



# 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

# AUTONOMNÍ BUŇKA "DÁVKOVAČ LEDOVÝCH KOSTEK" PRO TESTBED PRŮMYSLU 4.0

AUTONOMOUS CELL "ICE CUBE FEEDER" FOR INDUSTRY 4.0 TESTBED

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michael Mařas

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Sýkora

BRNO 2022

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Michael Mařas

**ID:** 223314

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Autonomní buňka "Dávkovač ledových kostek" pro testbed Průmyslu 4.0**

**POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Cílem práce je navrhnout a realizovat výrobní buňku dávkovače ledu pro testbed Průmyslu 4.0, implementovat řízení

v PLC a vizualizaci pro HMI a demonstrovat autonomní funkčnost výrobní buňky.

1. Seznamte se s koncepcí a aktuálním stavem testbedu a popište je.
2. Nastudujte a popište existující rozhraní, prostřednictvím kterých dochází k výměně dat a výrobků mezi jednotlivými autonomními buňkami.
3. Proveďte mechanický návrh jedné z autonomních buněk v kontextu možností budoucího automatického řízení.
4. Vybavte mechanicky zkonstruovanou buňku snímači, akčními členy a řídicí logikou.
5. Navrhněte, realizujte, zprovozněte a otestujte programové vybavení, dokumentujte průběžně všechny dílčí úkoly.
6. Proveďte přizpůsobení programového vybavení tak, aby buňka mohla být připojena do systému demonstrátoru.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design (Kaczmarczyk, 2018)

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 23.5.2022

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Sýkora

**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**

Abstrakt práce v originálním jazyce Bakalářská práce se zabývá popisem návrhu a realizace autonomní buňky s názvem Dávkoč ledových kostek. Postupně se v ní dozvíme jak probíhala realizace autonomní buňky po konstrukční, elektrotechnické a programovací stránce. Koncept reprezentuje určité myšlenky Průmyslu 4.0. Celý výrobní proces se řídí podle standartu dávkového procesu normy ISA-S88, který popisuje vsádkový proces dávkování.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Dávkoč ledových kostek, led, Průmysl 4.0, Testbed, Barman, autonomní buňka NX 12, PLC, HMI, EPLAN, TIA portal

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with the description of the proposal and implementation of autonomous cells called Ice cube feeder. Gradually, we will learn how the implementation of autonomous cells in terms of design, electrical and programming. The concept represents the ideas of Industry 4.0. The entire production process follows the ISA-S88 batch control standard, which describes the batch control process.

## **KEYWORDS**

Překlad klíčových slov Ice cube feeder, ice, Industry 4.0, Testbed, Self-Acting Barman, autonomous cell, NX 12, PLC, HMI, EPLAN, TIA portal

MAŘAS, Michael. *Dávkač ledových kostek*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2022, 68 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Tomáš Sýkora

## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Michael Mařas  
**VUT ID autora:** 223314  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2021/22  
**Téma závěrečné práce:** Dávkovač ledových kostek

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné 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 závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomáši Sýkorovi a celé skupině průmyslové automatizace za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Brno .....

.....

podpis autora

# Obsah

Úvod	11
Cíle práce	12
<b>1 Teoretický rozbor</b>	<b>13</b>
1.1 Testbed	13
1.1.1 Průmysl 4.0	15
1.1.2 Testbed a průmyslu 4.0	15
1.1.3 Komunikační rozhraní Testbedu	16
1.2 Standart dávkové procesu normy ANSI/ISA-S88	17
1.2.1 Procesní model	17
1.2.2 Fyzický model	18
1.2.3 Procedurální model	19
1.3 Programové vybavení autonomních buněk	19
1.4 Obecné požadavky kladené na autonomní buňku	20
1.4.1 Požadavky na konstrukci	20
1.4.2 Hygienické požadavky	20
1.4.3 Požadavky na bezpečnost	20
1.4.4 Požadavky na zvolené komponenty	21
1.5 Snímače, akční členy a řídicí logika buňky	21
1.6 Led	22
1.6.1 Výroba ledu	22
1.6.2 Průzkum trhu v oblasti prodeje ledových kostek	23
1.6.3 Alternativa ledových kostek	24
1.6.4 Pravda a realita	25
1.7 Tepelná izolace násypky	25
1.7.1 Pojmy	25
1.7.2 Porovnávané izolační materiály	26
1.8 Programy využité pro vývoj	27
1.8.1 Siemens NX	28
1.8.2 EPLAN	28
1.8.3 TIA Portal	29
<b>2 Konstrukční návrh autonomní buňky</b>	<b>30</b>
2.1 Koncept předešlého řešení	30
2.2 Aktuální koncept	32
2.2.1 Princip dávkování obecně	32

2.2.2	Návrh jednotlivých dílů . . . . .	32
2.2.3	Výhody projektu . . . . .	35
2.3	Způsob výměny válce . . . . .	36
<b>3</b>	<b>Elektrický návrh autonomní buňky</b>	<b>37</b>
3.1	Pohon dávkovacího válce . . . . .	37
3.1.1	Krokový motor . . . . .	37
3.1.2	Řízení polohy dávkovacího válce . . . . .	38
3.2	Snímání hmotnosti . . . . .	39
3.2.1	Vyhodnocování hmotnosti . . . . .	39
<b>4</b>	<b>Programové vybavení autonomní buňky</b>	<b>42</b>
4.1	Program pro dávkování ledových kostek . . . . .	42
4.2	HMI panel . . . . .	43
<b>5</b>	<b>Realizace autonomní buňky</b>	<b>46</b>
5.1	Tepelná izolace . . . . .	46
5.2	Elektroinstalace . . . . .	47
	<b>Závěr</b>	<b>48</b>
	<b>Literatura</b>	<b>50</b>
	<b>Seznam symbolů a zkratek</b>	<b>52</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>54</b>
	<b>A Reálná podoba autonomní buňky - pohled ze strany</b>	<b>55</b>
	<b>B Reálná podoba autonomní buňky - pohled z boku</b>	<b>56</b>
	<b>C Reálná podoba autonomní buňky - elektroinstalace</b>	<b>57</b>
	<b>D Návod pro ovládání elektrického zařízení SKUseCon</b>	<b>58</b>
D.1	Popis . . . . .	58
D.2	Návod pro oživení měření hmotnosti pomocí tenzometrů a první způsob kalibrace . . . . .	59
D.3	Druhá možnost kalibrace tenzometrů . . . . .	60
	<b>E Elektrotechnická dokumentace</b>	<b>61</b>
E.1	Titulní strana elektrotechnické dokumentace . . . . .	62
E.2	Elektrotechnická dokumentace - strana 1 . . . . .	63
E.3	Elektrotechnická dokumentace - strana 2 . . . . .	64



E.4	Elektrotechnická dokumentace - strana 3 . . . . .	65
E.5	Elektrotechnická dokumentace - strana 4 . . . . .	66
E.6	Elektrotechnická dokumentace - strana 5 . . . . .	67
<b>F</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>68</b>

# Seznam obrázků

1.1	Dopravníkový pás [1]	14
1.2	Aktuální stav Testbedu [1]	14
1.3	NFC čip [3]	16
1.4	P&ID diagram autonomní buňky	18
1.5	Hierarchy modelů dávkovacího procesu	19
1.6	Rozmístění tenzometrů na nosníku	21
1.7	Výrobník ledu [7]	23
1.8	Plastové kostky s chladicí kapalinou [8]	25
1.9	Model buňky v prostředí Siemens NX	28
1.10	Navržené schéma v prostředí programu EPLAN	29
1.11	Ukázka programu v prostředí TIA portal	29
2.1	Předešlá podoba autonomní buňky s názvem Drtič ledu [12]	30
2.2	Mechanismus drcení [12]	31
2.3	Násypka na ledové kostky	33
2.4	Dávkovací mechanismus bez vloženého válce	33
2.5	Dávkovací válec	34
2.6	Celkový konstrukční návrh autonomní buňky	35
2.7	Popis jednotlivých komponent	36
3.1	Krokový motor 17HS19-2004S1	37
3.2	Driver krokového motoru	38
3.3	Schéma zapojení Wheatsonova mostu	39
3.4	Programovatelná el. zařízení SKUseCon	40
4.1	Vývojový diagram programu	42
4.2	HMI main	43
4.3	HMI equipment modul	44
4.4	HMI control module	44
4.5	HMI service	45
5.1	Reálná podoba buňky	46
5.2	Elektroinstalace buňky	47
D.1	Podoba SKUseConu s popisem	58
D.2	Část kódu pro přepsání	60

# Úvod

Bakalářská práce se zabývá popisem návrhu a následnou realizací autonomní buňky a s názvem Dávkovač ledových kostek. Práce je rozdělena do pěti kapitol: teoretický rozbor, konstrukční návrh autonomní buňky, elektrický návrh autonomní buňky, programové vybavení autonomní buňky a realizace autonomní buňky.

Protože buňka spadá do celého komplexu autonomních buněk s názvem Automatický barman, který plní úlohu výroby alkoholického drinku je v první části teoretického rozboru popsáno co představuje Automatický barman a jaká pravidla demonstruje. Následně je popsáno, jak mezi sebou jednotlivé buňky komunikují a jak je určována hierarchie výroby. Poté se čtenář dozví, jak se pravidla aplikovali na vytvoření programu. Zbytek teoretického rozboru se věnuje nastínění počátečního návrhu elektroinstalace, rešerší průzkumu trhu v oblasti prodeje ledových kostek, rešerší na tepelně izolační materiály a představením programů použitých pro realizaci buňky.

Následuje kapitola konstrukční návrh autonomní buňky. V první části této kapitoly se porovnává koncept předešlého řešení, které spočívalo v drcení ledových kostek. Následně se popisuje postup při návrhu konstrukčního řešení a kapitola je zakončena návodem pro výměnu dávkovacího válce.

V pořadí třetí kapitola se věnuje zdůvodněním použití jednotlivých elektrických komponentů potřebných pro dávkování a řešení vyhodnocování změn hmotnosti.

Předposlední kapitola s názvem programové vybavení shrnuje, jak byl samotný program pro oživení napsán a ukazuje jednotlivé obrazovky HMI panelu s popisem jejich ovládání.

V poslední kapitole je odhaleno výsledné řešení autonomní buňky.

## Cíle práce

1. Seznámit se s koncepcí a aktuálním stavem Testbedu a popsat ho.
2. Nastudovat a popsat existující rozhraní prostřednictvím, kterého dochází k výměně dat a výrobků mezi jednotlivými autonomními buňkami.
3. Provést mechanický návrh jedné z autonomních buněk v kontextu možností budoucího automatického řízení.
4. Vybavit mechanicky zkonstruovanou buňku snímači, akčními členy a řídicí logikou.
5. Navrhnout, realizovat, zprovoznit a otestovat programové vybavení, dokumentovat průběžně všechny dílčí úkoly.
6. Provést přizpůsobení programového vybavení tak, aby buňka mohla být připojena do systému demonstrátoru.

# 1 Teoretický rozbor

Tato kapitola shrnuje teoretickou část celé práce. Jsou zde popsány jednotlivá pravidla dle, kterých se řídil návrh autonomní buňky a následná realizace. V podkapitolách 1.1 až 1.5 je popsáno, co je vlastně Testbed a jsou zde určeny jeho charakteristické rysy a pravidla, kterými se řídí. Protože se celý projekt zabývá dávkováním ledových kostek, tak je v podkapitole 1.7 popsáno, co je led a jsou zde shrnuty výsledky z provedené rešerše z oblasti prodeje ledových kostek v Brně a okolí. Aby ledové kostky vydržely, co nejdéle v pevném skupenství, bylo zapotřebí najít izolační materiál pro instalaci na násypku. Tomuto tématu se věnuje podkapitola 1.8, kde jsou shrnuty poznatky ze studia v této oblasti. Teoretický rozbor je zakončen popisem určitých programů využitých pro vývoj projektu.

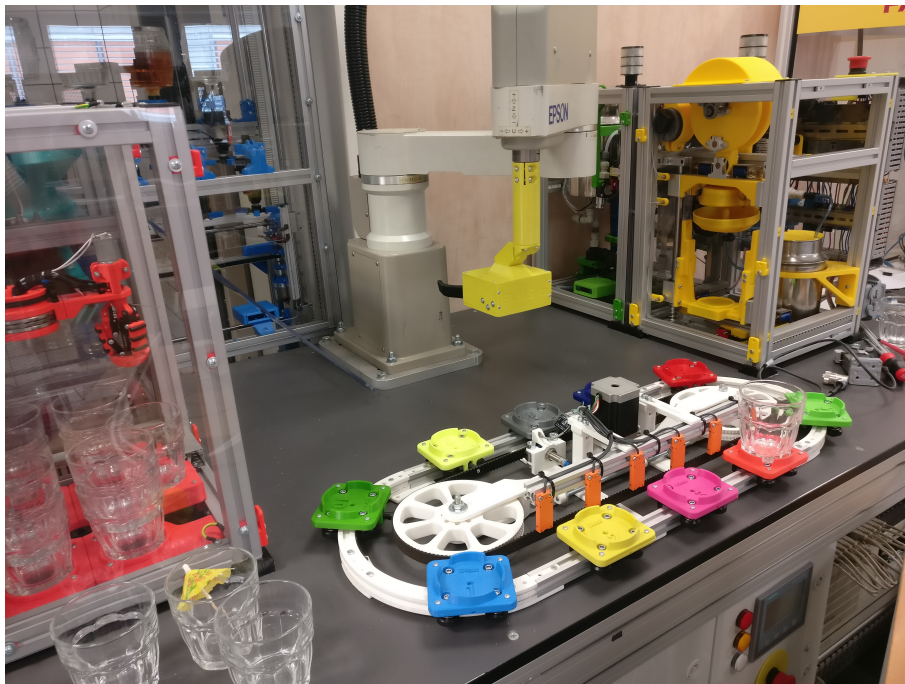
## 1.1 Testbed

Testbed s názvem Automatický barman reprezentuje proces výroby alkoholického drinku. Tento drink se zrealizuje pomocí vícero autonomních buněk, které mezi sebou navzájem komunikují. Buňky jako Dávkovač ledových kostek, Sodovač, Shaker, Sklad skleniček a Sklad nealkoholických nápojů splňují požadavky na rekonfiguraci, což znamená, že se jejich pozice v Automatickém barmanovi dá měnit bez větší změny výrobního procesu. Skleničku mezi jednotlivými buňkami přemísťuje SCARA robot. Buňky mezi sebou komunikují pomocí komunikačního rozhraní Profinet. [1]

Trasu a jednotlivé úkony buněk jsou reprezentovány recepturou drinku. Receptura jednotlivých drinků je uložena v NFC čipu. Tyto data jsou pak následně vyčítány pomocí NFC R/W modulu, který se nachází pod podložkou skleničky v každé buňce. Pomocí tohoto systému spolu jednotlivé buňky spolupracují, aby se dosáhlo požadovaného výsledku v podobě namíchaného drinku. Namíchaný drink si následně zákazník odebere z dopravníkového pásu. Po dopití drinku skleničku na pás vrátí. Pro lepší představu je na obrázcích 1.1 a 1.2 vidět aktuální podoba Testbedu.

Testbed demonstruje dávkovací proces dle standartu dávkové normy ANSI/ISA88 (více v podkapitole 1.4). [1]

Jednou z myšlenek, které reprezentuje Testbed je zpřístupnit možnost lepšího vzdělávání studentů v oblasti průmyslové automatizace. Kdy mají možnost si prakticky vyzkoušet návrh mechanických dílů a dokáží si, je i fyzicky zrealizovat například pomocí 3D tisku. Studenti si budou moci navrhnout i snímání jednotlivých veličin, které bude zapotřebí snímat v jednotlivých buňkách. Vyhodnocovat a zpracovávat je pomocí programovatelného řídicího automatu. A po sléze navrhnou i kybernetické dvojče. Díky těmto zkušenostem lépe pochopí způsoby průmyslové automatizace a určité koncepty průmyslu 4.0. [1]



Obr. 1.1: Dopravníkový pás [1]



Obr. 1.2: Aktuální stav Testbedu [1]

### 1.1.1 Průmysl 4.0

Koncepce čtvrté průmyslové revoluce byla poprvé představena na veletrhu v Hannoveru v roce 2013. Průmysl 4.0 představuje propojení výrobních zařízení do kyberneticko-fyzických systémů → CPS (Cyber-Physical Systems). Kyberneticko-fyzické systémy mezi sebou komunikují pomocí standartních komunikačních protokolů na bázi internetu. Díky vzájemné komunikaci budou moci předvídat chyby či poruchy, konfigurovat samy sebe a v reálném čase se přizpůsobovat změněným podmínkám. [2]

To vše však bude znamenat velké změny na trhu práce, kdy se eliminují nejjednodušší výrobní procesy. To může znamenat, že lidé přijdou o práci. Avšak pokud na to bude trh práce připraven, bude tyto lidi schopný requalifikovat na práci ne tak monotónní a náročnou. Ve vztahu k výrobnímu procesu.

#### Pojmy

- Kyberneticko-fyzický systém je systém skládající se z fyzických entit, které jsou řízené pomocí počítačového algoritmu.
- Kybernetické dvojče-nebo také digitální dvojče, je přesný mechatronický obraz své předlohy, který si zachovává všechny fyzikální i elektronické vlastnosti.

### 1.1.2 Testbed a průmyslu 4.0

Testbed koresponduje s určitými myšlenkami průmyslu 4.0, jako například virtualizace, decentralizace, modularita, rekonfigurace a interoperabilita. [1]

Virtualizací se v tomto případě rozumí vytvoření kybernetického dvojčete. Tento pojem popisuje mechatronický model, který obsahuje úplnou digitální kopii fyzického modelu. Touto digitální kopií můžeme otestovat funkčnost celé buňky. Při odhalení nedostatků či vad v procesu například dávkování se tyto nedostatky mohou opravit a znovu testovat. Tím se dá odstranit většina nedostatků před následnou fyzickou realizací. S tím je spojena samozřejmě úspora času a finančních prostředků. Tyto funkce byly realizovány v programu Siemens NX.

Decentralizaci reprezentuje způsob předávání instrukcí mezi výrobkem a jednotlivými buňkami. V tomto případě jsou data o receptuře uložena „přímo ve skleničce“ a díky tomu může sklenička určovat příkazy pro jednotlivé buňky (viz podkapitola 1.1.3 Komunikační rozhraní Testbedu).

Modularitou rozumíme fyzickou nezávislost jednotlivých buněk vůči sobě. Cestu vytvářeného výrobku mezi buňkami transportují robotická ramena dopravníky a další zařízení.

