



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, KONSTRUKCE A PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ AUTONOMNÍ BUŇKY "DRTIČ LEDU" PRO TESTBED PRŮMYSLU 4.0

DESIGN OF MECHANICAL, ELECTRICAL CONSTRUCTION AND SOFTWARE EQUIPMENT OF
AUTONOMOUS CELL "ICE CRUSHER" FOR INDUSTRY 4.0 TESTBED.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Horák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pásek, CSc.

BRNO 2019



Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Lukáš Horák

ID: 195314

Ročník: 3

Akademický rok: 2018/19

NÁZEV TÉMATU:

Návrh, konstrukce a programové vybavení autonomní buňky "Drtič ledu" pro testbed Průmyslu 4.0

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout a realizovat výrobní buňku drtiče 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:

1. An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design (Kaczmarczyk, 2018)
2. Digital twin-driven product design framework. Dostupné z:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00207543.2018.1443229>

Termín zadání: 4.2.2019

Termín odevzdání: 20.5.2019

Vedoucí práce: Ing. Jan Pásek, CSc.

Konzultant:

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.
předseda oborové rady

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

Předmětem této bakalářské práce je návrh a realizace autonomní buňky „Drtič ledu“, která je jednou ze součástí testbedu. Hlavní prvky buňky jsou automat PLC 1200 a HMI touch panel, pomocí kterých je buňka řízena a kontrolována. Receptura, kterou má buňka ve svém výrobním procesu použít, je uložena v NFC čipu na dnu skleničky. V první části práce se nachází stručný úvod do Průmyslu 4.0 a dále je zde popsán výchozí a aktuální stav testbedu. Další část práce se zabývá samostatným mechanickým návrhem buňky, kde jsou rozebrány veškeré části návrhu a popsány všechny elektronické prvky potřebné k funkčnosti buňky. Třetí část práce popisuje programové vybavení, testování a implementaci buňky do celého testbedu.

KLÍČOVÁ SLOVA

BUŇKA, TESTBED, PLC, HMI, BARMAN, PRŮMYSL 4.0, DRTIČ, LED, NÁVRH

ABSTRACT

The goal of this bachelor thesis is design and construction of an autonomous cell on a production line with the purpose of being an „ice crusher“. The purpose of this cell is to be part of a Testbed. The cell will be controlled using a HMI touch panel and PLC 1200. Information about how much ice the cell should pour into a glass is stored in an NFC chip on the bottom of the glass. The first part of the thesis comprises of brief introduction to Industry 4.0 alongside with description of the default and current state of Industry 4.0 testbed. Another part describes mechanical and electrical design of the cell. Last part of the cell describes software of the cell alongside with description of testing and installing the cell to the testbed.

KEYWORDS

CELL, TESTBED, PLC, HMI, BARTENDER, INDUSTRY 4.0, CRUSHER, ICE, SIMULATION

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORÁK, Lukáš. *Návrh, konstrukce a programové vybavení autonomní buňky "Drtič ledu" pro testbed Průmyslu 4.0*. Brno, 2019, 63 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce: Ing. Jan Pásek CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Návrh, konstrukce a programové vybavení autonomní buňky "Drtič ledu" pro testbed Průmyslu 4.0“ 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/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

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Páskovi, CSc. za vstřícné jednání, za odborné vedení a podnětné připomínky k práci. Také bych rád poděkoval za rady a připomínky pracovníkům skupiny průmyslové automatizace, kteří se rovněž pracím na testbedu věnují. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za trpělivost a podporu.

Brno

.....

podpis autora

Obsah

Úvod.....	1
1 Cíl práce.....	3
2 Funkce testbedu	4
2.1 Výchozí stav testbedu	4
2.2 Celková koncepce testbedu	5
2.3 Realizace funkcí testbedu.....	6
3 Průmysl 4.0	7
3.1 Čtvrtá průmyslová revoluce	7
3.2 Trendy	7
3.3 Pojmy	7
3.4 Typ výroby v „chytré“ továrně	9
4 Rozhraní dat a výrobků.....	10
4.1 Přesun výrobku mezi buňkami.....	10
4.2 NFC.....	11
4.3 Komunikace mezi buňkami.....	11
4.4 Lokální síť	11
5 mechanický návrh Buňky	12
5.1 Konstrukce	12
5.2 NX Software.....	12
5.3 Návrh buňky.....	13
5.3.1 Násypka	13
5.3.2 Panel.....	14
5.3.3 Drtič ledu	16
5.3.4 Spodní násypka	16
5.3.5 Držák skleničky	17
5.3.6 Dno buňky.....	18
5.3.7 Výsledný návrh	18
5.4 3D Tisk.....	19
6 Elektronika.....	21
6.1 Senzory, Snímače	21
6.1.1 Tenzometr	21
6.1.2 Ultrazvukový snímač	24
6.2 Motor a pružná spojka.....	27
6.2.1 Výběr pomoci experimentu	27
6.2.2 Výběr motoru.....	27
6.2.3 Pružná spojka.....	27
6.2.4 Testování motoru	28
6.3 Rozvaděč	29

7	Programové vybavení	32
7.1	PLC	32
7.2	TIA portal.....	32
7.3	Program	33
7.3.1	Funkční bloky	34
7.3.2	Data	34
7.3.3	Popis.....	34
7.4	HMI touch panel	35
7.5	Vizualizace	36
8	Komunikace buňky se systémem testebedu.....	39
8.1	Nadřazený systém MES	39
8.2	Připojení buňky do testbedu.....	40
	Závěr	42
	Literatura.....	43
	Seznam symbolů, veličin a zkratk.....	45
	Seznam příloh	46

Seznam obrázků

Obr. 1 Render výchozího stavu testbedu + návrh první buňky	4
Obr. 2 Aktuální stav testbedu	5
Obr. 3 Diagram industriální revoluce [1].....	7
Obr. 4 Trasa skleničky	10
Obr. 5 Ukázka NFC čipu [6].....	11
Obr. 6 Prostředí programu NX	13
Obr. 7 Násypka na led.....	14
Obr. 8 Víko	14
Obr. 9 Středový panel	15
Obr. 10 Držák motoru	15
Obr. 11 Drtič ledu	16
Obr. 12 Spodní násypka.....	17
Obr. 13 Držák skleničky + tenzometr	17
Obr. 14 Vyspádování buňky	18
Obr. 15 Pohled na celý návrh buňky.....	18
Obr. 16 Ukázka vytištěného dílu z CPE	19
Obr. 17 Ukázka tisku násypky	20
Obr. 18 Struktura fóliového odporového tenzometru [19]	21
Obr. 19 Wheatstoneův můstek [21]	21
Obr. 20 Plný můstek [21].....	22
Obr. 21 Schéma zapojení zesilovače [20].....	22
Obr. 22 Návrh plošného spoje univerzální destičky (Autor: Ing. Jabub Streit).....	23
Obr. 23 Použitý tenzometrický snímač hmotnosti	24
Obr. 24 Upevnění tenzometrického snímače v buňce	24
Obr. 25 Blokové schéma zapojeno ultrazvukového hladinoměru	26
Obr. 26 Připravené místo pro ultrazvuk ve víku + ultrazvuk HC-SR04 [24].....	26
Obr. 27 Motorek předních stěračů [23]	27
Obr. 28 Hliníková pružná spojka	28
Obr. 29 Použitá pružná spojka s gumovým středem	28
Obr. 30 Zapojení konektoru Han 10 pin	29
Obr. 31 Pohled na rozvaděče	30
Obr. 32 Použitý koncový spínač [25]	30
Obr. 33 Blokové schéma zapojení buňky	31
Obr. 34 PLC 1200 [27]	32
Obr. 35 Uživatelské prostředí Tia portálu	33
Obr. 36 Datový typ motor.....	33
Obr. 37 Funkční blok buňka	34

Obr. 38 Vývojový diagram výrobního procesu	35
Obr. 39 HMI touch panel [29]	36
Obr. 40 Základní obrazovka	36
Obr. 41 Obrazovka crushing process	37
Obr. 42 Obrazovka Settings	37
Obr. 43 Ukázka spuštěné buňky s vizualizací	38
Obr. 44 Pyramida informačního výrobního systému [11]	39
Obr. 45 Cyklus výrobních a provozních informací [9].....	40

Seznam tabulek

Tab. 1 Srovnání materiálů pro 3D tisk.....	20
Tab. 2 Výhody, nevýhody senzorů pro snímání hladiny	25
Tab. 3 Přehled barevného značení vodičů	29

ÚVOD

Tato bakalářská práce tvoří jednu část projektu Self-Acting Barman. Tenhle projekt má za úkol usnadnit praktické a teoretické porozumění, demonstraci a ověření některých principů iniciativy „Průmysl 4.0“. Tato iniciativa bývá také označována jako čtvrtá průmyslová revoluce, pod kterou si lze představit současný trend digitalizace, automatizace a usnadnění opakujících se činností. Tato práce má také prokázat zásady, které charakterizují Průmysl 4.0 např. modularita výrobních zařízení, horizontální integrace, přizpůsobení výrobního cyklu.

Koncepce projektu testovacího zařízení (testbed) „barman“ vznikla ve skupině průmyslové automatizace na ústavu automatizace a měřící techniky FEKT VUT v Brně. Jedná se o modulární decentralizovaný systém, kde jednotlivé moduly mohou být řešeny a konstruovány samostatně, a to jak mechanicky, tak i elektricky a programově. Iniciativa Průmysl 4.0 přinesla řadu změn a nových paradigmat, které narušila běžný dosavadní způsob myšlení a řešení automatizačních úloh, ke kterým jsou studenti podle stávajících osnov vedeni. Typickou změnou v probíhající éře Průmyslu 4.0, je multioborový přístup, kdy řešení vyžaduje znalosti a přístupy nejen z hlediska automatizační techniky, ale také z hlediska CNC řízení strojů a robotů (nástroje typu CAD, CAE a obecně CAx), ale také solidní znalosti IT pro správu a zpracování velkých dat (big data).

Autoři zadání této bakalářské práce a obecně projektu, jehož je tato BP součástí, přišli s nápadem, jak studentům přiblížit nadcházející změny související s Průmyslem 4.0, a jak je do nich aktivně zapojit. Navrhli projekt, který má demonstrovat "chytrou továrnu". Ta je svým způsobem systémem zahrnujícím velkou většinu myšlenek, pojmů, přístupů, metod apod. Průmyslu 4.0. Vzhledem k finančním a prostorovým podmínkám zvolili pro chytrou továrnu model pro studenty lehce provokativní a zábavný a sice zařízení, které bude vyrábět zákaznické nápoje, a nazvali ho automatizovaný barman. Je to zařízení sloužící k testování přístupů a technik Průmyslu 4.0. proto celkový název "testbed barman".

Projekt byl rozdělen na jednotlivé části, které jsou řešeny jako samostatné studentské závěrečné práce. Každá část má svůj specifický úkol, po spojení všech částí, bude schopen barman splnit vstupní požadavky, které mu budou zadány a vyrobit podle nich žádaný produkt.

Student průmyslové automatizace, který je ve svém studiu převážně směřován k návrhu regulátoru, aplikace, měření a snímání, musí v tomto projektu také otestovat své mechanické dovednosti, ať už s návrhem, tak i se samostatným sestavením mechanické části, která by měla splňovat určité požadavky na funkčnost a bezpečnost.

Dále projekt "barman" předpokládá pochopení celého hodnotového řetězce, a to jak je v něm chytrá továrna zasazena v rámci vertikální a horizontální integrace. S tím neodmyslitelně souvisí infrastruktura a konektivita testbedu. Zejména rozhraní,

prostřednictvím kterých dochází k výměně dat mezi zákazníkem a barmanem a pak speciálně mezi jednotlivými autonomními buňkami barmana. Má-li bakalářská práce demonstrovat hlavní pilíře iniciativy Průmysl 4.0, nemůže v ní chybět postup návrhu a konstrukce výrobní buňky za použití virtuálního modelu, případně digitálního dvojčete a také výroba dílů buňky metodou aditivní výroby, tedy 3D tisku. Ke slovu nesporně přijde i vlastní řízení výrobního postupu, tedy "workflow", který bude realizován klasickým PLC. I zde se uplatní myšlenky Průmyslu 4.0, a sice v pojetí výroby jako kombinace výroby MES a Batch a povýšení běžné decentralizace řízení na architektury edge computing a cloud computing. Jak již bylo zmíněno, je testbed prezentován jako chytrá továrna. Ta v pojetí iniciativy Průmysl 4.0, je tvořena výrobními objekty nazývanými "kyberfyzický systém" CPS, a sama je tedy kompozitním složitým kyberfyzickým systémem. CPS spolu s digitálními dvojčaty je dalším pilířem Průmyslu 4.0. I tématem CPS se bakalářská práce zabývá.

