

# INOVACE ŘÍDICÍHO SYSTÉMU JEDNOÚČELOVÉHO DŘEVOOBRÁBĚCÍHO CNC STROJE

Adam Liberský

Sekce – MECHATRONIKA

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií, 3. ročník

Bakalářský studijní program – MECHATRONIKA

**Abstrakt:** Tato práce popisuje návrh a realizaci nového řídicího systému pro CNC stroj určený k výrobě dřevěných obalů na skleněné lahve. V rámci práce byl vyvinut systém, který zjednodušuje ovládání stroje a zvyšuje bezpečnost provozu minimalizací rizikových stavů způsobených lidským faktorem. Nový řídicí software je implementován na platformě Raspberry Pi a zahrnuje grafické uživatelské rozhraní, komunikační logiku, bezpečnostní prvky a algoritmy pro řízení pohybu v reálném čase. Hlavním výstupem je funkční software s rozšiřitelnou databází lahví, který na základě vstupních parametrů automaticky generuje trajektorii obráběcího nástroje.

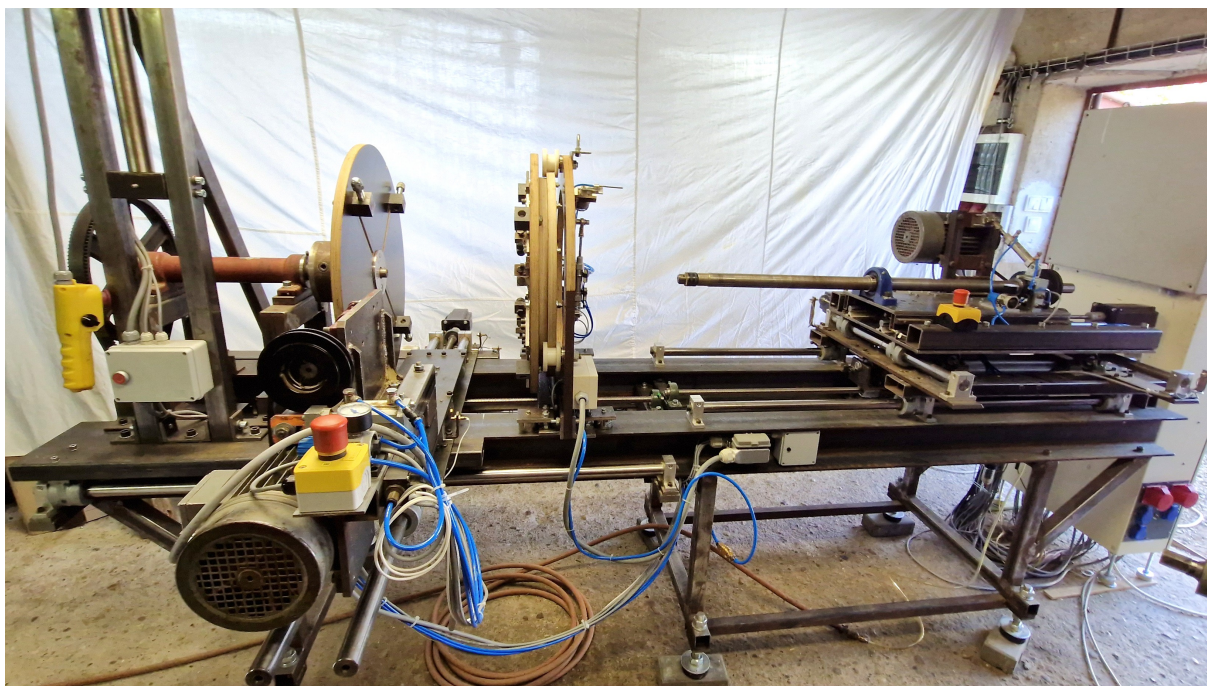
**Klíčová slova:** CNC, Raspberry Pi, dřevěné obaly

## 1 Úvod

V tomto příspěvku čerpám ze své bakalářské práce [2], která je zaměřena na toto téma. Bakalářskou prací jsem navázal na svou maturitní práci, jejímž obsahem byl návrh konstrukce jednoúčelového dřevoobráběcího CNC stroje, projekce jeho elektroinstalace a implementace komerčního řídicího systému Mach3 (více v manuálu [1]) s přídavnou okolní logikou. Stroj byl vytvořen pro výrobu dřevěných obalů pro skleněné lahve ze surových špalků.

