



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY REVOLVEROVÉHO
KOHOUTU**

A CONCEPT OF A REVOLVER HAMMER MANUFACTURING PROCESS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Talanda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Petra Sliwková, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Jakub Talanda**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Petra Sliwková, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

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

Návrh technologie výroby revolverového kohoutu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analyzovat a navrhnout výrobní postup revolverového kohoutu. Posoudit stávající postup používaný u výrobce. Vyhodnotit možnosti alternativních, nekonvenčních postupů při výrobě.

Cíle diplomové práce:

Rešerše revolverového kohoutu a jeho funkce v kontextu celého mechanismu zbraně.

Návrh materiálu.

Návrh technologie výroby a výrobního postupu.

Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FIŠER, Miloslav a Lubomír POPELÍNSKÝ. Small arms. Ed. 1st. Brno: University of Defence, 2007. ISBN 978-80-7231-475-1.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-8-254-2250-2.

PÍŠKA, Miroslav a kol. Speciální technologie obrábění. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

POPELÍNSKÝ, Lubomír. Small arms & artillery guns. Part II, Design of small arms mechanisms. První vydání. Brno: Univerzita obrany, 2011. ISBN 9788072317844.

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

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Cílem této práce je analyzovat zvolenou součást, kohout revolveru Alfa, a navrhnout postup pro její výrobu. Práce obsahuje krátkou konstrukční analýzu součásti, dále se zabývá výběrem vhodného materiálu a polotovaru, rozebírá jednotlivé navazující výrobní operace včetně vybavení potřebného k jejich realizaci a přináší stručné technicko-ekonomické zhodnocení. Práce dále doporučuje další postup pro realizaci výroby součásti.

KLÍČOVÁ SLOVA

výrobní postup, technologický proces, volba materiálu, ekonomické zhodnocení

ABSTRACT

The objective of this thesis is to propose a manufacturing procedure for the selected part, the Alfa revolver hammer. The paper begins with a short design summary of the part, considers available materials and bar stock, examines individual stages of the manufacturing process as well as required equipment and makes a simple economic calculation. It concludes with a series of steps recommended for further action towards full-scale production.

KEY WORDS

výrobní postup, technologický proces, volba materiálu, ekonomické zhodnocení

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TALANDA, Jakub. *Návrh technologie výroby revolverového kohoutu* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132774>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Petra Sliwková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh technologie výroby revolverového kohoutu** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

21.05.2021

Datum

Bc. Jakub Talanda

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji své vedoucí práce, Ing. Petře Sliwkové, PhD. za podporu a cenné připomínky při psaní této práce. Dále bych rád poděkoval společnosti ALFAPROJ, která mi dovolila osobně nahlédnout do svého výrobního procesu a dala mi mnoho zkušeností do mé budoucí strojírenské praxe.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	4
PODĚKOVÁNÍ	5
OBSAH	6
ÚVOD	8
1 FUNKCE REVOLVEROVÉHO KOHOUTU	9
1.1 Konstrukční analýza součásti.....	10
1.2 Konstrukční požadavky	11
2 PŘÍPRAVA VÝROBY	13
2.1 Volba polotovaru	13
2.2 Volba materiálu	20
3 VOLBA OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ A ŘEZNÝCH PODMÍNEK.....	27
3.1 Prvotní návrh postupu obrábění	27
3.2 Obráběné plochy	27
3.3 Volba a vlastnosti řezných nástrojů	28
3.4 Použití řezných kapalin	30
3.5 Řezné podmínky	30
4 DETAILNÍ POPIS VÝROBNÍHO POSTUPU	33
4.1 Operace 000 – Vstupní tepelné zpracování polotovaru.....	33
4.2 Operace 010 – Omílání	33
4.3 Operace 020 – příprava základen	34
4.4 Operace 030 – obrábění čelních ploch.....	36
4.5 Operace 040 – výroba děr.....	37
4.6 Operace 050 – obrábění bočních ploch	39
4.7 Operace 060 – Frézování ploch D1, D2, D3	40
4.8 Operace 061 – Frézování drážky táhla bicí pružiny	40
4.9 Operace 062 – Frézování hřbetu kohoutu.....	41
4.10 Operace 070 – Frézování dorazu klapky.....	41
4.11 Operace 071 – Vrtání díry A4.....	42
4.12 Operace 080 – Omílání	43
4.13 Operace 090 – Tepelné zpracování	43
4.14 Operace 100 – Dokončení tolerovaných děr	45
4.15 Operace 110 – Broušení	46
4.16 Operace 120 – Dokončení povrchu součásti.....	49
4.17 Operace 121 – Leštění.....	50
4.18 Operace 122 – Černění.....	50

4.19	Seznam operací a srovnání postupů pro různé polotovary	51
5	TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	52
5.1	Náklady na provoz výrobních zařízení	52
5.2	Náklady na výrobu polotovaru	53
5.3	Materiálové náklady	54
5.4	Náklady na obrábění	55
6	ZHODNOCENÍ POSTUPU	61
6.1	Technologičnost konstrukce	61
6.2	Zvolené technologie výroby	61
6.3	Zhodnocení postupu výroby	61
6.4	Návrh dalšího postupu pro realizaci výroby	63
	ZÁVĚR	64
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	65
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	69
	SEZNAM PŘÍLOH	71

ÚVOD

Společnost ALFAPROJ s. r. o. je český výrobce zbraní se sídlem v Brně. Společnost se zabývá zejména výrobou krátkých palných zbraní, pistolí a revolverů, nicméně v portfoliu jejích výrobků se nacházejí i expanzní a plynové zbraně nebo policejní pouta. S výrobní kapacitou 20 000 ks zbraní ročně se jedná o druhou největší zbrojovku v České republice [1].

Klíčový podíl výrobního programu společnosti tvoří revolyery řady ALFA. Tato práce se zaměřuje na proces výroby jedné z klíčových součástí této řady zbraní, a sice kohout (Obr. 1). V rámci racionalizace výroby byl vznesen požadavek na návrh inovovaného výrobního postupu, který by přinesl plynulý a spolehlivý výrobní proces při dodržení požadavků na kvalitu a funkci součásti při současné minimalizaci výrobních nákladů.

Součástí návrhu výrobního postupu je analýza konstrukčních a funkčních požadavků, volba vhodného materiálu a vstupního polotovaru, postup zhotovení jednotlivých ploch za účelem dosažení konstrukčních požadavků, předpis tepelného zpracování materiálu a dokončení povrchu s důrazem na estetiku. Součást bude vyráběna ve dvou výrobních provedeních, a sice jako varianta s černěným povrchem a varianta z korozi vzdorné oceli.



Obr. 1 Kohout revolverů ALFA.

1 FUNKCE REVOLVEROVÉHO KOHOUTU

Kohout je jednou ze součástí bicího mechanismu revolveru. Jeho hlavním úkolem je úderem aktivovat zápalku náboje, která způsobí vznícení střeliviny v náboji a samotný výstřel.

Existují tři primární funkční řešení spoušťového a bicího ústrojí revolverů [2]:

a) jednočinný (též Single-Action, SA) - pro výstřel je nejprve nutné ručně natáhnout kohout. Natažením kohoutu dojde ke stlačení bicí pružiny, kohout je zachycen v zadní poloze. Během procesu natahování se otáčí válec, ve kterém jsou v nábojových komorách uloženy náboje (typicky 5–8 ks). Otočením válce dojde k ustavení nábojové komory s novým nábojem do osy hlavně - postupně jsou takto použity všechny náboje ve válci. Ve chvíli, kdy střelec stiskne spoušť, se uvolní záchyť kohoutu, kohout je vymrštěn stlačenou bicí pružinou, udeří na zápalku připraveného náboje a dojde k výstřelu.

b) dvojčinný (též Double-Action, DA) - u mechanismů tohoto typu je možnost napnout kohout stiskem spouště. K výstřelu tak stačí ze strany střelce jediný úkon – stisknutím spouště dojde k napnutí kohoutu, otočení válce, uvolnění kohoutu a výstřelu (v tomto případě ovšem nedochází k zachycení kohoutu v napnuté poloze, je uvolněn ihned po napnutí). Střelci ovšem nadále zůstává možnost mechanismus ručně napnout, kdy kohout setrvává v natažené poloze do okamžiku stisku spouště. Pakliže střelec natáhne kohout ručně, překoná tak významný odpor bicí pružiny. Pro stisknutí spouště je pak zapotřebí mnohem menší síla, díky čemuž bývá takový výstřel zpravidla přesnější.

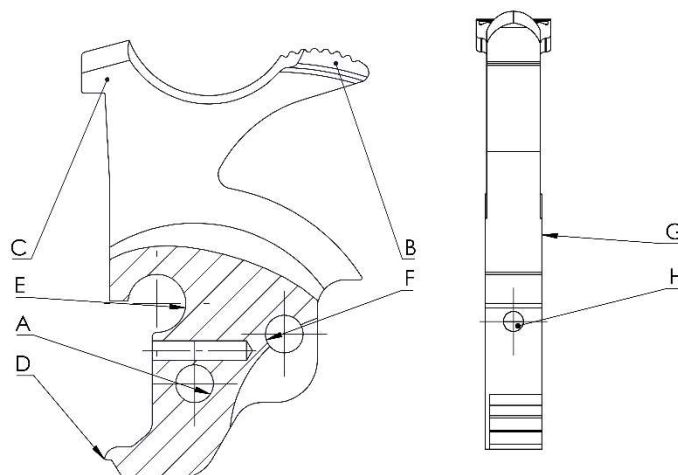
c) pouze se spoušťovým napínáním (Double-Action Only, DAO) - u tohoto řešení je možné kohout napnout pouze stiskem spouště. Pokud je kohout natažen ručně, nedojde k jeho zachycení v zadní poloze.

Revolvery Alfa používají variantu dvojčinného mechanismu zachycenou na Obr. 2.



Obr. 2 Vnitřní mechanismus revolverů Alfa, v režimu DA (vlevo) a SA (vpravo).

1.1 Konstrukční analýza součástí



Obr. 3 Funkční plochy kohoutu, pozice A–H.

Na součásti se nachází několik funkčních ploch se specifickými účely a požadavky na opracování. Vyznačeny jsou na Obr. 3, pozice A–H:

- A. Osa rotace. Kohout vykonává rotační pohyb, osu rotace tvoří nepohyblivý čep, na kterém je kohout uložen prostřednictvím tohoto válcového otvoru. U díry je požadavek na užší rozměrovou toleranci z důvodu přesného ustavení kohoutu a nízkou drsnost povrchu pro snížení tření při chodu mechanismu. Vzhledem k tomu, že právě tato díra určuje polohu součásti vůči zbytku mechanismu, bylo by vhodné ji brát jako základnu pro tolerování rozměrů a polohy ostatních funkčních ploch. Uložení čep–díra odebírá kohoutu 4 stupně volnosti.
- B. Palečnický – výstupek sloužící k manuálnímu napínání kohoutu. Jeho plocha je zdrsněná vroubkováním, aby při natahování nevyklouzl zpod ruky střelce. Jelikož palečnický nepřichází do kontaktu s jinými součástmi zbraně, nejsou kladené specifické požadavky na přesnost jeho tvaru a rozměrů.

Pozn.: Revolvery s mechanismem typu DAO palečnický typicky nemají – byl by zbytečný.

- C. Úderová plocha. Revolvery starší konstrukce měly přímo jako součást kohoutu tzv. zápalník, výběžek, který koncentroval energii úderu kohoutu přímo do zápalky náboje. U tohoto řešení je však určité riziko, že k nárazu zápalníku na zápalku dojde neúmyslně (např. pádem zbraně na zem), takový výstřel bude nekontrolovaný a může způsobit nehodu. Revolvery Alfa proto využívají vloženou součást zvanou převáděcí kulisa – kohout udeří do kulisy, která energii nárazu převede do zápalky. Kulisa je ovšem skrytá, pokud není stisknuta spoušť, kohout v takovém případě nedosáhne na zápalku a k nechtěnému výstřelu nemůže dojít.

Úderová plocha musí být dostatečně tvrdá, aby nedocházelo k jejímu opotřebení. Přesnost jejího tvaru a rozměrů by se měla pohybovat v přiměřené toleranci.

- D. Záchyt kohoutu – tento výstupek slouží k zachycení kohoutu v napnuté poloze při střelbě v režimu ručního napínání, jedná se o pravděpodobně nejdůležitější konstrukční prvek této součásti. Pro spolehlivost funkce jsou žádoucí přísné tolerance rozměrů, tvarů a polohy. Pro odolnost vůči opotřebením musejí být plochy tvrdé a pro minimalizaci odporu spouště při výstřelu musí mít též nízkou drsnost.

Pozn.: Některé revolvery, zejména starších konstrukcí, mají záchyty dva. První z nich, bezpečnostní nebo též pohotovostní, zachytává kohout v poloze mezi vypuštěným a napnutým stavem. Kohout se tak nedotýká zápalky v náboji, jedná se o pojistku proti nechtěnému výstřelu např. v důsledku pádu zbraně na zem [2]. Revolvery Alfa však využívají jištění již zmíněnou převodní kulisou a pojistný ozub tak nepotřebují.

- E. Lůžko klapky – toto vybrání slouží k uložení klapky. Při napínání kohoutu pomocí spouště klapka přenáší sílu potřebnou k napnutí bicí pružiny ze spouště na kohout, při úplném napnutí se klapka ze spouště sesmekne a kohout udeří. Klapka se po sesmeknutí sklopí, po uvolnění stisku spouště ji vinutá pružina vrátí zpět do přední polohy. Klapka vůči kohoutu koná rotační pohyb, lůžko válcového tvaru musí být tolerováno s ohledem na rozměr, tvar a polohu a jeho plocha vyžaduje nízkou drsnost pro snížení odporu spouště.
- F. Opěrná plocha bicí pružiny – do tohoto místa dosedá tlačná tyčinka bicí pružiny. Plocha nemusí být nijak zvlášť tolerována.
- G. Boční plochy – zamezují posuvnému pohybu kohoutu podélně dle osy rotace, odebírají tak pátý stupeň volnosti. Měly by mít toleranci kolmosti vůči díře osy rotace, toleranci vzájemné vzdálenosti a nízkou drsnost povrchu pro omezení tření v mechanismu.
- H. Uložení pružiny klapky – v této dutině je uložena pružinka, která vrací klapku do pohotovostní polohy. Nejsou zde žádné zvýšené požadavky na přesnost výroby.

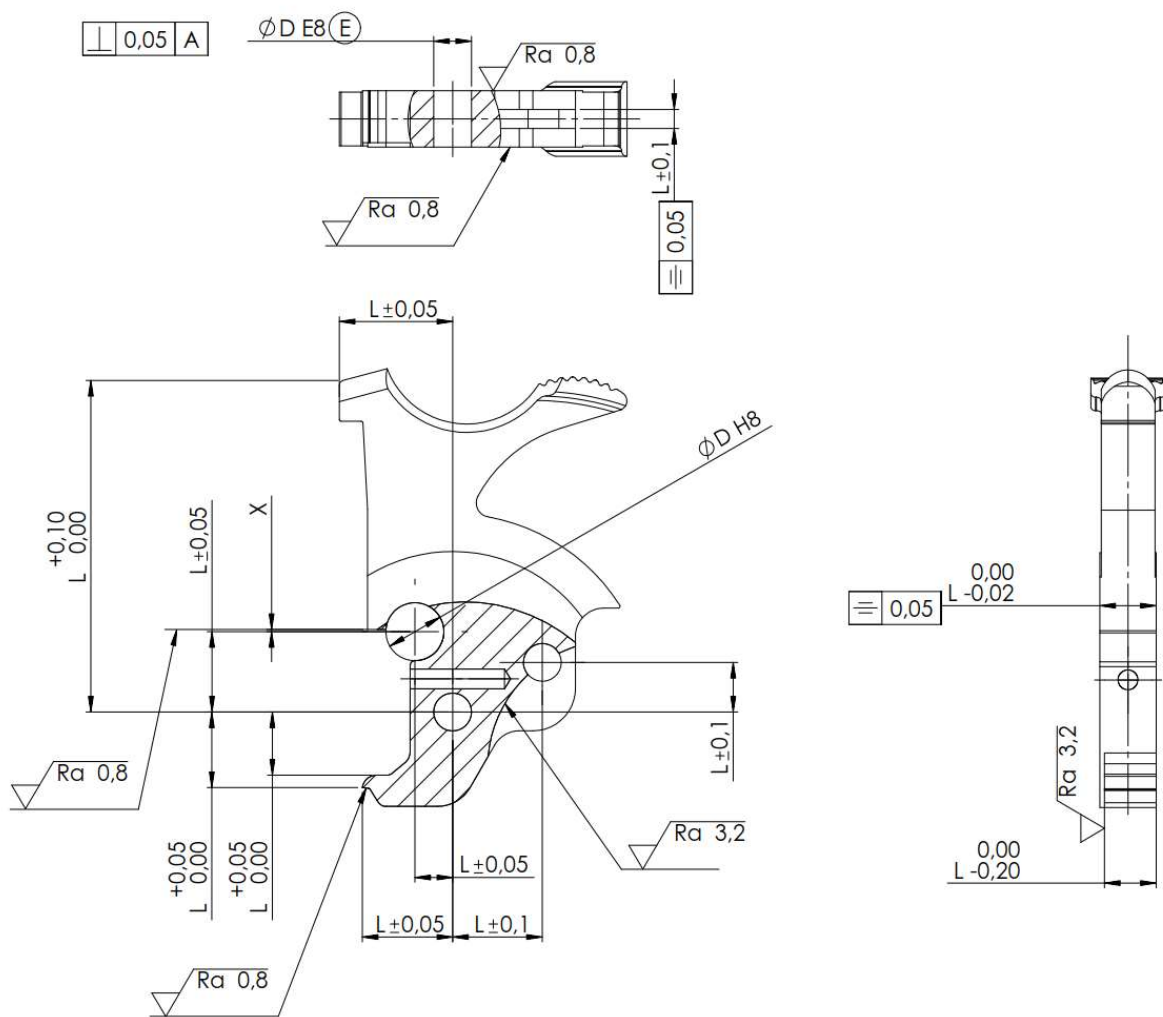
1.2 Konstrukční požadavky

Požadavky stanovené konstruktérem společnosti ALFAPROJ na výše vyjmenované plochy jsou zakresleny na

Obr. 4. Tyto požadavky budou nadále považovány za určující při výběru technologií výroby a materiálu součástí. Výkres neobsahuje konkrétní rozměrové kóty. V zájmu ochrany výrobního tajemství společnosti ALFAPROJ nebudou v práci ani nadále uváděny citlivé informace, které nejsou nezbytně nutné pro vysvětlení a pochopení rozhodnutí autora práce při určování výrobního postupu.

Součást (resp. celá zbraň) má být vyráběna ve dvou designových variantách:

- Materiálem je ocel bez zvýšené odolnosti proti korozi, povrch je upraven černěním.
- Materiálem je korozivzdorná ocel (podrobně rozebráno v kapitole 2.2.3), povrch je kartáčován.



POVRCHOVÁ ÚPRAVA DLE VÝROBNÍ VARIANTY
NEKÓTOVANÉ HRANY ODJEHLIT $0,3 \times 45^\circ$ VČETNĚ DĚŘ
POVRCHOVĚ KALENO NA $48 + 5$ HRC

Obr. 4 Konstrukční požadavky na funkční plochy součásti.

2 PŘÍPRAVA VÝROBY

Cílem této kapitoly je navrhnout vhodný materiál a polotovár pro výrobu součásti. Materiál a polotovár jsou dva vzájemně provázané parametry, kdy některé typy materiálů jsou určeny pro specifické technologie výroby (např. lité oceli).

2.1 Volba polotovaru

Při volbě polotovaru je zapotřebí brát ohled především na ekonomické hledisko výroby. Polotovár se má svým tvarem co nejvíce blížit hotové součásti. Požadavky na polotovár jsou [12]:

- optimální přídavky na obrábění,
- minimální spotřeba materiálu,
- minimální práce vynaložená na výrobu součásti.

Relativní spotřebu materiálu při výrobě součásti je možno kvantifikovat tzv. koeficientem využití materiálu k_m [12]:

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} [-] \quad (1)$$

kde:

Q_s ... čistá hmotnost součásti [kg]
 N_m ... norma spotřeby materiálu [kg]

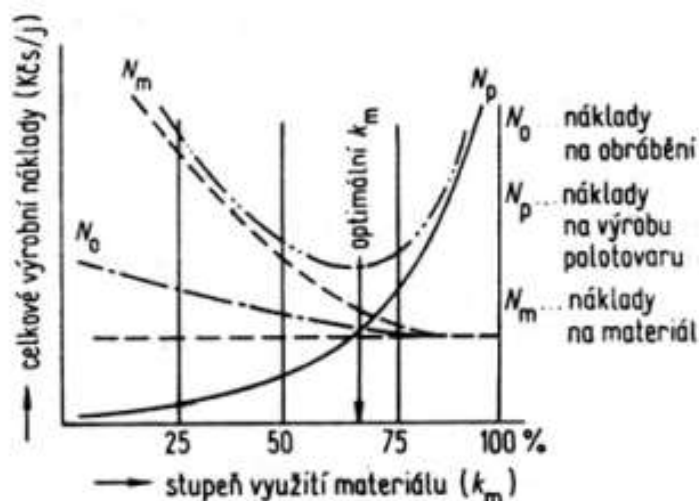
Norma spotřeby materiálu vyjadřuje celkové množství materiálu potřebného k výrobě jednoho kusu součásti. Kromě samotné hmotnosti součásti zahrnuje:

- ztráty vzniklé obráběním q_o [kg],
- ztráty vzniklé dělením materiálu q_u [kg],
- ztráty vzniklé nevyužitelným zbytkem polotovaru (např. konec tyče) q_k [kg].

Vyjádřeno matematicky [12]:

$$N_m = Q_s + q_o + q_u + q_k [kg] \quad (2)$$

Zvýšením stupně využití materiálu lze omezit náklady na obrábění a samotný materiál za cenu zvýšení nákladů na výrobu polotovaru. Při optimálním stupni využití materiálu lze snížit celkové náklady na možné minimum, jak ukazuje Obr. 5.



Obr. 5 Výrobní náklady a stupeň využití materiálu [12].

2.1.1 Odlitek

Odlitek jako polotovar je v současné době využívané řešení ve firmě. Hlavní výhodou odlitku oproti válcovanému polotovaru je vyšší stupeň využití materiálu, a tím pádem rovněž snížení nákladů na obrábění přesných ploch.

Vzhledem k malým rozměrům součásti je zapotřebí využít některou z technologií přesného lití. Moderní slévárenské technologie umožňují dosáhnout tolerančního stupně až IT10 a drsnosti povrchu až $Ra\ 1,6\ \mu m$ [10]. Tyto parametry splňují konstrukční požadavky kladené na netolerované plochy součásti. Netolerované plochy tak nebude potřeba dokončovat přesným obráběním – tento přístup je v současnosti již aplikován.

