



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



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

MOŽNOSTI STROJE VERNET BEHRINGER PŘI CNC PROGRAMOVÁNÍ

VERNET BEHRINGER TOOLS FOR CNC PROGRAMMING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marek Mana

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Marek Mana

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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

Možnosti stroje Vernet Behringer při CNC programování

v anglickém jazyce:

Vernet Behringer tools for CNC programming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při programování obráběcích strojů je možno využít řady různých programovacích jazyků a metodik. Práce je zaměřena na vytvoření uceleného přehledu možností systému Vernet Behringer s prakticky realizovanými ukázkovými příklady umožňujícími přiblížit tuto problematiku osobám, které teprve volí vhodný způsob programovacího prostředí pro zajištění výroby třískovým obráběním na frézovacích obráběcích centrech.

Cíle diplomové práce:

- stručné začlenění řídicího systému Vernet Behringer mezi ostatní řídicí systémy obráběcích strojů a metody NC programování
- stručný rozbor problematiky výroby tenkostěnných součástí
- návrh a zpracování technické dokumentace obráběné součásti
- praktické ověření výrobního procesu pomocí nástrojů počítačové verifikace a vizualizace

Seznam odborné literatury:

ATKINS, Anthony G. The science and engineering of cutting: the mechanics and processes of separating, scratching and puncturing biomaterials, metals and non-metals. 1st ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, c2009, xiii, 413 s. ISBN 978-0-7506-8531-3.

SMITH, Graham T. Cutting tool technology: industrial handbook. London: Springer, c2008, xii, 599 s. ISBN 978-1-84800-204-3.

XU, Yongdong. Chemical vapour deposition: an integrated engineering design for advanced materials. London: Springer, c2010, 342 s. Engineering materials and processes. ISBN 978-1-84882-893-3.

TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.

SINGAL, R. Fundamentals of machining and machine tools. I.K. International Publishing House Pvt.: , c2008, xii, 369 s. ISBN 978-81-89866-66-2.

SHAW, Milton Clayton. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005, xix, 651 s. ISBN 01-951-4206-3.

MCCMAHON, Chris. CAD/CAM principles, practise and manufacturing management. 2nd ed. Harlow: Prentice Hall, 1998, 665 s. ISBN 02-011-7819-2.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. (Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. Překlad M. Kudela.), 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o., 1997. 857 p. ed. J. Machač, J. Řasa, ISBN 91-97 22 99-4-6.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

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

V Brně, dne 6.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na možnosti využití obráběcí linky firmy Vernet – Behringer. Obsahem teoretické části je stručné začlenění řídicího systému ProNC2 mezi vybrané na trhu dostupné řídicí systémy a jsou porovnány způsoby programování CNC obráběcích strojů. Na obráběcím stroji firmy Vernet – Behringer jsou zpracovávány především tenkostěnné součásti, proto je část práce zaměřena na problematiku obrábění tenkostěnných součástí, rozdělení průhybu nástroje i obráběné součásti. Další část se zabývá návrhem a zpracováním technické dokumentace k modelové obráběné součásti. Praktická část práce se zabývá možnostmi stroje a způsobem programování v řídicím systému ProNC2. Programování i praktická výroba na stroji probíhala ve firmě SSI Schäfer s.r.o. Práce je zaměřena na praktické ověření výrobního procesu pomocí simulace a samotnou výrobu součásti. Závěrem bylo provedeno technicko – ekonomické zhodnocení výroby.

Klíčová slova

Vernet – Behringer, řídicí systémy, tenkostěnné součásti, výchylka součásti, tuhost nástroje, řídicí systém ProNC2.

ABSTRACT

The master's thesis is focused on the possibilities of machining lines of the company Vernet – Behringer. The theoretical part is a brief inclusion of the control system ProNC2 between selected commercially available control systems and are compared ways of programming CNC machine tools. On the machine tool of company Vernet – Behringer are processed mainly thin-walled components, that is why is part of the work focuses on the issue of machining thin-walled parts, the distribution of deflection tools and machined parts. The next part of thesis deals with the design and processing of technical documentation for the machined model part. The practical part deals with the possibilities of the machine and method of programming the control system ProNC2. Programming and practical production on machine were proceeded in company SSI Schäfer s.r.o. The work is focused on practical verification of the production process using simulation and production itself. Finally, it was performed technical - economic evaluation of production.

Keywords

Vernet – Behringer, the control system's, thin-walled parts, part deflection, tool rigidity, control system ProNC2.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MANA, M. *Možnosti stroje Vernet Behringer při CNC programování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 71 s. 3 přílohy. Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Možnosti stroje Vernet Behringer při CNC programování** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
26.5.2014

Datum

.....
Bc. Marek Mana

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy SSI Schäfer s.r.o. za poskytnuté informace, rady a možnost naprogramování i výrobu modelové součásti. Rovněž bych rád poděkoval panu Tomáši Kostelníkovi za zapůjčení literárních zdrojů k řídicímu systému ProNC2 a pilovrtací lince.

V neposlední řadě bych velice rád poděkoval svým rodičům a celé své rodině za jejich podporu v průběhu mého studia.

OBSAH

| | |
|---|----|
| ABSTRAKT | 4 |
| PROHLÁŠENÍ..... | 5 |
| PODĚKOVÁNÍ..... | 6 |
| ÚVOD..... | 9 |
| 1 ZAČLENĚNÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU FIRMY VERNET – BEHRINGER..... | 11 |
| 1.1 Firma VERNET – BEHRINGER..... | 11 |
| 1.1.1 Řídicí systém B_driver | 11 |
| 1.1.2 Řídicí systém ProNC2 | 13 |
| 1.2 Vybrané CNC řídicí systémy | 14 |
| 1.2.1 Sinumerik..... | 14 |
| 1.2.2 Heidenhain | 16 |
| 1.2.3 Fanuc..... | 17 |
| 1.3 Řezné prostředí využívané při obrábění..... | 19 |
| 1.4 Způsoby programování | 20 |
| 1.4.1 ISO programování..... | 21 |
| 1.4.2 Dílenské programování..... | 22 |
| 1.4.3 Programování za pomoci cyklů | 22 |
| 1.4.4 CAD/CAM programování | 22 |
| 2 PROBLEMATIKA VÝROBY TENKOSTĚNNÝCH SOUČÁSTÍ..... | 24 |
| 2.1 Výchylka tenkostěnné části..... | 25 |
| 2.2 Výchylka nástroje..... | 31 |
| 2.3 Obrábění tenkostěnných součástí podélným frézováním..... | 33 |
| 2.3.1 Malý poměr výšky k tloušťce | 33 |
| 2.3.2 Střední poměr výšky k tloušťce | 34 |
| 2.3.3 Velmi vysoký poměr výšky k tloušťce | 35 |
| 3 NÁVRH A ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI..... | 36 |
| 3.1 Výkres navržené součásti | 37 |
| 3.2 Polotovary | 37 |
| 4 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ VÝROBNÍHO PROCESU | 38 |
| 4.1 Produkty firmy Vernet – Behringer | 38 |
| 4.1.1 Produktová řada s označením HD | 38 |
| 4.1.2 Produktová řada s označením HD-X | 38 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1.3 | Produktová řada HBP | 39 |
| 4.2 | Popis celé linky | 39 |
| 4.2.1 | Postup na lince | 40 |
| 4.2.2 | Stroj HD-X 918 CNC | 41 |
| 4.2.3 | Pila HBP510/923 G | 43 |
| 4.2.4 | Upínání a výměna nástrojů | 43 |
| 4.3 | Způsob programování v řídicím systému ProNC2..... | 44 |
| 4.3.1 | Volba polotovaru | 44 |
| 4.3.2 | Správa profilů | 45 |
| 4.3.3 | Popis hlavního programovacího okna..... | 46 |
| 4.3.4 | Programování dílu..... | 47 |
| 4.3.5 | Frézování a orýsování | 50 |
| 4.3.6 | Řezy | 50 |
| 4.3.7 | Makra | 51 |
| 4.3.8 | Seznam tyčí a její vytvoření..... | 51 |
| 4.3.9 | Manipulace s díly..... | 52 |
| 4.4 | Programování součásti | 53 |
| 4.4.1 | Programování frézovacích operací | 53 |
| 4.4.2 | Programování drážek | 55 |
| 4.4.3 | Programování označení a orýsování | 56 |
| 4.4.4 | Programování děr a závitů | 56 |
| 4.4.5 | Programování řezů..... | 57 |
| 4.5 | Ověření správnosti programování pomocí výrobního procesu | 58 |
| 4.5.1 | Příprava polotovaru a simulace programu | 58 |
| 4.5.2 | Nástroje použité na výrobu součásti | 60 |
| 4.6 | Výstupní zpráva | 62 |
| 5 | TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ | 63 |
| 5.1 | Stanovení ceny 1 mm obrobené plochy pomocí frézování | 63 |
| 5.2 | Stanovení celkové výrobní ceny | 64 |
| | ZÁVĚR | 65 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 66 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK | 69 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 71 |

ÚVOD

Diplomová práce byla zaměřena na vytvoření uceleného přehledu možností programování v řídicím systému firmy Vernet – Behringer. V práci jsou realizovány ukázkové příklady, které přibližují problematiku obrábění konstrukčních profilů.

Vývoj strojů s počítačovým řízením se začal rozvíjet ve 40. letech minulého století. Od té doby se výrazně inovovali konstrukce obráběcích strojů i možnosti programování v řídicích systémech. Postupem času se rozšiřoval počet současně obráběných os. Od jednoduchého jednoosého obrábění se stroje vyvinuly na obráběcí centra, jež jsou schopna obrábět až ve 40-ti osách.

Programování obráběcích strojů je prováděno různými způsoby. Používá se obrábění pomocí dílenského programování, ISO programování, atd. Popřípadě si výrobce stroje volí svůj vlastní způsob. Vernet – Behringer využívá možnosti programování pomocí přímého zadávání hodnot a způsobů opracování.

Práce je zaměřena na sestavení celkového přehledu možností řídicího systému firmy Vernet – Behringer, jež umožňuje přiblížit problematiku obrábění konstrukčních profilů. Předmětem praktické části diplomové práce bylo shrnutí kladných a negativních vlastností pilovrtací linky i řídicího systému ProNC2. Získané poznatky byly ověřeny naprogramováním a výrobou modelové součásti. Modelovou součástí byl L – profil, který spolu s ostatními konstrukčními profily tvoří základní stavební jednotku vysokokapacitních logistických paletových skladů s celkovou půdorysnou plochou až 120 x 40 m (obr. 1). L – profil modelové součásti byl zhotoven prostřednictvím pilovrtací linky, jejíž součástí jsou stroje HD-X 918 CNC a HBP510/923 G ve firmě SSI Schäfer s.r.o., Hranice na Moravě. Uvedená pilovrtací linka umožňuje zpracování konstrukčních profilů až do délky téměř patnácti metrů.



Obr. 1 Výškový sklad [1].

Řídicí systém ProNC2 je používán výhradně na strojích od firmy Vernet – Behringer. Obráběcí stroj (obr. 2), na kterém probíhalo ověření programování je schopen obrábět díl pomocí tří na sobě nezávislých vřeten. Programování v řídicím systému probíhá formou režimu sloupců pro danou stranu profilu. Řídicí systém disponuje grafickým zobrazením, které přehledně znázorňuje stav naprogramovaného dílu. Výhodou řídicího systému firmy Vernet – Behringer je stálá komunikace se strojem, kdy je možné sledovat stav obráběné části v reálném čase.



Obr. 2 Obráběcí stroj HD – X 918 CNC [2].

1 ZAČLENĚNÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU FIRMY VERNET – BEHRINGER

Řídicí systémy prošly během své historie významnými změnami. Od jednoduchých dřevných štítků nebo pásek až k řídicím systémům, jež jsou schopny ovládat velké množství os.

V současných řídicích systémech počítač nejprve čte většinu vstupních informací a obvykle uloží celý program do vnitřní paměti. Tyto systémy jsou vybaveny softwarem na vysoké úrovni, který umožňuje programování pomocí cyklů, podprogramů i dialogových režimů. Číslicový řídicí systém je sestaven z bloků, které jsou podle jejich funkce nazývány vstupy, paměti, operační jednotka, řadič a výstupy. Bloky jsou propojeny skupinami vodičů neboli sběrnicemi.

Vstupy zajišťují vstup informací do řídicího systému. Podle způsobu předávání vstupních informací rozlišujeme tyto druhy vstupů: ruční zadávání vstupů, čtecí zařízení (optické, magnetické), dekodéry signálu a jeho kontrola. V paměti jsou uloženy instrukce programu v číselné podobě. Paměť systémového programu (EPROM) ukládá předpis postupu činnosti PC. Uživatelská paměť slouží pro ukládání programů dílů, korekci nástrojů, posunutí počátků, tabulky nástrojů. Operační paměť (RAM) slouží k ukládání zpracovávaných dat. Operační jednotka má za úkol vlastní zpracování informací. Zajišťuje pod řízením řadiče provádění různých aritmetických, logických nebo rozhodovacích operací. Řadič řídí funkci všech bloků číslicového počítače a jejich vzájemnou součinnost podle instrukcí programu, které si vybírá z paměti. Řadič a operační jednotka jsou dva bloky, v nichž se odehrává veškeré zpracování informací a jsou zahrnovány pod jednotný pojem procesor (CPU – *Central Processing Unit*). Výstupy zajišťují výstup informací na příslušné obvody a externí zařízení [3].

1.1 Firma VERNET – BEHRINGER

Firma Vernet – Behringer vznikla v roce 1995 ve Francii. Tato úspěšná, téměř dvacetiletá firma vznikla sloučením dvou významných společností s dlouholetou tradicí. V prvním případě se jednalo o společnost Vernet Company. Počátek společnosti sahá až k roku 1882, tehdy se zabývala strojírenskou výrobou. Další byla firma Behringer s.r.o., jež se umísťovala na předních příčkách v oboru technologie zpracování oceli. Firma, jejíž začátky spadají, až do roku 1919 byla pyšná na vlastní hrdou historii plnou úspěchů. Mnohem více než spojení těchto dvou názvů společností, přineslo vytvoření společnosti, jež se dohromady staly lepšími než jejich jednotlivé části.

Díky sdílení nashromážděných odborných znalostí z mnoha předchozích let obou firem došlo k vytvoření velmi prospěšných propozicí vhodných pro bezchybný chod společnosti. Výrobní procesy této firmy se staly konkurenceschopné a expandovali na mezinárodní trh, kde v současné době zaujímá přední příčky výrobních společností v oboru zpracování materiálů.

Firma se v současné době zabývá výrobou obráběcích strojů převážně pro kovové konstrukce [4].

1.1.1 Řídicí systém B_driver

Program B_driver je poslední generací výrobního programu pro stroje Vernet – Behringer. Program umožňuje realizovat výrobu volbou naprogramovaných dílů nebo tyčí v databázi programu ProNC2. Rovněž řídí veškeré konfigurace a nastavení stroje. V důsledku toho,

jestliže daný díl neodpovídá datům z řídicího systému ProNC2, je velice pravděpodobné, že se mu nepodaří nastavit určité parametry.

B_driver automaticky generuje a posílá kódy v závislosti na výrobě zvolené operátorem, tak aby správně realizoval požadované díly. Je v něm také integrován komunikační modul, který je zvolen podle použitého typu stroje. Zjednodušeně se jedná o program použitý na stroji, jež komunikuje prostřednictvím úložiště s řídicím systémem ProNC2. Popis ovládacího panelu je zobrazen na obr. 1.1.



Obr. 1.1 Řídicí systém B_driver a popis [2].

1. Pod napětím – tato světelná kontrolka indikuje, že ovládací pult je pod napětím 24V.
2. V provozu – tlačítko umožňuje spuštění a zastavení celého stroje.
3. Storno chyby – tlačítko dovoluje stornovat chybný krok
4. Nouzové zastavení – tlačítko umožňuje zastavit celý stroj a zablokovat jeho spuštění jediným stisknutím.
5. Zastavení obrábění – toto světelné tlačítko umožňuje aktivovat režim zastavení obrábění, který znemožní další pohyb stroje.
6. Začátek cyklu – pomocí daného tlačítka je možné spustit přechod do automatického režimu.
7. Ovládání svěráku – přepínač slouží k ovládání otevírání a zavírání pohyblivého svěráku.
8. Ucpávka – toto tlačítko není u tohoto typu stroje používáno.
9. Dopravník vstupní lavice – pákový ovladač slouží k řízení pohonu dopravníků umístěných mezi brokovým tryskačem a pilovrtací linkou a vozíků nakládacích posunovačů.

10. Dopravník výstupní lavice – pákový ovladač umožňuje řízení pohonu výstupní lavice a vozíků vykládacích posunovačů.
11. Zarážky VP – tlačítko umožňuje ovládání zarážek vozíků vykládacích posunovačů.
12. Zarážky NP – tlačítko umožňuje ovládání zarážek vozíků nakládacích posunovačů.
13. Výběr jednotky – přepínač umožňuje zvolit za pomoci pákového ovladače různé jednotky stroje, které se mají ovládat.
14. Výběr hmotnosti – tento spínač má 10 pozic a umožňuje vybrat rychlost vozíků v závislosti na hmotnosti obrobku.
15. Kleště – toto tlačítko umožňuje provést sevření či rozevření kleští podávacího vozíku.
16. Pákový ovladač – v závislosti na poloze přepínače (10) umožňuje aktivaci různých funkcí stroje.
17. Vysoká rychlost – při použití tohoto tlačítka je možné posunovat vozík vysokou rychlostí (obvykle bez upnutí profilu) [2].

1.1.2 Řídicí systém ProNC2

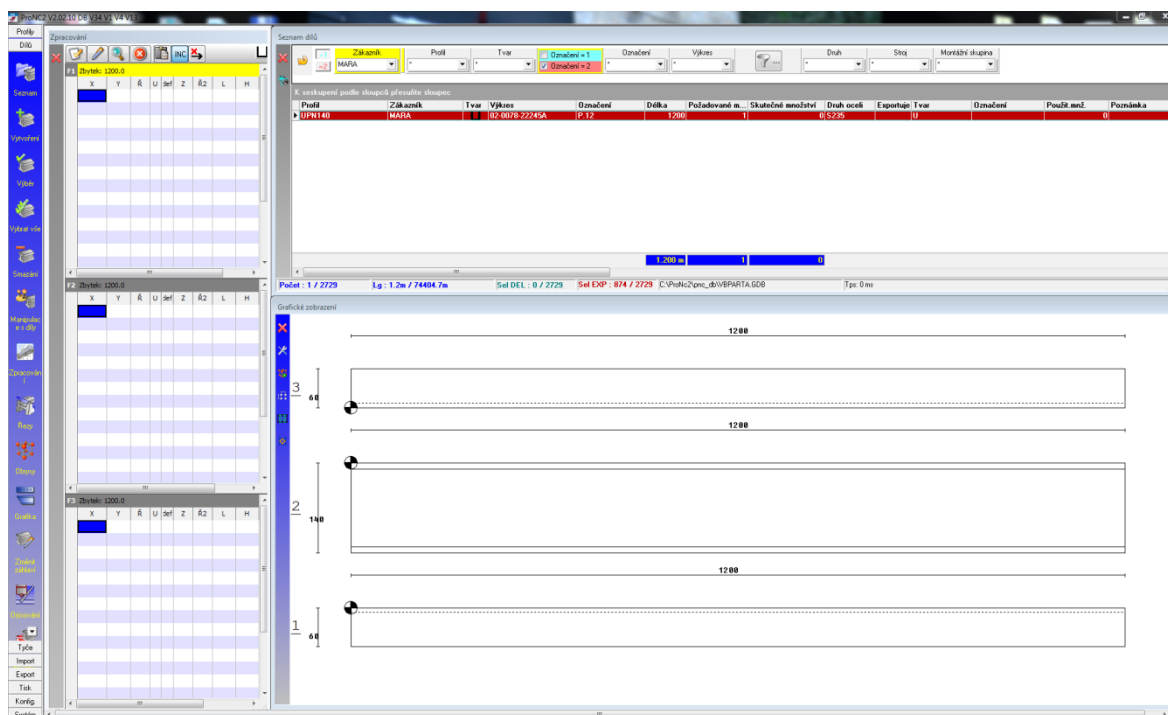
Jedná se o nejnovější generaci softwaru pro programování a správu dílů. Řídicí systém se využívá metodiku dílensky orientovaného programování dílů prostřednictvím režimu sloupců pro danou stranu profilu a grafického režimu (zobrazeno na obr. 1.2). Do programu lze importovat a exportovat data ve formátech používaných především na strojích od firmy Vernet – Behringer jako D.S.T.V., *.PNF, nebo *.CAM. Díky možnosti přenosu dat je snazší jejich výměna mezi pracovišti vybavenými softwarem, jež je schopný číst tyto formáty.

Přenos dat obsažených v ProNC2 do automatu řídicího stroje se provádí prostřednictvím příslušného softwaru. Tato stálá komunikace mezi automatem a PC umožňuje sledovat v kterémkoliv okamžiku stav stroje pomocí tabulky chyb, umožňující jeho účinnější údržbu a stálý přehled o výrobě.

Řídicí systém má uplatnění zejména u strojů poskytující více možností obrobení, jedná se tak především o stroje určené pro obrábění nejběžnějších konstrukčních profilů (profily s průřezem I, U, H, L, atd.).

Do řídicího systému ProNC2 je možno importovat soubory s formátem DXF s cílem zachování geometrických dat části a usnadnění tak programování daného dílu. Modul pro přenos souborů DXF nepodporuje formáty DWG. K úspěšnému převodu souboru DXF musí být splněna následující pravidla:

- název profilu a typ musí existovat v databázi systému ProNC2,
- soubor musí popisovat pouze vnější obrysy a polohy otvorů,
- verze souboru DXF nesmí být novější než 2007,
- soubory musí být vytvořeny s celkovým zobrazením bez jakéhokoliv přerušení pohledu [6].



Obr. 1.2 Řídicí systém ProNC2.

1.2 Vybrané CNC řídicí systémy

V současnosti se ve strojírenské výrobě používá nepřeberné množství řídicích systémů CNC obráběcích strojů. Následující kapitoly budou věnovány těm nejznámějším řídicím systémům a jejich hlavním zástupcům. Z důvodu velkého množství řídicích systémů na trhu byly vybrány následující řídicí systémy:

- Sinumerik,
- Heidenhain,
- Fanuc CNC.

1.2.1 Sinumerik

Společnost Siemens, jenž je jedním z nejvýznamnějších dodavatelů elektrických komponentů pro stavbu strojů a strojních zařízení, uvedla na trh v roce 1960 vůbec první použitelný systém pro číslicové řízení. Historický vývoj produktů společnosti je zobrazen na obr. 1.3. Ihned po jeho uvedení na trh došlo k okamžitému zvýšení výkonnosti a pružnosti výrobních procesů. První systém pro spojitě řízení dráhy nástroje byl zkonstruován s použitím diskretních součástí. Zanedlouho poté se na trhu objevily verze Sinumerik 200 a Sinumerik 300, což byly systémy pro řízení operací soustružení, frézování, broušení a také pro řízení elektrohydraulických pohonů. V roce 1973 byl zaveden systém Sinumerik 500C, což byl první systém pro řízení stroje pomocí počítače. Výhradně sloužil pouze k řízení soustruhů a frézek.

Dalším významným milníkem bylo použití mikroprocesorů. Díky nim mohla společnost v polovině 70. let jako první nabídnout síť přímého číslicového řízení (DNC – *Direct Numerical Control*), kdy bylo možné jedním počítačem ovládat více NC strojů. Po třech letech se objevil Sinumerik System 8, jednalo se o vícekanálový CNC systém s vestavěným programovatelným automatem. Byl vhodný nejen pro operace

soustružení a frézování, ale byl určený i pro vrtací a prostřihovací stroje. V roce 1981 představila společnost Siemens Sinumerik System 3, jednalo se o CNC systém se zákaznickým rozhraním a grafickým prostředím pro vývoj programů. V polovině 80. let začal být při vývoji dalších generací CNC systémů určující princip „otevřenosti“, což umožňovalo výrobcům strojů vytvářet svá vlastní ovládací rozhraní a přidávat do nich své vlastní položky, jako např. obrázky a větvená ovládací menu. Jednalo se především o typy systémů Sinumerik 810 a Sinumerik 820. V roce 1996 uvedla firma Siemens na trh produkt s názvem Sinumerik Safety Integrated – první CNC systém se zabudovanými bezpečnostními funkcemi. V následujícím roce byly představeny nástroje ShopMill a ShopTurn, což byly dílensky orientovaná vývojová prostředí umožňující sestavovat programy pro výrobu obrobků za použití grafického uživatelského prostředí. Společnost Siemens se také snažila o zvýšení produktivity výrobců strojů. Spolu s tím také rozšířila nabídku o nástroje Condition Monitoring, které umožňovaly sledovat stav strojů také prostřednictvím internetu. Dále rozšířila svou nabídku o nástroj Mechatronic Support, jež vytvářel virtuální prototypy strojů a simuloval jejich chování [7].



