označením FP – 1600G (obr. 4) a ostříhovacím od Chin Fong Machine Industrial Co., Ltd. s označením OCP – 200 (obr. 5), na které bude výroba přenesena bez dalších pořizovacích nákladů.



Obr. 4 Kovací lis Jing Duann FP-1600G [12] Obr. 5 Ostříhovací lis Chin Fong OCP-200 [13]

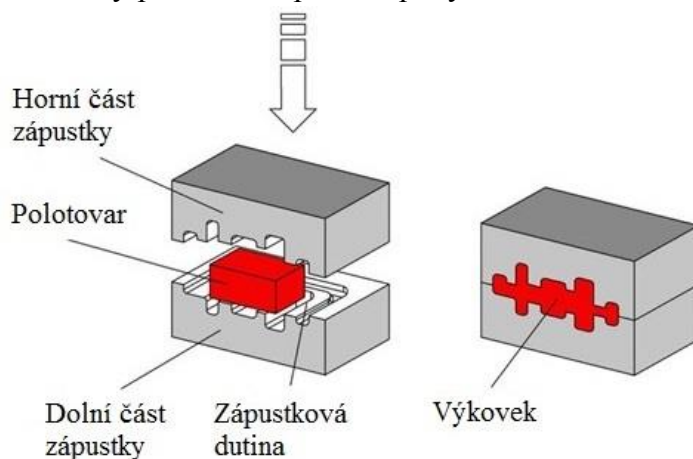
Protože se jedná o velkou sérii a je nedostatek pracovních sil, je v návrhu firmou požadováno, aby byl proces plně automatizovaný a osazen roboty a dopravníky. Pracoviště bude navrhováno ve spolupráci s firmou Del a.s. se sídlem ve Žďáru nad Sázavou, která byla založena v prosinci roku 1995. Výrobní program společnosti se dělí na 3 hlavní odvětví – engineering ve strojírenství, automatizace technologických procesů a výroba rozvaděčů a ovládacích pultů. Společnost zajišťuje dodávky komplexních technologických celků na klíč.

Dle požadavků zákazníka a rozboru tvaru součásti bude práce zaměřena na technologii zápusťkového kování na lisu s osazením roboty a dopravníky, na což se zaměří teoretická a praktická návrhová část této práce.

## 2 TECHNOLOGIE KOVÁNÍ A MANIPULACE [2], [14], [15], [16]

Technologie zápusťkového kování se řadí do strojního objemového tváření za tepla. Jako nástroj se používá zápusťka, která se skládá ze dvou částí. Horní část je pohyblivá a je upnuta v beranu lisu, dolní část je na stole lisu a je nepohyblivá. V zápusťce je dutina, která má tvar budoucího výkovku a vkládá se do ní přehřátý polotovár a pomocí pohybu beranu vznikne výrobek (obr. 6). Při návrhu objemového tváření za tepla je důležité uvážit technologický postup, ke kterému patří návrh výkovku, volba výchozího polotovaru, způsob dělení a ohřevu materiálu, výpočet potřebné kovací síly, volba stroje, způsob kování a konečné zpracování výkovku.

V kovárnách jsou extrémní teploty, hluk a znečištění. Z těchto důvodů se jedná o ideální místo pro robotickou automatizaci. Použitím průmyslových robotů dochází k optimalizaci produkce kovacích lisů a prodloužení životnosti nástrojů. Při určité výrobní sérii dochází ke snížení nákladů na výrobu jednoho výkovku a k přepravě mezi jednotlivými stoji se mohou použít dopravníky a skluzy.

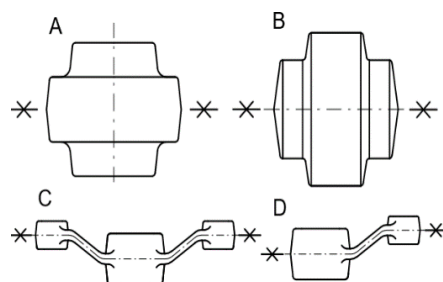


Obr. 6 Ukázka zápusťkového kování [17]

### 2.1 Návrh výkovku [2], [18], [19], [20]

Při návrhu rozměrů a tvarů výkovku se vychází z výkresu zadané součástky a provádí se dle několika základních pravidel. Doporučuje se přímá spolupráce konstruktéra a technologa, který může upravit tvar a tím zjednodušit postup kování. Před vlastním procesem je potřeba provést důležité volby a zařazení, mezi které patří:

- Dělicí rovina – jedná se o rovinu, která je mezi horní a dolní zápusťkou. Pokud je to možné, umísťuje se do osy souměrnosti z hlediska jednoduchosti tvaru. Umožňuje otevřít formu a snadno vyjmout výkovek z dutiny zápusťky. Poloha dělicí roviny vzhledem k výkovku může být kolmá k hlavní ose (obr. 7A) nebo ve směru hlavní osy (obr. 7B). Nemusí být vždy přímá, může být i zakřivená nebo lomená v jednom či více směrech (obr. 7C a D), ale jejich nevýhodou je vznik bočních sil, které nepříznivě působí na posouvání zápusťek.
- Zařazení dle složitosti tvaru – výkovek je označen pětímístným číslem dle normy ČSN 42 9002, který má tvar dle obr. 8 a slouží k určení tolerancí a mezních úchylek rozměrů výkovku. Tato norma je platná pro třídění zápusťkových výkovků z oceli a nezelezných kovů.
- Přidávky na obrábění – volí se, aby po obrobení byly dodrženy požadované rozměrové přesnosti, drsnosti a jakosti povrchu. Po kování jsou na povrchu výkovku vady a do určité hloubky je vrstva oceli oduhličena. Podle největšího průměru



Obr. 7 Příklady dělicích rovin [2]



Obr. 8 Označení výkovku [19]

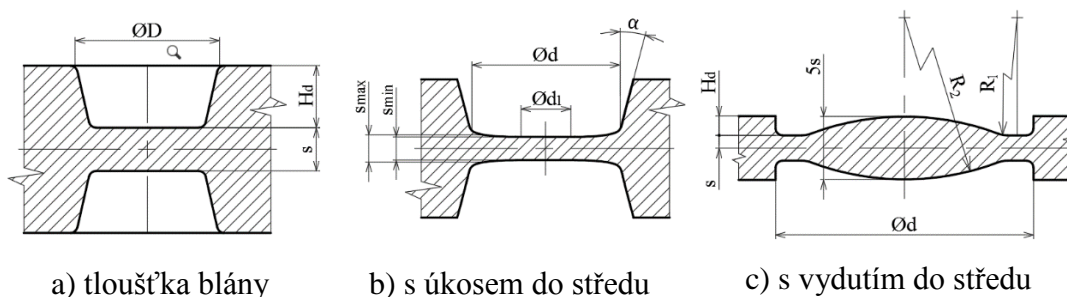


výrobku ve směru kolmém k rázu a z výšky jsou zvoleny přídatky na obrábění (tab. 4), které platí pro přesné provedení, což odpovídá zvolenému stroji.

Tab. 4 Přídatky na obrábění ploch pro přesné provedení [19].

největší průměr výrobku ve směru kolmém k rázu [mm]		největší výška hotového výrobku [mm]							
		-	25	40	63	100	160	250	400
do 25		40	63	100	160	250	400	630	
od	do	přídatky na obrábění ploch [mm]							
-	25	1,3	1,3	1,8	1,8	1,8			
25	40	1,3	1,8	1,8	1,8	2,2	2,2		
40	63	1,8	1,8	1,8	2,2	2,2	2,2		
63	100	1,8	1,8	2,2	2,2	2,2	2,7	3,2	
100	160	1,8	2,2	2,2	2,2	2,7	3,2	3,2	
160	250	2,2	2,2	2,2	2,7	3,2	3,2	3,5	4,0

- Technologické přídatky – navrhují se kvůli zjednodušení tvaru výkovku, zvláště u částí, které se nedají vykovat nebo by jejich tvorba byla neekonomická. Jedná se o přídatky na složitost tvaru, pro vyjímání součástek, nebo pro předkování otvorů. Při kování tenkostěnných výkovků je potřeba dodržet minimální tloušťku dna a stěny. U příliš tenkých stěn dochází při kontaktu se zápustkou k rychlému chladnutí materiálu, což vede k zhoršení kování a dochází k opotřebování zápustky. Stanovení minimální tloušťky dna a stěny výkovku se volí z tab. 5. Pokud má výkovek otvor, je nutné stanovit tloušťku a tvar blány, která je po vykování ostříhnutá (obr. 9).



Obr. 9 Tvar blan u předkováných otvorů [20]

Tloušťka blány je možno určit z tab. 5 nebo výpočtem:

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{D - 0,25 \cdot H_d - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{H_d} \quad (2.1)$$

kde:  $s$  – tloušťka kovací blány [mm]

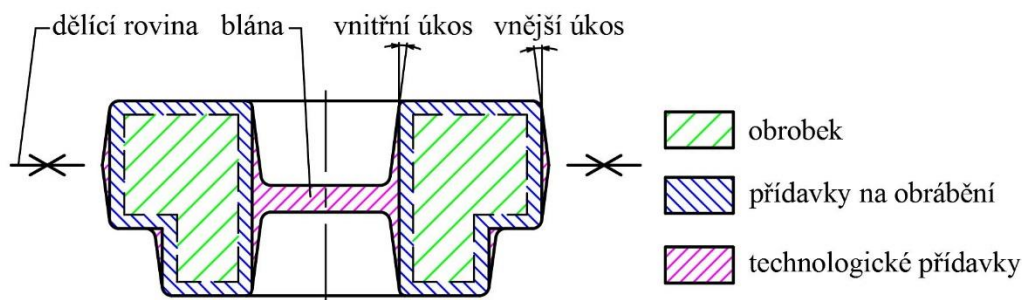
$D$  – průměr dutiny [mm]

$H_d$  – výška prvního osazení od dělicí roviny [mm]

Tab. 5 Nejmenší tloušťka dna blány a stěny výkovku [19].

střední hodnota průměru výkovku ve směru kolmo k rázu [mm]	výška výkovku ve směru rázu [mm]						
	-	10	25	40	63	100	160
do 10	25	40	63	100	160	250	
minimální tloušťka dna, blány a stěny [mm]							
do 40	4	5	6	7	9		
40 až 63	5	5	6	7	9	11	
63 až 100	5	6	7	9	11	13	15
100 až 160	6	7	9	11	13	15	17
160 až 250	8	9	11	13	15	17	20

- Úkosity – volí se, aby bylo možné výkovek snadno vyjmout z dutiny zápustky (obr. 10). Přidávají se na plochách, které jsou rovnoběžné s pohybem zápustky. Na vnitřních stěnách jsou větší než na vnějších z důvodu smršťování materiálu, při kterém dochází ke svírání výkovku s dutinou zápustky. Běžně se volí na vnějších 3° a na vnitřních 7°, případně dle kovacího stroje je lze zvolit z tab. 6.

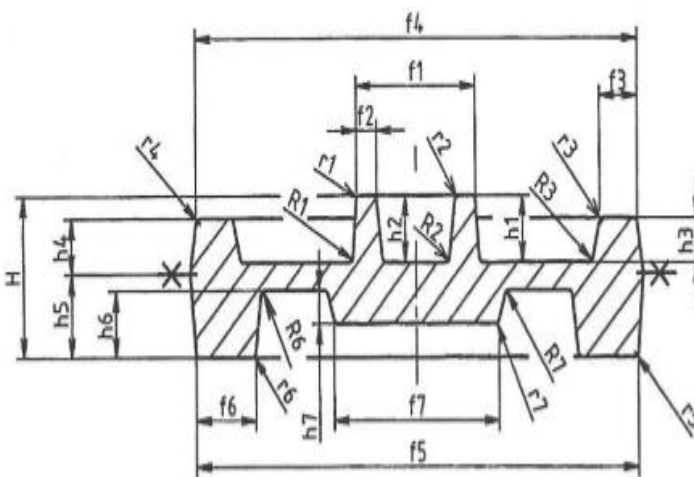


Obr. 10 Přidávky na výkovku [14]

Tab. 6 Úkosity u zápustkových výkovků [19].

stroj použitý při výrobě výkovku	úkos na stěně	
	vnější	vnitřní
buchar	7°	10°
lis bez vyhazovače	7°	10°
lis s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
vodorovný kovací stroj	0° až 5°	0° až 5°

- Zaoblení hran výkovku – zhotovuje se z důvodu snadnějšího toku materiálu v zápustce. Ostré hrany a rohy v dutině jsou koncentrátoři napětí, které způsobují prasknutí a rychlejší opotřebení zápustky. Nedostatečná zaoblení hran a rohů zvětšují odpory při tečení materiálu a na povrchu výkovku mohou vznikat zákovky. Určují se z poměru délky a výšky jednotlivých částí výkovku dle obr. 11 a jsou rozdílné pro vnější a vnitřní hrany. Volí se podle tab. 7, která vychází z normy ČSN 42 9030.



Obr. 11 Zaoblení hran výkovku [19]

Tab. 7 Zaoblení hran výkovku [19].

vnitřní poloměr r a vnější poloměr R při poměru [mm]		výška h [mm]						
		-	25	40	63	100	160	250
h/f ≤ 2	r	2	3	4	5	8	12	20
	R	6	8	10	12	20	30	50
2 < h/f ≤ 4	r	2	3	4	6	8	16	25
	R	8	10	12	20	25	45	75
h/f > 4	r	3	4	5	8	16	25	40
	R	10	12	20	25	40	65	100

- Stupeň přesnosti a provedení výkovku – volí se podle stroje a složitosti tvaru. Je popsána v normě ČSN 42 9030 a dělí se na obvyklé, přesné a velmi přesné a slouží pro určení mezních úchylek a tolerancí. Pro kovací lis se používá provedení 2, přesné, viz tab. 8.

Tab. 8 Stupeň přesnosti dle ČSN 42 9030 [19].

tvarový druh	tvarová třída	tvarová skupina	tvarová podskupina	technologické hledisko	stupeň přesnosti IT pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	//	⊥	//	⊥	//
4; 6; 7	1 až 9	1; 5	0 až 9	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; 9	1; 5	0 až 9	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	0 až 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	0 až 9	1 až 9	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	0 až 9	1 až 9	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	1 až 9	1; 2; 3; 4	0 až 9	1 až 9	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

legenda: ⊥ – kolmo k rázu; // – ve směru rázu

## 2.2 Volba polotovaru [2], [20], [21]

Pro zápuštkové kování se nejčastěji využívá polotovar, který má kruhový nebo čtvercový průřez a dodává se ve formě tyčí v délkách od 2 m do 12 m. Aby se mohly určit výchozí rozměry polotovaru, musí se určit objem výkovku 'V<sub>c</sub>':

$$V_c = V_0 = V_v + V_{výr} + V_p = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0 \quad (2.2)$$

kde: V<sub>0</sub> – objem polotovaru [mm<sup>3</sup>]  
V<sub>v</sub> – objem výkovku bez výronku [mm<sup>3</sup>]  
V<sub>výr</sub> – objem výronku [mm<sup>3</sup>]  
V<sub>p</sub> – objem přídavku na propal [mm<sup>3</sup>]  
D<sub>0</sub> – průměr polotovaru [mm]  
L<sub>0</sub> – délka polotovaru [mm]

Rozměry polotovaru musí splňovat štíhlostní podmínku. Pokud se nedodrží, může dojít při petchování ke ztrátě stability a vybočení do stran. Proto musí být štíhlostní poměr 'λ' v rozmezí 1,5 až 2,8 a vypočítá se podle vztahu:

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} \quad [-] \quad (2.3)$$

Úpravou vzorce (2.3) a dosazením do vzorce (2.2) se získá předběžný průměr 'D<sub>0p</sub>':

$$D_{0p} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot \lambda}} \quad [mm^2] \quad (2.4)$$

Tento předběžný průměr je zaokrouhlit a zvolit podle normalizovaných tyčí a k němu se vypočítá předběžná délka 'L<sub>0p</sub>':

$$L_{0p} = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} \quad [mm^2] \quad (2.5)$$

Hmotnost polotovaru 'm<sub>p</sub>' se vypočítá podle:

$$m_p = \rho \cdot V_0 \quad [kg] \quad (2.6)$$

kde:  $\rho$  – měrná hmotnost materiálu [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

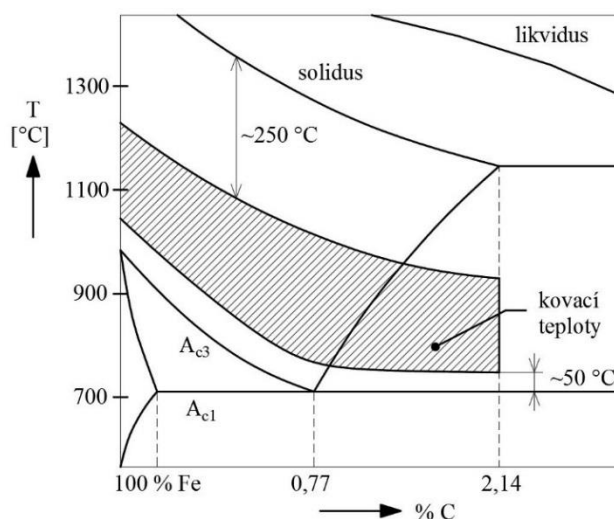
Po zjištění délky a průměru polotovaru je potřeba ho před vlastním procesem nadělit a lze uvažovat o metodách:

- Řezání – k dělení materiálu se používají strojní pily rámové, kotoučové a pásové. Materiál se odebírá pomocí břitů a z místa řezu odchází ve tvaru třísek. Nevýhodou je, že v místě řezu vzniká prořez, který je dán tloušťkou řezného nástroje.
- Stříhání – jedná se o nejjednodušší, nejlevnější a nejvýkonnější způsob dělení materiálu. V místě dělení materiálů nevzniká žádný odpad, ale problémem je nižší kvalita střížné plochy. Pro stříhání plných profilů se používají nůžky.

Aby byly dodrženy technologické podmínky kování, je potřeba zvolit správnou kovací teplotu, která závisí na chemickém složení oceli. Měla by se pohybovat mezi horní a dolní tvářecí teplotou, viz obr. 12. Dolní tvářecí teplota je nejnižší dovolená teplota při tváření a nachází se přibližně 50 °C nad teplotou rekrytalizace. Ta je u padeutektických ocelí nad teplotou A<sub>c3</sub> a u nadeutektických ocelí nad teplotou A<sub>c1</sub>. Horní tvářecí teplota je maximální dovolená teplota při tváření a nachází se přibližně 200 až 300 °C pod křivkou solidu. Pokud dojde k překročení horní tvářecí teploty, začne se ve velkém tvořit opal a hrubne zrna.

Ohřátí na kovací teplotu je potřeba dosáhnout v co nejkratším čase, aby se neohrozila vnitřní a povrchová jakost. Mezi základní problémy při ohřívání polotovaru patří:

- Opal – vzniká při oxidaci povrchových vrstev v pecní atmosféře, která obsahuje volný kyslík, oxid uhličitý a vodní páru. Největší vliv na vznik okují má teplota ohřevu, protože se začínají tvořit od teploty 700 °C a vznikají velmi pomalu. Při teplotě 1000 °C je jejich vznik velmi intenzivní. Další vliv na tvorbu okují má čas ohřevu a chemické složení.
- Oduhličení – je nepříznivým jevem při ohřevu v oxidační atmosféře. Působením oxidu uhličitého a vodní páry se ocel oduhličuje a tím se snižuje pevnost a povrchová tvrdost. Při horní tvářecí teplotě převládá oxidace a při dolní tvářecí teplotě oduhličení, které



Obr. 12 Kovací teploty uhlíkových ocelí [2]



může dosáhnout hloubky až 2 mm a je nutné ho odstranit obráběním. Přísadové prvky jako například křemík, molybden a wolfram podporují aktivitu uhlíku v austenitu a tím zvyšují oduhlíčení, kdežto chrom ho snižuje.

- Přehřátí – se projeví při ohřevu nad horní tvářecí teplotu, při kterém hrubne austenitické zrna. Při ochlazování vzniká jehlicovitá struktura, která snižuje houževnatost. Toto první stádium se nazývá přehřátí bez ovlivnění hranic a dá se napravit normalizačním žiháním. Druhé stádium je s ovlivněním a nenávratně znehodnocuje ocel. Síra se pod křivkou solidu rozpouští a difunduje na hranice zhrublého zrna austenitu. Vlivem ochlazování se vylučuje v podobě sulfidů, které snižují plastické vlastnosti oceli.
- Spálení – dochází k němu při ohřevu oceli na teplotu blízko teplotě tavení. Začnou se natavovat hranice austenitického zrna a síra s fosforem přechází difuzí zevnitř na hranice. Po ochlazení jsou na nich sirníky a místa, která jsou velmi obohacena fosforem. Taková ocel má zhoršené mechanické vlastnosti a je velmi křehká. Spálenou ocel není možné žádným způsobem opravit.

Pro dosažení teploty polotovaru u zápusťového kování je možno použít následující druhy ohřevů:

- Plynový – je ekonomický a mezi hlavní nevýhody patří velký propal, který je způsoben delším časem ohřevu.
- Odporový – teplo vzniká při průchodu elektrického proudu vodičem, který zahřívá polotovar. Vodiče mohou být ve tvaru spirál, tyčí nebo pásů a je možné libovolně upravit jejich tvar podle ohřívajícího polotovaru. metoda je vhodná pro malé tloušťky.
- Indukční – používá se pro rychlý a bezokujový ohřev stejných polotovarů v hromadné výrobě. Je vhodný pro kruhové a profilové ocelové přířezy kratších délek. Pokud jsou různé průměry ohřívajícího materiálu, volí se z hospodárneho důvodu různé kmitočty dle tab. 9, kde je patrné, že čím je průměr větší, tím je potřeba menší frekvence.

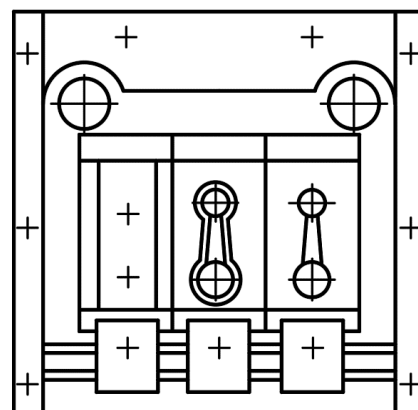
Tab. 9 Doporučené kmitočty pro různé průměry ocelových přířezů [1].

Kmitočet proudu [Hz]	600	1 000	2 000	4 000	10 000
Průměr ocelového přířezu [mm]	75-280	50-150	35-120	22-70	15-35

### 2.3 Zápusťky [2], [20], [22], [23]

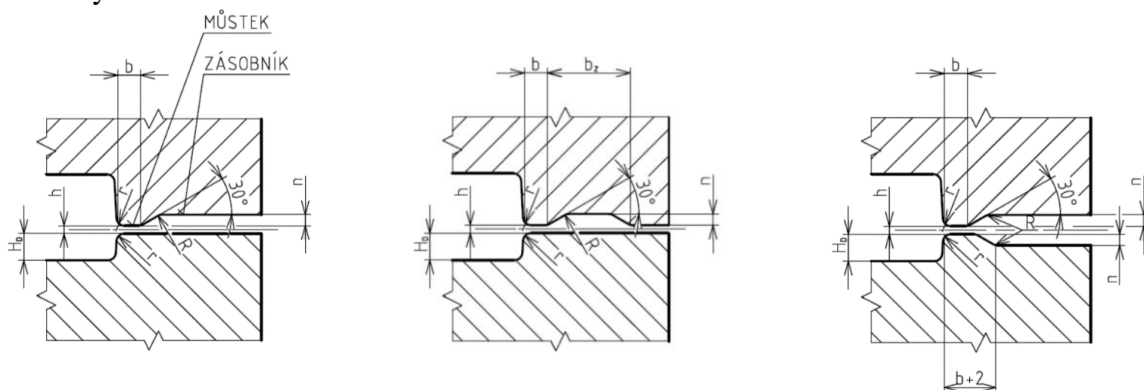
Při konstrukci nástrojů je důležité brát v úvahu jejich tvar, velikost a materiál nejen výkovku, ale i vlastní zápusťky. Kromě toho se musí zhodnotit způsob namáhání, požadovaná pevnost, počet výkovků a další parametry. Dle složitosti se rozděluje kování jedno nebo více dutinové (obr. 13) a protože na součástce jsou okraje, vždy je vhodné jako první zařadit pýchování, kde opadají. Další je předkovací, která se přibližuje finálnímu tvaru výkovku a poslední je dokončovací, která je umístěna v ose lisu kvůli největší tvářecí síle.

Horní a dolní díl zápusťky na sebe při sevření lisu nedosedá, protože je okolo celé dokončovací dutiny v dělicí rovině zhotovena otevřená výronková drážka, která se skládá z můstku a zásobníku. Můstek reguluje tlak a zvyšuje odpor proti vytečení materiálu do výronkové drážky a tím napomáhá dokonalému zaplnění dutiny zápusťky. Zásobník pohlcuje přebytečný materiál a doporučuje se umístit do horní zápusťky, protože je méně



Obr. 13 Držák s vložkami [2]

tepelně namáhaná. Základní tvary výronkových drážek pro zápusťkové kování na lisech jsou zobrazeny na obr. 14.



a) typ I. – obvyklý

b) typ II. – velké vzdálenosti dutiny od okraje zápusťky

c) typ III. – velký přebytek materiálu

Obr. 14 Základní druhy výronkových drážek pro zápusťky svislých kovacíh lisů [23]

Rozměry výronkové drážky se určují podle normy ČSN 22 8306 na základě velikosti síly lisu (tab. 10) nebo podle nomogramu, viz norma. Výška můstku ‘h’ se vypočítá dle rovnice:

$$h = (0,012 \div 0,015) \cdot \sqrt{S_v} \text{ [mm]} \quad (2.7)$$

kde:  $S_v$  – průmět plochy výkovku do dělicí roviny [cm<sup>2</sup>]

Nejčastěji používaná výronková drážka je obvyklá (obr. 14a), jelikož má zásobník jen v horní zápusťce a ten se spočítá podle vztahu:

$$n = 0,4 \cdot h + 2 \quad (2.8)$$

kde:  $n$  – výška zásobníku [mm]

Poloměr přechodu z dutiny do můstku ‘r’ se vypočítá podle rovnice:

$$r = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_d \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

Tab. 10 Výronková drážka zápusťky pro lis [23].

