



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA SOUČÁSTI "DESKA LEVÁ"

THE LEFT BOARD PRODUCTION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Marek KUBŮ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Milan KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/14

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Marek Kubů

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:

Výroba součásti "deska levá"

v anglickém jazyce:

The Left Board Production

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Rozbor vybrané součásti.
3. Varianta stávající technologie.
4. Návrh nového technologického postupu.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.
6. Diskuze.
7. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Řešení výroby součásti v kombinaci standardních a nekonvenčních metod obrábění.

Seznam odborné literatury:

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravy pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
3. MAŇKOVÁ, Ildikó. Progresívne technológie (Advanced methods of material removal). 1. vyd. Košice: Vienala, 2000. 276 s. ISBN 80-7099-430-4.
4. Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.
5. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/14.

V Brně, dne 27.11.2013





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá výrobou požadované součásti ve společnosti Czech Blades, s. r. o. Obsahuje rozbor součásti z hlediska možných variant technologií použitelných pro výrobu včetně konkrétně zvolených strojů a nástrojů, kterými společnost disponuje. Mimo jiné obsahuje i veškerou technologickou dokumentaci, která zahrnuje technologický postup, návodku pro práci na frézce a obrážečce, až po stanovení ceny výrobku.

Klíčová slova

technologický postup, frézování, hrubování, vrtání, čelní fréza

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the production of the required component at Czech Blades, s. r. o. Includes analysis of the component in terms of possible variants of technologies applicable for the production, including specifically selected machines and tools, which the company owns. Among other things, contains all the technological documentation, which includes technological process, manual for working on milling machine and planing machine, to the product pricing.

Keywords

technological process, milling, roughing cut, drilling, face mill

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUBŮ, Marek. *Výroba součásti "deska levá"*. Brno 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 36 s. 8 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Výroba součástí "deska levá"** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Marek Kubů

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto Ing. Miroslavu Liškovi z Czech Blades s. r. o. za pomoc a rady při vypracování bakalářské práce.

Děkuji tímto za podporu i mé rodině a zejména mému otci za cenné rady a pomoc při výrobě součástí.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	8
1 ROZBOR VYBRANÉ SOUČÁSTI	9
1.1 Popis součásti.....	9
1.2 Volba materiálu.....	9
1.3 Technologičnost součásti.....	9
2 VARIANTA STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE	11
2.1 Frézování	11
2.1.1 Nástroje pro frézování	11
2.2 Elektroerozivní obrábění.....	12
2.2.1 Princip technologie elektroerozivního obrábění	12
2.2.2 Elektrojiskrové drátové řezání	12
3 NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	14
3.1 Volba polotovaru	14
3.2 Spotřeba materiálu	15
3.3 Volba strojů a nástrojů.....	16
3.3.1 Stroje.....	16
3.3.2 Nástroje.....	17
3.4 Technologický postup.....	18
3.5 Výpočet strojních časů.....	20
3.6 Návodky.....	24
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	29
5 DISKUZE	31
ZÁVĚR	32
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	34
SEZNAM PŘÍLOH.....	36

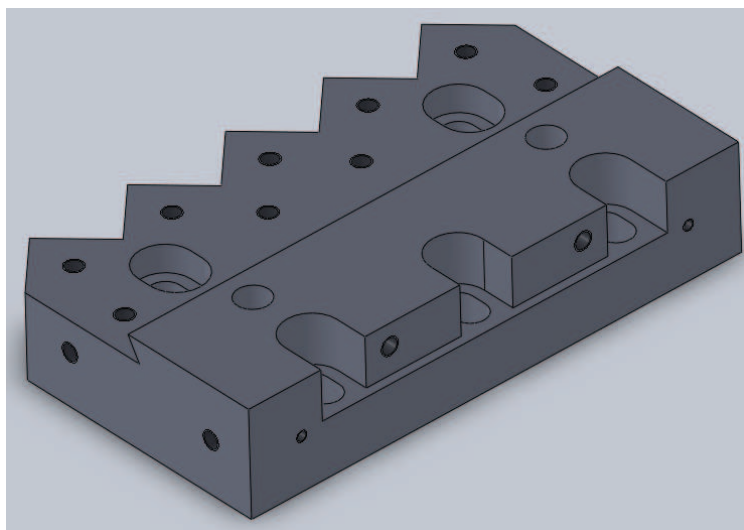
ÚVOD

Bakalářská práce se zabývá kompletním návrhem výroby součásti "deska levá" na obr. 1 při výrobní sérii jednoho kusu.

Návrh musí splňovat všechny důležité předpoklady, aby výroba byla co nejefektivnější z hlediska výrobního času, byly splněny požadavky na tvary, rozměry a jakosti povrchů, a zároveň byla výroba v přijatelných cenových relacích. Ovšem pro dodržení všech těchto předpokladů je výroba značně limitována vybavením obrobny, která slouží spíše jako údržba pro ostatní stroje umístěné v dalších halách podniku. Proto se musí vycházet především z vybavení obrobny a možnosti kooperace s jinými podniky.

V úvodu práce je teoretický rozbor možných technologií pro zhotovení požadované součásti, v tomto případě klasické frézování a nekonvenční metoda obrábění, jako je elektroerozivní řezání drátem, jímž tato firma disponuje. Dále je pak v závislosti na tvaru, složitosti a pořadí operací vytvořen technologický postup popisující kompletní cestu součásti od polotovaru až po konečný výrobek. Technologický postup je doplněn o grafickou návodku pro frézařské a hoblovací operace, ve které jsou znázorněny jednotlivé třísky, pro které jsou podle nástrojů voleny řezné podmínky. Využívá se zde pouze těch strojů, které jsou k dispozici v obrobně. Operace, které nelze zhotovit přímo v této obrobně, jsou poslány do jiného podniku jako kooperace.

Poslední část návrhu, která je nezbytně důležitá, je stanovení ceny finálního výrobku pro zákazníka, který požadoval právě jeho výrobu. Do ceny se zahrnuje čas potřebný pro výrobu součásti, opotřebení nástroje, stroje a náklady spojené s kooperací.



Obr. 1 "Deska levá".

1 ROZBOR VYBRANÉ SOUČÁSTI

V této kapitole je pojednáváno o vybrané součásti z hlediska tvaru, rozměrů a zvoleného materiálu. S ohledem na předepsané rozměry a tolerance je posouzena její technologičnost. Výkres součásti je uveden v příloze č. 1.

1.1 Popis součásti

Zadanou součástí je "deska levá" o celkových rozměrech 284 mm x 171,5 mm x 58 mm. Skládá se z 6 hlavních obrobených ploch, které určují výsledný rozměr součásti, dvou tvarových vybrání, vybrání ploch do tvaru zubů, 17 děr se závity M6, M10, M16 a 5 zahloubení ve tvaru pera s konečnou hmotností 16,3 kg.

1.2 Volba materiálu

Polotovár je zvolen dle normy ČSN 42 5310 a konečným materiálem je ocel ČSN 14 220.4.

Označení ČSN 14 220 odpovídá dle normy ČSN EN oceli 16MnCr5, cementační ocel legovaná chromem se středním obsahem 0,16 % C a 1,25 % Mn [2].

Vlastnosti a použití vybraného materiálu [1, 2]:

- ocel vhodná k cementování, kyanování a objemovému tváření,
- dobře tvárná zatepla a po žíhání i zastudena,
- dobře obrobiteľná,
- dobrá svařitelnost,
- strojní součásti s velmi tvrdou cementovanou vrstvou a velkou pevností v jádře po kalení,
- menší hřídele, ozubená kola, šneky, vačkové hřídele, včetně obráběcích strojů, pístní čepy, pera, zubové spojky, trny, upínací nářadí apod.

Tepelné zpracování [1]:

- normalizační žíhání 860 °C,
- žíhání na měkko 70 °C,
- cementování 840 až 870 °C,
- kalení 780 až 880 °C olej až voda,
- popouštění 160 °C.hod⁻¹.

Přehled vlastností materiálu 14 220.4 je uveden v tabulce 1.1.

Tab. 1.1 Přehled vlastností oceli 14 220.4 [1].

Označení podle ČSN	Mechanické vlastnosti			Třída odpadu
	R _m (MPa)	R _{e min} (MPa)	Tvrdość HB	
14 220.4	min. 785	590	max. 239	021

1.3 Technologičnost součásti

Pro požadovanou součást je vybrán materiál dle normy ČSN 14 220. Jedná se konstrukční nízkouhlíkovou legovanou ocel. Při obrobiteľnosti 12b lze tuto součást vyrobit za použití běžných konvenčních i nekonvenčních strojů. Součást je z hlediska technologičnosti středně složitá s určitými požadavky na přesnost:

- požadovaná průměrná aritmetická úchylnka profilu je předepsána hodnotou Ra = 6,4 μm, vybrané plochy hodnotou Ra = 3,2 μm,

- u rozměrů, kde není předepsána žádná rozměrová tolerance, se bude výroba řídit dle přesnosti ISO 2768-mK,
- maximální předepsaný rádius R1 v hranách zubů lze bez problémů zhotovit použitím nekonvenční metody obrábění, v tomto případě elektroerozivní řezání drátem,
- pro všechny nepředepsané geometrické tolerance se bude výroba řídit tolerováním dle ČSN ISO 8015,
- z celkového pohledu na předepsané rozměry lze všechny zhotovit na konvenčních strojích.

Po kompletním obrobení bude tato součást poslána na cementování a kalení pro zvýšení pevnosti, tvrdosti a otěruvzdornosti.

Platí, že čím menší je tolerance a vyšší jakost povrchu, tím se úměrně zvyšují náklady na výrobu. V tomto případě však nejde o výrobu extrémně složité součásti, proto se zákazník nemusí obávat vyšší ceny. Při výrobě součásti se musí brát ohled na jednoduchost montáže, aby nebylo nutné tento díl dolícovat.

2 VARIANTA STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

Při výrobě dané součásti "deska levá" existuje možnost rozhodnout se, jaká technologie bude zvolena. Firma disponuje jak stroji pro konvenční obrábění, tak i stroji pro obrábění nekonvenční. Tyto metody, použité při výrobě součásti, jsou následně popsány.

