



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY ČEPU TÁHLA ŘÍZENÍ

PRODUCTION DESIGN OF A TIE ROD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Kokeš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Vojtěch Kokeš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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

Návrh výroby čepu táhla řízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby čepu řízení z oceli objemovým tvářením za tepla. Součástka je prostorového tvaru a pravděpodobně bude vyráběna technologií zápusťkového kování. Na zvolenou problematiku bude také zaměřena literární studie a následně i vlastní řešení.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit a popsat zadanou součást – čep,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zhodnotit technologičnost čepu,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres nástroje.

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

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

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN80-214-0401-9.

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem výroby čepu táhla řízení přední nápravy automobilu. Součást byla zhotovena z nízkolegované chrom-molybdenové oceli 42CrMo4 o velikosti výrobní série 120 000 kusů. Z možných výrobních řešení byla shledána za nejvhodnější technologie zápusťkového kování na lisu. Na základě rozměrů součásti byl navržen výkovek zvětšením o přídavky na obrábění, úkosy, zaoblení a blánu, pro který bylo shledáno jako nejlepší možnost výroby ve dvojkusu. Pomocí průřezového obrazce byl vytvořen tvar ideálního předkovku, který byl zhotoven technologií PKV. Z největší vypočítané kovací síly byl vybrán mechanický klikový lis LZK 1000 P/SH, do jehož upínače byl pro dokončovací operaci navržen zápusťkový blok, vyroben z nástrojové oceli 19 554. Nakonec byl proces seřazen do kovací linky.

Klíčová slova

Tváření za tepla, zápusťkové kování, výkovek, čep řízení, ocel 42CrMo4

ABSTRACT

Thesis focuses on the production design of a tie rod for the front axle of a car. The component is made from low-alloy chromium-molybdenum steel 42CrMo4, with a production series size of 120 000 pieces. Among the possible manufacturing methods, closed-die forging using a mechanical press was identified as the most suitable. Based on the dimensions of final part, it was possible to design a forged part with allowances for machining, draft angles, radii and membrane, and two-pieces forging configuration was chosen as optimal manufacturing solution. Using a cross-sectional diagram, the shape of ideal preform was determined and manufactured by PKV technology. According to the greatest calculated forging force was chosen a mechanical crank press LZK 1000 P/SH. For the finishing forging operation a die block was designed made from tool steel 19 554 with dimensions to fit into the press holder. Finally, the entire process was arranged into a forging production line.

Keywords

Hot forming, die forging, forging, tie rod end, steel 42CrMo4

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOKEŠ, Vojtěch. *Návrh výroby čepu táhla řízení*. Online, bakalářská práce. Kamil PODANÝ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165585>.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně, 23.5.2025

místo, datum

Vojtěch Kokeš

jméno, příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu práce Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Chtěl bych také poděkovat své rodině a nejbližším přátelům za podporu v průběhu studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Varianty řešení výroby	11
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	13
2.1 Návrh výkovku	14
2.2 Polotovár	19
2.3 Síly.....	22
2.4 Lisý	24
2.5 Zápustky	25
2.6 Technologičnost	26
3 NÁVRH VÝROBY	27
3.1 Tolerance výkovku	29
3.2 Volba polotovaru	31
3.3 Výpočet síly.....	36
3.4 Volba lisu	41
3.5 Konstrukce zápustky	42
3.6 Kovací linka	45
ZÁVĚR.....	46

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam příloh

Seznam výkresové dokumentace

ÚVOD

Strojírenství patří neodmyslitelně již dlouhá léta mezi nejdůležitější odvětví výroby. Díky jeho široké škále využitelnosti pro různé každodenně využívané zařízení je považováno za nenahraditelné. Součásti lze nalézt v mnoha sektorech, ať už v automobilovém, leteckém nebo energetickém průmyslu. Liší se tvarovou složitostí a s tím související požadovanou funkčností, na kterou je potřeba brát ohled. Jednotlivými, nejčastěji využívanými, technologiemi jsou například slévárství, obrábění, svařování nebo tváření. [1; 2]

Tváření je technologický proces, při kterém zpravidla dochází k nedestruktivní přeměně polotovaru v rámci několika kroků. Je možné využít značnou část materiálu, a to až 95 % bez významných ztrát. Přispívá ke zlepšení mechanických vlastností, přičemž je zpravidla zachována přetrvávající vysoká kvalita povrchu. Aby bylo možné součást efektivně tvarovat, musí se materiál vyznačovat dobrou tvárností, čímž bude zaručena její vyrobitelnost. Operace pro jednotlivé součásti mohou být rozděleny podle teploty za níž jsou prováděny. Rozlišuje se mezi tvářením za studena, za tepla a poloohřevu. Výběr vhodného způsobu výroby závisí také na požadavcích výsledného tvaru, mechanických vlastnostech a možných technologiích. Z hlediska geometrie je rozlišováno na tváření plošné a objemové. [1; 2; 3; 4]

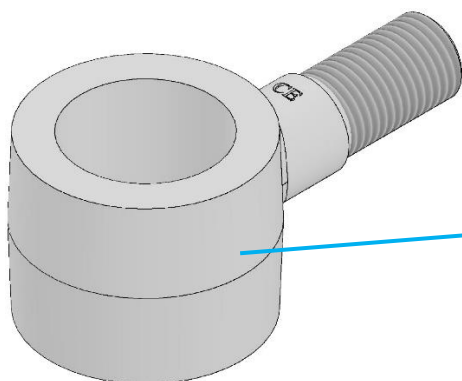
Kování je technologie objemového tváření, kde dochází k výrazným změnám tvaru materiálu prostřednictvím plastické deformace ve všech směrech. Využívá se pro výrobu součástí s vysokými nároky na mechanické vlastnosti. Dělí se na volné a zápustkové, u kterého jsou klasickým příkladem výrobky jako ozubená kola, ojnice nebo klikové hřídele (obr. 1). [1; 4]



Obr. 1 Příklady výkovků [5; 6].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešeným dílcem je čep táhla řízení (obr. 2). Nachází se na přední nápravě automobilu ve formě kulového kloubu (obr. 3). Představuje jednu z hlavních komponent, které jsou klíčové pro přenos pohybu z řídicího mechanismu na kola vozidla (obr. 4). Čep je přišroubován k táhlu za vnější závit pomocí matice M18. Je tak zaručeno vhodné a jednoduché upevnění spolu s případnou snadnou vyměnitelností. Do díry čepu je nalisováno ložisko, z důvodu tlumení rázů způsobených nerovnostmi na vozovce, pro docílení pohodlnějšího požitku z jízdy. Díky volantu lze poté skrze sloupek a hřeben řízení otáčet koly a určovat tak stabilně směr jízdy. Vzhledem k rozsáhlému použití součásti je výrobní série nastavená na 120 000 kusů.



Obr. 2 Model čepu táhla řízení.

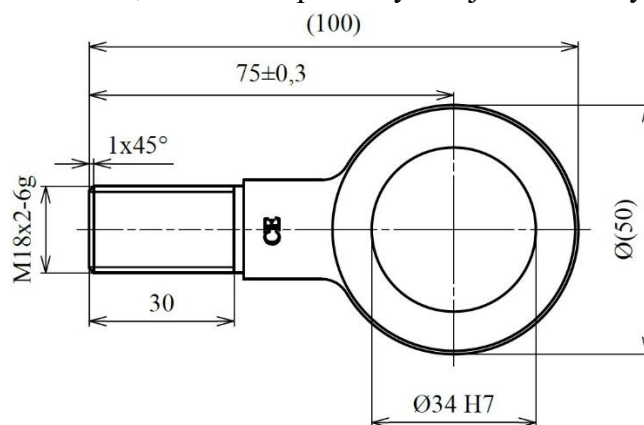


Obr. 3 Uložení čepu v nápravě automobilu [7].



Obr. 4 Automobil [8].

Čep táhla řízení má největší délku 100 mm a výšku 40 mm (obr. 5). Skládá ze dvou souměrných geometrických částí. Válcovitá hlava čepu má vnější průměr $\text{Ø}50$ mm bez nutnosti tolerance, jelikož se nejedná o funkční plochu. Vnitřní díra je $\text{Ø}34$ H7, u které musí být dodržen tolerovaný rozměr pro uložení ložiska. Navazující druhá část čepu má vnější závit M18-6g o délce 30 mm. Nepředepsané geometrické tolerance a rozměry jsou navrženy podle normy ISO 2768-fK, což je například pro rozměr $100 \pm 0,3$ mm. Kompletní výkres je součástí výkresové dokumentace.



Obr. 5 Základní rozměry čepu.

Vzhledem k přenosu sil a momentům, kterými je čep zatěžován, jsou na součást kladeny vysoké mechanické požadavky. Materiál musí být tvárný, běžně dostupný a dobře obrobitelný, kvůli dalším úpravám součásti, nutných pro její správnou funkci. Nároky splňují například oceli tříd 11, 12 nebo 15. Nelegované zušlechitelné oceli tříd 11 a 12 nedosahují dostatečných pevností a nejsou vhodné pro součásti s vysokým zatížením. Lepší variantou budou konstrukční oceli chrom-molybdenové třídy 15, s lepší pevností a houževnatostí. Konkrétně bude pro výrobu součásti zvolena nízkolegovaná chrom-molybdenová ocel 42CrMo4, s označením dle ČSN 15 142. Je vhodná k zušlechťování a po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC a pevnosti okolo 1000 MPa (tab. 1). Chrom u oceli zvyšuje pevnost, korozivzdornost a tvrdost. V kombinaci s molybdenem je materiál houževnatější, lepší vůči opotřebení a tvorbě nežádoucích prasklin (tab. 2). Díky vysoké mechanické odolnosti a torzní pevnosti je využívána k produkci staticky a dynamicky namáhaných komponent, jako jsou například hřídele nebo ozubená kola. Z ekonomické hlediska se jeví chrom-molybdenová ocel jako vhodná a zároveň dostupná na trhu v širokém spektru rozměrů a variant zpracování. Kompletní materiálový list pro vybranou chrom-molybdenovou ocel 42CrMo4 je k nalezení v rámci přílohy č. 1. [1; 9]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 42CrMo4 [10].

R_e [MPa]	R_m [MPa]	Tvrdost [HRC]	A [%]
min. 650	900 až 1100	max. 58	12

Tab. 2 Chemické složení oceli 42CrMo4 [10].

C [%]	Si max. [%]	Mn [%]	P max. [%]	S max. [%]	Cr [%]	Mo [%]
0,42	0,40	0,75	0,025	0,035	1,10	0,23

1.1 Varianty řešení výroby

Důležitým krokem při návrhu výroby součásti je volba vhodné technologie. Bude potřeba vybrat ideální variantu pro danou sérii 120 000 kusů porovnáním jednotlivých faktorů, jako jsou vlastnosti a využitelnost materiálu, možnost automatizace, časová náročnost, ale také cena a ekonomičnost. Zároveň je nutné, aby vybranou technologií bylo možné dodržet předepsané tolerance a nároky na odolnost čepu vůči vnějším zatížením. Dokončení součástí bude zhotoveno pomocí technologie obrábění zadaného tolerovaného rozměru díry Ø34H7. Pro výrobu hrubého tvaru dílce čepu budou porovnány následující technologie [1; 4]:

- Odlévání – jehož principem je lítí tekutého kovu do formy (obr. 6). Výhodou jsou nižší výrobní náklady a malé materiálové ztráty, běžně okolo 10 %. Součásti mají obvykle horší mechanické vlastnosti z důvodu vznikající dendritické struktury, která může způsobovat nežádoucí vznik vnitřních vad, jako jsou pórovitost nebo vměstky. Pro zvolenou chrom-molybdenovou ocel 42CrMo4 není využití odlévání běžné, jelikož se vyznačuje nižší slévatelností a sklonem k segregaci legur. Kvůli dlouhým časům tuhnutí materiálu by nebylo dosaženo dostatečné produktivity.



Obr. 6 Odlévání [11].

- Obrábění – při kterém dochází k odebrání přebytečného materiálu ve formě třísek za pomoci řezného nástroje (obr. 7). Lze dosáhnout vysokých přesností rozměrů. Úběrem však při výrobě v povrchu vznikají vrypy od nástroje, což může způsobit koncentraci napětí, která snižuje pevnost. Zhotovená součást bude mít menší odolnost vůči poškození a horší mechanické vlastnosti. Houževnaté oceli jsou hůře obrobitelné, čímž dochází k vyššímu opotřebení nástrojů, které se negativně odráží v ekonomice výroby.



Obr. 7 Obrábění [12].

- Zápustkové kování – materiál se deformuje mezi horním a dolním dílem nástroje do dutiny ve tvaru negativu požadovaného výrobku, kde se vloží vhodně zvolený a ohřátý polotovár, který je přetvořen v danou součást (obr. 8). Největší výhodou je vzniklá struktura, zajišťující výborné mechanické vlastnosti. V procesu výroby dochází ke zpevnění kovu vlivem rozložení tlakových napětí. Zvyšuje se odolnost proti dynamickému zatížení, která je pro čep nutností. K pozitivům přispívá také vyšší využití materiálu, obvykle 60–80 %. Pro zvolenou nízkolegovanou ocel je zcela běžné a vhodné z hlediska její dobré kujnosti. K efektivitě přispívá vysoká míra automatizace procesu, díky které je možné zhotovit větší výroby série.



Obr. 8 Zápustkové kování [13].

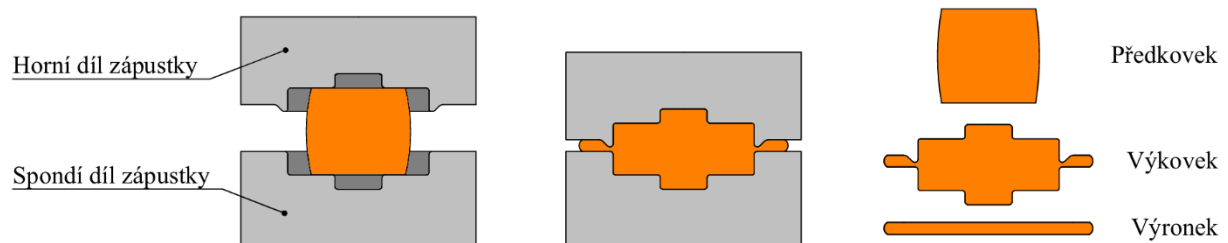
Se zhodnocením jednotlivých variant řešení výroby, jejich výhod a nevýhod, velikosti zadané série s možností automatizace, tolerancí, materiálových vlastností a ekonomického hlediska bude za nejideálnější technologii zvoleno zápustkové kování.

Zápustkové kování lze provozovat na dvou typech zařízení, což jsou buchary nebo lis. Principem bucharu je dopad beranu rázovou energií ve velké rychlosti. Je možné dosáhnout složitějších, vyšších a členitějších výkovek, u kterých nelze efektivně automatizovat výrobu. Lisy působí kontinuální klidnou silou s pomalejší rychlostí beranu. Jsou vhodné pro nižší díly a lze dosáhnout vyšší přesnosti výrobků s lepšími mechanickými vlastnostmi. [1; 14]

Vzhledem k malým rozměrům čepu je za nejvhodnější volbu stroje pro výrobu zadané série považován lis. Na zápustkové kování součásti pomocí lisu bude dále zaměřená teoretická i návrhová část práce.

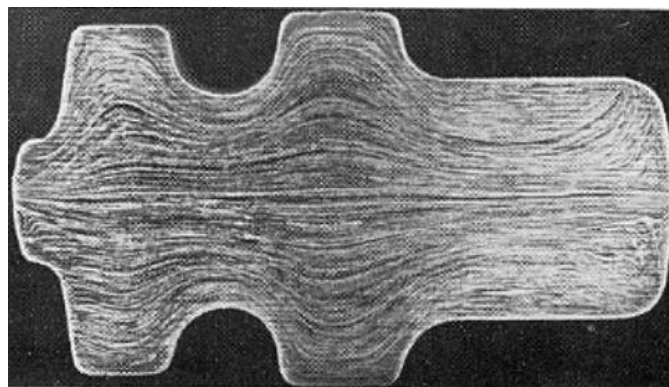
2 ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

Technologie patří mezi metody objemového tváření za tepla. Umožňuje vyrábět součásti složitějších tvarů s vysokou produktivitou a značnou kvalitou, bez změny objemu materiálu. Základním nástrojem je zápustka, která se dělí na horní a spodní díl. V nich je vytvořena dutina, odpovídající negativnímu tvaru výkovku. Do otevřeného nástroje je zakládán vhodně ohřátý polotovár na kovací teplotu, která zlepšuje jeho tvárnost a přetvárný odpor, a ten je následně plasticky deformován (obr. 9). Následně je vlivem sil působících skrze beran lisu na horní díl zápustky přetvářen na požadovaný tvar výrobku. Materiál teče ve všech směrech, díky čemuž zcela vyplní dutinu zápustky, čímž je zaručeno dodržení stanovených rozměrů. [1; 14; 15; 16]



Obr. 9 Kování v zápustce [15].

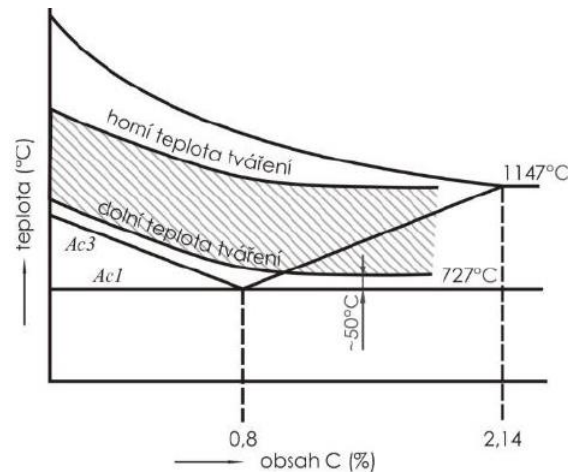
Mezi největší výhody kovaných dílů patří vnitřní struktura, specificky vláknitost neboli orientace zrn v materiálu ve směru plastické deformace (obr. 10). V oceli se vyskytují vměstky, které se nabalují na jednotlivá zrna, tvořící její strukturu. Deformováním se prodlužují a uspořádávají ve směru toku materiálu, čímž vznikají takzvaná vlákna. Jejich množství určují především složení a obsažené nečistoty. Ve směru vláken jsou dosaženy mnohem lepší mechanické vlastnosti a je také sníženo riziko vzniku trhlin a únavových lomů. [1; 5]



Obr. 10 Vlákničná struktura výkovků [18].

Výroba výkovků probíhá mnohdy na několik operací, podle tvarové složitosti. Všechny jsou tvářeny nad teplotou rekrystalizace $T \geq (0,35 \text{ až } 0,45) \cdot T_{\text{tav}}$. Po protažení jednotlivých zrn materiálu dochází k rekrystalizaci, což jsou počáteční uzdravovací procesy, které znatelně ovlivňují mechanické vlastnosti a houževnatost. Procesy probíhají také za vyšších teplot než rekrystalizačních, při kterých ale dochází naopak k hrubnutí zrn, což je nutné ošetřit menšími časy procesu kování, aby bylo zabráněno nežádoucí deformaci struktury. [1; 4]

Pro proces kování je nutné ohřát materiál na příslušnou kovací teplotu, přičemž následné zpracování probíhá především za teplot vymezených diagramem Fe-Fe₃C kritickými body A_{C1} a A_{C3}, při kterých se snižuje přetvárný odpor a zlepšuje se tvárnost (obr. 11). Nejčastěji se materiál ohřívá na nejvyšší přípustné kovací teploty, čímž se zkrátí čas pro jednotlivé operace a je dosaženo nejlepší tvárnosti a zatečení dutiny. Ideálním rozsahem pro vhodný druh oceli chrom-molybdenových třídy 15 je počáteční kovací teplota 1200 °C a konečná 900 °C. Polotovár se musí ohřát celý stejnoměrně na stejnou teplotu v co nejkratším intervalu, jelikož při jeho přehřátí dochází k degradaci materiálu. [1; 15; 17; 19]



Obr. 11 Pásmo kovacích teplot [15].

Ačkoliv je ocel v celém rozsahu kovacích teplot dobře plasticky tvárná a zůstává houževnatá, ohřevem se zhoršují její mechanické vlastnosti. Primárně dochází ke zhrubnutí povrchu, které má za následek nutnost větších přídavků, a tím způsobené menší využití materiálu. Ocel reaguje s velkým množstvím vměstků a nečistot, což vytváří nežádoucí a charakteristické deformace. Mezi nejčastěji vniklé povrchové vady patří například [1; 6; 7]:

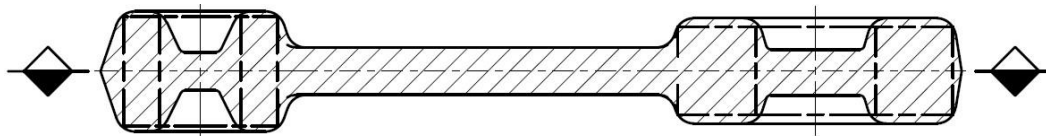
- Oxidace – kdy okysličené plyny pecní atmosféry ve formě kyslíku, oxidu uhličitého a vodní páry vytvářejí na povrchu kysličníky železa. Míru ovlivňuje chemické složení, ale také rychlost difuze, která je přímo závislá na teplotě a rychlosti ohřevu. Vzniklá je z hlediska technologie zápustkového kování nepříznivá kvůli přílišnému znehodnocení povrchu výkovku, ale také vysokému opotřebení zápustek.
- Oduhličení – způsobující odstranění uhlíku a s tím spjatou změnu chemického složení povrchové vrstvy oceli. Zhoršují se její mechanické vlastnosti a materiál dosahuje menší pevnosti. Proces obdobně jako u oxidace reaguje se složkami v pecní atmosféře. Snížením obsahu uhlíku se však snižuje přetvárný odpor a síla potřebná ke tváření materiálu, což vede k menšímu opotřebení nástrojů. Je tedy zapotřebí míru prostředí optimalizovat seřízením teplot a rychlosti ohřevu.
- Spálení – které nastává při dosažení příliš vysokých teplot, blízkých teplotě tavení oceli. Vznikají roztavená pásma mezi hranicemi zrn, do nichž difunduje rozpuštěný fosfor. Dostane se tak do mezidendritických prostor, případně u tvářené oceli do struktury vláken. Díky tomu jsou do materiálu vnášeny nečistoty, které způsobují jeho vysokou křehkost. V procesu kování by dále vznikali deformace a jelikož způsobené spálení oceli nelze opravit, je považována za nepřijatelnou. Typickým znakem je výrazně bílá barva doprovázena jiskřením, což lze kontrolovat lomovou zkouškou.

