



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**MOŽNOSTI ŘÍDICÍHO SYSTÉMU HEIDENHAIN PŘI
PROGRAMOVÁNÍ CNC OBRÁBĚCÍCH STROJŮ**

HEIDENHAIN TOOLS FOR PROGRAMMING OF CNC MACHINES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Farka

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Aleš Polzer, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jan Farka
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Aleš Polzer, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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

Možnosti řídicího systému Heidenhain při programování CNC obráběcích strojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při programování CNC obráběcích strojů s řídicím systémem Heidenhain je možno využít řady různých programovacích funkcí i různé metody a postupy. Vytvoření tematických ukázkových příkladů možností systému Heidenhain umožní přiblížit tuto problematiku osobám, které teprve volí vhodný způsob programovacího prostředí pro zajištění výroby třískovým obráběním na frézovacích obráběcích centrech.

Cíle diplomové práce:

- stručné srovnání řídicího systému Heidenhain s ostatními řídicími systémy obráběcích strojů a s možnostmi vybraných CAD/CAM softwarů
- návrh a zpracování základní technické dokumentace navržených součástí vhodných k prezentaci možností NC programování

Seznam doporučené literatury:

GUPTA, Kapil, ed. Advanced manufacturing technologies: Modern Machining, Advanced Joining, Sustainable Manufacturing. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-56–98-4.

GRZESIK, Wit. Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications. Second edition. Boston: Elsevier, [2017]. ISBN 978-0-444-63711-6.

DAVIM, J. Paulo, ed. Surface integrity in machining. London: Springer, 2010, 215 s. ISBN 978--84882-873-5.

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

DAVIM, J. Paulo, ed. Machining: fundamentals and recent advances. London: Springer, c2008, xiii, 361 s. ISBN 978-1-84800-212-8.

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

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.

děkan fakulty

ABSTRAKT

Moderní obráběcí stroje jsou vybaveny řídicími systémy, které jsou pomyslným mozkiem celého stroje. Tyto řídicí systémy jsou vyvíjeny, dále spravovány a neustále inovovány mnoha firmami a je tedy jasné, že je i na poli řídicích systémů jakýsi konkurenční boj. Cílem této práce je převážně popsat možnosti jednoho z velikánů mezi vývojáři řídicích systémů, a to od společnosti Heidenhain a také zevrubné srovnání tohoto systému se systémy jiných výrobců. V neposlední řadě budou v práci uvedeny také další produkty firmy Heidenhain a jejich možnost využití v praxi.

Klíčová slova

Heidenhain, řídicí systém stroje, sondy, obrábění, programovací funkce, NC programování

ABSTRACT

Modern machine tools are equipped with control systems, which are the imaginary brain of the whole machine. These control systems are developed, further managed, and constantly innovated by many companies, so it is clear that there is a kind of competition in the field of control systems. The aim of this work is mainly to describe the possibilities of one of the greats among developers of control systems from the company Heidenhain and also a thorough comparison of this system with systems from other manufacturers. Last but not least, other Heidenhain products and their possibility of use in practice will be presented in the work.

Key words

Heidenhain, machine control system, probes, machining, programming functions, NC programming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FARKA, Jan. *Možnosti řídicího systému Heidenhain při programování CNC obráběcích strojů* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/131813>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Aleš Polzer

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Možnosti řídicího systému Heidenhain při programování CNC obráběcích strojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

18. 05. 2021

Datum

Farka

Bc. Jan Farka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Aleši Polzerovi, Ph.D. za cenné připomínky, rady a odborné vedení při vypracování diplomové práce. Dále děkuji všem zaměstnancům českého zastoupení společnosti Heidenhain, kteří mi byli velmi nápomocni při vypracování diplomové práce.

OBSAH

OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 STRUČNÝ POPIS SYSTÉMU HEIDENHAIN	10
1.1 Historie společnosti Heidenhain	10
1.1.1 Milníky firmy.....	10
1.1.2 Portfolio	11
1.1.3 Heidenhain v 21. století	11
1.2 Pokročilé funkce řídicího systému Heidenhain	13
1.2.1 OCM	13
1.2.2 Jig grinding	14
1.2.3 Data matrix code.....	15
1.2.4 Component monitoring	16
1.2.5 Cyklus 32	18
1.2.6 Dynamická výkonnost	18
1.2.7 Skiving.....	22
1.2.8 Rozšířená pracovní plocha.....	23
1.2.9 Předpokládané možnosti vývoje řídicího systému.....	24
1.3 Sondy	25
1.3.1 Sonda TS 460.....	25
1.3.2 Sonda TT 460.....	31
2 POROVNÁNÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU HEIDENHAIN S ŘÍDICÍM SYSTÉMEM SINUMERIK	35
2.1 Siemens Sinumerik	35
2.2 Pokročilé funkce řídicího systému Sinumerik	35
2.2.1 MDynamics.....	35
2.2.2 Předcházení kolizím.....	37
2.2.3 Vybrané cykly systému Sinumerik	37
2.2.4 Displej obráběcího stroje	38
2.2.5 Funkce broušení	39
3 POROVNÁNÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU HEIDENHAIN S VYBRANÝMI CAD/CAM SOFTWARE	41
3.1 Autodesk – PowerMill	41
3.1.1 Pětiosé frézování.....	41
3.1.2 Kontrola a simulace	41
3.1.3 Novinky softwaru PowerMill 2021	42

3.1.4 Vybrané funkce softwaru PowerMill.....	45
3.2 CAD/CAM Tebis.....	47
3.2.1 Tebis – frézování	47
3.2.2 Tebis – měření	48
3.2.3 Vybrané funkce softwaru Tebis.....	50
4 ZÁKLADNÍ TECHNICKÁ DOKUMENTACE SOUČÁSTÍ K PREZENTACI NC PROGRAMOVÁNÍ.....	53
ZÁVĚR	59
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	61
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
SEZNAM PŘÍLOH.....	65

ÚVOD

V posledních letech si stroje bez řídicího systému již téměř ani nelze představit a jsou s nimi dodávány mnohdy už přímo z výroby. Velký boom zažily v minulém století, kdy byly také položeny základy mnohých dnes dobře známých řídicích systémů. Příkladem je například Sinumerik od firmy Siemens, který je pod tímto obchodním názvem známý už z šedesátých let minulého století nebo řízení TNC, které je produktem společnosti Heidenhain, bylo uvedeno v sedmdesátých letech taktéž minulého století. Ve stejném období jako Heidenhain začíná v tomto odvětví prorážet také Fanuc [1, 4].

Úplnou historii řídicích systémů a obecně automatizace strojů lze však datovat do první poloviny devatenáctého století, kdy pan Thomas Blanchard začal používat prvky z výherních automatů na obráběcí stroje, což bylo v podstatě odrazovým můstkem v automatizaci strojů. Následný velký vývoj nastal samozřejmě za války, kdy konkrétně během druhé světové války byl kladen velký důraz na rychlost, přesnost a spolehlivost výroby. Rychlost a opakovatelnost výroby byla dosažitelná pouze na číslicově řízených strojích a odtud tedy pochází onen větší válečný rozmach [1].

Dnešní doba je ale spojena již, dalo by se říci, s vývojem zvláštních funkcí, které jsou od řídicích systémů požadovány, jako je například trochoidní (nebo trochoidální) frézování, obrábění různě hlubokých kapes, tvorba širokých drážek, možnost obrábění různých druhů ozubení na jedno upnutí a mnohé další, což v této práci bude detailně popsáno a snad také co nejlépe vystiženo.

Cílem a obsahem ale není pouze popsat řízení strojů při obrábění, zvláštní kapitoly budou věnovány také nástrojovým nebo obrobkovým sondám a samotnému řízení strojů při použití sond. I takové produkty totiž spadají do portfolia firem, které se zabývají řídicími systémy. Většina příkladů bude popsána na produktech firmy Heidenhain.

1 STRUČNÝ POPIS SYSTÉMU HEIDENHAIN

Práce je zaměřena nejen na řídicí systémy stroje jako takové, ale hlavně na společnost Heidenhain, která bude v této kapitole stručně představena.

1.1 Historie společnosti Heidenhain

K založení došlo již roku 1889 Wilhelmem Heidenhainem, který prvoplánově založil dílnu věnující se leptání kovů. Šlo výhradně o leptání za účelem výroby šablon, štítků, stupnic a měřidel. Firma prosperovala až do druhé světové války, kdy byla během bombardování Německa zničena. Ke znovuotevření firmy došlo po válce, firma byla otevřena synem zakladatele v Německém městě Trauten a nesla také již nově jméno syna zakladatele: Dr. Johannes Heidenhain. Produkty, kterými se firma prezentovala, byly především stupnice pro váhy, zanedlouho byl však sortiment rozšířen a vyráběny byly také optické snímače obráběcích strojů. V šedesátých letech byly snímače optické nahrazeny snímači s fotoelektrickým snímáním [2].

Další zajímavostí je, že od sedmdesátých let se Heidenhain stal významným výrobcem řízení a pohonů obráběcích strojů. Doménou firmy byl vždy převážně technický rozvoj, a Dr. Johannes Heidenhain proto neustále investoval do výzkumu za účelem tohoto rozvoje [2].



HEIDENHAIN

Obrázek 1: Logo společnosti Heidenhain [3]

1.1.1 Milníky firmy

Co se týče milníků firmy, jde převážně o důležitá data, která významně ovlivnila fungování a historii firmy, nikoli přehled všech jejich vývojových úspěchů, který je nespočet [2]:

- 1889 – založení firmy na leptání kovů,
- 1923 – Dr. Johannes Heidenhain vstupuje do podniku po otci,
- 1948 – nový začátek firmy v Trautenu,
- 1950 – vynález postupu DIADUR (výroba odolného přesného rastru na skle kopírováním originálního rastru),
- 1970 – založena nezisková nadace Dr. Johannes Heidenhain-Stiftung GmbH,
- 1980 – zemřel Dr. Johannes Heidenhain,
- 2014 – společnost je zastoupena ve všech průmyslových zemích světa.

1.1.2 Portfolio

V historii tvořil portfolio firmy převážně omezený sortiment měřicí techniky a leptaných měřidel, jak je uvedeno v podkapitole výše, dnes jde však o širokou škálu, jejíž výčet je následující [2]:

- lineární snímače,
- úhlové snímače,
- rotační snímače,
- dotyková měřidla,
- CNC řízení,
- dotykové sondy.

1.1.3 Heidenhain v 21. století

V současné době je možné nalézt zastoupení popisované společnosti po celém světě. Firma se vyznačuje vysokou uživatelskou podporou díky prodejním a servisním technikům, jejichž úkolem je podpora přímo v místě jejich působení. Výhodou je tedy podpora přímo v mateřském jazyce dané země [2].

Požadovanou kvalitu standardu firmy zajišťuje certifikace ISO 9001, a také dnešní trend v ochraně životního prostředí a recyklovatelnosti není společnosti cizí a je na ně kladen také důraz. Ochranu životního prostředí taktéž zajišťuje certifikát ISO, a to konkrétně ISO 14001 [2].

Kvalitu, kterou Heidenhain již po léta dosahuje, ovlivňují také speciální podmínky při výrobě měřicích zařízení. Veškerá zařízení se totiž vyrábějí v dokonale čistých budovách postavených přímo za účelem výroby měřicí techniky, kde je dbáno na kvalitu prostředí například stabilizací teploty a izolací veškerých nepříznivých vibrací. Výrobní prostory společnosti je možné vidět na obrázku číslo 2 [2].



Obrázek 2: Výrobní a administrativní budovy Heidenhain [2]

ISO 9001

Jedná se o normu sloužící coby referenční model k nastavení základních řídicích procesů v organizaci, které opakovaně zvyšují kvalitu nabízených produktů a služeb pro nejvyšší spokojenost zákazníka. Jde o procesně orientovanou normu a obdobně jako další normy ISO vyžaduje certifikaci zavedeného systému řízení ve společnosti. Jako výstup obdržený při dodržení této normy slouží mezinárodně uznávaný certifikát svědčící o vyspělosti firmy. Tento certifikát je vhodný pro většinu firem nezávisle na velikosti a typu firmy. Výhodou je, že pomáhá firmám dosahovat většího výkonu a lepšího řízení [5].

Ve firmách obecně zasahuje do těchto oblastí [5]:

- výroba,
- poskytování služeb,
- marketing, prodej a vztahy se zákazníky,
- řízení kvality,
- řízení rizik,
- řízení vztahu se zákazníky.

ISO 14001

Jde o standard v oblasti řízení životního prostředí v organizaci. Konkrétně tato norma ISO 14001 je mezinárodně nejvíce uznávanou a zároveň nejpoužívanější normou co se týče systému řízení životního prostředí. Normou je vyžadováno, aby organizace identifikovala a popsala veškeré environmentální dopady svého konání a působení včetně všech souvislostí. V normě jsou také definovány cíle v oblasti životního prostředí a zavádí tedy také jistá opatření pro minimalizaci dopadů společnosti na životní prostředí [6].

V praxi je normu možno využít jak pro soukromý sektor, tak i pro veřejné organizace, kde podobně jako u předchozí normy nehraje roli ani velikost a ani lokalita, přičemž norma přesně specifikuje nároky na systém environmentálního managementu. Její využití je také při posuzování schopnosti organizace nejen vytvořit, ale i udržovat postupy k určení environmentálních dopadů svých činností, služeb a výrobků. ISO 14001 pomáhá ve firmě zavést nejlepší řešení pro řízení dopadů na životní prostředí [6].

Hlavními prvky normy ISO 14001 jsou následující [6]:

- environmentální politika,
- plánování,
- zavedení a provoz,
- kontrola a nápravná opatření,
- hodnocení managementem.

1.2 Pokročilé funkce řídicího systému Heidenhain

Heidenhain nabízí mnoho funkcí a možností co se týče řídicího systému, ale pro tuto práci budou popsány detailněji jen některé vybrané, které jsou specifické právě pro tohoto výrobce a zároveň jsou něčím významné, nové a odlišné. V následujících kapitolách bude tedy uveden popis těchto funkcí.

Řídicí systém je zákazníkovi dodáván, buď jako dalo by se říci holý systém, nebo systém, kde jsou přídavné moduly, které se konkrétně u zmiňované firmy nazývají Opce. Tyto Opce je možné kombinovat a přidávat dle požadavků uživatele a každá z nich má svoji konkrétní funkci [7].

1.2.1 OCM

Jedná se o právě jednu z výše zmiňovaných opcí, kdy zkratka OCM znamená *Optimized contour milling*, což je volněji přeloženo optimalizované frézování podle vymodelovaných kontur výrobku. Jedná se o jednu z funkcí balíčku s obchodním názvem *Dynamic Efficiency*, která umožňuje optimalizovat rychlost úběru materiálu a zároveň snížit opotřebení nástroje i zatížení stroje [7].

Největší využití této funkce se dá uplatnit při obrábění naprosto libovolných ostrůvků a kapes, kdy u hrubování těchto tvarových prvků mohou být konstantní řezné podmínky a dochází ke kontrole tloušťky třísky ve vnitřních rozích. Pro dokončování je zvolen ladný nájezd a odjezd od všech kontur. Jak už bylo okrajově popsáno, tato funkce nabízí značné výhody a to konkrétně: snížení opotřebení nástroje, kvalitní odvod třísek, vyšší řezné podmínky, sníží délku časového úseku operace a zvýší spolehlivost frézování [7].

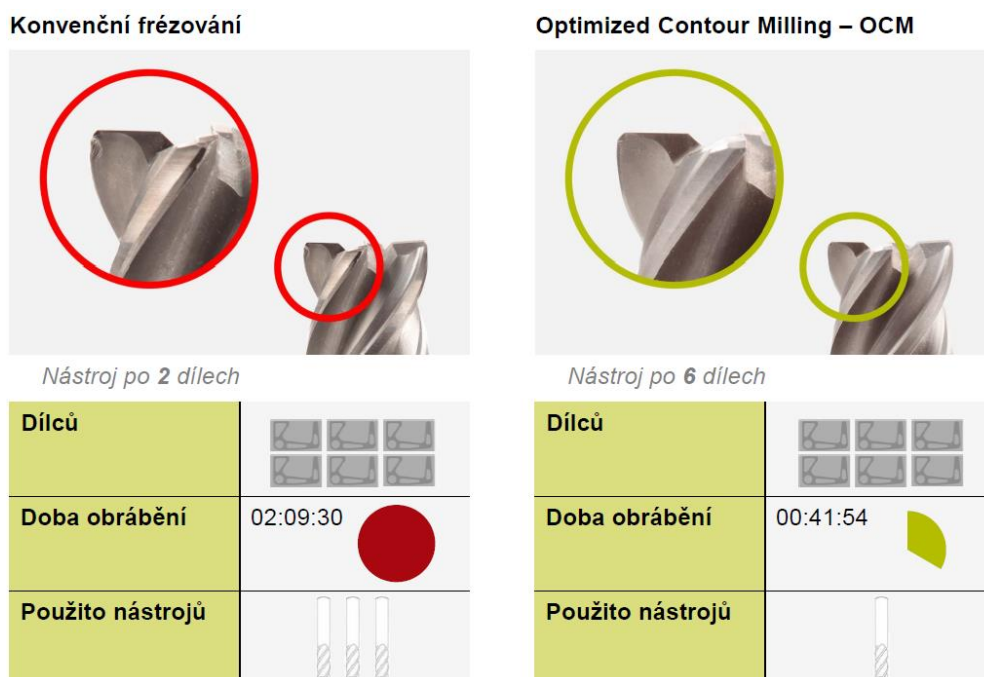
Výhodu obnášející značné snížení času operace lze prezentovat na následujícím modelu, kdy stejné tvary budou frézovány napřed konvenční metodou a poté metodou s využitím funkce OCM. Pro obě varianty je použita stejná karbidová dokončovací fréza o průměru 10 mm z materiálu 1.4104. Řezné podmínky byly pro frézování nastaveny dle tabulky číslo 1 [7].

Tabulka 1: Řezné podmínky frézování [7]

Konvenční frézování		Frézování s využitím OCM	
Řezná rychlost v_c	157 m/min	Řezná rychlost v_c	251 m/min
Posuv na zub f_z	0,06 mm	Posuv na zub f_z	0,15 mm
Šířka záběru a_p	5,5 mm	Šířka záběru a_p	22 mm
Překrytí nástroje	5 mm	Překrytí nástroje	1,4 mm
Úhel zatížení	Proměnlivý	Úhel zatížení	Konstantní

Po provedení obou variant frézování bylo zjištěno, že běžnou metodou frézování by tato operace trvala 21 min a 35 s. při zařazení funkce OCM se doba obrábění zkrátí dokonce na pouhých 6 min a 59 s. Z modelu jasně vyplývá, že můžeme volit vyšší řezné podmínky a zároveň je čas potřebný pro vytvoření obrobku několikanásobně nižší.

Při předchozím pokusu dochází i ke značnému šetření samotnými frézami, protože u frézování konvenčním vychází jeden nástroj zhruba jen na dva vyrobené díly, než je nutné jej vyměnit, ale u OMC je možné jedním nástroje spolehlivě vyrobít alespoň dílů šest, toto porovnání lze graficky nalézt na obrázku číslo 3 [7].



Obrázek 3: Porovnání trvanlivosti nástroje [7]

Výhodou u OCM je také to, že samotná funkce pozná, že zvolený rádius je příliš malý na aktuální nástroj a zbytkový materiál se tedy oddělí menším nástrojem [7].

1.2.2 Jig grinding

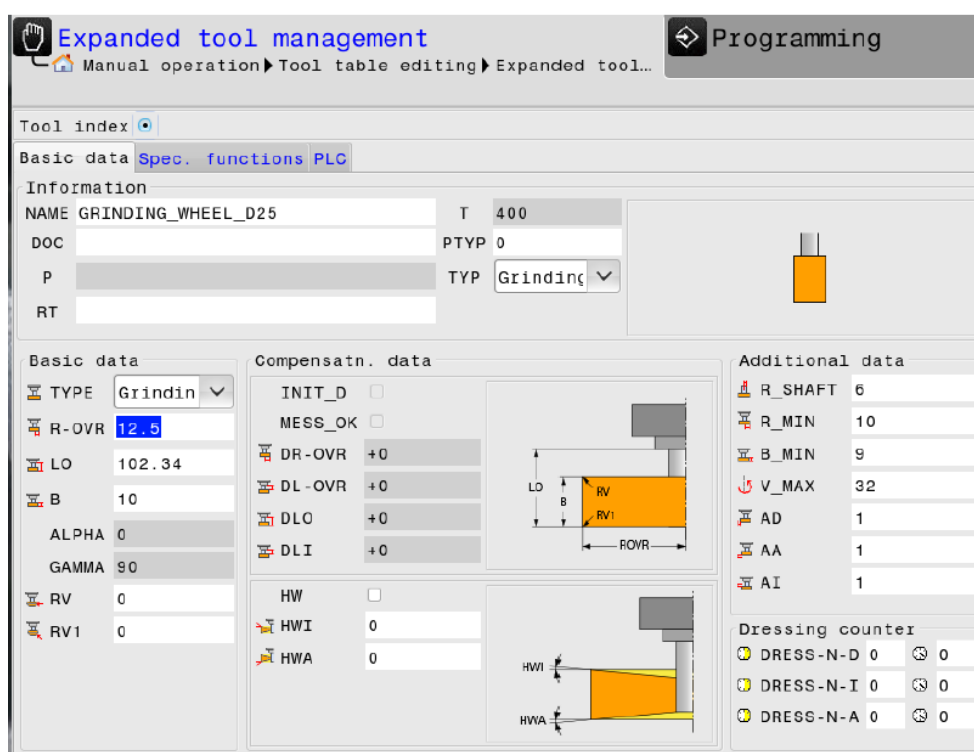
Další z takzvaných opcí je *Jig grinding*, což je funkce zaštiťující velmi přesné broušení. Při válčovém broušení se otáčí polotovár i nástroj, kterým je brusný kotouč, a jen vytvářen jakýkoli rotační obrys, který má osu symetrie. Vřetenem stroje u takového broušení vytváří takzvaný pístový pohyb, což je pohyb, u kterého koná nástroj přímočarý vratný pohyb. U povrchového broušení je otáčí pouze brusný kotouč a obrobek zůstává v klidu. Jsou takto vytvářeny (dokončovány) rovinné plochy, přičemž je zde taktéž realizován pístový pohyb. *Jig grinding* je v doslovném překladu broušení přípravku a jde zde o to, že součást zůstává v klidu a rotuje pouze nástroj tak, jako u povrchového broušení, ale nástroj nejen rotuje, ale také kmitá. Největší výhodou je, že můžeme dokončovat libovolné 2D obrysy, kdy dráhy jsou vygenerovány přímo programem. Velkou nevýhodou je však prach, který při broušení vzniká. Prach z broušení je velmi jemný a tyto prachové částičky se mohou dostávat také do vedení stolu stroje nebo mohou způsobovat nepřesnosti přímo ulpíváním na povrchu dokončované součásti a je tedy nutné používat pro broušení na CNC univerzálních strojích takové stroje, které jsou pro danou funkci připraveny a nevzniká zde tak velké riziko zanášení stroje. Přípravou stroje je myšlen vhodný odvod prachu do zásobníků k tomu určených, přičemž odvod by měl být prováděn přímo při procesu broušení, a ne až následným očištěním [7].

Hlavním důvodem zavádění této funkce je možnost výroby jednoho kompletního výrobku na jediném stroji, což má za následek snížení výrobních časů díky nižší potřebě

manipulace s obrobkem a zároveň se zvyšuje také přesnost, součást totiž není nutno opakovaně upínat a jsou minimalizovány vzniky nepřesností upnutím [7].