2.1 Frézování

Technologie frézování je zvolena z důvodu nejvhodnější varianty z hlediska obrobení veškerých rozměrů, které nelze jinou technologií zhotovit. Frézka univerzální FGS 25/32, která patří do vybavení obrobny, a která bude sloužit pro veškeré frézařské operace nutné ke zhotovení dané součásti, bude využívat některých frézovacích metod a vlastností [4]:

- a) frézování čelní: Uskutečňuje se jak čelem, tak i obvodem čelní frézy nebo frézovací hlavy. Osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu. Frézování čelní je produktivnější než frézování válcové,
- b) frézování sousledné: Řezná síla působí příznivě na upnutí, obrobek přitlačuje na opěrnou plochu (stůl stroje). V praxi se tam, kde to obráběcí stroje umožňují, dává přednost souslednému frézování.

Výhody sousledného frézování [3]:

- vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,
- menší potřebný řezný výkon,
- řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, proto lze použít jednodušších upínacích přípravků,
- menší sklon ke kmitání,
- obvykle menší sklon k tvoření nárůstku,
- menší průměrná aritmetická úchylka profilu obrobeného povrchu.

Všeobecně platí, že při každém obrábění, v jakémkoli podniku, u jakékoli součásti to, aby výroba byla co možno nejefektivnější, nejpřesnější a nejlevnější z hlediska výroby za použití vhodné technologie obrábění. V případě frézování dané součásti "deska levá" se jeví jako nejlepší způsob frézování čelní sousledné, které má výše uvedené výhody. Ovšem ne všechny výhody se zde mohou platit. Kromě stroje, který může tyto výhody uplatňovat, také záleží např. na nástroji a jiných faktorech.

2.1.1 Nástroje pro frézování

Vzhledem k mnohostrannému uplatnění frézování ve strojírenské výrobě a k velkému rozsahu technologie frézování se v současné době používá mnoho typů fréz. Frézy jsou vícebřité, někdy i tvarově složité nástroje, které lze v závislosti na jejich technologickém uplatnění třídit do jednotlivých skupin podle různých hledisek [3].

Příklady skupin podle různých hledisek použití fréz vycházejí z fréz použitých při obrábění [3]:

- a) Podle umístění zubů na tělese nástroje
 - válcové čelní
- b) Podle nástrojového materiálu
 - rychlořezná ocel
- c) Podle geometrického tvaru funkční části
 - válcové
 - úhlové

2.2 Elektroerozivní obrábění

Elektroerozivní obrábění patří v současné době k dobře zavedeným progresivním výrobním procesům, takže jen těžko ho lze nazývat netradičním [7].

Základy pro elektroerozivní obrábění položil už v roce 1768 Sir Joseph Priestley, který popsal jev elektroeroze, kdy zaznamenal vznik kráterů na plochách kovů oproti vodivým elektrodám, jako důsledek elektrického výboje [7].

2.2.1 Princip technologie elektroerozivního obrábění

Elektroerozivní obrábění nebo elektrojiskrové obrábění je technologicky proces, při kterém k úběru materiálu dochází elektricky, pomocí rychle se opakujících periodických impulzů jiskrového výboje za přítomnosti dielektrika (kapalné médium). Velmi malé částice (volným okem neviditelné částice - mikročástice) ve formě dutých kuliček jsou odstraňované z materiálu tavením a odpařením. Z mezery mezi nástrojem a obrobkem jsou produkty elektrolyzy odnášeny pomocí dielektrické kapaliny, která mezi nimi proudí [7].

Obrobek, jedna z elektrod, mezi kterými probíhá výboj, musí být z elektricky vodivého materiálu. Druhá elektroda (nástroj), také z vodivého materiálu, je umístěna v těsné blízkosti obrobku, ale není s ním v kontaktu. V elektrojiskrových zařízeních se používá kondenzátor s kapacitou 0,25 až 600 μF , díky kterému se dosáhne teploty 10 000 $^{\circ}\text{C}$ za 0,1 až 0,01 ms [7].

2.2.2 Elektrojiskrové drátové řezání

Elektrojiskrové drátové řezání (mezinárodně označované Wire Electrical Discharge Machining WEDM, popisuje se též jako Traveling Wire EDM zkráceně WIRE - EDM) je progresivní modifikací elektrojiskrového obrábění. Jeho zavádění znamenalo výrazný pokrok ve výrobě tvářecích nástrojů, především střížných a lisovacích nástrojů [7].

Technologie dodržuje všechny zákonitosti procesu elektrické eroze. Nástrojová elektroda je tenký drát, který se postupně odvíjí pomocí speciálního zařízení. Postupné odvíjení drátu je potřebné pro vyloučení jeho opotřebení. Drát se použije jen jednou. Pohyb drátu je pomalý a je řízený NC nebo CNC systémem stroje, podle požadovaného tvaru vyráběného předmětu. Vysoceefektivní využití představuje integrace technologie WEDM do systému CAD/CAM [7].

Obráběný předmět tvoří elektrodu opačné polarity jako je drát. Způsob zapojení závisí na typu použitého výboje a druhu konstrukce stroje. Obráběný předmět je upnutý na stole stroje a může se pohybovat v horizontálním směru nebo nemusí vykonávat žádný pohyb [7].

Drát se odvíjí a pohybuje ve vertikálním směru podle předem určené dráhy. Nejrozšířenějším materiálem elektrody jsou mosazné a měděné dráty. Vynikají výbornými vlastnostmi, jako je pevnost v tahu a elektrická vodivost a jsou vhodné pro tažení s vysokou přesností průřezu. Používá se také molybden a pro mikroobrábění také wolfram. Nejnovější trendy využívají povlakované dráty, např. ocelové dráty povlakované mědí pro zlepšení elektrické vodivosti nebo povlakované grafitem za účelem zvýšení rychlosti odvíjení drátu (nízký koeficient tření). Průměr drátu se pohybuje v rozmezí 0,03 až 0,3 mm. Standardní průměr bývá okolo 0,2 mm. Rychlost posuvu drátu je v rozmezí 2,5 až 150 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ [7].

Jako dielektrikum se používá deionizovaná voda nebo jiné nízkoviskózní kapaliny, také lehké oleje. Dielektrická kapalina musí zabezpečovat dostatečné chlazení oblasti obrobku a drátové elektrody a vyplavování erozních zplodin z místa řezu. WEDM vyžaduje plynulé proudění dielektrika do oblasti řezu. Výsledkem proudění dielektrika bývá přetrhnutí drátové elektrody. Pro přesné obrábění je také důležité důsledné dodržování vzdálenosti mezi elektrodami. Mezera bývá okolo 0,03 mm. Podřezání se při této technologii pohybuje v rozmezí 0,02 až 0,05 mm [7].

Rychlost úběru materiálu je udávána jako objemový úběr za časovou jednotku a pro starší typy strojů bývá $1\ 300\ \text{mm}^2 \cdot \text{hod}^{-1}$, novější typy strojů zabezpečují deseti a více násobně vyšší úběr materiálu. Samozřejmě úběr materiálu závisí na druhu materiálu a jeho elektrické vodivosti. Tvrdost a houževnatost materiálu nemá významný účinek [7].

Dosahovaná pracovní přesnost se udává okolo 0,013 mm, podle druhu zařízení. Přesnost polohy drátu až do 0,003 mm. Povrch materiálu po opracování vykazuje typické stopy po tepelném ovlivnění. Dosahují se hodnoty Ra okolo 0,76 až 1,27 μm [7].

Elektrodové drátové řezání nachází široké uplatnění v následujících oblastech [7]:

- opracování vysoce tvrdých elektricky vodivých keramických materiálů jako SiC, Si₃N₄, TiN, ZrB₂, pro účinné WEDM řezání nesmí být vodivost materiálů nižší jak $2 \times 10^2 \cdot \Omega^{-1} \text{cm}^{-1}$, protože se nevytvoří elektrický oblouk mezi nástrojem a obrobkem,
- obrábění tvářecích nástrojů,
- dělení a opracování destiček ze spékaných karbidů, kubického nitridu bóru a polykrystalického diamantu,
- opracování předmětů malých rozměrů okolo 45 μm ,
- výroba prototypů (*Rapid Tooling*),
- mikroobrábění - uplatňuje se v oblasti mikroelektronických elementů.

3 NÁVRH NOVÉHO TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Kompletní návrh nového technologického postupu pro výrobu součásti "deska levá" je sestaven od prvotního kroku, jímž je volba polotovaru. Vhodná volba polotovaru je základem pro výrobu, a nezbytně důležitá pro minimalizaci nákladů a práce při jeho obrábění. Následuje výpočet spotřeby materiálu, jehož výsledkem by měl být optimální stupeň využití materiálu. Dále v závislosti na strojním vybavení obrobny jsou pro veškeré operace zpracování součásti zvoleny stroje, nástroje a měřidla pro kompletní výrobu součásti. Vše je doplněno o technologický postup zajišťující popis všech operací, výpočet strojních časů a grafickou návodku pro frézařské a hoblovací operace.

3.1 Volba polotovaru

Polotovar je výchozí surovina, která je vhodně připravena pro výrobu dané součásti. Při výběru polotovaru hledíme především na ekonomické hledisko. Polotovar se má tvarem a rozměry co nejvíce přiblížit hotové součásti. Při hodnocení polotovaru musí jeho provedení splňovat následující podmínky [6]:

- *přídavky* na obrábění musí být *optimální*,
- *spotřeba materiálu* má být *minimální*,
- *vynaložená práce* na výrobu má být *minimální*.

Tyto podmínky se vztahují na všechny etapy výroby. Při výběru polotovaru jsou rozhodující celkové výrobní náklady, které jsou závislé na [6]:

- materiálové náročnosti a stupni využití materiálu polotovaru,
- velikosti vynaložených nákladů na zhotovení polotovaru z hlediska velikosti složitosti tvarů a sériovosti výroby,
- velikosti nákladů vynaložených na obrábění, které úzce souvisí s přesností tvarů a rozměrů polotovarů.

Nejčastěji používanými polotovary ve výrobě strojírenských součástí jsou [6]:

- tyčový materiál (hutní materiál tažený nebo válcovaný) - přířezy,
- výkovky a výlisky z oceli, neželezných kovů, plastů,
- svařence, odlitky, výpalky z tlustých plechů,
- výstřižky a výlisky z plechů.