Rekonfigurace značí možnost konfigurovat rozmístění autonomních buněk v Testbedu dle potřeby. Tato skutečnost je umožněna díky tomu, že až na výjimku můžeme

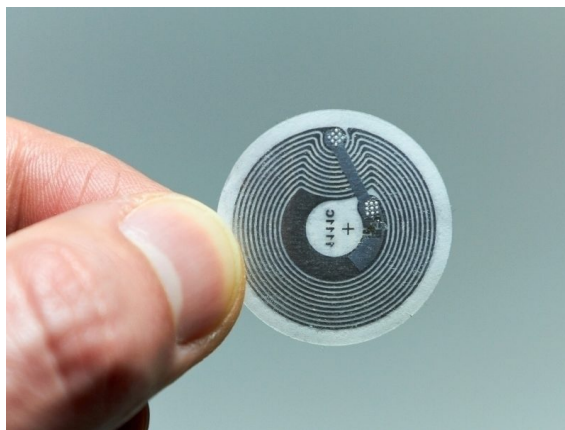
buňky identifikovat jako konstrukce složené z hliníkových profilů o stejných rozměrech a na každém před připraveném stanovišti se nachází harting konektor se stejným rozmístěním napájení jako u ostatních buněk, konektor pro UTP kabel a přípojnice pro rozvod chladiva.

Interoperabilita znamená implementace všech jednotlivých autonomních buněk a dalších zařízení potřebných pro vytvoření výsledného výrobku do jednoho systému, kde mezi sebou všechny tyto zařízení mohou navzájem komunikovat.

### 1.1.3 Komunikační rozhraní Testbedu

NFC nebo také Near Field Communication, je modulární technologie rádiové bezdrátové komunikace mezi elektronickými zařízeními na velmi krátkou vzdálenost (do 4 cm) s přiblížením přístrojů. Princip je založen na Standartech RFID v ní se využívá sada ISO standartů, které definovala nezisková organizace NFC fórum, jež založili firmy Nokia, Phillips a Sony v roce 2004. Díky NFC mezi sebou mohou komunikovat jak aktivní zařízení, tak i pasivní a aktivní zařízení. [3]

V Tesbedu se NFC čip (paměť 1Kb) nachází na skleničce (je nalepen ve spodní části skleničky). Do něho je nahrána receptura drinku. Díky NFC R/W modulu, které se nachází v podložkách v jednotlivých buňkách, si může buňka vyčíst recepturu drinku. Na základě vyčtení receptury z čipu a poslání dat do PLC může program určit jednotlivé úkony, které musí buňka vykonat pro splnění požadavků na recepturu. Po splnění dílčího úkolu buňky se aktuální stav procesu zapíše do NFC čipu. SCARA robot následně podle instrukcí přesune skleničku do další buňky, kde se splní další dílčí úkon celého procesu. PLC jednotlivých buněk mezi sebou komunikují pomocí rozhraní Profinet.



Obr. 1.3: NFC čip [3]



## 1.2 Standart dávkové procesu normy ANSI/ISA-S88

Standart ISA-S88 popisuje rozdělení výrobních procesů do dílčích částí, které jsou následně rozdělovány do modelů. Můžeme podle ní určit definici terminologie pro dávkové systémy a jejich řízení. [4]

Tato norma určuje pravidla pro vytvoření modularity výrobních procesů, což vede ke snížení času při úpravách výrobních provozů. Z modularity také vyplývá opakovatelnost využití technologie. [4]

Rozdělení výrobních procesů umožňuje pracovníkům z různých oborů pracovat při výrobním procesu paralelně na svém dílčím modulu. Z toho vyplývá, že pracovník může ovládat jenom svůj dílčí modul nikoliv celý výrobní proces. [4]

Dále jsou popsány jednotlivé modely. Detailně jsou popsány ty pojmy, které jsou aplikovány na autonomní buňce Dávkovač ledových kostek, či na celém Testbedu. Pro lepší představu je na obrázku 1.4 uvedena hierarchie těchto modelů.

### Rozdělení modelů

- Procesní model
- Procedurální model
- Fyzický model
- Model řízení činnosti

#### 1.2.1 Procesní model

Představuje proces výroby koncového produktu ve vztahu k fyzikálním a chemickým vlastnostem. Rozděluje se do čtyř podskupin proces, procesní stupeň, procesní operace a procesní akce. [4]

Proces se nachází na nejvyšší úrovni a definuje operace se vstupními surovinami, aby se dosáhlo výsledné dávky.

Procesní stupeň pracuje nezávisle na ostatních úrovních. Procesní operace definuje přípravu komponenty určené pro dávkování a další funkce.

Procesní akci si můžeme představit jako samotné míchání dávkování, chlazení a tak dále. [4]

Princip procesního modelu se dá na dávkovači ledových kostek demonstrovat, určením kolik kostek se bude nadávkovat do skleničky a jaký druh kostek bude pro dávkování zvolen.

## 1.2.2 Fyzický model

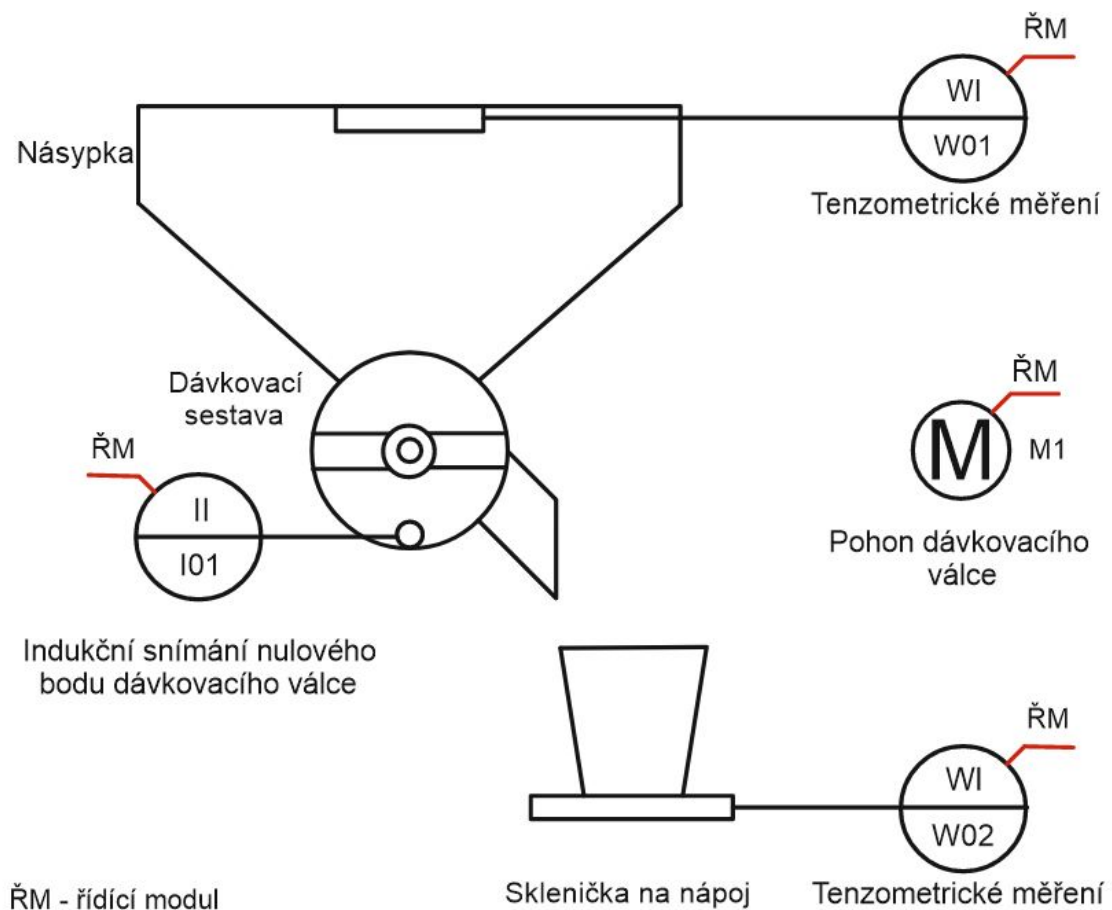
Tento model popisuje hierarchii fyzických komponent výrobního procesu a rozděluje je do čtyř dílčích podvrstev.

Nejvyšší vrstva se nazývá procesní buňka, ta určuje příkazy podvrstvě s názvem jednotka.

Jednotek může být víc a představují jednotky, které vytváření dílčí dávky pro vytvoření výsledného produktu.

Dalším podvrstvou je vrstva modulu zařízení, tato vrstva dokáže pod sebou sdružovat více řídicích modulů, které tvoří poslední vrstvu fyzického modelu. Modul zařízení v sobě sdružuje všechny komponenty potřebné pro vytvoření jedné dávky.

Pod vrstvou řídicího modulu se dají představit jednotlivé akční členy či senzory použité na buňce viz obrázek. 1.3.



Obr. 1.4: P&ID diagram autonomní buňky

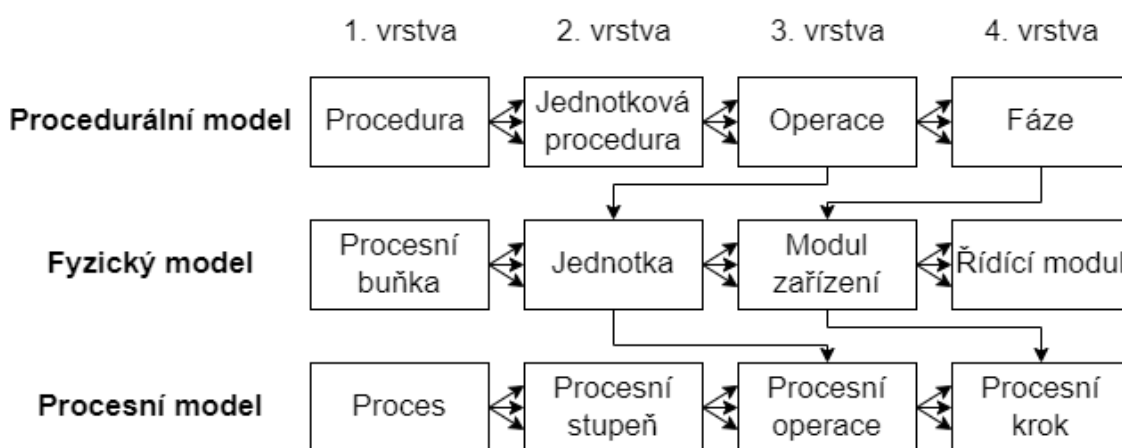
### 1.2.3 Procedurální model

Procedurální model spojuje fyzický a procesní model. Určuje sled úkonů, které vedou k vytvoření výsledné dávky. Skládá se ze čtyř úrovní tj. procedura, jednotková procedura, operace, fáze. [4]

Procedura popisuje jednotlivé procedury a jejich počáteční podmínky. Dále jednotková procedura se dá vysvětlit stejně jako procedura s tím rozdílem, že platí v rámci jedné buňky.

Operace určuje soubor fází potřebných k fyzikální či chemické změně látky.

Poslední a nejnižší úroveň procedurálního modelu tj. fáze popisuje povely, které jsou vysílány k modulu zařízení. To je například udávání povelů akčním členům, čtení hodnot a stavů snímačů. Parametry pro fázi určuje systém AAS (Asset Administration Shell). [4]



Obr. 1.5: Hierarchie modelů dávkovacího procesu

## 1.3 Programové vybavení autonomních buněk

Program který je psán v prostředí TIA Portal se řídí podle pravidel standartu dávkové normy ANSI/ISAS88 (viz kapitola 1.2). To znamená, že pro každý řídicí modul je vytvořen jeden datový blok. V něm jsou uloženy jednotlivé proměnné rozdělené do tří struktur command (příkazy), state (stavy) a param (parametry).

Ve vztahu k Dávkovači ledových kostek by měly být vytvořeny čtyři datové bloky, kde budou uloženy všechny proměnné rozdělené do jednotlivých struktur uvedených výše. Program by měl také obsahovat čtyři funkční bloky, které se následně budou volat ve třídě main a budou postupně spouštěny při běhu programu.

Po připojení buňky do celého komplexu Automatického barmana bude ovládat spuštění dávkovacího procesu fáze. Parametry potřebné pro spuštění dávkovacího

cyklu, určení počtu kostek a identifikaci konce dávkovacího cyklu bude fází dodávat systém AAS (Asset Administration Shell).

Řízení bude probíhat ve dvou režimech v automatickém a manuálním. Tyto režimy si bude moci uživatel pohodlně přepínat na panelu HMI stejně, tak bude moci po přepnutí do manuálního režimu ovládat ručně jednotlivé prvky zařízení.

## **1.4 Obecné požadavky kladené na autonomní buňku**

Vývoj buňky se řídil dle určitých pravidel ve vztahu k průmyslu 4.0, k manipulaci s potravinami a k průmyslovému použití.

### **1.4.1 Požadavky na konstrukci**

Kvůli již zmíněným požadavkům na rekonfiguraci v kapitole 1.2 je potřeba konstruovat autonomní buňky (až na sklad alkoholu) o rozměrech půdorysu 338 x 338 mm. Celkové rozměry pak musí být maximálně 338x420x650 mm.

Vnitřní vybavení buňky musí být přizpůsobené tak, aby nebránilo robotickému ramenu ve vyjmutí skleničky a přesunu do jiné buňky.

### **1.4.2 Hygienické požadavky**

Vzhledem k tomu že se v celém komplexu Automatického barmana pracuje s potravinami, musí se dodržovat určitá hygienická pravidla, například ve vztahu k použitému materiálu.

Proto byl pro komponenty, které přijdou do kontaktu s ledem použit materiál PETG. Je to termoplast ze skupiny polyesterů. PET znamená polyethylentereftalát a vyrábějí se z něho například PET lahve. Plast použitý na buňce je obohacen o glykol tzn. PETG. Má lepší vlastnosti pro tisk a není v rozporu s hygienickými pravidly. [13]

### **1.4.3 Požadavky na bezpečnost**

Bezpečnost vůči okolí buňky zajišťují čtyři plexiskla ohraničující vnitřní prostor buňky. Ty by měly zabránit úmyslnému i neúmyslnému vniknutí cizího předmětu do provozního prostoru buňky při jejím aktivním chodu.

Dále je buňka obohacena o světelný majáček určující provozní stav buňky a stop tlačítko pro okamžité odpojení silového napájení.

### 1.4.4 Požadavky na zvolené komponenty

Na buňce jsou použity komponenty pro průmyslové použití. To znamená, že jsou dimenzovány, tak aby byly odolné vůči prachu mazu a dalším vnějším vlivům, kterým jsou vystavovány v průmyslovém prostředí.

## 1.5 Snímače, akční členy a řídicí logika buňky

Aby bylo možné řídit úkony buňky a zautomatizovat je, musí být zajištěno snímání určitých fyzikálních veličin jako například hmotnost, či změnu magnetické indukce.

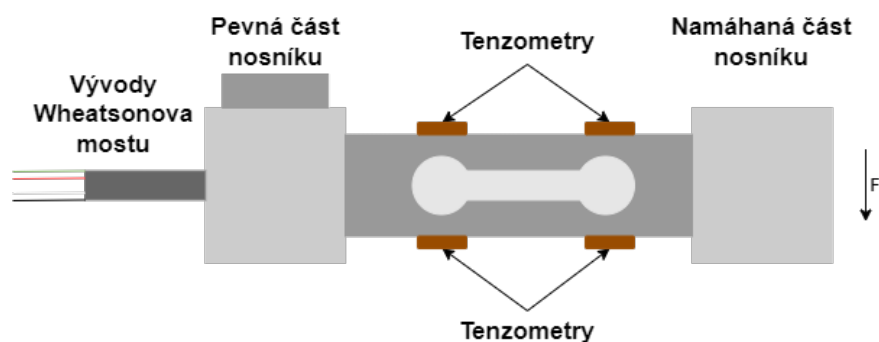
Nejprve ke snímání magnetické indukce. Toto snímání bylo implementováno kvůli určování nulového bodu krokového motoru od kterého se bude následně odpočítávat poloha dávkovacího válce. Reprezentováno bude indukčním snímačem v zapojení PNP, který bude detekovat magnet na válci. Jako akční člen bude použit krokový motor (více v podkapitole 3.1).

Dále je zapotřebí snímat změnu hmotnosti hned na dvou místech buňky. Bude tak prováděno z důvodu určování počtu kostek v násypce a ověření jestli kostka spadla do skleničky pod dávkovacím mechanismem (více v kapitole 3.2). Snímání bude realizováno pomocí tenzometrů zapojených do Wheatsonova mostu. Wheatsonův most je nalepen na hliníkovém nosníku (viz obrázek 1.6).

Mozkem celé buňky bude pak PLC od značky Siemens s označením 1214 DC/D-C/DC. To bude komunikovat a udělovat příkazy vybavení buňky digitálními vstupy a výstupy. Jako rozhraní člověk stroj pro buňku bude sloužit HMI také od značky Siemens s označením KPT400 Basic.

Pro již zmíněnou komunikaci se bude využívat R/W modul sloužící k vyčtení receptury z NFC čipu (kapitola 1.1.3).

Protože je potřeba všechny tyto zařízení komunikující po profinetu propojit a zajistit další komunikaci s nadřazeným systémem byl použit síťový switch od značky Linkys typ SD205.



Obr. 1.6: Rozmístění tenzometrů na nosníku

## 1.6 Led

„Je šesterečný minerál (chemický vzorec  $H^2O$ ). Led má své specifické místo mezi ostatními minerály, i když se většinou v mineralogických systémech neuvádí vůbec nebo pouze okrajově. Při běžném atmosférickém tlaku tekutá voda tuhne v led při teplotě  $0^\circ\text{C}$  ( $273,15\text{ K}$ ,  $32^\circ\text{F}$ ). Jestliže jsou ve vodě rozpuštěny další látky (např. sůl kamenná), může voda zůstat tekutá i při teplotách pod bodem mrazu.

Formy ledu: sníh, ledovec, kroupy, jinovatka, námraza, kra, rampouch.

Vlastnosti:

- Fyzikální vlastnosti: Lze rýpat nehtem (má tvrdost 1,5), hustota  $0,917\text{ g/cm}^3$ , křehký, neštěpný, lom je lasturnatý. Při dlouhodobém působení tlaku plastický, tepelně nestálý - taje při teplotě  $0^\circ\text{C}$ . Při teplotách pod  $-80^\circ\text{C}$  krystaluje v krychlové soustavě. Relativní permitivita  $\epsilon_r$  je 3,1.
- Optické vlastnosti: Barva: čirý až mléčně zakalený, namodralá, modrozelená, bílá. Průhledný až průsvitný, vryp je bílý, lesk skelný.
- Chemické vlastnosti: Složení: H 11,19 %, O 88,81 %.“

[5]

### Rozšíření ledu mezi lidmi

Led byl potřebný odjakživa hlavně k chlazení potravin z důvodu delší životnosti potravin. První dochované prameny z obchodu s ledem se tradují z období antického Říma (3. století naší éry). Led se v té době těžil v horách a skladoval se v ledových jámách, které byly zaizolované senem. Postupem času začal být led potřebný pro export a import potravin například ryb a exotického ovoce. Revoluci způsobu přepravy potravin přinesl Frederic Tudor z Nové Anglie. Ten chtěl nejprve led prodávat do tropických oblastí, ale zjistil, že tam o led nemá nikdo zájem. Aby neodjížděl s prázdnou vzal nazpět exotické ovoce, které uložil právě do zmíněného ledu. Led se těžil hlavně v severských oblastech jako například v Norsku. Blíže k nám pak v rakouských Alpách. V Čechách byl obchod s ledem dosti slabý. Vodních ploch je u nás dostatek, a proto nebylo potřeba led rozvážet po českém území. Avšak poptávka po ledu v Čechách stoupala kvůli světu div se potřebě chlazení piva. Proto byla do roku 1909 až do roku 1912 vybudována společnost Akciové ledárny v Praze-Braníku, která rozvážela led plavebním kanálem spojeným s Vltavou. [6]

#### 1.6.1 Výroba ledu

Nejpoužívanější variantou výroby je nalití vody do formy a následné umístění do mrazícího boxu, kde voda změní své skupenství, led se následně dostane z formy

ven, anebo se velký ledový kvádr nařeže na stroji na menší kostky. Avšak existují i další varianty výroby.