1 CÍL PRÁCE

Cílem práce bylo navrhnout, konstrukčně zrealizovat a naprogramovat autonomní buňku nazvanou Drtič ledu. Tato buňka tvoří jednu část projektu s názvem „Automatický barman“. Automatický barman bude vyrábět nápoje podle volitelných receptur. Jeho činnost bude zahrnovat mnohé funkce, které se nově zavádějí do průmyslové výroby v rámci iniciativy Průmysl 4.0. Primárním cílem konstrukce "automatického barmana" není vytvoření komerčního výrobku, ale implementování a tím i testování nových prvků iniciativy Průmysl 4.0. Proto bylo zařízení pojmenováno "testbed Průmyslu 4.0" a takto bude v celé předkládané práci automatický barman označován. Samotný testbed má představovat malou výrobní továrnu a všechny její funkční prvky, tak jak by vypadala ve skutečnosti velká „chytrá“ továrna. Buňka drtiče ledu bude zahrnovat zejména implementaci řízení v PLC a vizualizaci pro HMI. Hlavní úkoly, které mám na buňce "Drtič ledu" provést se dají shrnout do šesti bodů:

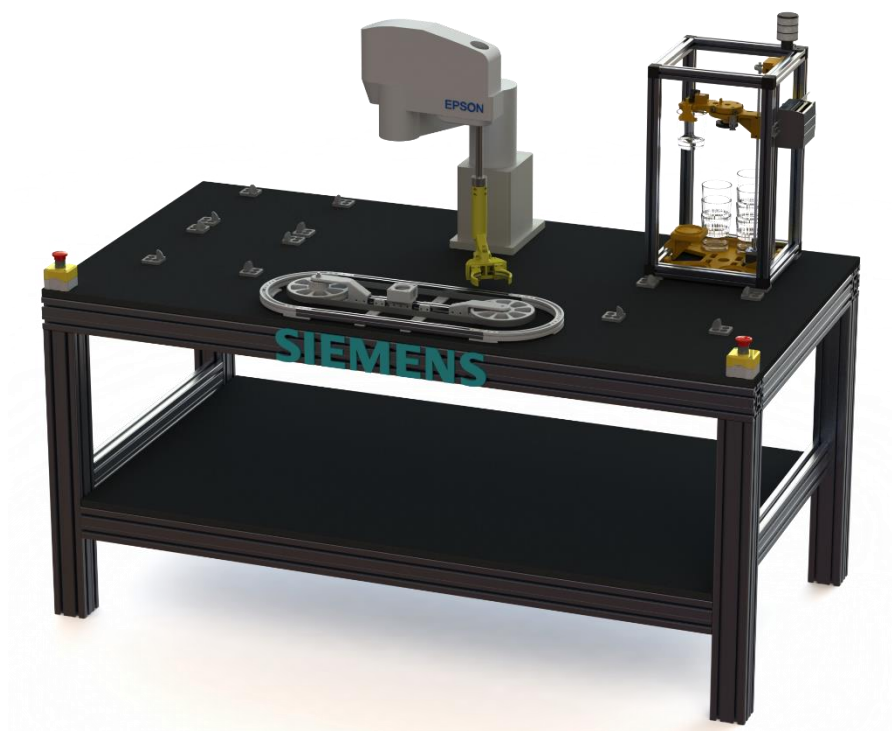
1. Seznámit se s celkovou koncepcí a aktuálním stavem testbedu.
2. Seznámit se s existujícími rozhraními, prostřednictvím kterých dochází k výměně dat a výrobků mezi jednotlivými autonomními buňkami.
3. Provést mechanický návrh buňky v kontextu možností budoucího automatického řízení.
4. Vybavit mechanicky zkonstruovanou buňku snímači, akčními členy a řídicí logikou.
5. Navrhnout, zrealizovat, zprovoznit a otestovat programové vybavení.
6. Provést přizpůsobení programového vybavení tak, aby buňka mohla být připojena do systému testbedu.

Jak už bylo uvedeno v úvodu, jde o testbed chytré továrny, o demonstraci nástrojů, postupů a paradigmat iniciativy Průmysl 4.0, takže k plnění všech výše uvedených cílů budu v rámci možností směřovat s použitím vize Průmysl 4.0. Záměrně uvádím "v rámci možností", poněvadž některé přístupy Průmyslu 4.0 vyžadují prostředí, které nákladově a prostorově nemůžeme v laboratorních podmínkách realizovat a druhý důvod je, že některé, a to i ty zásadní, jsou zatím popsány spíše teoreticky a praktických aplikací není mnoho. Jedná se zejména o kyberfyzické systémy, které by měly být základem chytré továrny. Ty by měly mít vlastnosti sebeorganizace a sebekonfigurace, což souvisí s aplikací internetu věcí IoT, a také se způsobem použití typu "plug and play" ve výrobním procesu, což je ve světě zatím realizováno ojedinele (např. spol. Festo). Přístup k CPS v první verze testbedu "barman", se bude přiklánět spíše k mechatronickému pojetí, což v našich podmínkách bude systém kvazi-kyberfyzický. Podobně budeme přistupovat k digitálním dvojčatům, která v této verzi ještě nebudou plnohodnotně plnit svoji roli. Nutno říci, že na obecné platnosti testovaných funkcí a principů Průmyslu 4.0 to úspěch nesnižuje. Je to cesta výzkumu a vývoje a co je hlavní, je pravdivá. Její začátek je ve výchozím konstrukčním základu testbedu.

2 FUNKCE TESTBEDU

2.1 Výchozí stav testbedu

Pro práci na testbedu "barman" jsem byl zadavatelem a vedoucím práce vybaven (1) vlastním pracovištěm testbedu, (2) nástroji nezbytnými pro realizaci mé práce a (3) zadáním práce. Do zadání práce spadají nejen informace o celkové koncepci a požadované funkčnosti zařízení, které je předmětem mé práce, ale také znalosti a zkušenosti nejen vedoucího, ale i dalších pracovníků, kteří jsou duchovními tvůrci barmana a mohl jsem spoléhat na konzultace s nimi. Pracovištěm byl nosný stůl o ploše 2 m², který vlastně tvořil testbed v počátečním stavu rozpracování. Celý stůl byl vytvořen z hliníkových profilů. Uprostřed stolu byl připevněn velký manipulátor, pomocí kterého probíhá veškerý pohyb na testbedu. Od manipulátoru byla odměřena a vytyčena čtyři místa, na kterých jsou nyní posazeny jednotlivé buňky. V přední části byla vytvořena kolejnice neboli dopravní pás, na který budou umístěny výsledné drinky. V první myšlence byly vybrány 4 buňky, které budou na testbedu umístěny a to (1) drtič ledu, (2) shaker, (3) sklad skleniček, (4) výrobek sody. Pro sklad lahví kvůli předpokládané velikosti a nedostatku místa na testbedu bylo zvoleno místo na podlaze, tedy až za testbedem. Na předních rozích byla umístěna 2 stop tlačítka. Ve spodní části stolu, bylo pomocí dalších hliníkových profilů vytvořeno „spodní patro“, ve kterém se začínal vytvářet hlavní rozvaděč. Dále bylo v plánu zde vytvořit chladicí výměník a zbylé místo využít na v budoucnu potřebné prvky.



Obr. 1 Render výchozího stavu testbedu + návrh první buňky

2.2 Celková koncepce testbedu

Koncepce testbedu „barman“ je přísně modulární, tzn. že všechny výrobní buňky budou řešeny jako samostatné jednotky a budou mít autonomní řízení své funkce. Celkem se jedná o šest buněk, které jsou řešeny v rámci dalších závěrečných prací studentů. Každá buňka má konstrukci z hliníkových profilů, a kromě buňky sklad lahví mají všechny stejné rozměry. Nosné díly mechanické konstrukce jednotlivých buněk mají být vytvořeny pomocí aditivní výroby, tiskem na 3D tiskárně z PLA nebo CPE filamentu. Počet jednotlivých vytištěných dílů je v každé buňce rozdílný, ale lze odhadnout, že se počet vytištěných částí pohybuje kolem 20–40 kusů na buňku. Buňky jsou vybaveny senzory a další potřebnou elektronikou, která zaručuje požadovanou funkčnost buňky. Zatím každá buňka funguje pouze v rámci své buňky, a proto je možné každou buňku zatím řídit samostatně nezávisle na ostatních částech testbedu. Buňky spolu zatím nekomunikují pomocí žádného rozhraní a jejich řízení stojí zatím jen na lokálním PLC každé buňky. Celková koncepce však se vzájemnou komunikací jednotlivých buněk počítá, stejně jako s komunikací s nadřazeným systémem testbedu. Chladicí výměník, který má za úkol chladit potřebné materiály v testbedu, bohužel prozatím nebyl dokončen a zůstává v rozpracovaném stavu. Na stole je připraven konektor rj45 spolu s napájecím konektorem, které jsou umístěny za každou buňkou pro snadné odpojení buňky od testbedu. V každé buňce je vytisknutý držák skleničky s odlišností barvy filamentu, ta je stejná jako barva každé buňky, držák obsahuje NFC čtečku, pomocí které bude vyčtena receptura drinku, který se má vyrobit. Tato receptura je uložena na NFC čipu, který je umístěn na spodní části každé skleničky. Do čipu bude receptura předána pomocí nadřazeného systému, který bude obsahovat zákaznickou aplikaci. Pomocí uživatelského rozhraní bude možnost recepturu vytvořit, nebo nahrát ze seznamu již existujících receptur.



Obr. 2 Aktuální stav testbedu

Další etapou řešení testbedu bude nejspíše rozdělení služeb mezi HW systémy vlastního zařízení a nějaké cloudové platformy. Jak jsem již zmínil současnosti je 100% řízení na lokálním PLC. V následné generaci testbedu mohou být lokálnímu PLC odejmuty základní, případně i kritické (alarmní) úkoly a jeho funkce pak bude redukována jen na IP konektor. Konečným řešením architektury testbedu by pak byl přenos výrobních dat do cloudu.

2.3 Realizace funkcí testbedu

Koncepce funkčního uspořádání testbedu, lze obsáhnout do čtyř částí:

1. Zákaznická aplikace (rozhraní)
2. Správa objednávek
3. Výroba nápoje
4. Historizace dat (Historian)

Zákaznická aplikace umožní vytváření objednávek jako nových receptur podle požadavků zákazníka. Zákazník bude mít možnost vyplnit objednávku prostřednictvím internetových stránek, navolit jednotlivé parametry výroby a složení finálního nápoje. Pro obsluhu aplikace by mělo být k dispozici uživatelské rozhraní HMI, které dovoluje vytvoření objednávky v případě, kdy zákazník sdělí svůj požadavek např. pomocí e-mailu. Uživatelské rozhraní také umožní spuštění výroby jakékoliv objednávky z registru uložených objednávek (XML soubory). Uživatel pro čtení těchto dat nepotřebuje žádný speciální program, ale vystačí si s internetovým prohlížečem. Výhodu spatřuji i ve skutečnosti, že systém MES podporuje práci právě s typem souboru XML.

Správa objednávek by sloužila pro zprostředkování výměny dat mezi zákaznickou aplikací a výrobou nápoje. Podle požadavků zákazníka uložených v objednávce se nastaví parametry výroby, a podle nich je pak vytvořen žádaný nápoj. Funkcemi tohoto modulu by bylo načítání, doplňování údajů o výrobě, archivace objednávek atd. Součástí tohoto SW modulu by musel být i kód pro čtení tohoto XML souboru a uložení dat do tagu RFID.

Výroba nápoje může probíhat jako procedura receptury podle standardu S88. Program je vykonáván PLC náležícím příslušné buňce. Příprava nápoje probíhá jako dávka, přičemž sklenička je mezi jednotlivými kroky přesouvána (probíhá zde workflow), takže můžeme říci, že výroba je kombinací řízení typů Batch a MES.

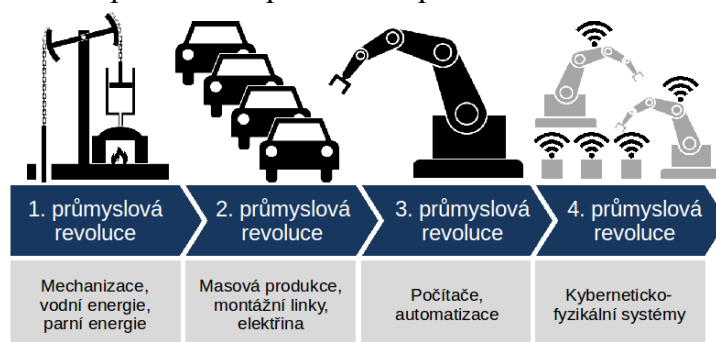
Historizace se zabývá sledováním a zobrazováním dat.

