VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SÉRIOVÁ VÝROBA PRODUKTU "CASE A"

SERIES PRODUCTION OF THE PRODUCT "CASE A"

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
JAN KREJČÍŘ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
ING. MILAN KALIVODA

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Krejčíř

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:

Sériová výroba produktu "Case A"

v anglickém jazyce:

Series Production of the Product "Case A"

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

1. Úvod.
2. Představení firmy.
3. Firemní technologický proces součásti "Case A".
4. Rozbor operace s CNC strojem.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.
6. Diskuze.
7. Závěr.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše a výbava TPV dokumentací úspěšného výrobku malé strojírenské firmy pro potřebu zvýšení kapacity výroby.

Seznam odborné literatury:

1. PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2005. 272 s. ISBN 80-214-3068-0.
3. 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.
4. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.
5. SIEMENS AG. Návody k programování, návod k obsluze. 4. vyd. Erlangen: Siemens, a. s., 2000. 469 s.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Milan Kalivoda

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 27.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. Děkan fakulty

ABSTRAKT

Předmětem této bakalářské práce je rozbor výroby čelních panelů pro IT skříně. Výroba probíhá ve firmě EMKO Case a.s. na CNC stroji EMC Kosy3 Portal, kde byl proveden i experiment. Cílem bylo zvýšení kapacity výroby. Dle návrhu pak byl proveden praktický test. Výsledky jsou shrnuty v technicko-ekonomickém zhodnocení a v závěru práce.

Klíčová slova

frézování, technologický postup, CNC obrábění

ABSTRACT

The subject of this bachelor thesis is to analyze production of front panels for IT cases. The manufacturing is done in the EMKO Case a.s. company on EMC Kosy3 Portal CNC machine, where were also made an experiment. The aim was to incrase production capacity. According to suggestions was made a practical test. The results are summarized in the technical-economic evaluation and in conclusion.

Keywords

milling, technological procedure, CNC machining

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KREJČÍŘ, J. *Sériová výroba produktu "Case A".* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 31 s., 2 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Sériová výroba produktu "Case A"** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jan Krejčíř

PODĚKOVÁNÍ

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

Panu Ing. Jaroslavu Bajgarovi z EMKO Case a.s. za pracovní příležitost a umožnění zpracování bakalářské práce k danému tématu.

Panu Martinu Švejdovi z EMKO Case a.s. za cenné rady a pomoc při řešení problémů.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 8
1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY 9
1.1 EMKO CASE a.s. 9
1.2 Stroje firmy 11
1.3 CNC frézka EMC KOSY3 14
2 FIREMNÍ TECHOLOGICKÝ PROCES SOUČÁSTI „CASE A“ 16
2.1 Konstrukční představení součásti 16
2.2 Technologičnost dílů vyráběných frézováním 16
2.3 Technologičnost dílů vyráběných vysekáváním a ohýbáním 17
3 ROZBOR OPERACE S CNC STROJEM 18
3.1 Stávající technologie výroby 18
3.2 Změna drah nástroje za účelem snížení časů 20
3.3 Pořízení nového CNC frézovacího stroje 21
3.4 Výběr nových frézovacích nástrojů 22
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 25
4.1 Zhodnocení nového rozmístění polotovarů 25
4.2 Srovnání obráběcích nástrojů 26
5 DISKUZE 27
ZÁVĚR 28
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 29
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 30
SEZNAM PŘÍLOH 31

ÚVOD

Zvýšení kapacity výroby v dnešní době řeší téměř každá úspěšná firma, nejinak to je i u firmy EMKO Case a.s.. Od prvotního nápadu zařadit krabičky Raspberry PI Case do stálé nabídky firmy do dnešního dne uplynulo už více jak rok a nabídka stále roste s počtem prodaných kusů. První objednávky na několik kusů se změnily na dnešní desítky i stovky. Se zvýšenou poptávkou musí vzrůst i produkce. Proto bylo jako cíl práce zvoleno zvýšení kapacity výroby.

Na výrobě krabiček Raspberry se podílím výrobou frézovaných čelních panelů na CNC stroji. Protože výroba těchto panelů je časově nejnáročnější, práce má za cíl snížení obráběcích časů při výrobě čelních panelů. Změnu polotovaru nelze uvažovat, proto bude přehodnoceno rozmístění čel na polotovaru a zkrácení drah nástroje. Dále bude výpočtem určena doba obrábění při využití nových nástrojů. Celkový výsledek pak bude posouzen v technicko-ekonomickém zhodnocení.

1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY

Seznámení s firmou, o jejímž výrobku je práce napsaná a která poskytla možnost provést praktické zkoušky navrhovaných úprav a změn obrábění.

1.1 EMKO CASE a.s.

Historie firmy EMKO Case a.s. (obr. 1.1) sahá až do roku 1992, kdy byla společnost založena. Od začátku svého působení na trhu se firma specializovala na návrhy mechanických celků a zpracování tenkých plechů (0,5 – 2 mm). Firma vyvíjí a vyrábí vlastní produkty, zejména pro odvětví IT (speciální počítačové skříně, základní desky s napájecími zdroji aj.). Dále se společnost zabývá výrobou na zakázku, kdy si výrobky zadává zákazník dle své vlastní technicko-výkresové dokumentace.

Obr. 1.1 Logo firmy

V posledních letech se výrobní technologie a strojový park firmy zaměřil na malosériovou výrobu speciálních celků. Pro nové projekty a výrobní kooperace má firma k dispozici jednu směnu (rozumí se kapacita CNC strojů). Množství zpracovaného plechu je 15 tisíc kilogramů za měsíc, jedná se o ocelové, pozinkované a hliníkové tenké plechy.

Společnost má vlastní vývojové zázemí (software SolidWorks a AutoCAD), přípravu výroby (tvorba pomůcek a přípravků), výroba na vlastních CNC strojích (obr. 1.2) a finální montáž včetně expedice výrobků. Dle požadavku zákazníka lze přidat povrchové úpravy výrobků (práškové lakování, galvanické zinkování, nebo eloxování hliníkových dílů). [1]

Obr. 1.2 Výrobní hala

Sídlo firmy je v Brně - Slatině na Řípské ulici č. 20a v areálu S.P.M.B. Z logistického hlediska je tato poloha firmy velmi výhodná, protože je velmi blízko nájezdu na dálnici D1 a také je z ní dobrá dostupnost na všechny hlavní tepny vedoucí přes samotné centrum Brna (ul. Ostravská, Olomoucká, Zvonařka). Navzdory své velikosti si firma díky svým kvalitním výrobkům a komunikací se zákazníky dokázala vydobýt své mezinárodní renomé, protože mezi země, kam vyváží své výrobky, nepatří pouze Česká Republika, ale jedná se i o státy z Ameriky, Asie a hlavně pak Evropy, která tvoří zásadní cílové teritorium.

Mezi hlavní výrobky firmy patří skříně IPC 19”, skříňky pro Mini, Micro, Nano a Pico ITX základní desky (obr. 1.3). V poslední době pak i krabičky EM-RasPI B+, kterých se od jejich zařazení mezi standardní produkty prodalo více jak tisíc kusů a v měsíci březnu pak firma přijala objednávku na 1000 kusů těchto krabiček.

Obr. 1.3 Produkty firmy

V roce 2011 byla společnost součástí unikátního projektu Vídeňské univerzity. Byla jedním z dodavatelů pro tzv. Vienna Scientific Cluster (obr. 1.3). Tento jedinečný počítač je umístěn na Vídeňské Technické univerzitě a v roce 2011 se umístil na 56. místě v žebříčku TOP 500 Supercomputing.

Obr. 1.3 Vienna Scientific Cluster

1.2 Stroje firmy

Mezi hlavní strojní vybavení firmy patří následující stroje:

- Vysekávací lis TRUMPF Trumatic 200R (tab 1.1, obr. 1.4)

  Tento stroj se podílí na většině zakázek firmy. V případě nutnosti je v provozu i 24 hodin denně. Lidskou obsluhu potřebuje pouze na odebírání vysekaných součástí a založení nové tabule plechu za předpokladu, že dělá stejný program stále dokola. Jinak jeho obsluha nahrává programy, umisťuje nástroje do zásobníků, případně spouští zahlubovací a závitovací cykly.