Volba konkrétní technologie lití vyžaduje konzultaci se slévárenským specialistou. Předběžně se jako vhodná jeví např. technologie vytavitelného modelu, vyznačující se vysokou přesností odlitků a jakostí jejich povrchu, vhodností pro tvarově složité odlitky a různé odlévané materiály. Orientační parametry metody [10]:

Ekonomicky výhodná výrobní série:	10^2 – 10^4 ks
Hmotnost odlitků:	10^{-3} – 10^2 kg
Toleranční stupeň odlitků:	IT10
Drsnost povrchu:	$Ra\ 1,6$ – 25

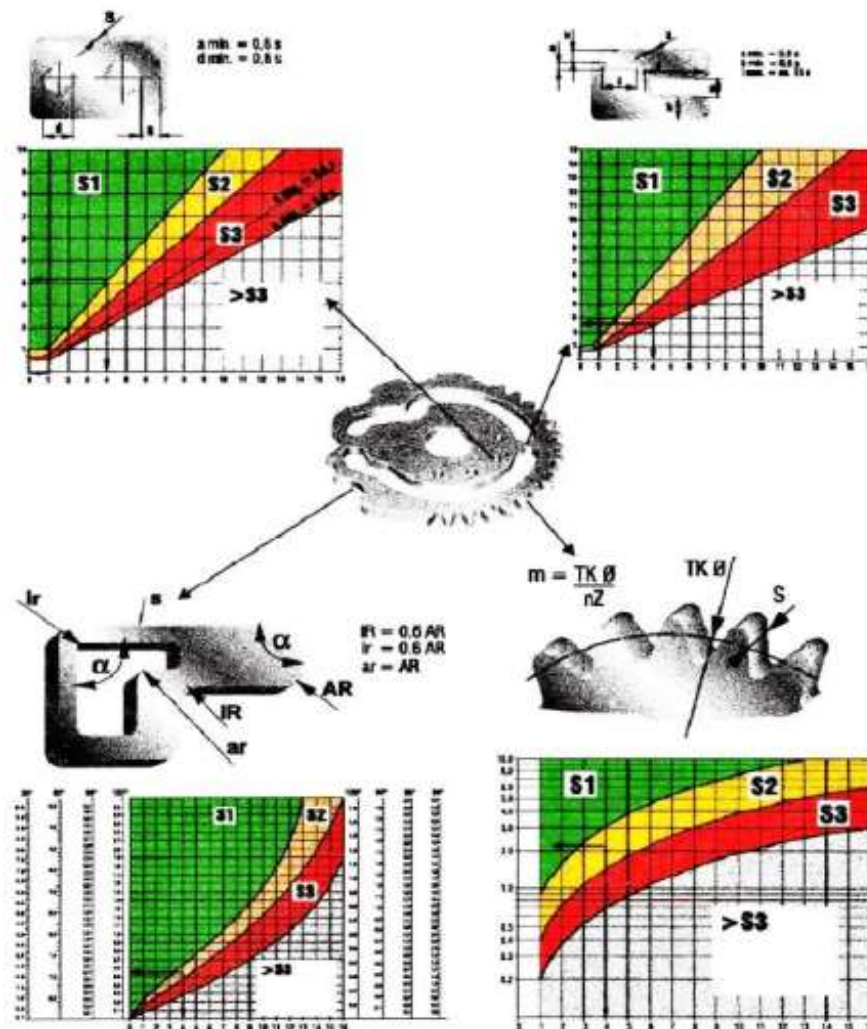
Použití odlitku má i své nevýhody. Přidává navíc jednu potřebnou obráběcí operaci, a sice odstranění vtoku. Odlitek navíc může vykazovat horší obrobitelnost než tvářený polotovar. Výrobce obráběcích nástrojů Dormer Pramet doporučuje při obrábění kůry odlitků násobit stanovenou řeznou rychlost korekčním koeficientem $k_{vx} = 0,7$ – $0,9$ [26].

Další potenciální nevýhodou litého polotovaru je omezená možnost konstrukčních úprav součásti, neboť technologie vyžaduje nákladnou výrobu matečné formy pro voskové modely [10]. Společnost ALFAPROJ nemá vlastní slévárenský provoz, výrobu odlitků bude nutné zadat externímu dodavateli zaměřujícímu se na tuto specifickou technologii a velikost odlitků (odhadovaná hmotnost surového odlitku činí 50g).

2.1.2 Výstřižek

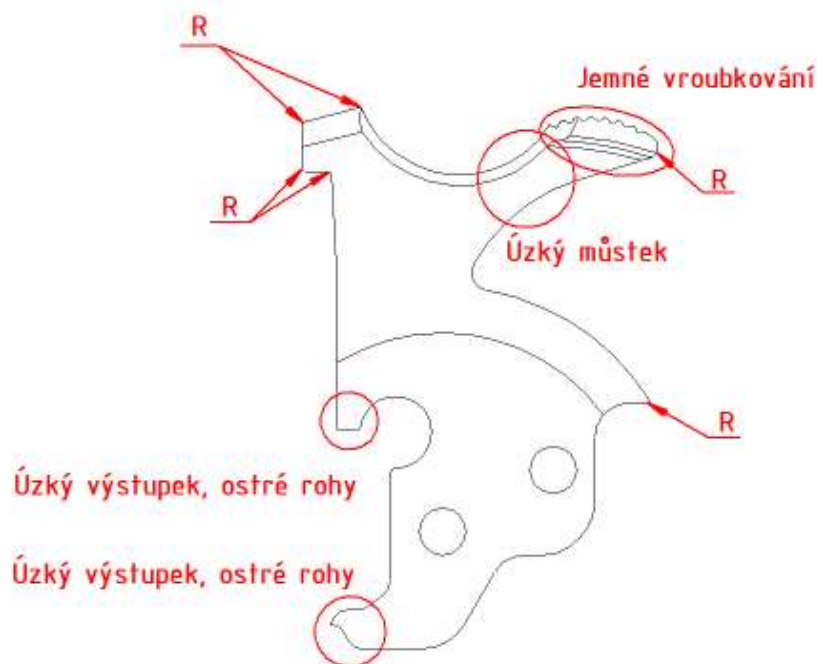
Jelikož je součást relativně plochá, nabízí se zde možnost využití technologie stříhání pro výrobu siluety součásti. Současné technologie přesného stříhání umožňují pracovat s tolerancemi IT 6–9 [3] a drsnostmi povrchu střížné plochy R_a 0,2–3,6 μm [4]. Tyto parametry jsou dostatečné pro netolerované plochy na vnějším obvodu součásti.

Použití technologie přesného stříhání je limitováno tvarem a rozměry výstřižku. Na jejich základě jsou součásti zařazeny do kategorií odpovídajících obtížnosti stříhacího procesu – S1 (jednoduchá), S2 (střední), S3 (obtížná), přičemž součásti nevyhovující ani kategorii S3 jsou považovány za nevhodné pro stříhání [3]. Faktorem určujícím stupeň obtížnosti tvarových prvků jsou například tloušťka stěn, velikosti otvorů, poloměry zaoblení a vrcholové úhly rohů v poměru vůči tloušťce materiálu. Vyhodnocení se provádí pomocí nomogramů, jako na Obr. 6.



Obr. 6 Ukázka nomogramu pro vyhodnocení vhodnosti součástí pro výrobu metodou přesného stříhání [4].

Uvažovaná součást má několik problematických tvarových prvků, konkrétně palečník, záchyt kohoutu, lůžko západky a několik ostrých rohů po obvodu. Problematická místa jsou vyznačena na Obr. 7.



Obr. 7 Problematické prvky siluety polotovaru vyráběného přesným stříháním.

Předpokladatelná přesnost stříhání pro součást s uvažovanými rozměry dle literatury [3] odpovídá hodnotám:

stupeň rozměrové tolerance:	IT9
tolerance polohy děr:	0,03 mm
úkos stěn [4]:	0,025 mm

Tolerance polohy děr vyhovuje stanoveným konstrukčním požadavkům, stupeň tolerance IT9 je dostačující pro netolerované rozměry, tolerované plochy bude nadále potřeba dokončit obráběním.

Obdobně jako v případě odlitku znamená volba technologie přesného stříhání vysokou vstupní investici v podobě stříhacích nástrojů. Případné konstrukční změny na součásti by tedy znamenaly nutnost výroby nových stříhadel.

Při volbě rozměru polotovaru je potřeba počítat s přídavkem na obrábění. Ten je možno určit následujícím empirickým vzorcem:

$$z_c = 0,05 \cdot D_{max} + 2 \text{ [mm]}, \quad (3)$$

kde:

z_c ... velikost přídavku na obrábění
 D_{max} ... maximální rozměr součásti v uvažovaném směru

Celkový rozměr součásti v uvažovaném směru D_c bude tedy:

$$D_c = z_c + D_{max} \text{ [mm]} \quad (4)$$

Jako polotovar lze tedy použít za tepla válcovaný ocelový plech dle ČSN EN 10029 o tloušťce 10 mm.

Potřebnou střížnou sílu lisu F_s lze vypočítat dle následujícího vzorce [3]:

$$F_s = l_s \cdot s \cdot R_m \cdot f_1 [N], \quad (5)$$

kde:

$l_s = 350 \text{ mm}$	... obvod siluety součásti
$s = 10 \text{ mm}$	... tloušťka stříhaného materiálu
$R_m = 540 \text{ MPa}$	... mez pevnosti materiálu pro ocel 12050.1 [16]
$f_1 = 0,9$	... korekční koeficient pro faktory ovlivňující střížný proces [3]

Potřebná střížná síla $F_c = 1701 \text{ kN}$. Tato hodnota je na mechanické lisy relativně vysoká, u hydraulických lisů by neměla představovat výraznou překážku [3]. Společnost ALFAPROJ vlastním lisem potřebného výkonu ani vybavení nedisponuje, výrobu polotovarů touto technologií bude nutno zařídit prostřednictvím externího dodavatele.

2.1.3 Laserový výpalek

Technologie laserového řezání nabízí obdobně jako technologie stříhání možnost vyrobit základní tvar součásti ze silného plechu. Laserové řezání má navíc výhodu, že materiál nepodrobuje vysokému napětí a zpevnění, není tolik náročné na tvar a proporce siluety součásti. Řezání laserem je rychlé a produktivní, rovněž nevyžaduje výrobu nákladných stříhacích nástrojů.

Očekávatelné hodnoty kvality řezu jsou [6]:

Rozměrová přesnost:	$\geq 0,1 \text{ mm}$ (rozsah 0,03–0,63 mm)
Drsnost povrchu řezu:	Ra 3,2 μm

Laserový řez má určité povrchové defekty. Vzniká zde úkos kolmosti řezu, rýhy na ploše řezu, které jsou hlavní složkou povrchových nerovností a dále otřep na vzdálenějším konci řezné hrany. Míru těchto defektů lze ovlivnit nastavením řezných parametrů [6].

Laser coby způsob tepelného dělení materiálu vytváří v okolí řezu tepelně ovlivněnou oblast (TOO), ve které dochází ke strukturním změnám materiálu, vzniku vnitřního pnutí a zvýšení tvrdosti materiálu.

Pro plech z nelegované oceli (S235) lze počítat s těmito parametry [7]:

Hloubka TOO:	0,25–0,4 mm
Mikrotvrdost TOO dle Vickerse:	150–210 HV
Vstupní hodnoty:	
Tvrdost materiálu před řezáním:	120 HV
Tloušťka plechu:	8 mm
Rychlost řezání:	600–2200 $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$

Zvýšená tvrdost povrchové vrstvy laserem řezaných povrchů pravděpodobně bude mít vliv na jejich obrobiteľnost. Metodika společnosti Dormer Pramet stanovuje korekční koeficient řezné rychlosti v závislosti na tvrdosti obráběného materiálu

$k_{V_{HB}}$ [26]. Tab. 1 poskytuje srovnání těchto koeficientů pro ocel typu S235 ve stavu z výroby a po působení tepla laseru.

Tab. 1 Obrobitelnost oceli S235 ovlivněné teplem laserového paprsku.

Stav	Naměřená tvrdost HV [7]	Přibližně srovnatelná tvrdost HB [26]	$k_{V_{HB}}$ [26]
Neovlivněný materiál	120	114	1,53
TOO	150–210	143–199	1,17–1,37

Stanovení přesných parametrů řezání a výrobních nákladů vyžaduje konzultaci s dodavatelem laserové technologie, předběžným návrhem se zabývá kap. 5.2. Společnost ALFAPROJ nemá vlastní vybavení pro laserové řezání kovových materiálů, výrobu polotovarů bude tedy nutno svěřit externímu dodavateli. Jako polotovar lze použít plech dle ČSN EN 10029 o tloušťce 10 mm, jako v případě stříhání.

2.1.4 Polotovar vyrobený z plechu vodním paprskem

Další technologií pro vyřezávání tvarů z plošného materiálu je technologie řezání vodním paprskem. Výhodou této technologie oproti řezání laserem je nízká teplota řezu (do 50 °C), díky které nedochází k tepelným deformacím obrobku, vzniku tepelně ovlivněné oblasti a zbytkové napětí v součásti i riziko vzniku mikrotrhlin jsou minimální. Na řezaných hranách nevznikají otřepy jako v případě řezání laserem, při vysokých tloušťkách řezaného materiálu však může docházet ke zvlnění a úkosu plochy řezu. Do vodního paprsku mohou, ale nemusejí, být přimíchány drobné abrazivní částice pro zvýšení řezné schopnosti paprsku, zejména u těžkoobrobitelných materiálů [6].

Na základě nastavení stroje je u vodního paprsku možné dosahovat různých kvalit řezu, zařazených do specifických stupňů (kategorie Q5–Q1). Při požadavku na nejvyšší kvalitu (Q1) lze orientačně počítat s těmito parametry [5,6]:

Rozměrová přesnost:	$\pm 0,1$ mm
Drsnost plochy řezu:	Ra 3,2

Některé zdroje uvádějí i extrémní hodnoty přesnosti až $\pm 0,04$ – $0,05$ mm [6], pokud se podaří naladit řezací proces na tuto užší toleranci řezaných rozměrů, bude možno vodním paprskem dokončit (nebo připravit pro broušení) plochy podél obvodu siluety součásti, což může vést k výrazným úsporám nákladů. Při konzervativní hodnotě přesnosti $\pm 0,1$ mm bude možno použít vodní paprsek k vyhrubování siluety součásti, tolerované plochy však bude i nadále nutno dokončit konvenčními technologiemi obrábění.

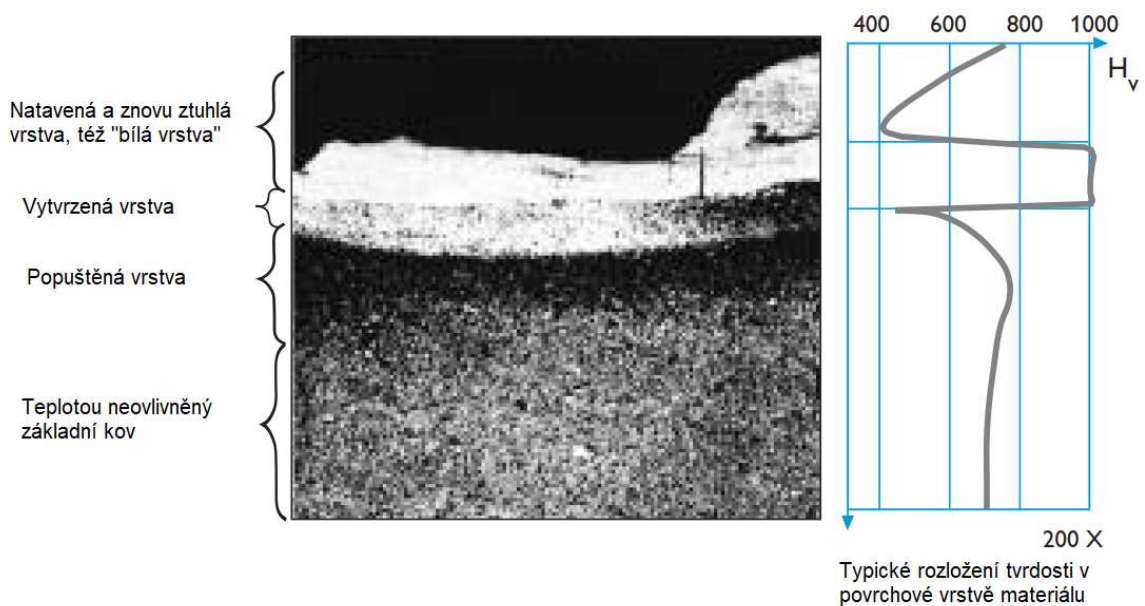
2.1.5 Polotovar vyrobený elektroerozivním obráběním z plechu

Další možnou technologií je výroba obvodu součásti z plechu metodou elektroerozivního drátového řezání. Společnost ALFAPROJ vlastní stroje pro drátové řezání, výroba polotovarů je tak možná přímo ve firmě bez nutnosti outsourcingu.

Elektroerozivní řezání se vyznačuje vysokou přesností a kvalitou řezu – rozměrové tolerance $\pm 0,0025$ mm, drsnost povrchu až Ra 0,9 μm [8]. Tyto možnosti převyšují kvalitativní požadavky specifikované na výkrese součásti, většinu tvarových prvků po

obvodě součásti je tedy teoreticky možné obrobit touto technologií bez nutnosti přesného dokončovacího obrábění. Z praktického hlediska je nutno vzít v potaz, že součást bude podrobena tepelnému zpracování (kalení či zušlechtní), které v ní může způsobit deformace řádově o velikosti na úrovni tolerančního pole některých rozměrů [10]. Proto se také operace přesného obrábění tolerovaných ploch do výrobního postupu zpravidla zařazují až po tepelném zpracování [25].

Elektroerozivní obrábění svým působením vytváří na povrchu materiálu tenkou vrstvu TOO (síla typicky v řádu desetin μm) s martenzitickou strukturou, která je velmi tvrdá a náchylná na praskání [9]. Průřez povrchovou vrstvou oceli obráběné elektroerozivním způsobem je zachycen na Obr. 8. Vhodnou volbou podmínek obrábění, vlastností obráběného materiálu a případných dokončovacích operací nebo tepelného zpracování je však možné tento vliv výrazně omezit [9].



Obr. 8 Průřez povrchovou vrstvou elektroerozivně obrobeného kovu, přeloženo [9].

Jako polotovar bude opět využit za tepla válcovaný ocelový plech dle ČSN EN 10029 o tloušťce 10 mm, jako u předchozích technologií. Vzhledem k rozměrům pracovních prostor strojů pro drátové řezání bude nutné plech nadělit.

Výraznou nevýhodou elektroerozivního drátového řezání je nízká rychlost řezu, zejména při srovnání s laserem. Produktivita se dá násobně zvýšit při řezání několika vrstev materiálu zároveň, nicméně i tak zůstává výrazně nižší, než při použití laseru. Orientační hodnoty rychlosti řezání jsou dle vyjádření technologa spol. ALFAPROJ 1–2,5 mm/min pro hrubování a 10–17 mm/min pro dokončování. Konečná úprava tolerovaných ploch s požadavkem na drsnost povrchu se provádí obvykle 2–4 řezy.

2.2 Volba materiálu

Postup volby materiálu je komplexní proces, který zahrnuje uvážení mnoha kritérií a faktorů, jejichž požadavky často bývají protichůdné. Základními aspekty volby materiálu jsou [13]:

- dostatečná kvalita (pevnost) pro zabezpečení správné funkce součásti,
- technologické požadavky neboli reálná možnost danou součást vyrobit uvažovaným způsobem,
- ekonomická náročnost výroby, která se odráží na výsledné ceně hotového produktu.

Kvalitativní požadavky na materiál stanovil konstruktér společnosti ALFAPROJ následovně:

- za účelem zajištění odolnosti proti mechanickému opotřebení a otěruvzdornosti je předepsáno kalení povrchu součásti na 48–53 HRC. Prokalitelnost do hloubky není požadována, naopak je vhodné, aby jádro součásti zůstalo houževnaté, neboť je vystavena rázovému namáhání,
- součást by měla odolávat proměnlivým vlivům počasí, zejména střídavým teplotám a vlhkosti. Zbraň se vyrábí ve dvou variantách provedení povrchu, a sice z černěné nekorozivzdorné oceli a neošetřený z korozivzdorné oceli. S ohledem na cenu však není nutné volit korozivzdorné oceli o vyšších jakostech,
- další požadavky na mechanické vlastnosti (mez kluzu, mez pevnosti) nejsou specifikovány, dostatečnou odolnost součásti by měla zajistit již zmíněná tvrdost po tepelném zpracování. Vzhledem k nízkému počtu cyklů, který součást za svou životnost vykoná (řádově 10^4) též nejsou stanoveny požadavky na odolnost proti únavě.

S přihlédnutím k technologickým a ekonomickým faktorům můžeme tedy materiálové požadavky plně specifikovat takto:

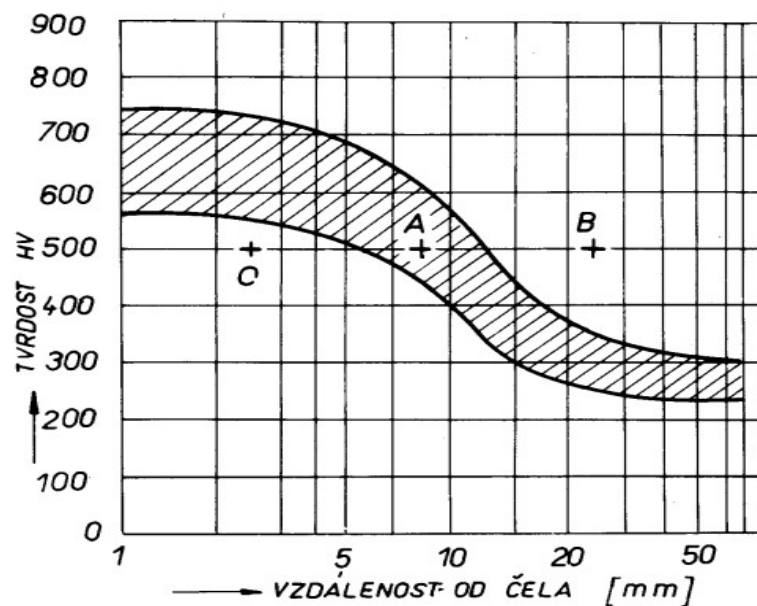
- a) vhodnost pro tepelné zpracování, kalitelnost alespoň na 48 HRC,
- b) korozní odolnost za běžných teplot a atmosférických podmínek u korozivzdorné varianty,
- c) vhodnost materiálu pro specifickou technologii výroby polotovaru – slévárenské vlastnosti, vhodnost pro elektroerozivní či laserové řezání,
- d) obrobitelnost materiálu, neboť všechny navrhované polotovary bude potřeba v určité fázi výrobního postupu nějakým způsobem obrábět,
- e) technologická a ekonomická náročnost výroby i s ohledem na možnosti a výrobní kapacity společnosti ALFAPROJ.

2.2.1 Vhodnost pro tepelné zpracování

Konstrukční dokumentace součásti požaduje tepelné zpracování účelem dosažení povrchové tvrdosti 48 + 5 HRC. Při tepelném zpracování ocelí se typicky využívá procesu kalení, jehož výsledkem je zvýšení tvrdosti a pevnosti materiálu. Nežádoucím vedlejším vlivem kalení je ovšem vznik vnitřních pnutí v součásti a ztráta houževnati,

proto se po kalení někdy provádí tzv. popouštění, při kterém jsou tyto efekty za cenu určité ztráty tvrdosti potlačeny. Postup kombinující kalení a popouštění je nazýván zušlechťováním [14].

Na tvrdost zakalené oceli má kromě postupu výroby a parametrů samotného tepelného zpracování vliv především její chemické složení. Informace o tvrdosti dosažitelné při kalení bývá u ocelí přímo doporučených pro zušlechťování obvykle uvedena v příslušném materiálovém listu. Často je používán tzv. diagram prokalitelnosti (Obr. 9), který uvádí interval tvrdosti kaleného materiálu v závislosti na hloubce od povrchu součásti, na který působí chladicí médium. Někteří výrobci ocelí místo diagramu používají tabulku.



Obr. 9 Ukázka diagramu prokalitelnosti [14].

Diagram prokalitelnosti může být doplněn tzv. popouštěcím diagramem, který popisuje konečnou tvrdost zušlechtěného materiálu v závislosti na teplotě popouštění. Na jeho základě je možné určit vhodnou teplotu popouštění pro dosažení požadované tvrdosti.