Dřevěné obaly představují neotřelé dárkové balení, nejčastěji lahví s alkoholickými nápoji. Takovéto balení je vhodné k příležitosti svátků, narozenin, výročí, ale i jako forma svatebního daru apod. Pro jejich výrobu jsem postavil tento stroj z důvodu potřeby hlubokých dlabů, které jsou obtížné na výrobu ručními nástroji nebo konvenčními obráběcími stroji. Stavba celého stroje, jakožto i jeho řídicího systému, byla a je prováděna tak, aby byla zachována funkčnost a spolehlivost při co nejnižších nákladech.

Původní softwarové vybavení neposkytovalo plnou kontrolu nad strojem kvůli jeho atypickému účelu. Pro zvýšení ovladatelnosti a pokrytí většiny funkcí byl řídicí systém doplněn o reléovou logiku a další podpůrné obvody. V tomto provedení byl stroj funkční, nikoliv však uživatelsky přívětivý a časově efektivní.



Obrázek 1: Jednúčelový dřevoobráběcí CNC stroj

## 2 Výroba obalu – přehled

Konstrukce obalu umožňuje několik základních konfigurací. Prvním volitelným prvkem je provedení horního víka, které může být koncipováno dvěma způsoby:

- **Odnímatelné víko** je usazeno na osazení a zajištěno permanentními magnety. Toto řešení umožňuje snadné vyjmutí a opětovné vložení láhve bez poškození obalu.
- **Pevné víko** je uloženo s přesahem. V tomto případě je pro vyjmutí láhve nutné obal rozštípnout.

Dalším volitelným prvkem je boční náhledové okno etikety. Kombinací těchto konstrukčních prvků vznikají čtyři základní varianty obalu.

Proces obrábění probíhá v následujícím pořadí:

1. Předvrtání špalku\*
2. Zarovnání čela
3. Frézování osazení pro víko
4. Frézování úložného prostoru pro láhev
5. Dlabání náhledového okna\*
6. Výroba víka\* / upíchnutí obrobku

\* Úkon proběhne pouze, pokud je vyžadován.