Kovací síla	Můstek	Zásobník	
F [MN]	h [mm]	b [mm]	b <sub>z</sub> [mm]
2,5	1 až 1,5	3 až 5	25
6,3	1 až 2	5 až 7	25
10	1,5 až 2,5	5 až 7	30
16	2 až 3	6 až 8	32
25	2 až 4	7 až 10	38

Objemu výronku ‘ $V_{výr}$ ’ se vypočítá podle vztahu:

$$V_{výr} = O \cdot \left[ b \cdot h + \left( n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] \text{ [mm}^3\text{]} \quad (2.10)$$

kde:  $O$  – obvod výkovku bez blán a výronků [mm]

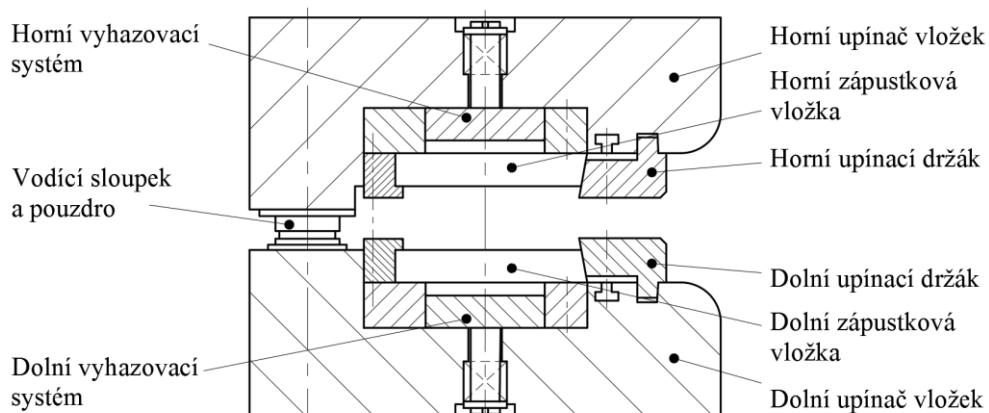
$b$  – šířka můstku [mm]

$B$  – šířka otřepu v zásobníku, viz tab. 11

Tab. 11 Šířka otřepu zásobníku [20].

Výkovek o hmotnosti [kg]	Šířka otřepu v zásobníku [mm]
do 0,5	10
do 2	15
nad 2	20

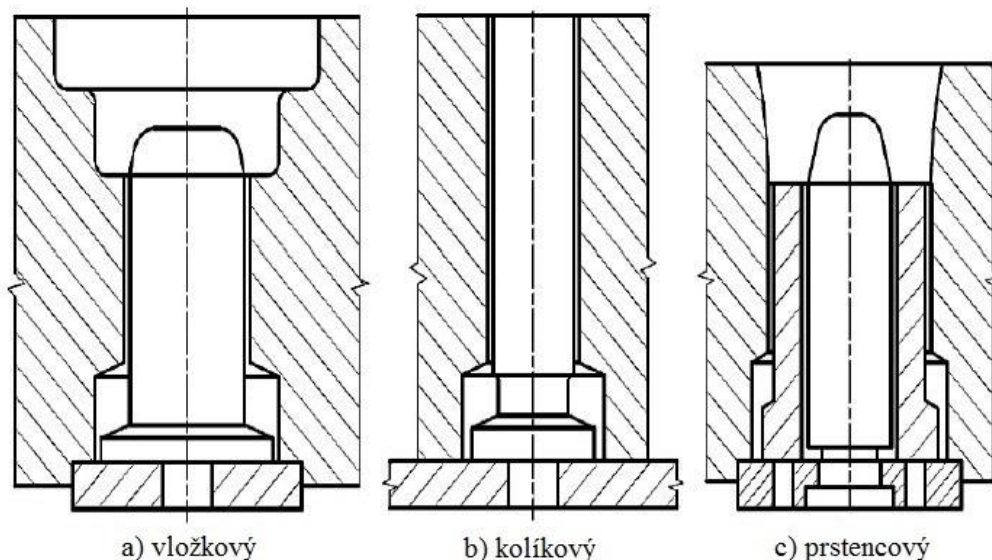
Zápustky jsou na kovací lisy upnuty pomocí držáků přes šrouby na horní a spodní části lisy. Upínání zápustek je zobrazeno na obr. 15.



Obr. 15 Upínání zápustek na svislých kovacích lisech [20]

Výkovek musí být snadno vyjmutelný z dutiny zápustky. Pokud v ní ulpívá musí být navržen vyhazovač, který zvyšuje životnost zápustky. Jednotlivé rozměry a velikosti vyhazovačů stanovuje norma ČSN 22 8306 a pro svislé kovací lisy jsou vhodné:

- Vložkový (obr. 16a) – využívá se jen mimořádně a je vhodné pro výkovky s blánou, která je posunutá do spodní části výkovku. Pokud vyhazovací kolík příliš zeslabuje vložku a je vhodnější vyhození celou plochou, pak se kove bez blány s vnitřním výronkem.
- Kolíkový (obr. 16b) – má využití jako středový, mimo středový nebo umístěný v ploše výronku (může působit na tvar, blánu nebo výronek).
- Prstencový (obr. 16c) – používá se, pokud mají výkovky charakteristické zahloubení ve středu výkovku. Průměry vyhazovače a předkovacího trnu se určí s ohledem na zjištěné přípustné tlaky, které jsou v dosedacích plochách.



Obr. 16 Vyhazovače pro svislé kovací lisy [23]

Při návrhu zápustky musí být brán velký ohled na materiál. Zápustky jsou během tváření namáhány nejen mechanicky, ale i tepelně. Mezi zápustkou a tvářeným materiálem vzniká tření, které opotřebovává dutinu. Materiál musí mít vysokou pevnost za tepla, tvrdost, houževnatost, odolnost proti otěru a dobrou obrobitelnost. Nejpoužívanější nástrojové oceli pro zápustky jsou uvedeny v příloze 1.

Velký vliv na hodnotu přetvárného odporu a toku materiálu má drsnost povrchu dutiny (hlavně v dokončovací) a je popsána normou ČSN 22 8306, viz tab. 12.

Tab. 12 Drsnosti ploch zápustek dle ČSN 22 8306 [23].

Plocha	R <sub>a</sub> [μm]	Plocha	R <sub>a</sub> [μm]
Předkovací dutina	1,6 až 3,2	Upínací plochy	1,6 až 3,2
Dokončovací dutina	0,8 až 3,2	Zásobník	12,5
Pomocná dutina	3,2 až 6,3	Vedení	1,6
Výronkový můstek	0,8 až 3,2	Dosedací plochy	1,6 až 3,2

Aby zápustky měly vysokou životnost, je nutné je ošetřovat následujícími způsoby:

- Předehřev zápustek – tepelné zpracování zápustek způsobuje u vysokolegovaných ocelí nízkou houževnatost, která během kování způsobuje vady. Aby nedocházelo k praskání zápustek, je nutné před kovááním zápustky rovnoměrně předehřát na teplotu 200 až 300 °C. Zařazení předehřevu je vhodné před započítím práce, při změně směny nebo o přestávkách.
- Chlazení zápustek – při dlouhé době styku výkovku se zápustkou může vzniknout přehřátí povrchu dutiny nástroje, při kterém dochází k velkému poklesu pevnosti a popouštění funkčních ploch, dále může docházet k překrytosti a ta je doprovázena objemovými změnami. K přehřívání dutin dochází především u poloautomatických nebo zcela automatizovaných kovacíh strojů a k intenzivnímu chlazení se používá např. voda.

### 2.3.1 Mazání [2], [23]

Použití maziva je důležité z hlediska správné technologie tváření, jelikož prodlužuje životnost zápustek, zlepšuje povrchové vlastnosti tvářených materiálů a snižuje velikost tvářecí práce (potřebné energie). Jeho úkolem je vytvořit filmy s optimálním koeficientem tření, který nevyvolává barevné změny na povrchu tvářeného materiálu, musí být stále v rozsahu teplot při tváření, snadno odstranitelné po použití z povrchu kovu a ekologické. Maziva se dají podle převažující funkce rozdělit na:

- látky s převažujícím mazacím účinkem – snižují tření mezi zápustkou a výkovkem.
- látky s převažovacím uvolňovacím účinkem – začnou hořet nebo se uvolňují při vysokých teplotách a vytváří plyny a vodní páru a tím napomáhají k uvolnění výkovku.

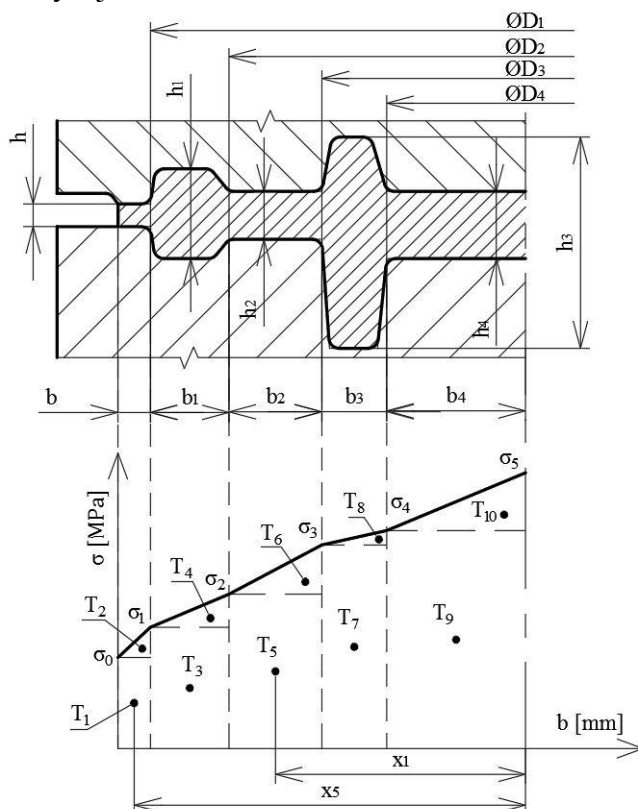
Z chemického hlediska se dělí na:

- Tuhá maziva – jedná se o nejpoužívanější druh a jako hlavní činitel mazání se používá grafit, který má velkou tepelnou stabilitu do teplot okolo 800 °C. Mezi další tuhá maziva patří slída, mastek, síra a sirníky.
- Kapalná maziva – jsou látky na bázi minerálních a organických olejů, syntetických látek a emulzí. Nevýhoda těchto maziv je nízká tepelná odolnost, která je okolo 200 °C, z tohoto důvodu se nepoužívají jako samostatná maziva, ale používají se jako nosiče tuhých maziv.
- Konzistentní maziva – jsou tuky a mýdla, které nemají v praxi moc velké využití. Musí se nanášet ručně a zanechávají tuhé zbytky po odpaření. Jediná výhoda těchto maziv je odolnost proti vysokým tlakům.
- Soli – při vysokých teplotách se odpařuje voda a zůstávají solné krystaly, které vytváří izolační vrstvu na funkčních plochách zápustky. Ta chrání dutinu před zakováním okují, protože na ni nemohou přilnout. Vrstva se dá odstranit ofoukáním, ale silně znečišťuje stroj svými korozními účinky.
- Piliny – při spalování vytváří plyny a vodní páry a tím napomáhají vyjmutí výkovku. Největší uplatnění mají při kováání v hlubokých zápustkových dutinách.

- Sklo – nanáší se na dutinu ve formě fólií nebo vaty v prchavém nosiči, který se při vysokých teplotách odpaří a zůstanou částičky skla, které se roztaví a vytvoří izolační vrstvu. Nevýhodou je, že zbytky skla se musí ze zápusky odstranit pískováním nebo oklepáním, aby neovlivňovaly rozměry dutiny.

## 2.4 Kovací síla [16], [23]

Pro určení velikosti lisu je potřeba vypočítat kovací sílu v dokončovací dutině, která je závislá na hmotnosti a tvaru výkovku, rozměru výronku, členitosti, tření a na přirozeném přetvárném odporu kovu při kovací teplotě. Dá se spočítat pomocí několika metod dle Storoževa, Brjuchanov–Rebelského, nomogramu, nebo Tomlenova (obr. 17), která má nejměrodatnější výsledky a je dána normou ČSN 22 8306.



Obr. 17 Nárůst normálových napětí směrem ke středu výkovku dle Tomlenova [23]

Normálové napětí v prvním a n-tém průřezu jsou dány vztahy:

$$\sigma_0 = \psi \cdot \sigma_s \text{ [MPa]} \quad (2.11)$$

kde:  $\psi$  – veličina vyjadřující vliv tření na vzrůst napětí [–]

$$\psi = 1 + 0,73 \cdot \mu \quad (2.12)$$

kde:  $\mu$  – koeficient tření [–]

$\sigma_s$  – základní přetvárný odpor, změněný o koeficient snížení plasticity [MPa]

$$\sigma_s = R_{mT} \cdot C_o \quad (2.13)$$

kde:  $R_{mT}$  – pevnost oceli za kovací teploty [MPa]

$C_o$  – součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot [–]

$$\sigma_n = \sigma_{n-1} + \sigma_s' \cdot \frac{b_{n-1}}{h_{n-1}} \text{ [MPa]} \quad (2.14)$$

kde:  $b_n$  – šířka průřezu [mm]

$h_n$  – výška průřezu [mm]

Kovací síla  $F_k$  je:

$$F_k = F_n + F_t \quad [N] \quad (2.15)$$

kde:  $F_n$  – velikost síly od normálových napětí [N]  
 $F_t$  – velikost síly od tangenciálních napětí [N]

Síla vznikající od normálových napětí ' $F_n$ ' je rovna objemu tělesa vzniklého rotací plochy ohraničené křivkou napětí a osou x kolem osy výkovku a je dána vztahem:

$$F_n = 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot A_i = V_n \quad [N] \quad (2.16)$$

kde:  $A_i$  – velikost dílčí plochy pod křivkou napětí [MPa · mm]  
 $x_i$  – vzdálenost těžiště plochy  $A_i$  od osy výkovku [mm]  
 $V_n$  – objem tělesa vzniklého rotací plochy ohraničené křivkou napětí a osou x kolem výkovku [mm<sup>3</sup>]

Vedle normálových napětí vznikají na povrchu výkovku také napětí tangenciální. Maximální hodnota tangenciálního napětí je rovna poloviční hodnotě pevnosti oceli za kovací teploty, potom síla vznikající od tangenciálního napětí ' $F_t$ ' je:

$$F_t = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^m \Delta S_i \quad [N] \quad (2.17)$$

kde:  $\Delta S_i$  – povrch dílčích bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky [mm<sup>2</sup>]

$$\Delta S_i = \pi \cdot D_{i+1} \cdot \Delta h_i \quad (2.18)$$

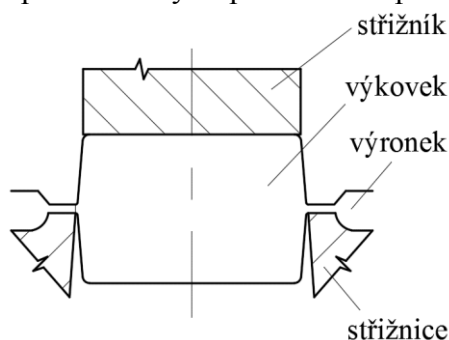
kde:  $\Delta h_i$  – výška dílčí boční plochy výkovku v pohybujícím se dílu zápustky [mm]

$D_{i+1}$  – průměr dílčí plochy v pohybujícím se dílu zápustky [mm]

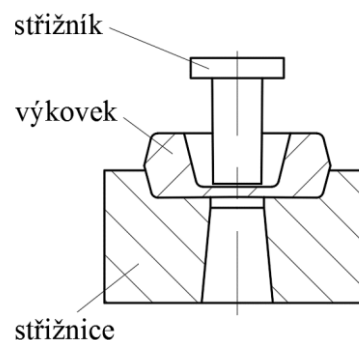
## 2.5 Dokončovací operace výkovků [2], [22], [23], [24]

Výkovek se musí po kování připravit na následné obrábění, jelikož může mít nevhodný tvar, znečištěný povrch, nežádoucí mechanické vlastnosti nebo zakované okraje v povrchu. Tyto vlastnosti jsou nevhodné pro obrábění, zhoršují a prodražují jeho proces, a proto je nutné provést operace:

- Ostříhování a děrování – přebytečný materiál zateče do vytvořené výronkové drážky a je ho potřeba odstranit. Tvar je zhotoven tak, aby šel jednoduše oddělit od výkovku a provádí se co nejbližše můstku, aby nevznikal přebytečný materiál, který by se musel dodatečně brousit (obr. 18). Pokud má výkovek předkovaný otvor, musí se provést děrování blány (obr. 19) a může se provádět nejen za studena, ale i za tepla, ale z důvodu nižší potřebné síly se provádí za tepla.



Obr. 18 Způsoby ostříhávání [2]



Obr. 19 Děrování [2]

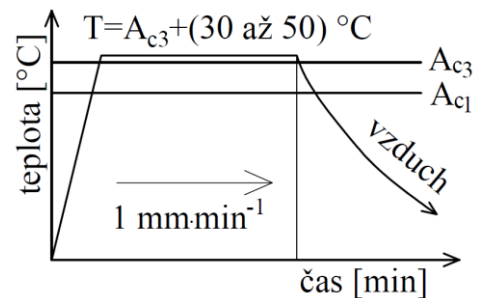


b) Čištění – z povrchu výkovku se musí odstranit okuje, nečistoty, rez a lokální povrchové vady. Mezi hlavní způsoby patří:

- Mechanické – první variantou je otryskávání, které se používá nejčastěji. Povrch výkovku je vystaven nárazům letících zrn (nejčastěji litinové broky nebo sekaný drát), které mají značnou rychlost a při dopadu drtí a odstraňují okuje. Druhý způsob je omílání, které se využívá spíše při čištění menších neželezných výkovků.
- Chemické – nejčastěji se používá moření v roztocích kyselin nebo zásad. Před samotným procesem je nutné výkovky odmastit, protože zbytky maziva zpomalují jeho průběh a zhoršují kvalitu povrchu. Jako poslední krok je vždy třeba provést oplach a neutralizaci povrchu. Další možnosti moření jsou v taveninách solí, plynech nebo párách a elektrolyticky.

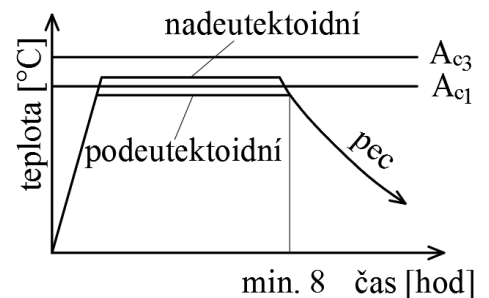
c) Tepelné zpracování – provádí se, aby se zlepšila obrobiteľnosť a mechanické vlastnosti výkovku, dále zabráňuje vnitřnímu pnutí a tvorbě vločkových trhlin. Mezi vhodné způsoby patří:

- Normalizační žíhání (obr. 20) – jedná se o nejobvyklejší druh tepelného zpracování u výkovků, kde lze předpokládat nesterjnorodou strukturu vlivem různých rychlostí ochlazování. Skládá z ohřevu na teplotu cca 30 až 50 °C nad teplotu rekrystalizace  $A_{c3}$ , popř.  $A_{cm}$ , na které se setrvá (obvykle 5 až 20 min.) a následným rovnoměrným ochlazením na vzduchu, aby byla zaručena stejná struktura jak na povrchu, tak i v jádru a výsledkem je zjemněná a zhomogenizovaná struktura.



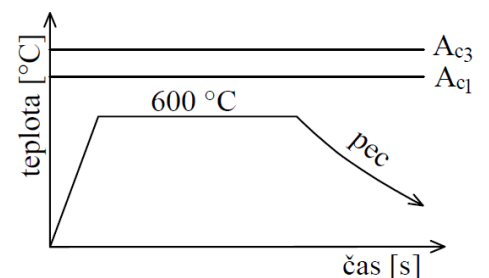
Obr. 20 Normalizační žíhání [24]

- Žíhání na měkko (obr. 21) – dochází k přeměně lamelárního perlitu na globulární a tím je součást lépe obrobiteľná. Podoctektoidní oceli se ohřívají těsně pod teplotu  $A_{c1}$  (650 až 720 °C), na které se setrvá 4 až 6 hodin s následným ochlazováním v peci na teplotu 450 až 550 °C. Pokud není požadavek na snížení pnutí, dále se dochlazuje na vzduchu. Nadeuctektoidní oceli se ohřívají těsně nad teplotu  $A_{c1}$ , kde částečná překrystalizace urychlí tvorbu globulárního cementitu.



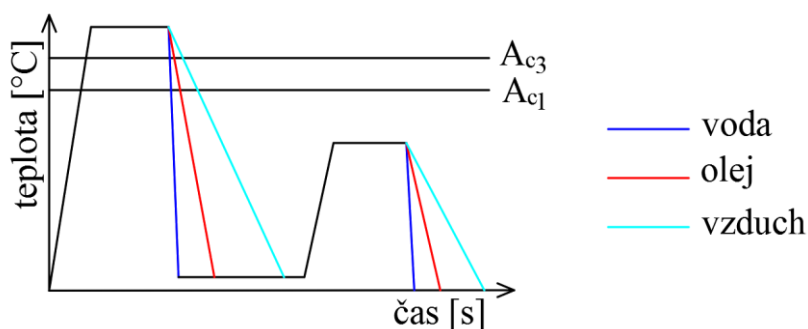
Obr. 21 Žíhání na měkko [24]

- Žíhání ke snížení pnutí (obr. 22) – při ochlazování výkovku dochází ke kumulaci vnitřních napětí, které je potřeba odstranit. To se provádí ohřevem na teplotu pod  $A_{c1}$  (pro uhlíkové a nízkolegované oceli v rozmezí 500 až 650 °C). Ohřev je pozvolný, s výdrží na teplotě po dobu 1 až 10 hodin. Ochlazování probíhá rovnoměrně v peci do teplot 250 až 300 °C, poté se může vytáhnout a ochladit na vzduchu.



Obr. 22 Žíhání ke snížení pnutí [24]

- Zušlechťování (obr. 23) – je druhé druhé nejpoužívanější po normalizačním žháním. V první fázi se kalí a výkovek je zahřát nad teplotu přeměny ( $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a více nad  $A_{c3}$  u podeutektoidních, nad  $A_{c1}$  u nadeutektoidních ocelí) s krátkou výdrží na této teplotě, poté následuje ochlazení v kalícím prostředí (klidný nebo dmýchaný vzduch, olej nebo voda). V druhé fázi se popouští, kde záleží na přesnosti provedení, protože výsledné mechanické vlastnosti jsou závislé na popouštěcí teplotě. Výkovek se ohřeje na popouštěcí teplotu a setrvá se na ní po dobu 0,5 až 2 hodiny, poté se ochlazuje na vzduchu. V případě slitinových ocelí, které obsahují Cr, Ni nebo Mn hrozí vznik popouštěcí křehkosti (pokles houževnatosti), a proto je nutné zvolit rychlejší způsob ochlazování v oleji nebo ve vzduchu.



Obr. 23 Zušlechťování [24]

## 2.6 Průmyslové roboty a manipulátory [25], [26], [27], [29]

Komplexní automatizace je jedním z rozhodujících prostředků rozvoje národního hospodářství, která zasahuje do všech odvětví. Průmyslové roboty a manipulátory patří k nejprogressivnějším prostředkům.

Průmyslový robot (obr. 24) je stroj, který obsahuje manipulátor s několika pohybovými osami a řídicím systémem a vykonává pohyby obdobné lidské paže či ruky. Čím dál více nahrazují lidského činitele při manipulaci s materiálem. Při spojení s pracovními a výrobními stroji nacházejí své uplatnění v různých výrobních technologiích. V kovárenství se používají při zakládání polotovarů a vyjímání hotových výkovek u kovacíh lisů, elektrických pecích a v dalších technologických operacích. Základní rozdělení (obr. 25) lze provést na:



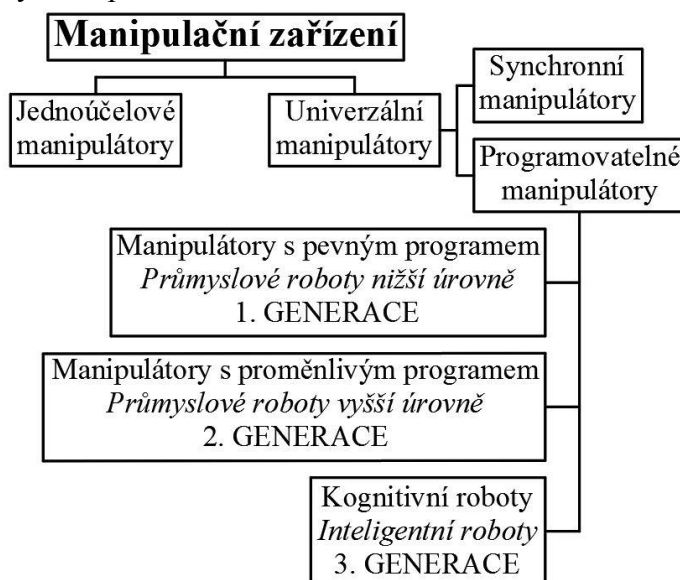
Obr. 24 Průmyslové roboty Kuka [30]

- Jednoučelové manipulátory – patří k nejjednodušším zařízením a většinou jsou součástí obsluhovaného stroje, který je řídí nebo mají vlastní pohon. Jejich funkce jsou omezené kvůli pracovnímu prostoru a počtu stupňů volnosti, proto se v automatizaci výroby používají jako podávací zařízení.
- Univerzální manipulátory – jsou zařízení vhodná k víceúčelovým pracím, které nejsou omezené typem strojů ani součástí, ale rozhodující jsou kinematické parametry (počet stupňů volnosti, druhy pohybů), přesnost polohování, maximální možné zatížení atd.
- Synchronní manipulátory – dále se nazývají teleoperátory nebo balancéry a představují manipulační zařízení řízené pracovníkem, které slouží jako zesilovací ústrojí pohybových a silových veličin.



d) Programovatelné manipulátory – lze je rozdělit do vývojových generací podle míry inteligence na:

- Průmyslové roboty 1. generace – mají programové řízení a jsou určeny pro vykonávání pevných postupných operací. Díky jednoduché změně programu jsou dostatečně univerzální a nejčastěji se používají pro pohybové úkony – zdvihnout a umístit. 1,5 generace pro svou činnost využívá senzory a vykonává funkci udělej a ověř.
- Průmyslové roboty 2. generace – oproti robotům 1,5 generace jsou vybaveny vnímavým systémem, mají víc senzorů, a to jak vnějších informací (hmatové, optické atd.), tak vnitřních (moment, tlak, poloha atd.). Řídicí systém je složitější a potřebuje vlastní počítač a mají koordinační systém „oko-ruka“.
- Kognitivní roboty 3. generace – jsou inteligentní a umí se adaptovat na změny v procesu výroby, vnímat prostředí, rozhodovat o činnostech a komunikovat s člověkem pomocí umělého nebo přirozeného jazyka. Řídicí systém těchto zařízení je velmi složitý a drahý a z těchto důvodů jsou určeny hlavně pro náhradu intelektuální a fyzické práce člověka.