Pro kalení a zušlechťování existují přímo doporučené třídy ocelí. Základní podmínkou je zde zaručené chemické složení, aby bylo možné při tepelném zpracování dosahovat předvídatelných a opakovaných výsledků. Oceli pro tepelné zpracování mohou být nelegované (tvářené oceli třídy 12 dle ČSN) nebo nízkolegované. Legury, typicky Mn, Cr, Si, Ni mají za důsledek zlepšení mechanických vlastností a zvýšení prokalitelnosti do hloubky. Patří sem např. tvářené oceli tříd 13, 14, 15 dle ČSN [14].

Konstrukční dokumentace součástí požaduje pouze kalení na povrchu součásti. Hloubkové kalení je nejen nadbytečné, ale i kontraproduktivní, neboť vedlejším účinkem kalení je již zmíněná ztráta houževnatosti. Konkrétními kritérii pro výběr oceli na základě možností tepelného zpracování tedy budou:

- povrchová tvrdost po zakalení (zušlechtění) minimálně HRC 48,
- vysoká prokalitelnost není žádoucí a tím pádem není vhodná volba ocelí specificky legovaných pro vysokou prokalitelnost.

2.2.2 Způsob výroby polotovaru

V kap. 2.1 byly diskutovány dvě základní možnosti vstupní podoby materiálu pro výrobu polotovaru, a sice válcovaný plech a ocel litá.

Oceli pro lití mají dle materiálových norem své vlastní třídy a kategorie. Lité oceli se ovšem vyrábějí s chemickým složením podobným ocelím pro tváření a vykazují srovnatelné mechanické vlastnosti, svařitelnost a chování při tepelném zpracování [15]. Výraznějším rozdílem je anizotropie u válcovaných ocelí, které vykazují rozdílné hodnoty mechanických vlastností (např. tažnosti) ve směru podélném a kolmém na směr válcování [14]. U litých ocelí se toto chování neprojevuje. Lité oceli vykazují při chladnutí a tuhnutí vysoké hodnoty smrštění [15], po odlití se často provádí tepelné zpracování za účelem normalizace struktury a snížení vnitřního pnutí [14].

2.2.3 Korozivzdornost

U jedné z výrobních variant součásti je požadavek na odolnost proti proměnlivým povětrnostním podmínkám. Hotový výrobek má být používán v exteriéru v prostředí s teplotou běžnou pro mírný klimatický pás, proměnlivou atmosférickou vlhkostí a nízkou koncentrací korozivních látek.

Korozivzdorných ocelí existuje mnoho typů rozdělených do několika kategorií, vzhledem k souběžnému požadavku na kalitelnost pro uvažovaný případ svými vlastnostmi odpovídá skupina chromových kalitelných ocelí. Do této skupiny spadají oceli s obsahem minimálně 11,5 % chromu (přesná hodnota závisí na obsahu uhlíku v oceli), tato přísada zajišťuje pasivaci vůči korozivnímu prostředí a zvyšuje prokalitelnost [14]. Druhou častou přísadou zlepšující odolnost vůči korozi je nikl, tento prvek je ovšem austenitotvorný a oceli s vysokým obsahem niklu si uchovávají austenitickou strukturu i při pokojových teplotách (nedochází tedy k rozpadu austenitu) [14].

2.2.4 Ekonomické hledisko volby materiálu

Volba materiálu může výsledné výrobní náklady ovlivnit jak samotnou cenou materiálu, tak náklady spojenými s jeho zpracováním (obrábění, tepelné zpracování apod.) Často používanou metrikou hospodárnosti výroby při rozsáhlém použití obráběcích technologií je obrobiteľnosť.

Obrobiteľnosť je komplexní technologická vlastnost materiálu, která charakterizuje jeho vhodnost k obrábění. Existuje mnoho způsobů kvantifikace obrobiteľnosti, v praxi se často používá součinitel obrobiteľnosti K_v , [25]:

$$K_v = \frac{v_{cT/VB} \text{ zkoušeného materiálu}}{v_{cT/VB} \text{ etalonového materiálu}} [-] \quad (6)$$

kde:

$v_{cT/VB}$ [m·min⁻¹] ... řezná rychlost v_c odpovídající zkušební trvanlivosti nástroje T a zkušební velikosti opotřebení VB

Součinitel K_v tedy srovnává, jakou relativní řeznou rychlostí bude možné uvažovaný materiál obrábět ve srovnání s etalonem. Podle hodnoty K_v jsou materiály zařazeny do skupin 1b ($K_v = 0,05$) až 20b ($K_v = 4,0$). Etalonem pro kategorii materiálů b (oceli) je ocel ČSN 12050.1 se stupněm obrobiteľnosti 14b a hodnotou $K_v = 1,0$ [25].

2.2.5 Další požadavky

Dle vyjádření konstruktéra společnosti Alfa – Proj nejsou kladeny další požadavky na mechanické vlastnosti materiálu. Jako hlavní záruka odolnosti součásti vůči opotřebení slouží již zmíněná povrchová tvrdost, požadavky na mez pevnosti nebo mez kluzu nejsou stanoveny. Vzhledem k rázovému zatížení, kterému je součást vystavena, je žádoucí i dostatečná houževnatost. Samotná číselná hodnota nárazové práce není přímo využívána pro dimenzování součásti [14] a ani v tomto případě není její konkrétní hodnota konstruktérem přímo stanovena.

2.2.6 Zvolené typy materiálu

Na základě výše rozebraných kritérií byly zvoleny celkem 4 kategorie potenciálně vhodných tříd ocelí dle požadovaného výrobního provedení a technologie výroby polotovaru:

- 1) tvářené oceli vhodné k zušlechťování
- 2) lité oceli vhodné k zušlechťování
- 3) korozivzdorné tvářené oceli vhodné k zušlechťování
- 4) korozivzdorné lité oceli vhodné k zušlechťování

Tvářených ocelí vhodných k zušlechťování existuje široká nabídka a to jak legovaných, tak nelegovaných. Jejich stručný přehled včetně důležitých vlastností je uveden v Tab. 2 a

Tab. 3. Z tabulek je zřejmé, že legované oceli zpravidla vykazují lepší mechanické vlastnosti než oceli nelegované se srovnatelným obsahem uhlíku. Zároveň se vyznačují vyšší prokalitelností, která ovšem není žádoucí.

Tab. 2 Vybrané nelegované tvářené oceli pro zušlechťování [16].

Značka	Obsah uhlíku [%]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	H_0 [HRC]	H_3 [HRC]	K [J]	Stupeň obrob. [-]
12031	0,27–0,35	305	540–690	48–57	40–54	70	14b
12040	0,32–0,40	325	540–690	-	-	60	13b (.1)
12041	0,37–0,45	330	540–690	51–58	45–58	60	14b
12050	0,42–0,50	390	640–780	56–62	40–56	49	13b (.1)
12051	0,47–0,55	390	640–780	57–62	54–60	35	13b
12060	0,52–0,60	410	690–830	60–64	48–62	35	13b
12061	0,57–0,65	440	740–880	60–64	48–62	25	12b
$R_{p0,2}$	... smluvní mez kluzu						
R_m	... mez pevnosti						
H_0	... tvrdost kalené součásti na povrchu						
H_3	... tvrdost kalené součásti v jádře (hloubka 3 mm odpovídá polovině tloušťky součásti)						
K	... nárazová práce						

Tab. 3 Nízkolegované tvářené oceli vhodné pro zušlechťování [16].

Značka	Obsah uhlíku [%]	Obsah legur [%]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	H ₀ [HRC]	H ₃ [HRC]	K [J]	Stupeň obrob. [-]
13240	0,33–0,41	1,1–1,4 %Mn 1,1–1,4 %Si	540	780–930	53–60	41–57	49	11b
13242	0,36–0,46	1,5–2,0 %Mn 0,07–0,15 %V	620	830	54–60	52–58	39 (.7)	11b
14140	0,35–0,42	0,8–1,1 %Cr	510	735	52–62	48–59	49	12b
14240	0,32–0,40	1,5–1,9 %Mn 0,2–0,4 %Cr	530	740–880	55–60	52–58	78	11b
15130	0,22–0,29	0,9–1,2 %Cr 0,15–0,25 %Mo	540	780–930	47–56	42–53	59	13b
15131	0,26–0,34	0,8–1,1 %Cr 0,15–0,25 %Mo	490	690–830	48–57	47–56	88	13b
15142	0,38–0,45	0,9–1,2 %Cr 0,15–0,3 %Mo	750	1000–1200	53–61	53–61	35	12b
15231	0,24–0,30	1,0–1,3 %Mn 0,6–0,9 %Cr 0,1–0,2 %V	700	900	46–57	41–54	50	12b
15241	0,35–0,43	1,7–2,0 %Cr 0,1–0,2 %V	588	785–932	54–63	50–61	39	13b
15260	0,51–0,54	1,0–1,1 %Mn 1,1–1,2 %Cr 0,12–0,20 %V	635	785–930	58–63	57–62	50	11b
15261	0,55–0,62	0,9–1,2 %Cr 0,1–0,2 %V 0,8–1,1 %Mn	716	883–1079	60–65	58–64	29	11b
16341	0,35–0,43	1,6–2,1 %Ni 0,8–1,2 %Cr 0,1–0,2 %Mo	785	980–1180	55–61	52–60	40	12b
16343	0,32–0,40	1,3–1,7 %Cr 1,3–1,7 %Ni 0,2–0,3 %Mo	685	885–1030	49–57	48–56	59	11b (.6, .7)
16440	0,30–0,40	3,2–3,7 %Ni 0,6–1,0 %Cr	608	785–832	50–61	49–60	49	11b

Poznámka: Není-li řečeno jinak, hodnoty mechanických vlastností ocelí v Tab. 2Tab. 6 platí pro stav .6 (zušlechtěno na dolní pevnost), s výjimkou obrobiteľnosti, která je uváděna pro stav .3 (žháná naměkko). Jiné stavy materiálu jsou uvedeny v závorce. Hodnoty tvrdosti byly odečteny z diagramů prokalitelnosti. Veškeré uvedené údaje je nutno brát s rezervou, neboť jejich hodnota platí pouze pro konkrétní způsob výroby, druh a velikost polotovaru [14]. Hodnoty v Tab. 2 a 5 platí pro tyč válcovanou za tepla o nominálním rozměru 16–40 mm. Hodnoty nárazové práce byly zjištěny metodami KV, KCU2 a KCU3 [16].

Tab. 4 obsahuje přehled obvykle používaných litých nelegovaných ocelí. Jedná se o oceli srovnatelného složení jako tvářené oceli kategorií 12030 až 12081.

Tab. 4 Zušlechťitelné lité oceli [17].

Značka	%C	%Mn	%Si	%P+S	R _m [MPa] ¹	H ₀ [HB] ¹
422640	0,20–0,28	0,40–0,80	0,20–0,50	Max. 0,090	440–590	125–170
422809	0,20–0,28	1,20–1,60	0,20–0,50	Max. 0,090	Min 500	149–184
422650	0,28–0,38	0,40–0,80	0,20–0,50	Max. 0,090	500–650	145–185
422660	0,40–0,50	0,40–0,80	0,20–0,50	Max. 0,090	590–740	170–210
422819	0,45–0,55	0,60–0,90	0,60–0,90	Max. 0,070	600–800	Max. 230
422711	0,65–0,80	1,10–1,60	0,20–0,50	Max. 0,080	800–1000	235–295

1) v nezušlechťeném stavu

Tab. 5 zobrazuje korozivzdorné oceli vhodné k zušlechťování, konkrétně oceli tvářené. Tab. 6 obsahuje oceli lité. Některé třídy ocelí jsou vyráběny jakožto tvářené i jako lité, soudobé slévárenské technologie umožňují vyrábět odléváním velké množství ocelí určených primárně ke tváření [14, 15].

Tab. 5 Korozivzdorné kalitelné tvářené oceli [16].

Jakost	Obsah uhlíku [%]	Obsah legur [%]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	H ₀ [HRC]	K [J]
X20Cr13	0,16–0,25	12,0–14,0 %Cr max 1,5 %Mn max 1,0 %Si	500	700–850	44–50	25
X30Cr13	0,26–0,35	12,0–14,0 %Cr max 1,5 %Mn max 1,0 %Si	600	800–1000	45–51	–
X39Cr13	0,36–0,42	12,5–14,5 %Cr max 1,0 %Mn max 1,0 %Si	650	800–1000	50–55 (17240)	15
X46Cr13	0,43–0,5	12,5–14,5 %Cr max 1,0 %Mn max 1,0 %Si	650	850–1000	55 (DewSta hl)	12

Tab. 6 Korozivzdorné kalitelné lité oceli [16, 18, 19, 20].

Jakost	Obsah uhlíku [%]	Obsah legur [%]	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
422906	0,15–0,25	12–14 %Cr; 0,3–0,7 %Si	441	686–833
422907	0,25–0,35	12,5–14,5 %Cr; 0,3–0,7 %Si	637	784–931
G-X35CrMo17	0,33–0,43	15,50–17,50 %Cr; max 1,00 %Si, Mn, Ni; 0,90–1,30 %Mo		
X46Cr13	0,43–0,5	12,5–14,5 %Cr; max 1,0 %Mn; max 1,0 %Si	650	850–1000

Definitivní volba materiálu bude vyžadovat podrobnější posouzení jednotlivých tříd ocelí a získání přesnějších materiálových dat. Předběžný výběr materiálů vhodných pro výrobu součásti je vypsán v Tab. 7. Pro každou kategorii byla zvolena jedna primární volba, která se na základě dostupných údajů nabízí jako nejvhodnější a několik možných alternativ, které jsou rovněž doporučeny k podrobnému posouzení, zejména pokud by se po podrobném posouzení ukázaly jako vhodnější.

Tab. 7 Oceli vybrané pro výrobu součásti.

Kategorie	Primární volba	Možné alternativy
Tvářené k zušlechťování	12050	12041, 12051, 13240, 14140
Lité k zušlechťování	422660	422819
Korozivzdorné tvářené	X39Cr13	X30Cr13
Korozivzdorné lité	422907	G-X35CrMo17

Vybrané oceli v Tab. 7 je nutno brát pouze jako doporučené a před zahájením výroby je nutná konzultace s konkrétními dodavateli materiálů a poskytovateli tepelného zpracování, případně provést patřičné materiálové zkoušky.

3 VOLBA OBRÁBĚCÍCH NÁSTROJŮ A ŘEZNÝCH PODMÍNEK

Tato kapitola shrnuje všeobecné poznatky, ze kterých vychází následující postup obráběcích operací, volba konkrétních nástrojů a řezných podmínek.

3.1 Prvotní návrh postupu obrábění

Stanovení předběžného postupu obrábění a určení pořadí a počtu operací zahrnuje současné uvážení několika faktorů. Jde zejména o podmínky stanovené procesem obrábění samotným [12]:

- obrobek sestává z určitého počtu ploch daného tvaru, velikosti a kvalitativních požadavků. Mezi funkčními plochami existují vzájemné vazby, jejichž povahu a pořadí je potřeba dodržet,
- do výrobního postupu je zapotřebí zahrnout i operace mimo obrábění, zejména tepelné zpracování, které mění materiálové vlastnosti obrobku,
- doporučený postup obrábění je od operací hrubovacích (velký objem odebraného materiálu, nízká přesnost) po operace dokončovací (malý úběr materiálu, vysoká přesnost),
- výroba musí být sériová, opakovatelná a hospodárná.

Dále je potřeba uvážit možnosti obráběcích strojů, polohování obrobku a upínání:

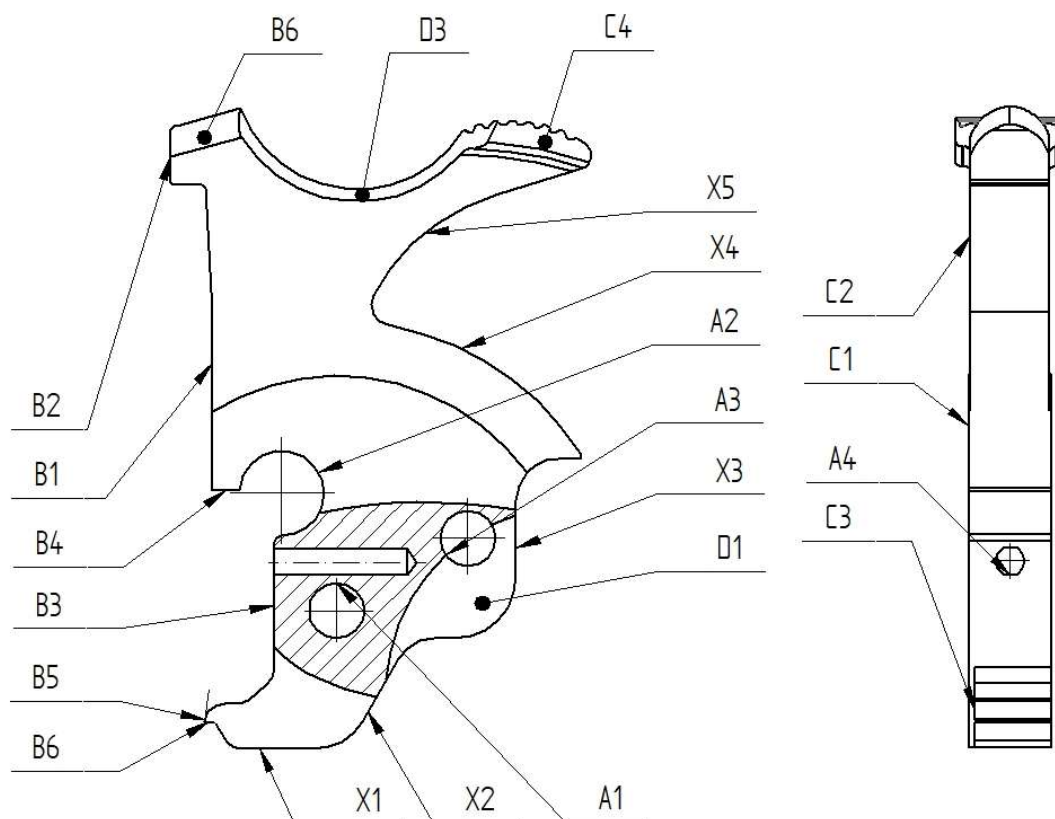
- pro zhotovení součásti bude potřeba několik druhů obrábění (frézování, vrtání, broušení), které vyžadují použití specifických strojů. Zejména u CNC strojů je možnost využít rychlé výměny nástrojů a provést tak postupně více úkonů na jednom stroji,
- pro každou operaci obrábění bude potřeba součást upnout s ohledem na směr řezných pohybů. Je výhodné omezit počet upnutí na minimum za účelem snížení výrobního času a zvýšení přesnosti vzájemné polohy obráběných ploch [25],
- je vhodné volit technologické základny, které se shodují se základnami konstrukčními. Jako hrubé základny pro prvotní operace je vhodné volit plochy buď zcela neobráběné, nebo plochy s nejmenším přírůstkem na obrábění [25].

Obráběné plochy

Obr. 10 ukazuje plochy na součásti, které bude nutno obrábět. Podle tvaru a předpokládaného obráběcího nástroje jsou seskupeny do následujících kategorií:

- A – díry.
- B – rovinné plochy přední strany kohoutu.
- C – boční rovinné plochy.
- D – ostatní plochy.

Plochy kategorie X obráběny nebudou, nicméně je možné je použít jako technologické základny při obrábění ploch, které se obrábět budou.



Obr. 10 Obráběné plochy na součásti.

3.2 Volba a vlastnosti řezných nástrojů

V současné době jsou jako nejčastější materiály obráběcích nástrojů, zejména u vyměnitelných břitových destiček (VBD), používány slinuté karbidy, ve většině případů povlakované. Nedělené frézy se vyrábějí též z rychlořezných ocelí (HSS) a pro jemné a dokončovací frézování je možné též použít břitové destičky z cermetu (slinuté karbidy na bázi titanu) [28].

Slinuté karbidy jsou na základě materiálových charakteristik obrobků rozděleny do těchto skupin [28]:

- P (modrá barva): materiály tvořící dlouhou třísku, oceli, korozivzdorné oceli, lité oceli a temperovaná litina,
- M (žlutá barva): oceli austenitické korozivzdorné, žárovzdorné, manganové oceli, legované litiny. Výrobci obráběcích nástrojů sem řadí i feritické a martenzitické korozivzdorné oceli [26,31], za účelem volby nástrojů a řezných podmínek tedy budou materiály pro korozivzdornou variantu součásti v této práci nadále řazeny právě do kategorie M,
- K (červená barva): materiály tvořící krátkou třísku, šedá litina, kalená ocel, neželezné materiály.

Materiály uvažované pro výrobu součásti tedy spadají do kategorií P a M. Jednotlivé kategorie je možno následně rozdělit do podskupin označených dvojčíslem

podle povahy obrábění. Podskupiny s nízkým číslem se vyznačují vysokou odolností proti otěru a nízkou houževnatostí, u vysokých čísel je tomu naopak [25]. Vybrané aplikace použitelné při frézování uvažované součásti jsou shrnuty v Tab. 8.

Tab. 8 Vybrané aplikace frézovacích nástrojů ze slinutých karbidů [28].

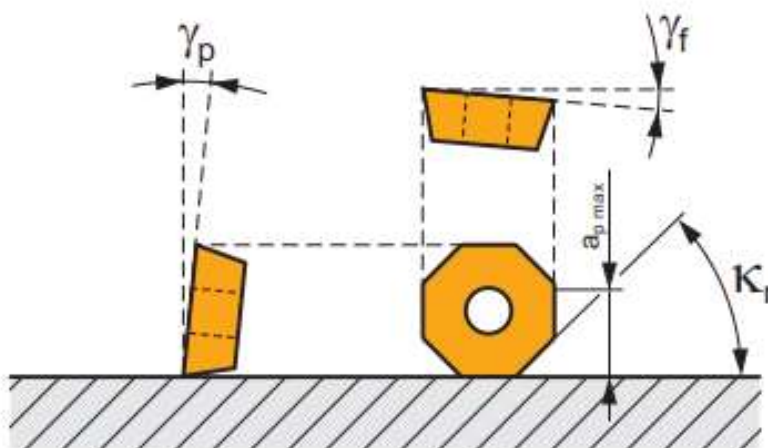
Skupina	Aplikační oblast při frézování
P10	Vysoké řezné rychlosti, malé až střední průřezy třísky
P20	Střední řezné rychlosti, střední průřez třísky
P30	Střední až nízké řezné rychlosti, střední až velký průřez třísky
P40	Malé řezné rychlosti, velký průřez třísek, velký úhel čela
M20	Střední řezné rychlosti, střední průřezy třísek
M30	Střední řezné rychlosti, střední až velký průřez třísky

Další sledovanou vlastností řezných nástrojů je geometrie jejich ostří. Obr. 11 popisuje vybrané nástrojové úhly na VBD frézy Pramet [25, 26]:

- nástrojový úhel nastavení hlavního ostří κ_r
- boční úhel čela γ_f
- zadní úhel čela γ_p

Při frézování do rohu je úhel nastavení hlavního ostří κ_r omezen geometrií součásti na hodnotu $\kappa_r = 88 - 90^\circ$, tyto frézy mají obvykle též dvojité pozitivní břitovou geometrii ($\gamma_p, \gamma_f > 0$), která umožňuje vhodné utváření třísky, zachovává stabilitu břitu a vyžaduje relativně nízký řezný výkon [28].

Pro čelní frézování rovinných ploch jsou doporučeny frézy s úhlem $\kappa_r \leq 75^\circ$, které se vyznačují nižší radiální složkou řezné síly a sníženým sklonem ke vzniku vibrací a vylamování obrobku, než koutové frézy s úhlem $\kappa = 88-90^\circ$ [28]. Výrobce Dormer Pramet nabízí většinu svých čelních fréz s úhlem nastavení $\kappa_r = 45^\circ$ [26]. Čelní frézy pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku (typicky oceli) s úhlem $\kappa_r = 45-60^\circ$ mívají zpravidla břitovou geometrii pozitivní až pozitivně-negativní ($\gamma_p > 0, \gamma_f < 0$), opět za účelem efektivního odvodu třísky z řezu a stability břitů [28].



