



Středoškolská technika 2025

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Ročníková prezentační písemná práce

Obrábění a CNC

Sebastian Schüller

GYMNÁZIUM A STŘEDNÍ ODBORNÁ ŠKOLA PEDAGOGICKÁ

MASARYKOVA 248, ČÁSLAV

Prohlašuji, že jsem ročníkovou písemnou práci zpracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

Děkuji panu učiteli Ing. Jakubu Štefánkovi za cenné rady a konzultace, které mi věnoval při zpracování ročníkové práce.

Obsah:

Úvod	2
1 Historie obrábění a CNC	3
1.1 Pravěk:	3
1.2 Starověk	5
1.3 Středověk – novověk	7
1.4 Soudobé dějiny	9
2 Významné osobnosti v poli obrábění a CNC	11
2.1 Eli Whitney (1765–1825)	11
2.2 Henry Maudslay (1771–1831)	11
2.3 Richard Roberts (1789–1864)	12
2.4 Joseph R. Brown (1801–1875)	12
2.5 Frederick Winslow Taylor (1856–1915)	13
2.6 John Thomas Parsons (1913–1998)	13
2.7 Richard Kegg (1935–2014)	14
3 Současný stav obrábění a CNC	15
4 Praktická část	17
Výsledky a závěr	25
Výsledky	25
Závěr	26
Zdroje	27

Úvod

Pro svou ročníkovou práci jsem si zvolil téma „Obráběcí stroje a CNC“, a to především kvůli dlouhodobému zájmu o procesy výroby. Už od dětství mě fascinovalo, jakým způsobem se vyrábí různé předměty kolem nás – od jednoduchých nástrojů až po složité strojní součástky. Tento zájem mě přivedl k tématu obrábění, které je základem pro výrobu mnoha součástek v různých odvětvích průmyslu a jeho význam se s rozvojem technologií neustále prohlubuje.

V této práci bych vás rád seznámil s významnými osobnostmi v obrábění. Rád bych také objasnil a vysvětlil často podceňovanou nezbytnost obrábění a jeho automatizace. Práce také obsahuje podrobný popis vzniku a vývoje obrábění od základních obráběcích nástrojů, až po celé zautomatizované řetězce. V neposlední řadě si povíme o roli obrábění v současném moderním světě. Praktická část práce bude obsahovat detailní popis přestavby ruční frézky na CNC obráběcí stroj. Tento projekt mi umožní propojit teoretické vědomosti s praktickými dovednostmi a získat lepší pochopení toho, jak se technologie CNC strojů aplikuje v reálné výrobě.

Od konečného výsledku mé praktické části očekávám přístroj schopný vyřezávat základní geometrické tvary bez jakékoli asistence. Realisticky však předpovídám vysokou poruchovost, obzvláště při opracovávání složitějších, sofistikovanějších a kovových, či dřevěných modelů.

Tato práce je tedy nejen teoretickým shrnutím důležitých informací o obrábění a CNC technologiích, ale i praktickou ukázkou toho, jak lze tradiční techniku modernizovat a aplikovat ji v dnešním technickém světě.

Otázkou této práce je: „Jak obrábíme?“

Historie obrábění a CNC

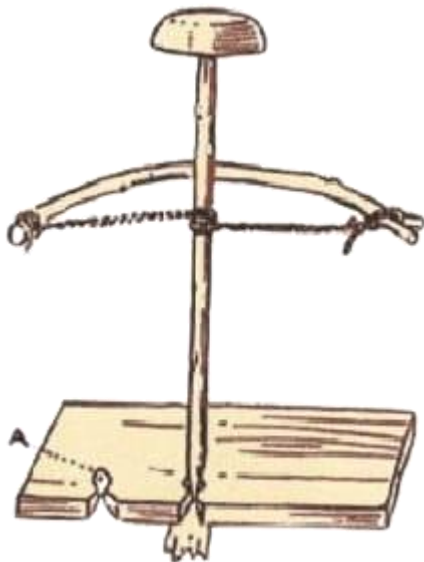
Pravěk:



Obrázek 1 - obsidián/lávové sklo

Obrábění se datuje už do dávného pravěku. V pravěku v době kamenné k obrábění sloužily různé úlomky kostí, obsidiánové nástroje a menší valouny a tvrdé kameny. Pravěcí lidé museli využít tyto primitivní nástroje k výrobě zbraní a dalších nástrojů. Například: tvrdé kameny a úlomky kostí sloužily k výrobě obsidiánových nástrojů k opracování dřeva a hrotů šípů z obsidiánu.

Klíčová vlastnost při těchto procesech je štěpnost opracovávaného materiálu. Již zmíněný obsidián (viz obr.1) je sice křehký, ale je velmi tvrdý a má tendenci tvořit



Obrázek 2 - pravěký vrták

ostré hrany (lasturnatý lom). Toho pralidé využívali tím, že koncentrovali velkou nárazovou sílu (například již zmíněnou kostí nebo tvrdým kamenem) na hranu obsidiánu či pazourku a oddělili malý úlomek. Postupným odloupáváním těchto úlomků je dosaženo výsledného požadovaného tvaru. Tyto nástroje, leč primitivní, mohly sloužit například k řezání kůže, masa a obrábění dřeva odsekáváním tenkých plátků.

S postupem času se lidstvu cca před 12 000 lety (10 tis. l. p. n. l.) začalo dařit vylepšování těchto nástrojů. Pomocí hrubých kamenů (např. pískovce) jsme začali brousit hrany těchto nástrojů a pomocí primitivních vrtáků ze dřeva a písku s vodou jsme získali schopnost vrtat do měkčích hornin otvory (viz obr.2). Postupně (cca 8–5 tis. l. p. n. l.) jsme začali za studena mechanicky obrábět a tvarovat i náš první

kov: měď. Je také třeba zmínit, že jsme v této době už vytvářeli i předměty z keramiky (např. misky a talíře – viz obr. 3), což se také dá zařadit do obrábění. Nedlouho poté (cca 6 tis. l. p. n. l.) jsme přišli i na to, že měď lze rozžhavit ve specializovaných hrnčířských pecích a poté ji snadněji formovat. Tato dovednost umožnila i tvorbu prvních měst, a dokonce i civilizací (např. Mezopotámie). Tyto



Obrázek 3 - keramická miska z tohoto období (neolit – 10-3 tis. p. n. l.)

větší celky vzniklé v pozdějším neolitu až rané době bronzové potřebovaly i způsob zaznamenávání informací. K tomu až do dob starověkého Egypta sloužily keramické destičky, do kterých se vyrývaly zprávy, prohlášení, překlady apod..

Měď je sice snadná na zpracování, ale je zároveň měkká a příliš tažná. To činilo z mědi nevhodný materiál na zbraně a na odolné nástroje. Se schopností plně roztavit měď (v Evropě cca 2300 let p. n. l. a v Mezopotámii už cca 3 tis. l. p. n. l.) však přišla i možnost slitin. Bezpochyby nejznámější a nejvýznamnější slitinou je bronz. Bronz, slitina, kterou tvoří hlavně cín a měď (cca z 10 až 33 % cín), je mnohem odolnější, pevnější a tvrdší než samotná měď. Důsledek toho byly lepší zbraně a preciznější nástroje díky prvním odlitkům.

Starověk

To nás přivádí ke starověku a starověkému Egyptu (Stará říše – vznik kolem roku 3150 p. n. l.), kde vznikl k zaznamenávání sounáležitostí papyrus. Starověký Egypt byla kolébka pokročilého obrábění. V Egyptě můžeme vidět primitivní předchůdce moderních obráběcích strojů, jako je například provazem



Obrázek 4 - egyptský soustruh (cca 300 l. p. n. l.)

poháněný soustruh (viz obr. 4) a dokonce i vrtačky a dláta schopná vrtat do tvrdých kamenů. Soustruh byl poté vylepšen na tzv. soustruh smyčcový, který byl poháněn lukem podobně jako již zmíněná pravěká vrtačka. Díky těmto vynálezům byli starověcí Egypťané schopni postavit své ikonické pyramidy.