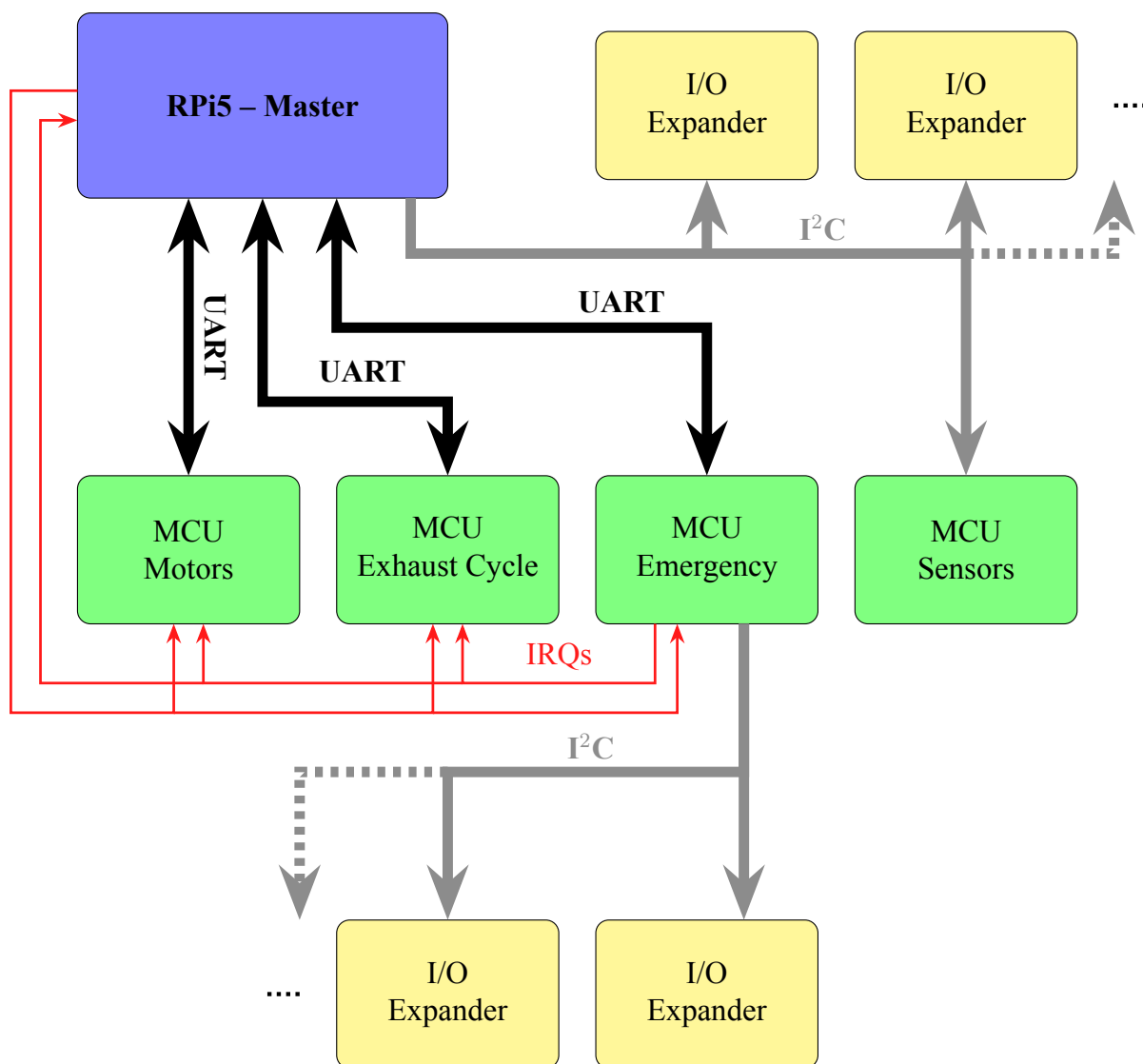
Obrázek 2: Příklad hotového balení

### 3 Původní řídicí systém

Původně používaným řídicím softwarem byl komerční software *Mach3 Mill* [1]. Tento software je určen pro CNC frézky až se šesti řízenými osami. Propojení řídicího počítače s hardwarem stroje bylo realizováno pomocí až dvou LPT portů a oddělovacích desek určených přímo pro Mach3. Pro danou aplikaci je však zásadní vyšší počet vstupů a výstupů, které původní řešení neposkytovalo. Oddělovací deska disponuje pouze 5 digitálními vstupy, 12 digitálními výstupy a převodníkem PWM na analogový signál 0–10 V. Až 3 DO mohou být konfigurovány jako reléové (dle typu oddělovací desky). Nedostatek vstupů/výstupů (I/O) byl kompenzován reléovou logikou. Toto řešení bylo zastaralé, pomalé a náchylné k chybám při přenosu logických úrovní přes reléové kontakty, které často trpí povrchovou oxidací. Reléová logika se nastavovala především ovládacími prvky na hardwarovém panelu operátora.

### 4 Hardwarová platforma nového řídicího systému

Volba řídicího hardwaru byla podmíněna požadavkem na distribuovanou architekturu, kde je striktně odděleno uživatelské rozhraní (GUI) od kritických úloh řízení v reálném čase (*real-time*). Jako hlavní výpočetní jednotka (Master) byl zvolen jednodeskový počítač Raspberry Pi 5. Pro koncové nízkourovňové řízení byly využity mikrokontroléry Raspberry Pi Pico 2W. Celkové propojení bloků mezi sebou je schematicky zobrazeno na obrázku 3.



