



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

NÁVRH A REALIZACE AUTOMATICKY  
PARAMETRIZOVATELNÉHO TAPE-IN-FEEDERU

DESIGN AND REALIZATION OF AUTOMATICALLY CONFIGURABLE TAPE-IN-  
FEEDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Zmítka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Baštán

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Václav Zmítko

**ID:** 203385

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

## NÁZEV TÉMATU:

**Návrh a realizace automaticky parametrizovatelného tape-in-feederu.**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Popište výrobní systém, jehož součástí bude navrhovaná komponenta tape-in-feederu.
  2. Analyzujte požadavky na navrhovanou komponentu stroje.
  3. Navrhněte a realizujte konstrukci komponenty.
  4. Navrhněte a realizujte HW řídicího systému komponenty.
  5. Navrhněte a implementujte SW pro řídicí systém komponenty.
  6. Komponentu otestujte a zhodnoťte dosažené výsledky.
- Zadání je vytvořeno ve spolupráci se společností EPS Czech.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

SMUTNÝ, Vladimír. Pohony v automatizaci. In: [online]. Dostupné z: <http://cmp.felk.cvut.cz/cmp/courses/ROB/roblec/pohony-notecz.pdf>

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** Ing. Ondřej Baštán

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**  
předseda rady studijního programu

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.



## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a konstrukcí parametrizovatelného tape in feederu, který je odnímatelnou součástí programovacího automatu Storm. Tape in feeder je zařízení určené ke strojovému dávkování čipů do stroje. Parametrizovatelný feeder bude přímo nahraditelný za feedery Hover-Davis, které využívají stejné zástavby a komunikačního rozhraní. Feeder bude navržen tak, že bude mít proměnnou šířku sevření pro různé pásy a bude obsahovat rozšiřující funkce zjednodušující výrobní proces.

## **Klíčová slova**

Feeder, tape, čip, motor, driver, ESP32, senzor, krok

## **Abstract**

This bachelor's thesis deals with design and development of a parameterizable Tape in feeder attachment of an automatized programming machine Storm. Tape in feeder is a device which carries the tape with chips into the machine. This parameterizable feeder will be directly replaceable with the Hover-Davis feeders which are using the same installation space and communication interface. Feeder will be designed in a way, that accommodates for different tape widths and contains functions to simplify manufacturing process.

## **Keywords**

Feeder, tape, chip, motor, driver, ESP32, sensor, step

## **Bibliografická citace:**

ZMÍTKO, Václav. *Návrh a realizace automaticky parametrizovatelného tape-in-feederu*. [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127016>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Ondřej Baštán.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Návrh a realizace automaticky parametrizovatelného tape-in-feederu jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 7. června 2020

.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Ondřeji Baštánovi za navedení na správnou cestu co se týče řídicímu systému, bez kterého by feeder nikdy nedosáhl svých aktuálních kvalit. Děkuji řediteli společnosti EPS Czech Ing. Lud'ku Mrázkovi za příležitost vývoje takového zařízení a za poskytnutí daných podmínek a možností. Dále děkuji Lukáši Krainovi za poradu technologické části mechaniky. Děkuji Martinu Doušovi za konzultaci softwarové části a pomoc při odlad'ování a nastavování parametrů softwaru během testování.

# Obsah

Úvod .....	1
1 Výrobní systém.....	3
1.1 Systém balení čipů T&R.....	3
1.2 ESD – ElectroStatic Discharge.....	4
1.3 Programovací automat STORM.....	4
1.4 Motivace pro vývoj parametrizovatelného feederu.....	5
2 Analýza požadavků na Tape in feeder .....	6
2.1 Řídící elektronika.....	6
2.2 Pohony .....	7
2.3 Obsluha.....	7
3 Návrh a realizace konstrukce Tape in feederu.....	8
3.1 Zástavba .....	8
3.2 Požadované rozměry.....	8
3.3 Pohon.....	9
3.3.1 Motory .....	10
3.3.2 Řemenice a řemeny .....	10
3.4 Navíjení horní pásky.....	11
3.4.1 Kluzná spojka.....	12
3.4.2 Vodící hřídel s kroužkem .....	12
3.4.3 Vedení horní pásky.....	13
3.5 Kryt elektroniky .....	13
3.6 Vedení nosné pásky .....	14
3.7 Systém nastavení šířky.....	15
3.8 Rozmístění senzorů .....	15
3.9 Kryt řemenic.....	16
4 Návrh a realizace HW řídicího systému tape in feederu.....	17
4.1 Blokové schéma řídicího systému.....	17
4.2 Výběr komponent.....	17
4.2.1 Mikrokontroler .....	18
4.2.2 Motorové drivery .....	19
4.2.3 Displej.....	20
4.2.4 Senzory.....	20
4.2.5 Svorkovnice.....	21
4.3 Zapojení komponent.....	22
4.3.1 Digitální vstupy.....	22
4.3.2 Digitální výstupy .....	23
4.3.3 Zdroj.....	24

4.3.4	Drivery .....	26
4.3.5	Zpětná vazba .....	27
4.3.6	Zapojení pinů ESP32 .....	28
4.4	Návrh DPS .....	30
4.5	Realizace hardwaru .....	32
5	Návrh a implementace SW pro řídicí systém.....	33
5.1	Vývojové prostředí.....	33
5.1.1	Zápis firmwaru.....	33
5.2	Struktura programu.....	34
5.2.1	Řídicí smyčky.....	34
5.2.2	Použití EEPROM .....	34
5.3	Řízení IO .....	35
5.3.1	Obsluha tlačítek.....	35
5.3.2	Obsluha senzorů .....	35
5.3.3	Řízení indikátoru.....	36
5.3.4	Obsluha triggeru a zpětné vazby.....	36
5.4	Obsluha displeje .....	36
5.5	Řízení driverů.....	37
5.5.1	Inicializace driverů.....	37
5.5.2	Řízení motoru pro posuv .....	38
5.5.3	Řízení motoru nastavení šířky .....	38
5.6	Struktura menu .....	39
5.6.1	STEPBACK.....	39
5.6.2	STEP .....	39
5.6.3	SPEED .....	40
5.6.4	PITCH.....	40
5.6.5	WIDTH.....	40
5.6.6	JOG TAPE .....	41
5.6.7	JOG WIDTH .....	41
5.6.8	HOME W.....	41
5.6.9	TOG MOTOR.....	41
5.6.10	ROLLOUT T .....	41
6	Testování a zhodnocení.....	42
6.1	První prototyp.....	42
6.2	Druhý prototyp.....	43
6.3	Měření parametrů .....	43
6.3.1	Síla posuvu.....	43
6.3.2	Síla nastavení šířky.....	44
6.3.3	Příkon feederu.....	44

6.3.4 Hmotnost.....	44
6.4 Zhodnocení.....	44
Závěr.....	46
Literatura .....	48
Seznam příloh.....	50



## Seznam obrázků

Obr. 1.1 Parametrizovatelný EPS TapeIN feeder .....	2
Obr. 1.2 Programovací automat STORM a jeho další generace .....	5
Obr. 3.1 Základna feederu pro jeho montáž do stroje dle Hover-Davis.....	8
Obr. 3.2 Odvíjení kotouče, řez základny stroje .....	9
Obr. 3.3 Řemenový rozvod pohonů.....	9
Obr. 3.4 Navíjecí hřídel horní pásky s kluznou spojkou.....	11
Obr. 3.5 Vodící hřídel horní pásky s aretačním kroužkem.....	12
Obr. 3.6 Vedení horní pásky .....	13
Obr. 3.7 Kryt elektroniky feederu .....	14
Obr. 3.8 Vedení nosné pásky .....	14
Obr. 3.9 Rozmístění senzorů PM-125 .....	16
Obr. 3.10 Kryt řemenic.....	16
Obr. 4.1 Blokové schéma řídicího systému .....	17
Obr. 4.2 Vývojový modul DevKitC osazen ESP32 [3] .....	18
Obr. 4.3 Driver bipolárního krokového motoru TMC2130 s SPI [5] .....	19
Obr. 4.4 OLED displej 0,96“ SSD1306 [6] .....	20
Obr. 4.5 Snímač typu miniaturní optická závora Panasonic PM-L25 [8].....	21
Obr. 4.6 Násuvná vidlice do DPS a vidlice na kabel PTR 3,5 mm [9].....	21
Obr. 4.7 Zapojení digitálních vstupů na desce řídicí elektroniky .....	22
Obr. 4.8 Zapojení digitálního výstupu na desce řídicí elektroniky .....	23
Obr. 4.9 Schéma zdroje .....	24
Obr. 4.10 Miniaturní STEP-DOWN DC-DC měnič značky HESAI [11] .....	25
Obr. 4.11 Zapojení motorových driverů .....	26
Obr. 4.12 Zapojení zpětné vazby .....	27
Obr. 4.13 Zapojení pinů modulu mikrokontroleru s ESP32 .....	28
Obr. 4.14 Rozmístění součástek na DPS řídicí elektroniky .....	30
Obr. 4.15 Návrh DPS v programu KiCad.....	31
Obr. 4.16 Sestavení a zadrátování řídicí elektroniky feederu.....	32
Obr. 5.1 Blokové zobrazení chodu programu.....	34
Obr. 5.2 Hlavní obrazovka se zobrazenými parametry .....	37
Obr. 6.1 První prototyp TapeIN Feederu .....	42
Obr. 6.2 Graf závislosti síly posuvu na rychlosti .....	43
Obr. 6.3 Druhý prototyp feederu.....	45

## Seznam tabulek

Tab. 1 - Vlastnosti digitálních pinů ESP32 [2].....	29
Tab. 2 – Seznam předvoleb nastavení rychlostí posuvu pásky .....	40
Tab. 3 – Seznam vypočtených příkonů v různých stavech feederu .....	44

# ÚVOD

Tape in feeder je zařízení, které rozšiřuje možnosti programovacího či osazovacího automatu. Tape in feeder od společnosti EPS Czech, která se zabývá zakázkovým programováním čipů pro automobilový průmysl, musí umět dávkovat čipy z pásky šířky 10–44 mm o zadaný krok. Je nezbytné splňovat veškeré náležitosti na výrobní systém tape and reel. Feeder a všechny jeho součásti musí být ESD (Electro-Static Discharge), být dostatečně rychlý a nesmí škubat s páskou. Pokud by toto nebylo splněno, zpomaloval by celý výrobní systém. Pokud by škubal páskou, vyskakovaly by z ní čipy a mohly by se tím poškodit nebo úplně zničit. Feeder musí být intuitivní a jednoduchý na obsluhu.

V některých zemích, ve kterých se nachází pobočky společnosti, jsou daleko horší možnosti pro zásobování materiálem, jako např. krycí páskou, která se poté snadno může stát nedostatkovou. Proto bude feeder navržen tak, aby se horní páska navíjela a šla znovu požit při dalším tejpování. U prodávaných feederů se krycí páska nijak produktivně nenavíjí, ale pouze se odvíjí a poté vyhazuje.

Feeder bude kontrolovat, zdali nedošlo k prokluzu pásky a na tomto základě dávat zpětnou vazbu stroji, jestli je čip připraven na místě k vyzvednutí přísavkou stroje.

Střed čipu na přísavku se u standardních feederů nastavuje čelní zarážkou feederu a jeho následným posunutím na stroji. Vyvíjený feeder bude obsahovat tlačítka pro jemný posun pásky vpřed a vzad. Nebude proto pro operátora tak náročné vystředit střed připraveného čipu vůči přísavce.

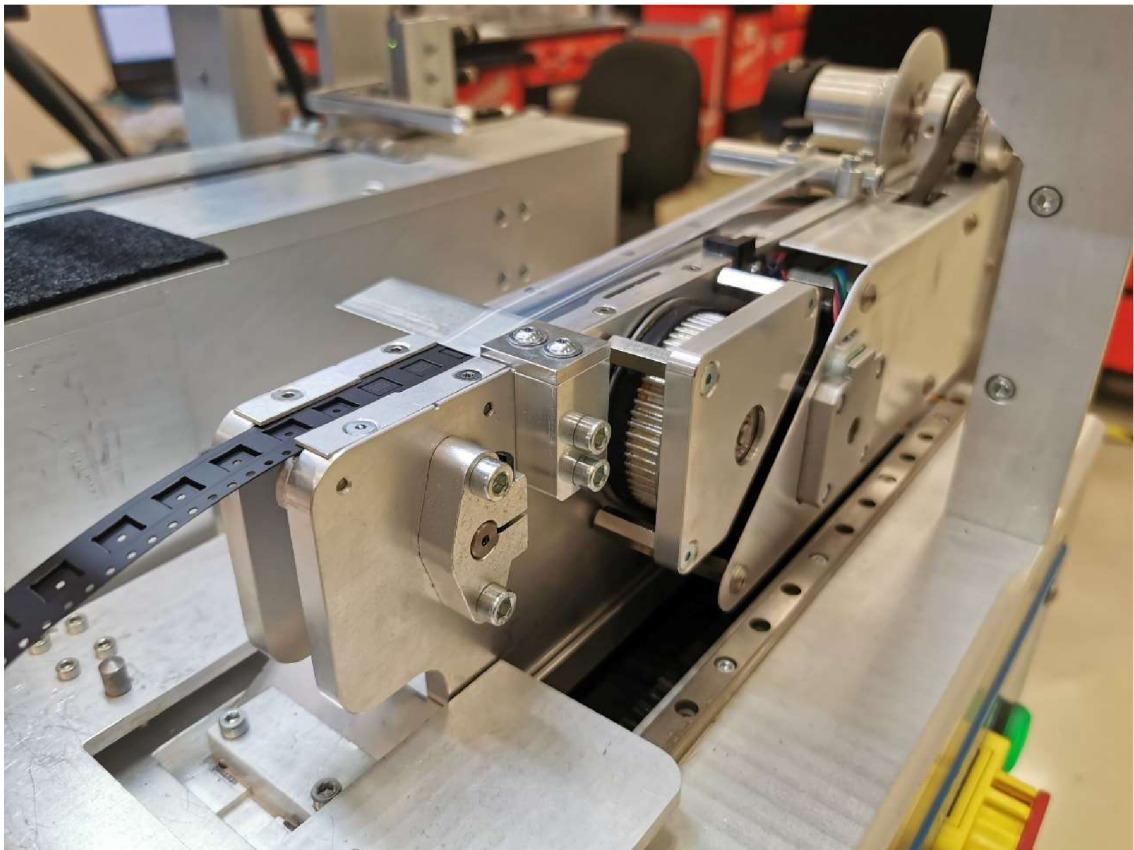
Feeder bude obsahovat řídicí elektroniku, díky které bude feeder méně závislý na řízení strojem a může se tak přímo nasadit do provozu na místo, kde se původně využíval feeder od společnosti Hover-Davis. Bude to možné díky komunikaci přes jeden signál pro posuv, který bude rozšířený o další signál zpětné vazby.

Na feederu bude implementován software, který bude řídit kontrolér na bázi ESP32. Řídicí elektronika bude obsahovat opticky oddělené vstupy a výstupy. Napájení elektroniky bude navrženo tak, aby bylo odolné vůči přepólování napájecího napětí. Výstupy bude dále možné napájet externím zdrojem, či pomocí propojky měnit napěťovou úroveň 5 a 24 V. Vstupy budou detekovat logickou 1 v rozsahu 5–30 V a budou mít možnost osazení pull-up rezistoru.

Řídicí software bude obsahovat rozhraní pro řízení displeje, který bude zobrazovat nastavené parametry a menu. Pohyb a nastavení parametrů v menu bude řešen pomocí trojice tlačítek. Feeder bude schopen zachovat nastavené parametry i po odpojení napájecího napětí.

Feeder bude obsahovat funkce, díky kterým usnadní obsluhu výrobního procesu. Například pro zavádění pásky bude možné odpojit motor pohonu, nebude proto nutné feeder tzv. otevírat, jako tomu je u konkurenčních modelů. Po dokončení dávkování čipů bude feeder schopen odrolovat zbytek kotouče pomocí motoru. Feeder bude dále nastaven tak, aby nemohlo dojít kújmě na zdraví operátorů výroby, např. při neopatrné manipulaci s feederem za provozu. Toto nastavení bude řešeno proudovým omezením motorových driverů díky komunikaci s kontrolérem přes rozhraní SPI. Feeder bude autonomně homovat nastavení šířky, která bude hlídána proti nechtěným změnám.

Tato práce je zaměřena na návrh mechanické konstrukce, řídicí elektroniky a softwaru. Závěrem budou zhodnoceny a změřeny dosažené výsledky.



**Obr. 1.1** Parametrizovatelný EPS TapeIN feeder

# 1 VÝROBNÍ SYSTÉM

Výrobní systém obsahuje několik segmentů, i když může být tvořen jediným programovacím automatem, který ale tyto segmenty shrnuje do jednoho celku. Tento výrobní proces lze shrnout do několika fází. První fází je dodání nových nenaprogramovaných čipů do stroje, další fází je vložení čipů do patič programátorů. Naprogramované čipy jsou následně strojem baleny či vráceny.

Výrobní systém má vysoké nároky na bezprašné a ESD prostředí. Dále jsou zde vysoké nároky na jemnou manipulaci s čipy, které jsou velmi náchylné na mechanické poškození, které může být způsobeno např. pádem.

## 1.1 Systém balení čipů T&R

Tape and reel (T&R) je systém pro balení SMD součástek do individuálních políček v nosné (spodní) pásce, resp. do carrier tape. Tato políčka v nosné pásce se následně zatavují nebo lepí krycí (horní) páskou neboli cover tape. Po tomto procesu se takto spojené pásky s SMD součástkami namotají na kotouč. Políčka v pásce jsou od sebe vzdálena o násobky 4 mm (pitch). Záleží na typu pouzdra, pro které je páska určena. Stroj páskou posouvá pomocí jednoho (páska o šířce do 24 mm) nebo dvou zubatých kol (páska široká 32 mm a širší), kde se jejich zuby dostanou přímo do děr v pásce a tím se získá přesná kontrola nad jejím posuvem [1].

Dalšími možnostmi pro balení čipů je systém tub nebo plat. Balení čipů do tuby se provádí hlavně v továrně na čipy. Do tub se nikdy čipy jako výstup z programovacího automatu nevrací. Tyto tuby se po vyprázdnění od čipů vyhazují. Dávkování čipů z tub se provádí automaticky pomocí vibračního tube feederu, který ovšem bývá nespolehlivý. Systém s platy je sofistikovanější. Čipy jsou v platě vyřádkovány do matice. Pokud čipy bereme z plata, stroj je do plata obvykle i vrací. Plata se tedy nevyhazují, ale znovu používají. Na plata existují tzv. tray feedery, které mají zásobník jak na nenaprogramované, tak na naprogramované čipy. Tento feeder vymění ve stroji po přijetí signálu plato s hotovými čipy za nové.

Tape and reel je celkem jednoduchý proces na automatizování. Nesmíme ale zapomínat na fakt, že se při tomto procesu manipuluje s čipy, které jsou náchylné na zničení elektrostatickým výbojem.

## 1.2 ESD – ElectroStatic Discharge

ESD je zkratka elektrostatického výboje. Dochází k němu při doteku dvou objektů o rozdílném napěťovém potenciálu, kde následně po krátkou dobu teče elektrický proud. Tento jev je ve výrobním systému zabývající se manipulací a programováním citlivých komponent na elektrostatický výboj nežádoucí. Jsou zde různé metody, které zavádí opatření proti tomuto jevu.

Jedna ze součástí opatření proti elektrostatickému výboji je zavedení tzv. EPA prostorů (ESD Protected Area). Takové prostory obsahují vodivé podlahy, ESD stoly, skříně a židle. Takové prostředí musí být bezprašné a suché. Povrchová úprava strojů musí být vodivá.

Další z nutností jsou ESD oděvy. To znamená nošení ESD pláště, bot a náramku pro uzemnění operátorů.

Vstup do takových prostor je zpravidla povolen jen pověřeným osobám, které navíc projdou při vstupu do EPA měřením svodového a průchodového odporu.