Tab. 1.1 Specifikace lisu Trumatic 200R[2]

pracovní rozsah (X x Y, mm)	2 070 x 1 280
max. síla plechu (mm)	6,4
děrovací síla (t)	16,5
počet nástrojových stanic	14 + 3
max. počet úderů (1/min)	500
max. průměr ražené díry (mm)	76,2

Obr. 1.4 Vysekávací lis TRUMATIC 200R[3]

- Ohraňovací lis TRUMPF Trumabend V50 (tab. 1.2, obr 1.5)

  Stroj dává finální podobu většině vysekaných dílů. Je poháněn hydraulicky, proto je schopen vyvinout větší síly a zhotovovat delší ohyby než klasické ohýbačky. Součásti je možné ohýbat pod úhlem, vytvářet rádius nebo vytvořit odstupňované ohnutí. Ovládací software umožňuje nastavit ohýbací sílu v závislosti na tloušťce a druhu materiálu a hlavně uložit do paměti několik různých vzdáleností dorazů, které se cyklicky opakují. To je výhodou při ohýbání složitějších součástí, kdy je možné na jedno nastavení provést všechny potřebné ohyby pro zhotovení skříně apod.

Tab. 1.2 Specifikace ohraňovacího lisu Trumabend V50[4]

pracovní rozsah (mm)	1 275
lisovací síla (kN)	500
zdvih (mm)	215
volný průchod mezi stojany (mm)	1 040

Obr. 1.5 Ohraňovací lis Trumabend V50[5]

- Pneumatický lis Pemserter Series 4 (tab. 1.3, obr. 1.6)

  Lis je používán pro zalisovávání sloupků, matic a čepů do vysekaných součástí. Protože je pneumatický a ovládaný pedálem, je možné zalisovávat i do značně rozměrných dílů, kde je na manipulaci potřeba mít volné obě ruce. Tenhle způsob ovládání je výhodný oproti mechanickým lisům, kde musela obsluha mít vždy jednu ruku volnou pro provedení zalisování pákou. Takovýmito ručními lisy však firma také disponuje a jsou často používány pro urychlení výroby nebo pro výrobu nejrůznějších zahloubení, ostřižení apod.

Tab. 1.3 specifikace pneumatického lisu Pemster Series[6]

Síla beranu (kN)	4,5 – 53,4
Ovládací systém	pneumatický
Typ tlakového systému	Pneumatický/pákový
Tlak vzduchu (bar)	6 - 7
Vyložení (mm)	457

Obr. 1.6 Pneumatický lis Pemster Series 4[7]

- 3 - osá CNC frézká EMC KOSY3 (tab. 1.4, obr. 1.7)

  Frézka je používána zejména pro kusovou a malosériovou výrobu. Vzhledem k jejím rozměrům a výkonu obrábí hlavně hliníkové součásti a součásti z plastu, popřípadě plexi. Více se tomuto stroji budu věnovat v následující podkapitole.

Tab. 1.4 Specifikace CNC frézky EMC KOSY3

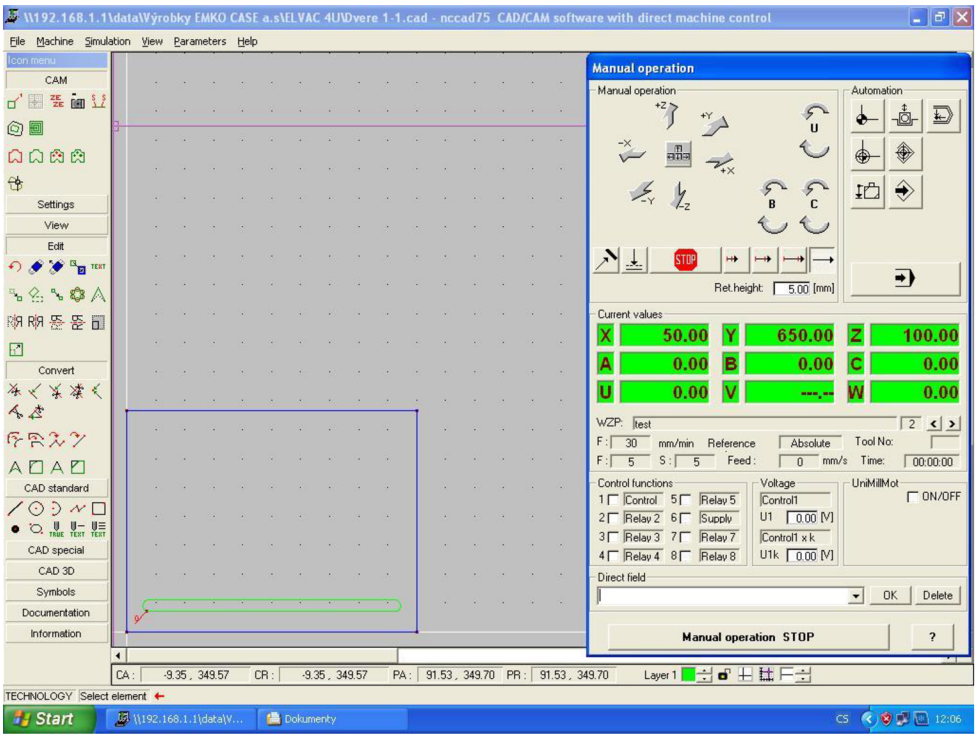
Pracovní prostor [mm]	710x850x160
Rozsah otáček vřetene [min^{-1}]	10 000 – 27 000
Rychloposuv max. [mm/s]	200
Pracovní rychlost max. [mm/s]	100
Ovládací software	nccad

Obr. 1.7 CNC frézka EMC KOSY3

1.3 CNC frézka EMC KOSY3

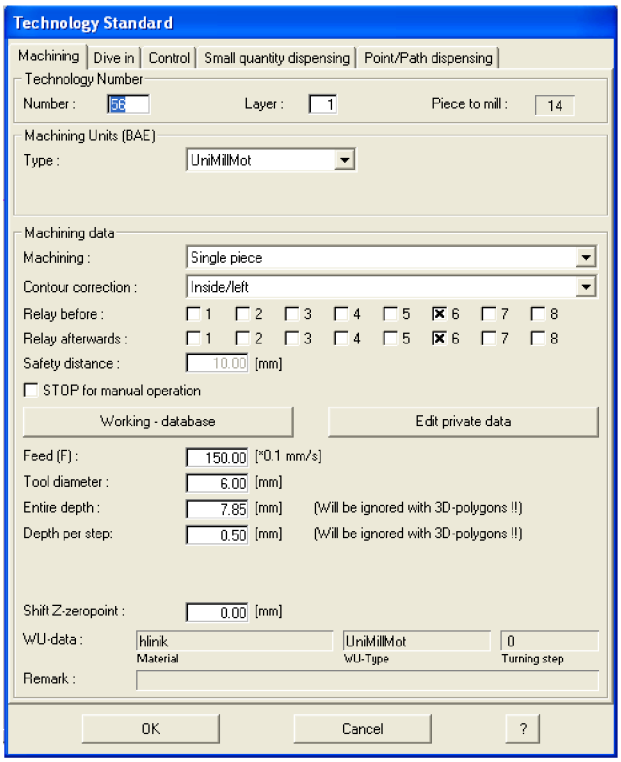
Nejedná se o klasickou tříosou CNC frézku, nýbrž o pracovní stůl s počítačově řízenými pojezdy pohybujícími se v osách X, Y a Z, které k sobě mají připevněný držák na frézovací vřeteno, u kterého je počítačem ovládáno pouze jeho zapnutí a vypnutí (obr. 1.7). Nastavení otáček vřetene je umístěné přímo na frézovacím vřetenu a nastavuje se ručně. Ručně se také provádí výměna nástrojů. Jako příslušenství lze ke stroji přikoupit i automatický výměník nástrojů, který má zásobník na 5 nástrojů. Ten se však vyplatí při obrábění tvarově náročných součástí, kde dochází k časté výměně nástrojů. Tímto příslušenstvím však frézka ve firmě nedisponuje, protože zatím není ve stálých produktech výrobek, kvůli kterému by bylo potřeba dané zařízení koupit. Do vřeteníku lze díky výměnným kleštinám upnout nástroje s upínací stopkou průměru 3, 6 a 8 mm, nebo 1/8“. Na stroji je dále mimo pracovní plochu umístěn senzor pro měření délky vysazení nástroje z kleštiny pro kontrolu kolizí kleštiny s obrobkem, popř. upínkami.