2.1 Návrh výkovku

Prvním krokem při návrhu výroby je stanovení výkovku ze základních parametrů výrobku. Aby bylo dosaženo předepsaných rozměrů součástí, bude potřeba je jednotlivě zvětšit podle pravidel pomocí normovaných tabulek a zásad. Následně bude možné určit tolerance na nástroji, které jsou v plné návaznosti a konstrukce zápustky by nemohla být dokončena. Jednotlivými parametry jsou [1; 14; 15; 20; 21]:

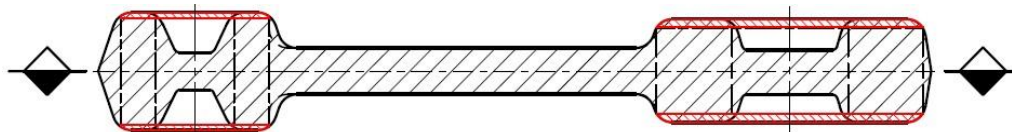
- Volba dělicí roviny – která znatelně ovlivňuje tok materiálu v dutině nástroje a slouží jako základní poloha, od které se určují parametry výkovku. Ve výkovku je nejčastěji umístěna v ploše největšího průřezu kolmo k rázu stroje, aby se materiál deformoval rovnoměrněji (obr. 12). Zajišťuje snadné vyjmutí součástí z dutiny nástroje. Běžně se používá rovná plocha v případě symetrických výkovků, ale při tvarově složitějších je na

místě provedení lomené. Zároveň podporuje optimální tok materiálu pro vyplnění celé dutiny zápustky, což poskytuje vyšší kvalitu kovaných dílů a snižuje výskyt vad.



Obr. 12 Dělicí rovina [4].

- Technologické přídatky – slouží k zajištění požadované kvality zadané součásti. Jsou využívány primárně na plochách, kde musí být splněny rozměrové a geometrické tolerance. Zvětšením potřebných rozměrů a správným návrhem lze také docílit lepšího povrchu výrobků. Pro zápustkové kování se dále dělí:
 - Složitost tvaru – nacházející se v prostorech s drážkováním, nebo malými otvory, které není možné zvolenou technologií vyrobít. Nejčastěji se jedná o úkosy bočních ploch, zaoblení ostrých hran, nebo přidání opěrných žeber.
 - Na obrábění – jsou nutné volit na částech výkovku, které budou následně upraveny pomocí dokončovacích operací, jako jsou místa s rozměrovými přesnostmi a tolerancemi, například na čelech ploch (obr. 13). Samotným ohřevem a procesem kování je povrch součásti poškozený a hrubý, což lze díky přídatkům a následnému obrobení odstranit. Určují se podle normy ČSN 42 9030 s potřebnou přesností výroby pomocí střední hodnoty šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu beranu a největší výšky. Veškeré tabulkové hodnoty (tab. 3) jsou uvedeny pro obvyklé provedení výkovků.



Obr. 13 Přídatky na obrábění [4].

Tab. 3 Přídatky na obrábění ploch výkovku v mm [20].

Největší průměr, střední šířka a délka výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku			
		přes	25	40	63
	do 25	40	63	100	
přes	do	Přídatky na obrábění ploch			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5

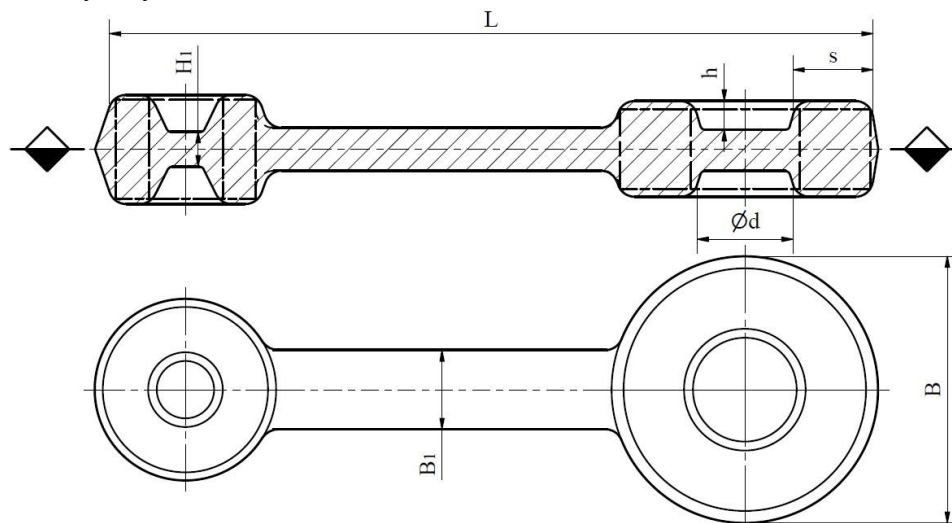
- Úkosy – především vnějších ploch součásti kolmých na dělicí rovínu. Usnadňují zatékání kovu a následné vyjmutí výkovku z dutin zápustek. Vnitřní plochy a dutiny jsou z důvodu smršťování materiálu voleny větší než vnější. Určují se pro různé typy zařízení podle normy ČSN 42 9030 (tab. 4).

Tab. 4 Úkosy zápustkových výkovků ve stupních [20].

Zařazení	vnější	vnitřní
Běžně vyráběné zápustkové výkovky	3	7
Pro lisu bez vyhazovače	7	10
Pro lisu s vyhazovačem	2 až 3	3 až 5

- Nejmenší tloušťka – u které je potřeba zohlednit zadané a výrobní požadavky rozměrů součásti (obr. 14). Ovlivňuje tuhost, pevnost, tvárnost a ochlazování výkovku. Příliš

malá hodnota může vést k horšímu vyplnění dutiny zápustky a vzniku trhlin. Naopak nadměrná zvyšuje spotřebu materiálu a riziko pnutí. Optimální velikost zaručí funkčnost a spolehlivost výroby. Dále se dělí na minimální tloušťku:



Obr. 14 Parametry tloušťky nerotačního výkovku [4].

- Blány – která se nachází v místě pro budoucí otvor obvykle na úrovni dělicí roviny. Pokud je díra malá, není ji vhodné předkovávat, ale bude lepší následné zhotovení pomocí technologií děrování a obrábění. Dá se vypočítat dle vztahu:

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

kde: s – tloušťka blány [mm],

d – průměr otvoru [mm],

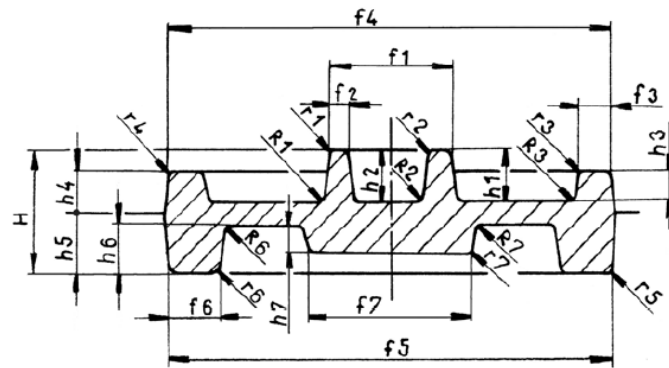
H_{Nv} – největší výška výkovku [mm].

- Dna, stěn a žeber – nejužších částí zadaného dílce. Existují nejmenší možné rozměry, které z důvodu kompletního zatečení materiálu nelze poddimenzovat. Dodržením tabulkových hodnot je zaručena vyrobitelnost výkovků z konstrukčního hlediska spolu se stanovenou funkčností součásti (tab. 5).

Tab. 5 Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny výkovku v mm [20].

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)		Největší výška výkovku H			
		přes 0	10	25	40
		do 10	25	40	63
		Nejmenší tloušťka dna, blány, disku H_1 a stěny s			
přes	do 40	4	5	6	7
40	63	5	5	6	7
63	100	5	6	7	9
100	160	6	7	9	11

- Poloměry zaoblení – všech ostrých vnějších i vnitřních přechodů, které se nachází na součásti. Do dutiny navržené podle výkovku bez vyhlazení hran by nedošlo k zatečení materiálu do jejich ostrých rohů. Zároveň by vlivem nedostatečného přídávku mohlo být způsobeno praskání samotného dílu vlivem koncentrace napětí. Volí se vzhledem k poměru šířky a výšky pro jednotlivé úseky součásti (obr. 15). Zakřivením nesmí být ubrán přídavek na obrábění, na což je potřeba brát ohled. Určují se pomocí hodnot odečtených z tabulky podle normy ČSN 42 9030 (tab. 6).



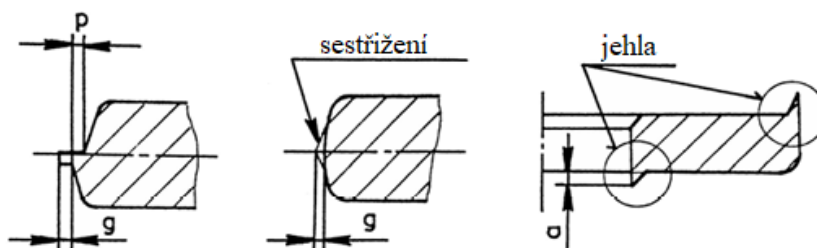
Obr. 15 Parametry pro stanovení zaoblení výkovku [4].

 Tab. 6 Poloměry zaoblení hran r a přechodů R v mm [20].

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru h/f					
		do 2		přes 2 do 4		přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
0	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40

- Zařazení výkovku dle složitosti tvaru – probíhá v rámci normy ČSN 42 9002. Na základě tvarových specifikací výkovku a procesu technologie je zvoleno pětimístné číselné označení. Skupiny podobných součástí poté slouží pro lepší a rychlejší orientaci při procesu výroby. V případě nutnosti přesně tolerovaných vnějších rozměrů dán větší důraz na jejich výběr. Při špatném výběru označení by mohlo dojít k neúplnému zaplnění dutiny zápusky, nebo většímu opotřebení částí nástroje. Jednotlivé odlišnosti konkrétních součástí se dále dělí na:
 - Tvarový druh – který prvním symbolem označuje číslicí rozměrové proporce geometrie výkovku. Je tak zjištěn přibližný tvar a charakter dílu pro následnou výrobu, což hraje klíčovou roli při návrhu dutiny zápusky, nebo volby výchozího polotovaru.
 - Tvarová třída – představuje druhý symbol hodnotící průřez, počet a složitost jednotlivých částí výkovku. Různé kombinace osazení a typy tvarů ovlivňují náročnost výroby, případně počet operací. Dělí se na standardní a složitější tvar.
 - Tvarová skupina – třetím symbolem třídí výkovky podle poměrů výšek, šířek a přítomnosti otvorů. Specifikuje konkrétní detaily součásti v rámci tvarového druhu, třídy a technologického hlediska. Liší se štíhlostí, proměnlivostí průřezu, a umístěním dělicí plochy na hlavní osu.
 - Tvarová podskupina – tvořící čtvrtý symbol a rozlišuje výkovky podle dvou na sobě závislých veličin. Součásti se označují podle maximálního poměru přesahu. Je důležitá pro navazující operace a přesnější plán technologie výroby.
 - Technologické hledisko – označené posledním pátým číslem v symbolu za tečkou. Udává orientaci při tvářecích operacích, symetrie dělicí plochy výkovku s hlavní osou nebo typem stroje.

- Stupeň přesnosti výkovku – udávané na základě zařazení dle složitosti tvaru. Dělí se na jednotlivá provedení obvyklé, přesné a velmi přesné, které určují výslednou výši kvality kovaného dílce. Není jej vhodné předepisovat příliš vysoký z důvodu zdražení výroby. Obecně je součást zařazena s co nejmenší přesností pro splnění funkčnosti. Pomocí pětimístného číselného označení lze výběrem zjistit stupeň provedení pro mezní úchyly a tolerance kolmo k rázu a ve směru rázu z tabulky v příloze 2.
- Mezní úchyly – jmenovitých tolerovaných rozměrů a poloměrů zaoblení výkovků, jeho přesazení, ořepu a průhybu (obr. 16). Určují se podle největšího průměru, nebo pro nerotační tvary střední hodnotou součtu šířky a délky a velikosti součásti směrem kolmo k rázu. Stupeň přesnosti pro výběr správné tabulky je vybrán v rámci číselného zařazení výkovku. Pro vnější plochy se odečítají z tabulky dle normy ČSN 42 9030 a otočením jejich znamének se poté označí míry vnitřní (tab. 7).



Obr. 16 Úchyly tvaru výkovku [4].

Tab. 7 Mezní úchyly a tolerance rozměrů výkovku pro stupeň přesnosti 7 [20].

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L_{Nv} + B_{Nv})$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H_{Nv})			
		přes 0	25	40	63
		25	40	63	100
přes 40 do 63	mezní úchyly	+ 2,1 - 1,1	+ 2,2 - 1,1	+ 2,3 - 1,2	+ 2,5 - 1,3
	tolerance	3,2	3,3	3,5	3,8
přes 63 do 100	mezní úchyly	+ 2,5 - 1,2	+ 2,5 - 1,3	+ 2,7 - 1,3	+ 2,9 - 1,4
	tolerance	3,7	3,8	4,0	4,3

Stejně jako u tolerancí rozměrů výkovku lze zjistit také hodnoty poloměrů zaoblení přechodů a hran výkovků (tab. 8). Je tak zajištěna stanovená kvalita přechodů součástí. Velikost úchylek je určena hodnotami v tabulce dle normy ČSN 42 9030.

 Tab. 8 Mezní úchyly poloměrů zaoblení přechodů R a hran r výkovků v mm [20].

Poloměr zaoblení		Mezní úchyly	
přes	do	R	r
0	10	+ 0,50	+ 0,25
		- 0,25	- 0,50
10	32	+ 0,40	+ 0,20
		- 0,20	- 0,40
32	100	+ 0,30	+ 0,15
		- 0,15	- 0,30
100		+ 0,25	+ 0,10
		- 0,10	- 0,25

2.2 Polotovár

Díky stanovení základních parametrů výkovku lze následně spočítat jeho objem, ze kterého je možné určit rozměry pro vhodný polotovár a jejich počet, potřebný na výrobu zadané série. Běžně se v praxi používají hutní kulaté, čtvercové, nebo ploché tyče. U nepravidelných výkovků se vyskytují problémy při procesu kování, jako je především rozložení hmoty materiálu, které způsobuje neúplné zatečení požadovaných tvarů. Pro kompletní objem je potřeba zahrnout do výpočtů důležité parametry jako jsou [1; 2; 4]:

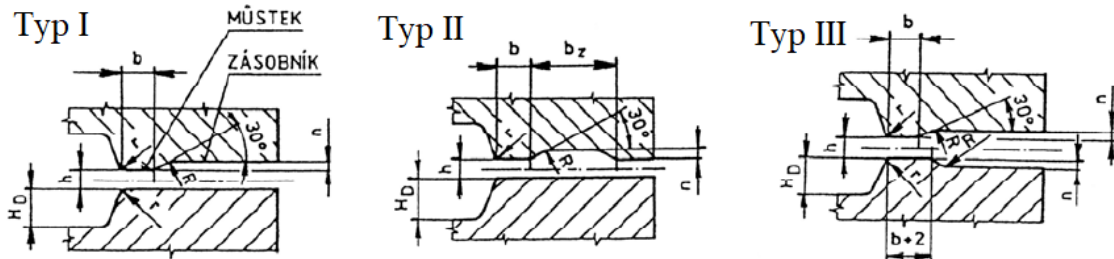
- Výronková drážka – zajišťuje správné vtečení materiálu do všech tvarů součásti. Je umístěna v dělicí rovině nástroje osazená po celém jeho obvodu. Přebytek materiálu odtéká do prostor drážky, kdy v následujícím procesu výroby dojde k jeho odstranění. Tvarově se rozlišují u lisů na tři typy (obr. 17). Nejčastěji využívaným je typ I, který se od typu II liší pouze zúžením zásobníku, což se využívá při velkých rozměrech zápustek, kde nedojde k jeho vyplnění. Typ III slouží k pohlcení většího množství materiálu. Její výška je určena na základě mezery dělicí roviny, kdy u lisu nesmí dojít k dosednutí čel horní a spodní zápustky. Mohlo by tak dojít k neúplnému vyplnění dutiny nebo přetížení stroje. Tvoří ji drážka oddělená od dutiny zápustky můstkem, který je přísně tolerován, jelikož z hlediska tvářecího procesu představuje hlavní regulátor tlaku v dutině. Rozměry lze určit pomocí výpočtů, odvozených z nejdůležitější hodnoty, kterou je výška můstku dle vztahu:

$$h = \alpha \cdot \sqrt{S_V}, \quad (2.2)$$

kde: h – výška můstku [mm],

α – součinitel výšky můstku; v rozmezí pro mechanické lisy 0,008 až 0,015 podle velikosti výkovku,

S_V – plocha výkovku v dělicí rovině [mm²].



Obr. 17 Základní typy výronkových drážek [4].

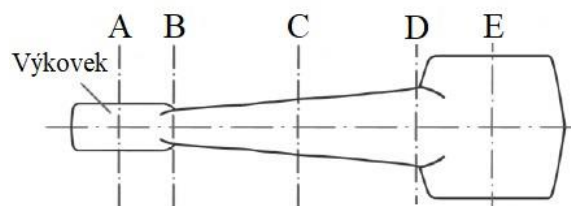
- Plochy řezů – pro které je možné začít provádět jednotlivé výpočty ke stanovení polotovaru (obr. 18). Kompletní plochu průřezu tvoří také výronek, jehož plocha $S_{v\acute{y}r}$ je přičtena z obou stran, tedy dvakrát. Výpočet je ve formě:

$$S_{\check{r}v\acute{y}r_i} = S_{\check{r}_i} + S_{v\acute{y}r} \cdot 2, \quad (2.3)$$

kde: $S_{\check{r}v\acute{y}r_i}$ – plocha dílčích řezů spolu s oboustranným výronkem [mm²],

$S_{\check{r}_i}$ – plocha dílčích příčných řezů [mm²],

$S_{v\acute{y}r}$ – plocha výronku [mm²].



Obr. 18 Průřezy nepravidelným výkovkem [15].

Výkovkem má na povrchu přídavek na opal, o který je potřeba hodnotu navýšit. Liší se podle jednotlivých pecních agregátů, na kterých probíhá ohřev výpočtem následovně:

- Pro plynové pece:

$$S_{\check{r}vo_i} = S_{\check{r}vyr_i} \cdot (0,025 \text{ až } 0,03), \quad (2.4)$$

kde: $S_{\check{r}vo_i}$ – plocha dílčích řezů s výronkem a opalem [mm].

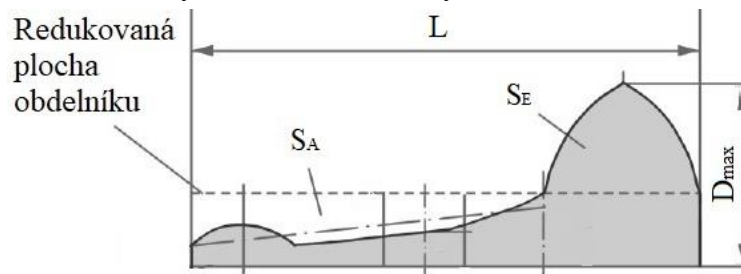
- Pro elektrické pece:

$$S_{\check{r}vo_i} = S_{\check{r}vyr_i} \cdot (0,01 \text{ až } 0,015), \quad (2.5)$$

- Pro indukční pece:

$$S_{\check{r}vo_i} = S_{\check{r}vyr_i} \cdot (0,005 \text{ až } 0,01), \quad (2.6)$$

- Průřezový obrazec – vytvořený pomocí řezů kolmo na osu symetrie v částech, kde se mění jeho průřez a následně jsou vykresleny plochy, jejichž vrcholy jsou spojeny aproximovanou křivkou. Pomocí něj budou minimalizovány ztráty materiálu při kování, jelikož je navržen tak, aby odpovídal co nejlépe konečnému objemu. Jednou z možností určení celkové velikosti je redukce do tvaru obdélníku, nebo lze za použití moderních technologií spočítat plochu pod křivkou (obr. 19). Pro zlepšení přesnosti určení objemu je možné přidat libovolné vyšší množství řezů výkovkem.



Obr. 19 Průřezový obrazec [15].

- Objem výchozího polotovaru – je vypočítán součtem ploch stanovených čtverců, nebo na základě součtu ploch pod aproximovanou křivkou z průřezového obrazce vyneseno výpočetním programem, vynásobený stanoveným měřítkem následovně:

$$V_{pol} = \sum S_{\check{r}i} \cdot m, \quad (2.7)$$

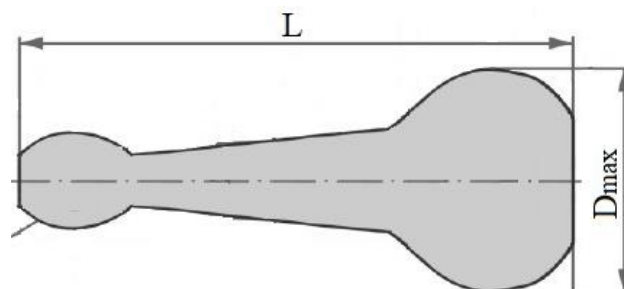
kde: V_{pol} – objem výchozího rozměru polotovaru [mm³],

m – měřítko plochy průřezu s výronkem a opalem [mm].

