



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SESTAVENÍ TECHNOLOGIE SOUČÁSTI "KONZOLA" V PODMÍNKÁCH MALÉ FIRMY

TECHNOLOGY SOLUTION OF "KONZOLA" COMPONENT IN CONDITION OF A SMALL FIRM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

KATEŘINA ŠTEGNEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Kateřina Štegnerová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Sestavení technologie součásti "konzola" v podmínkách malé firmy

v anglickém jazyce:

Technology solution of "konzola" component in condition of a small firm

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Charakteristika součásti (výkres, polotovar, funkčnost, montážní celek). Sestavení výrobního postupu ve 2 variantách (posouzení kritických míst). Přiřazení nástrojů dle strojního zařízení ve firmě. Formulování doporučení pro využití progresivních nástrojů. Doložení TPV dokumentace z firemního prostředí. Zhodnocení návrhů.

Cíle bakalářské práce:

Navržení reálné technologie pro specifické podmínky firmy. Přehled v oblasti výrobců nástrojů. Znalost zásad při zpracovávání TPV dokumentace.

Seznam odborné literatury:

1. CIHLÁŘOVÁ, P., HILL, M. and PÍŠKA, M. Fundamentals of CNC Machining. [online]. Dostupné na World Wide Web: <<http://cnc.fme.vutbr.cz>>.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. ŠTULPA, M. CNC obráběcí stroje a jejich programování. 1. vyd. Praha: Technická literatura BEN, 2007. 128 s. ISBN 978-80-7300-207-7.
4. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-972299-4-6.
5. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
6. KOČMAN, K. Speciální technologie obrábění. 3. vyd. Brno: VUT v Brně, Akademické nakladatelství CERM, 2004. 230 s. ISBN 80-214-2562-8.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 24.11.2010

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá řešením technologie výroby součásti „konzola“, posouzením její technologičnosti, funkčnosti a navržením optimalizací. Polotovary, stroje, nástroje a měřidla pro jednotlivé operace jsou voleny dle podmínek firmy. Pro jednotlivé operace jsou stanoveny řezné podmínky a vypočteny strojní časy. Z těchto údajů jsou následně sestaveny dvě varianty výrobního postupu a je provedeno jejich zhodnocení. Konzola je také analyzována z hlediska deformačně-napěťových stavů pomocí metody konečných prvků a jsou určena kritická místa. Závěrem jsou tyto výsledky a návrhy posouzeny.

Klíčová slova

Konzola, soustružení, frézování, technologický postup, operační návody, ANSYS

ABSTRACT

This work deals with the solution technology component of the console. There is an evaluation of technological principles, functionality and the suggestion of optimize. Stock, machines, tools and gauges for each operation are selected according to conditions of the company. For each operation are determined cutting conditions and production time. There are two versions of the production process. Additionally these two versions are evaluated. The console is also analyzed in terms of stress-strain relations, finite elements, which appear critical points. In conclusion, these results are judged.

Key words

Console, turning, milling, production process, operational prescription, ANSYS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠTEGNEROVÁ, Kateřina. *Sestavení technologie součásti „konzola“ v podmínkách malé firmy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 44s., příloh 23. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Sestavení technologie součásti „konzola“ v podmínkách malé firmy vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 5.5. 2011

.....
Kateřina Štegnarová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu své bakalářské práce Ing. Milanu Kalivodovi z UST, Ing. Petru Marciánovi z UMTMB VUT v Brně a zaměstnancům firmy Stedotech s.r.o. za cenné připomínky, rady a všestrannou pomoc při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Abstrakt.....	4
Prohlášení.....	5
Poděkování.....	6
Obsah	7
Úvod.....	8
1 CHARAKTERISTIKA SOUČÁSTI	9
1.1 Funkce sestavy.....	9
1.2 Volba materiálu a polotovaru	10
2 HODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI SOUČÁSTI.....	12
2.1 Hodnocení z hlediska dodržení tvaru a geometrie součásti	12
2.2 Hodnocení z hlediska dodržení tolerancí rozměrů a jakosti povrchu	13
2.3 Hodnocení z hlediska zvýšení produktivity práce a efektivnosti.....	13
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY	14
3.1 Návrh operací	14
3.2 Návrh strojů	14
3.2.1 Hrotový soustruh SV18 RA, výrobce TOS Trenčín.....	14
3.2.2 Frézka FGU 32, výrobce Obráběcí stroje Olomouc, s.r.o.	15
3.2.1 Sloupová vrtačka VS 32 B, výrobce Heltos, a.s.	16
3.3 Návrh nástrojů a měřidel	16
3.3.1 Nástroje pro soustružení	16
3.3.2 Nástroje pro vrtání děr.....	17
3.3.3 Nástroje pro frézování	18
3.3.4 Měřidla	18
3.4 Návrh přípravků.....	19
3.4.1 Přípravek č. 1 pro soustružení přerušovaným řezem.....	19
3.4.2 Přípravek č. 2 pro frézování drážky Ø42 mm.....	19
3.4.3 Přípravek č. 3 pro frézování drážek 32 x 14 mm.....	20
3.5 Řezné podmínky a výpočty	21
3.6 Technologický postup.....	25
3.6.1 Varianta A	25
3.6.2 Varianta B.....	28
3.6.3 Zhodnocení variant	30
4 DEFORMAČNĚ-NAPĚŤOVÁ ANALÝZA KONZOLY	31
4.1 Teoretické pozadí.....	31
4.2 Presentace a analýza výsledků.....	33
4.2.1 Model geometrie.....	33
4.2.2 Tvorba sítě konečných prvků	33
4.2.3 Okrajové podmínky a zatížení.....	34
4.2.4 Výsledky analýzy a jejich zhodnocení	35
Závěr	40
Seznam použitých zdrojů.....	41
Seznam použitých zkratk a symbolů	43
Seznam příloh	44

ÚVOD

Předmětem předkládané bakalářské práce je návrh reálné technologie výroby pro součást typu konzola v podmínkách konkrétní firmy. Tento návrh spočívá ve zpracování TPV dokumentace, která zahrnuje celkový souhrn technických, technologických, technicko-organizačních a technicko-ekonomických opatření.

Technická příprava lze rozdělit na část konstrukční, technologickou a ekonomickou. Konstrukční příprava výroby navazuje na návrh výrobku a obsahuje výkresovou dokumentaci. Technologická příprava zahrnuje především tvorbu technologického postupu, který je základním dokumentem. Obsahuje potřebné srozumitelné a jednoznačné informace pro výrobu. Dále volbu polotovaru, počet a sled operací, volbu strojů, nástrojů, měřidel a přípravků. Důležitou součástí dokumentace jsou i operační návody, které obsahují detailní popis jednotlivých operací (včetně rezných podmínek a grafického znázornění operace).

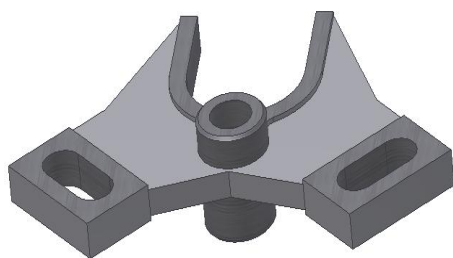
Cílem této práce je návrh technologie výroby součásti „konzola“ pro podmínky konkrétní firmy. Předpokladem je přehled v oblasti výrobců nástrojů a znalost zásad zpracování TPV dokumentace.

Při sestavování návrhu technologie výroby je nezbytné zabývat se také analýzou deformačně-napěťového stavu součásti a posoudit tak její kritická místa. Na základě výsledků lze provést optimalizaci. Vše je voleno s ohledem na malosériovou výrobu konzoly.

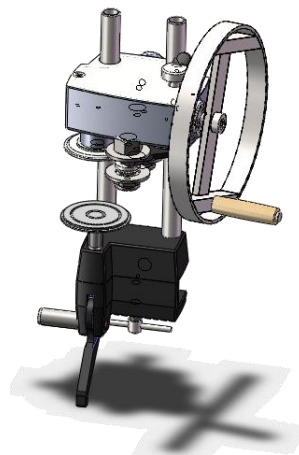
1 CHARAKTERISTIKA SOUČÁSTI

Konzola (Obr. 1.1) je součástí sestavy stroje (Obr. 1.2), který slouží k lemování víčka konzervy a tím k jejímu uzavření. Výrobní výkres součásti je uveden v Příloze č. 2 a výkres sestavy lemovače je v Příloze č. 1. Tyto modely a výkresy byly vytvořeny ve výukové verzi programu Autodesk Inventor 11.

Vzhledem k tomu, že se jedná o malosériovou výrobu, bude jí přizpůsobena zvolená technologie, stroje i nástroje.



Obr. 1.1 Model konzoly



Obr. 1.2 Model lemovače

1.1 Funkce sestavy

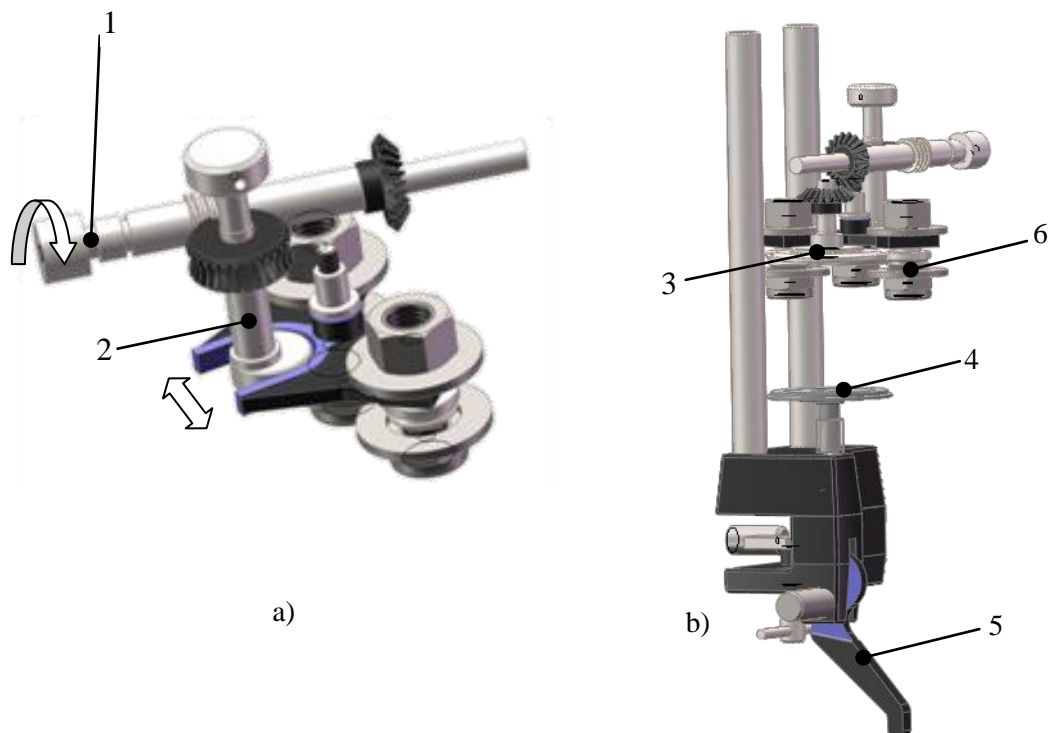
Pohon zařízení je řešen manuálně. Detail převodové skříně je na Obr. 1.3 a funkce stroje je znázorněna na Obr. 1.4. Krouticí moment je přenášen hřídelí do převodové skříně (1), kde je dále přenášen přes šnekové soukolí na vačku, způsobuje rotaci vačky (2) a také horní desky, která točí samotnou plechovkou (3).

Plechovka je uložena na otočné spodní desce za prolis v jejím dně (4). Pomocí páky je spodní deska s plechovkou a víkem přitlačována horní desce (5). Správný přítlak plechovky k víku je dán polohou páky v její horní poloze a napětím pružiny umístěné na čepu spodní desky.



Obr. 1.3 Detail převodové skříně

Pohybem vačky je konzola unášena střídavě do stran a tím je dosaženo prisunutí tvářecích kol (6) a vytvoření spoje víčka a těla plechovky.



Obr.1.4 Činnost stroje: a) detail funkce vačky, b) lemovač bez převodové skříně

1.2 Volba materiálu a polotovaru

Použitým materiálem je litina s lupínkovým grafitem EN-GJL-200 (EN-JL 1030) ČSN 42 2420, často označovaná jako šedá litina. Má ve struktuře lupínkový (lamelární) grafit a kovovou matici (Obr. 1.5), která obsahuje ferit, perlit nebo jejich směs [1]. Její chemické složení je v Tab. 1.1.