**Postup výroby ledu pomocí ledovače:**

1. Díky čerpadlu se dostane voda do chladicí vložky, kde ji chladicí systém zmrazí.
2. Hotový led se pak s pomocí teplého vzduchu uvolní a vypadne do zásobníku v požadovaném tvaru.
3. Ze zásobníku lze připravený led jednoduše vyjmout, např. za pomoci speciální lopatky.
4. Některé typy výrobníků ledu přímo plní sklenice prostřednictvím automatu.



Obr. 1.7: Výrobník ledu [7]

### 1.6.2 Průzkum trhu v oblasti prodeje ledových kostek

Na českém trhu působí několik výrobců ledu, jsou to firmy jako Party led s.r.o., Rozvoz ledu s.r.o., Ksl DC s.r.o., Mrazírny Plzeň-Dýšina a.s. Všechny ceny níže jsou uvedeny s DPH.

- Party led s.r.o.: Největší dodavatel v České republice, produkt nese název Party led a v logu má tučňáky. Produkt lze zakoupit ve větších prodejnách jako jsou Makro, JIP a další. Balení-2 kg (200 ks, 50 Kč), 3 kg (300 ks, 79 Kč), 5 kg (500 ks, 100 Kč), rozměry kostky-22x22x22 mm, jedna kostka váží 10 g, webová stránka: [partyled.cz](http://partyled.cz).
- Rozvoz ledu s.r.o.: Produkt nabízí benzínové stanice Shell a OMV. Firma poskytuje i rozvoz po Brně. V logu má ikonu hor a název Ice Market. Balení-2 kg (155 ks, 38 Kč), 5 kg (300 ks, 85 Kč), rozměry kostky-31X32X28 mm,

webová stránka: kostkovyled.cz.

- Ksl DC s.r.o.: Název produktu je kupsiled.cz (i webová stránka). Produkt nabízí benzínová stanice Mol. Firma poskytuje i rozvoz. Balení firma poskytuje od 20 kg do 100 kg a cena se pohybuje od 340 Kč do 1600 Kč, bohužel na stránkách se nedají dohledat další informace.
- Mrazírny Plzeň-Dýšina a.s.: Název produktu je jeduvledu.cz (i webová stránka). Firma neposkytuje rozvoz, ale produkt se dá zakoupit přes rozvážkovou službu potravin s názvem Rohlík.cz. Výrobek má v logu radostnou ženu v kostce ledu. Produkt nabízí benzínové stanice Shell a OMV, ale také síť prodejen Tesco a Konzum. Balení- 2 kg (160 ks, 35 Kč), 5 kg (400 ks, 149 Kč), rozměry kostky – 25x25x22 mm.
- Metro cafe s.r.o.- Název produktu je Prodej ledu. Rozměry jedné kostky jsou 31x32x31mm, a hmotnost jedné kostky je 18 g. Jsou vyrobeny z potravinářsky nezávadné vody z vysočinských pramenů. Prodává se v balení po dvou kilech (36 Kč) a po pěti kilech (85 Kč). Proces výroby: pod tlakem se přecherává voda do formy (ve tvaru kvádru), po změně skupenství vypadnou kostky ledu do nádoby, kde se následně odeberou pro následné zabalení. Ověřeno telefonicky. Odkaz na web: <http://maneo.cz/novinka/50/prodej-kostkoveho-ledu/>.

### 1.6.3 Alternativa ledových kostek

Více ekonomickou alternativou chlazení reprezentují výrobky jako ledové kameny, plastové kostky s kapalinou uvnitř. Avšak tyto produkty jsou značně neefektivní. Výrobce uvádí, že například u plastových kostek s kapalinou postačí 12 kostek na vychlazení nápoje o objemu 2,5 l. Největší nevýhodou je, že uchladí nápoj kratší dobu a déle zamrzají oproti obyčejnému kostkovému ledu z vody. Jako největší výhodu bych určil úsporu vody a jednodušší manipulaci. Ve vztahu k dávkovači ledu by se daly použít pouze plastové kostky s kapalinou, protože kamenné kostky by při dopadu skleničku rozbily.

Parametry kostek:

- Plastové kostky s kapalinou: rozměry-25X25X25 mm, chlazení-12 ks na 2,5 l vody, cena-24 ks-120 Kč, výrobce-Tescoma, Prosto, hmotnost-24 ks 310 g.
- Ledové kameny: rozměry nejsou normované, ale převážně 20X20X20 mm, cena-9 ks okolo 500 Kč, hmotnost-9 ks 210 g.





Obr. 1.8: Plastové kostky s chladicí kapalinou [8]

#### 1.6.4 Pravda a realita

I když velkovýrobní producenti kostkového ledu tvrdí, že vyrábí ledové tvary připomínající kostky, v určitých rozměrech, pravda je bohužel jinde. Po telefonickém rozhovoru se společností Párty led s.r.o. jsem se dozvěděl, že jejich technologie produkuje nenormované válce. Podobně je tomu tak i u většiny ostatních výrobců ledových kostek uvedených výše. Tento fakt jsem ověřil osobně u distributorů těchto produktů.

### 1.7 Tepelná izolace násypky

V textu níže jsou nejprve uvedené pojmy potřebné pro pochopení významu parametrů izolačních materiálů a následně jsou porovnány jednotlivé uvažované izolační materiály určené pro tepelnou izolaci násypky, kvůli uchování ledu v pevném skupenství po co nejdelší možnou dobu.

#### 1.7.1 Pojmy

##### Součinitel tepelné vodivosti $\lambda$

„Vyjadřuje schopnost konstrukce vést teplo, konkrétně rychlost šíření tepla ze zahřáté části konstrukce do chladnější části.“ [9]

=> Čím je hodnota nižší tím je kvalita tepelné izolace vyšší a teplo uniká přes takový materiál pomaleji.

## Faktor difuzního odporu a ekvivalentní difuzní tloušťka

„Základním a jediným objektivním parametrem pro porovnání různých materiálů z hlediska schopnosti zabránit difuzi vodní páry je hodnota jejich ekvivalentní difuzní tloušťky  $s_d$ ; její velikost je dána součinem hodnoty faktoru difuzního odporu  $\mu$  a vlastní tloušťky daného materiálu.“ [9]

$$s_d = \mu \cdot d \quad (1.1)$$

- $s_d$  - ekvivalentní difuzní tloušťky
- $\mu$  - faktor difuzního odporu
- $d$  - vlastní tloušťky daného materiálu

[9]

=> Čím vyšší hodnoty dosáhneme, tím menší množství vodní páry přes tento materiál difunduje.

## 1.7.2 Porovnávané izolační materiály

### K-Flex

K-flex je izolace na bázi syntetického kaučuku s uzavřenou strukturou buněk. Obsahuje samolepicí vrstvu se zvýšenou přilnavostí ke kovům. Je potažena pevnou reflexní AL folií. Spodní samolepicí vrstva je zpevněna mřížkou ze síťoviny. Používá se pro zateplení dodávek a pro další aplikace ve vztahu k tepelné izolaci.

Výhody

- jednoduchá instalace (dá se nařezat nožem, obsahuje samolepicí vrstvu se síťovinou pro zpevnění)
- obsahuje reflexní AL fólii
- minimální nasákavost
- flexibilita

Nevýhody

- zanedbatelně větší součinitel tepelné vodivosti
- cena

### Polystyren

Vzniká polymerizací styrenu. Druhy polystyrenu: standardní polystyren, čirý křehký, houževnatý polystyren (zakalený), pěnový polystyren, zpevňovatelný polystyren (malé mléčné perly).

Výhody

- cena
- pevnost

Nevýhody

- složitější úprava rozměrů (při úpravě se odlamují mléčné perly)
- složitější instalace
- horší odpor vůči vlhkosti
- u většiny druhů větší součinitel tepelné vodivosti

## Expanzní pěny

Dělení: nízkoexpanzní pěny - po aplikaci zvětší minimálně svůj objem a díky tomu jsou hustší, vysokoexpanzní pěny- po aplikaci zvětší svůj objem, ale po vytvrnutí mají menší hustotu, trubičkové pěny- hobby použití, obsahují trubičky pro menší nároky na instalační pomůcky (není potřeba pistole jako u předešlých).

Výhody

- cena
- jednodušší aplikace u nesouvislých povrchů
- velmi dobrá přilnavost k povrchu

Nevýhody

- velmi špatně se odstraňuje
- většinou je potřeba zakrýt (designově nepěkné)
- horší odpor vůči vlhkosti

Tab. 1.1: Porovnání izolačních materiálů

Materiál	$\lambda$ [W/mK]	$\mu$ [-]	Cena [Kč]
K-flex	0,031-0,037	$\geq 7000$	298 (za 1m <sup>2</sup> , tloušťka=10mm)
Polystyren	0,03-0,06	20-70	+200(za 1m <sup>2</sup> )
Pěny	0,03-0,045	30-100	+200(750ml)

## 1.8 Programy využité pro vývoj

Pro vývoj návrhu, ale i pro samotnou realizaci buňky bylo zapotřebí CAD programů a programů určených pro PLC.

CAD programy se využívaly pro konstrukční návrh buňky a elektrotechnickou dokumentaci buňky. Programovací programy se použily pro určení sledu jednotlivých instrukcí potřebných pro nadávkování určitého počtu kostek a pro další aplikace jako například realizace HMI panelu.

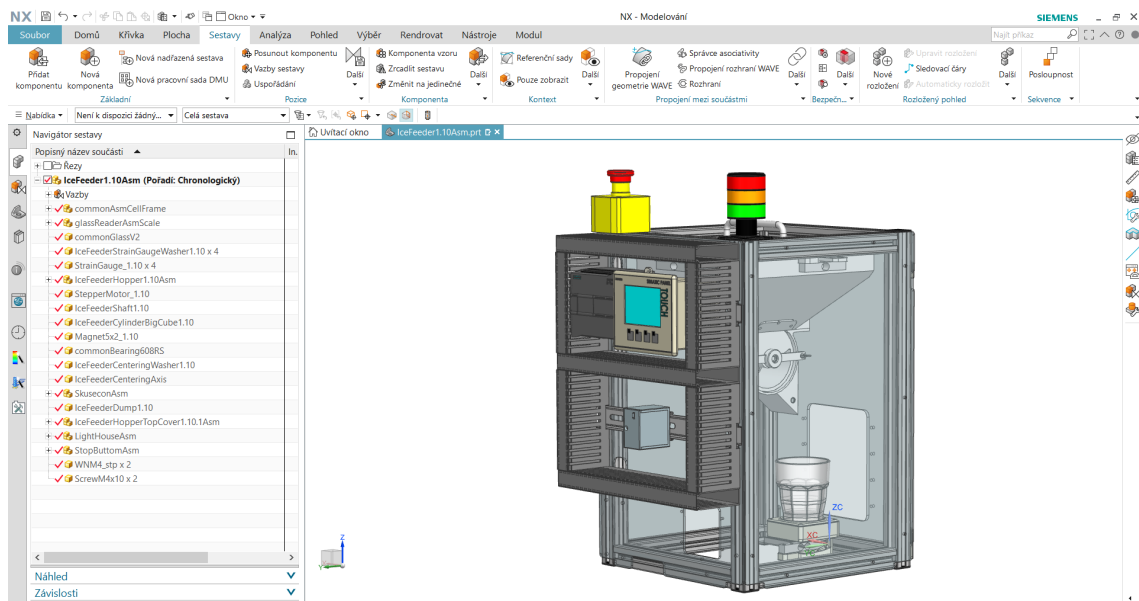
## 1.8.1 Siemens NX

Program Siemens NX umožňuje velmi komplexní virtuální realizaci průmyslového zařízení. Od konstrukčního návrhu, až po demonstraci jednotlivých pohybů zařízení. [10]

Pro tyto funkce je Siemens NX rozdělen do jednotlivých částí:

- CAD-konstrukční návrh
- CAE-simulace
- CAM-programování CNC strojů
- CMM-programování měřících strojů

[10]



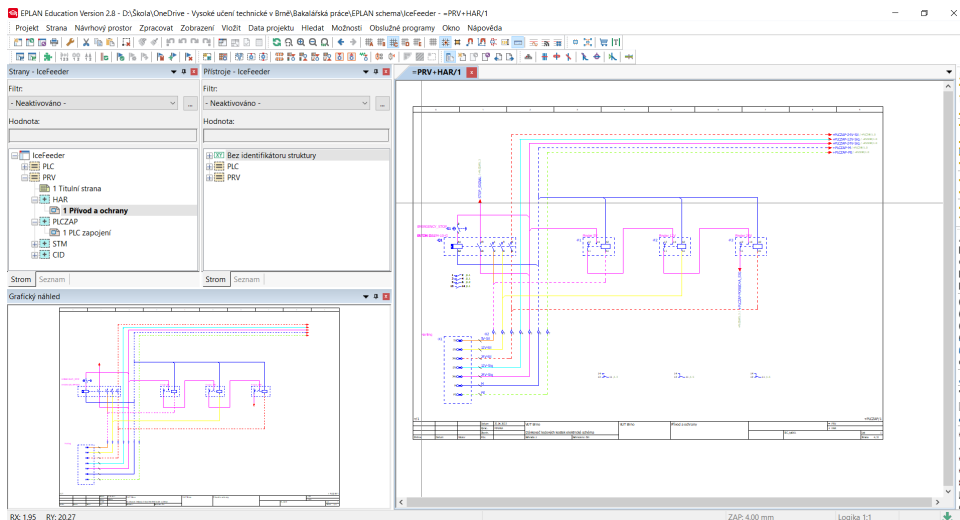
Obr. 1.9: Model buňky v prostředí Siemens NX

## 1.8.2 EPLAN

EPLAN je CAD program, který bude v projektu zajišťovat elektrotechnickou dokumentaci. Je to velmi kvalitní německý program pro tvorbu dokumentace, kde se dají vytvářet, jak elektrotechnická schémata, tak i návrh rozvaděče a další funkce. [11]

Jednou z hlavních předností tohoto programu je přístup do databáze jednotlivých elektrických komponentů od mnoha výrobců. Databáze se jmenuje data portal a dají se v ní nalézt schématické značky, detailní popis vlastností, někdy i 3D modely elektrických komponentů. [11]

Díky výsledné dokumentaci z tohoto programu je možná jednoduchá a přehledná orientace v elektrotechnickém projektu pro jeho následnou realizaci.

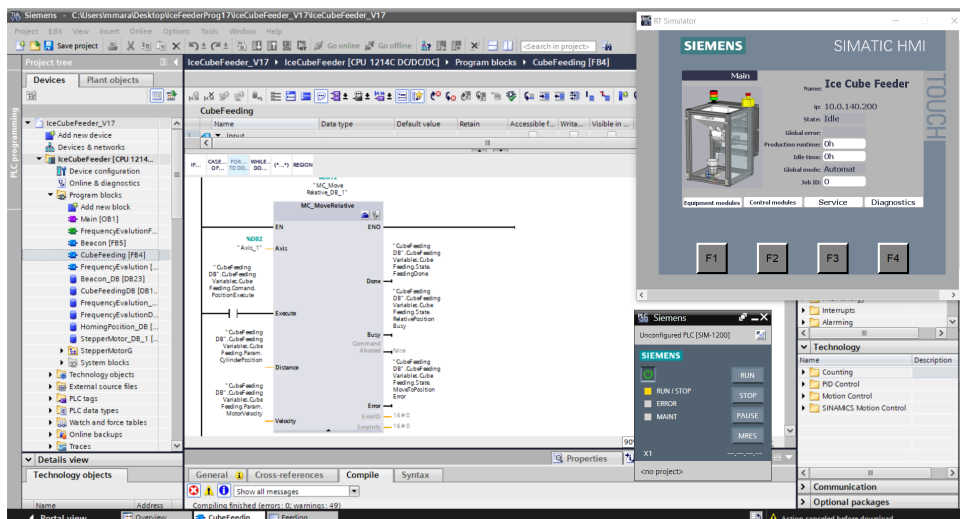


Obr. 1.10: Navržené schéma v prostředí programu EPLAN

### 1.8.3 TIA Portal

TIA portal je program od společnosti Siemens, jehož zkratka TIA znamená totally integrated automation. Program byl v projektu využíván k vývoji aplikací pro PLC, pro vytvoření vizualizace panelu HMI. Zvládne toho mnohem více, například vytváření rozsáhlých vizualizací pro SCADA, také je v programu nainplementováno spousta knihoven pro ovládání krokových motorů a spousta dalších funkcí.

Při programování byly využity i simulační programy od společnosti Siemens jako PLC Simatic S7-1200 pro simulování virtuálního PLC a programy pro simulování virtuálního HMI.



Obr. 1.11: Ukázka programu v prostředí TIA portal

## 2 Konstrukční návrh autonomní buňky

V této kapitole je uveden postup konstrukčního návrhu autonomní buňky.

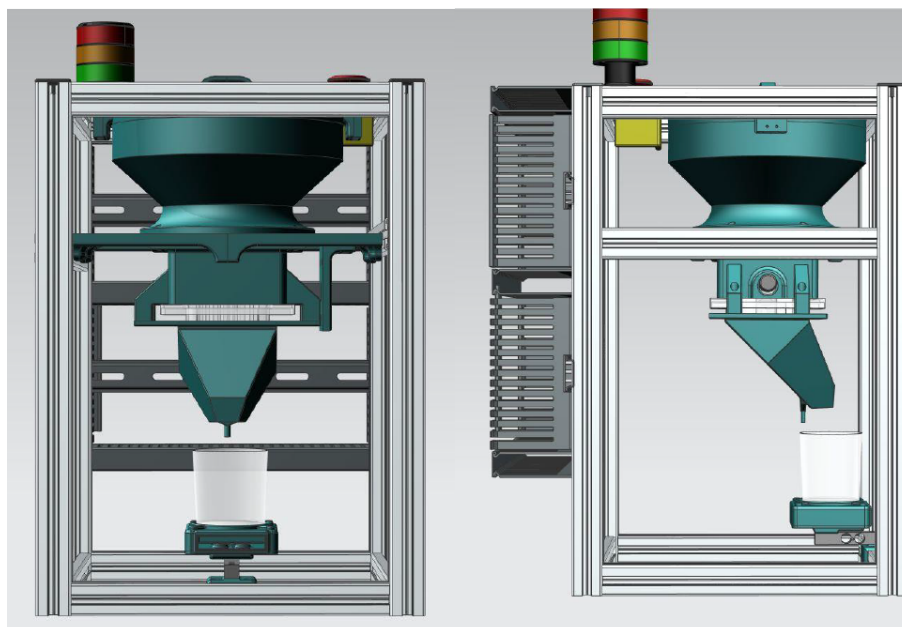
V první části je uveden předešlý koncept a jeho výhody a nevýhody. Následně je detailně popsán aktuální koncept. To znamená z čeho vychází popis návrhu jednotlivých komponentů a výhody projektu. Kapitola je zakončena návodem pro výměnu dávkovacího válce.