Jak naznačuje zadání mé bakalářské práce, mají být koncepční prvky testbedu co nejvíce spjatý s přístupy a paradigmaty iniciativy Průmysl 4.0. V následující kapitole představím základní pilíře a pojmy vize Průmysl 4.0.

3 PRŮMYSL 4.0

3.1 Čtvrtá průmyslová revoluce

Průmysl 4.0 - pod tímto výrazem se skrývá nadcházející inovace a proměna výrobního procesu. Nazývá se jako současný trend průmyslu a s ním spojená automatizace výrobního procesu. Koncepty, funkce a prvky tohoto trendu jsou publikovány v nesčetných článcích a byly představeny na veletrhu v Hannoveru roku 2013. Na základě přednesené myšlenky byla postavena vize vzniku „chytrých továren“. [1] Hlavní fáze, které zahrnuje vytvoření chytré továrny, jsou: její návrh, konstrukce, výroba, zprovoznění a optimalizace provozních parametrů.



Obr. 3 Diagram industriální revoluce [1]

3.2 Trendy

Iniciativa Průmysl 4.0 přináší do průmyslové výroby trendy jako jsou digitalizace průmyslu, virtuální výroba, digitální výroba, aditivní výroba, virtuální prototypování, cloud computing, umělá inteligence a další. Náš testbed využívá převážně virtuální výroby a aditivní výroby, kde mechanická výplň buňky je vytvořena vizuálně jako 3D model a následně vytisknuta na 3D tiskárně. Díky virtuální výrobě můžeme design výrobku vytvořit jako 3D modely přesně dle našich požadavků a následně vytvořit během krátké doby hotový výrobek. [5]

3.3 Pojmy

Pro postup návrhu a výroby testbedu je vhodné si vyjasnit některé pojmy, které se v souvislosti s Průmyslem 4.0 používají. [33], [34]

Virtuální výroba – není nic jiného než výroba v počítači. Virtuální výroba je pojem pro vykonávání výrobního procesu v počítačích stejným způsobem jako v reálném světě, přičemž virtuální modely umožňují predikci potenciálních problémů ve funkčnosti produktu a v jeho vyrobitelnosti dříve, než nastane reálná výroba.

Digitální výroba – je digitální simulace výrobních procesů, při níž se využijí existující znalosti a optimalizace procesů, tedy dříve, než budou výrobky vyrobeny. Digitální výroba tedy umožňuje zpětnou vazbu z aktuálních výrobních operací tak, aby

znalosti byly začleněny do procesu navrhování výrobku, což jinými slovy znamená využití provozních znalostí během plánovací fáze. Výsledkem je funkční fyzický výrobek. Není třeba ho pokládat za prototyp, ale za plnohodnotný výrobek vyrobený v digitální továrně.

Kybernetický systém – je počítačová reprezentace fyzického výrobního systému. Kybernetický systém popisuje systémové, informační technologie a fyzikální chování výrobního závodu. Typické parametry v kybernetickém systému jsou geometrické údaje, jako například 3D – CAD u konstrukčních plánů, kinematické data, technologická data, teplota, krokové sekvence, atd. V kybernetickém systému je možno simulovat a optimalizovat skutečný fyzikální systém.

Mechatronický systém – má typicky vestavěné systémy, funkce, senzory, ovladače, uživatelské rozhraní, stejně jako interní a externí komunikační rozhraní. V podstatě je to totéž jako průmyslový systém řízený PLC, jen místo PLC je spíše použit embedded systém.

Kyberfyzický systém – cyber-physical system (CPS) je v podstatě mechatronický systém doplněný o dvě zásadní schopnosti: Internetová konektivita a schopnosti sebeorganizace, sebekonfigurace, případně sebeoptimalizace.

Kyberfyzický produkční systém – cyber-physical production system (CPPS). Přestože CPS je obecně kyberfyzický systém, vztahuje se spíše k označení spotřebního (uživatelského) zařízení, zatímco výrobní kyberfyzický systém se pro odlišení označuje jako kyberfyzický produkční systém CPPS.

Chytrá (smart) továrna – vnitřní propojení několika CPPS vytváří tzv. kompozitní systém (systém systémů), kterým může být složitý stroj, nebo i továrna.

Chytrý (smart) produkt – má všechny potřebné informace o svých výrobních krocích, nebo může být schopen zaznamenat všechny ostatní důležité události svého životního cyklu. Máme-li na mysli produkt, který se má vyrábět, je to CPS, jde-li o produkt (zařízení), na kterém se má vyrábět, je to CPPS (např. celá továrna).

Kybernetické dvojče – je virtuálním obrazem existujícího fyzického zařízení, výrobku, nebo systému bez vzájemné konektivity.

Digitální dvojče – Každý CPS musí poskytnout minimální množství informací o fyzickém systému, kterými se identifikuje, čímž získá digitální reprezentaci (DR). Pokud poskytuje všechny dostupné informace o fyzickém systému a v celém jeho životním cyklu do DR, vytvoří se digitální dvojče objektu.

Smart výroba – totéž jako digitální výroba (viz smart továrna = digitální továrna)

3.4 Typ výroby v „chytré“ továrně

V zásadě existují 3 typy průmyslových výrob: digitální, dávková (procesní) a spojitá. Průmysl 4.0 vstoupil do výroby jako velká výzva, a to pro všechny 3 typy výroby. Když se na vizi Průmyslu podíváme detailněji a z širšího úhlu pohledu, je zřejmé, že původcem, tahounem i stěžejním cílem Průmyslu je automobilová výroba a potažmo výroba digitální. S ní jde ruku v ruce výroba dílů reprezentovaná obráběním, formováním a tvářením. V současnosti je orientace typů výrob dána aplikací výrobních systémů MES (převážně pro digitální) a Batch (převážně pro procesní). Kam zařadit našeho barmana?

Jak jsme si již řekli, má-li barman představovat model „chytré“ továrny, jaký typ výroby v ní bude probíhat? Každou skleničku, ve které se postupně vyrábí nápoj podle zadané receptury, můžeme chápat jako tank, ve kterém se vyrábí jedna dávka. Je to typicky dávková výroba s řízením typu Batch (dávková výroba). Na druhé straně sklenička se při výrobě nápoje pohybuje v krocích po definované trajektorii a posléze po dopravníku a v každém kroku je s ní provedena nějaká operace. To je typické pro diskrétní výrobu. Můžeme tedy říci, že výroba nápoje v našem případě je kombinací dávkové a diskrétní výroby. [34]

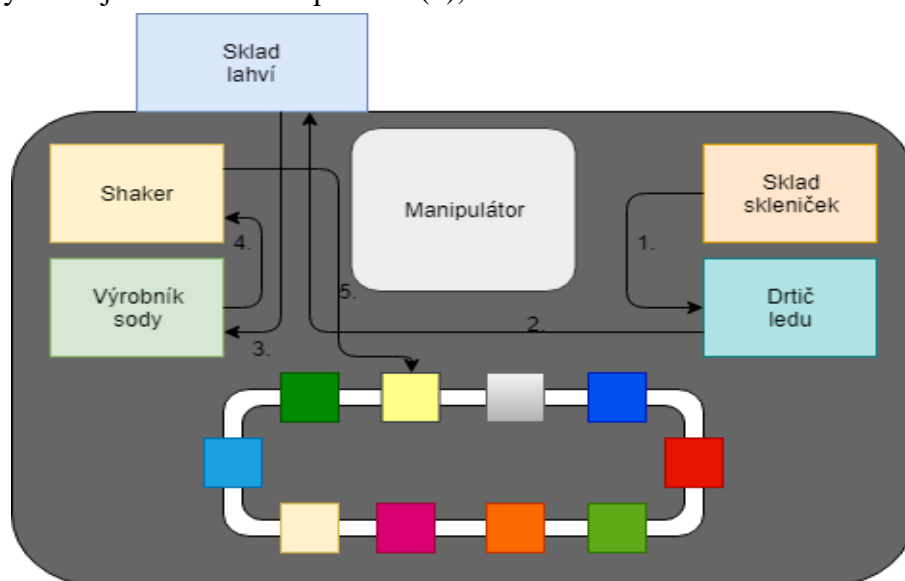
4 ROZHRANÍ DAT A VÝROBKŮ

Již bylo uvedeno, že barman je složité zařízení skládající se z pěti pracovních buněk. Každá buňka je svým způsobem autonomní, ale je zřejmé, že celková funkčnost barmana bude zaručena jen při vzájemné kooperaci všech pěti buněk. Spolupráce nemůže probíhat jinak než předáváním si jednak výrobku, se kterým jsou prováděny operace a dat, podle kterých jsou operace prováděny. Místa předávání výrobku či výměn dat mohou být považovány za jednotlivá rozhraní. Při vlastní výrobě jsou zásadní tři rozhraní.

1. Místa, kde robot přesouvá výrobek
2. Tagy / čipy NFC/RFID nesoucí informace o výrobku
3. Komunikační rozhraní jednotlivých buněk v rámci celého testbedu
4. Lokální síť

4.1 Přesun výrobku mezi buňkami

V našem případě je výrobek neboli drink umístěn ve skleničce. V případě, že je vyvolán požadavek na přesun skleničky, vyhodnotí nadřazený systém trasu a zadá požadavek na manipulátor. Manipulátor přijímá povely, odkud a kam má být sklenička přemístěna. V buňce je sklenička umístěna na držák skleničky, ve které je NFC čtečka, pomocí které se vyčte receptura, která se v buňce do skleničky připraví. Po dokončení výrobních procesů buněk je vyvolán další požadavek na přemístění. Manipulátor skleničku umístí na dopravník, tohle přemístění je synchronizováno, a tak se pokládání na dopravník provádí za plné rychlosti. Předpokládaná trasa skleničky: začíná ve skladu skleniček, dále pokračuje do drtiče ledu (1), následně putuje do skladu lahví s alkoholem (2), předposlední buňkou je výrobek sodы (3), a nakonec je přemístěna do shakeru (4). Výsledný drink je umístěn na dopravník (5), kde čeká na odebrání zákazníkem.

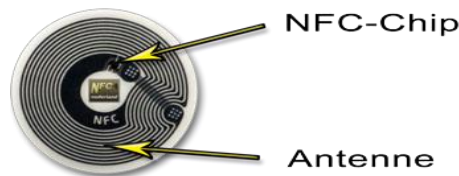


Obr. 4 Trasa skleničky

4.2 NFC

NFC neboli „near field communication“ je modulární technologie bezdrátové komunikace mezi elektronickými zařízeními na krátké vzdálenosti. Hlavním využitím NFC je tedy výměna námi požadovaných dat na základě, kterých lze např. předat klíč, pin, nebo jiné informace. Technologie je založena na standardech RFID a využívá se v ní sada ISO standardů. [6] NFC umožňuje oboustrannou komunikaci, vzájemná komunikace může být jak mezi dvěma aktivními přístroji, tak i mezi aktivním a pasivním přístrojem. [7]

V testbedu budou NFC čipy přilepeny na vnější straně dna každé skleničky, v tomto čipu bude uložena receptura požadovaného drinku. V každé buňce je držák, na který se postaví sklenička, v tomto držáku je zabudována čtečka NFC. Díky čtečce buňka zjistí přítomnost skleničky a následně po vyčtení receptury požadovaného drinku může spustit svůj výrobní proces. Na základě receptu drinku buňka ví, kolik sody, ledu či alkoholu do dané skleničky dát. Dále pomocí NFC dat lze vyjednávat např. přesuny.



Obr. 5 Ukázka NFC čipu [6]

4.3 Komunikace mezi buňkami

Pro součinnost jednotlivých buněk se předpokládá, že tyto budou mít vlastnosti kyberfyzických systémů CPS. Budou tudíž vybaveny tzv. administrativní obálkou (Administrative Shell - AS). Tato „obálka“ AS umožňuje komunikaci CPS s externími systémy a slouží k ukládání všech důležitých dat objektu. V předchozím textu bylo řečeno, že ne všechny funkce a vlastnosti, které Průmysl 4.0 nabízí, lze na testbedu realizovat v jeho první verzi. I tato AS budou do testbedu implementována až ve verzi následující. Funci AS stručně vysvětlím na podobnosti OPC u PLC jako na prodejci orientovaném serveru a klientských aplikacích. I rozhraní AS má interní část orientovanou na výrobci dané komponenty CPS (viz server) a standardizované rozhraní (viz klient) pro externí komunikaci. Tím se stává koncepce AS velmi vhodnou pro standardizaci, aniž by se jakkoliv ovlivnila funkčnost existujících zařízení CPS. Vytváří se tak rámec pro middleware mezi existujícím zařízením a externí sítí.