Obr. 11 Nástrojové úhly na fréze Pramet [26].

3.3 Použití řezných kapalin

U třískového obrábění se často používají řezné kapaliny. Jejich účelem je snížení tření mezi nástrojem a obrobkem a odvod tepla z řezu. Díky tomu mohou snížit řeznou sílu a potřebný výkon, omezit tvorbu nárůstku, prodloužit trvanlivost nástroje a také zvýšit kvalitu obráběného povrchu. Řezná kapalina může dále napomáhat průběžnému čištění brusných kotoučů od nánosů třísky a vyplavování třísky při vrtání děr [25].

Použití chladicí kapaliny je doporučeno zejména u nástrojů z rychlořezných ocelí, nástroje ze slinutých karbidů díky své teplotní stabilitě mohou pracovat i bez chlazení. Pro operace pracující s vysokými řeznými rychlostmi (broušení, frézování) jsou doporučovány spíše kapaliny s vysokých chladicím účinkem (emulze), pro operace s nižšími řeznými rychlostmi (vrtání, protlačování) jsou doporučovány spíše oleje pro jejich mazací schopnost [25].

Výrobci nástrojů též dávají různá doporučení. Dormer Pramet [26] u mnoha svých VBD hodnotí vliv řezných kapalin jako neutrální až výrazně negativní, výrobce monolitních fréz ZPS doporučuje kromě použití chladicího oleje též chlazení ofukem vzduchem [27]. U brusných kotoučů Tyrolit je použití chladicí kapaliny možné, ale není vyžadováno [24].

3.4 Řezné podmínky

Základní veličinou obrábění je řezná rychlost v_c , neboli rychlost vzájemného pohybu ostří nástroje a obrobku [25]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{10^3} [m \cdot min^{-1}] \quad (7)$$

kde:

- D ... průměr obráběné plochy; v případě rotačních nástrojů průměr nástroje [mm]
 n ... otáčky hlavního řezného pohybu; v případě rotačních nástrojů se jedná o otáčky nástroje [min^{-1}]

Samotná řezná rychlost bývá zpravidla pro konkrétní kombinaci nástroj/materiál obrobku uvedena v katalogu výrobce nástrojů. Z rovnice 7 lze potom určit potřebné otáčky vřetene stroje:

$$n = \frac{v_c \cdot 10^3}{\pi \cdot D} [min^{-1}] \quad (8)$$

Vedlejší řezný pohyb je charakterizován rychlostí posuvu v_f [25, upraveno]:

$$v_f = f \cdot n [mm \cdot min^{-1}] \quad (9)$$

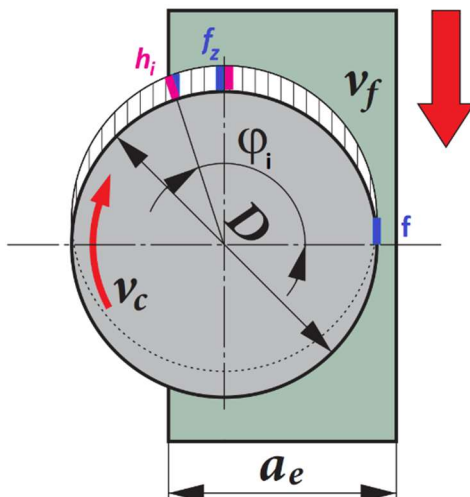
kde:

- f ... posuv na 1 otáčku vřetene [mm]

V případě vícebřitých nástrojů je hodnota posuvu na otáčku určena hodnotou posuvu na zub f_z a počtem zubů nástroje z :

$$f = f_z \cdot z \text{ [mm]} \quad (10)$$

Kinematika řezného procesu, konkrétně frézování, je zachycena na Obr. 12.



Obr. 12 Kinematika frézování [26, upraveno].

Vysvětlivky:

- a_e ... šířka záběru nástroje [mm]
- h_i ... tloušťka třísky [mm]
- φ_i ... úhel posuvového pohybu [°]

U frézování není tloušťka třísky konstantní, ale mění se s úhlem zabírajícího zubu φ . Jako určující hodnota se tedy zpravidla používá její střední hodnota h_m [28]:

$$h_m = \sin \kappa_r \cdot \frac{180}{\pi} \cdot \frac{a_e \cdot f_z}{D \cdot \arcsin\left(\frac{a_e}{D}\right)} \text{ [mm]} \quad (11)$$

Řezné podmínky uváděné v kapitole 4 jsou podmínky výchozí, které bude nutno ověřit v praxi a dále optimalizovat. U výrobců monolitních nástrojů ZPS a STIMZET byly použity doporučené tabelované hodnoty pro kombinaci konkrétního nástroje a druhu materiálu obrobku. Výrobce Dormer Pramet používá k určení vhodných výchozích řezných podmínek pro své frézy komplexní metodiku, která započítává řadu korekčních faktorů. Korekce řezné rychlosti se provádí pro zachování požadované trvanlivosti nástroje, korekce posuvu na zub pro dodržení doporučené střední tloušťky třísky [26, upraveno]:

$$v_c = v_{c0} \cdot k_{vT} \cdot k_{vHB} \cdot k_{vx} \cdot X \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (12)$$

$$f_z = f_{z0} \cdot x \text{ [mm]} \quad (13)$$

kde:

- v_{c0} ... startovní řezná rychlost [min]
- f_{z0} ... startovní hodnota posuvu na zub [mm]
- k_{vT} ... korekční koeficient pro trvanlivost nástroje; výchozí hodnota $k_{vT} = 1$ pro $T = 30$ min [-]
- k_{vHB} ... korekční koeficient dle skupiny a tvrdosti materiálu obrobku [-]
- k_{vX} ... korekční koeficient zahrnující ostatní vlivy jako stav stroje nebo přítomnost hůře obrobitelné kůry odlitků [-]
- X ... korekce řezné rychlosti pro poměr šířky záběru frézy vůči jejímu průměru a_e/D [-]
- x ... korekce posuvu na zub pro poměr šířky záběru frézy vůči jejímu průměru a_e/D [-]

Z konečné rychlosti posuvu je možné určit čas chodu stroje v automatickém režimu pro provedení konkrétní obráběcí operace [25]:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{v_f} \text{ [min]} \quad (14)$$

kde:

- t_{AS} ... čas chodu stroje v automatickém režimu (posuvu) [min]
- L ... dráha nástroje při uvažované operaci [mm]
- i ... počet přejezdů nástroje [-]

Dráha nástroje se skládá z těchto dílčích úseků [25, upraveno]:

$$L = l + l_n + l_p \text{ [mm]} \quad (15)$$

kde:

- l ... délka samotné obráběné plochy [mm]
- l_n ... náběh nástroje při najíždění do záběru [mm]
- l_p ... přeběh nástroje při vyjíždění ze záběru [mm]

V případě čelního broušení do roviny je nutno vzít v úvahu i šířku broušené plochy a axiální posuv kotouče. Počet axiálních posuvů se zaokrouhluje nahoru na celé číslo [29].

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{v_f} \cdot \frac{L_a}{f_a} \text{ [min]} \quad (16)$$

kde:

- L_a/f_a ... počet posuvů v axiálním směru potřebný k obrobení celé šířky plochy
- L_a ... šířka obráběné plochy, zvětšená o náběh a přeběh [mm]
- f_a ... posuv na zdvih v axiálním směru [mm]

4 DETAILNÍ POPIS VÝROBNÍHO POSTUPU

Následující postup odpovídá polotovaru ve formě odlitku, který firma používá v současné době. Případné odlišnosti týkající se jiných polotovarů budou rozebrány v příslušných kapitolách.

4.1 Operace 000 – Vstupní tepelné zpracování polotovaru

U jakostních litých i tvářených ocelí se zpravidla provádí normalizační žíhání. Ohřevem a krátkou výdrží nad teplotou austenitizace A_3 , obvykle 900–920 °C, dochází ke zjemnění zrna a zlepšení mechanických vlastností [14].

Po normalizaci se obvykle zařazuje žíhání na snížení vnitřního pnutí, které se v odlitku vytvořilo při tuhnutí a normalizaci. Zpravidla se provádí jako několikahodinová výdrž na teplotě 600–630 °C [14].

U obráběných ocelí s obsahem uhlíku na 0,4 % se často provádí žíhání naměkko, při kterém dochází ke zlepšení obrobiteľnosti. Žíhání naměkko se zpravidla provádí při teplotách pod A_1 , prodleva na teplotě trvá 3–4 hodiny pro uhlíkové oceli a déle pro legované. U ocelí s obsahem uhlíku pod 0,4 % se žíhání naměkko nedoporučuje [14]. Vzhledem k hraničnímu obsahu uhlíku u materiálů zvolených pro součást je na místě konzultace s dodavatelem, který bude tepelné zpracování provádět.

U odlitků je možno provést též homogenizační žíhání, jehož smyslem je vyrovnat nekonzistenci chemického složení po tuhnutí. Homogenizační žíhání se provádí při vysokých teplotách (1100–1150 °C) po dlouhou dobu (10–15 h). Při tomto procesu zhrubne austenitické zrno, proto je vhodné zařadit homogenizační žíhání před normalizační, které naopak velikost zrna zjemňuje [14].

Detailní postup tepelného zpracování musí stanovit pověřený odborník na straně subdodavatele. Společnost ALFAPROJ nemá vlastní provoz k provedení tepelného zpracování, tento úkon bude muset provést dodavatelská firma.

4.2 Operace 010 – Omílání

Omílání je technologie mechanického opracování součástí pomocí drobných tělísek, která vede k odstranění otřepů, sražení ostrých hran, zlepšení drsnosti a vyčištění povrchu. Do omílacího procesu je možno přidat aditiva, která kromě zlepšení výsledků omílání mohou kupříkladu odstranit ze součásti mastnoty [39]. Společnost Alfa – Proj disponuje vlastním strojním zařízením, omílání tedy nebude potřeba delegovat do jiných podniků.

Polotovary součásti, zejména tvarové výpalky po laserovém řezání mohou mít na hranách otřepy [6], kterých je možné se zbavit právě omíláním. Omílání se často provádí i u odlitků [11]. Pro odstranění otřepů je doporučeno použít tělíska s výraznými hranami (trojhránky, hvězdice, kužely) a spíše větších velikostí, která dosahují vyššího výkonu opracování. V tomto stadiu bude vhodné též zařadit odmašťovací přípravek pro odstranění ochranných maziv, kterými bývají hutní polotovary ošetřeny. U této operace není přísnější požadavek na jakost povrchu, doba omílání 30 minut bude pro tento účel dostatečná [39].

4.3 Operace 020 – příprava základen

Při této operaci jsou srovnány boční plochy součásti (C1, C2, C3, C4) na konstantní tloušťku a vzájemnou rovnoběžnost, aby mohly nadále sloužit jako základny pro další operace. Jako hrubé základny pro tuto operaci poslouží samotné neobrobené boční plochy (C1, C2, C3, C4). Součást bude nutno upnout nejdříve z jedné a poté i z druhé strany. Boční plochy je možno zarovnat frézováním nebo hrubým rovinným broušením.

Množství odebraného materiálu je dáno záměrem srovnat boční plochy polotovaru do roviny. V Tab. 9 jsou uvedeny úchytky rozměrů a rovinnosti ploch pro odlitky vyráběné metodou vytavitelného modelu dle normy ČSN EN ISO 8062-3 [22] a plechy válcované za tepla dle ČSN EN 10029 [23]. Pro odlitky je uvedena i doporučená hodnota přídavku na obrábění. Úchytky rovinnosti pro takto malé úseky plechu není definována, je tedy použita aproximace pro kusy větší 300 mm (a sice 1,5 % z délky polotovaru 50 mm).

Tab. 9 Vlastnosti plechových a litých polotovarů.

Parametr		Plech	Odlitek
Dovolená odchylna nominální tloušťky [mm]		0,90 -0,50	±0,40
Dovolená odchylna rovinnosti [mm]		0,75	0,40
Doporučená hodnota přídavku na obrábění [mm]	1 strana	–	0,40
	2 strany	–	0,80

Pro polotovar ve formě odlitku je tedy možno zvolit hloubku odebrané vrstvy rovnou uvedenému přípravku na obrábění. Díky tomu budou odstraněny možné nerovnosti plochy a rozměrová nepřesnost odlitku a zároveň bude netolerovaná boční plocha palečníku (C4) obrobena na konečný rozměr. Hodnoty dovolených tolerancí pro plechy jsou výrazně širší. Za účelem úplného odstranění možných nepřesností tvaru a rozměru bude tedy nutno odebrat vrstvu o tloušťce alespoň 0,75 mm z každé strany.

V této operaci vyrobená plocha bude ještě dál obráběna, prioritou je tedy zkrácení výrobního času. Vzhledem k velkému úběru a minimálním požadavkům na drsnost povrchu je možno volit hrubší zrnitost kotouče. Na hrubovací broušení nekalené oceli jsou doporučeny následující parametry brusného kotouče [21,0]:

Zrnitost:	Střední, rozsah 30–60
Materiál:	Syntetický korund (Al_2O_3)
Pojivo:	Keramické
Tvrdost:	Měkká až střední (stupně H–O)

Rovinné broušení, které je ve firmě v současné době používanou technologií, je možno realizovat tangenciálně (obvodem kotouče) nebo čelně (čelem kotouče). Čelní broušení je zpravidla výkonnější [25, 29] (je zde větší kontaktní plocha), nicméně v konkrétním případě by vyžadovalo nákup stroje navíc, a sice vertikální brusky. Ve strojovém parku společnosti ALFAPROJ se nachází několik konvenčních brusek pro broušení na plocho s horizontální osou vřetene, uvažovaný maximální rozměr kotouče je 300×25 mm.

Na základě výše jmenovaných parametrů lze zvolit např. kotouč typ 421142 značky Tyrolit [24]:

označení dle ČSN ISO 525:	1 250×25×76 98A 46 J 9 V 40
rozměry:	250×25

materiál:	synt. korund, keramické pojivo
maximální obvodová rychlost:	40 m·min ⁻¹
obráběné materiály:	oceli do 55 HRC
	korozivzdorné oceli

Tab. 10 popisuje doporučené podmínky broušení a výsledné strojní časy pro varianty polotovaru ve formě odlitku a plechu.

Tab. 10 Parametry broušení bočních ploch surového polotovaru

Nastavení stroje		Parametry broušení		
v_s [m·s ⁻¹]	35	Polotovar:	Odlitek	Plech
v_f [m·min ⁻¹]	25	h [mm]	0,4	0,75
q [-]	80	i [-]	16	30
f_r [mm]	0,025	f_a [mm]	17	17
b_s [mm]	25	l_a/f_a [-]	2	2
Broušená plocha		t_i [min]	0,0044	0,0044
L [mm]	110	t_{AS} [min]	0,1408	0,2640
B [mm]	35	$2 \cdot t_{AS}$ [min]	0,2816	0,5280

Alternativou je tedy srovnání bočních ploch frézováním. Upnutí je možno provést přípravkem jako na Obr. 13. V tomto případě se jedná o rovinné frézování, které se zpravidla provádí čelem frézy o velkém průměru v rozsahu přibližně 1,2–1,5 násobku šířky frézované plochy [28]. Výhodou frézování oproti broušení v tomto případě je, že fréza může odebrat celou hloubku obráběné vrstvy h na jeden průjezd, i v případě plechového polotovaru. Parametry vhodných fréz značky Pramet jsou shrnuty v Tab. 11 a Tab. 12. Předběžný odhad dráhy nástroje v záběru je $L = 100$ mm.

Tab. 11 Čelní frézy pro srovnání bočních ploch součástí.

Typ	VBD	D [mm]	Počet ostří	K_r	Řezný materiál	Cena bez DPH
SHN06C	HNGX 0604ANSN-M	40,0	4	45°	SK typ 8340	9 065 Kč
SOD05	ODKT 0505ADSR-FM	42,6	4	45°	SK typ 8330	9 356 Kč
SSE 09	SEMT 09T3AFSN	40,0	4	45°	SK typ 8340	8 834 Kč

Tab. 12 Srovnání řezných parametrů výše jmenovaných fréz.

Typ	D [mm]	v_c [m·min ⁻¹]		n [min ⁻¹]		f_z [mm]		v_f [mm·min ⁻¹]		t_{AS} [min]	
		M	P	M	P	M	M	P	M	P	M
SHN06C	40,0	340	200	2706	1592	0,220	0,220	2381,0	1400,6	0,042	0,071
SOD05	42,6	270	150	2017	1121	0,223	0,223	1795,5	997,5	0,056	0,100
SSE 09	40,0	250	150	1989	1194	0,220	0,220	1750,7	1050,4	0,057	0,095

Po frézovacích (a vrtacích) operacích je implicitně zařazeno odjehlení. To je ve společnosti ALFAPROJ standardně prováděno manuálně pomocí ručních odjehlovacích nástrojů (škrabáků), odjehlování proto není zahrnuto do kalkulací strojních časů.

Výrobci nástrojů vyjadřují jak v případě frézování (Pramet), tak i broušení (Tyrolit) ambivalentní stanovisko vůči použití řezných kapalin [24, 26]. Použití řezné kapaliny bude tedy v obou případech vycházet z empirické zkušenosti, použitým druhem kapaliny bude v obou případech emulze [25].

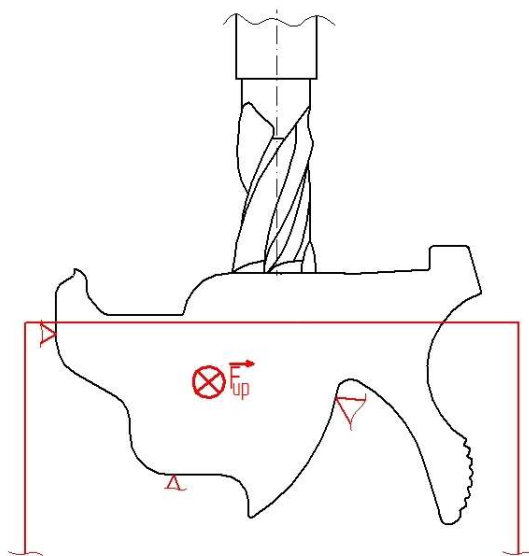


Obr. 13 Přípravek pro frézování bočních ploch

4.4 Operace 030 – obrábění čelních ploch

Během této operace se nabízí možnost na jedno upnutí a jedním nástrojem obrobit tři plochy na čele součásti (B1, B2, B5), které mohou nadále sloužit jako základny při dalších operacích. Mezi plochou B1 a B3 je ostrý vnitřní roh, do kterého zasahuje vtok, který je potřeba zcela odstranit. Tento důvod prakticky vylučuje obrábění obvodem válcové frézy.

Čelní frézování je možno provádět středem frézy o průměru v rozsahu přibližně 1,2-1,5 násobku šířky frézované plochy [28]. Alternativou je frézování mimo osu frézy o velkém průměru (poměr a_e/D dle doporučení výrobce). Jako základny je možno využít zadní neobráběné plochy součásti (X1, X3, X4) a již zarovnané boční plochy (C1, C2, C3, C4). Poloha a přípravek jsou znázorněny na Obr. 14. Vektor $\vec{F}_{up}$ značí upínací sílu přípravku.



Obr. 14 Frézování čelních ploch.

Tab. 13 a Tab. 14 srovnávají frézy, kterými je možno čelní plochy obrábět. Jedná se o koutové a čelní frézy s VBD značky Pramet [26] a monolitní koutové frézy ZPS [27]. Předběžná dráha nástroje v záběru je $L = 40 \text{ mm}$. Výrobce ZPS použití řezné emulze doporučuje, v případě použití nástrojů Pramet bude otázka jejího použití vyhodnocena na základě empirické zkušenosti.

Tab. 13 Frézy pro frézování čelních ploch kohoutu.

Typ	κ_r	Výrobce	VBD	Průměr [mm]	Počet ostří	Řezný materiál	Cena bez DPH
SAP 16D	90°	Pramet	APKT 16 GM	32,0	3	SK 8230	8 141 Kč
SAD 16E	90°	Pramet	ADMX 11 M	32,0	3	SK 8230	7 662 Kč
SAP 10D	90°	Pramet	APKT 10	10,0	1	SK 8230	4 534 Kč
SAD 07E	90°	Pramet	ADMX 07 M	10,0	2	SK 8230	4 870 Kč
SHN06C	45°	Pramet	HNGX 06	32,0	3	SK 8430	8 285 Kč
SOD 05	45°	Pramet	ODKT 05	32,6	3	SK 8330	8 462 Kč
1245P	90°	ZPS	-	16,0	4	HSSCo8	1 112 Kč
	90°	ZPS	-	32,0	6	HSSCo8 + AlTiN	4 047 Kč
S1004	90°	ZPS	-	12,0	2	SC+AlTiN	817 Kč
	90°	ZPS	-	20,0	2	SC+AlTiN	2 145 Kč

Tab. 14 Srovnání řezných parametrů výše jmenovaných fréz.

Typ	D [mm]	$v_c [\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$		$n [\text{min}^{-1}]$		$f_z [\text{mm}]$		$v_f [\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}]$		$t_{AS} [\text{min}]$	
		M	P	M	P	M	M	P	M	P	M
SAP 16D	32,0	370	220	3680	2188	0,399	0,399	4405,5	2619,5	0,009	0,015
SAD 16E	32,0	370	220	3680	2188	0,333	0,333	3671,3	2182,9	0,011	0,018
SAP 10D	10,0	300	180	9549	5730	0,220	0,220	2100,8	1260,5	0,019	0,032
SAD 07E	10,0	250	150	7958	4775	0,106	0,106	1680,7	1008,4	0,024	0,040
SHN06C	32,0	400	240	3979	2387	0,333	0,333	3968,9	2381,4	0,010	0,017
SOD 05	32,6	320	180	3125	1758	0,333	0,266	3116,7	1402,5	0,013	0,029
1245P	16,0	39	15	776	298	0,070	0,070	217,2	83,6	0,184	0,479
	32,0	39	15	388	149	0,120	0,120	279,3	107,4	0,143	0,372
S1004	12,0	120	80	3183	2122	0,053	0,053	337,4	224,9	0,119	0,178
	20,0	120	80	1910	1273	0,067	0,067	255,9	170,6	0,156	0,234

4.5 Operace 040 – výroba děr

Cílem této operace je zhotovit válcové otvory A1, A2, A3. Při vrtání běžnými šroubovitými vrtáky je možno dosáhnout střední rozměrové přesnosti na úrovni IT 13 [25], což je postačující přesnost pro netolerovanou díru A3. Díry A1 a A2 jsou tolerované na stupni IT 8, bude tedy nutné je dokončit přesnější technologií.

Vzhledem k malému průměru děr se jako vhodná konstrukce vrtáku nabízí monolitický šroubovitý (vrtáky s VBD se v této velikosti prakticky nevyrábějí). Šroubovitě vrtáky se vyrábějí s ostřím z rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů. Tab. 15 zachycuje srovnání řezných podmínek pro vrtáky z nástrojových ocelí a slinutých karbidů při vrtání otvoru A3. Vrtací nástroje dodává český výrobce M&V spol. s r.o. pod značkou STIMZET. Nástroje i podmínky obrábění jsou voleny na základě katalogů výrobce [31]. Dráha nástroje včetně náběhů a přeběhů je $L = 14 \text{ mm}$.

Vrtáky ze slinutých karbidů zde dosahují vyššího výkonu a nižšího výrobního času, zejména při obrábění varianty součásti z korozivzdorné oceli. Vrták ze SK dle normy DIN 6535 je vhodný k obrábění ocelí nelegovaných i korozivzdorných, použití HSS vrtáků vyžaduje nákup dvou typů – jeden pro nelegovanou ocel (ČSN 221182), jeden pro korozivzdornou (PN 2905 T 1000). Nevýhodou je výrazně vyšší cena SK vrtáků.