Obr 1.3 Vývoj řídicího systému Sinumerik [7].

Sinumerik 840D

Kolem roku 1995 společnost Siemens představila vysoce výkonný CNC systém s názvem Sinumerik 840D s číslicovým ovládním pohonů a otevřeným jádrem řídicího programu, jež umožňuje integrovat do CNC systému další softwarové komponenty. Systém je používán v technologiích soustružení, frézování, vrtání, broušení a u laserových, dřevoobráběcích a skloobráběcích strojů. Dále má využití v oblasti robotů a obráběcích linek pro velkosériovou výrobu. Vhodný je taktéž pro malosériovou a kusovou výrobu. V systému Sinumerik 840D jsou integrovány certifikované bezpečnostní funkce, jimiž lze realizovat vysoce účinnou ochranu osob i strojů [8].

Sinumerik 840D sl a Sinumerik 802D sl

Sinumerik 840D sl a Sinumerik 802D sl jsou systémovým řešením pro aplikace CNC, jež společně patří do skupiny SolutionLine. Skupina SolutionLine nabízí zvolit nezávisle na sobě hardware a software s ohledem na použití. To umožňuje integraci specifických funkcí v závislosti na jednotlivých aplikacích v reálném čase. Řídicí systém Sinumerik 802D sl se ideálně hodí na použití u standardních soustružnických a frézovacích strojích. Systém Sinumerik 840D sl (obr. 1.4) lze použít jak u obráběcích strojů,

tak u strojů pro zvláštní použití. Lze programovat jednoduché polohovací úkoly, ale také komplexní víceosé úkoly. Systém má k dispozici až 31 os. Do skupiny SolutionLine patří také Sinumerik 840Di sl, jenž je na bázi PC, na rozdíl od dvou výše zmíněných, které slouží jako součást pohonů rozvaděčové skříně [8, 9].



Obr. 1.4 Řídicí systém Sinumerik 840D spolu s bezpečnostními prvky [10].

1.2.2 Heidenhain

Počátky firmy spadají až do roku 1889, kdy byla založena firma na leptání kovů, která vyráběla štitky, stupnice a měřítka. Postupem času se firma vypracovala a v současnosti působí jak v metrologických oblastech, tak také v oblasti NC řízení a elektroniky. První technickou kancelář otevřela firma v České republice v roce 1991 v Praze. V současné době jsou v těchto prostorách umístěny školící centra zajišťující důkladné proškolení obsluhy řídicích systémů a rozsáhlé servisní středisko. Od poloviny 70. let se firma začala zabývat výrobou řízení a pohonem pro obráběcí stroje. Nejprve se jednalo o jednodušší řídicí systémy pravoúhlého řízení (TNC 110 a TNC 120), později docházelo k inovaci a vývoji nových systémů se souvislým řízením (např.: TNC 131 a TNC 135).

V současnosti má firma zastoupení ve více než padesáti zemích po celém světě. Většinou se jedná o vlastní pobočky. Prodejci a servisní technici poskytují v těchto lokálních zastoupeních potřebné technické informace i servisní služby. Společnost Heidenhain vlastní certifikáty kvality ISO 9001. Vysoká kvalita výrobků vyžaduje speciální výrobní přípravky a přesné měřicí přístroje. V současné době firma eviduje zhruba 240 000 prodaných TNC řídicích systémů [11].

TNC 620

Jedná se o pětiosé souvislé kompaktní řízení pro frézky a vyvrtávačky (obr. 1.5). Běžné programy pro frézování a vrtání se většinou připravují přímo na stroji. Řídicí systém TNC 620 poskytuje mnoho obráběcích cyklů pro obrábění a transformaci souřadnic, dále disponuje grafickou nápovědou a celý program je k dispozici v českém jazyce. Pro obsáhlejší a obtížnější programy lze využít externího vytváření programů a jeho následný přesun do stroje [12].



Obr. 1.5 Příklad řídicího systému TNC 620 [12].

CNC Pilot 640

CNC Pilot 640 je souvislé řízení pro produkční soustruhy. Díky jeho všestranným programovacím možnostem je vhodný do prostředí kusové nebo malosériové výroby, ale také do hromadné výroby. CNC Pilot 640 se vyznačuje jednoduchou obsluhou i programováním. Plně digitální koncept garantuje vysokou přesnost a jakost povrchu a to i při velkých rychlostech posuvu. Systém disponuje schopnou simulací programu. Při vykonávání programu se na monitoru zobrazují informace o poloze nástroje, otáčkách, posuvu, vytížení motorů, zbytkové dráze. CNC Pilot 640 nabízí plnohodnotnou pomoc při výpočtu doby obrábění. Během simulace programů s cykly vypočte systém dobu obrábění jednoho kusu. Jsou také znázorněny hlavní a vedlejší časy každého cyklu, což pomáhá nejen při kalkulacích, ale také můžeme pomocí nástroje zjistit, zda je možné obrábění následně optimalizovat. Velkou výhodou řídicího systému je možnost rozšířit jej na ostatní potřeby obrábění (vrtání a frézování) při jednom upnutí obrobku. Stroj a řídicí systém musí být výrobcem stroje pro tuto funkci upraveny [13].

1.2.3 Fanuc

Společnost Fanuc vyvíjí a vyrábí nejmodernější automatizační systémy a řešení. Řada řídicích systémů od firmy Fanuc obsahuje jak systémy základní úrovně, určené pro jednodušší stroje, tak komplexní řídicí systémy pro vysokorychlostní obrábění. Komplexní řídicí systémy jsou vybaveny digitálně řízenými servomotory a vřetenovými motory. Řídicí systém Fanuc je nainstalován k vybranému obráběcímu stroji jako kompletní systém včetně zesilovačů, motorů, vstupních a výstupních modulů a strojního panelu. Kompletní řídicí systém poté zajišťuje, zda všechny jeho části jsou sladěny k dosažení optimálního výsledku při řízení obráběcího stroje, a tím také získání nejvyššího možného výkonu a produktivity [14].

Řídicí systémy Fanuc mají celosvětově vynikající pověst, jsou velice populární u operátorů obráběcích strojů i u uživatelů strojů. Společnost eviduje více než 2,4 milionu prodaných řídicích systémů po celém světě. Řídicí systémy Fanuc jsou známy ve světě především díky své vysoké spolehlivosti, přesnosti obrábění, rychlosti a snadné obsluze.

Série 30i/31i/32i

Špičková technologie CNC systémů řady *i* představuje výhody pro výrobce obráběcích strojů i pro koncové uživatele. Díky integrovanému LCD displeji jsou modulární řídicí systémy vysoce kompaktní. Interně vyvinuté obvody s vysokou integrací přispívají k miniaturizaci a nízkému počtu komponentů. Díky tomu tato skutečnost přispívá k vysoké spolehlivosti.

Řídicí systém CNC série *30i* je určen výhradně pro stroje s vysokým výkonem a byl vyvinut na základě podaných požadavků ze strany výrobců obráběcích strojů a jejich obsluhy. Řídicí systém je ideální pro moderní stroje s vysokým výkonem, které vyžadují velký počet os, mnoho kanálů, komplexní i neobyčejné funkce. Díky použití nejmodernějších technologií nabízí tato série nadstandardní funkce:

- ovládání až 40 os, z toho 24 z nich mohou interpolovat současně,
- part program nabízející až 8 MB volného prostoru vhodného zejména pro velké programy, např. pro obrábění forem pro vstříkovací lisy,
- rychlejší doba interpolace a funkce načítání dopředu („*lookahead*“) až 1 000 bloků pro zajištění přesného řízení kontury,
- doba náběhu kratší než 30 sekund od okamžiku zapnutí CNC stroje.

Řídicí systémy série *31i* a *32i* jsou výkonnějšími systémy kompatibilní se stávajícími modely. Mají vylepšené technické vlastnosti a jsou ideální pro mnoho typů strojů. Obě série v sobě mají zabudované řídicí jednotky PMC (*Programmable Machine Controller* – program řízení stroje) pro logické řízení stroje s rychlostí provádění 25ns/krok u programu v reléové logice a schopností provádění až 3 programů zároveň.

Z důvodu minimalizování doby obrábění, je rychlost a přesnost pohybu os velice důležitá. Přesnost a rychlost jsou vlastnosti, které jsou ve zdánlivém protikladu. Nicméně bylo při vývoji řídicího systému série *30i/31i/32i* dosaženo takové úrovně, kdy je zaručena vysoká přesnost při velmi vysoké rychlosti obrábění. Aby mohlo být dosaženo rychlého obrábění, vyžaduje se také rychlý systém řízení stroje. V tomhle ohledu série *30i/31i/32i* zavádí nová měřítko: používá nový, speciální vysokorychlostní procesor, rychlejší interní sběrnici a ovládání servomotorů. Série *30i/31i/32i* snadno zvládne i přesnost v řádu nanometru. Na zlepšení přesnosti a jakosti povrchu se významně podílí nano–interpolace, kterou podporují cyklicky řízené servomotory i včetně snímače polohy s vysokým rozlišením (16 000 000 impulsu za otáčku). Nano–interpolace počítá polohové příkazy v nanometrech a je k dispozici pro soustružení i frézování. Aby se ušetřilo na nákladech výroby strojů, jsou stále více používané obráběcí stroje s pěti ovládanými osami. Potenciální úspory nespočívají jenom v omezení množství přídatku a menší potřebě upínání a nastavování dílců, série *30i/31i* mají také speciální funkce, jež umožňuje jednodušší transformaci souřadnic z konvenční obráběcí roviny na orientaci, která bude více vyhovovat danému dílci, bez nutnosti provádět složité přeprogramování [15].



Obr. 1.6 Série řídicích systémů 30i/31i/32i [16].

1.3 Řezné prostředí využívané při obrábění

Operace třískového obrábění bezpochyby ovlivňují výsledky řezného procesu zejména druh, množství, způsob aplikace a vlastnosti řezného prostředí. Řezné prostředí může být rozdělováno na přirozené (obrábění bez chlazení) nebo umělé prostředí (olej, aerosol vzduchu a oleje, chlazený popřípadě mražený vzduch).

Pozitivní účinky umělého řezného prostředí při třískovém obrábění objevil již v roce 1894 F. Taylor. Zaznamenal, že za přítomnosti velkého množství vody, jež byla aplikována na řeznou oblast, vznikl nárůst řezné rychlosti až o 33% a to bez snížení trvanlivosti nástroje. Od té doby se vývoj řezných prostředí posunul o velkou část kupředu. Řezná prostředí mají několik rozdílných prioritních účinků. Mezi základní patří účinky chladicí, mazací, řezací a čistící. Stejně tak mají různá řezná prostředí rozdílné dominantní účinky na obráběcí proces. Například hlavní výhodou použití řezných olejů je lubrikace na rozhraní nástroje a třísky. Povodňové chlazení nebo aplikace plynu či upraveného vzduchu se vyznačuje zejména chladicím a čistícím účinkem.

Správná volba řezného prostředí ovlivňuje jednotlivé aspekty řezného procesu. Pro možnost kvalifikovaného doporučení řezného prostředí pro danou oblast pracovních podmínek je nezbytné určit vliv účinků jednotlivých způsobů chlazení a mazání na hlavní aspekty řezného procesu. Patří k nim především možnosti a chování řezného nástroje, integrita obrobeného povrchu, silové parametry obráběcího procesu a třískové hospodářství. Volba vhodného řezného prostředí pro určitý způsob obrábění probíhá hlavně kvůli dosažení předepsaných výsledků z hlediska trvanlivosti nástroje, jakosti povrchu – drsnosti a zpevnění povrchu, rozměrové přesnosti obrobku nebo typu utvářené třísky.

Dle různých názorů jsou výhody v použití umělých řezných prostředí především nárůst produktivity, zvýšení trvanlivosti nástroje, zvýšení řezných podmínek, zlepšení jakosti povrchu, snížení deformací obrobku způsobených nárůstem teploty a napomáhání tvorby

a odstraňování třísek. Rovněž je také použití chladicího a mazacího média při řezném procesu doprovázeno různými komplikacemi. V nedávné době se začal řešit problém ekologického charakteru. Jedná se zejména o problémy pro nejbližší prostředí a likvidaci odpadů. Zmíněné body souvisí se stále se zpříšňujícími podmínkami bezpečnosti práce a legislativními nařízeními. Ve značné míře také existující nebezpečí z hlediska zdraví obsluhy a se zvýšením nákladů. Jak dokazuje studie [17], tak v některých případech obrábění byly prokázány zcela protichůdné účinky prostředí na řezný proces.

Výzkum byl zaměřen na porovnání vlivu různých řezných prostředí na trvanlivosti břitu, velikost sil, jakosti obrobené plochy a zbytkových napětí. Pro výzkum bylo použito celkem šest různých prostředí, která lze stručně charakterizovat:

- suché obrábění – obrábění bez chlazení (neupravený vzduch),
- chlazení olejovou emulzí dodávanou externími tryskami,
- chlazení olejovou emulzí dodávanou středem nástroje,
- minimální mazání (MQL – *minimum quantity lubrication*) externími tryskami – aerosol vzduchu a oleje,
- chlazení chlazeným vzduchem – tlakový vzduch o teplotě 4 °C,
- chlazení mraženým vzduchem – tlakový vzduch o teplotě - 8 °C.

Nejprve byla pozorována trvanlivost břitu nástroje. Vliv řezného prostředí na opotřebením břitu spočívá především v působení na intenzitu tvorby žlábků opotřebením na čele břitu. Nejintenzivnější tvorba žlábků byla pozorována u chlazení vzduchem, dále pro chlazení vzduchem o teplotě 4 °C, k omezení tvorby žlábků došlo v případě chlazení za aplikace MQL. Při použití ostatních řezných prostředí, u kterých byl předpokládán výrazný chladicí účinek, nebyl žlábek vůbec pozorován. Z toho vyplývá, že intenzita opotřebením je ovlivněna především teplotou v místě kontaktu. Z druhého hlediska vyplývá, že v důsledku tepelných šoků působících na řezný nástroj vedlo u procesu chlazení olejovou emulzí a mraženým vzduchem k vzniku mikrotrhlin. Vznik a iniciace trhlin vedly k předčasné destrukci nástroje.

Z hlediska vlivu řezného prostředí na drsnost obrobené plochy byly vyhodnocovány parametry jako Ra, Rt a Rz. V tomhle případě dosahovali všechny druhy chlazení téměř stejných hodnot, nejnižší drsnost, byla naměřena v případě chlazení MQL.

Z experimentálního výzkumu, vlivu různých řezných prostředí na řezný proces, bylo prokázáno, že při frézování oceli byl nejvýraznější účinek řezných prostředí zaznamenán u intenzity opotřebením břitu tudíž jeho trvanlivosti. Komplexně nejúčinnějším řezným prostředím bylo určeno chlazení a mazání řezného procesu minimálním množstvím oleje. Dostačujících výsledků bylo dosaženo také při obrábění bez použití chlazení. Daným výzkumem tak bylo prokázáno, že výrazně ekologičtější řezné prostředí, zejména pak MQL chlazení a suché obrábění, mohou být při standardních obráběcích operacích mnohdy účinnější než umělá prostředí v podobě emulzních kapalin. Chlazení řezného procesu za pomoci kapalin s nižší teplotou je v podobných případech obrábění neúčinné [17].

1.4 Způsoby programování

Programátor obráběcího stroje si může vybrat z více způsobů jak vytvořit NC program. Výrobci řídicích systémů si uvědomují, že ne vždy ovládá stroj plně kvalifikovaný

pracovník v oblasti tvorby programu. Díky tomu se snaží co nejvíce ulehčit práci u stroje a integrují do svých řídicích systémů různé prvky, které výrazně zjednodušují programování. Daný program nemusí být vždy vytvářen přímo na stroji. Je zde také možnost vytvořit program samostatně na počítači mimo stroj. Většinou má na svědomí vytváření programu programátor popřípadě technolog. Následně je možné přesunout daný program buď pomocí síťové komunikace, nebo pomocí přenosných médií přímo do adresáře stroje.

Mezi hlavní a nejpoužívanější způsoby programování patří ISO programování, ruční programování, programování pomocí obráběcích cyklů, dílensky orientované programování nebo vytváření programu pomocí CAD/CAM technologií [18].

Způsob programování v řídicím systému ProNC2 je detailně probrán v kapitole 4.3.

1.4.1 ISO programování

Programování pomocí ISO kódu nebo někdy také označováno pojmem programování v G-kódu. Pro vytváření programu je potřebná značná znalost jednotlivých příkazů a funkcí. Ještě před vlastní tvorbou programu by si měl každý programátor uvědomit základní postupy a možnosti programování v daném řídicím systému.

Struktura bloku

Délka jednoho bloku a posloupnost jednotlivých slov by se z důvodu snadnější orientace měla řídit normou. Slova jednoho bloku dle ISO 6983 by měla být uspořádána v pořadí: N...G...X...Y...Z...F...S...T...D...M...H... Významy jednotlivých znaků jsou zobrazeny v tab. 1.1.

Tab. 1.1 Významy znaků pro ISO programování [19].

| Adresa | význam |
|----------------|---|
| N | Adresa čísla bloku, např. blok č. 40 = N 40, |
| G | podmínka dráhy, lineární interpolace, rychloposuv, kruhová interpolace atd., |
| X, Y, Z | informace o dráze – určují pohyby jednotlivých os, jsou doplněny o číselné hodnoty, |
| F | rychlost posuvu, |
| S | velikost otáček, |
| T | nástroj – slouží k výběru nástroje, |
| D | korekční hodnoty nástroje, |
| M | doplňková funkce – jedná se o povely k činnostem nevztahujícím se přímo k osám, |
| H | pomocná funkce. |

Příklad zadání bloku může být například následující:

N 40 G00 X100 Y20 F0,2 S1000 T03 M03

Věta nám oznamuje, že se má daný nástroj posunout pomocí lineární interpolace na souřadnice bodu při zadaných hodnotách posuvu na otáčku a otáček za minutu. Doplňková funkce M03 znamená zapnutí vřetene ve směru hodinových ručiček [19].

1.4.2 Dílenské programování

Dílensky orientované programování znamená vybavení řídicího systému grafickou podporou, která je zpravidla realizována přímo na ovládacím panelu obráběcího stroje. Výhodou dílenského programování je, že obsluha nemusí mít detailní znalosti ohledně charakteristiky a posloupnosti bloků v programu. Dílensky orientované programování většinou zjednodušuje programový zápis. Je tedy možné i v rušném provozu dílen naprogramovat obrábění značného množství typů součástí přímo dle technického výkresu. Způsob programování je u různých výrobců odlišný, například Heidenhain a Sinumerik využívá principu vyplňování tabulek [18].

1.4.3 Programování za pomoci cyklů

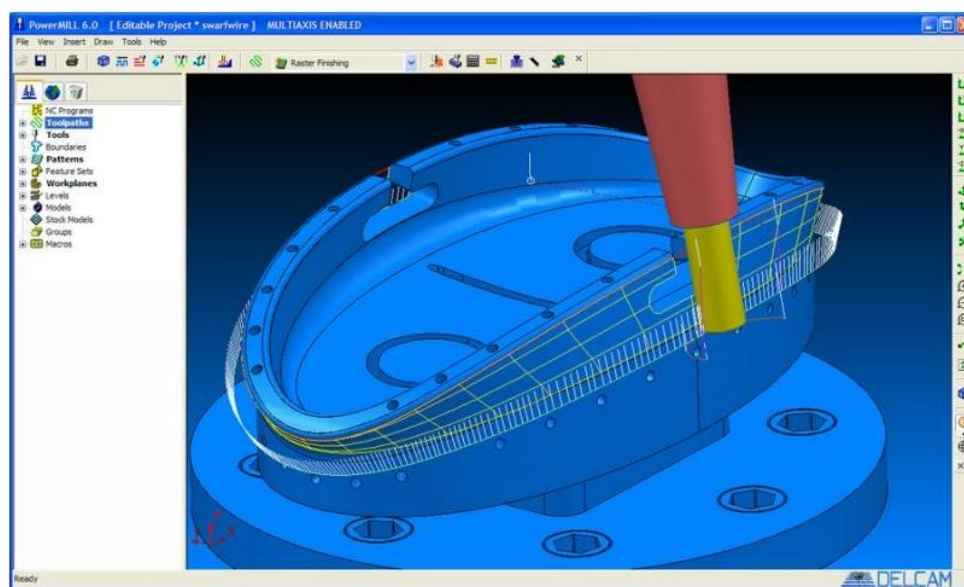
Programátor využívá obráběcí cykly, jež jsou integrovány do většiny řídicích systémů. Tyto cykly jsou přizpůsobené požadované technologii a výrazně zjednodušují vytvoření programu.

Na počátku programu je nutné specifikovat parametry potřebné pro samotný proces řízení stroje. Jedná se například o definování nulového bodu, pracovní roviny, v níž se bude programovat, nebo způsob programování. Po zadání potřebných parametrů vyvolá programátor cyklus, který potřebuje pro správné naprogramování dané kontury.

V současné době je také hojně využíváno programování pomocí tzv. maker. Využívají se k velmi často opakovaným operacím. Významným rozdílem oproti programování za pomoci cyklů je možnost vytvořit si své vlastní makra dle potřebných požadavků. Programování součástí typu makro v řídicím systému ProNC2 je dále představeno v kapitole 4.3.7 [6].

1.4.4 CAD/CAM programování

Využití CAD/CAM technologie se používá převážně tam, kde není možné (nebo je obtížné a zdoluhavé) použití ručního nebo ISO programování (např. z důvodu složitosti obráběného dílce). Používá se převážně pro výrobu komplexních obrobků, forem a zápustek, střížných nástrojů, dílů pro letecký průmysl, lopatky turbín apod. Datovým výstupem mohou být tzv. CL data, která se v následném kroku pomocí postprocesoru přetřansformují na jednotlivé formáty řídicích systémů obráběcích center. Softwarů označovaných zkratkou CAD/CAM je na trhu značné množství, do této kategorie můžeme zařadit např.: PowerMILL (obr. 1.7), CATIA, Pro/Engineer [20].



Obr. 1.7 Prostředí CAD/CAM softwaru [21].

2 PROBLEMATIKA VÝROBY TENKOSTĚNNÝCH SOUČÁSTÍ

Tenkostěnné části jsou hojně využívány v letectví, kosmickém, automobilním i energetickém průmyslu. Vzhledem ke svým tvarům a nízké tuhosti tenkostěnných částí jsou náchylné k deformacím během obráběcího procesu. Tenkostěnné konstrukce jsou velmi jednoduše deformovatelné řeznými silami, jež mají vliv na výslednou kvalitu povrchu či přesnost daných částí. U dokončovacího frézovacího procesu je tloušťka částí snižována postupně, což dělá proces náchylnější na kontrolu přesnosti. Na tuto problematiku bylo v minulosti již několikrát upozorněno ve studiích, jež predikovaly deformování tenkostěnných částí. Většina výzkumných pracovníků si uvědomovala, že hlavním faktorem ovlivňující deformace částí je řezná síla. Tématem těchto studií bylo stanovení řezné síly pomocí metody konečných prvků. Metody konečných prvků bylo použito jak pro simulaci procesu obrábění, tak pro určení deformací tenkých stěn.

Za tenkostěnné části jsou nejčastěji označovány ty části, u kterých je tloušťka h menší než minimální rozměr b . Rozčlenění bude podrobně probráno v kapitole 2.3. Za velmi pružné součásti jsou považovány ty, co mají tloušťku stěny tenčí než 5 mm a hloubku axiálního řezu větší než 30 mm. V jednom z mnoha výzkumů pojali nástroj a součást jako pružnou sestavu a v tomto uspořádání zkoumali chybu ve frézovacím procesu.