Kvalita povrchu v závislosti na nástroji se pohybuje u parametru Ra pod $0,4 \mu\text{m}$ a samotná přesnost rozměrů při broušení bývá dosahována pod $0,001 \text{ mm}$ při použití cyklu sloužícího pro orovnění nástroje, který je v řídicím systému implementován [7].

V popisované funkci je již také vložena nová tabulka nástrojů, která zahrnuje jak brousící nástroje, tak také orovňovací nástroje. v tabulkách jsou detailně popsány rozměry nástrojů včetně rádiusů na obvodu nástroje. Příklad tabulek je možné vidět na obrázku číslo 3 [7].



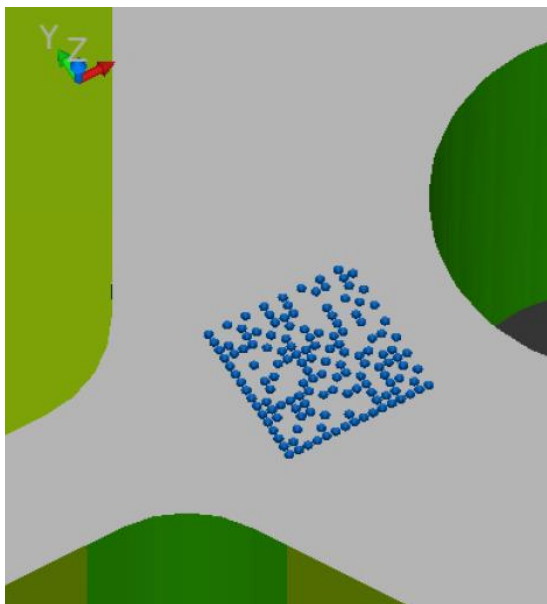
Obrázek 4: Tabulka nástrojů pro Jig grinding [7]

Jak bylo zmíněno, v samotném systému je již vložen i cyklus pro orovnění nástroje, čímž je zaručena tvarová přesnost a zároveň naostření nástroje před prováděnou operací. Při této operaci je nástroj dokonale připraven pro proces broušení. Jedná se o speciální funkci pro jednodušší kinematickou konfiguraci a samotné použití cyklu je velmi snadné. V řídicím systému jde tuto funkci najít pod názvem *Wheel dressing*. Existují také mnohé moderní metody broušení, které je pomocí řídicího systému také nutné naprogramovat. Některé z těchto metod jsou podrobněji popsány v knize uvedené ve zdrojích pod číslem 31, v práci nejsou popsány, neboť nejsou přímo předmětem a cílem [7, 31].

1.2.3 Data matrix code

Data matrix code je obchodní označení firmy Heidenhain pro soubor vrypů do obrobku na místě, kde to neovlivní funkčnost součásti a zároveň na místě, kde bude možné tento kód bez větších obtíží přečíst. Jedná se o podobnou technologii, jako je již nějakou dobu používaný QR kód. Do materiálu jsou na příhodném místě navrtány malé důlky, nebo otvůrky, které po jejich naskenování sdělí uživateli informaci, která je v těchto bodech zakódována. Vrtání důlků může probíhat již přímo v cyklu obrábění a velkou

výhodou je, že program sám vygeneruje dráhy vrtáku. Toto použití bývá aplikováno zejména z důvodu, že odpadá nutnost některé součásti opatřit štítkem. Jsou tím znovu ušetřeny časy jako při předchozích funkcích, protože osazení štítkem po dokončení obrobku již není nutné. Jedná se tedy o snadné uložení informací pomocí kódu, kdy informace v kódu mohou být například: datum a čas výroby, sériové číslo a další. Velikost kódu je volena zejména v závislosti na velikosti ploch obrobku. Na pátém obrázku je tento kód dobře viditelný [7].



Obrázek 5: Data matrix code [7]

QR kód

Tento kód je v poslední době velmi hojně využíván pro zakódování nějakého objemu informací v jakékoli sféře společnosti a jeho čtení zvládne bez obtíží jakýkoli chytrý telefon. Z tohoto kódu vychází právě také *Data matrix code*. QR je zkratka anglických slov *quick response* neboli rychlá odezva a vychází z účelu kódu uživateli rychle zobrazit data v kódu uložená. Velkou výhodou totiž je, že v kódu může být uloženo až 7089 znaků, které by se jinak na takto malou plochu nevešly. Kód by měl nahrazovat klasický EAN neboli čárový kód, který má objem uložených dat menší. Kromě velkého datového objemu je výhodou také stálost kódu, protože pro jeho nečitelnost je potřeba, aby byla poškozena značná část kódu. Znamená to tedy, že informace mohou být zobrazeny i po poškození kódu a není tedy tolik náchylný [8].

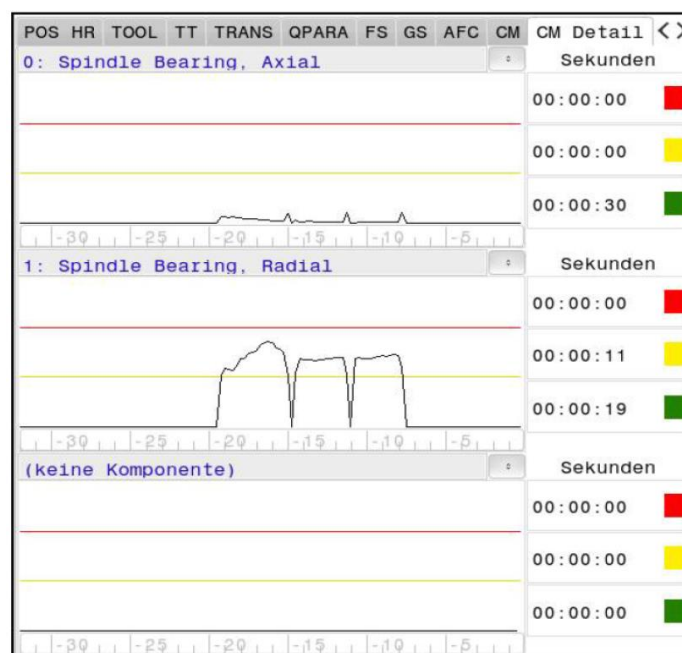
1.2.4 Component monitoring

Jedná se o funkci, která tentokrát do výrobního cyklu přímo nezasahuje, ale pouze během cyklů měří a zaznamenává požadovaná data, což mohou být například zatěžování ložisek a obecně působící síly při řezném procesu. Jedná se o nepřetržitou kalkulaci a čtení dat stavu stroje, která jsou při obrábění získávána. Data je také ihned možné zobrazovat na zobrazovacím zařízení, kterým je stroj osazen. Při řezném procesu je také možné nastavit si nějaké mezní hodnoty měřených dat a při dosažení mezních hodnot lze požadovat po programu předem definované akce. Pro konkrétní příklad je možné nastavit přímo při programování, že při dosažení nějaké vyšší hodnoty na obrazovce vznikne hlášení o dosažení nastavené hodnoty, ale stroj dále pokračuje v procesu. Poté může být nastavena další hranice, která už je pro stroj limitní a při jejím dosažení dojde

k okamžitému zastavení stroje. Data jsou během procesu nejen zobrazována a sledována, ale také jsou ukládána pro následné zpracování nebo další vyhodnocování. Možnost je také konfigurace těchto limitních hodnot přímo výrobcem, který tak zamezí nadměrnému přetěžování stroje nebo alespoň předejde problémům při neshodě se zákazníkem, protože má veškerá data o používání dodaného stroje. Jedná se tedy i o jistou ochranu výrobce nebo zákazníka. Z této zdánlivě ne tolik užitečné opce vyplývá následující velký výčet výhod [7]:

- předpovídání nutnosti údržby,
- velká flexibilita při implementaci vlastního monitorování komponent stroje,
- přetížení stroje je možné předejít výpisem chybového hlášení, přerušením programu nebo úplným zastavením procesu,
- zpětné informace o historii zatížení částí stroje,
- vyhodnocování stávajícího stavu stroje,
- vyhodnocení kvality výroby,
- zjišťování opotřebení a selhání jednotlivých komponent,
- podpora předpovídání údržby pro snížení neplánovaných odstávek.

Na následujícím obrázku je možné dobře vidět grafický výstup do grafů, který je programem tvořen přímo při chodu stroje. Na obrázku 6 je také dobře vidět výše zmiňované přednastavené limity. Žlutou barvou je označen první nastavený stav a červenou potom limitní stav stroje. U každé z barev je také možné vidět, jak dlouho v tomto stavu byl stroj provozován. Nejvhodnější samozřejmě je, aby po celou dobu provozu byl stroj v číslech zelených. Tyto grafy poté mohou právě výrobcům sloužit v otázkách reklamací anebo pouze při údržbách [7].



Obrázek 6: Graf získaný pomocí component monitoring [7]

1.2.5 Cyklus 32

Pod tímto zdánlivě naprosto nenápadným označením cyklu se skrývá cyklus, který je opravdu velkou úsporou času, a tedy i nákladů. Cyklus 32 je totiž velmi účinným nástrojem zejména při hrubování. Dovoluje totiž zadat maximální možnou toleranci přesnosti obrobenej plochy, což v praxi znamená, že u tohoto cyklu můžeme zadat jakousi možnou hodnotu překmitu nástroje a nástroj tedy nebude muset k okrajovým konturám dojíždět pomaleji, a tedy i přesněji, protože mu bude umožněn určitý překmit v řádech desetin milimetrů. Cyklus 32 bývá použit v kódech stroje při hrubování tvarů s tím, že je přímo v kódu zadána tolerance, o kterou může nástroj překmitnout a díky úspoře času při přesném dojíždění k hranám je proces s využitím tohoto cyklu mnohonásobně rychlejší než při zachování stále stejné přesnosti výroby, která však u hrubování není vůbec nezbytná. Čas je však šetřen již při výpočtu, protože program nemusí dělat natolik složitý výpočet drah nástroje, jako by tomu bylo bez použití popisovaného cyklu. Cyklus je samozřejmě propojitelný i s ostatními cykly. Z uvedených informací by mohlo mylně vyplynout, že je snížena přesnost výroby, což samozřejmě není pravda. Po hrubování z pravidla následují v programu dokončovací procesy, při kterých je již dosahována běžná přesnost daná možnostmi stroje [7].

1.2.6 Dynamická výkonnost

Hlavní potenciál bývá v efektivním těžkém obrábění, což je hrubování při vysokých řezných rychlostech, ale také v obrábění velmi těžko obrobitelných materiálů jako jsou slitiny titanu, niklu nebo korozivzdorné oceli, což jsou jak známo běžné materiály v leteckém průmyslu. Těžké obrábění je definováno jako odebrání co největšího objemu materiálu v co nejkratším možném čase. To znamená tam, kde je většina složek řezného procesu posouváno na mez možností. Pro tento typ vysokovýkonného obrábění je tedy komplexní řízení procesu nezbytným předpokladem pro zachování kvality a zároveň ekonomie obrábění. Síly vyvolané řezným procesem představují pro stroj i nářadí extrémní zatížení. Cílem proto musí být optimalizace úběru materiálu, maximalizace provozní životnosti nástroje a minimalizace zatížení stroje. V balíčku s obchodním názvem Dynamická výkonnost se nacházejí funkce, které uživateli dovolí zvýšit spolehlivost procesu těžkého obrábění a hrubování a zvýšit efektivitu výroby. Dynamická výkonnost obsahuje tři TNC funkce [13]:

- aktivní potlačení drnčení (ACC),
- adaptivní řízení posuvu (AFC),
- trochoidní frézování.

ACC – Aktivní útlum drnčení

Je zkratkou pro aktivní útlum drnčení, které vzniká při hrubování. Toto drnčení neboli vibrace vznikají v důsledku extrémního silového zatěžování rotujícího nástroje. ACC slouží právě pro útlum vibrací tím, že monitorováním procesu určí frekvence kmitání a softwarově se snaží dosáhnout destruktivní interference kmitání. Rozdíl mezi plochou obrobenu za použití ACC a bez použití této funkce je vidět na následujícím obrázku číslo sedm [13, 32].



Součást frézovaná bez ACC: Stopy drnčení jsou jasně viditelné.



Součást frézovaná s funkcí ACC: Při stejné rychlosti posuvu a hloubce řezu povrch nevykazuje stopy drnčení. Proces obrábění probíhá se sníženým zatížením stroje a nástroje.

Obrázek 7: Obrobená plocha při a bez použití ACC [9]

Výše zmiňované drnčení znamená pro soustavu S-N-O velké zatížení, a tedy je bráno jako omezení při úběru materiálu. Samotný úběr materiálu je zjednodušeně řečeno ovlivňován třemi faktory. Tepelná a mechanická pevnost nástroje, dosažitelný výkon vřetena stroje a právě drnčení, které lze díky opci ACC co nejvíce redukovat. Toto drnčení bývá způsobeno vibracemi během obrábění (nejčastěji během hrubování) velmi obtížně obrobitelných materiálů, protože u obrábění těchto materiálů vnikají velké řezné síly. Síly se během rotace samozřejmě vyskytují periodicky a tím jsou vyvolány vibrace o určité frekvenci. Tyto vibrace mají za následek také zvýšení tření, a tedy i vznik tepla nepříznivě ovlivňujícího řezný proces. Drnčení je možno předcházet i konvenční formou, což je ale poměrně nevýhodné vzhledem k tomu, že konvenční snížení drnčení probíhá snížením řezných parametrů, jako jsou otáčky vřetene nebo rychlost posuvu a hloubka záběru ostří. Aby nemuselo docházet právě k takovým opatřením, vznikla funkce ACC, která umožňuje snížení drnčení i za vysokých řezných rychlostí [13, 32].

Výhody ACC jsou následující [9]:

- výrazně lepší řezný výkon,
- až o 25 % větší úběr materiálu,
- menší síly působící na nástroj,
- vyšší životnost nástroje,
- nižší zatížení stroje,
- vysoká spolehlivost procesu.

Další velkou výhodou funkce aktivního tlumení je ta, že se jedná pouze o softwarové řešení, což znamená, že stroj nevyžaduje žádné změny samotných částí stroje a žádné přídavné systémy, což právě snižuje možnost jakéhokoli selhání. Drnčení je snímáno ze signálů pohonů. ACC je však účinné pouze v rozsahu frekvence do 100 Hz [13].

AFC – Adaptivní řízení posuvu

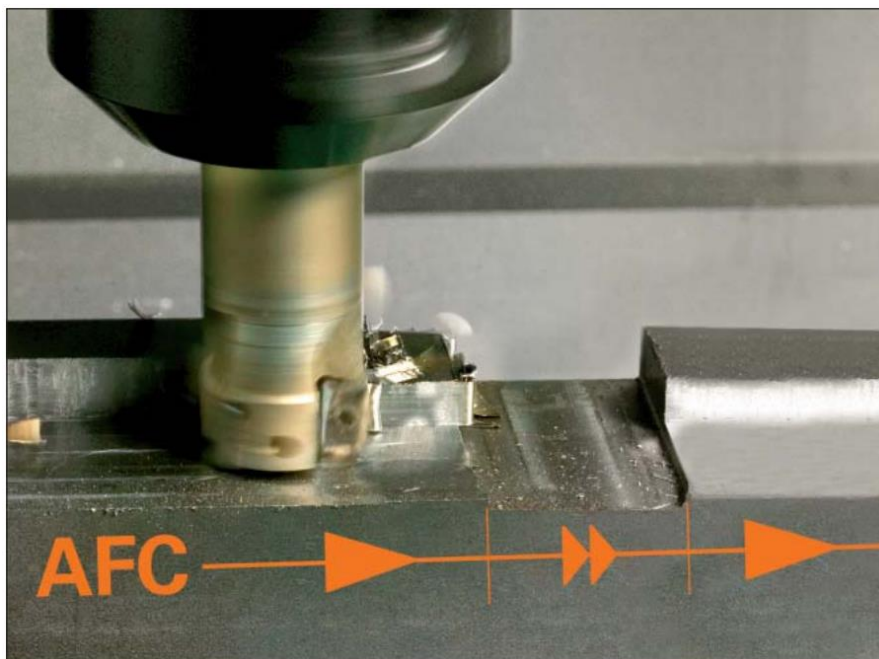
AFC neboli adaptivní řízení posuvu je další z opcí řídicího systému Heidenhain. Při frézování je rychlost posuvu volena právě podle obráběného materiálu, nástroje a hloubce řezu. Rychlost posuvu je také specifikována pro každou operaci zvlášť. Při konvenčním frézování nemá změna hloubky řezu nebo tvrdosti materiálu žádný vliv na posuvovou rychlost. Tyto změny při rezném procesu mohou mít za následek přetěžování vřetene, nebo naopak nedostatečné využití stroje, a tedy zbytečné zvyšování časů operace. AFC slouží právě k tomu, aby byl stroj využit plně, ale zároveň aby nebyl přetěžován v důsledku změn při procesu [13].

Velkou výhodou funkce adaptivního řízení AFC je optimalizace rychlosti posuvu takovým způsobem, že je znám výkon vřetene a další data procesu. Následně je zajištěna maximální přípustná rychlost posuvu při co nejmenším přetěžování nástroje. Změny rozměrů jsou typické právě pro odlitky, kde se často mění tvar součásti. Systém stroje má, dalo by se říci, naučený maximální výkon vřetene a pro tento posuv také přizpůsobuje posuv. Výhodou tedy je fakt, že se celková doba procesu zkrátí tím, že je rychlost posuvu zvýšena v částech obrobku, kde je nižší nebo až žádný úběr materiálu [13].

Funkce adaptivního řízení však nefunguje pro možné zrychlování posuvu, ale také naopak. Po celou dobu procesu systém kontroluje výkon vřetene, kdy výkon vřetene roste s otupením nástroje. Když dochází k růstu tohoto výkonu, systém začne snižovat rychlost posuvu. Poté, co rychlost posuvu klesne pod přednastavenou limitní hranici, dojde k vypnutí stroje, přerušení obrábění a zobrazení chybového hlášení nebo k výměně nástroje, pokud je v zásobníku stroje uložen nástroj stejný nebo plně nahrazující předchozí používaný nástroj. Touto funkcí je předcházeno zlomení nástroje a jeho kompletnímu opotřebení. Dochází tak i k ochraně stroje, neboť je neustále kontrolováno nepřekročení maximálního možného výkonu a kdykoli je tato hodnota dosažena, systém ihned posuv sníží a je tím sníženo namáhání stroje, což výrazně prodlouží jeho životnost. Jedná se ve zkratce o ochranu vřetene před přetížením [13].

Jak vlastně principiálně funguje adaptivní řízení posuvu, bude popsáno v následujícím odstavci. Než je zahájen samotný obráběcí proces, je možné dodefinovat do tabulky zobrazené systémem maximální, a naopak minimální hodnoty výkonu vřetene. Tyto hodnoty jsou experimentálně určeny systémem během prvního zkušebního řezu před započítáním výroby většího počtu kusů. Pro zaznamenání potřebných hodnot je tedy nutné provést zkušební obrobení celé jedné součásti, a proto se funkce samozřejmě hodí spíše pro výrobu více kusů, kde už je tento zkušební řez ekonomicky výhodný a je zde předpokládána jistá finanční návratnost. AFC následně při rezném procesu takzvaně naostro neustále srovnává výkon vřetene s touto referenční předem definovanou hodnotou a snaží se výkon udržovat sice na maximální možné hodnotě, ale aby tato hodnota nebyla překročena. Řízeno je to právě tak, jak je uvedeno výše změnou velikosti posuvové rychlosti. Porovnávání referenční hodnoty s aktuálním stavem velikosti rezného výkonu vřetene je prováděno kontinuálně po celou dobu obráběcího procesu [13].

Princip AFC je zjednodušeně popsán a vyobrazen na obrázku číslo 8 [9, 13].



Obrázek 8: Princip AFC [9]

Trochoidní frézování

Všechny komponenty stroje včetně nástrojů jsou nejvíce namáhány během obrábění tvrdých nebo vysoko pevnostních materiálů, a to převážně při frézování drážek a různých kapes do plného materiálu za použití stopkové frézy, kde působí obzvláště velké síly. Tyto síly vznikají z důvodu, že povrch součásti a fréza svírají při záběru úhel 180° , což může mít za následek vyhnutí nástroje, které vede k vysokým nepřesnostem rozměrů obráběné drážky nebo kapsy. Během konvenčního frézování je hloubka řezu limitována rozměrem nástroje, kdy hloubka řezu může dosahovat pouze poloviny délky nástroje, což znamená, že drážky s vyšší hloubkou je nutné zhotovit ve více operacích s upnutím více nástrojů, což je časově náročné, a tedy ne příliš ekonomicky výhodné [9, 13].

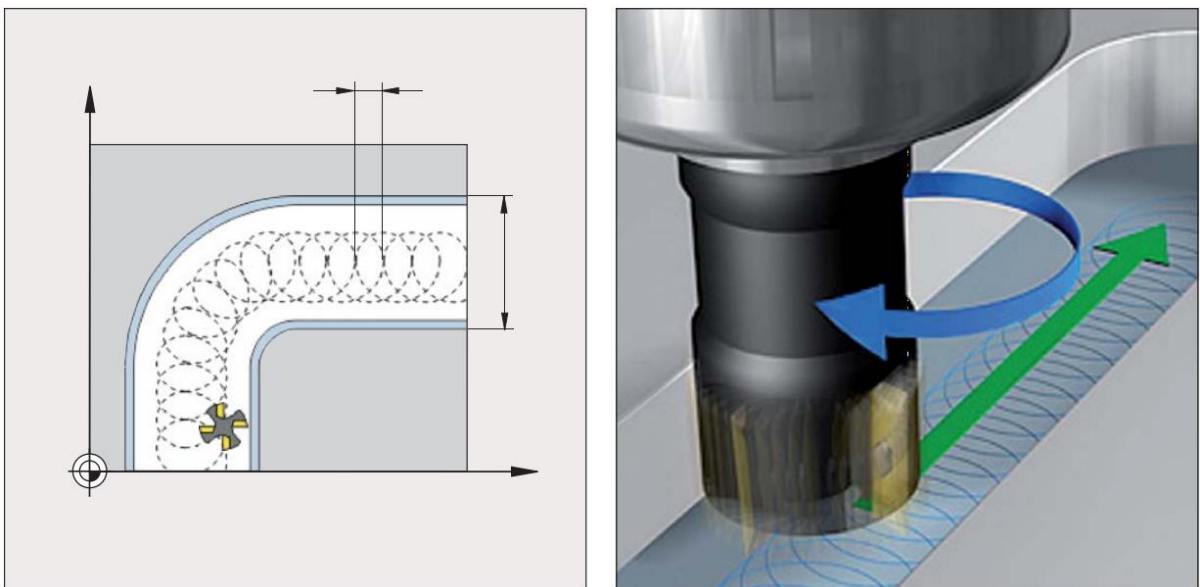
Zde se ukazuje výhoda trochoidního frézování, které umožňuje zhotovení celé drážky takovým stylem, který umožňuje, snižuje zatížení nástrojů i stroje a také tedy snižuje jejich opotřebení. Nástroj vykonává přesně definovaný kruhový pohyb, který je superponovaný na pohyb přímý dopředný. Díky trochoidnímu frézování je možný velký úběr materiálu do velké hloubky, neboť nástroj je díky menším řezným silám méně opotřebováván. Na rozdíl od běžného frézování je také možné používat celou délku nástroje (myšleno pracovní délku). Nástroj do obrobku vniká s krouživými pohyby, a to snižuje radiální sílu, která je jinak na nástroj vyvíjena. Snížení této síly také pomáhá předcházet vzniku vibrací. Z toho plyne, že při použití trochoidního frézování společně s aktivním tlumením je možné drnčení a vibrace téměř eliminovat. Velkou úsporou času je zase naopak možné dosáhnout s použitím trochoidního frézování zároveň s adaptivním řízením posuvu, které bylo uváděno o kapitulu výše [9, 13].