Tab. 15 Srovnání parametrů vrtáků z nástrojových ocelí a slinutých karbidů [31,32,33,34].

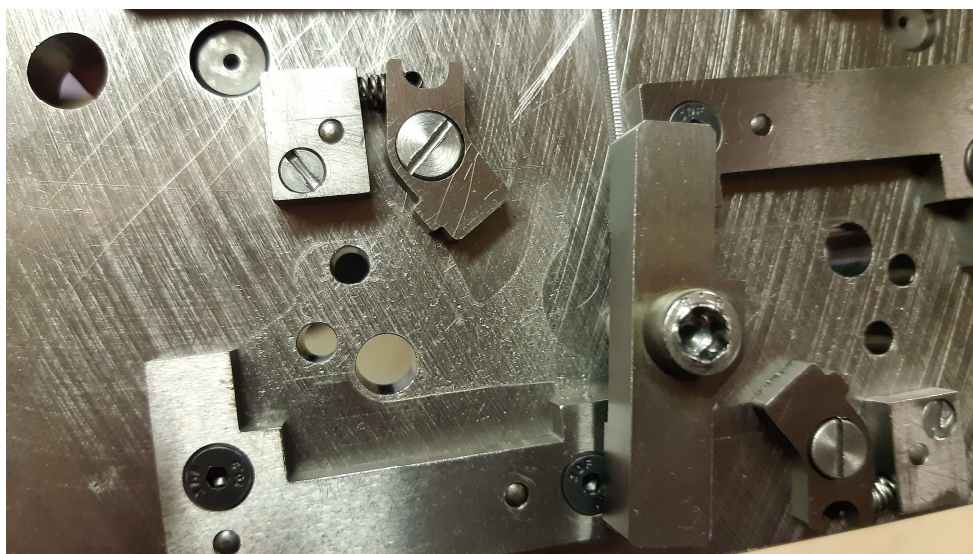
Nástroj, materiál	Materiál obrobku	Díra	v_c [m·min ⁻¹]	f [mm]	n [min ⁻¹]	t_{AS} [min]	Pořizovací cena
ČSN 221182, HSS	P	A1	33	0,080	2760	0,063	26,90 Kč
		A2		0,100	1750	0,080	38,60 Kč
		A3		0,080	2620	0,067	26,90 Kč
PN 2905 T 1000, HSSCo	M	A1	9	0,063	750	0,295	48,00 Kč
		A2		0,080	480	0,367	65,60 Kč
		A3		0,063	720	0,310	48,10 Kč
DIN 6537, SK	P	A1	80	0,150	6700	0,014	682,00 Kč
		A2		0,220	4240	0,015	682,00 Kč
		A3		0,150	6370	0,015	682,00 Kč
DIN 6537, SK	M	A1	40	0,090	3350	0,046	682,00 Kč
		A2		0,120	2120	0,055	682,00 Kč
		A3		0,090	3180	0,049	682,00 Kč

Součást bude v následujících operacích podrobena zušlechťení, u kterého může dojít k její deformaci. Z tohoto důvodu bude vhodné neprovádět operace dokončení děr A1 a A2 na přesný rozměr v této fázi, ale až po tepelném zpracování.

Pro vrtání děr na NC strojích ještě výrobce doporučuje použít navrtávacích vrtáků, v případě ocelových obrobků s vrcholovým úhlem 120° o průměru 0,5–0,7 násobku průměru vrtané díry [35]. 1 ks navrtávaku typ ZVSE 221189 o průměru $\varnothing$ 3 mm bude možno použít pro všechny tři díry u obou materiálů variant.

Jako hlavní základna pro upnutí součásti bude použita boční plocha (C), vůči které je zároveň tolerována kolmost díry A1. Dalšími základnami budou plochy B2 a B5, které mají od otvoru A1 tolerovanou vzdálenost a neobráběná plocha ve spodu součásti. Stejným způsobem funguje v současné době používaný přípravek zachycený na Obr. 15.

Pro vrtání je doporučeno použití řezných kapalin, konkrétně řezných olejů [25]. Pokud má být vrtání provedeno na stejném stroji jako frézovací operace, představuje použití dvou různých obráběcích kapalin logistickou komplikaci. Na základě praktické zkušenosti tedy bude rozhodnuto, jestli bude při vrtání možno použít emulzi jako při frézování, nebo bude potřeba najít jiné řešení.



Obr. 15 Přípravek pro vrtání děr. Otištěná silueta ukazuje pozici obrobku.

4.6 Operace 050 – obrábění bočních ploch

V této operaci budou obrobeny boční plochy C1, C2, C3, C4. V případě plochy C1 se jedná o rovinné frézování, u ploch C2, C3 a C4 půjde o takzvané frézování do rohu. Je zde několik omezení výběru nástroje:

- Plocha C2 je vůči okolním plochám zapuštěná, což omezuje použitelný průměr frézy. Šířka plochy v nejužším místě je 17,9 mm, největší možný z obvyklých průměrů fréz je tedy 16 mm.
- Zatímco přechod mezi plochami C2 a C1 je ostrý schod, mezi plochami C2 a C4 je zaoblení o poloměru R0,5 mm. Ani jeden z přechodů však není explicitně tolerován.

Frézy pro frézování do rohu mají úhel hlavního ostří $\kappa_r = 88\text{--}90^\circ$ a zpravidla dvojité pozitivní geometrii břitu. Jako možná řešení byly vybrány frézy v Tab. 16. Frézy výrobce Pramet mají vyměnitelné břitové destičky, zatímco frézy výrobce ZPS jsou monolitické.

Tab. 16 Výběr fréz pro obrábění boku kohoutu [26,27].

Typ	Výrobce	VBD	Počet ostří	Řezný materiál	Cena bez DPH
SAP 10D	Pramet	APKT 10	2	Povlak. SK typ 8230	6083 Kč
SAD 11E	Pramet	ADMX 11 M	2	Povlak. SK typ 8230	5663 Kč
1245P	ZPS	-	4	HSSCo8 + AlTiN povl.	1112 Kč
S1004	ZPS	-	2	SK + AlTiN povlak	1375 Kč
S1406	ZPS	-	4	SK + AlTiN povlak	2376 Kč

Tab. 17 Řezné podmínky pro uvažované frézy uvádí řezné podmínky pro uvažované nástroje určené na základě katalogů výrobců [26,27]. U fréz Pramet je uvažována trvanlivost ostří $T = 30$ min, výrobce ZPS s trvanlivostí nástrojů nepočítá. Frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami zde dosahují podstatně vyšších výkonů a nižších výrobních časů než frézy monolitické. Jsou ovšem násobně dražší. Otázka volby obráběcí kapaliny podléhá stejným faktorům, jako u operace 030 (kapitola 4.4).

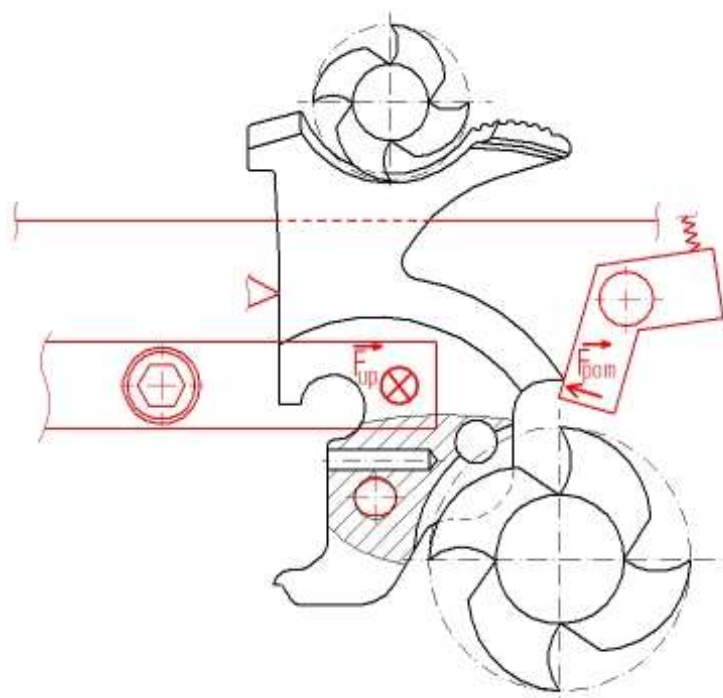
Tab. 17 Řezné podmínky pro uvažované frézy [26,27].

Typ	v_c [m·min ⁻¹]		n [min ⁻¹]		f_z [mm]		v_f [mm·min ⁻¹]		t [min]	
	P	M	P	M	P	M	P	M	P	M
SAP 10D	350	209	6963	4158	0,333	0,333	4637,4	2769,2	0,072	0,123
SAD 11E	330	199	6565	3959	0,239	0,239	3138,1	1892,4	0,106	0,180
1245P	39	15	776	298	0,070	0,070	217,2	83,6	1,565	4,067
S1004	120	80	2387	1592	0,053	0,053	253,1	168,7	1,343	2,015
S1406	175	90	3482	1790	0,080	0,080	1114,1	573,0	0,305	0,593

Obrobek bude frézován v poloze boční plochou C1 položenou na stole, kdy plochy čela (B2, B5) budou sloužit k vymezení polohy a spolu se zadními plochami k pevnému sevření součásti. Přípravek je vyobrazen na Obr. 13.

4.7 Operace 060 – Frézování ploch D1, D2, D3

Plochy D1, D2 a D3 je možno při vhodně navrženém přípravku frézovat na jedno upnutí. Plochy budou frézovány v poloze osy vřetene frézky kolmo k boku součásti (C1), upnutí bude provedeno za boční plochy C1, díru A1 a dosedací plochu B1.



Obr. 16 Návrh přípravku pro obrábění ploch D1, D2, D3.

4.8 Operace 061 – Frézování drážky táhla bicí pružiny

Drážka D4 je velmi úzká a hluboká. Většina standardních fréz je buď příliš široká, nebo má nedostatečný průměr. Z běžně vyráběných fréz se na obrobení drážky svými rozměry hodí frézy pro obrábění drážek úsečových (Woodrufových) per.

Z nabídky výrobce ZPS se konkrétně jedná o řadu 3200. Tento typ frézy z materiálu HSSCo5 ovšem dle výrobce není určen k obrábění korozivzdorných ocelí [27] a pro

tento účel se ani nepodařilo najít vhodnou alternativu. Je tedy nutná přímá konzultace s výrobcem za účelem nalezení možného řešení:

- Ověřit použitelnost frézy typu 3200 pro obrábění materiálů sk. M. Jinými nástroji z materiálu HSSCo5 totiž je možné korozivzdorné oceli vyrábět.
- Zjistit možnost výroby vhodné speciální frézy, kterou by bylo možno tyto materiály obrábět. Pokud to bude možné, tak frézu vyrobit z vhodnějšího materiálu – povlakovaný slinutý karbid bude pravděpodobně dosahovat vyššího řezného výkonu (viz. Tab. 18) než původní HSSCo5 materiál.

Tab. 18 Vlastnosti frézy zyp ZPS 3201 [27].

D [mm]	v_c [m·min ⁻¹]	f_z [mm]	Cena [37]
27	28	0,048	940 Kč

4.9 Operace 062 – Frézování hřbetu kohoutu

Hřbet kohoutu je tvořen dvěma plochami – válcovou plochou D2 a dvojité zaoblenou plochou D3. Obě plochy se nabízí obrobit radiální frézou s vydutým ostřím. Plocha D3 ovšem představuje oblouk o průměru menším, než je obvyklý průměr standardně vyráběných fréz tohoto účelu, např. ZPS typ 8200V (půlkruhové frézy na kov jsou obvykle nabízeny jako nástrčné). Zde je tedy nutné nechat vyrobit speciální frézu malého průměru (do 20 mm), vzhledem k malému poloměru zaoblení plochy D3 nejspíše stopkovou.

Výrobce ZPS tyto frézy standardně vyrábí z materiálu HSSCo5, kterým lze obrábět materiály skupin P i M, nicméně za účelem zvýšení produktivity by bylo na místě nechat vyrobit nástroj ze slinutých karbidů. Orientační parametry fréz typu 8200V jsou uvedeny v Tab. 19.

Tab. 19 Frézy půlkruhové vyduté typ ZPS 8200V [27].

Plocha	D [mm]	v_c [m·min ⁻¹]		f_z [mm]		Cena [36]
		P	M	P	M	
D2	63	18	10	0,1	0,1	2 183 Kč
D3						1 855 Kč

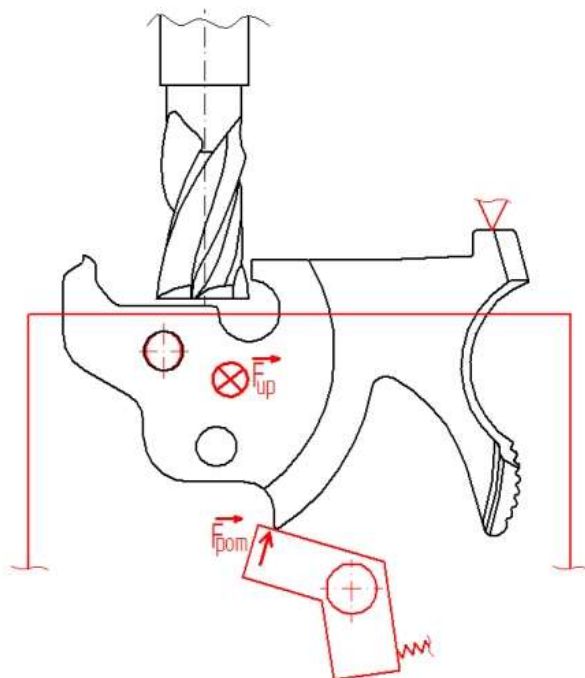
4.10 Operace 070 – Frézování dorazu klapky

Doraz klapky (plocha B4) je možno frézovat ve dvou polohách:

- frézou válcovou s osou kolmo na bok kohoutu (plochy C1, C2...). Vzhledem k rozměrům součásti by však fréza musela být velmi malá (průměr 4 mm), aby bylo možno celou plochu B4 vyfrézovat do roviny.
- válcově-čelní frézou s rohovou geometrií ($\kappa_r = 90^\circ$), v poloze kdy osa frézy je rovnoběžná s osou díry A4. Toto řešení limituje velikost frézy na větší průměr (10 mm), navíc je možno v této poloze následně vyvrtat díru A4 bez nutnosti změny upnutí. V této poloze bude rovněž jednodušší realizovat upnutí více součástí zároveň.

Samotná operace frézování bude trvat velmi krátce, za účelem zvýšení produktivity je tedy na místě použít přípravek, který umožní upnutí více kusů zároveň. Ustavení do

přípravku je možno provést za díru A1 a čelní plochu B2 a samotné upnutí za boční plochy C1. Vhodné frézy a jejich vlastnosti popisují Tab. 20 a Tab. 21. Návrh přípravku je vyobrazen na Obr. 17. Otázka volby obráběcí kapaliny podléhá stejným faktorům, jako u operace 030 (kapitola 4.4).



Obr. 17 Přípravek pro obrábění plochy B4 a vrtání díry A4.

Tab. 20 Vlastnosti fréz pro obrábění plochy B4 [26,27].

Typ	Výrobce	VBD	Počet ostří	Řezný materiál	Cena bez DPH
SAP 10D	Pramet	APKT 10	1	SK 8230	4 534 Kč
SAD 07E	Pramet	ADMX 07 M	2	SK 8230	4 870 Kč
1245P	ZPS	-	4	HSSCo8	692 Kč
S1004	ZPS	-	2	SC+AlTiN	748 Kč

Tab. 21 Podmínky obrábění při frézování plochy B4 [26,27].

Typ	v_c [m·min ⁻¹]		n [min ⁻¹]		f_z [mm]		v_f [mm·min ⁻¹]		t [min]	
	M	P	M	P	M	M	P	M	P	M
SAP 10D	300	180	9549	5730	0,220	0,220	2100,8	1260,5	0,014	0,024
SAD 07E	250	150	7958	4775	0,106	0,106	1680,7	1008,4	0,018	0,030
1245P	39	15	1241	477	0,035	0,035	173,8	66,8	0,173	0,449
S1004	120	80	3820	2546	0,033	0,033	252,1	168,1	0,119	0,178

4.11 Operace 071 – Vrtání díry A4

Díra A4 je netolerovaná a její výroba tedy nevyžaduje specifická opatření. Díru není nutno vrtat na CNC stroji, spojením této operace s předešlou (frézování plochy B4) ovšem odpadá nutnost zavedení zvláštního pracoviště pro vrtání, opakovaného upnutí, transportu materiálu a jiné starosti. Tuto operaci není možno do

technologického postupu zařadit dříve než frézovací operaci 070, která teprve vytvoří čelo, do kterého bude otvor vrtán.

Díru lze v podstatě vrtat stejnými typy vrtáků jako ostatní díry (kapitola 0). Vrták ze slinutého karbidu nejspíš nebude možno využít na jeho plný potenciál kvůli omezení otáček vřetene obráběcích strojů (volena obvyklá hodnota $10\,000\text{ min}^{-1}$), nicméně i tak dosáhne násobně nižšího strojního času. Otázka volby obráběcí kapaliny podléhá stejným faktorům, jako u operace 040 (kapitola 4.5).

Tab. 22 Vlastnosti vrtáků pro vrtání díry A4 [31,32,33,34].

Typ, materiál vrtáku, povlak	v_c [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]		f [mm]		n [min^{-1}]		t_{AS} [min]		Pořizovací cena
	P	M	P	M	P	M	P	M	
ČSN 221182, HSS	33	–	0,040	–	5000	–	0,060	–	21,00 Kč
PN 2905 T 1000, HSSCo	–	9	–	0,032	–	1360	–	0,276	66,10 Kč
DIN 6535 3D, SK, TiAlN	80	40	0,090	0,070	10000	6060	0,013	0,028	682,60 Kč

4.12 Operace 080 – Omílání

Do této fáze výrobního postupu je omílání zařazeno za účelem odstranění otřepů po obrábění a pro vizuální sjednocení pohledových ploch součásti (odstranění stop po obráběcích nástrojích, zejména u ploch C1 a C2). Pro omílání za účelem snížení drsnosti povrchu jsou doporučena omílací tělíska menších velikostí ve tvaru kuliček, materiálem může být sklo, keramika nebo ocel [39].

Na konci výrobního postupu bude součást podrobena leštění, které vyžaduje povrch předem upravený na nízkou drsnost. Omíláním po dostatečně dlouhou dobu (2 hodiny) lze při správném nastavení procesu dosáhnout drsnosti povrchu až $Ra\,0,4\,\mu\text{m}$ [39], která je pro přípravu povrchu před leštěním dostatečná [40].

4.13 Operace 090 – Tepelné zpracování

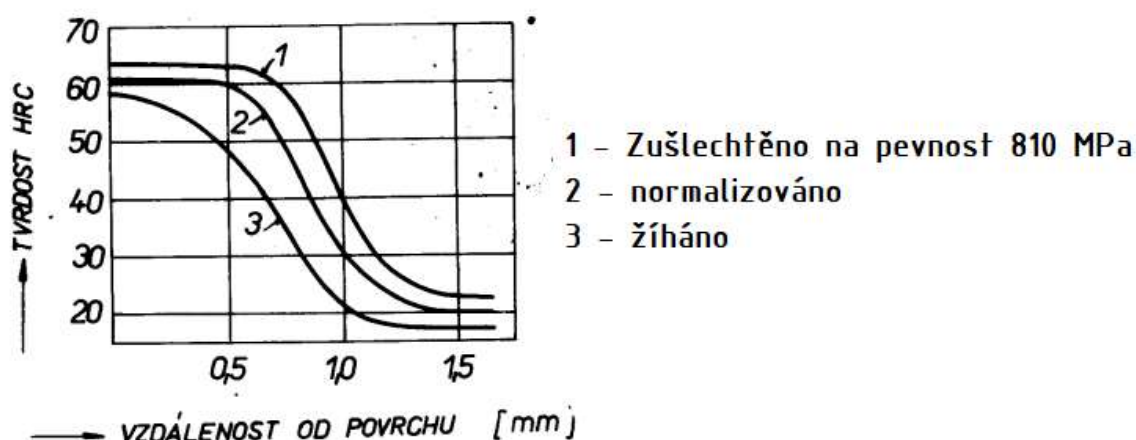
U součásti je požadováno zušlechťování povrchu na tvrdost $48 + 5\text{ HRC}$. Vhodné parametry tepelného zpracování (teplota kalení, výdrž na teplotě, chladicí médium, teplota popouštění aj.) se volí na základě materiálu, tvaru a velikosti obrobku, požadovaných mechanických vlastností hotového výrobku a dalších okolností [14]. Doporučené hodnoty těchto parametrů zpravidla bývají předepsány v materiálových listech. Orientační parametry zušlechťování ocelí navržených k výrobě součásti jsou uvedeny v Tab. 23.

Tab. 23 Doporučené podmínky pro zušlechťování vybraných ocelí [16].

Třída oceli	Kalící teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Ochlazovací médium	Popouštěcí teplota [$^{\circ}\text{C}$]	Popouštěcí prostředí
12050	830–860	olej	530–670	vzduch
	800–830	voda		
422660	830–860	voda, olej	550–650	pec, vzduch
422906	930–950	olej	700–730	vzduch
X39Cr13	1000–1100	olej, vzduch	650–700	–
X46Cr13	950–1050	olej, vzduch	650–700	–

Určení kompletního postupu a parametrů tepelného zpracování je poněkud nad rámec této práce, společnost Alfaproj navíc ani nedisponuje vlastním pracovištěm tepelného zpracování. Pro přesné určení postupu tepelného zpracování bude nutná konzultace se specialistou u externí dodavatelské firmy.

Důležitou otázkou je ovšem volba způsobu zušlechtění. Kalení lze v principu provádět v celém objemu součásti, nebo pouze v povrchové vrstvě. Při povrchovém kalení je vytvrzena pouze vrstva na povrchu součásti o kýžené hloubce, zatímco jádro součásti zůstává houževnaté. Povrch součásti poté vykazuje vysokou mez únavy a odolnost proti opotřebení a součást jako celek dosahuje zvýšené odolnosti proti rázovému namáhání [14]. Takový je i záměr při výrobě v této práci uvažované součásti. Ukázkový průběh tvrdosti u povrchově zušlechtěné součásti v závislosti na hloubce ilustruje Obr. 18.



Obr. 18 Ukázka tvrdosti povrchově zušlechtěné oceli v závislosti na hloubce [14, upraveno].

Povrchové kalení vyžaduje rychlý a intenzivní ohřev povrchové vrstvy součásti (řádově 10^2 °C/s) na teplotu o cca 200 °C vyšší v porovnání s objemovým kalením. Díky vysoké rychlosti ohřevu nedojde k prohřátí objemu součásti a v povrchové vrstvě dojde k vytvoření jemné austenitické struktury, která po zakalení vytvoří jemnozrnnou martenzitickou strukturu s vyšší tvrdostí i houževnatostí v porovnání s objemovým kalením [13].

Ohřev malých součástí na kalicí teplotu lze realizovat dvěma hlavními způsoby [13]:

- 1 Indukční ohřev, při kterém je součást vystavena intenzivnímu střídavému magnetickému poli, které v součásti indukuje vířivé proudy. Vířivé proudy způsobují prudký ohřev, jehož rychlost stoupá směrem k povrchu součásti. Volbou frekvence proudu je možno regulovat hloubku prohřáté vrstvy typicky v rozsahu 1–6 mm.
- 2 Ohřev laserovým paprskem, který díky vysoké koncentraci energie umožňuje ohřev rychlostmi až 10^4 – 10^6 °C/s. Díky rychlosti ohřevu vzniká velmi jemnozrnná struktura, hloubka transformované vrstvy se pohybuje v rozsahu 0,2–0,8 mm. Deformace a vnitřní pnutí v součásti jsou minimální. Laser rovněž umožňuje selektivně ohřívat pouze vybrané plochy součásti.