- Průměr výchozího polotovaru – který vychází ze získaných hodnot ploch průřezového obrazce. Pomocí vzorce jsou učeny průměry pro jednotlivé vzdálenosti řezů vedených výkovkem. Následně jsou hodnoty vyneseny do grafu ideálního předkovku, ze kterého je možné vybrat největší velikost průměru, který odpovídá průměru výchozího polotovaru (obr. 20). Výpočet vychází ze vztahu:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{\check{r}vo_i}}{\pi}}, \quad (2.8)$$

kde: D – průměr výchozího polotovaru [mm].



Obr. 20 Ideální předkovek [15].

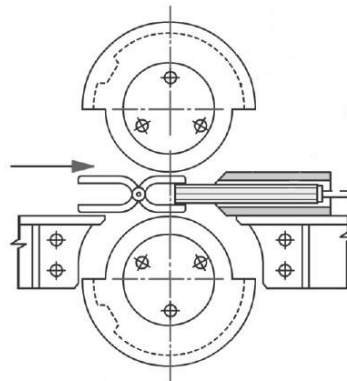
- Délka výchozího polotovaru – je určena pomocí největšího průměr ideálního předkovku D_{max} , dle výpočetního vztahu následovně:

$$L_{pol} = \frac{4 \cdot V_{pol}}{\pi \cdot D_{pol}^2}, \quad (2.9)$$

kde: L_{pol} – délka výchozího polotovaru [mm].

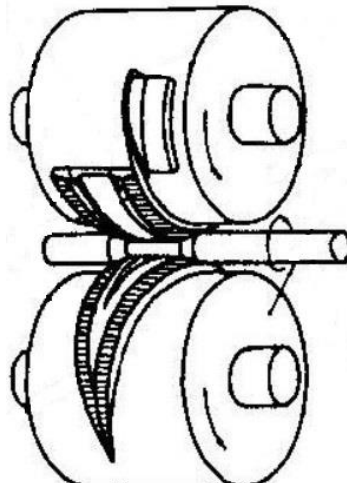
Po stanovení délky a průměru bude možná navrhnout výchozí polotovar, jehož následná výroba probíhá předkováním, kterým lze velmi urychlit proces. Obvykle využívanými předkovacími technologiemi jsou [1; 3; 14; 15]:

- Předkovací zápustka – při které je ohřátý polotovar vložen do dutiny, vytvořené pro optimální rozložení materiálu k následujícím kovací operacím, bez detailního tvarového členění. Velikostně je polotovar přiblížen výslednému tvaru výkovku.
- Kovací válce – zhotovující předkovky protáhlých tvarů z ohřátého výchozího polotovaru, předem děleného na předepsanou délku. Proces probíhá na stejnosměrně rotujících válcích, které jsou osazeny několika segmenty, takzvanými kalibry, přerušovanými na polovinu (Obr. 21). Polotovar, obvykle tyč kruhového nebo čtvercového průřezu, je vtahován třecími silami dovnitř, čímž dochází k redukci průměru a prodloužení materiálu. Výrobek se běžně zpracovává na několik průchodů, jelikož požadovaných rozměrů nelze dosáhnout pouze na jeden.



Obr. 21 Schéma kovacíh válců [15].

- PKV – kde se mezi dva stejnosměrně rotující válce s pracovními segmenty vkládá ohřátý polotovar (obr. 22). Pomocí geometrie hrotů je ingot vytvarován na předkovek, který je vhodnější pro výrobu zápustkovým kovááním. Dochází ke zmenšení průměru v místech, kde bude následně v zápustkách kováán menší objem. Proces velmi zefektivní výrobu díky rychlosti válcování a zachování kvality polotovaru do dalších operací.



Obr. 22 Princip příčného klínového válcování [15].

2.3 Síly

Stanovení správné velikosti kovacíh sil je nezbytným faktorem nejen pro výběr vhodného stroje, ale hlavně výrobitelnosti zadané série. Působí ve všech směrech na materiál v jednotlivých operacích. Nejdůležitější částí pro výpočet síly je dokovací operace, kdy je výkovek vložený mezi zápustkami finalizován na zadanou součást. Kovací sílu pro výkovky lze poté spočítat několika metodami podle autorů [1; 14; 22]:

- Storoževa – u kterého se jedná pouze o přibližný výpočet síly v poslední dokovací operaci. Vychází ze součtu kovací síly potřebné pro přetvoření materiálu vyteklého ve formě výronku a síly pro přetvoření výrobku v samotné dutině zápustky, se zohledněním geometrie výrobku, která se počítá pro výkovky obdélníkového půdorysu:

$$F_{kS} = R_{mT} \cdot \left\{ \left(1 + \frac{b}{2 \cdot h} \right) \cdot S_{VR} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{a}{h} + \frac{h}{a} \right) + \frac{b}{h} - 0,25 \right] \cdot S_V \right\} \text{ [N]}, \quad (2.10)$$

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

b – šířka můstku výronku [mm],

h – výška můstku výronku [mm],

S_{VR} – plocha můstku výronku ve směru kolmo k rázu [mm²],

a – největší rozměr výkovku kolmo k rázu [mm],

S_V – plocha výkovku v dělicí rovině.

- Brjuchanov-Rebelského – výpočtem přibližné kovací síly pomocí rozměrů výkovku. Vychází z objemu a znalostí vlastností materiálu za kovacíh teplot dle normy. Síla je vypočítána pomocí vztahu pro podlouhlé výkovky následovně:

$$F_{kB} = 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_R) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_R} \right)^2 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_{Nv}}{B_{Nv}}} \right) \cdot R_{mT} \cdot S_V \text{ [N]}. \quad (2.11)$$

kde: D_R – redukovaný průměr pro podlouhlý výkovek [mm]; vypočten dle vztahu:

$$D_R = 1,13 \cdot \sqrt{L_{Nv} \cdot B_{Nv}}. \quad (2.12)$$

- Tomlenova – v dokovací operaci dochází k vytékání přebytečného kovu do výronkové drážky, kde vzhledem k její malé výšce a poklesu teploty výkovku stoupá přetvárný odpor. Se změnou průřezu součásti se v jednotlivých částech liší. Pomocí grafického znázornění je poté vykreslena křivka přetvárného odporu, která vymezuje dílčí plochy (obr. 23). Ze vzdálenosti těžišť je poté možné odečíst hodnoty do výpočtu. Celková síla je rovna součtu sil normálových F_N a tangenciálních F_T podle vzorce:

$$F_{kT} = F_N + F_T. \quad (2.13)$$

Nejprve je potřeba stanovit deformační odpory pro jednotlivé úseky (obr. 24):

- Pro první podle rovnice:

$$\sigma_0 = (1 + 0,73 \cdot \mu) \cdot \sigma_s \text{ [MPa]}, \quad (2.14)$$

kde: μ – koeficient tření,

σ_s – deformační odpor s vlivem poklesu teploty [MPa],

vypočten dle:

$$\sigma_s = R_{mT} \cdot C_0, \quad (2.15)$$

kde: C_0 – součinitel snížení plasticity.

- Pro druhý podle vzoru:

$$\sigma_1 = \sigma_0 + \sigma_s \cdot \frac{b}{h} \text{ [MPa]}. \quad (2.16)$$

- Pro průřez výkovkem dle vzoru:

$$\sigma_2 = \sigma_1 + \sigma_s \cdot \frac{b_n}{h_n} \text{ [MPa]}, \quad (2.17)$$

kde: b_n – šířka úseku řezu [mm],

h_n – výška úseku řezu [mm].

Ze získaných hodnot deformačních odporů je vypočtena jejich plocha podle jednotlivých vzorců následovně:

- V prvním řezu dle:

$$S_0 = \sigma_0 \cdot b_v \text{ [MPa} \cdot \text{mm]}, \quad (2.18)$$

- Ve druhém řezu

$$S_1 = \sigma_1 \cdot b_v \text{ [MPa} \cdot \text{mm]}, \quad (2.19)$$

- V následujících řezech dle vzoru:

$$S_n = (\sigma_0 + \sigma_1) \cdot b + (\sigma_1 + \sigma_2) \cdot b_2 + (\sigma_3 + \sigma_4) \cdot b_n \text{ [MPa} \cdot \text{mm]}, \quad (2.20)$$

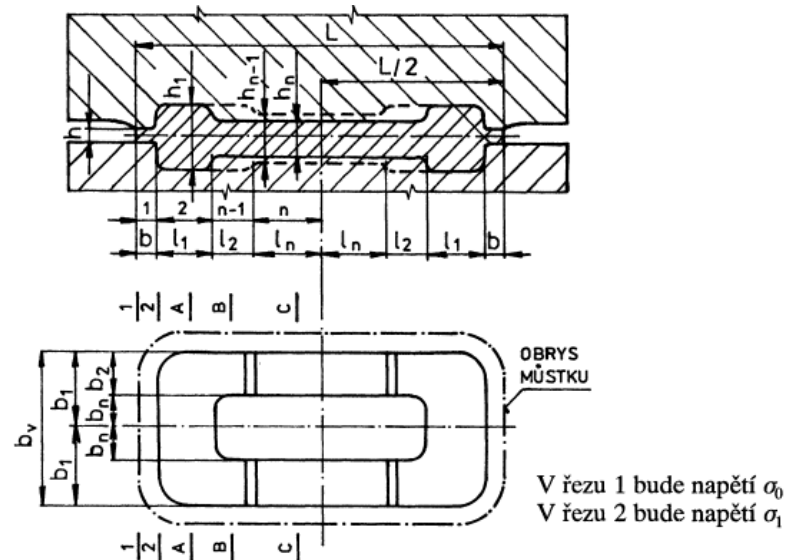
Následně je pomocí plochy pod křivkou spočítána normálová síla dle:

$$F_N = (S_0 + S_1) \cdot \frac{b}{2} + (S_1 + S_2) \cdot \frac{l_1}{2} + (S_2 + S_n) \cdot \frac{l_2}{2} \text{ [N]}. \quad (2.21)$$

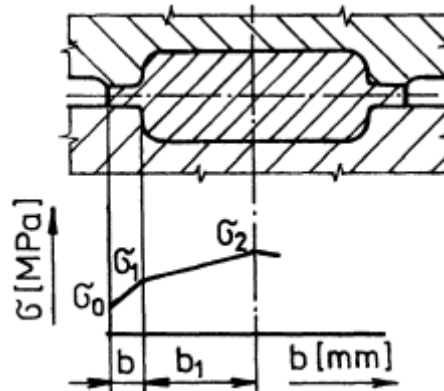
Velikost tangenciální síly je vypočtena podle:

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S' \text{ [N]}, \quad (2.22)$$

kde: S' – povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky [mm²].



Obr. 23 Vymezení dílčích ploch [23].



Obr. 24 Deformační odpory pro jednotlivé řezy [23].

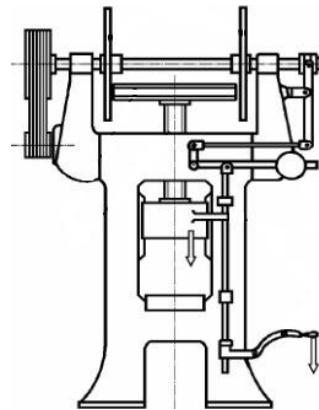
2.4 Lisy

Kvalitu výkovku zásadně ovlivňuje také stroj, na kterém je vyráběn. Lisy pracují klidnou silou ve směru kování. Jejich pohonnou jednotkou je elektromotor. Díky možnosti nastavení potřebných parametrů lze dosáhnout požadovaných rozměrů výkovku. Pro součást čepu musí být dodrženy stanovené mechanické vlastnosti. Výrobu je možné automatizovat a zajistit tak její plynulost. Typově se lisy dělí na [1; 2; 15]:

- Vřetenové lisy – převádí rotaci závitového vřetene na lineární pohyb beranu (obr. 25). Energie se hromadí v setrvačnicku a ve chvíli kdy je materiál tvářen se spotřebovává (obr. 26). Po dosažení spodní polohy se otáčky obrátí a beran jede zpět nahoru. Kvůli rázovému charakteru není příliš umožněna automatizace, jelikož nelze přesně regulovat proces. Není ideální pro houževnaté oceli, protože rázový průběh sil může způsobit nežádoucí vnitřní pnutí a větší opotřebení zápustky. Konečná poloha beranu je špatně nastavitelná, což je nevhodné pro malé a přesné díly. Údery působící síly dynamicky velmi zatěžují zápustky a dochází tak k jejich velkému opotřebení. Je tedy vhodný spíše pro kusovou a malosériovou výrobu.



Obr. 25 Vřetenový lis [24].

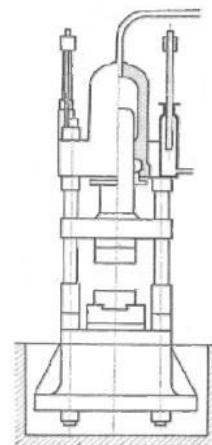


Obr. 26 Princip pohybu vřetene [25].

- Hydraulický lis – je poháněn čerpadlem, které vytváří tlak kapaliny, nejčastěji oleje, v uzavřených komorách mechanismu (obr. 27). Síla je plynule přenesena na pracovní píst, který tlačí beran a tím deformuje materiál vložený v zápustce (obr. 28). Výhodou je klidný chod a plynulost procesu s rozšířenými možnostmi jeho regulace s výbornou automatizací. Je vhodný zejména pro výrobu složitějších tvarů a rozměrově objemnějších výkovků. Pomocí vysokých sil je ideální pro pevné a houževnaté materiály. Nevýhodou je velká sériovost, kvůli nutnosti seřizování stroje.



Obr. 27 Hydraulický lis [26].

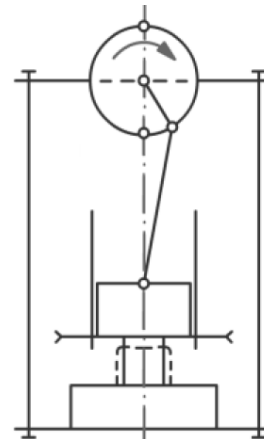


Obr. 28 Princip pohybu hydrauliky [4].

- Klikové lisy – přes setrvačnick je přenášěn rotační pohyb na lineární (obr. 29). Klikový mechanismus zajišťuje dobře nastavitelnou dráhu pohybu beranu nahoru i dolů (obr. 30). Síla má periodický průběh s maximem v horní úvratí. Je možné nastavit přesné vedení nástroje a efektivní automatizaci výroby s opakovatelností procesu. Klidný chod beranu zajišťuje vysokou přesnost výkovků a nižší rázové namáhání zápustky, což výrazně prodlužuje její životnost. Jsou vhodné pro velkosériovou výrobu vzhledem k rychlým pracovním cyklům. Není vhodný na kování složitějších tvarů.



Obr. 29 Klikový lis [27].



Obr. 30 Princip klikového lisu [6].

2.5 Zápustky

Nástroje jsou běžně kulatého nebo obdélníkového tvaru rozdělených na dvě části. Jedná se o horní a spodní díl, které jsou ustaveny v držáku zápustek (obr. 28). Upínání je zajištěno pomocí upínek a šroubů, které zajišťují stabilní polohu během kování. Lisy pracují klidnou silou, bez hrozby rázových účinků, takže není potřeba lepší tlumení bloků. Do beranu a stolu lisu je sestava nástroje připevněna šrouby. Zápustky se dají rozdělit na jedno nebo více dutinové, podle náročnosti tvaru a velikosti. Podle průběhu výroby se dále rozlišují na zápustky s dutinou předkovací, kovací nebo dokončovací [1; 28].



Obr. 28 Ustavení zápustkových bloků v držáku [29].

Nejdůležitější částí jak nástroje, tak celé výroby je dokončovací dutina. Horní část zápustky plynulým pohybem směrem dolů sjede k polotovaru. Po dosednutí působí klidnou silou a rovnoměrně deformuje materiál, který vyplňuje všechny prostory dutiny. Dále je zapotřebí u konstrukce dokončovacího zápustkového bloku navrhnou [1; 4; 15; 28]:

- Smrštění – kdy při ochlazení z kovací teploty dochází ke zmenšení rozměrů výkovku. Běžně se pohybuje mezi 1 % konkrétně u nízkouhlíkových ocelí a u austenitických ocelí o 1,6 %. U podlouhlých tvarů bývá běžně honota zvětšována o 50%, nejvíce však na 1,8%. Rozsah a výše dosažených teplot poté mění hodnoty zvětšení návrhu výkovku, ale také dutiny zápustky.

- Dutina – představující negativní tvar požadovaného výkovku, zvětšeného o smrštění. Geometrie musí být velmi přesně tolerována, pro minimalizaci napětí a dosažení určitých mechanických vlastností výrobku. Na dosedacích plochách je za účelem lepšího povrchu výkovku odpovídající drsnost, především v dokovací dutině 3,2 až 0,8. Mezní úchytky drážky jsou stanoveny dle normy ČSN 22 8306.
- Materiál zápustky – tvoří důležitý aspekt pro zaručení kvality výkovku. Musí odolávat působícím silám a otěrům kovaného materiálu. Nesmí dojít k poškození zápustek ani při velkých teplotních změnách, které při procesu vznikají. Důležitým parametrem je houževnatost a vysoká mechanická odolnost. Je volen na základě velikosti zápustek, členitosti součástí, jejich velikostí a sériovostí (tab. 9).

Tab. 9 Doporučené zápustkové oceli [23].

Označení oceli	Tvrdość nástroje HB	Použití
19 552	410 až 485	členitější zápustky pro velké série výkovků
19 554	410 až 485	jednodušší dutiny pro velké série výkovků
19 663	360 až 465	vysoce odolné pro střední série

- Rozměry zápustky – stanoveny pomocí normovaných tabulkových hodnot všem vnějším rozměrům zápustkových bloků. Z nomogramu je možné ověřit velikosti, zjištěním minimální vzdálenosti od okraje zápustky, kterou je potřeba dodržet.
- Vyhazovače – sloužící k jednoduchému vyjmutí výkovku z dutiny. Jsou umístěny do děr s minimální vůlí, kdy skrze vytvořený prostor unikají plyny vytvořené vypařováním maziva a pěnáním vzduchu, které by mohly při jejich zadržení poškodit povrch výrobku. Podle velikosti a složitosti výkovků může být přítomen pouze jeden, nebo více specifických kusů. Základními typy jsou kolíkový a prstencový. Jejich rozměry jsou stanoveny pomocí odpovídající normě ČSN 22 8306 tabulkou v příloze č. 12.

2.6 Technologičnost

Výkovek je potřeba posoudit z hlediska technologické vhodnosti tak, aby byla zajištěna jeho vyrobiteľnost pomocí zápustkového kování. Některé aspekty, jako například přídavky na obrábění, tloušťka blány a stěn, nebo zaoblení byly již zmíněny. Pro úplnost je nutné posoudit také ostatní principy zásadně ovlivňující proces, jako jsou [1; 4]:

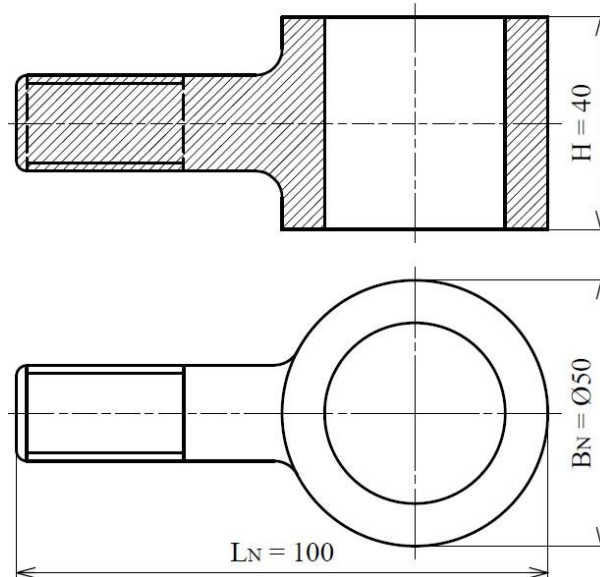
- Volba materiálu – u kterého bude záležet na mechanických vlastnostech, primárně kujnosti pro technologii kování a vhodnosti tepelného zpracování.
- Přechody průřezů – musí být plynulé, ve formě úkosů nebo zaoblení. Rozdíl ve směru délky na výkovku nesmí překročit poměr 4:1, jelikož může dojít k záhybům a trhlinám.
- Symetrie součásti – zlepšující rovnoměrné zatěžování formy a ochlazování (obr. 29).



Obr. 29 Ukázka nesymetrického výkovku klikové hřídele [6].

3 NÁVRH VÝROBY

Řešenou součástí je čep táhla řízení přední nápravy automobilu, který je vyroben z materiálu chrom-molybdenové oceli 42CrMo4 (obr. 30). Výrobní série 120 000 kusů je navržena pro technologii zápusťkového kování na lisu.



Obr. 30 Náčrt s hlavními rozměry.