### 2.1 Koncept předešlého řešení

Autonomní buňka byla zrealizovaná již v minulosti, ale s jiným konceptem. Tento koncept se nazýval Drtič ledu a namísto dávkování ledových kostek, kostky drtil na ledovou drť. Konstrukce spočívala v kulaté plastové násypce, do které se nasypaly ledové kostky. Pod plastovou násypkou se nacházel mechanismus skládající se z železných zubů uchycených na hřídeli. Hřídel byla spojena s hřídelí stejnosměrného motoru (motor ze stěračů auta značky Škoda). Pod tímto mechanismem se nacházela výsyпка. Vše je patrné z obrázku 2.1. [12]

Proces nadrcení ledu probíhal následovně:

1. Nasypání kostek do kulaté násypky, uzavření víka.
2. Spuštění stejnosměrného motoru, který roztočil hřídel se zuby. Tyto zuby nadrtily ledové kostky, které na ně dopadaly z násypky.
3. Ledová drť byla následně dopravována pomocí výsycky do skleničky.



Obr. 2.1: Předešlá podoba autonomní buňky s názvem Drtič ledu [12]

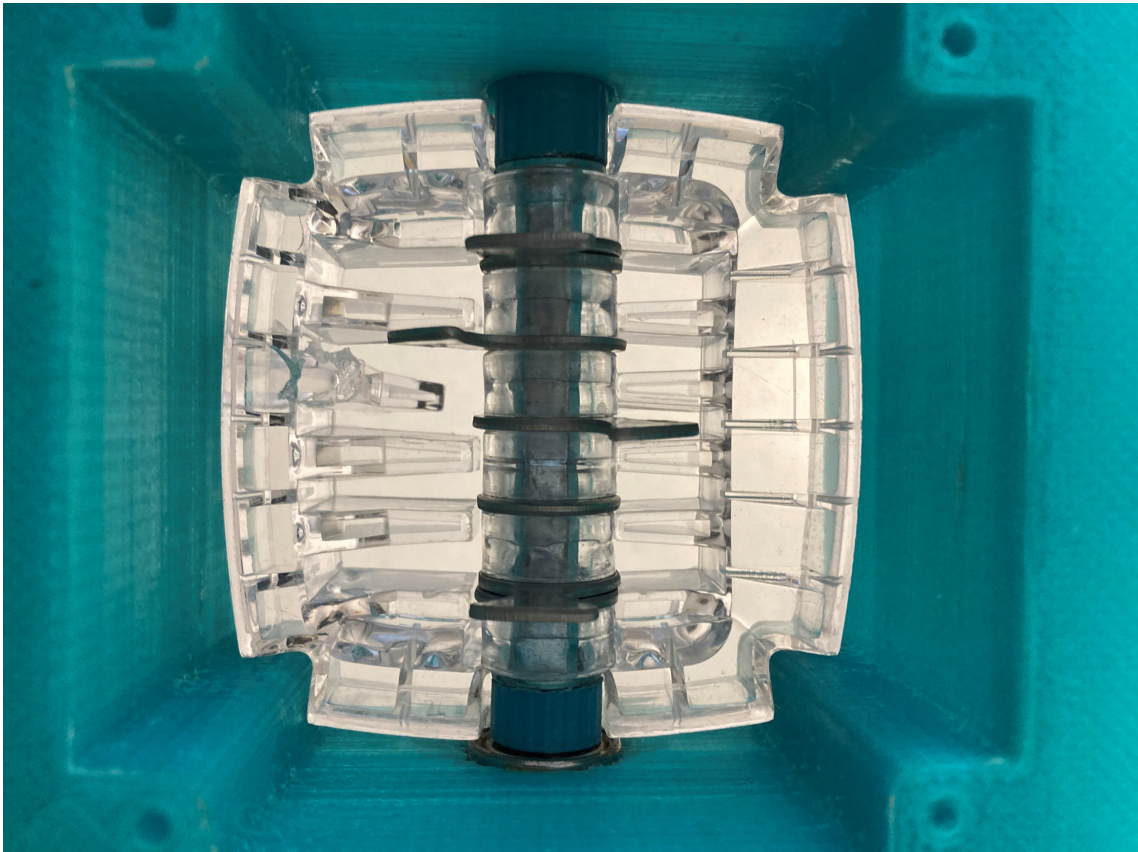
### **Výhody projektu:**

Jako výhodu hodnotím vizuálně dobrý design. Také jednoduchou možnost servisu, díky pružné spojce u stejnosměrného motoru a jednoduchost celého provedení.

### **Nevýhody projektu:**

Hlavní nevýhodou jsou nároky na pevnou konstrukci, kvůli potřebě v celku velkých sil pro rozdrcení ledových kostek. Další faktor kvůli němuž vznikají tyto nároky je motor. U motoru, který byl použit na Drtiči ledu, je zapotřebí většího výkonu (s tím je spojena i větší hmotnost) oproti krokovému motoru, který je použit na Dávkovači ledu. Díky těmto nárokům je potřeba počítat s tím, že se musí zkonstruovat silnější stěny z plastu, aby mohla konstrukce tyto nároky snést. Na základě tohoto předpokladu stoupá délka času potřebného na 3D tisk a hlavně stoupá spotřeba materiálu, který samozřejmě stojí peníze.

Mimo jiné je z obrázku 2.2 patrné, že konstrukce nebyla správně nadimenzovaná, kvůli nevratnému poškození zubu, který sloužil jako síto pro rozdrcený led.



Obr. 2.2: Mechanismus drcení [12]

## 2.2 Aktuální koncept

Aktuální koncepce spočívá v dávkování ledových kostek. Tento návrh byl zvolen z toho důvodu, že v barech vám povětšinou do namíchaného drinku dají spíše ledové kostky nežli ledovou tříšť. Je to větší přiblížení realitě. A hlavně ledové kostky, díky svému objemu vydrží delší dobu v pevném skupenství, což znamená, že chladí drink delší dobu nežli ledová drť.

V následujících podkapitolách je vysvětlen postup při návrhu jednotlivých komponent. Na konci je pak vidět konečný návrh autonomní buňky a shrnuté výhody projektu.

### 2.2.1 Princip dávkování obecně

Princip dávkování spočívá v následující sekvenci:

1. Nasypání kostek do násypky, uzavření víka (je zajištěna kontrola uzavření pomocí mikrospínačů).
2. Proces nadávkování jedné kostky.
3. Kontrola transportu kostky do skleničky.

### 2.2.2 Návrh jednotlivých dílů

#### Násypka a víko

Prvním aspektem návrhu bylo zkonstruovat násypku, tak aby jí bylo možné přichytit k hliníkové konstrukci a zároveň, aby se zajistilo snímání hmotnosti pomocí tenzometrů. To se vyřešilo čtyřmi plastovými výstupky. Na tyto výstupky dosedá jedna část nosníků, druhá část je přichycena k hliníkové konstrukci (viz obrázek 2.3 a 2.6).

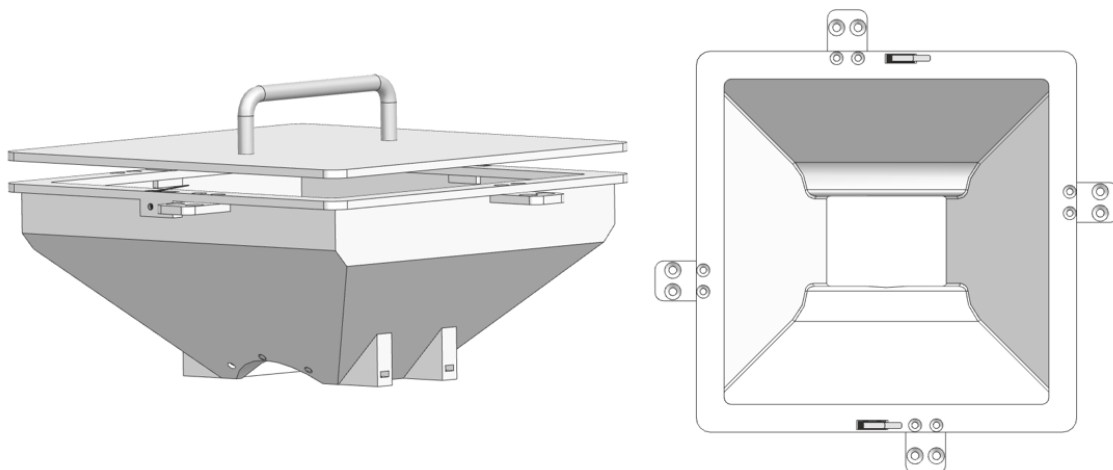
Dále se na násypce nachází dva výstupky pro uchycení mikrospínačů pro ověření uzavření násypky víkem. Ve víku i v horní části násypky jsou zatisknuty magnety, které se při přiložení víka na násypku začnou přitahovat a tím se zajistí větší přitlačná síla víka na násypku.

Stěny jsou konstruované pod úhlem 45°. Tento úhel byl zvolen, kvůli možnosti tisku násypky na 3D tiskárně s absencí podpůrných stěn, ale také kvůli eliminaci zasekávání kostek při samotném dávkování.

Ve vnitřní části násypky se nachází zvýšené stěny, které vyplňují prostor mezi násypkou a dávkovacím válcem a výřez pro výměnu dávkovacího válce.

Ve spodní části násypky byly zkonstruovány jakési zuby do kterých se zapustily matice pro uchycení dávkovacího mechanismu.





Obr. 2.3: Násypka na ledové kostky a víko násypky

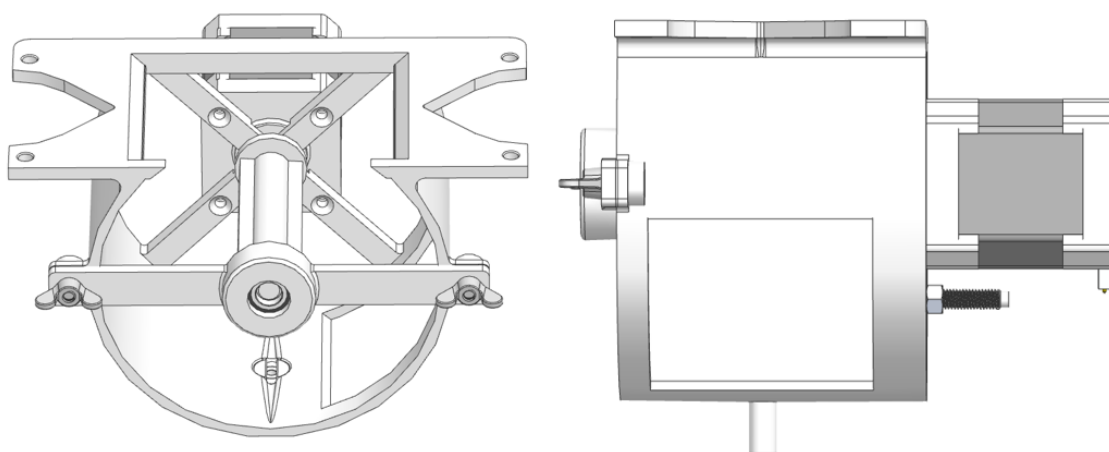
### Dávkovací mechanismus

Dávkovací mechanismus byl navržen, tak aby byla splněna modularita dávkovacího válce.

Nejprve byl navržen buben, který na sobě nese krokový motor a indukční snímač a komponenty pro vystředění a upevnění válce.

Ve spodní části je otvor se skosením pro odtok roztáté vody z ledových kostek. V tomto otvoru se nachází otvor pro instalaci redukce pro nasunutí hadičky pro odvod vody do určených míst (redukce je na obrázku 2.4 již nainstalovaná).

V horní části bubnu se nachází otvory určené pro přichycení mechanismu k násypce. Detailnější popis celého mechanismu je v kapitole 2.3.



Obr. 2.4: Dávkovací mechanismus bez vloženého válce

## Dávkovací válec

Při návrhu dávkovacího válce se musel správně určit průměr válce tak, aby vznikl dostatečný moment síly otáčení, která napomáhá jednoduššímu otáčení válce s ledovou kostkou. Tato síla také napomáhá k eliminaci problému při zasekávání kostek. Dávkovací válec má průměr 100 mm. Ze vzorce 2.1 je patrné, že čím bude větší průměr válce, tím bude větší moment otáčivé síly.

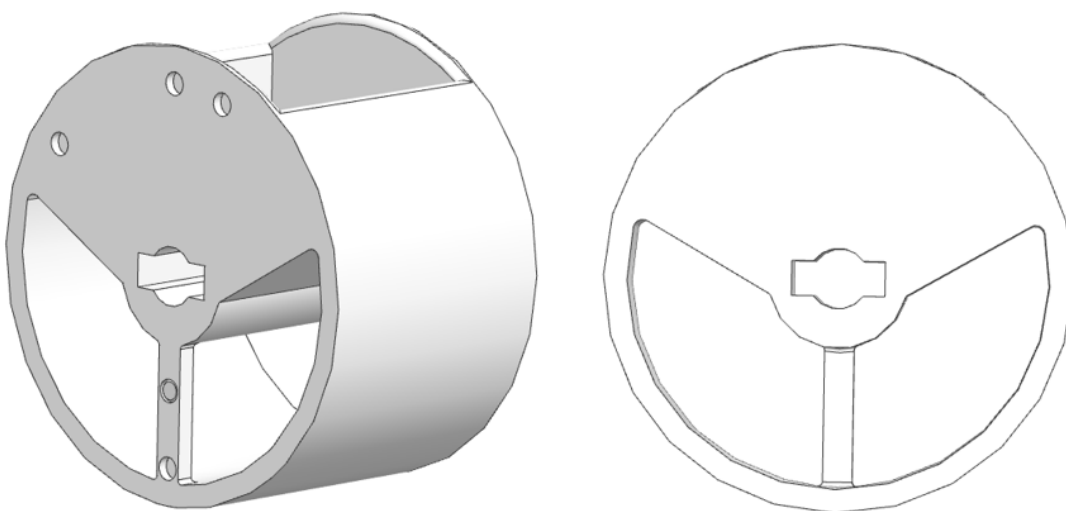
$$M = F \cdot a \quad (2.1)$$

- M - moment síly otáčení
- F - síla vyvinutá krokovým motorem
- a - rameno síly (průměr válce  $a=0,1$  m)

Na boku válce se nachází vícero otvorů na magnety. Ty slouží pro určování polohy dávkovacího válce. Avšak protože se určil jiný způsob určování polohy motoru, který ovládá dávkovací válec využívá se pouze jeden otvor pro určení nulové pozice dávkovacího válce (ten kde je na obrázku 2.5 nainstalován magnet).

Dávkovací válec je přizpůsoben pro výměnu. Při výměně se zasunou dva prsty dovnitř dávkovacího válce. Dávkovací válec se uchopí za střed a vysune se z perforační drážky.

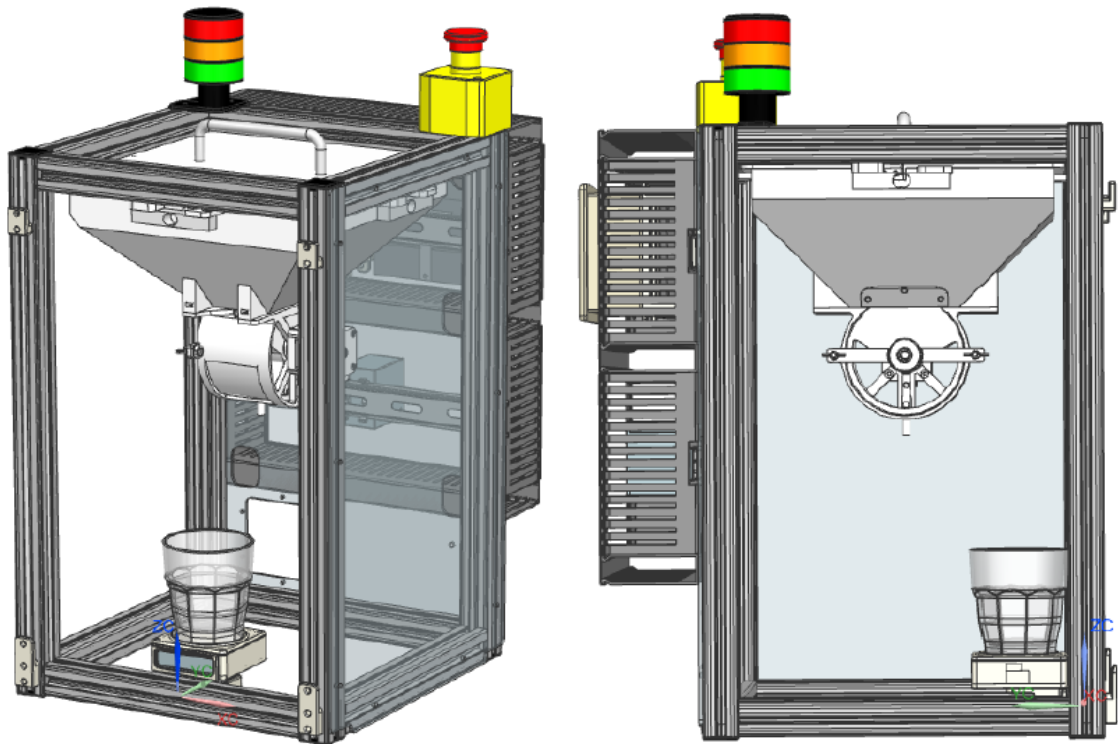
Bylo nutné se zamyslet i nad otvorem na kostku. Ten se musel namyslet, tak aby kostka spolehlivě spadla do otvoru. To znamená, že má větší rozměry, než tělesová uhlopříčka ledové kostky. Avšak tyto rozměry jsou adekvátní tomu, aby do otvoru nespadly kostky dvě.