Obrázek 3: Schematické zobrazení propojení funkčních bloků

#### 4.1 Master jednotka – Raspberry Pi 5

Raspberry Pi 5 (dokumentace: [3]) plní v systému roli nadřazeného koordinátora. Je osazeno 64-bitovým čtyřjádrovým procesorem Arm Cortex-A76 s taktovací frekvencí 2,4 GHz. Tento vysoký výpočetní výkon a dostatek operační paměti jsou nezbytné pro plynulý běh grafického uživatelského rozhraní a výpočetní operace.

Vzhledem k tomu, že na Raspberry Pi 5 běží standardní operační systém Raspberry Pi OS, vykazuje plánování procesů proměnlivou latenci (*jitter*). Z tohoto důvodu není procesor schopen generovat stabilní vysokofrekvenční pulzy pro řízení krokových motorů. RPi 5 proto funguje jako datový mozek stroje – spravuje databázi lahví, interpretuje uživatelské parametry do trajektorií a ucelené příkazy deleguje podřízeným modulům přes sběrnice UART a I<sup>2</sup>C.

## 4.2 Nízkoúrovňové moduly – Raspberry Pi Pico 2W

Pro splnění podmínek deterministického řízení v reálném čase a fyzické rozšíření I/O portů byly do systému integrovány desky Raspberry Pi Pico 2W (dokumentace: [4]). Ty jsou osazeny mikrokontrolérem RP2350, který disponuje dvěma jádry ARM Cortex-M35P pracujícími na frekvenci až 150 MHz.

Klíčovou vlastností architektury RP2350 jsou programovatelné podsystémy PIO (*Programmable I/O*), které pracují nezávisle na hlavních procesorových jádrech. Tyto bloky zajišťují časování signálů přímo na hardwarové úrovni, což je využito zejména pro plynulé generování pulzů typu *Step/Dir* pro drivery krokových motorů.

## 5 Realizace nového řídicího systému

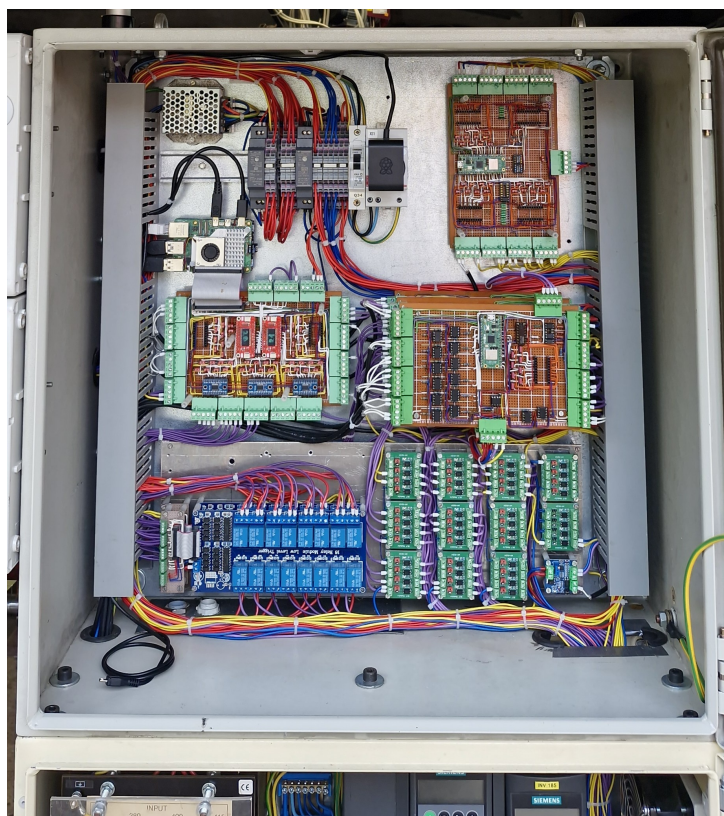
Z pohledu řídicího softwaru je celý CNC stroj chápán jako dva stroje v jednom a pracuje s předpokladem, že oba suporty nikdy nebudou v pohybu ve stejný časový okamžik. Musí ovšem zohledňovat vzájemnou fyzickou polohu, aby nedošlo ke kolizi. Pro tvorbu řídicího softwaru jsem využil programovací jazyky Python (na straně Masteru), C/C++ a Assembler (pro mikrokontroléry). Na fotografiích níže je vidět nově vybavený rozvaděč. Dolní rozvaděč (obr. 5) je určen především pro silovou část elektroinstalace, horní rozvaděč (obr. 4) je vyhrazen pro řídicí obvody.