## 1.3 Programovací automat STORM

Programovací automat Storm vyvinutý firmou EPS Czech, pro který je parametrizovatelný tape in feeder primárně určený, je v podstatě automatická tejpovačka (semi-automatic taping machine) s programátorem na pojezdu a dalšími funkcemi. Vstupem tohoto stroje mohou být buď čipy z plata, čipy zabalené v pásce (tape in feeder), nebo čipy v tubách (tube feeder). Výstupem jsou buď zatejpované čipy v pásce, nebo čipy vrácené do plata. V tomto stroji nikdy nemůže být společně plato, tube feeder a tape in feeder – místo je pouze pro jeden způsob. Proto například kombinace tape in feederu jako vstupu s platem jako výstupu není možná.

Stroj má navíc několik dalších funkcí, které se u strojního automatizovaného programování od zákazníků vyžadují. Například aby přijaté čipy byly v rámci inspekce součástek zkontrolovány pomocí automatizovaného 3D skenu, v levnější variantě stroje bez 3D je na jeho místě pouze kamera, která také kontroluje ohnuté nožičky čipů, ale nepozná jejich vychýlení v ose od pozorování. 3D skener od společnosti Wenglor totiž tvoří veliký podíl na celkové ceně stroje.

Často se na naprogramované čipy laseruje text. V krajních případech se i vyžaduje, aby byl původní text na čipu odlaserován a na vzniklou plochu se vylaseroval text nebo logo. Stroj je proto vybaven 20 W (1064 nm) laserem a laserovací hlavou. Po laserování se čipy kontrolují pomocí tzv. AOI (automated optical inspection). V podstatě jde o kameru, která snímá čipy z vrchu a systém poté porovnává získané obrázky s načteným referenčním čipem.

Storm umí kontrolovat vyskočení čipu z pásky, vysmeknutí pásky z posuvu, konec kotouče s páskou a příliš nízké napnutí horní pásky. Sám pozná vložení tapein feederu nebo plata.



Obr. 1.2 Programovací automat STORM a jeho další generace

## 1.4 Motivace pro vývoj parametrizovatelného feederu

Vývoj parametrizovatelného feederu byl spuštěn hlavně kvůli nahrazení dosavadního řešení, kde ke každému vyrobenému programovacímu automatu Storm musela být nakoupena série tape in feederů od společnosti Hover-Davis, typ QF Series. Bylo zapotřebí 5-6 feederů o různých šířkách, přičemž se pro každý job (výrobní proces programování daného typu čipu) využíval pouze jeden. Toto řešení tedy nebylo výhodné kvůli vysoké ceně a nízké spolehlivosti. Koncept feederu Hover-Davis je zastaralý, avšak výhodný pro naskládání feederů vedle sebe do osazovacího stroje, protože jsou jen o pár milimetrů širší než pásky, která feederem prochází. Kvůli ušetření financí se používaly repasované feedery.

Programovací automaty obecně nepoužívají více než dva tape in feedery, protože rychlost takového stroje je omezená hlavně dobou programování čipu v patci programátoru. To neplatí pro osazovací stroje, kde je zapotřebí mít hodně feederů kvůli rozmanitosti dodávaných součástek do stroje. Konkrétně Storm má prostor pouze pro jeden tape in feeder. První Stormy měly pouze jednu přísavku, ty novější mají dvě. Pokud bude doba posuvu na druhou přísavku větší nebo stejná jako posuv pásky o jeden čip na tape in feederu, není zapotřebí více feederů.



## 2 ANALÝZA POŽADAVKŮ NA TAPE IN FEEDER

U feederu jsou kladeny vysoké nároky hlavně na jednoduchost výroby a obsluhy. Dále musí být zajištěna jednoduchost kalibrace a manipulace s ním. Dále bude zařízení dávkovat čipy do stroje prostřednictvím pásy o různých šířkách. Feeder bude obsahovat několik ochranných prvků, které budou chránit řídicí elektroniku vůči chybnému zapojení a uživatele proti újmě na zdraví.

### 2.1 Řídicí elektronika

Na průmyslovou řídicí elektroniku jsou obecně kladeny vysoké nároky. Takové zařízení musí být schopno pracovat nepřetržitě bez zamrznání nebo poruchy. Ovládání dvou motorů a zpracování dvou senzorů by se za normálních okolností realizovalo pomocí PLC. Feeder ale musí být lehký a levný. Nemá pro elektroniku prostor jako ve velkém průmyslovém zařízení. Tento problém bude řešit vlastní deska řídicí elektroniky se vstupy a výstupy založená na čipu ESP32. Není to sice plnohodnotné průmyslové řešení, nicméně je vysoká šance se tomu přiblížit.

Krokový motor pro posuv musí mít dostatečně hladký chod kvůli manipulaci s rozbalenými čipy v pásce. Motor na nastavení šířky pásy nesmí rezonovat se zařízením v důsledku použití nekvalitních motorových driverů. Použité drivery musí mít co nejvyšší účinnost kvůli ztrátovému výkonu přeměňujícího se na teplo. Kvůli provozu zařízení v teplém prostředí by mohl vznikat hazardní stav, ve kterém by se drivery mohly tepelně zničit. K tomuto stavu může u nekvalitních driverů dojít i při provozu na zlomku jejich udávaného výkonu. Pro hladký chod motorů, vysokou účinnost a malé rozměry se nabízí možnost použití driverů parametrizovatelných přes rozhraní SPI. Jedny z nejpoužívanějších driverů ve své třídě jsou drivery TMC2130.

Důležitým kritériem při pohybu s motory je přesnost a absence ztráty kroku motoru. Kvůli přesnému krokování pásy si zařízení nemůže dovolit tzv. utrhnout se z kroku. Pokud by tato ztráta kroku byla menší, než jakou zaznamená sensor počítání děr v pásce (díry v pásce jsou vzdáleny 4 mm), řídicí elektronika feederu by neměla jak detekovat, že došlo k chybě a přísavka by i tak vyzvedla čip z pásy. Při špatném vyzvednutí čipu by následně mohlo dojít k jeho poškození.

Řídicí elektronika musí být odolná vůči neodbornému použití. Pokud bude feeder sestavovat nekvalifikovaný pracovník, který udělá chybu v zapojení, je zapotřebí zavést takové ochrany, aby chybná zapojení způsobila co nejmenší škody. Samozřejmostí je pojistka v napájení, dále pak ochrana proti přepólování napájecího

napětí. Vstupy a výstupy musí být opticky odděleny, aby se přes ovládací piny nezničil čip mikroprocesoru.

Indikace stavu feederu a nastavených parametrů bude prováděna skrz displej, který je snadno ovládatelný a pro výrobní operátory přehledný. Bude muset mít dostatečně vysoký kontrast, aby byl čitelný i ve velmi osvětleném prostoru pracoviště. Pro splnění nároku na robustnost, bude tento displej přidělaný k šasi se sklíčkem vyrobeným z plexiskla.

## **2.2 Pohony**

Pohony budou realizovány pomocí bipolárních krokových motorů. U motorů použitých ve feederu je hlavní nárok na co nejvyšší točivý moment při co nejmenším proudu fázemi. Dále je zapotřebí, aby motory nedělaly feeder tlustším, než musí nezbytně být, proto je potřeba mít co nejkratší motory. Motor nastavující šířku pásky je výhodné mít se šroubovicovitou hřídelí, ušetří se takto prostor i výrobní náklady díky tomu, že se tyto motory často využívají v konstrukcích 3D tiskáren.

Pohon posuvu nosné pásky a namotávání horní pásky musí být realizován jedním motorem. Hlavním důvodem je synchronizace těchto dvou dějů. Následně již není potřeba vymýšlet umístění a řízení třetího motoru pro návin horní pásky. Zde bude výhodné využití rozvodového řemene s převodem pro navíjecí hřídel. Vzniká ale problém se zatěžováním motoru, který zajišťuje naprosto přesné krokování nosné pásky. Při jeho velkém zatížení se zvyšuje riziko ztráty kroku motoru.

## **2.3 Obsluha**

U feederu je nezbytné, aby byl robustní, ovládatelný a mobilní. Nemělo by být příliš těžké ho uzvednout a vložit do stroje. Tape in feedery od Hover-Davis jsou vyráběny z plechu. Ty jsou sice lehké a minimalistické, nejsou ale robustní. Často se stávalo, že se poškodil propojovací kabel nebo se ohnul držák kotouče, který se nachází mimo půdorys stroje – obsluha o něho snadno zavadí. Feeder od EPS musí být robustní, aby vydržel nepřetržitý provoz a horší manipulaci. Propojovací kabel musí být dostatečně odolný vůči neustálému odpojování, připojování a přiskřípnutí při pokládání feederu.

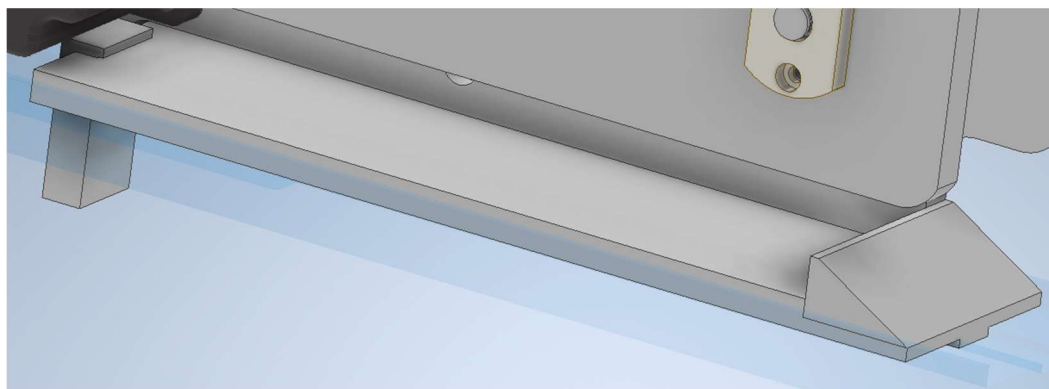
Ovládání a nastavování parametrů feederu musí být dostatečně intuitivní a přehledné. Při nesplnění tohoto nároku by došlo k zdržování výrobního systému a vedlo by to k tvoření složitých manuálů k obsluze. Takové zařízení by navíc nebylo u operátorů populární a vedení společnosti by následně apelovalo na předělání celého ovládání.

## 3 NÁVRH A REALIZACE KONSTRUKCE TAPE IN FEEDERU

Následující kapitola pojednává o návrhu konstrukce pomocí návrhového softwaru Autodesk Inventor. V kapitole jsou popsány klíčové prvky celé konstrukce a funkce jednotlivých částí feederu.

### 3.1 Zástavba

Feedery Hover-Davis se do strojů montují způsobem, že zadní spodní zarážka natáhne pružinu směrem k operátorovi a feeder se následně opře o přední zarážku, do které je dotlačen napnutou pružinou směrem od operátora. Feeder pro vystředění sedí v drážce. Na tomto principu bude vkládán i parametrizovatelný feeder.



Obr. 3.1 Základna feederu pro jeho montáž do stroje dle Hover-Davis

Na Obr. 3.1 lze vlevo vidět zadní zarážku, která napíná pružinu. Úplně vpravo se nachází trojúhelníkový díl, který pracuje jako přední zarážka a zároveň také tlačí čelo feederu směrem dolů. Tato zarážka pracuje správně jen díky protikusu na STORMU, do kterého feeder přesně zapadne. Díky takovému systému se feeder pohodlně vkládá do stroje.

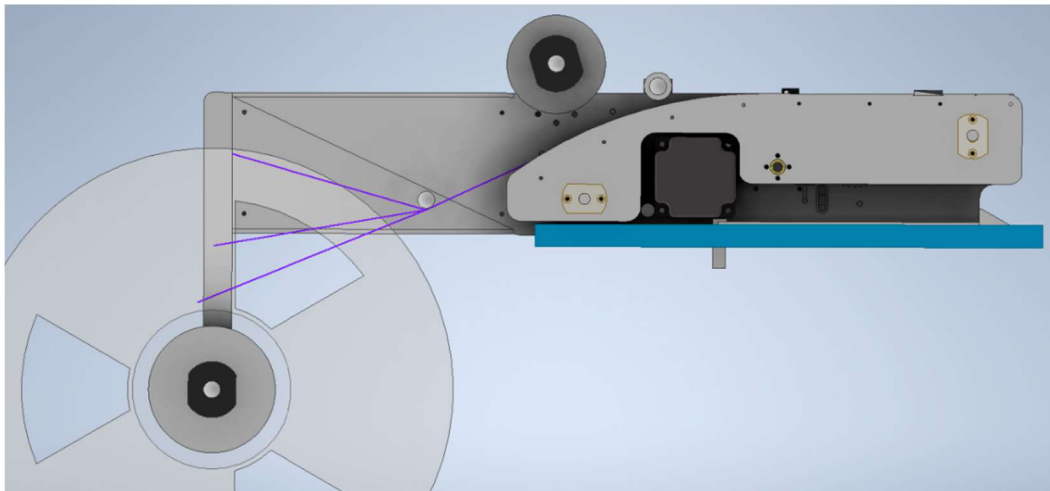
### 3.2 Požadované rozměry

Parametrizovatelný feeder se vkládá na původní místo úzkého Hover-Davis. U Stormu s parametrizovatelným feederem nebylo nikdy počítáno, nicméně je zde přesah kolem montážního prostoru původních feederů, který lze využít pro umístění pohonů, elektroniky, přesah vodících tyčí apod.

Výška původních feederů od základny byla 95 mm. Protože je výška tejpovačky na stroji od základny 91 mm, byl zvolen kompromis pro výšku parametrizovatelného feederu na 93 mm od základny. Ten je i nadále kompatibilní

s dosahem osy Z stroje, která vyzvedává čipy. Nižší feeder se pohodlněji vkládá do stroje a má nižší hmotnost.

Délka feederu musí být taková, aby dokázal nést velký kotouč o průměru 330 mm. Kotouč musí být umístěn dostatečně nízko a mimo úroveň stroje, aby se při odvíjení nelámala páska s čipy a aby odvíjení mělo hladký průběh pro celý rozsah naplněnosti kotouče.

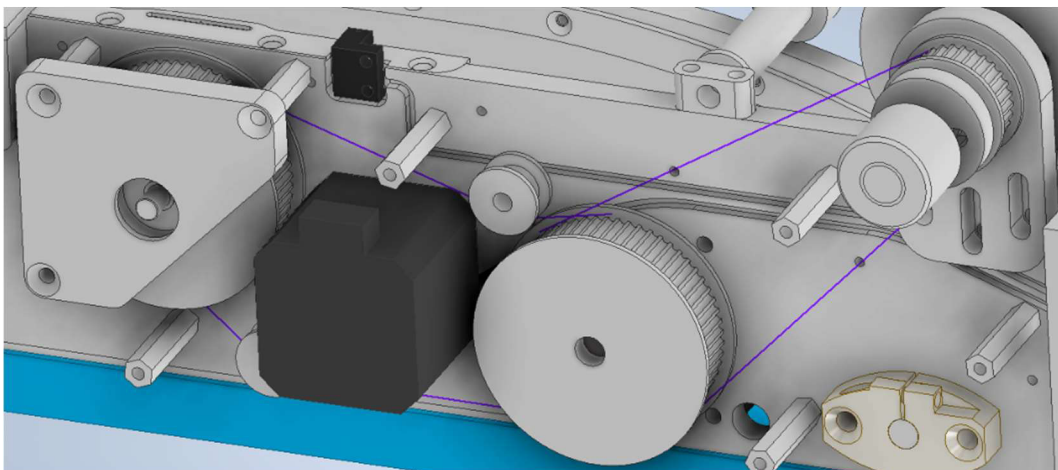


**Obr. 3.2 Odvíjení kotouče, řez základny stroje**

Na Obr. 3.2 je naznačeno, k jakým situacím ohnutí pásky kolem vodícího trnu může docházet při jejím odvíjení. Když je kotouč s čipy plný, úhel ohybu kolem trnu je  $140^\circ$ . V opačném případě skoro prázdného kotouče se úhel ohybu blíží  $180^\circ$ . Dále je zde modře naznačen řez základny stroje. Řez končí u strany kotouče navíc představuje konec půdorysu stroje.

### 3.3 Pohon

Pohon je zde realizován řemenovým rozvodem od motoru. Ten je společný pro navíjení horní pásky a pro posuv pásky.



**Obr. 3.3 Řemenový rozvod pohonů**

### 3.3.1 Motory

Pro pohon byl zvolen bipolární krokový motor Nema23HM20-0384S, který disponuje základním krokem  $0,9^\circ$ , což je vhodné pro ještě jemnější chod posuvu pásky. Motor má točivý moment  $0,9 \text{ Nm}$  při proudu  $0,38 \text{ A/fázi}$ . Při jeho rozměrech  $57 \times 57 \text{ mm}$  na šířku a  $51 \text{ mm}$  na hloubku je vhodný pro umístění na feeder. Dále je zde splněna podmínka pro malý příkon a dostatečný točivý moment při malé hloubce.

Druhým z motorů je Nema17 17HS4401, který má šroubovicovitou hřídel  $T8 \times 8$  a dodává se s maticí. Tento motor má točivý moment pouhých  $0,4 \text{ Nm}$  při proudu  $1,7 \text{ A/fázi}$ . Jeho základní krok je  $1,8^\circ$ . Jeho největší výhodou je nízká cena, malé rozměry a dobrá dostupnost. Tento motor má pro aplikaci nastavování šířky pásky v parametrizovatelném feederu dostatečný točivý moment i při proudu  $0,5 \text{ A/fázi}$ . Tím se splňuje kritérium pro nízký příkon. Motor se dodává s hřídelí o délce  $300 \text{ mm}$ , ta je upravována na délku  $60 \text{ mm}$ .

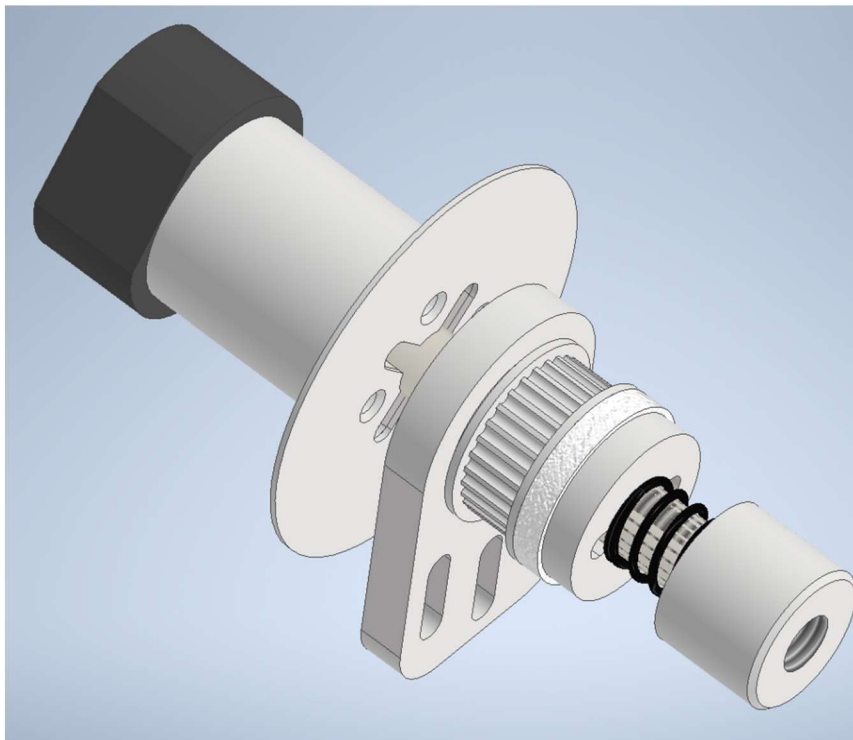
### 3.3.2 Řemenice a řemeny

Řemenice byly zvoleny s profilem HTD-3M. Kvůli dodržení převodu mezi posunem pásky a navíjecí hřídelí  $1:2$ , byly zvoleny řemenice se šedesáti zuby pro posuv a řemenice s ložiskem se třiceti zuby pro navíjení. Kolo pro posuv pásky s roztečí zubů  $4 \text{ mm}$  a počtem  $50$  zubů odmotá  $200 \text{ mm}$  nosné pásky za jednu otáčku motoru. Stejnou a vyšší délku horní pásky (kvůli neustálému napnutí) musí navinout navíjecí hřídel s válečkem o průměru  $33 \text{ mm}$ . Při průměru  $33 \text{ mm}$  je zde obvod  $\approx 104 \text{ mm}$ . Při převodu  $1:2$  tedy bude dodrženo kritérium pro odvíjení větší vzdálenosti horní pásky ( $\approx 208 \text{ mm}$ ) na otáčku než  $200 \text{ mm}$ .