Doba železná (podobně jako doba bronzová) měla za následek nejen velké změny ve společnosti, zemědělství, válčení apod., ale také velký pokrok v tom, co jsme schopni vyrobit a obrobit. Starověké Řecko a Řím na tom byly s obráběním podobně jako Egypt. Za zmínku stojí možná jen proslulé olověné trubky a koryta pro rozvod pitné vody. Bohužel je starověk také poslední velká éra, co zásadně změnila obrábění až do průmyslové revoluce. Například již zmíněný soustruh zůstal téměř nezměněný a bylo nutné ho pohánět ručně, dokud jsme ho nebyli schopni pohánět párou. Tavit, odlévat, slévat, tvarovat, obrábět a těžit železo je o mnoho náročnější než práce s mědí a bronzem. Kromě o více než 500 °C vyšší bod tání oproti mědi je železo také náchylné k erozi. To ještě více komplikovalo práci s ním a žádalo si to nové techniky a znalosti (např. kalení). V době železné (starověk) také začalo nabírat na důležitosti kovotepectví s kovářstvím. To sice existovalo už za doby bronzové (např. v již zmíněném starověkém Egyptě), ale nebylo ani z daleka tak rozšířené jako kování železa. Železo také mohlo být temperováno pro zvýšení tvrdosti při kování například

železného meče. V tuto chvíli však lze říci, že jakékoli revoluční inovace v obrábění zamrzly až do pozdního středověku až novověku.

Středověk – novověk

Středověk, a hlavně renesance přinesly vyšší přesnost obráběcích strojů, ale práce s nimi byla pořád ruční, náročná a zdlouhavá. A to i přes vzácně se vyskytující vodou poháněný soustruh a soustruh pružinový (obr. 5). Pružinový



Obrázek 5 - pružinový soustruh

soustruh sice nebyl tak revoluční jako soustruh smyčcový v pravěku a v pradávných civilizacích, ale rozhodně si zasluhuje zmínku. Ve středověku bylo obráběno především dřevo, a to především pro výrobu nádobí, popřípadě nábytku. Na obrábění kovů byla většina soustruhů moc slabá. Možná si říkáte, proč by středověcí lidé jedli ze dřevěných talířů, když už ve starověkém Řecku jedli z nádobí keramického či olověného? Otázka je to sice logická, ale odpověď není – móda. I

přes nepraktičnost bylo nádobí bráno jako spotřební zboží a dřevěné nádobí bylo na výrobu prostě levné. Kovy byly tedy spíše slévány do forem a poté popřípadě ručně dokončené, nebo byly do tvaru kovány. To platilo obzvlášť pro tvrdé kovy, jako je například železo. Práce s měkčími kovy však už v té době byla relativně ovládána.

Průmyslová revoluce (18. - 19. stol. n. l.) znamenala zásadní změnu v obrábění. Vznikly nové stroje pracující s nově zkrocenou silou – párou. Parní stroje byly po dlouhé době pro obrábění naprosto revoluční a umožnily masovou výrobu. Automatizace a mechanizace procesů vedly k rychlejšímu a efektivnějšímu obrábění. Nyní nebylo třeba lidí navíc pouze pro pohon soustruhu či vrtáku, nebo skromnosti s materiály, které lze obrábět. S pořádným parním motorem a nyní ocelovými součástkami bylo možné téměř vše. V továrnách klesla poptávka po zaměstnancích. Soustruh mohl v krajním případě ovládat a obsluhovat klidně i jeden člověk. Vznikly také nové materiály, jako je již zmíněná ocel, což umožnilo výrobu silnějších, tvrdších a trvanlivějších výrobků. Také začaly vznikat nové

standardizované veličiny jako jsou například: DOC (hloubka řezu), WOC (šíře řezu), které jsou často definovány vůči průměru násady či cílem vrtání (např. dokončovací přejezdy) anebo "feed" (rychlost pohybu vrtáku) a "speed" (rychlost otáčení vrtáku), které jsou často definovány materiálem. Díky postupně hlubšímu porozumění v těchto oblastech jsme zjistili, jak je dobré tato nastavení přizpůsobit materiálům a objevili jsme způsoby, jak šetrněji obrábět s menším riskem mikroprasklin a větší výdrží vybavení. To vše dohromady byl obrovský skok, který se rozšířil po celém světě a měl nepředstavitelný vliv např. na USA. Je však ale dobré zmínit, že až do rozšíření elektrických obráběcích strojů se pořád na vesnici mohl objevit i třeba soustruh pružinový, či dokonce smyčcový.

Okolo roku 1800–1820 se objevilo mnoho návrhů na první frézky s primitivním pohybem ve třech osách. Kvůli nedostatku záznamů z této doby není možné určit jednoho vynálezce. V pár historických knihách je citován za vynálezce frézky Eli Whitney, ale přezkoumání zdrojů spekuluje, že jeho frézka byla ve skutečnosti nejspíš vyrobena až po jeho smrti v roce 1825.

Frézka se však postupně stala nejuniverzálnějším nástrojem a dnes by bez ní nebylo moderní obrábění možné.

Další velký krok pro obrábění by na sebe nenechal dlouho čekat. Už na konci 19. století začalo být jasné, že dalším logickým krokem se stane elektřina. Elektřina a s ní spojený elektromotor by postupně převzaly pole obrábění od motorů parních a vodních. S tímto přirozeným pokrokem byl na našem území možný zaregistrovat i zásadní růst technických a elektrotechnických průmyslových firem na začátku 20. století. Mohli bychom jmenovat například ČKD, Laurin a Klement (později Škoda auto), Praga, Jawa ad....

Nedlouho po přelomu století si však mnoho z nás vybaví událost docela jinou: první světovou válku. I přes nezpochybnitelnou špatnou stranu stojí však za zmínku, že první světová válka pomohla rozšířit a zmodernizovat obrábění, a že stála za vznikem první republiky. Do jisté míry lze říci že i druhá světová válka měla podobný vliv na celkovou modernizaci světa. A konečně od 60. let 20. století se můžeme bavit i o CNC.

Soudobé dějiny

CNC (computer numerical control), neboli "počítačové číselné ovládání" je konečný velký krok v našem malém příběhu. Tato technologie využívá několika přesně zkalibrovaných servo motorů k horizontálnímu a vertikálnímu pohybu např. frézky pomocí počítačového programu. Tyto programy a počítače, na kterých fungovaly, byly ze začátku jednoduché, ale dnes, po několika desetiletích standardizace a vylepšování, jsou téměř bezchybné.



Obrázek 6 - děrná páska

Samotné (C)NC se narodilo ve Spojených státech amerických ve státě Massachusetts. Na MIT (Massachusetts Institute of Technology). Díky týmu vedenému Johnem T. Parsonem v roce 1949 začal vývoj NC stroje a v roce 1952 vznikl první prototyp obráběcího stroje ovládaného NC (numerical control) -

předchůdce CNC. Byl ovládán pomocí děrných pásek s instrukcemi (viz obr.6). I přes primitivnost stroje údajně fungoval relativně spolehlivě a uspokojil požadavky amerického letectva, které jejich projekt financovalo kvůli výrobě zúžených křídel pro letadla a čepelí helikoptér. V roce 1955 tým na MIT ve spolupráci s R. Keggem vznikl propracovanější systém s magnetickými páskami. Sice to ještě nebylo úplně CNC, ale jejich NC frézka využívala hned několik počítačových systému k detekci chyb na pásce a formulování příkazů do frézky. Jen o pár let později se však dostáváme k opravdovému CNC. V roce 1958 inženýři v MIT dokázali instrukce vytvářet přes prvotní počítače. V raných 60. letech se potom na trhu objevila první komerční CNC frézka. Šlo o upravenou frézku Cincinnati Hydrotel.