Drážka nebo kapsa, které budou obráběny, jsou definovány jako sled kontur, jejichž rozměry a řezné podmínky pro jejich zhotovení jsou popsány v samotném cyklu [9, 13].

V bodech jsou výhody trochoidního obrábění následující [9, 13]:

- záběr nástroje v celé své pracovní délce,
- při současném použití AFC je možný vyšší úběr materiálu,
- snížení mechanického zatěžování stroje,
- nižší vibrace,
- možnost lepšího dokončování bočních stěn.

Pohyb frézy při trochoidním frézování a zároveň naznačení drah, které nástroj vykoná, jsou co nejlépe popsány na obrázku číslo devět.



Obrázek 9: Trochoidní frézování [9]

1.2.7 Skiving

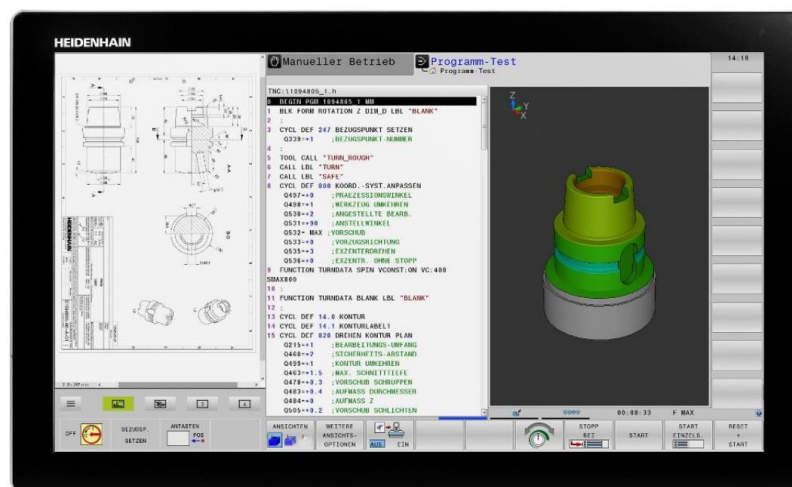
Skiving je obchodní název pro zhotovování ozubení frézovacím způsobem na CNC stroji na pouze jedno upnutí. Výhodou této funkce je, že při obrábění ozubení nevzniká nutnost obrobek jakkoli nově upínat po předchozím obrábění a tím se předchází mnohým chybám, které se při opětovném upnutí mohou sčítat a zároveň jsou tak snižovány výrobní časy. Třísky jsou při tomto druhu frézování tvořeny pohybem nástroje ve své ose, ale zároveň odvalovacím způsobem. Tuto funkci je možné používat pro tvorbu vnějšího i vnitřního ozubení a jak pro přímé, tak také pro šikmé ozubení. Výhodou také je, že kontinuální řezný proces dokáže kromě nižších časů operací zhotovit také velmi kvalitní povrch. Při využití funkce *Skiving* je synchronizované otáčení nástroje a obrobku superponováno pohybem v ose nástroje, přičemž osy nástroje i obráběné součásti musejí svírat předem definovaný úhel. O kinematice při obráběcích procesech je však podrobněji psáno ve zdroji 32. Pohyby jsou určeny softwarově a nejedná se tedy o žádný náročný postup z hlediska obsluhy stroje, ale je nutností, aby měl stroj synchronizovaný pohyb vřetene s pohyby stolu, jinak by nemohlo k tomuto velmi přesnému postupu docházet. Fréza použita při obrábění vnitřního přímého ozubení je ukázána na obrázku číslo deset [10, 32].



Obrázek 10: Skiving [10]

1.2.8 Rozšířená pracovní plocha

Poslední vybranou funkcí, která patří mezi novinky společnosti Heidenhain je možnost rozšířené pracovní plochy, kterou umožňuje jedna z jejich posledních ovládacích stanic, která se nachází přímo u stroje. Možnost rozšířené pracovní plochy se vyskytuje u 24palcové širokoúhlé obrazovky, která je také pro snadnější a rychlejší ovládání dotyková. Na této ploše se díky funkci rozšířené pracovní plochy mohou nacházet dvě zcela odlišná okna. Tato okna je možné si představit jako okna v operačním systému Windows, která je možné si libovolně roztáhnout přes plochu obrazovky. Tato okna však jsou zcela odlišná. V jednom z oken je možné sledovat a řídit pracovní cyklus stroje a v okně druhém je možnost mít běžné okno z nějakého z operačních systému, jako je například již zmiňovaný Windows. Jedná se tedy o další okno pro zobrazení externích aplikací, ve kterém má uživatel přímý přístup ke všem funkcím operačního systému. Tato funkce je možná i pro využití na celé obrazovce, takže může být externí aplikace na plných 24 palcích obrazovky. Je možné použít také programování některých klávesových zkratk pro přístup k často používaným aplikacím. Na jedenáctém obrázku je dobře vidět toto rozdělení do více oken [7, 13].



Obrázek 11: Rozšířená pracovní plocha [7]

V následujících bodech jsou vyzdvíženy některé hlavní výhody rozšířené pracovní plochy, která sice není zcela funkcí pro řídicí systémy stroje, ale její využití je jistě přínosné a velmi usnadňuje každodenní práci u stroje [7]:

- nejúčinnější provoz ovládání a aplikace,
- výkres i program zobrazeny současně,
- automatické měřítko,
- snadné dotykové ovládání.

1.2.9 Předpokládané možnosti vývoje řídicího systému

V dnešní době jde neustále vývoj veškerých technologií kolem nás mílovými kroky kupředu a jinak tomu není ani v oblasti řídicích systémů. V této oblasti je již řada myšlenek, které je v plánu v nejbližších letech realizovat a posunout tak vývoj zase dále. Myšlenka, která už je nyní téměř dovedena do běžné praxe je také možnost, kdy není vstupem pro stroj pouze nějaký 2D model z CAD systému, ale také může být již vstupem plnohodnotný 3D model, ze kterého jsou operátorem vybrány kontury, jež budou v operaci zhotovovány. Z této myšlenky plyne také další možný postup, který se týká obrábění libovolných zakřivených ploch, kdy řídicí systém sám vygeneruje dráhy pomocí těchto ploch.

Další velmi významnou myšlenkou je možnost soustružení na pěti-osé CNC frézce, což značně zvýší přesnost obrábění a zároveň bude i ušetřen čas při upínání obrobku. Dále se dá také předpokládat vývoj takovým směrem, že bude možné převést jakékoli ploché tvary na plášť válce, který bude obráběn.

1.3 Sondy

Kromě řídicích systémů se firma Heidenhain věnuje mnohým jiným oblastem, jak bylo uvedeno v předchozí kapitole. Jednou z těch nejvýznamnějších jsou nástrojové a obrobkové sondy pro užití v CNC strojích, kterým se bude celá následující kapitola podrobněji věnovat. Kapitola se však bude věnovat pouze konkrétním sondám společnosti Heidenhain, které mají některé z typických vlastností sond obecně. Mimo jiné o těchto sondách pojednává i zdroj [32].

Vývoji dotykových sond ať už pro měření obrobků, nebo pro měření nástrojů se Heidenhain věnuje již přes 30let, z čehož plyne, že zkušenosti zmiňované společnosti jsou více než letité. Použití sond v obráběcích strojích je převážně na frézkách a obráběcích centrech. Ve třetí kapitole budou popsány dvě poslední sondy, které byly firmou vyvinuty a odladěny. Jedná se o sondy TS 460 a TT460, které momentálně patří k úplně špičce mezi sondami, kde pro práci s těmito sondami jsou k dispozici dva režimy: ruční režim, nebo běžnější ovládání z číslíkově řízeného programu.

1.3.1 Sonda TS 460

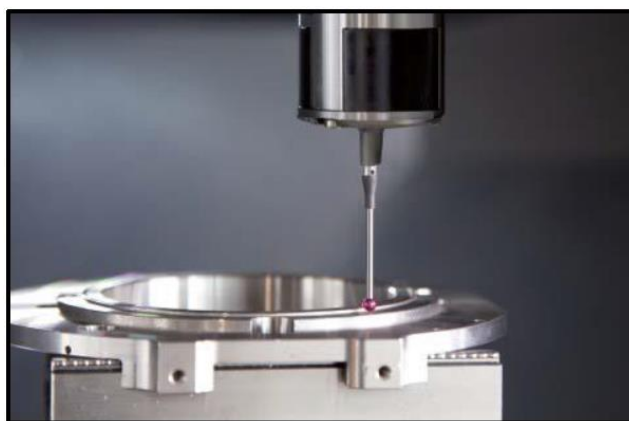
Jedná se o standardní dotykovou sondu, která funguje na bezdrátové bázi a pro přenos informací může používat dvou možností. První možností je rádiový přenos a druhou možností je přenos přes infračervené vlny. Sonda tedy musí mít přijímač, který je umístěn v její blízkosti, na kterém je režim nastaven uživatelem [11].

Úvod do TS 460

Kvůli použití těchto sond v různých a různě vybavených strojích je možné sondy upínat jak ručně, tak za použití výměníku nástrojů, který upne sondu do vřetene automaticky. Sonda mezi tím může být po celou dobu předchozích operací uložena v zásobníku nástrojů a v elektronickém seznamu je zapsána její pozice. Největším přínosem sond (obrobkových) je však ve zkrácení časů, které jsou potřeba pro přípravu obrábění, protože umožňují lepší a rychlejší seřízení a vyrovnání dílce, který bude obráběn, v pracovním prostoru a umožňují také určit stávající rozměry obrobku, čímž odpadá nutnost obrobek vyjmout z pracovního prostoru při mezioperačních kontrolách. Snímací funkce sondy umožňují v obou režimech (v ručním režimu i v režimu NC programu) nastavovat vztažné body obrobku, vyrovnávat a také proměřovat obrobky nebo měřit kinematiku obrobku. Pro názornost je sonda vyobrazena na následujících obrázcích, kdy na obrázku dvanáct je zachycena při procesu měření [11, 12].



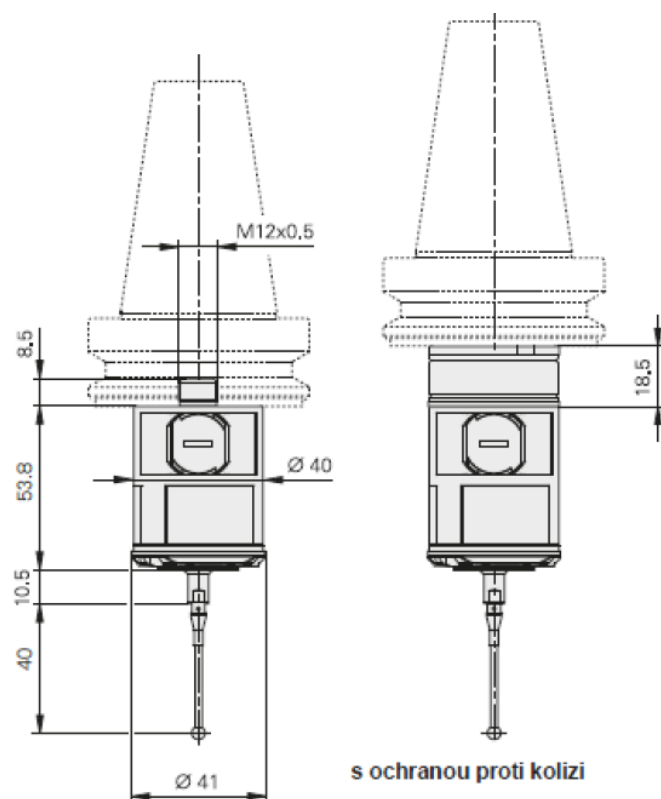
Obrázek 12: Sonda včetně upínacího kužele [11]



Obrázek 13: Sonda zachycena při práci [11]

Technické údaje sondy

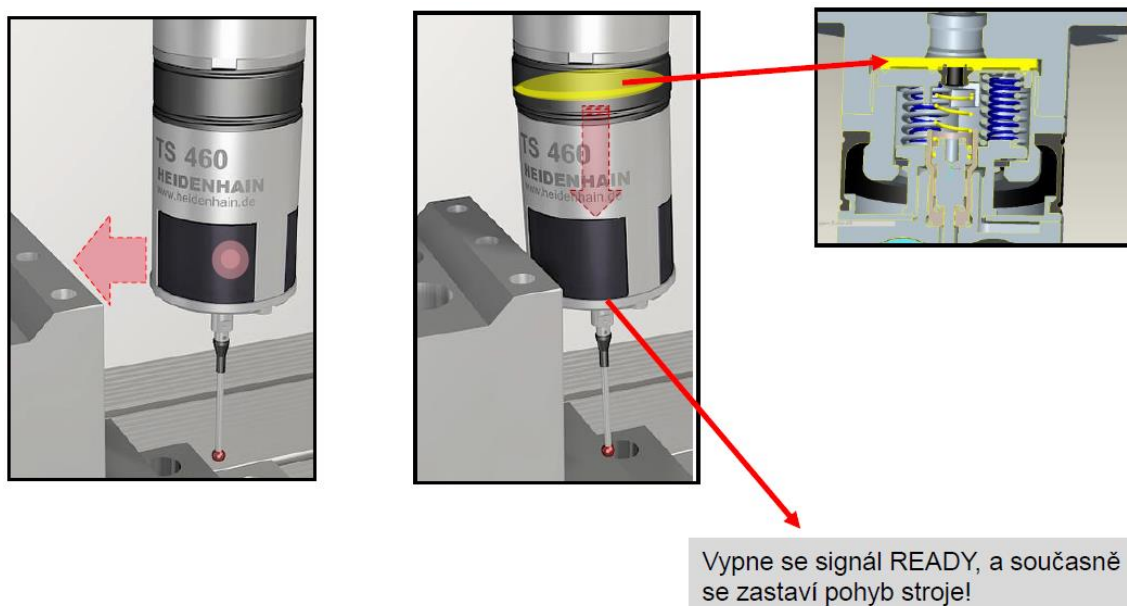
Jako u každého dílu elektroniky je také pro tuto sondu možno uvést nějaká technická data, která blíže určují prostředí a rozsahy hodnot, ve kterých sonda umí spolehlivě pracovat. Sondou je možné používat v obráběcích centrech na frézkách, u vrtaček a také u soustruhů, které umožňují automatickou výměnu nástroje, přičemž přesnost snímání je v rozsahu 5 μm za předpokladu, že je využit standardní hrot s označením T404. K vychýlení hrotu může docházet do pěti milimetrů ve všech směrech za předpokladu použití hrotu, který má délku $L = 40$ mm a k tomuto vychýlení může docházet buď v radiálním směru, ke kterému může docházet silou až 1 N, nebo ve směru axiálním, který zvládá až sílu o velikosti 8 N. Sondou je možno snímat s maximální rychlostí snímání do 5 m/min. při vysoké rychlosti pohybu sondy je možné, že dojde ke kolizi, která by mohla běžné sondy trvale poškodit, čemuž se předchází anti kolizní ochranou, ta má reakci do 20 milisekund. Kromě ochrany proti kolizi je sonda chráněna také proti vlhkosti a prachu a má stupeň kryti IP68. Rozsah provozních teplot je mezi 10 °C až 40 °C, ale skladována může být v nehostinných podmínkách, kde se teploty mohou pohybovat až v rozmezí -20 °C až 70 °C. Pro upevnění sondy k vřetenu stroje je možno použít dvou systémů, buď je sonda dodávána s upínacím držákem, nebo je sondu možné přichytit pomocí vnějšího závitu o rozměrech M12 x 0,5. Pro zapnutí nebo vypnutí sondy se používá stejně tak jako pro přenos informací rádiový nebo infračervený přenos, přičemž musí být samozřejmě sonda napájena, k čemuž slouží dva akumulátory ½ AA nebo velikost LR2 o napětí 1 V až 4 V. S těmito akumulátory je obsluze umožněno sondou snímat 90 hodin s alkalickými bateriemi nebo 400 hodin s lithiovými bateriemi. Hmotnost sestavené samotné sondy bez držáku činí 0,2 kg. Na následujícím obrázku je vyobrazen technický náčrt sondy bez a s ochranou proti kolizi [11].



Obrázek 14: Technický náčrt sondy [11]

Výhody dotykové sondy

Jednou z těch největších předností sondy TS 460 je proti kolizní ochrana, která zajistí, že i po takzvaném nabourání se sondou není nutné prohlásit sondu za nevyhovující. Jako ochrana slouží mechanická vložka umístěná mezi upínacím kuželem a samotným tělem sondy. Tato ochrana slouží hlavně pro zabránění nenávratného poškození při lehkých kolizích, kdy se při nárazu do obrobku nebo upínacího přípravku sonda mírně celá vyhne. Ve stejnou chvíli vypne signál připravenosti a stroj je zastaven. Celý tento proces proběhne do 20 milisekund a nepoškozenou dotykovou sondu už je poté zapotřebí pouze znovu kalibrovat a je možné pokračovat dále v práci. Adaptér s anti kolizní ochranou je však dostatečně tuhý a nevnáší žádnou chybu ani při vyšším zrychlení sondy. Na patnáctém obrázku je v krocích popsána proti kolizní ochrana [11, 32].

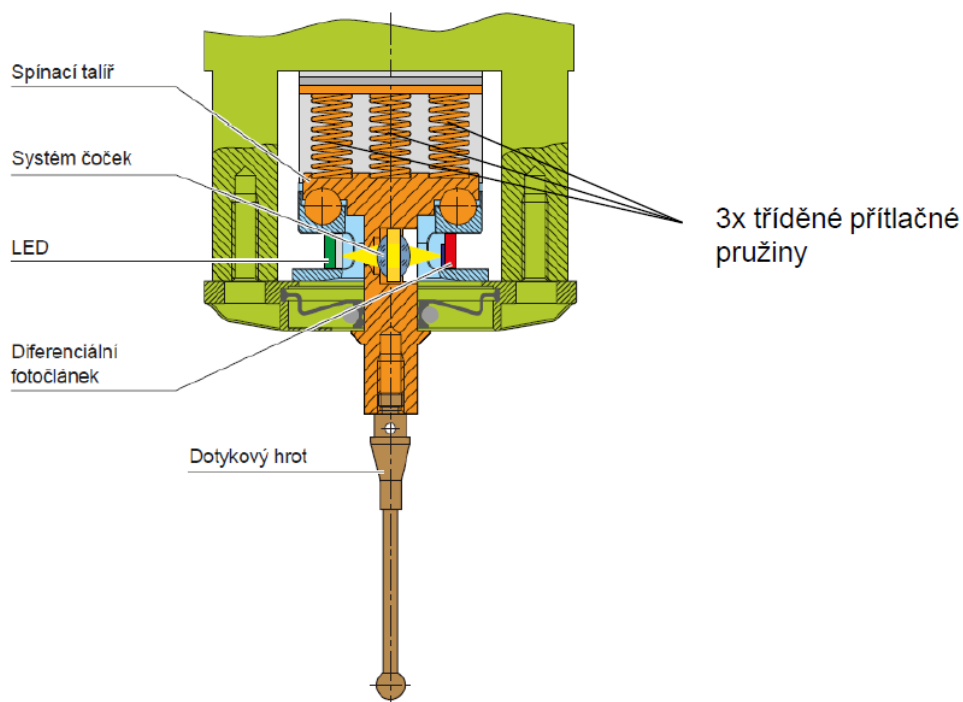


Obrázek 15: Proti kolizní ochrana [11]

Kromě proti kolizní ochrany se pro ochranu sondy osazuje také teplotním předělem, který má podobný účel jako ochrana proti kolizi. Jedná se také o mechanickou ochranu, která však zabráňuje poškození sondy tím, že ji chrání proti zahřátí od vřetene, které bylo ohřáté od předchozích operací stroje. K zahřátí může ale dojít také při delším měřicím cyklu, který by trval déle než 20 minut. Bez teplotního předělu by takové zahřátí mohlo vést k nepřesnostem vlivem teplotní roztažnosti materiálu, která u ocelí rozhodně není zanedbatelná [11, 12].

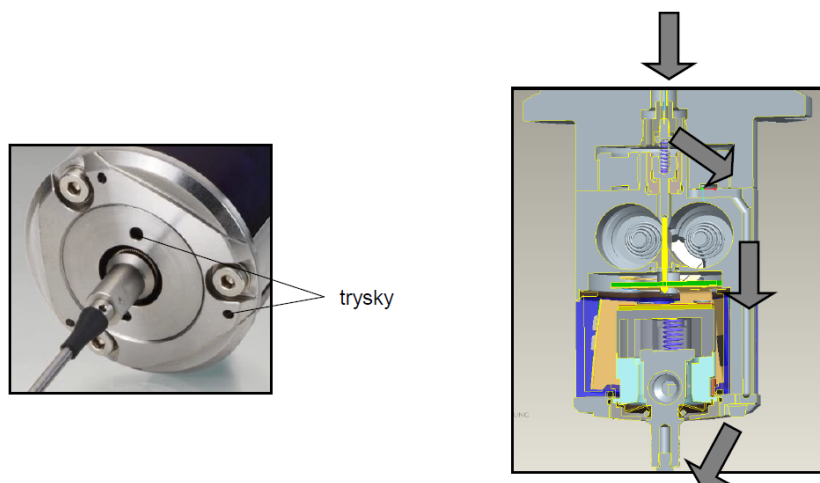
Velkou výhodou je systém, jakým probíhá samotné měření. Každá sonda je totiž osazena optickým senzorem, který pracuje bezkontaktně a nepodléhá tedy žádnému mechanickému opotřebení, čímž je možné dosáhnout značného množství snímání bez výměny sondy a dobré opakovatelnosti snímání. Výrobce uvádí až pět milionů snímání bez jiné než běžné údržby (kalibrace, výměna baterií). Senzor se skládá ze systému čoček se zesilovačem k získání stabilního výstupu. Paprsky světla jsou produkovány LED diodou, procházejí a zaostrují se pomocí výše zmíněné soustavy čoček a poté dopadnou pouze jako bod světla na vestavěný fotočlánek, který při vychýlení světla způsobeným vychýlením snímacího hrotu vytvoří spínací signál. Tento signál je okamžitě zachycen pomocí bezdrátového přijímače a je zaznamenán pomocí programu stroje. Před měřením je potřeba

paprsek kalibrovat a určit tak nulový bod fotočlánek. Řez optickým senzorem je názorně vidět na obrázku číslo 16 [11, 32].



Obrázek 16: Optický senzor sondy [11]

Pokud měření probíhá jako mezioperační kontrola nebo hned po ukončení obráběcího cyklu, mohou se na obrobku nacházet nečistoty, jako jsou třísky nebo řezná kapalina s prachem a ty mohou nepříznivě ovlivnit celé měření. Za tímto účelem jsou sondy vybaveny otvory, které umožňují odfuk nečistot. Tyto otvory jsou nazvány ofukovací trysky a je možné je vidět na sedmáctém obrázku. Skrz trysky na spodní části sond je vháněn do pracovního prostoru stlačený vzduch přímo na místo, kde bude prováděno měření a odstraňuje z tohoto místa nečistoty včetně větší vrstvy chladicí kapaliny. Využití tohoto systému je však podmíněno vybaveností stroje, protože je nutné, aby byl ve stroji umožněn přívod stlačeného vzduchu přímo do vřetene [11, 12].