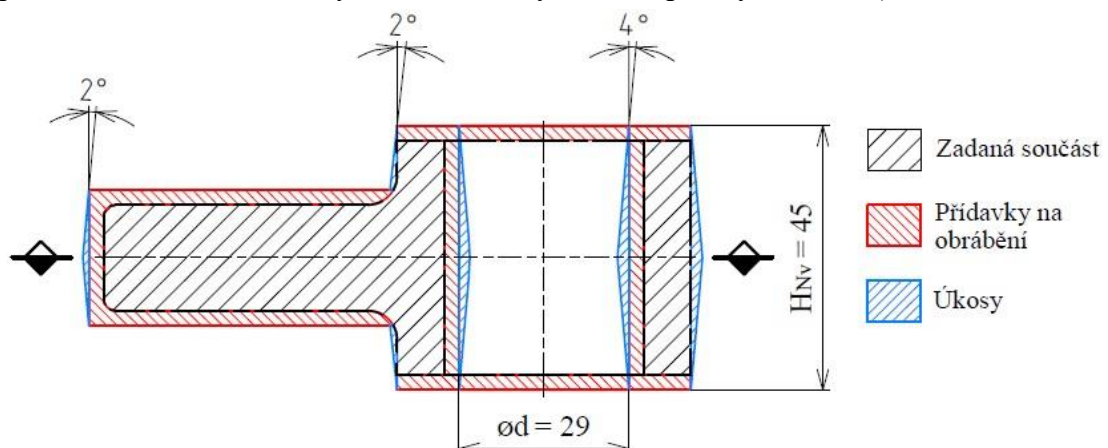
Důležitým prvním krokem je kontrola technologičnosti konstrukce výkovku. Pomocí normy ČSN 42 9030 jsou voleny hodnoty jako:

- Poloha dělicí roviny – na výkovku umístěna uprostřed největšího průřezu (obr. 31). Vzhledem k jednoduchému symetrickému tvaru součásti je zvolen typ přímý.
- Přídavek na složitost tvaru – umístěný na závitovaném konci dřívku čepu. Výrobek bude dále navrhován pro výrobu bez specifické funkční části.
- Přídavky na obrábění – vycházejí z tabulky pro obvyklou přesnost výroby (tab. 3). Je možné je určit pomocí střední hodnoty šířky a délky výrobku (obr. 30):

$$x_{BL} = \frac{B_N + L_N}{2} = \frac{50 + 100}{2} = 75 \text{ mm} \quad (3.1)$$

kde: B_N – největší šířka výrobku ve směru kolmo k rázu [mm],
 L_N – největší délka výrobku ve směru kolmo k rázu [mm].

Protnutím s největší výškou výrobku $H = 40$ mm byla z tabulky odečtená hodnota přídavků 2,5 mm. Zvětšeny budou všechny funkční plochy součásti (obr. 31).



Obr. 31 Technologické přídavky funkčních ploch.

Tab. 10 Přidávky na obrábění ploch výkovku v mm [20].

Největší průměr, střední šířka a délka výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku H			
		přes	25	40	63
		do 25	40	63	100
přes	do	Přidávky na obrábění ploch			
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5

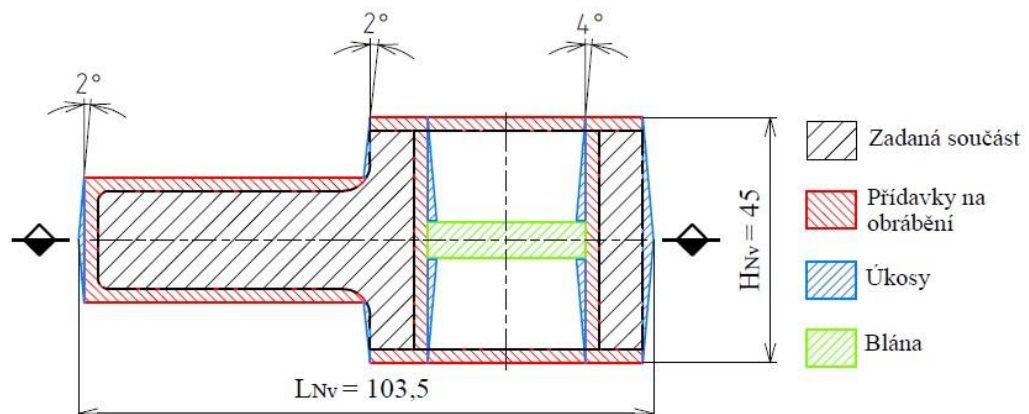
- Úkosity – jsou umístěny vzhledem k symetrii součásti kolmo k dělicí rovině (obr. 31). Odečtenými hodnotami jsou pro vnější rozměry 2° a pro vnitřní 4° pro lisy s vyhazovačem (tab. 10). Zvoleny byly menší z rozsahu, jelikož se jedná o výkovek tvarově jednoduchý s hladkými přechody. Vyjmutí bude usnadněno a zajištěno vyhazovačem umístěným v zápustce.
- Nejmenší tloušťka – stanovena podle dvou přístupů pro jednotlivé parametry:
 - blány – umístěné uprostřed otvoru součásti $d = 29$ mm. Její tloušťku je možné ověřit pomocí normalizovaného výpočtu dle (2.1):

$$s = 0,45 \cdot \sqrt{d - 0,25 \cdot H_{Nv} - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{H_{Nv}} =$$

$$= 0,45 \cdot \sqrt{29 - 0,25 \cdot 45 - 5} + 0,6 \cdot \sqrt{45} = 5,63 \text{ mm}$$

Výpočtem stanovená tloušťka blány odpovídá velikosti $s = 5,63$ mm.

- stěny a blány – určených pomocí největšího rozměru výkovku kolmého ke směru rázu a největší výšky (obr. 32). Protnutím je odečtena velikost (tab. 11).



Obr. 32 Zvolené technologické přidávky.

Tab. 11 Nejmenší tloušťka dna, blány a stěny výkovku [20].

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu L_{Nv} [mm]		Největší výška výkovku H_{Nv} [mm]			
		přes 0	10	25	40
		do 10	25	40	63
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, blány a stěny [mm]			
63	100	5	6	7	9
100	160	6	7	9	11

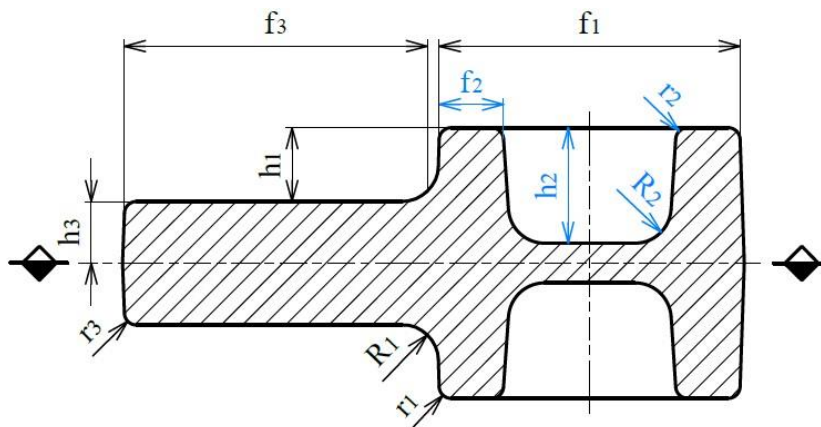
Odpovídající tabulková hodnota je 11 mm, což splňují veškeré stěny výkovku. Vypočítaná tloušťka blány $s = 5,63$ mm je znatelně menší a její rozměr bude nutné zvětšit podle tabulky na $s = 11$ mm. Veškeré zvolené technologické přidávky jsou zobrazeny na výrobku (obr. 32).

- Poloměry zaoblení – které byly stanoveny pomocí poměrů mezi výškami a šířkami jednotlivých oblastí. Vzorový výpočet, označený modře (obr. 33), slouží pro získání hodnot poloměrů zaoblení:

$$P_{hf_2} = \frac{h_2}{f_2} = \frac{17,5}{10,5} = 1,66 \quad (3.2)$$

kde: h_2 – výška hrany; $h_2 = 17,5$ mm,

f_2 – vzdálenost od hrany; $f_2 = 10,5$ mm.



Obr. 33 Hodnoty pro zaoblení hran a přechodů

Tab. 12 Poloměry zaoblení hran r a přechodů R .

Zaoblení	Výška h_i [mm]	Šířka f_i [mm]	Poměr h_i/f_i	Hrana r_i [mm]	Přechod R_i [mm]
1	11	50	0,22	2	6
2	17,5	10,5	1,66	2	6
3	11,5	50,3	0,22	2	-

Vypočítaným poměrem dosazeným do tabulky (tab. 6), vychází protnutím s rozměrem použité výšky $h_2 = 17,5$ mm hodnoty pro hranu $r_2 = 2$ mm a přechod $R_2 = 6$ mm. Všechny hodnoty zbylých ostrých rohů výrobku jsou vypsány v tabulce (tab. 12).

- Volba materiálu – kterým je ocel 42CrMo4 s dobrou kujností vhodnou pro kování.
- Přechody průřezu – plynule navázány pomocí úkosů a zaoblení výkovku.
- Symetrie součásti – je jednoduchá a přímá v rovině dělicí a na ni kolmé.

Technologičnost konstrukce výkovku je dodržena a v návrhu je možné pokračovat.

3.1 Tolerance výkovku

Pro zajištění rozměrové přesnosti výkovku je nutné stanovit příslušné geometrické požadavky a jejich tolerance. Mezi parametry jsou zahrnuty:

- Zařazení výkovku dle složitosti tvaru dle normy ČSN 42 9002 zvoleno:
 - Tvarový druh – 9 – složitých tvarů s přímou dělicí rovinou.
 - Tvarová třída – 3 – složitějšího tvaru s hlavou a jedním ramenem.
 - Tvarová skupina – 6 – s otvorem $L_{Nv} \leq 3B_{Nv}$ a $H_{Nv} > 2H_{Mv}$, po dosazení:

$$L_{Nv} \leq 3B_{Nv} \text{ a } H_{Nv} > 2H_{Mv} = 103,5 \leq 3 \cdot 51,5 \text{ a } 45 > 2 \cdot 11 \quad (3.3)$$

kde: H_{Mv} – nejmenší výška výkovku; v místě blány $s = 11$ mm.

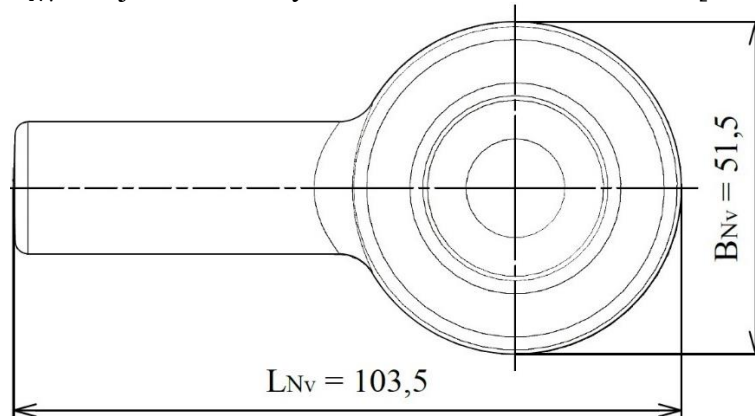
- Tvarová podskupina – 0 – bez přesahu.
- Technologické hledisko – 1 – s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné.

Označení výkovku součásti čepu táhla řízení je 9360.1.

- Stupeň přesnosti – byl určen pomocí čísla označení výkovku jako IT 7 pro obvyklé provedení rozměrů kolmých i rovnoběžných s rázem v rámci tabulky v příloze č. 2.
- Mezní úchytky – zvoleny pomocí odpovídající tabulky dle normy ČSN 42 9030 podle poloviny součtu největší šířky a délky výkovku (obr. 34) v rámci výpočtu:

$$y_{BL} = \frac{B_{NV} + L_{NV}}{2} = \frac{51,5 + 103,5}{2} = 77,5 \text{ mm} \quad (3.4)$$

kde: B_{NV} – největší šířka výkovku ve směru kolmo k rázu [mm],
 L_{NV} – největší délka výkovku ve směru kolmo k rázu [mm].



Obr. 34 Mezní úchytky rozměrů výkovku.

Tab. 13 Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku pro stupeň přesnosti 7 [20].

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L_{NV} + B_{NV})$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H_{NV})			
		přes 0	25	40	63
		25	40	63	100
přes 63 do 100	mezní úchytky	+ 2,5 - 1,2	+ 2,5 - 1,3	+ 2,7 - 1,3	+ 2,9 - 1,4
	tolerance	3,7	3,8	4,0	4,3

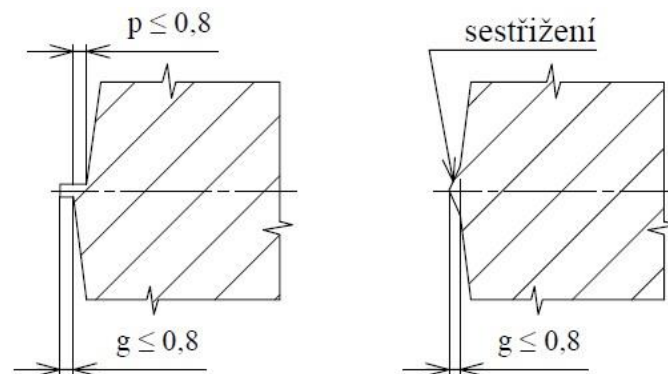
Protnutím s největší výškou výkovku $H_{NV} = 45$ mm byla z tabulky (tab. 13) odečtená hodnota mezních úchytek rozměrů pro vnější plochy +2,7 mm a -1,3 mm. Parametry platí pro všechny rozměry kolmé i rovnoběžné k rázu.

- Hodnota dovoleného přesazení, otřepu a sestřížení – pro navržený výkovek odpovídá dolní mezní úchylce kolmo k rázu, stanoveno:

$$p; g \leq 1,3 \text{ mm} \quad (3.5)$$

kde: p – dovolené přesazení výkovku [mm],
 g – dovolené sestřížení a otřep výkovku [mm].

Dovolené hodnoty na výkovku jsou po celém obvodu rovny $p; g \leq 1,3$ mm (obr. 35).



Obr. 35 Znárodnění přesazení, otřepu a sestřížení.

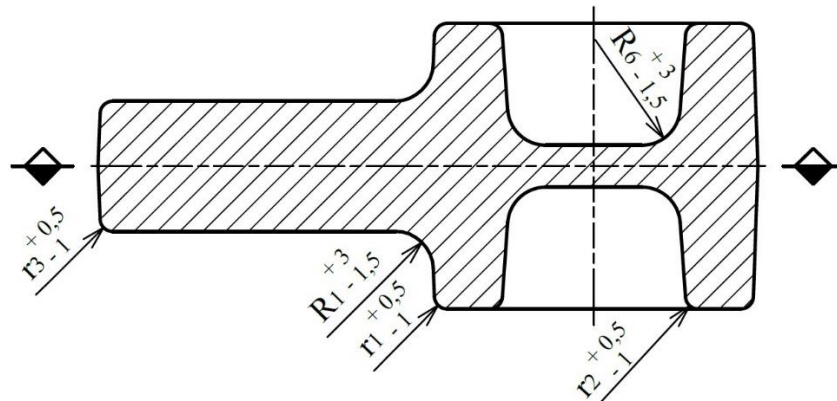
- Mezní úchylky poloměrů zaoblení – vycházejí pro návrh výkovku ve stejné velikosti pro veškeré hrany a přechody (obr. 36). Jsou určeny z tabulky a stanoveny následným vynásobením odečtené hodnoty (tab. 8). Výpočet je ve tvaru:

- Pro stanovení mezních úchylek hran r_i :

$$r_i = r_i \cdot \begin{matrix} +0,25 \cdot r_i \\ -0,5 \cdot r_i \end{matrix} = r_2 \cdot \begin{matrix} +0,25 \cdot 2 \\ -0,5 \cdot 2 \end{matrix} = r_2 \begin{matrix} +0,5 \\ -1 \end{matrix} \quad (3.6)$$

- Pro stanovení mezních úchylek přechodů R_i :

$$R_i = R_i \cdot \begin{matrix} +0,5 \cdot R_i \\ -0,25 \cdot R_i \end{matrix} = R_6 \cdot \begin{matrix} +0,5 \cdot 6 \\ -0,25 \cdot 6 \end{matrix} = R_6 \begin{matrix} +3 \\ -1,5 \end{matrix} \quad (3.7)$$



Obr. 36 Mezní úchylky přechodů a hran.

3.2 Volba polotovaru

Důležitým údajem konstrukce výkovku jsou tvar a rozměry výronkové drážky. Vzhledem k jednoduchosti a malým rozměrům je zvolena drážka obvyklého typu I, jelikož bude kován menší objem materiálu a nedojde tak k jeho přílišnému vytečení (obr. 17). Nejdříve je nutné určit výšku můstku dle normy ČSN 22 8306 pomocí:

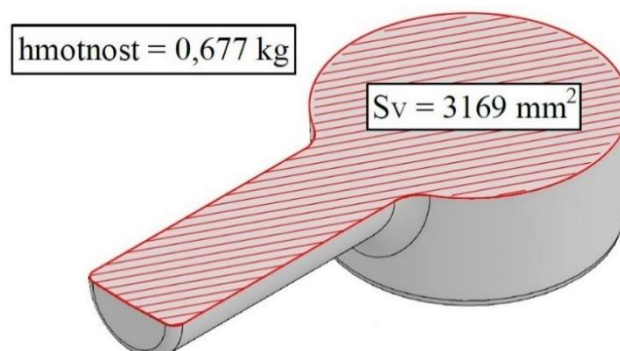
- Vztahu (2.2):

$$h = \alpha \cdot \sqrt{S_V} = 0,015 \cdot \sqrt{3169} = 0,85 \text{ mm}$$

kde: α – součinitel výšky můstku; zvoleno z rozmezí 0,008 až 0,015 na vyšší hodnotu 0,015 aby bylo zaručeno vytečení výronku vzhledem k malým rozměrům výkovku,

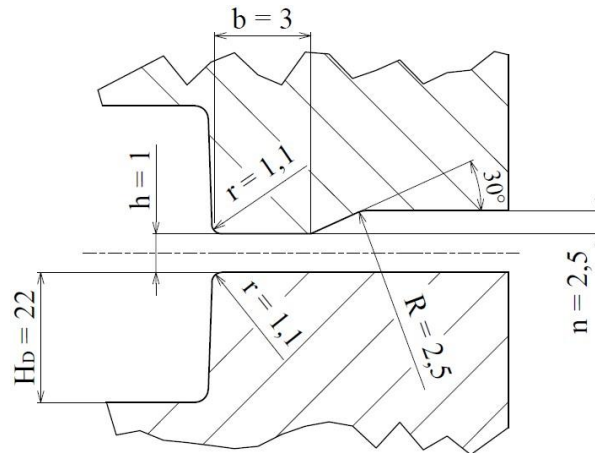
S_V – plocha výkovku v dělicí rovině; stanovena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2025 na 3169 mm^2 (obr. 37).

Vypočítaná hodnota výšky můstku je po zaokrouhlení zvolena na $h = 1 \text{ mm}$, což je nejbližší vyšší uvedená normalizovaná velikost.



Obr. 37 Plocha výkovku v dělicí rovině a hmotnost výkovku.

- Nomogramu – zjištěna průmětem hodnot hmotnosti výkovku $m_0 = 0,677$ kg, plochy v dělicí rovině $S_V = 3169$ mm² a největším rozměrem $L_{Nv} = 103,5$ mm v příloze č. 3. Odečtená velikost výšky můstku $h = 1,25$ mm.



Obr. 38 Rozměry výronkové drážky.

Výpočtem stanovená velikost výšky můstku $h = 1$ mm je menší, než odečtená hodnota pomocí nomogramu $h = 1,25$ mm. Jelikož je výkovek menších rozměrů, je zvolen menší rozměr výšky můstku $h = 1$ mm, aby bylo zamezeno většímu úniku materiálu a zvýšil se tak deformační odpor. Zvolená hodnota bude použita do dalších výpočtů.

Pro zbylé parametry rozměrů výronkové drážky závislé na hodnotě výšky můstku h platí:

- Výpočet šířky můstku **b**:

$$b = u \cdot h = 2,5 \cdot h = 2,5 \cdot 1 = 2,5 \text{ mm} \quad (3.8)$$

kde: u – koeficient v rozmezí 1 až 3; zvoleno z hlediska složitějšího tvaru výkovku jako 2,5.

Pro šířku můstku byla zvolena hodnota $b = 3$ mm z důvodu složitějšího tvaru výkovku, u kterých jsou vyžadovány vyšší tlaky.

- Výpočet poloměru zaoblení přechodu můstku **r**:

$$r = \frac{\sqrt{S_V}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{3169}}{200} + 0,04 \cdot 22 = 1,16 \text{ mm} \quad (3.9)$$

kde: H_D – největší hloubka spodní dutiny zápustky [mm]; vypočtena:

$$\begin{aligned} H_D &= 0,5 \cdot H_{Nv} - 0,5 \cdot h = \\ &= 0,5 \cdot 45 - 0,5 \cdot 1 = 22 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Zaoblení přechodu můstku je určeno zaokrouhlením na nižší hodnotu $r = 1,1$ mm. Zlepší se tak životnosti zápustky, která je ovlivněna opotřebením jejího povrchu tokem materiálu.

- Výpočet hloubky zásobníku **n** a poloměru zaoblení **R**:

$$n = R = 0,4 \cdot h + 2 = 0,4 \cdot 1,25 + 2 = 2,5 \text{ mm} \quad (3.11)$$

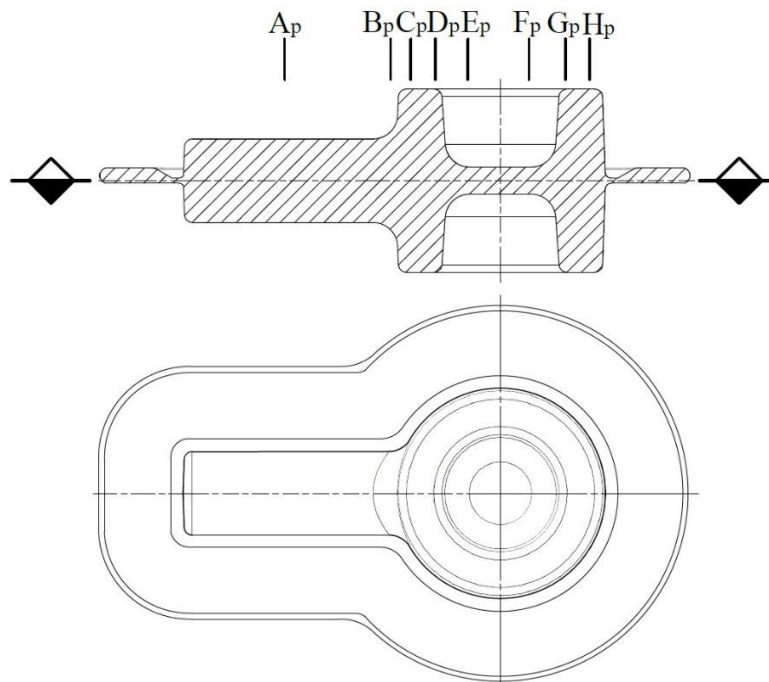
Vypočítané hodnoty je nutné porovnat s rozměry dle normy ČSN 22 8306 v příloze č. 4. Výsledné velikosti byly odvozeny podle výšky můstku $h = 1$ mm. Všechny rozměry výronkové drážky, jsou zobrazeny na schématu (obr. 38).