Samotné programování a ovládání stroje je realizováno pomocí softwaru dodávaným společně se strojem. Jedná se o program nazvaný nccad (obr. 1.8), který umožňuje vytvořit kontury pro obrábění nebo importovat modely z jiných CAD softwarů (např. soubory typu .dxf vytvořené v AutoCADu nebo jiném programu). Rovněž slouží pro ovládání CNC stroje. Samotné pracovní prostředí programu je jednoduché a intuitivní, i když ne vždy zcela uživatelsky vstřícné. Především zadávání složitějších geometrických tvarů u složitějších součástí může působit problémy. Zadávání rozměrů zde probíhá pomocí absolutních nebo relativních souřadnic a člověk zde postrádá funkce, na které je zvyklý z jiných rýsovacích nebo konstrukčních programů (např. volné kreslení čar s následným kótováním).



Obr. 1.8 Pracovní prostředí programu nccad s oknem pro ruční ovládání stroje

Kontury lze rozdělit do různých vrstev, kde každá vrstva může mít odlišnou technologii obrábění. Zadaná technologie může platit pro všechny kontury v dané vrstvě nebo jen pro jednu danou konturu. Řezné podmínky se pak zadávají ručně do okna technologie obrábění (obr. 1.9).



Obr. 1.9 Okno pro zadání technologie obrábění

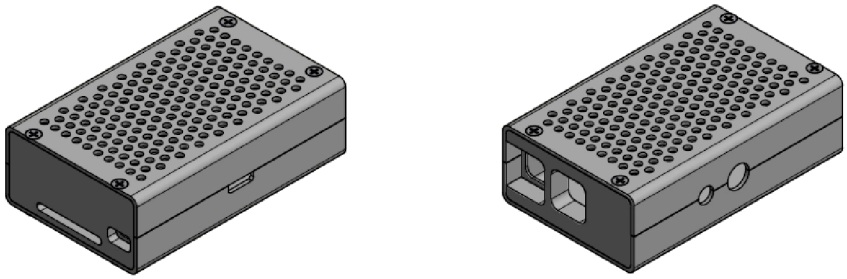
Software má vlastní databázi nástrojů s vhodnými řeznými podmínkami pro různé materiály. Do této databáze si uživatel může zadat vlastní nástroje a řezné podmínky.

Po dokončení návrhu obrábění se program přepne do okna manuálního ovládání CNC stroje (obr 1.8), ve kterém jsou tlačítka pro různé funkce (najetí referenčního bodu, změření délky nástroje, najetí nulového bodu obrobku aj.) i řádek pro ruční zadávání příkazů. Zobrazují se zde aktuální souřadnice polohy nástroje, bohužel hodnoty jsou zobrazeny, pouze pokud je nástroj v klidu a nepohybuje se, takže obsluha nemá možnost sledovat, na jakých souřadnicích se nástroj nachází během obrábění. Po spuštění obráběcího programu lze zvolit, zda chceme, aby se nástroj pohyboval i v ose Z. Toto se hodí při kontrole najetí nástroje do upínky nebo do hranice stolu, kdy si můžeme daný program pustit bez zavrtávání do materiálu a odsimulovat tak reálný pohyb nástroje. Když proces obrábění běží, k jeho ukončení stačí stisknutí jakékoli klávesy nebo tlačítka na myši. Pokud je program zastaven, chybí zde možnost pokračovat tam, kde skončil. Je třeba program překreslit nebo pustit od začátku, kdy však nástroj nebude v záběru, dokud se nedostane do místa, kde přestal.

2 FIREMNÍ TECHOLOGICKÝ PROCES SOUČÁSTI „CASE A“

2.1 Konstrukční představení součásti

Jedná se o frézované čelní panely vyrobené z hliníku, které tvoří přední a zadní stranu IT krabičky označené EM-RasPI B+ (obr. 2.1). Ta slouží jako skříňka pro základní desku Raspberry PI typ B, které se používají jako all-in-one počítače.



Obr. 2.1 Skříňka EM-RasPI B+

Tab. 2.1 Rozměry krabičky EM-RasPI B+ (v mm)

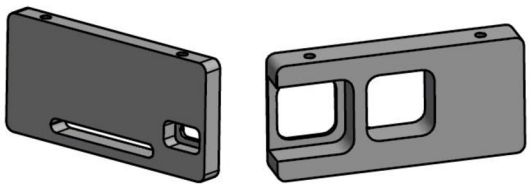
šířka	61
výška	31
délka	97

Impulsem pro začátek výroby této krabičky byla skutečnost, že se doposud pro dané základní desky vyráběly krabičky pouze plastové. Hliníkové krabičky mají lepší elektromagnetické stínící vlastnosti, lepší odvod tepla a celkové chlazení desky. V neposlední řadě je jejich výhodou atraktivní vzhled, pevnost a kvalita zpracování. I když jsou krabičky zařazeny mezi standardní produkty firmy, výrobu čelních panelů mají na starosti pouze brigádníci, kteří docházejí do práce ve svém volném čase, proto nelze určit přesné množství vyrobené za měsíc. Výrobu ovlivňuje také množství jiných zakázek, které se mohou pro CNC frézku objevit.

2.2 Technologičnost dílů vyráběných frézováním

Součásti typu čelní panel (obr. 2.2) jsou stejného vnějšího tvaru a velikosti, rozdíly jsou v tloušťce materiálu a otvorech. Čela jsou vyrobena z hliníku a jako polotovar je používán válcovaný pás o šířce 80 mm, tloušťce 5 nebo 8 mm nařezaný na metrové kusy.

Výkresy součástí jsou v příloze číslo 1 a 2.

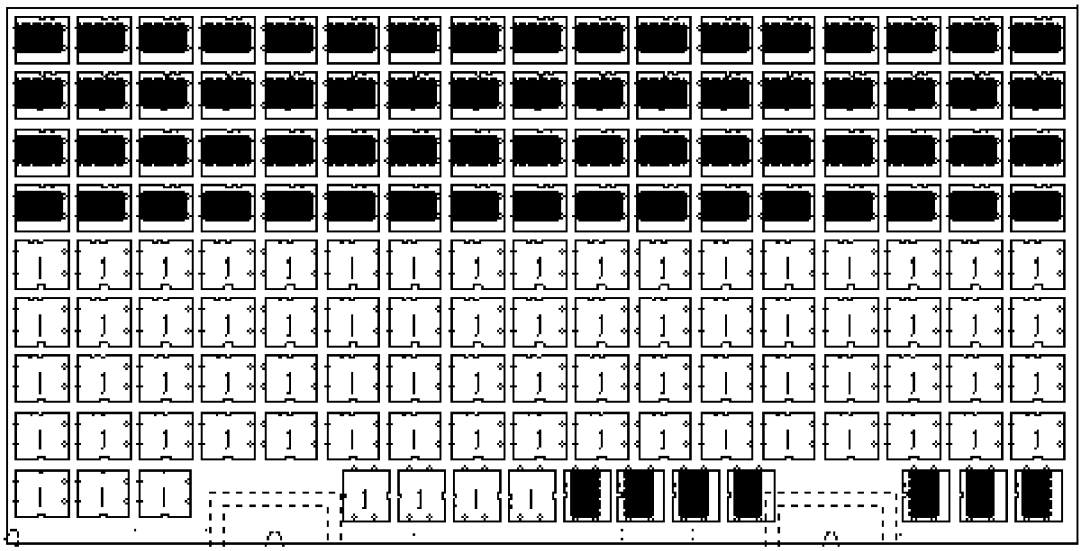


Obr. 2.2 Čelní panel 5 mm a 8 mm

Výroba těchto čel je realizovaná na tříosé CNC frézce, která svými parametry vyhovuje požadavkům na přesnost a kvalitu obrobků. Jelikož zde nejsou kladeny žádné zvláštní požadavky na přesnost, hrubost nebo geometrické tolerance jednotlivých ploch, po procesu frézování následuje pouze ruční broušení ostrých hran a odstraňování otřepů uvnitř frézovaných otvorů pomocí jehlového pilníku. Z jednoho pásu polotvaru je vyrobeno 28 kusů čel o tloušťce 5 mm a 26 kusů čel o tloušťce 8 mm. Doba obrábění je potom 100 minut pro 5 mm a 75 minut pro 8 mm.