Obrázek 17: Ofukovací systém [11]

V popisu, který se týkal zmiňované sondy, bylo uvedeno, že existují dvě možnosti pro přenos informací mezi sondou a řídicím systémem. Jednalo se o režim s infračerveným přenosem nebo o režim s rádiovým přenosem. Oba z těchto přenosů jsou ideální pro jiné použití. Infračervený přenos bývá použit zejména při měření v menších, kompaktnějších strojích, které mají uzavřený pracovní prostor, což jsou zejména nějaké CNC soustruhy umístěné v zakrytovaném prostoru, protože signál dosahuje spolehlivě do vzdálenosti okolo sedmi metrů. Na druhou stranu rádiový přenos se využívá převážně pro velké obráběcí stroje, kterými mohou být kupříkladu počítačem řízené karusely. Při použití rádiového přenosu je dosah signálu až 30 metrů, každá sonda musí však pracovat na vlastní nerušené frekvenci pro zajištění přesnosti měření. Pro přepínání mezi jednotlivými režimy slouží otočný přepínač umístěný v prostoru za bateriemi sondy, z čehož plyne, že mezi režimy nebývá běžně nijak přecházeno, ale je zvolen pouze jeden režim podle zvoleného typu stroje, kde bude sonda využívána [11, 12].

Pro ovládání sondy a přijímání informací z ní slouží jednotka s označením SE 660. Pro její vzhled, který bude současně s popisem vyobrazen na obrázku 18, je přezdívána jako oko. Jednotka je vybavena LED diodami indikujícími stav oka, vytíženost zvolené frekvence nebo režim přenosu a stejně tak je osazena i číselníkem pro zobrazení kanálu, na kterém vysílá/přijímá. Ze samotného oka je možné vyčíst veškeré následující informace, aniž by bylo nutné vidět na samotnou obrazovku stroje [11]:

- připravenost sondy,
- činnost sondy,
- vychýlení hrotu,
- stálost spojení,
- kanál a jeho vytíženost,
- nastavený provozní režim sondy,
- kolize, chyby a stav baterií.



Obrázek 18: Jednotka SE 660 [11]

Montáž a instalace

Vzhledem k možnosti využití sond na rozličné množství obráběcích strojů je možnost montáže poměrně značná. Dalo by se však říci, že hlavní dělení možností montáže sond je následující (jedno z možných upnutí sondy je názorně ukázáno na obrázku s číslem 19):

- upínací držáky (slouží pro obráběcí centra, vrtačky i frézky),
- nástrojové držáky (slouží jako speciální řešení),
- upevňovací závity (většinou využívány pro individuální řešení montáže pro brusky a soustruhy).

Sonda s označením TS (obrobková) bývá upínána do vřetene, kdy bývá upínací držák dodáván dle požadavků zákazníka, a tedy na objednávku z rozmanitého portfolia. Jedná se většinou o různé druhy normalizovaných kuželů pro upnutí do vřetene stroje. Při používání ne příliš standardních nástrojových držáků lze sondy upínat také pomocí válcové stopky do kleštiny umístěné na vřeteni stroje. U využití poslední možnosti, kterou je upínání pomocí závitu, bývá sonda dodána bez nástrojového držáku a upíná se pomocí šroubení se závitem M30. Pokud je to následně nutné, je možné po upnutí ještě hrot ručně vycentrovat (kalibrování však běžně probíhá NC cyklem) [11, 32].



Obrázek 19: Upínání sondy pomocí kuželového upínacího držáku [11]

1.3.2 Sonda TT 460

V předchozích podkapitolách byla popisována sonda TS460, což je výhradně obrobková sonda, jde tedy o sondu, která měří rozměry a přesnost zhotovované součásti a je upínána do vřetene místo nástroje. V této kapitole bude však pozornost věnována sondě nástrojové, která se účelem zcela liší od obrobkové sondy. Účelem nástrojové sondy totiž není měřit rozměry obrobku, ale naopak nástroje pro přesné polohování a dokonalé obrábění. Dále se také tato sonda neupíná do vřetene stroje, ale upíná se do určitého bodu pracovního prostoru stroje.

Úvod do TT 460

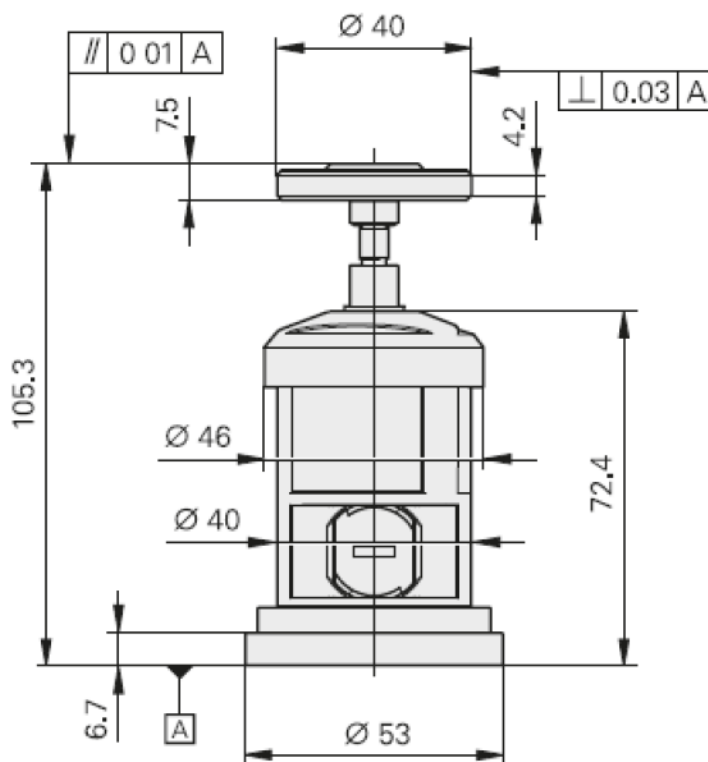
Výrobce je sonda uvedena jako spínací, bezdrátová sonda pro měření a také kontrolu nástrojů. Kontroly a měření nástrojů, které probíhají přímo ve stroji a také automaticky, totiž do značné míry šetří vedlejší časy, což umožňuje vyšší produktivitu stroje. Díky kontrole nástrojů je také zvýšena přesnost a opakovatelnost procesu, neboť pomocí sondy je možné rozpoznat i přílišné opotřebení nástroje a určit jeho nutnost výměny. Na přesnosti obrábění záleží také procento zmetkovitosti, která je častým měřením nástroje v co největší možné míře eliminována. Sondu není nutné nějak zvlášť chránit před řeznou kapalinou díky stupni krytí, který zaručuje, že řezná kapalina významně neohrozí funkci a životnost sondy, z tohoto důvodu je tedy možné sondu instalovat rovnou do pracovního prostoru obráběcího stroje. Díky mohutnému tvaru také není nutné brát zvláštní ohled na mechanické poškození těla sondy, není však prostorově příliš významná a nezabírá mnoho místa. Pro představu je nástrojová sonda TT460 ukázána na obrázku číslo dvacet [11, 12].



Obrázek 20: Nástrojová sonda TT 460 [11]

Technické údaje sondy

V kapitole pro obrobkovou sondu byla také uvedena technická data podobná datům, jež budou vypsána v kapitole technické údaje nástrojové sondy. Data budou mít stejnou strukturu pro zjednodušení orientace v těchto údajích. Nástrojovou sondu je taktéž možné používat v obráběcích centrech na frézkách, u vrtaček a také u soustruhů, které umožňují automatickou výměnu nástroje, přičemž přesnost snímání je v rozsahu 15 μm . K vychýlení hrotu může docházet do pěti milimetrů ve všech směrech a k tomuto vychýlení může docházet buď v radiálním směru, ke kterému může docházet silou až 1 N, nebo ve směru axiálním, který zvládá až sílu o velikosti 8 N. Sondou je možno snímat s maximální rychlostí snímání do 5 m/min. při vysoké rychlosti přísuvu nástroje je možné, že dojde ke kolizi, která by mohla běžné sondy trvale poškodit, čemuž se předchází lomovou ochranou, ta je při kolizi okamžitě zlomena nebo ohnuta, ale uchrání hlavní ústrojí sondy před trvalým poškozením. Kromě lomové ochrany je sonda chráněna také proti vlhkosti a prachu a má stupeň krytí IP68. Rozsah provozních teplot je mezi 10 °C až 40 °C, ale skladována může být v nehostinných podmínkách, kde se teploty mohou pohybovat až v rozmezí -20 °C až 70 °C. Pro upevnění sondy v pracovním prostoru stroje je možno použít dvou systémů, sonda je vždy dodávána buď na montážní patici, která je vybavena magnetem a sonda drží magnetickou silou (tento způsob je lepší pro rychlou manipulaci s tělem sondy), nebo je upnuta pomocí šroubů. Pro zapnutí nebo vypnutí sondy se používá stejně tak jako pro přenos informací rádiový nebo infračervený přenos, přičemž musí být samozřejmě sonda napájena, k čemuž slouží dva akumulátory ½ AA nebo velikost LR2 o napětí 1 V až 4 V. S těmito akumulátory je obsluze umožněno sondou snímat 90 hodin s alkalickými bateriemi nebo 400 hodin s lithiovými bateriemi. Hmotnost sestavené samotné sondy bez držáku činí 0,4 kg. Na následujícím obrázku je vyobrazen technický náčrt sondy [11].



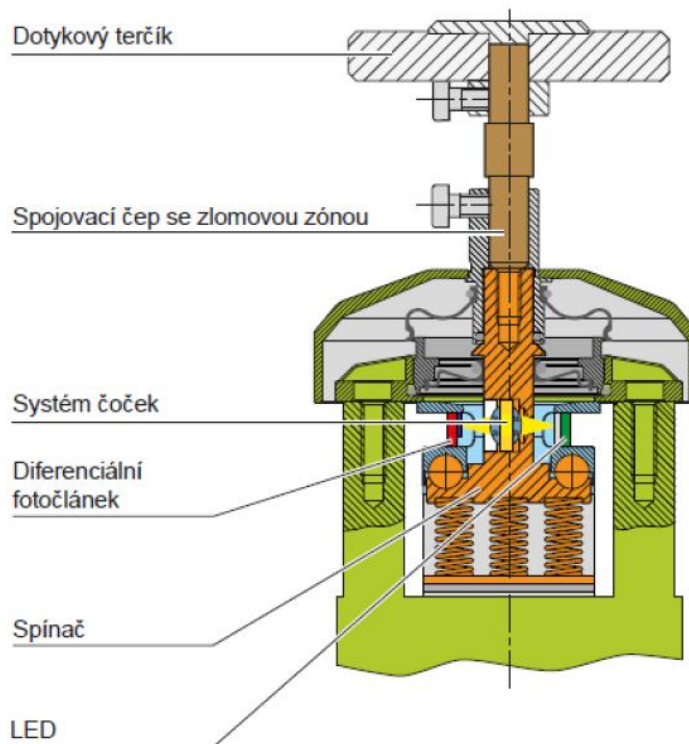
Obrázek 21: Technický náčrt TT 460 [11]

Výhody dotykové sondy

Jak bylo psáno již v úvodu o této sondě, hlavní výhodou je úspora časů a snížení zmetkovitosti, sonda má však i další dílčí výhody. Jednou z nich je možnost bezobslužného provozu, což je samozřejmě pro operátora obsluhujícího stroj výhodou také co se týče pohodlí, protože je možné do pracovního cyklu vložit také část, při které bude během delší operace zkontrolován nástroj a tato kontrola proběhne zcela automaticky bez přičinění obsluhy. Zjištěné rozměry nástroje je také možné ukládat přímo do tabulky nástroje, což znamená, že například průměr vrtáku je po jeho změření nástrojovou sondou uložen do tabulky nástrojů a je tak známa jeho přesná hodnota průměru. Během obrábění je možné předejít reznému procesu opotřebovaným nástrojem nebo dokonce nástrojem s odlomenou částí břitu a je tak díky sondě ušetřeno za špatně vyrobené kusy. Tolerance, kdy je již nástroj opotřebovan a potřebuje výměnu, je samozřejmě možné zadat v řídicím programu. Po dosažení limitní hodnoty je operace zastavena a je požadován buď nástroj nový, nebo je použit nástroj, který je v zásobníku nástrojů přímo ve stroji a plně nahradí předchozí užitý nástroj [11, 12].

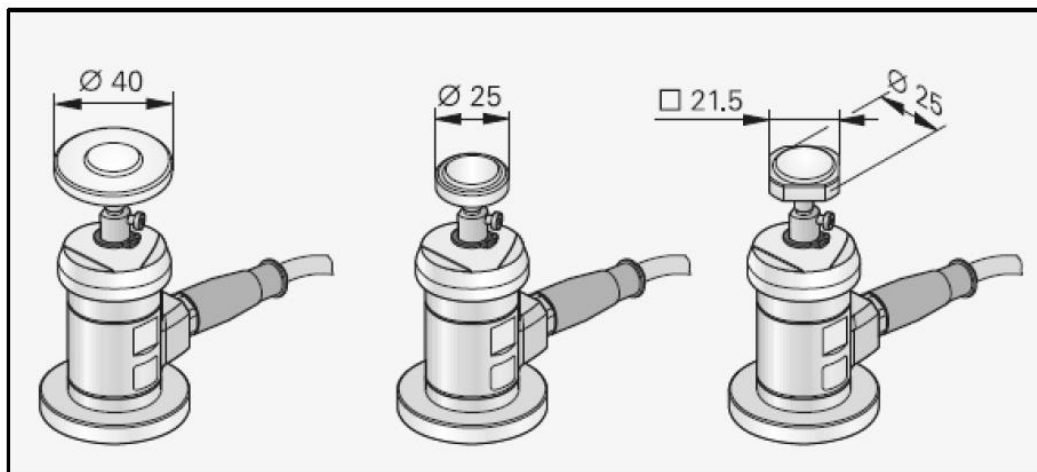
Jako u obrobkové sondy, tak také u této sondy je výhodou, že je uživatelsky možné zvolit, jestli je požadován režim s rádiovými nebo infračervenými signály. To zaručuje možnost rychlého umístění sondy na libovolné místo stroje nebo dokonce její umístění na pohyblivé stoly, které mohou být tedy i sklopné a natáčecí [11].

Výhodou je znovu také princip snímání založený na snímání pomocí optického senzoru, kdy světlo produkované LED diodou a zaostřované soustavou čoček ve výsledku dopadá na fotočlánek, při vychýlení přesného paprsku světla z předem definovaného a kalibrovaného místa na fotočlánek je zaznamenán spínací signál. Díky tomuto systému snímání je možnost vysoké opakovatelnosti snímání bez mechanického opotřebení. Detailní náčrt snímací soustavy sondy je možno vidět na obrázku 22 [11].



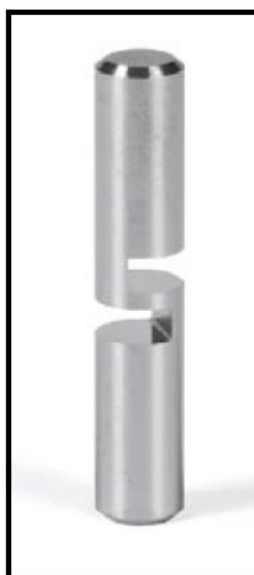
Obrázek 22: Optický senzor TT 460 [11]

Dotykový terč nebo snímací talíř, jak se této komponentě říká, může mít rozdílnou velikost průměrů, nebo může mít i odlišný tvar jiný než kruhový, když to vyžaduje situace. Menší průměry terče jsou vhodné například pro horizontální vyvrtávačky, větší průměr slouží pro klasické tříose stroje a čtyřhranný terč je nejčastěji užíván k měření na soustruhu. Všechny tyto terče jsou naznačeny na obrázku 23 [11].



Obrázek 23: Tvary snímacích talířů [11]

Poslední popisovanou částí sondy TT 460 je již zmiňovaná lomová ochrana, která se nachází mezi snímacím talířem a robustním tělem sondy. Slouží pro ochranu při špatné manipulaci nebo příliš rychlému posuvu nástroje, který vede ke kolizi. Díky dvěma tvarovým změnám je účinnost lomové ochrany dostatečná ve všech směrech. Před zanesením je tato ochrana dostatečně chráněna pryžovou trubičkou, která je na sondě vidět na první pohled. Když je čep poškozen, je jednoduše vyměněna pouze lomová ochrana, sonda znovu kalibrována a není nutné měnit celou sondu, čímž jsou výrazně ušetřeny náklady. Jednoduchý ocelový čep s tvarovými změnami sloužící jako lomová zóna je vyobrazen na obrázku 24 [11].



Obrázek 24: Lomová ochrana [11]

2 POROVNÁNÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU HEIDENHAIN S ŘÍDICÍM SYSTÉMEM SINUMERIK

V této kapitole budou stručně shrnuty některé pokročilé funkce řídicího systému od firmy Siemens a budou porovnány funkce a možnosti, které jsou jistou mírou podobné jako funkce systému Heidenhain.

2.1 Siemens Sinumerik

Firma, která je na trhu již velmi dlouhou dobu (v této době slaví společnost 130 let na trhu) a její portfolio je stejně tak jako u Heidenhainu mnohem širší než jen řídicí systémy strojů, nese jméno Siemens. Vzhledem k tématu diplomové práce budou však uvedeny jen data týkající se jejich systému s obchodním názvem Sinumerik, který by se dalo říci, že je přímým konkurentem systému Heidenhain. Firmy však nejsou rivaly, a tedy se dá hovořit pouze o zdravém konkurenčním produktovém souboji.

Samotná firma řadí svůj systém do odvětví průmyslové automatizace a digitalizace, kdy tento systém propojuje automatizaci, technologickou kompetenci a digitalizaci právě do tohoto jediného programu. Sinumerik však není nutné využívat jen pro sériovou a hromadnou výrobu, ale je plně využitelný také ve výrobě kusové. Systém je také navržen pro specifické požadavky následujících odvětví [14]:

- automobilový průmysl (výroba motorů, převodovek a os),
- letecký průmysl (přesnější obrábění ve výrobě letadel a leteckých motorů),
- elektronický průmysl (vynikající kvalita povrchu, krátká doba výměny nástroje při výrobě elektrotechnických komponent),
- energetika (optimalizace kvality a rychlosti výroby komponentů pro energetický průmysl),
- výroba forem a nástrojů (kvalita povrchů při vysoké rychlosti obrábění).

2.2 Pokročilé funkce řídicího systému Sinumerik

Stejně tak, jako v kapitole jedna zde budou vypsány pouze vybrané pokročilé funkce systému Sinumerik, které jsou známy jako novinky posledních let a je možné je vhodně srovnat s vybranými funkcemi řídicího systému Heidenhain.

2.2.1 MDynamics

Jedná se o produktový balíček, který v sobě skrývá více jednotlivých funkcí, které jsou novinkami v popisovaném řídicím systému, aby byly řídicí systémy porovnány, lze tento balíček připodobnit funkcím Dynamické výkonnosti firmy Heidenhain. *MDynamics* balíček slouží pro rychlejší a kvalitnější obrobení součástí frézováním ve víceosých strojích, přičemž se skládá z následujících funkcí [15]:

- *Top Surface*,
- *Top Speed*,
- ILC – inteligentní kontrola zatížení,
- IDC – inteligentní kontrola dynamiky obrábění.

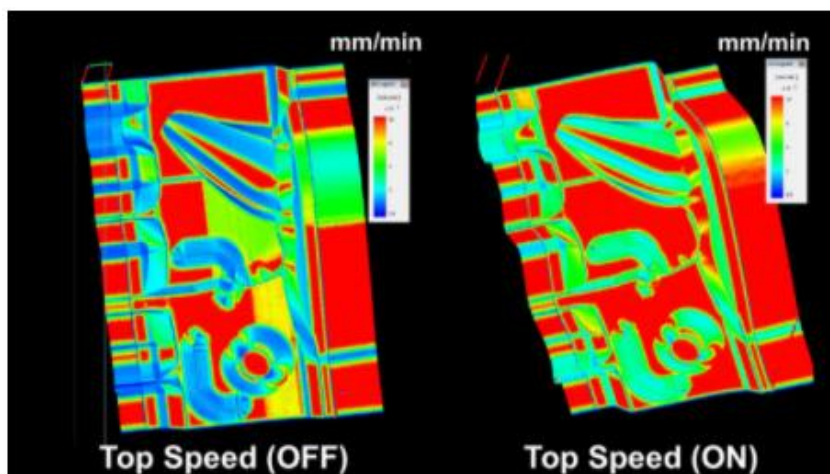
Dále budou tyto funkce přesněji popsány v následujícím odstavci.

Top Surface

Tato možnost řídicího systému optimalizuje obrábění ploch takovým způsobem, aby byl dosahován co nejkvalitnější povrch, ale zároveň, aby byla dosahována i co nejvyšší přípustná rychlost obrábění a nedocházelo tak ke zpomalování cyklu. V cyklu je implementován algoritmus, který je nazván “*look ahead*“, který předvídá další krok při obrábění a dokáže tedy plynulým zrychlováním nebo zpomalováním dosahovat co nejvíce kvalitního povrchu při vysoké rychlosti obrábění. Je zde ale ochrana nejen obrobku, ale také stroje, protože systém hlídá i jakékoli trhnutí stroje a jsou tedy méně namáhány i mechanické části stroje. Dále je zde také funkce *ORISON* pro vyhlazení jednotlivých výkyvů při obrábění na stroji s pěti osami [16].

Top Speed

Dalo by se říct, že funkce *Top Speed* bývá zařazena pod předchozí funkci, neboť má za úkol také co nejvíce zrychlit operaci při zachování kvality povrchu, ale při této funkci je dbáno spíše na to, aby byla operace provedena co nejrychleji a zároveň docházelo k co nejmenším mechanickým vibracím, které by ovlivnily životnost stroje. Spojením obou funkcí tedy dosahujeme maximální přípustné rychlosti při nejnižším opotřebení stroje a nejvyšší kvalitě povrchu. Na obrázku, který je uveden pod odstavcem je možné porovnat rychlosti obrábění bez zapnutí této funkce a s jejím použitím, přičemž čím více je na součásti červených odstínů, tím vyšší rychlostí byl povrch obráběn [15].



Obrázek 25: Porovnání využití/nevyužití funkce *Top Speed* [15]

Inteligentní kontrola zatížení/dynamiky obrábění

Často bývají uvedené pouze zkratky těchto dvou funkcí vycházející z anglického překladu a to: ILC a IDC. Jedná se o dvě funkce, které spolu velmi úzce souvisí. Díky těmto funkcím je totiž možné měnit parametry stroje v závislosti na momentálním zatížení a také v závislosti na poloze jednotlivých řízených os tak, aby byl potenciál stroje využit naplno a bylo dosaženo co nejvyššího možného dynamického výkonu stroje. Zatížení nástroje při obrábění ovlivňuje samozřejmě také povrch materiálu, o němž pojednává zdroj 33. Hlídána je také hmotnost obrobku. Dalo by se říci, že je tato funkce znovu porovnatelná s jednou z funkcí systému Heidenhain, a to *component monitoring*, neboť zabráňuje přetížení stroje stejně tak, jako tomu bylo u Heidenhainu, ale zároveň dovoluje využívat co možná nejvyšší dynamický výkon stroje, a tedy zkracuje časy jednotlivých operací při zachování co nejvyšší kvality obrábění [15, 33].

2.2.2 Předcházení kolizím

Řídicí systém Sinumerik obsahuje také funkce pro předcházení kolizím běžně používanou pro ochranu nejen stroje a obrobku, ale také k ochraně nástroje a upínek před případnými kolizemi. Pokud je ale také implementován *Sinumerik Edge*, sledování a předcházení kolizím je možné vypnout bez ztráty monitorování v reálném čase. Výsledkem je poté možnost stálého monitorování kolizí zároveň s využitím plného výkonu systému k obrábění [15].