Jako polotovar pro výrobu "desky levé" je zvolen plech tlustý z oceli třídy 14 válcovaný zatepla dle normy ČSN 42 5310, materiál ČSN 14 220. Jelikož se normalizované polotovary dodávají v základní rozměrové řadě, je třeba zvážit velikost přídavku. Jmenovité tloušťky plechů dodávané nejbližše požadovanému rozměru jsou odstupňovány po 2 mm. Jako nejvhodnější polotovar se jeví o jmenovité tloušťce 60 mm a to z důvodu, že rozměr hotové součásti je 58 mm. Z toho plyne, že rozměr polotovaru o jmenovité tloušťce 58 mm není vhodný, protože by nezbyl žádný přídavek na obrábění. Ostatní rozměry polotovaru jsou voleny dle rozměrů součásti.

Zvolený polotovar:

P 60 - 290 x 180 ČSN 42 5310

3.2 Spotřeba materiálu

Výpočet spotřeby materiálu je proveden *rozborově* propočtovou metodou, která vychází z podrobného propočtu faktorů, které ovlivňují spotřebu materiálu [6].

Norma spotřeby materiálu

$$N_m = Q_s + Z_m \text{ [kg.ks}^{-1}\text{]} \quad (3.1)$$

kde: N_m [kg.ks⁻¹] norma spotřeby materiálu,
 Q_s [kg.ks⁻¹] hmotnost hotové součásti,
 Z_m [kg.ks⁻¹] celkové ztráty materiálu.

$$N_m = 16,1961 + 8,2335 = 24,4296 \text{ kg.ks}^{-1}$$

Celkové ztráty materiálu

$$Z_m = q_o \text{ [kg.ks}^{-1}\text{]} \quad (3.2)$$

kde: q_o [kg.ks⁻¹] ztráty vzniklé obráběním polotovaru.

$$Z_m = 8,2335 \text{ kg.ks}^{-1}$$

Hmotnost hotové součásti

$$Q_s = 16,1961 \text{ kg (Vypočteno v programu SolidWorks 2010)}$$

Hmotnost polotovaru

$$Q_p = 24,4296 \text{ kg (Vypočteno v programu SolidWorks 2010)}$$

Ztráty vzniklé obráběním polotovaru

$$q_o = Q_p - Q_s \text{ [kg.ks}^{-1}\text{]} \quad (3.3)$$

kde: Q_p [kg.ks⁻¹] hmotnost polotovaru (přířezu).

$$q_o = 24,4296 - 16,1961 = 8,2335 \text{ kg.ks}^{-1}$$

Stupeň (koeficient) využití materiálu

$$k_m = \frac{Q_s}{N_m} \text{ [-]} \quad (3.4)$$

kde: k_m [-] stupeň (koeficient) využití materiálu.

$$k_m = \frac{16,1961}{24,4296} = 0,66$$

Stupeň využití materiálu při obrábění ve strojírenství se pohybuje v rozsahu 0,4 až 0,8.

3.3 Volba strojů a nástrojů

Při výběru strojů a nástrojů se vychází z vybavení obrobny, kde je součást z velké části zpracována. Operace, které nelze zhotovit na strojích v obrobně, jsou poslány do kooperace.

3.3.1 Stroje

K dispozici je několik strojů pro konvenční obrábění, jako jsou frézky, vrtačky, obrážky a jiné. Pro zhotovení finálního tvaru součásti se použije stroj pro nekonvenční obrábění, využívající elektroerozivní řezání drátem.

Stroje určené pro výrobu součásti jsou uvedeny v tabulce 3.1 a jejich technické parametry v příloze č. 3, 4, 5, 6.

Tab. 3.1 Stroje určené pro výrobu.

Název	Třídící číslo	Použití	Fotografie
Obrážka vodorovná HO 63	04914	Hrubovací operace	
Frézka FGS 25/32	05165	Frézařské operace	
Souřadnicová vrtačka Mikromat	04712	Vrtací operace	
Elektroerozivní drátová řezačka ROBOFIL 310	95956	Dokončení součásti ve tvaru zubů	

3.3.2 Nástroje

Nástrojový list byl zhotoven dle požadavků na tvary, rozměry a hodnoty Ra vyráběné součástí. Jedná se o různé druhy fréz, vrtáků a měřidel, viz tab. 3.2 a tab. 3.3.

Tab. 3.2 Nástrojový list [12].

VUT FSI ÚST BRNO		NÁSTROJOVÝ LIST		DATUM VYDÁNÍ: 27. 1. 2014	
Pozice nástroje:	Název nástroje	Umístění v katalogu	Norma	Materiál	
T1	HOBLOVACÍ NŮŽ 40x25x400 mm	SOMET	ČSN 22 3650	HSS	
T2	FRÉZA VALCOVÁ ø40x63 mm	SOMET	ČSN 22 2142	HSS	
T3	FRÉZA VALCOVÁ ČELNÍ ø100x50 mm	SOMET	ČSN 22 2054	HSS	
T4	FRÉZA ÚHLOVÁ ČELNÍ 60x100 mm	SOMET	ČSN 22 2254	HSS	
T5	VRTÁK S VALCOVOU STOPKOU ø8,5	SOMET	ČSN 22 1121	HSS	
T6	STROJNÍ ZÁVITNÍK M10	SOMET	ČSN 22 3042	HSS	
T7	VRTÁK S VALCOVOU STOPKOU ø8	SOMET	ČSN 22 1121	HSS	
T8	VRTÁK S VALCOVOU STOPKOU ø14	SOMET	ČSN 22 1121	HSS	
T9	ZÁHLUBNÍK S VALC. STOPKOU ø18	SOMET	ČSN 22 1604	HSS	
T10	VRTÁK S VALCOVOU STOPKOU ø5	SOMET	ČSN 22 1121	HSS	
T11	STROJNÍ ZÁVITNÍK M6	SOMET	ČSN 22 3042	HSS	
T12	FRÉZA PRO DRÁŽKY PER ø25x45 mm	SOMET	ČSN 22 1418	HSS	
T13	FRÉZA VÁLCOVÁ ČELNÍ ø30x50 mm	SOMET	ČSN 22 2148	HSS	
T14	FRÉZA VÁLCOVÁ ČELNÍ ø14x53 mm	SOMET	ČSN 22 2142	HSS	
T15	FRÉZA VÁLCOVÁ ČELNÍ ø16x63 mm	SOMET	ČSN 22 2132	HSS	

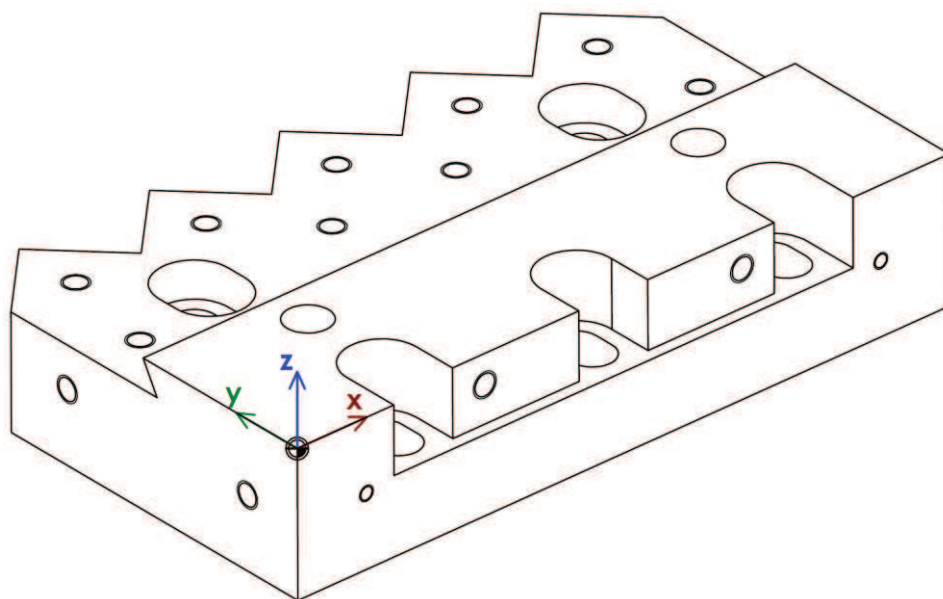
Tab. 3.3 List měřidel [12].

VUT FSI ÚST BRNO		LIST MĚŘIDEL	DATUM VYDÁNÍ: 27. 1. 2014
Číslo měřidla:	Název měřidla	Umístění v katalogu	Označení výrobce, norma
M1	DIG. POS. MĚŘÍTKO 150	SOMET	ČSN 25 1236
M2	DIG. POS. MĚŘÍTKO 300	SOMET	ČSN 25 1236
M3	ZÁVITOVÝ KALIBR M6	SOMET	ČSN 25 4020
M4	ZÁVITOVÝ KALIBR M10	SOMET	ČSN 25 4020
M5	ZÁVITOVÝ KALIBR M16	SOMET	ČSN 25 4020

Veškeré nástroje jsou z materiálu HSS - rychlořezná ocel a platí pro ně všeobecné normy ČSN. Výrobci těchto nástrojů je nespočet, proto je pro přehlednost zvolen internetový katalog SOMET, kde jsou všechny použité nástroje k dispozici.

3.4 Technologický postup

Jelikož je polotovar obdélníkového tvaru, lze u něj snadno zvolit základní souřadnicový systém (viz obr. 3). Dle takto zvoleného souřadnicového systému je v souřadnicích všech tří os psán technologický postup (viz tab. 3.4a, tab. 3.4b). To vše z důvodu lepší orientace, přesnosti a produktivity obrábění.



Obr. 3 Základní souřadnicový systém.

Tab. 3.4a Technologický postup.