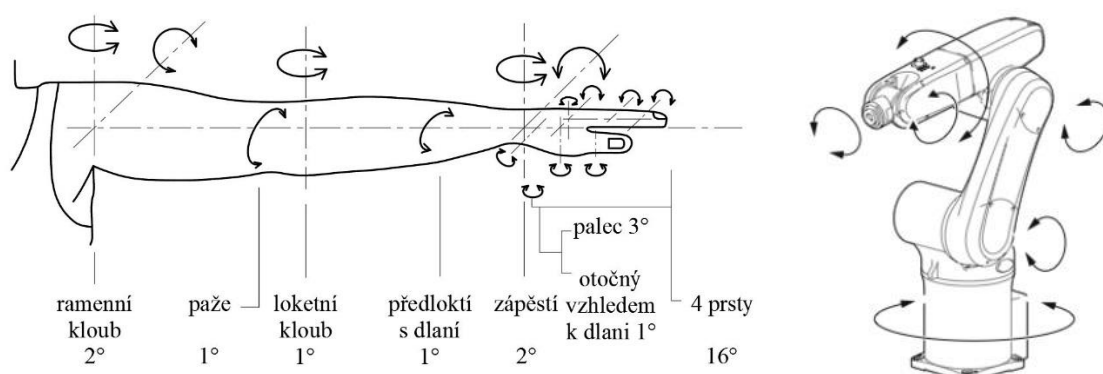
Obr. 25 Rozdělení manipulačních zařízení [29]

Průmyslové roboty používané v současné výrobní praxi se liší od ostatních manipulačních mechanismů hlavně úrovní řízení a mezi jejich přednosti patří:

- Univerzálnost – po změně chapadel, nástrojů nebo programu je možné zařízení využít pro jiné účely a na jiném pracovišti.
- Manipulační schopnost – tedy uchopovat a přenášet objekty nebo na nich provádět úpravy. Případně vykonávat montážní a manipulační činnosti s nástroji, tzn. vykonávat práci jako technologický robot.
- Schopnost samostatného chování – automaticky vykonávat složité posloupnosti úkolů podle programu. Důležité je vykonávat úkony, když není program pevně daný, ale je volitelný vlastním zařízením nebo člověkem.
- Integrovanost – je soustředěnost jednotlivých částí nejlépe do jednoho celku a netýká se řídicího systému, pokud je možné roboty ovládat bezdrátově. Jejím důsledkem je snadná transportovatelnost, pokud je požadováno, aby byl robot mobilní.
- Možnost vnímání – tedy vazba s prostředím pomocí senzorů napodobujících smysl člověka. Příkladem může být vizuální vazba pomocí kamer, která odpovídá zraku, akustické přijímače, které mají funkci sluchu a dotekové senzory, které zastupují hmat.

V některých případech se používá vazba čidly přenášející informace, jejichž příjem je pro člověka nemožný.

Označení robot se využívá pro manipulační techniku, která vykonává práci podobající se té lidské. Neznamená to však, že se svými manipulačními schopnostmi podobá schopnostem lidské ruky, která má od ramenního kloubu po konce všech prstů 27 ° volnosti (obr. 26), kdežto průmyslový robot (obr. 27) má pouze 6.

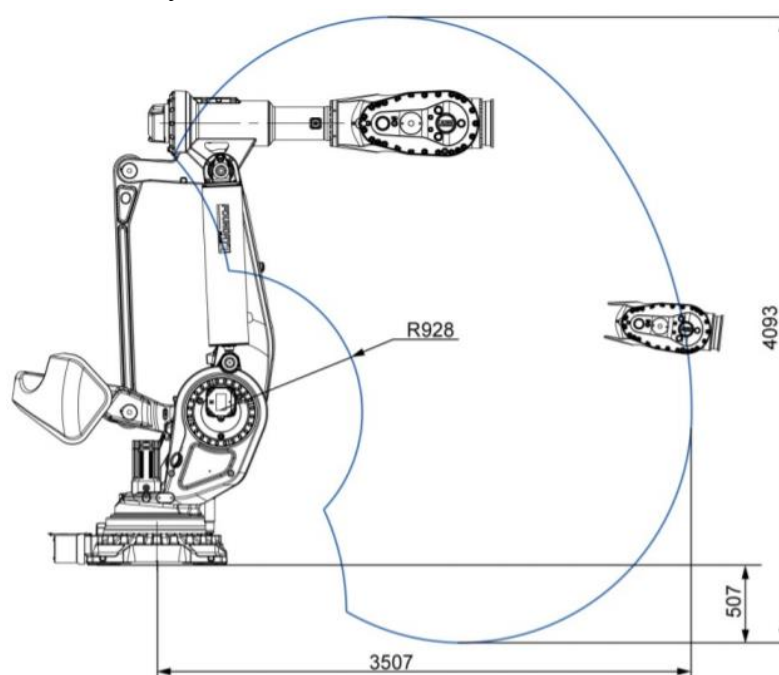


Obr. 26 Kinematické schéma lidské ruky [25]

Obr. 27 Kinematika robota [31]

Při výběru průmyslového robota se posuzuje celá řada aspektů pro vhodný výběr, mezi které patří:

- Stavba robota – je odvozena především od jeho kinematické struktury, která je závislá na použitých konstrukčních prvcích. Významnou veličinou je počet stupňů volnosti, kde běžné průmyslové roboty jich mají 5 až 6.
- Vlastní velikost a hmotnost – úzce souvisí se stavbou daného zařízení a jeho plánovaným využitím. Konstrukteři se snaží navrhovat pohybuující se části co nejlehčí při zachování potřebné tuhosti a pevnosti.
- Velikost obsluhovaného prostoru (obr. 28) – je spojená s velikostí průmyslového robota a kinematické struktury. Za základní prostor, který je obsluhován se dá považovat rozměr jednoho metru krychlového.



Obr. 28 Pracovní prostor robota ABB IRB 8700 [32]

- Hmotnost břemene – patří k základním parametrům určujícím možné použití zařízení. Výrobci do něho zahrnují i hmotnost uchopovacího mechanismu (výstupní hlavice), protože je maximální hmotnost manipulovatelného břemene vždy podstatně nižší.
- Dosahovaná přesnost – je velice důležitý údaj každého průmyslového robota. Výsledná přesnost je asi stokrát nižší než u výrobních strojů, protože se jedná o otevřený kinematický mechanismus. Běžné nastavení polohy je v rozmezí 1 mm až 5 mm a je závislé na odlehlosti koncového bodu ramene, zatížení a tuhosti jeho konstrukce. Proto je nutné sledovat, při jakém zatížení je možné dosáhnout požadované přesnosti udávané výrobcem.
- Rychlost pohybů – závisí na druhu použitého pohonu a na okamžitém zatížení robota ve vztahu k dosažitelné přesnosti. Při větším zatížení je obtížnější dosáhnout maximální rychlosti a požadované přesnosti. Základní hodnoty pro posuvný pohyb by měly být od 1 do 4 m·s<sup>-1</sup> a pro rotační pohyb od úhlu 90 do 360 ° za sekundu.
- Způsob pohonu – volí se vzhledem k potřebám a možnostem uživatele. Běžně se používají mechanické, pneumatické, hydraulické, elektrické a kombinované.
- Druh servopohonů a způsob odměřování – týká se vyšších typů pohonů (všech kromě mechanických) a pro uživatele se nejedná o rozhodující prvek. Znalost druhů a jednotlivých servosystémů je důležitá pro konstruktéry robotů.
- Vnímací subsystém – je závislý především na senzorech a odpovídá jednotlivým generacím průmyslových robotů.
- Řízení a komunikace s okolím – záleží na hardwarovém a softwarovém vybavením řídicího, akčního a vnímacího systému.
- Autonomnost – je výsledkem celého propojení a úrovně všech prvků akčního a kognitivního systému.

## 2.7 Prostředky a zařízení hmotného toku [28], [29]

Nejdůležitější prvkem vstupujícím v rámci výrobního procesu je realizace hmotného toku. V oblasti automatizace se využívají k přemísťování, otáčení, posuvům, zvedáním a dalším manipulačním úkonům, které jsou vykonávány s polotovary, hotovými výrobky, výrobními pomůckami nebo nástroji. V závislosti na délce manipulační dráhy a místa prováděné manipulace se tyto úkony dělí na:

- Transport, dopravu a mezioperační manipulaci – uskutečňuje se v jednotlivých technologických pracovištích, které mají různou délku a úroveň manipulačních drah.
- Operační manipulaci – uskutečňují se na konkrétních technologických pracovištích a jsou specifické podle druhu pracovních operací.

Tvar polotovaru nebo součásti určuje obtížnost směrové orientace a chování během manipulace a závisí na něm složitost konstrukčního řešení daných mechanismů. Tvarové rozdělení součástí se provádí především podle těchto hledisek:

- ❖ nutný počet směrových orientací, které zajišťují správnou polohu součástí.
- ❖ rozměry součástí
- ❖ vlastní tvar součástí (rotační, nerotační)

Rotační součásti se dají podle geometrického tvaru rozdělit do skupin:

- součásti s dvěma nebo více osami souměrnosti (nevyžadují směrovou orientaci)
- součásti, které mají jednu osu a jednu rovinu souměrnosti (vyžadují orientaci podle osy otáčení)
- součásti s jednou osou souměrnosti, která je shodná s osou otáčení (vyžadují dvojí orientaci – podle osy otáčení a roviny kolmé k ní)

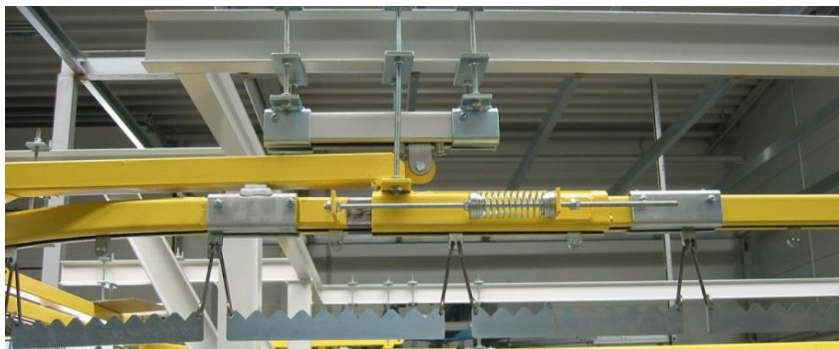
Automatizované pracoviště je ekonomicky nejúčinnější, pokud se podaří vytvořit ucelený, komplexní systém, který řeší vlastní technologické operace (včetně příslušné operační manipulace) a je propojený se sklady, mezisklady, expedicí a navazujícími technologiemi. Pro tyto účely se využívají transportní zařízení, které se dělí na:

- a) Dopravní žlaby a skluzy (obr. 29) – jsou nejjednodušší zařízení, po kterých se součástky smýkají vlivem gravitační síly (pokud mají rovnou plochu) nebo se valí (musí být schopny symetrického otáčení). Mohou být přímé, s oblouky nebo ve tvaru spirály a jejich průřez je otevřený nebo uzavřený. Pro dopravu tyčových polotovarů se používá uzavřený skluz, který zabraňuje zapříčení. Mezi jejich výhody patří nízké pořizovací náklady (jednoduchost výroby) s minimálními nároky a náklady na provoz a údržbu. Protože neobsahují pohyblivé součásti, jsou bezporuchové a mají vysokou životnost.



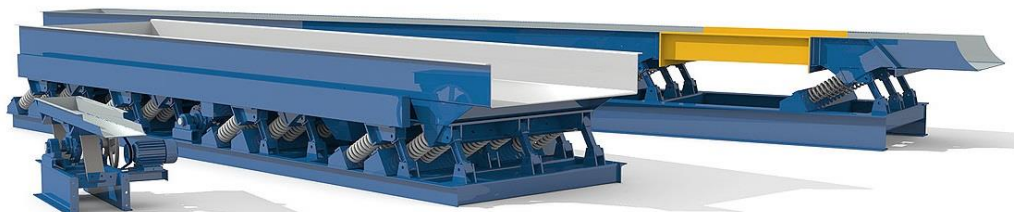
Obr. 29 Skluzy automatické třídící linky [33]

- b) Dopravníky – používají se, pokud není dostatečný spád pro gravitační skluz nebo je-li požadováno, aby byla součást na dalších místech ve zcela přesném časovém úseku. Pro tyto účely se mohou využít dopravníky:
- Podvěsné (obr. 30) – součásti jsou posunovány pomocí unašečů, které jsou taženy řetězem a mohou být doplněny o výhybky a automatické nastavování místa určení. Často jsou využívány u automatizované montáže větších dílců a celků.



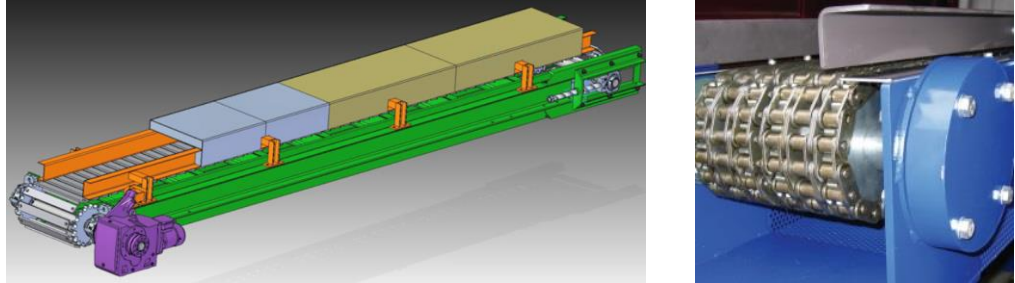
Obr. 30 Podvěsný dopravník [34]

- Vibrační (obr. 31) – jedná se o kombinaci poháněcího ústrojí a vodorovného nebo mírně nakloněného žlabu. Ten je umístěn na několika pružinách s určitým sklonem a je poháněn klikovým ústrojím, které v kombinaci s pružinami vyvíjí dvousměrně vratný pohyb a součásti jsou vrhány vpřed o malou vzdálenost. Jelikož nekloužou po žlabu, dochází k malému opotřebení, a proto jsou vhodné pro dopravu korozivzdorných, horkých nebo abrazivních materiálů.



Obr. 31 Vibrační dopravníky [35]

- Řetězové (obr. 32) – přepravují materiál pomocí víceřadých válečkových řetězů a používají se, pokud by přepravovaný materiál mechanicky nebo tepelně poškozoval pás. Mohou být vybaveny bočním vedením, které může být pevné nebo výškově i šířkově stavitelné.



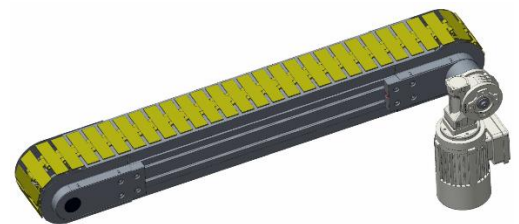
Obr. 32 Řetězový dopravník [36], [37]

- Pásové (obr. 33) – mohou mít různé vložky ke zpevnění pásů z pryže, umělých hmot, ocelových drátů či drátěného pletiva. Mohou využívat odbočky ze shazovacích ramen nebo sklopných nosných válečků a tím vytvořit rozvětvení na větší počet vedlejších drah.



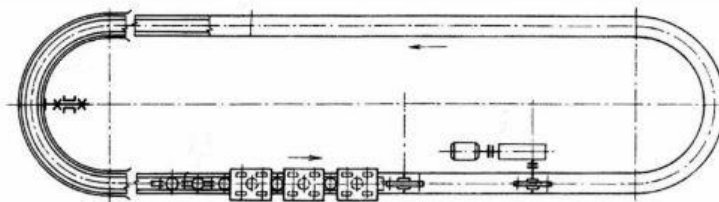
Obr. 33 Pásový dopravník [38]

- Článekové (obr. 34) – jsou složeny z obíhajícího tažného prostředku (jeden nebo dva kloubové řetězy), na kterém jsou připevněny nosné elementy (ocelové, hliníkové nebo plastové desky). Používají se např. pro průběžné postřikovací stroje pro odmaštění výlisků nebo jako mezioperační manipulace v kovárnách.



Obr. 34 Článekový dopravník [39]

- Okružní (obr. 35) – velmi často se používají v jednodráhovém, dvoudráhovém, nebo kapacitním provedení ve výrobních jednotkách technologií tváření a jednotlivé závěsy jsou taženy tažným prostředkem po vodící dráze.



Obr. 35 Okružní dopravník [40]

- Válečkové a kladičkové tratě (obr. 36) – využívají otočné válečky nebo kladičky místo hladké skluznice, po které se uskutečňoval pohyb u žlabů. Používají se k přepravě součástí, které mají alespoň jednu stranu rovnou a dostatečně tuhou. Sklon trati se upraví podle váhy součástí a tuhosti plochy ležících na válečcích nebo kladičkách. Jejich nevýhoda je, že se nehodí pro přepravu drobných, kulatých a válcových předmětů, nebo součástí s vnějšími výstupky.

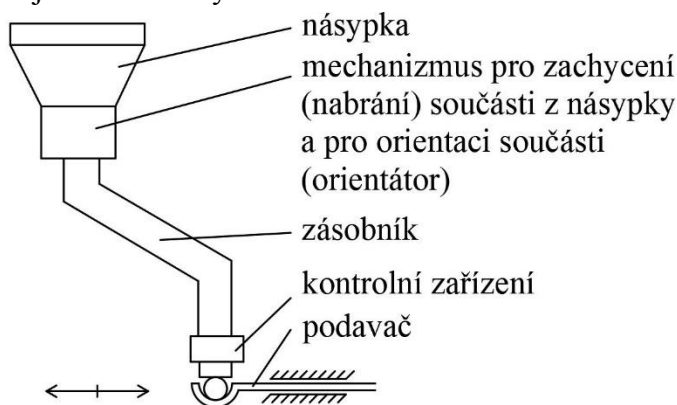


Obr. 36 Válečková trať [41]



Dále se používají násypky, zásobníky a zařízení pro skladování součástí (obr. 37) a slouží ke shromažďování součástí na automatizované výrobní lince nebo u jednotlivých strojů a můžou být potřebné z těchto důvodů:

- součásti nebo polotovary musí být na začátku automatizovaného úseku nebo u jednotlivých strojů připravené jako výrobní dávka (celý zásobník se naplní a v taktu se automaticky vyprázdní)
- hotové výrobky musí být shromážděny na konci automatizovaného úseku
- součásti musí být shromážděny mezi dvěma stanicemi, které jsou poháněny automaticky
- pokud mají stroje rozdílnou výkonnost



Obr. 37 Členění zařízení hmotného toku [28]

Mezi základní shromažďovací zařízení patří:

- a) Násypky – jsou zařízení ve kterých jsou polotovary shromažďovány v libovolné poloze (neuspořádaně, bez směrové orientace) a ty se dále dělí na násypky se součástmi, které vyžadují:

- pouze zachycení
- zachycení i orientaci
- zachycení i dvojí orientaci

Tvarově musí být řešeny tak, aby umožňovaly plynulý pohyb materiálu směrem k zachycovacímu mechanismu. Proto se využívají jednoduché geometrické tvary se šikmými stěnami – například komolý jehlan, kužel, válec, šikmá plocha apod. Většinou se zhotovují jako plechové výlisky nebo svařence z plechů.

- b) Zásobníky – od násypky se liší tím, že součásti v něm jsou prostorově orientovány pomocí mechanismu pro zachycení a orientaci. Dělí se na dvě hlavní skupiny:

- s otáčením součástí působením vlastní tíhy
- s nuceným pohybem otáčení (poháněné)

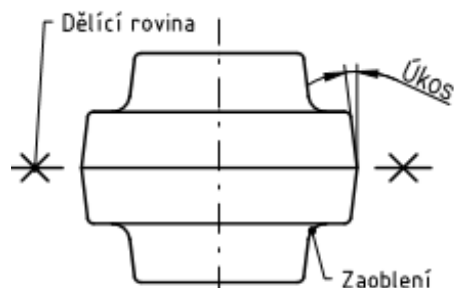
Protože jsou polotovary v násypce orientovány zcela nahodile, je malá pravděpodobnost, že budou při jednom pracovním zdvihu zachyceny. Znamenalo by to, že by byl stroj nepravidelně zásobován a proto se musí zásobníky používat a dělí se na žlabové, vibrační, trubkové, řetězové atd. Při stanovení jejich velikosti se vychází z konstrukce a parametrů zachycovacího mechanismu a velikosti násypky, která se určuje podle velikosti součástí a požadované zásoby pro stroj.

- c) Kontrolní zařízení – ověřuje, jestli je polotovar ve správné pozici. Pro tyto účely můžou být použity snímače, pokud jsou polotovary ohřáté, využívají se bezdotykové měřiče teploty.
- d) Podavač – nejčastěji se používá jednoúčelový manipulátor, který dostane pokyn od kontrolního zařízení a umístí polotovar do tvářecího stroje.

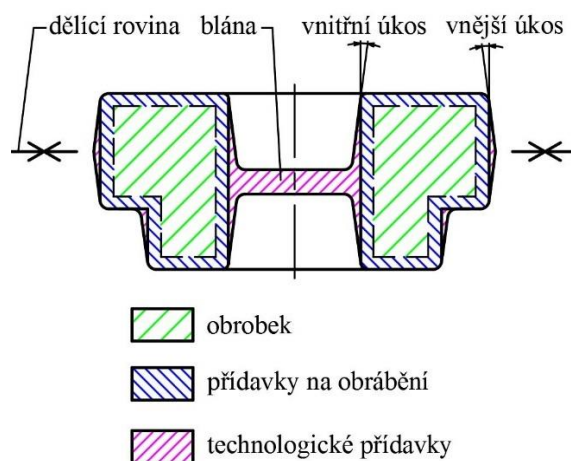
## 2.8 Technologičnost [1], [2], [14], [19], [42]

Aby nedocházelo k zakovávání okují, je vždy první operace pēchování. Dále je důležité, aby součástka byla kvalitní bez ošepů, přeložek a dalších vad, proto se musí dodržet základní pravidla výroby, mezi které patří:

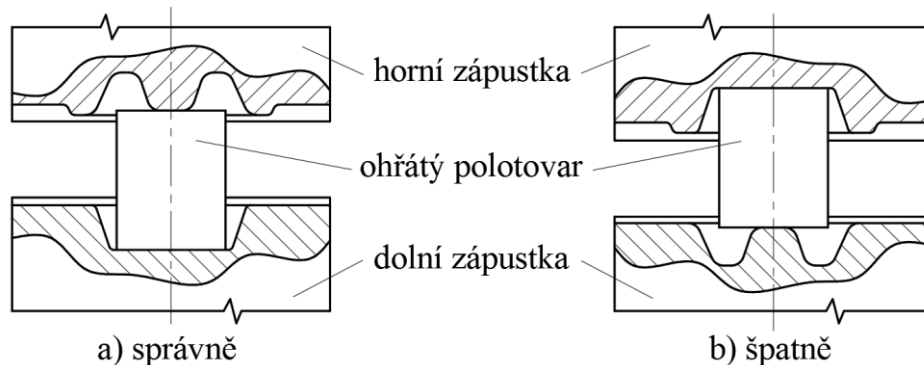
- Dělicí rovina (obr. 38) – měla by se volit co nejjednodušší, ideálně přímá, aby nevznikaly axiální síly.
- Přidavky na obrábění – používají se, pokud není zápustkovým kováním dosažená požadovaná rozměrová přesnost a finální tvar se doobrobí.
- Technologické přidavky – volí se podle složitosti tvaru součásti a počtu vyrobených kusů. Při velkém počtu vyrobených součástek se výkovek více podobá budoucímu výrobku. Vede to k úspoře materiálu, ale výroba zápustky je náročnější.
- Zaoblení – provádí se u ostrých hran a rohů kvůli snadnějšímu zatékání materiálu a menšímu opotřebení dutiny zápustky.
- Úkosy – zhotovují se kvůli snazšímu vyjmutí výkovku ze zápustky. Vnitřní úkosy mají větší hodnotu, protože vzniká sevření mezi výkovkem a zápustkou vlivem chladnutí.
- Blána – zhotovuje se, protože průchozí otvor nejde vykovat a jejich tvary jsou na obr. 9. Pokud je  $d - 1,25 \cdot R > 26$ , doporučuje se s úkosem do středu (obr. 9b). Při kování nízkých kruhových výkovků s velkým průměrem se doporučuje blána s vydutím do středu (obr. 9c) a příklad umístění blány je na obr. 39.
- Ustavení ohřátého polotovaru – musí být umístěn, aby byla zajištěna jeho poloha proti posunutí, viz obr. 40.



Obr. 38 Stanovení dělicí roviny [2]



Obr. 39 Přidavky [14]



Obr. 40 Ustavení polotovaru v zápustce [2]

### 3 NÁVRH VÝROBY [2], [14], [18], [20], [23], [42], [15]

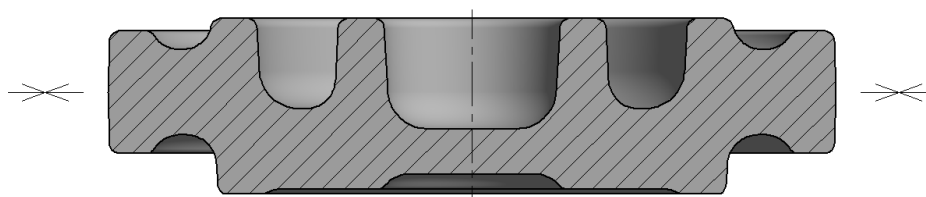
Zadanou součástí je kolo (obr. 41), které je součástí převodovky nákladních automobilů a při jeho výrobě je potřeba vycházet z konečného tvaru. Součást je rotačního tvaru s otvorem v ose souměrnosti. Zvolený materiál je nízkolegovaná ušlechtilá chrom–molybdenová ocel 15 142 a výrobní série je 500 000 kusů za rok. Vzhledem ke strojovému parku podniku se bude výkovek kovat pomocí svislého kovacího lisu.

