

# Multifunkční CNC zařízení na výrobu ozubení

Lukáš Kraicinger\*, Libor Danda\*\*



## Abstrakt

Projekt se zabývá návrhem a následnou tvorbou prototypu šestiosého multifunkčního zařízení na výrobu ozubení. Jedná se o komplexní týmový projekt rozdělený na dvě části, každá část je jedna diplomová práce. Jedna z pohledu konstrukce mechanické stránky stroje a druhá z pohledu elektroniky a řídicího softwaru. Konstrukce stroje je navržena kompletně od začátku Liborem Dandou z Fakulty strojního inženýrství (Ústav konstruování). Elektroniku a řídicí software vytváří Lukáš Kraicinger z Fakulty informačních technologií. Řídicí software v sobě integruje specifickým CAM (Computer Aided Manufacturing) systémem, což snižuje další náklady na obslužný software. Stroj je kompaktní automat (vše v jednom), který pro výrobu ozubení potřebuje pouze vhodný polotovar a základní parametry ozubení. Hodnoty se zadávají pomocí dotykového displeje přímo na stroji nebo lze výrobu připravit pomocí stejného softwaru na pracovním PC bez stroje. Hlavní výhodou stroje je zjednodušení a zrychlení výrobního procesu a trojnásobné zvětšení pracovního prostoru stroje oproti velikostně srovnatelným strojům na trhu. Další z výhod je snížení energetických nároků na výrobu.

**Klíčová slova:** CNC stroj — výroba ozubení — prototyp — frézování — elektronika — software

**Příložené materiály:** N/A

\*[xkraic00@stud.fit.vutbr.cz](mailto:xkraic00@stud.fit.vutbr.cz), *Fakulta informačních technologií, Vysoké učení technické v Brně*

\*\*[145015@vutbr.cz](mailto:145015@vutbr.cz), *Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně*

## 1. Úvod

Na počátku byla otázka „jak bychom si mohli vyrábět vlastní ozubená kola a řemenice pro naše jiné projekty?“ Z předchozí zkušenosti jsme věděli, že výroba řemenic a ozubených kol není na tříosé frézce úplně nejlepší a nejrychlejší. Proto jsme začali vymýšlet jednoduchý stolní stroj k těmto účelům. Postupem času se ale z malého stroje stával větší a větší stroj, kterému přibývaly stále nové funkce. Výsledkem je multifunkční zařízení na výrobu ozubení pro kola, řemenice a drážkové hřídele. Projekt jsme si tedy rozdělili na dvě části. Jedna je z pohledu konstrukce mechaniky stroje, viz kapitola 2, na které pracuje Libor Danda z Fakulty strojního inženýrství (Ústav

konstruování) [?]. A druhá část je z pohledu elektroniky, viz kapitola 3, a řídicího softwaru, viz kapitola 4, kterou zpracovává Lukáš Kraicinger z Fakulty informačních technologií [?]. Oba jsme si zapsali svoji část projektu jako diplomovou práci. Výsledkem tohoto komplexního týmového projektu je funkční prototyp CNC (Computer Numeric Control) stroje. Hlavní výhodou stroje je zjednodušení a zrychlení výrobního procesu integrováním specifického CAM<sup>1</sup> systému přímo do softwaru stroje. Parametry pro výrobu lze jednoduše zadávat přímo na stroji pomocí dotykového displeje nebo lze software spustit na jiném

<sup>1</sup>Computer Aided Manufacturing (CAM) systémy slouží pro vygenerování řídicího kódu pro řízení CNC stroje

PC bez stroje a připravit výrobu vzdáleně. Pro výrobu tedy už není potřeba další CAD (Computer aided design) ani CAM systém. Dalším významnou vlastností stroje je trojnásobně větší pracovní prostor stroje oproti velikostně srovnatelným strojům na trhu při současném snížení energetických nároků na výrobu. Jelikož v dnešní době stále více prodává design stroje než jeho parametry, byla do vývoje zapojena designérka Michaela Šoltysová, studentka Fakulty strojního inženýrství, která vytvořila design stroje. Tento článek shrnuje pouze podstatné informace o celém projektu, přičemž všechny informace se téměř nevešly do dvou diplomových prací. V době psaní tohoto článku byl stroj ve fázi sestavování, proto zde nejsou uvedeny žádné informace o testování stroje a výrobě ozubení.