Architektura softwaru plně využívá výhod výše popsaného hardwaru a implementuje distribuovaný systém řízení, což přináší zásadní výhody v následujících oblastech:

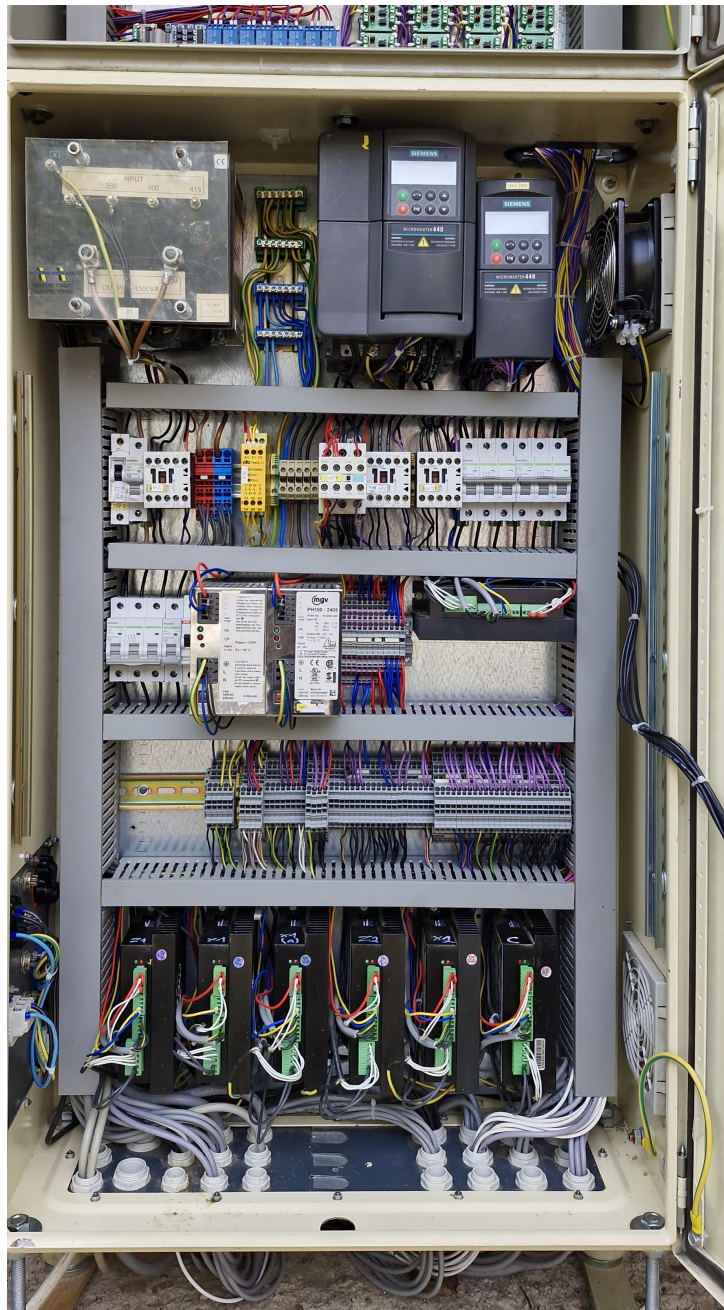
- **Paralelní chod a asynchronní zpracování:** Využití dvou jader mikrokontrolérů RP2350 umožňuje striktní separaci kritických dějů. První jádro každého Pica je vyhrazeno pro obsluhu komunikační logiky (příjem dat z Masteru po UARTu či I<sup>2</sup>C), zatímco druhé jádro nezávisle vykonává samotnou řídicí smyčku daného bloku (např. odlehčovací cyklus či čtení snímačů).
- **Modularita a údržba kódu:** Rozdělení na samostatné logické podsystémy zjednodušuje strukturu programů a usnadňuje budoucí rozšiřování nebo diagnostiku jednotlivých funkcí.
- **Robustnost a bezpečnost:** Klíčovým přínosem je decentralizace bezpečnostních prvků. Bezpečnostní okruh a správa koncových snímačů běží asynchronně na vyhrazených mikrokontrolérech. V případě neočekávané chyby nebo zamrznutí Masteru (RPi 5) během obrábění zůstávají nízkoúrovňové podsystémy plně aktivní. Jsou schopny okamžitě reagovat na signály z koncových spínačů, bezpečně dokončit kritické operace (např. odlehčovací cyklus) nebo okamžitě odstavit stoj do bezpečného stav.