VUT FSI ÚST BRNO	TECHNOLOGICKÝ POSTUP			DATUM VYDÁNÍ:	27.1.2014	
Název celku:	Název skupiny:	Název součástky: DESKA LEVÁ	Číslo výkresu: 010 911 014	Číslo listu:1		
Vyhotovil: KUBŮ MAREK		Polotovary: P 60 - 290 x 180 ČSN 42 5310		Materiál: 14 220.4		
Číslo operace pořadové Orientační	Název stroje, zařazení pracoviště Třídící číslo	Dílna	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky	Materiál nástroje	
01/01	OBRÁŽEČKA VODOROVNÁ HO 63 04914	OBROBNA	UPNOUT ZA ROZMĚR 60 HRUBOVAT NA ROZMĚR 171,5 S PŘÍDAVKEM 2 NA DOKONČENÍ ODSTRANIT OSTŘINY	T1	HSS	
02/02		KOOPERACE	BROUSIT NA ROZMĚR 58 +0,1 +0,2 HOTOVĚ			
03/03	FRÉZKA FGS 25/32 05165	OBROBNA	UPNOUT ZA ROZMĚR 171,5 FRÉZOVAT NA ROZMĚR 284 +0 -0,2 HOTOVĚ ODSTRANIT OSTŘINY	T2	HSS	
04/04	OBRÁŽEČKA VODOROVNÁ HO 63 04914	OBROBNA	UPNOUT ZA ROZMĚR 171,5 HRUBOVAT VYBRÁNÍ 94,5 +0 +0,2 S PŘÍDAVKEM 1 DO HLOUBKY 12 S PŘÍDAVKEM 1 ODSTRANIT OSTŘINY	T1	HSS	
05/05	FRÉZKA FGS 25/32 05165	OBROBNA	UPNOUT ZA ROZMĚR 171,5 FRÉZOVAT NA ROZMĚR 94,5 +0 +0,2 HOTOVĚ DO HLOUBKY 12 S PŘÍDAVKEM 0,2 NA DOKONČENÍ FRÉZOVAT NA ROZMĚR 12 A DRÁŽKU 60° HOTOVĚ ODSTRANIT OSTŘINY	T3 T4	HSS HSS	
06/06		OBROBNA	KOTROLOVAT ROZMĚR 284 +0 -0,2; VYBRÁNÍ 94,5 +0 +0,2; ODSTRANĚNÍ OSTŘIN ČETNOST 100%; VIZUÁLNĚ 100%	M1; M2		
07/07	VRTAČKA SOUŘ. MIKROMAT 04712	OBROBNA	UPNOUT ZA ROZMĚR 171,5 VRTAT DÍRU $\varnothing 8,5$ DO HLOUBKY 26 (5x) V SOUŘADNICÍCH X: 28,4 $\pm 0,05$; 85,5 $\pm 0,05$; 142 $\pm 0,05$; 198,8 $\pm 0,05$; 255,60 $\pm 0,5$ Y: 143,22 ŘEZAT ZÁVIT M10x1,5 DO HLOUBKY 15 (5x) VRTAT DÍRU $\varnothing 8,5$ DO HLOUBKY 26 (4x) V SOUŘADNICÍCH X: 20; 110 $\pm 0,1$; Y: 101,5; 114,5 SYMETRICKY ŘEZAT ZÁVIT M10 x 1,5 DO HLOUBKY 15 (4x) PŘEDVRTAT DÍRU $\varnothing 18$ (2x) V SOUŘADNICÍCH X: 57 $\pm 0,1$ SYMETRICKY Y: 60 VRTAT DÍRU $\varnothing 18$ (2x) V SOUŘADNICÍCH X: 57 $\pm 0,1$ Y: 60 SYMETRICKY ZAHLOUBIT DÍRU $\varnothing 18$ DO HLOUBKY 25 (2x) ŘEZAT ZÁVIT M16 (2x) PŘEDVRTAT DRÁŽKU VRTÁKEM $\varnothing 8$ (2x) V SOUŘ. X: 57 $\pm 0,1$ SYMETRICKY Y: 109; 117 PŘEDVRTAT DRÁŽKU VRTÁKEM $\varnothing 8$ (3x) V SOUŘ. X: 142 $\pm 0,05$; 57 $\pm 0,1$ SYMETRICKY Y: 15; 23 ODSTRANIT OSTŘINY	T5 T6 T5 T6 T7 T8 T9 T10 T7 T7	HSS HSS HSS HSS HSS HSS HSS HSS HSS HSS HSS	
08/08	VRTAČKA SOUŘ. MIKROMAT 04712	OBROBNA	UPNOUT ZA ROZMĚR 60 VRTAT BOČNÍ DÍRU $\varnothing 8,5$ DO HLOUBKY 31 (2x) V SOUŘADNICÍCH Y: 25; 115 $\pm 0,1$ Z: -29 ŘEZAT ZÁVIT M10x1,5 DO HLOUBKY 20 (2x) ODSTRANIT OSTŘINY	T5 T6	HSS HSS	
09/09	VRTAČKA SOUŘ. MIKROMAT 04712	OBROBNA	UPNOUT ZA ROZMĚR 60 VRTAT BOČNÍ DÍRU $\varnothing 5$ DO HLOUBKY 19 (2x) V SOUŘADNICÍCH X: 30 SYMETRICKY Z: -29 ŘEZAT ZÁVIT M6 DO HLOUBKY 12 (2x)	T11 T12	HSS HSS	

Tab. 3.4b Technologický postup.

VUT FSI ÚST BRNO	TECHNOLOGICKÝ POSTUP			DATUM VYDÁNÍ:	27.1.2014
Název celku:	Název skupiny:	Název součástky: DESKA LEVÁ	Číslo výkresu:010 911 014	Číslo listu:2	
Vyhotovil: KUBŮ MAREK	Polotovary: P 60 - 290 x 180 ČSN 42 5310			Materiál: 14 220.4	
Číslo operace pořadové Orientační	Název stroje, zařazení pracoviště Třídící číslo	Dílna	Popis práce v operaci:	Výrobní nástroje, přípravky, měřidla, pomůcky	Materiál nástroje
			VRTAT BOČNÍ DÍRU $\varnothing 8,5$ DO HLOUBKY 36 (2x) V SOUŘADNICÍCH X: 86 SYMETRICKY Z: -12 ŘEZAT ZÁVIT M10 x 1,5 DO HLOUBKY 25 (2x) ODSTRANIT OSTŘINY	T5 T6	HSS HSS
10/10		OBROBNA	KOTROLOVAT M10 x 1,5 (13x); M16 (2x); M6 (2x) ZAHLOUBENÍ $\varnothing 18$, ODSTRANĚNÍ OSTŘIN; ČETNOST 100%; VIZUÁLNĚ 100%	M1; M3; M4; M5	
11/11	FRÉZKA FGS 25/32 05165	OBROBNA	HRUBOVAT DRÁŽKU 17 x 25 (5x) V SOUŘADNICÍCH X:57 $\pm 0,1$ SYMETRICKY; 142 $\pm 0,05$ Y: 15; 109 FRÉZOVAT DRÁŽKU 17 x 25 (5x) V SOUŘADNICÍCH X:57 $\pm 0,1$ SYMETRICKY Y: 15; 109 HOTOVĚ HRUBOVAT DRÁŽKU 30 x 38 (5x) V SOUŘADNICÍCH X: 57 $\pm 0,1$ SYMETRICKY; Y : 15; 109; Z: -26 FRÉZOVAT DRÁŽKU 30 x 38 (5x) V SOUŘADNICÍCH X: 57 $\pm 0,1$ SYMETRICKY Y: 15; 109; Z -27 HOTOVĚ FRÉZOVAT VYBRÁNÍ 200 x 5 DO HLOUBKY Z: -27 ODSTRANIT OSTŘINY	T15 T16 T13 T14 T14	HSS HSS HSS HSS HSS
12/12		OBROBNA	KONTROLOVAT DRÁŽKU 17 x 25 (5x); 30 x 38 (5x); VYBRÁNÍ 200 x 5, ODSTRANĚNÍ OSTŘIN ČETNOST 100%; VIZUÁLNĚ 100%	M1; M2	
13/13	DRÁTOVKA ROBOFIL 310 95956	OBROBNA	ŘEZAT TVAR ZUBŮ - VIZ. NC PROGRAM		
14/14		OBROBNA	KOTROLOVAT ROZMĚR 28,4 $\pm 0,05$; 85,2 $\pm 0,06$; 142 $\pm 0,05$; 198,8 $\pm 0,05$; 255,6 $\pm 0,05$; 20 $\pm 0,05$ ČETNOST 100%; VIZUÁLNĚ 100%	M1; M2	
15/15		KOOPERACE	CEMENTOVAT DO HL. 0,6; KALIT NA 58 HRC		
16/16		OBROBNA	BALENÍ A EXPEDICE		

Rozeř 58 mm nemá na výkrese předepsanou žádnou toleranci, ovšem zákazník požádal o změnu, proto se operace č. 02/02 řeší jako kooperace, ve které se zajistí požadovaná tolerance. Při výrobě v operaci č. 13/13 je využit počítačem řízený stroj, který vytváří konečnou podobu součásti pomocí NC kódu vytvořeného v programu PEPS – V5.3.13 uvedeného v příloze č. 7. Fotografie z výroby jsou uvedeny v příloze č. 8. Takto zvolený technologický postup se s menšími úpravami bude aplikovat na další podobné součásti, které zákazník taktéž požaduje vyrobit. Tyto součásti jsou uvedeny v příloze č. 2.

3.5 Výpočet strojních časů

Následující vztahy a číselné hodnoty jsou využity k veškerým výpočtům strojních časů (viz tab. 3.5) [1, 3, 4].

Výpočet otáček

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} \text{ [min}^{-1}\text{]} \quad (3.5)$$

kde: n [min⁻¹] otáčky nástroje,

D	[mm]	průměr nástroje,
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost,
π	[-]	konstanta.

Výpočet jednotkového strojního času

Hoblování rovinné plochy:

$$t_{AS} = \frac{B}{f_{dz}} \cdot \left(\frac{L_H}{1000 \cdot v_c} + \frac{L_H}{1000 \cdot v_z} + t_r \right) [min] \quad (3.6)$$

kde:	t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas,
	B	[mm]	výpočtová šířka hoblování,
	L_H	[mm]	výpočtová délka hoblování,
	f_{dz}	[mm]	posuv na dvojjzdvih,
	v_z	[m.min ⁻¹]	rychlost zpětného pohybu,
	t_r	[min]	čas rezervace (0,02 ÷ 0,08 min).