Vedení hnacího řemene kolem distančních sloupků a motoru na šířku pásky je prováděno pomocí dvou vodících řemenic s ložiskem, z nichž jedna je napínací. Druhý řemen se napíná posuvem celého dílu s navíjecí hřídelí pro návin horní pásky. Řemen pro posuv byl zvolen  $3M / 420 \text{ mm}$  se šířkou  $5 \text{ mm}$ . Řemen pro navíjení horní pásky byl zvolen  $3M / 384 \text{ mm}$  se šířkou  $6 \text{ mm}$ . Takto široké řemeny jsou dostatečné pro přenos točivého momentu motoru. Díky řemenicím se šedesáti zuby je téměř nemožné, aby došlo k přeskočení řemenu při posuvu. Další výhodou úzkých řemenů je možnost dát je na společnou řemenici motoru o činné šířce  $16 \text{ mm}$ . Řemeny se nepotkají díky vodícím řemenicím a odsazení řemenice pro navíjení vůči té hnací.

### 3.4 Navíjení horní pásky

Základem návinnu horní pásky je navíjecí hřídel o průměru 12h7 mm. Navíjecí hřídel je umístěna v ložisku, které je umístěno v držáku, který má na uchycení drážky pro možnost napínání řemenu. Na této hřídeli jsou vyvrtané dvě díry pro kolíky, které jsou prostrčeny hřídelí a vystředěny. Jeden z kolíků pracuje jako zarážka pro navíjecí váleček, ale také jako zub, který zajišťuje, že se daný prvek otočí vždy stejně jako hřídel při zachování možnosti snadného odejmutí daného prvku. Navíjecí váleček má plechová záda, aby se pásky navíjela rovnoměrně a aby nedošlo k zamotání horní pásky do pohonu. Celý váleček lze z feederu odejmout a vložit do držáku horní pásky v tejpovačce pro opakované použití horní pásky.



Obr. 3.4 Navíjecí hřídel horní pásky s kluznou spojkou

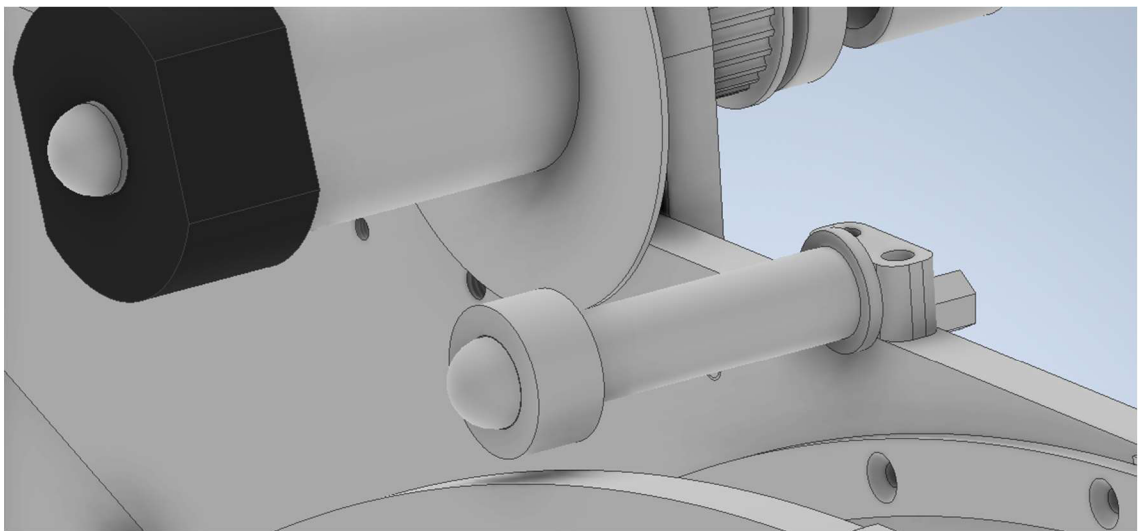
Váleček, na který se navíjí horní pásky drží na dorazu tzv. U-clip. To je odepínatelná zarážka na trn o průměru 12 mm. Stejná zarážka drží na místě kotouč s čipy. Tato zarážka má velkou přídržnou sílu, pokud ji chceme bez uvolnění pojistky oddělat v ose hřídele. Její nevýhodou je, že ji lze otáčivým pohybem z hřídele sejmout. Na této hřídeli se U-clip otáčí společně s ní, proto zde toto riziko nehrozí.

### 3.4.1 Kluzná spojka

Kluzná spojka je součástí navíjecí hřídele. Zajišťuje, že se nepřekročí nastavený točivý moment při odvíjení horní pásky. Jejím základem je řemenice na dvojici ložisek. Na tuto řemenici přes filc tlačí přítlačný talíř. Pružina, která zvyšuje přítlačnou sílu dotahováním matky, nastavuje maximální točivý moment celé hřídele. Přítlačný talíř má stejně jako navíjecí váleček výřezy pro kolík, který zajistí, že se talíř otočí vždy stejně jako hřídel. Při otáčení řemenicí na ložisku tedy dochází k přenesení na hřídel jen potřebné síly. Pokud by byla matka, nastavující maximální točivý moment, příliš utažená, docházelo by k přetěžování motoru a ten by ztrácel krok. Pokud by byla přítlačná síla malá, horní páska by se nenavíjela, otáčela by se pouze řemenice. Dobře nastavený maximální točivý moment udržuje neustále napnutou horní pásku, okamžitě reaguje na pohyb motoru a neovlivňuje posuv spodní pásky.

### 3.4.2 Vodící hřídel s kroužkem

Vodící hřídel horní pásky slouží k zajištění, aby se páska navíjela rovnoměrně a aby nezasahovala do ostatních dějů na feederu. Kroužek na sobě má šroubek, kterým jej lze aretovat do potřebné polohy na trnu. Tím je zajištěno, aby byla horní páska vedena jen v potřebné poloze. Výsledkem je pak rovnoměrně navinutá horní páska.

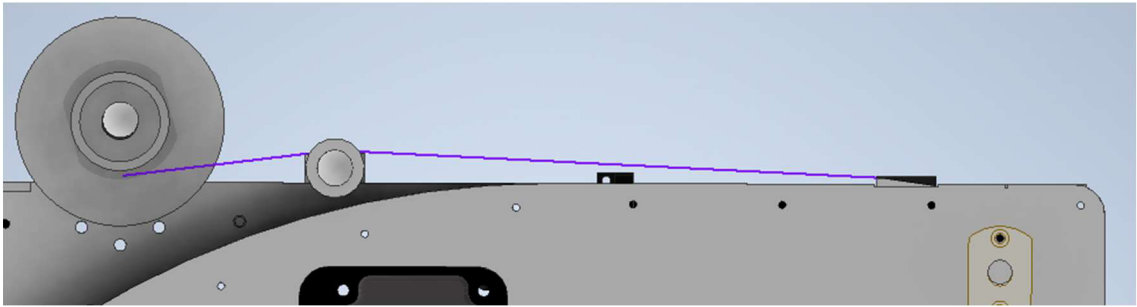


Obr. 3.5 Vodící hřídel horní pásky s aretačním kroužkem



### 3.4.3 Vedení horní pásky

Páska je vedena způsobem, že se nedotýká senzoru pro počítání děr v nosné pásce. Její vedení začíná u strhávacího nože, který má úhel sklonu 8°. Je vyroben z leteckého hliníku, aby byl i přes jeho délku 50 mm a tloušťku v nejširším bodě 3 mm dostatečně odolný proti zlomení.



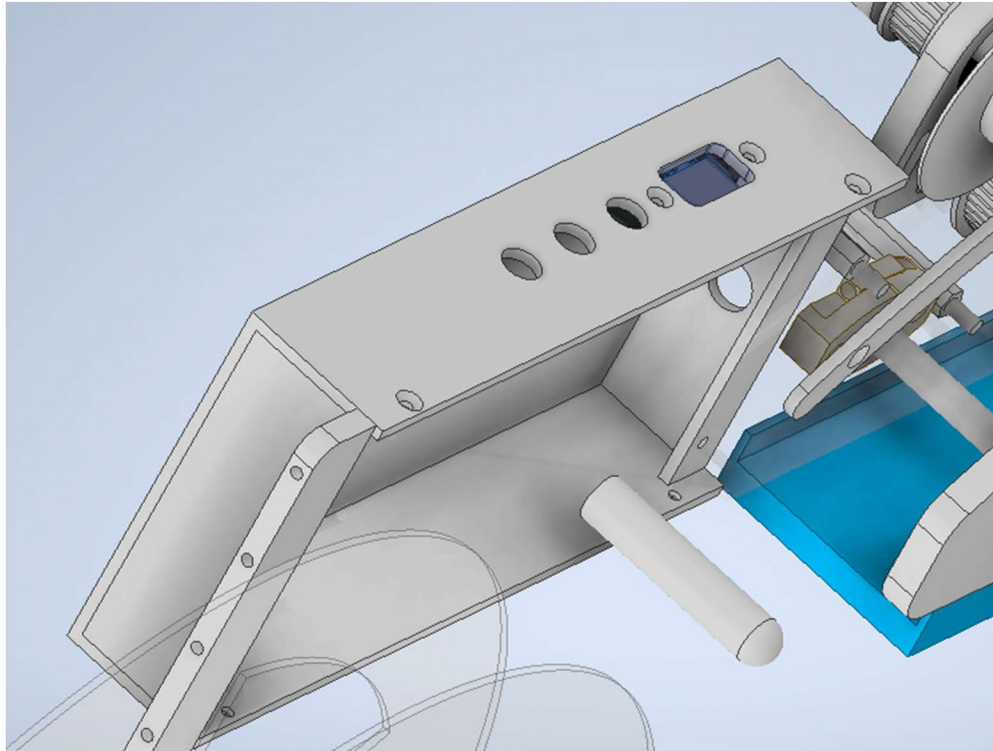
Obr. 3.6 Vedení horní pásky

Strhávací nůž je navíc umístěn přímo nad páskou s čipy a je součástí horních vodících lišt. Díky takovému umístění se při strhávání horní pásky nezvedá nosná páska s čipy a ani tak nevzniká mezera vedení.

### 3.5 Kryt elektroniky

Kryt, který je zároveň pouzdem elektroniky, je tvořen ze tří hliníkových profilů. Dvojice L profilů je přišroubovaná k hlavnímu dílu a tvoří tak dvě pevné strany krytu. Jeden U profil je hlavním dílem celého krytu.

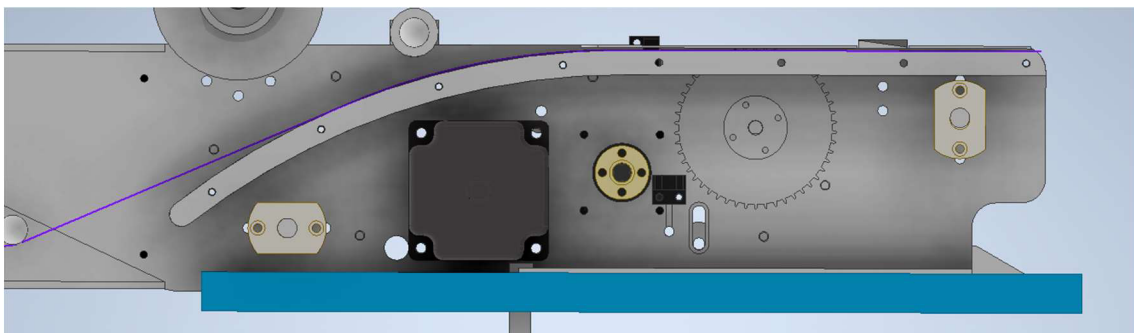
V něm je přišroubována deska řídicí elektroniky, trojice tlačítek a displej. Displej má sklíčko vyrobené z plexiskla a je připevněn plastovým dílem. Ve spodní části U profilu je dále umístěna PG9 průchodka na přívodní kabel. V předním L profilu je umístěna gumová průchodka pro kabeláž motorů. Celý U profil obepíná hlavní díl celého feederu a je přišroubován v horní a dolní části pomocí šroubů. Elektronika je přišroubovaná v U profilu, a ne na hlavním díle kvůli majoritnímu počtu přívodů k desce s řídicí elektronikou, a také kvůli průchodce přívodního kabelu směrem dolů, která musí být připevněna v U profilu.



**Obr. 3.7 Kryt elektroniky feederu**

### **3.6 Vedení nosné pásky**

Vedení nosné pásky probíhá v drážce o tloušťce 1 mm. Na straně děr pro posuv je drážka široká 3 mm a na druhé straně 2 mm. Tyto drážky vznikají pomocí dolních a horních vodících lišt přidělaných k hlavnímu páteřnímu dílu a k dílu posuvného protikusů. Maximální tloušťka dodávaných součástek nesmí být větší než 15 mm. Nicméně toto kritérium je důležité hlavně pro tejpovačky. Feeder nebude nikdy dodávat součástky tlustší než několik mm. Páska po rozbalení a vyzvednutí čipu putuje dále skrz základnu stroje do spodní části, kde se prázdná páska navíjí na kotouč.



**Obr. 3.8 Vedení nosné pásky**

### 3.7 Systém nastavení šířky

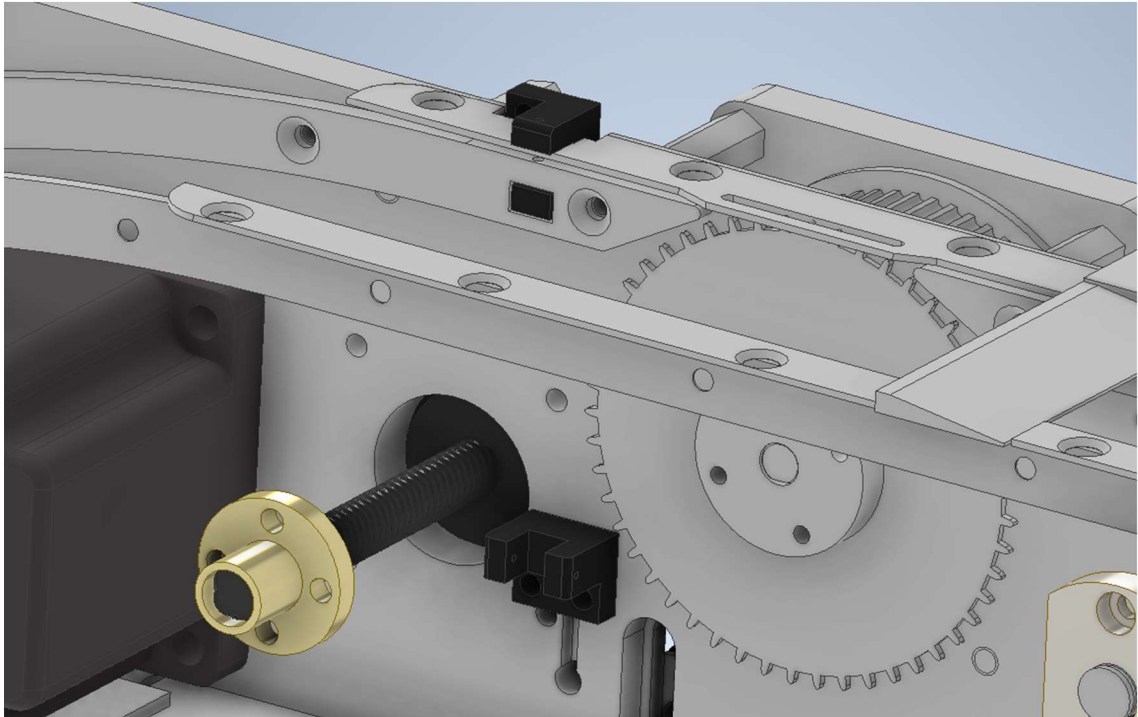
Pro systém nastavení šířky pásky bylo využito podobného principu, který se využívá u 3D tiskáren. Systém dvou vodících tyčí vytváří lineární vedení. Posuv zde zajišťuje motor se šroubovicí. V protikusu jsou umístěna kluzná ložiska a matka v jejich ose, viz. Obr. 3.8. Na konci vodících tyčí jsou umístěny segerovy podložky, které pracují jako zarážka proti vyjetí protikusu, nicméně tento stav je ještě ošetřen softwarově. Pro využití levných kluzných ložisek s úchytem (pro 8 mm tyče) se musely vyrobit vodící tyče o průměru 8,02 mm, které zajistí těsnější uložení levného kluzného ložiska. Tyče jsou přidělaný k páteřnímu dílu pomocí držáku tyčí, díky kterým lze tyče snadno vystředit.

Toto řešení je sice méně přesné, ale levné a jednoduché. Druhou variantou by bylo využití systému s kolejnicemi a vozíky. Uložení by bylo přesnější, naopak by zde vznikl problém s rozměry a složitostí feederu. Na přesnosti uložení protikusu u feederu nejsou tak vysoké nároky, jako např. u tejpovačky. Ta má mnohem větší dráhu vedení pásky než feeder. Pokud by tejpovačka neměla přesné kleštiny, celý systém by nekvalitně taval horní pásku. Na krátké dráze vedení pásky u feederu se méně přesné uložení ložisek zásadně neprojeví.

### 3.8 Rozmístění senzorů

Řídicí systém využívá dvou senzorů. Ty jsou oba stejného typu kvůli jednoduchosti výroby. Je to senzor Panasonic PM-125, což je miniaturní optická závora. První ze senzorů snímá průchod děr nosné pásky, vyhodnocovací elektronika poté kontroluje, zda-li se páska posunula o zadaný krok motoru. Tento senzor je umístěn 128 mm od středu políčka v pásce v místě vyzvedávání čipu. 128 mm je násobek 4 mm, což je rozmezí děr v pásce, tzv. pitch. Střed políčka má na místě v oblasti děr vždy mezeru, proto teoretická výchozí pozice pro senzor je opět mezeru.