Řídicí systém je rozdělen do následujících bloků:

- Master (RPi5)
- Správa snímačů (RPi Pico 2W)
- Řízení krokových motorů (RPi Pico 2W)
- Řízení odlehčovacího cyklu (RPi Pico 2W)
- Bezpečnostní okruh (RPi Pico 2W)

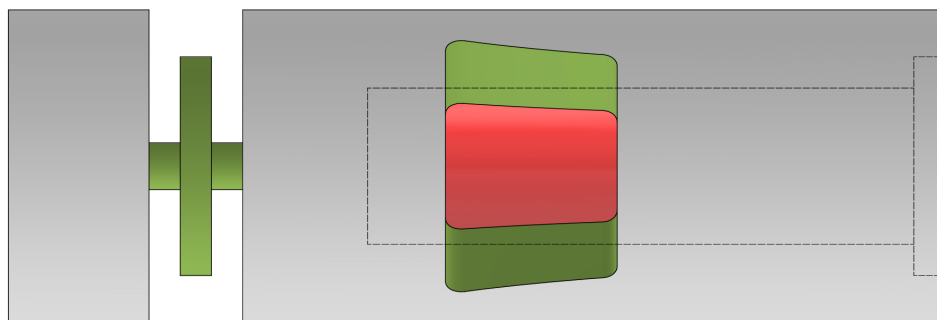


Obrázek 4: Nově vybavený slaboproudý rozvaděč

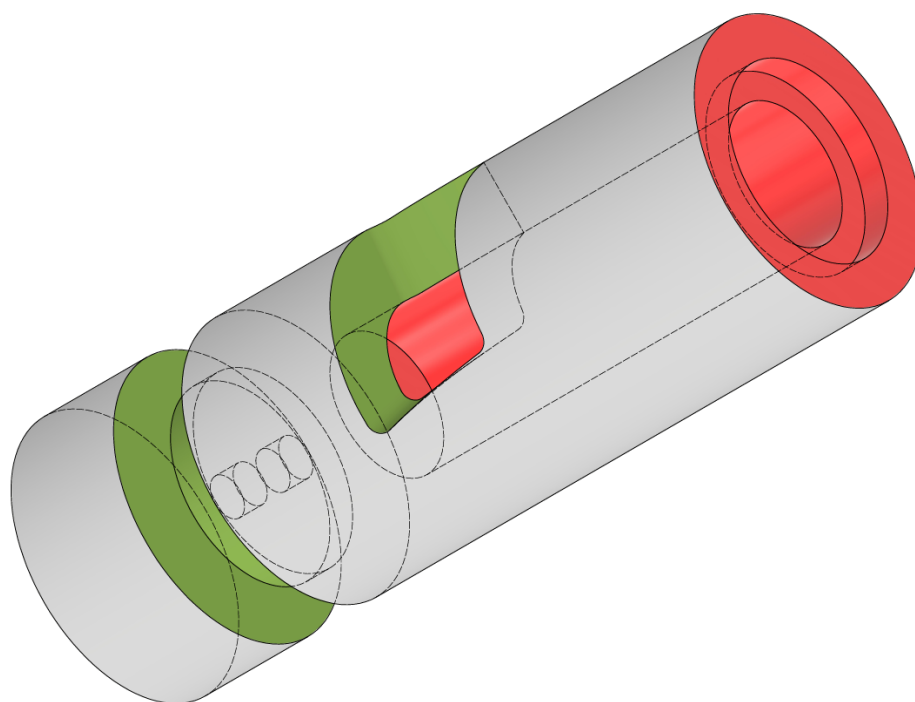


Obrázek 5: Nově vybavený silnoproudý rozvaděč

Konečná podoba polotovaru je znázorněna na obrázcích 6 a 7. Červeně vyznačené povrchy jsou obrobena axiálním suportem, zeleně značené plochy pak suportem radiálním. Finální úprava obalu zahrnuje oddělení jednotlivých částí, dobrou úpravu povrchu a osazení víka neodymovými magnety. U varianty s přesahem víka se doporučuje zaříznout horní čelo obalu i s nasazeným víkem nahrubo na kotoučové pile, čímž se vizuálně sjednotí přechod mezi tělem obalu a víkem.



Obrázek 6: Model polotovaru obalu – 2D



Obrázek 7: Model polotovaru obalu – 3D

## 6 Závěr

Předložená práce se zabývala návrhem a realizací nového řídicího systému pro jednoúčelový CNC stroj určený k dlabání dřevěných obalů pro lahve. Výsledkem je funkční testovací verze systému, která přinesla zvýšení využitelnosti stroje, zlepšení ovladatelnosti a vyšší úroveň bezpečnosti provozu. V rámci prací byla rovněž revidována elektroinstalace stroje tak, aby odpovídala současným technickým požadavkům a potřebám nového hardwarového řešení.

Hlavním přínosem oproti původnímu řešení založenému na komerčním softwaru Mach3 je specializace systému na konkrétní výrobní proces. Díky implementaci konfigurovatelné databáze rozměrů lahví a automatizovanému výpočtu trajektorií byla výrazně zjednodušena příprava výroby. Úloha operátora se nyní omezuje na upevnění polotovaru, základní mechanické nastavení dle instrukcí grafického rozhraní a dohled nad procesem.