Protože je nedostatek pracovních sil a v kovárnách jsou extrémní teploty, hluk a znečištění, bude navrženo robotizované pracoviště s dopravníky a skluzy.

Z hlediska zhodnocení technologičnosti patří součástka mezi nízké, kruhové s přechody, hranami a zaobleními, což se nedá u výkovků dodržet a musí se zvolit přídávky. Nedá se vykovat průchozí otvor, proto se musí zvolit blána. Z ostatních rozměrů a geometrie vyplývá, že problém je s dutinami, do kterých se musí navrhnout technologické přídávky. Vzhledem k požadovaným drsnostem povrchu a přesnostem finálního výrobku budou rozměry zvětšeny o přídavek na obrábění, který se po kování obrobí.

Při návrhu výroby je důležité dodržet několik technologických postupů a pravidel, mezi které patří:

- a) Dělicí rovina – je zvolena přímá, která je kolmá na rotační osu symetrie, viz obr. 42.



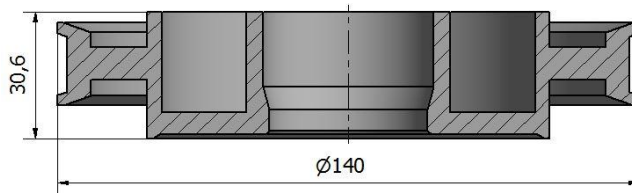
Obr. 42 Poloha dělicí roviny

- b) Zařazení výkovku dle tvarové složitosti – dle normy ČSN 42 9002 je zadaná součástka zařazena do jednotlivých skupin:

- tvarový druh – 5 – výkovek má kruhový průřez a je dutý
- tvarová třída – 4 – oboustranně osazený
- tvarová skupina – 2 –  $H \leq D$ ;  $H > 2 \cdot H_1$
- tvarová podskupina – 0 – bez přesahu
- technologické hledisko – 4 – dělicí rovina je kolmá k hlavní ose, podle které je výkovek nesouměrný

Výsledné označení výkovku je 5420-4.

- c) Přídávky na obrábění – zvolí se na základě největšího průměru ve směru kolmo k rázu a největší výšky hotového výrobku. Tyto rozměry jsou zobrazeny na obr. 43 a dle největších rozměrů hotového výrobku jsou zvoleny přídávky na obrábění z tab. 4 pro přesné provedení 2,2 mm.



Obr. 43 Největší rozměry kola



d) Technologické přídavky – upravují tvar výkovku, aby byl z hlediska kovárenské technologie zhotovitelný:

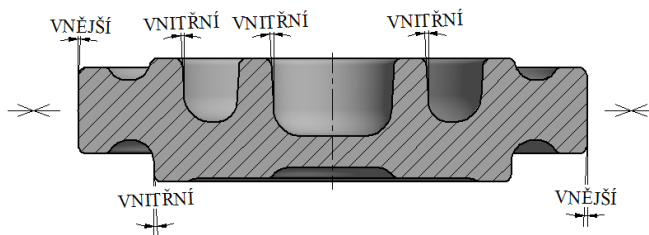
- Tloušťka blány – u zadaného kola je průchozí otvor o průměru 38 mm, do kterého je potřeba navrhnout blána, která se určí pomocí vzorce (2.1):

$$\begin{aligned} s &= 0,45 \cdot \sqrt{D - 0,25 \cdot h_d - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{h_d} \\ &= 0,45 \cdot \sqrt{38 - 0,25 \cdot 22 - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{22} \\ &= 5,17 \text{ mm} \end{aligned}$$

Vzhledem k minimální tloušťce blány dle tab. 5 je upravena na 9 mm.

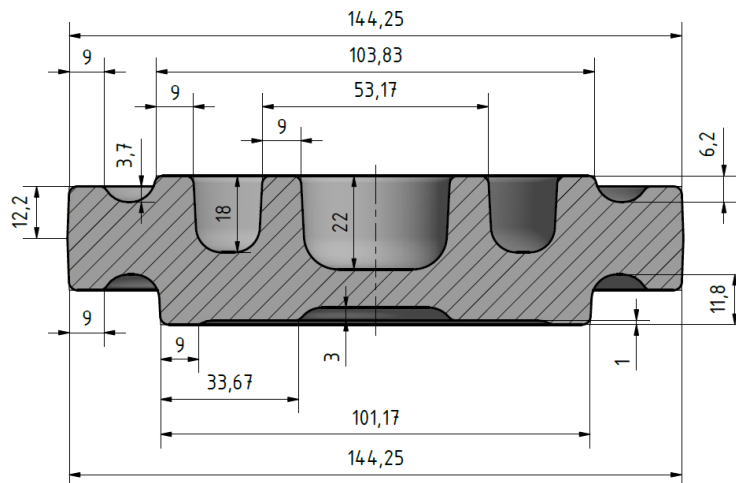
- Úkosy (obr. 44) – volí se na rovnoběžných plochách se směrem rázu pro snadnější vyjmutí výkovku. Vzhledem k volbě lisu s vyhazovačem se dle tab. 6 zvolí úkosy:

- vnější – 2°
- vnitřní – 3°



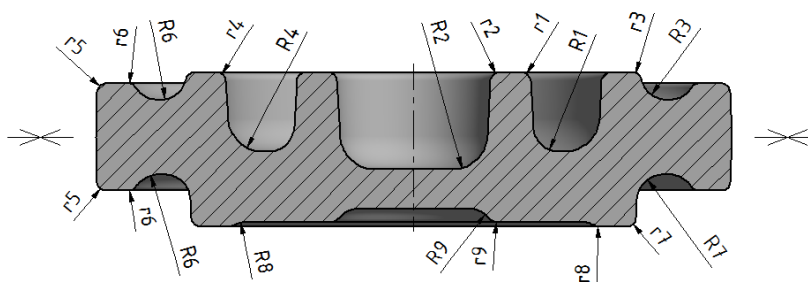
Obr. 44 Úkosy

- Zaoblení hran – navrhuje se kvůli vhodnému zatečení kovu. Zvolí se z velikosti poměru délky a výšky jednotlivých částí výkovku. Pro snadnější orientaci při výpočtech slouží obr. 11. Vypočítané poměry se porovnají s rozměry v tab. 7, případně se upraví tak, aby vyhovovaly poměrům v tabulce. Rozměry výkovku pro výpočet poměrů jsou na obr. 45.



Obr. 45 Rozměry výkovku pro určení zaoblení

Zaoblení zjišťovaných hran a přechodů je na obr. 46.



Obr. 46 Poloměry zaoblení výkovku

Zaoblení hran a přechodů se určí z:

$$\text{poměr } \frac{h}{f} \quad (3.1)$$

Například pro poloměr  $r_1$  a  $R_1$  platí, že  $h = 18 \text{ mm}$  a  $f = 53,17 \text{ mm}$ , z poměru vyšlo číslo 0,34, která se vyhledá v tab. 7 a je určeno zaoblení  $r_1 = 2 \text{ mm}$  a  $R_1 = 6 \text{ mm}$ .

$$\frac{18}{53,17} = 0,34 \quad \rightarrow \quad r_1 = 2 \text{ mm}, R_1 = 6 \text{ mm}$$

Analogicky to platí i pro další zaoblení dle obr. 45.

$$\frac{22}{9} = 2,44 \quad \rightarrow \quad r_2 = 2 \text{ mm}, R_2 = 8 \text{ mm}$$

$$\frac{6,2}{103,83} = 0,06 \quad \rightarrow \quad r_3 = 2 \text{ mm}, R_3 = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{18}{9} = 2 \quad \rightarrow \quad r_4 = 2 \text{ mm}, R_4 = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{12,2}{144,25} = 0,08 \quad \rightarrow \quad r_5 = 2 \text{ mm}$$

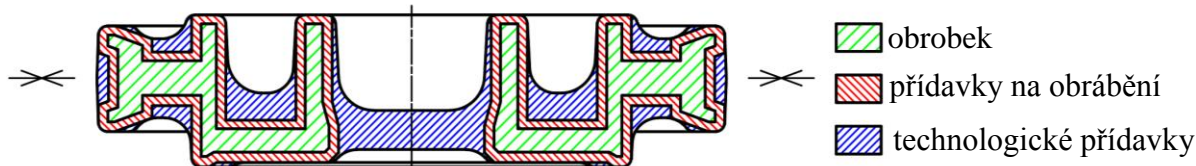
$$\frac{3,7}{9} = 0,41 \quad \rightarrow \quad r_6 = 2 \text{ mm}, R_6 = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{11,8}{101,17} = 0,12 \quad \rightarrow \quad r_7 = 2 \text{ mm}, R_7 = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{1}{9} = 0,11 \quad \rightarrow \quad r_8 = 2 \text{ mm}, R_8 = 6 \text{ mm}$$

$$\frac{3}{33,67} = 0,09 \quad \rightarrow \quad r_9 = 2 \text{ mm}, R_9 = 6 \text{ mm}$$

Přehled všech uplatněných přídavek je znázorněn na obr. 47, kde je vidět obrobek, přídávky na obrábění a technologické přídávky.



Obr. 47 Přídávky

### 3.1 Stanovení mezních úchylek [19], [23], [43]

Mezní úchytky a tolerance rozměrů se stanovují podle stupně přesnosti z největších rozměrů výkovku, které jsou ve směru a kolmo na směr rázu (tab. 8). Norma ČSN 42 9030 udává 5 stupňů přesnosti, které mají označení 3 až 7. Součást se bude kovat v přesném provedení, které je vhodné pro lis. Dle označení složitosti tvaru výkovku 5420-4 je z tab. 8 patrné, že stupeň přesnosti je IT 4 ve směru kolmo k rázu a IT 5 ve směru rázu. Odečtené hodnoty z tabulky v příloze 2 a 3 jsou:

- $\perp \rightarrow \begin{matrix} +0,7 \\ -0,3 \end{matrix}$
- $// \rightarrow \begin{matrix} +1,1 \\ -0,5 \end{matrix}$

Mezní úchytky poloměrů jsou určeny z tab. 13 dle normy ČSN 42 9030 za podmínky, že pro poloměry menší jak 3 mm se nepoužívají záporné.

Tab. 13 Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r [19].

Poloměr zaoblení [mm]		Mezní úchytky [mm]				Poloměr zaoblení [mm]		Mezní úchytky [mm]			
přes	do					přes	do				
0	10	+ 0,50	· R	+ 0,25	· r	32	100	+ 0,30	· R	+ 0,15	· r
		- 0,25		- 0,50						- 0,15	
10	32	+ 0,40		+ 0,20		100		+ 0,25		+ 0,10	
		- 0,20		- 0,40				- 0,10		- 0,25	

Na základě navržených zaoblení přechodů a hran byly dopočítány z tab. 12 úchytky:

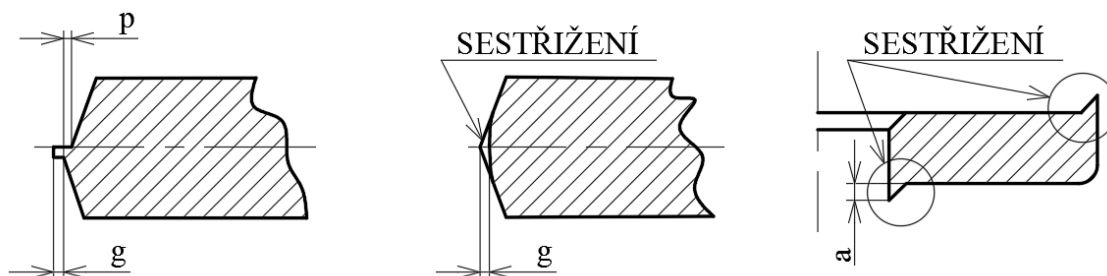
- $r_{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10} = 2_0^{+0,5} \text{ mm}$
- $R_{1,3,4,6,7,8,9,10} = 6_{-1,5}^{+3} \text{ mm}$
- $R_2 = 8_{-2}^{+4} \text{ mm}$

Při kování můžou vzniknout nedostatky (obr. 48), mezi které můžou dosahovat určitých hodnot a jedná se o dovozené přesazení 'p', ořep a sestřížení 'g' a jsou rovny minusové mezní úchytky, která je kolmá k rázu:

- $p = g = -0,6 \text{ mm}$

Dále to může být velikost jehly 'a', která je rovna plusové úchytky ve směru rázu:

- $a = 1,2 \text{ mm}$



Obr. 48 Úchytky tvaru výkovku [18]

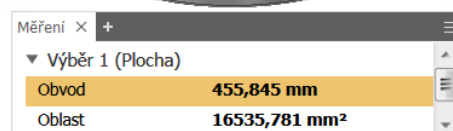
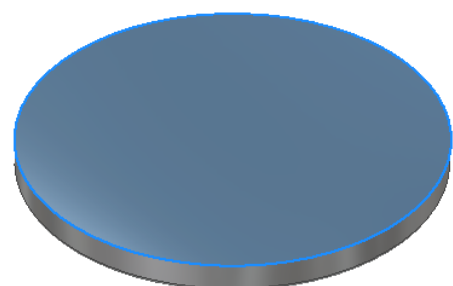
### 3.2 Návrh výronkové drážky [1], [2], [22], [23], [44]

Vzhledem ke zvolenému kovacímu lisu byla zvolena obvyklá výronková drážka, která patří mezi nejpoužívanější. Pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2019 (obr. 49) byly zjištěny parametry, které jsou potřeba k určení rozměrů:

- Plocha průřezu výkovku do dělicí roviny:  
 $S_v = 16535,78 \text{ mm}^2$
- Hmotnost výkovku  $m_0 = 2,97 \text{ kg}$
- Průměr průřezu výkovku  $D_v = 145,1 \text{ mm}$

Výška můstku se vypočítá dle rovnice (2.7):

$$\begin{aligned}
 h &= (0,012 \div 0,015) \cdot \sqrt{S_v} \\
 &= 0,015 \cdot \sqrt{16535,78} \\
 &= 1,9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



Obr. 49 Plocha průřezu výkovku

Z nomogramu dle normy ČSN 22 8306 byla zjištěna výška můstku  $h = 2,42$ . Hodnota se musí upravit podle zvoleného lisu a protože firma disponuje strojem, který se musí využít a má označení FP 1600G o síle 16 MN a tomu bude odpovídat tvar výronkové drážky dle tab. 10. Vypočítaná a zjištěná výška z nomogramu se musí pohybovat v rozmezí 2 až 3 a je zaokrouhlena na hodnotu  $h = 2,5$  mm.

Šířka můstku se spočítá z poměru šířky a výšky můstku, kde je maximální poměr 3:

$$b = h \cdot 3 = 2,5 \cdot 3 = 7,5 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Průměr výkovku s můstkem se vypočítá podle:

$$D_c = D_v + 2 \cdot b \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

$$D_c = 145,1 + 2 \cdot 7,5 = 160,1 \text{ mm}$$

Výška zásobníku se spočítá ze vzorce (2.8):

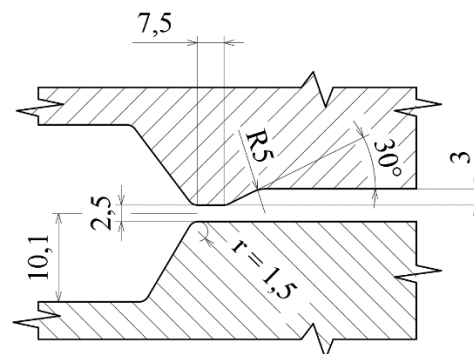
$$n = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 2,5 + 2 = 3 \text{ mm}$$

Poloměr přechodu z dutiny do můstku se vypočítá podle vztahu (2.9):

$$r = \frac{\sqrt{S_v}}{200} + 0,04 \cdot H_d = \frac{\sqrt{16535,78}}{200} + 0,04 \cdot 10,1 = 0,44 \text{ mm}$$

kde:  $H_d$  – je zvoleno dle obr. 50

Vzhledem k síle kovacího lisu (tab. 10) je poloměr upraven na nejbližší nižší hodnotu  $r = 1,5$  mm. Rozměry výronkové drážky jsou na obr. 50.



Obr. 50 Rozměry drážky

### 3.3 Polotovar [20], [45]

Polotovar se určí z objemu výkovku s výronkem a z přídatku na opal. Objem výronku se vypočítá dle vzorce (2.10):

$$\begin{aligned} V_{výr} &= O \cdot \left[ b \cdot h + \left( n + \frac{h}{2} \right) \cdot B \right] = \\ &= 455,85 \cdot \left[ 7,5 \cdot 2,5 + \left( 3 + \frac{2,5}{2} \right) \cdot 20 \right] = 47293,9 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Množství opalu je dáno zvoleným druhem ohřívacího zařízení. Pro ohřev polotovarů byla zvolena indukční pec, jejíž velikost opalu je 1 až 1,3 % z celkového objemu výkovku. Pro výpočet je potřeba znát objem výkovku  $V_v$ , který byl zjištěn pomocí programu Inventor 2019 a má hodnotu  $378269,6 \text{ mm}^3$  a objem opalu se vypočítá:

$$V_p = (V_v + V_{výr}) \cdot \delta \text{ [mm}^3\text{]} \quad (3.3)$$

$$= (378269,6 + 47293,9) \cdot 0,01 = 4255,6 \text{ mm}^3$$

kde:  $\delta$  – velikost opalu, pro indukční pec bylo zvoleno 1 %

Celkový objem výkovku se vypočítá ze vztahu (2.2):

$$V_c = V_0 = V_v + V_{výr} + V_p = 379694,5 + 45069,4 + 4247,6 = 429819,2 \text{ mm}^3$$

Z celkového objemu výkovku se musí zjistit předběžný průměr polotovaru dle (2.4):

$$D_{0p} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot \lambda}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 429819,2}{\pi \cdot 2,2}} = 62,9 \text{ mm}$$

Průměr polotovaru  $D_0$  je zvolen nejbližší vyšší dle normalizovaných tyčí (65 mm), který se použije na výpočet předběžné délky ze vzorce (2.5):

$$L_{op} = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 429819,2}{\pi \cdot 65^2} = 129,5 \text{ mm}$$

Délka polotovaru  $L_0$  je zvolena 130 mm a jako výchozí polotovar bude použit špalík o rozměrech  $\varnothing 65 \times 130$  mm (obr. 51) dle ČSN EN 10083-3, který se bude dělit řezáním na pásové pile z tyčí o délce 3 m. Tato metoda byla zvolena, protože je požadována rovná plocha, která je kolmá na osu špalíku z důvodu ustavování do lisu pomocí robota. Při této metodě se musí počítat s přídavkem na odpad, který je dán tloušťkou pilového pásu a ze zvolené tyče je možné získat 22 špalíků. Hmotnost jednoho polotovaru se vypočítá podle (2.6):

$$m_p = \rho \cdot V_0 = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot L_0$$

$$= 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{\pi \cdot 65^2}{4} \cdot 130 = 3,39 \text{ kg}$$

Pro ohřev je vybrán kompaktní středofrekvenční indukční ohříváč KSO 400 (obr. 52) od firmy Roboterm spol. s r.o. s výkonem 400 W, který má tyristorový měnič kmitočtu a jeho parametry jsou v příloze 4. Mimo ohříváč bude umístěn výklopník palet VP 2000 (obr. 53) se studenými polotovary, které budou vysypány do vibračního zásobníku VZ 1800 (obr. 54), kde dochází k prostorové orientaci a na výstupním hrdle se pohybují ve směru své podélné osy jeden za druhým do ohříváče. Parametry obou zařízení jsou v příloze 5. Na výstupu bude gravitační žlab, po kterém bude ohřátý polotovar na kovací teplotu dopravován do lisu, kde ho bude odebírat robot.



Obr. 53 Výklopník palet [47]



Obr. 51 Tvar polotovaru



Obr. 52 Indukční ohřev [46]



Obr. 54 Vibrační zásobník [48]

### 3.4 Výpočet kovací síly [15], [23]

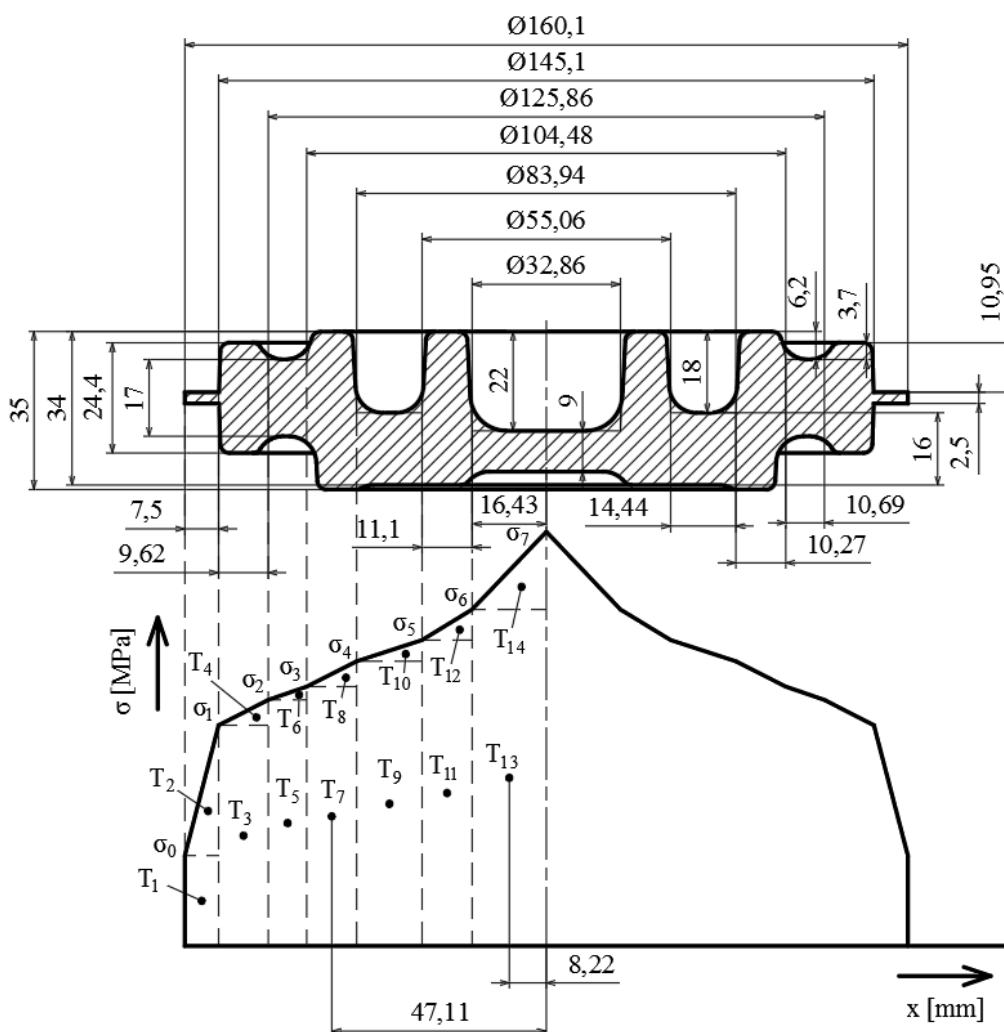
Pro kování kola byl zvolen svislý kovací lis FP 1600G, protože se nachází ve strojovém parku zákazníka a pomocí výpočtu se ověří, jestli má dostatečnou sílu pro zhotovení zadaného kola.

Nejseměrodatnější výsledky má metoda dle Tomlenova, podle které se bude kovací síla ověřovat. Pro výpočet budou použity parametry, viz tab. 14, dále kovací teplota 1100 °C, pevnost oceli za kovací teploty  $R_{mT}$  a součinitel poklesu teplot  $C_o$  dle normy ČSN 22 8306 pro zvolený materiál.

Tab. 14 Rozměry potřebné pro výpočet kovací síly dle Tomlenova.

šířka $b_n$ [mm]		výška $h_n$ [mm]		průměr $D_n$		výška $\Delta h_i$	
b	7,5	h	2,5	$D_1$	160,1	$\Delta h_1$	10,95
$b_1$	9,62	$h_1$	24,4	$D_2$	145,1	$\Delta h_2$	3,7
$b_2$	10,69	$h_2$	17	$D_3$	125,86	$\Delta h_3$	6,2
$b_3$	10,27	$h_3$	35	$D_4$	104,48	$\Delta h_4$	18
$b_4$	14,44	$h_4$	16	$D_5$	83,94	$\Delta h_5$	18
$b_5$	11,1	$h_5$	34	$D_6$	55,06	$\Delta h_6$	22
$b_6$	16,43	$h_6$	9	$D_7$	32,86		

Grafické znázornění výpočtů je na obr. 55.