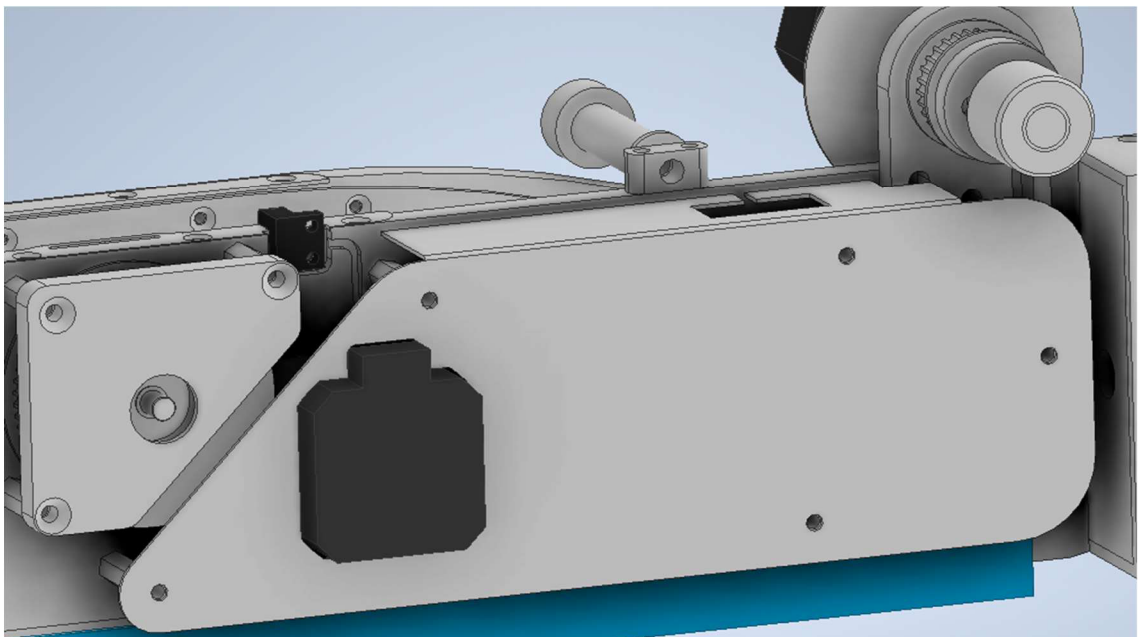
Druhý senzor je tzv. homovací (homing senzor). Ten je umístěn co nejbližší ke šroubovici motoru, aby se zde neuplatnila přesnost uložení kluzných ložisek. Senzor zachytí přerušování brány pro vzdálenost protikusu 10 mm. Sekvence nastavování šířky pásky musí ještě před homováním zjistit stav senzoru, zdali už protikus nepřerušil optickou závora. Podle tohoto stavu se pak určí směr homování na šířku 10 mm. Homování je nutné pro každé nastavení šířky pásky po vypnutí feederu vzhledem k tomu, že je možné při manipulaci s feederem změnit původní nastavení ručně.



Obr. 3.9 Rozmístění senzorů PM-125

### 3.9 Kryt řemenic

Kryt řemenic je podstatnou součástí bezpečného provozu feederu. Ten je vyroben z 1 mm tlustého plechu, který je ohnut přes řemenový rozvod. Při takovém opatření je zvýšena bezpečnost provozu zařízení. V krytu je vyříznuta díra pro tělo motoru nastavujícího šířku pásy. Bez této díry by byl kryt zbytečně vystouplý.



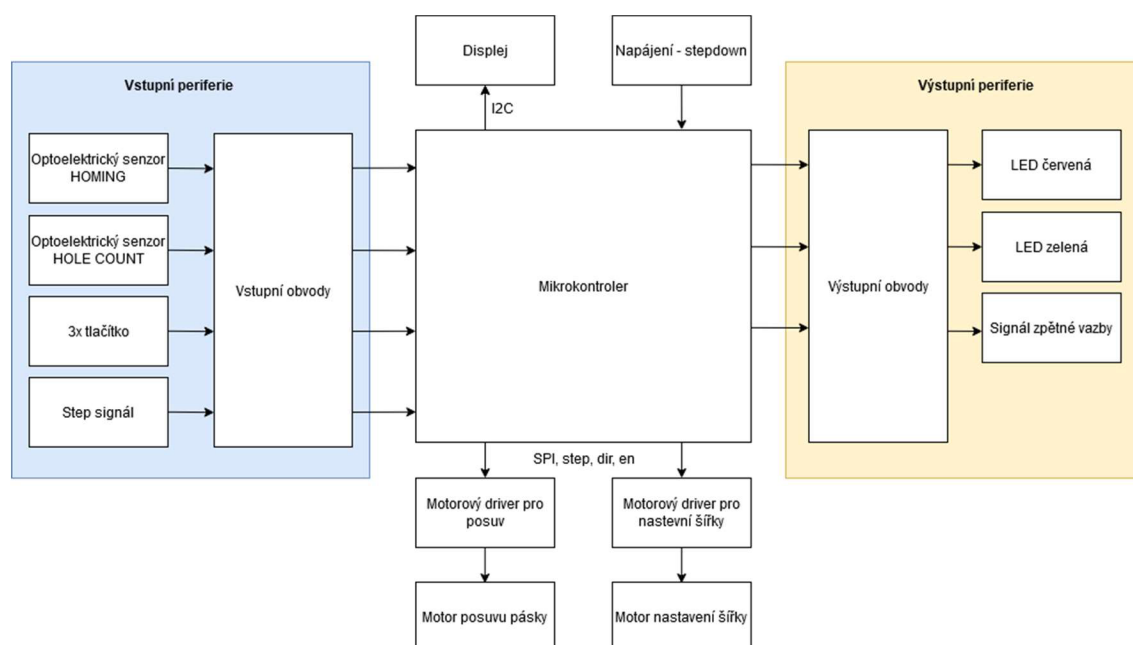
Obr. 3.10 Kryt řemenic

## 4 NÁVRH A REALIZACE HW ŘÍDICÍHO SYSTÉMU TAPE IN FEEDERU

Kapitola popisuje vybrané hardwarové komponenty pro řídicí systém na základě vyobrazeného blokového schématu systému. Dále je zde proveden návrh desky plošných spojů a schématu zapojení.

### 4.1 Blokové schéma řídicího systému

Blokové schéma zobrazuje způsob řešení elektroniky řídicího systému. Ten je tvořen vstupy, výstupy, rozhraním pro displej a motory, mikrokontrolerem a napájením.



Obr. 4.1 Blokové schéma řídicího systému

### 4.2 Výběr komponent

Hlavními kritérii při výběru komponent je cena, dostupnost a spolehlivost. Nízké ceny a dobré dostupnosti se docílí, pokud lze komponenty koupit přímo z Číny. Toho jde dosáhnout i tím, pokud je vybraná komponenta rozšířená a oblíbená. Díky tomu je možné získat více literatury, příkladů použití a zkušeností ostatních uživatelů.

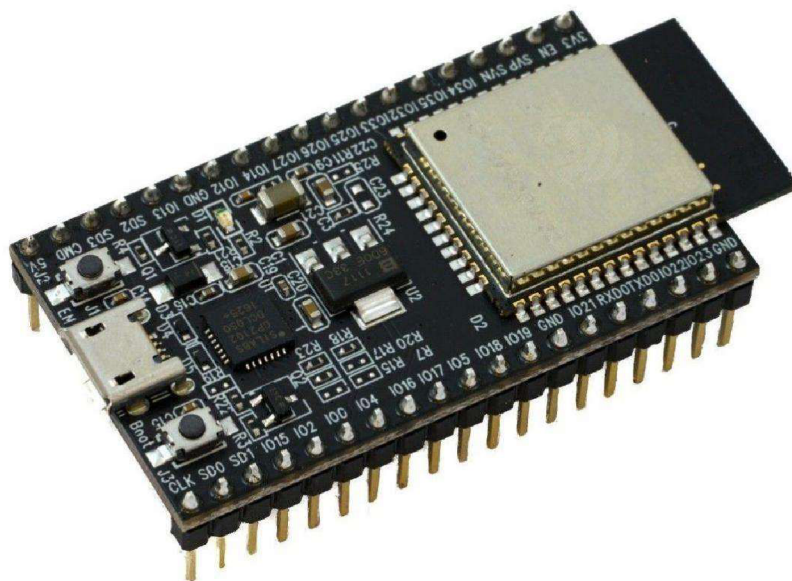
## 4.2.1 Mikrokontroler

Pro řízení byl zvolen dvoujádrový 32bitový mikroprocesor Tensilica LX6, který se nachází na modulu ESP32, který je osazen na vývodovém vývojovém kitu. Kontrolér pracuje na frekvenci 240 MHz, má integrovaných 520 KB SRAM, 16 MB flash paměti, 802.11 b/g/n HT40 Wi-Fi přijímač/vysílač a Bluetooth. Operační napětí mikrokontroleru je v rozmezí 2,3 – 3,6 V. Vývojový kit obsahuje integrovaný stabilizátor na 3,3 V, které stabilizuje z 5 V napájecího napětí.

K dispozici je 34 univerzálních vstupně/výstupních pinů. Na každém z nich je možnost pulzně šířkově modulovaného výstupu a přerušení. Na vybraných komunikačních rozhraní SPI, I2C, UART, dva DA výstupní převodníky a 12 AD vstupních převodníků. Dále je zde možnost rozšíření o externí SPI flash paměť.

Při návrhu je třeba dbát na možnosti jednotlivých pinů. Piny 0, 5, 14 a 15 mají při inicializaci na výstupu PWM signál. Piny 34, 35, 36 a 39 jsou pouze vstupní. Piny 6, 7, 8, 9, 10, 11 se nesmí využívat kvůli připojení na integrovanou SPI flash paměť. Piny 0, 2, 4, 5, 12 a 15 podporují pull-down nebo pull-up, a jejich použití by mohlo způsobit problémy při nahrávání programu, nebo při inicializaci zařízení. Dalším omezením je zde maximální proud vývodu, ten by neměl překročit 40 mA, kvůli minimálnímu zatěžování mikrokontroleru je počítáno s maximálním proudem 1 mA [2].

Varianta mikrokontroleru ve vývodovém provedení s USB byla zvolena kvůli zlevnění výrobních nákladů, snadnému nahrávání programu a jednoduché výměně při defektu. V případě SMD provedení ESP32 by pájení a jeho výměna mohla být v prostředí některých poboček EPS nemyslitelná.



Obr. 4.2 Vývojový modul DevKitC osazen ESP32 [3]



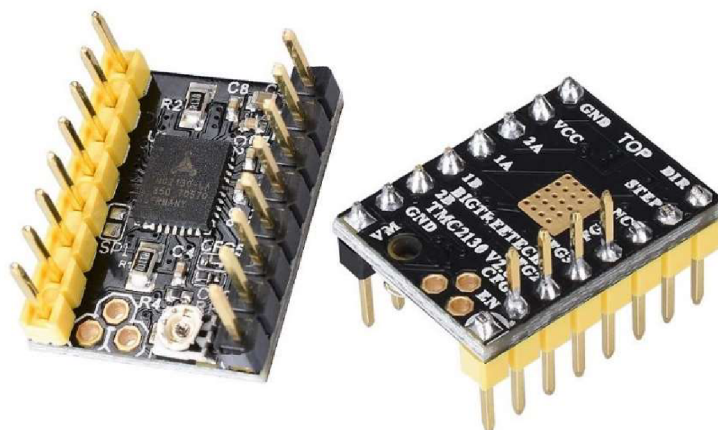
## 4.2.2 Motorové drivery

Pro řízení motorů v parametrizovatelném Tape In Feederu byly zvoleny drivery s čipem Trinamic TMC2130 s komunikačním rozhraním SPI. Drivery mají proudové zatížení 1,2 A/fázi stabilně a až 2,5 A/fázi ve špičce. Jejich napájecí napětí může být v rozmezí 5,5 – 46 V, v této konkrétní aplikaci budou provozovány při napětí 24 V. Napětí řídicích signálů je v rozmezí 3 – 5 V. Při řízení ESP32 a jeho 3,3 V provozním napětí je tato kombinace kompatibilní.

Drivery mají nastavitelné mikrostepy až do 1/256 základního kroku. Další parametry se nastavují pomocí rozhraní SPI. Jedním z důležitých nastavitelných parametrů je zádržný proud motoru a proud při otáčení. Tím se docílí větší životnosti motoru pro nastavení šířky pásky, který se otočí po inicializaci jen několikrát a poté už jen drží pozici. Dále je zde docíleno vyšší účinnosti celého zařízení a menších tepelných ztrát.

Přes SPI lze aktivovat funkce jako je tzv. StallGuard2, který při držení motoru v reálném čase zvyšuje proud, pokud by mělo dojít k jeho nežádoucímu protočení. Dále lze aktivovat tzv. StealthChop, což je inteligentní řízení proudu motorů tak, aby nepískaly. Další z funkcí je tzv. CoolStep, která sleduje proudové zatížení motorů a v reálném čase zvyšuje proud do motorů tak, aby nedošlo ke ztrátě kroku při zvýšeném zatížení motoru [4].

Pohyb motoru a ovládání směru otáčení je zde ovládáno signály STEP a DIR, proto návrh počítá s kompatibilitou s levnými drivery jako např. DRV8825, nebo A4988, u kterých se mikrostepy nastavují kombinací aktivních logických úrovní a které nemají komunikační rozhraní SPI. Tato kompatibilita se zavádí kvůli použití řídicí desky pro jiné, méně choulostivé aplikace, než kterou je manipulace s čipy v pásce.

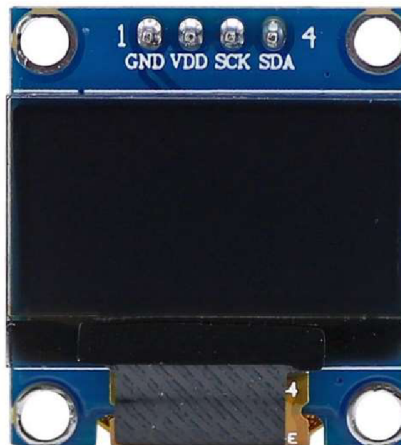


Obr. 4.3 Driver bipolárního krokového motoru TMC2130 s SPI [5]



### 4.2.3 Displej

Pro zobrazování stavů a nastavování parametrů feederu bude použit jednobarevný 0,96“ OLED displej s rozlišením 128x64. Ten komunikuje přes rozhraní I2C s mikrokontrolerem. Výhodou technologie OLED je dobrá čitelnost i v nepříznivých světelných podmínkách a nízká spotřeba. Ten díky minimálnímu proudovému odběru bude napájen pro zjednodušení elektroniky ze stabilizovaných 3,3 V z mikrokontroleru. Díky svým miniaturním rozměrům ho lze umístit na vrchní stranu U profilu krytu elektroniky. Při umístění ovládacích tlačítek do řady vedle displeje, bude pro výrobního operátora pohodlné obsluhovat zařízení.



Obr. 4.4 OLED displej 0,96“ SSD1306 [6]

### 4.2.4 Senzory

Feeder bude osazen dvojicí senzorů Panasonic PM-L25, což jsou miniaturní optické závory ve tvaru L. Senzor disponuje provozní napětí 5 – 24 V. Senzor má dva předzesílené signálové vývody, přičemž jeden spíná při přerušení, druhý při otevření závory. Tento konkrétní senzor se vyrábí ve dvou provedeních – NPN a PNP.

Protože je nežádoucí využívat zbytečně mnoha typů senzorů pro jednu aplikaci, je použit senzor PM-L25 NPN, který se nachází na Stormu pro homování osy Z.

Senzory budou používány pro homování šířky a počítání děr. U počítání děr je třeba vzít v potaz časovou konstantu při použití levných čidel. Dle katalogu Panasonic snímač spolehlivě snímá již od  $\approx 100 \mu\text{s}$  přijatého signálu. Perioda průchodu děr nebude menší, než desítky milisekund, proto je zde značná rezerva v rámci časové konstanty snímače [7].

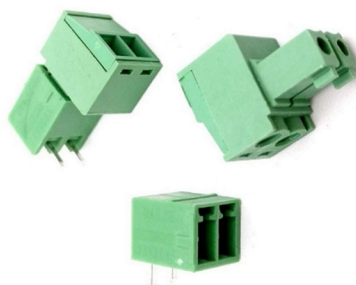


Obr. 4.5 Snímač typu miniaturní optická závora Panasonic PM-L25 [8]

## 4.2.5 Svorkovnice

Hlavním požadavkem na svorkovnice je konstrukce s násuvnou vidlicí a minimální rozměry. Aby bylo i pro méně technicky vzdělaného pracovníka snadnější případně vyměnit desku řídicí elektroniky, využije se zde svorkovnic s násuvnou vidlicí. Pracovník případně pouze odpojuje konektory bez použití nástrojů.

Příkon celého feederu se nepředpokládá vyšší než 50 W. To je při napájení 24 V maximální proud jedním kontaktem 2 A. Svorkovnice, která má rozteč kontaktů 3,5 mm a jmenovitý proud 9 A je vhodným řešením. Tato svorkovnice se navíc dodává v přímém a úhlovém provedení do DPS.



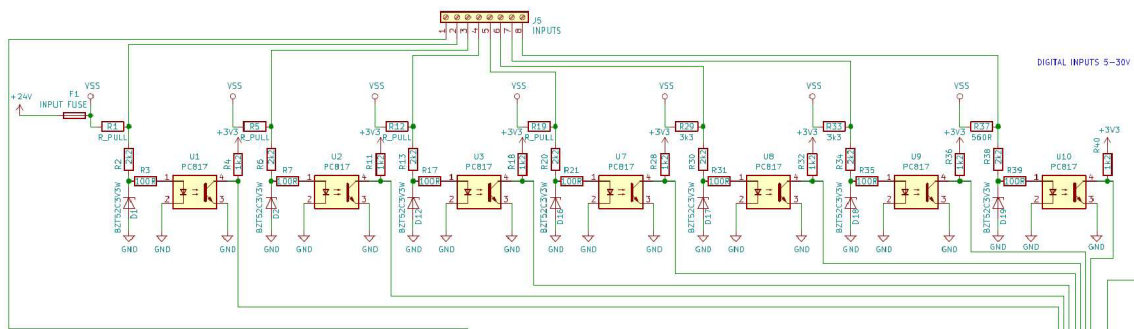
Obr. 4.6 Násuvná vidlice do DPS a vidlice na kabel PTR 3,5 mm [9]

Na desce řídicí elektroniky bude využito 4x 8 pinových přímých a 2x 4 pinových úhlových konektorů tohoto typu. Přímé násuvné vidlice se na DPS mohou skládat vedle sebe a je tím ušetřen prostor kolem desky. 4 pinové úhlové vidlice se na šířku vejdou pod vývodový mikrokontroler. Dojde tím opět ke zmenšení celé desky.

## 4.3 Zapojení komponent

Elektronická část feederu musí splňovat náležitosti průmyslového zařízení. Citlivé vstupně výstupní piny mikrokontroleru musí být opticky odděleny od připojených periférií. Napájení výstupních a vstupních zařízení musí být ošetřeno pojistkou proti zkratu. Elektronika je dále odolná vůči přepólování napájecího napětí.

### 4.3.1 Digitální vstupy



Obr. 4.7 Zapojení digitálních vstupů na desce řídicí elektroniky

Deska řídicí elektroniky má dohromady 8 digitálních vstupů o stejné konstrukci, jako je znázorněno na Obr. 4.7. Na samém začátku je zde možnost osazení pull-up rezistoru. Napěťový uzel VSS je při osazení pojistky napájení vstupních zařízení připojen k napětí 24 V. Při vyjmutí pojistky lze do toho uzlu připojit libovolné napájecí napětí vstupních zařízení od 5 do 30 V. Kvůli miniaturní konstrukci desky je tento uzel společný pro všechny vstupy. Pro možnost napájení některého vstupního zařízení jiným napětím než společným pro všechny vstupy, muselo by toto zařízení být připojeno k napájení někde externě. V konstrukci Tape In feederu jsou ale všechna vstupní zařízení napájena 24 V, proto tato problematika nebude dále rozváděna.

Na tyto vstupy budou připojeny senzory a tlačítka, která budou mít osazeny již zmíněný pull-up rezistor na svém vstupním obvodu. Tyto tlačítka budou při stisku zkratovat vstup. Druhý způsob připojení tlačítek je neosazovat pull-up rezistor a při stisku tlačítka připojovat na vstup napětí 24 V. Díky tomu, že optické oddělení vstupu se přirozeně chová jako pull-down, můžeme takto celkem jednoduše měnit logický stav vstupu.