2.2.3 Vybrané cykly systému Sinumerik

Cyklus 800

Bývá také nazýván otočný cyklus a pomocí tohoto cyklu lze snadno naprogramovat obráběcí operace v otočné rovině (například otočný stůl stroje). Jde sice o funkci určenou k frézování, ale lze ji také použít při využití soustružnických nástrojů upnutých na více osé počítačem řízené frézce. Výhodou je, že bez vícenásobného upínání je možné celou součást zhotovit na jednom stroji, neboť lze na jednom stroji při jednom upnutí frézovat a také soustružit. Díky pouze jednomu upnutí tak lze dosáhnout vyšší přesnosti [16].

Soustružnický cyklus

Jde o rozšířené soustružnické cykly pro snadnější obsluhu víceúčelových strojů. Počítač navádí obsluhu při zadávání dat, zatímco je parametrizace procesu prováděna v každém dialogu, přičemž jde o velmi intuitivní funkci, protože obsluha stroje má veškeré soustružnické nástroje vyobrazené ve formě jednoduchých symbolů snadných k zapamatování. Soustružnické nástroje je možné interaktivně programovat ve všech dostupných soustružnických cyklech, zatímco polohování otočné osy B a vřetene jsou specifikovány přímo v technologické oblasti cyklu [16].

Frézovací cyklus

Frézovací cykly s osou B se používají pro naprogramování obráběcích operací v otočné rovině stroje. Po výběru funkce "*Swivel plane*" (otočná rovina) v cyklu 800 je vygenerována nová rovina obrábění, na které budou následně generovány veškeré frézovací funkce. Frézovací cykly umožňují také frézování součástí na otočných stolech soustruhu, přičemž je frézování čela nebo obvodu určeno zvolením roviny přímo v cyklu. Jde tedy vlastně o opačný postup k výše uvedenému cyklu a je tak možné provést jednoduchou frézovací operaci na soustruhu, aby zase nedocházelo k častému upínání obrobků a ke vzniku nepřesností. Zmiňované otočné roviny jsou pouze na strojích, které jsou vybaveny otočnými stoly, ke kterým je obrobek upínán, takovýto stůl je možné vidět na obrázku číslo 26 [16].



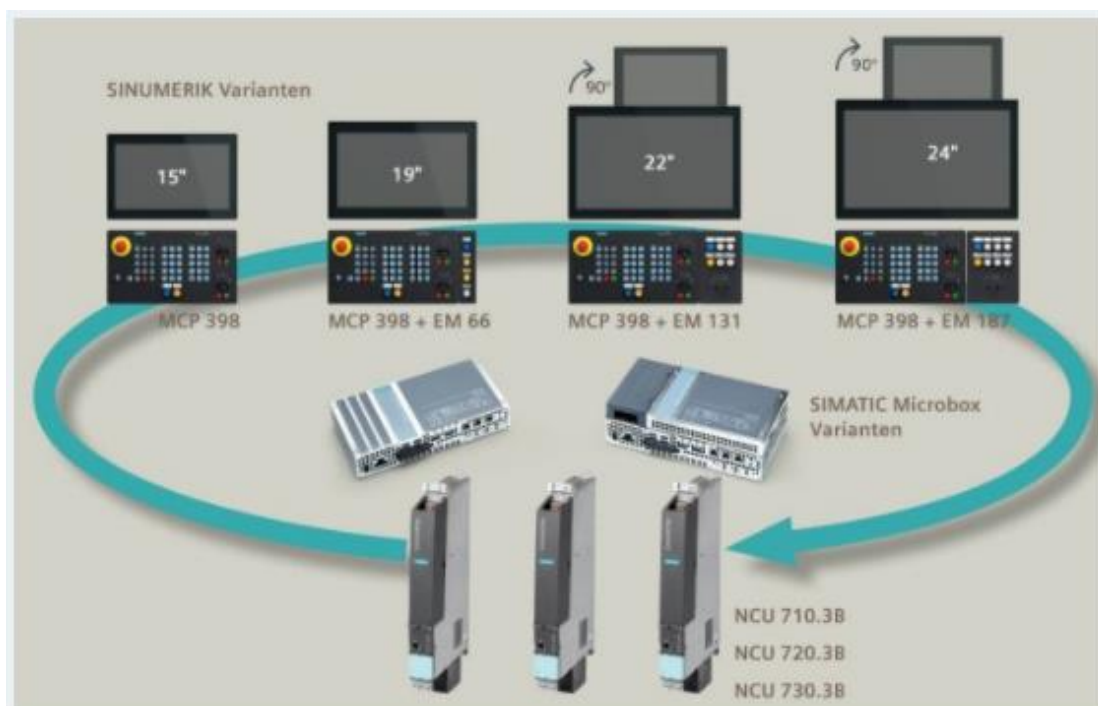
Obrázek 26: Otočný upínací stůl [17]

Cyklus 832

Zde je nejen shoda v podobných vlastnostech funkce, ale také téměř i v názvu funkce. V první kapitole byla uvedena funkce řídicího systému Heidenhain s názvem cyklus 32, která byla určena ke zrychlení obráběcího procesu při zadání přípustné tolerance jakéhosi překmitu nástroje, zde je však v názvu navíc pouze osmička a jedná se o obdobnou funkci. Jedná se o uživatelsky přívětivý cyklus výrobcem určený k dosažení vysoké rychlosti obrábění a zjednodušení parametrizace pro výrobu například dutin. Po zadání několika parametrů je systém nastaven na konkrétní úkol (hrubování, obrábění na čisto nebo dokončování) a je také nastavena právě zmiňovaná přípustná tolerance překmitu pro co nejvyšší dosaženou rychlost obrábění a pro významné snížení časů operací [16].

2.2.4 Displej obráběcího stroje

Tak, jako Heidenhain disponuje možností rozšířené pracovní plochy na velkém dotykovém displeji, i Sinumerik má svoji anabázi na tento počín. Jedná se o takzvaný Sinumerik *Operate Display Manager*, který umožňuje uživateli vytěžít maximum z velké plochy obrazovky, kterou je ovládán obráběcí stroj. Prostor na obrazovce je totiž taktéž možné rozdělit na větší počet jednotlivých oblastí a je tedy možné získat velký počet informací bez další nutnosti přepínání mezi tím, co bude uživateli na obrazovce zobrazeno. Obrazovky jsou dotykové, je možné je ovládat velmi intuitivními gesty a zvládají také více dotyků naráz stejně tak jako dnešní chytrá elektronika (například přiblížení gesty). Na pracovní ploše jsou různé aplikace a zkratky (takzvané *widgety*) pro jednodušší přístup ke všem funkcím a je zde také implementována možnost užití virtuální klávesnice pro snadnější zadávání. Celkový vzhled je možné uživatelsky upravovat dle požadavků obsluhy stroje. Panely pro obsluhu strojů jsou také vyráběny ve více variantách a velikostech kvůli možnosti výběru, velikosti a vzhled jednotlivých panelů je možné vidět na následujícím obrázku [18].



Obrázek 27: Velikosti ovládacích panelů Sinumerik [18]

Momentálně je nejnovější platformou pro obsluhu stroje Sinumerik 840, který poskytuje obzvláště velký výkon, za který vděčí více jádrovému procesoru. Je tedy možné využít veškeré výše zmiňované funkce a cykly bez žádných omezení a nedochází tedy k žádným prodlevám a nechtěným zásekům. Přes Sinumerik 840 je také možné obsluhovat roboty a manipulátory, které jsou obsaženy ve stroji a zvládá širokou škálu technologií jako je frézování, soustružení, broušení, laserové řezání a výrobu ozubených kol. Jde tedy o velmi univerzální Ovládací prvek ve třídě CNC strojů. Jeho vzhled je možné vidět na obrázku číslo 28 [18].



Obrázek 28: Panel Sinumerik 840 [18]

2.2.5 Funkce broušení

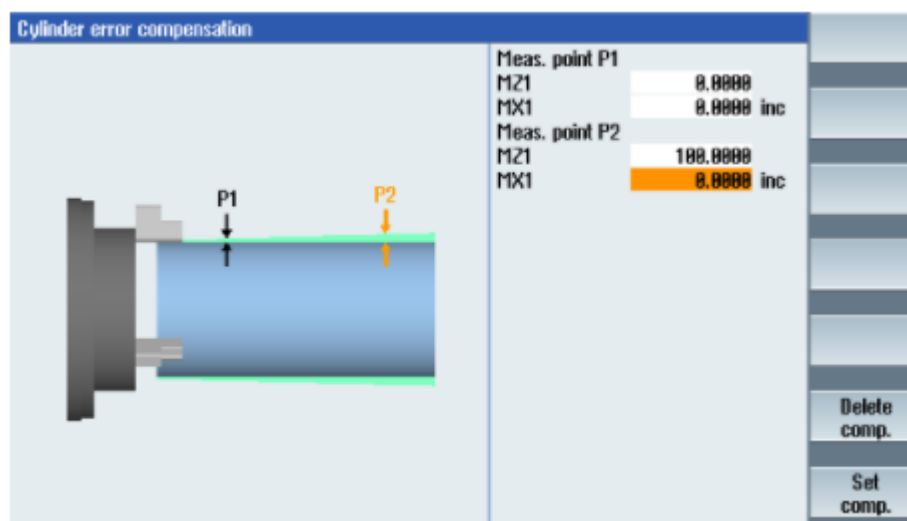
Co se týče možností broušení a funkcí, které se broušení týkají, je také u Sinumeriku možnost najít optimální řešení. Heidenhain má, jak bylo uvedeno, nejnovější funkci pro broušení nazvanou *Jig grinding*. U Sinumeriku i u Heidenhainu je možné najít obdobu, která je pro oba systémy ekvivalentní, následující podkapitola tedy bude věnována popisu možností broušení s řídicím systémem Sinumerik. Jak už také bylo uvedeno v první kapitole, mnohé moderní brousící metody, které je nutné taktéž naprogramovat pro CNC stroje jsou uvedeny ve zdroji [31].

Funkce nastavení

Před začátkem nové, zatím neprováděné brusné operace je díky pomocným funkcím nastavení broušení možné předběžné zadání technologických parametrů následného broušení, což má za následek zkrácení a usnadnění procesu. Je například zadána poloha orovnávačů ve stroji a různé polohy nástrojů, řídicí systém už poté jednodušeji provede orovnění brusného kotouče a je tak možné dosáhnout vysoké přesnosti broušení. Systém je přitom možné bezpečně ovládat pomocí nabídky ikon na obrazovce. Pro nový brusný kotouč je navíc nutné vytvořit profil broušení, který vzniká díky pomocné funkci nazvané *“Axis parallel profiling“* tedy česky paralelní profilování os. Tato funkce také hlídá, aby při orovnění a ostření nástroje nedocházelo z chodu naprázdno, neboť i takovým způsobem je možné u hromadné výroby ušetřit značné množství času, a tedy dosáhnout finančních úspor při výrobě [19].

Funkce kompenzací

Vzhledem k tomu, že broušení je dokončovací operací, je nezbytné dbát na to, aby byl přesný nejen pohyb nástroje, ale aby i obráběná plocha měla skutečně tvar co nejbližší teoreticky přesnému tvaru. Odchytky o požadovaných rozměrech mohou být způsobeny nepřesností strojů v předchozích operacích, nebo také pouze opotřebením nástrojů a okolními vlivy jako je kupříkladu teplota. Pro dosažení co nejvyšší přesnosti dokončení součásti však Sinumerik nabízí funkce kompenzací, které co nejvíce eliminují tyto nepřesnosti a umožní dosažení téměř dokonalého povrchu a přesných rozměrů zhotovované součásti. Na obrázku s číslem 29 je možné vidět barevně znázorněnou kompenzaci chyb broušeného válce, které je zobrazeno přímo na obrazovce stroje včetně nastavení parametrů.



Obrázek 29: Kompenzace nepřesností válce [19]

3 POROVNÁNÍ ŘÍDICÍHO SYSTÉMU HEIDENHAIN S VYBRANÝMI CAD/CAM SOFTWARE

Zde, v celé následující kapitole budou zmíněny dva CAD/CAM softwary, které se svými funkcemi taktéž podobají některým výše uvedeným možnostem řídicího systému Heidenhain. Prvním zástupcem těchto softwarů bude PowerMill od velmi známé společnosti Autodesk a druhým zmíněným softwarem bude Tebis, který je taktéž velmi hojně využívaným softwarem a jeho distributorem v České republice je společnost MCAE.

3.1 Autodesk – PowerMill

Společnost Autodesk má velmi široké portfolio produktů, z nichž je v běžném povědomí asi nejznámější Auto CAD pro práci především ve 2D a Inventor pro práci ve 3D, který je používán v mnoha firmách v oblasti strojírenství. Oba tyto programy jsou spíše řazeny mezi CAD programy, což jsou programy pro počítačem podporované kreslení nebo design. Návrhy získané z těchto softwarů je poté nutné převést z digitálního světa v reálný výrobek. K výrobě skutečné součásti slouží CAM softwary, což jsou softwary k počítačem podporované výrobě, které umožňují navrženou součást na stroji zhotovit. Autodesk, zmiňovaný v této kapitole, nabízí CAM software PowerMill, který se v posledních letech může pochlubit následujícími základními možnostmi:

- výborný výkon obrábění,
- možnost vysokorychlostního hrubování,
- frézování na 5 osách frézách,
- velké množství dokončovacích funkcí.

Výhodou PowerMillu je také možnost importu široké škály dat, která mohou být ve formě ploch, plných 3D dílců, sítí a ve velkém množství formátu, jako jsou například modely ve formátu STL.

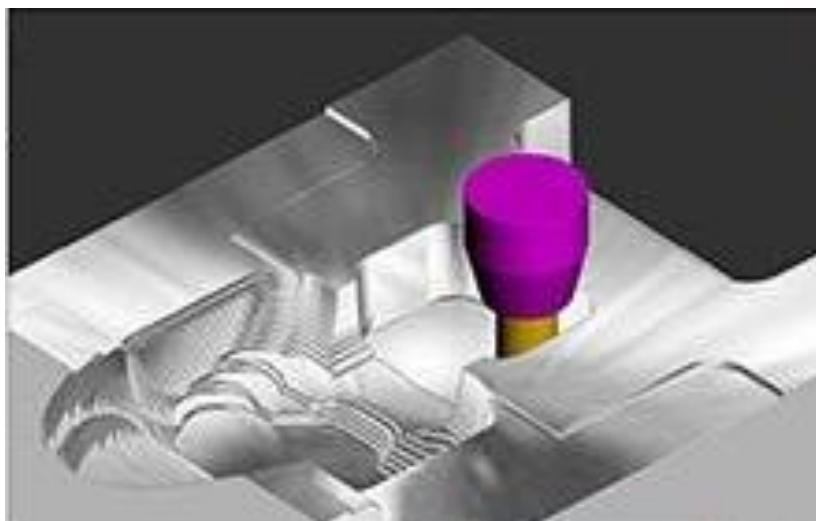
3.1.1 Pětiosé frézování

Vzhledem k vývoji obráběcích strojů je nutné, aby programy uměly spolehlivě pracovat se stroji, které mají možná pohyb ve více osách. U PowerMillu je možné právě nastavení v pěti osách, kam patří také možnost řízení náklonu nástroje. Je také možné nastavit některé osy zejména u náklonu jako fixní a tím tedy zabránit přílišnému kývání nástroje, kterým by samozřejmě docházelo k nepřesnostem. Pro víceosá obráběcí centra se zásobníkem nástrojů je také umožněno stejně tak jako u systému Heidenhain vytvářet databázi nástrojů, takže systém může přesně rozpoznat a zvolit požadovaný nástroj a zná jeho vlastnosti.

3.1.2 Kontrola a simulace

Tak jako Heidenhain měl možnosti jisté optimalizace drncení a vibrací, i u tohoto CAM softwaru je funkce optimalizace drah, která zajišťuje hladší pohyb stroje s co nejmenším cukáním pomocí nastavení takzvané plynulosti a vyhlazení bod drah, které je také možné převádět na úseky nebo oblouky. Dále je také možné optimalizovat a upravovat samotné nájezdy do materiálu, což by se dalo připodobnit cyklu 32, neboť i ten řešil problematiku se snížením časů díky překmitům, a právě nájezdům do materiálu. Přímo na stroji je také možné NC kódy sledovat a případně upravovat, takže kontrola procesu obsluhou probíhá přímo při jeho vykonávání a je tedy možné jej následně

optimalizovat. Co se týče kontroly, tak může tato kontrola probíhat i při simulaci procesu, protože celý proces je díky PowerMillu možné simulovat přímo na 3D modelu součásti i obráběcího nástroje včetně vřetene. Při této simulaci dochází ke zjištění možných kolizí v pracovním prostoru stroje a zároveň jsou určeny časy operací a optimalizovány všechny pohyby stroje. Dokonce existují i takové simulace, které přímo vytvářejí rendery obrobene plochy a je tedy přibližně vidět výslednou kvalitu povrchu obrobku, to je také podpořeno tím, že v posledních verzích již PowerMill umožňuje zobrazení ve 4K. náhled takového renderu je možné nalézt na obrázku pod odstavcem, přičemž o dalších procesech simulace pojednává kniha uvedená ve zdroji 32. Když nějaký z pohybů nástroje neodpovídá představám programátora, není problémem jednoduše upravit pohyby vřetene myší, což je pro uživatele velmi přívětivé. Díky volně šířitelným mírně ořezaným verzím je také možné svoje projekty dále šířit a simulace tak zobrazovat například v dílně nebo přímo zákazníkovi na neplacených verzích softwaru PowerMill. Pro ještě větší zjednodušení sdílení svých návrhů je také uživateli umožněno vytváření pohledů včetně poznámek a odkazů vložených do obrázků, které mohou být vytvořeny jako výstup. Všechny tyto simulace a výstupy také mohou být uživatelem sdíleny přes cloudové úložiště Autodesku s názvem A 360 [20, 32].



Obrázek 30: Render výsledné kvality povrchu [20]

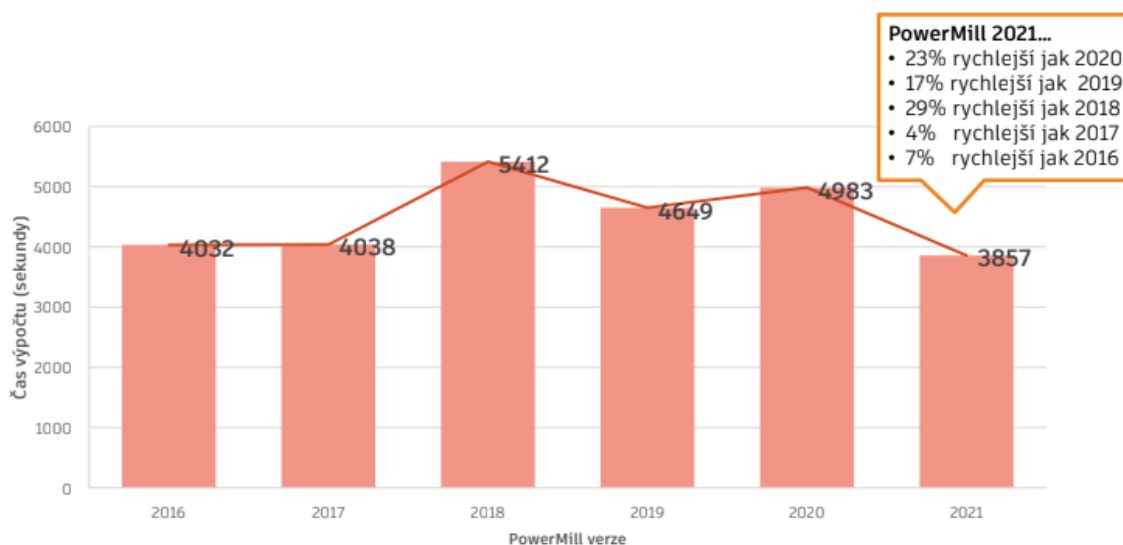
3.1.3 Novinky softwaru PowerMill 2021

Každým rokem se posouvají kupředu možnosti jak řídicích systémů, tak CAM softwarů, takže také PowerMill se neustále vyvíjí. V této kapitole budou popsány poslední novinky, které PowerMill skýtá. Hlavním vylepšením je zrychlování systému a tím i zrychlení jednotlivých operací. Ke zrychlení došlo ve velké škále operací jako je například: hrubování, řádkování, obrábění libovolných kontur a v kontrolách kolizí. V následující tabulce je uvedeno, o kolik procent došlo při typické dané operaci ke zrychlení oproti předchozí verzi PowerMillu. Zrychlení se však samozřejmě může lišit dle použitého obrobku a výrobce tak uvádí spíše optimální hodnoty zrychlení.

Tabulka 2: Zrychlení systému PowerMill [21]

Funkce	PM 2021 vs. PM 2020 (rychlejší %)
Hrubování	30 % typicky
Zbytkové hrubování	25 % typicky
Dokončení řádkováním	7 % typicky
Dokončení 3D konturou	6 % typicky
Dokončení strmé & plošné	6 % typicky
Hranice zbytkového modelu	až o 20 %
Otevření projektu (>2k děr)	50 % typicky (až o 90 %)
Kontrola kolize	20 % typicky (až o 65 %)
Zamezení kolize	20 % typicky (až o 65 %)

Zde se jedná o tabulku, která udává pouze meziroční zrychlení, PowerMill je však na trhu již několik let, a tedy ke zrychlování a jednotlivým optimalizacím dochází stejně tak jako u řídicího systému Heidenhain postupně. Vývoj rychlosti výpočtu při hrubování je vidět na grafu číslo jedna.