Ze získaných hodnot lze určit plochu výronku $S_{výr}$. Drážka bývá běžně zaplněna materiálem z 50 až 75 % jejího celkového objemu, zvoleno 70 %. Bude převzata odpovídající velikost šířky zásobníku $b_z = 25$ mm podle tabulky z normy ČSN 22 8306 v příloze č. 4. Výpočet částečného vyplnění bude vypadat následovně [1]:

$$S_{výr} = S_{výrAI} \cdot 0,7 = 92,9 \cdot 0,7 = 65 \text{ mm}^2 \quad (3.12)$$

kde: $S_{výrAI}$ – zcela vyplněná plocha výronku; stanovena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2025 na $92,9 \text{ mm}^2$, zobrazena v řezu výkovkem na obrázku v příloze č. 5.

Po stanovení parametrů konstrukce výkovku lze spočítat jeho objem a poté dopočítat průměr a délku jednotlivých dílců. Pro přehlednost jsou výkovkem vedeny příčné řezy na místech, kde se mění jeho tvar výraznou změnou průřezu, ze kterých je následně odečtena plocha (obr. 39). Hodnoty jsou vypočítané pomocí jednotlivých základních ploch příčných průřezů, které jsou odečteny programem Autodesk Inventor Professional 2025 a vypsány v tabulce (tab. 14).



Obr. 39 Znárodnění umístění řezů výkovkem.

Vzorové výpočty pro jednotlivé parametry v bodě řezu A_p jsou:

- Plocha řezu spolu s oboustranným výronkem dle (2.3):

$$S_{ŘvýrAp} = S_{ŘAp} + S_{výr} \cdot 2 = 330 + 65 \cdot 2 = 460 \text{ mm}^2$$

kde: $S_{ŘAp}$ – plocha řezu A_p ; stanovena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2025 na 330 mm^2 .

- Plocha řezu s výronkem a opalem dle (2.4):

$$S_{ŘvoAp} = S_{ŘvýrAp} \cdot 1,01 = 460 \cdot 1,01 = 464,6 \text{ mm}^2$$

Jelikož se jedná o malý výrobek, bude vhodné na ohřev zvolit indukční, pro kterou tvoří přídavek zhruba 1 % materiálu.

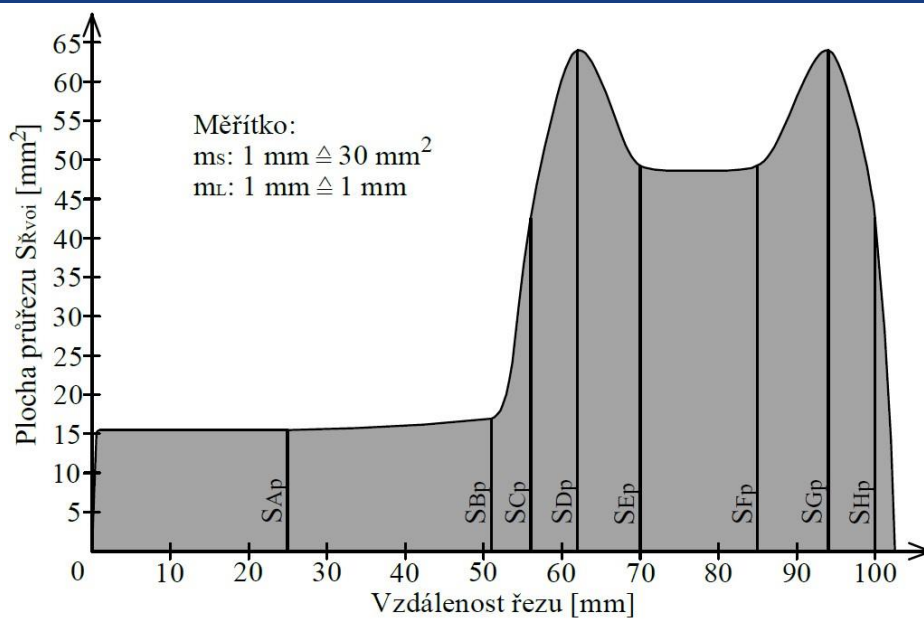
- Průměr ideálního předkovku dle (2.8):

$$D_{Ap} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{ŘvoAp}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 464,6}{\pi}} = 24,32 \text{ mm}$$

Pomocí hodnot byl vytvořen průřezový obrazec (obr. 40). Do něj byly ve stanoveném měřítku vyneseny velikosti ploch řezů s výronkem a opalem $S_{Řvoi}$ na jednotlivých vzdálenostech.

Tab. 14 Hodnoty pro zvolení polotovaru.

Pozice průřezu	Vzdálenost řezu od 0 [mm]	Plocha příčného řezu $S_{\check{r}i}$ [mm ²]	Plocha řezu s výronkem $S_{\check{r}v\check{y}r\check{i}}$ [mm ²]	Plocha řezu s výronkem a opalem $S_{\check{r}v\check{o}i}$ [mm ²]	Průměr řezu ideálního předkovku D_i [mm]
A _p	25	330	460	464,6	24,32
B _p	51	372	502	507	25,41
C _p	56	1133	1263	1275,6	40,30
D _p	62	1770	1900	1919	49,43
E _p	70	1333	1463	1477,6	43,38
F _p	85	1333	1463	1477,6	43,38
G _p	94	1770	1900	1919	49,43
H _p	100	1133	1263	1275,6	40,30

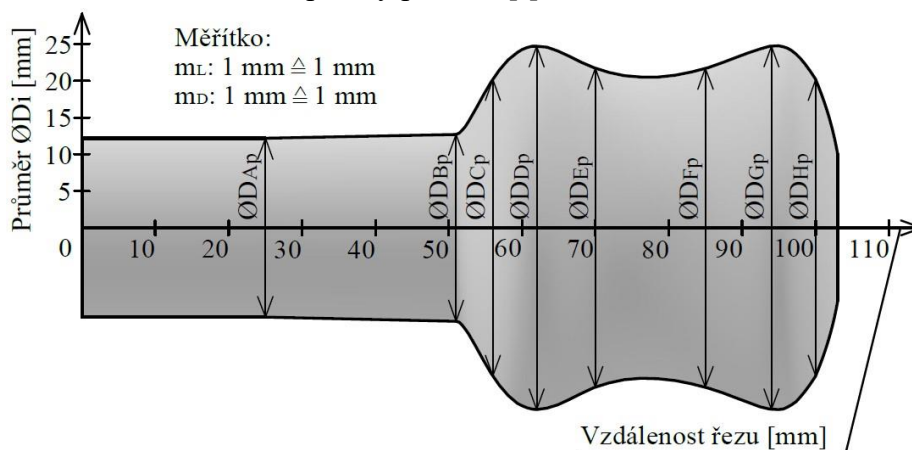


Obr. 40 Průřezový obrazec.

Byla stanovena plocha pod křivkou $S_{\check{r}v\check{o}i} = 3360,5 \text{ mm}^2$ odečtením hodnoty pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2025 v příloze č. 6. Velikost odpovídá jednomu kusu výkovku, pro který je možné určit objem výchozího polotovaru V_{pol} . Výpočet je proveden dle (2.7):

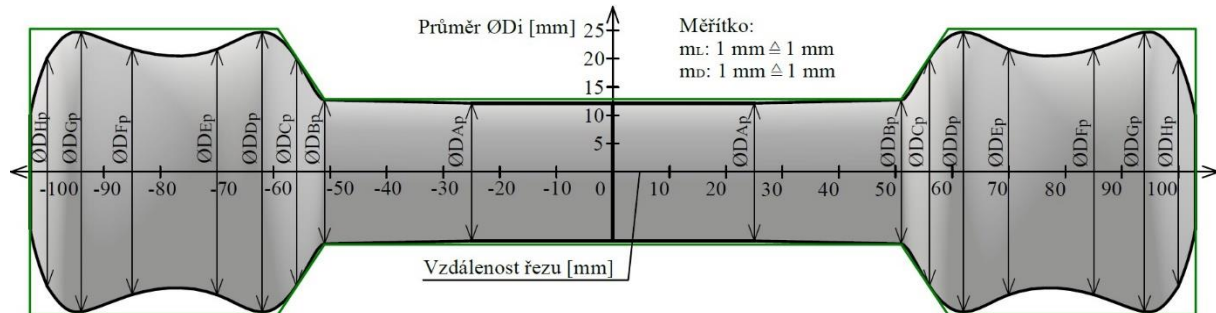
$$V_{pol} = \sum S_{\check{r}v\check{o}i} \cdot m_s = 3360,5 \cdot 30 = 100\,815 \text{ mm}^3$$

kde: m_s – měřítko plochy průřezu [-]; určeno $1 \text{ mm} \triangleq 30 \text{ mm}^2$.



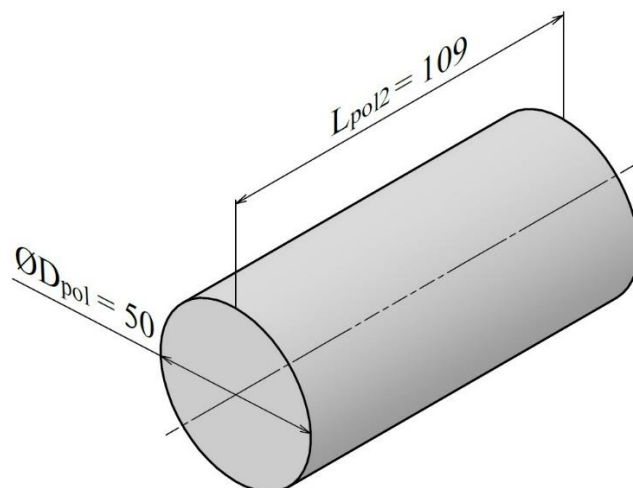
Obr. 41 Tvar ideálního předkovku.

Vynesáním vypočítaných průměrů je vytvořen tvar ideálního předkovku. (obr. 41). Pro výkovek je však uvažována jako nejvhodnější výroba dvojkusu. Zrcadlením tvaru ideálního předkovku pro jeden kus je možné vytvořit nový ideální předkovek, ze kterého je úpravou vykreslen zelenou čarou tvar skutečného předkovku (obr. 42).



Obr. 42 Tvar ideálního předkovku.

Pro dvojkus je možné vypočítat délku výchozího polotovaru pomocí získané hodnoty objemu jednoho kusu úpravou základního vztahu (2.9) vynásobením dvěma. Největší průměr řezu ideálního předkovku dvojkusu, byl odečten z tabulky na pozicích průřezů D_p a G_p o shodné velikosti $D_{Dp/Gp} = 49,43$ mm (tab. 14). Po zaokrouhlení na nejbližší vyráběný průměr tyče bude určeno $D_{pol} = 50$ mm. Výchozím polotovarem bude přířez tyče kruhového průřezu (obr. 43).



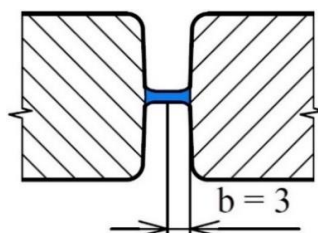
Obr. 43 Tvar ideálního předkovku

Pro úplnou korektnost výpočtu je nutné zahrnout také přechodový můstek mezi jednotlivými kusy, který je zobrazen v detailu (obr. 44). Délku polotovaru lze poté vypočítat podle upraveného vztahu (2.9) pro dvojkus s přechodovým můstkem následovně:

$$L_{pol2} = \left(\frac{4 \cdot V_{pol}}{\pi \cdot D_{pol}^2} \right) \cdot 2 + l_m = \left(\frac{4 \cdot 100 \cdot 815}{\pi \cdot 50^2} \right) \cdot 2 + 6 = 108,69 \text{ mm} \quad (3.13)$$

kde: L_{pol2} – délka výchozího polotovaru pro dvojkus [mm],
 l_m – délka přechodového můstku [mm], zvoleno jako 2 šířky
 můstku b , z důvodu zajištění vyrobitelnosti výpočtem:

$$l_m = 2 \cdot b = 2 \cdot 3 = 6 \text{ mm} \quad (3.14)$$



Obr. 44 Detail přechodového můstku dvojkusu.

Pomocí získaného objemu byla vypočtena délka výchozího polotovaru, která byla vzhledem k menším rozměrům součásti rozšířena na výrobu dvojkusů o celkové délce $L_{pol2} = 109$ mm. Výchozím polotovarem pro zadanou sérii je zvolen přířez z kruhové tyče válcované za tepla od firmy Ferona a.s. o průměru $D_{pol} = 50$ mm (obr. 43).

3.3 Výpočet síly

Určujícím parametrem při volbě lisu je velikost kovací síly, nutné pro zhotovení výkovku. Konkrétně bude počítána pro poslední dokovací operaci, jelikož právě při ní dochází k největšímu zatížení stroje. Jednotlivé způsoby výpočtu jsou podle autorů:

- Stroževa – dosazením do (2.10):

$$\begin{aligned} F_{kS} &= R_{mT} \cdot \left\{ \left(1 + \frac{b}{2 \cdot h} \right) \cdot S_{VR2} + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{L_{NV2}}{h} + \frac{h}{L_{NV2}} \right) + \frac{b}{h} - 0,25 \right] \cdot S_{V2} \right\} = \\ &= 45 \cdot \left\{ \left(1 + \frac{3}{2 \cdot 1,25} \right) \cdot 1036 + \left[1,25 \cdot \left(\ln \frac{207}{1,25} + \frac{1,25}{207} \right) + \frac{3}{1,25} - 0,25 \right] \cdot 6338 \right\} = \\ &= 2\,558\,770,96 \text{ N} \end{aligned}$$

kde: S_{VR2} – plocha můstku výronku výkovku dvojkusů ve směru kolmo k rázu; stanovena pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2025 na 1036 mm^2 ,

L_{NV2} – největší délka výkovku dvojkusů ve směru kolmo k rázu [mm]; stanovena jako dvojnásobek délky jednoho kusu výpočtem:

$$L_{NV2} = 2 \cdot L_{NV} = 2 \cdot 103,5 = 207 \text{ mm} \quad (3.15)$$

S_{V2} – plocha výkovku dvojkusů v dělicí rovině; stanovena jako dvojnásobek plochy výkovku jednoho kusu výpočtem:

$$S_{V2} = 2 \cdot S_V = 2 \cdot 3169 = 6338 \text{ mm}^2 \quad (3.16)$$

R_{mT} – pevnost materiálu na lisu za kovací teploty [MPa]; odečtena hodnota pro rozmezí kovacích teplot oceli 42CrMo4 900 až 1200 °C, zvoleno 1100 °C z tabulky jako 45 MPa (tab. 15).

Tab. 15 Pevnost materiálu za kovací teploty [23].

Materiál	Pevnost materiálu R_{mT} [MPa]			
	Kovací teplota [°C]			
42CrMo4	900	1000	1100	1200
	130	76	45	26

Vypočítaná kovací síla byla stanovena 2,56 MN. Vzhledem k výrobě dvojkusů bylo nutné zahrnout zvětšené plochy výkovku a výronku.

- Brjuchanova-Rebelského – dosazením do (2.11):

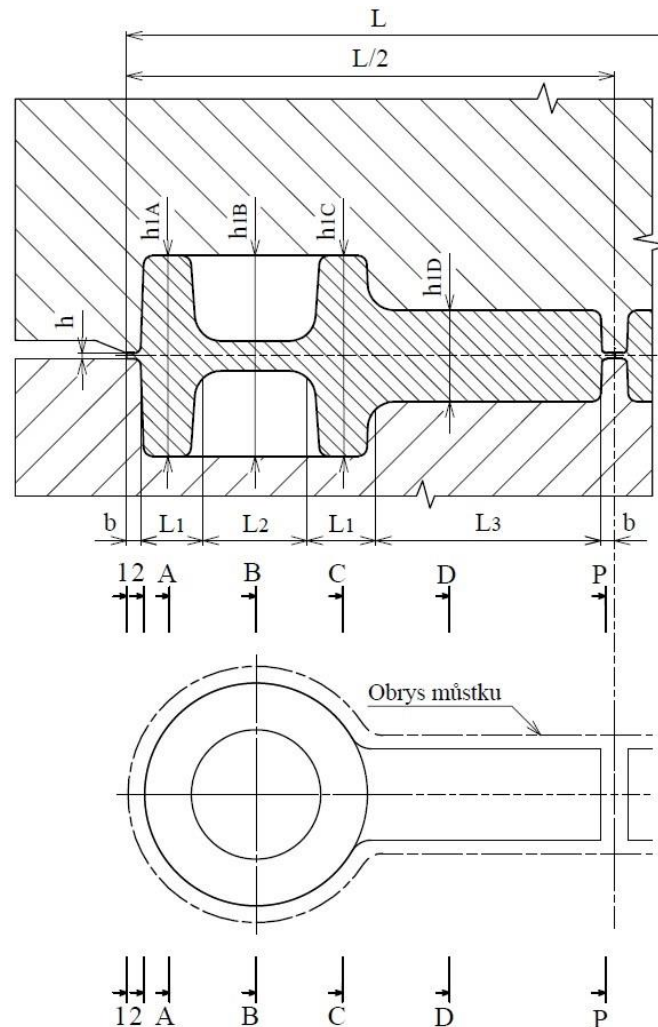
$$\begin{aligned} F_{kB} &= 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot D_R) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{D_R} \right)^2 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{L_{NV2}}{B_{NV}}} \right) \cdot R_{mT} \cdot S_{V2} = \\ &= 8 \cdot (1 - 0,001 \cdot 115) \cdot \left(1,1 + \frac{20}{115} \right)^2 \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \sqrt{\frac{207}{50}} \right) \cdot 45 \cdot 6338 = \\ &= 3\,943\,781,15 \text{ N} \end{aligned}$$

kde: D_R – redukovaný průměr pro podlouhlý výkovek [mm]; vypočten dle vztahu (2.12):

$$D_R = 1,13 \cdot \sqrt{L_{NV2} \cdot B_{NV}} = 1,13 \cdot \sqrt{207 \cdot 50} = 115 \text{ mm}$$

Vypočítaná kovací síla odpovídá 3,94 MN. Jelikož je výkovek podlouhlého tvaru, bylo potřeba upravit průměr výkovku podle půdorysných rozměrů největší šířky výkovku a největší délky výkovku dvojkusů. Byl nahrazen za vypočítaný redukovaný průměr.

- Tomlenova – pro nekruhový výkovek se zobrazením potřebných hodnot velikostí rozměrů v řezu a na půdorysu (obr. 45) výpočtem rozděleným na části:



Obr. 45 Rozměry výkovku pro výpočtení sil.

- Velikosti deformačních odporů:
 - V prvním úseku řezu č. 1 odpor σ_0 dosazením do (2.14):

$$\sigma_0 = (1 + 0,73 \cdot \mu) \cdot \sigma_s = (1 + 0,73 \cdot 0,4) \cdot 202,5 = 261,63 \text{ MPa}$$
 kde: μ – koeficient tření; podle normy ČSN 22 8306 odečtena odpovídající hodnota 0,4,
 σ_s – deformační odpor s vlivem poklesu teploty [MPa]; vypočten dle (2.15):

$$\sigma_s = R_{mT} \cdot C_0 = 45 \cdot 4,5 = 202,5 \text{ MPa}$$
 kde: C_0 – součinitel snížení plasticity; zvolen z rozmezí hmotnosti výkovku m_0 do 5 kg jako 4,5 (tab. 16).

Tab. 16 Součinitel snížení plasticity [23].

Hmotnost výkovku [kg]	Teplota výronku [°C]	Součinitel oceli C_0
Do 5	750 až 850	5,0 až 4,0
5 až 10	800 až 900	4,5 až 3,5

- Ve druhém úseku řezu č. 2 odpor σ_1 dosažením do (2.16):

$$\sigma_1 = \sigma_0 + \sigma_s \cdot \frac{b}{h} = 261,63 + 202,5 \cdot \frac{3}{1,25} = 747,63 \text{ MPa}$$

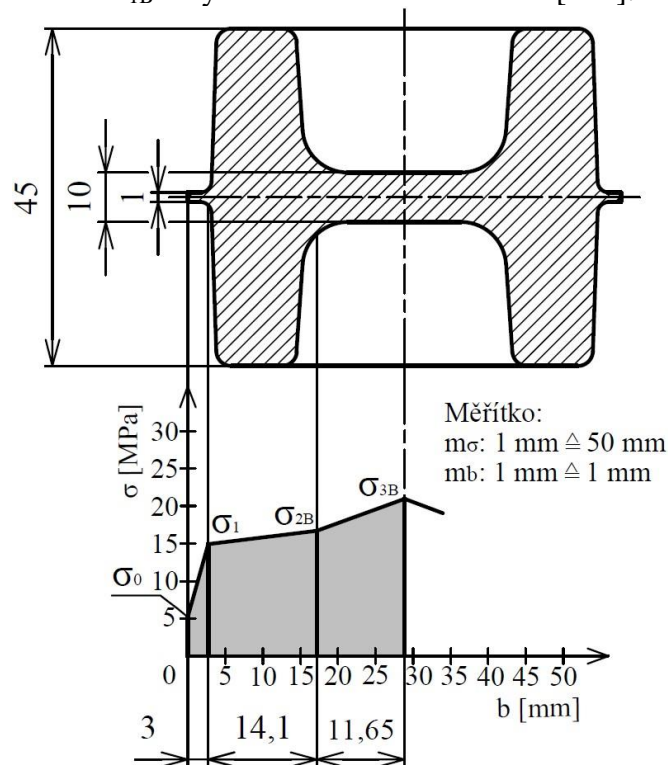
Velikosti deformačních odporů pro první a druhý úsek budou pro všechny řezy výkovkem totožné, jelikož velikost můstku výronkové drážky se po celém obvodu výrobku nemění.