Tento projekt vychází především ze zkušeností nasbíraných při tvorbě vlastních předchozích projektů. Ve spolupráci s Liborem Dandou jsme postavili dvě CNC frézky, 3D tiskárnu, řízenou montáž pro astronomický dalekohled [?], CNC laser a meteorologickou stanici [?].

## 2. Prototyp stroje

Jak bylo zmíněno v úvodu, stroj je primárně určen na výrobu ozubených kol. Avšak jeho možnosti jsou daleko rozsáhlejší. Lze na něm vyrábět všechny druhy vnějšího ozubení, včetně šikmého ozubení se sklonem zubu do  $\pm 25$  stupňů nebo frézovat drážky do hřídelí. Pracovní prostor dovoluje vyrábět ozubení na polotovarech v maximální délce 350 mm a 200 mm v průměru. Modul evolventního ozubení může být až do 2,5 mm, což je ekvivalent rovnobokého drážkování hřídelí s šířkou drážky 5 mm. Stroj zvládne obrobit měkkou uhlíkovou ocel, nezelezné kovy a technické plasty, což je dostatečně velký rozsah materiálů.

**[Vývoj]** Vývoj nového stroje probíhal návrhem několika variant koncepčního návrhu, které slouží pro určení rozložení hlavních částí stroje a posléze výběrem nejlepší varianty. Následovalo vymodelování detailního 3D modelu stroje v aplikaci Autodesk Inventor. Tento model je složen z více jak dvou tisíc samostatných součástek a dílů. Hmotnost kompletního stroje se všemi kryty je odhadována 500 až 600 kg. Vnější rozměry stroje jsou 1130 mm do šířky, 940 mm do hloubky a 1520 mm do výšky. Ve srovnání s jinými již dostupnými stroji je náš stroj kompaktní a zabírá pouze 1 m<sup>2</sup> zástavbové plochy. Obrázek 1 zobrazuje finální vzhled stroje. Uvnitř podstavy stroje je samostatná filtrace procesní kapaliny, podsystemy pneumatického systému a rozvaděč s elektronikou.

Stroj má celkem 6 pohybových os, z toho 3 lineární a 3 rotační. Lineární osy XYZ zprostředkovávají po-



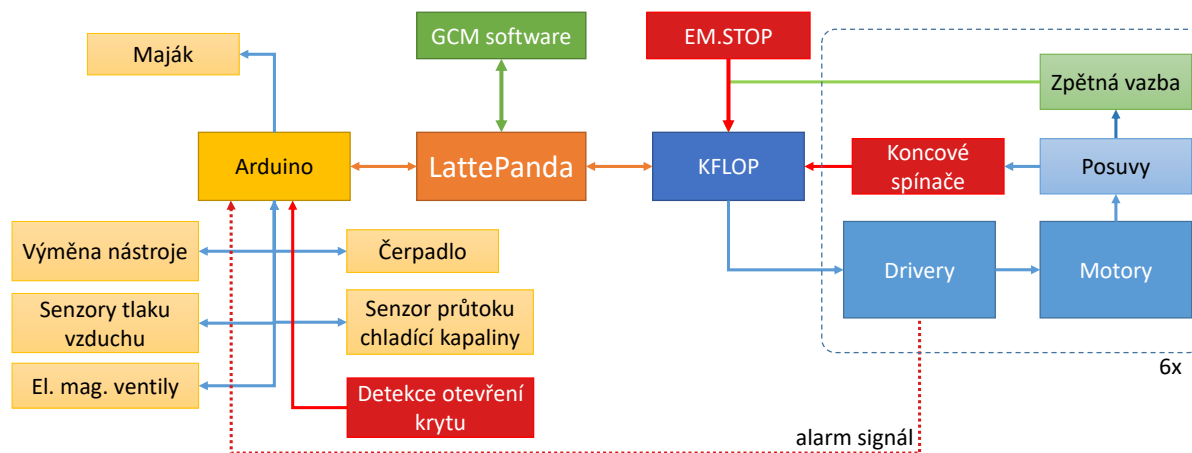
Obrázek 1. Finální model stroje

hyb nástroje v kartézském souřadnicovém systému. Tedy osa X pro pohyb do stran, osa Y nahoru a dolů a osa Z dopředu a dozadu. Zbylé rotační osy jsou označeny písmeny ABC. Osa A je určena pro uchycení polotovaru pomocí sklíčidla a leží v průsečíku osy Y a Z. Osa B je tvořena nástrojovým vřetenem, které drží nástroj pomocí držáku BT30. Osa C slouží pro natáčení osy Z v kolmém směru osy Y, což se využije při výrobě šikmého ozubení.