Schopnost laseru ohřívat pouze vybrané plochy součásti v tomto případě nejspíš nebude efektivně využita, neboť namáhané plochy vyžadující zušlechtění tvoří významnou část povrchu součásti (jednalo by se o plochy B1, B2, B4, B6, 2·C1,

A1–A3). Ke spoustě těchto ploch je pro laserový paprsek špatný přístup a pro postupný ohřev všech dotčených ploch by bylo nutno několikrát změnit polohu součástí.

Indukční ohřev se kvůli vysoké počáteční investici vyplácí zejména u větších sérií výrobků a v hromadné výrobě, u laseru je nutno dále počítat i s vysokými náklady na provoz [13]. Indukční ohřev se tedy jeví jako vhodnější jak po stránce technické, tak i ekonomické.

Při zušlechťování může v důsledku tepelných a strukturních pnutí v materiálu dojít k deformaci součástí. Ačkoli určení konkrétních hodnot deformací jednotlivých tvarových prvků součástí by vyžadovalo simulaci pro konkrétní geometrické a materiálové parametry, na základě již provedených experimentů lze u součástí této velikosti orientačně počítat s deformací rozměrů v rozmezí 0,01–0,02 mm [10]. Z tohoto důvodu jsou operace dokončování přísně tolerovaných rozměrů zařazeny do postupu až po zušlechťení.

4.14 Operace 100 – Dokončení tolerovaných děr

Dokončovací operace tolerovaných děr A1 a A2 byla zařazena až po tepelném zpracování, aby se předešlo teplotním deformacím již hotových otvorů. Dokončení děr na přesný rozměr (stupeň IT8) může být provedeno např. vystružením nebo protahováním/protlačováním.

Díra A2 v tuto chvíli již nemá materiál po celém obvodu, obrábění výstružníkem by tedy znamenalo přerušovaný řez, tedy riziko vibrací a neodpovídající kvalitu vystružené díry. Jako vhodnější se tedy jeví technologie protahování/protlačování.

Protahování/protlačování je produktivní technologie dokončování tvarových děr a profilů. Obrobek je zpravidla nepohyblivě upnut, zatímco vícebřitý nástroj (trn) koná translační pohyb. Ukázka protlačovacího nástroje je na Obr. 19. Obvykle je v záběru několik po sobě jdoucích ostří (zubů) nástroje, rozměrově odstupňovaných podle předepsané tloušťky odebírané třísky (hodnota posuvu na zub zde odpovídá právě rozdílu rozměru po sobě jdoucích zubů). U protahování se používá nástroj dlouhý až 2000 mm, namáhaný na tah, v případě protlačování je nástroj kratší (do 500 mm) a namáhaný na tlak a vzpěr. Vzhledem k malé délce protlačovaného otvoru bude vhodnější zvolit metodu protlačování, která rovněž nevyžaduje použití speciálního stroje (protahovačky) [29].

Vzhledem ke specifickým rozměrům a lícování protlačovaných děr bude pravděpodobně nutné nechat vyrobit speciální protlačovací nástroje na míru. Obvykle používaným materiálem jsou rychlořezné oceli, které mohou být povlakovány pro zvýšení trvanlivosti [29]. Předběžně lze počítat s následujícími parametry nástrojů [29,38]:

Řezná rychlost:	3–12 m·min ⁻¹
Posuv na zub:	0,02–0,08 mm
Délka pracovní části:	135 mm
Čas protlačování při L = 135 mm a $v_c = 8 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$	0,017 min
Orientační cena (sériově vyráběného nástroje):	1900 Kč bez DPH

Pro protlačování je doporučeno použití obráběcích kapalin, konkrétně řezných olejů [25].



Obr. 19 Protlačovací trny [38].

Díru A1 není nutno dokončovat protlačováním, zde by bylo možné použít technologii vystružování. V rámci sdružení pracovních úkonů za účelem zjednodušení pracovního postupu a výrobní logistiky se však nabízí jako vhodné použít i zde technologii protlačování.

4.15 Operace 110 – Broušení

Na součásti se nachází 5 rovinných ploch s přísnými tolerancemi, které bude potřeba dokončit broušením – C1 (ze dvou stran), B4, B5 a B6. Jedná se o tvrdé kalené plochy s vysokým požadavkem na jakost povrchu ($Ra\ 0,8\ \mu m$), je proto vhodné volit kotouče s nižší tvrdostí (H–K) a střední až jemnou zrnitostí (60–80) [21,24].

4.15.1 Operace 111 – Broušení bočních ploch

Jedná se o rovinné broušení, obrobek je možno upnout na magnetickou desku, na kterou se součást položí odlehlou boční plochou C1. Doporučený přídavek je určen na základě tabelovaných hodnot [25] a činí 0,2 mm z každé strany. Parametry broušené plochy a brousícího procesu jsou uvedeny v Tab. 24.

V případě použití brusného kotouče šířky vyšší 25 mm by bylo možno brousit tyto plochy bez nutnosti axiálního posuvu, což by přineslo významné úspory strojního času. Jelikož je výběr kotoučů limitován velikostí strojem je nutno volit kotouč o šířce maximálně 25 mm. Vhodným nástrojem může být např. kotouč Tyrolit typ 421145:

Označení:	1 250×25×76 98A 60 J 9 V 40
Vhodný pro materiály:	oceli do 55 HRC korozi-vzdorné oceli

Tab. 24 Broušení ploch C1.

Nastavení stroje		Parametry broušení	
v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	35	h [mm]	0,2
v_f [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	20	i [–]	27
q [–]	80	f_a [mm]	7
f_r [mm]	0,0075	L_a/f_a [–]	3
b_s [mm]	25	t_i [min]	0,0045
Broušená plocha		t_{AS} [min]	0,3645
L [mm]	90	$2\cdot t_{AS}$ [min]	0,7290
B [mm]	30		

4.15.2 Operace 112 – Broušení dorazu klapky

Plochu B4 bude vzhledem ke geometrii součásti nutno brousit čelně tenkým kotoučem (tloušťka < 15 mm). Poloha plochy není přesně zakótována, z důvodu kompatibility se sousedící součástí (klapkou) se provádí zabroušení na přesný rozměr po kontrole a korekci při srovnání s etalonovou součástí. Schéma polohy a přípravku pro broušení je na Obr. 20.

Nástroj:

kotouč Tyrolit typ 419058

Označení:

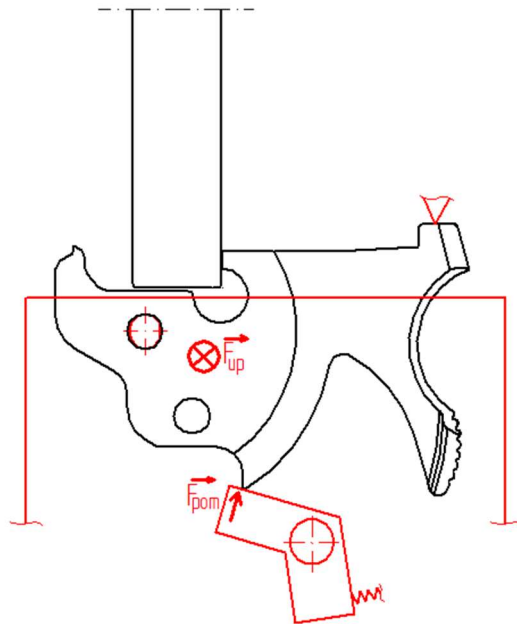
1 200×10×51 98A 60 J 9 V 40

Přídavek:

0,2 mm

Tab. 25 Broušení plochy B4.

Nastavení stroje		Parametry broušení	
v_s [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	35	h [mm]	0,2
v_f [$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	20	i [–]	27
q [–]	80	f_a [mm]	–
f_r [mm]	0,0075	L_a/f_a [–]	1
b_s [mm]	10	t_i [min]	0,0045
Broušená plocha		t_{AS} [min]	0,0675
L [mm]	50		
B [mm]	3		



Obr. 20 Broušení plochy B4.

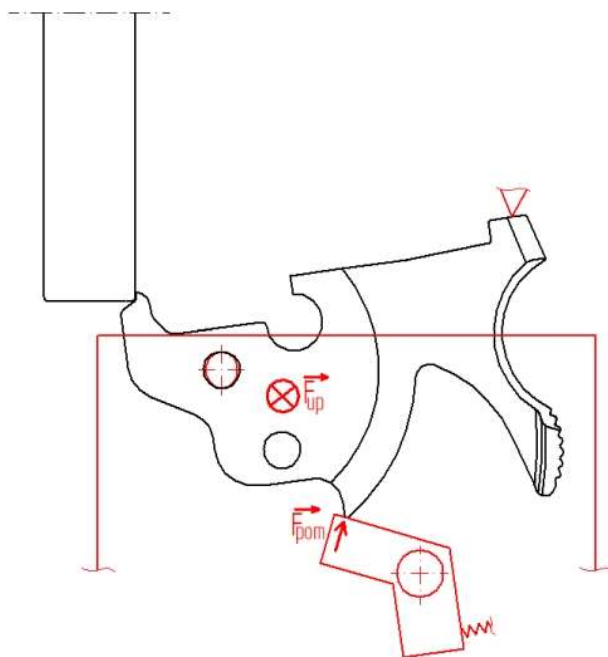
4.15.3 Operace 113 – Broušení záchytu

Cílem této operace je vybrousit plochu B6, která slouží jako záchyt kohoutu v natažené poloze. Brousí se i plocha B5, která sama o sobě není funkční a jejím smyslem je pouze nastavit předepsanou délku plochy B6. Mezi plochami je ostrá hrana. Plochy je možno brousit ve dvou vzájemně kolmých rovinách a tedy na jedno upnutí součásti, kdy plocha B6 bude broušena obvodem a plocha B5 čelem kotouče (viz Obr. 21). Plochy B5 a B6 mají srovnatelnou velikost a tím pádem i dobu broušení.

Brusný kotouč zde není omezen rozměry obrobku, operaci je tedy možno provést nástrojem (a strojem) použitým v některé z předcházejících operací. Kotouč bude ovšem nutno kvůli malé velikosti plochy a ostrému zaoblení na jejím konci pravidelně orovnávat. Parametry broušení jsou uvedeny v Tab. 26.

Tab. 26 Broušení ploch B5, B6.

Nastavení stroje		Parametry broušení		
v_s [m·s ⁻¹]	35	Polotovár:	Odlitek	Plech
v_f [m·min ⁻¹]	20	h [mm]	0,4	0,2
q [-]	80	i [-]	54	27
f_r [mm]	0,0075	f_a [mm]	–	–
b_s [mm]	10	L_a/f_a [-]	1	1
Broušená plocha		t_i [min]	0,0044	0,0025
L [mm]	50	t_{AS} [min]	0,1350	0,0675
B [mm]	1	t_{AS} celkem [min]	0,2700	0,1350



Obr. 21 Broušení ploch B5 a B6.

4.16 Operace 120 – Dokončení povrchu součástí

Konstrukční dokumentace předepisuje požadavky na úpravu povrchu součástí. V případě varianty z korozi-vzdorné oceli je vyžadováno kartáčování, součást vyráběná z nelegované/nízkolegované oceli má být ošetřena černěním. Tyto operace se vztahují pouze na vnější pohledové plochy kohoutu, jak lze vidět na černěné variantě součásti zobrazené na Obr. 22.



Obr. 22 Pohledové plochy na součásti, zde ošetřeny černěním.

4.17 Operace 121 – Leštění

Leštění je metoda dokončování povrchu strojních součástí, jejímž účelem je hlavně dosažení lesklého estetického povrchu. Při leštění jsou vyrovnávány nerovnosti povrchu a odstraňovány nečistoty. Leštění lze provádět mechanickým, chemickým a elektrochemickým způsobem. Drsnost mechanicky leštěného povrchu dosahuje hodnot typicky $Ra\ 0,4\text{--}0,1\ \mu\text{m}$, rozměry součásti se prakticky nemění [42].

Pojmem kartáčování je označena technologie leštění, kdy nástrojem je kartáč, na který může být nanášeno jemnozrnné abrazivo ve formě ve formě viskózního lešticího prostředku (pasta, olejová směs a jiné). Při použití abraziva dochází jak k velmi malému odběru třísky, tak i plastické mikrodeformaci povrchu [42].

Vzhledem k malému úběru materiálu při procesu leštění mu bývají zpravidla předřazeny operace výkonnější, které umožní rychle a ekonomicky připravit povrch s nízkou drsností, například broušení [42]. V případě uvažované součásti bude její povrch připraven na požadovanou drsnost technologií omílání při operaci 080.

Leštění se ve společnosti ALFAPROJ provádí ručně. U drobných součástí je postup takový, že stroj (leštička) je stacionární, součást drží dělník v ruce a polohuje ji tak, aby došlo k vyleštění všech požadovaných ploch [42]. Leštění bude provedeno u obou výrobních variant. V případě verze z korozivzdorné oceli se jedná o konečnou úpravu povrchu, v případě černěné varianty poslouží leštění k dosažení dostatečně kvalitního povrchu pro nanesení černicí vrstvy. K leštění lze kromě kartáče použít též sisalový nebo plátěný kotouč v kombinaci s lešticí pastou [40], volba konkrétních lešticích prostředků bude rozhodnuta dle konzultace s výrobcem a praktické zkušenosti.

4.18 Operace 122 – Černění

Za účelem ochrany součásti proti korozivním účinkům je konstruktérem předepsáno černění povrchu. Černění se provádí pouze u výrobní varianty z nelegované (nízkolegované) oceli, u varianty z korozivzdorné oceli se samotná odolnost materiálu považuje za dostatečnou. Černění je zde aplikováno pouze na nefunkční, vnější pohledové plochy, jak ukazuje Obr. 22.

Černění (brynýrování) je proces, při kterém na povrchu výrobku působením alkalické lázně vzniká tenká vrstva oxidů železa. Tato vrstva, hnědé až černé barvy, dosahuje tloušťky $200\text{--}800\ \mu\text{m}$ a poskytuje dostatečnou ochranu proti povětrnostním vlivům, potu a otěru. Teplotní odolnost vrstvy je do $300\ ^\circ\text{C}$. Typickým odvětvím využívajícím tuto technologii je právě zbrojní průmysl. Látky používané při černění jsou toxické a vyžadují specifická bezpečnostní opatření [41].

Černicí roztok je možno nanášet ponořením celé součásti do lázně nebo ručním potíráním vybraných ploch. Nanáší se zpravidla více vrstev, které mohou mít různá složení lázně. Jednotlivé pracovní cykly obvykle zahrnují očištění, odmaštění, samotné nanesení roztoku, sušení, oplach, případně leštění. Celkový proces včetně technologických přestávek může trvat jednotky až desítky hodin [41].

Vzhledem k malé tloušťce černicí vrstvy je potřeba černěný povrch pečlivě upravit, neboť proces černění nedokáže zakrýt vady povrchu (rýhy, vrypy) a naopak způsobí spíše jejich optické zvýraznění. Povrch musí být kovově čistý bez okují, rzi, mastnoty

a jiných nečistot, které by mohly dát vzniknout skvrnám. Brynýrovaný povrch již není možno dodatečně leštit [41].

Společnost Alfaproj má vlastní černicí provoz, díky této skutečnosti budou ušetřeny náklady na outsourcing. Přesný postup černění stanoví příslušná vedoucí osoba pracoviště. Černění bylo zařazeno (i na základě doporučení firemního technologa) na konec výrobního postupu, z důvodu dlouhých technologických přestávek, a aby se předešlo poškození černěné vrstvy při jiných operacích.

4.19 Seznam operací a srovnání postupů pro různé polotovary

Tab. 27 uvádí výrobní postup se všemi dříve rozebranými výrobními operacemi. Tabulka dále srovnává výrobní postupy (zejména stran obrábění) pro různé varianty polotovarů součástí. V případě výroby polotovaru z plechu technologií EDM řezání odpadá potřeba frézovat čelní plochy (B1, B2, B5), vrtat díru A2 a frézovat plochy B4. Detailní výrobní postup je součástí přílohy 1.

Tab. 27 Srovnání výrobního postupu pro různé technologie výroby polotovaru.

Číslo op.	Technologie výroby polotovaru				
	Odlitek	Výstřižek	Laser	Vodní paprsek	EDM
000	Vstupní TZ				
010	Omílání				
020	Zarovnání bočních ploch				
030	Frézovat čelní plochy				–
031	Frézovat vtok	–	Frézovat můstek		
040	Vrtat díry A1, A3				
041	Vrtat díru A2				–
050	Obrobení bočních ploch				
060	Frézování vedlejších ploch D1, D2, D3				
070	Frézování dorazu klapky (B4)				–
071	Vrtání díry A4				
080	Omílání				
090	Tepelné zpracování				
100	Dokončení děr po TZ				
110	Broušení				
120	Dokončení povrchu				

5 TECHNICKO–EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Tato kapitola představuje předběžný a orientační odhad nákladů spojených s výrobou součástí. Vzhledem k nedostatku kompletních dat nelze určit celkové náklady na výrobu součástí, lze však orientačně porovnat nákladovost jednotlivých přístupů k její výrobě a toto srovnání poté použít k výběru vhodné možnosti z nabízených postupů a technologií výroby.

5.1 Náklady na provoz výrobních zařízení

Orientační náklady na provedení konkrétní operace lze vyčíslit, známe-li potřebné časy výrobního zařízení a hodinové náklady na jeho provoz. Jednotkové náklady (tj. na jeden kus) na provedení operace N_{op} tedy určíme ze vzorce:

$$N_{op} = t_m \cdot N_h \text{ [Kč]} \quad (17)$$

kde:

$t_m \text{ [min]}$... čas využití strojního pracoviště
 $N_h \text{ [Kč} \cdot \text{min}^{-1}]$... minutové náklady na provoz strojního pracoviště

Čas výrobního zařízení se dále dělí podle povahy probíhajících úkonů [25]:

$$t_m = t_{m41} + t_{m42} + t_{m5} + t_{m6} \text{ [min]} \quad (18)$$

kde:

$t_{m41} \text{ [min]}$... čas hlavního chodu (plnění hlavního úkolu, např. obrábění)
 $t_{m42} \text{ [min]}$... čas pomocného chodu (nájezd do záběru, přejezdy apod.)
 $t_{m5} \text{ [min]}$... čas klidu (činnosti obsluhy za klidu stroje, např. upínání obrobku)
 $t_{m6} \text{ [min]}$... čas interference pracovišť při vícestrojové obsluze

Čas hlavního chodu lze dále rozdělit na čas automatického chodu stroje t_{AS} a čas řízeného chodu t_{A13} . Vzhledem k povaze výrobních strojů je ovšem uvažován pouze automatický chod strojů. Pro zjednodušení modelové situace rovněž není uvažována vícestrojová obsluha. Nadále tedy bude počítáno s těmito předpoklady:

$$t_m = t_{AS} + t_{m42} + t_{m5} \text{ [min]} \quad (19)$$

$$t_{m41} = t_{AS} \text{ [min]} \quad (20)$$

$$t_{m6} = 0$$

Čas klidu má u mnoha uvažovaných součástí povahu úkonů obsluhy prováděných pro několik kusů zároveň (např. očištění po obrábění, zavření dveří, zapnutí stroje), pro jeho určení se tedy bude vycházet z dávkového času:

$$t_{m5} = \frac{t_B}{d_v} \text{ [min]} \quad (21)$$

kde:

t_B [min] ... čas dávkový, neboli čas úkonů, které je potřeba provést na jedné výrobní dávce [12].
 d_v [-] ... velikost výrobní dávky.

Čas pomocného chodu t_{m42} lze určit z modelové délky přejezdů nástroje a rychlosti rychloposuvu stroje:

$$t_{m42} = \frac{L_{m42}}{v_{rp}} \text{ [min]} \quad (22)$$

kde:

L_{m42} [mm] ... modelová délka přejezdů
 v_{rp} [mm·min⁻¹] ... rychlost rychloposuvu stroje

5.2 Náklady na výrobu polotovaru

U technologií spočívajících ve vyřezání siluety součásti z plechu lze vycházet z obdobné kalkulace jako u obrábění. Strojní čas potřebný k vyřezání jedné součásti lze určit z jejího obvodu a rychlosti řezání, dle vzorce obdobného k **vzorci č. 11**:

$$t_{AS} = \frac{l_s}{v_{\check{r}}} \text{ [min]} \quad (23)$$

kde:

l_s [mm] ... obvod řezané siluety (délka řezu)
 $v_{\check{r}}$ [mm·min⁻¹] ... rychlost řezání

Parametry společné všem strojům:

Vnější rozměr součásti s přídavkem: 55×40 mm
 Obvod siluety (délka řezu): $l_s = 350$ mm

Pro výrobu plechových polotovarů laserovým řezáním lze orientačně počítat s těmito parametry:

Rozměr plechu: 2000×1000 mm
 Počet kusů z 1 plechu (velikost dávky): $d_v = 900$ ks
 Čas potřebný na ustavení plechu a přípravu stroje: $t_B = 30$ min [0]
 Náklady na provoz zařízení: 35 Kč·min⁻¹ [0]

Pro drátovou řezačku [0,44]:

Rozměr pracovního prostoru: 600×400 mm
 Počet kusů z odpovídající velikosti plechu (dávka): $d_v = 100$ ks
 Přípravný čas (uvažován stejný jako na laseru): $t_B = 30$ min
 Čas potřebný k navlečení drátu (pro každý kus): $t_{m42} = 10$ s
 Náklady na provoz zařízení: 18 Kč·min⁻¹

Pro vodní paprsek:

Rozměr plechu:	2000×1000 mm
Počet kusů z 1 plechu (velikost dávky):	$d_v = 900$ ks
Čas potřebný na ustavení plechu a přípravu stroje:	$t_B = 30$ min [0]
Náklady na provoz zařízení:	$25 \text{ Kč} \cdot \text{min}^{-1}$ [0]

V případě drátové řezačky vzniknou ještě další náklady spojené s dělením plechu na rozměr pracovního prostoru stroje. Proces drátového řezání lze významně urychlit upnutím a řezáním několika vrstev materiálu zároveň. Tab. 28 srovnává časovou a finanční náročnost řezání plechu v případě použití laseru, drátové řezačky a drátové řezačky v případě řezání pěti vrstev materiálu zároveň.

Tab. 28 Srovnání technologií řezání plechu pro výrobu polotovaru.

Technologie	Mater.	d_v [–]	v_f [mm·min ⁻¹]	t_{AS} [min]	t_{m42} [min]	t_{m5} [min]	t_m [min]	N_{op}
Laser	P	900	900	0,389	0,000	0,033	0,422	14,78 Kč
	M	900	300	1,167	0,000	0,033	1,200	42,00 Kč
EDM	P,M	100	9	38,889	0,167	0,300	39,356	708,41 Kč
EDM, 5 vrstev		500	3	23,333	0,033	0,060	23,427	421,68 Kč
Vodní paprsek, nejvyšší kvalita	P	900	90	3,889	0,000	0,033	3,922	98,06 Kč
	M	900	85	4,118	0,000	0,033	4,151	103,77 Kč

Nejnižší náklady je možno očekávat u technologie řezání laserovým paprskem. Náklady na drátové elektroerozivní řezání lze očekávat i násobně vyšší. U technologií odlévání a stříhání obdobný odhad výrobních nákladů provést nelze, pro jeho stanovení je nutná konzultace s dodavatelem patřičné technologie.