Programový jazyk, který využili, se jmenoval G-code. Možná se někomu z vás G-code zdá docela povědomý, protože vylepšené varianty tohoto programového jazyka jsou dodnes standardem obrábění, a dokonce i 3D tisku. Existují samozřejmě i další jazyky (např. M-code sloužící k ovládání chladicí kapaliny

apod.), ale G-code je nejdůležitější a nejpoužívanější, slouží totiž k řízení pohybu stroje. K tomu jsou koneckonců příkazy, které mu dávají jeho jméno – G0 – Rychlý pohyb (bez obrábění), G1 – Lineární interpolace (pohyb s obráběním), G2 a G3 – Kružnicová interpolace v obou směrech (tvoření plynulých kružnic).

V 60., 70. až 80. letech se můžeme setkat s dalším starým známým, a to CAD (Computer-Aided Design) a CAM (Computer-Aided Manufacturing). CAD je vlastně ekvivalentní k děrovačce pomáhající tvořit děrnou pásku v NC. Jedná se o způsob tvoření instrukcí. Spojení CNC, CAD a G-code prakticky dokončilo cestu od nápadu po obrobek, kdy každý výrobce mohl navrhnout 3D model v CADu, přeformátovat ho na G-code srozumitelný pro obráběcí stroj a poslat ho hned do továrny pro masovou výrobu. Každý si také mohl optimálně nakonfigurovat tzv. "speeds and feeds" již zmíněné v souvislosti s průmyslovou revolucí. To ovšem neznamená, že se od té doby nic nezměnilo. Došlo ke standardizaci a rozšíření hranic toho, co je možné. Tím rozšířením myslím převážně víceosé řízení. Dnes se bavíme klidně i o strojích s pětiosým řízením a násadami, které si stroj sám vybere a vymění (viz obr.7). A to bez zásahu člověka. Také došlo k masivnímu zlevnění a zvýšení dostupnosti CNC strojů všeho druhu. Více o současném stavu CNC se dozvíte v kapitole: Současný stav obrábění a CNC.



Obrázek 7 - pětiosá CNC frézka

Významné osobnosti v poli obrábění a CNC

Eli Whitney (1765–1825) je nejspíše nejznámějším raným americkým vynálezcem a inženýrem. Mimo jeho proslulý stroj na odzrňování bavlny a pokrok ve vývoji zaměnitelných náhradních dílů je mu připisována i již zmíněná první frézka. Jak jsem však již zmínil, jeho vynález frézky je poněkud kontroverzní a dnes už nelze určit pravého vynálezce kvůli tomu, že v té době na vynálezu první frézky pracovalo hodně inženýrů a bez dokumentace těžko říct, kdo byl první.

Henry Maudslay (1771–1831) je považován za velkého inovátora

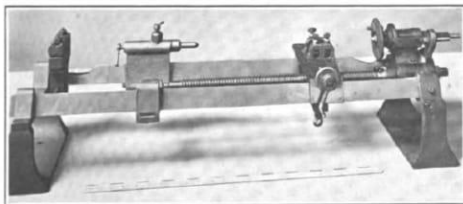


FIGURE 15. MAUDSLAY'S SCREW-CUTTING LATHE
ABOUT 1797

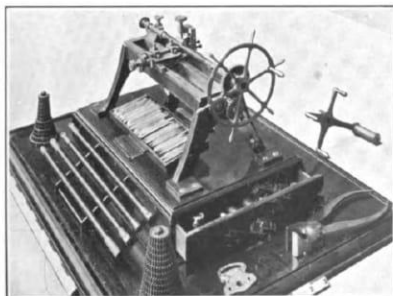


FIGURE 16. MAUDSLAY'S SCREW-CUTTING LATHE
ABOUT 1800

Obrázek 8 - Maudslayův soustruh (2 verze)

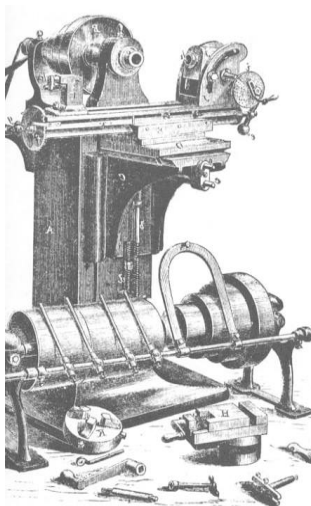
moderních obráběcích strojů. Tento anglický konstruktér stál za mnoha zásadními vynálezy, jako je například moderní průmyslový šroubový soustruh (viz obr.8). Tento soustruh, vyvinutý především pro tvorbu identických závitů, díky své vodící liště vedl ke sjednocení výroby šroubů, což je zásadní pro výrobu náhradních dílů a hromadnou výrobu. Podobné soustruhy sestavené k výrobě šroubů sice už existovaly dříve (např. soustruh Davida Wilkinsona), ale Maudslayův design byl nejvyspělejší a první hodný průmyslové výroby.

Tento konstruktér také sestrojil masivní soustruh schopný obrábět díly o průměru téměř 4 metry. Ten sloužil k vyvrtávání parních válců, ale také demonstroval škálovatelnost a víceúčelovost obráběcích strojů. Maudslay také stál za prvním známým příkladem využití specializovaných strojů k sestavení montážní linky. Dalším příkladem byl například tunelovací štít, který jeho firma sestrojila k vyhloubení temžského tunelu, nebo jeho vynález stolního mikrometru. Byl to celkově velmi významný člověk, co pomáhal vymyslet, či pouze vyrobil mnoho důležitých obráběcích strojů.

Richard Roberts (1789–1864) přispěl k zrození dnešního průmyslu mnoha cennými vynálezy. Mezi ně patří například: jeden z prvních spolehlivých rovinných strojů (planer), šroubový soustruh schopný obrábět díly o délce až 1,8 m, drážkovací stroj, tvářecí frézka, samočinná otočná mula ad.. Jelikož v té době k obrábění sloužily hlavně soustruhy, které byly jednoduché na sestavení a provoz, tak jeho přínos do rovinných strojů, do kterých patří i frézky, planery a shapery, je zásluhý.

Je dobré vysvětlit, že frézka je stroj s otočnou frézou, zatímco shaper a planer mají neotáčející se čepele. Planer zarovává povrch plochého obrobku pomocí podlouhlé čepele. Shaper funguje jako taková dvouosá frézka se skalpelem místo frézy. Frézka většinou funguje ve třech osách a její nástroj je otočný. Frézka má tedy mnohem širší využití než planery, shapery, a i do té doby převládající soustruhy.

Joseph R. Brown (1801–1875) dovedl frézku k novému standardu použitelnosti. Do té doby převládající soustruhy a frézky byly primitivní. Většina frézek vyžadovala únavnou přípravu a specifické nastavení na každý úkol. Sice jsem se o těchto frézách už zmínil jako o tříosých, ale hodně z nich se dokázalo po ose Z pohybovat jen v klidu. Frézky tedy potřebovaly vylepšit.



Obrázek 9 - Brown & Sharpe
Univerzální Frézka

Na záchranu nakonec přišel Joseph R. Brown, zakladatel Brown & Sharpe, který v roce 1862 představil nevídaně úspěšnou "univerzální frézku" (viz obr.9). Jeho frézka sice původně byla vymyšlena pouze k vrtání spirál pro PTC (Providence Tool Company), ale ukázala se být přesně tím, co svět obrábění potřeboval. Jeho frézka s pravým tříosým pohybem a schopností vrtat spirály byla schopná vyrobit i téměř vše, a to s minimální přípravou a limitací. Brown otevřel bránu pokročilého, levného, a především moderního obrábění pro širší veřejnost.