Důležitým prvkem vstupního obvodu je stabilizace vstupního napětí pomocí Zenerovy diody. Při vypočítaném odporu R14 na hodnotu 560  $\Omega$ , což je její předřadný odpor, je zde možnost při jejím maximálním ztrátovém výkonu 0,5 W při hodnotě Zenerova napětí 3,3V docílit spolehlivé stabilizace vstupního napětí 5 – 30 V. Zenerova dioda by měla být proražena až při hodnotě vstupního napětí

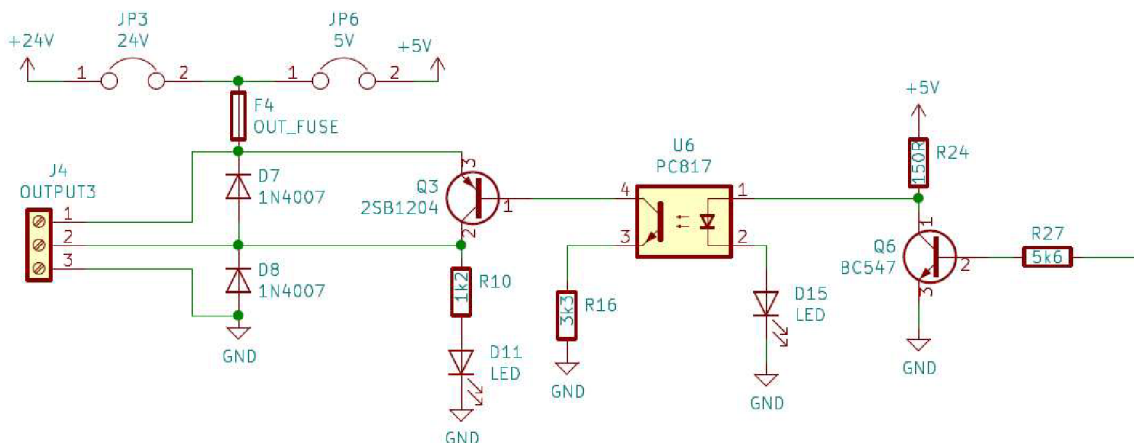
vyššího než 80 V. Při vyšších napětích než 30 V je zde spíše problém s předřadným rezistorem R14 Zenerovy diody, který má už při napětí 24 V na vstupu ztrátový výkon  $\approx 0,7$  W.

Právě kvůli tomuto ztrátovému výkonu na rezistoru R14 bude pro konkrétní aplikaci v Tape In feederu hodnota rezistoru upravena na hodnotu 3,9 K $\Omega$  pro vstupní napětí 24 V. Dle katalogu je Zenerova dioda spolehlivě schopná stabilizovat při proudu 5 mA. Při této nové hodnotě rezistoru bude jeho ztrátový výkon  $\approx 100$  mW. Výstupem z tohoto tvrzení je, že lze použít rezistor s hodnotou 560  $\Omega$  pro univerzální vstup, nicméně je vhodné dopočítat hodnotu rezistoru pro konkrétní aplikaci.

Dále je na cestě ke vstupnímu pinu mikrokontroleru optočlen, který zajistí ochranu proti zničení procesoru. Ten má na budící části předřadný odpor R22 s hodnotou 100  $\Omega$ . Výstup z optočlenu je přes pull-up rezistor připojen ke vstupnímu pinu mikrokontroleru.

Zapojení vstupního obvodu mikrokontroleru invertuje logiku. Pokud tedy připojíme na vstup napětí 24 V (logický stav 1), na rezistoru je jeho úbytek 20,7 V, na Zenerově diodě je napětí 3,3 V proti zemi. Toto napětí rozsvítí diodu v optočlenu, ten otevře fototranzistor, který přizemní vstup mikrokontroleru. Vznikne tak logická úroveň 0.

### 4.3.2 Digitální výstupy



Obr. 4.8 Zapojení digitálního výstupu na desce řídicí elektroniky

Digitální výstupy na desce řídicí elektroniky jsou konstruovány pro výstupní napětí 5 nebo 24 V. Toto napětí lze nastavit pomocí zkratovací propojky u každého výstupu. Maximální teoretický výstupní proud je 8 A/kanál, což je dáno katalogovou hodnotou kolektorového proudu tranzistoru 2SB1204, který tvoří koncový stupeň digitálního výstupu. Pouzdro toho tranzistoru nemá žádné jednoduché konstrukční

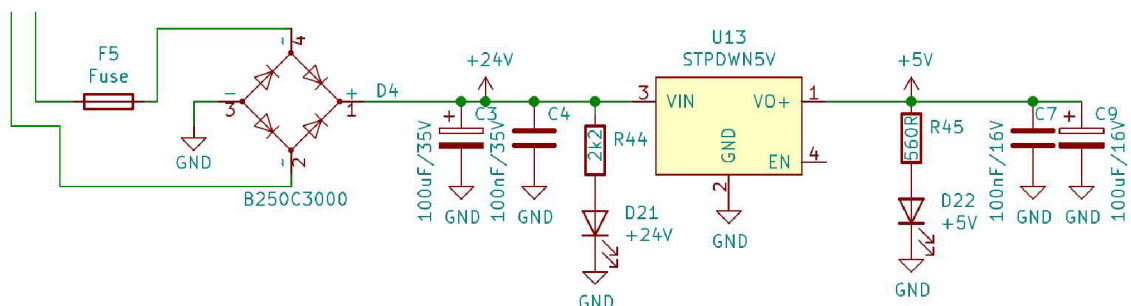
řešení pro upevnění na chladič, proto se provozuje bez chladiče. Při testování se ukázalo, že tranzistor do 2 A výstupního proudu lze provozovat bez chladiče. Proto maximální výstupní proud digitálního výstupu jsou právě 2 A. Na desce řídicí elektroniky jsou dva tyto silové digitální výstupy. Při napájení 5 V se musí brát zřetel na maximální výkon STEP-DOWN měniče. Zde by neměl být překročen proud 1 A/kanál. [10]

Alternativou k tomuto koncovému stupni by mohl být poloviční H můstek, který se dodává v provedení integrovaného obvodu a s několika můstky v jednom pouzdru. Odůvodnění pro použití právě takového koncového stupně je takové, že se úplně stejné zapojení používá ve výstupním panelu Stormu. Získá se tím lepší dostupnost k náhradním dílům a menší rozmanitost součástek ve skladu. Obecně použití stejných součástek vede ke snížení výrobních nákladů.

Pro splnění optického oddělení výstupu je zde opět použit optočlen. Pro splnění podmínky pro maximální výstupní proud mikrokontroleru 1 mA je optočlen buzen tranzistorem BC547C ve spínacím režimu. Pro indikaci logické úrovně na digitálním výstupu je zde dvojice LED diod, přičemž dioda (D11) nebude svítit, pokud se propálí pojistka F4.

Pokud bude na výstupu mikrokontroleru logická úroveň 1, tedy 3,3 V, tranzistor BC547C (Q6) se otevře. Tím se nerozsvítí LED v optočlenu a jeho výstup zůstane uzavřený. Tím zůstane zavřený i tranzistor 2SB1204 (Q3) a výstupní napětí bude nulové. Nebude tak svítit ani LED D11, ani D15. Zapojení digitálního výstupu tedy invertuje logickou úroveň. Na výstupu jsou ochranné diody, které zajišťují vybití zbytkového proudu při napájení indukivní zátěže, který by mohl zničit koncový stupeň.

### 4.3.3 Zdroj



Obr. 4.9 Schéma zdroje

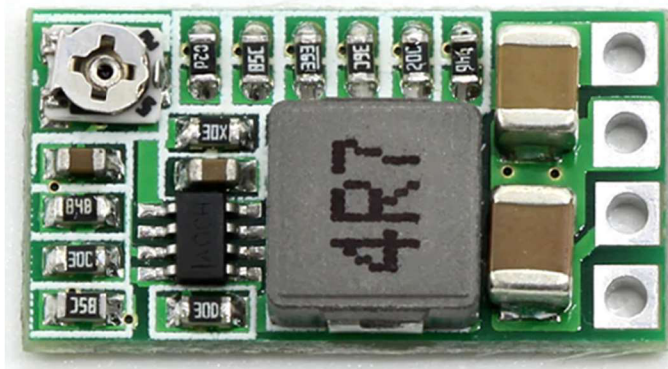
Zdroj je konstruován tak, aby byl co nejúčinnější a odolný vůči neodbornému použití. Na vstupu je hlavní pojistka celého napájení a hned za ní diodový můstek, který zajišťuje ochranu proti přepólování napájecího napětí. To by mohlo mít za následek zničení celé řídicí elektroniky, pokud by se nestihla přepálit pojistka.



Za diodovým můstkem je filtrační kondenzátor 100uF/35 V (C3), který zajistí dodání proudu při zvýšeném odběru. Paralelně k němu je připojen blokovací keramický kondenzátor 100nF/35 V, který zajistí stabilitu zdroje a rychle dodá proud při proudových špičkách regulace STEP-DOWN měniče. Napětí na 24 V uzlu je indikováno LED diodou D21 s předřadným odporem R44.

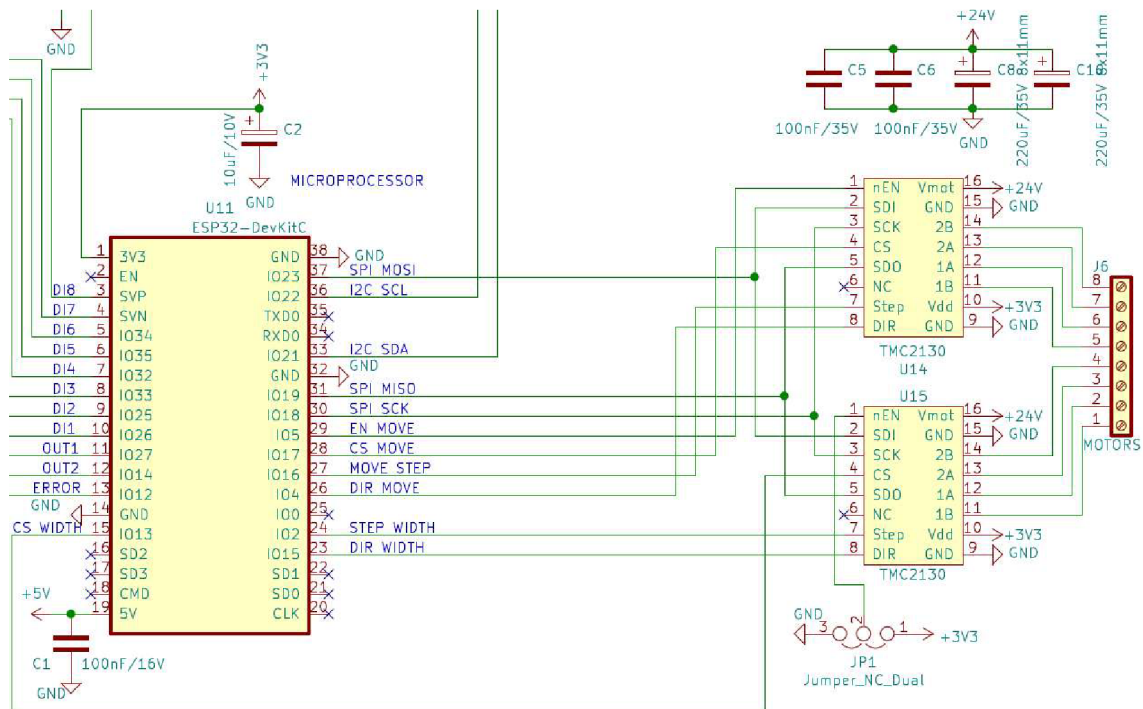
Jak bylo již výše zmíněno, 5 V zde vytváří STEP-DOWN měnič značky HESAI z 24 V napájecího napětí. Ten má dle dokumentace maximální výstupní proud 3 A, a maximální účinnost 97,5 %. U této aplikace by proud neměl překročit 1 A vzhledem k tomu, že se z 5 V větve napájí pouze mikrokontroler, OLED displej a komunikace s drivery. Všechna tato zařízení mají minimální příkon, proto je vhodné tento levný STEP-DOWN použít. Při napájení digitálních výstupů 5 V větvi se musí brát zřetel na možnosti a stabilitu měniče při zvýšeném zatížení.

Na 5 V větvi se opět nachází filtrační a blokovací kondenzátor (C9 a C7), které zajišťují lepší stabilitu, menší zvlnění výstupního napětí měniče a dodávají proud při proudových špičkách. Indikace aktivní 5 V větve je zde opět realizována pomocí LED diody D22 s předřadným rezistorem R45.



**Obr. 4.10** Miniaturní STEP-DOWN DC-DC měnič značky HESAI [11]

### 4.3.4 Drivery

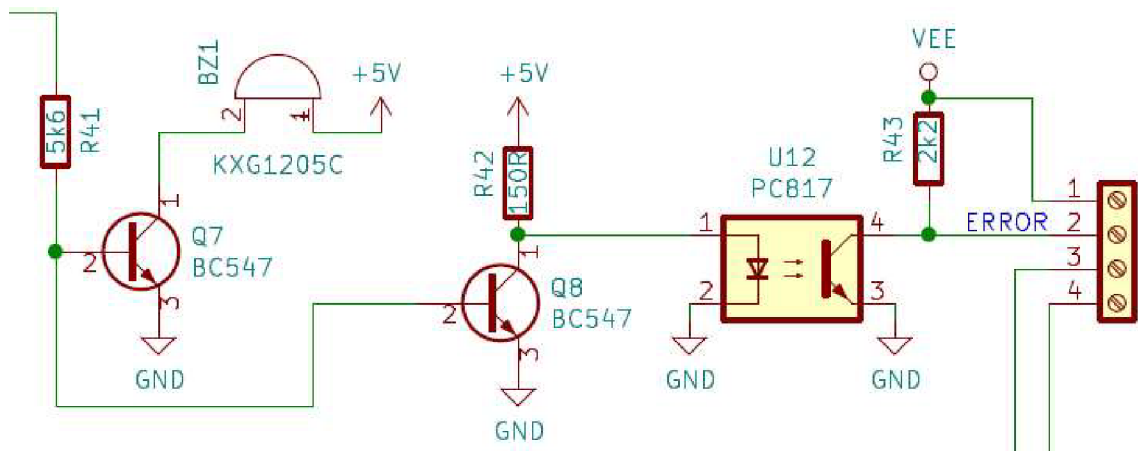


Obr. 4.11 Zapojení motorových driverů

Drivery jsou zapojeny na sběrnici SPI. SPI se týká signály MOSI (Master OUT, Slave IN), MISO (Master IN, Slave OUT), SCK (hodinový signál) a CS (Chip Select) pro každé zařízení připojené na sběrnici, volí se jím slave pro komunikaci. Otáčení motorů je řízeno signály Step. Pro změnu směru otáčení se využívá signálu DIR. Signál ENABLE řídí odpojení koncového stupně driveru, motor je potom v režimu naprázdno a lze s ním volně otáčet. ENABLE u driveru je třeba řídit jen u motoru pro posuv, proto druhý driver ovládající motor nastavující šířku musí mít ENABLE neustále aktivní. Toto nastavení je prováděno pomocí zkratovací propojky, která se připojí buď na logickou úroveň 1 nebo 0 podle toho, jak má konkrétní driver řešenou logiku ENABLE.

Drivery jsou připojeny k napájení komunikace 3,3 V a k napájení motorů 24 V. Výstupy driverů jsou připojeny k násuvné svorkovnici, ke které se připojují cívký motorů. Napájení motorových driverů obsahuje přídatnou kapacitu ve formě dvojice filtračních kondenzátorů 220 µF/35 V (C8 a C10) a dvojici blokovacích keramických kondenzátorů 100 nF/35 V.

### 4.3.5 Zpětná vazba



Obr. 4.12 Zapojení zpětné vazby

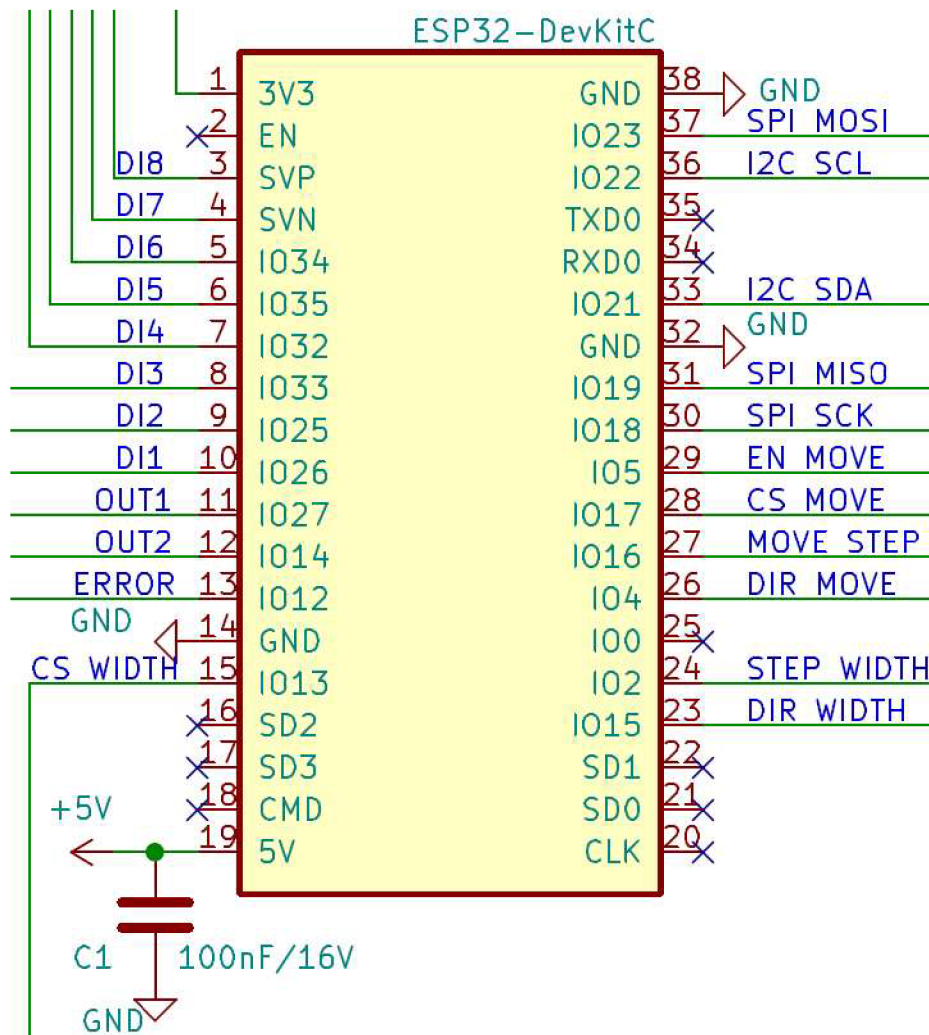
Zpětná vazba stavu feederu pro předání svého stavu stroji je opticky oddělená a může indikovat buď poruchu v kombinaci se bzučákem, nebo tzv. ready stav, kde se bzučák osazovat nebude a stroji se předá aktivní úroveň, pokud feeder úspěšně připravil čip pro vyzvednutí. Výstup může být osazen pull-up rezistorem a k němu může být připojeno potřebné napětí zpětné vazby, nebo toto může zůstat neosazeno a výstup bude pouze připojovat zem při změně stavu.

Pokud na kontroléru bude logická úroveň 1, resp. napětí 3,3 V, otevře se spínací tranzistor BC547C (Q8) a přestane svítit dioda v optočlenu. Tím se zavře výstupní tranzistor optočlenu a výstup bude přes pull-up rezistor mít hodnotu externě dodaného napětí VEE. Toto zapojení neinvertuje logickou úroveň.

V případě osazení řídicí desky bzučákem (BZ1), se předává zpětnou vazbou chybový stav. Pokud tedy bude na výstupu mikrokontroleru aktivní logická úroveň 1, otevře se spínací tranzistor BC547C (Q7) a vznikne napětí  $\approx 5$  V na svorkách bzučáku, který začne akusticky indikovat poruchový stav.