2.3 Technologičnost dílů vyráběných vysekáváním a ohýbáním

Dolní i horní díl krabičky je vyroben z hliníkového nebo eloxovaného plechu o tloušťce 1mm na CNC vysekávacím stroji. Polotovarem je tabule hliníkového plechu o rozměrech 2000x1000x1. Pro vysokou produktivitu je nutné rozmístit jednotlivé díly vedle sebe tak, aby využití materiálu bylo co nejvyšší (obr. 2.3). Je však nutné dodržet potřebné mezery mezi jednotlivými díly. Z jedné tabule plechu se během 100 minutového programu vyseká 75 sad, tedy 75 horních dílů, které v sobě mají otvory pro odvod tepla a 75 spodních dílů obsahujících otvory pouze pro přišroubování.



Obr. 2.3 Rozložení vysekávaných dílů na tabuli plechu

Ohýbání je pak provedeno na ohraňovacím lisu. Pro oba typy dílů stačí nastavit jednu vzdálenost dorazů. Obsluha ohýbá dva kusy zároveň, každý kus v jedné ruce, čelisti lisu jsou ovládány nožním pedálem.

3 ROZBOR OPERACE S CNC STROJEM

Rozbor se bude zabývat pouze problematikou výroby na CNC frézce, protože ta je klíčovým místem, kde je možné zvýšit množství vyrobených čelních panelů za jednotku času. Jelikož se firma specializuje na výrobu z plechu a CNC frézování není primární technologií výroby, nebude uvažováno zakoupení dalšího CNC stroje jako reálná možnost. Avšak tato alternativa bude alespoň teoreticky zhodnocena. Rozbor bude tedy primárně zaměřen na řezné podmínky a zejména pak na zkrácení doby obrábění novým rozmístěním čelních panelů na polotovaru.

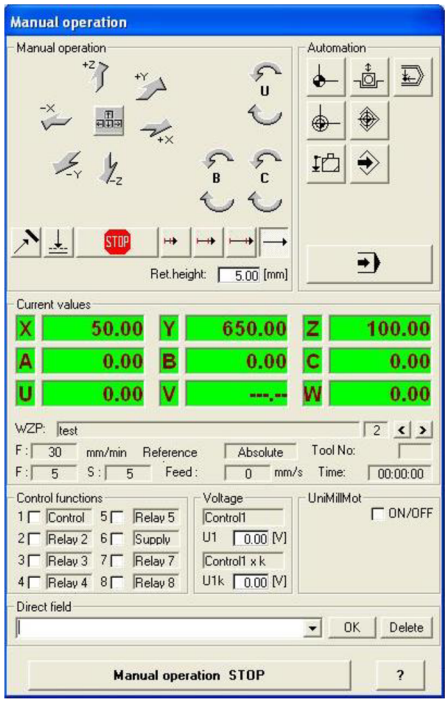
3.1 Stávající technologie výroby

V současné době probíhá frézování následovně. Polotovar je podložen kusy plechu, aby neležel přímo na pracovním stole frézky a nedošlo tak k poškození stolu v průběhu obrábění průchozích otvorů. Pomocí excentrů je přitlačen ke stěnám stolu a přiklepnut na podložky (obr. 3.1). Kvůli délce polotovaru probíhá jeho obrábění ve dvou fázích, kdy pokaždé je obráběna jen polovina pásu. Po skončení je pak polotovar otočen a probíhá obrábění zbytku pásu.

Obr. 3.1 Upnutý polotovaru na stroji a polotovar po obrobení

Dále už pracuje jen CNC stroj. Pro výrobu panelů o tloušťce 5 mm se používá stopková fréza o průměru 3mm. Panely o tloušťce 8 mm obrábí fréza s průměrem 6mm. Po upnutí příslušné frézy se spustí manuální operace (obr. 3.2) a nástroj je poslán do referenčního bodu stroje. Následuje měření délky nástroje, které slouží jako kontrola proti kolizi vřetene s obrobkem. Po změření vysazení nástroje z vřetene je nutné nastavit nulový bod obrobku. Jeho výchozí pozice je v levém dolním rohu polotovar, kde ji i necháme a nastavíme jen Z-ovou souřadnici

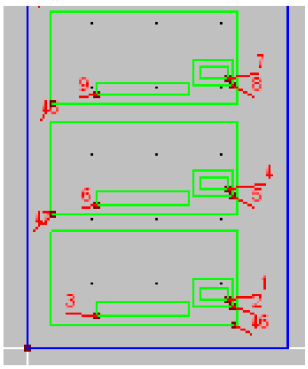
nulového bodu, tedy výšku horní plochy polotovaru nad stolem. Manuálním ovládáním pojezdů se čelem frézy dotkneme povrchu polotovaru a v dané pozici souřadnici Z vynulujeme. Nastavení je tímto krokem hotovo a je možné začít obrábět.



Obr. 3.2 Okno manuální operace se strojem

Jako procesní kapalina je používán líh, který chladí nástroj i třísku a nedochází k přilnutí horké třísky k drážce pro odvod třísky na nástroji a následné nutnosti přerušit program. Chlazení je realizováno pomocí nemocniční kapačky, která je naplněna lihem a hadička přivádí kapalinu přímo nad místo řezu, odkud volně odkapává.

Obrábění probíhá v jediném programu. Panely jsou na polotovar umístěny tak, že mezi sebou mají dvou milimetrové mezery plus dvojnásobek průměru nástroje. Nejprve probíhá obrobení všech průchozích otvorů a zahloubení. Pak následuje obrábění vnějšího obrysu panelů (obr. 3.3).



Obr. 3.3 Původní rozmístění panelů na polotovaru

Při objíždění vnější kontury však fréza nezajíždí až do celé hloubky polotovaru (5 mm nebo 8 mm), ale do hloubky o 0,15 mm menší. Tento zbytek tam je proto, aby nedošlo při posledním průjezdu k uvolnění panelu a následnému poškození nástroje nebo obrobku. Přídavek je dostatečně velký, aby udržel panel na místě, zároveň ale dostatečně malý, aby nepůsobil problémy při vyjímání čela po skončení obrábění. Až jsou vyříznuty všechny panely, nástroj vyjede do bezpečné výšky a program skončí. Manuálním řízením je nástroj umístěn do dostatečné výšky nad povrchem, dojde k očištění povrchu od třísky pomocí průmyslového vysavače, poté se hliníkový pás otočí a obrábění probíhá z jeho druhé strany.

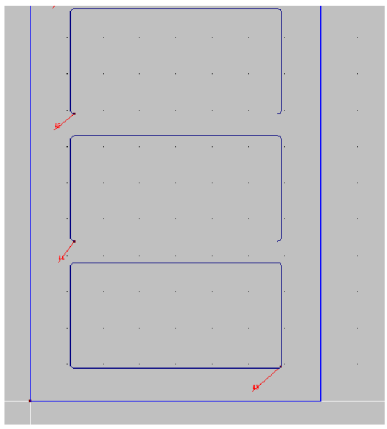
Řezné podmínky byly zvoleny dle hodnot, které doporučil výrobce nástrojů a stroje a dle hodnot, které se za dobu používání stroje a nástrojů ukázaly jako velmi dobré z hlediska trvanlivosti nástroje a kvality obrobené plochy. Nejedná se přesně o tabulkové hodnoty, byly upraveny dle zkušeností obsluhy CNC stroje (tab. 3.1).