Frederick Winslow Taylor (1856–1915) stál za standardizací a systematizací továren. Pomocí metody zvané "vědecký management" vytvořil pro jeho pracovníky jednoduché a logické prostředí. Pomocí tzv. časových studií zjistil, jaké úkony jsou nutné a které naopak zbytečné. Zbavil se všech zbytečných pohybů pracovníků v jeho továrnách a změřil, jak dlouho jednotlivé procesy zabere pro maximální optimalizaci.

Dnešní automatizované továrny budují na jeho principech "jediného nejlepšího způsobu", "časových studií" a "vědeckého managementu" obecně. Taylor také oddělil management a pracovníky. Každý měl svou roli. Pracovníci měli dělat pouze jednoduché a repetitivní úkony, zatímco vedení plánovalo a organizovalo. Aby zajistil spokojenost, tak uplatnil systém odměn zvaný "piece – rate". "Piece – rate" rozhodoval o výši platby za efektivitu vůči stanovenému času z "časových studií". Rychlejší pracovníci tedy dostávali o něco větší celkové mzdy, což zvýšilo morálku a celkový výkon pracovníků.

Taylor se sice přímo nepodílel na vývoji specializovaných obráběcích strojů, CNC nebo NC, ale v dnešních továrnách se stále majitelé snaží najít "jediný nejlepší způsob" (např. rozprostření kuchyně ve franšízách McDonald 's, či struktura novodobých montážních linek). Taylor rozhodně stojí za zmínku a jeho vliv sahá daleko za hranice obrábění. Podobné metody ideály a nápady měl i **Henry Roberts Towne (1844–1924)**, ale v této kapitole se chci zabývat hlavně vynálezy a hmotnými příspěvky.

John Thomas Parsons (1913–1998), otec CNC a NC, je nejspíš největším a nejznámějším jménem v obrábění z 20. stol.. Byl to člověk vedoucí tým, co sestrojil první NC obráběcí stroj na světě. Nápad jeho týmu na MIT spočíval v tom, že se data o pohybech stroje uloží na děrné pásky. Stroj se poté podle uložených instrukcí pohyboval a u toho obráběl požadovanou součástku. Obrobky jeho týmu byly nevídaně přesné a jak už bylo zmíněno v kapitole o historii obrábění, u letectva a později i komerčně jeho stroje měly velký úspěch. Instrukce jsou kvůli binárním perforacím v pásce teoreticky digitální, i přes absenci počítače.

Tento přístup k NC je nákladný a v určitou chvíli byl Parsons dokonce vyhozen z jeho vlastní firmy kvůli rozsáhlému financování rozvoje NC na MIT. Jeho patent však postupně začal generovat podstatný obnos, a tak byl vrácen zpět do pozice presidenta Parsons Corporation. Jeho práce vedla i k prvnímu CNC stroji využívajícímu počítačovou řídicí jednotku. Jeho původní prototyp měl tedy celosvětové průmyslové implikace. Za ty byl pak v roce 1985 oceněn Národní Medailí Technologie (National Medal of Technology) a přidán do Síně Slávy pro Národní Vynálezce (National Inventors Hall of Fame) pro vynalezení NC.

Rád bych také zmínil spoluautora NC **Franka L. Stulena (1921–2017)**, který například údajně přišel s nápadem používat k ukládání informací děrné karty.

Richard Kegg (1935–2014) v roce 1952 představil první komerční CNC frézku. Na internetu se o něm bohužel kromě jeho příspěvku v roce 1952 moc informací nepíše.

To jsou jen některé významné osobnosti v obrábění. Bohužel zde nemám prostor zmínit úplně všechny, ale rád bych alespoň jmenoval pár dalších: Sir Joseph Whitworth, David Napier, Rudolpf Bannow a Eiichi Okuma, Mori Seiki, Gene Haas (poslední 3 jsou průkopníci v moderním CNC.).

Současný stav obrábění a CNC

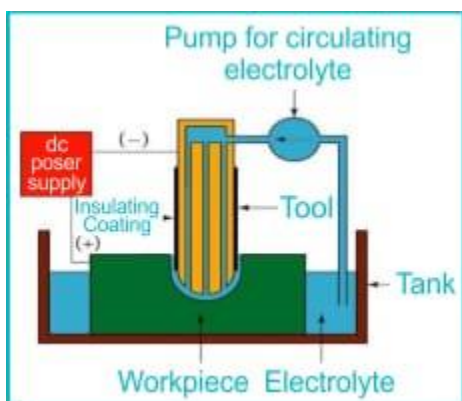
V dnešní době je obrábění přístupné všem. Každý kutil si do své garáže může pořídit frézku či soustruh za cenu pár tisíc korun. Také existuje masivní sortiment a všemožné druhy obráběcích strojů. Moderní obráběcí stroje a CNC se dají dělit do 2 hlavních kategorií: konvenční a nekonvenční. Toto rozlišení je na základě kontaktu s obrobkem, tzn. konvenční – přímý kontakt s obrobkem, nekonvenční – využití alternativní síly (např. elektřiny, chemické potence či teplotní energie). Nekonvenční obrábění se ale dělí ještě na dalších 5 velkých kategorií: abrazivní, termální, elektrochemické, chemické a hybridní.

O konvenčním obrábění a jeho strojích jsme se bavili v historii obrábění a většina obrábění až do 2. pol. 20. stol. je tedy konvenční. Tento typ obrábění zahrnuje například soustruhy, frézky, vrtačky, planery (hoblovky) a brusky. Materiál je v této kategorii obráběn pomocí fyzického kontaktu. Do této kategorie i všech ostatních jsou zahrnuty i CNC varianty těchto strojů.

Mezi abrazivní obrábění patří obrábění využívající abraziva (tvrdé částice) k odstranění mikroskopických vrstev materiálu (nejčastěji z povrchu), čímž lze dosáhnout velmi jemného povrchu. Tyto abraziva mohou účinkovat volně, nebo mohou být vázána k médiu - např. kus kartonu v brusce. Mezi stroje s touto technologií patří například lapovací stroje, stroje s paprsky vody s abrazivem a do abrazivních a zároveň konvenčních strojů patří i bruska.

Další kategorie je o obrábění termálním. Princip termálního obrábění spočívá v tom, že stroj vyvine velké koncentrované teplo a roztaví nebo vypaří materiál, ke kterému se přiblíží. Tyto metody využívají například laserové a plasmové řezačky. Přístroje z této kategorie jsou často využívány například v automobilovém průmyslu nebo ve stavebnictví, kde je třeba rychle a efektivně pracovat s kovem.

Elektrochemické (popřípadě erozivní) obrábění sice není tak široce využíváno



Obrázek 10 - princip elektrochemického obrábění

jako první tři druhy, ale díky jeho neinvazivnosti nám pomáhá ulehčit některé práce například v tvorbě lopatek do turbín, které musí být precizně vyrobené. Funguje na principu elektrolýzy, kde k obrobku a k nástroji je připevněna anoda a katoda a při ponoření do elektrolytové kapaliny je selektivně rozpuštěn kov (viz obr.10). Nejčastější stroje s touto technologií jsou EDM nebo ECM.

Chemické obrábění funguje přesně tak, jak zní. Jedná se o nanesení leptavých látek na požadovanou oblast obrobku. Je ho využíváno například ve výrobě elektrických komponent a při výrobě specializovaných filtrů (např. do lékařských přístrojů). Dnes už samozřejmě existují i speciální leptací přístroje. Výhodou může být například vysoká jemnost detailů a zaoblenost hran (bezbrítové hrany).

Hybridní obrábění zahrnuje mnoho podkategorií, ale v zásadě je to sloučení dvou a více předešlých metod (popřípadě více aspektů jedné metody – například schopnost řezací a zároveň dokončovací, nebo schopnost materiál odebrat i přidávat – pak se ale nejedná už pouze o obráběcí stroj). Příkladem může být například kombinace abrazivně termální (ABHY). Pro hybridní stroje se většinou staví specializovaná centra.