4.4 Lokální síť

Každá buňka, jako existující zařízení, obsahuje svůj ethernet switch, pomocí kterého je spojeno PLC, HMI panel a další prvky potřebné ethernet propojení. Pro všechny buňky a jejich zařízení byly rozděleny IP adresy. Pro mou buňku ice crusher byly přiděleny následující IP adresy: PLC - 192.168.254.92 a pro HMI panel - 192.168.254.93.

5 MECHANICKÝ NÁVRH BUŇKY

Mechanicky byla celá buňka vestavěna do hliníkové rámové konstrukce o rozměrech 270x270x500mm. Její součásti se dají rozdělit na dvě skupiny: (1) pasivní - mechanické díly sloužící pro uchycení a manipulaci s materiálem a pro nosnost a ukotvení elektrických dílů, (2) elektrické díly, převážně senzory, aktuátory a PLC s HMI.

Hlavní část mé práce bylo vizuálně navrhnout mechanickou strukturu buňky a následně ji vytisknout na 3D tiskárně. K návrhu byl použit program NX od firmy Siemens, tento program je flexibilní a výkonné řešení právě pro tyto 3D návrhy, které můžem v programu simulovat.

5.1 Konstrukce

Konstrukce buňky se skládá z hliníkových profilů, které mají rozměr 30x30 mm, délka profilů je 270 a 500 mm. Profily jsou spojeny příslušným spojovacím materiálem. V drážkách se na uchycení mechanických částí použily T-matky, které se vytiskly na 3D tiskárně a je v nich umístěna matka M4. Na zadní straně buňky jsou připevněny žlaby a DIN lišty, na kterých budou příslušné prvky elektrického zapojení. Pod rozvaděčem v levém dolním rohu je připevněn konektor Han 10 pin, který slouží pro připojení elektrického přívodu do buňky. V horní části je umístěn barevný signalizační maják, pro vizuální informování o stavu buňky, kousek od něj STOP tlačítko, které v případě potřeby zajistí odpojení buňky od silových elektrických přívodů.

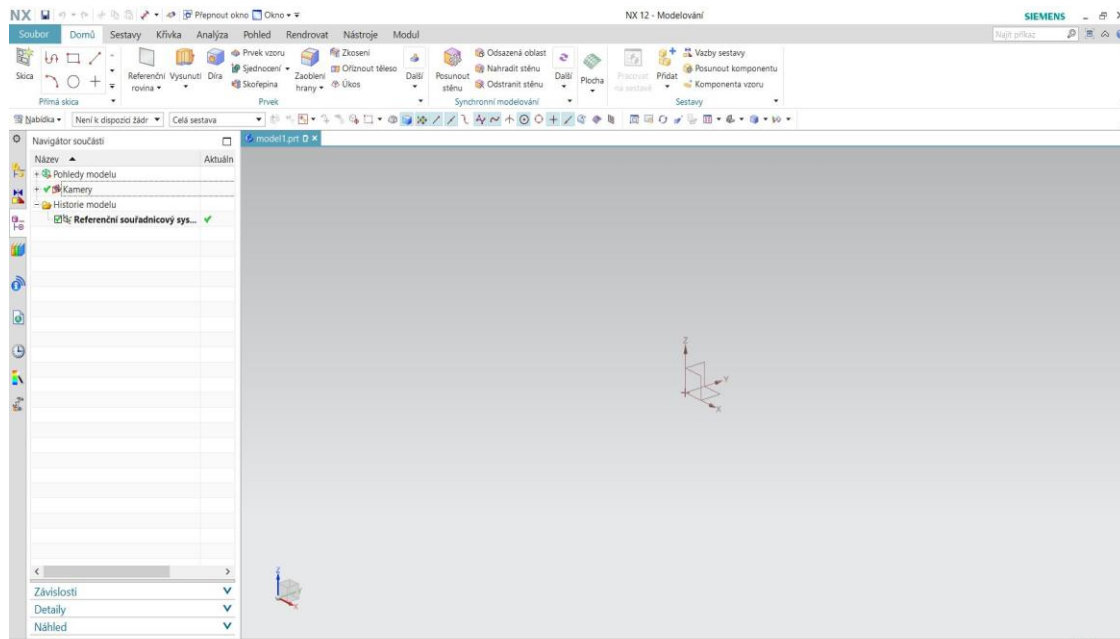
5.2 NX Software

Systém NX od společnosti Siemens PLM Software je nástroj s vysoce integrovanými řešeními pro různé požadavky. Pomocí NX lze řešit návrh, simulace, výpočty, analýzy nebo také obrábění produktů. [13] Jedná se tzv. o komerční CAD, který nám umožňuje jak tvoření jednotlivých dílů, tak i spojování do velkých soustav. Celý software je postaven nad jednotnou grafickou objektově orientovanou databází. [14] Všechny mechanické součásti a prvky jsou navrhovány právě v programu NX.

Program nabízí velký počet nástrojů pro tvorbu modelu. Prostředí programu se dělí na 3 důležité části, v horní části jsou nástroje pro tvorbu, např. nová skica, přidat vysunutím, zaoblení, zkosení, ale také jsou zde nástroje pro práci se stěnami či s celými komponentami. V levé části prostředí je okno, kde lze přepínat mezi navigátorem sestavy, vazeb či součástí. Nejčastěji se využívá navigátor součástí, ve kterém vidíme všechny vytvořené skici a úpravy daného modelu. Třetí část prostředí je hlavní nabídka, ve které se nacházejí karty pro rychlou navigaci mezi souborem, sestavou, křivkami, analýzou, pohledem a dalšími nástroji.

Práce se softwarem není nijak zvlášť složitá, i pomocí základní nástrojů se dají vytvořit dost zajímavé modely. Pro rozšíření schopností v této problematice, lze na

portálu YouTube najít velkou řadu návodů a ukázek přímo z prostředí NX, tyto návody jsou jak pro začátečníky, tak i pro pokročilé.



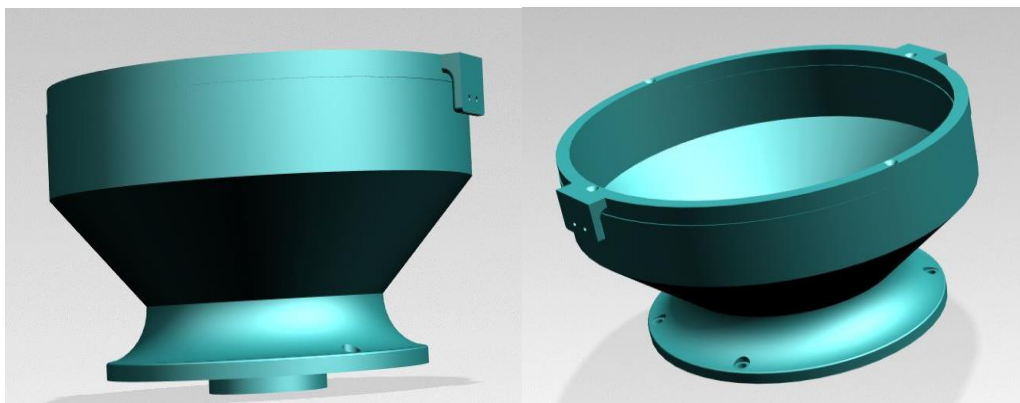
Obr. 6 Prostředí programu NX

5.3 Návrh buňky

Dalším cílem zadání je vytvořit mechanický návrh autonomní buňky, celý návrh spojit a otestovat. Po dokončení celého návrhu postupně vytisknout na 3D tiskárně. Návrh jsem tvořil právě v již zmíněném softwaru NX. Následně budou popsány jednotlivé části buňky směrem od shora dolů.

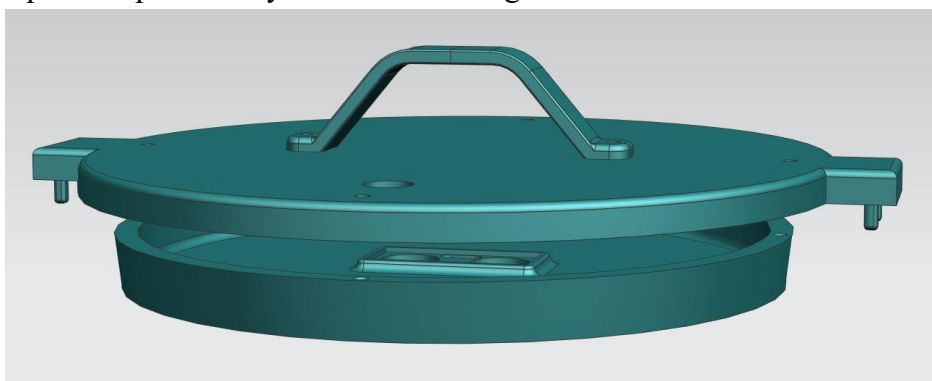
5.3.1 Násypka

Celý můj mechanický návrh autonomní buňky začíná u násypky na led. Tato násypka se nachází nahoře buňky, její horní průměr je 194 mm a spodní průměr má 50 mm. Na spodní části je vysunutý výběžek pro zapadnutí do výřezu v panelu a zajištění odtoku rozpuštěné vody mimo panel. Upevněna je pomocí 4 šroubů, na které jsou nachystány otvory ve spodní části. Na horním kruhu násypky jsou připraveny 4 otvory pro uchycení další části, která umožňuje na horní straně připevnit 2 koncové spínače. Násypka má tloušťku 7 mm, aby zaručovala určitou pevnost a tepelnou izolaci, dále je vymyšleno do ní vložit násypku stejného tvaru, ale z nerez, hlavním důvodem je hygiena při doteku ledu a filamentu. Další vrstva je zde i z důvodu tepelné izolace. Tepelná izolace by šla dále podpořit pasivně, a to uzavřít celou násypku do další vrstvy např. pěnového sarkofágu.



Obr. 7 Násypka na led

K násypce je vytisknuto také víko, které má více funkcí. Hlavním cílem víka je uzavřít násypku na led před prachem a jiným nepořádkem, který by do násypky mohl spadnout, dále omezit vliv okolní teploty na násypku. Nejdůležitějším úkolem byla bezpečnost, při otevření víka nelze drtič spustit, aby nedošlo ke spuštění např. při doplňování ledu, a tím možnosti přijít do přímého kontaktu s drtičem. K tomu slouží čtyři kolíčky po stranách horní části víka, tyto kolíčky zapadají do otvorů stejné velikosti, kde stlačí koncové spínače. Víko se skládá ze dvou částí a je duté, uvnitř víka je umístěná elektronika potřebná k ultrazvukovému měření. Pro přívod kabelů do víka je zde připravena plastová vývodka velikosti Pg 9.