## 3. Elektronika CNC stroje

Jelikož je elektronika stroje velice rozsáhlá, je rozdělena na několik částí. V diagramu 2 je uprostřed vidět hlavní řídicí počítač LattePanda, který je popsaný v podkapitole LattePanda a dotykové LCD. V levé části je obvod řídicí periferie stroje, viz podkapitola Periferie. V pravé části je řízení pohybu os stroje interpolační deskou KFLOP a zapojení driverů s motory a zpětnou vazbou, viz podkapitola Interpolační deska KFLOP a podkapitola Motory.

**[LattePanda a dotykové LCD]** Hlavním počítačem, na kterém běží řídicí software celého stroje je nový minipočítač LattePanda (r.v. 2016). Jedná se o počítač se čtyřjádrovým procesor Intel Atom Cherry Trail pracující v režimu turboboost až na 1.8 GHz s integrovanou grafickou kartou pracující na 500 MHz [?]. Model použitý v této práci má 4 GB paměti RAM typu DDR3L a 64 GB flash paměť typu eMMC pro operační systém. Integrovaná je bezdrátová komunikace Wifi a nízkopříkonové Bluetooth verze 4. Součástí desky je také Arduino s mikročipem Atmega32u4 (s bootload-



**Obrázek 2.** Diagram zapojení stroje

erem Arduino Leonardo). Procesor Intel umožňuje volně použít 10 GPIO pinů, které obsahují hardwarový sériový port. Velikostí je deska srovnatelná s velikostí Raspberry Pi. K počítači je přímo od výrobce dostupný 7“ LCD displej s kapacitní dotykovou vrstvou, která zvládá až 5 dotyků současně. Displej je použit jako hlavní vstup uživatele při ovládání stroje. Počítač s připojeným LCD se napájí 5 V a odebírá přibližně 2 A. Výhodou počítače jsou jeho malé rozměry a kompatibilní dotykové LCD umožňující zabudování do vlastního stroje. Dále zvládne provozovat plnohodnotný operační systém Windows 10.

**[Interpolační deska KFLOP]** K řízení pohybu os stroje slouží univerzální interpolační deska KFLOP od americké společnosti Dynamotion [?]. Je určena přímo pro řízení CNC strojů všech druhů – frézky, soustruhy, lasery, roboti, 3D tiskárny atd. S hostitelským počítačem, v tomto případě LattePanda, je propojena pomocí USB rozhraní. Z PC přijímá požadavky interpolace do vyrovnávací paměti, kvůli zabránění pozastavování výroby při krátkých pohybech. Tato deska byla vybrána také proto, že všechny osy mohou být zapojeny ve zpětnovazebním řízení pro okamžitou korekci pozice. Korekce se provádí pomocí PID regulátoru a frekvenčních filtrů, které filtrují šum na signálu z enkodérů. Další výhodou těchto filtrů je zabránění rezonování stroje při rezonančních frekvencích. Jednotka (deska) KFLOP je osazena obvodem FPGA a procesorem DSP TMS320C67-200MHz 1.2 GFLOP s 16 MB SDRAM pamětí a 2 MB FLASH pamětí. Obvody dokážou souběžně interpolovat až 8 os (má 8 nezávislých kanálů), které jsou vzorkovány každých 90 mikrosekund. Všechny výpočty pro pohyby os jsou prováděny na 64-bit FP.

K dispozici jsou 4 vstupně-výstupní porty s celkovým počtem 66 pinů (45 IO pinů). Všechny tyto porty pracují na napětí 3,3 V, nicméně dva porty podporují 5 V toleranci vstupního napětí. Tyto porty jsou použity pro připojení driverů motorů, enkodérů zpětné vazby a koncových spínačů.