- Vzorovým výpočtem pro průřez výkovkem B znázorněném na schématu napětí (obr. 46) následovně:

- Pro deformační odpor σ_{2B} dle (2.17):

$$\sigma_{2B} = \sigma_1 + \sigma_s \cdot \frac{b_{1B}}{h_{1B}} = 747,63 + 202,5 \cdot \frac{14,1}{45} = 811,08 \text{ MPa}$$

kde: b_{1B} – šířka druhého úseku řezu B [mm],
 h_{1B} – výška druhého úseku řezu B [mm].



Obr. 46 Napětí v průřezu B

- Pro deformační odpor σ_{3B} dosažením do (2.17):

$$\sigma_{3B} = \sigma_{2B} + \sigma_s \cdot \frac{b_{2B}}{h_{2B}} = 811,08 + 202,5 \cdot \frac{11,65}{10} = 1047 \text{ MPa}$$

kde: b_{2B} – šířka třetího úseku řezu B [mm],
 h_{2B} – výška třetího úseku řezu B [mm].

Všechny hodnoty průřezu B jsou vypsány v tabulce (tab. 17). Podle vzoru budou spočítány také deformační odpory dalších řezů, které jsou pro přehlednost vepsány do tabulky (tab. 18). Velikosti můstku pro první a druhý úsek jsou zde vynechány, vzhledem k jejich totožné hodnotě.

Tab. 17 Hodnoty napětí a úseků v řezu B.

Odpovídající úsek	σ_0	σ_1	σ_{2B}	σ_{3B}
Def. odpor [MPa]	261,63	747,63	811,08	1047
Šířka b_i [mm]	-	3	14,1	11,65
Výška h_i [mm]	-	1,25	45	10

Tab. 18 Hodnoty napětí a úseků v průřezích A, C a D.

Odpovídající úsek	σ_{2A}	σ_{2C}	σ_{2D}
Deformační odpor [MPa]	817,38	817,38	848,88
Šířka b_i [mm]	15,5	15,5	10,25
Výška h_i [mm]	45	45	20,5

- Díky hodnotám pro jednotlivé deformační odpory bude možné stanovit jejich plochy vynásobením vzdáleností jednotlivých řezů vzorovými výpočty:
 - o V prvním řezu č. 1 ve vzdálenosti 0 jako S_0 dle (2.18):

$$S_0 = \sigma_0 \cdot b_0 = 261,63 \cdot 0 = 0 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$
 - o Ve druhém řezu č. 2 jako S_1 dosazením do (2.19):

$$S_1 = \sigma_1 \cdot b_1 = 747,63 \cdot 15 = 11\,214,5 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$
 - o Vzorovým výpočtem řezu B stanoveno S_B dle (2.20) následovně:

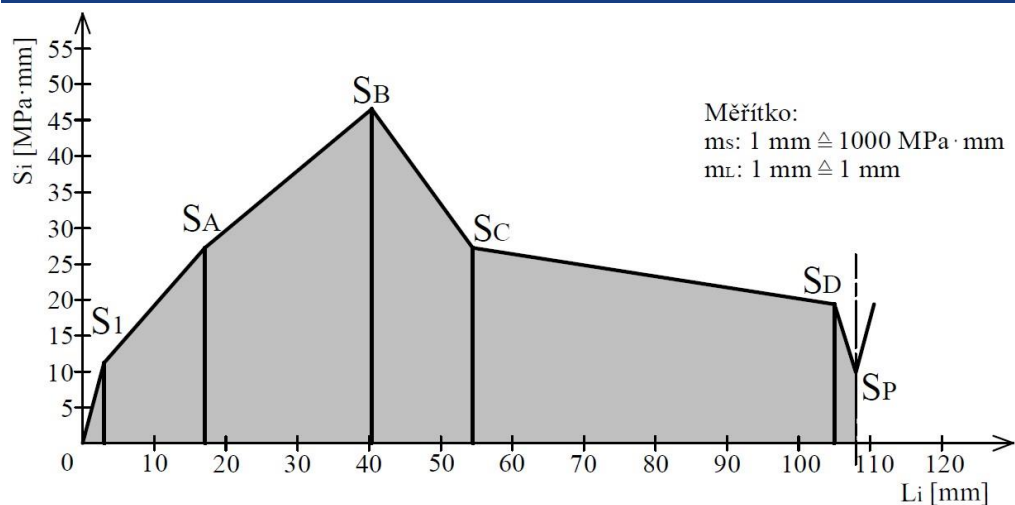
$$\begin{aligned} S_B &= (\sigma_0 + \sigma_1) \cdot b + (\sigma_1 + \sigma_{2B}) \cdot b_{1B} + (\sigma_{2B} + \sigma_{3B}) \cdot b_{2B} = \\ &= (261,63 + 747,63) \cdot 3 + (747,63 + 811,08) \cdot 14,1 + \\ &\quad + (811,08 + 1047) \cdot 11,65 = \\ &= 46\,652,22 \text{ MPa} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$
 - o V řezu přechodového můstku P jako S_P dle (2.19):

$$S_P = \sigma_1 \cdot b_p = 747,63 \cdot 13,25 = 9\,906,1 \text{ MPa} \cdot \text{mm}$$

Obdobně jako u vzorového výpočtu pro řez B budou spočítány plochy všech průřezů. Plochy jednotlivých deformačních odporů a vzdáleností poloh jsou pro přehlednost vypsány v tabulce (tab. 19). Je vytvořen graf ploch (obr. 47).

 Tab. 19 Hodnoty ploch deformačních odporů S_i a vzdáleností poloh L_i .

Plocha S_i [MPa·mm]					
S_1	S_A	S_B	S_C	S_D	S_P
11 214,5	27 285,44	46 652,22	27 285,44	19 392	9 906,1
Vzdálenost L_i [mm]					
b	L_1	L_2	L_1	L_3	b
3	14,1	23,3	14,1	50,5	3



Obr. 47 Graf ploch deformačních odporů.

Velikost plochy pod křivkou udává normálovou sílu výpočtem (2.21):

$$\begin{aligned}
 F_N &= (S_0 + S_1) \cdot \frac{b}{2} + (S_1 + S_A) \cdot \frac{L_1}{2} + (S_A + S_B) \cdot \frac{L_2}{2} + \\
 &\quad + (S_B + S_C) \cdot \frac{L_1}{2} + (S_C + S_D) \cdot \frac{L_3}{2} + (S_D + S_P) \cdot \frac{b}{2} = \\
 &= (0 + 11214,5) \cdot \frac{3}{2} + (11214,5 + 27285,44) \cdot \frac{14,1}{2} + \\
 &\quad + (27285,44 + 46652,22) \cdot \frac{23,3}{2} + (46652,22 + 27285,44) \cdot \frac{14,1}{2} + \\
 &\quad + (27285,44 + 19392) \cdot \frac{50,5}{2} + (19392 + 9906,1) \cdot \frac{3}{2} = \\
 &= 2\,893\,432,33 \text{ N}
 \end{aligned}$$

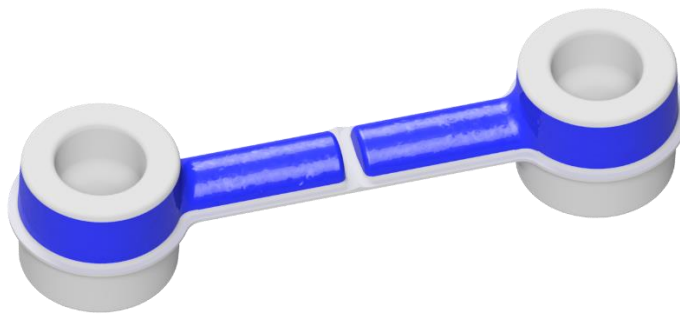
Vzhledem k symetričnosti výkovku dvojkusu je možné vypočítat pouze jeho jednu polovinu a finální velikost normálové síly lze získat vynásobením dvěma:

$$F_{N2} = F_N \cdot 2 = 2\,893\,432,33 \cdot 2 = 5\,786\,864,66 \text{ N}$$

Výpočet tečné složky síly dosazením (2.22):

$$F_T = \frac{R_{mT}}{2} \cdot S' = \frac{45}{2} \cdot 8\,861,16 = 199\,376,1 \text{ N}$$

kde: S' – povrch bočních ploch výkovku v pohybujícím se dílu zápustky; stanoven pomocí programu Autodesk Inventor Professional jako $8861,16 \text{ mm}^2$ (obr. 48).



Obr. 48 Povrch bočních ploch modře.

Celková kovací sílu je následně možné vypočítat jako (2.13):

$$F_{kT} = F_{N2} + F_T = 5\,786\,864,66 + 199\,376,1 = 5\,986\,240,76 \text{ N}$$

Vypočítaná kovací síla je po stanovená na 6 MN.

Jednotlivé hodnoty podle autorů jsou odlišné velikosti. Za výslednou kovací sílu bude zvolen nejhorší případ, což je nejvyšší vypočítaný výsledek podle Tomlenova, roven 6 MN. Postup podrobně zahrnuje tvar součásti, čímž je zaručena nejbližší velikost reálné hodnoty kovací síly.

3.4 Volba lisu

Vhodný lis musí splňovat primárně kritérium maximální požadované stanovené kovací síly. Kvůli zajištění vyrobiteľnosti se zohledněním provozních vlivů a bezpečnosti, bude nutné zvolenou potřebnou kovací sílu $F_{kT} = 6 \text{ MN}$ zvětšit [4]:

$$F_{kC} = F_{kT} \cdot k_b = 6 \cdot 1,5 = 9 \text{ MN} \quad (3.17)$$

kde: F_{kC} – celková potřebná kovací síla pro volbu lisu [MN],

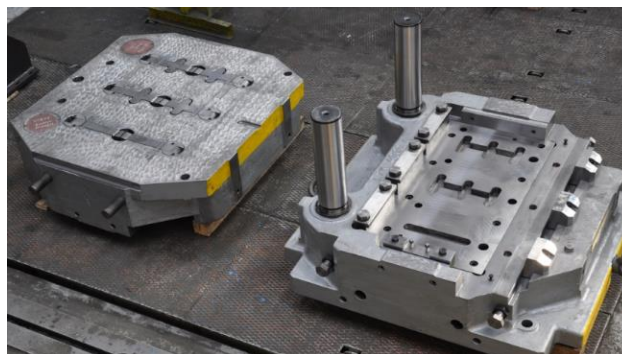
k_b – koeficient bezpečnosti [-]; zvoleno z rozmezí 1,3 až 1,8 z důvodu zajištění spolehlivosti provozu na hodnotu 1,5.

Zvoleným lisem pro výrobu výkovku je mechanický klikový lis LZK 1000 P/SH od společnosti Šmeral Brno, a. s. (obr. 49). Jmenovitá tvářecí síla 10 MN splňuje požadavek potřebné kovací síly pro zaručení spolehlivosti procesu, vypočítané jako $F_{kC} = 9 \text{ MN}$. Lis má uzavřený stojan s vysokou tuhostí a dobrou přístupností do pracovních prostor a manipulaci s výkovky. Zařízení umožňuje upnutí kulatých i hranatých vložek do zápustkových držáků, které jsou stavitelné za použití výstředníků. Veškeré technické specifikace jsou uvedeny v tabulce v příloze č. 7.



Obr. 49 Lis LZK 1000 P/SH [29].

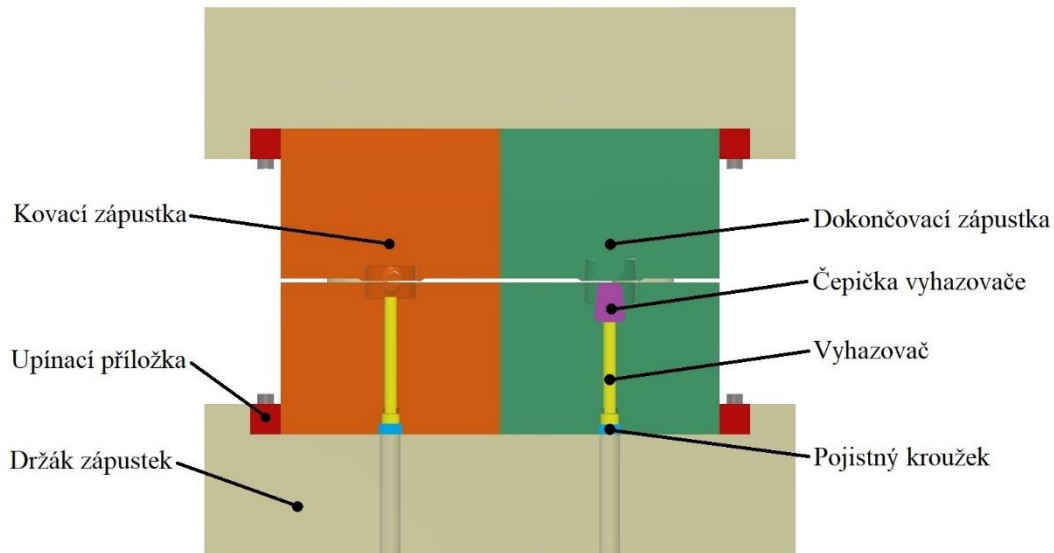
Beran lisu je možné vyvažovat a korigovat, ale pro vybrané provedení je možné pouze ruční nastavování. Výrobce dodává ke stroji rozsáhlý sortiment příslušenství, jako jsou například různé druhy vyhazovačů a držáků zápustek s možností upnutí až tří kovacích zápustkových bloků (obr. 50). Lis je vhodný pro zápustkové kování za tepla a hojně používaný při výrobě součástí v automobilovém průmyslu. Je také plně kompatibilní s robotickými manipulátory a dalšími možnostmi automatizace, kterými lze zvýšit produktivitu většího počtu kusů, což je pro zadanou výrobní sérii 120 000 kusů ideální.



Obr. 50 Držák zápustek QLZK 1000 [29].

3.5 Konstrukce zápustky

Díky zvolenému lisu je možné navrhnout nástroj, který tvoří horní a spodní zápustkový blok. Proces zpracování výchozího polotovaru bude rozdělen do tří operací, předkování, kování a dokončování. Vzhledem k rozměrům výkovku dvojkusů, kdy se jedná o dlouhý výrobek s malým průřezem, lze zavrhnout kulatou formu nástroje, protože by ustavení kovací dutiny zaplnilo minimální část její celkové plochy. Jsou tedy uvažovány bloky obdélníkového tvaru upnuté v držáku dodávaném spolu s kovacím lisem, zobrazeny v řezu (obr. 51).



Obr. 51 Umístění zápustkových bloků v držáku.

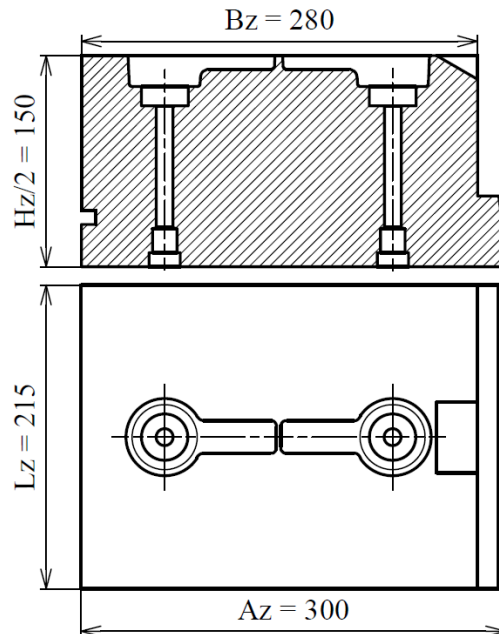
Samotný proces kování bude probíhat ve dvou typech zápustkových bloků, kovací a dokončovací. Liší se primárně dutinou, která nejvíce ovlivňuje tvar výkovku a kvalitu jeho povrchu. V rámci práce bude navržena pouze dokončovací zápustka, označena na obrázku zelenou barvou (obr. 51), u které je potřeba navrhnout následující parametry:

- Smrštění – pro zajištění zachování zadaných rozměrů výkovku po ochlazení z kovacích teplot. Běžně se pohybuje u nízkouhlíkových ocelí okolo 1,2 %, ale vzhledem k podlouhlému tvaru výkovku bude podle normy ČSN 22 8306 zvětšen přídavek ještě o 50 % a zvolená hodnota tak bude činit 1,7 %.
- Teplý výkovek – se zvětšenými rozměry navrženého výrobku o zvolený přídavek na smrštění na všech jeho plochách. Hodnoty jsou zakótovány na výkrese teplého výkovku, který je součástí výkresové dokumentace 2025-BP-248546-03.
- Dutina – vychází z teplého výkovku a je jeho negativem. Zvětšeny jsou oproti návrhu výkovku všechny rozměry přes 10 mm. Drsnost povrchu odpovídá Ra 0,8 μm . Dále budou určeny mezní úchytky dle normy ČSN 22 8306. Hodnoty z tabulky jsou předepsány pro mezní úchytky vnějších a vnitřních rozměrů dutiny.
- Materiál zápustky – zvolena konstrukční legovaná nástrojová chrom-nikl-molybdenová ocel 19 554 (tab. 9), vzhledem k jednoduchosti dutiny a velké výrobní sérii.
- Rozměry zápustky – jsou v závislosti na velikosti nominální síly lisu stanoveny pomocí tabulkových hodnot pro dokončovací kovací zápustky (tab. 20).

Tab. 20 Rozměry dokončovací kovací vložky pro klikové lisy [1].

Síla lisu [MN]	A_z [mm]	B_z [mm]	H_z [mm]	L_z [mm]
10	220	200	230	110
	265	250	240	190
	300	280	300	215

Jelikož je výroba navržena na kování dvojkusů, bylo nutné vybrat největší rozměry délky zápusťkového bloku Az a Bz. Všechny jsou zobrazeny na schématu (obr. 52).



Obr. 52 Rozměry spodního dílu zápusťky.

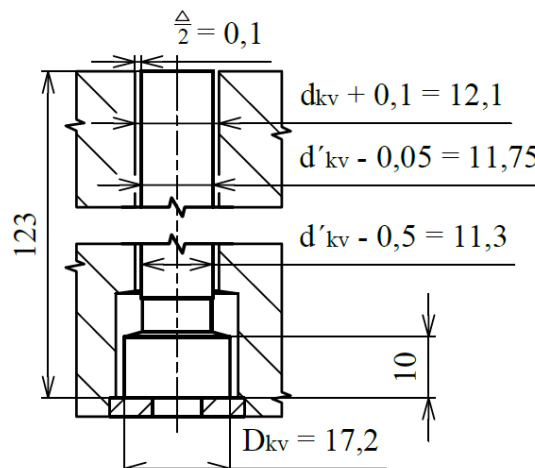
Minimální vzdálenost dutiny od okraje zápusťky je určena pomocí nomogramu, která je rovna tloušťce okraje nekruhové zápusťky S v příloze č. 8. Úhel plochy uchycení byl stanoven jako $\alpha = 7^\circ$, nejnižší z rozmezí kvůli zaručení zajištění zápusťky. Odečtená velikost odpovídá hodnotě $S = 34$ mm. Součástí bloku je také výřez pro kleště.

- Upínání – řešeno zajištěním dvou zápusťkových bloků pomocí příložek upevněných šrouby do mechanického držáku QLZK 1000 2P, jejichž odmontováním lze jednoduše zápusťku vytáhnout pro případnou výměnu nebo opravu (obr. 56).
- Vyhazovače – byly zvoleny kolíkové, které jsou vhodné z hlediska menších dosažitelných průměrů pro drobnější výkovek čepu (obr. 53). Každý blok má umístěny dva v místě pro blánu. Jsou snadno vyměnitelné a levné. Rozměry kolíkového vyhazovače jsou stanoveny výpočty z tabulkových hodnot následovně v příloze 12:

$$d'_{kv} = d_{kv} - \Delta = 12 - 0,2 = 11,8 \text{ mm} \quad (3.18)$$

kde: d'_{kv} – průměr hlavy vyhazovacího kolíku [mm],

d_{kv} – průměr otvoru pro vyhazovací kolík; vzhledem k volbě místa pro vyhození v prostoru blány zvolen nejmenší průměr 12 mm.



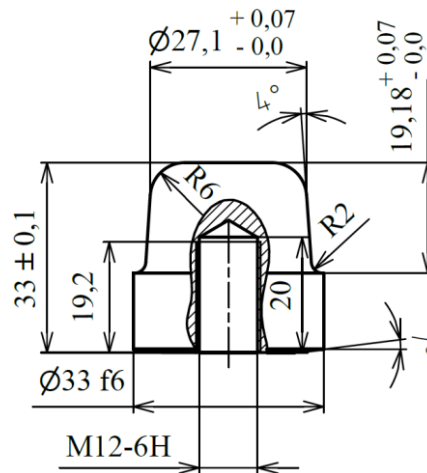
Obr. 53 Rozměry kolíkového vyhazovače.

Průměr hlavy kolíkového vyhazovače D_{kv} bude stanoven pomocí výpočtu:

$$D_{kv} = \sqrt{2 \cdot d_{kv}^2 + d_v} = \sqrt{2 \cdot 12^2 + 8} = 17,2 \text{ mm}, \quad (3.19)$$

kde: d_v – průměr otvoru pro vyrážecí kolík lisu [mm]; zvolen jako velikost dodávaných vyhazovacích tyčí, které jsou součástí příslušenství zvoleného lisu jako 8 mm.