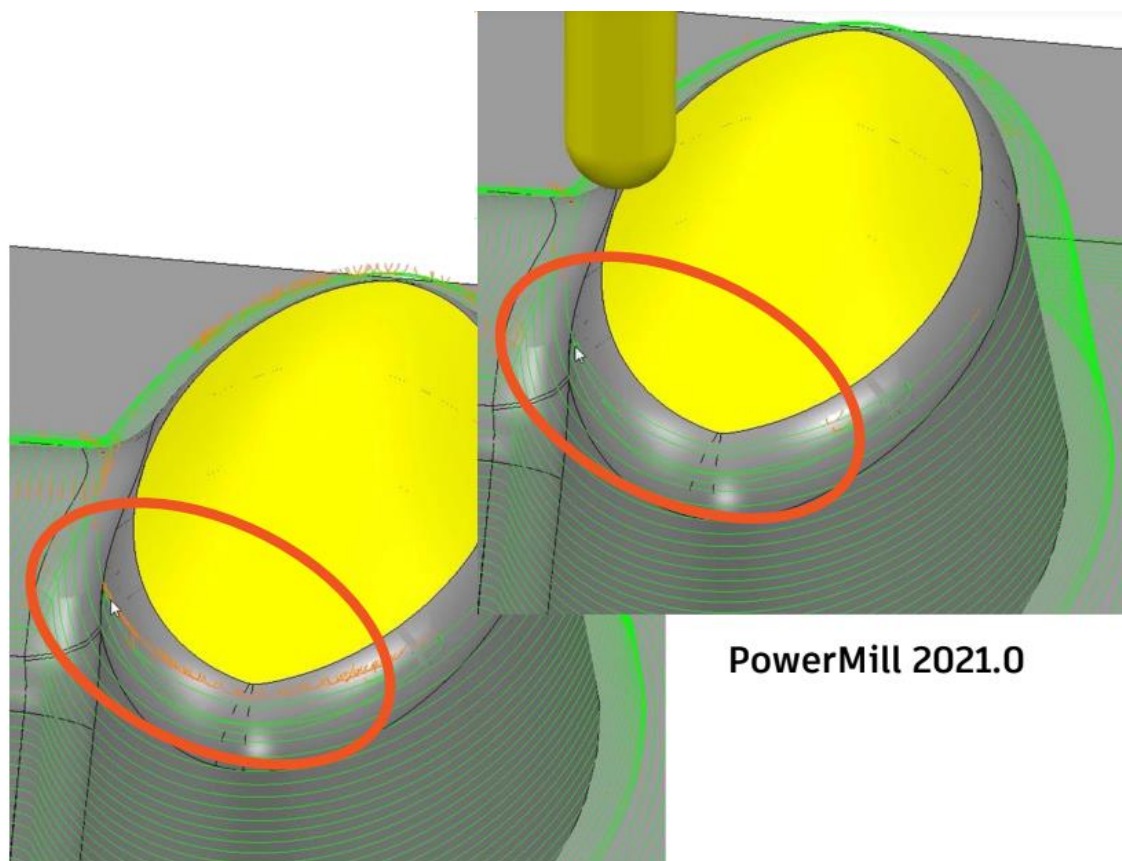


Graf 1: Porovnání rychlosti hrubování napříč verzemi PowerMillu [21]

Jak bylo ale uvedeno výše, nedošlo pouze ke zrychlení hrubování, ale bylo optimalizováno více oblastí, při zaoblování modelu pro frézování bylo také přidáno vytváření dodatečné geometrie, neboť nástroj není schopen vyrobit přesnou hranu v rohu obráběné kapsy, a proto je v tomto místě vytvořeno zaoblení během procesu přímo samotným softwarem. Výpočet probíhá již přímo během procesu, což značně urychlí přípravu k procesu, zároveň je tato funkce nově možná využít pro všechny tří a více osé stroje. Výsledkem je až 20% zrychlení při obrábění. Stejně velké zrychlení bylo dosaženo i při výpočtu automatického zamezení kolize, které nástroj automaticky naklopí vždy, když by mělo dojít ke kolizi. Kolize jsou navíc kontrolovány při výpočtu drah a pro ověření i

následně po výpočtu dráhy. Pokud je bezkolizních řešení nalezeno více, je možné tvůrcem programu vybrat jedno z řešení, nebo je systémem vybráno to s nejkratším časem procesu. Následně jsou po výpočtu drah přidány samotným systémem další body dráhy, které zajišťují hladkost a plynulost pohybu stroje, což zase vede k přesnějšímu obrobení povrchu a zároveň k dosažení lepší drsnosti povrchu. Pohyb je také díky přesnému výpočtu bezkolizních drah lépe předvídatelný [21, 32].

Dalším vylepšením prošlo také obrábění šikmých ploch, které je nazýváno jako obrábění strmé & plošné, kde byly mnohem lépe optimalizovány dráhy nástroje. Dráhy jsou totiž hladší a rozdělené do méně segmentů, které by měly ostré přechody, což vede znovu ke zlepšení kvality povrchu, k dosažení méně míst, která by byla neobrobena nebo obrobena nepřesně a je tedy značně snížen počet míst k následnému opracování na ručním pracovišti, což zrychlí tok materiálu dílnou. Jako u předchozích případů je také výrazně snížen čas obrábění. Na následujícím obrázku je také dobře vidět zmiňovaná nižší fragmentace dráhy, kdy není nutné, aby nástroj konal oranžově vyznačené dráhy, které jsou jakoby do malých oblouků [21].



PowerMill 2020

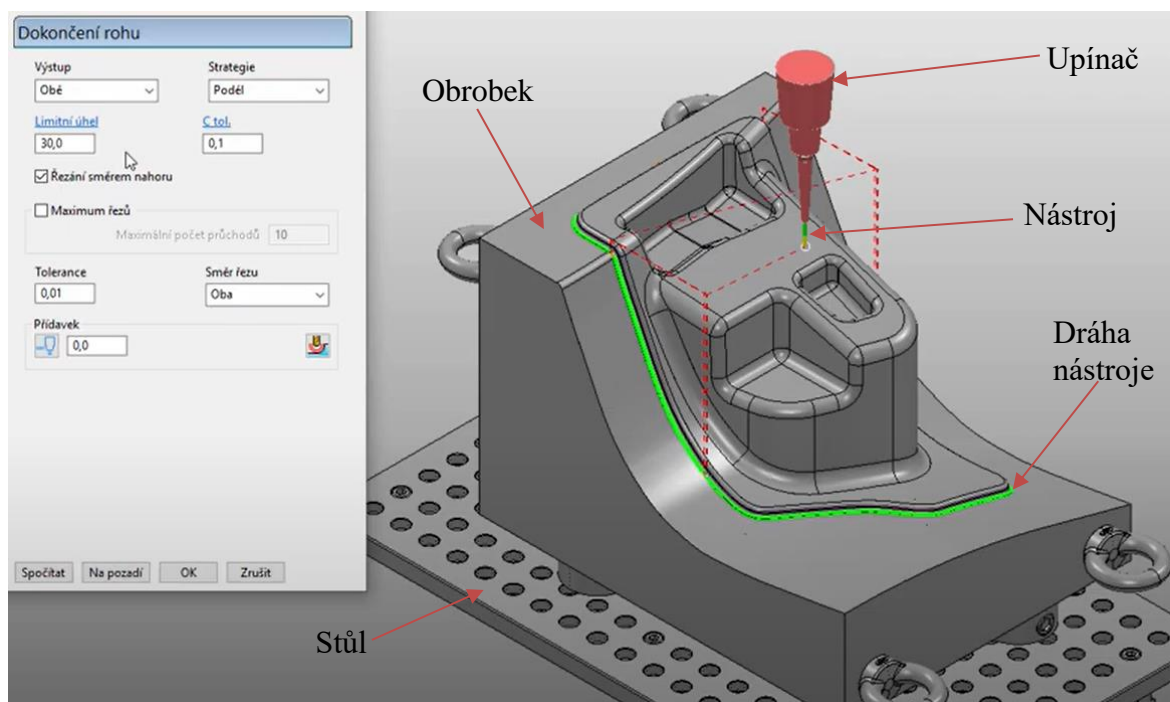
PowerMill 2021.0

Obrázek 31: Vylepšení fragmentace drah u verze PowerMill 2021 [21]

U verze pro rok 2021 byly také vylepšeny možnosti pro aditivní technologie, tedy pro technologie, které naopak materiál přidávají, místo aby tento materiál odebíraly. Jakékoli funkce pro aditivní technologie zatím řídicí systém Heidenhain nemá, a tedy ve srovnání se systémem Heidenhain je Autodesk mírně napřed, ale naopak se jedná o srovnání řídicího systému s CAM softwarem, což je činí nepřímými konkurenty.

3.1.4 Vybrané funkce softwaru PowerMill

V předchozí kapitole byly uvedeny pouze vybrané funkce a novinky v softwaru z roku 2021, tato kapitola však pojednává o vybraných funkcích a novinkách v průběhu let vývoje PowerMillu. Významnou funkcí je optimalizace možností obrábění rohů, které jsou v obtížně dostupných místech nebo na tvarově složitější ploše. PowerMill totiž dokáže obrobit rohy s malým rádiusem ve špatně přístupných kapsách přidáním zaoblení, které je systémem přidáno automaticky tak, aby byla prodloužena životnost nástroje a roh byl co nejpřesněji obroben. K tomu dochází vytvořením virtuálního zaoblení v rohu kapsy, které potom už pro software dále není náročné k výpočtu. Jsou takto šetřeny ale nejen nástroje, ale také je uspořena doba obrábění, protože se fréza zbytečně dlouho nezdržuje v takovýchto rozích. Dříve totiž byly dráhy v rozích s menším rádiusem nezaoblené, a to mělo za následek, že nástroj se v určité chvíli na okamžik zastavoval a teprve potom pokračoval ve směru, který byl určen ostrým přechodem. Rohy jsou však nyní zaobleny i při výpočtu drah a nástroj se tedy nezastaví a pokračuje plynule v nastaveném posuvu. Dále je velmi užitečnou funkcí pro obrábění rohů takzvané obrábění rohů vzhůru, které se užívá právě pro obrobení tvarově složitějších obrobků. Ve strmých úsecích součásti je totiž pomocí softwaru zajištěno, že dílec bude obráběn směrem zdola nahoru, což lze pozorovat na obrázku 32. Limitní úhel, který určuje, zdali bude aplikována popisovaná funkce, je nastavena uživatelem v okně, ve kterém zároveň volí i to, jestli samotnou funkci využije. Na pasážích obrobku, kde limitní úhel překročen není, dochází k obrábění, které je prováděno oběma směry, pokud uživatel neurčí jinak. Takovouto funkcí je možné dosáhnout plynulejšího pohybu, který má za následek mnohem kvalitnější povrch, než kdyby byla dráha nástroje náhodná nebo opačného charakteru. Díky plynulosti je zároveň i chráněn nástroj a je dosažena jeho delší životnost. Poslední opravdu významnou funkcí, která je věnována rohům, je funkce zaoblení modelu. Její značnou výhodou je možnost zaoblení modelu tak, že jsou tvořeny také zaoblené dráhy nástroje s plynulým pohybem vhodné pro tříosé obrábění [22].

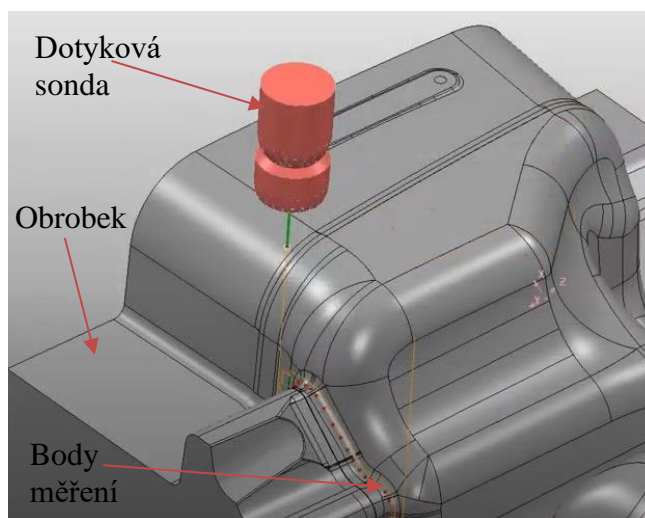


Obrázek 32: Funkce obrábění rohů vzhůru [22]

Pro další připodobnění funkcí systému Heidenhain k PowerMillu je možné využít možnost násobného gravírování, které lze využít při vytváření malých nápisů nebo obrazců na povrchu součásti. Gravírování bylo možné u CAM softwarů již dříve, nově je však u PowerMillu funkce násobného gravírování, kde lze nastavit postupně všechny velmi malé dráhy nástroje a dosáhnout tak precizního vygravírovaného nápisu či obrazce. Gravírováním je možné i na místa, kde nebude žádný dopad na funkčnost, vytvořit například v první kapitole zmiňovaný QR kód, ve kterém mohou být uloženy informace o příslušné součásti. Lze tedy vytvořit obdobu *Data Matrix Code*.

Pro správný průběh obrábění není důležité pouze zobrazení stop nástroje na obrobku a jejich výpočet, ale celkový výpočet pohybu nástroje včetně vřetene tak, aby při průběhu nedošlo k žádné kolizi, neboť při vysokých otáčkách, kterých jsou schopny dnešní stroje dosahovat, by jakákoli sebemenší kolize mohla být fatální. Pro výpočty těchto bezkolizních drah existuje funkce interaktivního zamezení kolizí, která již při tvorbě drah pro následné obrábění určí takovou dráhu celé soustavy, aby došlo k požadovanému obrobení součásti a zároveň nebyla způsobena žádná havárie. Při výpočtu drah jsou také vyznačena místa, kde by ke kolizi při obrábění došlo pro lepší orientaci uživatele na obrazovce. Tato místa je však potřeba obrobit, k čemuž se využije například jiný nástroj nebo natočení nástroje u víceosých strojů, systém automaticky ihned přepočítá dráhy. Rychlost výpočtu je však výrazně vyšší, protože dochází pouze k novému výpočtu v místech, kde by ke kolizi došlo, a ne celé dráhy. Pokud jsou však dráhy tvořeny pouze pro víceosé obráběcí stroje, je možné použít funkci automatického zamezení kolizí. Tato funkce musí být pouze zatržena v okně softwaru PowerMill a systém poté již sám vypočítá dráhu tak aby nedošlo k žádné kolizi a zároveň je i vypočteno veškeré natočení nástroje, takže jej není nutné natačovat uživatelem tak, jako tomu bylo výše. Software vypočítá dráhy automaticky tak, aby byl čas obrábění co nejkratší a kinematika obrábění byla měněna co nejméně, což umožní dosáhnout i kvalitnějšího povrchu obrobené plochy [23].

Co je ale velkou výhodou PowerMillu, tak dokáže vypočítat nejen dráhy pro obrábění materiálu, ale dráhy pro pohyb obrobkových sond. PowerMill tedy stejně jako Heidenhain umožňuje využít sondy a vypočítat jejich dráhy. Umožňuje také přímé porovnání výsledků měření sondy s 3D modelem. Sonda je například pomocí nástrojů pro měření přesně definována pomocí parametrů, nebo je sondu možné přímo importovat, pokud je k dispozici její 3D model. Tento případ je ukázán na následujícím obrázku [23].



Obrázek 33: Import 3D modelu sondy a dráha pro měření sondou [23]

Sonda je virtuálně umístěna do vřetene a její dráhy jsou poté již jednoduše určeny pomocí funkce, která se jmenuje měření, je tak možné hned po obrobení součást změřit bez nutnosti jeho upínání do dalšího stroje. Dráha je vytvořena tak, že jsou definovány jednotlivé body měření pomocí kurzoru myši, které jsou drahou spojeny. Výsledná vypočtená dráha je poté buď finální, nebo dále upravena uživatelem. Následuje vizualizace, která ukáže, jak bude sonda celý povrch měřit. Jednotlivá měření je také možné použít buď přímo mezi jednotlivé kroky obrábění, nebo až na samotný konec obrábění pro změření konečného obrobku [23, 32].

Výhodou oproti řídicímu systému Heidenhain má však PowerMill v možnostech aditivní výroby, kterou zatím Heidenhain vyřešenou nemá. U PowerMillu je možné uskutečnit výpočet drah a simulaci strategií pro procesy aditivní výroby. Přesněji pro nanášení dalšího materiálu pomocí frézovacího centra nebo robotického ramene. Další výhodou je možnost vytváření profilových drah soustružení pro 5osá frézovací centra, která však musejí být vybavena soustružnickými cykly [23, 24].

Zde byly popsány vybrané funkce, které jsou novinkami za poslední roky u softwaru PowerMill a některé z nich bylo možné připodobnit k funkcím řídicích systémů. Kdyby se však kapitola měla zabývat všemi funkcemi PowerMillu, tak by byla nepoměrně obsáhlá vzhledem k rozsahu práce, proto byly tedy vybrány právě tyto zajímavé a často využívané funkce.

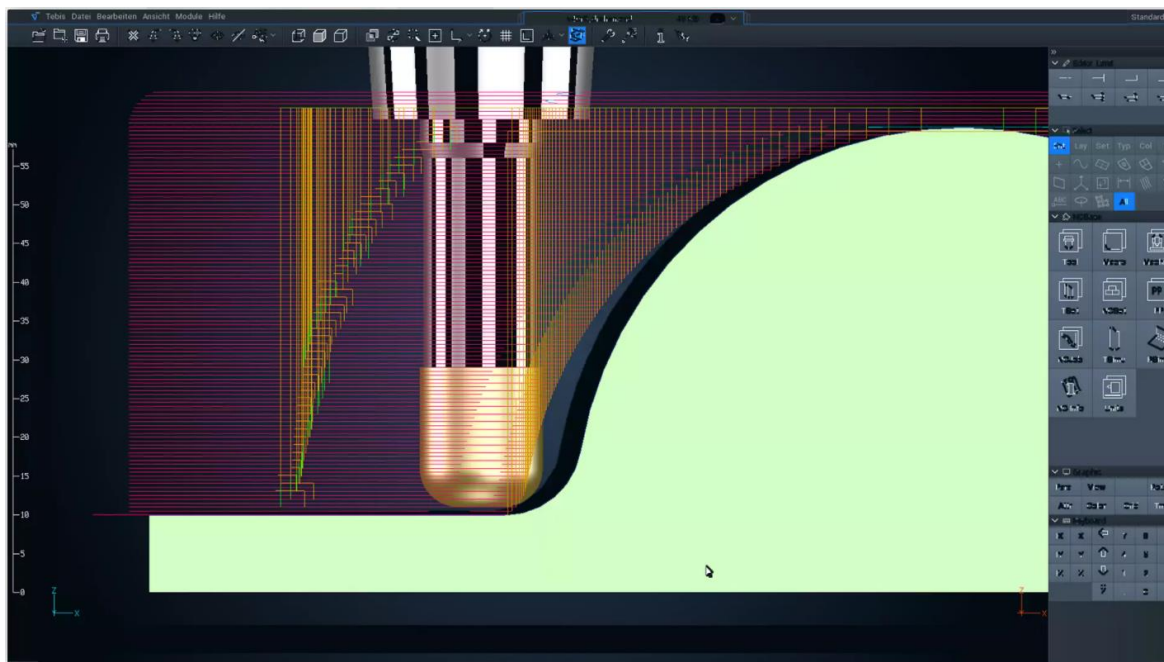
3.2 CAD/CAM Tebis

Software Tebis je CAD/CAM softwarem, který spadá pod společnost MCAE Systems, jež se nespécializuje pouze na tyto softwary, ale v následujících podkapitolách budou rozebrány některé funkce softwaru Tebis a jeho možnosti. Kapitola bude vytvořena pro porovnání řídicího systému Heidenhain nejen s Autodesk PowerMill, ale právě také se softwarem Tebis. Současnou verzí je Tebis verze 4.0 release 9, která má oproti předchozím verzím změny hlavně ve zvýšení produktivity, rychlosti výpočtu a další.

3.2.1 Tebis – frézování

Podobně jako u PowerMillu je i u tohoto softwaru kladen poslední dobou důraz převážně na bezkolizní dráhy, proto nově také Tebis při frézování zohledňuje geometrii hlavy stroje pro získání těchto bezkolizních drah. Software co nejvíce zmenší nebo vyloučí místa obrábění, kde by mohlo dojít ke kolizi a poté během výpočtu drah vypočítá také směr vyklonění nástroje. Při výpočtu vyklonění nástroje je využita skutečná geometrie virtuálního nástroje. Vyklápění nástroje si může určovat samotná obsluha a je zde také z důvodů možnosti použití krátkých nástrojů pro udržení maximální spolehlivosti obráběcího procesu. Rovněž bylo i zefektivněno obrábění rovinných ploch, kde došlo k optimalizaci výpočtového algoritmu pro výpočet rozdělení drah [25].

Podobně také jako u cyklu 32 nebo pro Sinumerik cyklu 832 Tebis umožňuje nastavení hodnoty offsetu neboli odsazení, jakési zadané tolerance, kterou nástroj bude při hrubování využívat pro rychlejší obrobení požadovaného povrchu. Lze zde také využít možnost, že zaoblené nebo strmé oblasti bude vyhrubovány, zatímco plochá, jednoduše obrobitelná místa budou rovnou dokončena. Tento ofset je možné vidět v prostředí Tebis na obrázku 34, kde je právě naznačeno, že rovná plocha se obrábí zcela, zatímco plocha, která má oblý strmý tvar je značně odsazena pro rychlejší průběh hrubování [25].



Obrázek 34: Offset použitý při obrábění strmé plochy [25]

Další výhodou je, že můžou být definována místa s takzvaným záporným překrytím, kde nástroj nebude odebírat příliš velký objem materiálu. Zároveň je stejně tak jako u PowerMillu možné nechat vypočítat zaoblení dráh, aby v rozích a tvarově složitějších kapsách nedocházelo k pozastavení nástroje a narušení posuvu. Při tomto zaoblování se určí, jaký materiál může být ještě odstraněn a jaký materiál je potřeba ponechat na obrobku. Dráha je vypočítána pro každé zaoblení zvlášť, takže jsou všechna zaoblení zcela opracována [25, 34].

Kromě obrábění frézováním nebo soustružením umožňuje Tebis také řezání laserem, kde právě existují speciální funkce pro řezání laserem včetně požadovaných korekcí tak, aby došlo k co nejpřesnějšímu vyříznutí nebo ořezu materiálu [25].

3.2.2 Tebis – měření

Stejně jako všechny výše zmiňované systémy je i zde možnost měření jak přímo ve stroji mezi operacemi, tak také po obrobení celého dílce. Dráhy jsou samozřejmě taktéž počítány tak, aby nedošlo ke kolizi se sondou a tím k jejímu poškození. Kromě rozměrů lze však také kontrolovat i před zahájením obrábění například správnou orientaci a upnutí obrobku do stroje. Jsou zde také dostupné veškeré nutné funkce pro provoz sondy, jako jsou následující [25, 26, 32]:

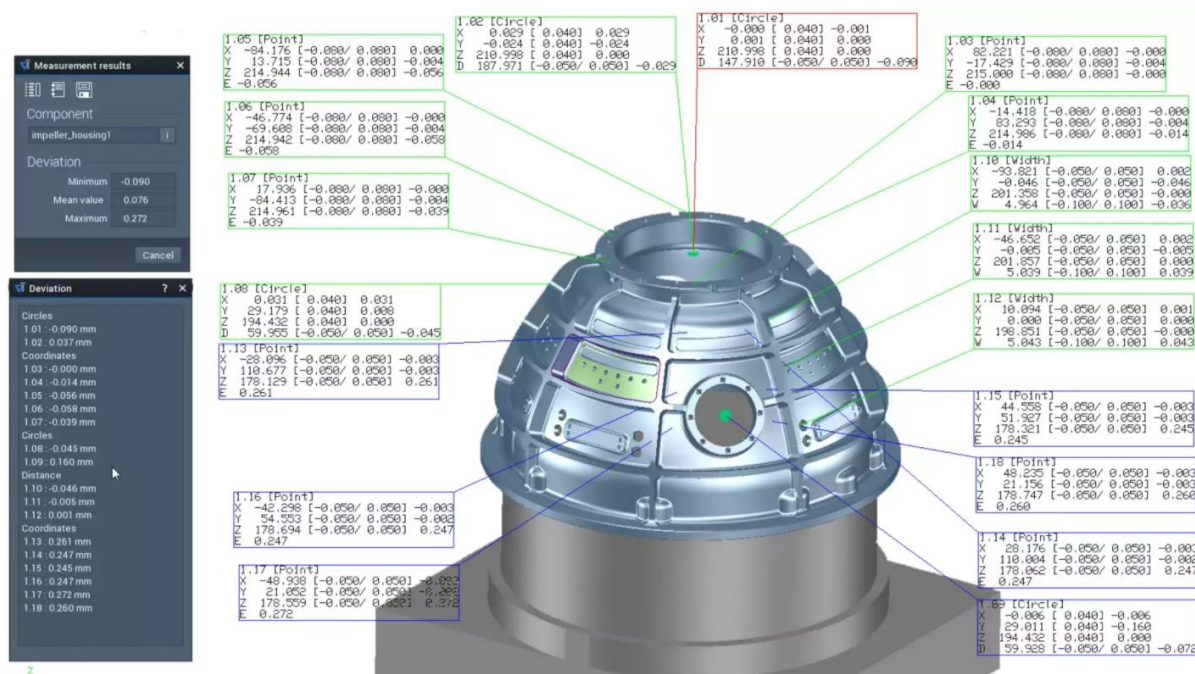
- kalibrace sondy,
- měření bodů,
- měření úhlů na základě bodů nebo kružnic,
- měření kruhů a obdélníků,
- kontrola žeber,
- kontrola drážek.