V DSP procesoru může současně běžet až 7 vláken s uživatelskými skriptami napsanými v jazyce C. Tyto skripty konfiguruje nastavení kanálů, definují vstupní a výstupní piny, způsob generování signálu pro motory a mohou obsluhovat řízení periferních zařízení, jako je řízení vřetene, chlazení řezu a ruční ovládání pomocí MPG (manual pulse generator). Na tomto stroji skripty nastavují pouze vlastnosti kanálů, provádí parkování os na referenční spínače a kontrolují stisk červeného emergency tlačítka. Řízení více periferních zařízení z této desky je omezeno využitím všech VV pinů.

**[Periferie]** Další periferní zařízení jsou tedy řízena pomocí univerzální desky Arduino Mega 2560 s mikroprocesorem Atmel ATmega 2560 připojené do hlavního PC pomocí USB. Ta provádí kontrolu tlaku pneumatického systému a řídí elektromagnetické ventily, které ovládají stlačený vzduch pro vyhození nástroje z nástrojového vřeteníku a přitlačování koníku. Další řízenou částí je chlazení řezu pomocí chladicí kapaliny, ta je přiváděna k řezu pomocí čerpadla ovládaného pomocí relé. Nádrž s chladicí kapalinou obsahuje senzor hladiny, který společně s průtokoměrem na přívodní hadici slouží pro detekci problémů s chlazením způsobené ucpáním odpadovým materiálem. Do Arduino jsou také přivedeny fault signály z motorových driverů. Ty v případě poruchy zabrání spuštění výroby. Další částí ovlivňující spuštění výroby je spínač na otevíracím krytu stroje do pracovní oblasti. Stroj má zabudovaný signalizační maják, který je vyroben pomocí říditelného LED pásu a je nestandardně umístěn po celé délce stroje. Maják se řídí pomocí jedné sériové sběrnice.

**[Motory]** Pohyb os zajišťují 4 krokové motory a 2 servomotory. Krokové motory na ose X a Y mají přírubu NEMA34 a statický moment 10 Nm při napětí 60 V a jmenovitém proudu 5 A. Na ose C a Z jsou krokové motory s přírubou NEMA23 a statickým momentem 1,4 Nm při napětí 60 V a jmenovitém proudu 3 A. Krokové motory jsou napájeny jedním zdrojem s výstupním napětím 60 V a příkonem 1 kW. Servomotory jsou pro osy A a B, kde osa A je pro otáčení

obrobku a osa B je pro otáčení nástroje. Každý motor má výkon 1.8 kW a je napájen napětím 220 V. Výhoda použití servomotorů je hlavně v jejich možnosti přesného polohování při vysoké rychlosti a také konstantní moment při vysokých otáčkách. Nevýhodou je vysoká cena za motor a driver.

**[Rozvaděč stroje]** Veškerá elektronika je umístěna v rozvaděči v zadní části stroje. Stroj celý je napájen jednou fází 220 V a ve výsledku má stroj celkový příkon přibližně 6 kW. Hlavní přívod je opatřen jističi a stykačem zabráňující znovu zapnutí při výpadku elektrické energie. U rozvaděče se musí řešit i takové detaily jako jsou vibrace stroje, které se přenášejí i do rozvodné skříně. Tam by mohly způsobit problémy uvolňování šroubků v kabelových svorkách.

**[Elektromagnetická kompatibilita]** Elektronika je navržena, aby splňovala požadavky na elektromagnetickou kompatibilitu (EMC) v průmyslovém prostředí. Před každým zdrojem i servodriverem je předřazen odrušovací filtr. Použity jsou jednofázové filtry od společnosti Elfis. Tyto filtry pokrývají frekvenční pásmo od 150 kHz až 30 MHz. Jejich unikající proud je 0,35 mA při 230 V. U zdrojů je filtr orientován, tak aby filtroval šum ze sítě. Filtr před servodriverem je opačně aby filtroval šum generovaný řízením servomotoru. Další opatření proti rušení je použití stíněných kabelů a umístění elektroniky do plechového bedny rozvaděče.