Obrábění a jeho stroje se tedy dělí na konvenční a nekonvenční. Důležité jsou ale ještě i abrazivní, termální, elektrochemické, chemické a hybridní, které patří do nekonvenčních. Konvenční zaujmají dodnes většinu trhu a v historii byly nepostradatelné. Nekonvenční však mohou často zpracovat daleko tvrdší materiály. Zároveň je dnes obrábění přístupnější a kvalitnější díky CNC.

Praktická část

Součástí každé ročníkové práce je i praktická část, ve které se máme naučit něco z tématu prakticky využít. Má praktická část je o modifikaci manuální frézky Proxxon na CNC frézku. Jejím předmětem je však i porovnání frézky před a po modifikaci a vysvětlení jednotlivých aspektů a součástí mé přestavby.

Jak už jsem zmínil, frézka, kterou modifikuji, je značky Proxxon. Konkrétně se jedná o tříosou mikro frézku Proxxon MF 70 (viz obrázky 11-13). Bez úpravy se po ploše o rozměrech 200 x 70 mm pohybuje fréza otáčející se rychlostí 5 000 - 20 000 rpm pouze pomocí otočných klik. Teoretická přesnost se sice pohybuje okolo +/- 0.02 mm, ale ta skutečná je limitována spíše uživatelem a materiálem.

Pro tuto přestavbu bylo třeba mít zdroj 12 DCV (alespoň cca 1,2 A), Arduino (např. UNO), stepper motor (já jsem použil NEMA 17 59 mm), CNC shield (na daný model Arduino), driver k danému motoru (já jsem použil DollaTek A4988), kabeláž, 3 D vytisklý převodník (dostupný volně na internetu pro tento mod – viz zdroje) a počítač s FreeCADem, UGS, Arduino Software (IDE) s GRBL.



Obrázek 11



Obrázek 12



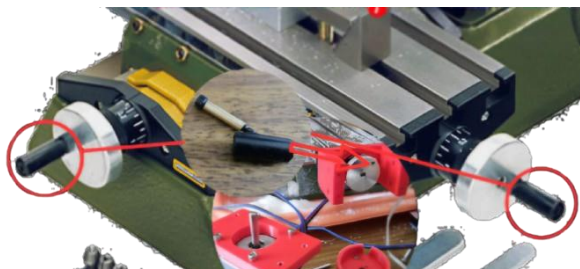
Obrázek 13

Před stavbou je třeba 3D vytisknout převodníky (viz obr.14) - můžete je buď sami



Obrázek 14 – přestavěná frézka s popisky

Poté se je třeba zbavit rukojetí na samotné frézce. Frézka má rukojeti na navádění frézy. Ty se ale dají odmontovat a lze na jejich závit napojit 3D vytištěný převodník (viz obr.15). Motor



Obrázek 15 – ukazatelé rukojetí a klik

následně můžeme přišroubovat k převodníku a tím získáme naprosté minimum k CNC frézování. (Převodníky samozřejmě musíme společně s motory připevnit ke všem třem klikám.) Po připojení motorů k CNC shieldu a propojení počítače s Arduinem běžícím GRBL (možná budete muset ještě nainstalovat driver) se můžeme vrhnout do testování.

K testování je nejvhodnější (a zároveň zdarma) UGS (Universal G – code Sender). Ten slouží k tvorbě a k zasílání instrukcí, které Arduino (lépe řečeno GRBL na Arduino) zpracuje a pomocí driverů pohne s motory o potřebný počet kroků. Jako první po uživateli UGS vyžaduje nastavení a kalibraci motorů. V kalibraci si nastavíme, zdali máme invertované osy, nebo jestli jsou součástí naší sestavy limit switches – spínače určující hranici obráběcí plochy. (V našem případě nejsou tyto spínače součástí.) Také můžeme poupravit přesnost motorů, naštěstí kalibrace z továrny bývá většinou dostačující.



Obrázek 16 – drážka s manuálním ovládáním

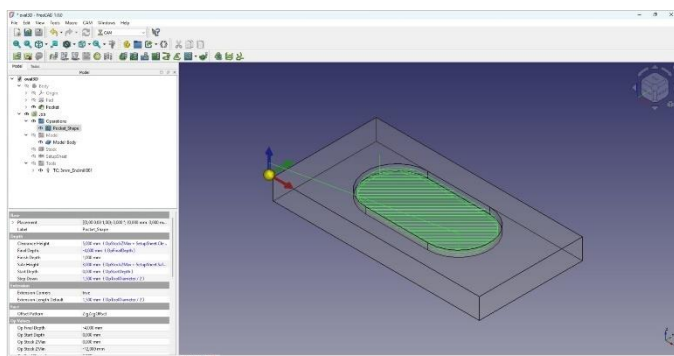
Nyní se můžeme pustit do obrábění. Před modifikací jsem si vyzkoušel vyfrézovat malou drážku do kusu vosku (viz obr.16). Začal jsem tedy také s drážkou do vosku (viz obr.17).

S manuálním ovládáním je většinou možné obrábět pouze ostré hrany, kružnice totiž vyžadují pohyb více os najednou, což je pro člověka velice náročné. Byl jsem tedy velice zvědavý na tvorbu kružnic.



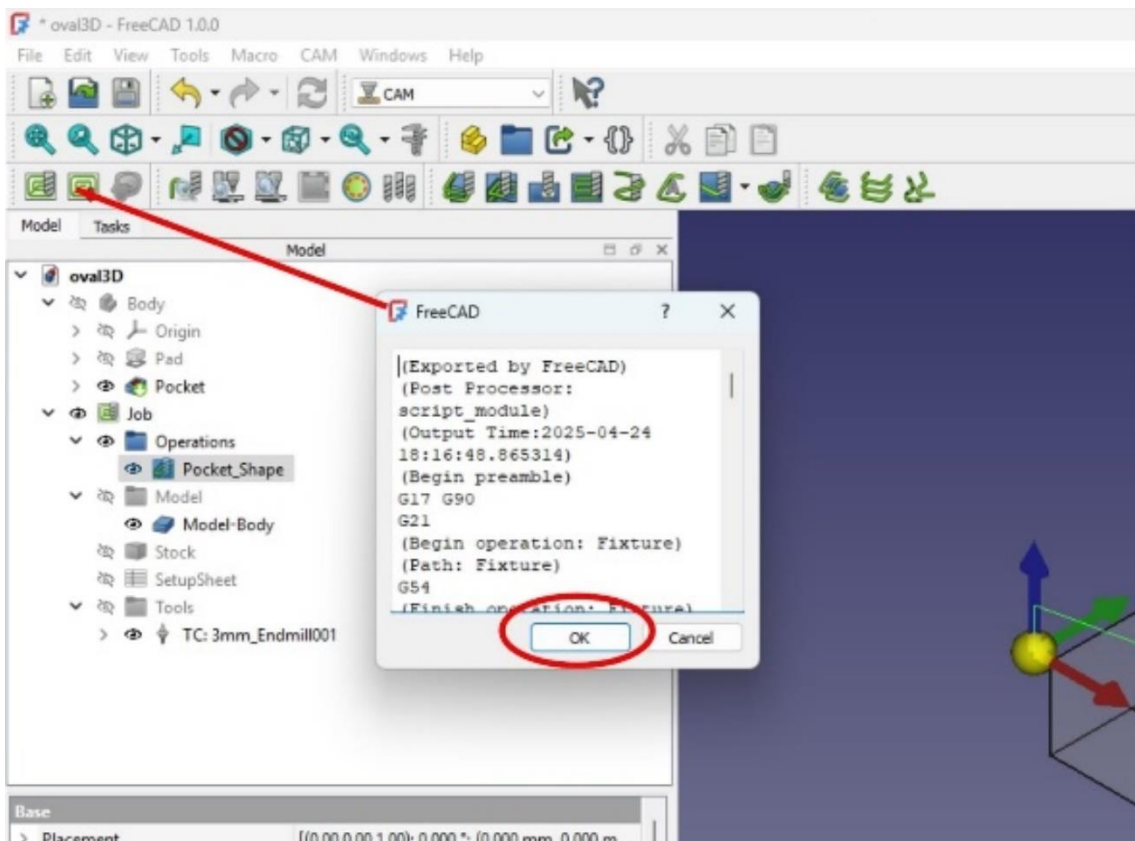
Obrázek 17 – drážka s CNC sestavou a popisky