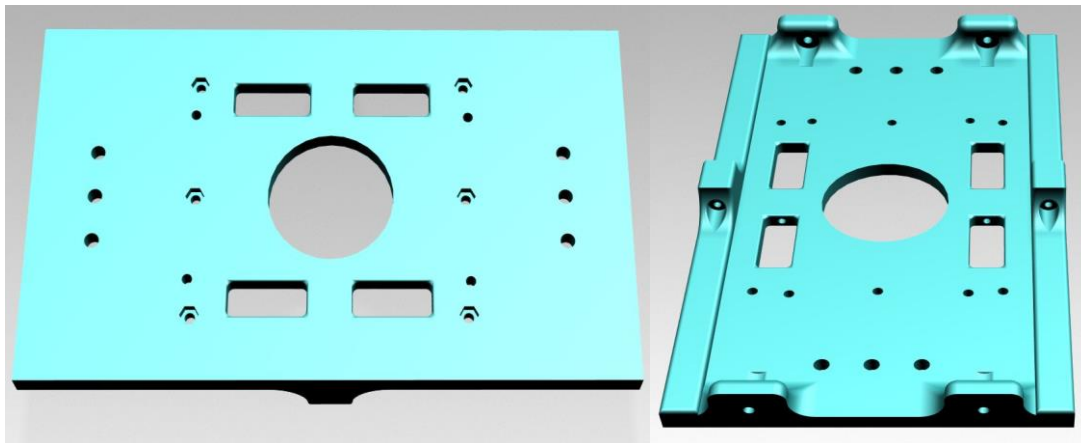


Obr. 8 Víko

5.3.2 Panel

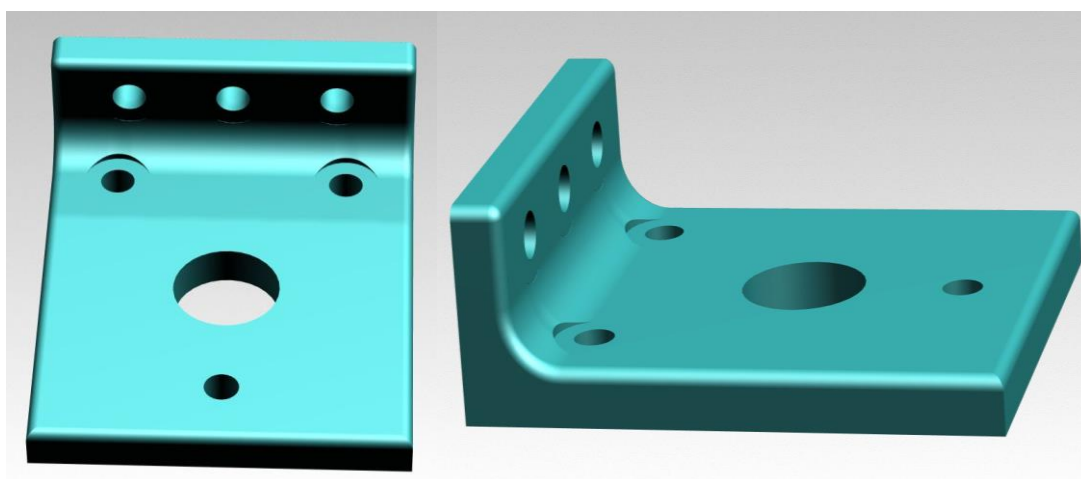
Hlavní částí celého návrhu je středový panel, ke kterému je ze spodu přichycen drtič ledu a seshora je do panelu zasunuta násypka, která je připevněna pomocí 4 šroubů. Panel je uchycen ke konstrukci buňky pomocí připravených úchytů, do kterých zapadne šroub, v konstrukci jsou jako protikusy T matky. Panel se skládá ze dvou stejných symetrických kusů, které jsou k sobě spojeny pomocí úchytů a výstupků, ty navíc slouží k zapření dvou kusů o sebe, a tím zpevnění celého panelu. Taktéž jsou zde šestihorné výřezy na M4 matky, pomocí kterých je uchycen samostatný drtič. Ze spodní strany je

středem veden malý výstupek ke zpevnění namáhané části. Hlavní otvor na násypku má průměr 56 mm a panel má tloušťku 10 mm. U kraje jsou tři M6 otvory pomocí, kterých je k panelu velmi pevně připevněn držák motoru. Na panelu zbývá ještě dost místa na případné uchycení dalších potřebných součástí, log, nápisů nebo jiného potřebného příslušenství.



Obr. 9 Středový panel

K uchycení motoru slouží již zmíněné otvory na krajích desky, otvory jsou na obou stranách z důvodu možnosti připevnění motoru podle potřeby a tím otočení celého drtiče o 180°. Samotný držák motoru ve tvaru L a ve zlomu je zpevněn pomocí zaoblení. Držák byl navrhován několikrát z důvodu jeho mechanické pevnosti. Při pokusech se většina držáků rozlomila, až tenhle poslední návrh vydržel, byl zde zvýšen úhel zaoblení v místě zlomu. Při připevnění byly použity velké podložky pod šrouby, aby bylo zajištěno dotažení přes co největší plochu.



Obr. 10 Držák motoru

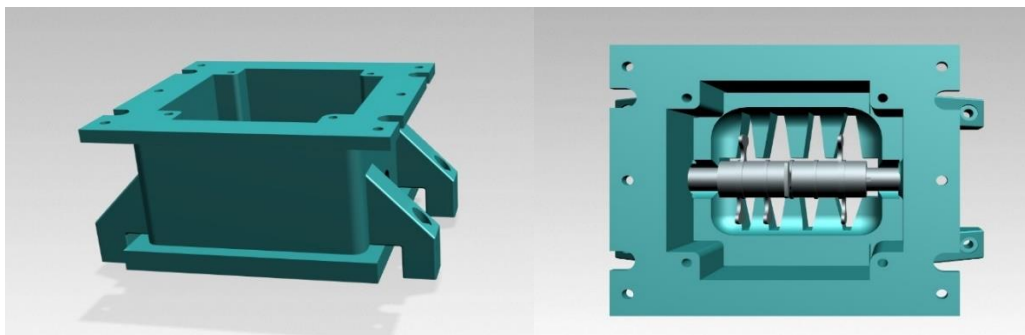
5.3.3 Drtič ledu

Součást „drtič ledu“ je nejdůležitější, a proto na ni musel být kladen důraz i co se týká bezpečnosti. Tato součást se skládá z více částí: Stěny drtiče, osy s kladivý a drtící mřížky.

Stěna, která ohraničuje prostor, ve kterém je led před spuštěním samostatného drcení je tlustá 6 mm, na horní straně jsou připraveny otvory na uchycení do panelu, uvnitř stěn jsou nachystány 4 sloupky, ve kterých je otvor na připevnění spodní drtící mřížky. Dále jsou po stranách 2 otvory, které jsou přizpůsobeny tak, aby v nich drželo vložené ložisko s vnitřní dírou velikosti 8. V těchto ložiskách je usazena samostatná osa drtiče s drtícími kladivý. Na bocích stěny jsou vyvedeny 4 výstupky, pomocí kterých je upevněna další část návrhu. Stěna drtiče byla vytvořena podle předlohy, která byla zakoupena, avšak zakoupený díl byl velmi tenký a pravděpodobně by byl velmi rychle zničen. Při návrhu nového dílu jsem použil tvar a rozměry. Tenhle díl již zaručuje bezpečnost a dostatečnou mechanickou pevnost.

Železná osa tvaru kvádrů je dlouhá 100 mm, na konci osy je závit M8, který je pomocí pružné spojky spojen s hřídelí motoru. Osa obsahuje 6 drtících kladiv, které jsou oddělené mezikusy, tak aby kladiva vycházela přesně do mezer drtící mřížky.

Drtící mřížka, která je umístěna na spodu celého drtiče, je připevněna pomocí čtyř dlouhých vrtů do připravených sloupečků ve stěně drtiče. Celá mřížka je vyrobena z tvrzeného plastu, tak aby vydržela tlak, který na ni bude vyvíjen při drcení ledu. Jednotlivé žebra v mřížce jsou dlouhá 20 mm a široká 5 mm.



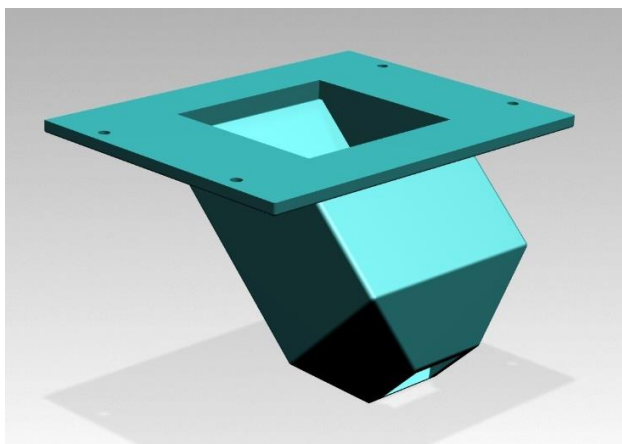
Obr. 11 Drtič ledu

5.3.4 Spodní násypka

Díl „spodní násypka“ je připevněna pomocí 4 úchytů, které jsou nachystány na bocích stěny drtiče. Uprostřed je připravena díra, která přesně odpovídá velikosti drtící mřížky, a tak přesně zapadnou do sebe. Svod ke skleničce je pod úhlem 45°, tenhle úhel byl zvolen hlavně kvůli tisku, při testování se ukázalo, že tenhle úhel dostatečně na pohyb ledu směrem ke skleničce stačí. Na spodní straně svodu, jsou připraveny malé otvory, které zaručí odvod vody z rozpuštěného ledu.

Tenhle odvod byl odzkoušen a funguje míň, než se očekávalo, tudíž jsem musel navrhnout nový odtok, tenhle odtok už je navržen a je možno ho kdykoli vytisknout.

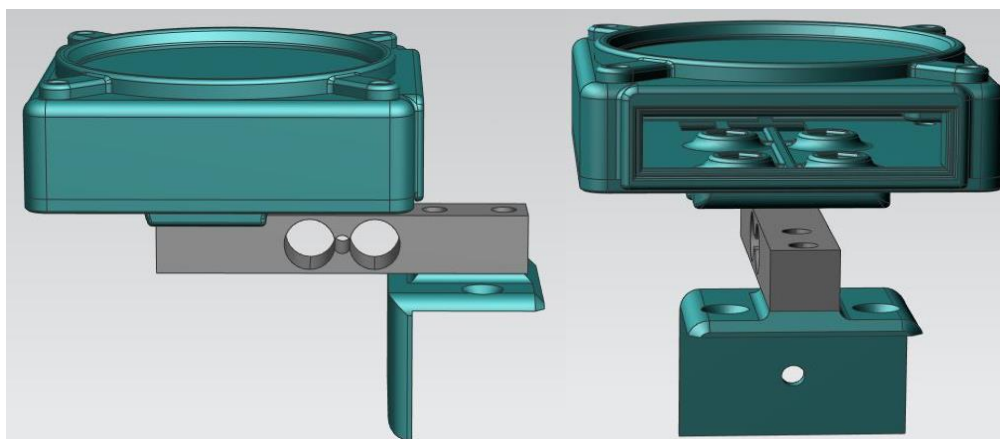
V novém odtoku je svedena voda do jednoho kanálku, který vyústí do výstupku, na kterém bude připevněna hadička průměru 6 mm, a pomocí ní bude voda odvedena do odtokové nádoby.



Obr. 12 Spodní násypka

5.3.5 Držák skleničky

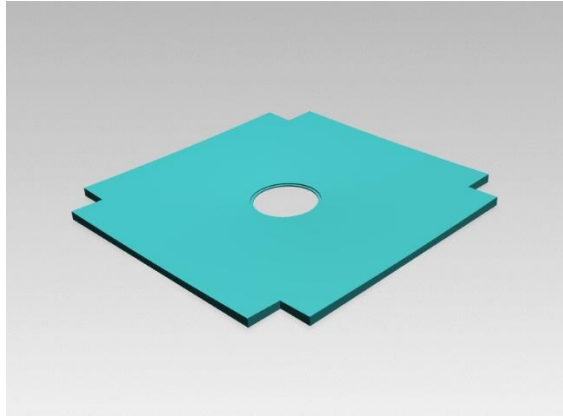
Na spodním hliníkovém profilu buňky je pomocí T matky, připevněn tenzometr pomocí držáku ve tvaru L. Na tenzometru je připevněna ploška, přes kterou je uchycen držák na skleničku. Na horní stěně je vystouplý kruh, který odpovídá velikosti dna skleničky, zde bude sklenička usazena po celou dobu výrobního procesu buňky. Z přední strany bude umístěn displej a uvnitř zabudována voděodolná NFC čtečka.