Frézování:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{v_f} [min] \quad (3.7)$$

kde:	L	[mm]	dráha nástroje ve směru posuvu,
	v_f	[mm.mm ⁻¹]	posuvová rychlost.

Hodnota L pro frézování na čisto:

$$L = l + l_n + l_p + D [mm] \quad (3.8)$$

Hodnota L pro válcové frézování:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} [mm] \quad (3.9)$$

$$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} \quad (3.10)$$

kde:	H	[mm]	šířka záběru ostří pro válcové frézování,
	l	[mm]	délka obráběné plochy,
	l_n	[mm]	délka náběhu,
	l_p	[mm]	délka přeběhu.

$$f_n = f_z \cdot z [mm]$$

kde:	f_n	[mm]	posuv na otáčku,
	f_z	[mm]	posuv na zub,
	z	[-]	počet zubů (břitů) nástroje.

$$v_f = f_n \cdot n [mm.min^{-1}] \quad (3.11)$$

Vrtání:

$$t_{AS} = \frac{l_n + L + l_p}{f \cdot n} [min] \quad (3.12)$$

kde:	f	[mm.ot ⁻¹]	posuv.
------	---	------------------------	--------

Řezání závitů:

$$t_{AS} = \frac{(l_n + L + l_p) \cdot 2}{f + n} \text{ [min]} \quad (3.13)$$

Tab. 3.5 Výpočet strojních časů.

Číslo operace	Výpočet	Čas [min]
01/01	$t_{AS} = \frac{70}{0,3} \cdot \left(\frac{300}{1000 \cdot 12} + \frac{300}{1000 \cdot 24} + 0,03 \right) = 15,750$	15,750
03/03	$n = \frac{21 \cdot 1000}{40 \cdot \pi} = 167,1 \Rightarrow 140$ $f_n = 0,25 \cdot 6 = 1,5$ $v_f = 1,5 \cdot 140 = 210$ $l_{nf} = \sqrt{3 \cdot (40 - 3)} = 10,5$ $t_{AS} = \frac{(173,5 + 5 + 5 + 10,5) \cdot 2}{210} = 1,847$	1,847
04/04	$t_{AS} = \left[\frac{98,5}{0,3} \cdot \left(\frac{294}{1000 \cdot 12} + \frac{294}{1000 \cdot 24} + 0,03 \right) \right] \cdot 2 = 43,832$	43,832
05/05	$n = \frac{19 \cdot 1000}{100 \cdot \pi} = 60,5 \Rightarrow 56$ $f_n = 0,25 \cdot 16 = 4$ $v_f = 4 \cdot 56 = 224$ $t_{AS} = \frac{(284 + 5 + 5 + 100)}{224} = 1,759$ $n = \frac{21 \cdot 1000}{100 \cdot \pi} = 66,8 \Rightarrow 56$ $f_n = 0,05 \cdot 22 = 1,1$ $v_f = 1,1 \cdot 56 = 62$ $t_{AS} = \frac{(284 + 5 + 5 + 100)}{66} = 5,967$	7,726
07/07	$t_{AS} = \frac{(3 + 26 + 0) \cdot 5}{0,112 \cdot 710} = 1,823$ $t_{AS} = \frac{(3 + 15 + 0) \cdot 2 \cdot 5}{1,5 + 180} = 0,992$	

	$t_{AS} = \frac{(3 + 26 + 0) \cdot 4}{0,112 \cdot 710} = 1,459$ $t_{AS} = \frac{(3 + 15 + 0) \cdot 2 \cdot 4}{1,5 + 180} = 0,793$ $t_{AS} = \frac{(3 + 58 + 1) \cdot 2}{0,112 \cdot 710} = 1,559$ $t_{AS} = \frac{(1 + 58 + 3) \cdot 2}{0,173 \cdot 355} = 2,019$ $t_{AS} = \frac{(5 + 25 + 0) \cdot 2}{0,12 \cdot 180} = 2,777$ $t_{AS} = \frac{(0 + 33 + 20) \cdot 2 \cdot 2}{2 + 100} = 2,078$ $t_{AS} = \frac{(3 + 46 + 1) \cdot 2}{0,112 \cdot 710} = 1,257$ $t_{AS} = \frac{(3 + 58 + 1) \cdot 3}{0,112 \cdot 710} = 2,339$	17,096
08/08	$t_{AS} = \frac{(3 + 31 + 0) \cdot 2}{0,112 \cdot 710} = 0,855$ $t_{AS} = \frac{(3 + 20 + 0) \cdot 2 \cdot 2}{1,5 + 180} = 0,507$	1,362
09/09	$t_{AS} = \frac{(2 + 18 + 0) \cdot 2}{0,07 \cdot 1120} = 0,536$ $t_{AS} = \frac{(3 + 12 + 0) \cdot 2 \cdot 2}{1 + 200} = 0,298$ $t_{AS} = \frac{(3 + 36 + 0) \cdot 2}{0,112 \cdot 710} = 0,981$ $t_{AS} = \frac{(3 + 25 + 0) \cdot 2 \cdot 2}{1,5 + 180} = 0,617$	2,432
11/11	$n = \frac{18 \cdot 1000}{14 \cdot \pi} = 409,3 \Rightarrow 355$ $f_n = 0,03 \cdot 2 = 0,06$ $v_f = 0,06 \cdot 355 = 20,1$ $n = \frac{18 \cdot 1000}{30 \cdot \pi} = 191 \Rightarrow 180$ $f_n = 0,03 \cdot 4 = 0,012$	

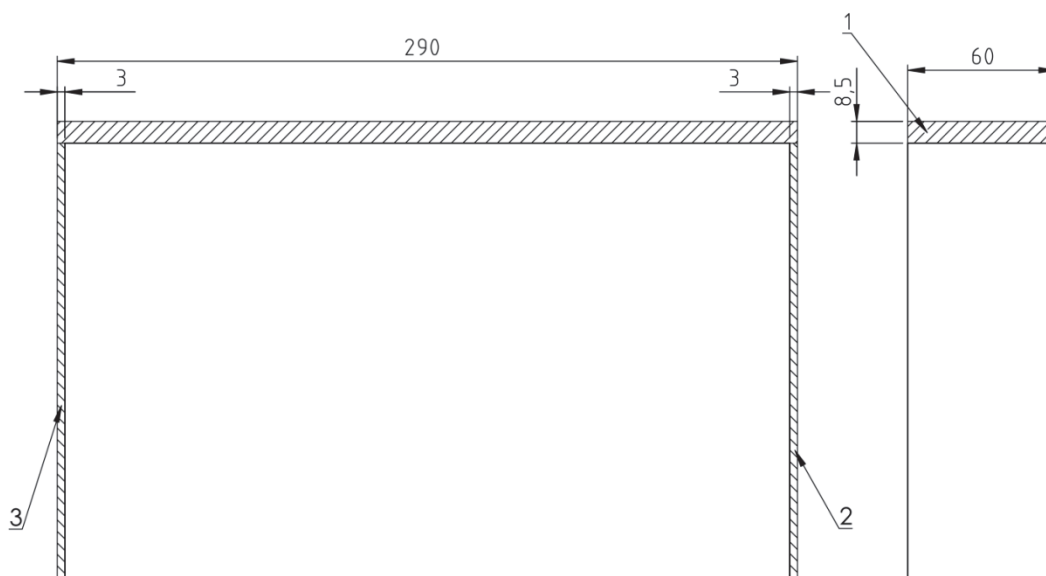
	$v_f = 0,12 \cdot 180 = 21,6$ $t_{AS} = \frac{39 \cdot 10 \cdot 2}{20,1} = 38,805$ $t_{AS} = \frac{39 \cdot 12 \cdot 3}{20,1} = 69,851$ $t_{AS} = \frac{35 \cdot 10 \cdot 2}{21,6} = 32,407$ $t_{AS} = \frac{35 \cdot 12 \cdot 3}{21,6} = 58,333$ $t_{AS} = \frac{49 \cdot 4 \cdot 2}{20,1} = 19,502$ $t_{AS} = \frac{49 \cdot 7 \cdot 3}{20,1} = 51,194$ $t_{AS} = \frac{26,5 \cdot 4 \cdot 2}{21,6} = 9,815$ $t_{AS} = \frac{26,5 \cdot 6 \cdot 3}{21,6} = 22,083$ $f_n = 0,1 \cdot 4 = 0,4$ $v_f = 0,4 \cdot 180 = 112$ $t_{AS} = \frac{180}{21,5} = 8,372$	310,362
Celkový čas		400,107

Hodnoty, z nichž vyházejí výsledné strojní časy, jsou hodnoty tabulkové a výsledky nemusejí odpovídat reálným časům. Tyto hodnoty jsou v některých případech upravovány vzhledem k výkonnosti nástrojů a strojů. Rozdíly mohou být způsobeny stavem a seřízením stroje, jako je např. vůle ve vedení atd.

3.6 Návodky

Technologický postup a tabulka vypočtených strojních časů jsou dále doplněny o grafickou návodku (viz. tab. 3.6, tab. 3.7, tab. 3.8, tab. 3.9) usnadňující přehlednost a jednoznačnost operací. Návodka obsahuje pouze operace hoblování a frézování.

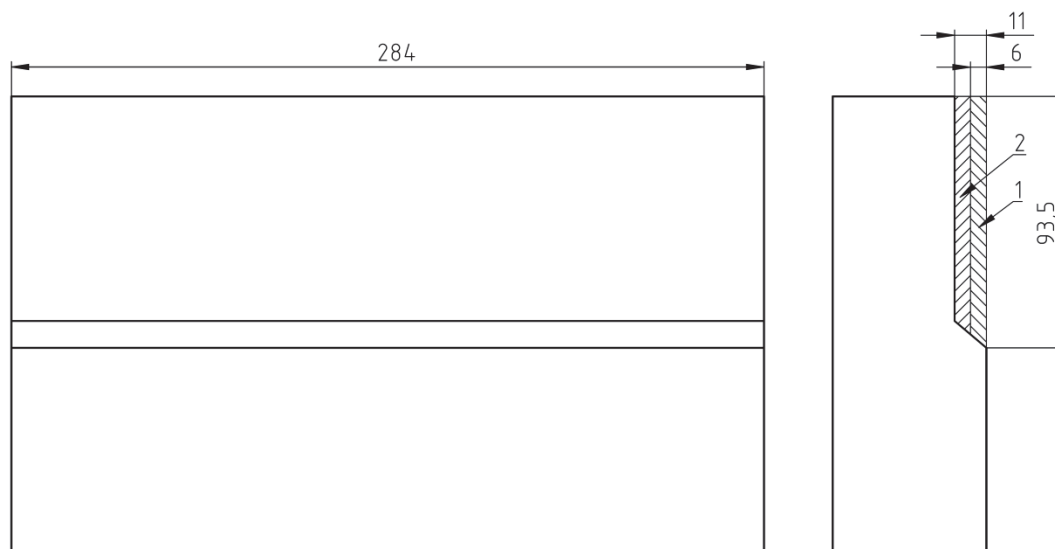
Tab. 3.6 Návodka 1.