Tab. 3.1 Řezné podmínky

	Panel 5 mm	Panel 8 mm
Řezná rychlost (mm/sec)	15	18
Hloubka jednoho kroku (mm)	0,5	0,5
Celková hloubka (mm)	4,85	7,85
Průměr nástroje (mm)	3	6

3.2 Změna drah nástroje za účelem snížení časů

Prvním a nejjednodušším návrhem na zefektivnění výroby byla změna rozmístění dílů na pásu polotovaru. Pro snížení doby obrábění a zvýšení počtu kusů na polotovaru je výhodné nechat mezi jednotlivými díly mezeru pouze na průměr používané frézy. Tím by dva sousední díly měly společnou vždy jednu hranu. Nástroj by tak nemusel na každém panelu objíždět celou konturu, ale jedna strana panelu by byla hotová z obrábění toho předchozího (obr. 3.4). Celá kontura by pak byla obráběna pouze u prvních kusů.



Obr. 3.4 Nové rozmístění panelů na polotovaru

Po použití dané metody v praxi na CNC stroji bylo zlepšení patrné už z návrhu, kdy se na pás polotovaru vešlo o dva kusy více než při starém způsobu rozmístění. Celkový čas obrábění obrysů se pak snížil na 90 minut u 5 mm panelů a na 55 minut u 8mm (tab. 3.2). Uvádím čas obrábění pouze obrysu, protože tato změna neměla žádný vliv na obrábění kapes a vybrání uvnitř panelů, došlo pouze k jejich posunutí. Jelikož dráha nástroje byla zkrácena o délku nejdelší stěny na obrobku, kde navíc nástroj projížděl konturu 10x potažmo 16x u každého panelu, je časová úspora opravdu markantní.

3.3 Pořízení nového CNC frézovacího stroje

Jako další možnost zvýšení produktivity je pořízení nového obráběcího centra. Tato možnost je ovšem omezena rozpočtem firmy. Protože společnost není specializovaná na CNC obrábění, byl by tento krok riskantní z hlediska následné návratnosti ceny stroje. Tuto možnost budu uvažovat pouze teoreticky. Stroj navrhnu s ohledem na dosavadní zakázky firmy pro CNC frézku.

Navrhovaný stroj:

- DATRON M8Cube (tab. 3.2, obr. 3.5)

Tab. 3.2 Parametry stroje DATRON M8Cube[8]

Pracovní prostor [mm]	1020x830x245
Rozsah otáček vřetene [min^{-1}]	48 000 – 60 000
Rychloposuv max. [mm/s]	367
Pracovní rychlost max. [mm/s]	367
Nástrojů v zásobníku	až 30

Jedná se o profesionální CNC centrum, které by mělo velký přínos profesionální frézovací technologie. Oproti stávajícímu stroji disponuje téměř čtyřnásobnou pracovní rychlostí, má automatickou výměnu nástrojů a vypracovaný systém chlazení a upínání obrobků.

Obr. 3.5 DATRON M8Cube[8]

Přednosti stroje:

- řidicí software založený na Windows
- vlastní ovládací monitor
- připojení k sítí pomocí ethernetového kabelu
- klávesnice a ruční ovladač
- kryt s bezpečnostním zámkem
- dálkové monitorování.

Pořízením takovéhoto stroje by firma mohla zvýšit různorodost přijímaných zakázek na CNC obráběcí výrobu, stala by se konkurenceschopnější. Také by to mohl být první krok k rozšíření specializace firmy z výroby z plechu i na CNC obrábění. Pokud by byl dostatek zakázek, mohl by se dále park CNC obráběcích strojů rozšiřovat.

Bohužel, výrobce u tohoto stroje neudává přesnou cenu, ale pouze uvádí, že se tento stroj dá pořídit za velmi výhodné náklady. Proto nelze s určitostí provést ekonomické zhodnocení této metody.

3.4 Výběr nových frézovacích nástrojů

Zvýšení produktivity a snížení obráběcích časů je možné docílit také výběrem vhodného obráběcího nástroje. Vybrané nástroje jsou od společnosti Datron. Byla vybrána jedna fréza s průměrem 3 mm a jedna s průměrem 6 mm (obr. 3.6). Jedná se o monolitické dvoubřité konturovací frézy ze slinutých karbidů s jemnou zrnitostí se stoupáním šroubovice 45°(tab. 3.3).

Obr. 3.6 Dvoubřitá konturovací fréza Datron[9]

Tab. 3.3 Rozměry nástrojů Datron[9]

	Ø 3 mm	Ø 6 mm
Průměr řezné části Ø D_1 [mm]	3	6
Průměr stopky Ø D_2 [mm]	6	6
Celková délka L_1 [mm]	57	57
Délka řezné části L_2 [mm]	8	13
Počet břitů	2	2

Určení doby obrábění s těmito nástroji bude provedeno pouze početně, protože není možnost provést praktický experiment. Jelikož stroj EMC Kosy3 má maximální otáčky jen 27 000 za minutu, je potřeba přepočítat hodnoty řezné rychlosti udávané výrobcem nástrojů. Dle výrobce by otáčky měly být 40 000 min^{-1} pro Ø 3 mm a 36 000 min^{-1} pro Ø 6 mm. Z vypočtené posuvové rychlosti a délky obráběných kontur budou vypočteny obráběcí časy. Parametry pro obrábění jsou uvedeny v tabulce (tab. 3.4).

Pro názornost budou vypočteny pouze obráběcí časy frézování vnějších obrysů součástí.

Výpočet řezné rychlosti

Fréza Ø 3 a Ø 6 mm

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 3 \cdot 27000}{1000} = 254\ m/min \tag{3.1}$$

$$v_c = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 6 \cdot 27000}{1000} = 509\ \mathrm{m/min} \tag{3.2}$$

kde: v_c [$m.min^{-1}$] – řezná rychlost
d [mm] – průměr nástroje
n [$ot.min^{-1}$] – otáčky

Výpočet posuvové rychlosti

Posuv na zub byl zvolen dle katalogu f_z = 0,0375 mm pro frézu Ø 3 mm a pro frézu Ø 6 mm f_z = 0,0555 mm

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = 0{,}0000375 \cdot 27000 \cdot 2 = 2\ m/\min => 33{,}3\ mm/sec \tag{3.3}$$

$$v_f = f_z \cdot n \cdot z = 0{,}0000555 \cdot 27000 \cdot 2 = 3\ m/\min => 50\ mm/sec \tag{3.4}$$

kde: v_f [$mm.sec^{-1}$] – posuvová rychlost
f_z [mm] – posuv na zub
n [$ot.min^{-1}$] – otáčky

Délka obráběných kontur

Obvod prvního kusu; obvod zbylých kusů.

$$o_1 = (30 + 59) \cdot 2 + 2 \cdot \pi \cdot 2{,}5 = 194\ mm \tag{3.5}$$

$$o_z = 30 \cdot 2 + 59 + 2 \cdot \pi \cdot 2{,}5 = 135\ mm \tag{3.6}$$

kde: o_1, o_z [mm] – obvod

Čas obrábění

Pro první kus t_{o1} a pro zbylé kusy t_{o2}.