S panem Štefánkem jsme vytvořili jednoduchý model kapsy (pocketu) a plochy (face). Na komplikovanější operace už by bylo psaní kódu zbytečně zdlouhavé, a tak jsme využili software zvaný FreeCAD (viz obr.18). FreeCAD nám umožňuje vytvořit 3D model toho, co

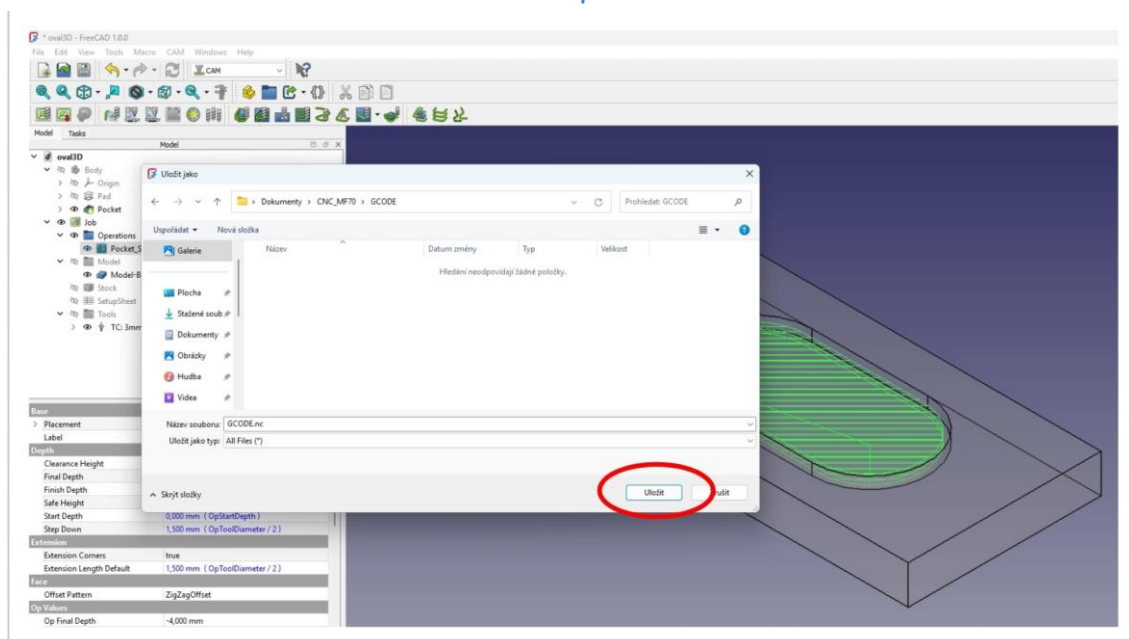


Obrázek 18 - FreeCAD

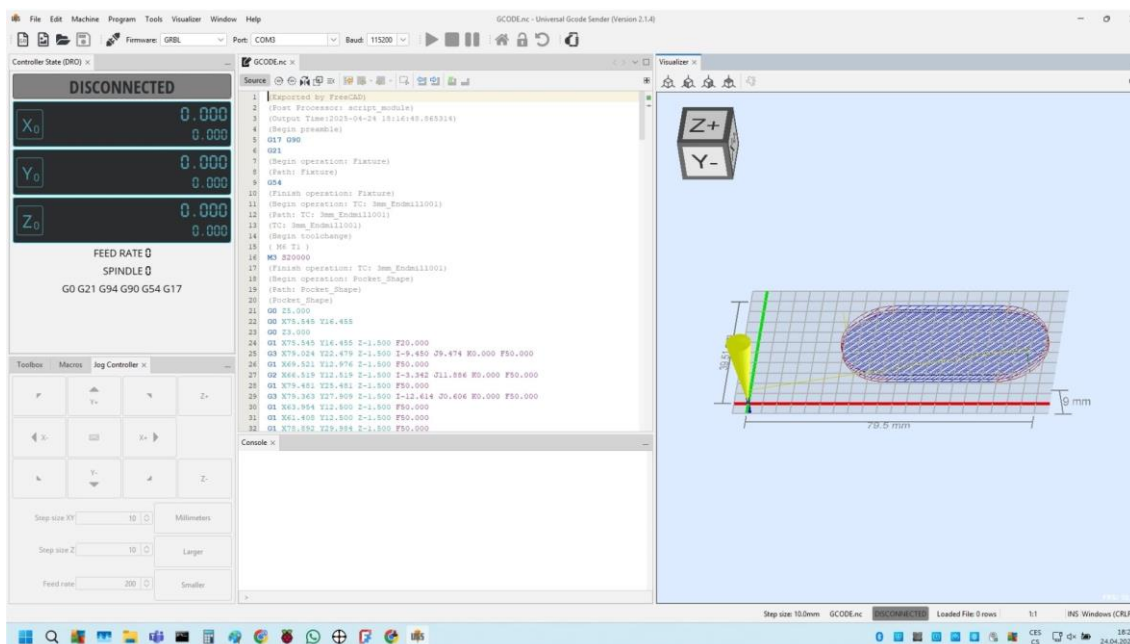
chceme obrobit a v kolonce CAM pak můžeme vytvořit G – kód a ten exportovat do UGS (viz obrázky 19-21). UGS potom soubor G – kódu zpracuje a postupně pošle dál po lince. Tím vlastně dokončujeme cestu od nápadu přes design až po hotový výrobek – již zmíněný CAM (computer aided manufacturing).



Obrázek 19 – export G – kódu

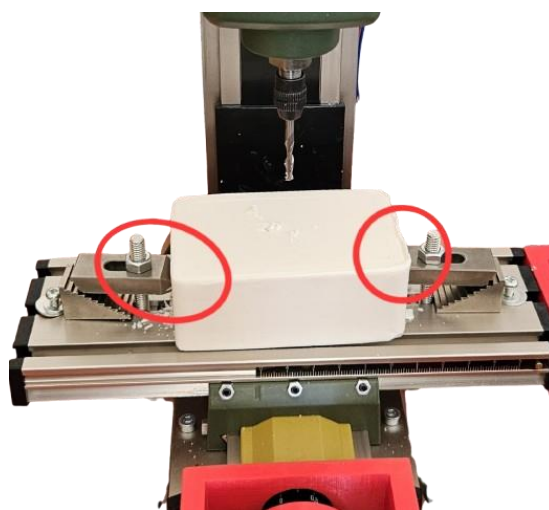


Obrázek 20 – ukládání souboru s G – kódem



Obrázek 21 – G-kód v UGS

Náš model je tedy připraven a G – kód vložen. Už zbývá pouze vybrat materiál. Pro tento obrobek jsme se rozhodli použít mýdlo. Kromě náramného zavonění kabinetu totiž u mýdla nehrozí nebezpečí úrazu tolik, jako kdybychom vrtali do oceli. Zároveň nám dává dost času zareagovat a zastavit program při chybě. (Mýdlo by nezlomilo a nezničilo frézu či frézku při zarytí nástroje bez otáčení spindlu.)



Obrázek 22 – uchycení mýdla

První překážka nastala při připevňování mýdla k pracovní ploše. Mýdlo bylo totiž moc vysoké a bylo třeba do něho udělat ze strany drážky na přichycení (viz obr.22). Po řádném utažení se však uchycení vydařilo a mohli jsme začít.