Výrobní návodka

VUT-FSI-UST		Součást: DESKA LEVÁ		Stroj: Vodorovná obrážička HO 63 Frézka FGS 25/32		Číslo operace: 01/01 03/03		
Úsek	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min]	v_f [mm]	a_p [mm]	l_o [mm]	t_{AS} [min]	Výrobní nástroj
1 - Hoblování	1	12			6,5	70x300	15,750	T1
2 - Frézování	1	21	140	210	3	193,5	0,923	T2
3 - Frézování	1	21	140	210	3	193,5	0,923	T3
Celkem							17,597	
Datum: 23. 4. 2014			Navrhl: Marek Kubů			Schválil:		

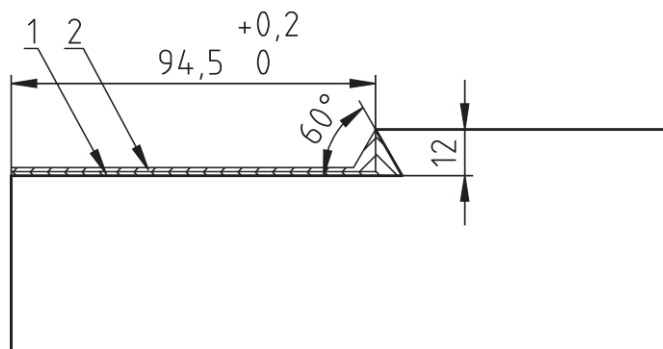
Tab. 3.7 Návodka 2.



Výrobní návodka

VUT-FSI-UST		Součást: DESKA LEVÁ		Stroj: Vodorovná obrázečka HO 63			Číslo operace: 04/04	
Úsek	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min]	f [mm]	a_p [mm]	l_o [mm]	t_{AS} [min]	Výrobní nástroj
1 - Hoblování	1	12			6	98,5x294	21,916	T1
2 - Hoblování	1	12			5	98,5x294	21,916	T1
Celkem							43,832	
Datum: 23. 4. 2014			Navrhl: Marek Kubů				Schválil:	

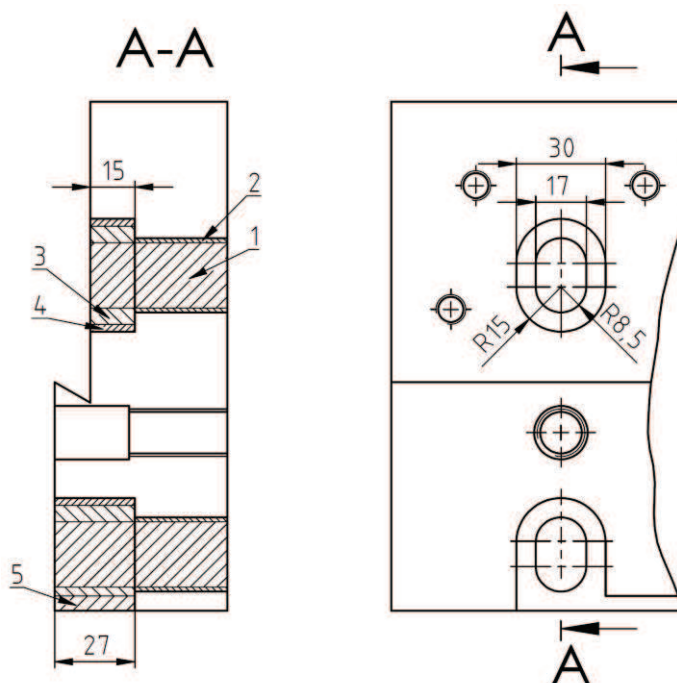
Tab. 3.8 Návodka 3.



Výrobní návodka

VUT-FSI-UST	Součást: DESKA LEVÁ		Stroj: Frézka FGS 25/32		Číslo operace: 05/05			
Úsek	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min]	v_f [mm]	a_p [mm]	l_o [mm]	t_{AS} [min]	Výrobní nástroj
1 - Frézování	1	19	56	224	1	394	1,759	T3
2 - Frézování	1	21	56	62	0,2	394	5,967	T4
Celkem							7,726	
Datum: 23. 4. 2014			Navrhl: Marek Kubů			Schválil:		

Tab. 3.9 Návodka 4.



Výrobní návodka

VUT-FSI-UST	Součást: DESKA LEVÁ	Stroj: Frézka FGS 25/32	Číslo operace: 11/11					
Úsek	i	v_c [m.min ⁻¹]	n [min]	v_f [mm]	a_p [mm]	l_o [mm]	t_{AS} [min]	Výrobní nástroj
1 - Hrubování	10	18	355	21,6	4,6	39	108,656	T15
2 - Dokončování	10	18	355	21,6	4,6	35	90,740	T16
3 - Hrubování	4	18	180	20,1	4	49	70,696	T13
4 - Dokončování	6	18	180	20,1	2,5	49	31,898	T14
5 - Dokončování	1	18	180	20,1	5	200	8,372	T14
Celkem							310,362	
Datum: 23. 4. 2014		Navrhl: Marek Kubů					Schválil:	

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomické zhodnocení obsahuje hodnoty získané výpočtem jednotkových strojních časů jednotlivých operací v závislosti na použitých strojích a nástrojích. Takto získané hodnoty jednotkových strojních časů jsou dále doplněny o hodnoty jednotkových vedlejších časů pro získání celkového potřebného času na zhotovení součásti. K celkovému výrobnímu času jsou poté přiřazeny částky, které odpovídají hodinové mzdě jednotlivých strojů. Operace, které nebyly prováděny ve firmě Czech Blades, s.r.o., ale jako kooperace v jiné firmě, nejsou stanoveny v čase potřebném na jejich zhotovení, ale v peněžních nákladech, které kooperace vyžaduje. Rozdělení strojních a celkových časů dle operací na jednotlivých strojích a uvedení výsledné ceny součásti je v tab. 4.1.

Vypočtené hodnoty strojních časů jsou výsledky založené především na tabulkových hodnotách, a proto se zcela nemusejí shodovat s časy získanými ve výrobě. Tyto hodnoty jsou v některých operacích upravovány vzhledem k výkonnosti stroje a nástroje. Samozřejmostí je, že z těchto časů nelze stanovit cenu vyrobené součásti. A to z důvodu, že se při výrobě vyskytují i jiné časy:

- čas klidu (dělník upíná nástroj, obrobek a seřizuje stroj)
- čas hlavního chodu (odebírání třísky)

Přičemž čas hlavního chodu zahrnuje kromě času automatického chodu i čas řízeného chodu (strojně ruční). V případě vrtání a frézování pěti per se tak výsledek může lišit v řádu několika minut.

Jednotkový vedlejší čas t_{AV} se určí vzhledem k složitosti operace, počtu upnutí apod. Pro výpočet jednotkového vedlejšího času je zaveden koeficient k_V , který se mění v závislosti na druhu a složitosti operace. Ověření vypočteného času se dá provést až v praxi.

$$t_{AV} = t_{AS} \cdot k_V \text{ [min]} \quad (4.1)$$

kde: t_{AV} [min] jednotkový vedlejší čas,
 t_{AS} [min] jednotkový strojní čas.

$$\begin{aligned} t_{AV1} &= 59,582 \cdot 0,5 = 29,791 \text{ mm} \\ t_{AV2} &= 319,935 \cdot 0,5 = 159,968 \text{ mm} \\ t_{AV3} &= 20,890 \cdot 0,8 = 16,712 \text{ mm} \\ t_{AV4} &= 40 \text{ mm} \end{aligned}$$

Celkový čas t_A všech operací je určen součtem jednotkových strojních a vedlejších časů.

$$t_A = t_{AS} + t_{AV} \text{ [min]} \quad (4.2)$$

kde: t_A [min] celkový čas.

$$t_A = 900,407 + 246,471 = 1\,146,878 \text{ mm}$$

Tab. 4.1 Cena součásti

Název stroje	Strojní čas [min]	Celkový čas [min]	Hodinová mzda [Kč.hod ⁻¹]	Cena [Kč]
Vodorovná obrázečka HO 63	59,582	89,373	300	447
Frézka FGS 25/32	319,935	479,903	300	2 400
Souřadnicová vrtačka Mikromat	20,890	37,602	300	188
Drátová řezačka Robofil 310	500	540	500	4 500
Kooperace - Broušení				225
Kooperace - Kal. + Cem.				1 053
Celkem	900,407	1 146,878		8 813

Hodinové mzdy jednotlivých strojů odpovídají částkám, které si firma standardně účtuje. Při součtu všech jednotkových strojních časů jednotlivých operací je dosažen čas 6 hodin a 40 minut pro konvenční obrábění, který je doplněn orientačním časem 8 hodin a 30 minut pro nekonvenční obrábění. Přičtení jednotkových vedlejších časů pak udává celkový čas potřebný pro zhotovení součásti. Výsledný čas je 19 hodin a 7 minut s konečnou cenou součásti 8 813 Kč.