Mnoho odborných prací a dlouhodobých studií věnovaly pozornost deformacím prostřednictvím frézovacích operací a modelů. Frézovací modely typu tuhosti obrobku a pružnosti nástroje, nebo ve vztahu pružnosti obrobku a tuhosti nástroje. Tuhost nástroje a tenkostěnné části v ohybu se ve většině případů stanovují pomocí analytických či numerických modelů [22].

Stále rozvíjející se metoda obrábění tenkostěnných součástí je obrábění pomocí metody *High Speed Machining* (HSM). Jedná se o obrábění materiálů mnohdy až šestinasobnou rychlostí oproti konvenčním metodám obrábění. HSM je jednou z moderních technologií obrábění, která ve srovnání s konvenčními metodami umožňuje zvyšovat efektivnost, přesnost a kvalitu obrobku. Dále snižuje náklady na výrobu a čas potřebný na obrábění [24].

Tuhost nástroje a tenkostěnné části

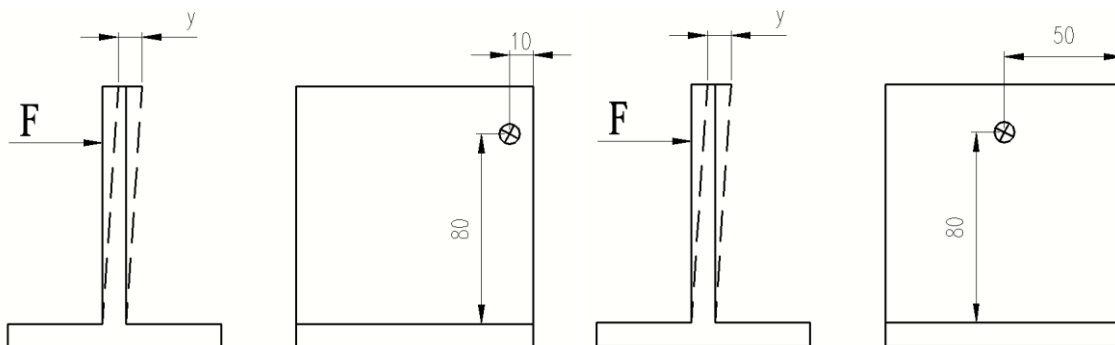
Technologický soubor tuhosti se zabývá odolností vůči pružné deformaci. Jeho vliv na obrábění zejména v otázce přesnosti obrábění vzhledem k výskytu vibrací. Podle mnoha různých autorů podléhá tuhost v ohybu následujícímu trendu. Čím tužší nástroj, obrobek či tenkostěnná část, tím větší odolnost vůči pružné deformaci.

Tuhost tenkostěnných částí

Technologický soubor tuhosti se odkazuje na odolnost vůči pružným deformacím a její vliv na obrábění. Obecně platí, že se zvyšující se tuhostí nástroje a obrobku se zabraňuje vibracím vyskytujících se při obrábění. Tuhost a hmotnost nástroje i obrobku určuje vibrační frekvenci. Tuhost u tenkostěnných součástí může způsobovat změny v řezném procesu, protože materiál je odebírán ve formě třísek. Ke stanovení pevnosti je nezbytné lokalizovat pravděpodobné místo ohybu tenkostěnné součásti. Ohyb může být stanoven analyticky nebo numericky pomocí metody konečných prvků. Nicméně analytické stanovení výchyly u tenkostěnných součástí je docela složité [22].

2.1 Výchylka tenkostěnné části

V případě, že je tenkostěnná část vystavena zatížení pomocí osamělé síly F bude stěnová vychylka nabývat různých hodnot. Velký význam má umístění dané síly. Na obr. 2.1 je znázorněno různé zatížení stěny. V případě zatěžující síly uprostřed bude vychýlení součásti menší, než když bude síla umístěna v rohu součásti. Rozměry tenkostěnné části byly 100 x 100 x 10 mm. Porovnání jednotlivých zatížení je znázorněno v tab. 2.1.

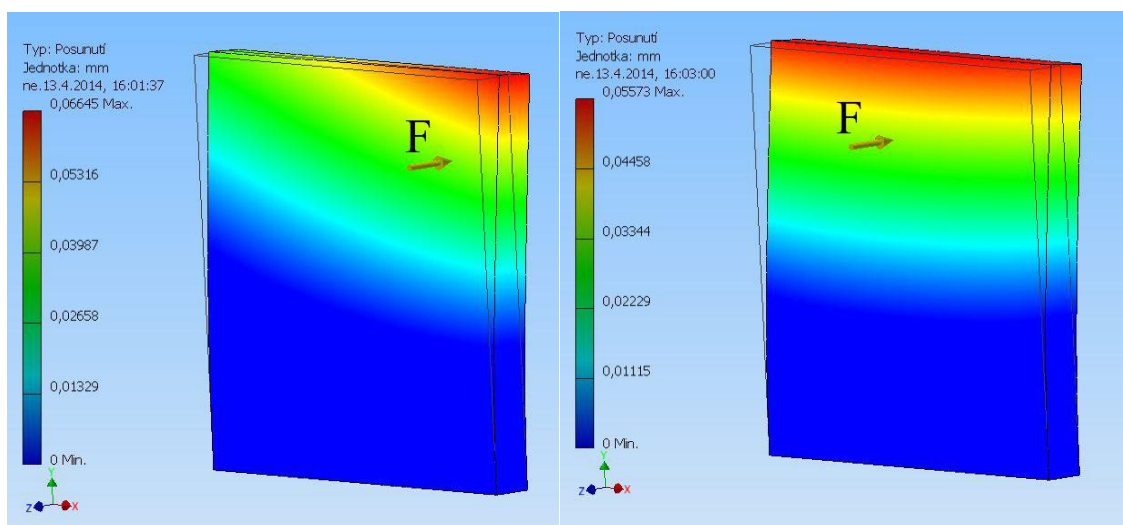


Obr. 2.1 Porovnání zatížení tenkostěnné části [22, 23].

Tab. 2.1 Hodnoty zatížení v jednotlivých místech části [22, 23].

| | místo zatížení | |
|---------------------|----------------|----------|
| | uprostřed | v rohu |
| zatěžující síla [N] | 50 | |
| max. vychylka [mm] | 0,018 58 | 0,022 15 |
| zatěžující síla [N] | 75 | |
| max. vychylka [mm] | 0,027 86 | 0,033 23 |
| zatěžující síla [N] | 100 | |
| max. vychylka [mm] | 0,037 15 | 0,044 3 |
| zatěžující síla [N] | 150 | |
| max. vychylka [mm] | 0,055 73 | 0,066 45 |

Simulace ohybu části byla provedena v prostředí programu Inventor Pro 2014. Zatěžující síla byla postupně měněna v rozmezí 50, 75, 100 a 150 N. Jako materiál byla zvolena hliníková slitina s Youngovým modulem pružnosti 70 GPa a Poissonovým číslem 0,33. Hustota materiálu je $2,710 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Výsledky simulace pro součást o tloušťce 10 mm a zatěžující síle 150 N je zobrazena na obr. 2.2.



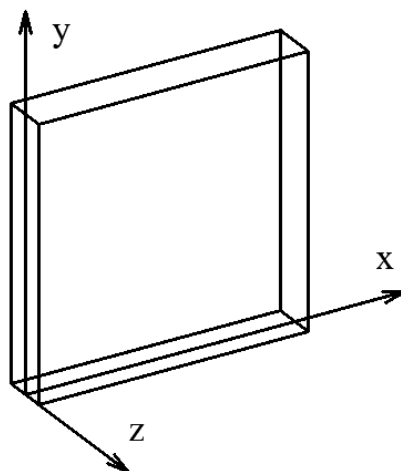
Obr. 2.2 Ohyb součásti zatížený silou uprostřed a na okraji součásti.

V odborné publikaci [23] testovali vliv silových zatížení při frézovacím procesu. S ohledem na stále vyšší požadavky na rychlost a výkon obrábění v případě použití součástí v průmyslu jsou využívány tenkostěnné součásti většinou z hliníkových slitin. Vzhledem k velké ploše obrábění a nízké tuhosti jsou většinou tenkostěnné součásti obráběny pomocí CNC strojů.

Výzkum se zabýval určením velikostí deformací v případě dokončovacích metod frézování. Na simulace bylo použito simulačního softwaru ANSYS 10.0.

V mém případě jsem se zabýval vrtacími operacemi a velikostmi deformací. Deformace byly stanovovány v programu Inventor Pro 2014. Program ANSYS 10.0, stejně jako Inventor Pro 2014, využívá metod konečných prvků ke stanovení deformací.

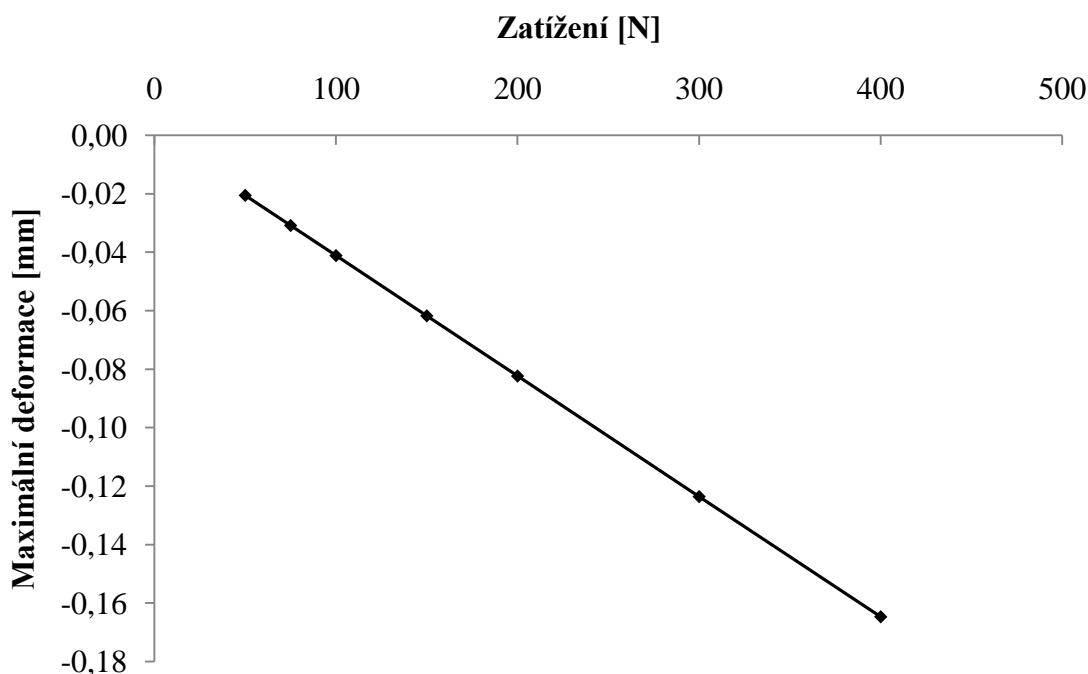
Pro správné určení výpočtů je nutno zadat vstupní parametry. Jedná se o materiálové vlastnosti, omezující okrajové podmínky a další omezení. Axiální řezná síla byla aplikována pomocí samostatné síly, která působí v kontaktní zóně mezi vrtákem a obráběnou částí. Díky použití analýzy konečných prvků lze deformace v každém bodě tenkostěnné části předpovídat. Velikost tenkostěnné části má stejné rozměry jako v předchozím případě 100 x 100 x 10 mm. Materiálové vlastnosti jsou také stejné, jedná se o hliníkovou slitinu. Ve všech případech výzkumu se řídí pomocí kartézského souřadného systému, směr osy z se řídí pomocí pravidla pravé ruky (obr. 2.3).



Obr. 2.3 Souřadný systém obráběné části [23].

Vliv zatížení na deformaci tenkostěnné části

Zatěžující síla působila na součást v bodě $x = 25$ mm a $y = 80$ mm. Zatížení bylo postupně zadáváno v hodnotách 50, 75, 100, 150, 200, 300 a 400 N. U použití metody konečných prvků byla tenkostěnná část rozdělena pomocí sítě. Předpokládá se, že spodní okraj desky (v místě $y = 0$ mm) je pevný. Hodnoty deformací mohou být získány z každého bodu na tenkostěnné části. Vliv zatížení pomocí jedné síly na maximální deformaci tenkostěnné součásti je uveden v obr. 2.4 [23].

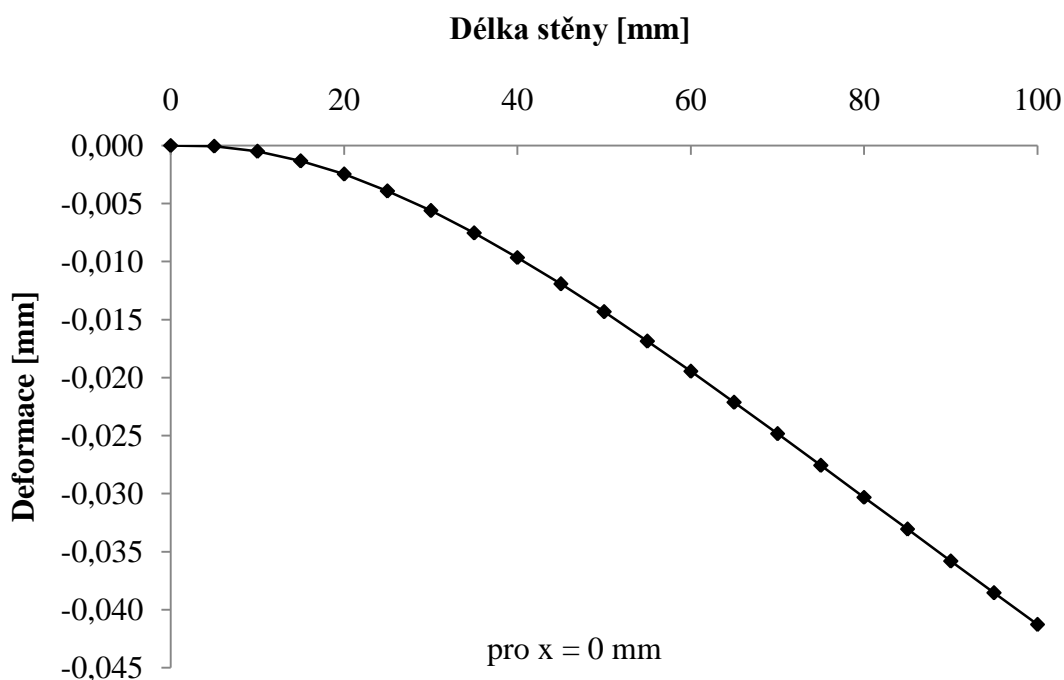


Obr. 2.4 Vliv zatížení na deformaci tenkostěnné části [23].

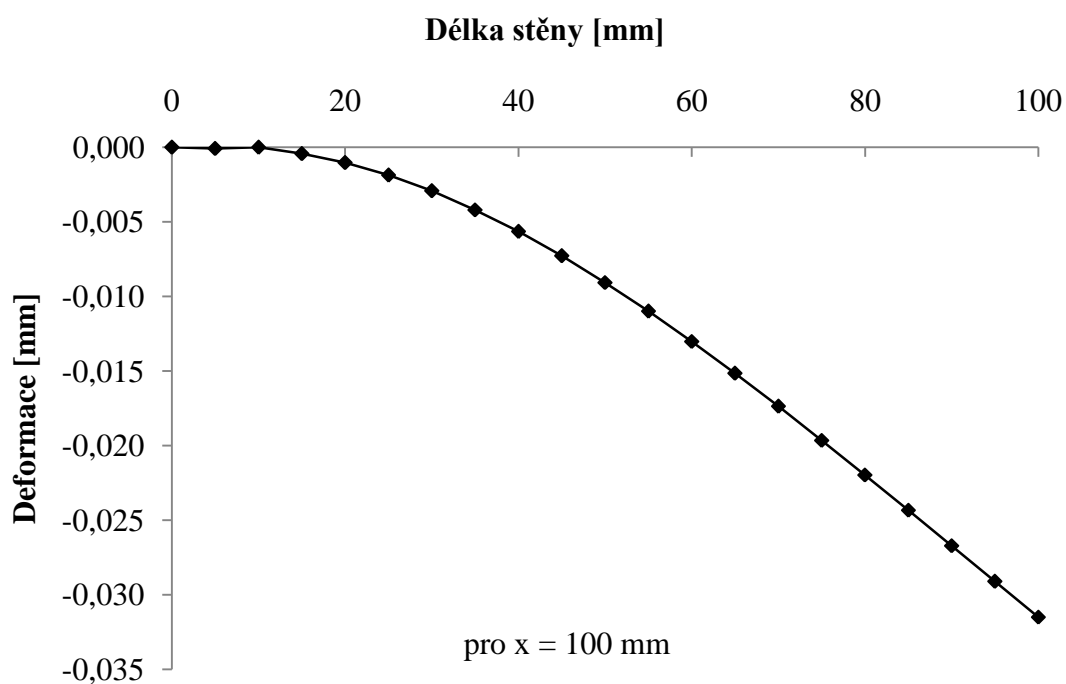
Na obr. 2.4 je znázorněna maximální deformace tenkostěnné části v případě vrtací operace. Jak je znázorněno, se zvyšujícím se zatížením vzrůstá maximální deformace. Je-li jednotka zatížení konstantně zvyšována bude mít její velikost vliv na konečnou deformaci dílu.

V souladu s tím je vhodné volit parametry řezného procesu tak, aby byla omezena řezná síla, která zajišťuje deformace tenkostěnné části. Také vhodnost zvolení řezných podmínek ovlivňuje přesnost a kvalitu obráběného dílu.

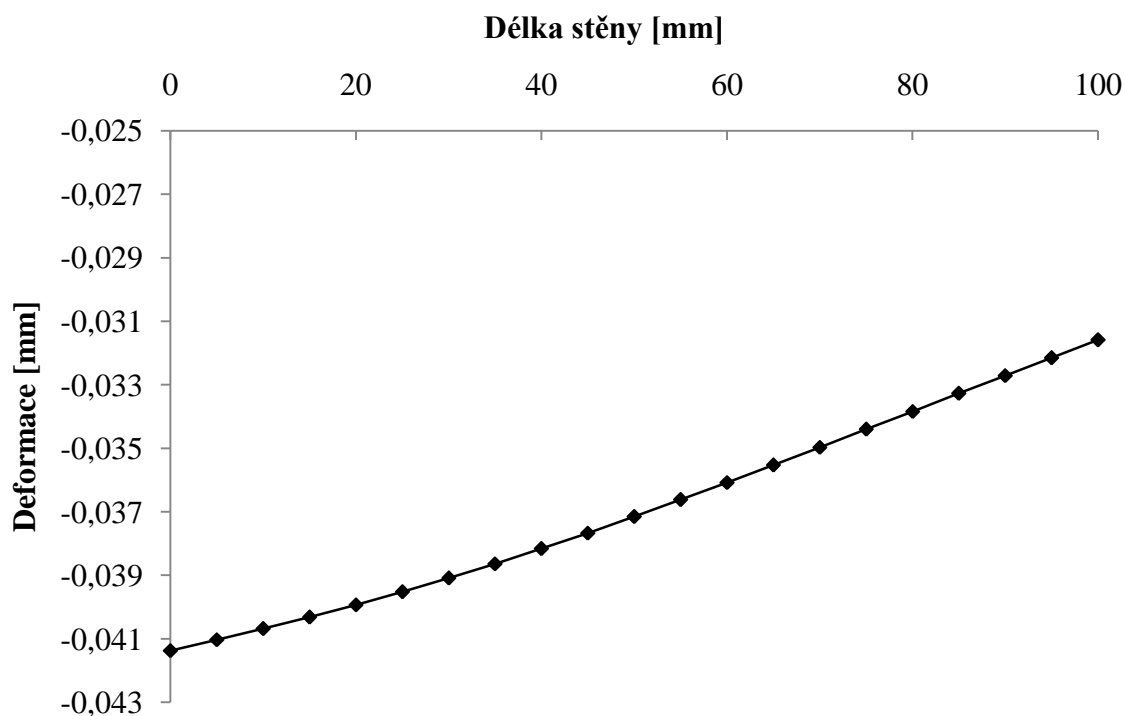
Deformace každé strany pod jednotným zatížením 100 N. Zatížení probíhalo ve stejném bodě $x = 25$ mm a $y = 80$ mm. Obr. 2.5, obr. 2.6, obr. 2.7 ukazují, že deformace má společné pravidla. To znamená, že deformace se postupně zvyšuje od spodní části, ve které je upnutá součást k horní volné části. Popřípadě, od vzdálenějšího bodu než působí síla. Pokud působí vrták v určitém místě tenkostěnné části, deformace volného konce nejbližší tomuto bodu je maximální. V daném případě se jedná o místo s maximální deformací, jež má souřadnice $x = 0$ mm a $y = 100$ mm. Z toho důvodu čím vyšší je výška dané částí, tím větší deformace část vyvolává [23].



Obr. 2.5 Deformace za použití statické síly, sledované podél osy y.



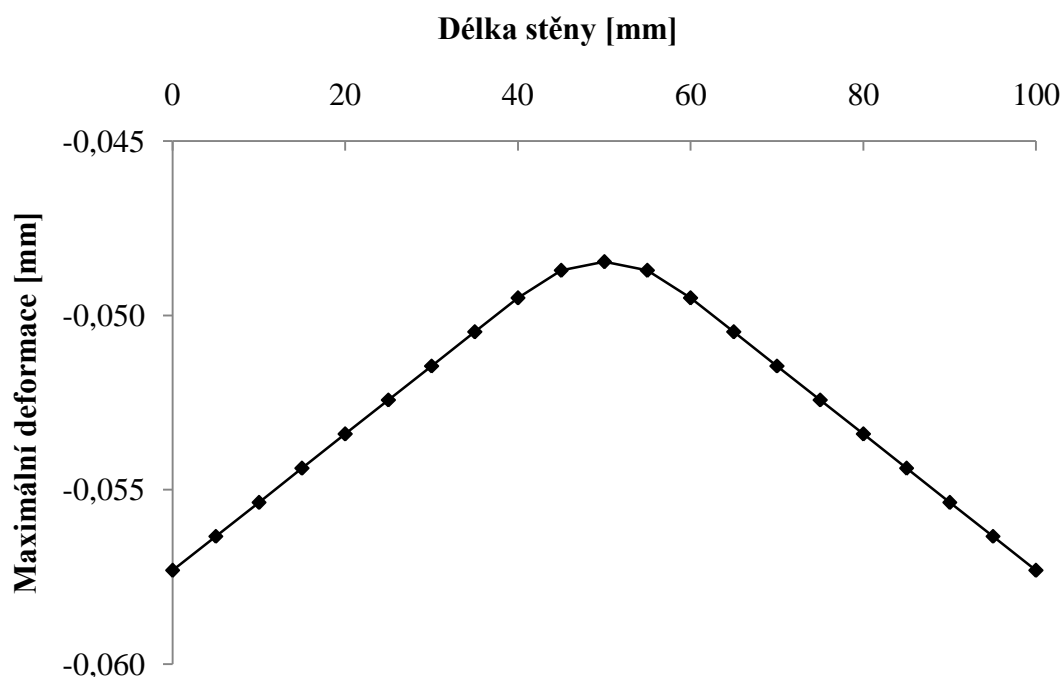
Obr. 2.6 Deformace za použití statické síly, sledované podél osy y.



Obr. 2.7 Deformace za použití statické síly, sledované podél osy x.

Vliv umístění vrtáku na deformaci tenkostěnné části

Na obr. 2.8 je demonstrováno zatížení dané tenkostěnné součásti ve vzdálenosti $y = 80$ mm při stanovených hodnotách $x = 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100$ mm. Zatěžující síla je stanovena na 100 N.