Fréza Ø 3 mm

$$t_{o1} = \frac{o_1}{v_f} = \frac{194}{33{,}3} = 5{,}8\,\text{sec} \cdot 4 = 23{,}2\ sec \tag{3.7}$$

$$t_{o2} = \frac{o_z}{v_f} = \frac{135}{33{,}3} = 4\,\text{sec} \cdot 4 = 16\ sec \tag{3.8}$$

Fréza Ø 6 mm

$$t_{o3} = \frac{o_1}{v_f} = \frac{194}{50} = 3{,}9\,\text{sec} \cdot 4 = 15{,}6\ sec \tag{3.9}$$

$$t_{o4} = \frac{o_z}{v_f} = \frac{135}{50} = 2{,}7\,\text{sec} \cdot 4 = 10{,}8\ sec \tag{3.10}$$

kde: $t_{o1}, t_{o2}, t_{o3}, t_{o4}$ [sec] – čas obrobení kontury
v_f [mm.sec^{-1}] – posuvová rychlost
o_1 [mm] – délka kontury prvního kusu
o_2 [mm] – délka kontury následujících kusů

Protože fréza Ø 3 mm má ap = 1,5 mm, je potřeba, aby byla konturu objeta 4x při obrábění čel z 5mm materiálu. Fréza Ø 6 mm má ap = 2,5 mm. Kontura musí být objeta také 4x pro dosažení požadované hloubky obrobení.

Celkový čas obrábění

$$t_{c5} = 4 \cdot t_{o1} \cdot n + 4 \cdot t_{o2} \cdot n = 4 \cdot 23{,}2 \cdot 2 + 4 \cdot 16 \cdot 28 = 1977\,\text{sec} => 33\ min \tag{3.11}$$

$$t_{c8} = 4 \cdot t_{o4} \cdot n + 4 \cdot t_{o5} \cdot n = 4 \cdot 15{,}6 \cdot 2 + 4 \cdot 11 \cdot 26 = 1269\,\text{sec} => 21\ min \tag{3.12}$$

kde: t_{c5}, t_{c8} [min] – celkový čas obrábění kontur
$t_{o1}, t_{o2}, t_{o3}, t_{o4}$ [sec] – čas obrobení kontury
n [-] – počet kusů

Tab. 3.4 Řezné podmínky nových nástrojů

	fréza Ø 3 mm	fréza Ø 6 mm
Posuvová rychlost (mm/sec)	33,3	50
Hloubka jednoho kroku (mm)	1,5	2,5

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

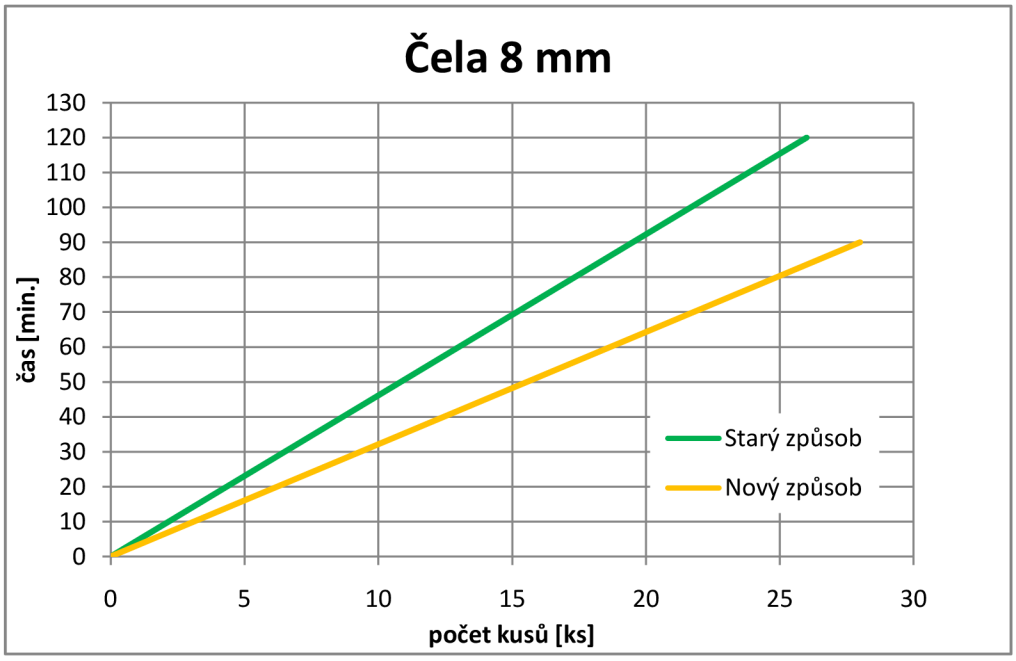
Porovnání bylo provedeno pro metodu změny drah nástroje a pro nové frézovací nástroje. Tyto metody byly porovnány vzájemně mezi sebou. Protože byl firmou dán požadavek na nezveřejňování jakýchkoli cen, zhodnocení bylo provedeno jen formou grafů a tabulek s porovnáváním časové úspory.

4.1 Zhodnocení nového rozmístění polotovarů

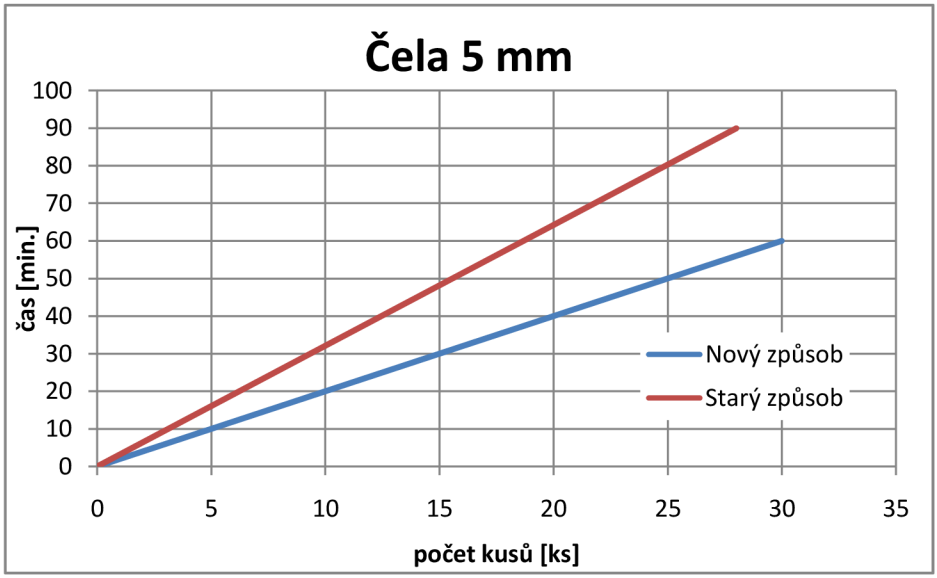
První srovnání bylo provedeno pro obrábění jednoho pásu hliníkového polotovaru. Počet kusů se liší v závislosti na tloušťce materiálu, tedy na průměru používaného nástroje. Z grafů je patrné, že pouhým upravením rozmístění a přidáním společné hrany bylo dosaženo většího počtu obrobků za nižší jednotku času (tab. 4.1, obr. 4.1 a 4.2).