5.3 Materiálové náklady

Jak bylo vysvětleno v kap. 2.1, volba polotovaru by měla brát ohled na efektivní využití materiálu. Odhad materiálových nákladů N_{mat} je určen z normy materiálu a předpokládané ceny materiálu.

$$N_{mat} = N_m \cdot C_m \text{ [Kč]} \quad (24)$$

kde:

C_m ... cena materiálu [Kč/kg]

Norma materiálu je určena zjednodušeným způsobem z hmotnosti vstupního polotovaru (plech, surový odlitek) a počtu kusů součástí, které je možné z něj vyrobit:

$$N_m = \frac{Q_P}{n_{pol}} \quad (25)$$

kde:

Q_P ... hmotnost vstupního polotovaru (plech, surový odlitek) [kg]

n_{pol} ... počet kusů součástí, které je možné z daného polotovaru vyrobit

Tab. 29 Uvádí srovnání uvažovaných technologií výroby polotovaru. Orientační ceny samotného materiálu jsou [0].

Nelegovaná ocel třída C45: 32 Kč/kg
Korozivzdorná ocel: 72 Kč/kg

Tab. 29 Materiálová náročnost výroby polotovarů různými technologiemi

Technologie	Polotovar	$n_{pol} [-]$
Lití	Odlitek	1
Laserové řezání	Plech 10-2000x1000 ČSN EN 10029	1092
Vystřihování	Plech 10-2000x1000 ČSN EN 10029	898
Elektroerozivní řezání	Plech 10-600x400 ČSN EN 10029	100
Vodní řezání	Plech 10-2000x1000 ČSN EN 10029	1092

Technologie	Q_s [kg]	Q_p [kg]	N_m [kg]	k_m [-]	N_{mat}	
					P	M
Lití	0,0309	0,05	0,050	62%	1,52 Kč	3,41 Kč
Laserové řezání	0,0309	156,00	0,143	22%	4,57 Kč	10,29 Kč
Vystřihování	0,0309	156,00	0,174	18%	5,56 Kč	12,51 Kč
Elektroerozivní řezání	0,0309	18,84	0,188	16%	6,03 Kč	13,56 Kč
Voda	0,0309	156,00	0,143	22%	4,57 Kč	10,29 Kč

Nejvyšší stupeň využití materiálu a nejnižší materiálové náklady vykazuje odlitek. Nejhorší využití materiálu má elektroerozivní řezání kvůli nutnosti dělení plechu na kusy o velikosti pracovního prostoru drátové řezačky.

5.4 Náklady na obrábění

Obdobně jako u řezání plechů je možné přibližně odhadnout náklady na obrábění součástí. Jelikož je ve hře možnost výběru několika variant nástrojů, je na místě provést srovnání výrobnosti a nákladů právě pro různé uvažované nástroje. Náklady na obrobení jedné součásti v uvažované operaci jsou počítány dle vzorců:

$$N_{op} = N_s + N_{AN} \text{ [Kč]} \quad (26)$$

$$N_s = t_m \cdot N_h \text{ [Kč]} \quad (27)$$

$$N_{AN} = \frac{t_{AS}}{T} \cdot \frac{N_N}{n_{bř}} \text{ [Kč]} \quad (28)$$

kde:

- N_s ... náklady na provoz výrobního zařízení [Kč]
- N_{AN} ... náklady na amortizaci nástroje [Kč]
- N_N ... pořizovací cena nástroje (sady vyměnitelných břitových destiček) [Kč]
- $n_{bř}$... počet využitelných břitů u VBD (u monolitních nástrojů implicitně $n_{bř} = 1$) [-]
- T ... předpokládaná trvanlivost nástroje [min]

Nominální trvanlivost vyměnitelných břitových destiček Pramet pro výchozí řezné podmínky je 30 min [26]. Výrobce ZPS trvanlivost svých monolitních fréz neuvádí, stejně tak výrobce vrtáků STIMZET, je tedy uvažována stejná jako u VBD Pramet. Orientační časy úkonů za klidu stroje jsou převzaty ze školního normativu [46].

5.4.1 Zarovnání bočních ploch

Tab. 30 uvádí srovnání nákladů na srovnání bočních ploch polotovaru technologiemi broušení a frézování, pro různé hloubky obráběné vrstvy h a materiálové skupiny P a M. Pro upnutí obrobků při broušení je použita magnetická deska, pro frézování čelistový upínač jako na Obr. 13. Vzhledem k obtížnému vyčíslení amortizace brusných kotoučů jsou uvažovány pouze náklady na provoz výrobního zařízení. Rovinné broušení ze zde ukazuje produktivnější a ekonomicky výhodnější.

Tab. 30 Srovnání nákladovosti zarovnání bočních ploch polotovaru.

Časy úkonů za klidu a během vedlejšího chodu stroje [min]			
Broušení		Frézování	
Položit na mag. Desku	1,44	Položit do přípravku	0,960
Zap./vyp. Magnet	0,20	Upnout/odepnout	1,600
Najetí, vyjetí (t_{m42})	1,20	Najetí, vyjetí (t_{m42})	0,033
Očistit	0,20	Zavřít/otevřít dveře	0,120
TB celkem	3,04	Zapnout/vypnout	0,200
		očistit	0,200
		TB celkem	3,113

Technologie	h [mm]	Mat. skup.	t_{AS} [min]	d_v [–]	T_B [min]	$t_{m5} + t_{m42}$ [min]	t_m [min]	N_h	N_s
Broušení	0,40	P, M	0,282	6	3,04	0,51	0,79	12,50 Kč	9,90 Kč
	0,75		0,528	6	3,04	0,51	1,04	12,50 Kč	12,98 Kč
Frézování	0,40–	P	0,042	4	3,11	0,78	0,82	18,00 Kč	14,77 Kč
	0,75	M	0,071	4	3,11	0,78	0,85	18,00 Kč	15,30 Kč

5.4.2 Frézování čelních ploch

Odhad a srovnání nákladů na frézování čelních ploch (B1, B2, B5) jsou uvedeny v Tab. 31. Jako použitý stroj je pro všechny operace uvažováno univerzální CNC centrum Fanuc ROBODRILL α -D21MiB5 [45].

Tab. 31 Odhad a srovnání nákladů na obrábění čelních ploch součásti (op. 030).

Parametry společné všem frézám				Časy úkonů za klidu stroje [min]	
L [mm]	40	L_{m42} [mm]	200	Upnutí, odepnutí	3,20
T [min]	30	v_{rp} [mm·min ⁻¹]	10000	Očistit vzduchem	0,20
d_v [–]	8	t_{m42} [min]	0,0067	Spustit, zastavit	0,06
N_h	18,00 Kč	t_B [min]	3,560	Otevřít, zavřít	0,10
		t_{m5} [min]	0,445	t_B celkem	3,56

Tab. 31 – pokračování.

Nástroj	Typ	K_r	d [mm]	t_{AS} [min]		N_N	$n_{bř}$ [–]	N_{AN}	
				P	M			P	M
SAP 16D	VBD	90°	32,0	0,009	0,015	1 146,00 Kč	2	0,17 Kč	0,29 Kč
SAD 16E	VBD	90°	32,0	0,011	0,018	972,00 Kč	2	0,18 Kč	0,29 Kč
SAP 10D	VBD	90°	10,0	0,019	0,032	324,00 Kč	2	0,10 Kč	0,17 Kč
SAD 07E	VBD	90°	10,0	0,024	0,04	550,00 Kč	2	0,22 Kč	0,37 Kč
SHN 06C	VBD	45°	32,0	0,010	0,017	1 095,00 Kč	12	0,03 Kč	0,05 Kč
SOD 05	VBD	45°	32,6	0,013	0,029	912,00 Kč	8	0,05 Kč	0,11 Kč
1245P	Monolit, HSS	90°	16,0	0,184	0,479	1 306,00 Kč	1	8,01 Kč	20,85 Kč
		90°	32,0	0,143	0,372	4 285,00 Kč	1	20,43 Kč	53,13 Kč
S1004	Monolit, SK	90°	12,0	0,119	0,178	817,00 Kč	1	3,24 Kč	4,85 Kč
		90°	20,0	0,156	0,234	2 145,00 Kč	1	11,15 Kč	16,73 Kč

Nástroj	d [mm]	t_m [min]		N_s		N_{OP}	
		P	M	P	M	P	M
SAP 16D	32,0	0,461	0,467	8,29 Kč	8,40 Kč	8,46 Kč	8,69 Kč
SAD 16E	32,0	0,463	0,470	8,33 Kč	8,45 Kč	8,51 Kč	8,75 Kč
SAP 10D	10,0	0,471	0,484	8,47 Kč	8,71 Kč	8,57 Kč	8,88 Kč
SAD 07E	10,0	0,476	0,492	8,56 Kč	8,85 Kč	8,78 Kč	9,22 Kč
SHN 06C	32,0	0,462	0,469	8,31 Kč	8,44 Kč	8,34 Kč	8,49 Kč
SOD 05	32,6	0,465	0,481	8,36 Kč	8,65 Kč	8,41 Kč	8,76 Kč
1245P	16,0	0,636	0,931	11,44 Kč	16,75 Kč	19,45 Kč	37,60 Kč
	32,0	0,595	0,824	10,70 Kč	14,83 Kč	31,13 Kč	67,96 Kč
S1004	12,0	0,571	0,630	10,27 Kč	11,33 Kč	13,51 Kč	16,18 Kč
	20,0	0,608	0,686	10,94 Kč	12,34 Kč	22,09 Kč	29,07 Kč

Jak je patrné, frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami vykazují nejen kratší časy obrábění, ale i nižší výrobní náklady. Frézy čelní se oproti frézám koutovým o srovnatelném průměru neukazují jako výrazně produktivnější nebo méně nákladné na použití. Tab. 32 posuzuje návratnost počáteční investice do samotných těl zmíněných fréz s vyměnitelnými břitovými destičkami (nosičů VBD) ve srovnání s neekonomičtějším modelem monolitní frézy (ZPS S1004 o průměru $d = 12$ mm). Návratnost investice je nejrychlejší u fréz o průměru 10 mm (modely SAP 10D a SAD 07E), ačkoli náklady na obrábění hovoří v prospěch větších fréz o průměru 32 mm.

Tab. 32 Návratnost počáteční investice do fréz s VBD pro operaci 030.

Fréza s VBD	d [mm]	Úspora na ks		Cena těla frézy	Návratnost	
		P	M		P	M
SAP 16D	32,0	5,05 Kč	7,50 Kč	6 995,00 Kč	1385	933
SAD 16E	32,0	5,01 Kč	7,44 Kč	6 690,00 Kč	1336	900
SAP 10D	10,0	4,94 Kč	7,30 Kč	4 210,00 Kč	853	576
SAD 07E	10,0	4,73 Kč	6,96 Kč	4 320,00 Kč	913	620
SHN06C	32,0	5,17 Kč	7,69 Kč	7 190,00 Kč	1390	935
SOD 05	32,6	5,10 Kč	7,42 Kč	7 550,00 Kč	1481	1018
S1004	12,0	0,00 Kč	0,00 Kč	–	–	–

5.4.3 Frézování bočních ploch

Stejným způsobem jako v kap 5.4.2 bylo vyhodnoceno obrábění bočních ploch součásti (C1, C2, C3, C4), jak rozebírá Tab. 33. Časy a náklady uvedené v tabulce jsou uvažovány pro obrábění součásti z obou dvou stran.

Tab. 33 Odhad a srovnání nákladů na frézování bočních ploch součásti.

Parametry společné všem frézám				Časy úkonů za klidu stroje [min]	
L [mm]	710	L _{m42} [mm]	550	Upnutí, odepnutí	3,20
T [min]	30	v _{rp} [mm·min ⁻¹]	10000	Očistit vzduchem	0,20
d _v [-]	4	t _{m42} [min]	0,018	Spustit, zastavit	0,12
N _h	18,00 Kč	t _B [min]	3,720	Otevřít, zavřít	0,20
		t _{m5} [min]	0,930	t _B celkem	3,72

Nástroj	Typ	t _{AS} [min]		N _N	n _{bř} [-]	N _{AN}	
		P	M			P	M
SAP 16D	VBD	0,151	0,256	648 Kč	2	1,63 Kč	2,77 Kč
SAD 16E	VBD	0,222	0,375	648 Kč	2	2,40 Kč	4,05 Kč
1245P	Monolit. HSS	3,269	8,493	1306 Kč	1	142,31 Kč	369,72 Kč
S1004	Monolit. SK	2,805	4,209	1375 Kč	1	128,57 Kč	192,90 Kč
S1406	Monolit. SK	0,637	1,239	2376 Kč	1	50,47 Kč	98,14 Kč

Nástroj	t _m [min]		N _S		N _{OP}	
	P	M	P	P	M	P
SAP 16D	0,571	0,621	19,79 Kč	21,69 Kč	21,42 Kč	24,45 Kč
SAD 16E	0,605	0,678	21,07 Kč	23,82 Kč	23,47 Kč	27,88 Kč
1245P	2,064	4,566	75,91 Kč	169,94 Kč	218,21 Kč	539,66 Kč
S1004	1,842	2,514	67,56 Kč	92,83 Kč	196,14 Kč	285,72 Kč
S1406	0,804	1,092	28,54 Kč	39,37 Kč	79,01 Kč	137,51 Kč

Frézy s VBD se i zde ukazují jako hospodárnější. Monolitická HSS fréza se jeví jako mimořádně nehospodárná, zejména při obrábění korozivzdorné oceli. Tab. 34 posuzuje návratnost počáteční investice fréz s VBD ve srovnání s neekonomičtější monolitní frézou (ZPS S1406). Vzhledem k vysoké amortizaci monolitních nástrojů je návratnost velmi nízká a použití frézy s VBD se jeví jako výhodné.

Tab. 34 Návratnost počáteční investice do fréz s VBD pro op. 050.

Fréza s VBD	Úspora na 1 ks		Cena těla frézy	Návratnost	
	P	M		P	M
SAP 16D	174,72 Kč	261,27 Kč	5 435,00 Kč	31	21
SAD 16E	172,67 Kč	257,85 Kč	5 015,00 Kč	29	19
S1406	0,00 Kč	0,00 Kč	–	–	–

5.4.4 Vrtání děr

Týž výpočet jako v předešlých kapitolách byl použit i pro operaci vrtání děr A1, A2, A3. Náklady na jejich výrobu rozebírá Tab. 35, pro vrtání každé díry zvlášť.

Tab. 35 Srovnání nákladů na vrtání děr A1, A2, A3.

Parametry společné všem vrtákům				Časy úkonů za klidu stroje [min]	
L [mm]	14	L _{m42} [mm]	200	upnutí, odepnutí	1,60
T [min]	30	v _{rp} [mm·min ⁻¹]	10000	očistit vzduchem	0,20
d _v [-]	4	t _{m42} [min]	0,0067	spustit, zastavit	0,06
N _{hs}	18,00 Kč	T _B [min]	2,050	otevřít, zavřít	0,10
		t _{m5} [min]	0,513	výměna nástrojů	0,09
				t _B celkem	2,05

Nástroj, materiál	Materiál obrobku	Díra	t _{AS} [min]	t _m [min]	N _N	N _{AN}	N _S	N _{OP}
ČSN 221182, HSS	P	A1	0,063	0,582	26,90 Kč	0,06 Kč	10,48 Kč	10,54 Kč
		A2	0,080	0,599	38,60 Kč	0,10 Kč	10,78 Kč	10,89 Kč
		A3	0,067	0,586	26,90 Kč	0,06 Kč	10,54 Kč	10,60 Kč
PN 2905 T 1000, HSSCo	M	A1	0,295	0,814	48,00 Kč	0,47 Kč	14,65 Kč	15,12 Kč
		A2	0,367	0,886	65,60 Kč	0,80 Kč	15,94 Kč	16,74 Kč
		A3	0,310	0,829	48,10 Kč	0,50 Kč	14,93 Kč	15,43 Kč
DIN 6537, SK	P	A1	0,014	0,533	682,00 Kč	0,32 Kč	9,60 Kč	9,91 Kč
		A2	0,015	0,534	682,00 Kč	0,34 Kč	9,61 Kč	9,96 Kč
		A3	0,015	0,534	682,00 Kč	0,33 Kč	9,61 Kč	9,94 Kč
DIN 6537, SK	M	A1	0,046	0,566	682,00 Kč	1,06 Kč	10,18 Kč	11,24 Kč
		A2	0,055	0,574	682,00 Kč	1,25 Kč	10,33 Kč	11,58 Kč
		A3	0,049	0,568	682,00 Kč	1,11 Kč	10,22 Kč	11,34 Kč

Použití vrtáků ze slinutých karbidů se i zde ukazuje jako produktivnější a levnější, zejména v případě obrábění součásti z korozivzdorné oceli.

5.4.5 Broušení

Tab. 36 uvádí odhad nákladů na broušení ploch, které to vyžadují. Obdobně jako v kap. 5.4.1 zde není uvažována amortizace nástroje (kotouče), kterou je obtížné vyčíslit, zejména z důvodu potřeby orovnávání kotouče. Jak rozebírá kap. 4.15, na broušení budou potřeba alespoň dvě brusky se dvěma kotouči. Čas najetí a vyjetí do a ze záběru jsou zahrnuty do dávkového času, neboť obrobky jsou upnuty obráběnými plochami v jedné rovině.

Tab. 36 Odhad časové náročnosti a nákladů na broušení.

Časová náročnost pomocných úkonů [min]					
Plocha:	Bok polotovaru (2×)	C1 (2×)	B5 + B6	B4	B2
Upnutí	1,64	1,64	2,40	2,40	2,40
Najetí, vyjetí (t _{m42})	1,20	1,20	0,90	0,60	0,60
Očistit	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
TB celkem	3,04	3,04	3,50	3,20	3,20

Tab. 36 – pokračování.

Plocha	h [mm]	t_{AS} [min]	d_v [–]	T_B [min]	t_{m5} [min]	t_m [min]	N_h	N_s
C1 (2 strany)	0,2	0,3645	6	3,04	0,51	0,87	12,50 Kč·min ⁻¹	10,89 Kč
B5 + B6	0,4	0,2700	6	3,50	0,58	0,85	12,50 Kč·min ⁻¹	10,67 Kč
B4	0,2	0,0675	6	3,20	0,53	0,60	12,50 Kč·min ⁻¹	7,51 Kč

6 ZHODNOCENÍ POSTUPU

Tato kapitola se věnuje zhodnocení technických řešení rozebíraných a navrhovaných v práci, technologičnosti konstrukce a návrhu dalších kroků pro převedení navrhovaného postupu do výrobní praxe.

6.1 Technologičnost konstrukce

Na součásti se nachází několik konstrukčních prvků, které působí komplikace při výrobě, vyžadují použití speciálních nástrojů vyráběných na míru, nebo nejsou nezbytně nutné ke spolehlivému výkonu funkce součásti.

a) díra A2 vyžaduje svou funkcí přísné rozměrové tolerance, její tvar neúplného válce však omezuje použití rotačních nástrojů (výstružníků) k jejímu dokončení. Tento tvar je ovšem vyžadován zejména funkcí klapky, která na plochu A2 dosedá a snaha o změnu tvaru této plochy by pravděpodobně vyžadovala komplexní konstrukční úpravu obou součástí.

b) Časově náročnou obráběcí operací je frézování ploch C1, C2 a C4. Plochy C2 a C4 přitom nejsou funkční. Konstrukční úpravou spočívající v posunutí zmíněných ploch do jedné roviny zcela odpadne potřeba tyto plochy frézovat (operace 050), což povede k nezanedbatelným úsporám nákladů. Potenciálním rizikem je přílišné zúžení palečníku, což může vést ke ztíženému ručnímu napínání kohoutu.

6.2 Zvolené technologie výroby

Na základě porovnání provedeného v práci se jako vhodné technologie výroby polotovaru jeví buď metoda odlévání na vytavitelný model, nebo laserové řezání z plechu. Technologie vodního řezání po předběžném prozkoumání nepřináší výrazné výhody oproti laseru, ačkoli její použití bude pravděpodobně nákladnější. U drátového elektroerozivního řezání nebude nejspíš možno využít jeho hlavní výhodu, přesnost řezu, neboť součást má být podrobena tepelnému zpracování, u kterého je nutno počítat s deformacemi obrobku, které bude následně nutné odstranit broušením. Aplikace technologie přesného stříhání bude nejspíš vyžadovat konstrukční změny na součásti. Pokud se tato technologie po porovnání konkrétní nabídky dodavatele neukáže jako výrazně výhodnější, než jiné technologie výroby polotovaru, nejví se její volba jako smysluplná.

Pro většinu operací obrábění se ukazuje jako finančně výhodné dát přednost nástrojům ze slinutých karbidů před nástroji z rychlořezných ocelí. U operací, které to umožňují, se jeví jako výhodné použití nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami.

6.3 Zhodnocení postupu výroby

Podle navrhovaného postupu výroby je ke zhotovení součásti potřeba 12 operací, z toho 8 operací obráběcích. Součást bude možno obrobit celkem v třinácti polohách při 13 upnutích. Stávající postup (který není možno zveřejnit) čítá 10 obráběcích operací a 15 poloh, navrhovaný postup tedy nabízí možnost časové

úspory. Operace vrtání a frézování je možné provést na univerzálním CNC frézovacím centru, pro broušení budou zapotřebí 2–3 rovinné brusky. Tab. 37 obsahuje výčet potřebných strojů, nástrojů a přípravků.

Tab. 37 Vybavení potřebné pro výrobu [26, 31, 40, 45, 47, 48, 49, 50].

Druh stroje/pracoviště	Příklad	Počet
Univerzální CNC obráběcí centrum	Fanuc ROBODRILL α -D21MiB5	1
Bruska rovinná, rozměr kotouče 250x25	Bernardo BSG 3060	2 (1 ¹)
Bruska rovinná, rozměr kotouče 170x10	Bernardo BSG 2040	1
Protlačovací lis	Hahndorf HRP 6	1
Omílačka	Flídr EVP-RA 100	1
Lešticí bruska	Bernardo PS 200 S	1
Pracoviště černění s výbavou		1
Druh nástroje	Navrhovaný typ	Počet
Fréza rovinná ²	Pramet SHN 06C, d = 40 mm	1
Fréza rovinná/rohová	Pramet SHN 06C, d = 32 mm	1
Vrták šroubovitý monolitní	STIMZET typ DIN 6535 3D	4
Fréza rohová d ≤ 16 mm	Pramet SAP 16D	1
Fréza půlkruhová vypuklá	– zakázková výroba –	1
Fréza kotoučová	– zakázková výroba –	1
Fréza válcová čelní d ≤ 10 mm	Pramet SAP 10D	1
Sada pro protlačování (trn + pouzdro)	– zakázková výroba –	2
Brousicí kotouč 250x25 hrubovací	1 250x25x76 98A 46 J 9 V 40	1
Brousicí kotouč 250x25 dokončovací	1 250x25x76 98A 60 J 9 V 40	1
Brousicí kotouč 200x10 dokončovací	1 200x10x51 98A 60 J 9 V 40	1
Omílací tělíska, pro odstranění otřepů	Flídr tvar D, typ RS, vel. 16/16	-
Omílací tělíska, pro leštění povrchu	Flídr tvar G, typ RP, vel. 3	-
Odmašťovací kompond pro omílání	Flídr FC 321	-
Lešticí pasta pro omílání	Flídr RPP 6279	-
Lešticí kotouč 150x10, tvrdé plátno	Pferd TR 15010-20 TH	1
Lešticí pasta na ocelové materiály	Pferd G-PP 1 VP Fe	-
Kompletní vybavení pracoviště černění		-
Druh přípravku		Počet
Přípravek jednoúčelový frézovací		5 (6 ²)
Přípravek jednoúčelový brousicí		2
Magnetická upínací deska pro broušení		2
Čelistový upínač obrobků pro CNC		2 (3 ²)

1) pokud bude op. 020 provedena frézováním, bude zapotřebí pouze 1 kus

2) pouze za předpokladu, že operace 020 nebude provedena broušením

Kromě vyjmenovaného vybavení je zapotřebí další běžné dílenské vybavení, které bude sdíleno s výrobními procesy pro jiné součásti, například ruční nářadí nebo měřidla, stejně tak pracoviště zapojená ve výrobě více typů součástí, např. nástrojárna, pracoviště kontroly a další.