Jako první bylo nastavené obrábění plochy (face), která slouží k zarovnání okolního povrchu, ale není nutná k obrobení daného útvaru. Tato operace se většinou provádí ve výši shodné s nejnižším bodem roviny (viz obrázky 23 a 24). Dalším krokem může být opakování operace face v zúžené oblasti obrobku, nebo

je možné rovnou pokračovat. V našem případě proběhla znovu operace face v zúžené oblasti.

Další operací byla operace tvorby kapsy (pocket). Tato operace zahrnuje vyhloubení kapsy daných rozměrů a tvaru (viz obrázek 25). V našem případě proběhla tato operace třikrát, a to i přes to, že byla obrobena pouze jedna kapsa. V našem modelu bylo totiž zadáno vytvoření tří pater. První přejezd vyhloubil otvor o hloubce 1 mm a další přejezd vyfrézoval otvor o hloubce 2 mm (o 1 mm hlubší). Toto je pouze obezřetnost proti přílišnému zatížení frézy či spindlu.



Obrázek 23 – frézování plochy (face)



Obrázek 24 – dokončená plocha (face)

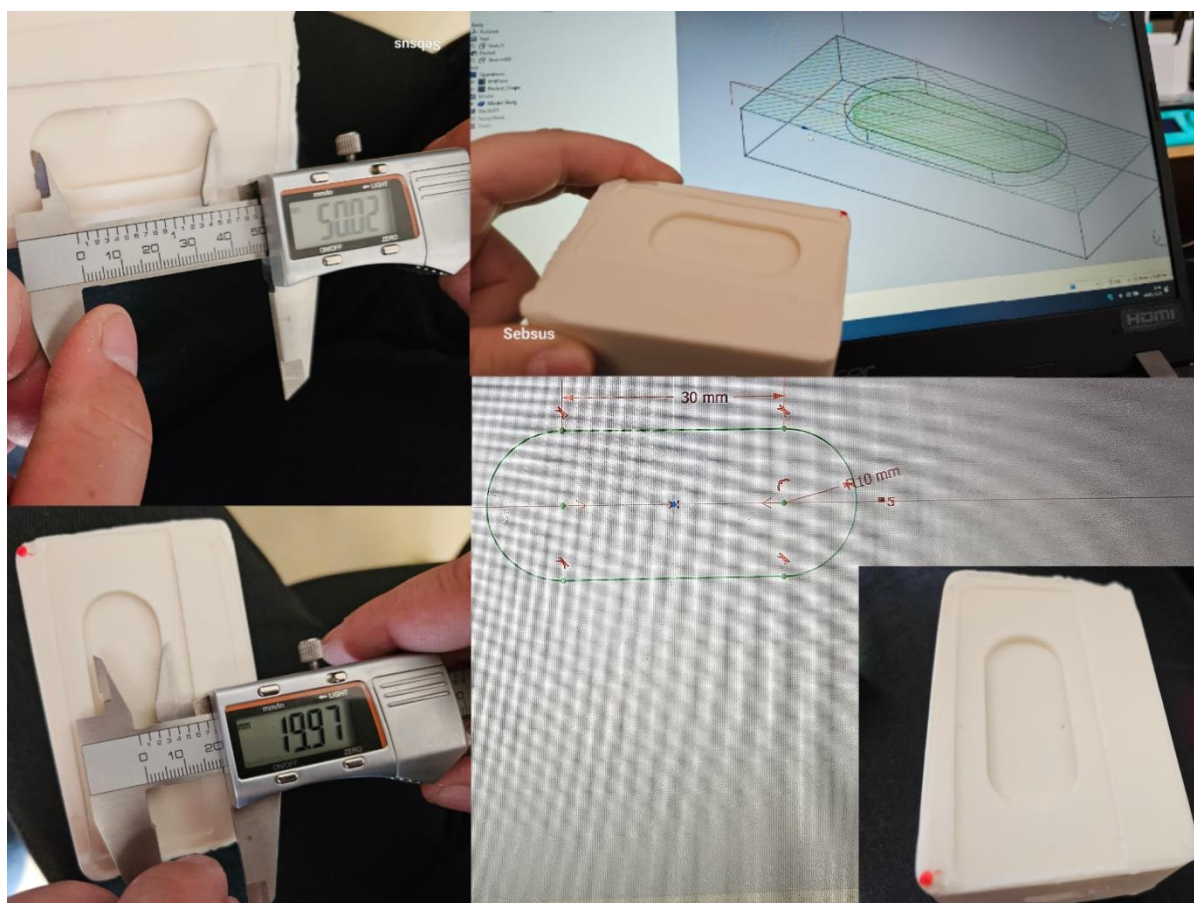


Obrázek 25 – frézování kapsy s displejem zdroje

Konečný výsledek (viz obrázek 26) jsme nakonec změřili a jeho rozměry jsou věrné modelu v toleranci 0,05 mm, přičemž deviace většinou nepřesahuje 0,03 mm. Některé naměřené rozměry vs. zadané hodnoty jsou srovnané na obrázku 27.

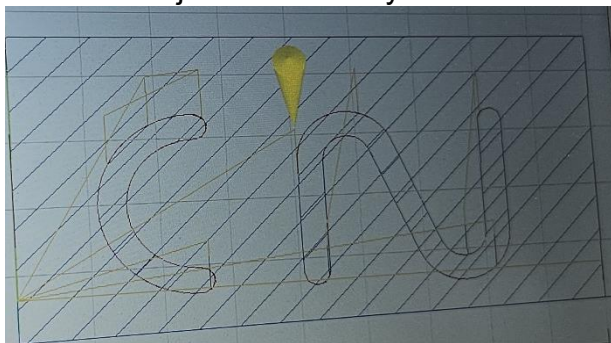


Obrázek 26 – hotový obrobek



Obrázek 27 – srovnání 3D modelu s realitou

Na závěr jsme chtěli vyzkoušet tvrdší materiál kvůli lepší představě o schopnostech stroje. Zvolili jsme dřevo. Místo klasické oválné kapsy jsme ale chtěli zkusit složitější tvar. Nakonec jsme se rozhodli vyhloubit písmenka CNC. Dřívko, které jsem přinesl z domova, bylo však moc krátké a vystačilo nám pouze na



Obrázek 28 – vizualizace G – kódu

písmena "CN" (viz obr.28). Nízký speed určený pro mýdlo (cca 5 000 rpm) jsme museli pro zachování vysokého feedu zvýšit na cca 10 000 rpm. A vše jsme museli překontrolovat víckrát, protože dřevo už by nám chybu neodpustilo. I přes menší zádrhele se naštěstí dřívko vyfrézovat povedlo, ale kraje písmenek se bohužel roztřepily (viz obrázky 29-31).



Obrázek 30 – hotový obrobek



Obrázek 29 – frézování „CN“ do dřeva



Obrázek 31 – hotový obrobek

PROXXON MF 70				
RPM [1000/min]				
Ø	1 mm	2 mm	3 mm	
Stahl	20	15	10	
Guss	18	13	10	
Alu/ Messing	20	20	20	

Obrázek 32 – tabulka otáček pro jednotlivé materiály a frézy

Výsledky a závěr

Výsledky

V praktické části práce jsem přestavěl ruční frézku Proxxon MF 70 na CNC stroj použitím Arduina UNO, CNC shieldu, krokových motorů a dalších komponent. Po nahrání GRBL firmwaru a propojení s Universal G-code Sender (UGS) se podařilo bez manuálního ovládání řídit pohyb ve třech osách v pracovním prostoru. Složení mechaniky a elektroniky se ukázalo jako spolehlivé – během několika desítek běhů nedošlo k poškození krokových motorů ani elektronického modulu, pouze jednou se projevilo vynechání kroku kvůli nedostatečně utaženému převodníku na klikách.