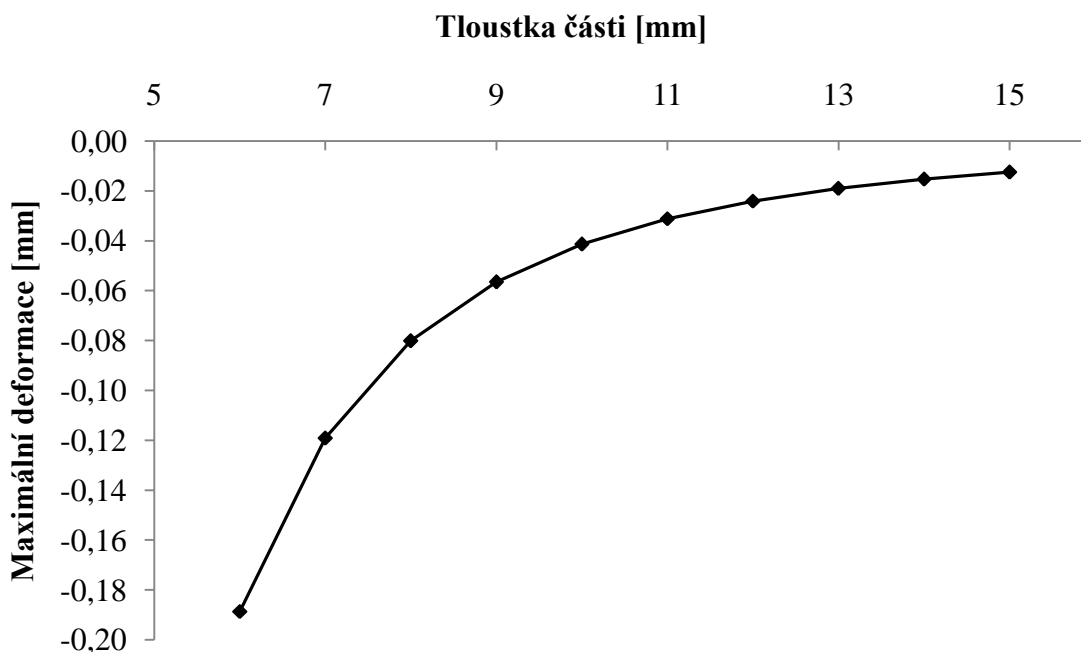


Obr. 2.8 Vliv místa obrábění v ose x, na maximální deformaci.

Obr. 2.8 ukazuje, že jsou zřejmé rozdíly, pokud vrták působí na jiných místech ve směru osy x. Rozdělení deformace je symetrické s ohledem na střed tenkostěnné části ($x = 50$ mm). Maximální hodnoty deformace jsou v místě $x = 0$ mm a $x = 100$ mm, přičemž minimální hodnoty deformace jsou v místě $x = 50$ mm. Z grafu vyplývá, že ve volných okrajích tenkostěnné části narůstá maximální deformace rychleji než je tomu v případě zatížení ve středu části [23].

Vliv tloušťky části na deformaci tenkostěnné části

Zatěžující síla o hodnotě 100 N působila v místě $x = 25$ mm a $y = 80$ mm. Tloušťka jednotlivých částí byla 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14 a 15 mm. S ohledem na stanovování studií deformací lze říci, že při zvyšování tloušťky části postupně od 6 mm do 15 mm, lze maximální deformace získat v každé z těchto částí. Vliv tloušťky částí na maximální deformace tenkostěnných částí je znázorněno na obr. 2.9.



Obr. 2.9 Vliv tloušťky části na maximální deformaci.

Maximální deformace mají inverzní poměr tloušťky stěny při stejné jednotce zatížení, jež je aplikováno. To znamená, že čím tenčí je tloušťka částí, tím větší jsou deformace. Od určité minimální hodnoty tloušťky části se začíná maximální deformace výrazně zvyšovat [23].

2.2 Výchylka nástroje

Výchylka nástroje přímo souvisí s tuhostí nástroje. Tuhost nástroje může být stanovena jak analyticky tak numericky. Z hlediska analytického výpočtu musíme být schopni vypočítat výchylku nástroje. Výchylka nástroje je definována vztahem (2.1). Následně musí být splněno pevné uchycení stopky nástroje, jeho neporušení v celé délce a zatížení je nahrazeno osamělou silou, jež má působiště v bodě osy nástroje. Ohyb nástroje a jeho zatížení pomocí osamělé síly je ilustrováno na obr. 2.10.

Výchylka nástroje dle obr. 2.10 může být stanovena pomocí vztahu (2. 1) ,

$$w_A = \frac{\partial w}{\partial F} = \int_0^l \frac{M_o}{E \cdot J} \cdot \frac{\partial M_o}{\partial F} \cdot dx \quad (2. 1)$$

kde: M_o [N·m] - ohybový moment,

E [GPa] - modul pružnosti v tahu, Youngův modul pružnosti,

J [m⁴] - osový kvadratický moment.

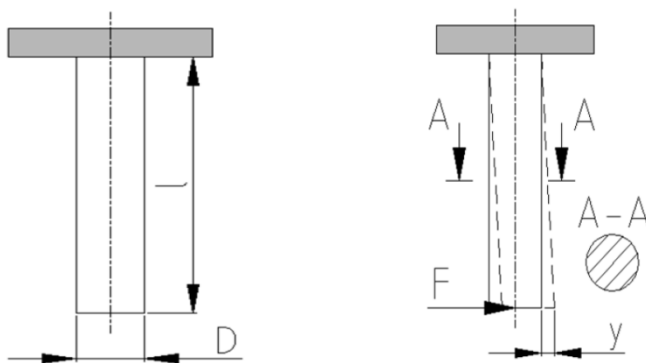
Integrací a úpravou vzorce dostaneme podobu vzorce (2. 2),

$$y = \frac{F \cdot l^3}{a \cdot E \cdot J} \quad (2. 2)$$

kde: F [N] - zatěžující síla,

l [m] - délka vyložení nástroje,

a [-] - koeficient, jehož hodnota závisí na podmínkách podpory zatížení (pro tento případ se $a = 3$).



Obr. 2.10 Nástroj a ohyb nástroje za použití síly [22].

Osový kvadratický moment pro kruhový průřez je stanoven pomocí vztahu (2. 3),

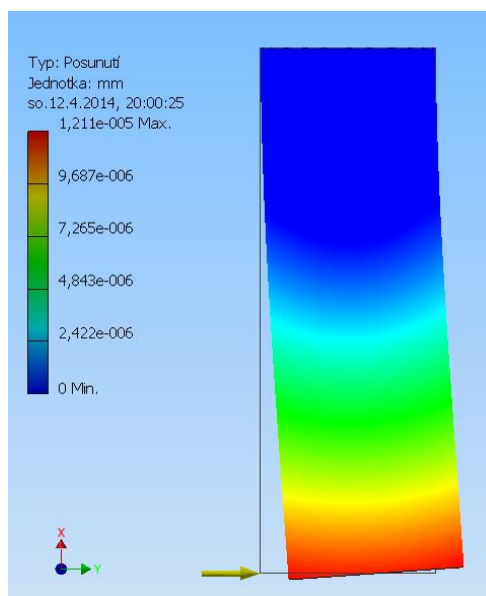
$$J = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad (2. 3)$$

kde: D [mm] - průměr nástroje.

Poté tuhost nástroje může být vyjádřena jako:

$$k = \frac{F}{y} \quad (2. 4)$$

Průměr nástroje, jež byl použit ve výzkumu [22] byl $D = 20$ mm, délka nástroje $l = 60$ mm. Ohyb nástroje byl počítán dle vztahu (2. 2) a tuhost nástroje v ohybu byla numericky stanovena pomocí vztahu (2. 4). Simulace výsledku ohybu, graficky znázorněna na obr 2.11, byla provedena v programu Inventor Pro 2014. Tuhost nástroje a rozdíly v analytickém a numerickém výpočtu jsou stanoveny v tab. 2.2.



Obr. 2.11 Ohyb nástroje v programu Inventor Pro 2014.

Tab. 2.2 Rozdíly při analytickém a numerickém výpočtu [22].

| | Analytický výpočet | Numerický výpočet |
|---------------|------------------------------|------------------------------|
| Tuhost | 65 449,84 kN·m ⁻¹ | 82 576,38 kN·m ⁻¹ |

2.3 Obrábění tenkostěnných součástí podélným frézováním

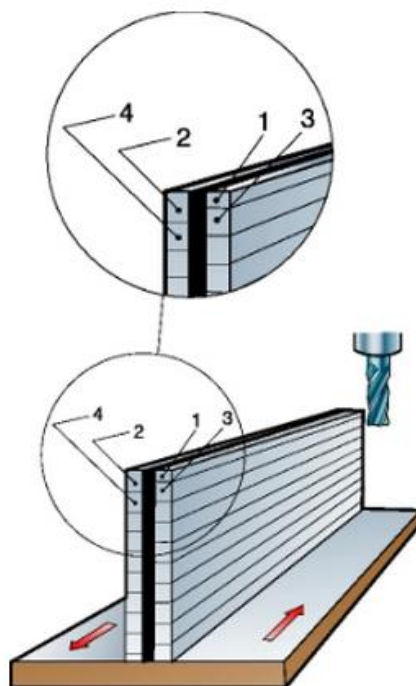
Způsoby obrábění tenkostěnných částí se liší v závislosti na jejich výšce a tloušťce stěny. Využívají se stejné metody pro použití u různých materiálů. Využívá se tak stejných metod jak pro obrábění hliníku tak také pro obrábění titanu.

Výrazně výhodnější je využití vysokorychlostního obrábění, jelikož malé a_p nebo a_e a vysoká řezná rychlost zkracuje dobu záběru nástroje v řezu a v důsledku toho se snižují rázy a průhyb. Zpravidla se upřednostňuje využívání sousledného frézování. Frézování dle poměru výšky k tloušťce dělíme na:

- malý poměr výšky k tloušťce $< 15:1$,
- střední poměr výšky k tloušťce $> 15:1$ a zároveň $< 30:1$,
- velmi vysoký poměr výšky k tloušťce $> 30:1$ [25].

2.3.1 Malý poměr výšky k tloušťce

Jedná se o obráběné kusy, jež mají poměr výšky k tloušťce menší než 15:1. Průchody frézy jsou prováděny tzv. „cikcak“ jenž je znázorněno na obr. 2.12. Způsob obrábění se provádí obrobením jedné strany stěny, na několik vzájemně se nepřekrývajících průchodů. Stejný postup se opakuje na druhé straně. Na obou stranách je vhodné ponechat přídavek pro dokončující operace [25, 26].



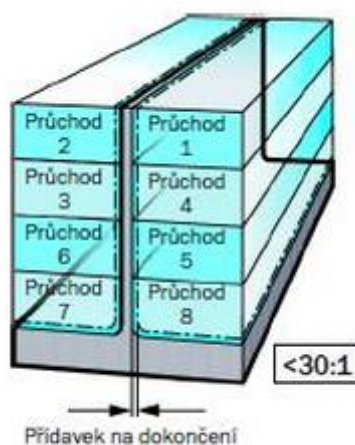
Obr. 2.12 Způsob obrábění pomocí metody „cikcak“ [25, 26].

2.3.2 Střední poměr výšky k tloušťce

Frézování součástí, jež patří do skupiny středního poměru výšky k tloušťce, se rozděluje na dva způsoby. U každého způsobu je také vhodné ponechání přídávku na dokončovací operace.

Nepřekrývané frézování

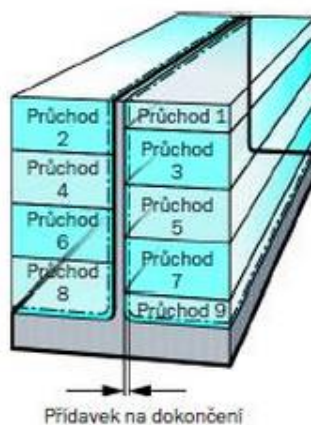
Frézování se provádí pomocí střídání stran, kdy je odebrán materiál do určité hloubky z jedné strany stěny a následně je stejné množství materiálu odebráno z druhé strany stěny. Průchody jednotlivých úběrů se nepřekrývají. Nepřekrývaný způsob frézování je také někdy označován jako frézování po vrstevnici [25, 27].



Obr 2.13 Nepřekrývaný způsob frézování [25].

Překrývané frézování

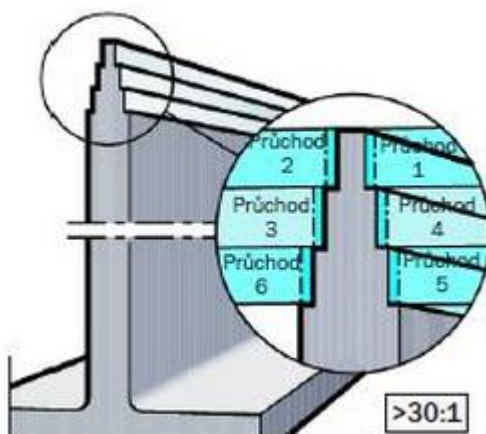
Jedná se o frézování s tzv. opěrnými stupni. Má podobné pojetí jako předchozí způsob. S tím rozdílem, že se navzájem přesahují řezy mezi jednotlivými průchody na protějších stranách stěny, jež je zobrazeno na obr. 2.14. Pomocí tohoto způsobu je dosahováno větší opory v místě řezu. První průchod nástroje se provádí se sníženou hloubkou řezu, tj. $a_p/2$ [25].



Obr. 2.14 Překrývaný způsob frézování [25].

2.3.3 Velmi vysoký poměr výšky k tloušťce

Následující způsob se používá pro velmi vysoké poměry výšky k tloušťce součástí. Využívá se tzv. principu „vánočního stromku“. Používá se střídání stran během obrábění, stejně jako tomu je u nepřekrývaného frézování. Tenčí místa jsou vždy podpírána tlustší částí, která se nachází pod tenčí částí. Obrábění je znázorněno na obr. 2.15 [25, 28].



Obr. 2.15 Frézování za využití tzv. „vánočního stromku“ [25].

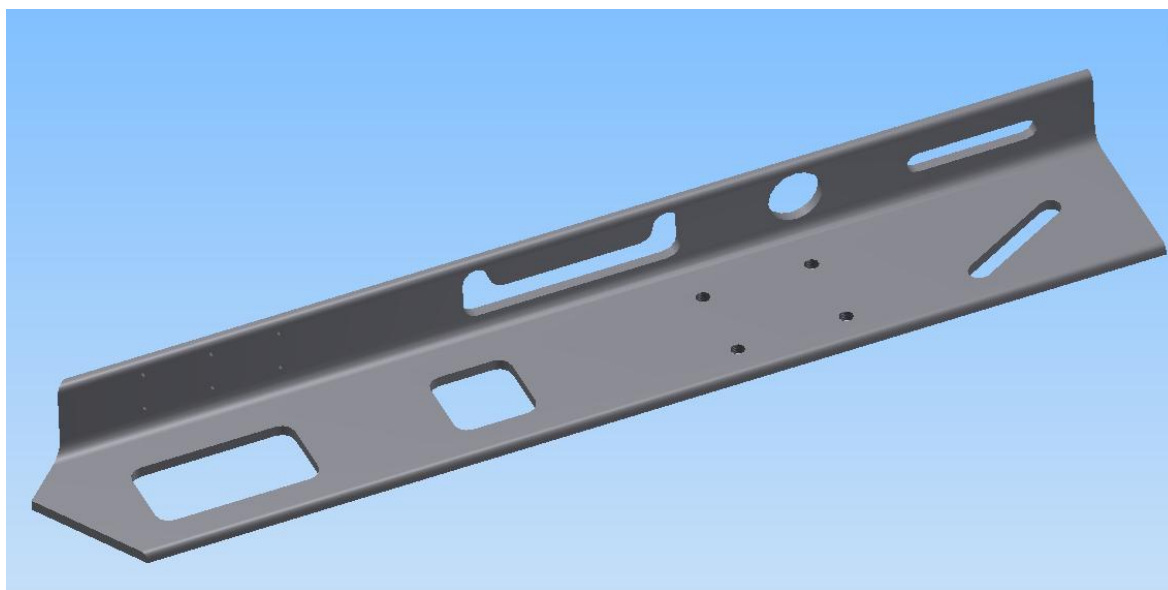
3 NÁVRH A ZPRACOVÁNÍ TECHNICKÉ DOKUMENTACE OBRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

Obráběná součást byla vyráběna ve firmě SSI Schäfer s.r.o. během pracovní stáže, jež jsem ve firmě absolvoval během akademického roku 2013/2014. Na stroji jsou převážně zpracovávány konstrukční profily, jež jsou používány především pro objekty o velkých rozměrech. Na obr. 3.1 je možno vidět zcela automatizovaný výškový sklad, kde základem je samonosná ocelová konstrukce. Kompletní konstrukce je vyrobena z konstrukčních profilů různých průřezů.



Obr. 3.1 Výškový sklad [1].

Konstrukční profily obráběné na stroji Vernet – Behringer dosahují délek až 12 m. Z důvodů předvedení reálné součásti a možnosti ověření správnosti programování byla vytvořena modelová součást, která je zobrazena na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Modelová součást.

3.1 Výkres navržené součásti

Výrobní výkres profilu, který je znázorněn na obr 3.2 je přiložen v příloze č. 3. Na daném profilu budou obráběny následující prvky: vrtání děr, řezání metrických závitů M12 a M4, frézování obdélníkových kapes, frézování tvarového prvku, frézování kruhového otvoru a frézování drážek. Dále bude profil opatřen popisem, který bude proveden pomocí funkce V-scoring. Na kratší straně profilu bude označeno místo pro budoucí svařovací operaci, aby bylo pracovníkovi usnadněno a urychleno usazování přivařovaného kusu.

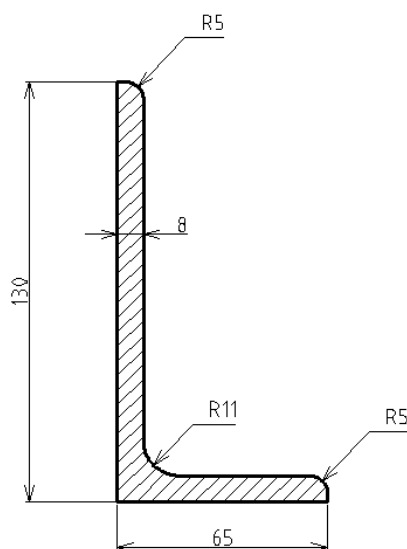
3.2 Polotovár

Jako polotovár součásti byl zvolen L – profil s označením L EN 10056-1-130x65x8 (obr. 3.3). Profil je vyroben za tepla válcované konstrukční oceli odpovídající jakosti S235JR. Celková délka polotovaru byla tři metry.

Jedná se o nelegovanou konstrukční ocel obvyklých jakostí se zaručenou hodnotou nárazové práce při 20 °C. Ocel není určena k tepelnému zpracování s výjimkou normalizačního žíhání. Chemické složení oceli je zobrazeno v tab. 3.1. Součásti téhle jakosti jsou vhodné pro použití ve svařovaných, šroubových a nýtovaných konstrukcích [29].

Tab. 3.1 Chemické složení [29].

| Označení | C v % | v % max. pro výrobek | pro jmenovité tloušťky v mm | Si % max. | Mn % max. | P % max. | S % max. | N % max. | Cu % max. | Další prvky % max. |
|------------------|-------|----------------------|-----------------------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|--------------------|
| Podle EN 10027-1 | ≤ 16 | > 16 | > 40 | | | | | | | |
| | | ≤ 40 | | | | | | | | |
| S235JR | 0,17 | 0,17 | 0,20 | – | 1,4 | 0,035 | 0,035 | 0,012 | 0,55 | – |



Obr. 3.3 L-profil s rozměry dle EN 10056-1 [30].

4 PRAKTICKÉ OVĚŘENÍ VÝROBNÍHO PROCESU

V této kapitole bude proveden rozbor strojů od firmy Vernet – Behringer, jež by mohli být vhodné na výrobu naprogramované části. Dále se bude kapitola zabývat zejména programováním a výrobou součástí, jež byla představena výše.

4.1 Produkty firmy Vernet – Behringer

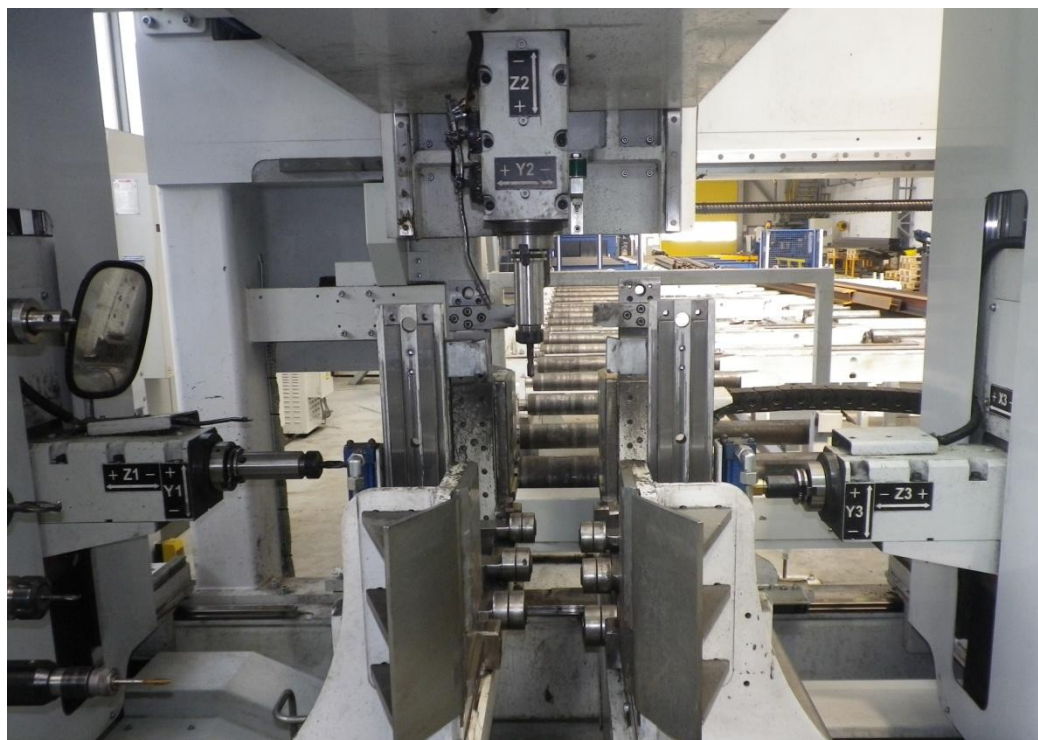
Firma Vernet – Behringer se převážně zabývá výrobou obráběcích strojů sloužících k obrábění konstrukčních profilů. Jedná se především o vrtací a řezací linky. Firma nabízí také obráběcí stroje na zpracování plechů. Stroje jsou schopné obrábět polotovary o velikostech až 12 000 x 3 000 mm. Stroje mají možnost provádět operace jako je značení, děrování, vrtání, odstraňování ořepů a řezání závitů. Určitá řada strojů je vybavena také možností řezání pomocí plazmového hořáku.

4.1.1 Produktová řada s označením HD

Řada s označením HD označuje více – vřetenovou vysokorychlostní vrtací jednotku pro zpracování konstrukčních částí. Jedná se o číslicově řízené vrtací jednotky s tuhým rámem, jež jsou určeny pro rychlé zpracování velkého množství typů profilů nebo plochých tyčí. Stroj zvládá obrábět profily o maximálních rozměrech 600 až 1 800 mm. Konstrukce stroje je vysoce stabilní. Vzhledem k vysoké stabilitě získává zákazník stroj o mimořádné kvalitě a dlouhé životnosti. Tato stabilita zabraňuje vibracím, které se mohou objevovat u tradičních stojanových vrtaček. Kromě toho v kombinaci s vysokým výkonem a rychlostí vrtání umožňuje použití více typů vrtáků, jako jsou monolitní, karbidové popřípadě jejich kombinace nebo vrtáky s VBD. Vrtací stroje jsou velice efektivní v kombinaci s HBP pásovými pilami. Hlavními významnými vlastnostmi řady HD jsou robustnost sestavy, spolehlivost použití, snadné spuštění a vysoké rychlosti.