Obr. 1.5 Litina s lupínkovým grafitem s maticí feriticko-perlitickou

Tab. 1.1 Chemické složení litiny s lupínkovým grafitem

C	Si	Mn	P	S
2,5 – 3,5 %	do 3,5 %	0,4 – 0,8 %	0,2 – 1,2 %	0,08 – 0,12 %

Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn 8 až 45 mm a pro provozní teploty $-60 \div 500$ °C. Používá se např. na odlitky strojů, armatur, částí pístových motorů, turbín, na válce kompresorů apod.

Mechanické a fyzikální vlastnosti této litiny jsou v Tab. 1.2. Mechanické a fyzikální vlastnosti ostatních typů litin s lupínkovým grafitem a jejich použití uvádí materiálové listy v Příloze č. 3.

Tab. 1.2 Mechanické a fyzikální vlastnosti litiny s lupínkovým grafitem EN-GJL-200 (EN-JL 1030) ČSN 42 2420 [1]

Vlastnost	Jednotka	Hodnoty
Pevnost v tahu	N/mm ²	200 – 300
Smluvní mez kluzu	N/mm ²	130 – 195
Tažnost	%	0,8 – 0,3
Pevnost v tlaku	N/mm ²	720
Pevnost v ohybu	N/mm ²	290
Pevnost ve střihu	N/mm ²	230
Pevnost v krutu	N/mm ²	230
Max. tvrdost	HB	200
Modul pružnosti	kN/mm ²	88 – 113
Poissonův poměr	-	0,26
Únavová pevnost v ohybu	N/mm ²	90
Mez únavy, tah-tlak	N/mm ²	50
Lomová houževnatost	N/mm ^{3/2}	400
Hustota	g/cm ³	7,15
Měrný odpor	Ω. mm ² /m	0,77

Polotovarem je zvolen odlitek s technologickými přídatky na obráběné plochy 2 mm. Požadovaných rozměrů dle výrobního výkresu (Příloha č. 2) je dosaženo třískovým obráběním. Popis jednotlivých operací je uveden v kap. 3.5.

2 HODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI SOUČÁSTI

Hodnocení technologičnosti součásti se provádí pomocí několika kritérií.

Nejdůležitějšími z nich jsou:

- hospodárnost výroby,
- vyrobiteľnosť součásti,
- produktivita,
- efektivnost výroby, kdy je dosaženo předepsaného tvaru, jakosti a ceny [2].

Hodnocení je provedeno z hlediska:

- dodržení tvaru a geometrie,
- dodržení výrobních úchylek rozměrů a jakosti povrchu,
- zvýšení produktivity práce a efektivnosti.

Pro výrobu této součásti je třeba použít technologií:

- odlévání,
- soustružení,
- vrtání,
- frézování.

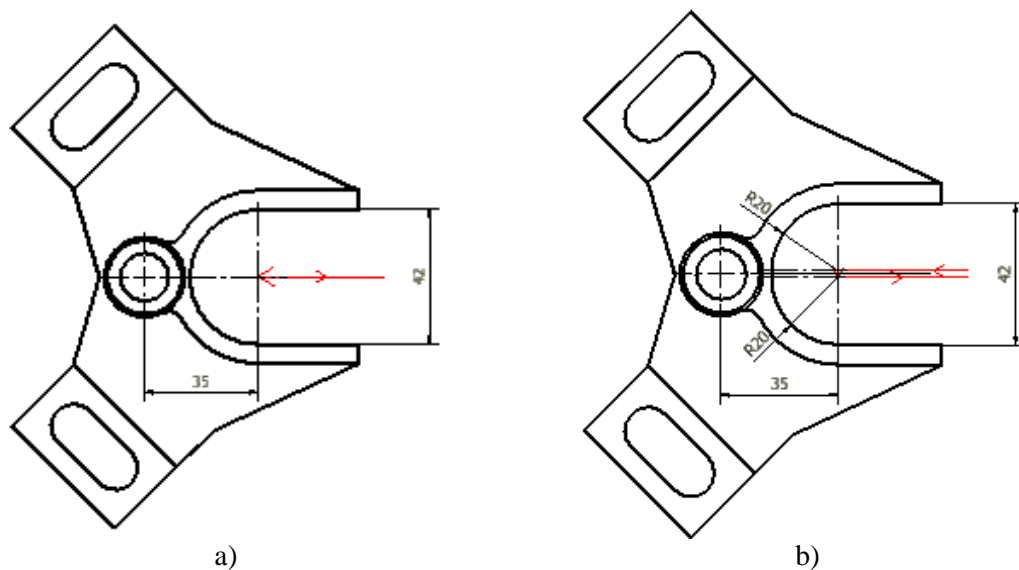
2.1 Hodnocení z hlediska dodržení tvaru a geometrie součásti

Na součásti se vyskytují tvary typu válcových a rovinných ploch, děr, drážek a sražení. Na výrobním výkrese jsou rozměry i tolerance zvoleny s ohledem na snadnou výrobu, kromě drážky označené kótami 42 mm a 35 mm.

Tato drážka je předlita a je nutno obrobit její vnitřní funkční plochy. Drážka bude vyráběna pomocí válcové frézy, avšak ve standardní nabídce nástrojů válcová fréza Ø42 mm chybí. Bylo by nutné tedy nástroj vyrobit na zakázku, čímž by stouply pořizovací náklady na nástroj.

Pokud by se jednalo o velkosériovou výrobu, bude válcová fréza Ø42 mm vhodnější, protože by došlo k výraznému zkrácení strojního času při výrobě drážky, a to téměř na polovinu. Tím by byla zaručena návratnost investice do atypického nástroje.

Z funkčního hlediska je nutné zachovat pouze vzdálenost mezi rovnoběžnými plochami (kóta 42 mm), avšak ne její rádius. Z tohoto důvodu je možné zvolit standardizovaný nástroj, kterým je válcová fréza Ø40 mm a upravit dráhu nástroje (viz Obr. 2.1). Touto optimalizací dojde k dodržení funkčnosti výrobku.



Obr. 2.1 Dráha nástroje při obrábění drážky:

- a) Nástroj válcová fréza $\text{Ø}42$ mm, dráhou je přímka,
 b) optimalizace, nástroj válcová fréza $\text{Ø}40$ mm, dráhou je lomená přímka

2.2 Hodnocení z hlediska dodržení tolerancí rozměrů a jakosti povrchu

Přesností uváděných na výkrese lze dosáhnout třískovým obráběním. Vnitřní průměr 15 mm s tolerancí H7 bude vyráběn nejprve vrtáním díry $\text{Ø}14$ mm, poté výhrubníkem $\text{Ø}14,75$ mm a nakonec výstružníkem $\text{Ø}15\text{H}7$ pro dosažení požadované tolerance. Dále je na výkrese tolerován rozměr $\text{Ø}25 \pm 0,1$ mm, kterého dosáhneme nejprve hrubováním vnějšího průměru a poté jeho dokončením. Stejným postupem dosáhneme tolerance délkových rozměrů $11 \pm 0,1$ mm a $12,5 \pm 0,1$ mm.

Tolerance drsnosti povrchu na vnitřní ploše drážky $\text{Ø}42$ mm je $R_a = 3,2 \mu\text{m}$. Obrobené plochy čel $\text{Ø}25$ mm a přerušovaných čel dosahují $R_a = 6,3 \mu\text{m}$. Ostatní plochy se mají obrobít na jakost povrchu nejvýše $R_a = 12,5 \mu\text{m}$.

2.3 Hodnocení z hlediska zvýšení produktivity práce a efektivity

Produktivita a efektivnost se dá zvýšit např. volbou vhodných strojů, nástrojů, technologickým postupem, optimalizací řezných podmínek a manipulací se součástmi. Tento návrh, spolu s výpočty strojních časů a jejich zhodnocení jsou uvedeny v kap. 3.

Zvýšení efektivity se je v tomto případě dosaženo použitím přípravků, čímž dojde k výraznému zrychlení upínání a ustavení obrobku. Přípravky jsou popsány v kap. 3.4.

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Technologický (výrobní) postup je základním dokumentem, který určuje potřebné podmínky pro zhotovení dané součásti. Normy ČSN EN ISO řady 9000 požadují, aby byl tento postup úplný a jednoznačný. Je vyžadováno, aby byl striktně dodržován na každém pracovišti. [2]

3.1 Návrh operací

Návrh operací (Tab. 3.1) je sestaven na základě výrobního výkresu (Příloha č. 2) a bude sloužit pro pozdější sestavení technologického postupu (viz kap. 3.6) a operačních návodek (viz Příloha č. 16-21).

Tab. 3.1 Návrh operací

Č. op.	Varianta A		Varianta B	
	Stroj	Činnost	Stroj	Činnost
01/01		Odstranit otřepy		Odstranit otřepy
02/02	Soustruh	Soustružit, vrtat	Soustruh	Soustružit
03/03	OTK	Kontrola rozměrů	Soustruh	Soustružit, vrtat
04/04	Soustruh	Soustružit	OTK	Kontrola rozměrů
05/05	Soustruh	Soustružit	Soustruh	Soustružit
06/06	Soustruh	Soustružit	Soustruh	Soustružit
07/07	Frézka	Frézovat	Frézka	Frézovat
08/08	Frézka	Frézovat	Vrtačka	Vrtat
09/09		Odhrotovat	Frézka	Frézovat
10/10	OTK	Kontrola rozměrů		Odhrotovat
11/11		Balení	OTK	Kontrola rozměrů
12/12				Balení

3.2 Návrh strojů

Návrh strojního zařízení pro výrobu součásti je volen s ohledem na strojní vybavení firmy, která výrobu zajišťuje.

3.2.1 Hrotový soustruh SV18 RA, výrobce TOS Trenčín

Tento soustruh (Obr. 3.1) je vhodný pro všechny druhy soustružnických operací. Je to vysoce přesný a výkonný stroj pro universální použití v kusové i malosériové výrobě. Používá se pro obrábění všech druhů kovových i nekovových materiálů [3].

Vyniká velkým rozsahem:

- stoupání různých typů závitů,
- příčných a podélných posuvů.

Vyhovuje i těm nejnáročnějším soustružnickým operacím díky velice výkonnému 7,5 kW motoru.

Další operace, které je možné na tomto stroji dělat jsou: soustružení letmo, v hrotech, na letmých soustružnických trnech, lisovacích trnech, soustružení v kleštinách, lícních deskách, úhelnících [4].

Podrobnější informace a technické parametry jsou uvedeny v Příloze č. 4.

3.2.2 Frézka FGU 32, výrobce Obráběcí stroje Olomouc, s.r.o.

FGU 32 (Obr. 3.2) je posledním vývojovým stupněm klasických konzolových frézek. Za jejich hlavní přednosti jsou považovány spolehlivost a výkonnost. Jejich koncepce byla při dlouholeté výrobě důkladně prověřená a průběžně zdokonalovaná vzhledem k připomínkám uživatelů. Vyznačují se účelným a estetickým vzhledem, který ani po letech nezastaral. Jsou vhodné pro přesné a výkonné frézování plochých a skříňových součástí do hmotnosti 300 kg. Parametry stroje jsou uvedeny v Příloze č. 5.

K přednostem stroje patří:

- tuhost stojanu a konzoly zaručují kvalitní povrch obrobku i při frézování nástroji ze slinutých karbidů při složitém řezu,
- plynule stavitelné posuvy ve všech 3 osách pomocí frekvenčního měniče,
- hodně volený rozsah otáček vřetena a velikosti posuvů umožňují hospodárné frézování všech běžných materiálů,
- dvanáct stupňů otáček vřetena se řadí jedinou ruční pákou, stejně tak jako velikost pracovních posuvů, které jsou poháněny samostatným elektromotorem,
- stroje jsou vybaveny sousledným frézováním, které se s výhodou využívá při opracování dlouhých a tenkých součástí. [5]



Obr. 3.1 Hrotový soustruh SV 18 RA



Obr. 3.2 Frézka FGU 32 [6]



Obr. 3.3 Sloupová vrtačka VS 32 B [7]

3.2.1 Sloupová vrtačka VS 32 B, výrobce Heltos, a.s.

Vrtačka sloupová VS 32 B [7] (Obr. 3.3) je určena pro vrtání, vystružování a řezání závitů v kusové i sériové výrobě.

Základnu tvoří litinová deska, ze které vychází ocelový sloup. Na něm je otočně upevněn vřeteník a u sloupového provedení konzola se stolem. Vřeteník a u sloupového provedení i konzola jsou svisle přestavitelné a otočné o 360 stupňů kolem sloupu.

Pohon rychlostní skříně je proveden pomocí klínového řemene od elektromotoru s možností jeho napínání. Stroje jsou vybaveny 15-ti stupni otáček. Jejich změny se zajišťují dvěma ručními pákami v kombinaci s řemenem.