Dalším krokem bylo obrábění dřeva, konkrétně vyfrézování písmen „CN“. Zvýšením otáček frézy z 5 000 rpm na 10 000 rpm se podařilo zachování vhodného feedu i v tomto tužším materiálu. Měření hotových obrobků potvrdilo, že toleranční odchylky nepřekročily 0,05 mm, přičemž většina rozměrů se držela v rozmezí 0,01–0,03 mm od navrženého vzoru. Jedinou výraznější překážkou bylo přichycení obrobku k pracovní ploše.

Z praktických zkušeností vyplývá, že integrace CAD/CAM nástrojů (FreeCAD) a GRBL+UGS-řízeného CNC workflow umožňuje plynulé propojení návrhu dílu s výrobou bez hlubokých znalostí programování. Použití vosku jako materiálu pro první testy se ukázalo jako výhodné – nízký rezný odpor i nízká zpětná vazba umožnily rychle odhalit a opravit drobné chyby bez rizika poškození nástroje.

Obecně práce potvrdila, že základy obrábění (feeds, speeds, WOC, DOC ad.) platí rovným dílem pro domácí hobby CNC stroje i pro profesionální centra. Získané poznatky o vlivu mechanické tuhosti, přesnosti montáže a správném utažení převodníků jsou aplikovatelné při jakékoli úpravě nebo stavbě podobných strojů. Praktická část tak poskytla reálnou zpětnou vazbu na teoretické znalosti a zároveň vytyčila konkrétní oblasti pro další zlepšení – instalaci koncových spínačů pro homing, upgrade mechanických převodů a doladění antivibračních podložek.

Závěr

V úvodu jsem se ptal „Jak obrábíme?“ a praktická část mi umožnila tuto otázku nejen prozkoumat, ale i prakticky zodpovědět. Přestavba mikro-frézky Proxxon MF 70 na CNC stroj mi rozšířila technické dovednosti s elektro-mechanickou montáží a konfigurací CAD/CAM workflow. Největší hodnotu spatřuji v propojení teorie a praxe – pochopil jsem, jak drobné změny v mechanice a řízení ovlivňují konečný výsledek obrábění. Osobně vnímám jako nejzásadnější uvědomění si nutnosti pečlivé kalibrace (vyrovnání souřadnicového systému na 0,0,0) a správného poměru speed a feed pro dosažení požadované přesnosti.

Podle mne představuje i malý, domácí CNC stroj solidní základnu pro další experimentování a rozvoj dovedností. Do budoucna bych rád doplnil koncové spínače, přidal automatický homing a zlepšil antivibrační prvky pohonu. (Ale to asi až na vlastním stroji.) Také bych rád vyzkoušel obrábět odolnější materiály (hliník, měď) a nasadil metody zbavování se chipů (odlomků z obrobku) – například by šel použít vysavač nebo větráček. Tento projekt potvrdil, že cesta od kamenných nástrojů pravěku až k plně řízeným strojům je dlouhá, ale stále inspirativní i pro dnešní kutily a strojaře.

Zdroje

Specifické

<https://www.remove.bg/upload>

<https://chatgpt.com/> (pouze ke generaci zdrojů a informací, nikoli textu)

Historie

<https://www.domaci-soustruzeni.cz/historie-soustruzeni/historie-soustruzeni-starovek.html>

<https://jaknapazourek.cz/shop/pazourkove-noze/>

<https://m.youtube.com/@WillLordPrehistoricSurvival>

https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Starov%C4%9Bk%C3%BD_Egypt

<https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Mezopot%C3%A1mie>

<https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Prav%C4%9Bk>

https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Doba_kamenn%C3%A1

https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Doba_bronzov%C3%A1

https://cs.m.wikipedia.org/wiki/Doba_%C5%BEelezn%C3%A1

<https://prumysl.inform.cz/strojirenstvi/kde-se-vzaly-cnc-stroje-a-co-vse-umi/>

<https://engineeringtechnology.org/computer-numerical-control-cnc/history-of-cnc-technology/>

<https://sybridge.com/cnc-machining-technology-history/>

https://theses.cz/id/7h66n8/2018_BP_Dlouhy_Vit_161929.pdf

Osobnosti

EW

<https://workingtheflame.com/famous-machinists/>

HM

https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Maudslay

<https://www.britannica.com/biography/Henry-Maudslay>

https://www.gracesguide.co.uk/Henry_Maudslay%3A_Machine_Tools

<https://vauxhallhistory.org/henry-maudslay>

https://todayinsci.com/M/Maudslay_Henry/MaudslayHenry-ModernTools%281918%29.htm

JRB

<https://americanprecision.org/learning-resources/machine-of-the-month-brown-sharpe-universal-mill/>

[https://en.m.wikipedia.org/wiki/Milling_\(machining\)](https://en.m.wikipedia.org/wiki/Milling_(machining))

FWT

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Frederick_Winslow_Taylor

<https://www.britannica.com/biography/Frederick-W-Taylor>

RR

https://en.wikipedia.org/wiki/Richard_Roberts_%28engineer%29

https://gracesguide.co.uk/Richard_Roberts%3A_1817_Lathe

<https://menaibridges.co.uk/history/britannia-bridge/engineers/richard-roberts/>

JTP

https://en.m.wikipedia.org/wiki/John_T._Parsons

<https://www.invent.org/inductees/john-t-parsons>

Současné obrábění

<https://hybridmachining.com/>

<https://hybridmanutech.com/>

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Photochemical_machining

<https://www.extrudehone.com/products/electrochemical-machining-ecm/>

https://en.m.wikipedia.org/wiki/Electrochemical_machining

<https://www.rapiddirect.com/blog/laser-cutting-vs-plasma-cutting/>

<https://www.hypertherm.com/resources/more-resources/blogs/plasma-cutting-vs-laser-cutting/>

<https://engineeringtechnology.org/manufacturing/separating-processes/machining-processes/grinding-and-abrasive-machining/>

<https://www.slabemachine.com/knowledge-base/what-is-abrasive-machining.html>

<https://www.datron.com/resources/blog/types-of-machining-operations-classifications-and-differences/>

<https://emcprecision.com/blog/cnc-machining-vs-conventional-machining/>

[https://www.researchgate.net/post/What is the difference between conventional and non conventional Machining processes or how the non conventional machining process differs](https://www.researchgate.net/post/What_is_the_difference_between_conventional_and_non_conventional_Machining_processes_or_how_the_non_conventional_machining_process_differs)

Praktická část

<https://toolassociate.com/proxxon-mf70-review/>

<https://www.proxxon.com/us/micromot/37110.php>

Obrázky (přílohy)

1. <https://www.ancient-origins.net/news-history-archaeology/obsidian-oregan-0015400>
2. <https://www.domaci-soustruzeni.cz/historie-soustruzeni/historie-soustruzeni-starovek.html>
3. <https://sk.pinterest.com/pin/536561743088908803/>
4. <https://www.domaci-soustruzeni.cz/historie-soustruzeni/historie-soustruzeni-starovek.html>
5. <https://www.domaci-soustruzeni.cz/historie-soustruzeni/historie-soustruzeni-stredovek.html>
6. <https://blog.4d.com/warnings-on-deprecated-language-elements/>
7. <https://www.runsom.com/cnc-machining-usa/birmingham-alabama/>
8. https://en.wikipedia.org/wiki/Henry_Maudslay
9. https://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/GATEWAY/MULTIMODAL/cnc_over.html
10. <https://testbook.com/mechanical-engineering/electrochemical-machining>
- 11.– 14. vlastní
15. <https://www.proxxon.com/us/micromot/37110.php>
- 16.– 31. vlastní
32. součástí instrukcí k přístroji Proxxon MF 70

Zkratky

obr. – obrázek/fotka

UGS – Universal G-code sender

CNC – Computer numerical control

NC – Numerical control

CAD – Computer aided design

CAM – Computer aided manufacturing

EDM – Electrical discharge machining

ECM – Electrochemical machining