Obr. 13 Držák skleničky + tenzometr

5.3.6 Dno buňky

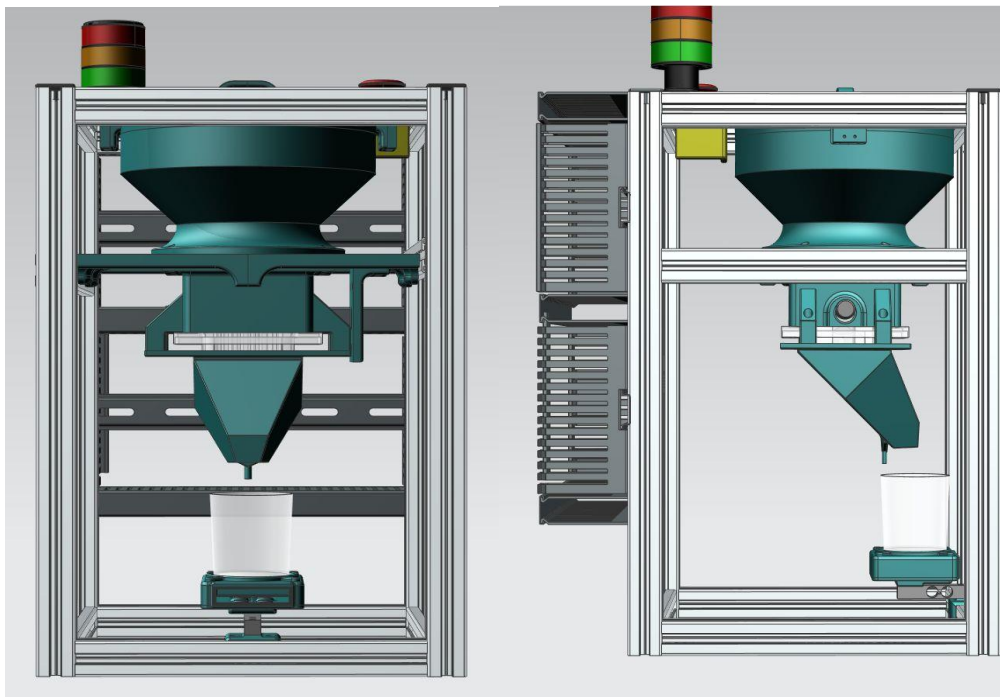
Na dně buňky je vytisknutá plocha, která je vyspádovaná směrem ke středu dna buňky, kde bude vytvořen otvor do stolu, a zde bude probíhat odtok odpadní vody z buňky. Pod stolem bude umístěn svod odpadní vody ze všech potřebných buněk do připravené nádoby.



Obr. 14 Vyspádování buňky

5.3.7 Výsledný návrh

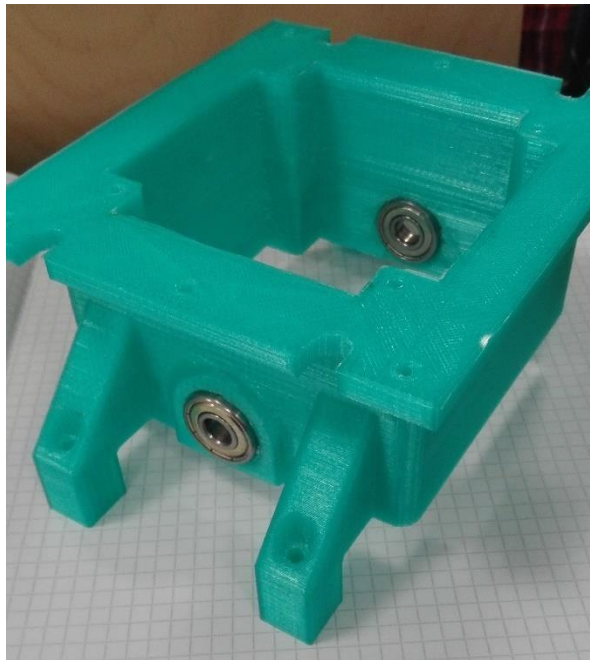
Všechny již popsané části návrhu jsou vloženy v příložené sestavě. Pomocí sestavy byly před tiskem zkontrolovány nepřesnosti, které byly odstraněny. Po vytisknutí všech částí návrhu, byly jednotlivé části spojeny a návrh buňky sestaven, následně umístěn do již připravené konstrukce.



Obr. 15 Pohled na celý návrh buňky

5.4 3D Tisk

Veškeré již zmíněné navržené součásti buňky, byly vtištěny pomocí 3D tiskáren Tarantula a Tornádo. Pro mou buňku byla zvolena světlé modrozelená barva filamentu. Tisk byl prováděn dvěma typy filamentů, a to klasické PLA pro součásti, které nepříjdou do styku s ledem např. panel, držáky apod. Dalším typem použitého filamentu bylo CPE HG100, tímto filamentem byly vtištěny části, které příjdou do styku s ledem a rozpuštěnou vodou. CPE je mnohem pevnější než PLA a lépe při tisku zatéká mezi jednotlivými vrstvami, tudíž je více vodotěsné a odolnější, a proto bylo zvoleno pro tisk těchto částí. [12]



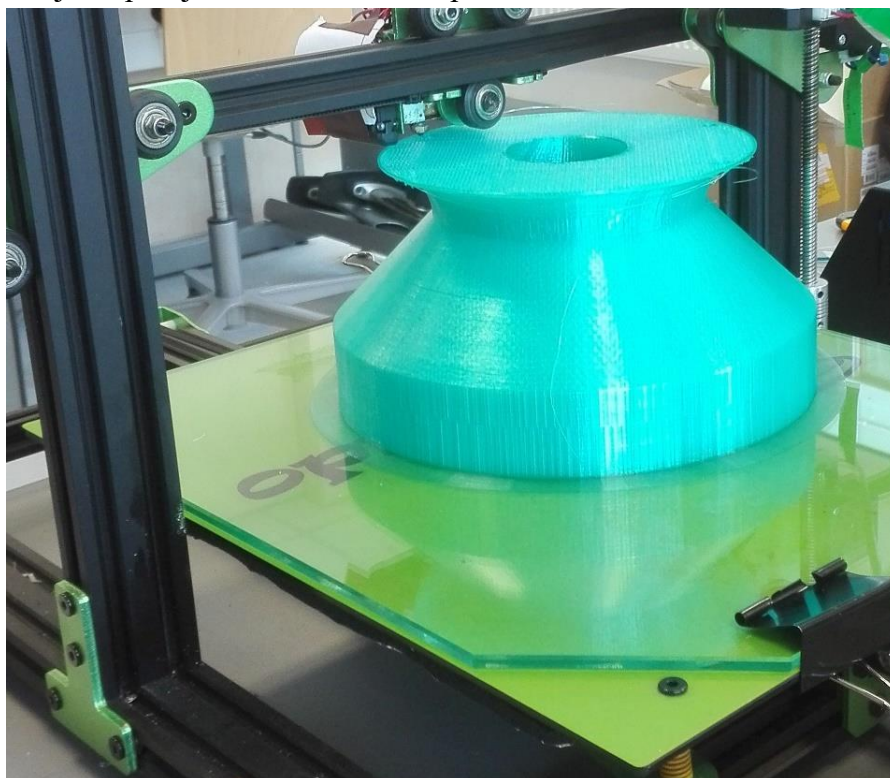
Obr. 16 Ukázka vtištěného dílu z CPE

Při tisku nastal problém, kterým jsem si neuvědomil, a to smršťování materiálu, u větších částí (násypky) došlo na průměru 200 mm ke smrštění a díly na sebe nesesděly. Po přeměření jednotlivých částí jsem zjistil, že u materiálu CPE, ze kterého byla vtištěna např. násypka, se smršťovala o 2 mm, což činilo 1 % z celého průměru. Následně jsem musel všechny zbylé díly upravit a zvětšit, tak aby po tisku měli správnou velikost. U materiálu PLA bylo smrštění o dost menší asi jen 0,02 %, zde pomohlo zbylé díly upravit ručně pomocí zalamovacího nože nebo smirkového papíru. Při ručních drobných úpravách bylo vyzorováno, že CPE jde mnohem lépe upravovat než druhý používaný materiál PLA. V následující tabulce jsme shrnuli základní informace obou použitých materiálů. [12]

Parametr	PLA	CPE
Popis	Vyráběn z kukuřičného nebo bramborového škrobu, stále více průmyslově využíván	Na bázi kyseliny tereftalové, díky své odolnosti je předurčen pro technické využití
Hustota	1250 kg/m ³	1250 kg/m ³
Teplota tisku	185–235 °C	255–275 °C
Tep. podložky	0-60 °C	70-80 °C
Průměr vlákna	1,75 nebo 2,85 mm	1,75 mm
Použití	Univerzální materiál (na vše)	Pro mechanicky namáhané části

Tab. 1 Srovnání materiálů pro 3D tisk

Až na pár výjimek mají veškeré mé navržené díly dost velké rozměry, a tak se časová náročnost tisku mé buňky blíží k desítkám až stovkám hodin tisku. Pro představu násypka na led o tloušťce 7 mm se tiskla 28 hodin, proto bylo rychlejší a ekonomičtější nepasující díl radši trochu upravit než ho tisknout znovu.



Obr. 17 Ukázka tisku násypky

6 ELEKTRONIKA

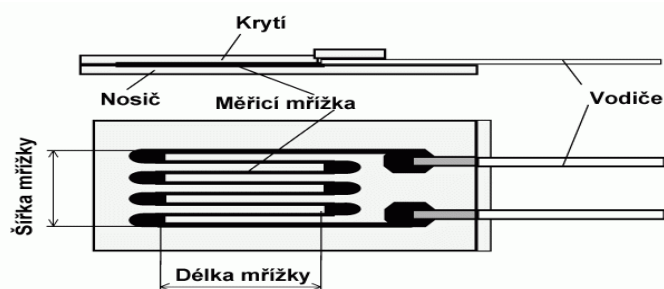
Dalším úkolem bylo vybavit buňku příslušnými snímači, senzory, akčními členy a potřebnou elektronikou, díky které jsem dosáhnul požadované funkčnosti.

6.1 Senzory, Snímače

6.1.1 Tenzometr

6.1.1.1 Popis

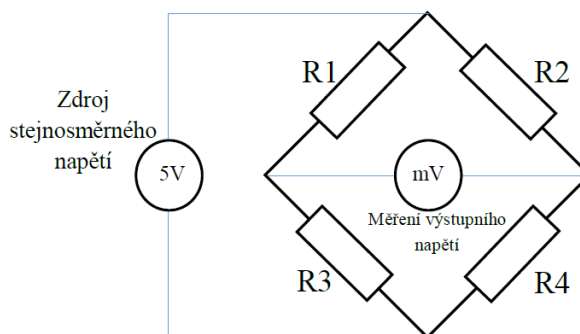
Tenzometr je pasivní elektronická součástka, která se používá pro nepřímé měření mechanického napětí, na základě její deformace. Tenzometry, které ke svému fungování používají pružný člen (ve tvaru vetknutý nosník, válec nebo pružný rám). Dělí se podle druhu deformace: deformace ohybem, tahem, tlakem, smykem nebo krutem. Typickým ohybovým členem pro měření hmotnosti se používá člen ve tvaru přeloženého nosníku. Je hodně používaný, díky možnosti hromadné výroby, při zatížení vznikají deformace opačného znaménka na stejné straně nosníku, takže je snadné nalepit plný můstek fóliových tenzometrů. Při přesně vycentrované zátěži je možnost dosáhnout nulové geometrické nelinearity. [19]



Obr. 18 Struktura fóliového odporového tenzometru [19]

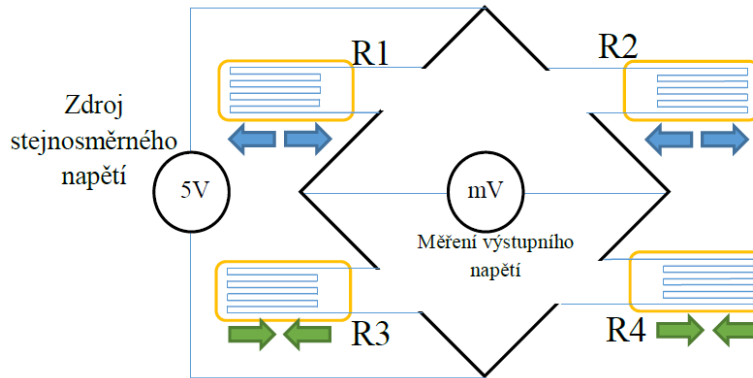
6.1.1.2 Zapojení

Nejčastějším způsobem zapojení tenzometrů je provedeno pomocí Wheatstoneova můstku.