### 4.3.6 Zapojení pinů ESP32



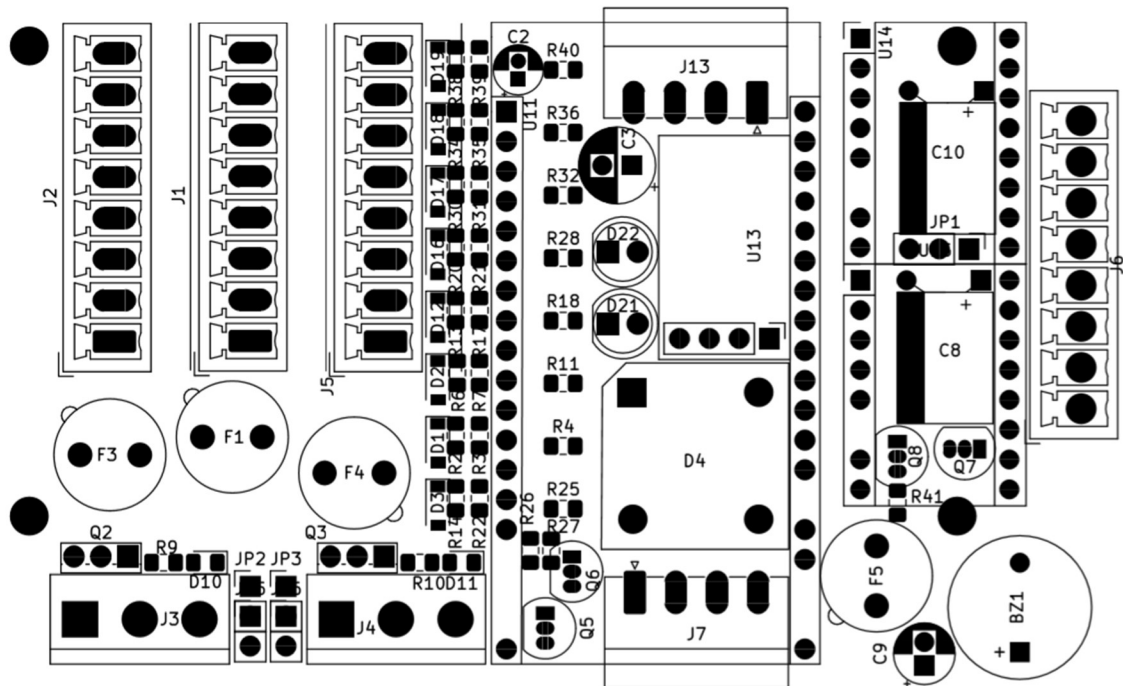
Obr. 4.13 Zapojení pinů modulu mikrokontroleru s ESP32

Na Obr. 4.13 lze vidět rozložení pinů modulu. Jsou zde označeny nezapojené piny, které se nedoporučují používat, nebo které by mohly narušit správnou funkci mikroprocesoru. Vstupní napájecí napětí 5 V má přímo u pinu blokovací keramický kondenzátor 100 nF/16 V (C1). Pro stabilizaci 3,3 V výstupní větve je zde filtrační kondenzátor 10  $\mu$ F/10 V (C2). Tato větev napájí logickou část motorových driverů a OLED displej. K rozhraní I2C, kterého se týkají signály SDA a SCL, je displej připojen přímo, protože zde není potřeba optického oddělení stejně jako je tomu u komunikačního rozhraní SPI.

**Tab. 1 - Vlastnosti digitálních pinů ESP32 [2]**

	INPUT	OUTPUT	poznámka
GPIO0	pull-up	OK	při inicializaci se na pinu generuje PWM signál
GPIO1	TX pin	OK	ladící výstupní signál při inicializaci
GPIO2	OK	OK	pin je připojen k integrované LED
GPIO3	OK	RX pin	výstup je při inicializaci na úrovni logické 1
GPIO4	OK	OK	
GPIO5	OK	OK	při inicializaci se na pinu generuje PWM signál
GPIO6	x	x	SCK/CLK - SPI komunikace s interním flash
GPIO7	x	x	SDO/SD0 - SPI komunikace s interním flash
GPIO8	x	x	SDI/SD1 - SPI komunikace s interním flash
GPIO9	x	x	SHD/SD2 - SPI komunikace s interním flash
GPIO10	x	x	SWP/SD3 - SPI komunikace s interním flash
GPIO11	x	x	CSC/CMD - SPI komunikace s interním flash
GPIO12	OK	OK	selhání inicializace v případě logické 1 na vstupu
GPIO13	OK	OK	
GPIO14	OK	OK	při inicializaci se na pinu generuje PWM signál
GPIO15	OK	OK	při inicializaci se na pinu generuje PWM signál
GPIO16	OK	OK	
GPIO17	OK	OK	
GPIO18	OK	OK	SPI - CLK
GPIO19	OK	OK	SPI - MISO
GPIO20	OK	OK	
GPIO21	OK	OK	I2C - SDA
GPIO22	OK	OK	I2C - SCL
GPIO23	OK	OK	SPI - MOSI
GPIO25	OK	OK	8 bitový DAC
GPIO26	OK	OK	8 bitový DAC
GPIO27	OK	OK	
GPIO32	OK	OK	
GPIO33	OK	OK	
GPIO34	OK		pouze vstup
GPIO35	OK		pouze vstup
GPIO36	OK		pouze vstup
GPIO39	OK		pouze vstup

## 4.4 Návrh DPS



Obr. 4.14 Rozmístění součástek na DPS řídicí elektroniky

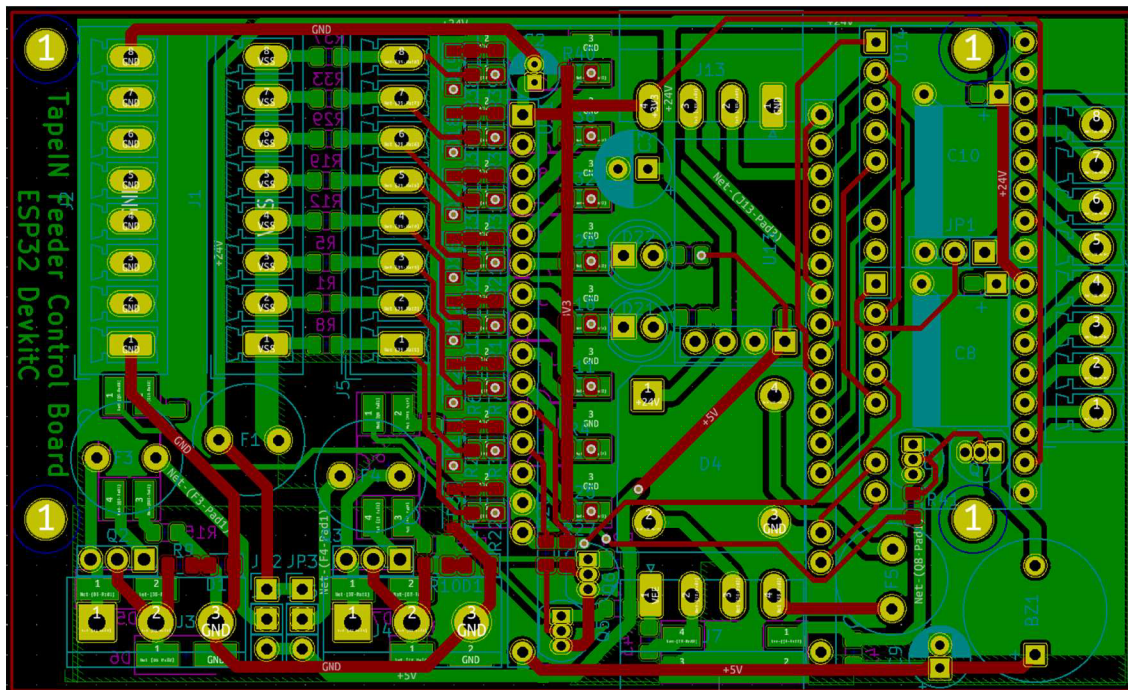
DPS bylo navrženo tak, aby svorkovnice vstupů a výstupů desky zbytečně nezvětšovaly desku. Použití pouze úhlových svorkovnic kolem desky by mělo za následek, že by deska byla při takovém počtu vývodů větší, než v konfiguraci na Obr. 4.14, proto bude výhodné použití přímých svorkovnic naskládaných vedle sebe (J2, J1, J5). Tyto svorkovnice jsou vstupy (J5), +24 V napájení vstupů (J1) a zem napájení vstupů (J2). Poslední přímou svorkovnicí je J6, ke které se připojují cívky motorů.

Úhlové násuvné svorkovnice jsou situovány pod mikrokontroler pro ušetření prostoru na desce a jsou využívány pro připojení napájecího napětí a zpětné vazby (J7) a připojení displeje (J13). Pod mikrokontrolerem je umístěn diodový můstek, STEP-DOWN měnič, spínací tranzistory, budící koncové zesilovače digitálních výstupů, a indikace napětí 24 a 5 V pomocí LED D21 a D22.

Vpravo od mikrokontroleru jsou umístěny motorové drivery. Tyto drivery mají pod sebou připojeny filtrační kondenzátory C8 a C10 přímo u napájecího pinu driveru. Přímou u driverů je umístěna svorkovnice pro připojení motorů J6.

Digitální výstupy nemají násuvnou svorkovnici a na desce jsou situovány vlevo dole. Mezi těmito svorkovnicemi se nachází piny, na kterých se pomocí propojky volí výstupní napětí mezi 5 a 24 V. Nad těmito svorkovnicemi se nachází pojistky pro digitální výstupy (F3 a F4), a pro napájení vstupů F1.

Některé piny u mikrokontroleru a driverů jsou odstraněny kvůli prostoru pro vodivé cesty na DPS. Tyto piny se dle dokumentace nesmí připojovat, proto jsou vymazány pro jednoduchost návrhu.



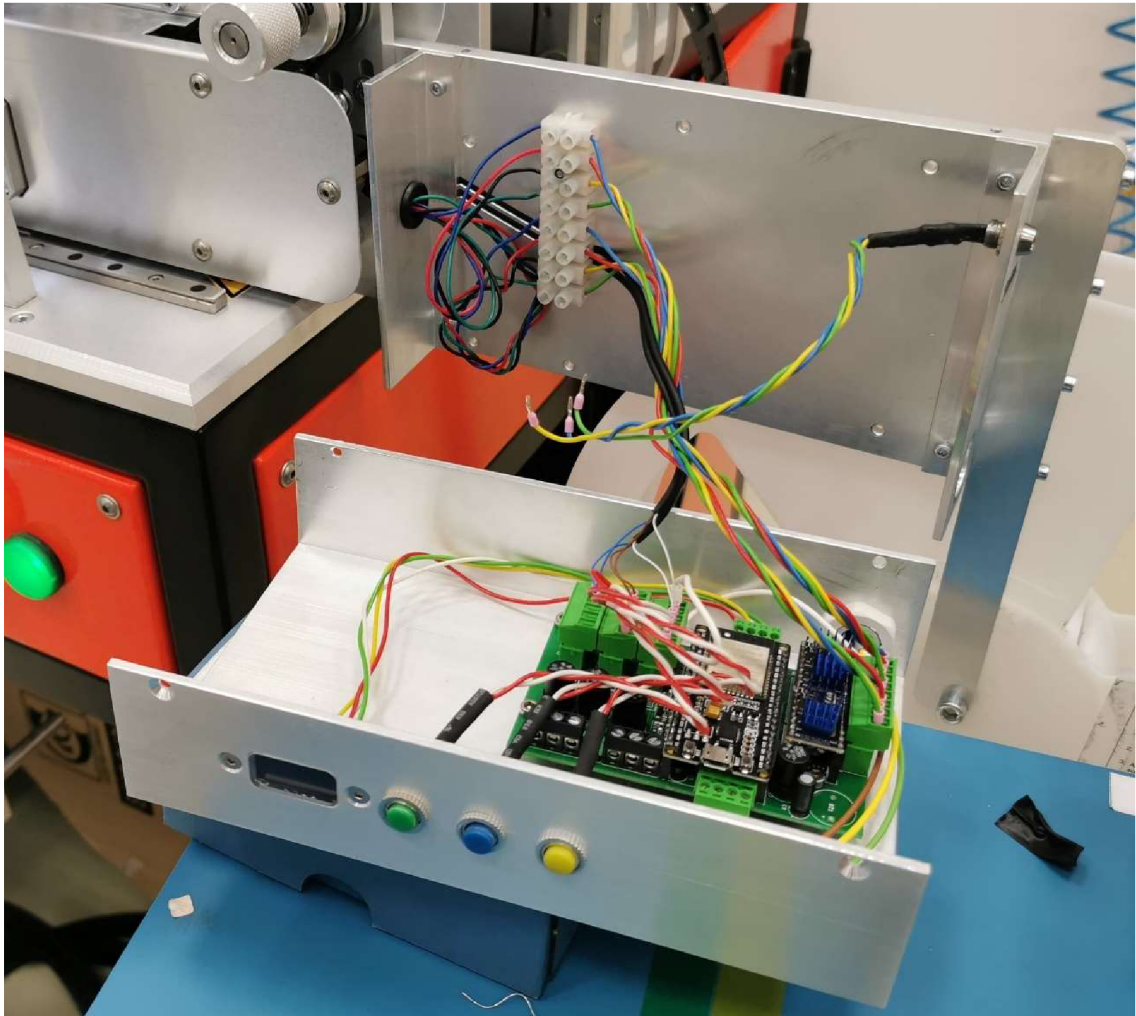
Obr. 4.15 Návrh DPS v programu KiCad

Deska je navržena jako dvouvrstvá. Spodní vrstva obsahuje většinu vodivých cest a vyplněné zóny s potenciálem GND. Cesty, které by se křížily, jsou řešeny horní vrstvou a průchodkami. Největší šířka cesty je 1 mm, která se týká hlavně silových cest jako je napájení a digitální výstupy. Signálové cesty mají šířky 0,25 mm a 0,5 mm.

Návrh byl proveden v návrhovém freewarovém softwaru KiCad ver. 5.1.2., který obsahuje knihovny pro většinou použitých součástek. Zbytek chybějících pouzder byl dokreslen v editoru.



## 4.5 Realizace hardwaru



**Obr. 4.16 Sestavení a zadrátování řídicí elektroniky feederu**

Byla osazena deska řídicí elektroniky. Deska byla přišroubována do krytu pomocí distančních sloupků o délce 4 mm. Byly připojeny komponenty pomocí vodičů o průřezu 0,35 mm<sup>2</sup> a dutinek. Oživování desky probíhalo bez osazení modulu ESP32, přičemž byly ověřeny napájecí napětí 5 V pro tento modul a 24 V pro napájení driverů, výstupů a vstupů. Po osazení modulem ESP32 bylo ověřeno napájecí napětí 3,3 V pro napájení komunikační logiky driverů a displeje. Byl vyroben přívodní kabel 4x0,5 mm<sup>2</sup> s konektorem Hirose HR10A-7P. Kabel do krabice elektroniky vede přes průchodku PG-9.

# 5 NÁVRH A IMPLEMENTACE SW PRO ŘÍDÍCÍ SYSTÉM

V následující kapitole je popsán návrh a implementace softwaru pro řídicí systém, realizovaný mikrokontrolerem ESP32. Jedná se o software obsluhující displej přes I2C, drivery krokových motorů přes SPI, tlačítek, senzorů, indikátorů, triggeru od stroje a zpětné vazby.

V poslední řadě je zde popis navrženého prostředí pro ovládání a nastavování feederu výrobním operátorem.

## 5.1 Vývojové prostředí

Software byl navržen ve vývojovém prostředí Arduino IDE za pomoci programovacího jazyku C++. Díky jeho jednoduchosti a možnostem přidávat externí knihovny, které jsou implementovány přímo v tomto vývojovém prostředí, bylo výhodné zvolit tuto variantu. Nevýhodou tohoto prostředí je absence debuggeru, který by umožnil krokování programu nebo nahlédnutí do vnitřních proměnných.

Podpora tohoto mikrokontroleru je taková, že se musí nejprve naimportovat překladač pro danou řídicí desku, která je v této konkrétní aplikaci ESP32 Dev Module. Tato podpora je oficiálně dostupná na internetových stránkách Espressif System. [12]

Prostředí umožňuje komunikaci přes sériový port, nastavení distribuce paměti, frekvenci procesoru, frekvence paměti, nastavení watchdogu, frekvence komunikace při nahrávání firmwaru, atd.

### 5.1.1 Zápis firmwaru

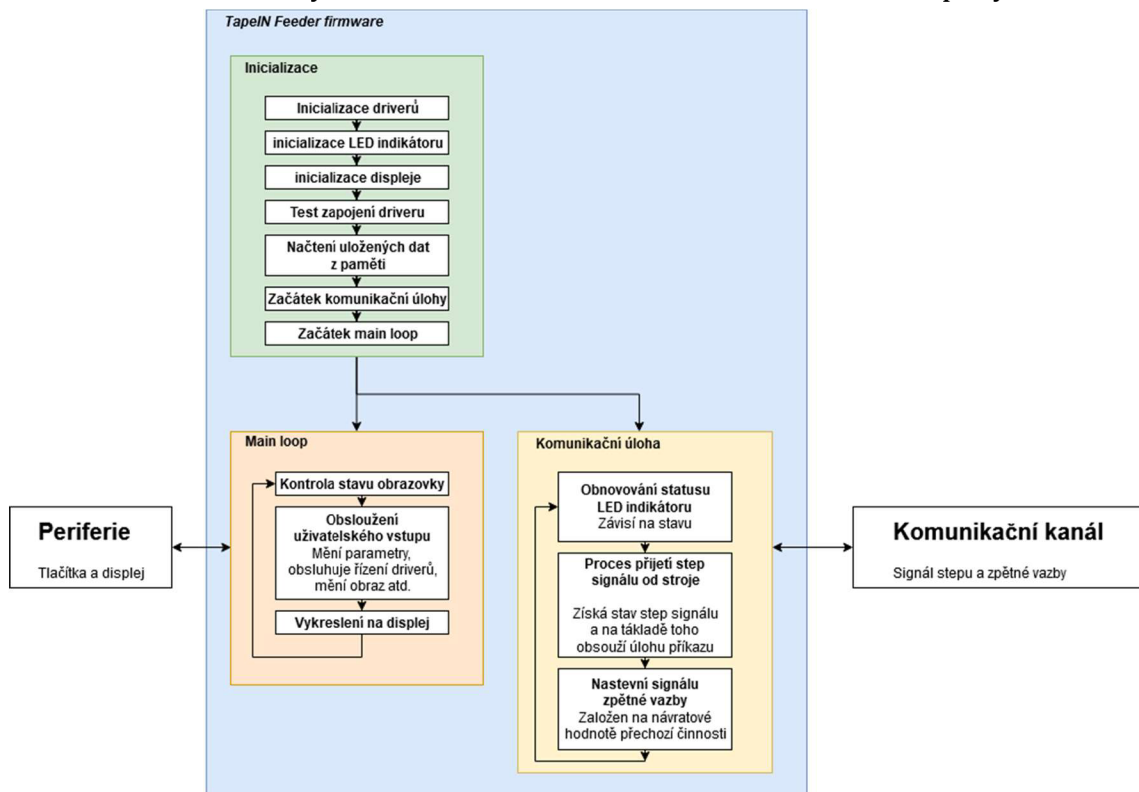
Zápis firmwaru je realizován pomocí skriptu esptools, který je napsán v jazyce Python. Tento skript je také oficiálním nástrojem pro nahrávání zkompileovaného binárního souboru do flash paměti kontroléru.

Skript esptools je stažen automaticky programem Arduino IDE po přidání podpory ESP32 do prostředí. Překlad programu je prováděn prostředím Arduino IDE a poté je uploadován do kontroléru pomocí tohoto skriptu.

## 5.2 Struktura programu

Program je strukturován do dvou řídicích smyček, které probíhají paralelně v reálném čase. Jelikož je použitý mikroprocesor dvoujádrový, každá smyčka má přiřazené vlastní jádro procesoru.

Program je rozdělen do tří základních modulů. Hlavní modul obsluhuje chod celého firmwaru, druhý modul řeší obsluhu tlačítek a třetí modul řídí pohyb motorů.