Procesní kapalina je dodávána k pracovnímu stolu elektročerpadlem umístěným v podstavci stroje. Cirkuluje v uzavřeném okruhu a je regulována kohoutem.







Podrobnější informace a parametry stroje jsou uvedeny v Příloze č. 6.

3.3 Návrh nástrojů a měřidel

Nástroje i měřidla v jednotlivých operacích jsou volena s ohledem na obráběný materiál, tvarovou složitost i náročnost dané operace.

Výrobou těchto nástrojů se u nás zabývá více firem. Pro názornost je v Tab. 3.2 shrnuto, kterými nástroji konkrétně se zabývají firmy Pramet Tools s.r.o., Sandvik Coromant, Seco Tools, ZPS frézovací nástroje ZLÍN, Gühring, HAM-FINAL.

Tabulka 3.2 Přehled výrobců obráběcích nástrojů

FIRMA	Soustružení	Frézování	Obrábění otvorů
	✓	✓	✓
	✓	✓	✓
	✓	✓	✓
	✗	✓	✗
	✗	✓	✓
	✗	✗	✓

3.3.1 Nástroje pro soustružení

Tyto nástroje tvoří nejpočetnější skupinu řezných nástrojů, které se používají v různých metodách obrábění (soustružení, vyvrtávání, obrážení, hoblování). Zpravidla se jedná o nástroje jednobřité.

Výrobou těchto nástrojů se zabývá několik firem. V České republice jsou neznámějšími např. Pramet Tools s.r.o., Sandvik Coromant a Seco Tools.

Níže uvedené nástroje a jejich materiály jsou vybrány z katalogu firmy Pramet Tools s.r.o [8], protože firma zajišťující výrobu s nimi již spolupracuje.

- **Soustružení Ø25 mm**

Pro zarovnání čela, podélné soustružení a sražení hrany na Ø25 mm je zvolen vnější soustružnický hrubovací nůž PCLNR 2020 K12 (Příloha č. 7), spolu s vyměnitelnou břitovou destičkou CNMG 120408E-F (Příloha č. 8) z materiálu 6615.

Šířka záběru ostří $a_p = 0,8 \div 3,0$ mm, posuv na otáčku $f = 0,08 \div 0,35$ mm, dle doporučení z katalogu výrobce. Tyto hodnoty jsou dostatečné pro hrubovací operace.

Materiál 6615 je vhodný pro obrábění litiny, kontinuální i mírně přerušovaný řez, a vyšší řezné rychlosti. Dále má unikátní duální povlak nanesený kombinací metod MTCVD a PVD s nosnou vrstvou TiCN. Materiály VBD jsou uvedeny v Příloze č. 9.

- **Přerušované soustružení čelních ploch**

Pro hrubování přerušovaných čelních ploch je použit stejný nástroj, jako u soustružení Ø25 mm PCLNR 2020 K12. Tato volba je podpořena především snížením pořizovacích nákladů za nástroje a stejně tak jeho vhodností pro provedení této operace.

Výměnná břitová destička je opět CNMG 12 0408E-F, jako v předchozí operaci. Rozdíl je však v použitém materiálu kvůli charakteru zatížení VBD. Je zvolen materiál 9230. Obsahuje více pojiva, které zvýší houževnatost a tím i odolnosti proti vzniku trhlin. Je tedy vhodná pro přerušované řezy.

Pro dokončovací operaci tohoto povrchu je použit vnější soustružnický nůž dokončovací CTFPR 2525 M16 (Příloha č. 10) spolu s VBD TPMP 160304E-47 (Příloha č. 11), materiál 9230. Šířka záběru ostří této VBD je $a_p = 0,8 \div 4,0$ mm, posuv na otáčku $f = 0,10 \div 0,24$ mm, dle doporučení z katalogu výrobce.

3.3.2 Nástroje pro vrtání děr

Tyto nástroje patří mezi rozměrové a umožňují výrobu děr. Mezi ně patří vrtáky, výhrušníky, výstružníky (všechny dle ČSN 22 14 xx) a záhlubníky (dle ČSN 22 16 xx).

Výrobce vyvrtávacích nástrojů jsou firmy Gühring, Seco Tools, Sandvik Coromant, Pramet Tools s.r.o., Iscar Ltd, HAM-FINAL, atd.

- **Díra Ø15H7**

Na výrobu této díry bude potřeba tři nástrojů, a to vrtáku Ø14 mm, výhrušníku Ø14,75 mm a výstružníku Ø15 mm pro dokončení potřebné tolerance H7:

- vrták R840-1400-30-A1A, výrobce Sandvik Coromant (Příloha č. 12),
- výhrušník Ø14,75 mm, ČSN 22 14 11,
- výstružník Ø15 mm, ČSN 22 14 30.

- **Předvrtání drážky 32 x 14 mm**

Výroba drážky 32 x 14 mm je navržena ve dvou variantách. U varianty A je drážka pouze frézována stopkovou dvoubřitou frézou s břitem přes střed. U varianty B je použit vrták Ø12 mm k předvrtání díry v této drážce, abychom mohli následně zvolit větší rychlost zavrtávání stopkové frézy a následně vyfrézovat drážku.

Pro výrobu tohoto technologické díry je zvolen vrták Sandvik Coromant R842-1200-30-A1A (Příloha č. 13).

3.3.3 Nástroje pro frézování

Frézovací nástroje patří po nožích mezi nejdůležitější obráběcí nástroje. Frézováním můžeme vyrábět jak rovinné, tak i tvarové plochy. Fréza patří mezi vícebřité nástroje rozměrové a je výrobně mnohem náročnější.

Mezi výrobce fréz patří např. Sandvik Coromant, ZPS frézovací nástroje ZLÍN, Seco Tools, atd.

- **Drážka Ø42 mm**

Frézování drážky Ø42 mm bude provedeno válcovou frézou Ø40 mm od firmy ZPS frézovací nástroje ZLÍN s označením 140218.400 ČSN 22 21 32 (Příloha č. 14). Dráha nástroje bude přizpůsobena požadovanému rozměru, viz kap. 2.1 a Obr. 2.1.

- **Drážka 32 x 14 mm**

Výroba této drážky je navržena ve dvou variantách, v jedné bude drážka nejprve předvrtána a poté až frézována. Ve druhém případě se drážka pouze frézuje. V obou případech je však použita stopková dvoubřitá fréza Ø14 mm s břitem přes střed (Příloha č. 15), aby byla schopná se zavrtat. Nástroj může být např. od firmy Gühring dle ČSN 22 21 90 [11].

3.3.4 Měřidla

- **Posuvné měřidlo 150 mm ČSN 15 12 34**

Klasickým posuvným měřítkem (Obr. 3.4) můžeme měřit vnější i vnitřní rozměry a hloubky. Rozsah měření běžných měřidel je 0-150 mm, 0-200 mm, 0-300 mm, atd.



Obr. 3.4 Ukázka klasického posuvného měřidla

- **Válcový kalibr Ø15H7 ČSN 25 31 26**

Válcové kalibry (Obr. 3.5) se používají především v sériové výrobě, kdy jsou kontrolovány kusy velice rychle rozříděny na dobré, opravitelné a neopravitelné. Těmito měřidly není možné zjistit skutečný rozměr, ani odchylku od jmenovité hodnoty.



Obr. 3.5 Ukázka oboustranného válcového kalibru

3.4 Návrh přípravků

Přípravky lze definovat jako pomocná zařízení určená:

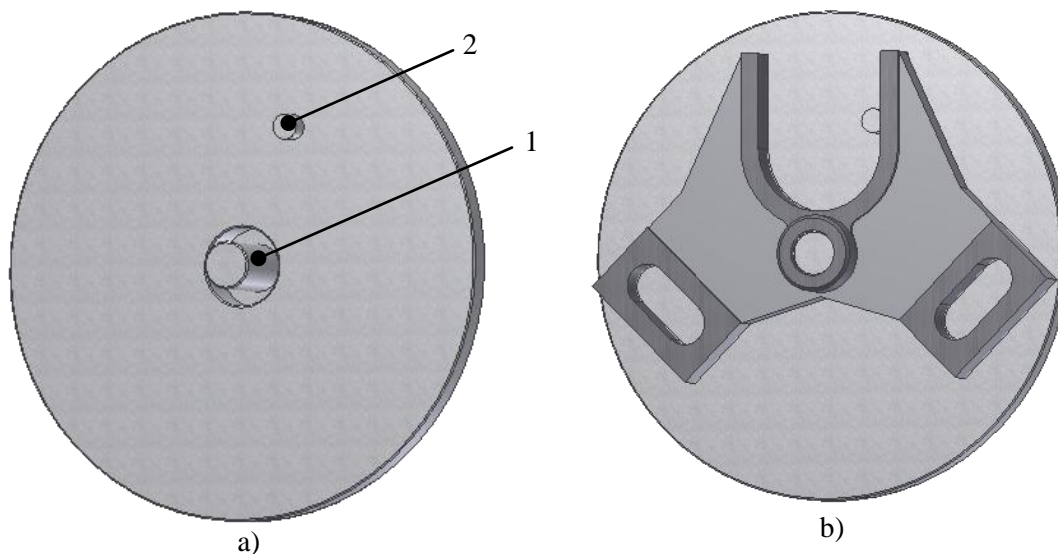
- k jednoznačnému ustavení a k pevnému uchycení součástí při jejich obrábění,
- k vzájemnému přidržení součástí při jejich sestavování,
- k vedení nástroje,
- ke kontrole rozměrů obrobků. [12]

Pro výrobu konzoly je nutné v některých operacích použít přípravky pro její jednoznačné ustavení a pevné upnutí. Návrhy přípravků pro konkrétní operace jsou uvedeny dále v této kapitole.

3.4.1 Přípravek č. 1 pro soustružení přerušovaným řezem

Pro soustružení čelních ploch přerušovaným řezem je nutno obrobek řádně upnout do stroje. K tomuto účelu je použit upínací přípravek, jehož model je na Obr. 3.6.

Obrobek je usazen na trnu přípravku (1) za $\text{Ø}15\text{H}7$ a podepřen protihrotem. Samotný přípravek je upnut přímo ve sklíčidle stroje. Tím je zajištěna jeho poloha. Rotace obrobku spolu s přípravkem je zajištěna dorazovým kolíkem (2).

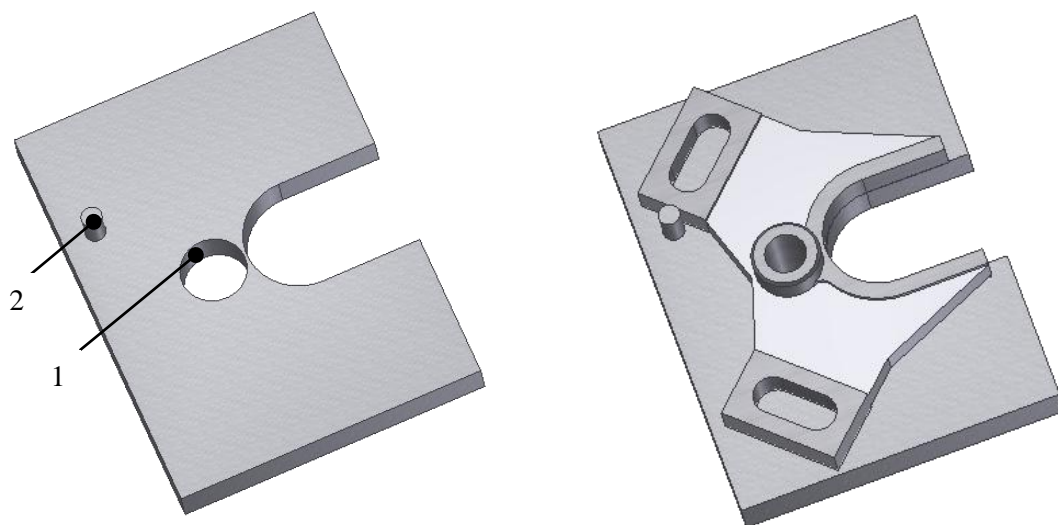


Obr. 3.6 Model přípravku pro přerušované soustružení čela
a) bez konzoly, b) s konzolou

3.4.2 Přípravek č. 2 pro frézování drážky $\text{Ø}42\text{ mm}$

Pro obrobení funkčních ploch drážky $\text{Ø}42\text{ mm}$ je nutno obrobek upnout na stole stroje. Pro tyto účely je vyroben přípravek, jehož model je na Obr. 3.7.