Obr. 55 Grafické znázornění výpočtu pro kovací sílu dle Tomlenova



Normálové napětí v nultém bodě (na konci výronkového můstku) se vypočítá dle vzorce (2.11):

$$\sigma_0 = \psi \cdot \sigma_s = (1 + 0,73 \cdot \mu) \cdot R_{mT} \cdot C_0 = (1 + 0,73 \cdot 0,4) \cdot 37 \cdot 4 = 191,2 \text{ MPa}$$

V dalších průřezích směrem k ose výkovku se vypočítají dle rovnice (2.14):

$$\sigma_1 = \sigma_0 + R_{mT} \cdot C_0 \cdot \frac{b}{h} = 191,2 + 37 \cdot 4 \cdot \frac{7,5}{2,5} = 635,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = \sigma_1 + R_{mT} \cdot \frac{b_1}{h_1} = 635,2 + 37 \cdot \frac{9,62}{24,4} = 649,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_3 = \sigma_2 + R_{mT} \cdot \frac{b_2}{h_2} = 649,8 + 37 \cdot \frac{10,69}{17} = 673,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_4 = \sigma_3 + R_{mT} \cdot \frac{b_3}{h_3} = 673,1 + 37 \cdot \frac{10,27}{35} = 683,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_5 = \sigma_4 + R_{mT} \cdot \frac{b_4}{h_4} = 683,9 + 37 \cdot \frac{14,44}{16} = 717,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_6 = \sigma_5 + R_{mT} \cdot \frac{b_5}{h_5} = 717,3 + 37 \cdot \frac{11,1}{34} = 729,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_7 = \sigma_6 + R_{mT} \cdot \frac{b_6}{h_6} = 729,4 + 37 \cdot \frac{16,43}{9} = 796,9 \text{ MPa}$$

Síla vznikající od normálových napětí je dána vztahem (2.16):

$$\begin{aligned} F_n &= 2 \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^{14} x_i \cdot A_i \\ &= 2 \cdot \pi \cdot [(76,3 \cdot 1434,12) + (75,05 \cdot 1665) + (67,74 \cdot 6110,78) + \\ &\quad + (66,14 \cdot 70,17) + (57,59 \cdot 6946,4) + (55,8 \cdot 248,72) + \\ &\quad + (47,11 \cdot 6912,43) + (45,39 \cdot 55,75) + (34,75 \cdot 9875,91) + \\ &\quad + (32,34 \cdot 241,09) + (7962,25 \cdot 21,98) + (20,13 \cdot 67,04) + \\ &\quad + (8,22 \cdot 11984,02) + (5,48 \cdot 554,89)] \\ &= 12716085,24 \text{ N} \end{aligned}$$

Výpočet souřadnic těžiště je proveden pomocí:

$$\begin{aligned} x_i &= \frac{D_i}{2} + \frac{b_i}{2} & (3.4) \\ x_1 &= \frac{D_2}{2} + \frac{b}{2} = \frac{145,1}{2} + \frac{7,5}{2} = 76,3 \text{ mm} \\ x_2 &= \frac{D_2}{2} + \frac{b}{3} = \frac{145,1}{2} + \frac{7,5}{3} = 75,05 \text{ mm} \\ x_3 &= \frac{D_3}{2} + \frac{b_1}{2} = \frac{125,86}{2} + \frac{9,62}{2} = 67,74 \text{ mm} \\ x_4 &= \frac{D_3}{2} + \frac{b_1}{3} = \frac{125,86}{2} + \frac{9,62}{3} = 66,14 \text{ mm} \\ x_5 &= \frac{D_4}{2} + \frac{b_2}{2} = \frac{104,48}{2} + \frac{10,69}{2} = 57,59 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$x_6 = \frac{D_4}{2} + \frac{b_2}{3} = \frac{104,48}{2} + \frac{10,69}{3} = 55,8 \text{ mm}$$

$$x_7 = \frac{D_5}{2} + \frac{b_3}{2} = \frac{83,94}{2} + \frac{10,27}{3} = 47,11 \text{ mm}$$

$$x_8 = \frac{D_5}{2} + \frac{b_3}{3} = \frac{83,94}{2} + \frac{10,27}{3} = 45,39 \text{ mm}$$

$$x_9 = \frac{D_6}{2} + \frac{b_4}{2} = \frac{55,06}{2} + \frac{14,44}{3} = 34,75 \text{ mm}$$

$$x_{10} = \frac{D_6}{2} + \frac{b_4}{3} = \frac{55,06}{2} + \frac{14,44}{3} = 32,34 \text{ mm}$$

$$x_{11} = \frac{D_7}{2} + \frac{b_5}{2} = \frac{32,86}{2} + \frac{11,1}{3} = 21,98 \text{ mm}$$

$$x_{12} = \frac{D_7}{2} + \frac{b_5}{3} = \frac{32,86}{2} + \frac{11,1}{3} = 20,13 \text{ mm}$$

$$x_{13} = \frac{b_6}{2} = \frac{16,43}{2} = 8,22 \text{ mm}$$

$$x_{14} = \frac{b_6}{3} = \frac{16,43}{3} = 5,48 \text{ mm}$$

Výpočet dílčích ploch pod křivkou napětí:

$$A_i = b_i \cdot \sigma_i \tag{3.5}$$

$$A_1 = b \cdot \sigma_0 = 7,5 \cdot 191,2 = 1434,12 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_2 = \frac{b \cdot (\sigma_1 - \sigma_0)}{2} = \frac{7,5 \cdot (635,2 - 191,2)}{2} = 1665 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_3 = b_1 \cdot \sigma_1 = 9,62 \cdot 635,2 = 6110,78 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_4 = \frac{b_1 \cdot (\sigma_2 - \sigma_1)}{2} = \frac{9,62 \cdot (649,8 - 635,2)}{2} = 70,17 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_5 = b_2 \cdot \sigma_2 = 10,69 \cdot 649,8 = 6946,4 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_6 = \frac{b_2 \cdot (\sigma_3 - \sigma_2)}{2} = \frac{10,69 \cdot (673,1 - 649,8)}{2} = 248,72 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_7 = b_3 \cdot \sigma_3 = 10,27 \cdot 673,1 = 6912,43 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_8 = \frac{b_3 \cdot (\sigma_4 - \sigma_3)}{2} = \frac{10,27 \cdot (683,9 - 673,1)}{2} = 55,75 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_9 = b_4 \cdot \sigma_4 = 14,44 \cdot 683,9 = 9875,91 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_{10} = \frac{b_4 \cdot (\sigma_5 - \sigma_4)}{2} = \frac{14,44 \cdot (717,3 - 683,9)}{2} = 241,09 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_{11} = b_5 \cdot \sigma_5 = 11,1 \cdot 683,9 = 7926,25 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_{12} = \frac{b_5 \cdot (\sigma_6 - \sigma_5)}{2} = \frac{11,1 \cdot (729,4 - 683,9)}{2} = 67,04 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

$$A_{13} = b_6 \cdot \sigma_6 = 16,43 \cdot 729,4 = 11984,02 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$



$$A_{14} = \frac{b_6 \cdot (\sigma_7 - \sigma_6)}{2} = \frac{16,43 \cdot (796,9 - 729,4)}{2} = 554,89 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

Síla vznikající od tangenciálních napětí se vypočítá z (2.17):

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot \sum_{i=1}^6 \Delta S_i = \frac{R_{mT}}{2} \cdot \pi \cdot (\Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 + \Delta S_5 + \Delta S_6) \\ &= \frac{37}{2} \cdot \pi \cdot (4991,5 + 1462,98 + 2035,05 + 4746,7 + 3113,57 + 2271,12) \\ &= 1082237,9 \text{ N} \end{aligned}$$

Povrch dílčích bočních ploch výkovku v pohybující se zápustce se vypočítá ze vzorce (2.18):

$$\Delta S_i = \pi \cdot D_{i+1} \cdot \Delta h_i$$

$$\Delta S_1 = \pi \cdot D_2 \cdot \Delta h_1 = \pi \cdot 145,1 \cdot 10,95 = 4991,5 \text{ mm}^2$$

$$\Delta S_2 = \pi \cdot D_3 \cdot \Delta h_2 = \pi \cdot 125,86 \cdot 3,7 = 1462,98 \text{ mm}^2$$

$$\Delta S_3 = \pi \cdot D_4 \cdot \Delta h_3 = \pi \cdot 104,48 \cdot 6,2 = 2035,05 \text{ mm}^2$$

$$\Delta S_4 = \pi \cdot D_5 \cdot \Delta h_4 = \pi \cdot 83,94 \cdot 18 = 4746,7 \text{ mm}^2$$

$$\Delta S_5 = \pi \cdot D_6 \cdot \Delta h_5 = \pi \cdot 55,06 \cdot 18 = 3113,57 \text{ mm}^2$$

$$\Delta S_6 = \pi \cdot D_7 \cdot \Delta h_6 = \pi \cdot 32,86 \cdot 22 = 2271,12 \text{ mm}^2$$

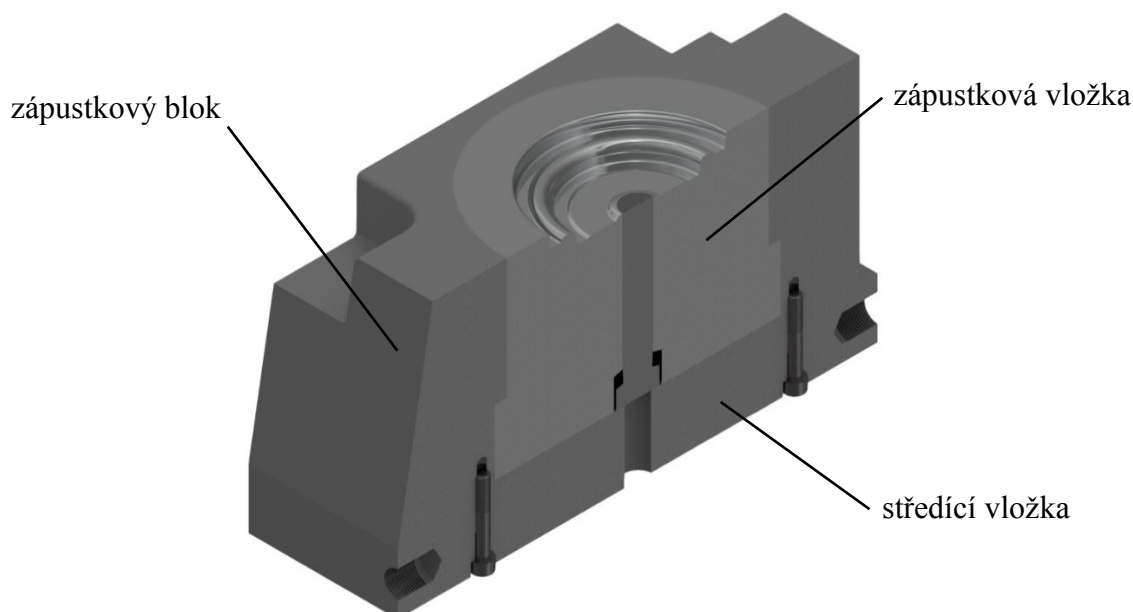
Kovací síla  $F_k$  se určí ze vztahu (2.15):

$$F_k = F_n + F_t = 12716085,24 + 1082237,9 = 13798323,15 \text{ N} = 13,8 \text{ MN}$$

Z výpočtu bylo ověřeno, že kovací lis, který má zákazník ve svém strojovém parku vyhovuje. Základní rozměry a parametry lisu jsou v příloze 6.

### 3.5 Návrh zápustek [23], [49],

Vzhledem ke zvolenému lisu a polotovaru se bude zadané kolo kovat ve třech operacích (pěchovací, předkovací a dokončovací) a tvar každé dutiny se zaplní v jednom zdvihu. Zápustky budou navrhovány do upínače zápustek, který má rozměry dle kovacího lisu. Bude použito vložkování (obr. 56) pro úsporu nástrojové oceli, kde se vložka se vyrobí z jakostní zápustkové oceli a blok z jakostní konstrukční oceli.



Obr. 56 Vložkování zápustky

Rozměry předkovací dutiny se zhotovují tak, aby se blížily dokončovací dutině. Předkovek by měl být vyšší, užší a rádiusy větší než u finálního tvaru výkovku, aby docházelo k pýchovacím operacím. Jednotlivé rozměry se stanovují bez mezních úchylek.

Při návrhu dokončovací dutiny se vychází z výkresu výkovku a všechny rozměry, které jsou větší než 10 mm se musí zvětšit o hodnotu smrštění, která je pro ocel 1 %. Mezní úchytky rozměrů pro dokončovací dutinu jsou dány normou ČSN 22 8306 a jsou vypsány v tab. 15.

Tab. 15 Mezní úchytky rozměrů dokončovací dutiny [23].

Jmenovité rozměr [mm]	Mezní úchytky [mm]	
	⊥	
0 až 25	0,06	0,07
25 až 40	0,07	0,1
40 až 63	0,08	0,12
63 až 100	0,1	0,15
100 až 160	0,12	0,2

pozn.: ⊥ - kolmo na ráz, || - ve směru rázu

Při konstrukci zápustek pro kovací lisy je požadován materiál o vysoké houževnatosti, tvrdosti, pevnosti, otěruvzdornosti a odolnosti proti popouštění. Na menší až středně velké zápustky pro kovací lisy se používá chrom–molybden–vanadová ocel 19 552 a její chemické složení je uvedeno v tab. 16.

Tab. 16 Chemické složení oceli 19 552 [49].

prvek	C	Si max.	Mn	Cr	Mo	Ni	V
chemické složení v hmot. %	0,33- 0,41	0,80- 1,20	0,25- 0,50	4,80- 5,50	1,10- 1,50	-	0,30- 0,50

V horní a dolní dokončovací zápustce bude umístěn kolíkový vyhadovač, který bude působit na plochu blány výkovku, a to samé bude platit pro předkovací zápustku. Rozměry a drsnosti vyhadovačů se určí z normy ČSN 22 8306, viz příloha 7. Průměr hlavy (paty) kolíku v dolní předkovací a dokončovací zápustce se vypočítá:

$$D_{k1} = \sqrt{2 \cdot d_{k1}^2 + d_{v1}} \quad (3.6)$$

$$= \sqrt{2 \cdot 25^2 + 22} = 35,67 \text{ mm}$$

kde:  $D_k$  – průměru hlavy (paty) kolíkového vyhadovače v dolní zápustce [mm]

$d_{k1}$  – průměru otvoru pro vyhadovací kolík v dolní zápustce [mm]

$d_{v1}$  – průměr otvoru pro vyrážecí kolík v dolní zápustce [mm]

Vypočítaný průměr je zaokrouhlen na 36 mm

Průměr vyhadovacího kolíku se vypočítá:

$$d'_{k1} = d_{k1} - \Delta \quad (3.7)$$

$$= 25 - 0,3 = 24,7 \text{ mm}$$

kde:  $d'_{k1}$  – průměru vyhadovacího kolíku v dolní zápustce [mm]

$\Delta$  – vůle ve vedení [mm]

Rozměry kolíkových vyhadovačů pro horní zápustky, tedy pro předkovací a dokončovací dutinu a jsou na výkresech A4-DP-15-170891 a A4-DP-16-170891.

Průměr hlavy (paty) kolíku v horní předkovací a dokončovací zápustce se vypočítá podle:

$$D_{k2} = \sqrt{2 \cdot d_{k2}^2 + d_{v2}^2} \quad (3.8)$$

$$= \sqrt{2 \cdot 14^2 + 12} = 20,09 \text{ mm}$$

kde:  $D_{k2}$  – průměru hlavy (paty) kolíkového vyhazovače v horní zápustce [mm]

$d_{k2}$  – průměru otvoru pro vyhazovací kolík v horní zápustce [mm]

$d_{v2}$  – průměr otvoru pro vyrážecí kolík v horní zápustce [mm]

Vypočítaný průměr je zaokrouhlen na 21 mm

Průměr vyhazovacího kolíku se vypočítá:

$$d'_{k2} = d_{k2} - \Delta \quad (3.9)$$

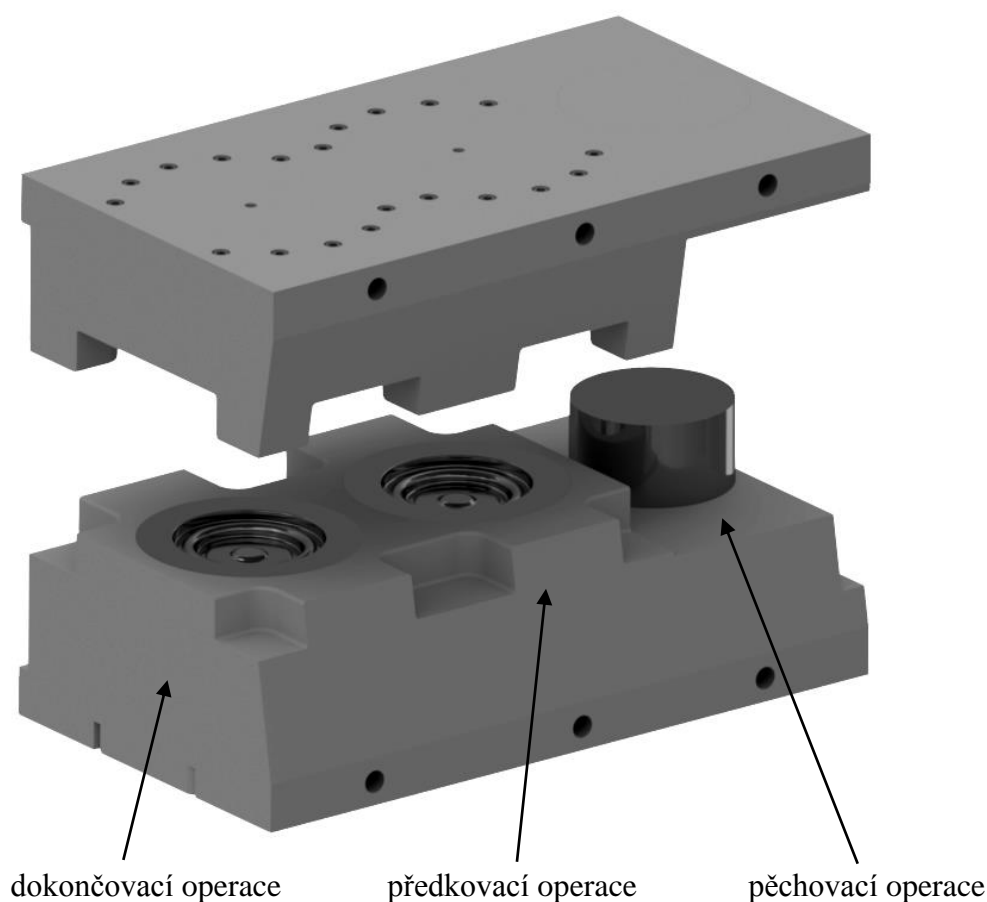
$$= 14 - 0,2 = 13,8 \text{ mm}$$

kde:  $d'_{k2}$  – průměru vyhazovacího kolíku v horní zápustce [mm]

$\Delta$  – vůle ve vedení [mm]

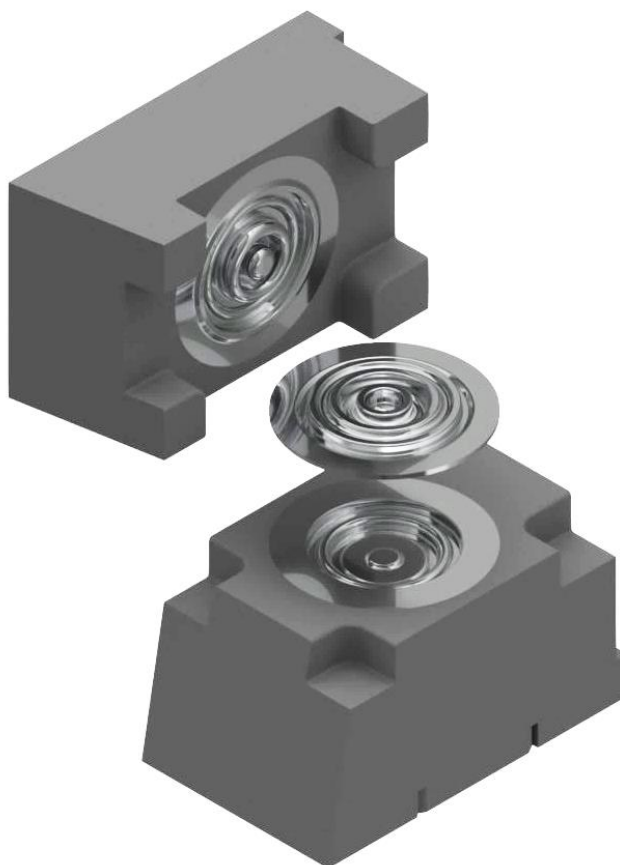
Rozměry kolíkových vyhazovačů pro dolní zápustky, tedy pro předkovací a dokončovací dutinu a jsou na výkresch A4-DP-13-170891 a A4-DP-14-170891.

Vizualizace celkové sestavy zápustek je na obr. 57 a je vytvořena pomocí programu Inventor 2019. Je v otevřené poloze a skládá se z pěchovací, předkovací a dokončovací dutiny.



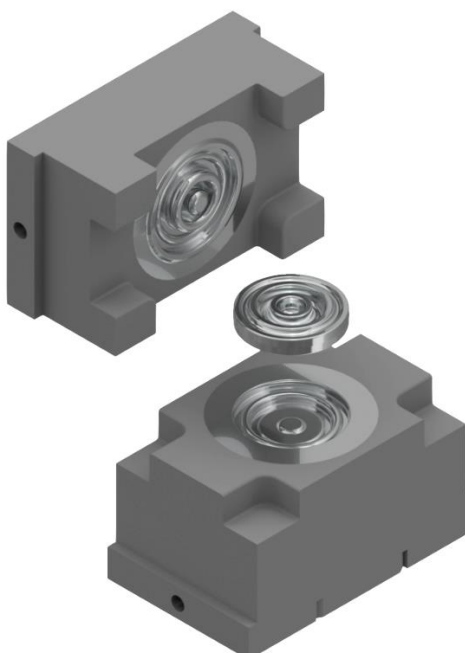
Obr. 57 Vizualizace sestavy zápustek

Vizualizace dokončovací zápustky (obr. 58) včetně hotového výkovku je vytvořena pomocí programu Inventor 2019. Horní díl zápustky je otočen o 90 °, aby byl vidět tvar dutiny.



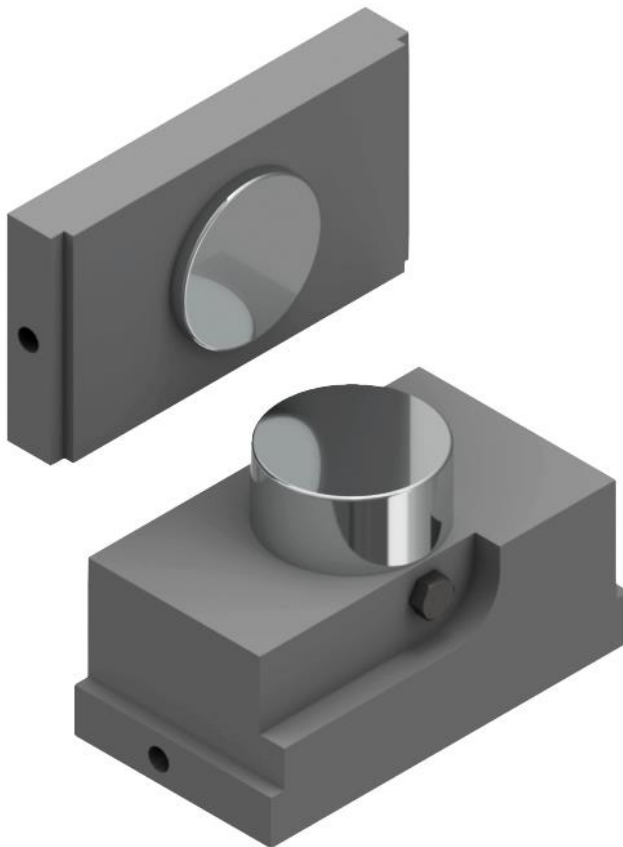
Obr. 58 Vizualizace sestavy dokončovací zápustky

Vizualizace předkovací zápustky (obr. 59) je vytvořena pomocí programu Inventor 2019. Horní díl zápustky je otočen o 90 °, aby byl vidět tvar dutiny.



Obr. 59 Vizualizace sestavy předkovací zápustky

Vizualizace předkovací zápustky (obr. 60) je vytvořena pomocí programu Inventor 2019. Horní díl zápustky je otočen o 90 °, aby byl vidět tvar dutiny.



Obr. 60 Vizualizace sestavy pēchovací zápustky

### 3.6 Dokončovací operace výkovku [2], [20], [22]

Po vykování kola je potřeba provést finální operace, které zbaví výkovek přebytečného materiálu, odstraní povrchové nečistoty nebo se upraví jeho struktura, a to se provádí pomocí:

- a) Ostřihování a děrování – jsou operace, které následují po zápustkovém kování a jejich účelem je odstranit výronek a blánu. Může se provádět za tepla i za studena na ostřihovacích lisech. Velikost ostřihovací síly ovlivňuje pevnost materiálu, výška můstku a obvod výronku. Střížník při ostřihování tlačí pouze na výkovek a nedosedá na střížnici, z toho důvodu se ostřihovací síla zvětšuje až 1,7krát. Ve výpočtu se uvažuje dvojnásobná výška můstku z bezpečnostního hlediska. Ostřihování se bude provádět při teplotě okolo 600 °C, pro kterou je mez pevnosti materiálu 350 MPa a střížná síla, která se vypočítá:

$$F_{OS} = 1,7 \cdot \tau_s \cdot O_V \cdot 2 \cdot h \quad (3.10)$$

$$= 1,7 \cdot 0,8 \cdot 350 \cdot 455,85 \cdot 2 \cdot 2,3 = 998118,4 \text{ N} = 0,998 \text{ MN}$$

kde:  $F_{OS}$  – ostřihovací síla [N]

$O_V$  – obvod výkovku v dělicí rovině (bez výronku) [mm<sup>2</sup>], který byl zjištěn pomocí programu Inventor 2019

$\tau_s$  – střížný odpor [MPa]

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]}$$

Vizualizace modelu ostříženého výkovku je na obr. 61 a byla vytvořena pomocí programu Inventor 2019.



Obr. 61 Vizualizace výkovku bez výronku

Obdobně se vypočítá i síla pro děrování blány. Protože je výkovek ustaven na děrovníci tak, že děrovník netlačí pouze na jeho plochu, není nutné sílu 1,7krát zvětšovat a vypočítá se z rovnice:

$$F_{DS} = \tau_s \cdot O_D \cdot 2 \cdot h \quad (3.11)$$

$$= 0,8 \cdot R_m \cdot O_D \cdot 2 \cdot h = 0,8 \cdot 350 \cdot 105,87 \cdot 2 \cdot 2,3 = 136362,7 \text{ N}$$

$$= 0,136 \text{ MN}$$

kde:  $F_{DS}$  – děrovací síla [N]

$O_D$  – obvod děrované blány [mm<sup>2</sup>], který byl zjištěn pomocí programu Inventor 2019

Vizualizace modelu ostříženého a děrovaného výkovku je na obr. 62 a byla vytvořena pomocí programu Inventor 2019.



Obr. 62 Vizualizace ostříženého a děrovaného výkovku

Celková velikost je dána vzorcem:

$$F_{SC} = F_{OS} + F_{DS} \quad (3.12)$$

$$F_{SC} = 0,998 + 0,136 = 1,13 \text{ MN}$$

Z vypočítané celkové střížné síly je ověřeno, že ostříhovací lis s označením OCP – 200 a silou 2 MN, který má zákazník ve svém strojovém parku vyhovuje. Základní rozměry a parametry lisu jsou v příloze 8.

- b) Čištění – bude prováděno mechanickým způsobem – tryskáním pomocí litinových broků.
- c) Tepelné zpracování – aby měl výkovek zjemněnou a zhomogenizovanou strukturu, bude provedeno normalizační žihání, které se provádí se při teplotě 850 až 880 °C.

### 3.7 Technologický postup [46],

Kolo se zhotoví v několika etapách a jednotlivé operace jsou sepsány do technologického postupu, viz tab. 17.