Obr. 2.5: Dávkovací válec

### 2.2.3 Výhody projektu

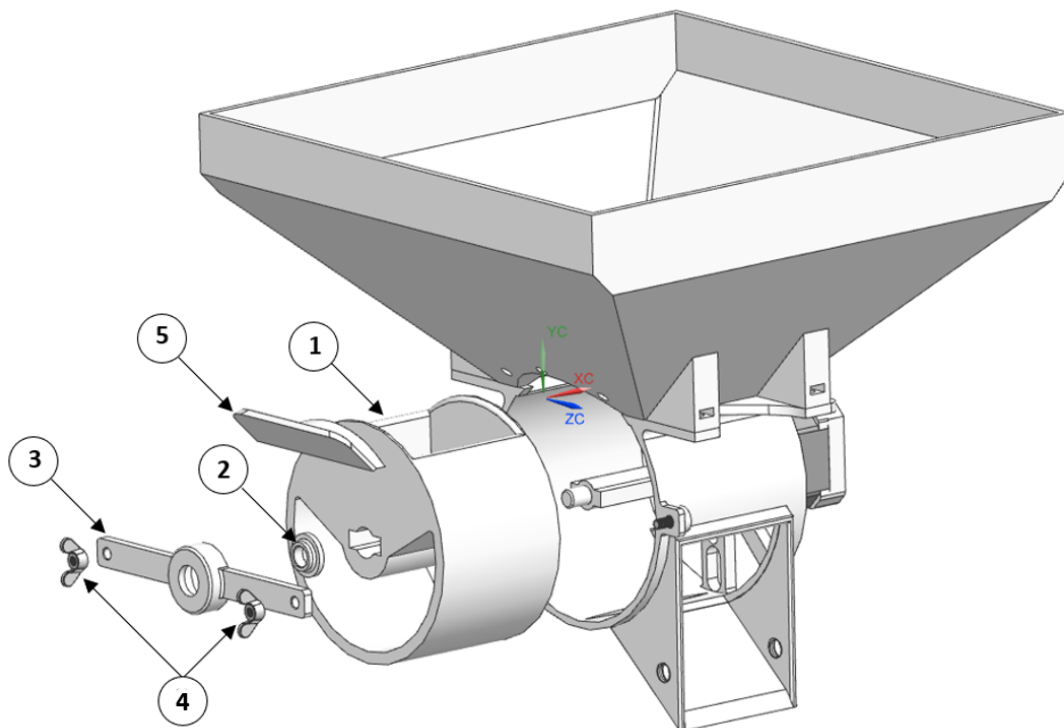
- schopnost dávkovat ledové kostky o různých rozměrech
- vážení hmotnosti kostek, díky čemuž bude moct systém určit, kolik kostek se nachází v násypce.
- odvod roztáté vody z ledu z dávkovacího mechanismu.
- ověření dopravy kostky do skleničky.
- ověření uzavření víka násypky



Obr. 2.6: Celkový konstrukční návrh autonomní buňky

## 2.3 Způsob výměny válce

Jak už bylo řečeno v předešlých kapitolách, u projektu je možnost výměny válce. Tato funkce byla zrealizována kvůli možnosti dávkování ledových kostek o různých rozměrech. Samozřejmě ve vztahu k tomu, že různí výrobci produkují různé tvary a velikosti ledových kostek.



Obr. 2.7: Popis jednotlivých komponent

Postup pro vložení válce do sestavy:

1. Nasunutí válce (díl číslo 1 na obrázku 2.2) na drážku přichycenou na hřídeli.
2. Nasunutí distanční podložky (díl číslo 2 na obrázku 2.2) na drážku.
3. Nasunutí vystředovacího dílu (díl číslo 3 na obrázku 2.2) na drážku + na dva šrouby M4.
4. Našroubování dvou křídlových matek (díl číslo 4 na obrázku 2.2) na dva šrouby M4.
5. Nasunutí víčka (díl číslo 5 na obrázku 2.2) do otvoru v násypce -> díl se přitáhne magnetickou silou pomocí magnetů v násypce.

Postup je analogický pro vyjmutí válce, avšak s opačným způsobem provedení úkolů.

## 3 Elektrický návrh autonomní buňky

V této kapitole je popsáno, jakým způsobem byly realizovány funkce jako pohon dávkovacího válce a vyhodnocování hmotnosti násypky a skleničky.

Proto jsou v následujících podkapitolách uvedeny důvody výběru a funkce jednotlivých elektrických komponentů použitých na autonomní buňce.

### 3.1 Pohon dávkovacího válce

Pro pohon dávkovacího válce byl zvolen krokový motor. Ovládání krokového motoru zajišťoval driver v kombinaci s indukčním snímačem pro zjišťování výchozí polohy dávkovacího válce.

#### 3.1.1 Krokový motor

Pohon dávkovacího válce zajišťuje krokový motor. Krokový motor se jednoduše řídí a splňuje požadavky na přesnost a stabilitu polohy. Motor nese typové označení 17HS19-2004S1 a jedná se o bipolární motor se dvěma statorovými cívkami.



Obr. 3.1: Krokový motor 17HS19-2004S1

Aby se mohla hřídelka motoru začít otáčet, je zapotřebí řídit postupné přepínání fází krokového motoru. Tento úkon zajišťuje driver. Driver dokáže řídit frekvenci

přepínání a tím ovlivňovat rychlost otáčení, či přepínání polarit vynutí a tím zapříčinit změnu směru otáčení. Příkazy driveru udává PLC pomocí pulzního generátoru, který je naimplementován v kódu.

Driver v horní části obsahuje přepínače sloužící k nastavení maximálního proudu protékajícího motorem a nastavení hodnoty mikrokrokování.



Obr. 3.2: Driver krokového motoru

### 3.1.2 Řízení polohy dávkovacího válce

Aby bylo možné řídit polohu krokového motoru a tím řídit polohu dávkovacího válce, je potřeba nejprve určit nulový bod od kterého se bude poloha odpočítávat. Tuto funkci zajistí indukční snímač IY5049 nainstalovaný na bubnu dávkovacího mechanismu.

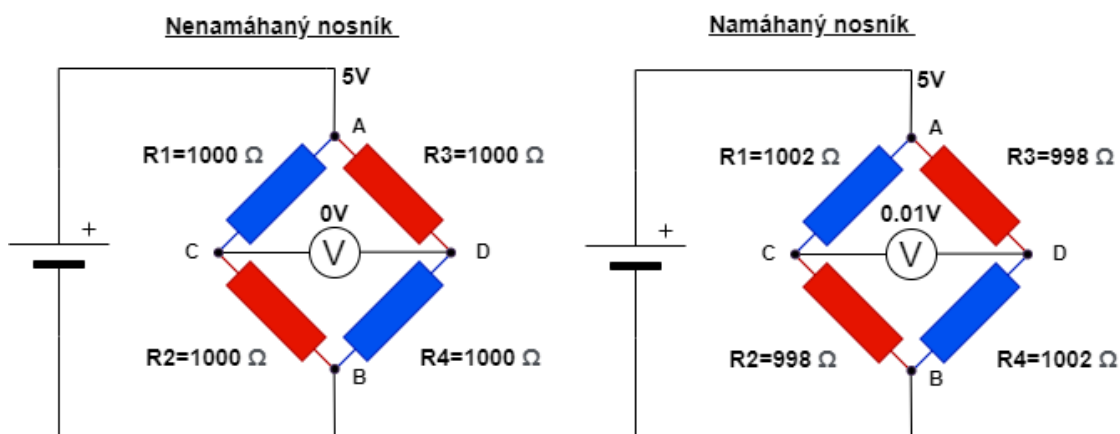
Nastavení proběhne v situaci, kdy se bude nacházet magnet nainstalovaný na dávkovacím válci naproti indukčnímu snímači. Tím snímač vyhodnotí změnu indukce a vzhledem k tomu, že se jedná o PNP snímač objeví se na černém vodiči napětí 24V (hnědý a modrý jsou vodiče pro napájení), které poputuje na digitální vstup PLC, kde se vyhodnotí.

Následné určování pozice probíhá softwarově nastavením relativního pozicování v programu TIA portal.

## 3.2 Snímání hmotnosti

V autonomní buňce se snímá hmotnost celé sestavy, ze které se následně určuje počet kostek v násypce a hmotnost skleničky.

Toto měření je realizováno zařízením, které se nazývá tenzometr. Tyto tenzometry jsou následně nalepeny na hliníkových nosnících. Jsou nalepeny tak, že dva jsou namáhány tahem a dva jsou namáhány tlakem. Jakmile se začne hliníkový nosník namáhat vlivem zvětšením síly působící na jeden konec nosníku. Vznikají na koncích tenzometrů jiné hodnoty elektrického odporu. Most již není vyvážený a mění se hodnota napětí mezi konci C a D (obrázek 3.4).



Obr. 3.3: Schéma zapojení Wheatsonova mostu

Závislost změny napětí mezi uzly C a D se dá popsat vztahem na obrázku 3.5.

$$U_{výst} = \frac{R_2 \cdot R_3 - R_1 \cdot R_4}{(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4)} \cdot U_{vst} \quad (3.1)$$

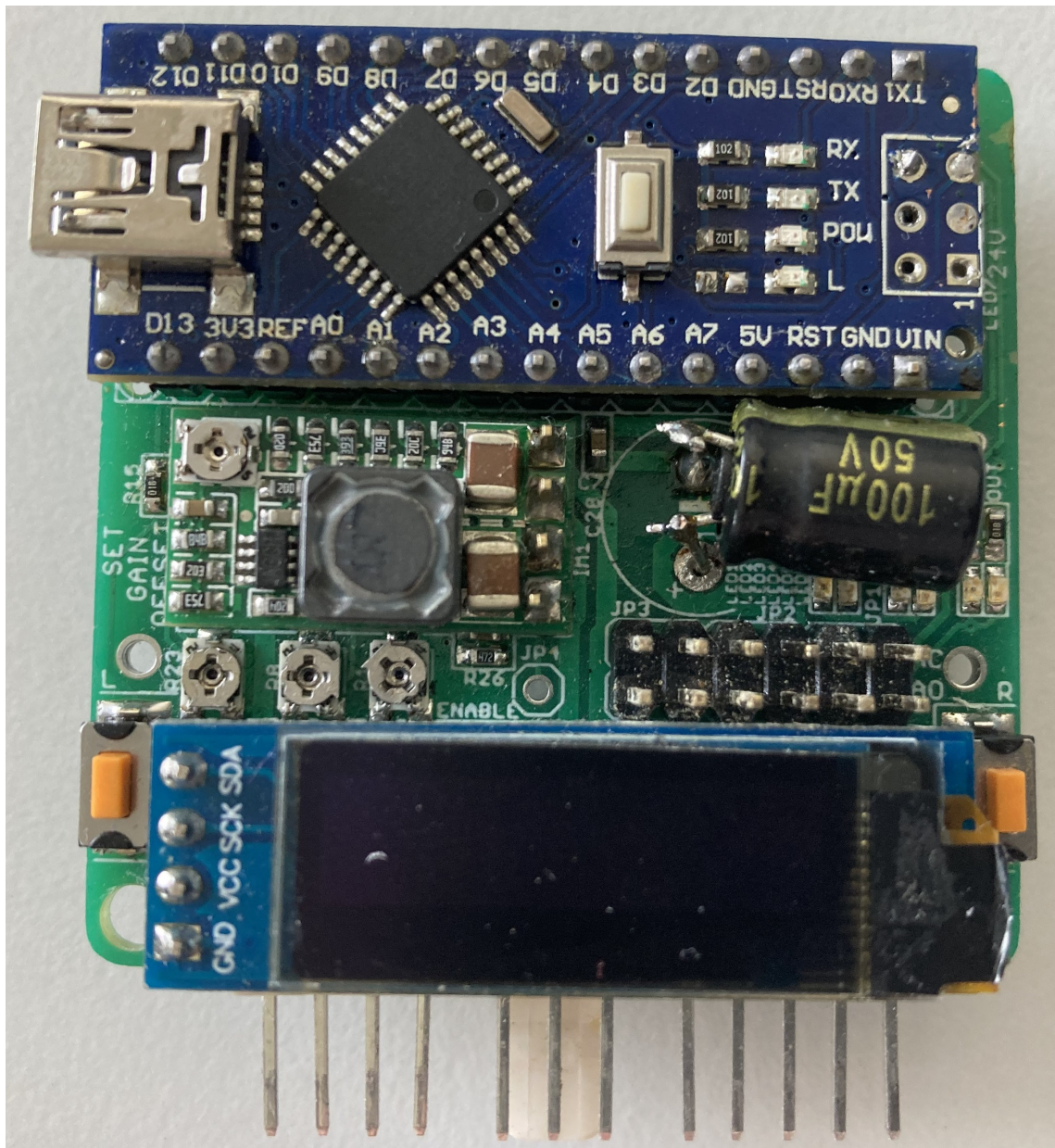
- $R_1$  až  $R_4$  - elektrický odpor jednotlivých tenzometrů
- $U_{výst}$  - výstupní napětí mezi body C a D
- $U_{vst}$  - vstupní napětí zdroje mezi body A a B

Avšak protože se napětí na výstupu mění v řádech mV je zapotřebí ho zesílit a upravit tak, aby bylo tento signál možné vyhodnocovat pomocí PLC. To je popsáno v sekci 3.3.

### 3.2.1 Vyhodnocování hmotnosti

Vyhodnocování hmotnosti bylo realizované pomocí programovatelného zařízení SKU-seCon. SKU-seCon je programovatelné elektrické zařízení zajišťující zpracování signálu z ultrazvukového měřiče vzdálenosti z Wheatsonova mostu a z teplotního čidla.

Tyto signály dokáže přetransformovat, tak aby změnu měřené veličiny reprezentovala na výstupu změna frekvence.



Obr. 3.4: Programovatelná el. zařízení SKUseCon

### Popis vyhodnocení signálů

SKUseCon zajišťuje zesílení výstupního signálu z Weatsonova mostu a převádí takto zesílený napěťový signál na obdélníkový signál měnící frekvenci dle zatížení. Použití zesilovače je v tomto případě potřebné, protože výstupní napětí Whetsonova mostu



se mění v řádu mV. Takto malý rozsah napětí je problém, protože bychom ho pomocí PLC neanalyzovali.

Po zesílení napětí putuje tento signál do programovatelného elektrického zařízení Arduino nano s čipem atmega328. Zde je naspaný program určující například na jaký výstup bude signál putovat a s jakou frekvencí bude pracovat obdélníkový signál. Program obsahuje také různé přepočty pro výstupní signál. Následně výstupní signál z Arduina přes piny D9 až D11 (viz elektrické schéma v příloze) putuje do integrovaného obvodu IC2 ve kterém se nachází série H můstků, která zajistí změnu výstupního napětí na poloviční hodnotu vstupního napájecího napětí (24V) tj. přibližně 12V. Samozřejmě se musí výstup zaktivovat za pomoci digitálních výstupů D3, D5 a D6 (viz elektrické schéma), které pošlou na vstup integrovaného obvodu IC2 signál o velikosti přibližně 5V.

Po těchto úkonech se dostává signál na výstupní piny, kde je možné ho změřit. Po ožívování se podařilo na výstupu naměřit obdélníkový signál měnící svoji frekvenci dle zatížení tenzometru. Tato změna frekvence se vyhodnocovala pomocí vysokorychlostního čítače, který byl obsažen přímo v PLC. Data z vysokorychlostního čítače se následně přepočítávala podle standardizačního vzorce na hmotnost v gramech.

Nastavení parametrů SKUseConů SKUseCon obsahuje také display na kterém se zobrazují aktuální hodnoty. Avšak program zatím funguje tak, že se dá zobrazit pouze jedna hodnota například z tenzometrů. Příkazy se Arduino posílají pomocí sériové linky (RX, TX). Pro zjišťování hodnot z tenzometrů je zapotřebí po sériové lince zaslat znak b.

Dále destička disponuje možností nastavení maximálního a minimálního zatížení tenzometru z čehož se dá určit pracovní rozsah hodnot pro lepší a přesnější určení hmotnosti. Pro zaznamenání minimální hodnoty a následné uložení do paměti EEPROM se po sériové lince zašle znak c. Následně se tenzometr zatíží a po sériové lince se zašle znak d (analogie jako u písmena c). Díky tomuto procesu je tenzometr zkalibrován. Ovšem existuje i více přesný proces kalibrace ten je, ale zdlouhavější. Návod pro práci s tímto zařízením je možno najít v příloze D.

## 4 Programové vybavení autonomní buňky

Tato kapitola se dá rozdělit na dvě části. První částí je popis programu reprezentující sled instrukcí pro nadávkování ledových kostek. Kdy program koresponduje se standardem S88 a Průmyslem 4.0. Druhá část se věnuje realizaci obrazovek na HMI panelu.

### 4.1 Program pro dávkování ledových kostek

Ve vztahu k Dávkovalci ledových kostek by měly být vytvořeny čtyři datové bloky, kde budou uloženy všechny proměnné, které budou rozděleny do jednotlivých skupin. Program by měl také obsahovat čtyři funkční bloky, kde budou nadefinované všechny potřebné operace pro správnou funkci jednotlivých řídicích modulů.

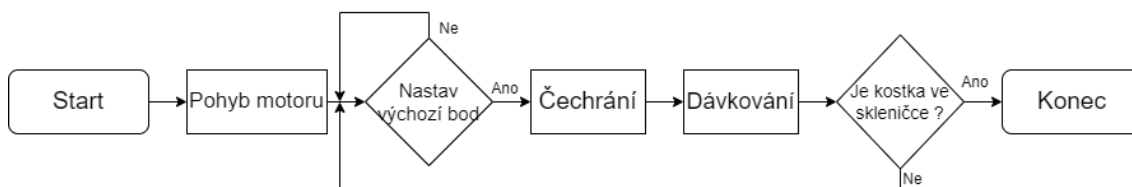
Příkazy se kterými bude pracovat systém AAS budou, kolik kostek je potřeba nadávkovat, začni dávkovat ledové kostky, nadávkoval si ledové kostky (v programu jsou uloženy pod proměnnými s příznačnými názvy).

Řízení bude probíhat ve dvou režimech v automatickém a manuálním. Tyto režimy si bude moc uživatel pohodlně přepínat na panelu HMI stejně, tak bude moc po přepnutí do manuálního režimu ovládat ručně jednotlivé prvky řídicích modulů. Tlačítkem F1 se lze vrátit na hlavní obrazovku main.

Proces dávkování jedné kostky bude probíhat následovně:

1. Motor se začne točit a zastaví se jakmile zaznamená indukční snímač magnet nacházející se na válci (nastavení výchozí pozice).
2. Následuje čechrání kostek kvůli zamezení zasekávání.
3. Poté se dávkovací válec otočí do pozice, kde je otvor ve válci naproti otvoru v bubnu (kostka vypadne do skleničky).
4. Proběhne kontrola příbytku hmotnosti ve skleničce a úbytku hmotnosti v násypce. Pokud by toto neplatilo dávkovací proces se zopakuje.
5. Kostka je úspěšně nadávkována.

Vše je vidět na obrázku 4.1.