#### 4. Softwarové vybavení navrhovaného CNC stroje

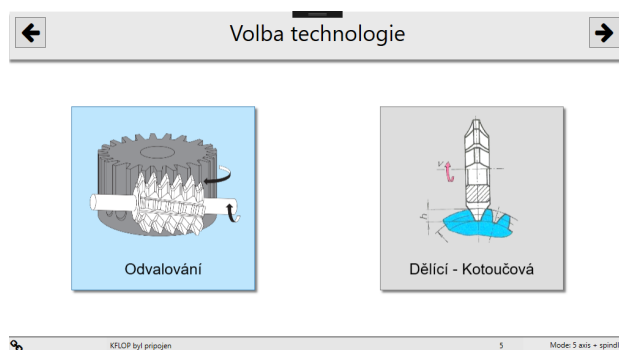
Hlavní řídicí software, který řídí celý stroj, běží na již zmíněném počítači LattePanda. Software se zkráceně nazývá GCM podle anglického názvu „gear cutting machine“. Aplikace je vytvořena v jazyce C# za pomoci frameworku .NET. Hlavními důvody zvolení toho jazyka bylo, že PC umožňuje běh plnohodnotných Windows a že výrobce interpolační desky KFLOP dodává knihovny pro komunikaci s deskou právě pro tento jazyk. Vývoj probíhal v prostředí Microsoft Visual Studio. Aplikace měla být původně vytvořena jako aplikace do nového prostředí Universal Windows, nicméně zde se vyskytly problémy s kompatibilitou knihoven pro KFLOP, proto je aplikace nakonec vytvořena pomocí knihovny Windows Presentation Foundation (WPF). Graficky je aplikace popsána pomocí jazyka XAML a obsahuje náležitosti návrhového vzoru Model–view–viewmodel (MVVM). Aplikace je primárně určena pro dotykový displej stroje, kde je spuštěna přes celou obrazovku. To ukazuje obrázek 3, kde je zobrazeno hlavní menu s velkými tlačítky pro ovládání prsty. Aplikaci lze spustit také na běžném osobním

počítači a chystat výrobu mimo stroj. Připravený projekt je možné poté nahrát do stroje pomocí počítačové sítě. Aplikace mají podporu pro přímou komunikaci mezi sebou, což se používá i pro vzdálenou kontrolu stroje a výroby. Nicméně nelze se strojem vzdáleně pohybovat ani spouštět výrobu.



Obrázek 3. Hlavní menu aplikace GCM

**[Vlastní CAM systém]** Jak bylo zmíněno v úvodu, stroj je použitelný i bez použití dalšího softwaru na přípravu dat pro výrobu. Proto je v softwaru implementována funkcionality vlastního specifického CAM systému. Ten umožňuje generovat řídicí kód pro výrobu ozubení odvalovacím způsobem a dělicím způsobem pomocí kotoučové frézy, viz obrázek 4. Všechny parametry pro generátor jsou nastaveny pomocí projektů.



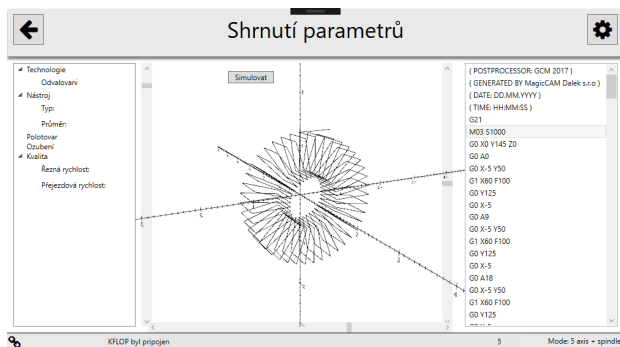
Obrázek 4. Průvodce vytváření projektu - volba technologie výroby

**[Řídicí kód]** Generátor vytváří standardizovaný řídicí kód RS-274, obecně známý jako G-kód. Jedná se o nejpoužívanější řídicí kód pro CNC stroje, který navzdory standardu není většinou mezi stroji kompatibilní. Kvůli tomu používají CAM systémy postprocesory určené vždy pro daný stroj. Velcí výrobci strojů, jako je např. Fanuc či Siemens vytvářejí své vlastní varianty určené pouze pro jejich stroje či řídicí systémy. Tento vývoj byl dán především globálním rozložením těchto výrobců. G-kód je textový kód interpretovaný po řádcích. Příkazy jsou označeny písmenem G či M bezprostředně následované číslem. Některé příkazy jsou doplněny o parametry označené také počátečním



písmenem. Například příkaz pro lineární pracovní posuv na dané souřadnice je dán příkazem: G01 X10 Y15 Z0 F1000, kde X, Y a Z jsou souřadnice s hodnotou pozice a F určuje rychlost pohybu v jednotkách definovaného souřadného systému (mm/min nebo in/min). Dalším příkladem může být M03 S1000 pro roztočení vřetene ve směru hodinových ručiček, kde S označuje otáčky za minutu.