4.1.2 Produktová řada s označením HD-X

Řada HD-X obsahuje stroje schopné provádět vrtací a frézovací operace. Jsou to stroje nejnovější generace, které firma dodává na trh. HD-X řada je vybavena doplňkovou osou podél délky tyče na každé jednotce. Díky této ose a také pohybu jednotlivých jednotek se zvyšuje produktivita, jelikož lze obrobit větší množství děr bez nutnosti pohybu tyče. Stroj disponuje třemi nezávisle na sobě pracujícími jednotkami, jež jsou zobrazeny na obr. 4.1. Na stroji je možné využití speciální funkce V-scoring neboli rychlé orýsování. Funkce může být použita na obrobku, kde zákazník požaduje označení dílu. Funkce V-scoring bývá také často využívána jako příprava na další operace, především svařování. Pracovníci nemusí složitě odměřovat požadované rozměry. Výhoda u použití dané funkce spočívá v čitelnosti i po použití nátěru popřípadě zinkování. Funkce V-scoring je v podstatě rytí do materiálu pomocí jehly (obr. 4.2) ze slinutého karbidu a tím vytvoření požadované linie nebo tvaru.



Obr. 4.1 Osy 1, 2 a 3.



Obr. 4.2 Držák nástroje (1) a hrot jehly (2).

4.1.3 Produktová řada HBP

Konkrétně se jedná o pily s vysokým výkonem pro ocelové konstrukce. Jsou to pásové pily, které kombinují vysokou přesnost řezu při vysokých rychlostech. Jsou přizpůsobené pro většinu typů profilů používaných u ocelových konstrukcí. Produktová řada je velice oblíbená svou odolností, přesností a rychlostí realizace daného řezu. Pily od firmy Vernet – Behringer umožňují řezy jak přímé tak pod určitým úhlem. Pily mohou být používány i jako přídatné zařízení k vlastním vrtacím centrům firmy Vernet – Behringer.

4.2 Popis celé linky

Součást byla vyráběna na pilovrtací lince, ve firmě SSI Schäfer s.r.o., jejíž součástí jsou celkem tři stroje. V kapitole bude rozebrán celkový průchod daného kusu linkou. Také budou představeny stroje, na nichž byl daný kus vyráběn a příslušenství k danému pilovrtacímu stroji.

Téměř 65 metrů dlouhá linka, skládající se ze tří strojů je znázorněna na obr. 4.3. Linka zabírá značnou část haly, jelikož jsou zde zpracovávány profily až do délky 12 m.

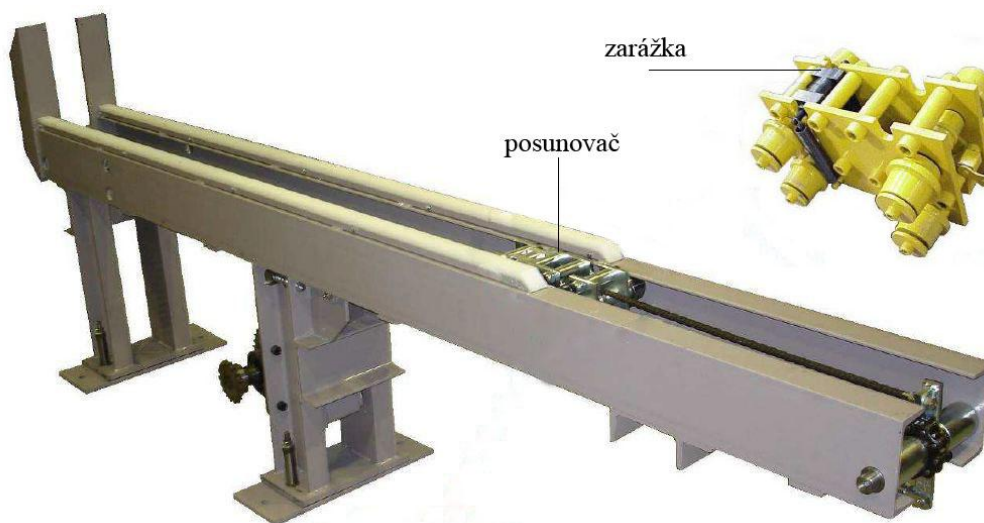
Celá hala je kompletně klimatizovaná, aby byly zabezpečeny kvalitní podmínky pro obrábění. Layout linky je znázorněn v příloze č. 1.



Obr. 4.3 Linka se všemi stroji.

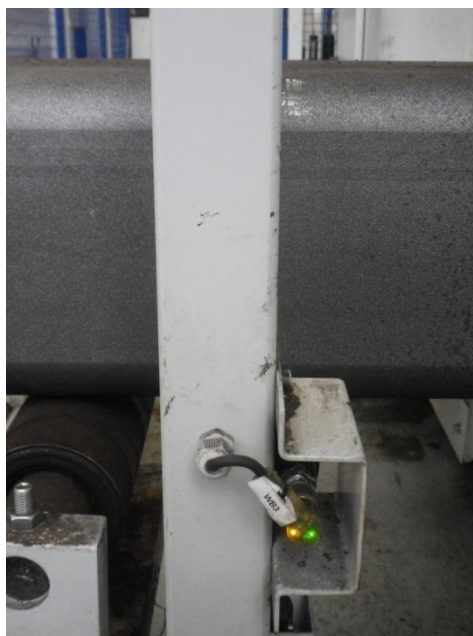
4.2.1 Postup na lince

Linka začíná tryskacím strojem od firmy Rösler, jež jsou s firmou Vernet – Behringer partneři a dohromady jsou schopni nabídnout zařízení na klíč, které v sobě kombinuje řezání, obrábění a tryskací zařízení. Jednotlivé kusy jsou zde očištěny a zbaveny nečistot. Po očištění jsou za pomoci válečkové tratě dopraveny na přepravní místo. Odtud jsou, dle dalšího zpracování, buď převezeny na další pracoviště, nebo ponechány na válečkové trati. Zde je za pomoci posunovače se zarážkami (obr. 4.4) daný kus přesunut na válečkovou trať pilovrtacího stroje.



Obr. 4.4 Posunovač se zarážkami.

Následně je daný profil uchycen do uchopovacích kleští. Uchopovací kleště jsou pevně spojeny s vozíkem, jenž umožňuje posun a odměřování profilu skrz celý stroj. Vozík je ovládán servomotorem, který pomocí přesného ozubeného kola a pastorku ovládá posunování rychlostí až $60 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Ještě před vstupem na pilovrtací linku je válečková trať vybavena optickým systémem na měření délky tyče viz obr. 4.5. Nevýhodou tohoto systému je, že daný profil, by měl mít čelní stranu bez výstupků a různých závad, jinak není schopen změřit celou část a byl by vyroben neshodný kus. Následně je profil posunut na požadovanou délku do vrtacího stroje. Upnut pomocí svěráku a pomocí tří pohyblivých jednotek obroben. Po dokončení fáze obrábění je profil posunut na řezací stroj HBP kde je daná část dle naprogramovaného výkresu uřezána. Po odřezání je daný obrobek posunut na výstupní lavici pomocí válečkové tratě. Dále je za pomoci vykládacího systému přesunuta ke kontrole. Zde probíhá 100 % kontrola části a po kontrole je daný obrobek předán k dalšímu zpracování.






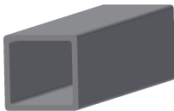



Obr. 4.5 Optický systém na měření délky tyče.

4.2.2 Stroj HD-X 918 CNC

Daná součást, jež je předmětem práce byla zpracovávána na stroji HD-X 918 CNC. Stroj vlastní firma SSI Schäfer s.r.o. v níž jsem také absolvoval pracovní stáž. Jedná se o vrtací a řezací linku, jež byla vyrobena v roce 2013. Stroj dokáže zpracovávat různé profily, jejichž znázornění je uvedeno v tabulce 4.1. Maximální délka daných profilů je omezena délkou válečkové tratě. Ve firmě SSI Schäfer s.r.o. tato délka nastavena na max. 12 metrů.

Tab. 4.1 Profily používané na stroji HD-X.

| Typ profilu | Znázornění | Min. a max. velikost |
|---|---|---|
| Plochá ocel |  | min.: 50 x 10 mm max.: 800 x 30 mm |
| úhelníky |  | min.: 80 x 80 x 5 mm max.: 250 x 250 x 25 mm |
| nosníky průřezu I (INP/IPE) |  | min. šířka: 80 mm max.: 800 x 400 mm |
| nosníky průřezu H (HEA/HEB/HEM) |  | min. šířka: 80 mm max.: 800 x 400 mm |
| ocel profilu U (UNP/UPE) |  | min. šířka: 80 mm max.: 800 x 400 mm |
| čtvercové a obdélníkové trubky |  | min. šířka: 80 mm max.: 800 x 400 mm |
| zesílené svařované profily (PRS) |  | max.: 800 x 400 mm |

Stroj disponuje třemi vrtacími jednotkami, každá o výkonu 12 kW. Všechny tři jednotky mohou pracovat nezávisle na ostatních a taktéž všechny tři najednou. Výrobce deklaruje minimální obrobiteľný průměr 8 mm, ve firmě SSI Schäfer s.r.o. si kladly nároky na vyšší přesnost a schopnost obrobení menších průměrů. Snažili se maximalizovat odstranění vibrací. Také klimatizováním linky usilovali o stanovení ideálních podmínek pro provoz stroje. Díky tomu jsou schopni obrábět až do průměru 3,3 mm s přesností až 0,1 mm. Výrobce stroje deklarováný maximální obrobiteľný průměr je 50 mm při použití vrtáku z rychlořezné oceli a max. průměr 32 mm v případě použití vrtáku ze slinutého karbidu. V případě nutnosti obrobení díry o větším průměru je nutné použít frézovací operace. Ve firmě SSI Schäfer s.r.o. testovali vrtání vyšších průměrů a zjistili, že pro vyšší rozsahy vrtáků je produktivnější použití frézování z toho důvodu, že vznikají vyšší vibrace a tím zhoršení přesnosti a jakosti povrchu. Díky tomu snížili maximální průměr vrtaný pomocí vrtáku z rychlořezné oceli na průměr 40 mm. Nad tento rozměr jsou již všechny díry obráběny pomocí frézování.

Obráběcí stroj HD-X 918 CNC využívá typ chlazení s názvem *MQL – minimal quantity lubrication*, díky tomu se dosahuje vyšší produktivity, nižším nákladům a také je výrazně šetrnější k životnímu prostředí.

4.2.3 Pila HBP510/923 G

Jedná se o pokosovou pilu schopnou řezat v rozmezí úhlů -60° až $+45^\circ$. Rozsah řezu je tedy 105° . Maximální šířka profilu při řezu v úhlu 45° je 600 mm, maximální výška profilu je 500 mm. Stroj je ideální pro přesné a hospodárné řezání profilů i plných materiálů. Používá se pro konstrukční profily a vysoký objem produkce. Hydraulické kalené upínací čelisti zajišťují stabilní a přesné řezy v celém rozsahu rychlostí. Stroj zvládá pracovat i v tzv. poloautomatickém režimu, kdy není potřeba vypracovávat program. Materiál je umístěn pod pilu pomocí kleští s podavačem a například pomocí lineárního laseru, jež je určen pro ruční polohování materiálu zaměřen na přesnou délku. Tento postup je vhodný zejména tehdy, kdy se velmi často mění délka řezu. Popřípadě je daný režim přijatelný, pokud je již vyznačeno místo řezu na předchozím pracovišti.

Pila HBP 510/923G je chlazena pomocí olejové emulze z důvodu větší nutnosti mazání.

4.2.4 Upínání a výměna nástrojů

Upínání a výměna nástrojů se provádí pomocí jednotného systému nástrojových držáků a stopek. Výměna opotřebovaných nástrojů u obráběcího stroje HD-X 918 CNC probíhá ručně. Řídicí systém spolu se strojem má za úkol vyměnit, upnout a nastavit nástroj do výchozí polohy. Stroj HD-X 918 CNC je schopen upnout celkem 18 nástrojů, kde do každé osy je možno upnutí až 6 nástrojů (obr. 4.6.)



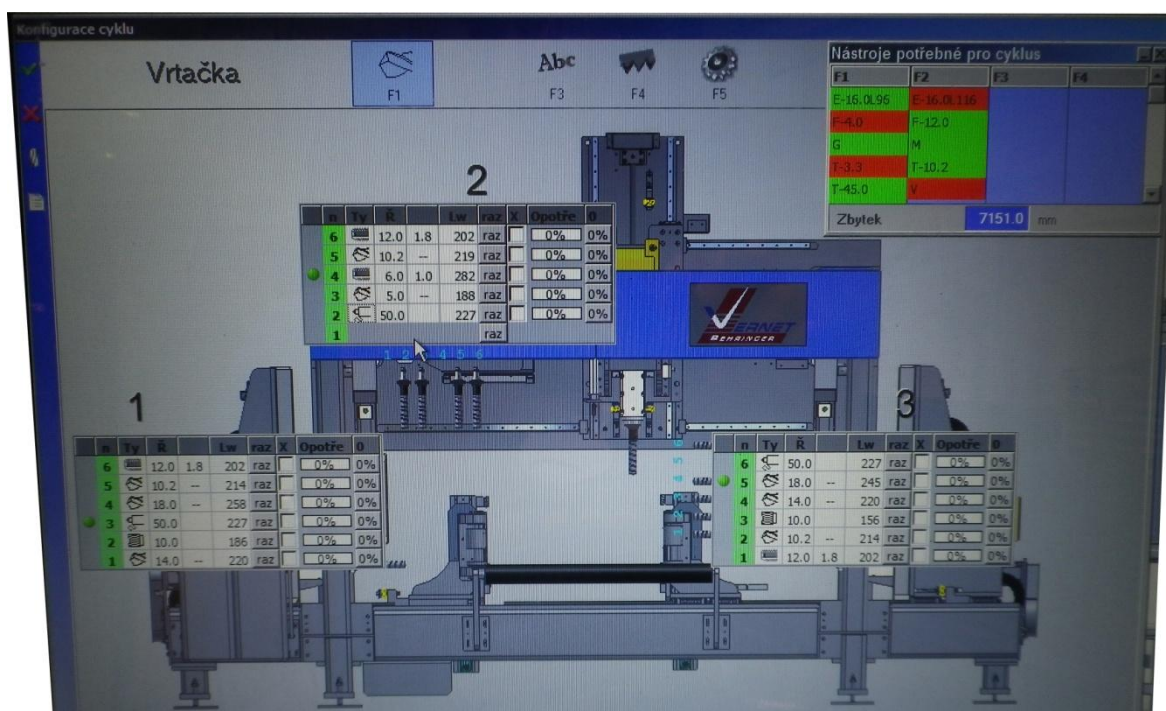
Obr. 4.6 Zásobník nástrojů v ose č. 2.

Držák nástrojů se skládá z rámu vedeného na hranolových kolejničích a je poháněn hydraulickým válcem. Držák nástroje je vybaven snímačem, který monitoruje přítomnost nástroje.

Jedná se o systém s nosnými zásobníky, mezi hlavní výhody tohoto systému řadíme jednoduchost konstrukce, nízkou poruchovost a nižší investiční náklady oproti ostatním systémům. Dále také krátký čas na výměnu nástroje a snadnou obsluhu a údržbu celého systému. Naopak je zde omezený počet nástrojů, které můžeme upnout. V případě

obrábění stejných prvků ve více osách je nutné použít více stejných nástrojů a nástrojových držáků.

Programátor zadává umístění nástroje pomocí přehledné tabulky v řídicím systému B_driver. Většina nástrojů je již předdefinovaná, v případě ostření nebo zakomponování nových nástrojů programátor jednoduše změní délku nástroje popřípadě jeho parametry. Je nutné dbát na správnost zadaných údajů, v případě chybného zadání může dojít k destrukci nástroje, popř. k vyrobení neshodného kusu. Na obr. 4.7 je možné vidět zadávání nástrojů potřebných pro výrobu dané součásti, která byla představena v kapitole 3. V horním pravém rohu jsou červenou barvou znázorněny nástroje, které je nutné upnout do potřebné osy.



Obr. 4.7 Zakládání nástrojů do stroje.

V současné době je stále častěji využívána automatická výměna nástrojů. Díky ní dochází ke zvýšení produktivity stroje. Mezi základní požadavky, jež jsou kladeny na automatickou výměnu nástrojů je zejména snižování času na výměnu nástroje. Zásobník by měl disponovat velkou kapacitou a neměl by být příliš náročný na prostor [31].

4.3 Způsob programování v řídicím systému ProNC2

V následující kapitole bude detailně rozebrán způsob programování a orientace v řídicím systému ProNC2.

4.3.1 Volba polotovaru

Celé programování začíná nejprve vypsáním zakázky na určitý kus dle požadavků zákazníka. Programátor má z důvodu urychlení programování vytvořené adresáře pro jednotlivé zákazníky. Důležité informace k úspěšnému vytvoření programu jsou především druh profilu, jeho délka, pozice, pod kterou bude program uložen, a počet kusů, jež se mají vyrobit. Dále programátor zadává do výchozí tabulky (obr. 4.8) název zákazníka, číslo výkresu (je uváděno jednak k jednoduchému nalezení například v případě

reklamace, a zejména z důvodu upozornění programátora na již existující program) a pozici na příslušném výkresu.

Obr. 4.8 Zadávání nového dílu.

Po vložení nutných informací program automaticky dle zvoleného profilu a délky spočítá celkovou hmotnost kusu a plochu, tyto informace pak spolu s údaji o datu a času vytvoření programu uloží do databáze pro případnou kontrolu programu.

4.3.2 Správa profilů

Aby bylo možné definovat díl je potřeba znát především jeho profil. V řídicím systému ProNC2 je přednastavena velká databáze nejběžněji používaných profilů. V případě volby profilů je obrazovka rozdělena do tří částí. Jsou zde jednotlivě znázorněny charakteristiky právě používaného profilu, grafické zobrazení i s danými rozměry a seznam již vytvořených profilů (obr. 4.9). V případě potřeby může programátor zadat do databáze nový profil, je však nutné znát jeho přesné rozměry. Při vytváření nového profilu je třeba velmi pečlivě zadávat jeho rozměry. V případě zadání nepřesných hodnot může dojít k vážnému poškození stroje.

| Označení | Šířka | Výška | TL stojiny | TL příruby | Hmotnost |
|----------|-------|-------|------------|------------|----------|
| L25*3 | 25 | 25 | 3 | 3 | 1.11 |
| L30*3 | 30 | 30 | 3 | 3 | 1.37 |
| L30*5 | 30 | 30 | 5 | 5 | 2.25 |
| L35*3.5 | 35 | 35 | 3.5 | 3.55 | 1.67 |
| L40*4 | 40 | 40 | 4 | 4 | 2.42 |
| L40*5 | 40 | 40 | 5 | 5 | 2.98 |
| L40*6 | 40 | 40 | 6 | 6 | 3.52 |
| L45*4.5 | 45 | 45 | 4.5 | 4.5 | 3.06 |
| L50*30*3 | 50 | 30 | 3 | 3 | 1.61 |
| L50*30*5 | 50 | 30 | 5 | 5 | 2.97 |
| L50*5 | 50 | 50 | 5 | 5 | 3.77 |
| L60*10 | 60 | 60 | 10 | 10 | 8.71 |
| L60*40*5 | 60 | 40 | 5 | 5 | 3.76 |
| L60*6 | 60 | 60 | 6 | 6 | 5.42 |
| L65*50*8 | 65 | 50 | 8 | 8 | 6.72 |

Obr. 4.9 Definování a volba profilu.

4.3.3 Popis hlavního programovacího okna

Po potvrzení dialogového okna pro vytvoření nového dílu se programátorovi zobrazí hlavní dialogové okno, jež je znázorněno na obr. 1.2. Okno je rozděleno na tři základní části. První z nich slouží programátorovi k vlastnímu programování dílů. Programování se provádí ručně a bude popsáno v následující kapitole. Dále je v horní části zobrazen panel se seznamem dílů. Zde nacházíme přehledně rozmístěné následující pole: zákazník, výkres, pozice, délka, profil, atd. Panel seznamu dílů je zobrazen na obr. 4.10.

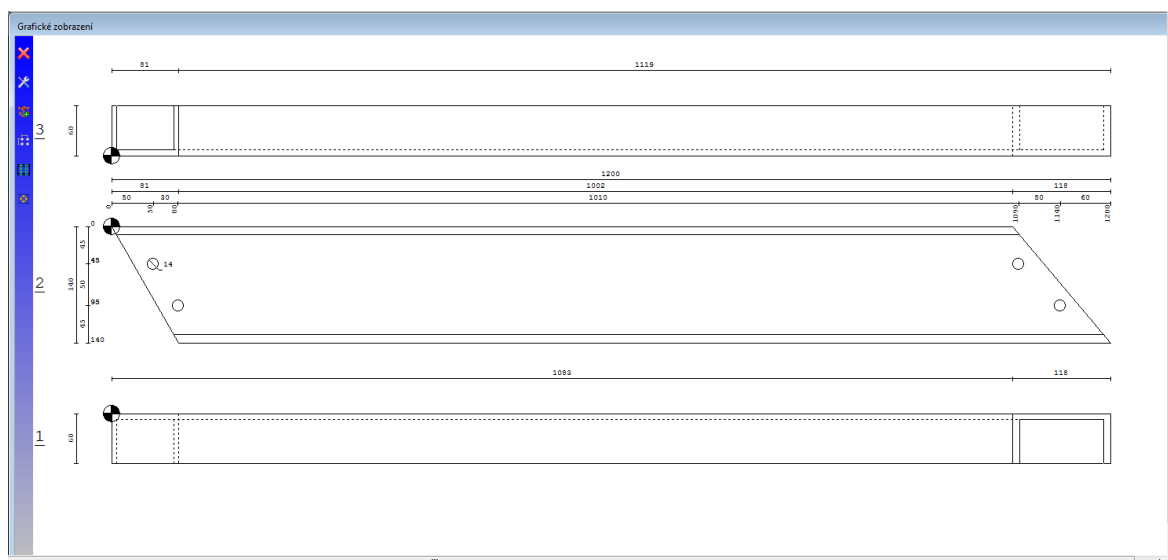
| Profil | Zákazník | Tvar | Výkres | Označení | Délka | Požadované m... | Skutečné množství | Druh oceli | Exportuje | Tvar | Označení | Použit.mnž. | Poznámka |
|--------|----------|------|-------------------|----------|-------|-----------------|-------------------|------------|-----------|------|----------|-------------|----------|
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-42060 | 2063 | 3923 | 1 | 0 | S235 | I | I | 0 | 1 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-420638 | 2063 | 10600 | 1 | 0 | S235 | I | I | 0 | 1 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-42067 | 2067 | 3923 | 1 | 0 | S235 | I | I | 0 | 1 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-42070 | 2070 | 3923 | 1 | 0 | S235 | I | I | 0 | 1 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-42071B | 2071 | 3770 | 1 | 0 | S235 | I | I | 0 | 1 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-42073B | 2073 | 3770 | 1 | 0 | S235 | I | I | 0 | 1 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-42106 | 2106 | 6305 | 1 | 0 | S235 | I | I | 0 | 1 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-421077 | 2077 | 3923 | 2 | 0 | S235 | I | I | 0 | 2 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-42144 | 2144 | 9075 | 1 | 0 | S235 | I | I | 0 | 1 | |
| HEA240 | SSI AUT | H | 02-0400674-42229 | 2229 | 715 | 2 | 0 | S235 | I | I | 0 | 2 | |

Obr. 4.10 Panel se seznamem dílů.

Políčka v horní části okna umožňují prohledávat seznamy pomocí filtrů podle řady různých kritérií (např.: vyhledání částí dle profilu HEA240, nebo například dle daného zákazníka). Ve spodní části příslušného okna jsou další označení, která slouží k orientačnímu zobrazení počtu dílů nebo délky. Označení „počet“ určuje počet dílů obsažených ve filtru z celkového počtu dílů uložených v databázi v našem případě je zobrazeno deset kusů z celkových 2 506 kusů, jež jsou uloženy v databázi. Označení „Lg“ značí délku aktivního filtru částí z celkové délky dílů. Poslední dvě označení „Sel DEL“ a „Sel EXP“ určují počet dílů určených ke smazání nebo exportu z celkového počtu dílů.

Poslední částí na programovací obrazovce je okno s grafickým zobrazením (obr. 4.11). Zde je zobrazen díl s ohledem na použitý tvar profilu. V případě použití L – profilu jsou znázorněna dvě grafické okna, kdežto například u obrábění čtvercové trubky je profil znázorněn ve čtyřech pohledech v grafickém zobrazení. Jednotlivé pohledy jsou označeny číslicemi 1, 2, 3 a 4. Označení jednotlivých os je totožné jako označení vřeten na stroji. Osa s označením 4 se používá u profilů, jež jsou opracovávány ze všech 4 stran. V případě použití osy s označením 4 musí programátor upozornit obsluhu stroje, že musí daný profil otočit o 180°, aby bylo možné opracovat poslední stranu. Již otočený profil se tak obrábí pomocí vřetene dva.