Tab. 4.1 Porovnání času u starého a nového způsobu rozmístění

	Typ panelu	Počet kusů na polotovaru (ks)	Čas obrobení obrysů (min.)	Průměrný čas obr. obrysu jednoho kusu (min./ks)	Úspora času
Starý způsob	5 mm	28	90	3,2	
Nový způsob	5 mm	30	60	2	37%
Starý způsob	8 mm	26	120	4,6	
Nový způsob	8 mm	28	80	2,86	38%



Obr. 4.1 Graf porovnání metod - čela 8 mm



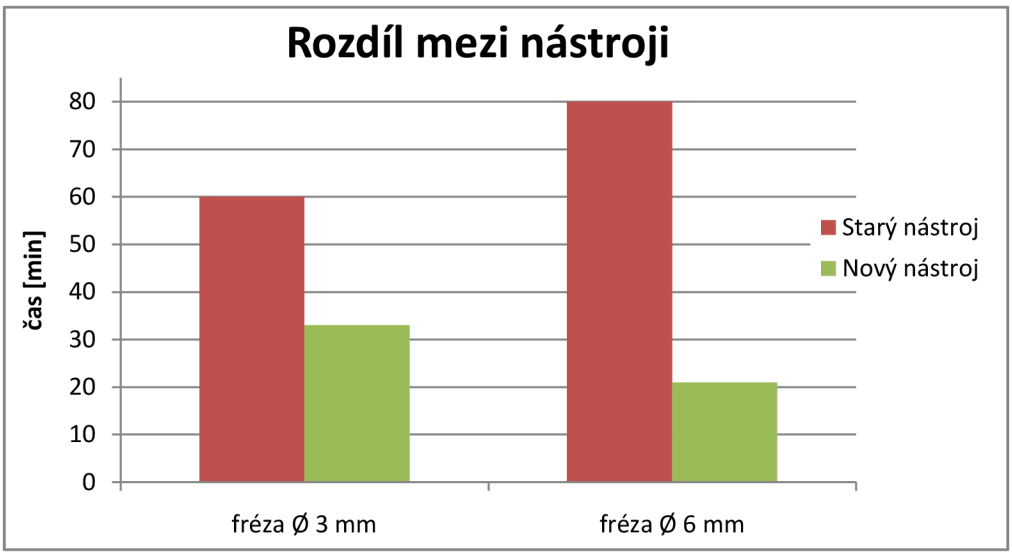
Obr. 4.2 Graf porovnání metod - čela 5 mm

4.2 Srovnání obráběcích nástrojů

V druhém srovnání je vidět teoretické snížení celkového času obrábění díky použití nových nástrojů (tab. 4.2, obr. 4.3). Bohužel nelze s určitostí říct, zda jsou obráběcí časy reálné, jelikož nebyla možnost jejich praktického ověření.

Tab. 4.2 Teoretický čas obrábění nových nástrojů

	Čas obrobení obrysů (min)	Průměrný čas obr. obrysu jednoho kusu (min/ks)	Úspora času proti starým nástrojům
fréza Ø 3 mm	33	1,1	45%
fréza Ø 6 mm	21	0,75	73%



Obr. 4.3 Rozdíl obráběcích časů mezi nástroji

5 DISKUZE

Při používání stávající technologie byl celkový čas na obrábění vnějšího obrysu čelních panelů 90 minut pro tloušťku materiálu 5 mm a 120 minut pro 8 mm. Aplikováním prvního návrhu došlo při praktickém experimentu ke snížení těchto časů.

Jak ukazují hodnoty v tabulce 4.1, čas na obrábění vnějšího obrysu se snížil o třetinu. Toto snížení je výhodné z hlediska výrobnosti a snížení nákladů na výrobu jednoho kusu. Nástroj zvládne obrobit více dílů předtím, než je potřeba ho dát přebrousit. Vzhledem k tomu, že nástrojů každého průměru má firma skladem hned několik, nejsou zde prostoje, kdy by se čekalo na přebroušení nástroje. Přebroušení provádí specializovaná firma.

Následkem změny rozmístění dílů na polotovaru bylo zkrácení drah nástroje. Vzhledem k charakteru úpravy, je vhodné ji použít společně s druhým návrhem. Druhým návrhem je změna obráběcích nástrojů. Pro vybrané frézy byly spočítány teoretické hodnoty obráběcích časů. Pokud by praktické výsledky nových nástrojů odpovídaly výsledkům teoreticky vypočteným, časová úspora by byla u nástroje Ø 6 mm 75%, což je 60 minut, u nástroje Ø 3 mm pak 45%, tedy 27 minut. Skutečné řezné podmínky nových nástrojů by však byly ovlivněny výkonem vřetene stroje a mohlo by dojít k jejich změně, a rovněž i k prodloužení časů obrábění oproti vypočteným hodnotám. Pokud by došlo k prodloužení časů o 50%, stále by tyto nástroje měly kratší časy obrábění než nástroje stávající.

Pořízením navrhovaného CNC stroje by pak mělo dojít k maximálnímu využití nástrojů. Stroj Datron je profesionální obráběcí centrum a používané nástroje by nebyly omezeny výkonem vřetene, jak je tomu u stávajícího stroje. Tato možnost je nejdražší ze všech uvažovaných a i nejméně reálná.

ZÁVĚR

V práci bylo navrhnuto několik způsobů, jak lze zvýšit množství vyráběných součástí při úspoře času a nákladů. Jako jediný prakticky vyzkoušený způsob byla změna drah nástroje během obrábění. I tato drobná změna však měla značný vliv na výše zmíněné aspekty.

Praktickým experimentem bylo zjištěno následující snížení času na obrábění kontur:

- pro panely z 5 mm materiálu o 30 minut (úspora 37%),
- pro panely z 8 mm materiálu o 40 minut (úspora 38%).

Tato metoda byla ihned po vyzkoušení zavedena pro výrobu čelních panelů.

Pro nové nástroje byly vypočteny tyto strojní časy:

- doba obrábění panelů z 5 mm materiálu 33 minut, snížení oproti starým nástrojům o 27 minut (úspora 45%),
- doba obrábění panelů z 8 mm materiálu 21 minut, snížení oproti starým nástrojům o 51 minut (úspora 73%).

Tyto hodnoty je třeba brát s rezervou. Případná praktická zkouška by pak ukázala, zda jsou vypočtené hodnoty použitelné i v reálném prostředí firmy a na aktuálním CNC stroji. Pořízení nových nástrojů pro vyzkoušení nyní zvažuje vedení firmy.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PILOT.CZ. *EMKO Case* [online]. [vid. 23. 3. 2014]. Dostupný na WWW: http://www.emko.cz

2. AUTOR NEUVEDEN. *MT-CNC Tvářecí stroje* [online]. [vid. 23. 3. 2014]. Dostupný na WWW: http://www.tichystroje.cz/clanky/4297---trumpf-trumatic-200r.html

3. AUTOR NEUVEDEN. *Alroy Sheet Metal* [online]. [vid. 23. 3. 2014]. Dostupný na WWW: http://www.alroys.com

4. ANTEE S.R.O.. *Rončka s.r.o.* [online]. [vid. 23.3.2014]. Dostupný na WWW: http://www.roncka.cz/index.php?nid=12320&lid=cs&oid=3311958

5. AUTOR NEUVEDEN. *Inagal* [online]. [vid. 23.3.2014]. Dostupný na WWW: http://photos-e.ak.fbcdn.net/hphotos-ak-ash2/t1/181140_265621756881255_1954333646_n.jpg

6. PENNENGINEERING. *Pennengineering* [online]. [vid. 23.3.2014]. Dostupný na WWW: http://catalog.pemnet.com/item/pemserter-series-4-press/ter-series-4-fastener-installation-pneumatic-press/item-14576?forward=1

7. PEMSERTER® Series 4®. PennEngineering [online]. 2011 [vid. 2014-04-13]. Dostupné z: http://catalog.pemnet.com/Asset/PS4.jpg

8. DATRON: M8Cube. DATRON [online]. 2013 [vid. 2014-05-08]. Dostupné z: http://www.onlinetes.com/FileUploads/image/AMD/DATRON_M8_Cube.jpg

9. DATRON. *Katalog nástrojů*. Detva, 2011.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
CAD	[-]	computer aided design
CNC	[-]	computer numerical control
IPC	[-]	integrated procesor controller
IT	[-]	information technology
PI	[-]	program instruction
Ø	[-]	průměr

Symbol	Jednotka	Popis
d	[mm]	průměr
f_z	[mm]	posuv na zub
n	[min^{-1}]	otáčky
o	[mm]	obvod
v_c	[$m.min^{-1}$]	řezná rychlost
v_f	[$m.min^{-1}$]	posuvová rychlost
t	[sec]	čas