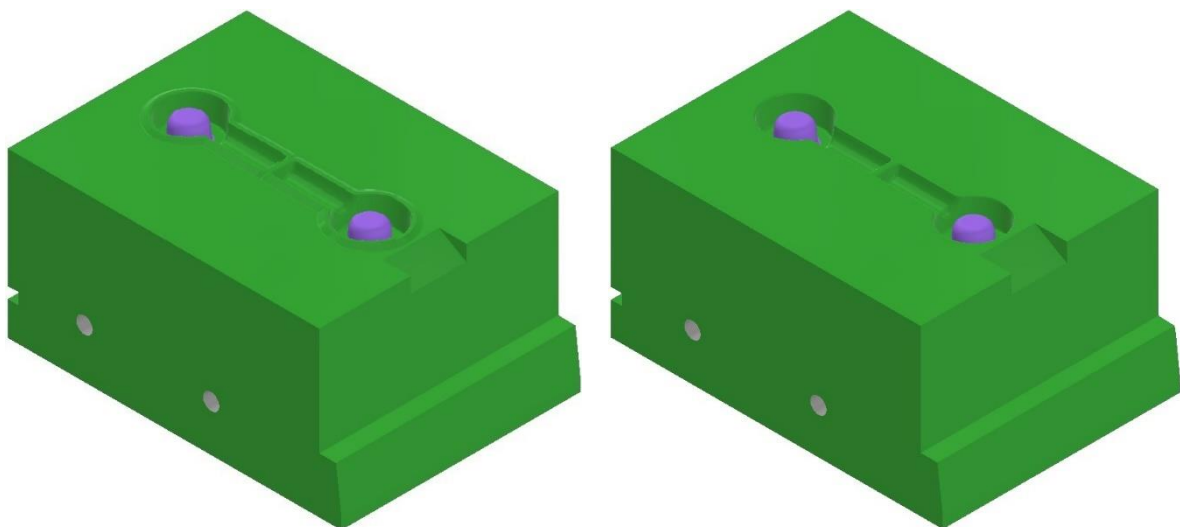
Se zahrnutím problematiky vysokého opotřebení dutiny zápustky, především v místě zahloubení s umístěnou blanou bylo shledáno zvolit vložku neboli “čepičku“ vyhazovače, která bude našroubována na kolíkový vyhazovač závitem M12-6H. Zabrání se tak lokálnímu přehřívání, tření a deformaci samotného bloku zápustky, kdy bude možné v případě nutnosti jednoduše vyměnit a prodloužit tak životnost zápustky. Tvarově odpovídá geometrii dutiny dle normy ČSN 22 8306, do které je usazena s vůlí přesně tolerovaným rozměrem průměru $\text{Ø}33 \text{ H7/f6}$ (obr. 54).



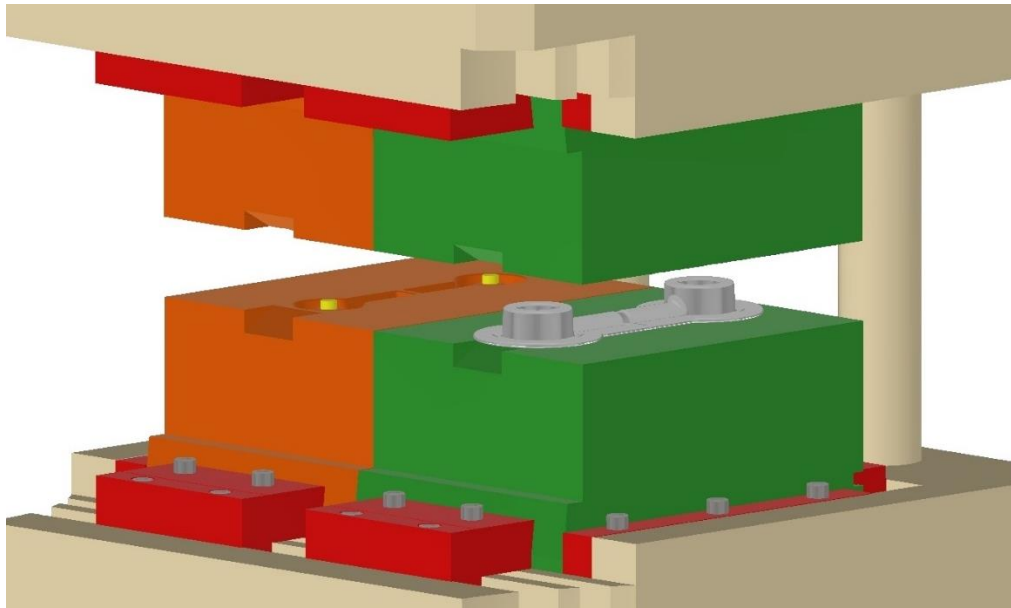
Obr. 54 Vyhazovací vložka.

- Předehřev – nastaven pro kovací nástroj na stálou udržovanou teplotu 250 °C , za účelem rovnoměrného rozezhřátí kovací dutiny. Tím zajištěna plynulost tečení tvářeného materiálu a přesnost požadovaných vlastností výkovku.

Detail horní a spodní dutiny dokončovací zápustky (obr. 55) je zobrazen na rozloženém modelu a jejich rozměry jsou podrobně okótovány v rámci výkresové dokumentace. Součástí dutiny je fialová čepička vyhazovače. Celá sestava, obsahující dvě zápustky upnuté příložkami, spolu s vyhazovači a výkovkem, je zobrazena na modelu otevřeného nástroje (obr. 56).



Obr. 55 Horní a spodní blok zápustky.

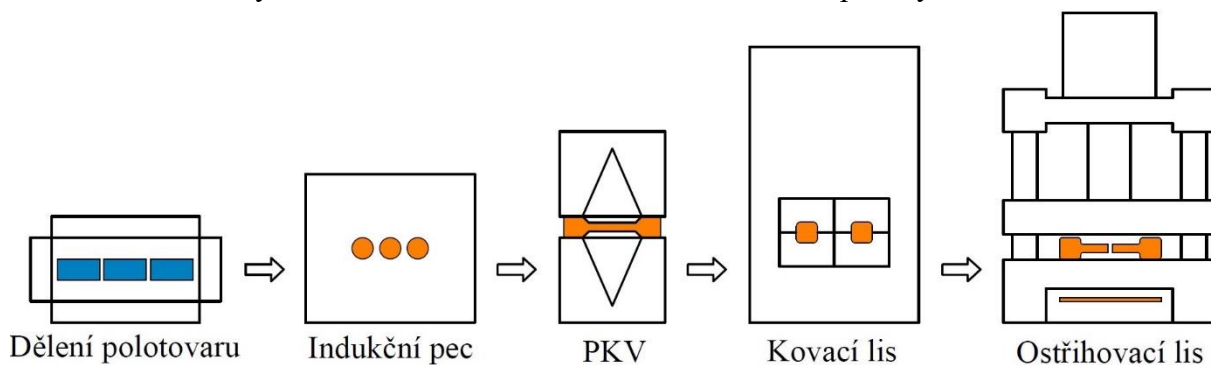


Obr. 56 Detail otevřené sestavy nástroje.

3.6 Kovací linka

Celý proces kování je sestaven do výrobní linky, která je rozdělena podle stádií výroby na několik sekcí (obr. 57). Technické údaje a dokumentace jednotlivých strojů jsou uvedeny v přílohách. Pro jednotlivé operace jsou seřazeny vzhledem k využití zařízení:

- Pila – určená k dělení dodaného polotovaru tyče kulatého průřezu $D_{pol} = 50$ mm na potřebnou výchozí délku $L_{pol2} = 109$ mm. Vhodným řezacím zařízením byla zvolena gravitační pásová pila Pegas Gonda 150x200 GHE-R uvedena v příloze č. 9.
- Indukční pec – zajišťující ohřev nad kovací teplotu 1100 °C, aby byla zaručena stálost kujnosti a vlastností materiálu, nutných v procesu kování.
- PKV – zvoleno jako nejideálnější způsob přípravy výchozího polotovaru do tvaru skutečného předkovku. Bude tak usnadněna výroba na kovacím lisu. Vybrán byl válcovací stroj ULS 70 RB od společnosti Šmeral Brno a. s. uveden v příloze č. 10.
- Kovací lis – zajišťující kovací a dokončovací operaci. Zvoleným strojem je mechanický klikový lis LZK 1000 P/SH. Jeho specifikace jsou k nalezení v příloze č. 7. Mazání zápustek bude realizováno vodní disperzí grafitu, která sníží nežádoucí tření, díky čemuž se zmenší opotřebení zápustek a zvětší jejich životnost. Aplikace maziva je prováděna pomocí automatizovaného tryskového systému.
- Ostříhovací lis – určený k ostříhnutí výronku a blány výkovku po procesu kování, který bude zároveň rozdělen odstraněním přechodového můstku na dva kusy. Ideálním zařízením byl shledán ostříhovací lis LKOA 200 v rámci přílohy č. 11.



Obr. 57 Schéma kovací linky.

ZÁVĚR

Úkolem práce bylo navrhnout výrobu čepu táhla řízení přední nápravy osobního automobilu. Vyhodnocením materiálů, běžně používaných pro výrobu součástí, byla zvolena nízkolegovaná chrom-molybdenová ocel 42CrMo4, která vyhovovala vzhledem k příznivým mechanickým vlastnostem. Stanovena byla výrobní série o velikosti 120 000 kusů.

Na základě zhodnocení vhodných variant řešení výroby byla zvolena technologie zápustkového kování na lisu, k níž byla provedena kontrola technologičnosti. Posuzovány byly parametry, jako je umístění dělicí roviny, technologické přídatky a symetrie výrobku, které byly splněny. Z výkresu zadané součásti byl zvětšením o přídatky na obrábění, úkosy, zaoblení a blánu sestaven výkovek. Pomocí průřezového obrazce byl navržen tvar ideálního předkovku, který byl po přehodnocení výroby ve dvojkusu upraven do skutečného předkovku. Výchozím polotovarem byl zvolen přířez z válcované tyče za tepla o délce 109 mm a průměru 50 mm od dodavatele Feron a.s. Předkování vhodného tvaru pro proces kování bude technologií PKV.

Byla vypočtena kovací síla podle tří autorů, ze kterých byla zvolena nejbližší realitě nejvyšší výsledná hodnota podle Tomlenova, díky které byl vybrán odpovídající mechanický klikový lis LZK 1000 P/SH od firmy Šmeral Brno a. s. s nominální silou 10 MN, do kterého bude upnut držák zápustek QLZK 1000 2P se dvěma polohami.

Konstrukce nástroje byla zvolena v odpovídajícím obdélníkovém tvaru bloků, vzhledem k dlouhé geometrii dvojkusu. Navržena byla dokončovací zápustka, vyrobena z nástrojové oceli 19 554, pro poslední kovací operaci, pro níž byla vytvořena výkresová dokumentace.

Posledním krokem bylo seřazení jednotlivých operací do vytvořené kovací linky, která byla vzhledem k návaznosti procesů sestavena na řezání polotovaru, ohřev, předkování, samotné kování a následné ostřížení. Celou výrobu bude možné automatizovat formou robotizovaných pracovišť a podavačů. Výkovky po vykování jsou skladovány v ocelových bednách, kde dochází k jejich ochlazení.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. HAŠEK, Vladimír. *Kování*. Praha: SNTL, 1965, 730 s.
 2. ČADA, Radek. *Technologie I*. Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1507-7.
 3. FABÍK, Richard. *Tváření kovů*. Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2572-4.
 4. ČADA, Radek; MICHÁLEK, Jakub a FRODLOVÁ, Barbora. *Technologie tváření a slévání*. Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2718-6.
 5. *Ozubená kola*. Online. In: AGSdrive. 2018. Dostupné z: <https://agsdrive.com>. [cit. 2025-05-23].
 6. *Kliková hřídel*. Online. In: AUTODOC CLUB. 2019. Dostupné z: <https://club.autodoc.cz/magazin/co-je-klikovy-hridel-funkce-problemy>. [cit. 2025-05-23].
 7. *Čep řízení*. Online. In: AutoGuru. 2019. Dostupné z: <https://www.autoguru.com.au/repairs/tie-rod-end-replacement>. [cit. 2025-05-23].
 8. *Automobil Škoda*. Online. In: Škoda Auto Česká Republika. 1996. Dostupné z: <https://www.skoda-auto.cz>. [cit. 2025-05-23].
 9. FERONA A.S. *Ferona*. Online. 1995. Dostupné z: <https://online.ferona.cz>. [cit. 2025-05-23].
 10. BALZANO. Balzano. Online. 2011. Dostupné z: <https://bolzano.cz>. [cit. 2025-05-23].
 11. *Odlévání*. Online. In: Dawang Metals. 2024. Dostupné z: <https://dawangmetals.com/resources/what-is-casting>. [cit. 2025-05-23].
 12. *Obrábění*. Online. In: Czech Technology. 2016. Dostupné z: <https://czechtechnology.cz/strojirenstvi/triskove-obrabeni-vyuziti-a-teorie-triskoveho-obrabeni/>. [cit. 2025-05-23].
 13. *Zápusťkové kování*. Online. In: Medin. 2015. Dostupné z: <https://www.medin.cz/zapustkove-a-volne-kovani>. [cit. 2025-05-23].
 14. 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.
 15. DVOŘÁK, Milan a CÍSAŘOVÁ, Michaela. *Technologie tváření*. Brno, 2021.
 16. PRIMUS, František. *Teorie objemového tváření*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.
 17. 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.
 18. *Forging and Extrusion Processes*. Online. In: Ashremwand. 2019. Dostupné z: https://asremavad.com/wp-content/uploads/2019/08/Forging-and-Extrusion-Processes_www.asremavad.com_.pdf. [cit. 2025-05-23].
 19. *Katedra tváření plastů a kovů*. Liberec, 2021. Online. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm[cit. 2025-05-23].
 20. ČSN 22 9030. *Výkivky ocelové zápusťky: přídatky na obrábění*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1986, 23 s.
 21. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkivků dle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1968, 35 s.
 22. 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.
 23. ČSN 22 8306. *Zápusťky pro svíslé kovací stroje: Technické požadavky na konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1990, 39 s.
-

24. *Vřetenový kovací lis*. Online. In: Exapro. 2015. Dostupné z: https://www.exapro.cz/dellavia-san-remo-vss-900-tn-p240612055/?_gl=1*_1sih75*_up*MQ..*_ga*MjAzNjUyMzkzOS4xNzQzNDMzODcy*_ga_51MJQYV2WD*MTc0MzQzMzg3MC4xLjAuMTc0MzQzMzg3MC4wLjAuMA... [cit. 2025-05-23].
 25. TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH. *Lisy*: Študijný materiál [online]. Dostupné z: http://www.sjf.tuke.sk/kvtar/1/files/09_Lisy.pdf [cit. 2012-04-23].
 26. *Hydraulický kovací lis*. Online. In: Dabrox. 2019. Dostupné z: <https://dabrox.com/hydraulic-open-die-forging-press-pa1343/>. [cit. 2025-05-23].
 27. *Kliková kovací lis*. Online. In: Exapro. Dostupné z: https://www.exapro.cz/kramatorsk-k8548-p210312055/?_gl=1*_19xb4v6*_up*MQ..*_ga*NzE3MjYwMTE5LjE3NDM0MzQ5NjU.*_ga_51MJQYV2WD*MTc0MzQzNDk2NS4xLjAuMTc0MzQzNDk2NS4wLjAuMA... [cit. 2025-05-23].
 28. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
 29. ŠMERAL A. S. *Šmeral*. Online. 1997. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/>. [cit. 2025-05-23].
 30. PEGAS. *Pegas Gonda*. Online. 2018. Dostupné z: <https://www.pilygonda.cz/>. [cit. 2025-05-23].
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
T	teplota rekrytalizace	[°C]
T _{tav}	teplota tavení materiálu	[°C]
s	tloušťka blány	[mm]
d	průměr otvoru	[mm]
H _{Nv}	největší výška výkovku	[mm]
h _i	výška hrany	[mm]
f	vzdálenost od hrany	[mm]
B _{Nv}	největší šířka výkovku	[mm]
D	průměr	[mm]
L _{Nv}	největší délka výkovku	[mm]
r	zaoblení hrany	[mm]
R	zaoblení přechodu	[mm]
h	výška můstku	[mm]
α	součinitel výšky můstku	[-]
S _v	plocha výkovku v dělicí rovině	[mm ²]
S _{Rvýř}	plocha dílčích řezů s oboustranným výronkem	[mm ²]
S _Ř	plocha dílčích příčných řezů	[mm ²]
S _{výř}	plocha výronku	[mm ²]
S _{Rvo}	plochy dílčích řezů s výronkem a opalem	[mm ²]
V _{pol}	objem výchozího rozměru polotovaru	[mm ³]
m	měřítka	[mm]
D _{pol}	průměr výchozího polotovaru	[mm]
L _{pol}	délka výchozího polotovaru	[mm]
F _{kT}	velikost podle autora Tomlena	[N]
F _N	velikost normální síly	[N]
F _T	velikost tečné síly	[N]
S'	povrch bočních ploch výkovku v pohybující se zápustce	[mm ²]
F _{kS}	velikost síly podle autora Stroževa	[N]
R _{mT}	pevnost oceli za kovací teploty	[MPa]
b	šířka můstku výronku	[mm]
S _{VR}	ploch můstku výronku	[mm ²]
a	největší rozměr výkovku kolmo k rázu	[mm]
D _R	redukovaný průměr	[mm]
F _{kB}	velikost síly podle Brjuchanova	[N]
σ _p	přirozený přetvárný odpor	[MPa]
x _{BL}	střední hodnota šířky a délky součásti	[mm]
H	výška součásti	[mm]
P _{hf}	poměr výšky a vzdálenosti	[-]
H _{MV}	nejmenší výška výkovku	[mm]
y _{BL}	střední hodnota šířky a délky výkovku	[mm]
p	dovolené přesazení výkovku	[mm]
g	dovolené sestřížení a ořep výkovku	[mm]
m ₀	hmotnost výkovku	[kg]
u	koeficient šířky můstku	[-]
r	zaoblení přechodu můstku	[mm]
H _D	hloubka spodní dutiny zápustky	[mm]

Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
n	hloubka zásobníku	[mm]
$S_{výrAI}$	zcela vyplněná plocha výronku	[mm ²]
m_s	měřítka plochy průřezu	[mm]
L_{pol2}	délka výchozího polotovaru dvojkusu	[mm]
l_m	délka přechodového můstku	[mm]
S_{VR2}	plocha můstku výronku výkovku dvojkusu	[mm ²]
L_{Nv2}	největší délka výkovku dvojkusu	[mm]
S_{V2}	plocha výkovku dvojkusu	[mm ²]
μ	koeficient tření	[-]
σ_p	deformační odpor s vlivem poklesu teploty	[MPa]
C_0	součinitel plasticity	[-]
σ	deformační odpor	[MPa]
b_i	šířka úseku	[mm]
S	plocha deformačního odporu	[MPa · mm]
L	vzdálenost průřezů	[mm]
F_{kC}	celková potřebná kovací síla pro volbu lisu	[N]
k_b	koeficient bezpečnosti	[-]
AZ	délka zápustkového bloku	[mm]
BZ	délka lóže dutiny zápustkového bloku	[mm]
HZ	výška zápustkového bloku	[mm]
LZ	šířka zápustkového bloku	[mm]
d'_{kv}	průměr hlavy vyhazovacího kolíku	[mm]
d_{kv}	průměr otvoru pro vyhazovací kolík	[mm]
D_{kv}	průměr hlavy kolíkového vyhazovače	[mm]
d_v	průměr otvoru pro vyrážecí kolík lisu	[mm]

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list chrom-molybdenové oceli 42CrMo4
- Příloha 2 Stupeň přesnosti výkovku
- Příloha 3 Nomogram pro určení výšky můstku
- Příloha 4 Rozměry výronkových drážek
- Příloha 5 Plocha zcela vyplněné výronkové drážky
- Příloha 6 Plocha pod křivkou průřezového obrazce
- Příloha 7 Technická data kovacího lisu LZK 1000 P/SH
- Příloha 8 Nomogram pro určení tloušťky stěny vložky
- Příloha 9 Parametry pily Pegas
- Příloha 10 Parametry PKV
- Příloha 11 Parametry ostříhovacího lisu
- Příloha 12 Rozměry kolíku

SEZNAM VÝKRESŮ

Název výkresu	označení výkresu
Čep táhla řízení	2025-BP-248546-01
Výkovek čepu	2025-BP-248546-02
Teplý výkovek	2025-BP-248546-03
Dokončovací nástroj	2025-BP-248546-Z01
Spodní zápustka	2025-BP-248546-Z02
Horní zápustka	2025-BP-248546-Z03
Kusovník nástroje	2025-BP-248546-K01

Materiálový list chrom-molybdenové oceli 42CrMo4 [10]

Přehled vlastností oceli 42CrMo4 (42CrMoS4)		1.7225 (1.7227)															
Druh oceli	Nízkolegovaná ušlechtilá chrom - molybdenová ocel k zušlechťování																
TDP	ČSN EN 10083-3: 2007																
Dřívější označení	42CrMo4 (42CrMoS4) podle ČSN EN 10083-1: 1991+A1: 1996; 42CrMo4 (42CrMoS4) podle DIN 17200. 15 142 podle ČSN																
Použití	Ocel s vyšší prokalitelností pro výše namáhané strojní díly. Po zakalení dosahuje tvrdosti přibližně 58 HRC. Do průměru 100 mm lze po zušlechťení docílit pevnosti nad 1000 MPa při ještě dostatečné houževnatosti. Není náchylná k popouštění křehkosti. Kalí se do méně razantního kalicího prostředí, poněvadž je náchylná ke vzniku kalicích trhlin v místech s vrubovým účinkem nebo povrchových vad. V kaleném stavu dobře odolává opotřebení. Patří k nejčastěji používané oceli k zušlechťování.																
Chemické složení v hmot. % (rozbor tavby)	C	Si max.	Mn	P max.	S max. ¹⁾	Cr	Mo	Ni	V								
	0,38 – 0,45	max. 0,40	0,60 – 0,90	max. 0,025	max. 0,035	0,90 – 1,20	0,15 – 0,30	-	-								
Složení hotového výrobku ²⁾	0,36 – 0,47	max. 0,43	0,56 – 0,94	max. 0,030	max. 0,040	0,85 – 1,25	0,12 – 0,33	-	-								
Mechanické vlastnosti v zušlechťeném stavu. ³⁾	Průměr mm		R _e min. MPa		R _m MPa		A min. %		Z min. %	KV min. J							
	d ≤ 16		900		1100 - 1300		10		40	-							
	16 < d ≤ 40		750		1000 - 1200		11		45	35							
	40 < d ≤ 100		650		900 - 1100		12		50	35							
	100 < d ≤ 160		550		800 - 950		13		50	35							
160 < d ≤ 250		500		750 - 900		14		55	35								
Maximální hodnoty tvrdosti pro stav :	Zpracováno na stříhatelnost			Žhánáno na měkko			Povrchově kaleno (tvrdost povrchu)										
	HB max. 255			HB max. 241			HRC min. 53										
Prokalitelnost ⁴⁾	Vzdálenost od plochy kaleného čela zkušební tělesa v mm																
	Tvrdost v HRC																
	⁵⁾ Mez	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50	
	+H	max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
		min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29
	+HH	max.	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
min.		56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36	36	35	34	
+HL	max.	58	58	58	57	56	54	53	51	49	46	44	42	41	40	40	
	min.	53	53	52	51	49	43	40	37	34	32	31	30	30	29	29	

Popouštěcí křivka (referenční vzorek průměr 30 mm)

Křivky prokalitelnosti

Technologické vlastnosti							
Tváření za tepla	Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla : 1100 až 850 °C						
Teplotní zpracování	Normalizační žhánání °C	Žhánání na měkko °C	Isotermické žhánání °C	Teplota kalení °C	Kalicí prostředí	Teplota popouštění °C	Zkouška kalením čela °C
	850 až 880	680 až 720	800 až 900 670 - 3 hod.	820 až 860	olej nebo voda	540 až 680	850 ± 5
	Uvedené podmínky jsou doporučené s výjimkou zkoušky kalením čela (zkouška prokal.). Jako kalicí prostředí se s ohledem na náchylnost ke kalicím trhlinám doporučují syntetické polymery a olej. K docílení rovnoměrných hodnot po zušlechťení u větších průměrů (zejména kovaných) přispívá normalizační žhánání před zušlechťením. Body přeměny : A _{c1} = 745 °C, A _{c3} = 790 °C, M _s = 300 °C						
Obrobitelnost	Obrábí se ve stavu žhánaném na měkko. Při nižších pevnostech lze obrábět i ve stavu zušlechťeném. Zlepšenou obrobitelnost vykazuje ocel 42CrMoS4 se zvýšeným obsahem S. Díly, které se zušlechťují na vyšší pevnost se nejprve předhrubují ve stavu žhánaném a dokončí po zušlechťení.						
Stříhatelnost	Pro docílení tvrdosti vhodné pro stříhání se ocel žháná nebo řízeně vychlazuje.						