Označení je stejné jako evropská verze zobrazování, v případě potřeby je možné změnit způsob promítání na americké. Grafické zobrazení umožňuje rychlé zobrazení řezů, obrysů a naprogramovaných výrobních operací dílu.



Obr. 4.11 Grafické rozhraní.

Významnou výhodou grafického zobrazení je zobrazování téměř všech kót výrobních operací. Kóty se zobrazují ve dvojím provedení, jak pro absolutní kotování tak pro inkrementální. Pro snazší orientaci při programování dílu jsou na grafickém zobrazení také znázorněny nulové body ve všech osách. Toto okno disponuje funkcí nekonečného přiblížení, které umožňuje programátorovi prohlížet si určitou oblast s větší přesností. Nevýhodou naopak je, že při větším počtu výrobních operací na jednom dílu dochází k překrývání kót a možnosti chybného naprogramování.

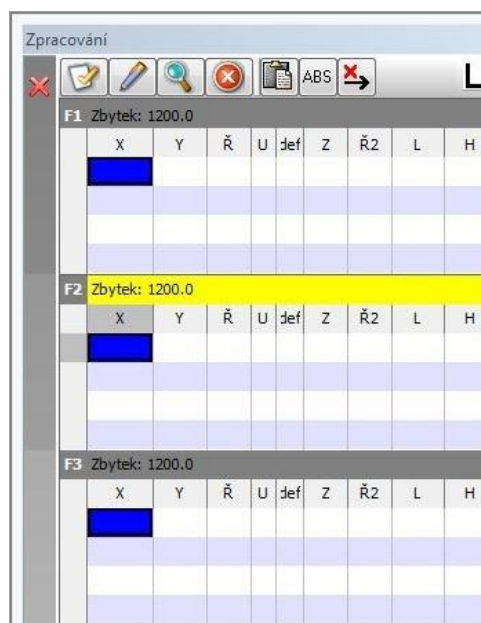
V grafickém zobrazení je možné využít funkce „režim přerušení“, který umožňuje ostře zobrazit dlouhé díly bez nutnosti využití přiblížení. Tato funkce virtuálně odstraní ty části dílu, které nevyžadují zpracování, aby bylo možné brát v úvahu pouze ty oblasti, které jsou pro uživatele důležité.

4.3.4 Programování dílu

Díl zpravidla obsahuje výrobní operace jako je vrtání, řezání závitů, označování, frézování a řezání. Pro programování jednotlivých stran se objeví mřížka pro každou stranu zvlášť. Na obr. 4.12 je zobrazena mřížka pro programování profilu typu HEA. Chce-li programátor vytvořit novou operaci je nutné definovat:

- pozici ve směru X (v mm),
- pozici ve směru Y (v mm),
- její průměr (v mm)
- typ prováděné operace.

Některé typy zpracování vyžadují ještě přídavné informace jako například hloubku či druhý průměr pro zapaštění, nebo délku, výšku a sklon pro ražení podélného otvoru (používá se na jiných typech strojů od firmy Vernet – Behringer)



Obr. 4.12 Programování dílu.

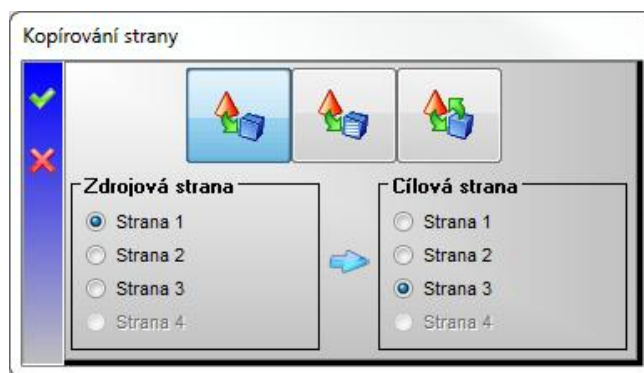
V řídicím systému ProNC2 je již od výrobce vloženo označení pro jednotlivé typy prováděných operací. Typy prováděných operací jsou zadávány pomocí písmen a jejich význam je zobrazen v tabulce 4.2.

Tab. 4.2 Význam jednotlivých označení.

| Označení | význam |
|----------|--|
| T | otvor pro vrtací operaci, |
| P | zaměření, |
| M | značení pomocí jehly – V-scoring, |
| L | zahloubení, |
| E | drážka, |
| Q | otvor procházející trubkou – využívá se v případě požadavku na sousední díry v daném profilu, otvor se vrtá za pomoci dlouhého vrtáku, |
| F | řezání závitů. |

Po zadání výrobní operace může uživatel ověřit správnost polohování pomocí kliknutí na příslušné tlačítko. To umožní potvrdit informace, jež byly zadány do tabulky, ale přitom je definitivně neukládá do databáze. Tudíž je stále možné provést změny.

Jelikož mají většinou různé profily sousední díry v protějších stěnách je možné využití funkce kopírování strany. Jedná se o významné ulehčení programování zejména, pokud je daný kus složitější. Programátorovi odpadá nutnost programovat celou stranu, možnosti kopírování jsou znázorněny u obr. 4.13.



Obr. 4.13 Využití kopírování strany.

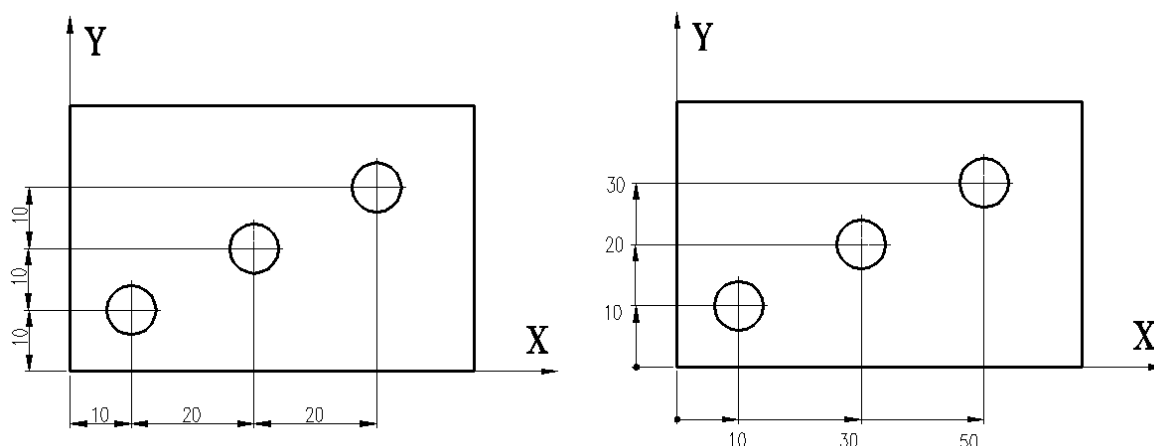
Výkresová dokumentace představuje spolu s technologickou dokumentací zadání pro zpracování programu. Kromě kótování od základny se na výkresech, tam kde je to možné a vhodné, používají řetězové kóty, popř. kótování od základny. Metody absolutního a přírůstkového programování umožňují zpracovávat takovou výkresovou dokumentaci bez nutnosti transformace jednotlivých kótovacích systémů mezi sebou.

Absolutní programování

Všechny programovatelné souřadnice bodů dráhy nástroje jsou vztaženy k předem zvolenému počátku souřadnic. U tohoto způsobu programování (obr. 4.14 vlevo) se zadávají souřadnice, na které se nástroj pohybuje ve vztahu k nulovému bodu obrobku.

Přírůstkové (inkrementální) programování

Všechny souřadnice všech programovatelných bodů se udávají vzhledem k předchozímu bodu. To znamená, že předchozí bod je současně považován za výchozí bod. Programuje se tedy po přírůstku (inkrementu). Porovnání obou způsobů programování je zobrazeno na obr. 4.14 [3].



Obr. 4.14 Způsoby programování [3].

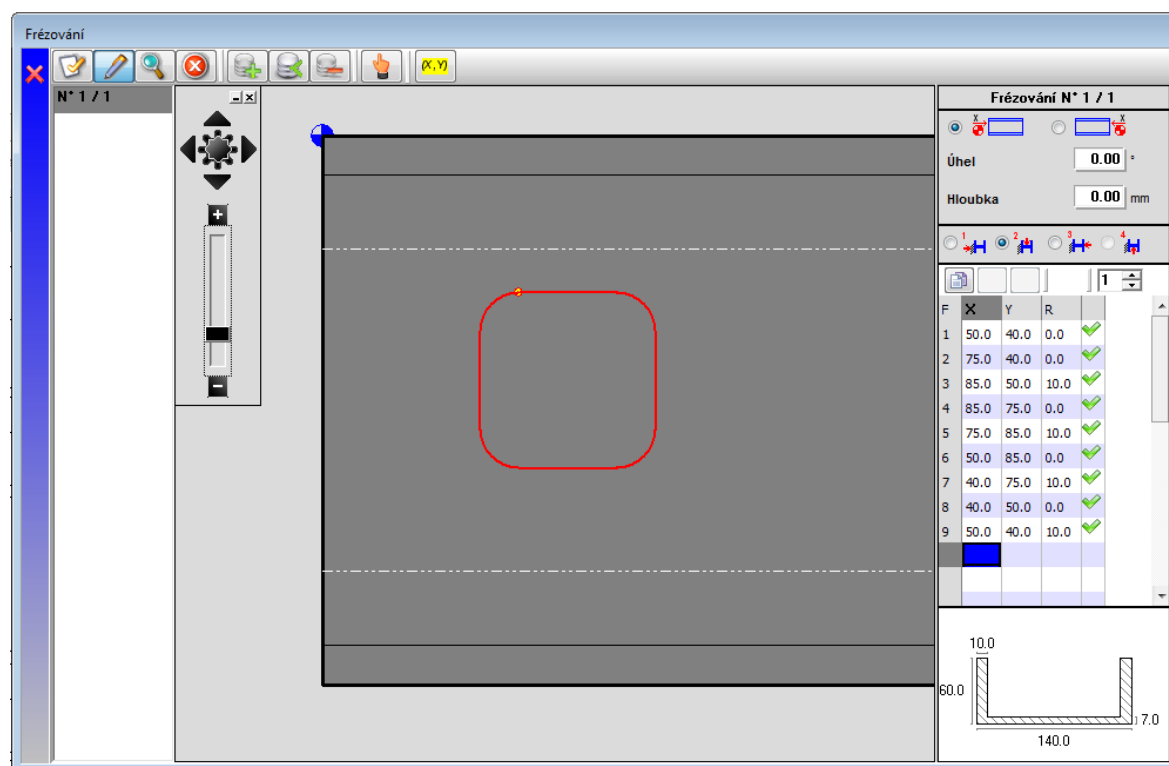
V případě řídicího systému ProNC2 je možné využít oba způsoby programování jednoduchým zadáním vhodného příkazu. Výhodou u řídicího systému je možnost kombinace těchto dvou způsobů programování. V některých případech je u kótovaných částí využita kombinace způsobů kótování a tím je pro programátora jednodušší

naprogramovat například část součásti v absolutním způsobu a druhou část v inkrementálním programování. Řídicí systém při změně způsobu automaticky přepočítá veškeré hodnoty.

Řídicí systém také umožňuje změnu nulového bodu obrobku. Vhodná volba nulového bodu může značně zjednodušit programování.

4.3.5 Frézování a orýsování

Řídicí systém ProNC2 disponuje také funkcí možnosti frézování a orýsování. V dialogovém okně je na výběr zvolení možného nulového bodu. Dále si programátor vybírá stranu, ve které chce provádět frézovací operace. Programování probíhá ručně, kdy programátor nastavuje jednotlivé body obrysu frézované součásti (obr. 4.15). Program mu v reálném čase zobrazuje dané body, tím probíhá okamžitá kontrola správně naprogramovaného dílu.



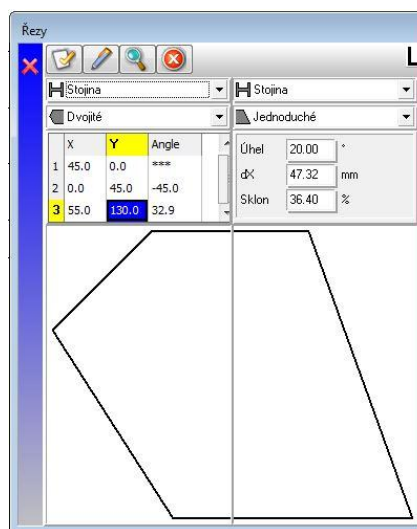
Obr. 4.15 Příklad frézovací operace.

Stejně jako v případě frézovacích operací, tak i pro orýsování součásti je možné využít téměř totožného způsobu. Jedinou změnou je zde možnost použití parametru „m“ jež může nabývat hodnoty 1 nebo 0. Hodnota 1 posílá řídicímu systému informaci o značení po dosažení bodu umístěného na stejné lince. Hodnota 0 posílá přesně opačnou informaci o žádném značení na dané lince. Hodnoty mají využití zejména při větším počtu strojů na více linkách.

4.3.6 Řezy

Řezy se provádějí na stroji HBP510/923 G. Dané okno je rozděleno na dvě části, jedna část představuje úhel pro levou stranu součásti a druhá část pro úhel na pravé straně součásti. Definování řezu se provádí zadáním několika parametrů. Jedná se především o referenci řezu a typ profilu. Dále typ řezu, stroj je schopen provádět až čtyřnásobné řezy. Poslední

hodnoty jsou pro konkrétní zadání daného úhlu, v případě jednoduchého úhlu se jedná o zadání úhlu, popřípadě délky řezané části. V případě vícenásobného řezu se zadávají hodnoty pomocí programování X a Y souřadnic a jejich příslušného úhlu. Programování řezu je znázorněno na obr. 4.16



Obr. 4.16 Příklad zadání řezu.

4.3.7 Makra

Řídicí systém poskytuje možnost programování pomocí tzv. maker. Uživatel má možnost si dané makra editovat popřípadě si nastavit vlastní makro. Jedná se o textové soubory, jež jsou uloženy v kořenovém adresáři řídicího systému.

Některé typy makro programů jsou v řídicím systému ProNC2 přednastaveny přímo od výrobce. Nejčastější je využívání makra typu dané díry, kdy nemusí programátor zadávat jednotlivé body, ale zadá dané hodnoty do tabulky, jež je předpřipravena. Názorné zobrazení makra je na obr. 4.19.

4.3.8 Seznam tyčí a její vytvoření

Řídicí systém podobně jako samotné díly nebo profily umožňuje zobrazit formou seznamu také všechny existující tyče v interní databázi. Okno je stejně jako u většiny předchozích zobrazení rozděleno na více částí. Zde je okno rozděleno na 4 části. V první části se jedná o filtr seznamu, seznam tyčí s názvem, profilem, délkou, množstvím atd. Dále pokud již byla vytvořena tyč zobrazuje se složení dané tyče, název dílů, délka dílů a jejich poloha v tyči. Posledním oknem je stručný přehled zobrazující grafickou podporu a rozložení dílů v tyči.

Pro vytvoření nové tyče je nutné mít již naprogramované dané díly se stejným profilem. Při vytváření tyče musí programátor zadat informace vztahující se k dané tyči jako je název, délka, množství, profil, číslo tyče. V tabulce se programátorovi zobrazuje aktuální zbytek v dané tyči, může tak přizpůsobit rozložení kusů v tyči nejproduktivnější variantě. Rovněž při vytváření nové tyče se programátorovi zobrazuje grafické rozhraní, jež zobrazuje aktuální počet a uspořádání dílů v tyči.

Řídicí systém je vybaven také funkcí automatického sestavení tyčí. Funkce umožňuje rychle a efektivně vytvářet tyče dle profilů, které jsou ve skladu a podle dílů, jež jsou aktuálně naprogramované. Programátor musí před samotným spuštěním

automatického umístění provést určité úpravy. Může například použít filtr na profil nebo druh oceli, nastavit tloušťku řezu nebo minimální zbytek, jež se musí dodržet. Po dokončení software automaticky vypočítá nejlepší možné vzájemné překrývání u každé tyče. Následně se programátorovi zobrazí panel, v němž jsou uvedeny statistické výsledky sestavení, jako např. procento odpadu, počet použitých tyčí, počet tyčí předaných do stavu zásob. Nevýhodou u automatického sestavování tyčí je nepřehlednost předaných kusů do výroby, programátor ztrácí přehled o kusech, které byly poslány na stroj.

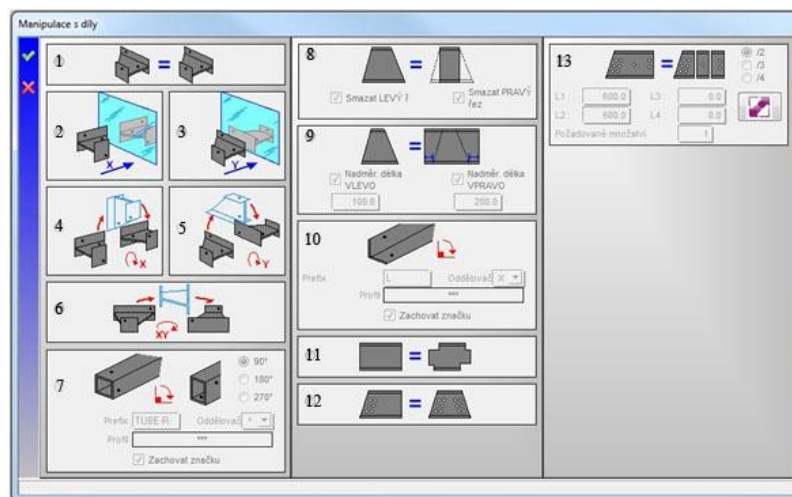
4.3.9 Manipulace s díly

Díky manipulačnímu oknu má uživatel možnost provádět na dílu řadu operací, jež zjednoduší programátorovi složité programování.

Popis jednotlivých variant manipulace s dílem:

1. jednoduchá kopie dílu, používá se většinou na provádění změn na již naprogramovaných dílech,
2. zrcadlení dílu ve směru osy X,
3. zrcadlení dílu ve směru osy Y,
4. rotace dílu ve směru osy X,
5. rotace dílu ve směru osy Y,
6. rotace dílu ve směru osy X a osy Y,
7. převrácení dílu v požadovaném směru 90°, 180° nebo 270°,
8. smazání řezů,
9. přidání nadměrné délky,
10. převrácení rohového dílu,
11. kopie výřezů,
12. kopie jedné strany spolu s obdélníkovým polem a šikmým řezem,
13. vytvoření dodatečných řezů na dílu.

Všechny druhy manipulace jsou jedinečné a nelze je mezi sebou kombinovat.



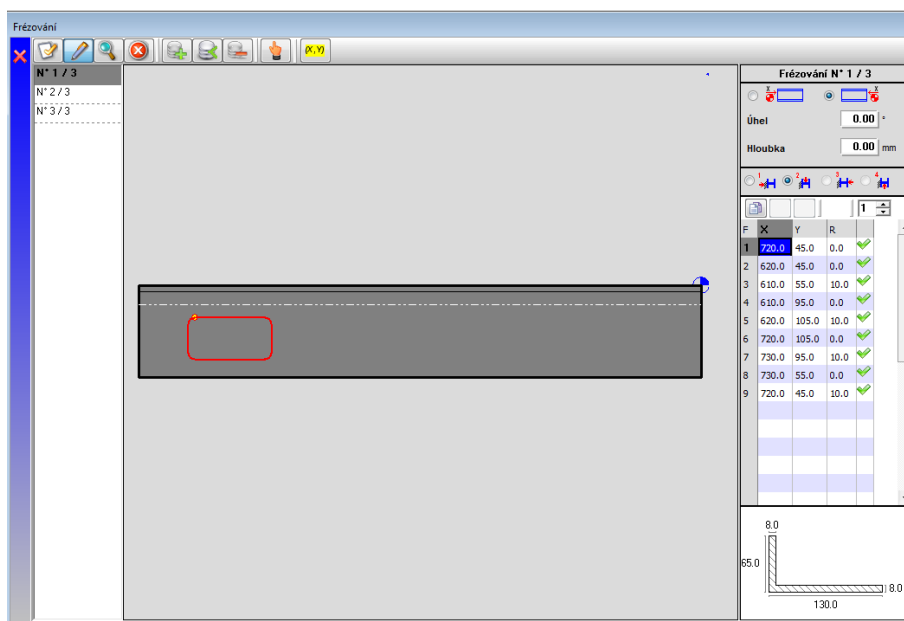
Obr. 4.17 Manipulace s dílem.

4.4 Programování součásti

Programování součásti typu L – profilu probíhalo v prostředí řídicího systému ProNC2. Jednotlivé programování bylo rozděleno dle způsobu prováděných operací.

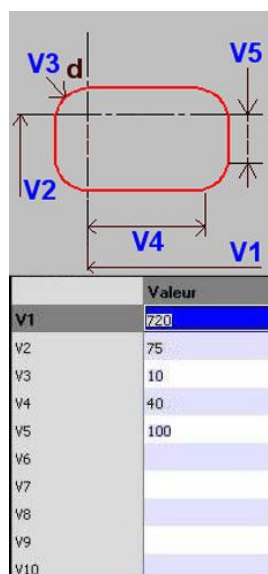
4.4.1 Programování frézovacích operací

Na programované součásti se nachází tři operace typu kapsa. Jedná se o čtvercovou, obdélníkovou a tvarovou kapsu. Postup programování obdélníkové kapsy je znázorněn na obr. 4.18. Je zobrazeno programování první operace frézování. Programování daného otvoru je možné dvěma způsoby. V nabídce je možnost naprogramování kapes pomocí maker, jež jsou od výrobce vloženy přímo do řídicího systému. Druhou možností se nabízí možnost zadávání přímo souřadnic jednotlivých bodů se zaoblením jednotlivých hran.



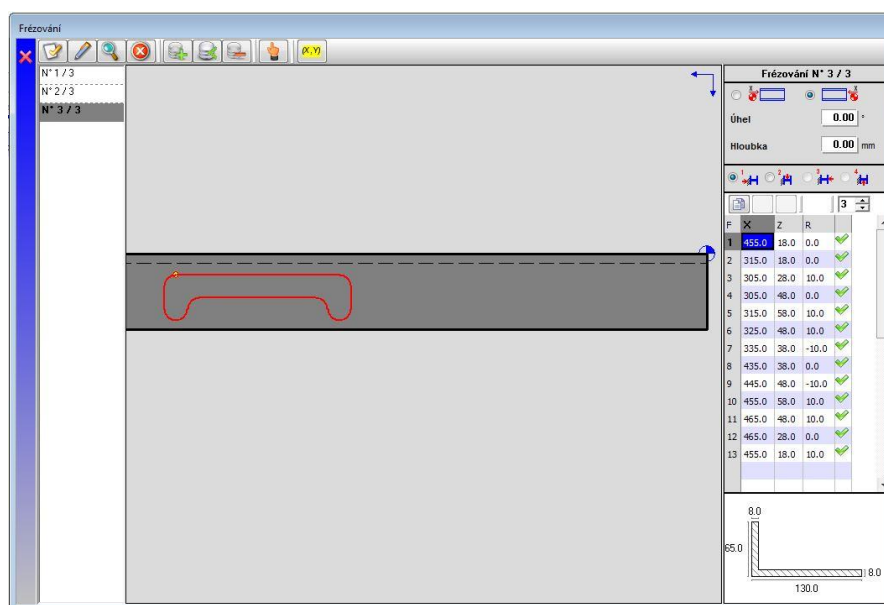
Obr. 4.18 Programování pomocí zadávání souřadnic.

Programování pomocí maker výrazně urychluje programování, programátor zadává pouze potřebné hodnoty ke specifikování umístění a rozměrů daného makra. Příklad naprogramování stejné kapsy pomocí makra je znázorněn na obr. 4.19.



Obr. 4.19 Programování kapsy pomocí makra.

Stejným způsobem je možné naprogramovat čtvercovou kapsu. V případě programování tvarové kapsy již není vytvořeno makro a je nutné jej naprogramovat pomocí zadávání souřadnic. V případě zadávání rádiusů je nutné dbát na správnost programování. Jestliže je rádius proti směru hodinových ručiček je nutné před hodnotu rádiusu zadat znaménko mínus.