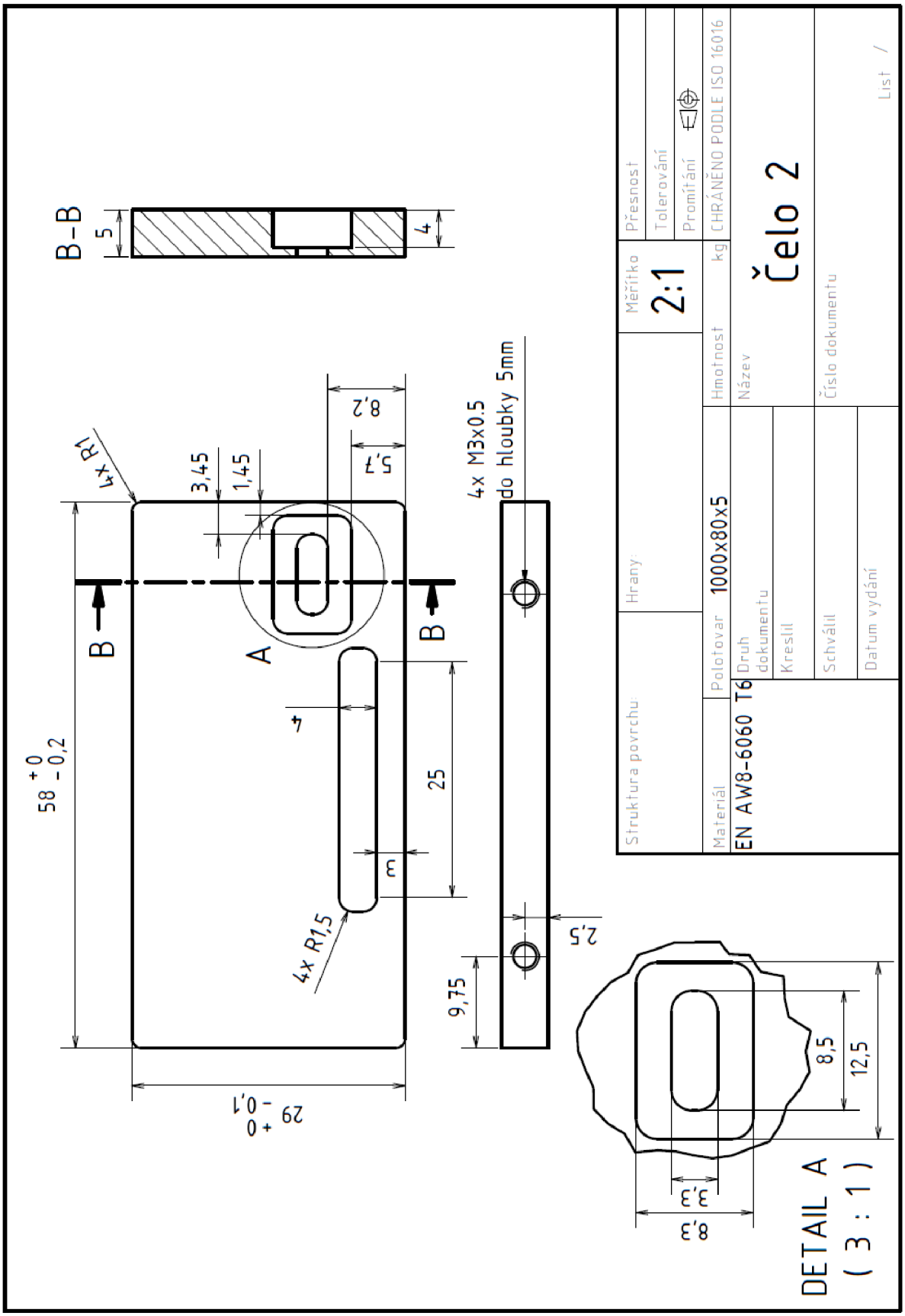
SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Výkres čelního panelu 5mm

Příloha 2 Výkres čelního panelu 8mm

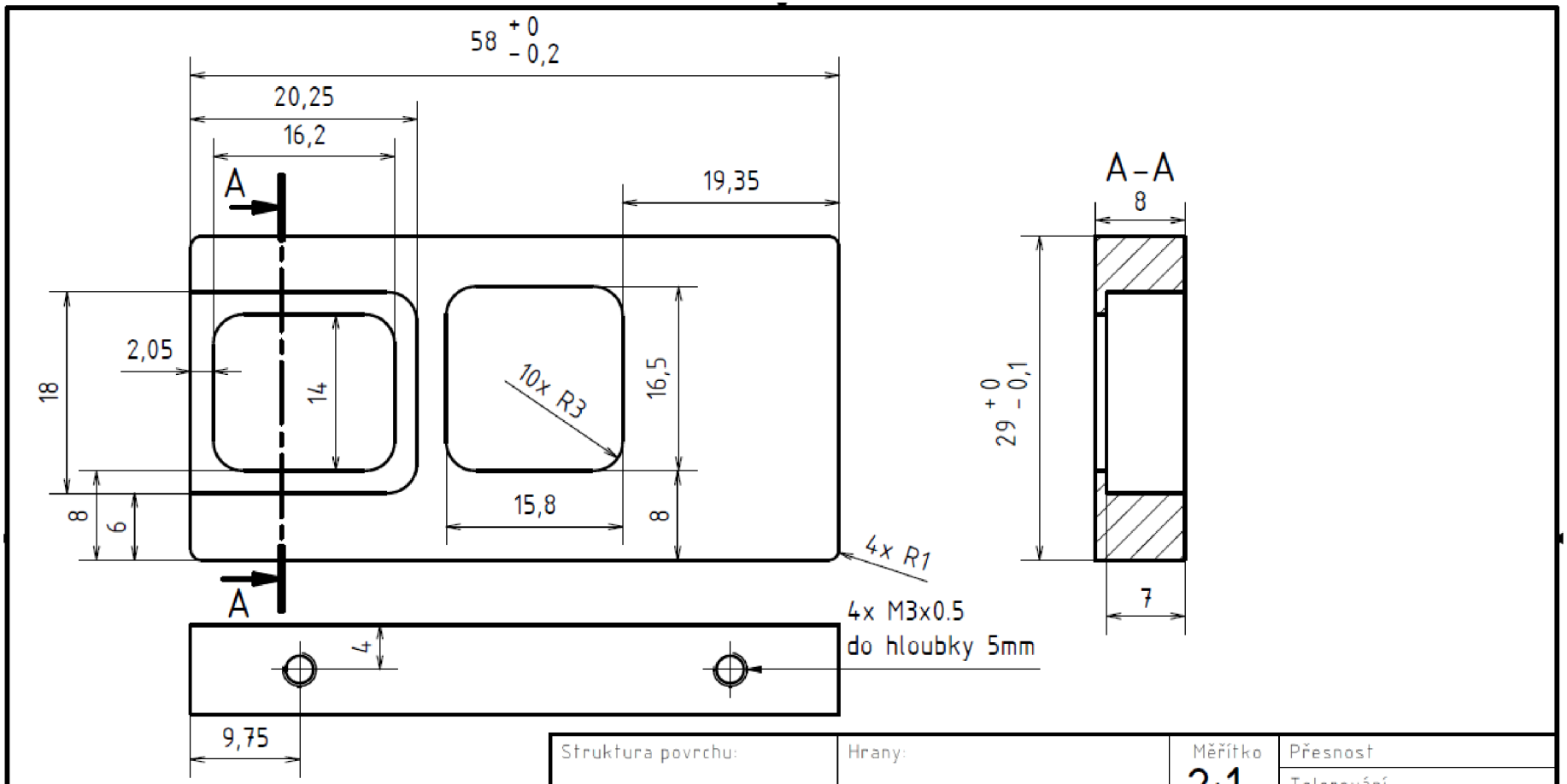
PŘÍLOHA 1

Výkres čelního panelu 5mm



PŘÍLOHA 2

Výkres čelního panelu 8mm



Struktura povrchu:	Hrany:	Měřítko 2:1	Přesnost Tolerování Promítání
Materiál: EN AW8-6060 T6	Polotovar: 1000x80x8	Hmotnost: kg	CHRÁNĚNO PODLE ISO 16016
	Druh dokumentu	Název: Čelo 1	
	Kreslil		
	Schválil	Číslo dokumentu	
	Datum vydání	List /	