Obr. 19 Wheatstoneův můstek [21]

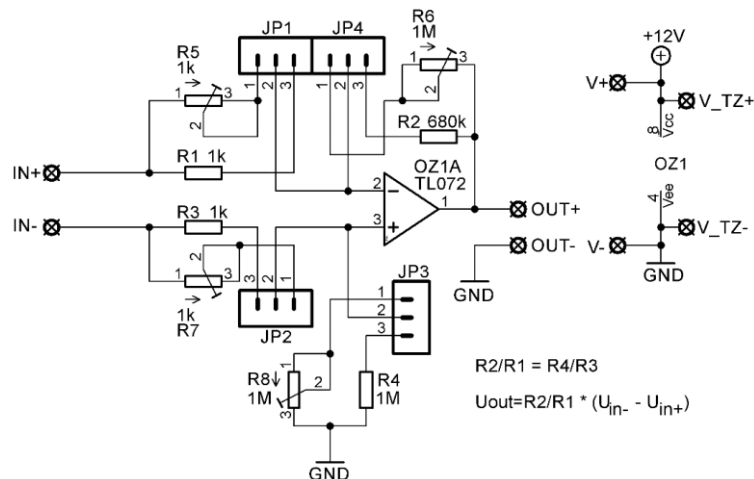
Nejznámější typy zapojení tenzometru do můstku jsou tzv. čtvrtinový můstek, poloviční nebo plný můstek. Při napájení můstku jednotkami V jsou změny napětí v řádu μV . Proto se nejčastěji využívá tzv. plného můstku, to poskytuje výhody anulujícího činitele nelinearity, čtyřnásobné citlivosti i zanedbatelné chyby přívodů. [21]



Obr. 20 Plný můstek [21]

6.1.1.3 Vyhodnocení výstupního signálu

Jak jsem již zmínil výstup z můstku se pohybuje řádově v jednotkách μV , takové hodnoty většina přístrojů nedokáže měřit s dostatečnou přesností. Abychom mohli výstup spolehlivě zpracovat je nutné ho nejprve zesílit pomocí zesilovače. Zesílené napětí dostaneme do jednotek V, které už dokážeme pomocí analogového vstupu na PLC měřit. K zesílení výstupního signálu bylo v plánu použít, již vytvořený zesilovač s OZ typu TL072. Tento zesilovač vytvořil student v předchozí práci a udává, že by měl zesilovat rozdíl obou napětí a zesílený signál by se měl pohybovat v rozsahu hodnot $\pm 0-10\text{ V}$. [20]



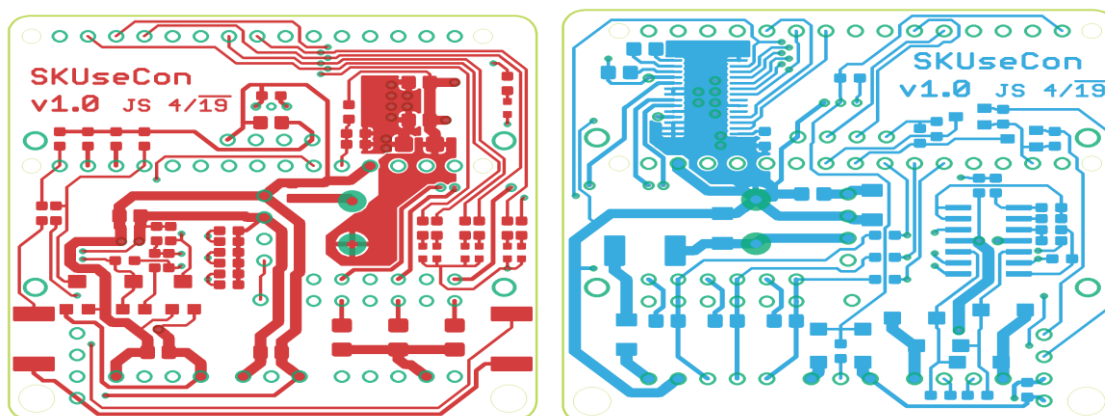
Obr. 21 Schéma zapojení zesilovače [20]

6.1.1.4 Univerzální destička

S rostoucím počtem použitých senzorů, které pracují na 5 V logice, začal také narůstat počet potřebných plošných spojů a různých převodníků. Proto byla vytvořena

univerzální destička, na které se nachází např. zesilovač pro tenzometr, převodník logických úrovní pro ultrazvukový senzor, dále také možnost připojení teploměru apod. Na destičce je také zabudováno arduino, které lze využít pro práci s potřebnými senzory. Autorem zapojení a destičky je Ing. Jakub Streit z ústavu automatizace a měřicí techniky FEKT VUT v Brně.

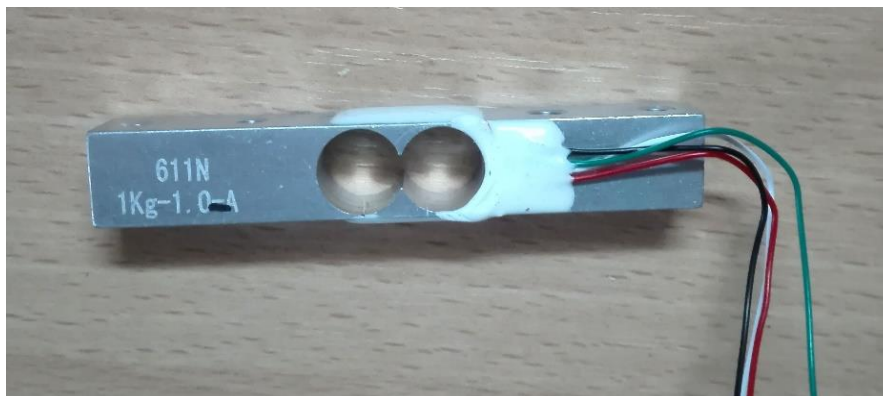
Tahle destička byla zpracována a zaslána do výroby firmě, které sídlí v Číně, bohužel destička do dnešního dne nepřišla, a tak je pouze v buňce vše na destičku připraveno a čekám na její příchod. V dutém prostoru víka je vymezen prostor, do kterého bude destička usazena. V programu jsou nastaveny veškeré potřebné přepočty vstupních hodnot z destičky a na základě nich vytvořené řídicí podmínky pro správný automatický chod drtiče. V podmínkách budou jen drobně upraveny konstanty podle přesného výstupu hodnot z destičky. Veškeré potřebné vodiče jsou připraveny a vyvedeny do svorek, kde stačí připojit vodiče z destičky a měla by být zaručena požadovaná funkčnost jednotlivých senzorů.



Obr. 22 Návrh plošného spoje univerzální destičky (Autor: Ing. Jakub Streit)

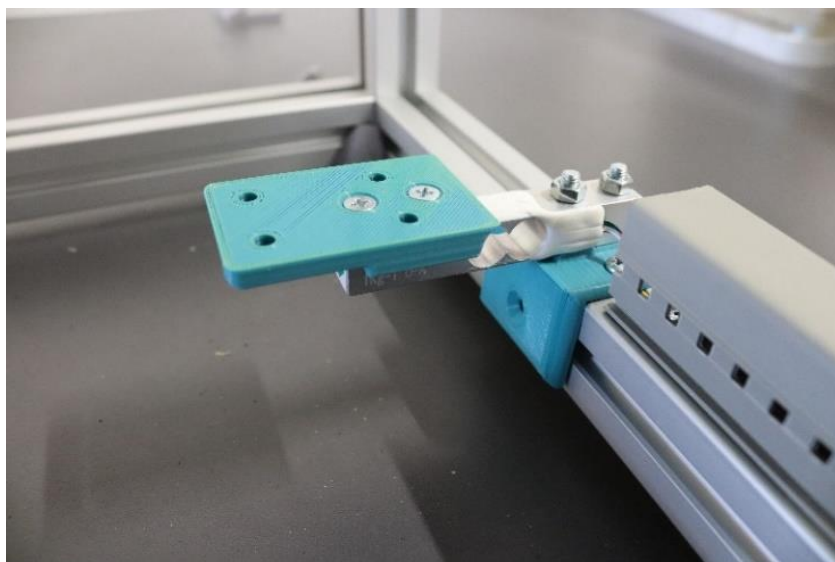
6.1.1.5 Použití

V buňce je tenzometr umístěn pod držákem skleničky. Váží kolik nadrceného ledu je již ve skleničce a na základě hmotnosti spouští/zastavuje chod motoru. Při dosažení požadované hmotnosti skleničky s ledem (vyčteno z NFC čipu – receptura drinku), se vypne motor a zastaví chod celého drtiče. Na analogovém vstupu PLC je měřeno zesílené napětí, to je v PLC bloku zpracováno a pomocí linearizace převedeno na hodnotu, s kterou se dále pracuje. Pomocí přepočtené hodnoty jsou pak řešeny podmínky, které určují, zda je sklenička prázdná nebo plná. Dále je hodnota brána jako další spouštěcí aspekt, z hmotnosti lze poznat, že byla sklenička vložena do buňky a lze tedy pomocí hodnoty řešit spuštění drtiče. Naměřená hodnota by také šla využít např. na kontrolu, zda sklenička do buňky přišla prázdná. Pokud by hmotnost skleničky přesahovala určitou hranici, mohla by buňka zahlásit, že došlo k chybě a do buňky během jednoho cyklu přišla dvakrát stejná sklenička.



Obr. 23 Použitý tenzometrický snímač hmotnosti

Tenzometrický snímač je připevněn pomocí spojovacího materiálu k vytištěné podložce tvaru L, ta je upevněna do T matek, které jsou v hliníkovém profilu. Od rozvaděče až ke snímači je vedena trasa vytvořená ze žlabů, která zajišťuje ochranu vodičů.



Obr. 24 Upevnění tenzometrického snímače v buňce

6.1.2 Ultrazvukový snímač

6.1.2.1 Výběr

Pro měření obsahu násypky, tedy kolik ledu v násypce zbývá, jsem se rozhodoval mezi dvěma senzory. První možnost byla snímat led pomocí kapacitního snímače hladiny. Středem násypky by byla vedena elektroda směrem dolů a led by vyplňoval prostor (koaxiálního) kondenzátoru.

Další možnost byla použít ultrazvukový senzor hc-sr04, který bych usadil do dutého víka nad násypku a nemusel řešit další uchycení. Led by byl tedy snímán ze shora dolů od víka k drtiči. Senzor jsem testoval ve sklenici s ledem a ujistil se, že na měření ledu je dostačující. V následující tabulce jsem shrnul výhody a nevýhody obou snímačů.

Výhody\Senzor	Kapacitní hladinoměr	Ultrazvukový senzor
Rychlost měření	++	+
Mechanická, teplotní odolnost	++	+
Imunní proti znečištění hladiny	++	--
Nutný přímý kontakt	--	++
Cena	--	++

Tab. 2 Výhody, nevýhody senzorů pro snímání hladiny

Jak je vidět u ultrazvuku je sice pomalejší rychlost měření, ale v mém případě jsem nepotřeboval nejrychlejší měření. Hlavní nevýhodou ultrazvuku je závislost změny prostředí nad hladinou, pokud by se vytvořila např. pěna bude se snímat hladina pěny a bude tak ovlivněné měření. [22] U násypky s ledem nic takového nehrozí, a proto mě takhle nevýhoda neomezuje. Konečný rozhodujícím faktorem byla cena, kde se u kapacitního hladinoměru pohybujeme v řádu třech tisíc korun, u ultrazvukového hladinoměru jsou to desítky korun. Na základě zmíněných faktorů a snadnosti upevnění senzoru do víka byl vybrán ultrazvukový senzor.

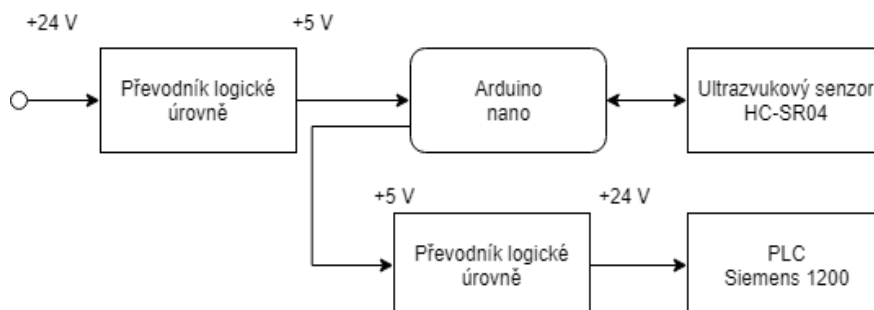
6.1.2.2 Popis

Ultrazvukový snímač je prvek umožňující detekci libovolného materiálu na velké vzdálenosti. Výhodou moderních ultrazvukových snímačů je možnost přesného naladění a tím potlačení nežádoucích vlivů pozadí. Další výhodou je odolnost funkce detekování proti zašpinění povrchu a okolním nežádoucím podmínkám. Jako měnič zvuku se používá piezokeramický měnič, jeho vlastností je přeměna elektrické energie na mechanickou. Ultrazvukové snímače se nejčastěji dělí na jednohlavé (vysílač i přijímač mají stejný ultrazvukový měnič), dvouhlavé (vysílač i přijímač mají samostatný měnič) a optickou závoru (vysílač i přijímač jsou samostatně, detekce překážky). [18] Každý ultrazvukový senzor má možnost nastavení parametrů pro správnou detekci objektů nebo hladin. Tyhle parametry se většinou nastavují pomocí spínacího rozsahu. Když potřebujeme snímat průhledné objekty, kapaliny nebo různě tvarované předměty, měl by být ultrazvukový snímač spolehlivým řešením. [17]