Konzola je usazena v tělese přípravku za její vnější průměr 25 mm (1) a opřena na obrobeném přerušovaném čele. Konzola je proti rotaci kolem vlastní osy zajištěna dorazovým kolíkem (2). Tím je zajištěna i její správná poloha proti přípravku. Tato sestava je následně upnuta pomocí upínky do T-drážek stolu frézy.

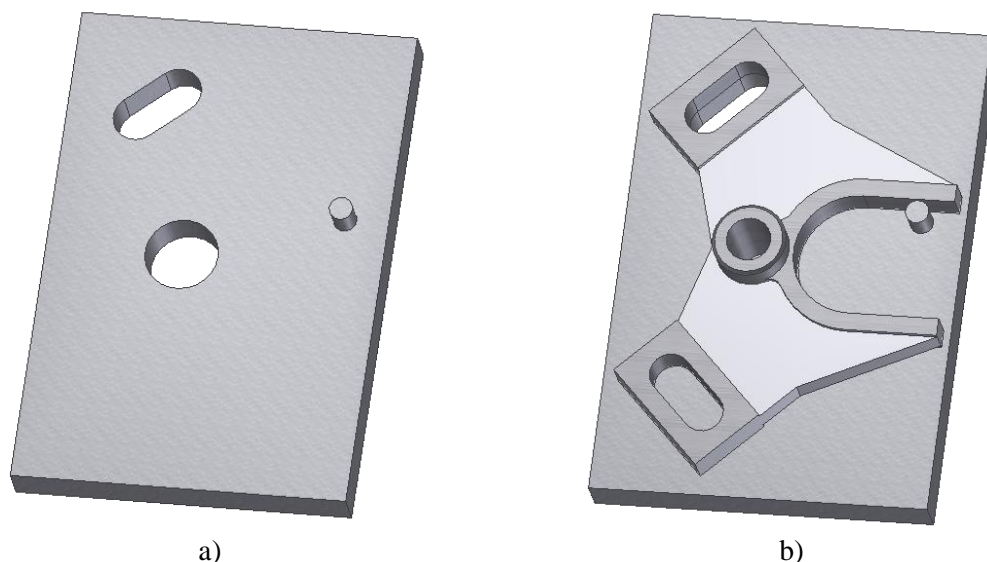


Obr. 3.7 Model přípravku pro frézování drážky $\varnothing 42$ mm:
a) bez konzoly, b) s konzolou

3.4.3 Přípravek č. 3 pro frézování drážek 32 x 14 mm

Pro vytvoření drážek 32 x 14 mm je nutno obrobek pevně upnout a ustavit. Pro tyto účely je vyroben přípravek, jehož model je na Obr. 3.8. Technologicky i konstrukčně je velice podobný s přípravkem č. 2 pro obrobení drážky $\varnothing 42$ mm.

Usazení konzoly, její ustavení v tělese přípravku i stole stroje je stejné, jak v předchozím případě. Pouze dorazový kolík je umístěn u jiné plochy.



a) b)
Obr. 3.8 Model přípravku pro frézování drážek 32 x 14 mm:
a) bez konzoly, b) s konzolou

3.5 Řezné podmínky a výpočty

Řezné podmínky pro konkrétní operace jsou uvedeny v operačních technologických návodkách a jsou vypočítány dle parametrů nástrojů jednotlivých výrobců ze vzorců [13]:

Výpočet konstantních otáček:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D}, \quad (3.1)$$

kde D ... průměr [mm],
 n ... otáčky [min^{-1}],
 v_c ... řezná rychlost [m/min].

Strojní čas pro podélné soustružení s konstantními otáčkami:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{n \cdot f}, \quad (3.2)$$

kde t_{AS} ... strojní čas [min],
 L ... pracovní dráha [mm],
 l_n ... délka náběhu [mm],
 l ... obráběná délka [mm],
 l_p ... délka přeběhu [mm],
 i ... počet třísek [-],
 n ... otáčky [min^{-1}],
 f ... posuv na otáčku [mm].

Strojní čas pro čelní soustružení s konstantními otáčkami:

$$t_{AS} = \frac{D}{2 \cdot n \cdot f}, \quad (3.3)$$

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d \cdot D)}{2 \cdot 10^3 \cdot f \cdot v_c}, \quad (3.4)$$

kde t_{AS} ... strojní čas [min],
 D ... průměr velký [mm],
 d ... průměr malý [mm],
 n ... otáčky [min^{-1}],
 f ... posuv na otáčku [mm],
 v_c ... řezná rychlost [m/min].

Strojní čas pro vrtání, vyhrubování, vystružování:

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f}, \quad (3.5)$$

kde t_{AS} ... strojní čas [min],
 L ... pracovní dráha [mm],
 l_n ... délka náběhu [mm],
 l ... obráběná délka [mm],
 l_p ... délka přeběhu [mm],
 n ... otáčky [min^{-1}],
 f ... posuv na otáčku [mm].

Strojní čas pro frézování při konstantních otáčkách:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{z_n \cdot n \cdot f_z} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{z_n \cdot n \cdot f_z}, \quad (3.6)$$

kde t_{AS} ... strojní čas [min],
 L ... pracovní dráha [mm],
 l_n ... délka náběhu [mm],
 l ... obráběná délka [mm],
 l_p ... délka přeběhu [mm],
 i ... počet třísek [-],
 n ... otáčky [min^{-1}],
 f_z ... posuv na zub [mm],
 z_n ... celkový počet zubů řezného nástroje [-].

Konkrétní výpočty neobráběných ploch jsou uvedeny níže:

Soustružení čela Ø27 mm

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 27} = 2358 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{D}{2 \cdot n \cdot f} = \frac{25}{2 \cdot 2358 \cdot 0,2} = 0,0265 \text{ min}$$

Soustružit Ø25 mm na délce 9,5 mm

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 25} = 2547 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{n \cdot f} = \frac{(2 + 9,5 + 0) \cdot 1}{2547 \cdot 0,2} = 0,0226 \text{ min}$$

Soustružit Ø25 mm na délce 12,5 mm

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 25} = 2547 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{n \cdot f} = \frac{(2 + 12,5 + 0) \cdot 1}{2547 \cdot 0,2} = 0,0285 \text{ min}$$

Srazit hranu na Ø25 mm

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 25} = 2547 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{n \cdot f} = \frac{(2 + 1 + 2) \cdot 1}{2547 \cdot 0,2} = 0,0098 \text{ min}$$

Vrtat díru Ø14 mm skrz ($l = 33$ mm)

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 150}{\pi \cdot 14} = 3410 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 33 + 3}{3410 \cdot 0,3} = 0,0371 \text{ min}$$

Vyhrubovat díru Ø14,8 mm skrz ($l = 33$ mm)

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 14,8} = 2151 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 33 + 3}{2151 \cdot 0,3} = 0,0589 \text{ min}$$

Vystružit díru Ø15H7 skrz ($l = 33$ mm)

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 100}{\pi \cdot 15} = 2122 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 33 + 3}{2122 \cdot 0,3} = 0,0597 \text{ min}$$

Hrubovat přerušované čelo

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 200}{\pi \cdot 72} = 885 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d \cdot D)}{2 \cdot 10^3 \cdot f \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot (72^2 - 25 \cdot 72)}{2 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 200} = 0,1299 \text{ min}$$

Soustružit přerušované čelo na čisto

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 300}{\pi \cdot 72} = 1326 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d \cdot D)}{2 \cdot 10^3 \cdot f \cdot v_c} = \frac{\pi \cdot (72^2 - 25 \cdot 72)}{2 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 280} = 0,0886 \text{ min}$$

Zavrtat se frézou Ø14 mm

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 14} = 1364 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 11 + 2}{1364 \cdot 0,1} = 0,1099 \text{ min}$$

Frézovat drážku 32 x 14 mm

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 14} = 1364 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{z_n \cdot n \cdot f_z} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{z_n \cdot n \cdot f_z} = \frac{(0 + 32 + 0) \cdot 2}{2 \cdot 1364 \cdot 0,25} = 0,0938 \text{ min}$$

Předvrtat technolog. díru Ø12 mm v drážce 32 x 14 mm

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 150}{\pi \cdot 12} = 3979 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 11 + 2}{3979 \cdot 0,3} = 0,0126 \text{ min}$$

Zavrtat se frézou Ø14 mm do předvrtané technolog. díry

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60}{\pi \cdot 14} = 1364 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L}{n \cdot f} = \frac{l_n + l + l_p}{n \cdot f} = \frac{2 + 11 + 2}{1364 \cdot 0,2} = 0,0550 \text{ min}$$

Hrubovat drážku kóty 40mm a 35 mm

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 120}{\pi \cdot 40} = 955 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{z_n \cdot n \cdot f_z} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{z_n \cdot n \cdot f_z} = \frac{(2 + 31 + 0) \cdot 6}{6 \cdot 955 \cdot 0,08} = 0,4146 \text{ min}$$

Frézovat drážku kóty 40mm a 35 mm na čisto

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 160}{\pi \cdot 40} = 1273 \text{ min}^{-1}$$

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{z_n \cdot n \cdot f_z} = \frac{(l_n + l + l_p) \cdot i}{z_n \cdot n \cdot f_z} = \frac{(2 + 31 + 0) \cdot 6}{6 \cdot 1273 \cdot 0,03} = 0,8641 \text{ min}$$

Tabulka 3.3 Souhrn řezných podmínek

Operace	n [min ⁻¹]	v _c [mm/min]	f [mm]	t _{as} [min]
Soustružení čela Ø27 mm	2358	200	0,2	0,0265
Soustružit Ø25 mm na délce 9,5 mm	2547	200	0,2	0,0226
Soustružit Ø25 mm na délce 12,5 mm	2547	200	0,2	0,0285
Srazit hranu na Ø25 mm	2547	200	0,2	0,0098
Vrtat díru Ø14 mm skrz	3410	150	0,3	0,0371
Vyhrubovat díru Ø14,8 mm skrz	2151	100	0,3	0,0589
Vystružit díru Ø15H7 skrz	2122	100	0,3	0,0597
Hrubovat přerušované čelo	885	200	0,2	0,1299
Soustružit přerušované čelo na čisto	1326	280	0,2	0,0886
Zavrtat se frézou Ø14 mm	1364	60	0,1	0,1099
Frézovat drážku 32 x 14 mm	1364	60	0,25	0,0938
Předvrtat technolog. díru Ø12 mm	3979	150	0,3	0,0126
Zavrtat se frézou Ø14 mm do předvrtané technolog. díry	1364	60	0,2	0,4146
Hrubovat drážku kóty 40mm a 35 mm	955	120	0,08	0,4146
Frézovat drážku kóty 40mm a 35 mm na čisto	1273	160	0,03	0,8641

3.6 Technologický postup

Hlavní částí TPV dokumentace je technologický postup. Vždy musí být stručný, výstižný a jednoznačný. Měl by obsahovat výrobní zařízení pro jednotlivé operace (stroje nástroje, přípravky, měřidla), sled těchto operací a konkrétní pokyny pro každou z nich.

Technologický postup může také obsahovat řezné podmínky a jednotkové strojní časy. V tomto případě jsou tyto informace uvedeny až v operačních návodkách (Příloha č. 16 - 21) spolu s grafickým znázorněním operace, které jsou sestaveny na základě tohoto postupu.

3.6.1 Varianta A

Technologický postup je sestaven na základě předchozího výběru strojů, nástrojů, zvolení sledu operací a výpočtů strojních časů.

Při prvním upnutí součásti ve stroji za Ø27 mm na délce 14 mm je zarovnáno čelo vnějšího průměru 27 mm na délku 9,5 mm, soustružen Ø25 mm na délce 9,5 mm, sražena hrana. Při tomto upnutí je zároveň obrobena díra Ø15H7.

V další operaci je součást otočena, upnuta za obroběný vnější průměr 25 mm na délce 9,5 mm, zarovnáno její čelo, soustružen Ø25 mm na délce 14 mm, sražena hrana. V této operaci zároveň dojde k odstranění otřepů vniklých při výrobě díry Ø15H7.

Drážka 32 x 14 mm je obráběna jedním nástrojem, a to stopkovou dvoubřitou frézou s břitem přes střed Ø14 mm. Ta se nejprve zavrtá do plného materiálu a poté

radiálním posuvem frézuje drážku. Tato operace je časově náročná, protože hodnoty posuvů jsou malé. Celý technologický postup je uveden níže v Tab. 3.4.