5 DISKUZE

Bakalářská práce se zabývá výrobou součásti "deska levá" ve společnosti Czech Blades, s.r.o. Základem pro výrobu je vhodná volba polotovaru tak, aby byl co nejbližší podobný požadovanému tvaru a nebyly příliš velké ztráty při obrábění. V tomto případě bylo po kontrolních výpočtech dosaženo stupně využití materiálu 0,66. Ten se ve strojírenství pohybuje v rozmezí 0,4 až 0,8, tudíž jsme dosáhli optimální volby polotovaru. Jelikož firma funguje i jako údržba pro ostatní haly v podniku, není zde při výrobě určen jednoznačný technologický postup. Proto z technických důvodů nebyl vytvořen celý před kompletní výrobou, ale postupně před volbou stroje a operace. Pro takto vytvořený technologický postup byly dále vybrány vhodné nástroje, které byly označeny konkrétním číslem v nástrojovém listu. Tento byl doplněn o list měřidel potřebných pro kontrolu všech rozměrů. Jako předposlední operace před tepelným zpracováním bylo nutné zhotovit vybrání ve tvaru zubů. Na výběr byly 2 varianty výroby, a to buď frézování, nebo elektroerozivní drátové řezání. Po přezkoumání bylo zvoleno elektroerozivní drátové řezání. Ač je tato metoda ne zcela ekonomicky a časově výhodná, byla zvolena z důvodu bezobslužné práce, možnosti využití konvenčních strojů pro další výrobu a především pro zajištění přesnosti tvarů a rozměrů.

Před zajištěním výroby provedl technolog orientační výpočet času a určení ceny součásti, zda s tím zákazník bude souhlasit. Tyto orientační hodnoty stanovili celkovou výrobu součásti v rozmezí 18 až 20 hodin za cenu 8 až 10 tisíc korun. Poté byl pomocí tabulkových a vlastních hodnot vypočten celkový výrobní čas 19 hodin a 7 minut za cenu 8 813 Kč. Výsledná cena zahrnuje i náklady na kooperaci. Jelikož se jedná pouze o výrobu jedné součásti, nebyl ve výrobě změřen přesný čas, tudíž v porovnání orientačního a exaktního výpočtu lze říci, že se tyto hodnoty shodují. Ovšem přesný čas výroby nelze přesně určit.

Součást "deska levá" je jedním z více dílů sestavy, kterou tvoří i např. "deska pravá" a "deska středová", které bude firma taktéž vyrábět. Součásti se navzájem liší počtem děr a rozměry. Proto se dá vyhotovený technologický postup s menšími změnami aplikovat i na tyto tvarově podobné součásti.

Pro zvýšení produktivity obrábění by bylo vhodné zakoupit výkonnější nástroje, popřípadě i stroje zaručující možnost využití vyšších řezných podmínek. U strojů a nástrojů, které slouží k obrábění nelze dosáhnout tabulkových hodnot, co se týče řezných podmínek. Proto se ve výpočtech strojních časů museli provádět určité změny dle výkonnosti, tzn. snížení řezné rychlosti, posuvu a otáček. Při volbě výkonných frézovacích nástrojů s břitovými destičkami ze slinutých karbidů by se tak výroba zkrátila o více než polovinu času. Ovšem starší stroje umístěné v obrobně nejsou stavěny na tak velké řezné rychlosti a mohlo by dojít k jejich poškození. Firma je doposud prosperující, a pokud by se počítalo s využitím obrobny nejen pro vlastní účely, bylo by vhodné zakoupení nových, výkonnějších strojů. Mimo jiné by se dalo uvažovat o koupi CNC obráběcího centra. Firma by tak mohla obrábět i tvarově složitější součásti a rozšířit tak nabídku výroby. V případě výroby součásti "deska levá" se výroba neobešla bez kooperace, v níž bylo prováděno broušení a tepelné zpracování, a to z důvodu velikosti součásti, kterou nelze umístit do zařízení pro tepelné zpracování umístěného v obrobně. Firma je tak limitována velikostí vyráběných součástí. Do budoucna, s přibývajícím zakázkami by se firma měla zabývat výměnou, nebo doplněním obrobny stroji pro větší součásti.

ZÁVĚR

V bakalářské práci je pojednáno o tvorbě technologického postupu pro výrobu součásti "deska levá" včetně konkrétně zvoleného polotovaru, nástrojů a strojů použitých při výrobě. Pro elektroerozivní drátovou řezačku bylo nutno zhotovit NC kód v programu PEPS – V5.3.13. Nezbytnou součástí je výpočet celkového času potřebného na výrobu součásti a následné stanovení její ceny pro zákazníka. Operace, jako je broušení a tepelné zpracování není možno zhotovit v obrobně, proto je součást poslána jako kooperace do jiného podniku.

Při výrobě bylo dosaženo těchto výsledků a poznatků:

- celkový výrobní čas součásti je 19 hodin a 7 minut,
- cena vyrobené součásti je 8 813 Kč,
- celkový výrobní čas součásti se téměř shodoval s odhadem 18 až 20 hodin,
- z ekonomického hlediska je výhodnější použít pouze metodu frézování, ale z technického hlediska byla zvolena metoda elektroerozivního řezání drátem, a to z důvodu zajištění přesnosti rozměrů a bezobslužné práce,
- u použitých nástrojů z rychlořezné oceli nelze použít tabulkové hodnoty řezných podmínek,
- při užití výkonnějších strojů a nástrojů ze slinutých karbidů by se dosáhlo o více než 50 % větší produktivity obrábění,
- koupí nového CNC obráběcího centra by se značně zjednodušila výroba složitých tvarů,
- pořízení nových, větších zařízení pro tepelné zpracování by výrazně zkrátilo dobu čekání na návrat součásti z kooperace na minimum,
- technologický postup se dá aplikovat na tvarově a složitě podobné součásti, které zákazník požaduje vyrobit zároveň s "deskou levou".

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006, xiv, 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
- [2] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a František PROKEŠ. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vyd. 4. Brno: CERM, 2011, 227 s. ISBN 978-80-7204-751-2.
- [3] HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 1. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2003. [vid. 2014-03-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [4] HUMÁR, Anton. *Technologie I - Technologie obrábění - 2. část* [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. Brno: VUT-FSI, Ústav strojírenské technologie. 2004. [vid. 2014-03-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
- [5] MÁDL, Jan a Jaroslav BARCAL. *Základy technologie II*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002, 55 s. ISBN 80-010-2610-8.
- [6] ZEMČÍK, Oskar. *Technologické procesy - část obrábění* [online]. Učební texty kombinovaného bakalářského studia. Brno: VUT-FSI: Ústav strojírenské technologie. 54 s. [vid. 2014-03-27]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/?page=opory>
- [7] MAŇKOVÁ, Ildikó. *Progresívne technológie*. 1. vyd. Košice: Vienala, 2000, 275 s. ISBN 80-7099-430-4.
- [8] MkStroje. *Obrážka HO63* [online]. © 2014 [vid. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://www.mkstroje.cz/stroj/obrazeka-ho-63>
- [9] Limetech. *Frézka univerzální* [online]. © 2014 [vid. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://www.limetech.cz/produkty-frezka-univerzalni-detail-242>
- [10] TDZ Partners s. r. o. *TDZ - Použité stroje* [online]. © 2014 [vid. 2014-04-04]. Dostupné z: http://www.tdzpartners.com/index.php?company=pouzite_stroje&id_nomen=010000000000404
- [11] SKONAS CZ s. r. o. *Robofil 310 Charmilles* [online]. © 2013 [vid. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://www.skonas.cz/content/robofil-310-charmilles>
- [12] Somet Teplice s. r. o. *Somet katalog* [online]. © 2014 [cit. 2014-04-04]. Dostupné z: <http://katalog.sometteplice.cz/categories.php>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CAD	[-]	Computer Aided Design
CAM	[-]	Computer Aided Manufacturing
CNC	[-]	Computer Numeric Control
ČSN	[-]	Česká Státní Norma
EN	[-]	Evropská Norma
HB	[-]	tvrdost dle Brinella
HSS	[-]	Hight Speed Steel
NC	[-]	Numeric Control
WEDM	[-]	Wire Electrical Discharge Machining

Symbol	Jednotka	Popis
B	[mm]	výpočtová šířka hoblování
D	[mm]	průměr nástroje
H	[mm]	šířka záběru ostří pro válcové frézování
L	[mm]	dráha nástroje ve směru posuvu
L_H	[mm]	výpočtová délka hoblování
N_m	[kg.ks ⁻¹]	norma spotřeby materiálu
Q_p	[kg.ks ⁻¹]	hmotnost polotovaru
Q_s	[kg.ks ⁻¹]	hmotnost hotové součásti
Re_{min}	[MPa]	mez kluzu
Ra	[μm]	průměrná aritmetická úchylka profilu
R_m	[MPa]	mez pevnosti
Z_m	[kg.ks ⁻¹]	celkové ztráty materiálu
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
B	[mm]	šířka hoblované plochy
b_n	[mm]	délka náběhu ve směru šířky hoblované plochy
b_p	[mm]	délka přeběhu ve směru šířky hoblované plochy
f	[mm.ot ⁻¹]	posuv