**[Projekty]** Práce v navrženém systému začíná založením projektu, který slouží i pro případné opakování výroby. Projekt obsahuje veškeré potřebné informace a parametry pro výrobu ozubení. Parametry se do projektu zadávají pomocí přehledného průvodce, viz obrázek 4. Průvodce je rozdělen na několik obrazovek, které jsou logicky řazeny a provádí uživatele výběrem technologie výroby, pracovního nástroje, kvalitou povrchu, nastavením pracovních rychlostí, přejezdů a vlastností vyráběného ozubeného kola. Zvolením kvality povrchu se přednastaví pracovní rychlosti.



**Obrázek 5.** Shrnutí parametrů a simulace výroby

**[Simulace výroby]** Po dokončení průvodce je vygenerován řídicí kód pro řízení pohybu stroje a periferních zařízení. Tento kód lze odsimulovat a zobrazit výslednou trajektorii nástroje ve 3D prostoru, viz obrázek 5. Simulace také vypočítá, jak dlouho bude výroba probíhat, jaká se ujede vzdálenost a jaké bylo opotřebení nástroje. Generátor v průběhu generování kontroluje, aby nevznikla nechtěná kolize nástroje s obrobkem či nájezd osy na koncový spínač (případně mechanický doraz). V případě, že je řídicí kód po simulaci podle představ uživatele, lze přejít na výrobu. Při výrobě se zobrazuje aktuální pozice nástroje a pracovní rychlost posuvu, kterou lze ručně měnit v rozsahu 0 až 200 %.

**[Výroba]** Před výrobou je nutné předdefinovat chování os stroje. Při použití odvalovacího způsobu výroby jsou osy A a B elektronicky spřaženy pomocí přesně vypočítaného převodového poměru, protože je nutné, aby se otočení os nacházelo vždy ve správné poloze. K tomu přispívá použitá zpětná vazba, která při záběru nástroje do polotovaru a následném zpomalení jedné osy zpomalí osu druhou. U druhého typu výroby –

dělicí způsob – jsou osy řízeny zvlášť, protože osa A se pootočí vždy při vyrobení jednoho zubu.

**[Databáze nástrojů]** Jako každý CAM software obsahuje i mnou navržený program databázi nástrojů. Ta umožňuje přidávat nové nástroje a editovat stávající. Každý nástroj je definován jeho vlastnostmi, jako je typ technologie, pro kterou je určený, průměrem, šířkou, rozsahem otáček atd. Součástí jsou také statistiky používání nástrojů a jejich opotřebení.

**[Ruční ovládání stroje]** Další důležitou funkcí je možnost ovládat stroj ručně, tj. pohybovat osami stroje. K tomuto je vytvořena zvlášť obrazovka s šipkami ukazující směr pohybu. Při držení šipky se osa pohybuje nastavenou rychlostí. V kombinaci s tlačítkem rychloposuvu se osa pohybuje 100 % nejvyšší možné rychlosti osy stroje. Obrazovka ukazuje aktuální pozici čela nástroje, které lze přepínat mezi globálními a lokálními souřadnicemi. Ovládací prvky se mění podle vybraného pracovního módu stroje. Mód stroje se definuje podle vybrané technologie výroby, viz odstavce Výroba kapitoly 4.

Software pracuje implicitně s metrickou soustavou, ale je připraven i na angloamerickou měrnou soustavu, to také vychází z použité americké desky KFLOP, kde jsou všechny parametry interpolace uváděny palci.

## 5. Bezpečnost

Bezpečnost je řešena jak z pohledu obsluhy stroje, tak z pohledu nástroje a vyráběného dílu. Výsledkem jakýchkoliv neočekávaných událostí musí být zastavení stroje a vypnutí napájení pohybových systémů. Za neočekávanou událost se považuje otevření vstupního krytu stroje do pracovního prostoru, zastavení přívodu stlačeného vzduchu do stroje nebo stisk bezpečnostního stop tlačítka. Stroj má dvě bezpečnostní stop tlačítka, která jsou umístěná z přední strany a z pravé boční strany. Výrobní proces nejde spustit, pokud není přiveden požadovaný tlak stlačeného vzduchu.