Zvolená hardwarová platforma postavená na ekosystému Raspberry Pi v kombinaci s programovacím jazykem Python se ukázala jako vysoce efektivní řešení. Umožnila rychlý vývoj intuitivního grafického rozhraní, interní architekturu softwaru a efektivní práci s daty na master jednotce, přičemž kritické real-time úlohy byly úspěšně delegovány na dedikované mikrokontroléry. Vyvinutý software je navržen jako modulární, což umožňuje jeho budoucí rozšiřování o pokročilé funkce. V následující etapě bude stroj podroben dlouhodobému zátěžovému testování s cílem optimalizovat stabilitu systému a eliminovat případné chyby a nedokonalosti vzniklé ve fázi vývoje.

## Použitá literatura

- [1] FENERTY, Art; PRENTICE, John. *Používáme Mach3Mill: Uživatelská příručka pro instalaci, konfiguraci a používání* [online]. Verze 3.01, Rev 1.84-A2. ArtSoft Software Incorporated, 2010 [cit. 2026-05-11]. Dostupné z: [https://www.cncshop.cz/data/produkty/277/f\\_y1722850616-mach3mill-1-84-cz.pdf](https://www.cncshop.cz/data/produkty/277/f_y1722850616-mach3mill-1-84-cz.pdf). Přeložil Pavel Z.
- [2] *Inovace řídicího systému jednoúčelového dřevoobráběcího CNC stroje*. Liberec, 2026. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
- [3] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi 5* [online]. 2024. [cit. 2026-05-06]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-5/>.
- [4] RASPBERRY PI LTD. *Raspberry Pi Pico 2 W Datasheet* [online]. 63766c4-clean. 2026. [cit. 2026-05-07]. Dostupné z: <https://datasheets.raspberrypi.com/pico/pico-2-w-datasheet.pdf>. Datasheet.