Tab. 3.4 Technologický postup varianta A

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP A					Název součástky: KONZOLA
Dne:	25.2.2011	Vyhotovil:	Štegenerová	Polotovár:	ODLITEK	List: 1	Číslo výkresu: 3-BP-02/02
Číslo op.:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:	
01/01		Obrobna	Odstranit vtokovou soustavu po odlití.				
02/02	Soustruh hrotový SV 18 RA	Obrobna	<p>Upnout za Ø27 mm na délce 14 mm, zarovnat čelo Ø27 mm na délku 9,5mm, soustružit Ø25 mm na délce 9,5 mm, srazit hranu.</p> <p>Vrtat díru Ø14 mm.</p> <p>Vyhrubovat Ø14,8 mm.</p> <p>Vystružit díru Ø15H7.</p>			<p>Soustružnický nůž vnější hrubovací Pramet držák: PCLNR 2020 K12 VBD: CNMG 120408E-F, mat. 6615</p> <p>Vrták Sandvik Coromant R840-1400-30-A1A Výhrubník Ø14,75 mm ČSN 22 14 11 Výstružník Ø15H7 ČSN 22 14 30</p>	
03/03	OTK		Kontrola rozměru Ø15H7, četnost 90%.			Válcový kalibr Ø15H7 ČSN 25 31 26	
04/04	Soustruh hrotový SV 18 RA	Obrobna	Otočit, upnout za Ø25 mm na délce 9,5 mm, zarovnat čelo Ø27 mm, soustružit Ø25 mm na délce 12,5 mm, srazit hranu.			Soustružnický nůž vnější hrubovací Pramet držák: PCLNR 2020 K12 VBD: CNMG 120408E-F, mat. 6615	
05/05	Soustruh hrotový SV 18 RA	Obrobna	<p>Usadit na trn přípravku za Ø15H7, podepřít hrotem, hrubovat přerušované čelo do hloubky 12 mm.</p> <p>Soustružit přerušované čelo do hloubky 12,5±0,1 mm na čisto.</p>			<p>Přípravek č. 1 Soustružnický nůž vnější hrubovací Pramet držák: PCLNR 2020 K12 VBD: CNMG 120408E-F, mat. 9230</p> <p>Soustružnický nůž vnější dokončovací Pramet držák: CTFPR 2525 M16 VBD: TPMR 160304E-47, mat. 9230</p>	

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP A					Název součástky: KONZOLA		
Dne:	25.2.2011	Vyhotovil:	Štegenerová	Polotovár:	ODLITEK	List:	2	Číslo výkresu:	3-BP-02/02
Číslo op.:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:			
06/06	Soustruh hrotový SV 18 RA	Obrobna	<p>Otočit, usadit na trn přípravku za Ø15H7, podepřít hrotem, hrubovat přerušované čelo do hloubky 9 mm.</p> <p>Soustružit přerušované čelo do hloubky 9,5 mm na čisto.</p>			<p>Přípravek č. 1 Soustružnický nůž vnější hrubovací Pramet držák: PCLNR 2020 K12 VBD: CNMG 120408E-F, mat. 9230</p> <p>Soustružnický nůž vnější dokončovací Pramet držák: CTFPR 2525 M16 VBD: TPMR 160304E-47, mat. 9230</p>			
07/07	Frézka FGU 32	Obrobna	<p>Hrubovat drážku, kóty 40 mm a 35 mm.</p> <p>Frézovat drážku, kóty 40 mm a 35 mm na čisto.</p>			<p>Přípravek č. 2</p> <p>Válcová fréza ZPS Zlín 140218.400 ČSN 22 21 32</p>			
08/08	Frézka FGU 32	Obrobna	<p>Frézovat drážku 32x14 mm, překlomit obrobek, frézovat drážku 32x14 mm.</p>			<p>Přípravek č. 3</p> <p>Stopková fréza dvoubřitá s břitem přes střed Ø14 mm ČSN 22 21 90</p>			
09/09		Obrobna	Ručně odhrotovat.						
10/10	OTK		<p>Kontrola rozměrů: 11±0,1 30% Ø15H7 20%</p>			<p>Posuvné měřidlo 150 ČSN 15 12 34</p> <p>Válcový kalibr Ø15H7 ČSN 25 31 26</p>			
11/11		Balárna	Konzervace, balení, expedice.			Platí pouze pro náhradní díly.			

3.6.2 Varianta B

Tento návrh se od předchozího liší především:

- v posloupnosti obrábění vnějšího průměru 27 mm a díry Ø15H7,
- ve způsobu výroby drážky 32 x 14 mm.

Díra Ø15H7 je vyráběna až po obrobení obou čel Ø27 mm na rozměr 9,5 mm a 14 mm, po soustružení na Ø25 mm a sražení hran. Je tedy potřeba po vystružení díry ručně srazit vzniklé otřepy. Ovšem při této posloupnosti operací je díra Ø15H7 obráběna při upnutí součásti za již obrobený vnější průměr 25 mm a je tedy přesnější.

Drážka 32 x 14 mm je nejprve předvrtána vrtákem Ø12 mm. Následně je použita stopková dvoubřitá fréza s břitem přes střed Ø14 mm. Pro její zavrtání do již převrtaného materiálu můžeme použít větší posuvu a fréza se zavrtá daleko rychleji. Celý technologický postup je uveden v Tab. 3.5.

Tab. 3.5 Technologický postup varianta B

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP B					Název součástky: KONZOLA
Dne:	25.2.2011	Vyhotovil:	Štegenerová	Polotovary:	ODLITEK	List: 1	Číslo výkresu: 3-BP-02/02
Číslo op.:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:	
01/01		Obrobna	Odstranit vtokovou soustavu po odlití.				
02/02	Soustruh hrotový SV 18 RA	Obrobna	Upnout za Ø27 mm na délce 14 mm, zarovnat čelo Ø27 mm, soustružit Ø25 mm na délku 9,5 mm, srazit hranu.			Soustružnický nůž vnější hrubovací Pramet držák: PCLNR 2020 K12 VBD: CNMG 120408E-F, mat. 6615	
03/03	Soustruh hrotový SV 18 RA	Obrobna	Otočit, upnout za Ø25 mm na délce 9,5 mm, zarovnat čelo Ø27 mm, soustružit Ø25 mm na délku 12,5 mm, srazit hranu. Vrtat díru Ø14 mm. Vyhrubovat Ø14,8 mm. Vystružit díru Ø15H7.			Soustružnický nůž vnější hrubovací Pramet držák: PCLNR 2020 K12 VBD: CNMG 120408E-F, mat. 6615 Vrták Sandvik Coromant R840-1400-30-A1A Výhrubník Ø14,75 mm ČSN 22 14 11 Výstružník Ø15H7 ČSN 22 14 30	

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP B					Název součástky: KONZOLA
Dne:	25.2.2011	Vyhotovil:	Štegenerová	Polotovary:	ODLITEK	List: 2	Číslo výkresu: 3-BP-02/02
Číslo op.:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:	
04/04	OTK		Kontrola rozměru Ø15H7, četnost 90%.			Válcový kalibr Ø15H7 ČSN 25 31 26	
05/05	Soustruh hrotový SV 18 RA	Obrobna	<p>Usadit na trn přípravku za Ø15H7, podepřít hrotem, hrubovat přerušované čelo do hloubky 12 mm.</p> <p>Soustružit přerušované čelo do hloubky 12,5±0,1 mm na čisto.</p>			<p>Přípravek č. 1 Soustružnický nůž vnější hrubovací Pramet držák: PCLNR 2020 K12 VBD: CNMG 120408E-F, mat. 9230</p> <p>Soustružnický nůž vnější dokončovací Pramet držák: CTFPR 2525 M16 VBD: TPMR 160304E-47, mat. 9230</p>	
06/06	Soustruh hrotový SV 18 RA	Obrobna	<p>Otočit, usadit na trn přípravku za Ø15H7, podepřít hrotem, hrubovat přerušované čelo do hloubky 9 mm.</p> <p>Soustružit přerušované čelo do hloubky 9,5 mm na čisto.</p>			<p>Přípravek č. 1 Soustružnický nůž vnější hrubovací Pramet držák: PCLNR 2020 K12 VBD: CNMG 120408E-F, mat. 9230</p> <p>Soustružnický nůž vnější dokončovací Pramet držák: CTFPR 2525 M16 VBD: TPMR 160304E-47, mat. 9230</p>	
07/07	Frézka FGU 32	Obrobna	<p>Hrubovat drážku, kóty 40 mm a 35 mm.</p> <p>Frézovat drážku, kóty 40 mm a 35 mm na čisto.</p>			Přípravek č. 2 Válcová fréza ZPS Zlín 140218.400 ČSN 22 21 32	
08/08	Vrtačka	Obrobna	<p>Upnout do přípravku, vrtat Ø12 mm ve středu rádiusu drážky 14x32 mm.</p> <p>Překlopit obrobek, upnout do přípravku, vrtat Ø12 mm ve středu rádiusu drážky 14x32 mm.</p>			Přípravek č. 3 Vrták Sandvik Coromant R842-1200-30-A1A	

VUT FSI ÚST BRNO		VÝROBNÍ POSTUP B					Název součástky: KONZOLA
Dne:	25.2.2011	Vyhotovil:	Štegenerová	Polotovary:	ODLITEK	List: 3	Číslo výkresu: 3-BP-02/02
Číslo op.:	Název, označení stroje, zařízení, pracoviště:	Dílna:	Popis práce v operaci:			Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky:	
09/09	Frézka FGU 32	Obrobna	Upnout do přípravku, frézovat drážku 32x14 mm. Překlopit obrobek, upnout do přípravku, frézovat drážku 32x14 mm.			Přípravek č. 3 Stopková fréza dvoubřitá s břitem přes střed Ø14 mm ČSN 22 21 90	
10/10		Obrobna	Ručně odhrotovat.				
11/11	OTK		Kontrola rozměrů: 11±0,1 30% Ø15H7 20%			Posuvné měřidlo 150 ČSN 15 12 34 Válcový kalibr Ø15H7 ČSN 25 31 26	
12/12		Balírna	Konzervace, balení, expedice.			Platí pouze pro náhradní díly.	

3.6.3 Zhodnocení variant

Na základě posouzení obou dvou variant s přihlédnutím k malosériové výrobě je vhodnější varianta A (viz. kap. 3.6.1).

Výroba díry Ø15H7 je takto technologicky vhodnější, protože není nutné zvlášť odstraňovat otěpy po jejím vystružení.

Porovnání strojních časů při výrobě drážky 32 x 14 mm nalezneme v Tab. 3.6. Z výsledků vyplývá, že strojní čas drážky ve variantě B je příznivější. Museli bychom však použít další stroj (sloupovou vrtačku VS 32 B) a nástroj (vrták R842-1200-30-A1A). Došlo by k prodloužení doby pro manipulaci s obrobkem, pro upínání a zvýšení pořizovacích nákladů na nástroj. Vzhledem k malosériové výrobě tento postup nebude zvolen, protože prodloužení těchto časů se projeví výrazněji, než úspora času strojního.

Tab. 3.6 Porovnání strojních časů při výrobě drážky 32 x 14 mm

	OPERACE	t_{as} [min]	Celkem [min]
Var. A	Zavrtání frézy Ø14 mm do plného materiálu	0,1099	0,2037
	Frézování drážky 32 x 14 mm	0,0938	
Var. B	Předvrtání technolog. díry Ø12 mm	0,0126	0,6564
	Zavrtání frézy do převrtaného technolog. otvoru	0,0550	
	Frézování drážky 32 x 14 mm	0,0938	

4 DEFORMAČNĚ-NAPĚŤOVÁ ANALÝZA KONZOLY

V této kapitole je analyzována navržená konzola pomocí metody konečných prvků z hlediska deformačně-napětového stavu. Detailní prostudování nebezpečných (kritických) míst je v současné době důležitou součástí návrhu každého výrobku.

4.1 Teoretické pozadí

V dnešní době je trendem v konstrukční praxi používat MKP produkty, pomocí nichž jsme schopni navržené součásti posoudit nejenom z hlediska pevnostního již ve fázi návrhu (před samotnou výrobou prototypu), dále pak zlepšit kvalitu návrhu nebo zvýšit produktivitu [14]. Mezi komerčně celosvětově nejvíce rozšířené patří ANSYS, NASTRAN či ABAQUS [15], [16], [17]. Rozdílem v jednotlivých programech je pracovní prostředí a uživatelské rozhraní, matematická podstata MKP však zůstává u všech stejná.

V této práci byl použit výpočtový program ANSYS respektive jeho prostředí ANSYS Workbench, který má proti klasickým MKP programům (ANSYS classic, ABAQUS) přijatelnější uživatelské prostředí. To vede návrháře krok za krokem k tvorbě výpočtového modelu. Výhodou je především plná podpora řady dalších 3D CAD systémů jako jsou SolidWorks, Inventor, Catia a jejich vzájemná kompatibilita při tvorbě modelu geometrie. Program je možné provozovat pod celou řadou operačních systémů a to jak v 32bitové tak i v 64bitové verzi. VUT má licenci tohoto software.