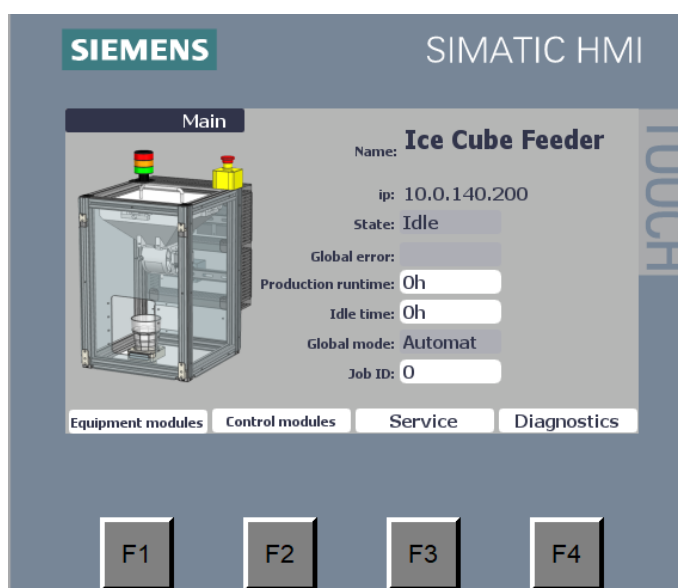
Obr. 4.1: Vývojový diagram programu

## 4.2 HMI panel

Pro jednoduché ovládání buňky uživatelem byli navrženy čtyři intuitivní obrazovky na HMI panelu. Slouží pro manuální ovládání buňky a jednoduchou orientaci při zjišťování aktuálního stavu buňky.

### Main

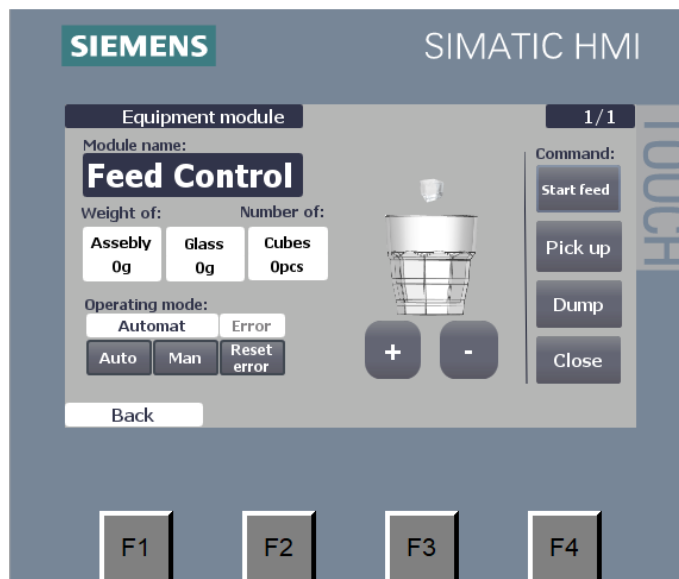
Obrazovka main se spustí vždy při zapnutí HMI jako první ze všech jednotlivých obrazovek. Nachází se na ní hlášení o délce běhu jednotlivých programů, v jakém stavu se buňka nachází, chybová hlášení a IP adresa, která je přidělena PLC.



Obr. 4.2: HMI main

### Equipment modul

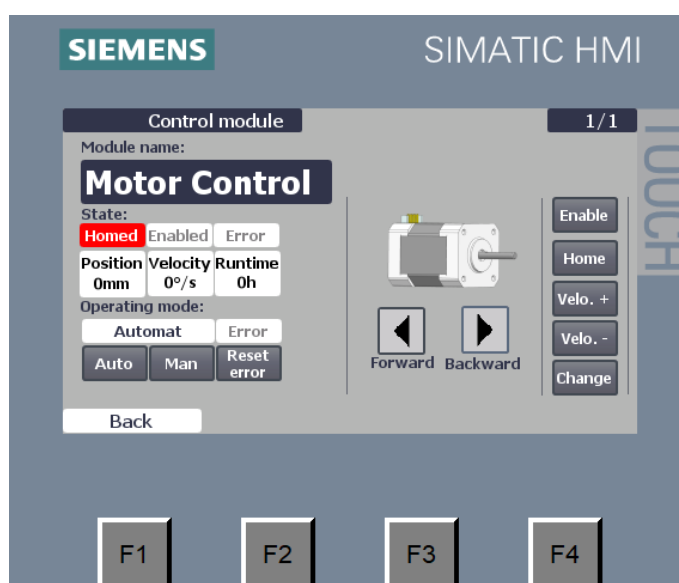
Zde se nachází ovládání dávkování kostek a informace o hmotnosti sestavy a skelníčky. Uživatel si zde může nadefinovat, kolik kostek chce nadávkovat a následně spouštět s tím spojený stavový automat (tlačítko start feed). Další funkce jsou pro ovládání jednotlivých fází dávkování. Funkce naber kostky ovládaná tlačítkem Pick up, funkce vyhoď kostku ovládaná tlačítkem Dump a funkce uzavři násypku ovládaná tlačítkem Close.



Obr. 4.3: HMI equipment modul

### Control module

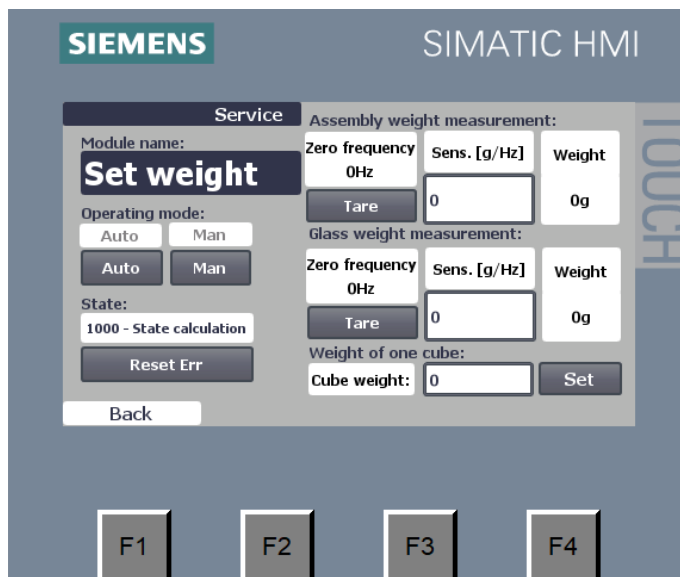
Na této obrazovce lze nalézt možnost manuálního ovládání krokového motoru. Můžeme zaaretovat motor do výchozí pozice pomocí tlačítka Home (po najetí do této pozice se rozsvítí signalizace Homed). Dále můžeme měnit rychlost (tlačítka Vel. jako velocity) nebo měnit směr tlačítky forward a backward. Po každé změně je však zapotřebí stisknout tlačítko change. Vše funguje pouze v manuálním režimu.



Obr. 4.4: HMI control module

## Service

Obrázovka s názvem service umožňuje uživateli kalibraci tenzometrů v násypce a stejně tak tenzometrů umístěným pod podložkou skleničky. Pro následnou správnou funkci ověřování transportu kostky do skleničky a pro správné určování počtu kostek násypce. Pro stanovení počtu kostek v násypce je zapotřebí nastavit hodnotu hmotnosti jedné kostky a nastavit tuto hodnotu stiskem tlačítka set.

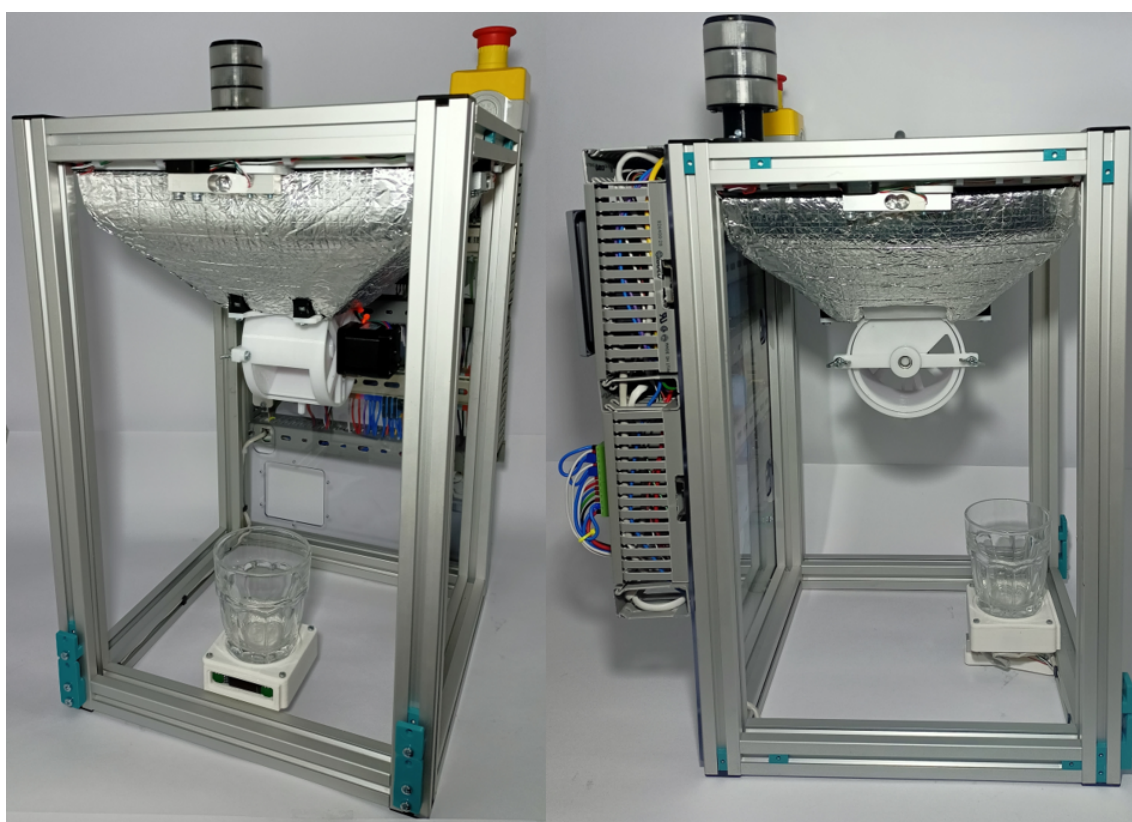


Obr. 4.5: HMI service

## 5 Realizace autonomní buňky

Po jednotlivých iterativních návrzích konstrukční části a určení elektrický komponentů pro realizaci funkcí, pro dávkování, byly fyzicky zrealizovány jednotlivé konstrukční komponenty pomocí technologie 3D tisku. Tyto komponenty se následně mechanicky spojily mezi sebou a s konstrukcí celé buňky osadily se elektrickými komponenty. Následně se tyto komponenty propojily vodiči mezi sebou a jednotlivě se odzkoušely.

Po vytvoření již zmíněného programu se celá buňka oživila a bylo možné stanovit, že je autonomní. Výsledek celé práce lze vidět na obrázcích 5.1 a 5.2. Větší detailnější obrázky pak v přílohách A, B, C.



Obr. 5.1: Reálná podoba buňky

### 5.1 Tepelná izolace

Jak se dá zpozorovat na obrázku 5.1 pro tepelnou izolaci násypky byla použita hmota K-flex. Po následném testování vyplynulo, že led vydrží dva krát delší dobu v pevném skupenství než bez tepelné izolace.

## 5.2 Elektroinstalace

Buňka byla ze zadní části osazena elektrickými komponenty. Tato zadní část je uzpůsobena, tak aby jednotlivé komponenty nepřišly do styku s vodou či jinými podněty, které by zapříčinily nenávratné poškození těchto částí.

V horní části můžeme vidět PLC značky Siemens s typovým označením CPU 1214 DC/DC/DC. Vpravo od něj pak HMI panel také od značky Siemens s typovým označením KTP 400 Basic PN. V dolní levé části se nacházejí stykač pro bezpečné odpojení silové části v kombinaci se stop tlačítkem a relé 5V, 12V, 24V pro signalizaci připojení jednotlivých napájení. Dále v pravé části dvě zařízení SkuceCon zapouzdřené v navržených krabičkách vytištěných na 3D tiskárně. A poslední komponenta vpravo je driver krokového motoru.



Obr. 5.2: Elektroinstalace buňky

# Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a následně zrealizovat autonomní buňku, jejíž primární funkcí bylo dávkování ledových kostek. Při návrhu bylo zapotřebí se řídit podle určitých pravidel Průmyslu 4.0 a standartu dávkové procesu normy ANSI/ISA-S88. Dá se konstatovat, že všechny cíle ze zadání bakalářské práce byli úspěšně splněny. Celá práce se dá rozdělit do čtyř dílčích částí.

První částí je konstrukční návrh autonomní buňky. V této etapě návrhu se navrhovaly komponenty potřebné pro uskladnění kostek a pro dávkování kostek. Při návrhu bylo zapotřebí zajistit, aby celá sestava měla určité rozměry, kvůli možnosti zakomponování do hliníkové konstrukce, sestava také nesměla bránit svými rozměry ve vložení skleničky do autonomní buňky a vyjmutí skleničky z autonomní buňky. Velký důraz se kladl na bezproblémové dávkování. S tím souvisí sklon stěn násypky a zapuštění válce do násypky, kvůli možnosti čechrání kostek při dávkovacím procesu. Velkou předností celé sestavy je transport roztáté vody z kostek přes hadičku do odpadu, či do nádoby a modularita válce. Funkce modularita válce byla zrealizována, kvůli možnosti dávkování ledových kostek o různých velikostech a kvůli jednoduchému provádění servisu. Při návrhu se kladl důraz na to, aby byly jednotlivé komponenty jednoduše realizovatelné pomocí 3D tisku a při jejich výrobě došlo k co nejmenší spotřebě tiskového materiálu, kdy se jednotlivé díly tiskly z bílého PETG plastu.

Následovalo navržení jednotlivých elektrických komponentů. Tento návrh se dá rozdělit do dvou částí. V první části se navrhovalo řešení realizující pohyb dávkovacího válce a komponenty pro řízení polohy dávkovacího válce. Druhou fází bylo pak navržení komponentu pro zjišťování hmotnosti sestavy, kde se nachází násypka, v níž jsou uloženy ledové kostky a pro zjišťování hmotnosti skleničky. Pro pohon dávkovacího válce byl zvolen krokový motor, který byl řízen driverem korkového motoru v kombinaci s indukčním snímačem. Pro určování hmotnosti byli zvoleny tenzometry na jejichž nosnících se nacházely tenzometry zapojené do Wheatsonova mostu. Pro správné určování hmotnosti násypky byly použity čtyři Wheatsonovy mosty na čtyřech nosnících v paralelním zapojení. Toto řešení bylo zrealizováno z důvodu působení rozdílných sil na jednotlivé nosníky. Hmotnost skleničky byla vyhodnocována jedním nosníkem s Wheatsonovým mostem. Pro uchycení nosníku ve vztahu ke správnému měření byla přizpůsobena podložka pod skleničkou. Změna napětí z tenzometrů se vyhodnocovala zařízením s názvem SkuseCon, jehož funkcí bylo napěťový signál zesilovat a převádět na změnu frekvence. Ovládání celé buňky zajišťovala řídicí jednotka PLC od firmy Siemens v kombinaci s HMI dotykovým panelem.

Po osazení konstrukčních dílů elektrickými komponentami bylo zapotřebí vytvo-



řit program udávající posloupnost instrukcí pro dávkování ledových kostek. Tento návrh probíhal dle standartu dávkového procesu normy ANSI/ISA-S88. K programu bylo vytvořeno uživatelské rozhraní zobrazující se na HMI panelu na jednotlivých přepínatelných obrazovkách. Byly vytvořeny čtyři obrazovky s názvy main, service, control module a equipment modul. Pomocí tohoto rozhraní je možné sledovat stavy buňky, kalibrovat tenzometry, ovládat krokový motor a ovládat dávkovací proces. Následně byly definovány tři proměnné potřebné pro správný chod buňky v komplexu buněk realizující výrobu alkoholického nápoje. Tyto proměnné udávající příkaz ke startu dávkování, určující počet kostek pro dávkování a signalizující úspěšný konec nadávkování stanoveného počtu kostek.

Poslední částí bylo realizování navržených konstrukčních dílů, již zmíněným 3D tiskem a mechanické spojení těchto dílů. Následovalo osazení sestavy elektrickými komponenty. Celá sestava se poté mechanicky spojila s konstrukcí celé buňky. Ze zadní části buňky byla vyhotovena elektroinstalace, pro kterou byla vypracována elektrotechnická dokumentace. Byl sepsán program, který byl nahrán do PLC. PLC následně udávalo příkazy jednotlivým elektrickým komponentům. Po následném testování bylo zjištěno, že kostky tajou v krátkém čase, proto byla na násypku instalována tepelná izolace. Ta prodloužila životnost kostek dvojnásobně.