Obr. 4.20 Frézovací operace.

Průměr 40 mm je možné naprogramovat také více způsoby. Jedním z nich je možnost vytvoření frézovací operace. Pomocí zadání souřadnic a potřebného rádiusu je vytvořena frézovací operace. Další možností je naprogramovat díru jako vrtací operaci. Řídicí systém automaticky rozměry větší než 40 mm transformuje na frézovací operace. Stroj by byl teoreticky schopen vrtat pomocí vrtáku průměry až 50 mm. Z důvodu snížení přesnosti obrobenej plochy a přenášení velkého množství rázů se volí možnost frézování otvorů nad 40 mm.

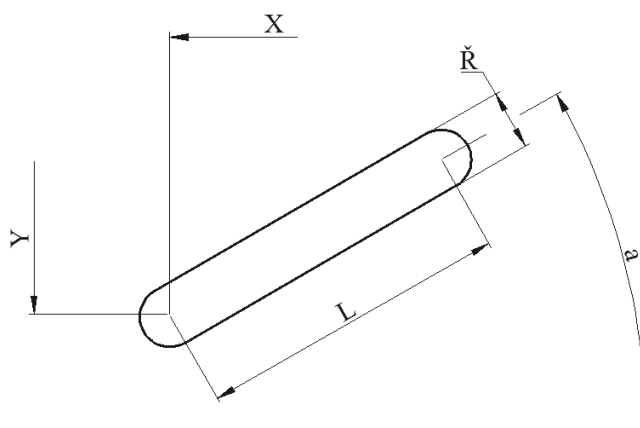
4.4.2 Programování drážek

Na součásti se nacházejí dvě podélné drážky. Každá drážka je v jiném pohledu součásti. Navíc je jedna drážka pootočená o hodnotu úhlu 30° . Popis zadání a náčrtek je znázorněn na obr. 4.21. Významy jednotlivých údajů jsou znázorněny na obr. 4.22.

| Zpracování | | | | | | | | | |
|------------------|-------|------|---|-----|-----|-----|------|-----|------|
| F1 Zbytek: 680.0 | | | | | | | | | |
| X | Y | Ř | U | def | Z | Ř2 | L | H | a |
| 122.0 | 35.0 | 16.0 | E | ✓ | 0.0 | 0.0 | 80.0 | 0.0 | 0.0 |
| F2 Zbytek: 620.0 | | | | | | | | | |
| X | Y | Ř | U | def | Z | Ř2 | L | H | a |
| 122.0 | 103.0 | 16.0 | E | ✓ | 0.0 | 0.0 | 80.0 | 0.0 | 30.0 |

Obr. 4.21. Frézování drážek.

Řídicí systém využívá automaticky funkce *def*. Daná hodnota zobrazuje programátorovi, zda správně naprogramoval určitý prvek. Řídicí systém dle rozměrů profilů určuje správnost umístění prvků na profilu. Jestliže udělá programátor chybu v podobě naprogramování prvku mimo součást, popřípadě naprogramování dvou prvků přes sebe řídicí systém nahlásí chybu a upozorní jej.



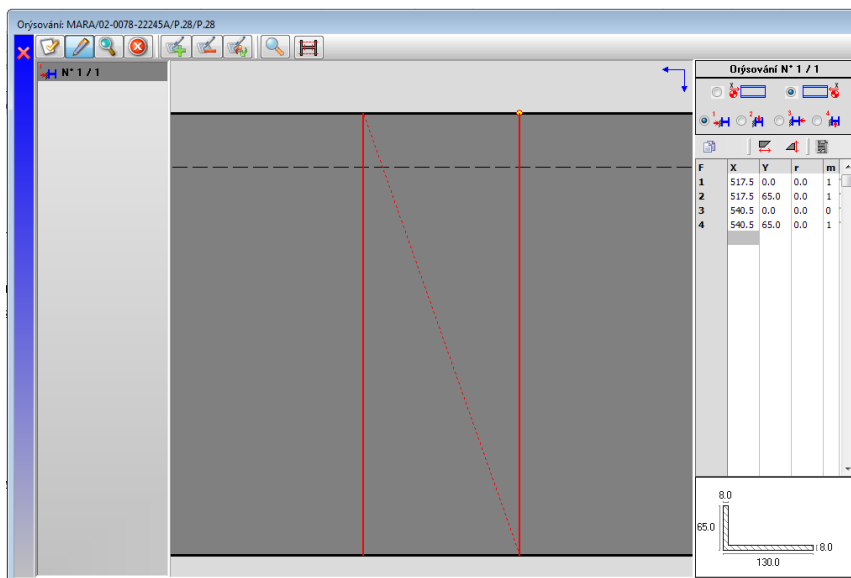
Obr. 4.22 Význam jednotlivých hodnot.

Pokud se jedná o podélnou drážku s nulovým úhlem je programování jednodušší, v případě programování drážky pod úhlem, je nutné zavést parametr *a*, jež znázorňuje hodnotu úhlu od horizontální roviny. V tabulce se dále nacházejí další hodnoty jako Ř2, Z, H. Parametry Ř2 a H slouží pro zahlubování otvorů. Jedná se o průměr a vzdálenost zahloubené díry. Hodnota Z je na dané pilovrtacím lince nepoužívá.

4.4.3 Programování označení a orýsování

V programování označení profilu a orýsování je určitý rozdíl. Označení se provádí přímo v dialogovém okně pro programování po zadání potřebných hodnot. Zadávají se souřadnice počátečního bodu, text označení, a úhel, pod kterým bude označení zadáno.

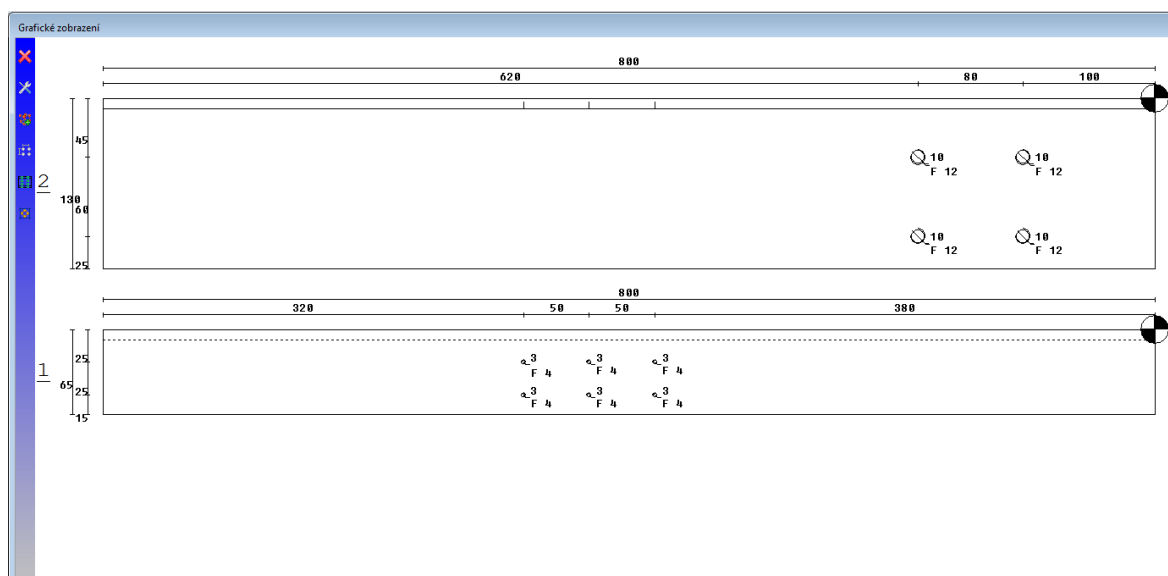
Orýsování probíhá v dialogovém okně, jež je podobné tomu frézovacímú. Zobrazí se sekundární dialogové okno, kde je nutné vybrat osu, v které bude probíhat orýsování a naprogramovat dráhu rýsovací jehly (obr. 4.23). V našem případě jsme využili možnosti parametru m , jehož význam je probrán v kapitole 4.3.5.



Obr. 4.23 Orýsování součásti.

4.4.4 Programování děr a závitů

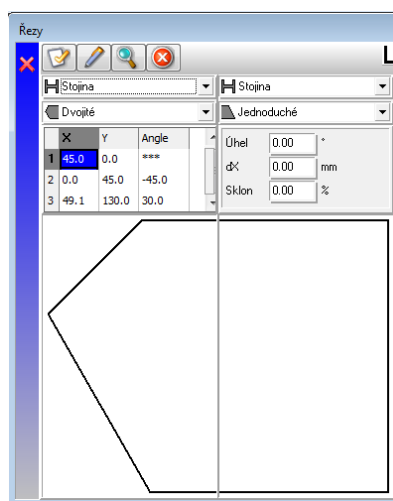
Programování prvků jako jsou díry nebo závity probíhá v dialogovém okně pomocí ručního zadávání souřadnic a potřebných hodnot. V případě většího počtu prvků, nebo opakující se roztečí mezi prvky může programátor využít funkce „pole“. V případě konstrukčních profilů se této možnosti využívá poměrně často díky jednoduššímu zadávání souřadnic. Pomocí funkce pole lze programovat obdélníkové, kruhové nebo částečně kruhové pole. Správné zadání souřadnic a průměrů může programátor ověřit v grafickém zobrazení, kde jsou zobrazeny kóty jednotlivých prvků.



Obr. 4.24 Vrtací operace a řezání závitů.

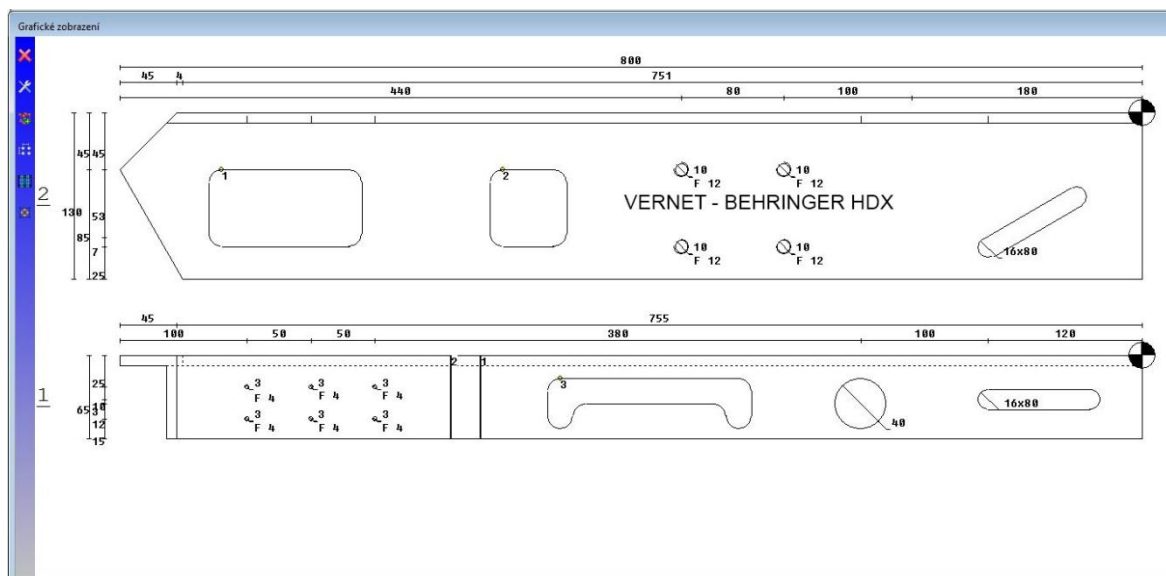
4.4.5 Programování řezů

Programování řezů probíhá zadáním souřadnic jednotlivých bodů, jež jsou potřebné pro daný řez. V našem případě se jednalo o dvojitý řez pouze na jedné straně profilu. Zadání hodnot a zobrazení řezu je znázorněno na obr. 4.25.



Obr. 4.25 Programování dvojitého řezu.

Programátor může pomocí grafického zobrazení ověřit správnost naprogramovaných prvků. V grafickém zobrazení jsou znázorněny kóty jednotlivých prvků, jež byly na daném kusu provedeny. Bohužel zde nejsou zobrazovány kóty operací provedených mimo hlavní dialogové okno (frézování, orýsování, drážky). Dané prvky musí programátor zkontrolovat správností zadaných souřadnic a rozměrů. Kompletní naprogramovaný díl je zobrazen na obr. 4.26.



Obr. 4.26 Kompletní naprogramovaná součást.

4.5 Ověření správnosti programování pomocí výrobního procesu

Výroba součásti byla provedena na výrobní lince popsané v kapitole 4.2. Výroba součásti byla realizována na obráběcích strojích HD-X 918 CNC + HBP 510/923 G.

4.5.1 Příprava polotovaru a simulace programu

Po otryskání polotovaru a zbavení nečistot byl polotovar převezen pomocí válečkové tratě k posunovači se zarážkami. Zvolený kus, který je připraven ke vstupu na pilovrtací linku je zobrazen na obr. 4.27.



Obr. 4.27 Otryskaný profil.

Ještě před samotným vstupem bylo nutno provést ověření, zda jsou připraveny všechny nástroje v zásobnících a zda je daný kus správně naprogramován s ohledem na bezpečné zóny stroje. Z důvodu možné kolize bylo nutné na profilu přeprogramovat jednu kapsu.

Díky provedené simulaci bylo zjištěno, že naprogramovaná kapsa o rozměrech 120 x 60 mm je příliš rozměrná a nebylo by možné ji vyrobit s ohledem na bezpečnou zónu stroje. Příčinou by byla kolize s pojezdovými válečky (obr. 4.28).



Obr. 4.28 Pojezdové válečky stroje.

I přes snahu snížení bezpečných zón stroje bylo nakonec nutno změnit rozměry kapsy. Přeprogramování kapsy proběhlo přímo na stroji v řídicím systému B_driver. Nově naprogramované rozměry kapsy jsou 100 x 40 mm. Při přenosu programu z řídicího systému ProNC2 nebyl tento problém identifikován. Stalo se tak z důvodu mírnějších nastavení bezpečných zón v řídicím systému.

Po úspěšné změně programu bylo zahájeno vlastní obrábění. Řídicí systém automaticky seřadí pozice prováděných operací v nejvhodnější posloupnosti s ohledem na obráběcí čas a rozmístění jednotlivých prvků. Současně s jednotlivými posloupnostmi jednotlivých operací je znázorněno grafické okno, které informuje programátora o stavu obráběné součásti. Grafika je rozdělena dle barev na neobrobené, obrobené a pobíhající obrábění. Díky tomu má programátor v reálném čase představu o množství zbývajících operací. Dále se zobrazuje čas obrábění a manipulace, zbývajících počet kroků a procentuální postup obrábění dílu. Okno se všemi náležitostmi je znázorněno na obr. 4.29.

| M | Nr | Zpracovávatel | Přívěs | Skupina | PolohaX | PolohaY | Kód M | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 | P10 |
|----|----|------------------------|--------|--------------------|---------|---------|--------|--------|---------|----|--------|--------|----|----|----|----|-----|
| 36 | 1 | Vrtání a řezání závětu | 4 | Referenční příruba | 1094,7 | 5 | 155000 | 105 | 150 | 13 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 6 |
| 37 | 1 | Vrtání a řezání závětu | 4 | Referenční příruba | 1094,7 | 5 | 155000 | 105 | 150 | 13 | 0 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 6 |
| 38 | 1 | Vrtání | 3.3 | Referenční příruba | 11270,7 | 30 | 161000 | 86,81 | 2893,73 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 39 | 1 | Vrtání | 3.3 | Referenční příruba | 11270,7 | 30 | 161000 | 86,81 | 2893,73 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 1 | Vrtání M | 14 | Referenční příruba | 11270,7 | 8,71 | 112000 | 409,26 | 2046,28 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 41 | 1 | Vrtání | 10.2 | Stopna | 11270,7 | 104 | 255000 | 842,58 | 2808,62 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 42 | 1 | Vrtání | 10.2 | Stopna | 11270,7 | 104 | 255000 | 842,58 | 2808,62 | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 43 | 1 | Vrtání M | 14 | Stopna | 11270,7 | 65 | 231000 | 409,26 | 2046,28 | 19 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 1 |
| 44 | 1 | Frézování | 0 | Stopna | 11270,7 | 65 | 216000 | 50,13 | 1432,39 | 0 | 270,56 | 2705,6 | 23 | 10 | 0 | 0 | 12 |
| 45 | 1 | Vrtání a řezání závětu | 12 | Stopna | 11370,7 | 104 | 265000 | 455 | 260 | 26 | 0 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 6 |
| 46 | 1 | Vrtání M | 14 | Referenční příruba | 11533,7 | 15 | 111000 | 409,26 | 2046,28 | 19 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 1 |
| 47 | 1 | Vrtání M | 14 | Referenční příruba | 11533,7 | 29,5 | 112000 | 409,26 | 2046,28 | 19 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 1 |
| 48 | 1 | Vrtání | 10.2 | Stopna | 11533,7 | 44 | 255000 | 842,58 | 2808,62 | 21 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 1 |
| 49 | 1 | Vrtání M | 14 | Stopna | 11533,7 | 99 | 231000 | 409,26 | 2046,28 | 19 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 1 |
| 50 | 1 | Frézování | 45 | Referenční příruba | 11533,7 | 29,5 | 122000 | 50,13 | 1432,39 | 11 | 270,56 | 2705,6 | 23 | 10 | 0 | 0 | 12 |
| 51 | 1 | Frézování | 16 | Referenční příruba | 11533,7 | 15 | 122010 | 50,13 | 1432,39 | 11 | 270,56 | 2705,6 | 23 | 10 | 0 | 0 | 12 |
| 52 | 1 | Frézování | 16 | Stopna | 11533,7 | 99 | 216000 | 50,13 | 1432,39 | 11 | 270,56 | 2705,6 | 23 | 10 | 0 | 0 | 12 |

Obr. 4.29 Průběh obrábění.

4.5.2 Nástroje použité na výrobu součásti

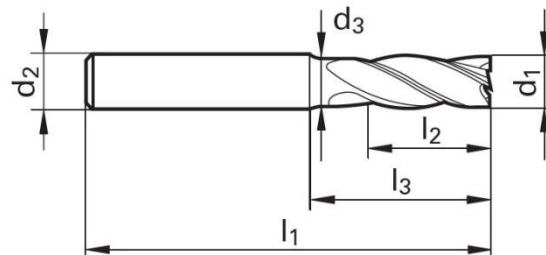
Na výrobu součásti bylo použito celkem 8 nástrojů. Většinu nástrojů, jež jsou používány na stroji Vernet – Behringer jsou nakupovány od firmy Gühring s.r.o. Největší množství materiálu odebírala fréza.

Stopková fréza

Na frézovací operace byla použita stopková fréza z řady Superline od firmy Gühring s.r.o. Stopková fréza s průměrem 10 mm byla použita pro šest frézovacích operací.

Parametry nástroje (obr. 4.30):

- $d_1 = 10 \text{ mm}$, $d_2 = 10 \text{ mm}$, $d_3 = 9,2 \text{ mm}$,
- $l_1 = 72 \text{ mm}$, $l_2 = 22 \text{ mm}$, $l_3 = 32 \text{ mm}$, $z = 4$



Obr. 4.30 Stopková fréza [32].

Doporučené řezné podmínky nástroje:

- posuv na zub $f_z = 0,05 \text{ mm}$, řezná rychlost $v_c = 44\text{-}54 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$,
- šířka řezu $a_e = 0,5 - 1,0 \cdot d_1 \text{ [mm]}$, hloubka řezu $a_p = 1 \cdot d_1 \text{ [mm]}$

Reálná řezná rychlost, jež je nastavena na stroji je snížena na $40 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$. Díky nižší rychlosti dosahuje nástroj vysoké trvanlivosti.

Frézování je prováděno stylem navrtání startovací díry pomocí vrtáku a následně je pomocí frézy provedeno obvodové frézování předem naprogramovaného obrysu. Na frézovací operace je používána fréza o průměru 10 mm, tudíž navrtání startovacího otvoru musí být provedeno větším průměrem, než je průměr frézy. V případě použití jakéhokoliv nástroje si řídicí systém automaticky spočítá korekci nástroje, tak aby nedocházelo k výrobě neshodných kusů.

Kapsy na většině profilů slouží spíše jako technologické prvky, tudíž se nekladou velké nároky na výslednou kvalitu povrchu. Mezi výhody takto používaného obvodového frézování se řadí značná úspora času, větší trvanlivost nástroje a s tím spojené nižší náklady na nástroje. Při využívání obvodového frézování je nutné ověření správnosti programování a určení startovacího bodu. Na svislých plochách je nutné umístění otvoru resp. konečného bodu frézování (moment kdy dojde k oddělení kapsy) na horní části kapsy. V případě zvolení nesprávné pozice může dojít až k destrukci nástroje.

Vrtáky

Při obrábění součásti byly použity celkem tři vrtáky a to dva jako předvrtání díry pro závity a jeden jako příprava pro frézovací operace. Doporučené řezné parametry od výrobce nástrojů byly zadány do tab. 4.3 [32].

Tab. 4.3 Vrtáky použité na výrobu součásti [32].

| | posuv na otáčku f [mm] | řezná rychlost v_c [$m \cdot min^{-1}$] |
|-----------------------------|--------------------------|---|
| Vrták \varnothing 3,3 mm | 0,04 | 35 |
| vrták \varnothing 10,2 mm | 0,2 | 90 |
| vrták \varnothing 11 mm | 0,2 | 90 |

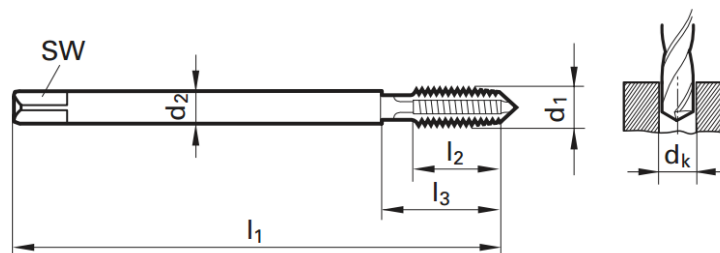
Vrták o průměru 11 mm byl použit na předvrtání díry pro frézování.

Závitníky

Na profilu byly řezány dva metrické závity a to M4x0,7 a M12x1,75. Porovnání doporučených řezných parametrů a rozměrů je znázorněno v tab. 4.4. Na obr. 4.31 jsou graficky znázorněny rozměry závitníků.

Tab. 4.4 Doporučené řezné parametry a rozměry závitníků [32].

| | v_c [$m \cdot min^{-1}$] | P [mm] | d_2 [mm] | d_k [mm] | l_1 [mm] | l_2 [mm] | l_3 [mm] |
|-----------|------------------------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|
| závit M4 | 10 – 15 | 0,7 | 2,8 | 3,3 | 63 | 12 | 21 |
| závit M12 | 10 – 15 | 1,75 | 9 | 10,2 | 110 | 24 | 49 |



Obr. 4.31 Závitník [32].

Jedná se o oba závity s hrubou roztečí, u tenkostěnných součástí se však většinou používají závity s jemným stoupáním z důvodu menšího počtu závitů a tím také menší pevnosti.

Pilový list a rycí jehla

Na řezání součásti byl použit pilový list o rozměrech 7 300 x 54 x 1,3 mm. Pilový list je doporučen přímo od výrobce stroje. Na rytí nápisu a označení byla použita rycí jehla, která byla představena v kap. 4.1.2. Řezání součásti je zobrazeno na obr. 4.32.



Obr. 4.32 Poslední operace – řezání součásti.

4.6 Výstupní zpráva

Součástí řídicího systému ProNC2 je také integrovaný prvek, který slouží programátorovi jako výsledné shrnutí celkového programování. Programátorovi jsou zobrazeny následující informace:

- informace o profilu, délce, množství, zákazníkovi,
- počet tyčí a dílů v nich,
- počet prvků (řezy, díry, frézování, rýhování),
- seznam použitých nástrojů v každé jednotce a řezné parametry nástrojů,
- odhadovaný čas zpracování (jednotlivé časy obrábění, pohyby svěráku, čas přípravy stroje, čas na výměnu nástroje,...)