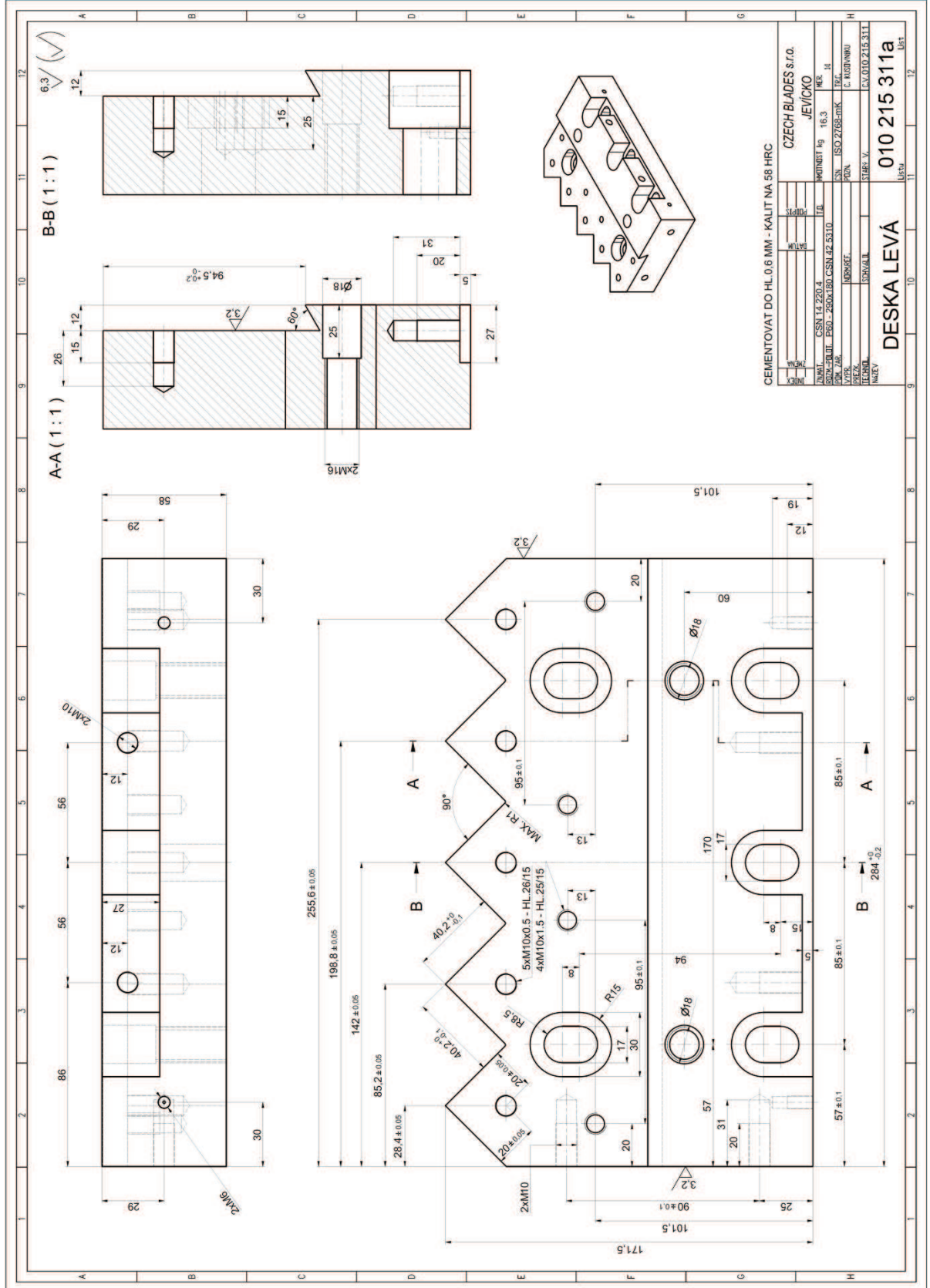
f_{dz}	[mm]	posuv na dvojzdvih
f_n	[mm]	posuv na otáčku
f_z	[mm]	posuv na zub
i	[-]	počet záběrů
k_m	[-]	stupeň (koeficient) využití materiálu
k_v	[-]	koeficient jednotkového vedlejšího času
l	[mm]	délka obráběné plochy
l_n	[mm]	délka náběhu
l_p	[mm]	délka přeběhu
n	[mm ⁻¹]	otáčky nástroje
q_o	[kg.ks ⁻¹]	ztráty vzniklé obráběním polotovaru
t_{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
t_{AV}	[min]	jednotkový vedlejší čas
t_r	[min]	čas rezervace (0,02 ÷ 0,08 min)
v_c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v_f	[mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost
v_z	[m.min ⁻¹]	rychlost zpětného pohybu
z	[-]	počet zubů (břitů) nástroje
π	[-]	konstanta

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres vyráběné součásti
Příloha 2 - 1/2	Výkres součásti "deska pravá"
Příloha 2 - 2/2	Výkres součásti "deska středová"
Příloha 3	Obrázečka vodorovná HO 63
Příloha 4	Frézka FGS 25/32
Příloha 5	Vrtačka souřadnicová Mikromat
Příloha 6	Elektroerozivní drátová řezačka ROBOFIL 310
Příloha 7	NC kód
Příloha 8	Fotografie z výroby

PŘÍLOHA 1

Výkres vyráběné součásti



PŘÍLOHA 3

Obrázečka vodorovná HO 63 [8]

Tento stroj je zvolen k hrubovacím operacím.

Popis:

Typ:	HO 63
Výrobce:	TOS Hulín
Rok výroby:	1955

Technické parametry:

Obrážecí délka:	630 mm
Upínací plocha stolu š x d:	400 x 630 mm
Výška:	475 mm
Svislý pohyb stolu:	380 mm
Vodorovný pohyb stolu:	730 mm
Svislý pohyb nožových saní:	175 mm
Přestavitelnost smýkadla:	400 mm
Počet rychlostí smýkadel:	8
Počet dvojdřívů za minutu:	11 - 125
Největší průtažná síla:	900 kg
Vodorovný posuv stolu za 1 zdvih:	0,2 - 4 mm
Posuv nožových saní za 1 zdvih:	0,1 - 1 mm
Výkon elektromotoru:	5,5 kW
Rozměry š x d:	1 635 x 2 820 mm
Hmotnost stroje:	3 200 kg



PŘÍLOHA 4

Frézka FGS 25/32 [9]

Tento stroj je zvolen k veškerým frézařským operacím.

Popis:

Název stroje:	Frézka univerzální
Výrobce:	TOS Olomouc
Typ stroje:	FGS 25/32
Rok výroby:	1989

Technické parametry:

Upínací plocha stolu:	320 x 1 000 mm
Podélný nájezd - osa x:	720 mm
Příčný nájezd - osa z:	360 mm
Svislý nájezd - osa y:	42 mm
Kužel vřetena:	ISO 40
Otáčky vřetena - rozsah:	45 - 2 240 ot/min
Celkový příkon stroje:	6 kW
Hmotnost stroje:	2 310 kg



PŘILOHA 5

Vrtačka souřadnicová Mikromat [10]

Tento stroj je zvolen pro veškeré vrtací operace, včetně předvrtání děr pro vytvoření drážek.

Popis:

Název stroje:	Vrtačka souřadnicová Mikromat
Typ:	BKOE 400 x 630
Výrobce:	WMW Micromat
Rok výroby:	1970

Technická data:

Rozměr stolu:	630 x 400 mm
Pojezd osy X:	400 mm
Pojezd osy Y:	420 mm
Pojezd osy Z:	250 mm
Kužel vřetene:	Morse 3
Výkon elektromotoru:	2 kW
Rozměry d x š x v:	1 360 x 1 640 x 2 165 mm
Hmotnost stroje:	2 300 kg



PŘILOHA 6

Elektroerozivní drátová řezačka ROBOFIL 310 [11,12].

Elektroeroze drátem vyřezává pomocí kovového drátu do obrobku naprogramovanou konturu. Drát lze naklonit a tímto způsobem lze vytvářet obrobky s kónusy nebo s různými profily na vrchní a spodní straně. Řezat lze prakticky jakýkoliv kovový elektrovedivý materiál [10].

Tento stroj je zvolen pro dokončení součásti ve tvaru zubů.

Základní údaje:

Výrobce:	Charmilles Technologies - Švýcarsko
Vodní lázeň:	Sprcha
Rozjezdy os X/Y/Z:	400 x 250 x 400 mm
Rozměr obrobku X/Y/Z:	850 x 500 x 400 mm
Váha obrobku do:	1 000 kg
Max. úhel náklonu:	30°/400 mm
Průměr drátu:	0,1 - 0,3 mm
Minimální rádius:	0,25 mm
Přesnost do výšky řezu 150 mm:	±0,01 při Ra 0,8 ±0,2 při Ra 2
Výkon:	10 kW

Nyní je výrobcem těchto strojů společnost GF Machining Solutions.



PŘÍLOHA 7

NC kód

Vytvoření v programu PEPS - V5.3.13 + fotografie tvorby kontury zubového vybrání.

N10 (E500)

N20 G92 X-5.0 Y138.0 R46.0 W0.0

N30 M09

N40 M07

N50 M08

N60 G01 X0.0 Y143.1

N70 G41 D0

N80 G01 X28.4 Y171.5

N90 X56.8 Y143.1

N100 X85.2 Y171.5

N110 X113.6 Y143.1

N120 X142.0 Y171.5

N130 X170.4 Y143.1

N140 X198.8 Y171.5

N150 X227.2 Y143.1

N160 X255.6 Y171.5

N170 X280.464 Y146.636

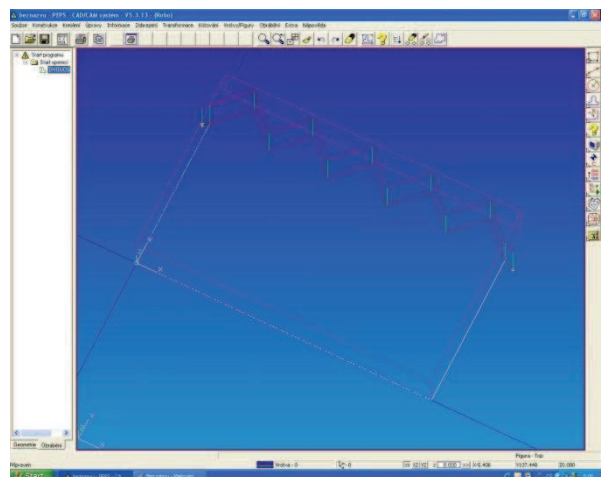
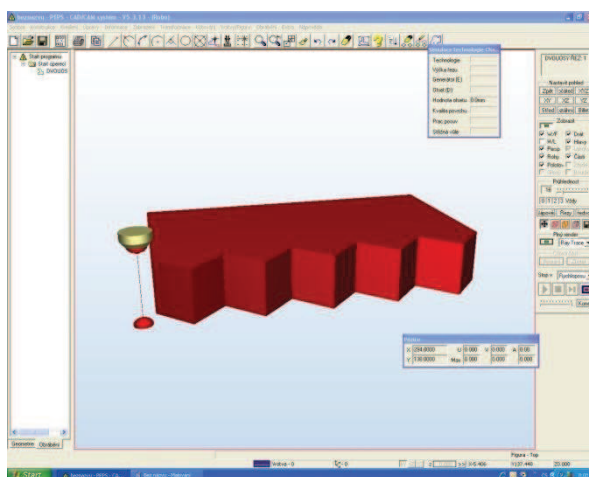
N180 M01

N190 G01 X284.0 Y143.1

N200 G40

N210 G01 X294.0 Y138.0

N220 M02



PŘÍLOHA 8

Fotografie z výroby