6.4 Návrh dalšího postupu pro realizaci výroby

Pro konečnou volbu vstupních surovin pro výrobu součásti je nutná konzultace s dodavatelem materiálu a tepelného zpracování. Je potřeba ověřit skutečné hodnoty materiálových parametrů uváděných v materiálových listech, zejména kalitelnost uvažovaných tříd ocelí. Dále je potřeba ověřit dostupnost vybraných materiálů ve vhodných formách polotovaru (plech o tloušťce 10 mm) a možnosti jejich odlévání. U dodavatelů jednotlivých technologií výroby polotovarů je nutno dále ověřit dosažitelnost požadovaných kvalitativních parametrů a popsat cenovou nabídku se skutečnými cenami. Zde lze samozřejmě vycházet ze stávajících zkušeností ve firmě ALFAPROJ se současně používanými materiály, polotovary a poskytovateli tepelného zpracování.

U operací, kde je vyžadována výroba speciálních nástrojů (protlačovací trny, tvarové frézy) je nutno najít vhodné dodavatele těchto nástrojů a zjistit nabídku, technické parametry a podmínky jejich dodání.

Navrhované parametry jednotlivých operací (zejména řezné podmínky) je nutno považovat za podmínky výchozí, které je zapotřebí vyzkoušet v praxi a optimalizovat.

Provedené technicko–ekonomické zhodnocení je nutno brát jako hrubě orientační, zejména kvůli nedostatku použitelných dat. Pro přesné určení vlastních nákladů ve výrobních prostorech společnosti ALFAPROJ je potřeba zjistit přesné časové normy (provést simulace obráběcích procesů, změřit časy obslužných úkonů), ověřit trvanlivost zvolených nástrojů, předpokládané náklady na provoz strojů a provést kalkulace nákladů režijních a na pomocné práce, jejichž rozbor je nad rámec rozsahu této práce. Při určování těchto časových a cenových normativů lze s výhodou vycházet ze současných normativů a kalkulací používaných ve firmě.

ZÁVĚR

Na základě provedené rešerše byl vytvořen návrh postupu výroby kohoutu revolverů ALFA, včetně volby materiálu a polotovaru a bylo provedeno krátké technicko-ekonomické zhodnocení. Součást se bude vyrábět ve dvou výrobních provedeních, a sice z oceli nelegované s povrchovou úpravou černěním a oceli korozivzdorné s povrchem leštěným.

Jako materiály pro výrobu jsou doporučeny oceli vhodné k zušlechťování, konkrétně třídy 12050 pro variantu s povrchovou úpravou černěním a X39Cr13 pro variantu z korozivzdorné oceli. V případě volby litého polotovaru jsou doporučeny oceli tříd 422660 a 422907. Jako vhodné technologie výroby polotovaru se jeví buď technologie přesného lití na vytavitelný model, nebo polotovar řezaný z plechu laserovým paprskem.

Součást bude dvakrát podrobena tepelnému zpracování. Při vstupu do výrobního procesu bude provedeno žíhání normalizační, ke snížení vnitřního pnutí a naměkko, v případě litého polotovaru nejdříve i žíhání homogenizační. Po obrábění na čisto bude provedeno zušlechťení.

Většinu nefunkčních ploch součásti vytvořených během výroby polotovaru není potřeba obrábět. Funkční plochy budou obrobena frézováním a vrtáním, jako technologie dokončovacího obrábění jsou voleny technologie broušení a protlačování. Na vstupu do výroby ve formě polotovaru a před tepelným zpracováním bude součást opracována omíláním. Na základě technicko-ekonomického zhodnocení se ukazuje jako výhodné používat frézovací nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, v případě vrtání, kde je nutno použít nástroje monolitní, je doporučeno volit vrtáky ze slinutých karbidů. Řezné parametry uváděné v práci jsou voleny na základě doporučení výrobců, tyto hodnoty je možno nadále upřesnit a optimalizovat.

Potřebné vybavení pracovišť k výrobě součásti čítá jedno univerzální CNC obráběcí centrum, 2–3 brusky pro rovinné broušení, protlačovací lis, omílačku, leštičku a pracoviště pro černění. Výrobní postup obsahuje celkem 12 operací, z toho 8 operací obráběcích při celkovém počtu 13 upnutí. Podařilo se tak zkrátit stávající výrobní postup, který čítá 10 obráběcích operací a 15 upnutí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Profil firmy ALFAPROJ s.r.o. [online] Copyright © 2004 ALFAPROJ s r. o. [cit. 31.03.2021].
Dostupné z: <http://www.alfa-proj.cz/o-firme/profil-firmy-alfaproj-s-r-o/>
2. JANKOVÝCH, R. *Hlavní zbraně a střelivo*. Brno: Vysoké učení technické, 2012. 115 s. ISBN 978-80-260-2384-5.
3. SCHULER GMBH. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998, xx, 563 s. ISBN 35-406-1185-1.
4. Fine Blanking: The Ultimate Guide | MachineMfg. *MachineMfg.com | Specialized in the metalworking industry* [online]. Copyright © 2021 [cit. 19.02.2021]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/fine-blanking-guide/>
5. CNC Technologie » Obrábění vodním paprskem – CNC Delfin s.r.o.. *Obrábění vodním paprskem – CNC Delfin s.r.o.* » [online]. Copyright © 2021 Obrábění vodním paprskem [cit. 11.05.2021]. Dostupné z: <https://www.cncdelfin.cz/cnc-technologie>
6. CHAMRAD, J. POROVNÁNÍ TECHNOLOGIÍ ŘEZÁNÍ VODNÍM PAPERSEM A LASEREM. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 61 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
7. Imed MIRAOU, Mohamed BOUJELBENE, Mouna ZAIED. High-Power Laser Cutting of Steel Plates: Heat Affected Zone Analysis. *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2016, ID článku 1242565, 8 str, 2016. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1155/2016/1242565>
8. BRÁZDA, R. Elektrojiskrové řezání drátovou elektrodou. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Vendula Švecová.
9. Uddeholm Global. *EDM of Tool Steel* [online]. Copyright ©Q [cit. 25.02.2021]. Dostupné z: <https://www.uddeholm.com/files/edm-english.pdf>
10. ABU KHAIT, Y. Deformace nástrojových ocelí po kalení ve vakuových pecích. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 28 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Bohumil Pacal, CSc..
11. BARTOŠ, F. Zhodnocení moderních slévárenských technologií nacházejících praktická uplatnění při výrobě odlitků bez nutnosti dalšího obrábění, tzv. "Net-Shape" technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 30 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Milan Horáček, CSc.
12. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 160 s. ISBN 80-214-2219-X.
13. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, c1999. ISBN 80-7204-130-4.
14. DORAZIL, Eduard. *Nauka o materiálu. II. část*. Praha: SNTL, 1973.
15. ASM International. *Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys*. 1990.

16. FÜRBAKER, Ivan, Ivan FÜRBAKER, Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty*: aktuální stav listopad - včetně 1. aktualizace. Praha: Verlag Dashöfer, 1998. ISBN 80-86229-02-5.
17. Slévárna přesného lití. *Odlitky. Parametry nejčastěji užívaných materiálů* [online]. Copyright © 2017 [cit. 15.03.2021]. Dostupné z: <http://www.splslevarna.cz/odlitky/>
18. Seznam odlévaných materiálů. *SPO spol s.r.o. - Slévárna přesných odlitků* [online]. Copyright © [cit. 06.05.2021]. Dostupné z: <https://www.spo-zlin.cz/media/userfiles/Materiály%20PDF/Seznam%20materiálů.pdf>
19. Korozivzdorné feriticko - martenzitické oceli | KDYNIMUM – Přesné odlitky - oficiální web. *Object moved* [online]. Dostupné z: <http://www.kdynium.cz/korozivzdorne-feriticko---martenziticke-oceli.aspx>
20. VRZAL, B. a kolektiv. *Strojnické tabulky*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury n. p., 1970. 1424 s.
21. Obrábění s přesností a hladkostí | Techcentrum Česká Třebová. *Techcentrum - prodejna brusiva Tyrolit, Norton, Carborundum, Klingspor* [online]. Copyright © 2021, Techcentrum s.r.o. [cit. 23.04.2021]. Dostupné z: <https://www.prodejbrusiva.cz/obrabeni-s-presnosti-a-hladkosti-nedoszitelnou-soustruzenim-ani-frezovanim-techcentrum>
22. ČSN EN ISO 8062-3:2008. *Geometrické specifikace produktů (GPS) – Rozměrové a geometrické tolerance tvarovaných součástí – Část 3: Všeobecné rozměrové a geometrické tolerance a přídavky na obrábění pro odlitky*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 32 s.
23. ČSN EN 10029. *Plechy ocelové válcované za tepla tloušťky od 3 mm – Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 2008. 16 s.
24. Katalog skladových výrobků pro univerzální broušení. *Tyrolit*. Březen 2016. [online]. Dostupné z: https://www.prodejbrusiva.cz/editor/image/stranky3_soubory/97/filename_97.pdf
25. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
26. DORMER PRAMET. *Katalog 2019 | PRA-CAT-2019-CZ-RU-PL-SK*. Dostupné online: <https://www.prametheus.cz/admin/files/ModuleText/26/general-catalogue-pramet-2019-set4-cz-ru-pl-sk-prog-1-.pdf>
27. Katalog ke stažení | ZPS-FN a.s.. [online]. Copyright © ZPS [cit. 15.04.2021]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/katalog-ke-stazeni/>
28. *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Sandvik Coromant, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
29. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 2. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie, 2004. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf

-
30. HUMÁR, Anton. *TECHNOLOGIE I: TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ - 3. část. Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: VUT v Brně, FSI, Ústav strojírenské technologie, 2004. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/Dokoncovaci_a_nekonvencni_metody_obrabeni/TI_TO-3.cast.pdf
31. *STIMZET nástroje na otvory* [online]. Copyright ©J [cit. 20.03.2021]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/down/Katalog_STIMZET_v3.pdf
32. STIMZET. *Řezné podmínky pro tvrdokovové vrtáky Triton s PVD povlakem* [online]. [cit. 14.04.2021]. Dostupné z: <https://www.stimzet.cz/down/rez-sk-140.pdf>
33. STIMZET. *Ceník 2019* [online]. [cit. 14.04.2021]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/down/Ceník_STIMZET_2019.pdf
34. Vrtáky tvrdokov DIN 6535 HA TIAIN 3xD 140°. *e-shop NÁSTROJE CZ, s.r.o.* [online]. Copyright © 2013 [cit. 15.04.2021]. Dostupné z: https://eshop.nastrojecz.cz/nastroje_c9148280340515/pro-obrabeni-otvoru_c9148280340516/tvrdokovove-vrtaky_c272597279309825/vrtaky-tvrdokov-din-6535-ha-tiain-3xd-140_p340741
35. Proč používat NC navrtávky. *STIMZET nástroje na otvory* [online]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/tech_navrtavaky_cz.html
36. FRÉZA PŮLKRUHOVÁ 820070 VYDUTÁ. *Nářadí NAKOL s.r.o.* [online]. Copyright © 2021, Nářadí NAKOL s.r.o. [cit. 15.04.2021]. Dostupné z: <https://www.nakol.cz/freza-pulkruhova-820070-vydata>
37. FRÉZA PRO DRÁŽKY ÚSEČOVÝCH PER 320100. *Nářadí NAKOL s.r.o.* [online]. Copyright © 2021, Nářadí NAKOL s.r.o. [cit. 15.04.2021]. Dostupné z: <https://www.nakol.cz/freza-pro-drazky-usecovych-per-320100?q=3201>
38. Kovonastroje - Protahovací - protlačovací trn 6mm. *Kovonastroje - ESHOP* [online]. Copyright © [cit. 05.05.2021]. Dostupné z: <https://www.kovonastroje.cz/en/Nastroje-pro-kovoobrabeni/Protahovaci-protlacovaci-trny/Protahovaci-protlacovaci-trn-6mm.html>
39. HRDINOVÁ, H. Vliv procesu omílání na upravovaný materiál. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2015. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Kudláček, Ph.D.
40. Pferd. Katalog 204: Nástroje pro drobné broušení a leštění. [cit. 19.05.2021]. Dostupné z: <https://firma.boukal.cz/pdf-files/k/a/katalog-pferd-204.pdf>
41. MLÝNEK, J.: Projekt automatizované linky na černění kovových součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 67s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Pavel Bělohoubek, CSc.
42. LIPKA, Ondřej. Dokončovací technologie využívající plastickou deformaci povrchu. Brno, 2013. 29 s., CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
-

43. Mikon tools s.r.o. - služby v oblasti strojírenství - MIKON TOOLS s.r.o.. *Mikon tools s.r.o. - služby v oblasti strojírenství - MIKON TOOLS s.r.o.* [online]. Copyright © 2021 MIKON TOOLS s.r.o. všechna práva vyhrazena. [cit. 04.05.2021]. Dostupné z: <https://www.mikon-tools.cz>
44. Model MV 2400S. *Elektroeroze a HSC obráběcí stroje* [online]. Dostupné z: <http://www.edmtrade.cz/dratove-rezacky-mitsubishi/25-model-mv-2400s>
45. Technický list Fanuc ROBODRIL α -D21MiB5. [cit. 04.05.2021]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/~media/files/pdf/products/robodrill/datasheets/mds-xxxxx-rd-robodrill-alphadib-series-cz/rd-alpha-d21sib5-cz.pdf?la=cs>
46. ZEMČÍK, O.: *Jednotné normativy: Vrtačky. Výběr z normativu pro potřebu výuky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. 91s. Dostupné online: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/podklady/technologicka_priprava_vyroby/Cv.06/normativ_vrtacky.pdf
47. Bernardo. Katalog obrábění 2018. PWA Handelsges.m.b.H. [cit. 20.05.2021]. Dostupné online: http://www.bernardo.at/kataloge/metall/cz/00_kovo_obr%C3%A1ben%C3%AAD_cz/files/publication.pdf
48. Protlačovací hydraulický lis HRP 6. *Kovostroj servis, spol. s.r.o.* [online]. Dostupné z: <https://www.kovostroj servis.cz/nabizene-stroje-a-zarizeni/produkt/protlacovaci-hydraulicky-lis-hrp-6>
49. Kruhové omílací stroje | Flídr metal. *Flídr group* [online]. Copyright ©2020 Flídr group, designed and coded by Flídr group. [cit. 21.05.2021]. Dostupné z: <https://flidr.cz/kruhove-omilaci-stroje/evp-ra>
50. FLÍDR Katalog kamenů a compoundů pro omílání [online]. [cit. 21.05.2021]. Dostupné z: <https://issuu.com/flidrcz/docs/katalog-kameny-kompoundy-2017>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
a_e	mm	šířka záběru nástroje při obrábění
B	mm	šířka broušené plochy
b_s	mm	šířka brousicího kotouče
C_m	Kč·kg ⁻¹	cena materiálu
D	mm	průměr nástroje
D_c	mm	celkový rozměr součásti v uvažovaném směru
D_{max}	mm	největší rozměr součásti v uvažovaném směru
d_v	-	velikost výrobní dávky
f	mm	posuv na otáčku
f_1	-	korekční koeficient pro výpočet střížné síly
f_a	mm	axiální posuv brousicího kotouče
F_c	N	řezná síla
f_r	mm	přísuv brousicího kotouče
F_S	N	střížná síla
F_{up}	N	upínací síla přípravku
f_z	mm	posuv na zub
h	mm	hloubka obráběné vrstvy
H_0	HRC	tvrdost materiálu na povrchu součásti
H_3	HRC	tvrdost materiálu v hloubce 3 mm
HB	-	tvrdost dle Brinellovy stupnice
HRC	-	tvrdost dle Rockwellovy stupnice typu C
HSS	-	rychlořezná ocel
HV	-	tvrdost dle Vickersovy stupnice
i	-	počet odebíraných vrstev při obrábění
K	J	nárazová práce
k_m	-	součinitel využití materiálu
K_V	-	koeficient obrobitelnosti
k_{VHB}	-	koeficient řezné rychlosti pro tvrdost materiálu obrobku
k_{vx}	-	koeficient řezné rychlosti pro jiné vlivy
L	mm	dráha nástroje
l	mm	délka obráběné plochy
L_a	mm	dráha axiálního posuvu brousicího kotouče
L_{m42}	mm	dráha pomocného chodu stroje
l_n	mm	délka náběhu nástroje
l_p	mm	délka přeběhu nástroje
l_s	mm	obvod siluety součásti
M	-	ocel korozivzdorná
n	min ⁻¹	otáčky vřetene obráběcího stroje
N_{AN}	Kč	amortizace nástroje
$n_{bř}$	-	počet využitelných ostří břitové destičky
N_h	Kč·min ⁻¹	náklady na provoz výrobního zařízení
N_m	kg	norma materiálu
N_{mat}	Kč	náklady na materiál
N_N	Kč	pořizovací cena nástroje
N_{op}	Kč	náklady na provedení operace

n_{pol}	-	počet kusů součástí, které je možno vyrobit z uvažovaného polotovaru
N_s	Kč	strojní náklady
P	-	ocel nelegovaná, nízkolegovaná
q	-	poměr obvodové rychlosti brousícího kotouče a posuvové rychlosti obrobku
q_k	kg	ztráty materiálu jako nevyužitelný zbytek polotovaru
q_o	kg	ztráty materiálu vzniklé obráběním
Q_P	kg	hmotnost polotovaru
Q_s	kg	hmotnost hotové součásti
q_u	kg	ztráty materiálu vzniklé jeho dělením
R_a	μm	průměrná aritmetická úchylka profilu povrchu
R_m	MPa	mez pevnosti
$R_{p0,2}$	MPa	mez kluzu
s	mm	tloušťka plechu
SK	-	slinutý karbid
T	min	trvanlivost nástroje
t_{AS}	min	čas chodu stroje v automatickém režimu
t_B	min	dávkový čas
t_i	min	čas přejezdu nástroje pro jednu odebranou vrstvu
t_m	min	čas výrobního zařízení
t_{m41}	min	čas hlavního chodu výrobního zařízení
t_{m42}	min	čas pomocného chodu výrobního zařízení
t_{m5}	min	čas klidu výrobního zařízení
t_{m6}	min	čas interference výrobního zařízení
VBD	-	vyměnitelná břitová destička
VC	$m \cdot min^{-1}$	řezná rychlost
$V_{CT/VB}$	-	řezná rychlost pro referenční trvanlivost a opotřebení břitu nástroje
V_f	$mm \cdot min^{-1}$	rychlost posuvu
V_{rp}	$mm \cdot min^{-1}$	rychlost rychloposuvu obráběcího stroje
V_f	$mm \cdot min^{-1}$	rychlost řezání
V_s	$m \cdot s^{-1}$	obvodová rychlost brousícího kotouče
Z	-	počet zubů nástroje
Z_c	mm	přídavek na obrábění
γ_f	$^\circ$	boční úhel čela nástroje
γ_p	$^\circ$	zadní úhel čela nástroje
K_r	$^\circ$	úhel nastavení hlavního ostří
h_i	mm	okamžitá tloušťka třísky
h_m	mm	střední tloušťka třísky
φ_i	$^\circ$	okamžitý úhel posuvového pohybu
v_{c0}	$m \cdot min^{-1}$	startovní řezná rychlost
f_{z0}	mm	startovní velikost posuvu na zub
X	-	korekční součinitel řezné rychlosti pro poměr a_e/D
x	-	korekční součinitel posuvu na zub pro poměr a_e/D

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Technologický postup výroby pro variantu součásti z nelegované
 lité oceli s povrchovou úpravou černěním

Příloha 1

Díl	Kohout ALFA
Autor	Jakub Talanda
Datum	21.05.2021

Výrobní varianta	Nelegovaná ocel, černěná
Materiál	422660
Polotovar	Odlitek dle zvláštního výkresu

Číslo op.	Pracoviště	Úkon	Stroj	Nástroj	tA	tB
						dv
000	Kalírna - kooperace	Žíhání homogenizační, 1100 °C, 12 h				
		Žíhání normalizační, 900 °C				
		Žíhání ke snížení vnitřního pnutí, 600 °C				
		Žíhání naměkko, 650 °C				
010	Omílání	Omílání: Naložit dávku, omílání, separace	Omílačka Flídr EVP-RA 100	Kameny Flídr tvar D, typ RS, vel. 16/16, compound FC 321	0	30 400
020	Brusírna	Brousit boční plochy odlitku do roviny, upnutí na magentickou desku	Bruska rovinná Bernardo BSG 3060	Br. Kot. 1 250x25x76 98A 46J 9 V 40	0,28	3,04 6
030	CNC Frézování	Frézovat čelní plochy včetně vtoku, upnutí do vícenásobného přípravku	CNC centrum Fanuc ROBODRILL α-D21MiB5	Fréza čelní s VBD Pramet SHN 06C D = 32 mm	0,02	1,96
031						8
040	CNC Frézování	Vrtat otvory A1, A2, A3, upnutí do jednouúčelového přípravku	CNC centrum Fanuc ROBODRILL α-D21MiB5	Vrták monolitní SK, STIMZET typ DIN 6535 3D, 3 ks	0,06	2,05
041						4
050	CNC Frézování	Frézovat boční plochy C1, C2, C3, upnout do vícenásobného přípravku	CNC centrum Fanuc ROBODRILL α-D21MiB5	Fréza do rohu s VBD Pramet SAP 16D D = 16 mm	0,17	3,72 4
060	CNC Frézování	Frézovat hřbet kohoutu plochy D2, D3, upnout do jednouúčelového přípravku	CNC centrum Fanuc ROBODRILL α-D21MiB5	Fréza monolitní vypuklá půlkruhová, 2 ks	0,3	1,96 4

Číslo op.	Pracoviště	Úkon	Stroj	Nástroj	ta		tb	
							dv	
061	CNC Frézování	Frézovat drážku D1, provést spolu s op. 060	CNC centrum Fanuc ROBODRILL α-D21MiB5	Fréza monolitní kotoučová pro drážky per	0,2		0	4
070	CNC Frézování	Otevřít otvor A2, frézovat plochu D4, upnout do jednoúčelového přípravku	CNC centrum Fanuc	Fréza do rohu s VBD Pramet SAP 10D D = 10 mm	0,02		1,96	8
071	CNC Frézování	Vrtat otvor A4, provést spolu s op. 070	ROBODRILL α-D21MiB5	Vrták monolitní SK, STIMZET typ DIN 6535 3D	0,01		0	8
080	Omílání	Omílání: Naložit dávku, omílání, separace	Omílačka Flídr EVP-RA 100	Kameny Flídr tvar G, typ RP, vel. 3, pasta RPP 6279	0		120	400
090	Kalírna - kooperace	Zušlechtit na 48 + 5 HRC Kalit v oleji při 830 °C Popouštět při 550 °C						
100	Protlačování	Protlačovat otvory A1, A2	Protlačovací lis Hahndorf HRP 6	Protlačovací trn, vodící pouzdro, 2 ks	0,6		0	1
111	Broušení	Brousit plochy C1 na čisto z obou stran, upnutí na magnetickou desku	Bruska rovinná Bernardo BSG 3060	Br. Kot. 1 250x25x76 98A 60J 9 V 40	0,73		3,04	6
112		Brousit plochu B4 na čisto, vyladit podle etalonu	Bruska rovinná Bernardo BSG 3060	Br. Kot. 1 250x25x76 98A 60J 9 V 40	0,07		3,2	6
113		Brousit plochy C1 na čisto z obou stran, upnutí na magnetickou desku	Bruska rovinná Bernardo BSG 3060	Br. Kot. 1 250x25x76 98A 60J 9 V 40	0,27		3,5	6
121	Leštění	Leštit pohledové plochy, v ruce	Leštička Bernardo PS 200 S	Kotouč Pferd TR 15010-20 TH, pasta Pferd G-PP 1 VP Fe	1		0	1
122	Černění	Černit pohledové plochy						