Prostředí ANSYS Workbench (Workbench technology) je původní, originální řešení firmy ANSYS Inc., založené na obousměrné asociativitě sítě a geometrie při zachování parametrické vazby [18].

Sama metoda konečných prvků (MKP, v literatuře běžně používaná zkratka FEM, z anglického Finite Element Method) spočívá v určení deformace ve všech místech modelované součásti při známém uložení a zatížení. Podstatou této metody je rozdělení oblasti modelovaného tělesa na konečný počet podoblastí, které označujeme jako prvky – síť konečných prvků. Obecně se toto dělení provádí automaticky, musí dát ale pozor na nejrůznější koncentrátoři napětí (vruby, trhliny, otvory). V těchto místech je potřeba síť zjemnit, abychom dostali odpovídající výsledky. S každým zjemněním sítě však roste počet prvků a to samozřejmě klade vyšší nároky na výpočetní techniku a prodlužuje samotný čas výpočtu. Výpočtové časy rostou především při vstupu nelinearity do výpočtu (materiálové nelinearity, kontaktní úlohy apod.).

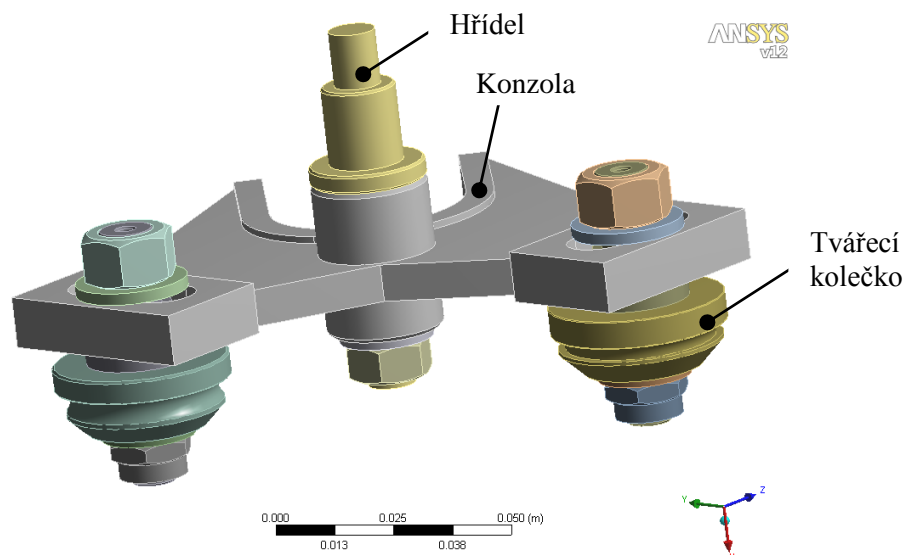
Výše zmíněné prvky jsou běžně označovány jako elementy. Podle typu úlohy (rovinná, prostorová) se používají 2D či 3D elementy. V ANSYS Workbench jsou přednastaveny elementy SOLID 186 resp. SOLID 187. Jsou to prostorové prvky ve tvaru šestistěnu resp. čtyřstěnu s kvadratickými bázovými funkcemi, viz obr. 4.1.

Do programu ANSYS Workbench lze přímo importovat již existující původní CAD geometrii, bez jakéhokoli převádění a bez změny formátu z mnoha různých programů (Autodesk Inventor / MDT, Autodesk Inventor Professional Stress, CATIA, Pro/ENGINEER, SolidWorks a další). Obvykle se celý model převádí pomocí neutrálního formátu souborů, např. SAT nebo STEP. Pokud je geometrie úspěšně načtena, ANSYS Workbench pak automaticky zjistí a nastaví propojení mezi částí a celkem. Je zde také možné navolit varianty nejrůznějších nastavení importu.

4.2 Prezentace a analýza výsledků

4.2.1 Model geometrie

Model geometrie sestavy je vytvořena ve výukové verzi programu Autodesk Inventor 11. Do prostředí ANSYS Workbench je importován pomocí neutrálního formátu *.sat. Po úspěšném importování modelu geometrie (Obr. 4.2) program automaticky zjistí a nastaví propojení mezi částí a celkem.



Obr. 4.2 Model geometrie v prostředí ANSYS Workbench

4.2.2 Tvorba sítě konečných prvků

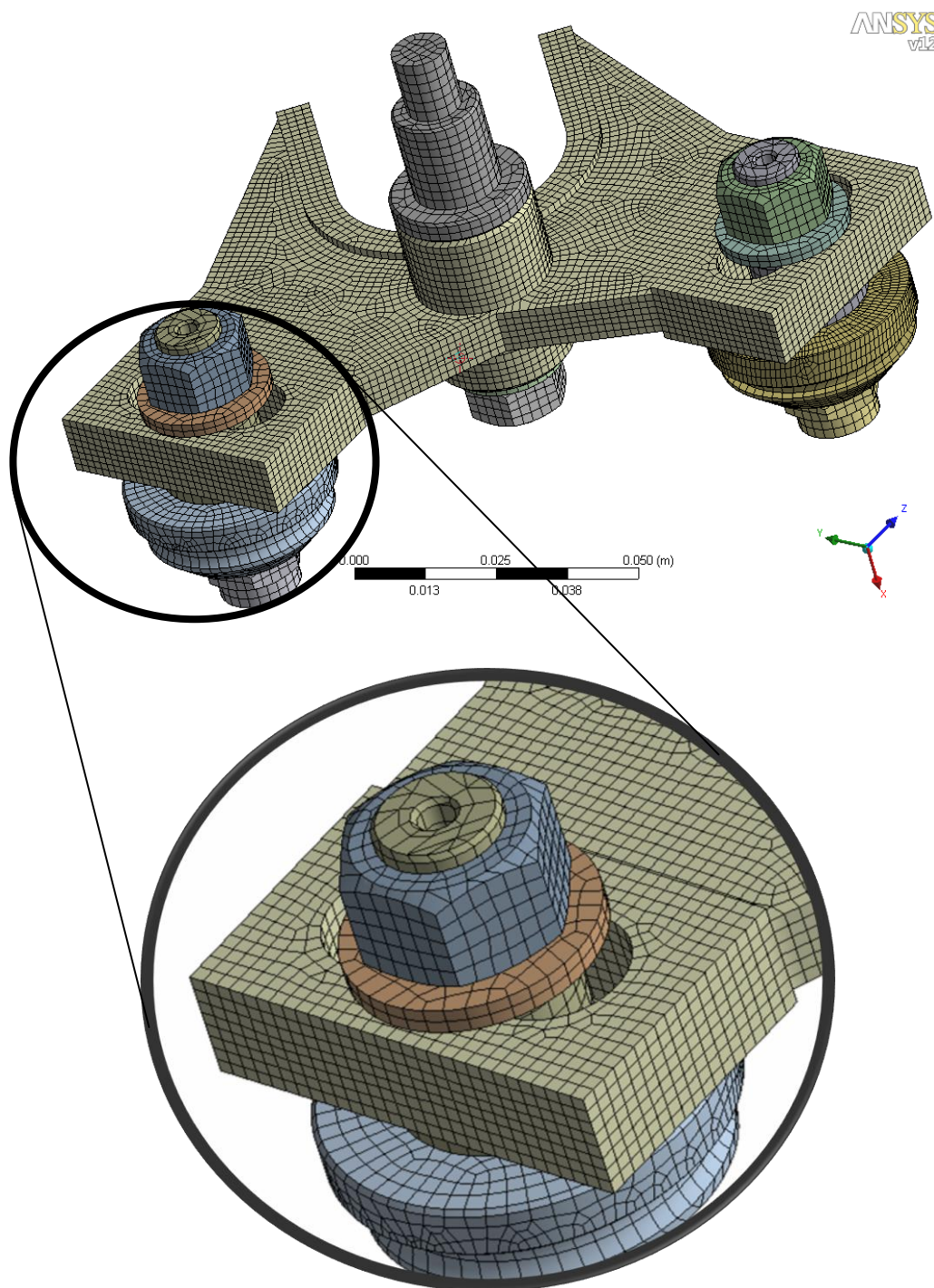
Síť konečných prvků je vytvořena pomocí příkazu *Generate mesh* ve stromu. Takto automaticky generovaná síť se skládá ze čtyřbokých prvků. Velikost prvku je možné upravit pomocí příkazu *Sizing*. V místech koncentrátoru napětí je nutné síť zjemnit, abychom získali přesnější výsledky.

Čím jemnější máme síť, tím se vytváří více prvků a uzlů, a tím roste i čas potřebný pro výpočet. Je tedy nutné zvolit kompromis mezi výpočetním časem a přesností získaných výsledků. Porovnání sítí a počtu prvků a uzlů je uvedeno v Tab. 4.1.

Z této tabulky je patrné, že nejvýhodnější síť pro výpočet je síť hexagonální, složená z šestistěnů (hexaedrů) se zvolenou velikostí prvku 1,5 mm, protože je dostatečně jemná (Obr. 4.3) s výhodným počtem prvků a uzlů.

Tab 4.1 Počty prvků a uzlů pro jednotlivé typy sítí

Automaticky generovaná síť	Uzly	30 921
	Prvky	15 682
Zjemněná automaticky generovaná síť, velikost prvku 2 mm	Uzly	383 122
	Prvky	259 555
Hexagonální síť, velikost prvku 1,5mm	Uzly	322 757
	Prvky	89 034



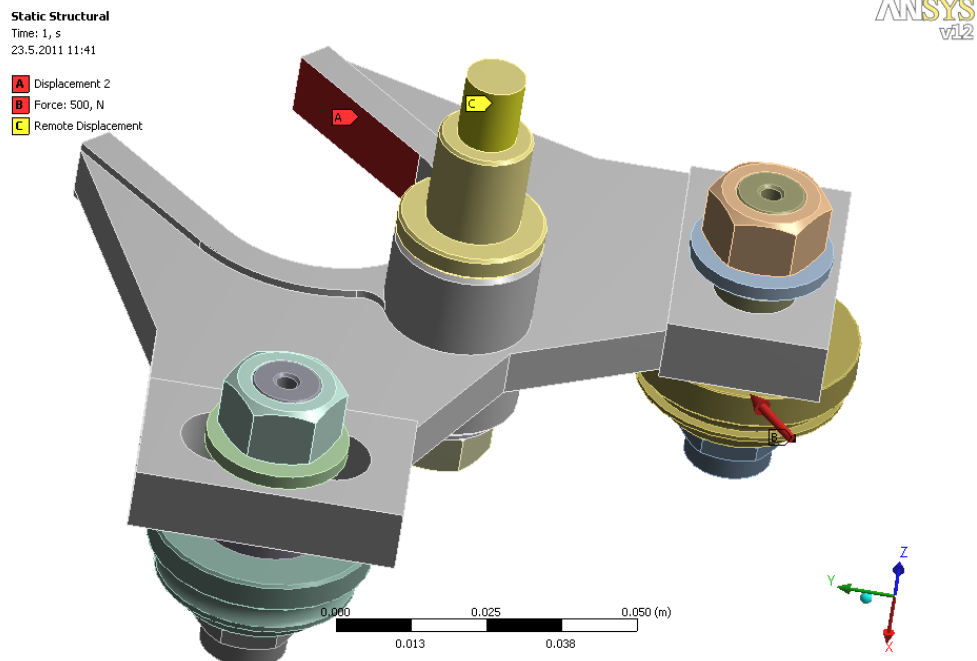
Obr. 4.3 Ukázka použité sítě MKP s detailem

4.2.3 Okrajové podmínky a zatížení

Při řešení úloh pomocí metody konečných prvků je nutné definovat tělesa jednoznačně v prostoru. V programu ANSYS Workbench je toho provedeno předepsáním deformačních okrajových podmínek (Obr. 4.4).