Pro zjištění, zdali je nutné součást dále opracovávat, nebo byl zhotoven zmetek, slouží funkce integrované testování tolerance. Kombinací všech funkcí, které se měření a obrábění týkají, je následně dosažen plně automatizovaný proces frézovacích, soustružnických a měřicích cyklů, které napomáhají k dosažení lepších výsledků při zhotovování součástí. Funkce je také možno využít u řídicích systému, které nemají tak jako je tomu u Heidenhainu, který tyto cykly má, vlastní cykly pro měření obrobků. Výsledkem je následně kratší doba upínání, procesu řezání, lepší kvalita součástí a mnohem nižší procento zmetkovitosti [25, 26].

Podobně, jako je tomu u softwaru PowerMill, jsou i zde možnosti porovnat naměřená data s 3D modelem součásti. Soubor s výsledky z měření je totiž snadné naimportovat do zpět do CAD softwaru. Z těchto měření po porovnání s CAD modelem jsou potom získány následující údaje [25]:

- naměřenou hodnotu,
- odchylku od požadovaného rozměru,
- parametr výsledného tvaru,
- toleranční pásmo.

Po získání výše uvedených výstupů z měření a porovnání s 3D modelem může být vytvořen protokol o měření spolu s vyznačenými místy na součásti, kde byly tyto hodnoty zjištěny. Výstup po měření například pro tisk přímo ze softwaru Tebis je zobrazen na obrázku číslo 35.

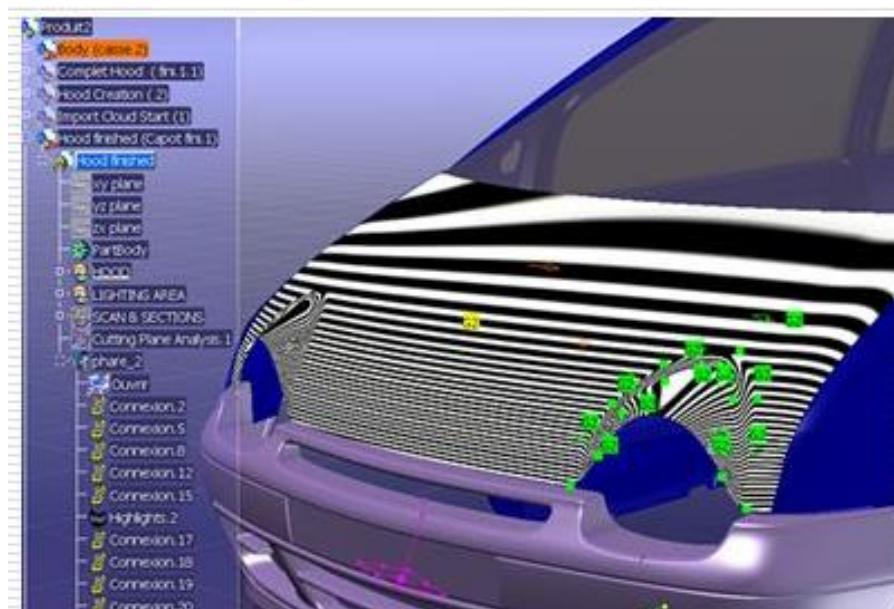


Obrázek 35: Výstup po měření sondou v softwaru Tebis [25]

3.2.3 Vybrané funkce softwaru Tebis

V kapitole o vybraných funkcích softwaru Tebis bude pojednáváno o funkcích, které nebylo možné zařadit přímo do měření nebo do frézování, ale jsou značně pokrokové a neměly by být opomíjeny.

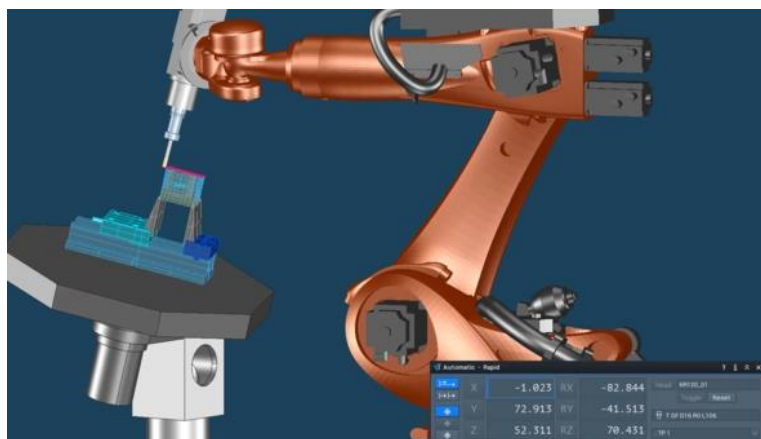
Jednou z mnoha předností tohoto softwaru je možnost převádění ploch nejvyšší kvality vytvořených v CAD programech do NC kódu pro počítačem řízené obráběcí stroje. Jedná se o takzvané Class A plochy, u kterých bývá zpravidla spojitost ploch nejvyššího řádu (matematicky se jedná o G^2 nebo G^3 spojitost), což zaručuje co nejlepší estetický vjem těchto ploch. Takovouto plochu lze vidět na obrázku 36 a pro větší názornost je na této ploše prováděna i zebra analýza, což je zjednodušeně promítání kontrastních pruhů na plochu, při kterém je zjišťována hladkost ploch. Class A plochy bývají používány typicky u vnější strany karoserie automobilu, kde je důraz na vzhled co největší. Software Tebis umožňuje vytvoření takových drah nástroje, aby došlo k co nejpřesnějšímu obrobení Class A ploch, přičemž již následně nebývá nutná další manuální úprava drah nástroje, to obsluze značně šetří čas a snižuje možnost vzniku nepřesností [27, 28].



Obrázek 36: Class A plocha kapoty automobilu [28]

Další významnou funkcí je možnost NC programování průmyslových robotů, které jsou vhodné například pro svařování, lakování, nebo také obrábění tvarově složitějších nebo členitějších ploch, kdy je obrobek upnut na nepohyblivém stole a pohyby koná rameno robotu. Softwarem Tebis je možné programovat roboty, které mají tři až pět řízených os a je možné pro ně vytvářet bezkolizní dráhy pro jejich práci. Výhodou je, že při vytváření drah robota bývá od větších výrobců průmyslových robotů (např.: Fanuc, ABB a Kuka) dostupný také 3D model robota, který je možný do softwaru vložit a není tedy vidět pouze pohyb nástroje, ale je viditelný celý upínací systém včetně robotického ramene a samozřejmě také součást. Je také možné nasimulovat celý pracovní prostor, aby nedošlo nejen ke kolizi s obrobkem, ale například dalším robotem nebo s ochrannou bariérou robotického pracoviště. Kromě výše zmíněných funkcí jde vytvořit i NC kód pro pouze manipulační roboty a není tedy nutné do firmy zavádět i jiné softwary, které by sloužily výhradně pro manipulaci s materiálem, ale vše lze provést pomocí jednoho

softwaru. V neposlední řadě je uživateli umožněno vytvořit i simulaci pro současnou práci nebo spolupráci dvou a více robotů současně. Průmyslový robot v uživatelském prostředí softwaru Tebis je viditelný na obrázku 37, kde lze právě vidět kromě nástroje a součásti také robot a upínací deska [27, 29].



Obrázek 37: Simulace procesu s robotem [29]

Jako další funkce, která stojí za zmínku, je funkce pro drátovou EDM metodu. Možnost využití této funkce podporuje myšlenku z předchozího odstavce, kde bylo uvedeno, že pro firmu není nutné kupovat více softwarů a je možné použít malé množství nebo pouze jeden software pro více typů výroby součástí a pro manipulaci s nimi. Tebis totiž umožňuje programování NC programů pro EDM technologii (elektroerosivní obrábění), která je založena na úběru materiálu pomocí drobných elektrických výbojů, které vznikají mezi obrobkem a elektrodou, které jsou oba umístěny v dielektriku. Metoda nelze zařadit ani pod soustružení, ani pod frézování a jedná se o nekonvenční metodu obrábění materiálu, která umožňuje výrobu velmi přesných forem a lisovacích nástrojů, nebo drobných tvarově složitých dílů. Uváděná metoda EDM je však mnohem složitější a podrobný popis v této práci by nebyl zcela relevantní, proto je možné ve zdroji 31 najít více o zmíněné metodě. Naprogramovat dráhy pro EDM technologii je tedy zcela odlišné od ostatních technologií, ale software Tebis tuto možnost nabízí a je integrována mezi ostatními funkcemi v softwaru [27, 31].

Gun drilling neboli volně přeloženo pistolové vrtání je taktéž funkcí softwaru Tebis. Funkce se používá pro vytváření otvorů, které nejsou na obrocích běžné. Jde tedy například o velmi dlouhé otvory, mnoho otvorů s různými parametry a další speciality. Velké množství zajímavostí a parametrů, které jsou uvažovány u vrtání a do práce by bylo obtížné je obsáhnout se nachází v literatuře s číslem zdroje 34. Výhodou funkce je, že lze pro sadu různých otvorů jednoduše nastavit řezné podmínky, které jsou automaticky dosaženy při jejich vrtání. Pro každý otvor tedy v jakémsi formuláři jsou programátorem nastaveny následující hodnoty [34]:

- rozměry otvoru (hloubka a průměr),
- umístění otvoru,
- řezná rychlost,
- posuvová rychlost,
- druh chlazení.

Příčemž je nastavení těchto parametrů snadné a je tak možné jednodušeji programovat složitější operace, při kterých probíhá více různých zhotovení hlubokých otvorů. Výhodou také je, že otvory již nejsou brány jako CAD geometrie, ale jako inteligentní prvky, které v sobě mají uložené veškeré potřebné informace pro jejich výrobu. Informace slouží také například k tomu, aby mohl být celý proces plně automatizován. Jakmile jsou díry převedeny na inteligentní prvky, je možné si je pro přehlednost z dílu také přesunout a pokračovat v jejich editaci jednodušeji. Znovu je pro názornost předchozí informace zachycena na obrázku s číslem třicet osm. Při vrtání děr je také samozřejmostí hlídání kolizí, o kterém byla zmínka již výše [27, 30].



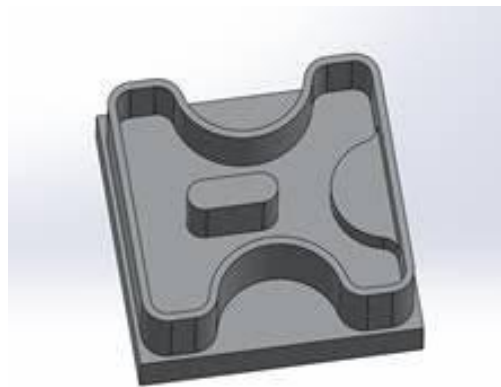
Obrázek 38: Díry součásti převedené na inteligentní prvky [30]

Další hůře zařaditelnou funkcí je možnost reverzního inženýrství, kdy Tebis obsahuje základní funkce pro skenování a následnou úpravu dílů. Po získání modelu po skenování a jeho následné úpravě je také možné v softwaru Tebis provést jednoduchou analýzu získaného povrchu.

4 ZÁKLADNÍ TECHNICKÁ DOKUMENTACE SOUČÁSTÍ K PREZENTACI NC PROGRAMOVÁNÍ

Posledním z hlavních cílů této diplomové práce je samotné využití vybraných funkcí systému Heidenhain na konkrétním příkladu. V následující kapitole budou funkce názorně ukázány při řešení praktických úkolů a zároveň zde budou uvedeny rozdíly mezi staršími a novějšími funkcemi systému Heidenhain a jejich časová úspora, kterou do samotné operace mohou novější funkce vnést.

Pro názornost byl vytvořen v CAD softwaru jednoduchý díl, který je vyobrazen na následujícím obrázku:

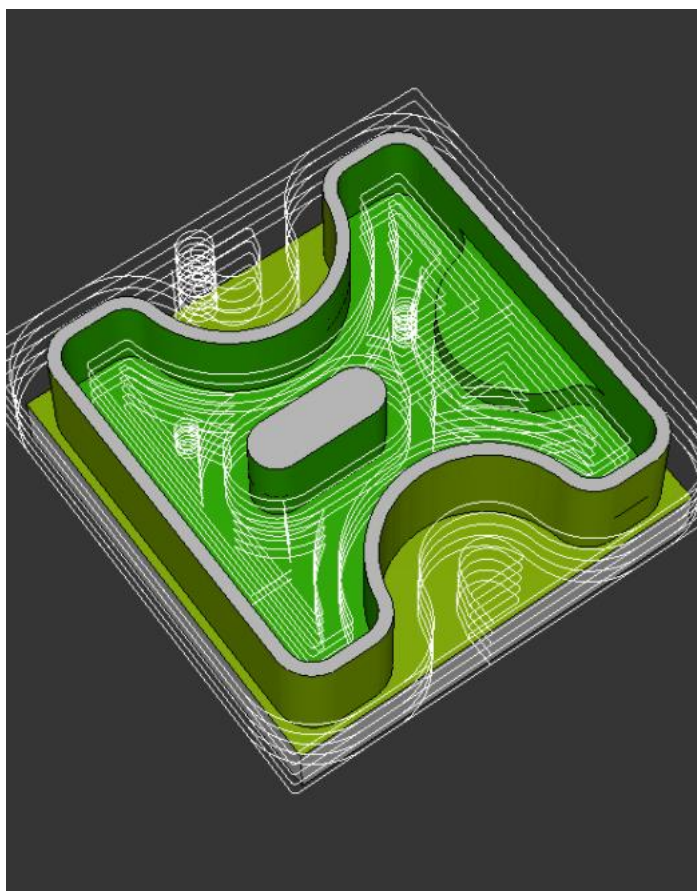


Obrázek 39: Díl pro názornou ukázkou funkcí systému Heidenhain

Výkres s hlavními rozměry dílu je uveden jako příloha číslo 1. Pro názornost a ukázkou byl díl vyroben z materiálu dural, který nevyžaduje nějak speciální podmínky pro obrábění a hodnoty řezných podmínek tak nestoupají do extrémních hodnot. Simulace obrábění dílu bude probíhat dvěma metodami. První metodou je obrábění standartním způsobem, a to konvenčním frézováním, které je naprogramované pomocí SL – cyklů. Jako druhou metodu jsem vybral funkci OCM, která je typickým zástupcem pro názorné moderní obráběcí metody. Půjde tedy o porovnání moderní obráběcí strategie a proti ní stojící klasické zastaralé metody obrábění frézováním.

Oba programy jsou pro jejich zkrácení a náročnost vytvořeny způsobem volání kontury, která je přebrána pomocí další funkce systému Heidenhain s názvem CAD import. Tato funkce nebyla sice uvedena ve vybraných funkcích systému Heidenhain v první kapitole, ale je možné ji ve zkratce dobře popsat zde, neboť se jedná o jednoduchou funkci, jejíž úkolem je pouze import kontur z CAD modelu součásti pro jednodušší programování drah nástroje a tím zkrácení času potřebného pro programování kontur. Funkce samozřejmě také snižuje náročnost programování kontur ze složitějších 3D modelů vytvořených v CAD softwarech. V obou metodách obrábění je řešeno pouze hrubování, tedy jen jeden průjezd nástroje daným místem.

Pro první metodu je uveden NC kód v příloze číslo 2 a je to tedy klasická metoda frézování, kde nástroj do materiálu vjíždí postupně v několika výškových hladinách a nevyužívá tak celou plochu ostří. Při zapnutí viditelnosti drah nástroje vypadá uvedená součást při obrobení klasickou metodou tak, jak lze vidět na obrázku čtyřicet.



Obrázek 40: Dráhy nástroje při klasické metodě frézování

Na výše uvedeném obrázku je z drah nástroje vidět, že se jedná o klasické konvenční frézování v několika vrstvách, kdy dochází k postupnému úběru materiálu jen částí nástroje, následně je nástroj snižen a vnikne do materiálu v nižší vrstvě a dochází k dalšímu průjezdu kolem všech kontur. Znamená to tedy, že nástroj je mnohem dříve opotřeбенý a je nutná jeho častější výměna. Druhou značnou nevýhodou je časová náročnost, která se projeví již u takto jednoduché součásti, jako je prezentovaná součást.

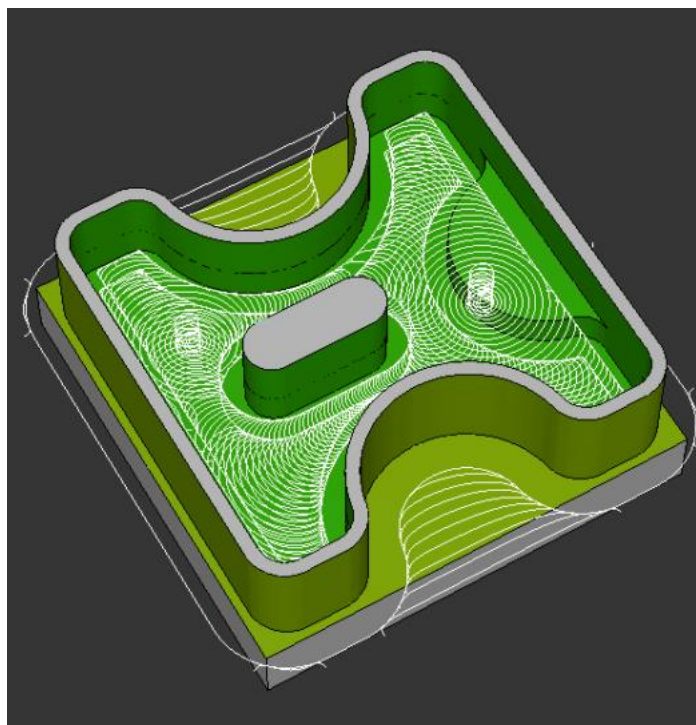
O mnoho zajímavější je druhá metoda, jejíž program je uveden jako příloha číslo dvě. V druhém programu bylo totiž využito několik moderních funkcí řídicího systému Heidenhain. První takto využitou funkcí je funkce OCM, která je detailně popsána v první kapitole a jedná se tedy ve zkratce o novou funkci optimalizovaného obrábění kontur součásti při využití trochoidního frézování, jehož dráhy jsou vyobrazeny na obrázku 41. další použitou funkcí je cyklus 32, který je využit na začátku programu uvedeného ve třetí příloze, což je (jak je popsáno znovu v první kapitole) funkce, u které je možno nastavit u hrubování jistou toleranci překmitu nástroje do obráběné kontury, což umožní rychlejší obrábění se stále dostatečnou požadovanou přesností, neboli optimální kombinací přesnosti a dynamiky. Navíc, jak bylo výše již uvedeno, funkce OCM taktéž výrazně šetří časy operací, takže se jedná o použití dvou funkcí zároveň, jež šetří čas, a kromě času také nástroj. K předešlým uváděným funkcím byla přidána i funkce z balíčku funkcí *Dynamic efficiency*, kterou je AFC – adaptivní řízení posuvu. Funkce AFC detailně rozebrána v počáteční kapitole této práce díky monitorování a simulaci obráběcího procesu ušetří znovu opotřeбенí nástroje, protože je řízen po celou dobu posuv tak, aby byl co nejvyšší dovolený, ale zároveň tak veliký, aby nedocházelo k předčasnému nechtěnému otupení

nástroje vinou příliš vysokého nastaveného počátečního posuvu, a čas. Výsledná časová úspora spolu s časy celého cyklu hrubování vybrané součásti bude uvedena na závěr kapitoly, kde budou obě funkce shrnuty.

Velkou výhodou programování s využitím OCM je, že se jedná o stejné zadávání SL cyklů tak, jako tomu bývá u běžného programování, ale s tím rozdílem, že dochází k totální změně technologie dráhy nástroje, kterou systém vygeneruje na základě využití funkce OCM. Změna technologie dráhy spočívá v tom, že nástroj při pohybu kupředu rotuje jako u běžného frézování, ale zároveň spolu s vřetenem opisuje obloukové dráhy, což je právě ono zmiňované trochoidní nebo jinak trochoidální obrábění. Právě díky této ne příliš radikální změně je dosahováno mnoho výhod, kterými jsou:

- rychlejší obrábění (vyšší rezná rychlost),
- šetření nástroje
- využití celé délky břitu nástroje,
- malý úhel opásání nástroje
- nižší časy operací.

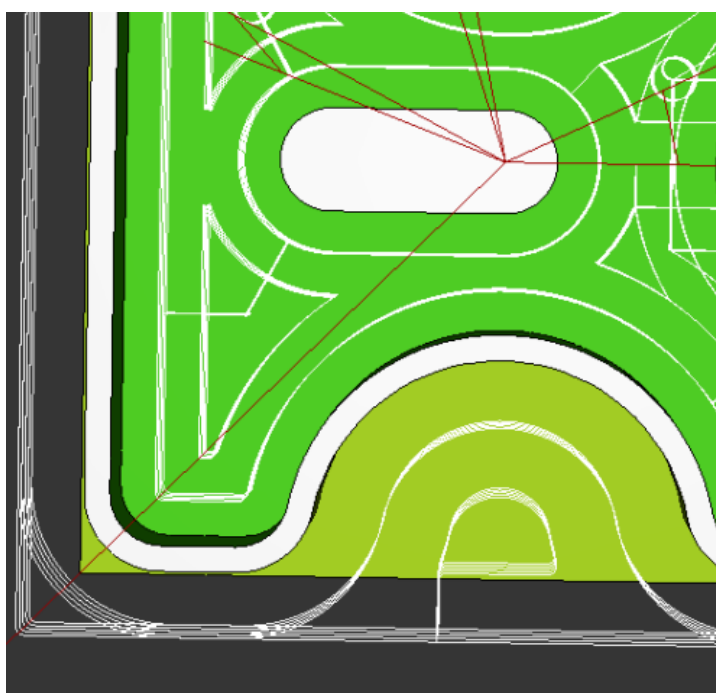
Technologii, při které jsou využívány trochoidální pohyby frézy nabízí také mnohé CAM softwary, u kterých však s využitím této technologie musí být počítáno již při vytváření NC kódu, než tento kód je vložen do stroje. Jedinečností OCM funkce využití v řídicím programu stroje je ta, že je možné použít technologii trochoidního frézování i při dialogovém programování, což je programování drah nástroje přímo na číslicově řízeném stroji a v mnohých případech tedy naprosto odpadá nutnost pořizování CAM softwaru do firmy. Na následujícím obrázku jsou zmiňované dráhy a pohyby nástroje názorně vyobrazeny právě na zvolené součásti pro prezentaci vybraných možností řídicího systému Heidenhain.