Obr. 5.1 Blokové zobrazení chodu programu

### 5.2.1 Řídicí smyčky

První smyčka, která je zároveň hlavní smyčkou, řeší chod a obsluhu celého interního systému. Je v ní řešeno menu, nastavení parametrů operátorem, řešení chybových stavů a obsluha displeje.

Druhá smyčka obsahuje obsluhu řídicích signálů ze stroje a zpětnou vazbu. Je v ní řešeno načítání vstupů z tlačítek a řízení indikátorů. V případě načítání vstupů z ovládacích tlačítek je použito přerušování, přičemž toto přerušování je obslouženo až při dokončení vykonávané úlohy.

### 5.2.2 Použití EEPROM

Paměť EEPROM je část flash paměti vyhrazena pro účely zápisu a čtení programem, která uchová zapsaná data i po restartu kontroleru. Jedná se tedy o paměť flash, která se uživatelsky jeví jako paměť EEPROM.

Využití této paměti bylo nutné pro uchování nastavených parametrů zařízení i po vypnutí zařízení. Tyto parametry si kontrolér hned po spuštění načte a dále s nimi pracuje stejně jako před vypnutím.

K přepisu těchto parametrů v paměti dochází v menu po obsluze operátorem. Jedná se o parametry rychlost posuvu, nastavená šířka feederu a rozteč políček v pásce. Bez ukládání těchto parametrů by nebylo možné bezpečně zapnout feeder se zavedenou páskou s čipy.

Přístup k paměti je řešen přes třídu EEPROMClass, která je součástí knihovny pro ovládání dané řídicí desky. Parametrem této třídy je jméno dané oblasti v paměti a velikost jednoho ukládaného elementu do této části paměti.

Třída obsahuje funkci get(index v paměti, proměnná pro uložení hodnoty). Slouží k načtení dat z paměti. Druhou využívanou funkcí je put(index v paměti, proměnná pro uložení). Třetí funkcí je commit(), která zapíše všechny změny do paměti.

## 5.3 Řízení IO

Řízení vstupů a výstupů mikrokontroleru je řešeno pomocí funkcí digitalWrite(číslo pinu) a digitalWrite(číslo pinu, logická úroveň HIGH/LOW).

### 5.3.1 Obsluha tlačítek

Obsluha tlačítek využívá přerušení. K tomu je využito knihovny JC\_Button, která obsahuje konstruktor s parametry Button(číslo pinu, počáteční stav TRUE/FALSE, minimální čas opakovatelnosti stisku, pullup TRUE/FALSE, inverze logiky). [13]

Princip funkce načítání je takový, že je vytvořena třída Button\_Controller, obsahující načítání všech tří tlačítek a obsahuje také tři instance třídy JC\_Button. Třída Button\_Controller řeší získávání stavů tlačítek tak, že její metoda Refresh() při volání obnoví aktuální stavy všech tří tlačítek. Tato třída obsahuje metody na získání hodnot jednotlivých tlačítek a vymazání hodnot aktuálních stavů.

Tlačítka slouží pro pohyb v menu a aktivování funkcí zobrazených na displeji feederu.

### 5.3.2 Obsluha senzorů

Kód obsluhuje načítání z dvojice senzorů. První ze senzorů je homovací. Principiálně to pracuje tak, že se střídá načítání vstupu ze senzoru a vysílání signálu step do driveru motoru. Toto řeší cyklus while, který je přerušen po změně stavu senzoru.

Senzor počítání děr je načítán pomocí přerušení. Tento senzor ověřuje posun pásky o zadaný krok. Počet děr, který má být načítán, je vypočten podle aktuálně nastaveného kroku posuvu pásky.



### 5.3.3 Řízení indikátoru

Indikátor má tři stavy signalizace. Pomocí dvou digitálních výstupů a funkce `digitalWrite` je ovládána dvoubarevná LED, která obsahuje červenou a zelenou složku. Zelená složka svítí, pokud je feeder v režimu `RuntimeStatus`. To znamená, že uživatel není v menu, a že feeder čeká na triggeru signál ze stroje, aby pootočil motorem. Oranžová svítí, pokud je uživatel v menu. Červená složka svítí, pokud nastal jeden z chybových stavů.

### 5.3.4 Obsluha triggeru a zpětné vazby

Obsluha triggeru se nachází ve druhé řídicí smyčce. Pokud je při průchodu cyklem zjištěna hodnota triggeru = HIGH, je pin zpětné vazby přizemněn a dále se čeká na konec pulzu triggeru signálu. Po jeho ukončení se spustí sekvence pro obsluhu motoru pro posuv pásky. Tímto způsobem se tedy řídí pohyb pásky ze stroje.

Zpětná vazba feederu funguje tak, že předává stroji informaci o stavu „připraven na posuv“. Storm je poté naprogramován tak, že přísavka nevezme čip, pokud není zaznamenán tento stav na zpětné vazbě feederu. Feeder není připraven na posuv pokud: se nachází v chybovém stavu, uživatel je v menu, feeder vykonává posuv pásky.

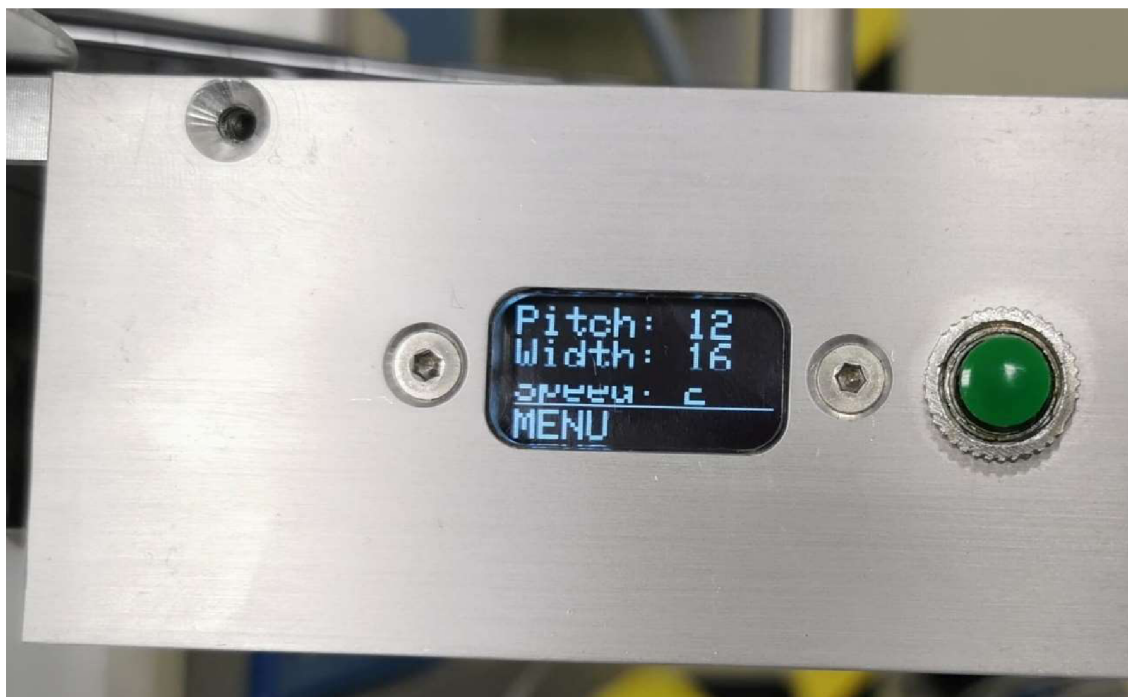
## 5.4 Obsluha displeje

Obsluha displeje je řešena pomocí knihovny `Adafruit_SSD1306`, která obsahuje všechny potřebné funkce pro vykreslování na displeji. [14]

Princip vykreslování na displej je takový, že je při inicializaci vymazán vnitřní obsah paměti displeje, stejně jako při obsahovém obnovení displeje. Pro zápis na displej se využívá dvou hlavních metod, a to `drawBitmap(x počáteční, y počáteční, pole hodnot, šířka, výška, barva)` pro vykreslení bitmapy a `print("text")` pro výpis textu na displej. Další důležitou metodou třídy je např. `setCursor(x, y)`, která slouží k určení pozice kurzoru na displeji, určující počáteční bod k výpisu na displej.

Komunikace přes I2C piny se spouští metodou `begin(sepnutí napájení displeje, adresa slave)`.

Po zapnutí feederu je na displeji zobrazeno logo firmy EPS. Toto vykreslení je řešeno přes metodu `drawBitmap`. Po uplynutí nezbytně nutné doby pro inicializaci všech komponent je logo vymazáno a nahrazeno úvodní obrazovkou, která zobrazuje nastavené parametry a nabízí vchod do menu přes tlačítko.



**Obr. 5.2 Hlavní obrazovka se zobrazenými parametry**

Obr 5.2 má na fotografii vynechaný proužek. Je to způsobeno rychlou uzávěrkou fotoaparátu a snímání fotografie při překreslování obrazu. Ve skutečnosti je obraz na displeji zobrazen úplně.

## 5.5 Řízení driverů

Drivery jsou řízeny přes komunikaci SPI pro nastavení parametrů, a signály STEP, DIRECTION a ENABLE. Přes SPI je možné nastavit mnoho parametrů motorového driveru. Mezi hlavní parametry patří nastavení mikrostepů a proudu motoru.

Drivery jsou řízeny pomocí knihovny TMC2130Stepper, která je primárně určena pro použití ve firmwaru pro 3D tiskárny. [15]

### 5.5.1 Inicializace driverů

Knihovna TMC2130Stepper sama řídí SPI komunikaci s dvojicí driverů, není proto nutné se manuálně zabývat přepínáním mezi jednotlivými drivery, ani ručně formulovat datové pakety.

V první řadě je nastavován proud do cívek motoru při pohybu pomocí funkce `setCurrent`, která také slouží k nastavení přídržného proudu motoru v klidovém stavu. Tato funkce nahrazuje řešení standardních driverů, které používají miniaturní trimr. Toto řešení navíc nezahrnuje nastavení proudu motoru v klidovém stavu, které je u motoru nastavení šířky stěžejní, protože se tak výrazně zvyšuje účinnost celého zařízení a prodlužuje životnost motoru.

Nastavení průběhu výstupního napětí pro motory je řešeno přes několik funkcí. Mezi hlavní patří nastavení interpolace, což je vyhlazení průběhu výstupního napětí na 256 mikrostepů. Dalším parametrem je nastavení mikrostepů a hystereze výstupního signálu. Nastavením hystereze je docíleno plynulejšího přechodu mezi jednotlivými kroky motoru. Toto nastavení upravuje sestupné a náběžné hrany kroků motoru.

Režim stealthChop upravuje v reálném čase pomocí PWM proud do motorů. Tím je dosaženo hladkého a tichého chodu při nízkých otáčkách a nedochází k přenosu vibrací do zařízení. Pokud je překročena maximální nastavená hranice proudu, driver je přepnut do standardního režimu. Nevýhodou toho režimu je, že driver nemá vždy dostatek výstupního proudu.

## 5.5.2 Řízení motoru pro posuv

Pokud je zavolána metoda Step, je nejprve ověřeno, jestli je driver aktivován. Pokud ne, je následně aktivován. Dále je nastaven směr otáčení dle parametru metody. Poté je vypočten počet kroků motoru, které mají být provedeny. Dále je aktivováno počítadlo děr v pásce realizováno senzorem na vstupu řídicí jednotky, které ověřuje posuv pásky a tím i otočení motoru. Následně je volána metoda \_step, která přímo řeší ovládání daného motoru. Tato metoda je společná pro řízení obou motorů a má funkcionalitu pro postupnou akceleraci a deceleraci daného motoru. Je však využívána pouze pro řízení motoru pro posuv pásky.

Metodě \_step je předáváno několik parametrů. První z nich je číslo pinu pro krokování, druhým parametrem je frekvence pulzů pro krokování, třetí parametr je počet kroků, které mají být předány. Dále jsou zde dva parametry, které jsou volitelné. Jedná se o počet kroků, které vytváří náběžnou a sestupnou hranu rychlosti motoru a o procentuální počáteční a koncovou rychlost otáčení motoru.

Na konci sekvence po volání metody Step je deaktivováno počítadlo děr pásky a je ověřen celkový posuv.

Pro odmotání zbytku pásky na kotouči je využíváno metody RollOutTape, která po zavolání spustí sekvenci, jenž začne otáčet motorem až do konce načítacího cyklu děr v pásce.

## 5.5.3 Řízení motoru nastavení šířky

U řízení motoru nastavení šířky je využíváno metody \_step obdobně jako u motoru pro posuv. Zbytek řízení je odlišný v několika aspektech. Pro řízení motoru nastavení šířky je využíváno metod SetWidth a HomeWidth.

Parametrem metody SetWidth je pozice v milimetrech rozevření feederu. Druhým parametrem je frekvence pulzů pro krokování. Nejprve je ověřeno, jestli již byla provedena homovací sekvence. Poté je vypočten rozdíl polohy aktuální od

vyžadované. Dle tohoto rozdílu je nastaven směr otáčení motoru a počet kroků, které se mají vykonat. Nakonec je volána metoda `_step` obdobně jako u řízení motoru pro posuv.

### **5.5.3.1 Homovací sekvence**

Homovací sekvence využívá metody `HomeWidth` a při volání probíhá tak, že se nejprve načte hodnota z homovacího senzoru. Na základě této hodnoty se určí směr otáčení homovacího motoru. V případě, že je homovací senzor přerušen, feeder se začne rozevírat až do stavu vyjetí ze senzoru, tedy kdy je optická brána nepřerušena. Pokud je při načtení senzoru hodnota nepřerušeno senzoru, feeder se začne uzavírat, dokud se nepřeruší optická brána. Po přerušení optické brány se invertuje směr otáčení motoru pro nastavení šířky a zastaví se až po otevření optické brány.

Homovací sekvence je ošetřena délkovým omezením, tedy pokud se nepodaří nahomovat po překonání vzdálenosti 60 mm na šířce, je homování přerušeno a sekvence postupuje do chybového stavu.

## **5.6 Struktura menu**

Po spuštění feederu je na displeji zobrazeno logo společnosti EPS a po inicializaci je zobrazena hlavní stránka. Ta obsahuje nastavené parametry a přístup do hlavního MENU.

Po stisknutí tlačítka je uživatel přesměrován do MENU, které je oboustranně průchozí, a které obsahuje následující obrazovky: STEPBACK, STEP, SPEED, PITCH, WIDTH, JOG TAPE, JOG WIDTH, HOME W, TOGG MOTOR, ROLLOUT T. Po proklikání doprava nebo doleva přes MENU následuje obrazovka EXIT, která vrací uživatele zpět na hlavní obrazovku.

### **5.6.1 STEPBACK**

Po rozkliknutí obrazovky STEPBACK má uživatel možnost pomocí tlačítka vrátit feeder o jeden posuv zpět. Toto je důležitá funkce pro vracení například čipů vyhodnocených jako chybných zpět do pásky a tím i do stroje, proto je obrazovka STEPBACK vyobrazena pro uživatele jako první po vchodu do MENU. Při posuvu zpět je opět ověřována vzdálenost pomocí počítadla děr. Pokud by zde došlo k rozdílu ověřeného a zadaného posuvu, feeder vyhodnotí chybový stav a uživatel je vyzván k potvrzení chyby.

### **5.6.2 STEP**

Funkce STEP je využívána výhradně pro zavádění pásky. Uživatel zde má možnost posuvu pásky vpřed o jeden nastavený krok pomocí tlačítka. Tento posuv není

ověřován pomocí počítačů. Počítá se zde s tím, že uživatel nemusí mít ve chvíli použití této funkce správně zavedenou pásku. Díky tomu nemusí řešit chybové stavy.

### 5.6.3 SPEED

Obrazovka SPEED umožňuje uživateli nastavení rychlosti posuvu pásky. Možnosti rychlostí obsahují 4 předvolby přednastavených rychlostí. Uživatel volí rychlost v rozsahu 1 – 4, kde 4 znamená nejvyšší rychlost posuvu. Tyto rychlosti byly zvoleny podle plynulosti chodu motoru a podle požadavků na rychlost posuvu čipů.

Tab. 2 - Seznam předvoleb nastavení rychlostí posuvu pásky

Index rychlosti	Frekvence pulzů [kHz]	RPM	Rychlost pásky [mm/s]
1	5	11,72	39,1
2	7	16,41	54,9
3	8	18,75	62,5
4	10	23,44	78,1

Výpočtové vzorce pro otáčky za minutu (RPM) a rychlost posuvu pásky:

$$RPM = \frac{f_{step} \cdot \varphi_{mot}}{6N_{microsteps}} = \frac{5000 \cdot 0,9}{6 \cdot 64} = 11,72 \frac{ot}{s} \quad (1)$$

$$v_p = \frac{100}{6} O_k \cdot RPM = \frac{100}{6} 0,2 \cdot 11,72 = 39,1 \frac{mm}{s} \quad (2)$$

**Kde:**

$f_{step}$	frekvence pulzů [Hz]
$\varphi_{mot}$	základní úhel otočení motoru [°]
$N_{microsteps}$	počet mikrostepů [-]
RPM	Otáčky motoru za minutu
$v_p$	rychlost posuvu pásky [mm/s]
$O_k$	Obvod hnacího zubatého kola pásky [m]

### 5.6.4 PITCH

Obrazovka PITCH nabízí nastavení délky posuvu pásky v rozsahu 4 – 40 mm, přičemž se jedná o násobky 4. Díry v pásce jsou od sebe vzdáleny právě 4 mm. Tedy pokud zvolíme PITCH = 8, výsledná vzdálenost posuvu budou  $N = 8/4 = 2$  díry.

### 5.6.5 WIDTH

Stránka WIDTH obsluhuje nastavení šířky pásky. Jsou zde předvolby pro normované šířky pásek, a to konkrétně 8, 12, 16, 24, 32 a 44 mm. Feeder po zvolení předvolby začne homovat, pokud se tak při zapnutí ještě nestalo. Pokud byl již nahomován, nebo se tak právě stalo, rozevře se na požadovanou šířku. Před každým homováním

je uživatel vyzván k potvrzení, aby nedošlo ke zničení již zavedené pásky, pokud by se uživatel zmýlil.

### **5.6.6 JOG TAPE**

JOG TAPE umožňuje jemný posun pásky vpřed a vzad. Je tu funkce, která umožňuje vystředění čipu na osu přísavky stroje. Při každém stisku tlačítka je páska posunuta o vzdálenost 0,25 mm.

### **5.6.7 JOG WIDTH**

JOG WIDTH je stránka která je velmi podobná JOG TAPE. Jedná se o jemné doladění šířky pomocí tlačítek. Při každém stisku tlačítka se šířka změní o 0,08 mm. Tato funkce slouží k nastavení šířky tak, aby páska ve feederu měla volné uložení.

### **5.6.8 HOME W**

Tato funkce slouží k ručnímu homování šířky feederu v případě, že se feeder nepodaří nahomovat při nastavování šířky. Tato funkce je doplňková a její existence je spíše pozůstatkem po testování. Feeder není možné opakovaně homovat z důvodu ochrany zavedené pásky.

### **5.6.9 TOG MOTOR**

TOG MOTOR je stránka, která umožňuje deaktivaci motorového driveru pro pohodlné zavedení pásky do feederu výrobním operátorem. Může také sloužit jako nástroj k vystředění pásky na střed přísavky stroje. Při aktivaci a deaktivaci se mění předvolba v MENU z „ENABLE“ na „DISABLE“, aby bylo z displeje zřetelné, ve kterém stavu se driver nachází.

### **5.6.10 ROLLOUT T**

Pro vymotání zbytku pásky z kotouče slouží funkce ROLLOUT T, která spustí posuv pásky do doby, než počítadlo děr přestane snímat díry. Tato funkce se používá, pokud operátor dokončí výrobní proces a na kotouči je zbylá páska bez čipů. Bez této funkce by operátor musel pásku tahat ručně nebo ji přestříhnout.