Konkrétně bylo zamezeno posuvům a rotacím hřídele a také zamezeno posuvu funkční plochy drážky $\text{Ø}42$ mm, což odpovídá vychýlené krajní poloze konzoly, ve které dochází k tváření víčka plechovky. Velikost zátěžové síly je určena

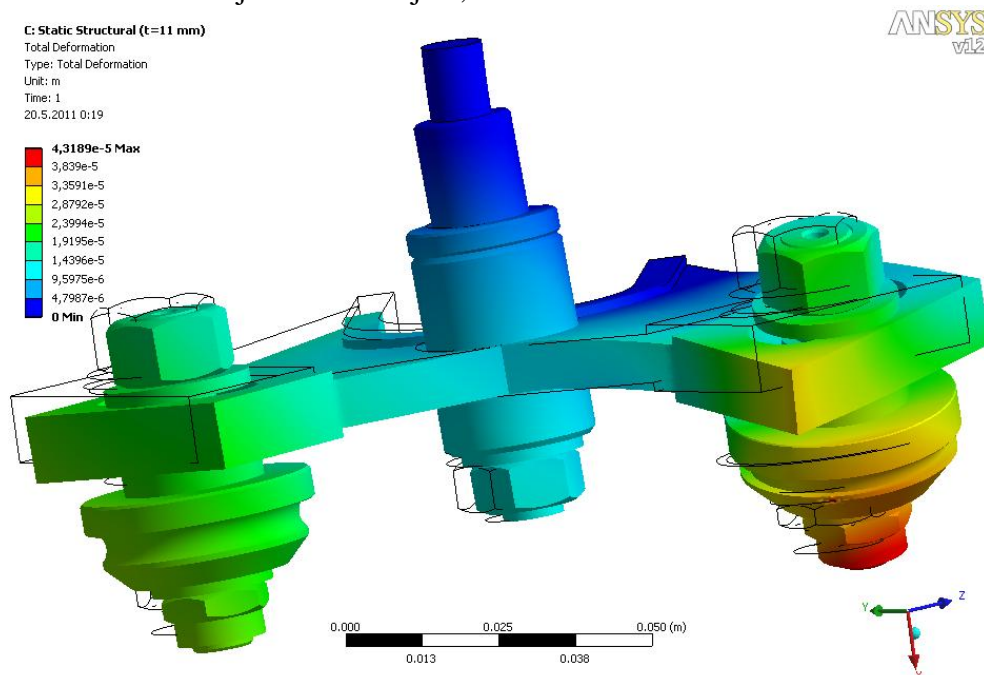
kvalifikovaným odhadem na 500 N. Působíště této síly je v bodě funkční části tvářecího kolečka a směřuje do jeho středu.



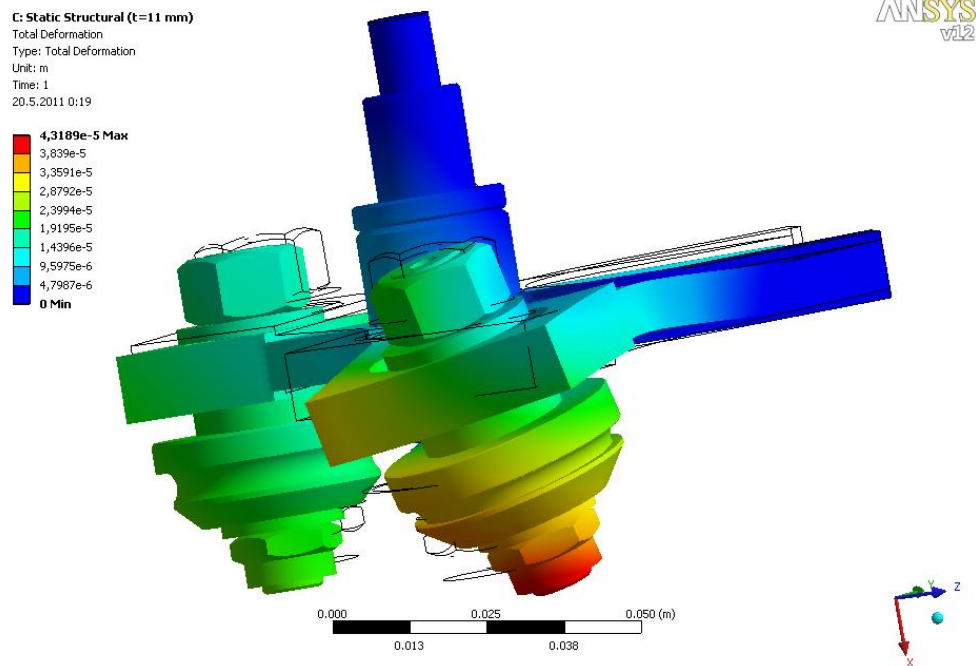
Obr. 4.4 Okrajové podmínky a zatížení

4.2.4 Výsledky analýzy a jejich zhodnocení

Na Obr. 4.5 a 4.6 jsou znázorněny výsledné posuvy. Vlivem spojení konzoly a ostatních prvků sestavy dochází k její deformaci. Maximální posuv je dán červenou barvou na obrázku a jeho hodnota je $4,3 \cdot 10^{-5}$ m.

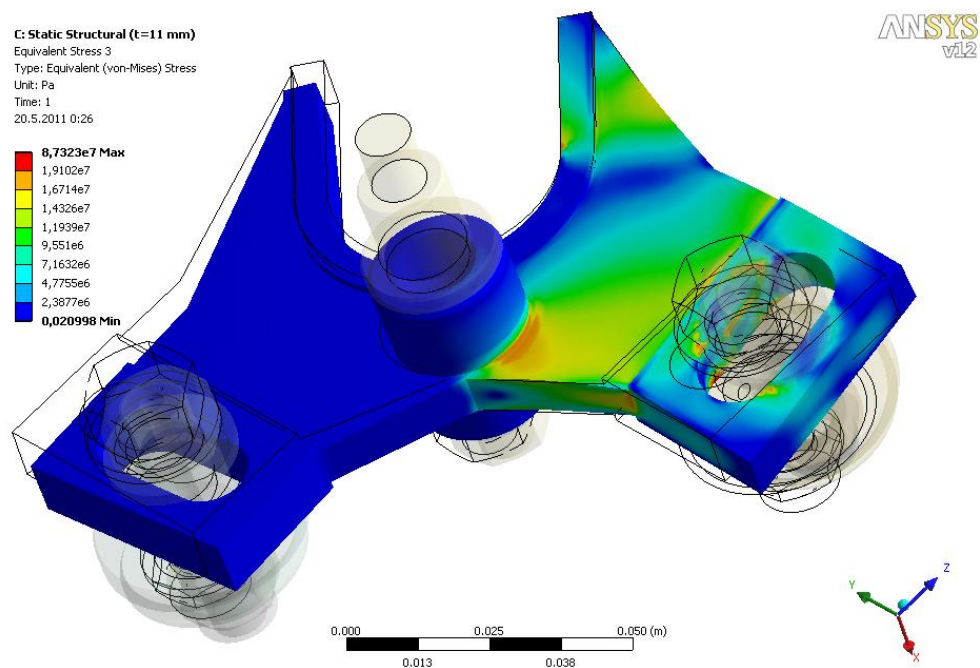


Obr. 4.5 Deformovaný tvar konzoly (t = 11 mm)

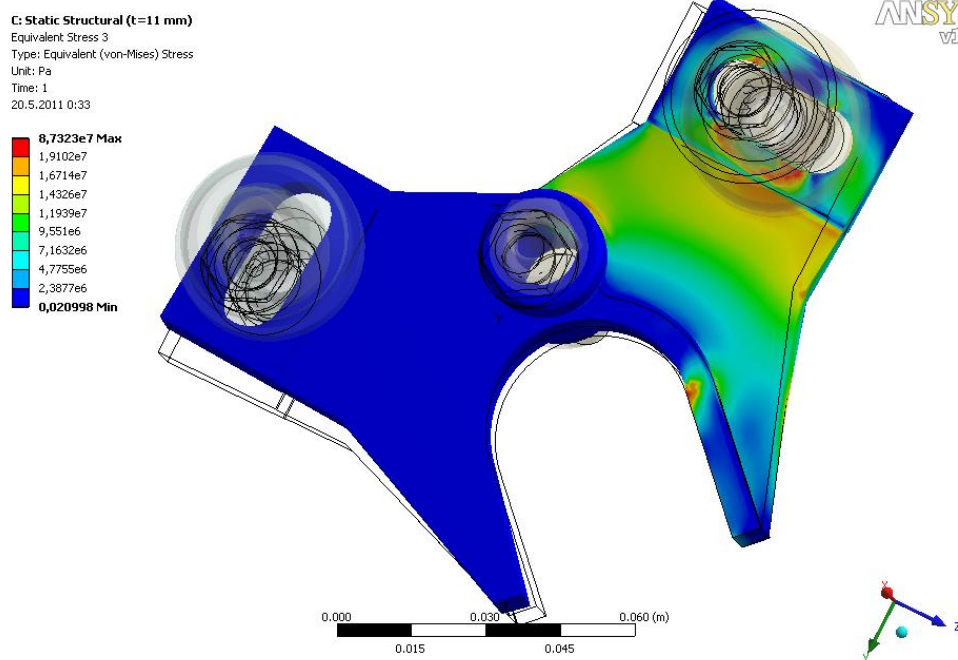


Obr. 4.6 Deformovaný tvar konzoly, pohled z boku (t = 11 mm)

Na Obr. 4.7 a 4.8 jsou znázorněna redukovaná napětí (podmínka HMH). Maximální hodnoty jsou v místech spojení konzoly a šroubu, na kterém jsou uchyceny tvářecí kolečka a v místech přechodů rovinných a válcových ploch.



Obr 4.7 Redukované napětí (HMH) na horní části konzoly (t = 11 mm)



Obr. 4.8 Redukovaná napětí (HMH) na spodní části konzoly ($t = 11 \text{ mm}$)

Bezpečnost v těchto místech určíte ze vztahu:

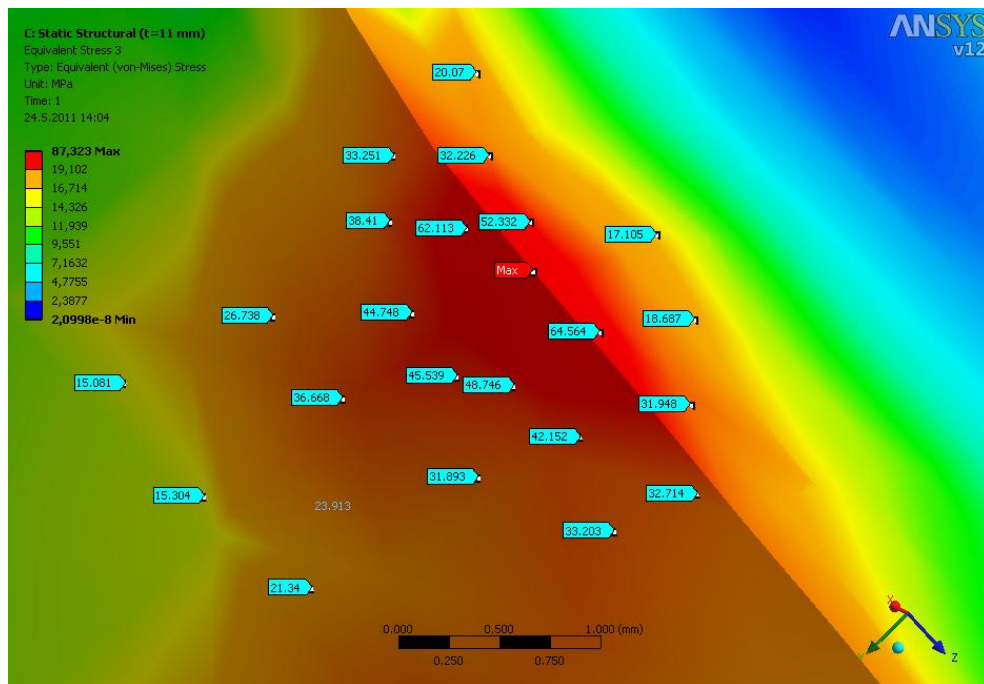
$$k_k = \frac{\sigma_k}{\sigma_{max}^{HMH}} \quad (4.1)$$

Maximální redukované napětí σ_{max}^{HMH} zjištěné numerickým výpočtem je v místě zatížení silou, kde jsou singulární nereálné hodnoty – 87 MPa. Použitelné hodnoty maximálního redukovaného napětí odečteme z okolních elementů této singularity, viz Obr. 4.8. Reálná hodnota maximálního redukovaného napětí je stanovena 40 MPa. Napětí na mezi kluzu pro zvolený materiál EN-GJL-200 (EN-JL 1030) ČSN 42 2420 je $\sigma_k \approx 180 \text{ MPa}$ [1]. Koeficient bezpečnosti k_k je potom