## 6. Srovnání s konkurencí

Tabulka 1 ukazuje porovnání strojů stejné rozměrové kategorie od zavedených výrobců. Přestože jsou základní rozměry těchto strojů velmi podobné tomu našemu, tak je zde na první pohled patrný zásadní rozdíl ve velikosti pracovního prostoru. Jak si můžeme všimnout, tak se u obou uvedených strojů opakuje velikost pracovního prostoru do průměru 80 mm a délky 100 mm, který tyto stroje předurčuje k výrobě pouze malých ozubených kol nebo řemenic. Využití našeho stroje je daleko rozsáhlejší, než je tomu u konkurence. Díky výrazně delšímu pracovnímu prostoru (350 mm), náš stroj umožňuje také výrobu drážkování na hřídelích,

**Tabulka 1.** Srovnání parametrů konkurenčních strojů [?][?] - rozměry v mm

Stroje	Náš stroj	Koepfer W90	Affolter AF110
Modul ozubení	2,5	1	1,5
Pracovní prostor - průměr	200	40	60
Pracovní prostor - délka	350	80	90
Úhel sklonu nástroje ± [stupně]	25	4	30
Zástavbové rozměry (š x h x v)	1130x940x1520	1150x1050x1800	1180x1660x2589
Hmotnost ± [kg]	500	800	1800

kteř se jinak musí vyrábět na velkých strojích. Většina konkurenčních strojů této rozměrové kategorie je specializována na výrobu úzkého spektra typů ozubení a neposkytují tak možnost výroby více druhů ozubení v jednom stroji. Tím se náš stroj výrazně odlišuje a mimo větší velikosti pracovního prostoru poskytuje také možnost výroby velmi širokého spektra typů ozubení, které je limitováno pouze maximálním průřezem zubové mezery (velikostí samotného ozubení) a škálou nástrojů poskytovaných výrobcí nástrojových systémů. Díky parametrům, které nový stroj poskytuje, je možné vyrábět ozubení i na součástech, na které se jinak musí použít stroj o několik kategorií větší. Tato výroba je poté značně neekonomická z důvodu vysokých provozních nákladů a potenciál takového stroje se ani zdaleka nevyužije.

## 7. Závěr

Hlavním přínosem nového stroje je kompaktnost jak z konstrukčního hlediska, tak i řízení a tvorby výsledného produktu. Stroj je určen pro malé a střední podniky s kusovou výrobou atypických nebo prototypových dílů. Používá řadu moderních technologií ať už v konstrukci nebo v softwaru a elektronice. Použití dotykového LCD potvrzuje rostoucí trend užití této technologie ve strojírenství. Stejně tak design stroje je důležitý pro zvýšení prodejnosti. Podařilo se zjednodušit výrobní proces ozubení a tím zlevnit samotnou výrobu. Finální cena nového stroje je odhadována na 500 až 600 tisíc Kč. Projekt ukazuje, jak důležitá je kooperace členů týmu, neboť takto velký projekt by bez této kooperace vůbec nemohl vzniknout. Programátor musí mít představu, jak má stroj fungovat a jak je konstrukčně řešen a konstruktér musí vědět, jak se, co bude řídit a ovládat. Dotáhnout projekt výroby funkčního CNC obráběcího stroje až do prodejní fáze a zaručit dostatečnou kvalitu a konkurenceschopnost je úkol pro tým lidí z různých oborů. Stroj bude nutné v budoucnu doplnit o ruční ovladač, kterým bude možné pohybovat osami stroje, protože dotyková obrazovka neposkytuje zpětnou vazbu stisku tlačítka bez sledování displeje. Ovladač proto musí mít mechanická tlačítka se zřetelným stiskem. Dalším rozšířením bude bezdrátová dotyková

sonda pro automatizované určení polohy polotovaru. Další verze stroje by mohla být rozšířena i o možnosti soustružení a frézování. To by ovšem požadovalo konstrukční změny a zvětšení celého stroje, čímž by se stroj přiblížil spíše k obráběcímu centru.

## 8. Poděkování

Touto cestou bychom rádi poděkovali Michaele Šoltysové za tvorbu profesionálního designu stroje, dále panu Josefu Spěvákovi za konstrukční připomínky a na závěr rodičům za finanční podporu a pracovní prostory.

## Literatura