Tab. 17 Technologický postup výroby.

technologický postup			
název výkovku: kolo		číslo výkresu výkovku: A3-DP-02-170891	číslo výkresu součásti: A3-DP-01-170891
číslo operace:	název operace:		
005	dělit materiál – řezat		
	materiál: 15 142.3	profil materiálu: ø 65 mm	norma materiálu ČSN EN 10083-3
	stroj: pásová pila	délka: 130 <sup>+1</sup> mm	hmotnost přířezu: 3,39 kg
010	mezioperační kontrola:		
	kontrolovat délky přířezu s četností 10 %		
015	ohřát polotovar:		
	stroj: indukční ohříváč KSO 400	teplota: 1150 °C ± 25 °C	
020	kovat:		
	stroj: FP-1600G	kovací teplota: 1100 °C ± 25 °C	kovací síla: 13,8 MN
	1. operace: pěchovat		
	2. operace: předkovat		
3. operace: dokovat			
025	ostříhovat a děrovat:		
	stroj: OCP-200	střížná síla: 1,13 MN	
030	tepelně zpracovat:		
	druh: normalizační žihání	stroj: elektrická komorová pec	teplota: 850 až 880 °C
	otryskat:		
035	tryskací zařízení PTB 3		
	kontrolovat		
040	kontrolovat		

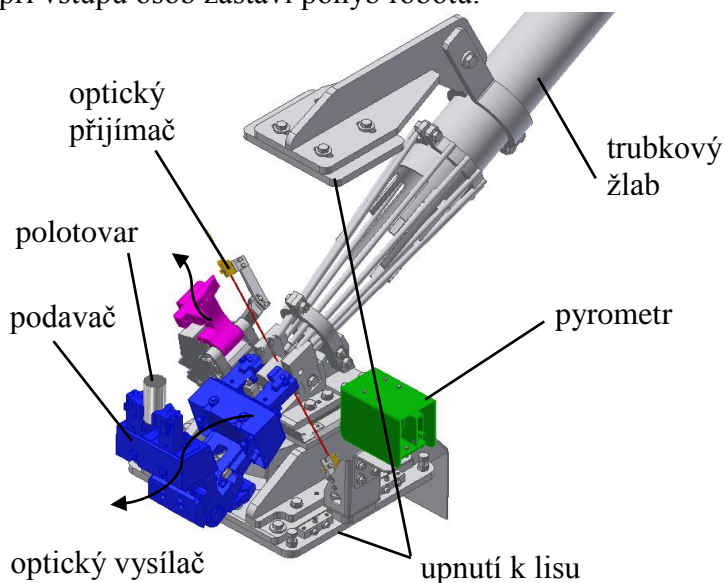


### 3.8 Návrh robotizovaného pracoviště [25], [26], [27], [28], [29]

Při návrhu plně automatizovaného pracoviště se vychází z dispozice haly. Kovací lis je pevně umístěn, proto je možné manipulovat jen s ostříhovacím lisem. V kovárnách jsou extrémní teploty a znečištění, proto se musí zvolit roboty vhodné do tohoto prostředí. Jsou na ně kladeny vysoké požadavky, protože manipulují s horkými polotovary a jsou vystaveny koroznímu prostředí (voda, vodní pára, směs okují a maziv).

Protože je jedná o nebezpečné pracovní místo, musí být dodrženy určité bezpečnostní zásady. Celé pracoviště musí být zaopatřeno proti vstupu pracovníků či jiných osob do prostoru pohybujících se zařízení. K tomuto opatření je potřeba navrhnout oplocení, kde jsou bezpečnostní dveře se zámkem, které při vstupu osob zastaví pohyb robotů.

Z indukčního ohříváče je polotovár dopraven pomocí trubkového žlabu do jednoúčelového manipulátoru (obr. 63), který byl navržen konstrukčním oddělením Del a.s. a je uchycen z levé strany kovacího lisu v pracovním okně. Na podavači je přimontován optický vysílač a přijímač paprsku pro ověření polohy polotovaru a pyrometr, který kontroluje jeho teplotu. Pokud je vše správně, pneumatický válec dostane pokyn a přemístí podavač s polotovarem do pracovního prostoru lisu.

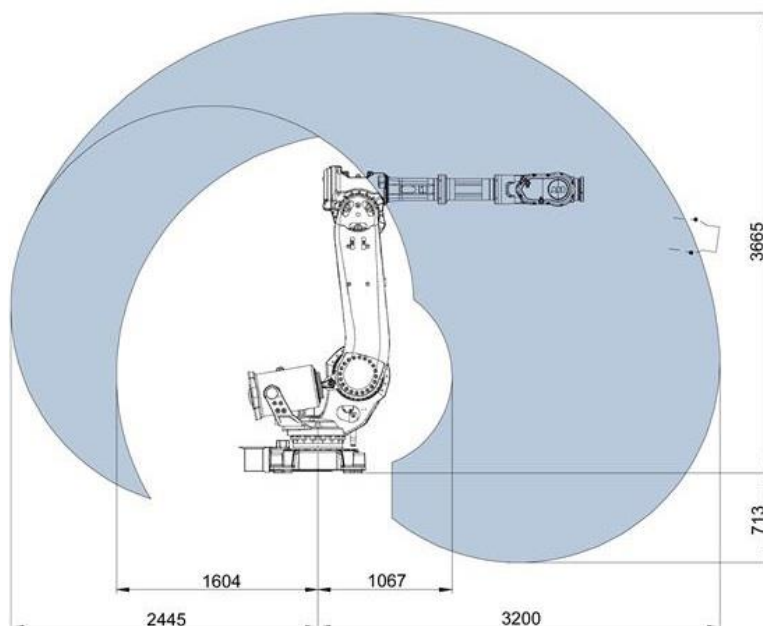


Obr. 63 Podavač (vizualizace Inventor 2019)

Pro odebrání polotovaru z podavače je zvolen průmyslový robot IRB 6640 od firmy ABB (obr. 64), který má dodatečné označení Foundry plus a je určený pro kovárenské prostředí. Využívá druhou generaci funkcí „TrueMove a QuickMove“, které mu umožňují provádět přesnější pohyby. Je schopný unést 130 kg, má dosah 3,2 m a jeho pracovní prostor je znázorněn na obr. 65.

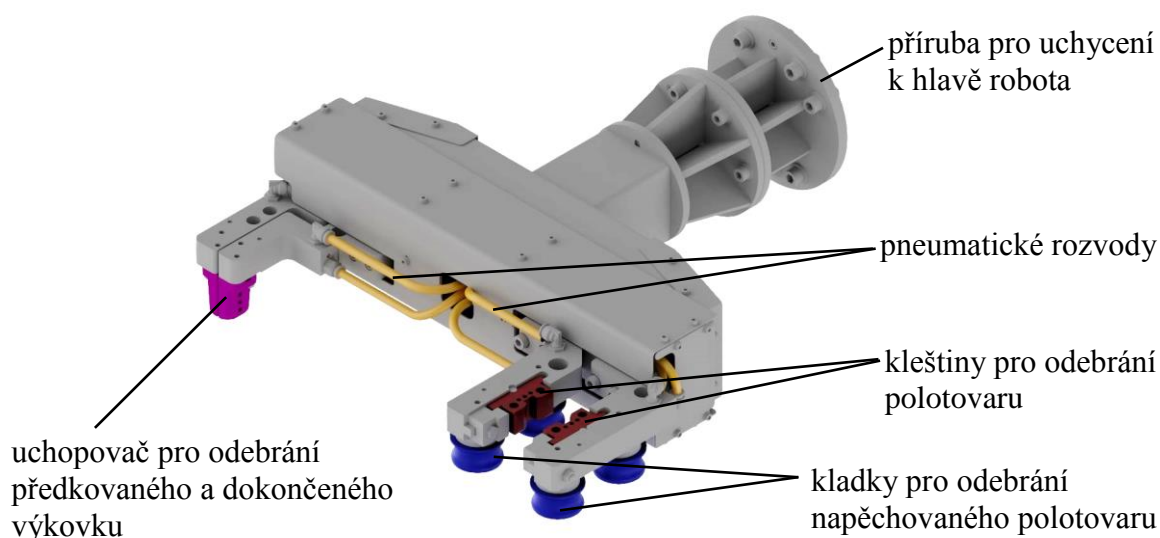


Obr. 64 ABB IRB 6640 [50]



Obr. 65 Pracovní prostor robota ABB IRB 6640 [50]

K zvolenému robotu je přišroubováno uchopovací zařízení (obr. 66), které slouží k přemísťování polotovárů. Pomocí kleštin (červená barva) je odebrán polotovár z podavače a je přesně umístěn do první (pěchovací) pozice v zápustce. Kovací lis provede zdvih a pomocí čtyř kladek (modrá barva) je uchopen napěchovaný polotovár a přenesen do druhé (předkovací) pozice. V ten moment přichází na řadu mazací robot a provede ofuk a namazání pěchovací a předkovací dutiny, poté provede lis zdvih. Předkovek je chycen vnitřním uchopovačem (fialová barva) a zároveň pomocí kleštin popadnut nový polotovár a oba jsou přeneseny do vedlejších dutin (první pěchovací a poslední dokončovací) a je proveden zdvih a oba kusy jsou znovu zachyceny a jsou posunuty o jednu operaci dál (předpěchovaný polotovár je umístěn do předkovací dutiny a hotový výkovek je položen na vstupní část řetězového dopravníku. Jednotlivé uchopovací prvky (kleštiny, kladky atd.) jsou ovládány pneumaticky.



Obr. 66 Uchopovací zařízení (vizualizace Inventor 2019)

Protože jsou některé prvky v kontaktu s ohřátou ocelí, která má teplotu okolo 1000 °C, musí být zvolen odolný materiál. Jako vhodný se jeví austenitická žáruvzdorná ocel 17 255, která je vhodná pro vysoce tepelně namáhané součásti. Je odolná proti oxidaci za zvýšených teplot na vzduchu do 1100 °C. Chemické složení oceli je v tab. 18.

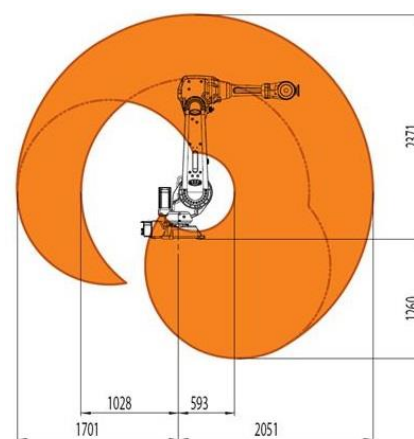
Tab. 18 Chemické složení oceli 17 255 [51].

prvek	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
chemické složení v hmot. %	max. 0,10	max. 1,50	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,015	4,80-5,50	19,00-22,00	max. 0,11

Mazání zápustek je prováděno pomocí průmyslového robota zvoleného od firmy ABB s označením IRB 4600 (obr. 67), který má dodatečnou ochranu Foundry plus do kovárenského prostředí. Nosnost ramene je 20 kg a celková je 60 kg. Jeho pracovní prostor je na obr. 68, z kterého je patrné, že největší dosah ramen je 2,05 m. Mazací hlavice (obr. 69) byla navržena konstrukčním oddělením Del a.s.

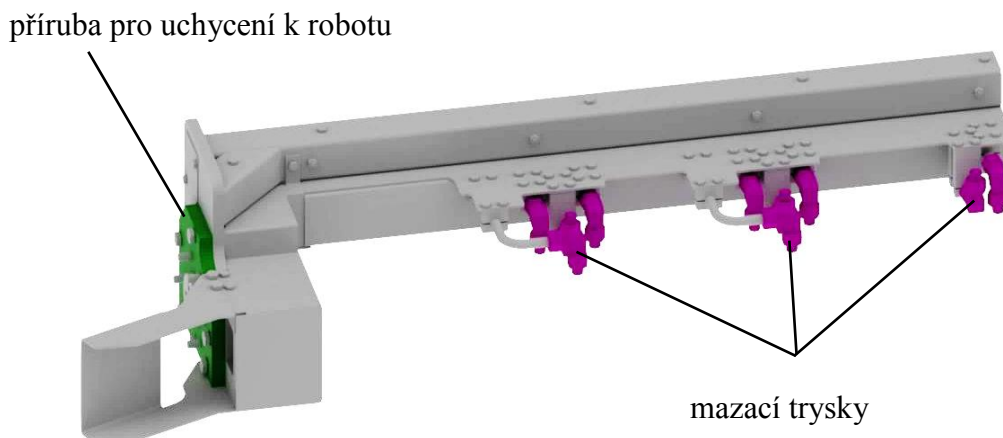


Obr. 67 IRB 4600 [52]



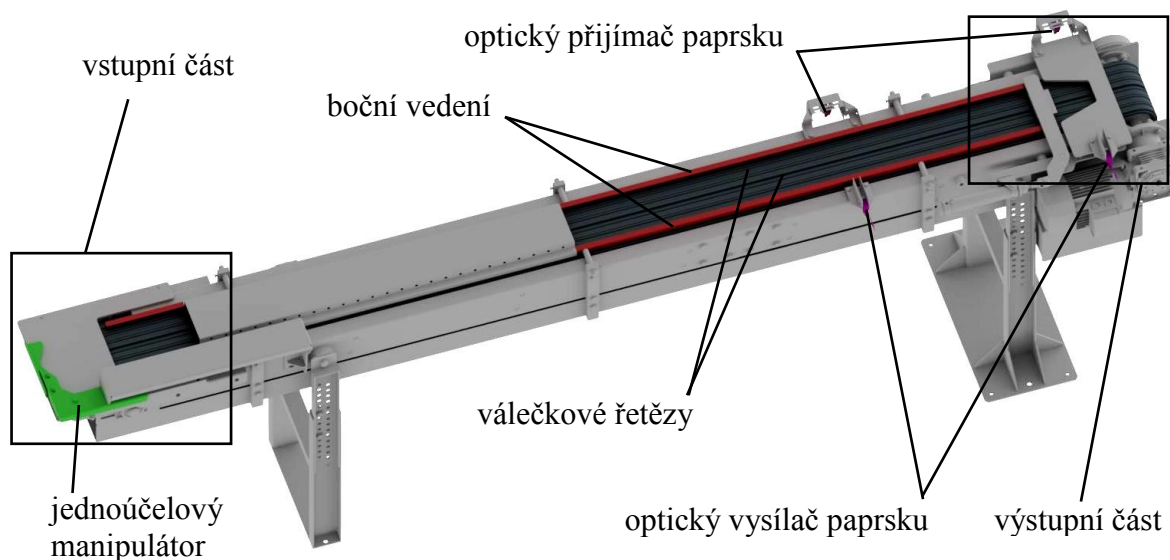
Obr. 68 Pracovní prostor [52]

a je k robotu přišroubována pomocí příruby. Mazání zápustek se provádí po každém zdvihu lisu pomocí trysek. Pro pěchovací operaci jsou dvě trysky (pro horní zápustku jedna a pro dolní druhá). Předkovací a dokončovací zápustka má víc trysek, a to dvě pro každou dutinu. Tvar hlavice je zkonstruován tak, aby mohla zůstat v pracovním prostoru lisu a nemusela při každém zdvihu opouštět lis.



Obr. 69 Mazací hlavice (vizualizace Inventor 2019)

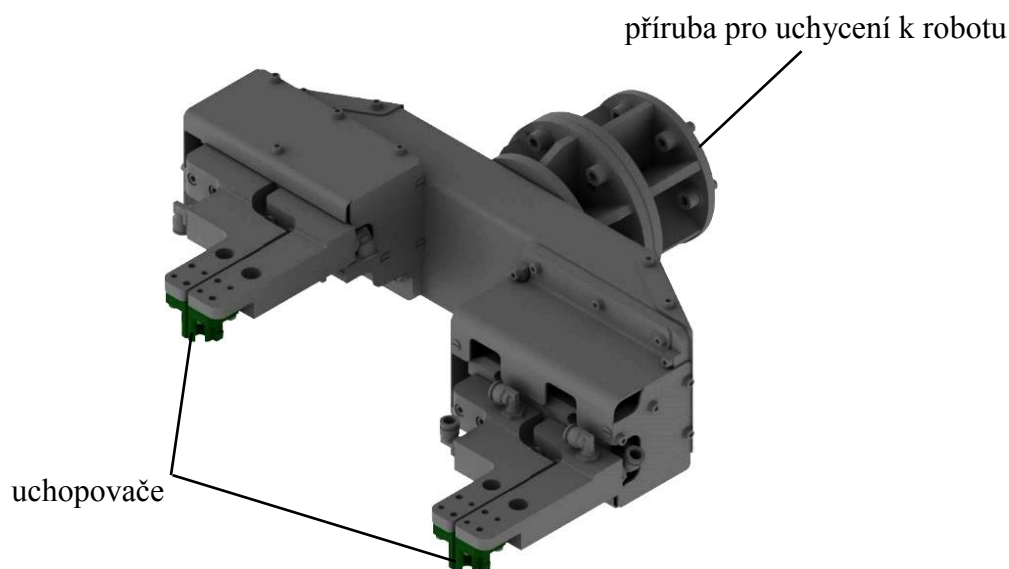
Pro přepravu výkovku od kovacího k ostříhovacímu lisu bude použit řetězový dopravník od firmy Jan Říha s. r. o., viz obr. 70, který je vhodný pro kovárenskou výrobu. Má robustní, polohovatelnou konstrukci a dopravní pás je tvořen z víceřadých válečkových řetězů. Jelikož bude přepravovat žhavé výkovky, musí být z odolného materiálu. Pohon je řešen pomocí šnekové převodovky s elektromotorem a je nasazen na hřídeli hnacích kol na výstupu a dle požadavku bylo navržnuto pevné boční vedení.



Obr. 70 Řetězový dopravník (vizualizace Inventor 2019)

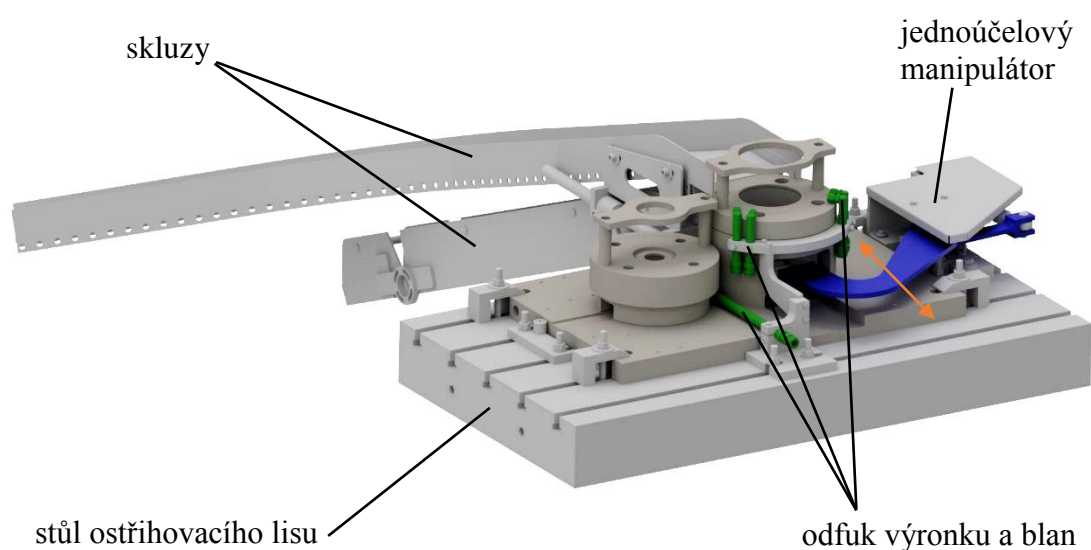
Na vstupní části dopravníku je umístěn jednoučelový manipulátor ovládaný dvojčinným pneumatickým válcem, který přesune výkovek na poháněné řetězy a je dopravován na výstupní část, kde se nachází doraz. Jeho součástí je optický vysílač a přijímač paprsku, který ověřuje polohu výkovku a dává pokyn poslednímu robotu, který ho přemístí do ostříhovacího lisu.

Pro manipulaci s výkovkem při ostřihování bude zvolen průmyslový robot IRB 4600 Foundry plus, který má stejné parametry (nosnost, dosah ramene atd.), jako robot mazací. Uchopovač (obr. 71) je k němu přidělaný pomocí příruby a šroubů. Jeho úkolem je vzít výkovek z řetězového dopravníku a umístit ho do střížného nástroje. Jako první proběhne děrování, poté bude přenesen na ostřihnoutí výronku. Robot uchopí další výkovek a umístí ho do děrovací operace. Jelikož vyšla celková střížná síla pro děrování a ostřihování, je možné tyto operace provádět zaráz a celý postup se pořád opakuje.



Obr. 71 Uchopovač (vizualizace Inventor 2019)

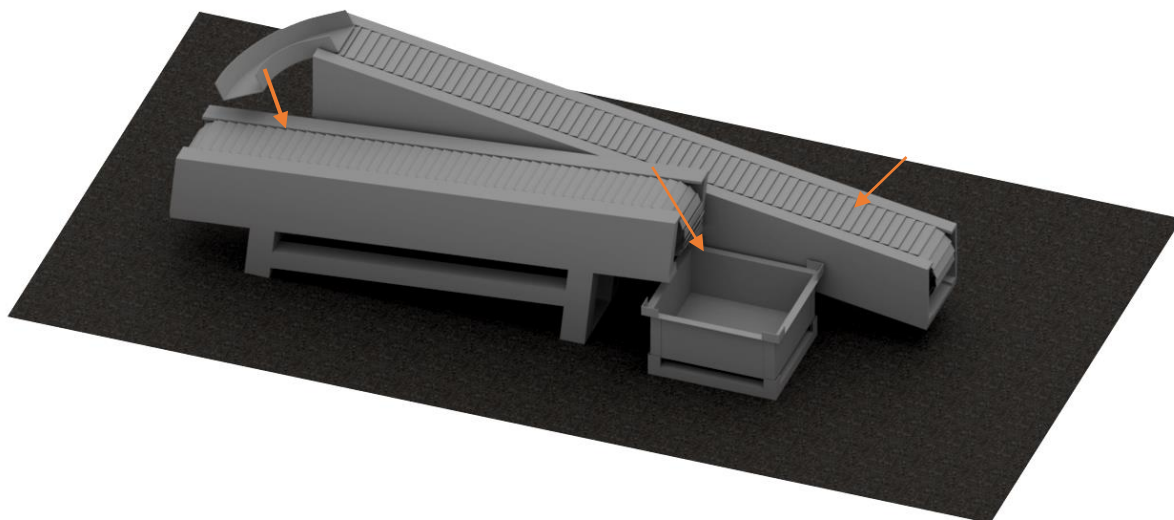
Ostřižený výkovek propadne střížnicí na rovnou část skluzu (obr. 72) a pomocí jednoúčelového manipulátoru je posunut na šikmou část, po které sklouzne na technologický dopravník. Ostřihnutý výronek a blána jsou odstraněny pomocí stačeného vzduchu a jsou dopraveny po skluzu do palet.



Obr. 72 Stůl ostřihovacího lisu (vizualizace Inventor 2019)

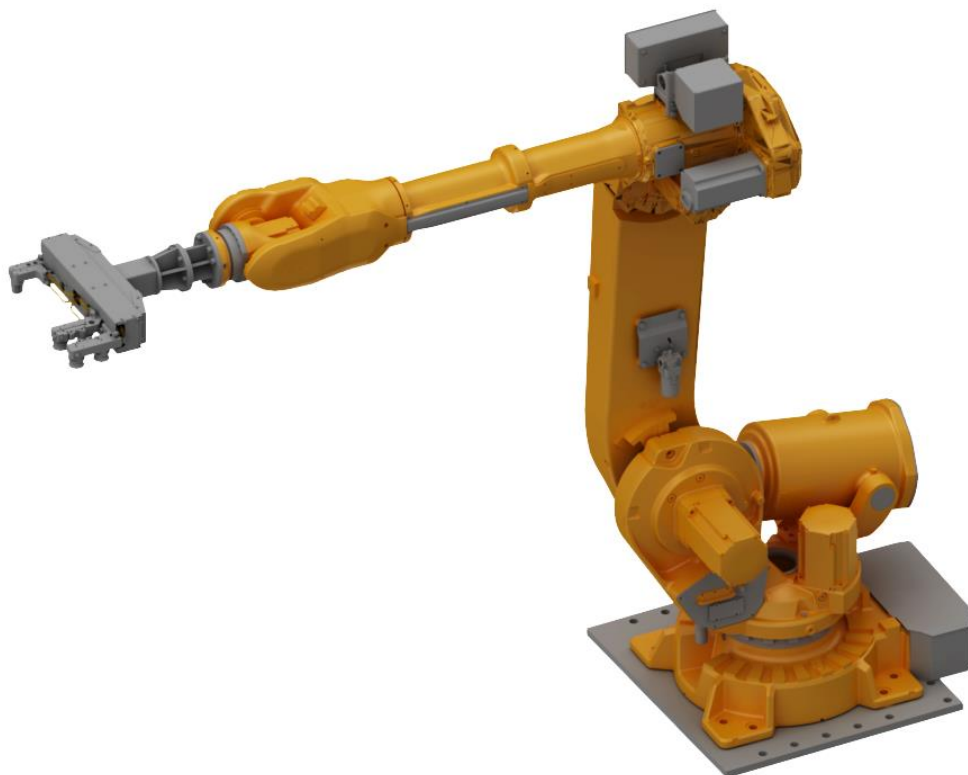


Z ostřihovacího lisu je výkovek přesunut pomocí skluzu na článkový dopravník (obr. 73) s řízeným chlazením. To se provádí pomocí ventilátorů nad dopravníkem. Výkovky jsou posouvány prvním dopravníkem, který má na konci úseku skluz a spadnou na druhý dopravník. Ochlazené výkovky spadnou do bedny, ve které se shromažďují. Až je bedna plná, pracovník přijede s vysokozdvížným vozíkem a je přemístěna do skladu.