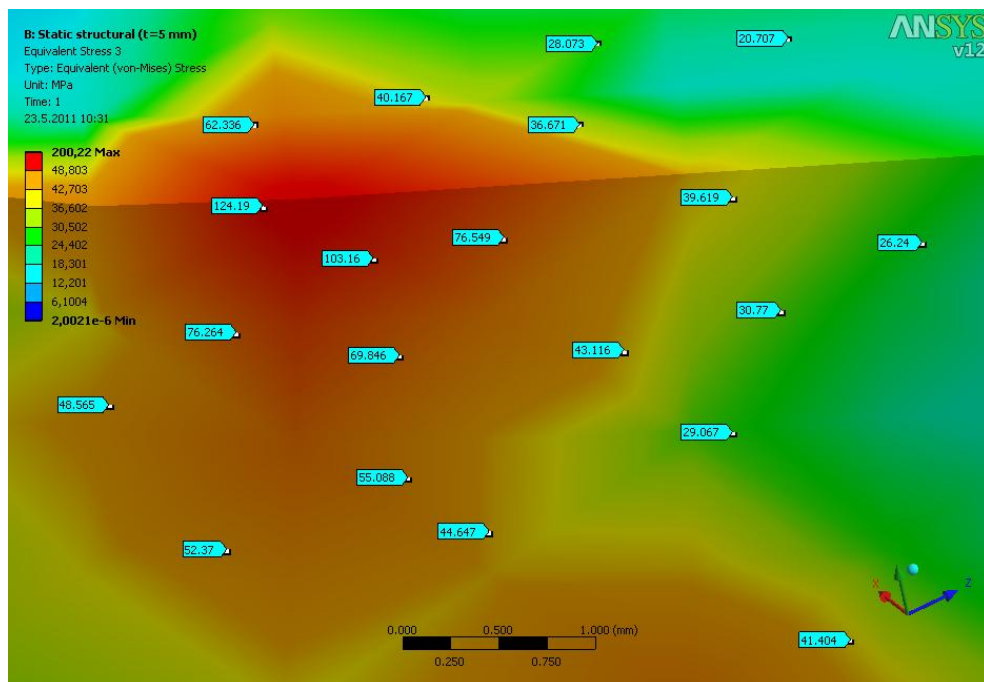
$$k_k = \frac{180}{40} = 4,5$$

Z určení koeficientu bezpečnosti k_k vyplývá, že součást je naddimenzována. Z tohoto důvodu je provedena i analýza konzoly s tloušťkou pouze 5 mm, oproti původně navrhované 11 mm. Její výsledky (deformovaný tvar a redukované napětí) jsou uvedeny v Přílohách č. 22 a 23. Použitelné hodnoty maximálního redukovaného napětí jsou opět odečteny z okolí singularity, viz Obr. 4.9. Reálná hodnota maximálního redukovaného napětí je stanovena 60 MPa. Koeficient bezpečnosti k_k je potom

$$k_k = \frac{180}{60} = 3$$



Obr. 4.8 Hodnoty redukovaných napětí v okolí singularity (t = 11 mm)



Obr. 4.9 Hodnoty redukovaných napětí v okolí singularity (t = 5 mm)

Z výsledků vyplývá, že konzola s poloviční tloušťkou stěny je také vyhovující.

Součást je tedy možné ještě optimalizovat a snížit náklady na materiál polotovaru. Úprava tloušťky stěny je však limitována technologickými možnostmi odlévání této litiny. V případě, že použijeme materiál polotovaru EN-GJL-200 (EN-JL 1030) ČSN 42 24 20 uvedený v kap. 1.2, je minimální tloušťka stěny, kterou je možné zvolit cca 8 mm. Pokud bychom chtěli odlít stěnu užší než 8 mm, např. 5 mm je zapotřebí použít

jiné litiny, a to EN-GJL-150 (EN-JL 1020) ČSN 42 2415. Tento materiál má však odlišné mechanické vlastnosti. Mez kluzu této litiny je $\sigma_k \approx 130$ MPa [1]. Koeficient bezpečnosti při použití tohoto materiálu a zeslabené stěny poté vychází

$$k_k = \frac{130}{60} = 2,2$$

Z výsledku deformačně-napěťové analýzy vyplývá, že lze navrženou součást lze ještě dále optimalizovat. Při použití litiny EN-GJL-150 (EN-JL 1020) ČSN 42 2415 lze zeslabit tloušťku stěny a tím snížit náklady na polotovary.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce má za cíl navržení reálné technologie výroby pro specifické podmínky firmy a zpracování její TPV dokumentace. Cíle této práce byly splněny a rozšířeny o deformačně-napěťovou analýzu součásti pomocí metody konečných prvků.

Nejprve je provedeno seznámení s vlastní součástí, její funkcí a montážním celkem. Jako polotovar je zvolen odlitek z litiny s lupínkovým grafitem s označením EN-GJL-200 (EN-JL 1030) ČSN 42 2420.

Při vlastním návrhu technologického postupu je nejprve posouzena technologičnost, provedena její optimalizace a poté navržen rámcový postup výroby. Výběr strojů (soustruh SV 18 RA, konzolová frézka FGU 32 a sloupová vrtačka VS 32) byl volen s ohledem na aktuální vybavení firmy.

Těmto strojům byly přiřazeny nástroje vhodné pro dané operace. Některé firma vlastní, zbytek bude nutné dokoupit. Současně je proveden i výběr materiálů těchto nástrojů, především u výměnných břitových destiček. Ty byly zvoleny povlakované, protože jsou vhodnější pro obrábění litiny. Nástroje je možné pořídit u několika různých výrobců, jejichž přehled je uveden v kap. 3.3.

Pro zvýšení produktivity výroby a její zefektivnění byly navrženy tři upínací přípravky, jeden pro přerušované soustružení čela součásti a dva pro frézování drážek.

Samotný technologický postup je navržen ve dvou variantách s odlišnostmi v jednotlivých operacích. Na základě porovnání strojních časů a posouzení technologičnosti je zvolena varianta A, která je podkladem pro tvorbu operačních návodek, viz Příloha č. 16 – 21.

Součástí návrhu je i posouzení deformačně-napěťového stavu součásti při jejím provozním zatížení ve výpočetním systému ANSYS Workbench. Na základě výsledků analýzy je navržena možná optimalizace polotovaru, která by mohla ke snížení nákladů na polotovar. Z výsledků analýzy dále vyplývá, že navržená součást je předimenzována. Při stanovení koeficientu bezpečnosti bylo zjištěno, že dostačující tloušťka součásti je pouze 5 mm. S ohledem na technologii odlévání by bylo při tomto rozměru nutné zvolit jiný materiál litiny, a to EN-GJL-150 (EN-JL 1020) ČSN 42 2415, který je vhodný pro odlévání tenkostěnných součástí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PODRÁBSKÝ, Tomáš; POSPÍŠILOVÁ, Simona. *Litina s lupínkovým grafitem* [online]. 16.11.2006 [cit. 2011-05]. Ime.fme.vutbr.cz. Dostupné z WWW: <<http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=10>>.
2. ZEMČÍK, Oskar. *Technologická příprava výroby*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2002. 158 s. ISBN 80-214-2219-X.
3. ŠTRAJBL, Jan. *Obráběcí stroje*. Praha: SNTL - nakladatelství technické literatury, 1979. 619 s.
4. *Tumlikovo.cz* [online]. 2010 [cit. 2011-05]. Hrotový soustruh SV18 RA. Dostupné z WWW: <<http://www.tumlikovo.cz/rubriky/stroje-2/soustruh/sv18/>>.
5. *Katalog obráběcích a tvářecích strojů*. Brno: Svaz výrobců s dodavateli strojírenské techniky, 2004. Dostupné z WWW: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/sfgu32_1.html>.
6. *Orso-nastrojarna.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05]. Prodej. Dostupné z WWW: <<http://www.orso-nastrojarna.cz/prodej.php>>.
7. *Heltos.cz* [online]. c2008 [cit. 2011-05]. Vrtačka sloupová VS 32 B. Dostupné z WWW: <<http://www.heltos.cz/vrtacka-sloupova-vs-32-b-2-14.html>>.
8. *Soustružení 2010*. Šumperk, ČR: PRAMET TOOLS, s.r.o., 2010. 329 s. Dostupné z WWW: <<http://www.pramet.com/download/katalog/pdf/Turning%202010%20CZ%20prog.pdf>>.
9. *Rotační nástroje*. Sweden : SANDVIK COROMANT, 2009. 336 s. Dostupné z WWW: <<http://www.sandvik.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/se03570.nsf/GenerateTopFrameset?ReadForm&menu=&view=http%3A//www.sandvik.com/sandvik/3300/Coromant/Internet/SE03573.NSF/NAUnique/43dc7cb3ff8fe646c1256bb2003a9c05%21OpenDocument%26Click%3D&banner=/sandvik/3300/Coromant/Internet/se03570.nsf/LookupAdm/BannerForm%3FOpenDocument>>.
10. *Frézovací nástroje*. Zlín: ZPS – FRÉZOVACÍ NÁSTROJE a.s., 2011. 116 s. Dostupné z WWW: <<http://www.zps-fn.cz/html/katalog-ke-stazeni-58.html>>.
11. *FRÉZY – kompletní program 2007*. Líně: Gühring, s.r.o., 2007. 199 s. Dostupné z WWW: <http://www.guehring.cz/data/produkty/cz_18.pdf>.
12. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 193 s. ISBN 80-214-1336-6.

13. KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
14. MACÁNEK, Stanislav. *MKP produktů určených pro konstruktéry*. Brno, 2005. Diplomová práce. Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně.
15. *Ansys.com* [online]. c2011 [cit. 2011-05]. Mechanical Simulation with ANSYS Workbench. Dostupné z WWW: <<http://www.ansys.com/solutions/simulation-environment.asp>>.
16. *Nastran.com* [online]. 2011 [cit. 2011-05]. Nastran homepage. Dostupné z WWW: <<http://www.nastran.com/website/index.htm>>.
17. *Simulia.com* [online]. c2004 [cit. 2011-05]. Unified Finite Element Analysis. Dostupné z WWW: <http://www.simulia.com/products/unified_fea.html#docv64abacae.pdf>.
18. *Svsfem.cz* [online]. 2011 [cit. 2011-05]. ANSYS Workbench. Dostupné z WWW: <<http://www.svsfem.cz/index.php/public/page.php?lang=cz&pgid=97>>.
19. *Kxcad.net* [online]. 2011 [cit. 2011-05]. ANSYS Help. Dostupné z WWW: <<http://www.kxcad.net/ansys/index.htm>>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
<i>TPV</i>	Technická příprava výroby	
<i>D</i>	Průměr	mm
<i>L</i>	Pracovní délka	mm
<i>R_a</i>	Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu	μm
<i>d</i>	Průměr vnitřní	mm
<i>f</i>	Posuv na otáčku	mm
<i>f_z</i>	Posuv na zub	mm
<i>i</i>	Počet třísek	-
<i>k_k</i>	Koeficient bezpečnosti	-
<i>l</i>	Obráběná délka	mm
<i>l_n</i>	Délka náběhu	mm
<i>l_p</i>	Délka přeběhu	mm
<i>n</i>	Otáčky	min ⁻¹
<i>t_{as}</i>	Strojní čas	min
<i>v_c</i>	Řezná rychlost	m/min
<i>z_n</i>	Celkový počet zubů řezného nástroje	-
<i>σ_k</i>	Napětí na mezi kluzu	MPa
<i>σ_{max}</i>	Maximální redukované napětí	MPa

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Výkres sestavy, číslo 4-BP-01/01
Příloha 2: Výrobní výkres konzoly, číslo 3-BP-02/02
Příloha 3: Mechanické a fyzikální vlastnosti šedých litin a jejich použití [1]
Příloha 4: Hrotový soustruh SV 18 RA [3],[4]
Příloha 5: Frézka FGU 32 [5]
Příloha 6: Sloupová vrtačka VS 32 B [7]
Příloha 7: Vnější soustružnický nůž PCLNR 2020 K12 [8]
Příloha 8: VBD CNMG 120408E-F [8]
Příloha 9: Materiály VBD [8]
Příloha 10: Vnější soustružnický nůž CTFPR 2525 M16 [8]
Příloha 11: VBD TPMR 160304E-47 [8]
Příloha 12: Vrták R840-1400-30-A1A [9]
Příloha 13: Vrták R842-1200-30-A1A [9]
Příloha 14: Fréza válcová čelní Ø40 mm [10]
Příloha 15: Stopková fréza dvoubřitá Ø14 mm s břitem přes střed [11]
Příloha 16: Operační návodka č. 1 k operaci 02/02
Příloha 17: Operační návodka č. 2 k operaci 04/04
Příloha 18: Operační návodka č. 3 k operaci 05/05
Příloha 19: Operační návodka č. 4 k operaci 06/06
Příloha 20: Operační návodka č. 5 k operaci 07/07
Příloha 21: Operační návodka č. 6 k operaci 08/08
Příloha 22: Deformovaný tvar konzoly tloušťky 5mm
Příloha 23: Redukované napětí (HMH) na konzole tloušťky 5 mm