Odhadovaný čas je zobrazen ve dvou přehledných provedeních a to v podobě uspořádaného sloupcového a výsečového grafu. Názorné shrnutí je zobrazeno v příloze 2. Celkový odhadovaný čas zpracování se přibližně shodoval s reálnými hodnotami času výroby.

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V části technicko – ekonomického zhodnocení byla stanovována cena jak pro určení orientační ceny obrobení 1 mm plochy pomocí frézování, tak pro celkovou výrobní cenu. Pro první část byla stanovena kalkulace pomocí řezné délky.

5.1 Stanovení ceny 1 mm obrobené plochy pomocí frézování

a) Stanovení délky obráběné plochy frézováním.

Celková délka obráběné plochy byla stanovena ze všech frézovacích operací.

Délka plochy kapes = $342,84 + 222,83 = \underline{565,67 \text{ mm}}$,

délka plochy drážek = $2 \cdot 130,27 = \underline{260,54 \text{ mm}}$,

délka plochy otvoru a tvarového prvku = $125,66 + 405,66 = \underline{531,32 \text{ mm}}$.

Celková délka obráběné plochy = součet jednotlivých prvků = $565,67 + 260,54 + 531,32 = \underline{1\,357,53 \text{ mm}}$.

b) Stanovení celkového času obráběné plochy frézováním.

Celková doba obráběné části frézováním byla určena pomocí výstupní zprávy z řídicího systému ProNC2.

Celková doba frézování = 991 s.

c) Stanovení ceny dle sazby stroje.

Vycházeli jsme z předpokladu sazby stroje za 1 minutu obrábění, která činí 1,759 €.

V sazbě stroje jsou obsaženy fixní i variabilní náklady. Fixní náklady se s objemem výroby nemění. Jedná se tak zejména o většinu režijních nákladů (odpisy, mzdy administrativních pracovníků, nájemné za prostory, atd.). Dále je cena stanovena s ohledem na variabilní náklady, spojené s objemem produkce. Zde můžeme zařadit například cenu vstupního materiálu, mzdy technicko – hospodářských pracovníků podílejících se na programování a zpracování konkrétní zakázky, v neposlední řadě také na mzdě obsluhy stroje.

Výrobní cena dílu

Aktuální poměr měny (Euro:Kč = 1:27,445) [33].

$[b) \cdot c)] = [(991 / 60) \cdot (1,759 \cdot 27,445)] = \underline{797,35 \text{ Kč}}$

Cena 1 mm obrobené plochy frézováním

Stanovení ceny 1 mm obrobené plochy vychází z celkové obráběné plochy, která byla vypočtena v části a) a výrobní ceny dílu.

Výrobní cena dílu / celková délka obráběné plochy frézováním =
= $797,35 / 1\,357,53 = \underline{\underline{0,587 \text{ Kč/mm.}}}$

Z výpočtu je patrné, že 1 mm obrobené plochy frézováním s přihlédnutím k sazbě stroje bude stát přibližně 0,587 korun českých. V jiných případech by bylo nutné přihlédnout také k tloušťce obráběného profilu. Jedná se tedy pouze o orientační výpočet, z kterého plyne výrobní cena dílu pomocí frézovacích operací. Obdobným způsobem by byly vypočteny hodnoty pro vrtací, závitovací, řezné operace a rytí pomocí jehly. Výsledná cena by byla ještě navýšena o zisk, náklady na skladové hospodářství i cenu pořízení materiálu.

5.2 Stanovení celkové výrobní ceny

Celková výrobní cena byla stanovena z celkové doby obrábění stroje, dále ze sazby stroje, v které jsou obsaženy režie, mzda programátorů, mzda obsluhy stroje, náklady na administrativní pracovníky, náklady na nástrojové vybavení, atd. V celkové době obrábění jsou zahrnuty i vedlejší časy vztahující se k době potřebné na přemístění vozíku, naložení a vyložení materiálu, přípravu stroje, výměnu nástrojů apod.

a) Stanovení celkové ceny obráběcího stroje.

Celková doba obrábění vynásobena sazbou stroje =
= $(2\,045 / 60) \cdot (1,759 \text{ €} \cdot 27,445) = \underline{\underline{1\,645,4 \text{ Kč}}}$.

K výsledné výrobní ceně je ještě nutné připočíst zisk, náklady na skladové hospodářství a cenu vstupního materiálu.

Následující hodnoty byly stanoveny na základě osobní sdělení pracovníka firmy. Jedná se pouze o orientační výpočet, který lze použít jako vzor pro stanovení reálné ceny dílu

V mém případě byl zisk stanoven na hodnotu 10 % z celkové výrobní ceny dílu. Dále byl určen náklad na skladové prostory, který činil 5 % z celkové výrobní ceny dílu. V případě pořízení materiálu se jednalo o cenu 360 Kč za běžný metr.

Cena pořízení materiálu,

$$C_{pm} = 360 \cdot 0,8 = 288 \text{ Kč},$$

Cena s přihlédnutím k zisku a skladovému hospodářství:

$$C_{z+s} = [1\,645,4 \cdot (0,10 + 0,05)] + 1\,645,4 = \underline{\underline{1\,892,21 \text{ Kč}}}$$

Celková cena dílu,

$$C_c = C_{pm} + C_{z+s} = 288 + 1\,892,21 = \underline{\underline{2\,180,21 \text{ Kč}}}$$

ZÁVĚR

V části práce jsem se zabýval problematikou obrábění tenkostěnných součástí, kterými konstrukční profily bezpochyby jsou. Konkrétně jsem se zabýval výchytkou nástroje a tenkostěnné části v průběhu obráběcího procesu. Pomocí simulačního programu Inventor Pro 2014 byly stanovovány výchytky tenkostěnné části i nástroje. Obecně platí, čím tužší nástroj, obrobek či tenkostěnná část, tím větší odolnost vůči pružné deformaci. Toto pravidlo bylo potvrzeno při stanovení výchytky v závislosti na měnící se tloušťce části. V případě zatěžování totožnou silou byl stanoven klesající trend maximální výchytky součásti v závislosti na tloušťce. V případě stanovení výchytky nástroje byly porovnány analytické s numerickými výpočty.

Výstupem praktické části práce je naprogramování a výroba konstrukčního L – profilu. Veškeré programování a výroba součásti byla prováděna ve firmě SSI Schäfer s.r.o., Hranice na Moravě. Programování profilu probíhalo v prostředí řídicího systému ProNC2. Na profilu byly provedeny technologické operace jako vrtání, frézování, rytí jehlou a řezání součásti pomocí pily. Na obrobení součásti byly použity stroje firmy Vernet – Behringer. Jednalo se o pilovrtací stroj HD-X 918 CNC zkompletovaný s pilou HBP510/923 G.

Nevýhodou stroje HD-X 918 CNC je absence radiálního frézování. Radiální frézování je plně závislé na tuhosti stroje, tomuto způsobu obrábění není příslušný stroj konstrukčně přizpůsoben. Během výroby modelové součásti jsem narazil na nedostatek v podobě obtížnějšího obrábění menších profilů z hlediska nastavení bezpečných zón stroje. Bylo nutné přeprogramovat jednu kapsu na obráběném profilu, neboť stroj identifikoval možnou kolizi s pojezdovými válečky stroje. Primárně bylo cílem vyrobení kapsy bez zásahu do výkresové dokumentace. Vzhledem k tomu jsme snížili bezpečnostní zóny stroje na minimální možné hodnoty. Bohužel stroj stále nebyl schopen kapsu vyrobit a tak jsme se museli uchýlit k provedení změn v programu. Původní kapsa měla rozměry 120 x 60 mm. Nové rozměry kapsy byly stanoveny na 100 x 40 mm. Změna probíhala přímo na ovládacím panelu stroje v prostředí řídicího systému B_driver. Způsob programování v daném řídicím systému je shodný s řídicím systémem ProNC2. V našem případě se jednalo o modelovou součást, tudíž neměla změna rozměrů kapsy vliv na budoucí použití profilu. V případě nutnosti vyrobení dané kapsy by bylo nutno vstoupit do poloautomatického chodu stroje a manuálně provést posun součásti na pojezdových válečkách tak, aby bylo zamezeno kolizi nástroje s pojezdovým válečkem.

Mé závěrečné technicko – ekonomické zhodnocení je rozděleno na dvě části. V první části je prováděn propočet ceny na 1 mm obrobené plochy pomocí frézování. Tato cena je výpočtem stanovena na 0,587 Kč při obrobení 1 mm plochy.

V druhé části technicko – ekonomického zhodnocení je stanovena celková výrobní cena daného L – profilu. Cena je stanovena ze sazby stroje vztažené na jednotku času. Výpočet probíhal za předpokladu orientační sazby stroje 1,759 € za minutu. Je stanovena cena za naprogramování dílu a obsluhu stroje při obrábění. Celková cena modelové části je určena na 2 180,21 Kč.

Pro zhotovení technicko – ekonomického zhodnocení bylo nutné stanovit fixní a variabilní náklady. Tyto náklady byly stanoveny na základě osobní konzultace s pracovníkem firmy. Toto zhodnocení má pouze informační charakter a nelze je považovat za závazné.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Prodej průmyslových strojů a vybavení. *Http://www.portalmest.cz/* [online]. © 2008 – 2014 [vid. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.portalmest.cz/obrazky/vyskovy-sklad.jpg>
- [2] VERNET – BEHRINGER. *HD-X 918 CNC: Příručka pro uživatele*. 13 rue de la Brot F 21074 Dijon, 2011.
- [3] SVOBODA, Evžen. *Technologie a programování CNC strojů*. 1. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1998, 100 s. Učebnice pro odborné školy (Fragment). ISBN 80-720-0297-X.
- [4] Corporate history. *Vernet Behringer* [online]. 2010 [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.vernet-behringer.com/entreprise/historique/>
- [5] VERNET – BEHRINGER. *Program B Driver Pro stroje Vernet Behringer*. 13 rue de la Brot F 21074 Dijon, 2010.
- [6] VERNET – BEHRINGER. *Program ProNC2 Pro stroje Vernet Behringer*. 13 rue de la Brot F 21074 Dijon, 2010.
- [7] Řídicí systém Sinumerik společnosti Siemens slaví padesáté narozeniny. STUDENÝ, Jaromír. *Siemens* [online]. 10.9.2010 [vid. 2014-01-26]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/siemjet/cz/home/ad/press/releases/new/Main/59121.jet>
- [8] Řídicí systémy pro každou technologii. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2002, 4, [vid. 2014-01-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-systemy-pro-kazdou-technologie.html>
- [9] Řídicí systémy, pohony a motory pro obráběcí stroje. *MM průmyslové spektrum* [online]. 2006, 5, [vid. 2014-01-26]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-systemy-pohony-a-motory-pro-obrabeci-stroje.html>
- [10] Siemens na Mezinárodním strojírenském veletrhu. *Elektro odborný časopis pro elektroniku* [online]. 2010, 8-9, s. 8-9 [vid. 2014-01-26]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/41887.pdf>
- [11] O firmě. *Heidenhain* [online]. 2014 [vid. 2014-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/o-firme/
- [12] TNC 620 Kompaktní souvislé CNC řízení pro frézky a vyvrtávačky. *Heidenhain* [online]. září 2013 [vid. 2014-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/php/dokumentace-informace/dokumentace/prospekty/popup/media/media/file/view/file-0530/file.pdf
- [13] Prospekty. *Heidenhain* [online]. Listopad 2013 [vid. 2014-01-27]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/php/dokumentace-informace/dokumentace/prospekty/popup/media/media/file/view/file-0714/file.pdf
- [14] Výrobky. *Fanuc Factory Automation* [online]. 2010 [vid. 2014-01-26]. Dostupné z: <http://www.fanucfa.cz/cz-cz/Products>
- [15] CNC řídicí systémy série 30i/31i/32i. *Technika a trh* [online]. 20. srpna 2009 [vid. 2014-01-26]. Dostupné z: <http://www.technikaatrh.cz/it-ve-vyrobe/cnc-ridici-systemy-serie-30i-31i-32>

- [16] Product Brochures. *Fanuc* [online]. duben 2013 [vid. 2014-01-27]. Dostupné z: [http://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/Series30i-B\(E\)_04_s.pdf](http://www.fanuc.co.jp/en/product/catalog/pdf/Series30i-B(E)_04_s.pdf)
- [17] ZEMAN, Pavel. *Řezné prostředí a jeho účinky na řezný proces*. Odborná konference – Frézování IV. Brno: VUT Fakulta strojního inženýrství, 2007, s. 19-26. ISBN 80-214-3239-X.
- [18] Akademie CNC obrábění. *Technický Týdeník* [online]. 2009 [vid. 2014-03-29]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-15_8550.html
- [19] Akademie CNC obrábění. *Technický Týdeník* [online]. 2009 [vid. 2014-03-29]. Dostupné z: http://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/akademie-cnc-obrabeni/akademie-cnc-obrabeni-4_8539.html
- [20] SADÍLEK a Zuzana SADÍLKOVÁ. Počítačová podpora procesu obrábění. *Projekty s podporou EU* [online]. 2012 [vid. 2014-04-12]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Pocitacova_podpora_procesu%20obrabeni.pdf
- [21] Produkty. *Delcam* [online]. © 2008-2014 [vid. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.delcam.cz/produkty/powermill/>
- [22] KOVÁČ, Martin a Ivan BURANSKÝ. EXPERIMENTAL DETERMINATION OF MILLING MODEL FOR THIN-WALLED PARTS. *Acta Technica Corvininensis - Bulletin of Engineering* [online]. 2013, roč. 6, č. 3, s. 123-126 [vid. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail?vid=4&sid=f100760e-3888-4237-8bcb-acb397a5cdae%40sessionmgr4003&hid=4101&bdata=Jmxbmc9Y3Mmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#db=a9h&AN=90591116>
- [23] AIJUN, Tang a Liu ZHANQIANG. Deformations of thin-walled plate due to static end milling force. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2008, vol. 206, 1-3, s. 345-351 [vid. 2014-04-13]. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2007.12.089. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092401360701401X>
- [24] PAL PANDIAN, P., V. PRABHU RAJA a K. SAKTHIMURUGAN. Surface error compensation in HSM of Thin Wall Structures. *International Journal of Engineering Science Invention* [online]. 2013, roč. 2, č. 2 [vid. 2014-04-21]. Dostupné z: <http://www.ijesi.org/papers/Vol%282%292%20%28Version-3%29/A220111.pdf>
- [25] Shoulder milling of thin deflecting walls. *Sandvik - Coromant* [online]. © 2000-2011 [vid. 2014-04-14]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/application_overview/shoulder_milling/shoulder_milling_thin_walls/pages/default.aspx
- [26] GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ A REPROGRAFIE: SJÖSTRÖMS TEXT & REPRO. *Produktivní obrábění kovů*. Sandviken: Sandvik Coromant, ©1997, 300 s.

- [27] RATCHEV, S., S. LIU, W. HUANG a A.A. BECKER. Milling error prediction and compensation in machining of low-rigidity parts. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [online]. 2004, vol. 44, issue 15, s. 1629-1641 [vid. 2014-04-14]. DOI: 10.1016/j.ijmactools.2004.06.001. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695504001439>
- [28] SMITH, Graham T. *Cutting tool technology: industrial handbook*. London: Springer, c2008, xii, 599 s. ISBN 978-1-84800-204-3.
- [29] ČSN EN 10025-2. *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí: Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [30] Tyče průřezu L nerovnoramenné. *Ferona* [online]. © 2004–2014 [vid. 2014-04-14]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/detail.php?id=26690>
- [31] NÁPRSTKOVÁ, Nataša a Karel JANDEČKA. *Programování výrobních strojů*. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2010, 143 s. ISBN 978-80-7414-216-1.
- [32] SuperLine-katalog. *Gühring* [online]. 2014 [vid. 2014-05-15]. Dostupné z: http://www.guehring.cz/data/produkty/cz_64.pdf
- [33] Kurzy devizového trhu. *Česká národní banka* [online]. (c) 2003-2014 [vid. 2014-05-17]. Dostupné z: http://www.cnb.cz/cs/financni_trhy/devizovy_trh/kurzy_devizoveho_trhu/denni_kurz.jsp

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Zkratka | Jednotka | Popis |
|---------------|----------|--|
| CAD | [-] | Computer Aided Design (počítačem podporované navrhování), |
| CAM | [-] | Computer Aided Manufacturing (počítačem podporovaná výroba), |
| CNC | [-] | Computer Numerical Control (číslicové řízení pomocí počítače), |
| CPU | [-] | Central Processing Unit (centrální výpočetní jednotka), |
| DNC | [-] | Direct Numerical Control (přímé číslicové řízení), |
| EPROM | [-] | Erasable Programmable Read Only Memory (mazatelná paměť pouze pro čtení), |
| HSM | [-] | High Speed Machining (vysoko rychlostní obrábění), |
| ISO | [-] | International Organization for Standardization (mezinárodní organizace pro normalizaci), |
| LCD | [-] | Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů)s |
| MQL | [-] | Minimum Quantity Lubrication (minimální množství maziva), |
| NC | [-] | Numerical Control (číslicové řízení), |
| PC | [-] | Personal Computer (osobní počítač), |
| PMC | [-] | Programmable Machine Controller (program řízení stroje), |
| RAM | [-] | Random Access Memory (paměť s náhodným přístupem), |
| ŘS | [-] | Řídicí systém |
| VBD | [-] | vyměnitelná břitová destička, |
| s.r.o. | [-] | společnost s ručením omezeným. |

| Symbol | Jednotka | Popis |
|----------|----------|---------------------------------------|
| D | [mm] | průměr nástroje, |
| E | [GPa] | modul pružnosti v tahu, Youngův modul |

| | | |
|------------------------|------------------------|--|
| F | [N] | zatěžující síla, |
| J | [m ⁴] | osový kvadratický moment, |
| M₀ - | [N·m] | ohybový moment, |
| R_a | [μm] | střední aritmetická hodnota drsnosti, |
| R_t | [μm] | největší výška profilu, v rozsahu vyhodnocované délky |
| R_z | [μm] | největší výška profilu, v rozsahu základní délky |
| a | [-] | koeficient, jehož hodnota závisí na podmínkách podpory zatížení, |
| a_e | [mm] | radiální šířka řezu, |
| a_p | [mm] | axiální šířka řezu, |
| f_z | [mm] | posuv na zub |
| k | [N·mm ⁻¹] | tuhost, |
| l | [m] | délka vyložení nástroje, |
| v_c | [m·min ⁻¹] | řezná rychlost, |
| w_A | [mm] | výchylka nástroje, |
| y | [mm] | výchylka součásti. |

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Layout pilovrtací linky
- Příloha 2 Výstupní zpráva z ŘS ProNC2
- Příloha 3 Výrobní výkres modelové součásti

PŘÍLOHA 2 (1/2)

Tiskový modul

1/3 124%

Vernet Behringer

Odhadovaný čas zpracování

HDX918

MANU_2014_04_24/
Tyč č. 18378
Profil L130°65°8
Délka 3000mm S235
ané množství 1
Zákazník MARA

| HDX918 | |
|------------------------|----|
| Počet tyčí | 1 |
| Počet dílů | 1 |
| Počet značkování | 0 |
| Počet řezů | 3 |
| Počet děr | 26 |
| Počet rýhování | 21 |
| Počet frézování | 4 |
| Počet ořezávacích řezů | 0 |

| | | |
|---------------------------|--------------------|---------------|
| Čas přemístění vozíku | 00h 00m 50s | 50 s |
| Čas přemístění nádrhu | 00h 00m 23s | 23 s |
| Čas přemístění | 00h 00m 44s | 44 s |
| Čas značkování | 00h 00m 00s | 0 s |
| Čas řezu | 00h 02m 01s | 121 s |
| Čas vrtání/Čas vysekávání | 00h 03m 07s | 187 s |
| Čas rýhování | 00h 00m 51s | 51 s |
| Čas frézování | 00h 16m 31s | 991 s |
| Čas ořezávacích řezů | 00h 00m 00s | 0 s |
| Čas nakládání nástroje | 00h 04m 48s | 288 s |
| Čas pohybu svěráku | 00h 00m 55s | 55 s |
| Čas vložení materiálu | 00h 01m 25s | 85 s |
| Čas nakládání materiálu | 00h 00m 30s | 30 s |
| Čas přípravy stroje | 00h 01m 00s | 60 s |
| Celkový čas | 00h 34m 05s | 2045 s |

| Operation | Time (s) | Percentage |
|---------------------------|----------|------------|
| Čas přemístění vozíku | 50 | 2.52% |
| Čas přemístění nádrhu | 23 | 1.16% |
| Čas přemístění | 44 | 2.22% |
| Čas značkování | 0 | 0% |
| Čas řezu | 121 | 6.1% |
| Čas vrtání/Čas vysekávání | 187 | 9.42% |
| Čas rýhování | 51 | 2.57% |
| Čas frézování | 991 | 49.92% |
| Čas ořezávacích řezů | 0 | 0% |
| Čas nakládání nástroje | 288 | 14.51% |
| Čas pohybu svěráku | 55 | 2.77% |
| Čas vložení materiálu | 85 | 4.28% |
| Čas nakládání materiálu | 30 | 1.51% |
| Čas přípravy stroje | 60 | 3.02% |

| Seznam nástrojů | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------|--------|----------|-----------------|-------------------|---------|-------------------|-----------------|-------|
| Jed. | Jméno | Průměr | Množství | Rychlost posuvu | Rychlost řezu | Kvalita | Rychlost posuvu 2 | Rychlost řezu 2 | Délka |
| 1 | GUHRING | 3.3mm | 6 | 0.03mm/ot | 30m/min | CAR | - | - | 160mm |
| 1 | GUHRING | 11mm | 3 | 0.2mm/ot | 90m/min | CAR | - | - | 211mm |
| 1 | GUHRING - zavítníky | 4mm | 6 | - | 200ot/min (min-1) | STD | - | - | 63mm |
| 1 | SCRIBING | - | 2 | 6000mm/min | - | CAR | - | - | 227mm |
| 1 | GUHRING - freza | 10mm | 3 | 0.05mm/ot | 40m/min | CAR | 0.01mm/ot/Z | 80m/min | 72mm |
| 2 | GUHRING | 10.2mm | 4 | 0.2mm/ot | 90m/min | CAR | - | - | 160mm |
| 2 | HSS STANDARD | 11mm | 3 | 0.1mm/ot | 25m/min | HSS | - | - | 160mm |
| 2 | GUHRING - zavítníky | 12mm | 4 | - | 260ot/min (min-1) | STD | - | - | 200mm |
| 2 | SCRIBING | - | 19 | 6000mm/min | - | CAR | - | - | 227mm |
| 2 | GUHRING - freza | 10mm | 1 | 0.05mm/ot | 40m/min | CAR | 0.01mm/ot/Z | 80m/min | 72mm |

PŘÍLOHA 2 (2/2)

Tiskový modul

Jméno zákazníka
Vernet Behring

Logo soubor BMP 160x90
C:\Pronc2\pnc_img\Loi

Název
Odhadovaný čas zpracování

Podrobnosti podle tyčí

Záhlaví
HDx918

Shrnutí

Záhlaví
Shrnutí

Memo
 Memo included
každého kusu.

Shrnutí

Celkový čas

Zákazník MARA

Celkový čas **00h 34m 05s** **2045 s**

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Čas přemístění vozíku | 00h 00m 50s |
| Čas přemístění nádrhu | 00h 00m 23s |
| Čas přemístění | 00h 00m 44s |
| Čas značkování | 00h 00m 00s |
| Čas řezu | 00h 02m 01s |
| Čas vrtání/Čas vysekávání | 00h 03m 07s |
| Čas rýhování | 00h 00m 51s |
| Čas frézování | 00h 16m 31s |
| Čas ořezávacích řezů | 00h 00m 00s |
| Čas nakiádání nástroje | 00h 04m 48s |
| Čas pohybu svěráku | 00h 00m 55s |
| Čas vyložení materiálu | 00h 01m 25s |
| Čas nakiádání materiálu | 00h 00m 30s |
| Čas přípravy stroje | 00h 01m 00s |
| Celkový čas | 00h 34m 05s |

| | |
|------------------------|----|
| Počet tyčí | 1 |
| Počet dílů | 1 |
| Počet značkování | 0 |
| Počet řezů | 3 |
| Počet děr | 26 |
| Počet rýhování | 21 |
| Počet frézování | 4 |
| Počet ořezávacích řezů | 0 |