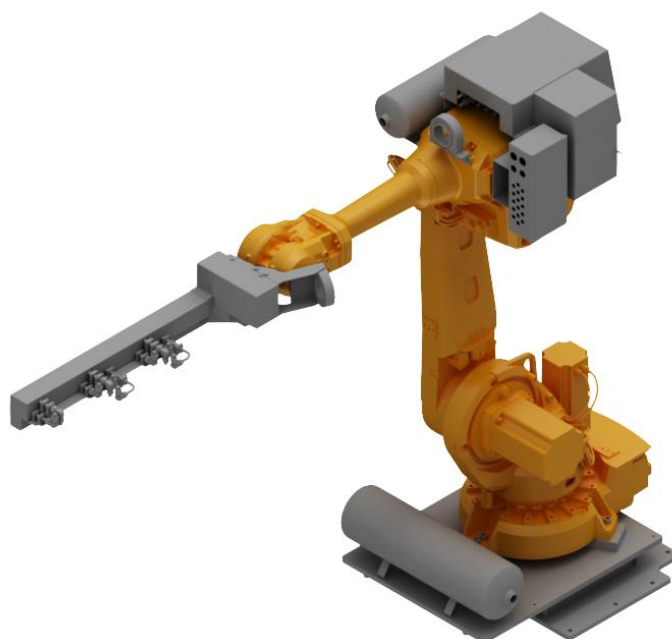
Obr. 73 Řízené chlazení na článkovém dopravníku (vizualizace Inventor 2019)

Na obrázku 74 je sestava robota IRB 6640 Foundry plus s uchopovacím zařízením pro manipulaci s polotovary a výkovky při jednotlivých kovacíh operacích ve svislém kovací lisu.



Obr. 74 Robot IRB 6640 s uchopovacím zařízením (vizualizace Inventor 2019)

Robot ABB IRB 4600 Foundry plus s mazací hlavicí, která se využívá pro mazání zápustek a jeho vizualizace pomocí programu Inventor 2019 je na obr. 75.



Obr. 75 Robot IRB 4600 s mazací hlavicí (vizualizace Inventor 2019)

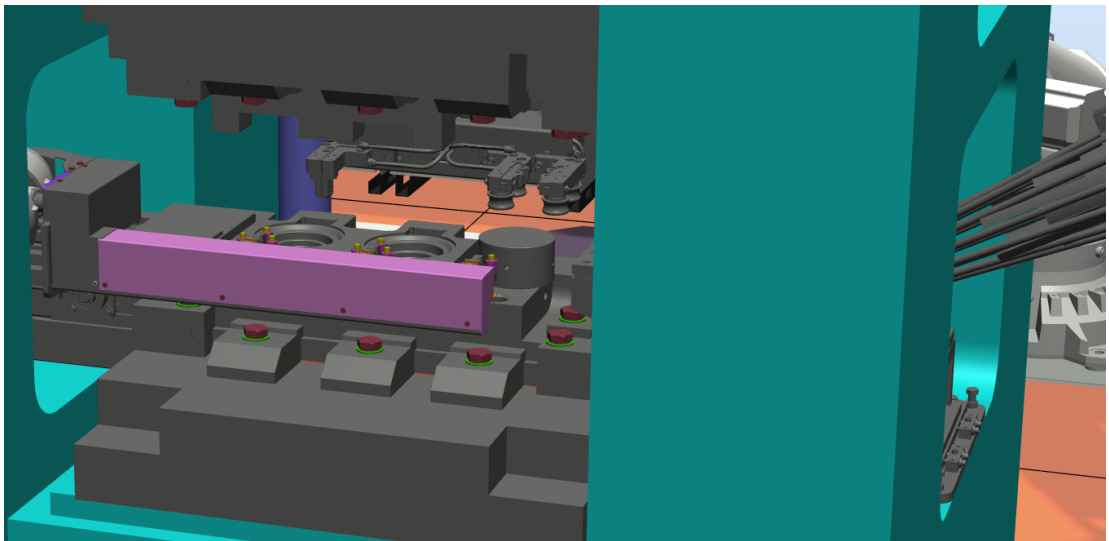
Na obr. 76 je sestava robota ABB IRB 4600 Foundry plus s uchopovacím zařízením, které přenese výkovek z řetězového dopravníku do ostříhovacího lisu, kde dochází k děrování blány a ostřížení výrobku.



Obr. 76 Robot IRB 4600 s uchopovacím zařízením (vizualizace Inventor 2019)

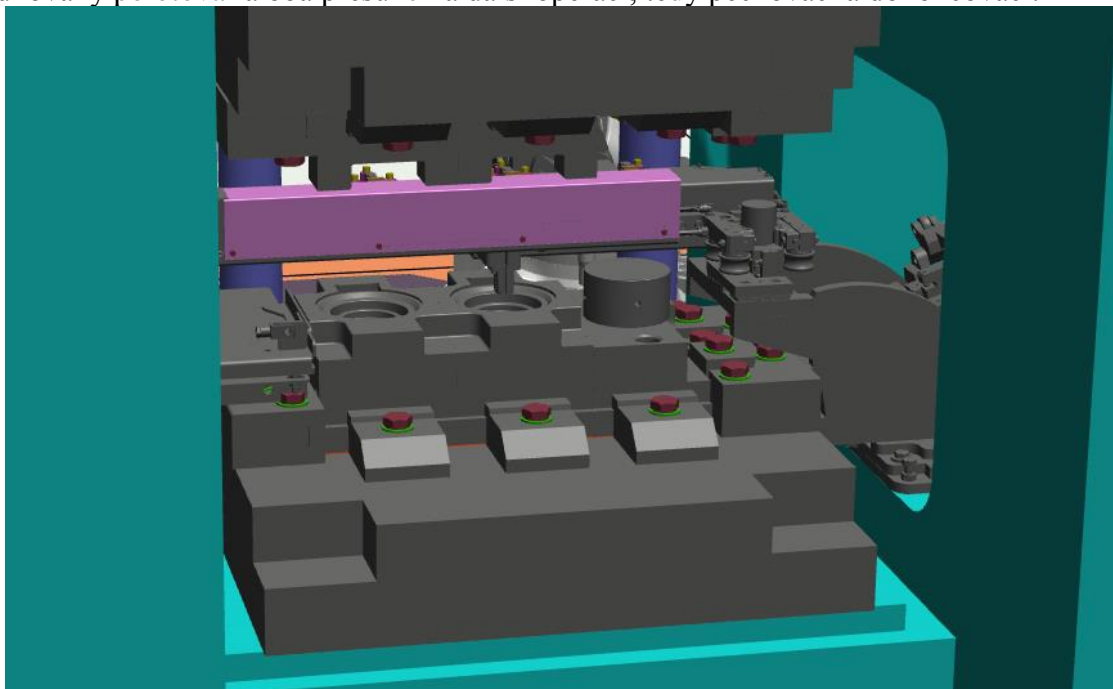
Ve spolupráci s konstrukční kanceláří Del a. s. byl ověřen dosah zvolených průmyslových robotů pomocí simulace. Dále se zkontrolovalo, jestli se navržené uchopovací zařízení vleze do pracovního prostoru kovacího lisu bez kolize. Jednotlivé operace robota s uchopovacím zařízením jsou bez polotovarů a výkovků, jedná se pouze o kontrolu pohybu v pracovním prostoru kovacího lisu FP-1600G. Ke kontrole byl použit programu Robot Studio od firmy ABB, která k němu dodává i 3D modely robotů.

Na obr. 77 je vidět uchopovací zařízení v klidovém stavu před pracovním prostorem lisu. Jednotlivé simulace probíhají bez polotovarů nebo výkovků, protože se jedná o kontrolu kolize robota.



Obr. 77 Výchozí pozice robota

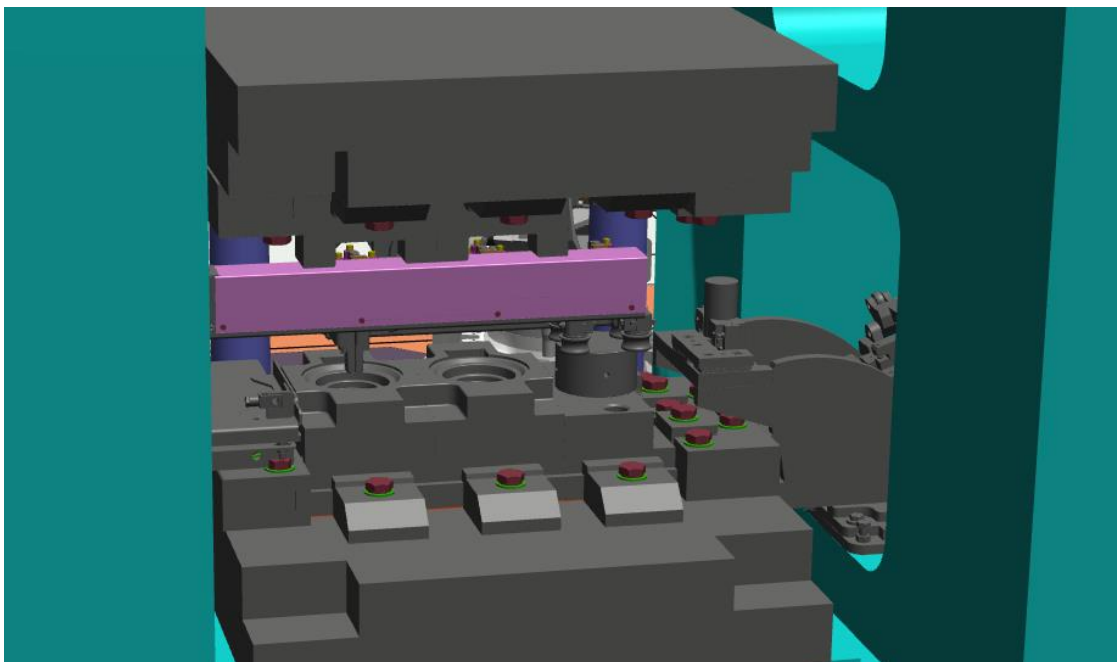
Při první operaci dochází k odebrání polotovaru uchopovačem vpravo a přesunutí do pěchovací dutiny viz obr 78. Jestliže se nejedná o prvotní operaci, může zároveň levý uchopovač odebrat předkováný polotovar a oba přesune na další operaci, tedy pěchovací a dokončovací.



Obr. 78 Odebrání polotovaru, případně i předkovku

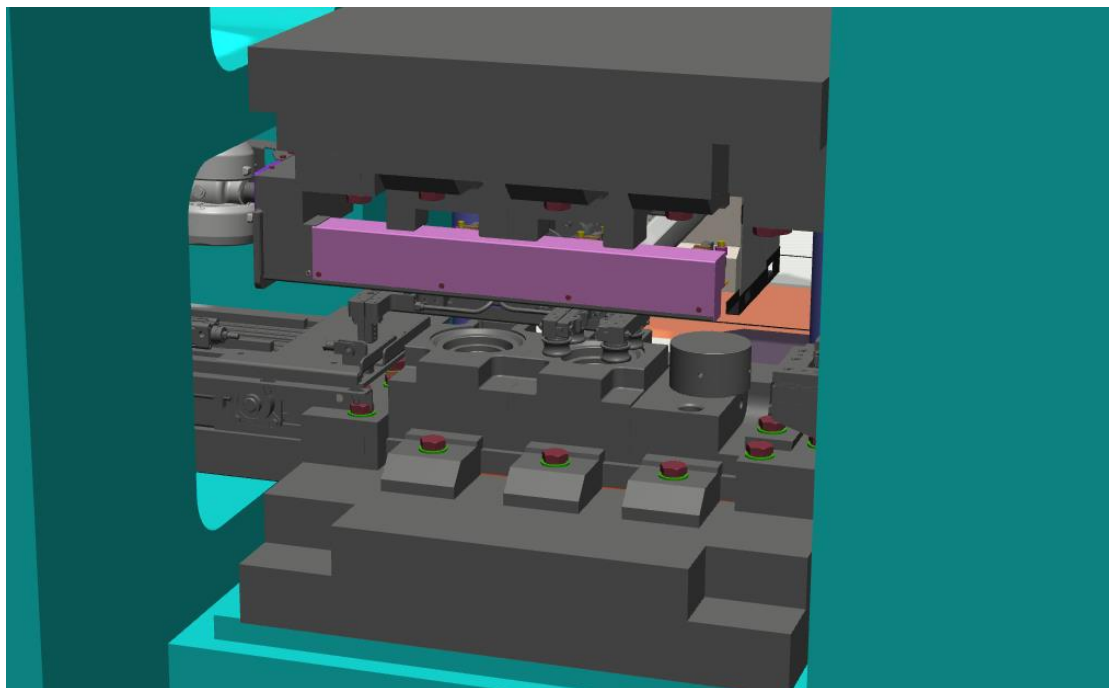


Na obr. 79 je možné vidět simulaci, kdy uchopovací zařízení odebrání předpěchovaný polotovaru a hotový výkovkovek.



Obr. 79 Odebrání napěchovaného špalíku a hotového výkovku

Při poslední manipulaci robota je přenesen předpěchovaný polotovar do předkovací dutiny a zároveň je hotový výkovek přemístěn na jednoúčelový manipulátor, který ho přesune na dopravník, který ho přemístí k ostříhovacímu lisu



Obr. 80 Umístění napěchovaného špalíku a hotového výkovku

Tímto postupem probíhají operace pořád dokola. Mezi jednotlivými operacemi se využívá další robot, který má za úkol ofouknout a namazat dutiny.

#### 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [53], [54]

Celková cena vyráběného kola souvisí s řadou nákladů. Technicko – ekonomické zhodnocení se bude zabývat pouze náklady na výrobu kovacího nástroje – zápustky a na materiál polotovaru, jelikož nejsou známy režijní náklady firmy. Strojní zařízení jsou součástí strojového parku zákazníka, z toho důvodu nejsou náklady na pořízení zohledněny.

Polotovarem výkovku je špalík z oceli 15 142.3 dle ČSN EN 10083–3 o průměru 65 mm a délce 130 mm. Cena 1 kg materiálu je 30,73 Kč bez DPH. Přířezy budou zhotovovány z tyčí o délce 3 m.

Nejprve se stanoví náklady na materiál:

- Počet přířezů z jedné tyče:

$$n_p = \frac{L_t}{L_{př} + \xi_p} = \frac{3000}{130 + 0,9} = 22,9 \text{ ks} \quad (4.1)$$

kde:  $L_t$  – celková délka tyče [mm]

$L_{př}$  – délka přířezu [mm]

$\xi_p$  – šířka pilového pásu [mm], dle dělicího zařízení je prořez 0,9 mm

Celkový počet přířezů z tyče o délce 3 m je 22 kusů, protože se vypočítaná hodnota zaokrouhlí na nejbližší nižší.

- Počet tyčí na celou sérii:

$$n_T = \frac{Q}{n_p} = \frac{500000}{22} = 22727,3 \text{ ks} \quad (4.2)$$

kde:  $n_T$  – počet tyčí pro sérii [ks]

$Q$  – výrobní série [ks]

Výsledek je zaokrouhlen na nejbližší vyšší číslo a pro roční sérii je potřeba 22728 ocelových tyčí o délce 3 m.

- Dále se vypočítá hmotnost jedné tyče:

$$m_t = L_t \cdot \frac{D_t^2 \cdot \pi}{4} \cdot \rho \cdot 10^{-9} = 3000 \cdot \frac{65^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 78,15 \text{ kg} \quad (4.3)$$

kde:  $m_t$  – hmotnost tyče [kg]

$D_t$  – průměr tyče [mm]

Hmotnost třímetrové tyče je stanovena na 78,15 kg.

- Náklady na potřebný počet tyčí pro výrobní sérii:

$$n_{TC} = n_T \cdot m_t \cdot C = 22728 \cdot 78,15 \cdot 30,73 = 54\,579\,718 \text{ Kč} \quad (4.4)$$

kde:  $n_{TC}$  – náklady na pořízení tyčí [Kč]

$C$  – cena za 1 kg oceli 15 142 [Kč]

- Vratné náklady z odpadového materiálu:

$$N_v = (m_t \cdot n_T - m_{čv} \cdot Q) \cdot C_{\xi} \quad (4.5)$$

$$= (78,15 \cdot 22727,3 - 2,9 \cdot 500000) \cdot 4 = 7\,104\,194 \text{ Kč}$$

kde:  $C_{\xi}$  – cena za 1 kg železného šrotu [Kč]

$m_{čv}$  – hmotnost výkovku bez výronku a blány [kg]

Celkové materiálové náklady pro roční sérii zobrazuje tab. 19. Jsou v nich zahrnuty přímé náklady na materiál, od kterých se odečte vratný odpad.

Tab. 19 Materiálové náklady.

náklady	cena [Kč]
přímé náklady na materiál	54 579 718
vratné náklady z odpadového materiálu	-7 104 194
celkové náklady na materiál	47 475 523

Náklady na pořízení zápustky zahrnují cenu oceli 19 552, která je 91,3 Kč za jeden kilogram. Dále zahrnuje výdaje na výrobu třískovým obráběním. Odhadnuté náklady na výrobu zápustky jsou znázorněny v tab. 20. Životnost jedné zápustky je odhadnuta na 25 000 vyrobených výkovků.

Potřebný počet zápustek za rok:

$$N_z = \frac{n_{se}}{z_z} = \frac{500000}{25000} = 20 \text{ ks} \quad (4.5)$$

kde:  $n_{se}$  – zadaná roční série [Kč]  
 $z_z$  – životnost zápustky [kg]

Tab. 20 Náklady na pořízení zápustek

Nástroj	Náklady [Kč]		
	Na materiál	Na výrobu	Celkem
Zápustky (horní + spodní)	18 500	30 000	48 500
Sada dvaceti zápustek	370 000	600 000	<b>970 000</b>

Byly spočítány náklady na materiál v hodnotě 54 579 718 Kč, od kterých se odečtou vratné náklady za ocelový odpad ve výši 7 104 194 Kč, které vznikly při dělení polotovaru, ostříhování a děrování výkovku a nevyužitého konce tyče. Celkové materiálové náklady tedy činí 47 475 523 Kč. Cena zápustky byla odhadnuta na 48 500 Kč, ve které jsou započítány náklady na materiál a výrobu. Pro roční sérii je potřeba dvacet sad zápustek v celkové hodnotě 970 000 Kč. Do celkových výdajů by se následně připočítaly režijní náklady podniku, případně zisk.

## 5 ZÁVĚRY

Cílem bylo vypracovat technologický návrh výroby kola. Součást je využívána v převodovce nákladních automobilů, kde je vysoce namáhaná, proto se bude vyrábět z nízkolegované chrom–molybdenové oceli 15 142. Z rozvahy vhodných technologií výroby bylo zvoleno zápusťkové kování, po kterém se výkovek do-období. Vzhledem k tvaru součásti, strojovému parku zákazníka a roční produkci byl zvolen svislý kovací lis FP–1600G o síle 16 MN.

Při návrhu výroby bylo dodrženo několik základních pravidel a výpočtů. Nejprve byla zvolena přímá dělicí rovina, určeny přídatky na obrábění, úkopy, tloušťky blan a velikosti zaoblení hran a přechodů pro lepší zatékání materiálu do dutiny. Na základě těchto parametrů byl navržen výkovek, ke kterému byla přiřazena obvyklá výronková drážka pro zvolený typ lisu. Na základě toho byl stanoven polotovar o průměru 65 mm a délce 130 mm. Technologický postup kování byl zvolen na tři operace (pěchovací, předkovací a dokončovací).

Kovací síla byla vypočtena metodou dle Tomlenova a vyšla 13,8 MN a bylo zjištěno, že zadaný kovací lis vyhovuje. Do upínače zápusťek byly navrženy vložky kvůli úspoře materiálu. Děrování blány a ostříhování výronku bude prováděno na ostříhovacím lisu OCP-200.

Vzhledem k nedostatku pracovních sil, hlučnému a špinavému prostředí kováren a zadané roční sérii 500 000 kusů je v této variantě návrhu firmou požadováno, aby byl výrobní proces plně automatizován. Při návrhu robotizovaného pracoviště se vycházelo z dispozice haly, tedy polohy kovacího a ostříhovacího lisu. Pro manipulaci s materiálem byly využity tři průmyslové roboty od firmy ABB. Pro přepravu výkovku mezi lisy byl použit řetězový dopravník. Ostříhnutý výkovek bude přemístěn pomocí skluzu na článkový dopravník, který slouží k dopravení součástky do palety.

V technicko – ekonomickém zhodnocení byly vypočítány náklady na materiál, které činí 47 475 523 Kč. Následně byla odhadnuta cena zápusťek ve výši 48 500 Kč. Při použití 20 sad na celou roční sérii jsou náklady na zápusťky 970 000 Kč.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [54]

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA, 2006. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 8021423749.
2. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. 1. Vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1992, 524 s. Technický průvodce. ISBN 80-030-0651-1.
3. Technologie objemového tváření - kování. LENFELD, Petr. *Katedra tváření kovů a plastů - skripta* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní, Katedra strojírenské technologie [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm).
4. ZÁPUSTKOVÉ VÝKOVKY. UNEX [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.unex.cz/cs/odlitky-a-vykovky/zapustkove-vykovky>
5. Racer 999. SoliCAD [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://solicad.com/c/comau-mala-zatez-racer999>
6. Přehled vlastností oceli 15 142. Bohdan Bolzano [online]. [cit. 2019-02-11]. Dostupné z: [https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP\\_%20Tycova\\_ocel/EN\\_10083/MOP\\_vlastnosti\\_42CrMo4.pdf](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10083/MOP_vlastnosti_42CrMo4.pdf)
7. ŘASA, Jaroslav a Josef ŠVERCL, 2004. Strojnické tabulky pro školu a praxi. Praha: Scientia. ISBN 8071833126.
8. FABÍK, Richard, 2012. Tváření kovů: učební text: studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita. ISBN 978-80-248-2572-4.
9. Slévání [online], SPS Vítkovice [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: [http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/ZAV/ZAV3-Slevani1\\_GEI.pdf](http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/ZAV/ZAV3-Slevani1_GEI.pdf)
10. Tatra Phoenix. In: Tatra [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.tatra.cz/nakladni-automobily/produktovy-katalog/tatra-phoenix/>
11. Převodovky. In: Vladislav Blahut – Servis osobních a nákladních automobilů [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://vbservis.cz/>
12. FP-600G-1600G Hot Forging Presses. JING DUANN Machinery Industrial Co. [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.jdmcl.com.tw/en/fp-g-hot-forging-presses-10p.html>
13. Generic Stamping Press OCP-A Series. In: Chin Fong Machine Industrial Co., Ltd. [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.chinfong.com/en/products.php?mode=proDetail&cid=1486100010&pid=1487388535>
14. DVOŘÁK, Milan. Technologie II. 1. Vyd. Brno: CERM, 2001, 238 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2032-4.
15. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
16. FOREJT, Milan. *Teorie tváření a nástroje*. 1. Vyd. Brno: VUT Brno, 1991, 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
17. Tváření: Objemové a plošné. Slideplayer [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/11459599/>

18. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1968, 36 s. DT 669-134:621.73.043
19. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové: Přídavky na obrábění, mezní úchytky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986, 22 s. MDT 621.73.043.
20. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. 1. Vyd. Praha: SNTL, 1965, 730 s. ISBN 04-223-65.
21. DRASTÍK, František. *Výpočty z oboru kování a lisování*. 1. Vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1972, 192 s. ISBN 04-227-72.
22. NOVOTNÝ, Karel, 1992. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické. ISBN 80-214-0401-9.
23. ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svislé kovací lis*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1990, 39 s. MDT 669.35-4.
24. LIDMILA, Zdeněk. *Objemové tváření za tepla*. Prezentace prezentována: [FSI VUT, Ústav strojírenské technologie; 2016, Brno, Česká republika], [cit. 14.03.2019].
25. KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. Košice: Vienala Košice, 2000. ISBN 80-88922-27-5.
26. SKAŘUPA, Jiří. *Roboty a manipulátory I*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Ostrava, 2002. ISBN 80-248-0044-6.
27. CHVÁLA, Břetislav, Robert Matička a Jaroslav TALÁCKO. *Průmyslové roboty a manipulátory*. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00361-X.
28. RUMÍŠEK, Pavel. *Automatizace výrobních procesů II (tváření)*. 1. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 8021402210.
29. POKORNÝ, Arnošt. *Tvářecí Stroje: Podélná a příčná doprava a manipulátory, dělicí a rovnací stroje*. 1. Ostrava: VŠB v ostravě, 1990. ISBN 80-7078-068-1.
30. *Průmyslové roboty značky Kuka*. Kuka [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.kuka.com/cs-cz/produkty,-slu%C5%BEby/robotick%C3%A9-syst%C3%A9my/pr%C5%AFmyslov%C3%A9-roboty>
31. *How to Choose the Right Industrial Robot?*. Robotiq [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://blog.robotiq.com/bid/70408/How-to-Choose-the-Right-Industrial-Robot>
32. *Technická data pro IRB 8700*. ABB [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-8700/irb-8700-technicka-data>
33. *Dodávka kontejnerů pro plynovou elektrárnu - Filipíny (2014)*. Variel [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://variel.cz/reference/>
34. *DOPRAVNÍKY*. Dalet [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.datel-ledec.cz/dopravniky>
35. *Sized to fit your capacity requirements*. West Salem Machinery [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.westsalem.com/machines/wsm-vibrating-screens-conveyors/>
36. *Řetězové dopravníky*. Jakos: *Výroba dopravníků a výroba kotlů* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.jakos.cz/retezove-dopravniky.php?sl=cs>
37. *Dopravníky pro kovárenskou výrobu*. Jan Říha [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: [http://jan-riha.cz/katalogove-listy/E\\_letak\\_kovar\\_OK.pdf](http://jan-riha.cz/katalogove-listy/E_letak_kovar_OK.pdf)