# Literatura

- [1] KACZMARCZYK, Václav, Ondřej BAŠTÁN, Zdeněk BRADÁČ a Jakub ARM. An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design, IFAC-PapersOnLine. IFAC-PapersOnLine. Elsevier, 2018, 2018(6), 263-270. ISSN 2405-8963. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.07.164>
- [2] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU ČR. Iniciativa Průmysl 4.0 [online] 2016, 233 [cit. 2021-12-09]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/53723/64358/658713/priloha001.pdf>
- [3] Jakub Drhlík. Bezdrátové technologie - Co je NFC a jak ho využít. In: Homepage | Svět Androida [online]. 2017, 4.7. 2017 [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/bezdratove-technologie-nfc/>
- [4] HUSÁK, Ing. Michal. Návrh a realizace laboratorní úlohy na téma "Standard ISAS88. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. VÁCLAVKACZMARCZYK Ph.D.
- [5] Led. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 31.1.2022 [cit. 2022-12-09]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/LED>
- [6] Dějiny ledu. Jak prosperoval byznys se vzácnou komoditou. In: Echo24.cz [online]. 2017, 2 [cit. 2021-10-10]. Dostupné z: <https://echo24.cz/a/SaRSA/dejiny-ledu-jak-prosperoval-byznys-se-vzacnou-komoditou>
- [7] How does a Commercial Ice Machine work?. In: TouchStone Commercial Service [online]. [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: <https://www.touchstonecommercialservices.com/blog/how-do-ice-machines-work/>
- [8] Chladicí kostky PRESTO, 24 ks. In: Tescoma eshop [online]. 2018, 3.9. [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://eshop.tescoma.cz/chladici-kostky-presto-24-ks>
- [9] Názvosloví tepelných izolací, hlavní parametry. In: Izolace-info.cz.: Tepelné izolace – info portál o tepelných izolacích a zateplení | Izolace-info.cz [online]. 2008 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://www.isolace-info.cz/technicke-informace/nazvoslovi-tepelnych-informaci/>

- [10] ZBICIAK, M, GRABOWIK, CEZARY, JANIK a WITOLD. An automation of design and modelling tasks in NX Siemens environment with original software - generator module. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015, 2015(11), 012117. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/95/1/012117
- [11] EPLAN Platform 2022 – Experience the New Look Feel. In: Panel Builder System Integrator [online]. 2022, 21.9. [cit. 2022-12-02]. Dostupné z: <https://www.panelbuildersystemsintegrator.ca/changing-scenes/6563-eplan-platform-2022-experience-the-new-look-feel>
- [12] HORÁK, Lukáš. Návrh, konstrukce a programové vybavení autonomní buňky "Drtič ledu" pro testbed Průmyslu 4.0. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2019. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [13] Tiskové struny do 3D tiskáren. In: Filament PM: Tiskové struny do 3D tiskáren - Plasty Mladeč [online]. 2022 [cit. 2022-05-02]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/technicke-informace/nazvoslovi-tepelnych-informaci/>

# Seznam symbolů a zkratek

## Zkratky:

<b>AAS</b>	Asset Administration Shell
<b>CAD</b>	počítačem podporované navrhování - Computer Aided Design
<b>CAE</b>	počítačem podporované řízení procesů - Computer Aided Engineering
<b>CAM</b>	počítačem řízená výroba - Computer Aided Manufacturing
<b>CMM</b>	všeobecně používaná zkratka pro optické, laserové a dotykové CNC 3D měřicí stroje - Coordinate measuring machine
<b>CNC</b>	číslicové řízení počítačem - Computer Numerical Control
<b>CPS</b>	kyberneticko fyzický systém - Cyber-Physical Systems
<b>HMI</b>	rozhraní člověk stroj - Human machine interface
<b>ISO</b>	Mezinárodní organizace pro normalizaci - International Organization for Standardization
<b>NFC</b>	komunikace v blízkém poli - Near Field Communication
<b>PET</b>	polyethylentereftalát
<b>PETG</b>	polyethylentereftalátglykol
<b>PLC</b>	programovatelný logický automat - Programmable Logic Controller
<b>PNP</b>	pozitivní negativní pozitivní - Positive Negative Positive
<b>RFID</b>	identifikace na rádiové frekvenci - Radio Frequency Identification
<b>R/W</b>	čtení/zápis - Read/Write
<b>SCADA</b>	dispečerské řízení a sběr dat - Supervisory Control and Data Acquisition
<b>SCARA</b>	montážní robotické rameno - Selective Compliance Assembly Robot Arm
<b>TIA</b>	plně integrovaná automatizace - Totally Integrated Automation
<b>UTP</b>	kroucená dvojlinka - Unshielded twisted pair

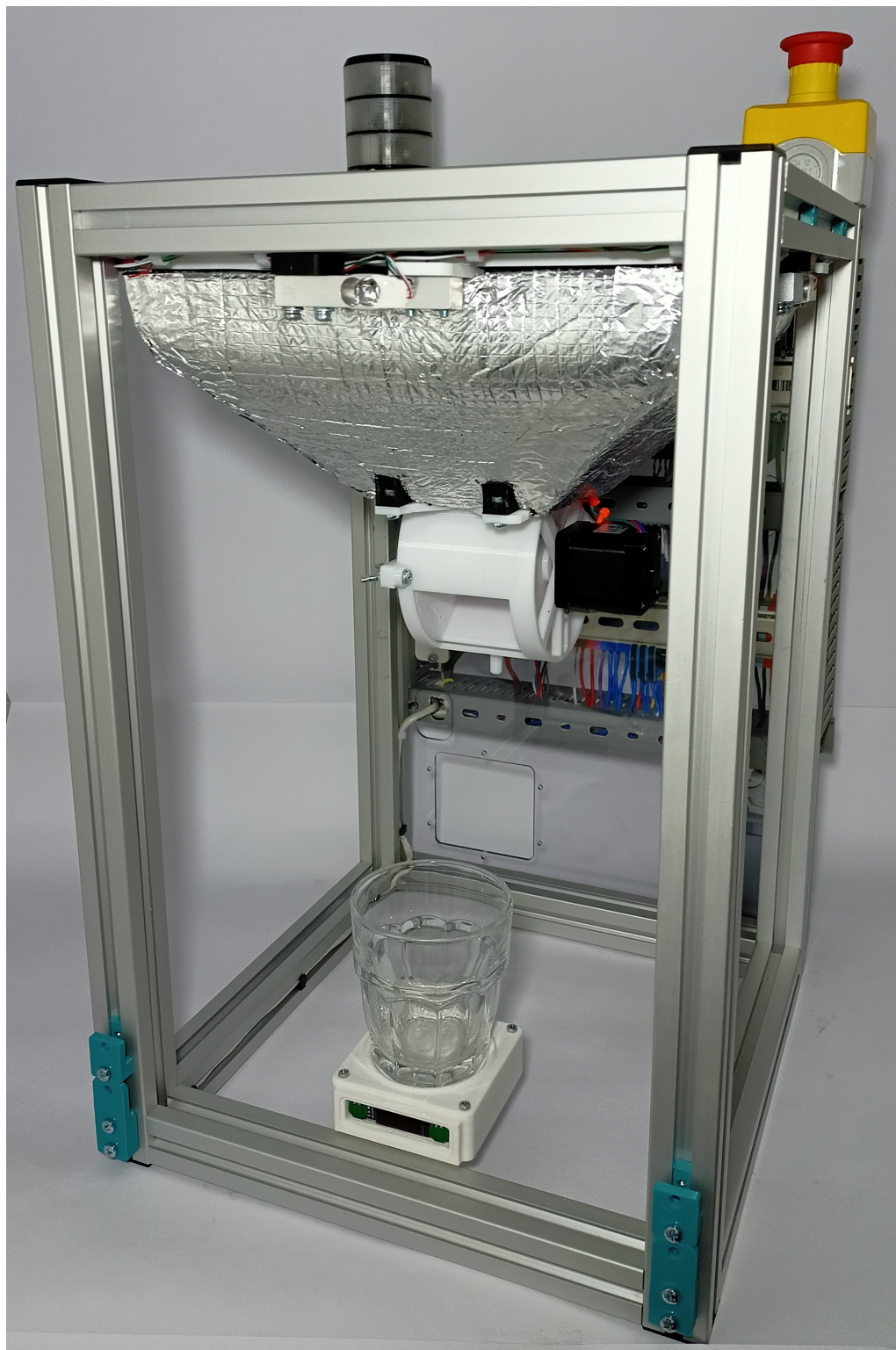
**Symboly:**

<b>a</b>	rameno síly [m]
<b>d</b>	vlastní tloušťka materiálu [m]
<b>F</b>	síla [N]
<b>M</b>	moment síly [N*m]
<b>R</b>	elektrický odpor [ $\Omega$ ]
$s_d$	ekvivalentní difuzní tloušťka [m]
<b>U</b>	elektrické napětí [V]
$\mu$	faktor difuzního odporu [-]
$\lambda$	součinitel tepelné vodivosti [W/mK]

# Seznam příloh

<b>A</b>	<b>Reálná podoba autonomní buňky - pohled ze strany</b>	<b>55</b>
<b>B</b>	<b>Reálná podoba autonomní buňky - pohled z boku</b>	<b>56</b>
<b>C</b>	<b>Reálná podoba autonomní buňky - elektroinstalace</b>	<b>57</b>
<b>D</b>	<b>Návod pro ovládání elektrického zařízení SKUseCon</b>	<b>58</b>
D.1	Popis . . . . .	58
D.2	Návod pro oživení měření hmotnosti pomocí tenzometrů a první způsob kalibrace . . . . .	59
D.3	Druhá možnost kalibrace tenzometrů . . . . .	60
<b>E</b>	<b>Elektrotechnická dokumentace</b>	<b>61</b>
E.1	Titulní strana elektrotechnické dokumentace . . . . .	62
E.2	Elektrotechnická dokumentace - strana 1 . . . . .	63
E.3	Elektrotechnická dokumentace - strana 2 . . . . .	64
E.4	Elektrotechnická dokumentace - strana 3 . . . . .	65
E.5	Elektrotechnická dokumentace - strana 4 . . . . .	66
E.6	Elektrotechnická dokumentace - strana 5 . . . . .	67
<b>F</b>	<b>Obsah přiloženého CD</b>	<b>68</b>

## A Reálná podoba autonomní buňky - pohled ze strany



## B Reálná podoba autonomní buňky - pohled z boku



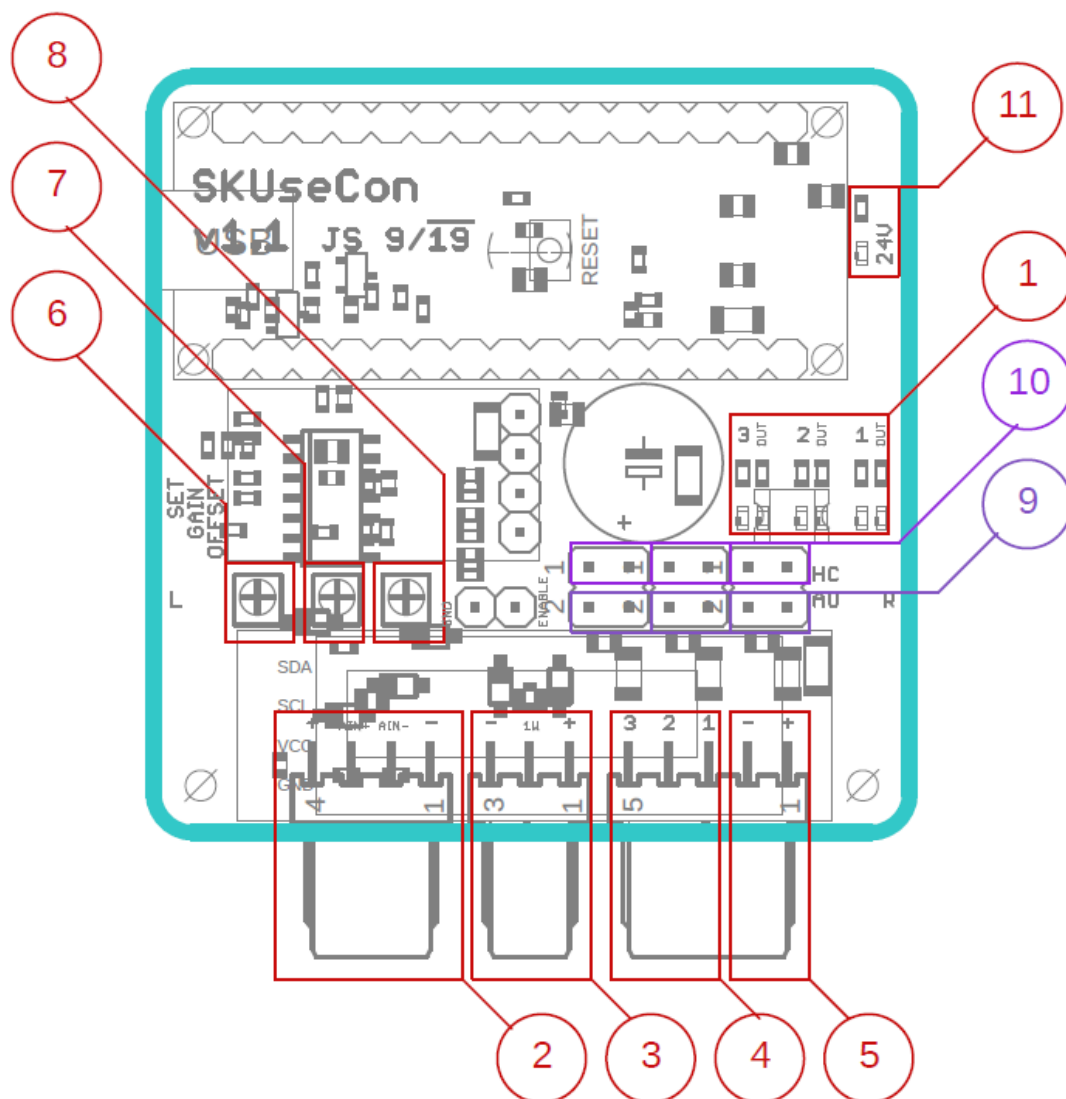


## C Reálná podoba autonomní buňky - elektroinstalace



# D Návod pro ovládání elektrického zařízení SKUseCon

## D.1 Popis



Obr. D.1: Podoba SKUseConu s popisem

1. Signalizace LED: LED u které se nachází číslo signalizuje červenou barvou zak-tivování výstupu. LED u které se nachází slovo OUT jako výstup signalizuje, že se na výstup dostává určitý signál.
2. Piny sloužící pro připojení Wheatsonova můstku, tvořeného tenzometry na nosníku. Barevné připojení viz obrázek(doplňit číslo).

3. Piny pro připojení teplotního čidla.
4. Tři výstupní piny reprezentující výstupní signály.
5. Napájecí piny na stejnosměrné napětí 24V.
6. Trimr pro nastavení analogové hodnoty, která se odešle při stisku programovatelného tlačítka.
7. Trimr pro nastavení maximální hodnoty napětí 5V při maximálním zatížení tenzometru (kalibrace maximálního zatížení tenzometru).
8. Trimr pro nastavení nulové hodnoty napětí při minimálním zatížení tenzometru (kalibrace nezatíženého tenzometru).
9. Piny ve třech párech (pro tři výstupu SKUseConu) po jejichž zkratování se na výstupu objeví analogový signál.
10. Piny ve třech párech (pro tři výstupu SKUseConu) po jejichž zkratování se na výstupu objeví PWM signál.
11. LED signalizující připojení napájecího napětí 24V.

## D.2 Návod pro oživení měření hmotnosti pomocí tenzometrů a první způsob kalibrace

1. Zapojení Wheatsonova můstku na vstup SKUseConu.

+	Červený vodič
-	Černý vodič
AIN+	Bílý vodič
AIN-	Zelený vodič

2. Připojení SKUseConu k PC pomocí USB mini b konektoru a softwarové propojení s vscode
3. Zaslání znaku „a“ z klávesnice po sériové lince, přes terminál (znak se objeví na displeji a začnou se měnit hodnoty u písmene M na displeji, dle zatěžování tenzometrů)
4. Zaslání znaku „c“ pro uložení minimální hodnoty zatížení
5. Položení maximální váhy, která bude tenzometrem měřená a zaslání znaku d pro uložení maximální váhy
6. Nastavení výstupního signálu pomocí „jumperů“

## D.3 Druhá možnost kalibrace tenzometrů

1. U nezatíženého tenzometru nastavit nulovou hodnotu napětí na výstupu zesilovače na pinu A6 pomocí trimru R1
2. Zatížit tenzometru maximální měřenou hmotností a nastavit výstup zesilovače na pinu A6 na hodnotu 5V pomocí trimru R8
3. Na displeji odečíst analogovou hodnotu u písmene M při nulovém zatížení a při maximálním zatížení.
4. Přepsat tyto hodnoty v softwaru ve vscode

```
137 float min_meas = 0;  
138 float max_meas = 1023;
```

Obr. D.2: Část kódu pro přepsání

## E Elektrotechnická dokumentace

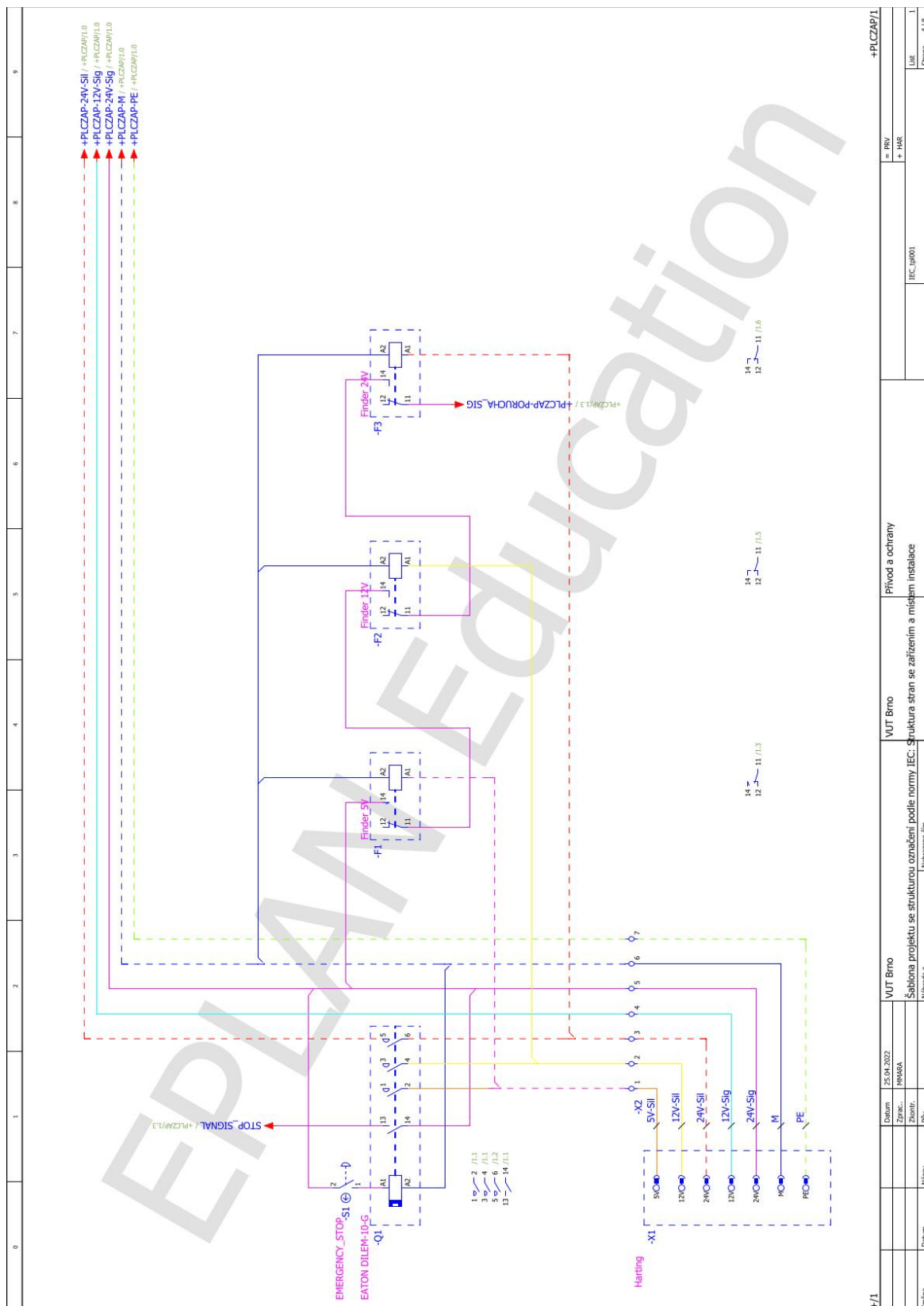
Elektrotechnická dokumentace obsahuje následující strany:

- **Titulní strana**
- **Přívod a ochrany (strana 1)** - v tomto schématu lze nalézt stykač, přes který vede silová část, ten je ovládání pomocí bezpečnostního tlačítka (emergency stop). V případě stisku tlačítka se stykač rozepne a silová část se odpojí. Tato funkce byla realizována kvůli bezpečnosti. Dále je uvedeno zapojení fin-derů (relé), které signalizují poruchu v podobě odpojení silové část
- **PLC zapojení (strana 2)** - na tomto listu výkresu lze nalézt zapojení jednotlivých výstupů komponent do PLC. Jsou zde zmíněny výstupy komponentů jako indukční snímač či zařízení SkuseCon nebo vstupy do driveru krokového motoru či do signalizačního majáčku
- **Krokový motor (strana 3)** - zde lze nalézt detailní zapojení krokového motoru do driveru krokového motoru a následné výstupy do PLC
- **Spínací senzory (strana 4)** - Výkres popisuje jednotlivé zapojení spínacích prvků jako indukčního senzoru či mikrospínačů umístěných pod násypkou
- **Tenzometry (strana 5)** - zde je uvedeno zapojení jednotlivých tenzometrů do zařízení SkuseCon a následně jsou popsány zapojení výstupů do PLC

# E.1 Titulní strana elektrotechnické dokumentace

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F26_001									
 <b>VUT Brno</b> Technická 12 61600 Brno Tel..									
<b>Firma / zákazník</b> Dávkovač ledových kostek elektrické schéma									
<b>Popis projektu</b> IEC_tpj001									
<b>Číslo projektu</b> VUT Brno									
<b>Komise</b> VUT Brno									
<b>Výrobce (firma)</b> VUT Brno									
<b>Sloupec</b> IceFeeder									
<b>Název projektu</b> IceFeeder									
<b>Výrobek</b> IceFeeder									
<b>Typ</b> IceFeeder									
<b>Místo instalace</b> IceFeeder									
<b>Osoba odpovědná za projekt</b> IceFeeder									
<b>Zvláštnost dílu</b> IceFeeder									
<b>Vyrobeno dne</b> 26.01.2022									
<b>Zpracováno dne</b> 25.04.2022									
<b>Počet stran</b> 8									
od (zkratka) MMARA									
=PLC-DIN/Z									
+HARZ/1									
Změna	Datum	Název	Přij.	Zpracov. z. VUT Brno		Titulní strana		IEC_tpj001	Strana 1 / 8
	25.04.2022	MMARA		Dávkovač ledových kostek elektrické schéma					

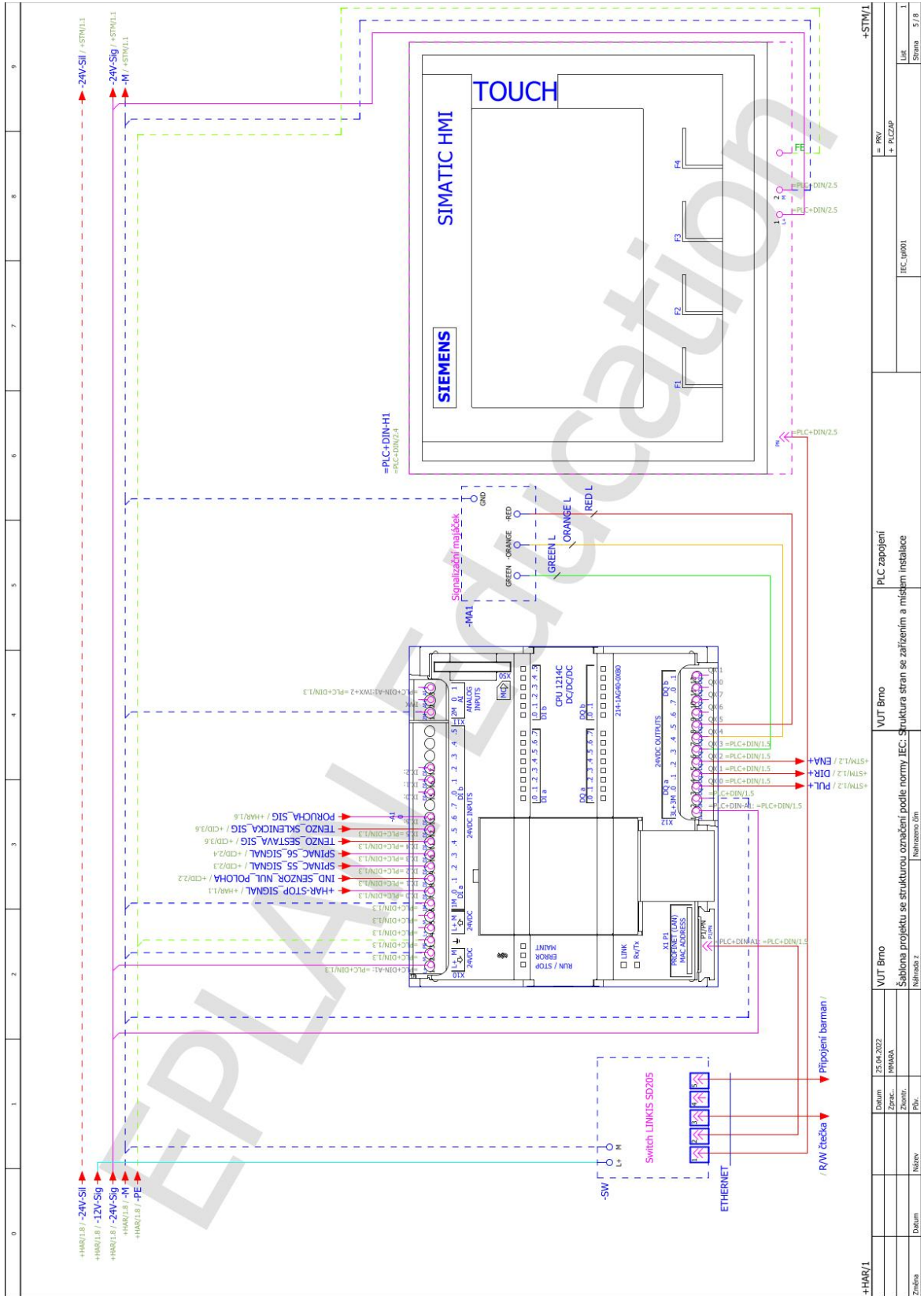
## E.2 Elektrotechnická dokumentace - strana 1



+/1

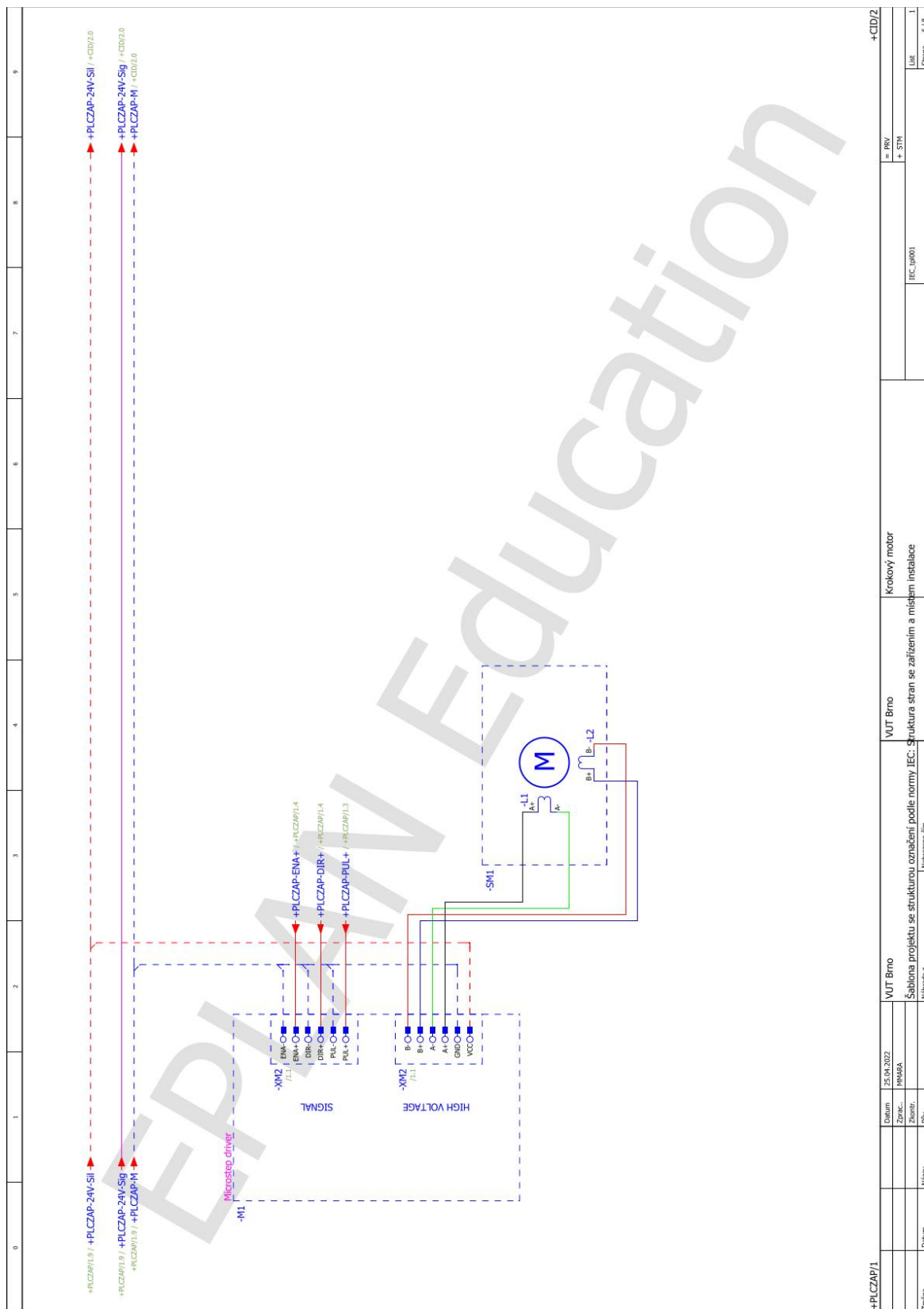
Datum		25.04.2022		VUT Brno		VUT Brno		Přívod a ochrana		+PLCZAP/1	
Zprac.		HEMBA		Šablona projektu se strukturou označení podle normy IEC: Struktura stran se zařazením a místem instalace		IEC: 60001		= RVV		+ MGR	
Změna		Přív.		Návrhová z.		Návrhová z.		Líst.		1	
Datum		Název		Název z.		Název z.		Strana		4 / 8	

## E.3 Elektrotechnická dokumentace - strana 2

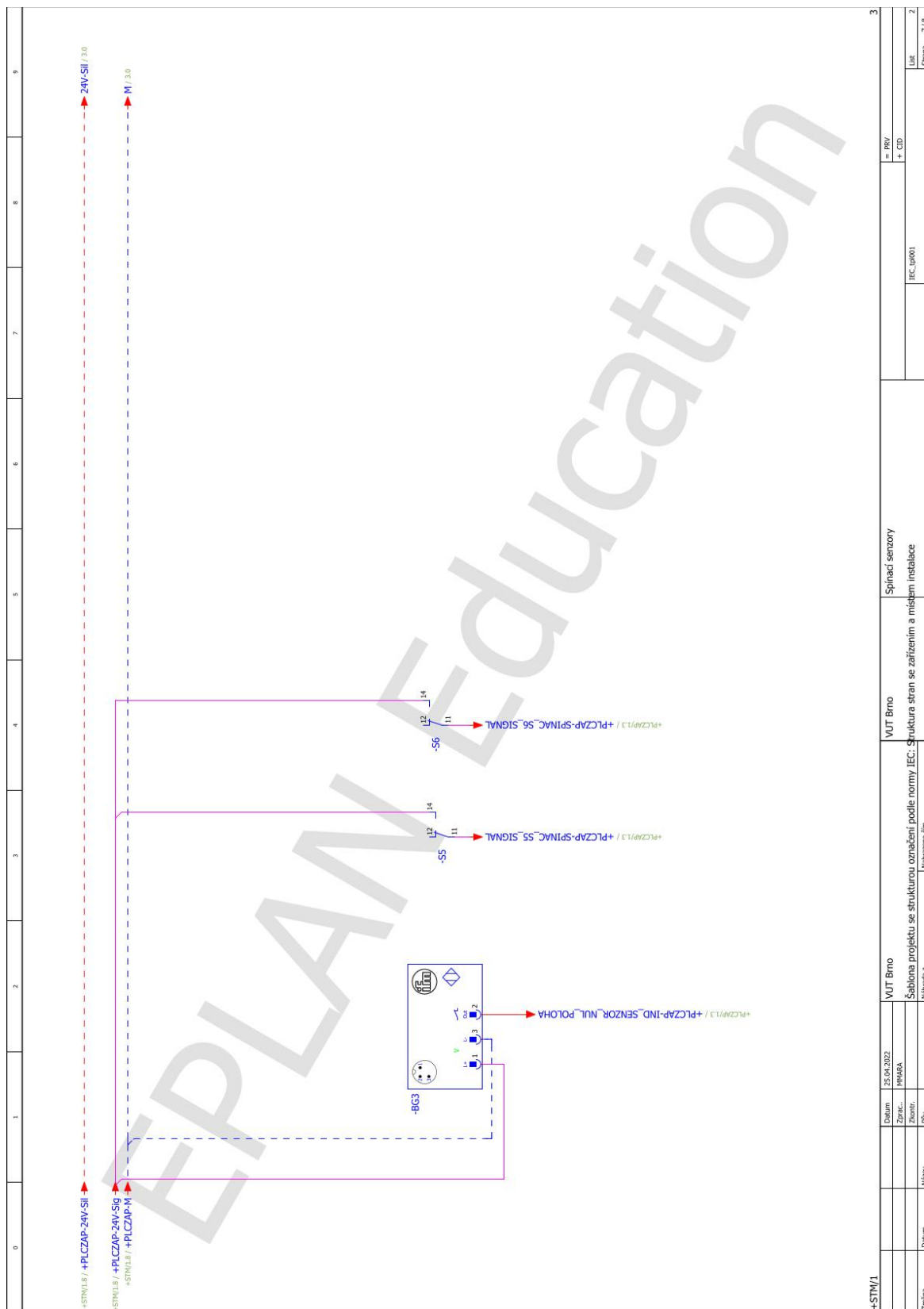




## E.4 Elektrotechnická dokumentace - strana 3

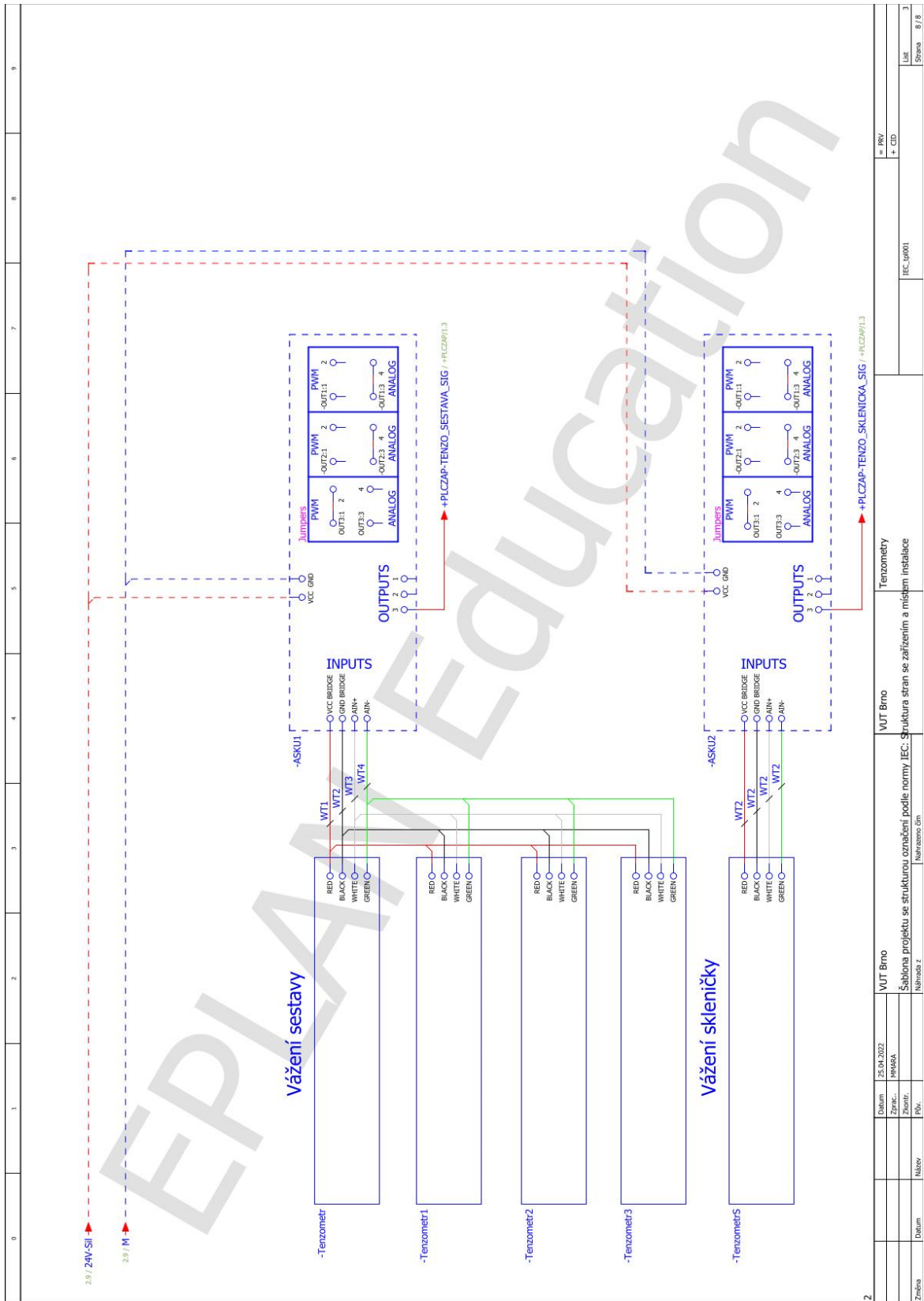


## E.5 Elektrotechnická dokumentace - strana 4



+STM1/1		VUT Brno		VUT Brno		Sřadaci senzory		= PRV + CID	
Datum: 25.04.2022		Zprac.: HMA8A		Šablonu projektu se strukturou označení podle normy IEC: Struktura stran se zařazením a místem instalace		IEC: 10001		Let: 2	
Změna:		Návrh z: Nenařazení čm						Strana: 7/8	

# E.6 Elektrotechnická dokumentace - strana 5



Změna		Datum		Název		Přiv.		Návrh z.		VUT Brno		VUT Brno		Tenzometry		IFC_M001		Lit		Strana	
		25.04.2022		MMAA						Šablona projektu se strukturou označení podle normy IEC. Struktura stran se zařazením a místem instalace								= RVV		8 / 8	
																		+ CID		3	

## F Obsah přiloženého CD

```
/ ..... kořenový adresář přiloženého CD
├── bakalarska_prace.pdf
├── elektrotechnicka_dokumentace.pdf ..... výkresová dokumentace elektrického
    zapojení jednotlivých komponent
├── elektrotechnicka_dokumentace.zip ..... elektrotechnická dokumentace v programu
    EPLAN Education 2.8
└── IceFeederProg17.zip ..... PLC program v prostředí TIA portal v17
```