Obrázek 41: Dráhy nástroje při využití OCM

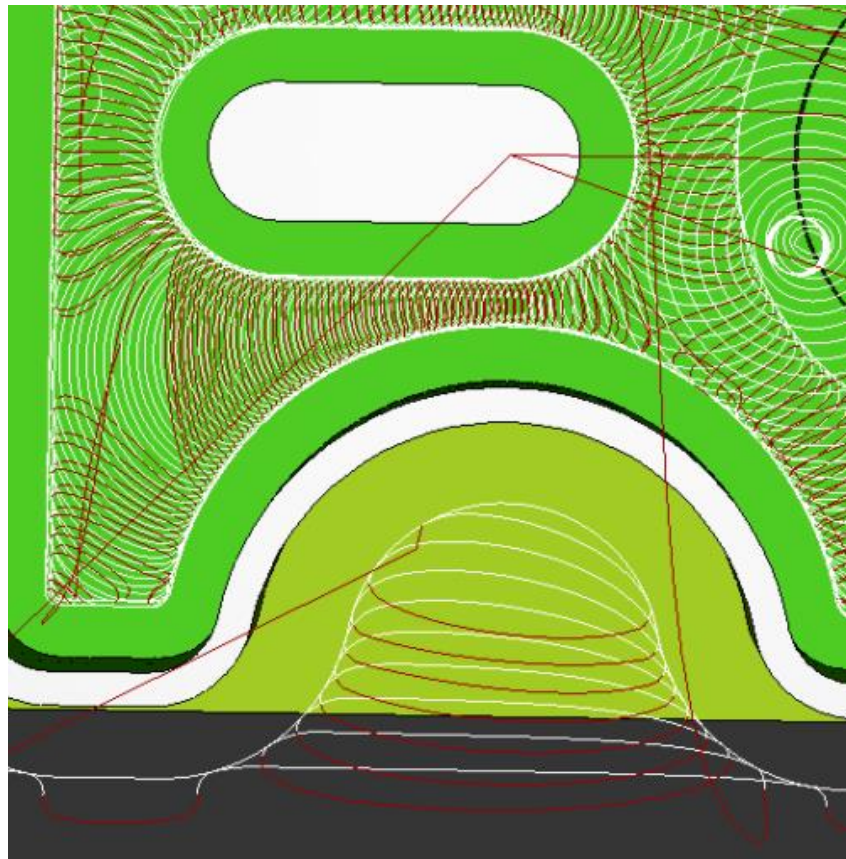
Dráhy nástroje při využití OCM (v závislosti na zvoleném obráběném materiálu) umožňují dosahování významně velkých řezných rychlostí. Na zařízeních firmy Heidenhain jsou kromě možnosti využití funkce OCM naprogramovány také takzvané OCM kalkulačky, což jsou, dalo by se říci, programy, které po zadání přesného typu stroje, materiálu obráběné součásti a základní specifikaci stroje uživateli jako výstup nabídnou optimální řezné podmínky pro jejich konkrétní případ.

Po výpočtu řezných podmínek a vygenerování drah nástroje přímo pro uvedenou konkrétní zvolenou součást je zde vhodné uvést detaily drah nástroje pro obrobení detailu součásti. Na následujících dvou obrázcích je velmi dobře vidět, jak výrazně se liší dráhy v obou případech obrábění. Na prvním ze dvou obrázků je použití standartního frézování, u kterého je jasně vidět běžný pohyb nástroje, u kterého nelze využít celého ostří nástroje a v mnohých případech je úhel opásání nástroje značný.



Obrázek 42: Standartní dráhy nástroje na detailním pohledu součásti

V druhém případě je na detailu vyobrazeno obrábění s využitím funkce OCM a dráhy jsou zcela odlišné pro totožnou součást. Za povšimnutí stojí právě kruhovitý tvar drah, který je tolik význačný pro trochoidní obrábění. Co v tomto pohledu není vidět, ale je také výhodou, je počet snížení nástroje na nižší úroveň. Při běžném frézování je takovéto snížení provedeno několikrát a je tedy stále využívána jen část nástroje, u které dochází k dřívějšímu otupení, a tedy jeho nutné výměně. V druhém případě, který je uveden na obrázku číslo 43 jsou popsány takové dráhy, které v druhém případě obrábění jsou nejen výrazně rychlejší, ale zároveň šetří nástroj. Dopady na ekonomičnost obrábění jde tedy velmi jednoduše prohlásit za nezanedbatelné, protože jsou šetřeny náklady jak pro čas využití stroje, ale také náklady pro výměnu nástrojů, nebo (kdyby se nástroj nevyměnil, když je to nutné pro zachování přesnosti obrábění) náklady vzniklé výrobou zmetkových součástí po jejich obrobení nevyhovujícím nástrojem.



Obrázek 43: Dráhy nástroje při využití OCM na detailním pohledu součásti

Výše uvedená tvrzení o ekonomických aspektech, alespoň z hlediska časů operací, jsou podložena pomocí výsledných časů, které byly získány simulací obrábění v obou případech, kdy první čas na obrázku 44 je výsledný čas simulace obrábění zvolené součásti konvenčním způsobem při použití běžných cyklů obrábění na NC stroji.



Obrázek 44: Výsledný čas obrobení součásti běžným způsobem

Na obrázku 45 je poté vidět výsledný čas při simulaci obrábění zvolené součásti za pomoci funkce OCM, cyklu 32 a při využití funkce AFC – adaptivní řízení posuvu. Proběhlo zde tedy k využití více moderních obráběcích cyklů společnosti Heidenhain, které napomáhají efektivnějšímu obrobení součástí.



Obrázek 45: Výsledný čas obrobení součásti při použití moderních funkcí

Výslednými časy tedy bylo podloženo tvrzení, že při použití moderních funkcí a cyklů řídicích systémů dochází nejen k malé úspoře času nebo nákladů na výrobu, ale k nezanedbatelným úsporám. Výsledný čas na poměrně malé a jednoduché součásti je po využití moderních cyklů téměř poloviční, což je rozdíl i u kusové výroby. Kdyby byl výsledek přenesen do sériové nebo dokonce hromadné výroby, rozdíl by se dal určovat v řádu hodin. Poté by bylo ušetřeno také na nákladech pro výměnu nástroje, neboť by při hromadné výrobě bylo využito mnohem méně nástrojů, které se díky moderním funkcím řídicího systému opotřebovávají znatelně pomaleji.

V kapitole byly tedy podrobně popsány možnosti, jakými lze součást obrobít a vysvětleny výhody využití funkcí systému Heidenhain, dále byl prokázán rozdíl mezi běžným frézováním zvolené součásti s názvem DilFarkaJan a frézováním za pomoci mnohých funkcí a cyklů řídicího systému Heidenhain. Taktéž tvrzení o účinnosti s jejich využitím bylo potvrzeno časy, které byly získány ze simulací obráběcího procesu hrubování celé zvolené součásti. Časy by se samozřejmě mohly u totožné součásti lišit v závislosti na použitém stroji, rychlosti upnutí nástroje do vřetene a dalšími drobnými aspekty, ale podstatný je rozdíl v časech zhotovení oběma styly obrábění. Zde by už byly odchylky rozdílů pouze v řádech sekund.

ZÁVĚR

Tato práce měla dva hlavní cíle. Prvním důležitým cílem bylo shrnout možnosti a funkce řídicího systému Heidenhain a následně je porovnat s jinými řídicími systémy nebo CAD/CAM softwary, což je velmi detailně shrnuto v prvních třech kapitolách, kde byly tedy vyzdvihnuty nejen možnosti řídicího systému Heidenhain, ale také další produkty této společnosti, jako je například užití obrobkových a nástrojových sond, nebo jejich možnost rozšířené obrazovky, která je hardwarovým vybavením některých strojů.

K porovnání systému Heidenhain došlo s řídicím systémem Sinumerik, který by se dalo říci, že je hlavním zástupcem těchto systémů a nabízel se tedy jako první a nejdůležitější pro porovnání. Dal by se navíc uvážit fakt, že Sinumerik od firmy Siemens bývá popisován v odborných pracích a článcích nepatrně častěji než Heidenhain. Při porovnání těchto dvou systémů samozřejmě nebyly srovnávány všechny jejich funkce, ale takové funkce, které jsou něčím zvláštní nebo moderní.

Za CAD/CAM softwary nebyl vybrán pouze jeden jako tomu bylo v předchozím případě, ale byly vybrány dva, neboť každý z nich má své jasné kvality a oba se dají považovat za stálice na trhu. Prvním z nich byl PowerMill, který je všem, kdo se v této oblasti orientují, velmi dobře známý. Dalším zmíněným byl software Tebis, který není o mnoho méně známý a nabízí také velmi široké portfolio možností pro strojírenství. Postup porovnání se systémem Heidenhain byl obdobný jako v předchozím případě a kapitola 3 se tedy věnuje srovnání něčím jedinečných funkcí, kterými všechny produkty disponují a jsou zde také uvedeny navíc některé další funkce a výhody obou zmíněných softwarů, které stály za zmínku, i když je nebylo dostatečně dobře možné přímo porovnat s řídicím systémem Heidenhain.

Všechny funkce softwarů a systémů vybrané v této práci jsou velmi dobře zařaditelné do oblasti modernizace, neboť všechny z těchto funkcí přispívají k rychlejší, snazší nebo úspornější výrobě součástí, a i přes prvotní investice šetří firmám, které je nakupují a používají, značné náklady. Z jiného pohledu se také dá říci, že díky těmto funkcím je dobře viditelné, že vývoj v obráběcích systémech je přínosný, značný a rozhodně nezanedbatelný. Toto tvrzení je velmi dobře podloženo ve čtvrté kapitole diplomové práce, která se věnuje již konkrétnímu příkladu využití vybraných funkcí řídicího systému Heidenhain.

Čtvrtá a poslední kapitola byla tedy věnována druhému cíli diplomové práce, který je zaměřen na návrh konkrétní součásti pro vhodnou prezentaci některých možností NC programování pomocí konkrétněji popisovaného systému Heidenhain. Je zde uvedena pouze jedna součást, která je ale velmi vhodně zvolena, protože je na ni možné využít hned několik vybraných funkcí. Obrázek a popis této součásti je uveden přímo v příslušné kapitole a její výkres je uveden v příloze číslo jedna, ale pro shrnutí se jedná o součást obráběnou z hliníku s vnitřní kapsou a s vnějším obrysem, který by běžnými způsoby byl obtížněji obráběn než při použití pokročilých funkcí systému Heidenhain. Byly zde použity funkce pro tolerance překmitu nástroje s názvem cyklus 32 a funkce z balíčku *Dynamic efficiency*, kam spadá také hlavní uváděná funkce pro trochoidní frézování. Součást nebyla vyráběna fyzicky, neboť to nebylo nutné a požadované výsledky byly dosaženy již při simulaci procesu obrábění zvolené součásti. Byly simulovány dva konkrétní případy obrobění vybrané součásti. V prvním případě byla součást simulovaně obráběna bez použití jakýchkoli moderních funkcí řídicích systémů a NC kód pro tento případ je

uveden v druhé příloze. V druhém případě však byl simulován takový obráběcí proces, kde bylo využito více modernějších funkcí uváděného řídicího systému a součást byla tedy vyrobena s naprosto odlišným pohybem nástroje, který byl zase pro lepší srovnání u obou případů stejný. Stejný byl v obou případech také materiál. NC kód pro druhou z uvedených variant je uveden ve třetí příloze této diplomové práce.

Po nasimulování obou případů byly důležité dráhy nástrojů, které jsou v příslušné kapitole detailně popsány a uvedeny, ale byly také důležité finální časy samotného procesu obrábění. Časy se totiž i při obrábění poměrně malé a jednoduché součásti stejného tvaru, rozměrů i materiálu opravdu značně lišily. Čas obrobění součásti běžnými postupy byl přesně 6 minut a 17 sekund, zatímco čas při využití a spojení více vybraných moderních funkcí na zvolené součásti byl pouhé 3 minuty a 48 sekund, což je rozdíl již při kusové výrobě. Kdyby byl však tento rozdíl přenesen do výroby sériové, či dokonce hromadné, úspora nákladů by byla značná.

Na konkrétním příkladu bylo tedy jednoduše dokázáno, že vývoj a požití moderních funkcí řídicích systémů smysl jednoznačně má. Cíle práce byly popsány, splněny a pro názornost doplněny obrazovou dokumentací a potřebnými přílohami, které jsou uvedeny níže.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MM spektrum [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ridici-system-50leta-historie.html>
- [2] Heidenhain company [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.heidenhain.com/>
- [3] HEIDENHAIN Vector Logo [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: https://www.google.com/search?q=heidenhain+logo&sxsrf=ALeKk02HzhZCoPanQfeUVOUgIph1ewnX7g:1612986129161&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiy-4XKieDuAhVS8eAKHbUyDi0Q_AUoAXoECBAQAw&biw=1680&bih=907#imgrc=sRnPIQTOWHm7OM
- [4] Fanuc historie [online]. [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/kdo-jsme/fanuc-historie>
- [5] ISO 9001, managementmania.com [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/iso-9001>
- [6] ISO 14001, managementmania.com [online]. [cit. 2021-02-11]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/iso-14001>
- [7] Katalogové listy Heidenhain, Mileston 14 [online]. [cit. 2021-02-13].
- [8] QR kód, wikipedia.org [online]. [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/QR_k%C3%B3d
- [9] Dynamic efficiency, Heidenhain.cz [online]. [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/1081192-C0_Dynamic_Efficiency_cs.pdf
- [10] Skiving, Heidenhain.cz [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: https://www.heidenhain.cz/fileadmin/pdb/media/img/892916-C4_TNC640_HSCI_cs.pdf
- [11] Katalogové listy Heidenhain, TS460 + TT460 [online]. [cit. 2021-03-10].
- [12] Katalogové listy Heidenhain, Dotykové sondy pro obráběcí stroje, vydání 07/2019
- [13] Katalogové listy Heidenhain, TNC 640 – souvislé řízení dráhy pro obráběcí centra, frézky a soustruhy, vydání 02/2019
- [14] Siemens Sinumerik, new.siemens.com [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/cnc-sinumerik.html>
- [15] Sinumerik MDynamics, new.siemens.com [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/cnc-sinumerik/technologies/milling.html>

- [16] Katalogové listy Siemens, Turning, milling, multitasking and more – The complete bandwidth of machining technologies with the benefits of SINUMERIK, vydání 2018
- [17] Otočný stůl, stroje.hyperinzerce.cz [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: https://stroje.hyperinzerce.cz/kovoobrabeci-centra/inzerat/11311507-obrabeci-centra-petiosa-5-osa-otocny-stul-tr-210-cnc-nabidka/#inz_image-gallery-1
- [18] Sinumerik 840, new.siemens.com [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/cnc-sinumerik/automation-systems/sinumerik-840.html>
- [19] Broušení pomocí Sinumerik, new.siemens.com [online]. [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/cnc-sinumerik/technologies/grinding.html>
- [20] Funkce programu PowerMill, PowerMill.cz [online]. [cit. 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.PowerMill.cz/funkce-programu>
- [21] Katalogové listy Autodesk, PowerMill 2021 – Co je nového, autor: Jelínek Michal, vydání 2018
- [22] Co je nového v PowerMill 2020, PowerMill.cz [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.PowerMill.cz/co-je-noveho-v-PowerMill-2020>
- [23] Co je nového v PowerMill 2019, PowerMill.cz [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.PowerMill.cz/co-je-noveho-v-PowerMill-2019>
- [24] Co je nového v PowerMill 2017, PowerMill.cz [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.PowerMill.cz/co-je-noveho-v-PowerMill-2017>
- [25] CAM – Frézování, mcae.cz [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.mcae.cz/produkty/tebis-verze-4-0-r9/>
- [26] Katalogové listy Tebis, Tebis Version 4.0 – Strengths, characteristics and new features, vydání 2017
- [27] Katalogové listy Tebis, Maximální efektivita pro vaše procesy, vydání 2017
- [28] Prezentace z předmětu HC1, Druhy ploch, autor: Ing. Jan Zouhar, Ph. D.
- [29] Robotic machining, tebis.com [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.tebis.com/en/software/cam-software/robotic-machining>
- [30] Solution for deep-hole drilling, tebis.com [online]. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.tebis.com/en/software/cam-software/deep-hole-drilling>
- [31] GUPTA, Kapil, ed. Advanced manufacturing technologies: Modern Machining, Advanced Joining, Sustainable Manufacturing. New York, NY: Springer Berlin Heidelberg, 2017. ISBN 978-3-319-56098-4.
- [32] GRZESIK, Wit. Advanced machining processes of metallic materials: theory, modelling and applications. Second edition. Boston: Elsevier, [2017]. ISBN 978-0-444-63711-6.

- [33] DAVIM, J. Paulo, ed. Surface integrity in machining. London: Springer, 2010, 215 s. ISBN 978-1-84882-873-5.
- [34] TSCHÄTSCH, Heinz. Applied machining technology. Dordrecht: Springer, c2009, xvii, 398 s. ISBN 978-3-642-01006-4.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
ACC	Adaptivní útlum drnčení
AFC	Adaptivní řízení posuvu
CAD	Computer aided design
CAM	Computer aided manufacturing
CNC	Computer numeric control
EDM	Electric discharge machining
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter
ILC	Intelligent load control
IDC	Intelligent dynamic control
LED	Light emitting diode
NC	Numeric control
OMC	Optimized milling contour
QR	Quick response
STL	Stereolitografie
TNC	Programovací stanice pro řídicí systémy

Symbol	Jednotka	Popis
a_p	[mm]	Šířka záběru ostří
f_z	[mm]	Posuv na zub
R_a	[μm]	Střední aritmetická hodnota drsnosti
v_c	[$\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$]	Řezná rychlost

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres součásti navržené pro prezentaci funkcí systému Heidenhain
Příloha 2 NC program pro obrobení dílu s názvem DilFarkaJan standartní metodou
Příloha 3 NC program pro obrobení dílu s názvem DilFarkaJan za pomoci OCM

PŘÍLOHA 2

NC program pro obrobení dílu s názvem DilFarkaJan standartní metodou

```
0 BEGIN PGM 1_DILFARKAJAN_SL MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-40
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0
3 ;
4 TOOL CALL "MILL_D16_ROUGH" Z S( VC = 300 ) ~
  FZ0.12
5 L X+50 Y+50 Z+200 R0 FMAX M3
6 CONTOUR DEF ~
  P1 = LBL "Frame" I2 = "CI.H"
7 CYCL DEF 20 DATA OBRYSU ~
  Q1=-25 ;HLOUBKA FREZOVANI ~
  Q2=+1 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~
  Q3=+0 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
  Q4=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~
  Q5=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
  Q6=+2 ;BEZPECNOSTNI VZDAL. ~
  Q7=+20 ;BEZPECNA VYSKA ~
  Q8=+1 ;RADIUS ZAOBLENI ~
  Q9=+1 ;SMYSL OTACENI
8 CYCL DEF 22 VYHRUBOVANI ~
  Q10=-5 ;HLOUBKA PRISUVU ~
  Q11= FZ+0.06 ;POSUV NA HLOUBKU ~
  Q12= AUTO ;POSUV PRO FREZOVANI ~
  Q18=+0 ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~
  Q19= AUTO ;POSUV PENDLOVANI ~
  Q208=+99999 ;POSUV NAVRATU ~
  Q401=+90 ;FAKTOR POSUVU ~
  Q404=+0 ;ZPUSOB ZACISTENI
9 CYCL CALL M3
10 ;
11 TOOL CALL "MILL_D10_ROUGH" Z S( VC = 250 ) ~
```

FZ0.07

12 L X+50 Y+50 Z+200 R0 FMAX M3

13 CONTOUR DEF ~

P1 = "CP.H" I2 = "CI1.H"

14 CYCL DEF 20 DATA OBRYSU ~

Q1=-12 ;HLOUBKA FREZOVANI ~

Q2=+1 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~

Q3=+0 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~

Q4=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~

Q5=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~

Q6=+2 ;BEZPECNOSTNI VZDAL. ~

Q7=+20 ;BEZPECNA VYSKA ~

Q8=+0 ;RADIUS ZAOBLENI ~

Q9=+1 ;SMYSL OTACENI

15 CYCL DEF 22 VYHRUBOVANI ~

Q10=-4 ;HLOUBKA PRISUVU ~

Q11= FZ+0.04 ;POSUV NA HLOUBKU ~

Q12= AUTO ;POSUV PRO FREZOVANI ~

Q18=+0 ;PREDHRUBOVACI NASTR. ~

Q19= AUTO ;POSUV PENDLOVANI ~

Q208=+99999 ;POSUV NAVRATU ~

Q401=+70 ;FAKTOR POSUVU ~

Q404=+1 ;ZPUSOB ZACISTENI

16 CYCL CALL M3

17 CONTOUR DEF ~

P1 = "CP-CI2.H" I2 = "CI1.H"

18 Q1 = - 8

19 Q5 = - 12

20 CYCL CALL M3

21 ;

22 M30

23 ;

24 ;Podprogramy

25 LBL "Frame"

26 L X-14 Y-14 RR

27 L Y+114

28 L X+114

29 L Y-14

30 L X-14 Y-14

31 LBL 0

32 END PGM 1_DILFARAJAN_SL MM

PŘÍLOHA 3

NC program pro obrobení dílu s názvem DilFarkaJan za pomoci OCM

```
0 BEGIN PGM 2_DILFARCAJAN_OCM MM
1 BLK FORM 0.1 Z X+0 Y+0 Z-40
2 BLK FORM 0.2 X+100 Y+100 Z+0
3 ;
4 CYCL DEF 32.0 TOLERANCE
5 CYCL DEF 32.1 T0.08
6 CYCL DEF 32.2 HSC-MODE:1
7 ;
8 TOOL CALL "MILL_D16_ROUGH" Z S( VC = 620 ) ~
  FZ0.2
9 L X+50 Y+50 Z+200 R0 FMAX M3
10 CONTOUR DEF ~
  P1 = "CF.H" I2 = "CL.H"
11 CYCL DEF 271 OCM DATA OBRYSU ~
  Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
  Q201=-25 ;HLOUBKA ~
  Q368=+0 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
  Q369=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~
  Q260=+20 ;BEZPECNA VYSKA ~
  Q578=+0.2 ;KOEf.VNITRNIHO ROHU ~
  Q569=+1 ;OTEVRENA HRANICE
12 CYCL DEF 272 OCM HRUBOVANI ~
  Q202=+25 ;HLOUBKA PRISUVU ~
  Q370=+0.4 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~
  Q207= AUTO ;FREZOVACI POSUV ~
  Q568=+0.6 ;KOEfICIENT ZANORENI ~
  Q253= MAX ;F NAPOLOHOVANI ~
  Q200=+2 ;BEZPECNOSTNI VZDAL. ~
  Q438=-1 ;HRUBOVACI NASTROJ ~
  Q577=+0.2 ;KOEf.POLOM.PRIBLIZENI ~
  Q351=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI
```

13 CYCL CALL M3
14 ;
15 TOOL CALL "MILL_D10_ROUGH" Z S(VC = 480) ~
 FZ0.12
16 L X+50 Y+50 Z+200 R0 FMAX M3
17 CONTOUR DEF ~
 P1 = "CP.H" I2 = "CI1.H" I3 = "CI2.H" DEPTH12
18 CYCL DEF 271 OCM DATA OBRYSU ~
 Q203=+0 ;SOURADNICE POVRCHU ~
 Q201=-20 ;HLOUBKA ~
 Q368=+0 ;PRIDAVEK PRO STRANU ~
 Q369=+0 ;PRIDAVEK PRO DNO ~
 Q260=+20 ;BEZPECNA VYSKA ~
 Q578=+0.2 ;KOEf.VNITRNIHO ROHU ~
 Q569=+0 ;OTEVRENA HRANICE
19 CYCL DEF 272 OCM HRUBOVANI ~
 Q202=+20 ;HLOUBKA PRISUVU ~
 Q370=+0.4 ;PREKRYTI DRAHY NAST. ~
 Q207= AUTO ;FREZOVACI POSUV ~
 Q568=+0.6 ;KOEfICIENT ZANORENI ~
 Q253= MAX ;F NAPOLOHOVANI ~
 Q200=+2 ;BEZPECNOSTNI VZDAL. ~
 Q438=-1 ;HRUBOVACI NASTROJ ~
 Q577=+0.2 ;KOEf.POLOM.PRIBLIZENI ~
 Q351=+1 ;ZPUSOB FREZOVANI
20 CYCL CALL M3
21 ;
22 M30
23 END PGM 2_DILFARKAJAN_OCM MM