Před každým použitím této funkce je operátor vyzván k potvrzení výzvy pro odmotání zbytku pásky z kotouče. Pokud by se operátor i zde zmýlil, mělo by to devastující dopad na uložené čipy.

## 6 TESTOVÁNÍ A ZHODNOCENÍ

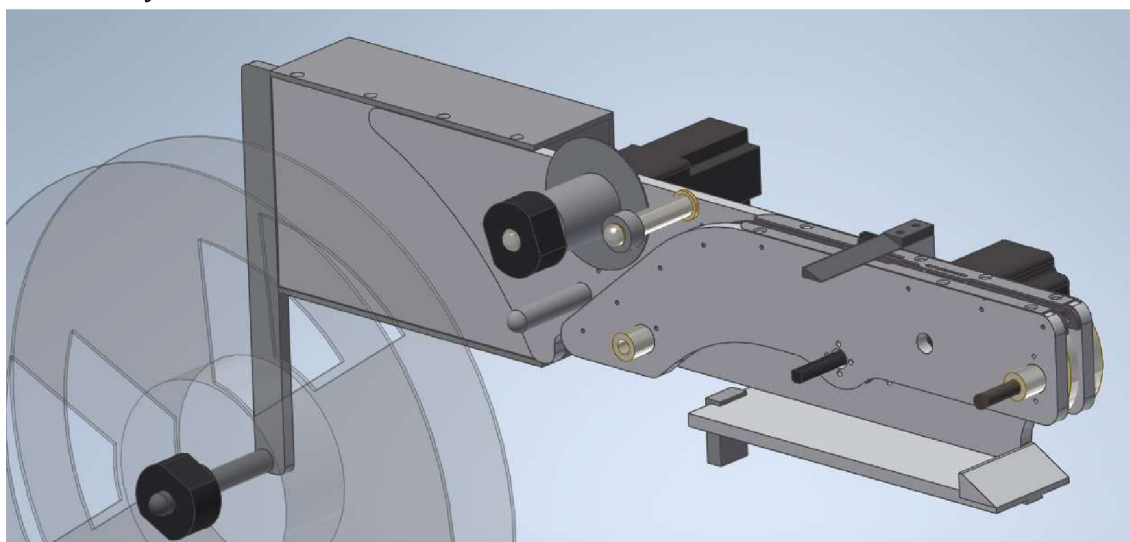
Feeder byl zhotoven ve dvou prototypech. V následující části je uveden způsob provedení jednotlivých modelů a posouzení jejich kvality.

### 6.1 První prototyp

První prototyp feederu byl vytvořen ve verzi se třemi motory, přičemž třetí z motorů byl indukční a sloužil k navíjení horní pásky. Tento první prototyp měl pozičně zaměněné hnací kolo s nožem pro strhávání horní pásky. Kolem tohoto hnacího kola docházelo k vibracím a čipy vyskakovaly z pásky, jelikož už nebyly kryty horní páskou. Indukční motor pro navíjení horní pásky nebyl dostatečně synchronní k posuvu pásky. Ten se tedy buď opožďoval, docházelo poté k nedostatečnému odkrývání horní pásky, nebo tahal zbytečně moc a horní páska se občas z toho důvodu i trhala.

Tento prototyp byl řízen čínským kontrolérem King Pigeon a drivery DRV8825. Kontrolér byl nespolehlivý, kvalitativně nedostačující a rozměrný. Feeder také využíval přímého pohonu pásky, díky tomu měl motor připevněn v přední části na vnější straně. Tento motor způsoboval nevyváženost celého zařízení. Další chybou byla konstrukce strhávacího nože pro horní pásku. Byl umístěn vysoko nad páskou a měl vysoké stoupání. Docházelo poté ke zvedání pásky a vyskakování čipů.

První prototyp v podstatě pracoval správně pro určitá pouzdra, ale jeho provedení mělo několik zásadních chyb. Tyto chyby byly pro druhý prototyp odstraněny.



**Obr. 6.1 První prototyp TapeIN Feederu**

Tento feeder nebyl nikdy nasazen do provozu. Po zjištění nedostatků a sérii testů byl feeder rozebrán. Některé díly jako motory, tyče a trny byly použity na druhém prototypu.

## 6.2 Druhý prototyp

Druhý prototyp se již hodně podobá poslední verzi feederu, resp. feederu popisovaného v této práci. Tento druhý prototyp je po mechanické stránce identický s poslední verzí. Zachovala se u něj řídicí elektronika založená na čínském kontroleru a driverech DRV8825.

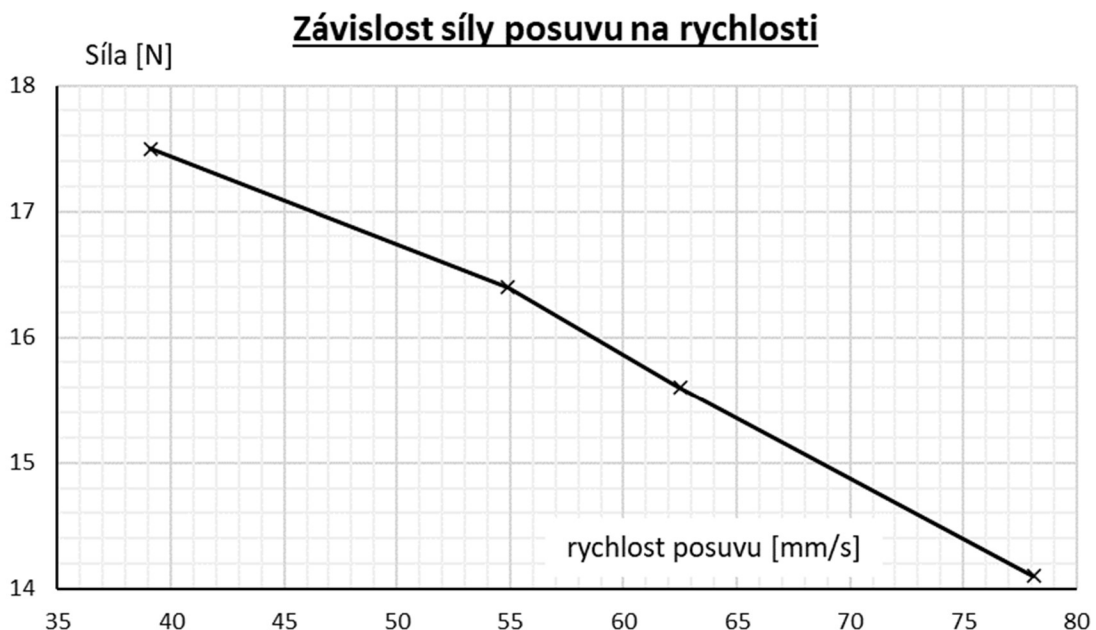
Byl vyroben v sérii pěti kusů, které byly částečně nasazeny do provozu ke konci roku 2019. Po nějaké době se projevila nestabilita řídicího systému a byl spuštěn vývoj řídicí elektroniky založené na ESP32 a driverech TMC2130. Toto řešení se prokázalo být stabilní, levné a účinné. Byl tedy upraven design krytů elektroniky a na těchto pěti kusech upraven koncept řídicí elektroniky.

## 6.3 Měření parametrů

Při testování bylo měřeno několik základních parametrů zařízení. Toto měření bylo prováděno pomocí ampérmetru a digitálního siloměru.

### 6.3.1 Síla posuvu

Síla posuvu pásky byla měřena siloměrem nastaveným na zobrazení maximální hodnoty síly v tahu v závislosti na rychlosti posuvu.



Obr. 6.2 Graf závislosti síly posuvu na rychlosti

Z grafu je patrné, že bylo dosaženo potvrzení teoretického předpokladu, že krokový motor nepřímo úměrně snižuje točivý moment v závislosti na rychlosti otáčení. Maximální síla posuvu pásky je 17,5 N. Po překročení této měřené síly motor ztrácí krok.



### 6.3.2 Síla nastavení šířky

Síla motoru pro nastavení šířky pásky byla měřena obdobně, jako síla posuvu. Síla vyvinuta motorem nastavujícím šířku je 50 N. Je to dáno stoupáním šroubovice a nastavením proudu krokového motoru. Aby uživatel ručně přemohl motor nastavující šířku, musel by vyvinout sílu větší než 100 N pro pohyb protikusů. Tato hodnota je horní mez rozsahu použitého digitálního siloměru. Točivý moment motoru pro nastavení šířky je tedy nastaven tak, aby při nastavování šířky nemohl zranit uživatele a aby při udržování pozice nastavené šířky bylo obtížné ručně přemoci toto nastavení.

### 6.3.3 Příkon feederu

Příkon feederu byl měřen pomocí digitálního ampérmetru s rozsahem do 1000 mA. Napájecí napětí feederu je konstantních 24 V. V tabulce je uvedeno několik stavů feederu a jejich příkony.

Tab. 3 - Seznam vypočtených příkonů v různých stavech feederu

stav	Proud [mA]	příkon [W]
menu - v klidu s deaktivovanými motory	150	3,60
ready - s aktivovanými motory	410	9,84
aktivní homing sekvence	430	10,32
ready - s aktivovanými motory při posuvu	740	17,76

Maximální příkon feederu byl určen na 17,76 W (nekonstantních). Dlouhodobý příkon feederu je menší než maximální příkon, protože záleží na využívání toho zařízení. Pokud je zařízení připojeno a není využíváno, jeho příkon je pouhých 3,6 W.

### 6.3.4 Hmotnost

Hmotnost feederu určená pomocí siloměru je 4,7 kg. Tato hodnota byla ověřena digitální stolní váhou. Tím je splněn předpoklad, že celé zařízení musí být co nejlehčí kvůli snadné manipulaci a práci s ním.

## 6.4 Zhodnocení

Od března roku 2020 je poslední verze feederu využívána ve výrobním procesu. K datu (20.5.2020) bylo vyrobeno 25 kusů TapeIN Feederů a většina z nich byla zaslána ostatním světovým pobočkám. Testování probíhalo po většinu času ve spolupráci s operátory výrobního procesu. Od těchto lidí byla poskytnuta

komplexní zpětná vazba o používání tohoto zařízení. Na základě tohoto hodnocení byl upravován software a některé mechanické části zařízení.

Feeder pracuje spolehlivě již několik měsíců ve výrobním procesu. Byl objeven nedostatek v podobě ztráty kroku po určité době provozu, pokud operátor nastavil maximální rychlost posuvu (5. stupeň rychlosti, který není uveden v Tab. 2). Tento nedostatek byl vyřešen odstraněním maximální rychlosti posuvu z menu. Při této rychlosti nebyl motor schopen dodávat potřebný točivý moment pro spolehlivý posuv pásky.

Poslední model feederu má hladký chod, stabilní uživatelské rozhraní a intuitivní ovládání. Obsahuje řadu nastavitelných parametrů, které výrobním operátorům usnadňují práci. Dále je zde možnost několika funkcí, které žádné konkurenční modely nenabízejí, jako je například krok zpět, nastavitelná šířka pásky, nastavitelná rychlost a odmotání zbytku kotouče. Feeder dále obsahuje zpětnou vazbu, která stroji poskytuje informaci o připravenosti čipu k vyzvednutí. Díky tomu se výrazně snižuje pravděpodobnost na jeho poškození, v extrémním případě na zničení čipu. Další výhodou tohoto feederu je možnost vyjmutí navinuté horní pásky na navíjecím válečku, který lze vložit do tejpovačky a znovu použít.

Tento feeder bude v budoucnu využíván ve stroji se čtyřmi přísavkami. Pro toto využití je dostatečně rychlý a spolehlivý. Nebude tedy potřeba do stroje vkládat feedery paralelně, ale bude postačovat pouze tento jeden kus.



**Obr. 6.3 Druhý prototyp feederu**

Na Obr. 7.3 lze vidět druhý prototyp feederu při testování. Nejnovější model feederu má menší kryt elektroniky.

# ZÁVĚR

Průmyslové tape in feedery jsou pro aplikaci v oboru tape and reel nákladné a nedostačující. Parametrizovatelný feeder jejich nedostatky nedisponuje, neboť je navržen pro konkrétní aplikaci s jasně daným cílem. Není tedy nutné, aby byl přehnaně univerzální pro široké možnosti využití, ale musí být nejlepším řešením v tape and reel aplikaci.

Feeder je jednoduchý na výrobu, kalibraci, obsluhu a údržbu. Má nastavitelnou rychlost posuvu o pěti úrovních. Jsou zde předvolby pro šířku pásky od 8 do 44 mm a rozteče posuvu o násobkách 4 mm. Feeder disponuje dalšími funkcemi, jako je např. posuv o krok vpřed, o krok vzad pro vracení čipu zpět do pásky obsluhou, funkci pro odmotání zbytku prázdného kotouče a uvolnění motoru posuvu pro snadné zavádění pásky.

Zařízení je sestaveno z levných a snadno dostupných součástí. Feeder je navržen tak, aby byl funkční i s méně přesně vyrobenými díly jako jsou řemenice, či zubaté kolo posuvu. Není zde však vliv na funkčnost feederu, kde musí být posuv pásky rychlý a plynulý.

Výrobní cena jednoho parametrizovatelného feederu je přibližně stejná jako kupní cena jednoho repasovaného feederu Hover-Davis ( $\approx 2\,000$  USD). Pokud by se feeder vyráběl ve větších sériích, výrobní cena jednoho kusu by se opět výrazně snížila vzhledem k cenovým nabídkám kovoobráběcích společností.

V práci byl vysvětlen výrobní systém, jehož je feeder součástí. Byly stručně popsány nároky na vyvíjenou komponentu. Byl splněn požadavek, který klade důraz na přímé nahrazení dosavadního řešení. Toto nahrazení do budoucna přináší rozšíření o zpětnou vazbu o stavu feederu.

Byly analyzovány požadavky na komponentu. Na základě těchto požadavků se řídil celkový návrh od výběru komponent, přes návrh mechanického provedení až po návrh uživatelského prostředí menu.

Byla realizována konstrukce feederu. Tato konstrukce byla navržena v 3D cadu a realizována ve dvou prototypch. První prototyp byl velmi pilotní a sloužil výhradně k ověření některých technických předpokladů. Druhý prototyp je již provozuschopný a bylo na něm realizováno pouze několik úprav, např. v podobě změny krytu řídicí elektroniky.

Dále byl zrealizován hardware řídicí elektroniky. Zapojení a ožívání displeje a motorových driverů bylo realizováno v nepájivém poli. Poté tato elektronika byla navržena ve freeware programu KiCAD. Po osazení desky byly upraveny hodnoty pullup rezistorů u digitálních vstupů dle konkrétní aplikace. V této práci jsou ve schématu uvedeny už konečné hodnoty součástek.

Pro tento realizovaný řídicí systém byl vytvořen návrh a implementace softwaru. Nejdříve byly zprovozněny dílčí komponenty, jako např. řízení motorů, vykreslování na displej, načítání vstupů a řízení výstupů. Po sestavení feederu byl software upraven do podoby, ve které jej bylo možné ovládat přes uživatelské prostředí tvořené displejem a tlačítky. Během testování byla vylepšena stabilita celého systému a přidány některé funkce jako krok vzad, odrolování kotouče atd. Finální verze softwaru vznikla až po vyzkoušení všech požadavků a úprav výrobními operátory v reálném provozu.

Testování feederu probíhalo nejprve v omezeném režimu s testovacími čipy. Druhý prototyp byl již nasazen do reálného provozu. Zpětná vazba byla tvořena hlavně názory výrobních operátorů. Na druhém prototypu byly změřeny parametry uvedené v kapitole 7. Měření parametrů bylo provedeno za provozu při pokojové teplotě výrobního prostředí. Měření bylo omezeno na dostupnost měřící techniky v prostorách společnosti.

Bylo vytvořeno spolehlivé a uživatelsky přívětivé zařízení, které je navíc levné na výrobu. Zařízení je designově povedené, i když tento aspekt nebyl výslovným požadavkem.

# Literatura

- [1] Tape and Reel. *EESEMI* [online]. c2001-2006 [cit. 2019-12-09]. Dostupné z: <https://www.eesemi.com/tapereel.htm>
- [2] ESP32 Pinout Reference. *Randomnerdtutorials* [online]. 2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios>
- [3] ESP32-DevKitC. In: *SOS electronic* [online]. c1991-2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.soselectronic.cz/products/espressif/esp32-devkitc-ver-d-305403>
- [4] TMC2130. *Trinamic* [online]. c2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.trinamic.com/products/integrated-circuits/details/tmc2130/>
- [5] BIGTREETECH TMC2130. In: *Biqu Equipment* [online]. c2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.biqu.equipment/products/biqu-bigtreetech-tmc2100-2208-2130-v1-0-stepstick-mks-stepper-motor-driver-ultra-silent>
- [6] 0.96 128x64 I2C Interface OLED Display. In: *DX* [online]. c2006-2019 [cit. 2019-12-10]. Dostupné z: <https://www.dx.com/p/0-96-128x64-i2c-interface-white-color-oled-display-module-board-for-arduino-2062889.html#.XhCLJ0dKhPZ>
- [7] Fotoelektrický senzor PM-25. *Panasonic Electric Works Europe* [online]. c2018 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.panasonic-electric-works.com/cz/fotoelektricky-senzor-pm-25-45-65.htm>
- [8] PM-L25-P. *Distrelec* [online]. c2019 [cit. 2019-12-12]. Dostupné z: <https://www.distrelec.cz/cs/fotoelektricky-snimac-tvaru-6mm-pnp-panasonic-pm-l25/p/30075651>
- [9] Plug-in terminal block 3,5 mm. In: *AliExpress* [online]. c2010-2019 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/32687644656.html>
- [10] *2SB1204 Bipolar Transistor* [online]. 2019, s. 1 [cit. 2019-12-13]. Dostupné z: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/2SB1204-D.PDF>
- [11] Mini DC DC Step Down. *AliExpress* [online]. c2010-2019 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: [https://www.aliexpress.com/item/32826540392.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4f4c6e71vMNxTZ&algo\\_pvid=5a94152a-0138-4279-8f06-53332f786a5f&algo\\_expid=5a94152a-0138-4279-8f06-53332f786a5f-13&btsid=0ab6f82415913490168077490e1c8a&ws\\_ab\\_test=searchweb0\\_0,searchweb201602\\_,searchweb201603\\_](https://www.aliexpress.com/item/32826540392.html?spm=a2g0o.productlist.0.0.4f4c6e71vMNxTZ&algo_pvid=5a94152a-0138-4279-8f06-53332f786a5f&algo_expid=5a94152a-0138-4279-8f06-53332f786a5f-13&btsid=0ab6f82415913490168077490e1c8a&ws_ab_test=searchweb0_0,searchweb201602_,searchweb201603_)
- [12] Arduino-esp32. *GitHub, Inc.* [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: [https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/docs/arduino-ide/boards\\_manager.md](https://github.com/espressif/arduino-esp32/blob/master/docs/arduino-ide/boards_manager.md)
- [13] JC\_Button. *GitHub, Inc.* [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: [https://github.com/JChristensen/JC\\_Button](https://github.com/JChristensen/JC_Button)

- [14] Adafruit\_SSD1306. *GitHub, Inc.* [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_SSD1306](https://github.com/adafruit/Adafruit_SSD1306)
- [15] TMC2130Stepper. *GitHub, Inc.* [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://github.com/teemuatlut/TMC2130Stepper>

# Seznam příloh

Příloha 1. – Elektronicky odevzdáno do IS VUT FEKT.

Tato příloha obsahuje:

- Obrázky feederu, složka „obrázky“
- Projekt desky řídicí elektroniky s ESP32 „řídicí deska ESP32“
- Software, který je zčásti cenzurovaný z důvodu firemní mlčenlivosti ve složce „software pro ESP32“

Příloha 2. – CD, které je součástí tištěné práce

Tato příloha obsahuje shodné dokumenty a necenzurovanou verzi softwaru.