¹⁾ obsah síry u oceli 42CrMoS4 je 0,020 až 0,040 % s dovolenou odchylkou v hotovém výrobku ± 0,005 %.

²⁾ u jedné tavby smí být překročena horní nebo spodní hranice rozmezí, ale nikoliv obě současně.

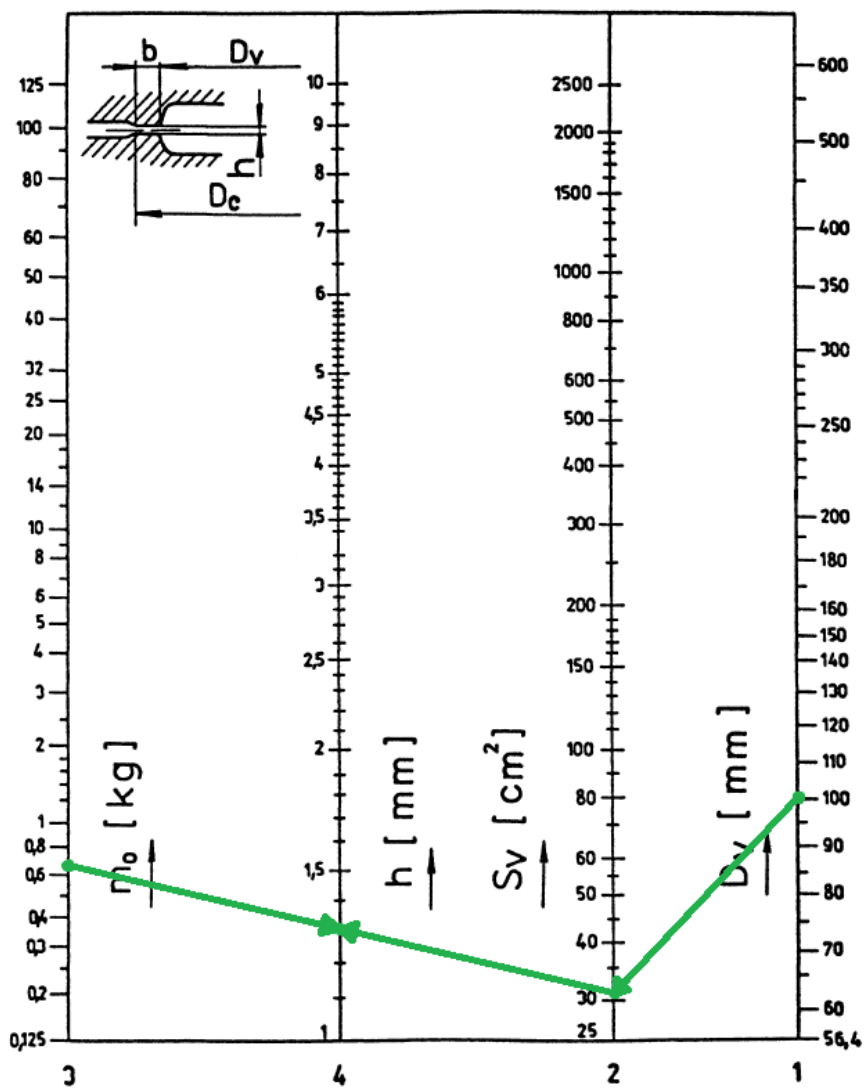
³⁾ uvedené hodnoty musí být dosažitelné po odpovídajícím teplotním zpracování (zušlechťení) též u oceli dodávané ve stavu po válcování nebo ve stavu měkce žhánaném. Prokazují se na referenčním vzorku odpovídajícího průměru. Zkušební tělesa pro stanovení mechanických hodnot musí být odebrána v souladu s předpisem normy TDP.
R_e – mez kluzu, R_m – pevnost v tahu, A – tažnost (počáteční délka L₀ = 5,65√S₀), Z – kontrakce, KV – nárazová práce, zkušební těleso ISO s V-vrubem (průměr ze tří naměřených hodnot, z nichž žádná nesmí být menší než 70% minimální střední hodnoty).

⁴⁾ pro ocel objednanou bez požadavků na prokalitelnost jsou hodnoty prokalitelnosti pouze informativní.

⁵⁾ +H – normální hodnoty pro celý pás prokalitelnosti, +HH – zúžený pás prokalitelnosti směrem k horní hranici, +HL – zúžený pás prokalitelnosti směrem ke spodní hranici.

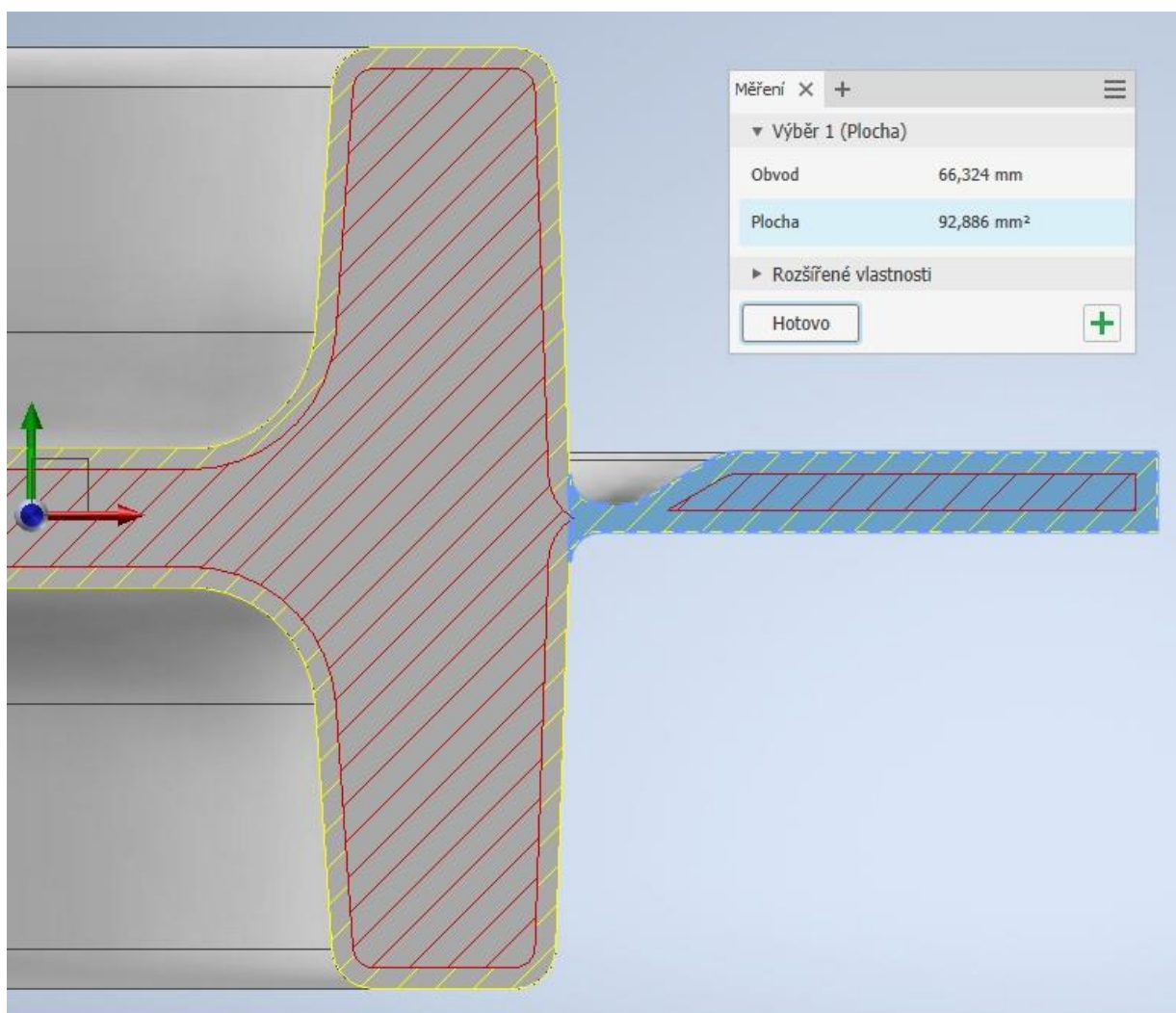
Stupeň přesnosti výkovku [20]

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskup.	Tech. hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
4; 6; 7	1 až 9	1; 5	1 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		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	1 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		1 až 9	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2			6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	1 až 9	1; 2; 3; 4	6		6	5	5	4	4	
9; 0	1 až 9	5;6;7;8	7		7	6	6	5	5	

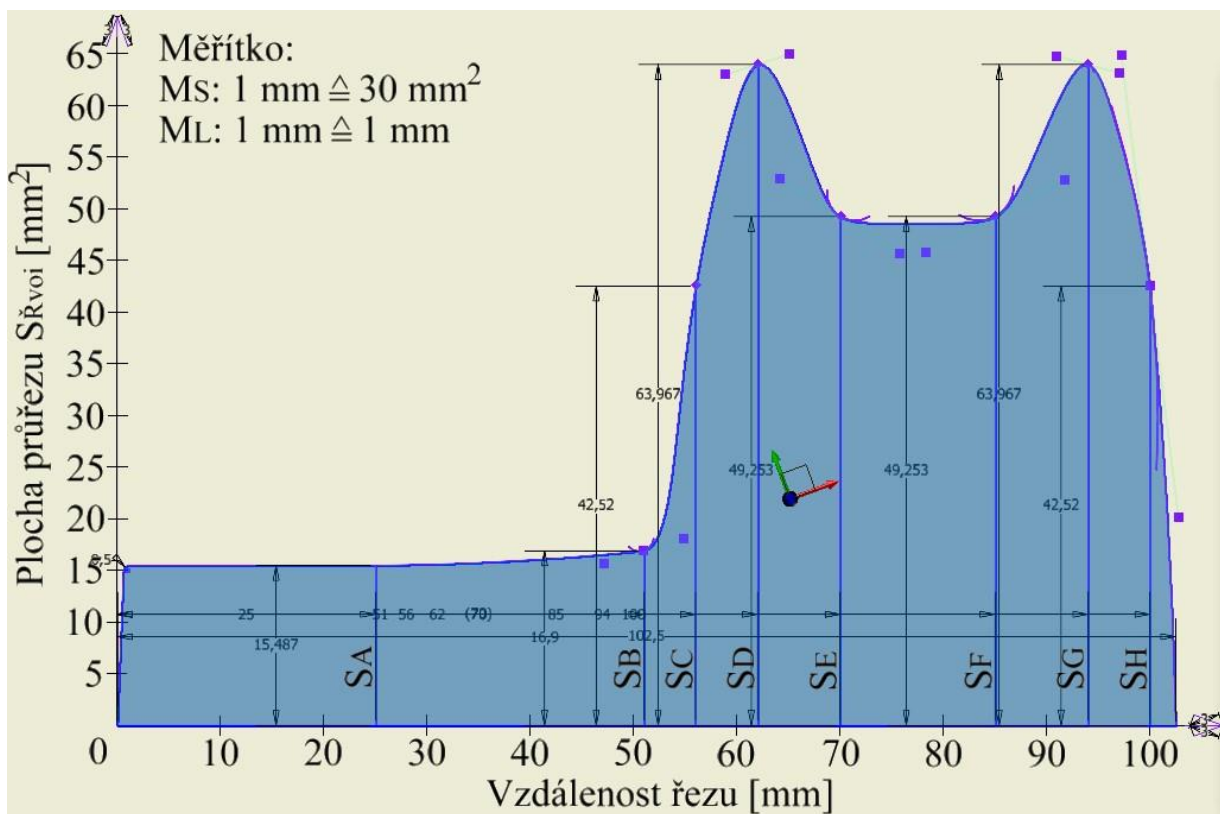


Rozměry výronkových drážek v mm [23]

Výška můstku h	Šířka můstku b	Šířka zásobníku b_z	Přechod můstku r
1 až 1,5	3 až 5	25	1 až 1,5
1 až 2	3 až 7	25	
1,5 až 2,5	4 až 7,5	30	
2 až 3	5 až 8	32	1,5 až 2,5
2,5 až 4	6 až 10	38	
2,5 až 4,5	6 až 11	40	2 až 3



Placha pod křivkou průřezového obrazce



Vlastnosti oblasti

Výběr
 Smyčka náčrtu1
 Klikněte pro přidání

Dvojitá jednotky
 Žádné

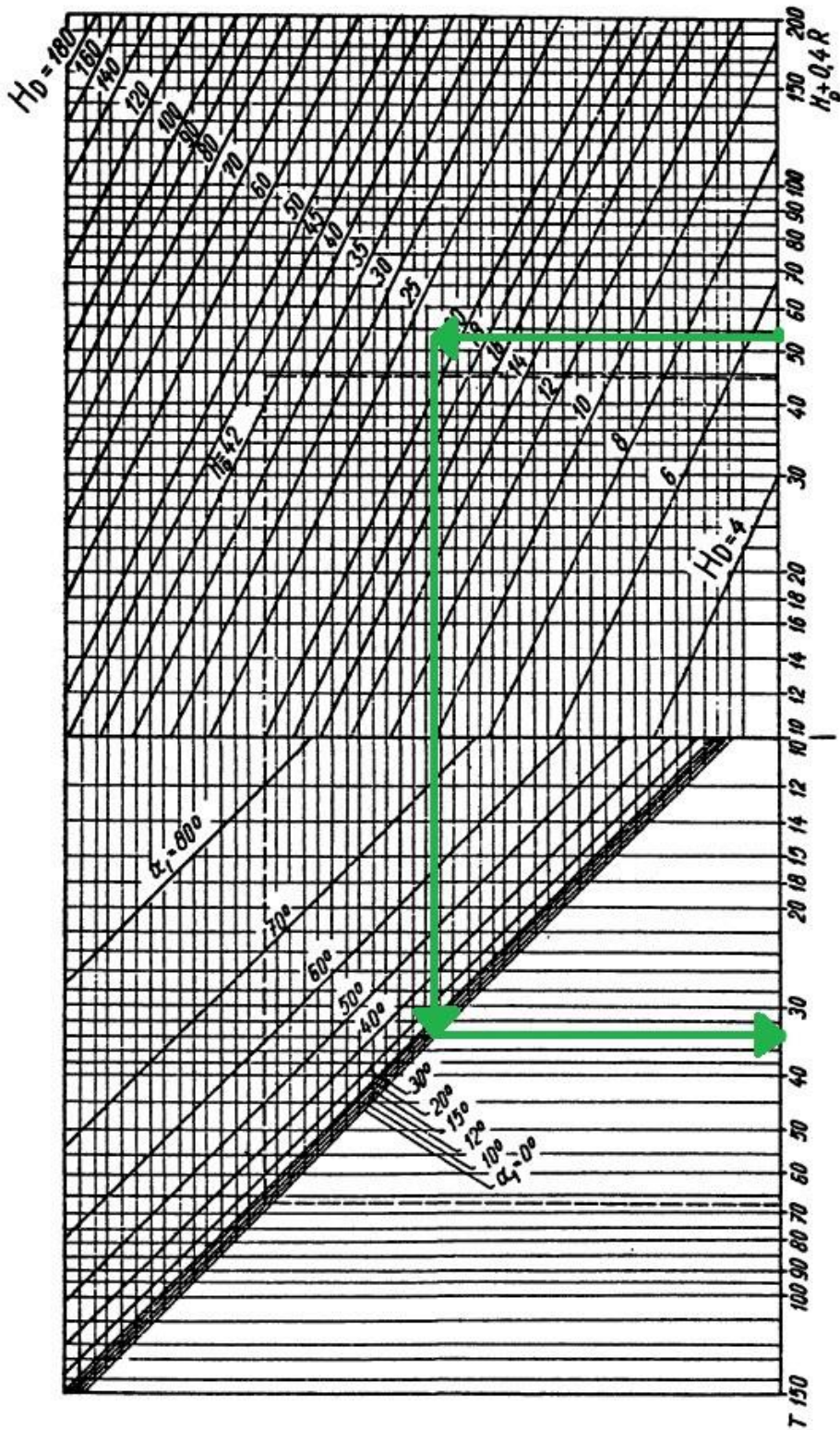
Vypočítat

Plocha = 3360,503 mm²
 Obvod = 332,517 mm

Technická data kovacího lisu LZK 1000 P/SH [29]

Parametry lisu	Jednotky	LZK 1000 P/SH
Jmenovitá tvářecí síla	kN	10 000
Sevření	mm	620
Průchod	mm	1040
Upínací plocha stolu	mm	1000 x 950
Upínací plocha beranu	mm	968 x 750
Hydraulické přestavení beranu	mm	10
Zdvih/počet zdvihů	mm/min-1	220
Instalovaný výkon	kW	55
Rozměry stroje (délka; šířka; výška)	m	2,0; 2,6; 4,6
Přestavování beranu	-	ruční
Uvolňování beranu	-	ručním hydraulickým čerpadlem a hydraulickým pístem

Nomogram pro určení tloušťky stěny vložky [9]



Příloha 9 Parametry pily Pegas [30]

1/1

Řezné parametry				
	D [mm]	150	110	x
	D [mm]	100*	70*	x
	a x b [mm]	170 x 140	110 x 120	170 x 75

*doporučená hodnota. Při překročení doporučeného maximální

Výkonnostní parametry		
Rozměr pilového pásu	mm	2060 x 20 x 0,9
Rychlost pásu	m/min	40 / 75
Pohon pilového pásu	kW	0,6 / 0,8
Čerpadlo chladicí emulze	kW	0,05
Celkový příkon Ps	kW	1,06
Napájení		3 x 400V, 50Hz, TN-S



Příloha 10 Parametry PKV [29]

1/1

		ULS 70 RB
Ø zpracovávaných polotovárů / Ø of processed semi-products	mm	40-70
Maximální délka polotovárů / Max. semi-product length	mm	300
Počet otáček pracovních válců / Working rollers r.p.m.	min ⁻¹	5-13
Ø pracovních válců / Ø of working rollers	mm	700
Šířka válců / Width of rollers	mm	700
Sevření mezi válci / Shut height between rollers	mm	120-180
Přestavení spodního válce / Lower roller adjustment	mm	+/-30
Max. krouticí moment na 1 válec / Max. torque of 1 roller	kNm	60
Výkon hlavního elektromotoru / Main motor output	kW	106



Příloha 11 Parametry ostříhovacího lisu [29]

1/1

TECHNICKÁ DATA

		LKOA 200
Tvářecí síla	kN	2000
Sevření	mm	585
Průchod	mm	1420
Upínací plocha stolu	mm	1415x1000
Upínací plocha beranu	mm	1200x800
Přestavování beranu	mm	100
Zdvih/Počet zdvihů	mm/min-1	210/55
Celkový instalovaný výkon	kW	18
Rozměry stroje v*š*h	m	4,1*2,3*2,2



Rozměry kolíku [23]

Jmenovitý průměr d_k	Vůle vedení	h_k
12	0,2	10
14		
16		