38. Pásové dopravníky přímé. Haberkorn [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/pasove-dopravniky-prime/>
39. DOPRAVNÍKY S ČLÁNKOVÝM ŘETĚZEM. Alvaris [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <http://www.alvaris.eu/cz/dopravniky/retezove-dopravniky/dopravniky-s-clankovym-retezem>
40. Dopravníky. In: Elektronická učebnice [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1923>
41. Válečkové dopravníky. In: Haberkorn [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/valeckove-dopravniky/>
42. BEDNÁŘ, Bohumír, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Ladislav MICHÁLEK, 2005. Technologičnost konstrukce I. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN 80-010-3268-X.
43. ČADA, Radek. *Technologie I*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2008, 360 s. ISBN 978-80-248-1507-7.
44. KOTOUČ, Jiří, 1993. Tvářecí nástroje. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 8001010031.
45. ČADA, Radek, Jakub MACHÁLEK a Barbora FRODLOVÁ. *Týmová cvičení předmětu Technologie tváření a slévání: Návod do cvičení předmětu "Technologie tváření a slévání"*. 1. Vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2718-6.
46. Kompaktní středofrekvenční ohřivače přířezů typové řady KSO do 630 kW. In: ROBOTERM spol.s r.o. [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/produkty/indukcni-ohrivace/ohrivace-prirezu/kompaktni-ohrivace-prirezu-kso-do-630-kw>
47. Výklopník palet. In: ROBOTERM spol.s r.o. [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/produkty/mechanizace-zakladani/vyklopnik-palet>
48. Vibrační zásobník. In: ROBOTERM spol.s r.o. [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/produkty/mechanizace-zakladani/vibracni-zasobnik>
49. Nástrojová ocel X37CrMoV5-1. In: Bohdan Bolzano [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove\\_oceli/MOP\\_X37CrMoV5-1.pdf](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_X37CrMoV5-1.pdf)
50. Průmyslový robot IRB 6640. In: ABB s.r.o. [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-6640>
51. Austenitická žáruvzdorná ocel X8CrNi25-21. In: Bohdan Bolzano [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: [zaruvzdornych-oceli/vyrobvyrobky-z-korozivzdornych-a-ky-z-oceli-zaruvzdornych/materialove-listy/x8crni25-21-austeniticke](https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/Nastrojove_oceli/MOP_X8CrNi25-21-austeniticke)
52. Průmyslový robot IRB 4600. In: ABB s.r.o. [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-6640>
53. Tyč ocelová válcovaná za tepla průměr 65. In: Ferona a.s [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/5359/tyc-ocelova-kruhova-valcovana-za-tepla-en-10060-prumer-65>
54. *Citace PRO* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
$d_{k1}$	Průměru vyhazovacího kolíku (dolní zápustka)	[mm]
$d_{k2}$	Průměru vyhazovacího kolíku (horní zápustka)	[mm]
$\tau_s$	Střížný odpor	[MPa]
$\sigma_0$	Normálové napětí	[MPa]
$\sigma_n$	Normálové napětí v n-tém tahu	[MPa]
$\sigma_S$	Základní přetvárný odpor, změněný o koeficient plastiity	[MPa]
a	Velikost jehly	[mm]
$A_{c1}$	Podutektoidní teplota	[°C]
$A_{c3}$	Rekrystalizační teplota	[°C]
$A_i$	Velikost dílčí plochy pod křivkou napětí	[MPa · mm]
B	Šířka otřepu v zásobníku	[mm]
b	Šířka můstku	[mm]
b	Šířka můstku	[mm]
$b_n$	Šířka průřezu	[mm]
C	Cena za 1 kg oceli 15 142	[Kč]
$C_o$	Součinitel snížení plasticity materiálu v oblasti výronku vlivem poklesu teplot	[-]
$C_{\text{š}}$	cena za 1 kg železného šrotu	[Kč]
D	Průměr dutiny	[mm]
$D_0$	Průměr polotovaru	[mm]
$D_{0p}$	Předběžný průměr	[mm]
$D_c$	Průměr výkovku s můstkem	[mm]
$D_{i+1}$	Průměr dílčí plochy v pohybujícím se dílu zápustky	[mm]
$D_{k1}$	Průměru hlavy (paty) kolíkového vyhazovače (dolní zápustka)	[mm]
$d_{k1}$	Průměru otvoru pro vyhazovací kolík (dolní zápustka)	[mm]
$d_{k1}$	Průměru otvoru pro vyhazovací kolík v dolní zápustce	[mm]
$D_{k2}$	Průměru hlavy (paty) kolíkového vyhazovače (horní zápustka)	[mm]
$d_{k2}$	Průměru otvoru pro vyhazovací kolík (dolní zápustka)	[mm]
$D_t$	Průměr tyče	[mm]
$D_v$	Průměr průřezu výkovku	[mm]
$F_{DS}$	Děrovací síla	[F]
$F_k$	Kovací síla	[N]
$F_n$	Velikost síly od normálových napětí	[N]
$F_{OS}$	Ostřihovací síla	[N]
$F_{SC}$	Celková střížná síla	[N]
$F_t$	Velikost síly od tangenciálních napětí	[N]
g	Otřep a sestřížení	[mm]
h	Výška můstku	[mm]
$H_d$	Výška prvního osazení od dělicí roviny	[mm]
$h_n$	Výška průřezu	[mm]
KV	Houževnatost	[J]
$L_0$	Délka polotovaru	[mm]
$L_{0p}$	Předběžná délka	[mm]
$L_{př}$	Délka průřezu	[mm]

$L_t$	Celková délka tyče	[mm]
$m_{\check{c}v}$	Hmotnost výkovku bez výronku a blány	[kg]
$m_p$	Hmotnost polotovaru	[kg]
$m_t$	Hmotnost tyče	[kg]
$n$	Výška zásobníku	[mm]
$n_p$	Počet přířezů	[ks]
$n_{se}$	Zadaná roční série	[Kč]
$n_T$	Počet tyčí na celou sérii	[ks]
$n_{Tc}$	Náklady na pořízení tyčí	[Kč]
$N_v$	Vratné náklady z odpadového materiálu	[kč]
$N_z$	Potřebný počet zápustek za rok	[ks]
$O$	Obvod výkovku bez blán a výronků	[mm]
$O_D$	obvod děrované blány	[mm <sup>2</sup> ]
$O_v$	Obvod výkovku v dělicí rovině (bez výronku)	[mm]
$O_v$	obvod výkovku v dělicí rovině (bez výronku)	[mm <sup>2</sup> ]
$p$	Dovolené přesazení	[mm]
$Q$	Výrobní série	[ks]
$R$	Vnější poloměr	[mm]
$r$	Poloměr přechodu z dutiny do můstku	[mm]
$R_a$	Drsnost plochy zápustek	[μm]
$Re$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez kluzu	[MPa]
$R_{mT}$	Pevnost oceli za kovací teploty	[MPa]
$s$	Tloušťka kovací blány	[mm]
$S_v$	Průmět plochy výkovku do roviny	[cm <sup>2</sup> ]
$\check{S}_p$	Šířka pilového pásu	[mm]
$V_0$	Objem polotovaru	[mm <sup>3</sup> ]
$V_c$	Objem výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$V_n$	Objem tělesa vzniklého rotací plochy ohraničené křivkou napětí a osou x kolem výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$V_p$	Objem přídatku na propal	[mm <sup>3</sup> ]
$V_v$	Objem výkovku bez výronku	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm <sup>3</sup> ]
$x_i$	Vzdálenost těžiště plochy $A_i$ od osy výkovku	[mm]
$Z$	Zúžení	[%]
$Z_z$	Životnost zápustky	[kg]
$\Delta$	vůle ve vedení	[mm]
$\Delta S_i$	Povrch dílčích bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky	[mm <sup>2</sup> ]
$\Delta h_i$	výška dílčí boční plochy výkovku v pohybujícím se dílu zápustky	[mm]
$\Delta S'_i$	Povrch dílčích bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky	[mm]
$\lambda$	Štíhlostní poměr	[-]
$\mu$	Koeficient tření	[-]
$\rho$	Měrná hmotnost materiálu	[kg · m <sup>-3</sup> ]
$\psi$	Veličina vyjadřující vliv tření na vzrůst napětí	[-]
$\delta$	Velikost opalu	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výkovků a šestiosého kloubového robota [4], [5] .....	9
Obr. 2 Ukázka použití součástky [10], [11] .....	10
Obr. 3 Základní rozměry .....	10
Obr. 4 Kovací lis Jing Duann FP-1600G [12] .....	11
Obr. 5 Ostříhovací lis Chin Fong OCP-200 [13] .....	11
Obr. 6 Ukázka zápusťkového kování [17] .....	12
Obr. 7 Příklady dělicích rovin [2] .....	12
Obr. 8 Označení výkovku [19] .....	12
Obr. 9 Tvar blan u předkovaných otvorů [20] .....	13
Obr. 10 Přídavky na výkovku [14] .....	14
Obr. 11 Zaoblení hran výkovku [19] .....	14
Obr. 12 Kovací teploty uhlíkových ocelí [2] .....	16
Obr. 13 Držák s vložkami [2] .....	17
Obr. 14 Základní druhy výronkových drážek pro zápusťky svislých kovacích lisů [23] .....	18
Obr. 15 Upínání zápusťek na svislých kovacích lisech [20] .....	19
Obr. 16 Vyhazovače pro svislé kovací lisy [23] .....	19
Obr. 17 Nárůst normálových napětí směrem ke středu výkovku dle Tomlenova [23] .....	21
Obr. 18 Způsoby ostříhávání [2] .....	22
Obr. 19 Děrování [2] .....	22
Obr. 20 Normalizační žihání [24] .....	23
Obr. 21 Žihání na měkko [24] .....	23
Obr. 22 Žihání ke snížení pnutí [24] .....	23
Obr. 23 Zušlechťování [24] .....	24
Obr. 24 Průmyslové roboty Kuka [30] .....	24
Obr. 25 Rozdělení manipulačních zařízení [29] .....	25
Obr. 26 Kinematické schéma lidské ruky [25] .....	26
Obr. 27 Kinematika robota [31] .....	26
Obr. 28 Pracovní prostor robota ABB IRB 8700 [32] .....	26
Obr. 29 Skluzu automatické třídící linky [33] .....	28
Obr. 30 Podvěsný dopravník [34] .....	28
Obr. 31 Vibrační dopravníky [35] .....	28
Obr. 32 Řetězový dopravník [36], [37] .....	29
Obr. 33 Pásový dopravník [38] .....	29
Obr. 34 Článkový dopravník [39] .....	29
Obr. 35 Okružní dopravník [40] .....	29
Obr. 36 Válečková trať [41] .....	29
Obr. 37 Členění zařízení hmotného toku [28] .....	30
Obr. 38 Stanovení dělicí roviny [2] .....	31
Obr. 39 Přídavky [14] .....	31
Obr. 40 Ustavení polotovaru v zápusťce [2] .....	31
Obr. 41 Model kola .....	32
Obr. 42 Poloha dělicí roviny .....	32
Obr. 43 Největší rozměry kola .....	32
Obr. 44 Úkosy .....	33
Obr. 45 Rozměry výkovku pro určení zaoblení .....	33
Obr. 46 Poloměry zaoblení výkovku .....	33
Obr. 47 Přídavky .....	34
Obr. 48 Úchyly tvaru výkovku [18] .....	35

Obr. 49 Plocha průmětu výkovku .....	35
Obr. 50 Rozměry drážky .....	36
Obr. 51 Tvar polotovaru .....	37
Obr. 52 Indukční ohřev [46] .....	37
Obr. 53 Výklopník palet [47].....	37
Obr. 54 Vibrační zásobník [48] .....	37
Obr. 55 Grafické znázornění výpočtu pro kovací sílu dle Tomlenova.....	38
Obr. 56 Vložkování zápustky .....	41
Obr. 57 Vizualizace sestavy zápustek.....	43
Obr. 58 Vizualizace sestavy dokončovací zápustky .....	44
Obr. 59 Vizualizace sestavy předkovací zápustky.....	44
Obr. 60 Vizualizace sestavy pěchovací zápustky .....	45
Obr. 61 Vizualizace výkovku bez výronku .....	46
Obr. 62 Vizualizace ostříženého a děrovaného výkovku .....	46
Obr. 63 Podavač (vizualizace Inventor 2019) .....	48
Obr. 64 ABB IRB 6640 [50].....	48
Obr. 65 Pracovní prostor robota ABB IRB 6640 [50].....	48
Obr. 66 Uchopovací zařízení (vizualizace Inventor 2019).....	49
Obr. 67 IRB 4600 [52].....	49
Obr. 68 Pracovní prostor [52] .....	49
Obr. 69 Mazací hlavice (vizualizace Inventor 2019).....	50
Obr. 70 Řetězový dopravník (vizualizace Inventor 2019).....	50
Obr. 71 Uchopovač (vizualizace Inventor 2019).....	51
Obr. 72 Stůl ostříhovacího lisu (vizualizace Inventor 2019).....	51
Obr. 73 Řízené chlazení na článkovém dopravníku (vizualizace Inventor 2019).....	52
Obr. 74 Robot IRB 6640 s uchopovacím zařízením (vizualizace Inventor 2019).....	52
Obr. 75 Robot IRB 4600 s mazací hlavicí (vizualizace Inventor 2019).....	53
Obr. 76 Robot IRB 4600 s uchopovacím zařízením (vizualizace Inventor 2019).....	53
Obr. 77 Výchozí pozice robota .....	54
Obr. 78 Odebrání polotovaru, případně i předkovku.....	54
Obr. 79 Odebrání napěchovaného špalíku a hotového výkovku .....	55
Obr. 80 Umístění napěchovaného špalíku a hotového výkovku .....	55

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli 15 142 [6].	10
Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 15 142 [6].	11
Tab. 3 Tepelné zpracování oceli 15 142 [6].	11
Tab. 4 Přídavky na obrábění ploch pro přesné provedení [19].	13
Tab. 5 Nejmenší tloušťka dna blány a stěny výkovku [19].	13
Tab. 6 Úkosity u zápusťkových výkovků [19].	14
Tab. 7 Zaoblení hran výkovku [19].	14
Tab. 8 Stupeň přesnosti dle ČSN 42 9030 [19].	15
Tab. 9 Doporučené kmitočty pro různé průměry ocelových přířezů [1].	17
Tab. 10 Výronková drážka zápusťky pro lis [23].	18
Tab. 11 Šířka otřepu zásobníku [20].	18
Tab. 12 Drsnosti ploch zápusťek dle ČSN 22 8306 [23].	20
Tab. 13 Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r [19].	35
Tab. 14 Rozměry potřebné pro výpočet kovací síly dle Tomlenova.	38
Tab. 15 Mezní úchytky rozměrů dokončovací dutiny [23].	42
Tab. 16 Chemické složení oceli 19 552 [49].	42
Tab. 17 Technologický postup výroby.	47
Tab. 18 Chemické složení oceli 17 255 [51].	49
Tab. 19 Materiálové náklady.	57
Tab. 20 Náklady na pořízení zápusťek.	57

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Nástrojové oceli pro zápustky [23]
Příloha 2	Mezní úchytky a tolerance rozměrů pro stupeň přesnosti IT4 [19]
Příloha 3	Mezní úchytky a tolerance rozměrů pro stupeň přesnosti IT5 [19]
Příloha 4	Ohřívací zařízení KSO 400 [46]
Příloha 5	Parametry výklopníku palet VP2000 a vibračního zásobníku VZ1800 [47,48]
Příloha 6	Parametry Kovacího lisu Jing Duan FP-1600G [12]
Příloha 7	Základní řada kolíkových vyhazovačů [23]
Příloha 8	Parametry ostříhovacího lisu Chin Fong OCP-200 [13]

## SEZNAM VÝKRESŮ

Kolo	A3-DP-01-170891
Výkovek	A3-DP-02-170891
Teplý výkovek	A3-DP-03-170891
Kovací zápustky	A0-DP-04-170891
Dolní blok 1	A3-DP-05-170891
Dolní blok 2	A3-DP-06-170891
Horní blok 1	A3-DP-07-170891
Horní blok 2	A3-DP-08-170891
Pěchovací vložka 1	A4-DP-09-170891
Pěchovací vložka 2	A4-DP-10-170891
Dokončovací vložka 2	A3-DP-11-170891
Dokončovací vložka 1	A3-DP-12-170891
Předkovací vložka 2	A3-DP-13-170891
Předkovací vložka 1	A3-DP-14-170891
Středicí vložka 1	A3-DP-15-170891
Středicí vložka 2	A3-DP-16-170891
Kolíkový vyhazovač 1	A3-DP-17-170891
Kolíkový vyhazovač 2	A3-DP-18-170891
Kolíkový vyhazovač 3	A3-DP-19-170891
Kolíkový vyhazovač 4	A3-DP-20-170891

Značka oceli dle ČSN (dle ČSN EN)	Použití oceli k:			
	Velikost zápustky	Namáhání zápustky	Kovací stroj	Materiálu výkovku
19 552 (X38CrMoV5-1)	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané nástroje	buchary, vřetenové a kovací lisy	nelegované, nizkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 642 (35NiCrMo16)	malé, střední a velké zápustky	středně tepelně namáhané, s velkou houževnatostí	hlavně buchary, ale i vřetenové a kovací lisy	nelegované, nizkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 662 (54NiCrMoV6)	střední a velké zápustky	středně tepelně namáhané, s velkou houževnatostí	hlavně buchary	nelegované, nizkolegované oceli
19 663 (56NiCrMoV7)	malé, střední a velké zápustky	středně tepelně namáhané, s velkou houževnatostí	buchary, vřetenové a kovací lisy	nelegované, nizkolegované oceli
19 720 (X30WCrV5-3)	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, dostatečně houževnaté	všechny druhy lisů a buchary	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů
19 721 (X30WCrV9-3)	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, dostatečně houževnaté	všechny druhy lisů	všechny druhy ocelí, slitiny mědi a lehkých kovů
19 740 (X30WCrV4-1)	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané, dostatečně houževnaté	všechny druhy lisů	nelegované, nizkolegované oceli, slitiny lehkých kovů



Největší průměr výkovku D ve směru kolmo k rázu [mm]		Rozměr výkovku kolmo ke směru rázu H [mm]							
		Přes	25	40	63	100	160	250	400
		Do 25	40	63	100	160	250	400	630
Přes Do 25	Mezní	+0,3	+0,4	+0,5	+0,5	+0,6			
	Úchytky	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3			
	Tolerance	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9			
Přes 25 Do 40	Mezní	+0,4	+0,5	+0,5	+0,6	+0,7	+0,8		
	Úchytky	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4		
	Tolerance	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2		
Přes 40 Do 63	Mezní	+0,5	+0,5	+0,6	+0,7	+0,7	+0,9		
	Úchytky	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4		
	Tolerance	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,3		
Přes 63 Do 100	Mezní	+0,5	+0,6	+0,7	+0,7	+0,8	+0,9	+1,2	
	Úchytky	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	
	Tolerance	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,7	
Přes 100 Do 160	Mezní	+0,6	+0,7	+0,7	+0,8	+0,9	+1,0	+1,2	
	Úchytky	-0,3	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6	
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	
Přes 160 Do 250	Mezní	+0,7	+0,8	+0,9	+0,9	+1,0	+1,2	+1,4	+1,6
	Úchytky	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,8
	Tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7	2,0	2,4
Přes 250 Do 400	Mezní	+0,9	+1,0	+1,1	+1,2	+1,2	+1,4	+1,6	+1,8
	Úchytky	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,7	-0,9
	Tolerance	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,3	2,7
Přes 400 Do 630	Mezní	+1,2	+1,2	+1,3	+1,4	+1,4	+1,6	+1,8	+2,0
	Úchytky	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8	-1,0
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,6	3
Přes 630 Do 1000	Mezní	+1,5	+1,6	+1,6	+1,7	+1,8	+1,9	+2,1	+2,3
	Úchytky	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1,0	-1,2
	Tolerance	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	3,1	3,5

Největší průměr výkovku D ve směru kolmo k rázu [mm]		Rozměr výkovku kolmo ke směru rázu H [mm]							
		Přes	25	40	63	100	160	250	400
		Do 25	40	63	100	160	250	400	630
Přes Do 25	Mezní	+0,6	+0,6	+0,7	+0,8	+1,0			
	Úchytky	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4			
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4			
Přes 25 Do 40	Mezní	+0,7	+0,8	+0,9	+1,0	+1,1	+1,2		
	Úchytky	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,6		
	Tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8		
Přes 40 Do 63	Mezní	+0,9	+1,0	+1,0	+1,1	+1,2	+1,4		
	Úchytky	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6		
	Tolerance	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0		
Přes 63 Do 100	Mezní	+1,0	+1,1	+1,1	+1,2	+1,4	+1,5	+1,7	
	Úchytky	-0,5	-0,5	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	
Přes 100 Do 160	Mezní	+1,1	+1,2	+1,3	+1,4	+1,5	+1,6	+1,8	
	Úchytky	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	
Přes 160 Do 250	Mezní	+1,4	+1,4	+1,5	+1,5	+1,7	+1,8	+2,0	+2,3
	Úchytky	-0,6	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,9	-1,0	-1,2
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,5
Přes 250 Do 400	Mezní	+1,6	+1,7	+1,8	+1,8	+1,9	+2,1	+2,3	+2,6
	Úchytky	-0,8	-0,8	-0,8	-0,9	-1,0	-1,0	-1,1	-1,3
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9
Přes 400 Do 630	Mezní	+1,9	+2,0	+2,1	+2,1	+2,3	+2,4	+2,6	+3,0
	Úchytky	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,1	-1,2	-1,3	-1,4
	Tolerance	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6	3,9	4,4
Přes 630 Do 1000	Mezní	+2,5	+2,6	+2,7	+2,7	+2,9	+3,0	+3,2	+3,5
	Úchytky	-1,3	-1,3	-1,3	-1,4	-1,4	-1,5	-1,6	-1,8
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	5,3

Ohřívání materiálu		magnetická ocel
Průměr přířezu	mm	30 – 100
Délka přířezu	mm	1,4D – 500
Maximální ohřáté množství	kg/h	1020
Výstupní teplota přířezů	°C	max. 1250
Výkon	kW	400
Frekvence	kHz	1,5 – 4
Vstupní napětí z oddělovacího transformátoru	V	3 x 400
Příkon	kVA	480
Spotřeba chladicí vody	m <sup>3</sup> /h	7,5

**Příloha 5** Parametry výklopníku palet VP2000 a vibračního zásobníku VZ1800 [47,48] 1/1

Vibrační zásobník VZ 1800		
Průměr přířezu	mm	25 – 85
Délka přířezu	mm	80-300
Minimální poměr l/D	-	1,3
Maximální rychlost přířezů na výstupu	mm/s	60
Střední rychlost přířezů na výstupu	mm/s	10 - 25
Zastavěná plocha – délka x šířka	mm	1908x1908

Výklopník palet VP 2000		
Maximální hmotnost vyklápených přířezů	kg	2000
Zastavěná plocha – délka x šířka	mm	1900x1100
Plechová paleta – délka x šířka	mm	800x1200

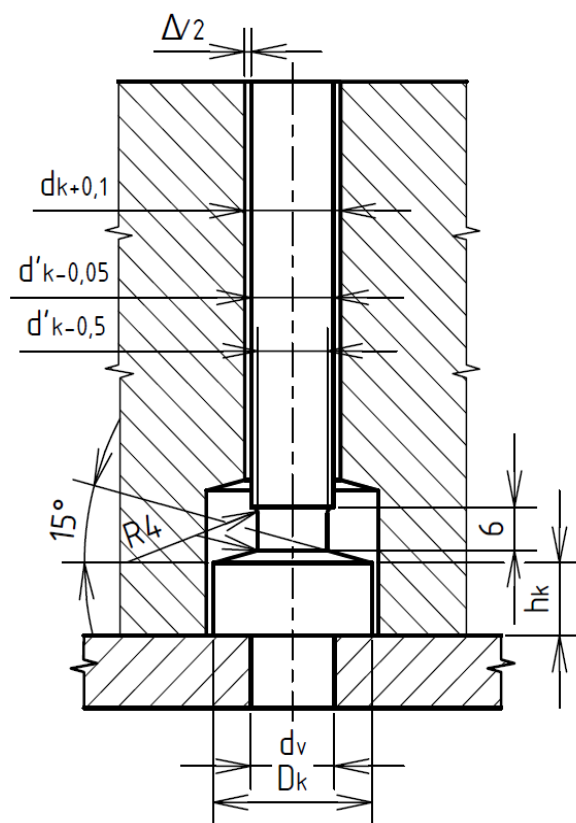


ITEM	MODEL	FP-1600G
Capacity		1600
Stroke of ram		300
Adjustment of ram		10
Number of stroke		70
Work number of stroke		16
Shut height		900 / 1100
Rated tonnage point		6
Ram dimension (L-R & F-B)		1080×1040
Table dimension (L-R & F-B)		1200×1200
Side window (L-R & F-B)		900×750 / 900×950
Main motor		110kw×6p
Ejector in the ram		7.5Ton – 40mm
Ejector in the table		24Ton – 60mm
Working number-distance		3 - 240
Press weight		130,000
Press Dimension (L×W×H)		4345×4210×7725 4345×4210×7925

## FEATURES

- The upward and downward material-topping design can reduce the inclination of mold cavity to minimize material consumption and save on materials.
- Strong start-up force ensures high production efficiency and the stroke specification of machine are different from tradition ones which facilitate processing of various forgings.
- The operation winds installed at both sides of the machine frame can facilitate the transmission of forgings and enable automatic pressing operation.
- The box-type machine frame features rigid structure that is ideal for warm or hot forging operations and turn out high-precision forgings. High production efficiency, simple operation, easy maintenance and low production cost.
- A special design to tackle mold-sticking conditions can make molds return to their normal state for easy operation.
- The accurate design promise great strength of inclination, allow heavy eccentric load and enables multi-forging operations to work out precision forgings.
- The grease lubricated system can reduce frictions among varied machined parts.
- Multiple safety-operation circuit system assures the safety of operations.
- FP-G is gear transmission type which is suitable for making longer parts and material vertical to forge such as alloy, aluminum parts. It is double geared driven which offers higher torque. press stroke speed (SPM) but FP type can't.

Jmenovitý průměr $d_k$	Vůle ve vedení $\Delta$	$h_k$
12	0,2	10
14		
16		
18		
20		
22	0,3	15
25		
28		
32		
36		
40		
45	0,4	20
50		
56		
63		
70		
80		



	Opracování $R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]
Vodící plocha	0,8 – 1,6
Činná část	0,8 – 1,6
Dosedací plocha	1,6 – 3,2
Ostatní	12,5

**SPECIFICATIONS 仕様**

MODEL 機種		OCP-200		
TYPE 型式		S	H	L
Capacity 能力	Tons	200		
Rated tonnage point (above B.D.C.) 能力発生点	mm	6	4	6
Stroke length ストローク長さ	mm	150	100	200
Strokes per minute ストローク数	Fixed 固定 S.P.M.	50	65	35
	Variable 変速 S.P.M.	55~70	45~55	25~30
Die height (S.D.A.U.) ダイハイト	mm	475	500	450
Slide area (L.R. x F.B.) スライド面積	mm	850x650		
Bolster area (L.R. x F.B.) ボルスター面積	mm	1400x820		
Bolster thickness ボルスター厚さ	mm	160		
Slide adjustment スライド調整量	mm	110		
Main motor (HPxp) 主電動機	HPxp	20x4		
Slide adjusting motor スライド調整モーター	HPxp	1(0.75 kW)x4		
Working Height 作業面高さ	mm	1020		
Slide Plate Thickness スライド厚さ	mm	90		
Maximun Upper Die Weight 最大上型重さ	kg	800		
Die Cushion ダイクッション				
Capacity 能力	ton	14		
Pad Area(L.RxF.B) パッド面積	mm	640x470		
Stroke ストローク	mm	100		