6.1.2.3 Zapojení a vyhodnocení

Později bude ultrazvuk připojen taktéž pomocí univerzální destičky viz kap. 6.1.1.4, prozatím je zapojen pomocí jednotlivých obvodů, aby se dal odzkoušet. Ultrazvuk je napojen na arduino nano, kde dochází k měření vzdálenost pomocí snadného programu, ve kterém je spočtena doba od vyslání a přijmutí echa, ta je přepočtena na vzdálenost. Změřená vzdálenost se následně přepočte na hodnotu, kterou lze požadovat za frekvenci, podle přepočtu: (vzdálenost [cm]*100+1000). Pak vzdálenost 0 odpovídá frekvenci 1 kHz a každý další cm zvyšuje frekvenci o 0,1 kHz. Pomocí funkce Tone je na výstupním pinu arduina generován tón o frekvenci, která odpovídá vzdálenosti ledu

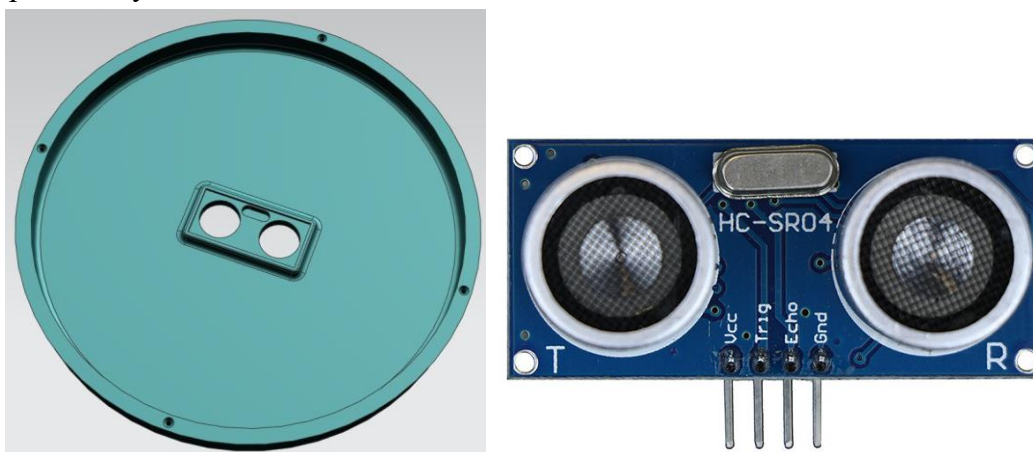
od ultrazvuku. Pomocí převodníku logické úrovně je převeden 5 V signál na 24 V signál. Na vstupním pinu PLC pomocí HSC (vysokorychlostního čítače) je čítána frekvence signálu, ta je v programu přepočtena zpátky na vzdálenost a na základě ní jsou vytvořené řídicí podmínky.



Obr. 25 Blokové schéma zapojeno ultrazvukového hladinoměru

6.1.2.4 Použití

Ultrazvukový snímač je připevněn na spodní straně víka, které je umístěno na násypce ledu. Na základě naměřených dat je signalizován stav buňky na majáku, při nedostatku ledu v násypce je vyvolána blokace drtiče, aby nešel spustit tzv. „naprázdno“. Dále jsou na těchto datech vytvořeny podmínky, jak pro spouštění drtiče, tak i pro zastavení. Podmínka pro minimální obsah ledu v násypce je napsána tak, že v násypce ještě nějaký led zbývá, tudíž proběhne signalizace nedostatku ledu na maják, ale drtič ještě 1-2 požadavky zvládne obsloužit.



Obr. 26 Připravené místo pro ultrazvuk ve víku + ultrazvuk HC-SR04 [24]

6.2 Motor a pružná spojka

6.2.1 Výběr pomocí experimentu

Pro výběr motoru musel být nejprve zjištěn moment, který je potřeba na rozdrcení kostek ledu. Tento experiment jsem prováděl pomocí kuchyňské digitální váhy a samotného drtiče.

Do drtiče jsem vložil 3 kostky ledu (více kostek se nemůže v jedné chvíli pod kladiva dostat). Rameno připevněné k ose drtiče, které je dlouhé 11 cm, jsem využil jako páku. Na kuchyňskou váhu jsem položil konec ramene a postupně začal zvyšovat sílu, kterou jsem tlačil proti váze. V moment, kdy jsem rozdrtil kostky umístěné v drtiči, váha ukazovala 5,4 kg. Ze zjištěné váhy a délky ramene jsem následně dopočítal potřebný moment, který by měl motor splňovat a to 5,94 Nm.

6.2.2 Výběr motoru

Z již známého potřebného momentu, který by měl motor mít, jsem začal vybírat motor, který do buňky vložím. Po konzultaci ohledně výběru, mi bylo řečeno, že motor by měl obsahovat šnekovou převodovku. Z velkého množství motorů, jsem hledal teda ty, které mají šnekovou převodovku a minimální moment 6 Nm. Možností bylo mnoho, a tak jsem přistoupil k dalšímu faktoru a tím byla cena. Motor se šnekovou převodovkou s takovým momentem měl poměrně vysokou cenu, a tak byl jako alternativa zvolen motorek z předních stěračů auta, který naše potřebné parametry teoreticky splňoval.

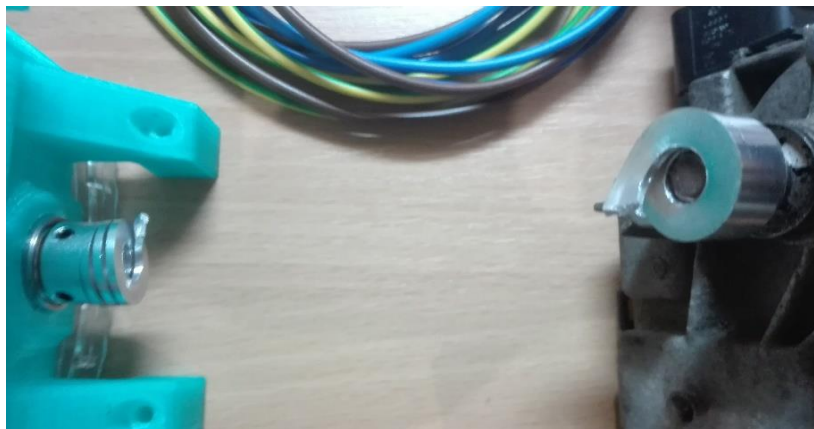


Obr. 27 Motorek předních stěračů [23]

6.2.3 Pružná spojka

Pro spojení hřídele motoru a osy drtiče jsem použil pružnou hliníkovou spojku. Pružná spojka byla vybrána z důvodu drobné rozdílné výšky osy a hřídele. Pružná spojka vypadala, že by měla stačit a při pořádném dotažení pomocných červíků neprokluzovala. Před připevněním drtícího mechanismu do buňky bylo provedeno pár testů. Při první testu vše proběhlo v pořádku, veškerý led byl rozdrcen a spojka držela.

Druhý pokus už dopadnul hůře, kdy spojka během testu nevydržela a roztrhnula se na poloviny.



Obr. 28 Hliníková pružná spojka

Jako náhrada za hliníkovou spojku, byla zvolena pružná spojka s gumovým středem, která podle parametrů měla dokázat vydržet moment až 8 Nm. Při sestavení drtiče s novou spojkou se objevil další problém, a to že spojka osu a hřídel neudržela a prokluzovala. Spojka více dotáhnout nešla a na šroubech už se strhávaly hrany. Spojku jsem musel ještě mechanicky upravit a vytvořit do ní 4 dírky se závitem na pomocné červíky. Po dotažení spojky pomocí dalších 4 červíků, již spojka pevně držela a drtič byl konečně připraven na testování samotného motoru.



Obr. 29 Použitá pružná spojka s gumovým středem

6.2.4 Testování motoru

První však bylo potřeba zjistit, zda motor skutečně postačí. Sehnali jsme motor z vrakoviště starých aut, tudíž se nám podařilo sehnat motor zadarmo a na testování nám stačil. Motor utáhnout drtič ledu zvládnul naprosto bez sebe menšího zaváhání, bohužel držák motoru nevydržel a pod působící silou od motoru praskal v ohybu. Nakonec se podařilo držák navrhnout, tak aby vydržel viz. kap. 5.3.2. Dalším testováním jsem zkoušel motor co nejvíce zatížit, a to drcením špatných výtisků z 3D tiskárny (materiál PLA) nebo ručním naskládáním ledu po kladiva, tak aby ho bylo v momentu drcení pod jednotlivými kladivy co nejvíce. Drtiči se vše podařilo v pořádku

rozdrtit, i při maximálním zatížení motor bez problému běžel dál, na motoru jsem pozoroval jen drobné zahřátí. Motor prošel testováním, a proto byl zvolen za vhodný.

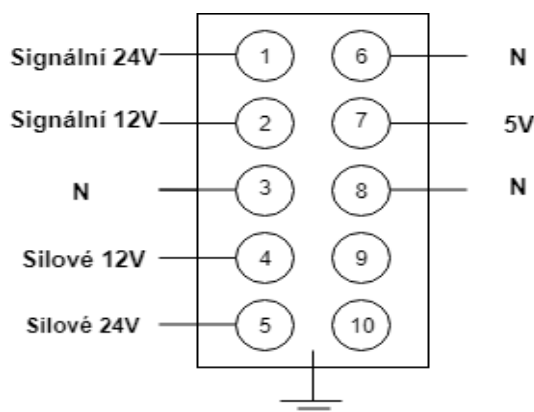
6.3 Rozvaděč

Na zadní straně buňky je umístěn rozvaděč, ve kterém se nachází veškeré elektronické rozvody buňky. Přívod uzemnění je proveden vodičem o průřezu 2,5 mm², pomocí samořezných šroubů je provedeno pospojení veškerých hliníkových profilů a kovových částí buňky. Veškeré vodiče jsou vedeny v plastových žlabech, které jsou upevněny na hliníkových profilech. Vodiče mimo žlaby jsou omotány do spirálové bužírky. Na spodní DIN liště jsou přívodní svorky všech napětí. Ze svorek je rozvedeno silové a signálové napětí a to 5, 12 a 24 V. Rozvody jsou prováděny pomocí vodičů 1; 1,5 a 2,5 mm². Barevné značení nedopovídá normě, barevné rozdělení vodičů je uvedeno v následující tabulce:

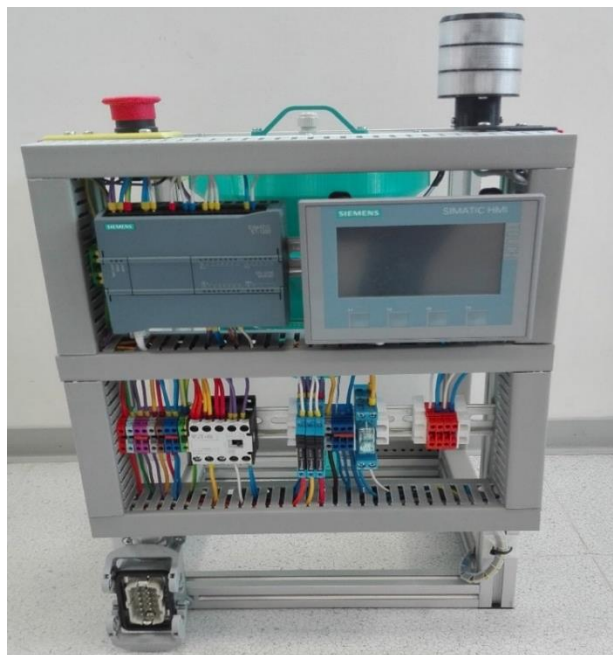
Barva vodiče	Odpovídající signál
Oranžová	5 V
Zelená	12 V – signální
Fialová	24 V – signální
Žlutá	12 V – silové
Červená	24 V – silové
Modrá	zem
Bílá	vstupy, výstupy z PLC

Tab. 3 Přehled barevného značení vodičů

Rozvaděč obsahuje stykač, který po stisku STOP tlačítka odpojí všechny 3 silová napětí, signálové zůstanou připojeny. Dále je v rozvaděči PLC, HMI panel a také ethernet switch. V levé spodním rohu je připraven konektor Han 10 pin pro připojení všech napětí do buňky. Rozvaděč byl před zapnutím proměřen a následně odzkoušen než se připojila veškerá elektronika v buňce, kvůli případnému špatnému zapojení, či jiné nežádoucí vadě, která by mohla způsobit nevratné zničení některé z elektronických částí.



Obr. 30 Zapojení konektoru Han 10 pin



Obr. 31 Pohled na rozvaděče

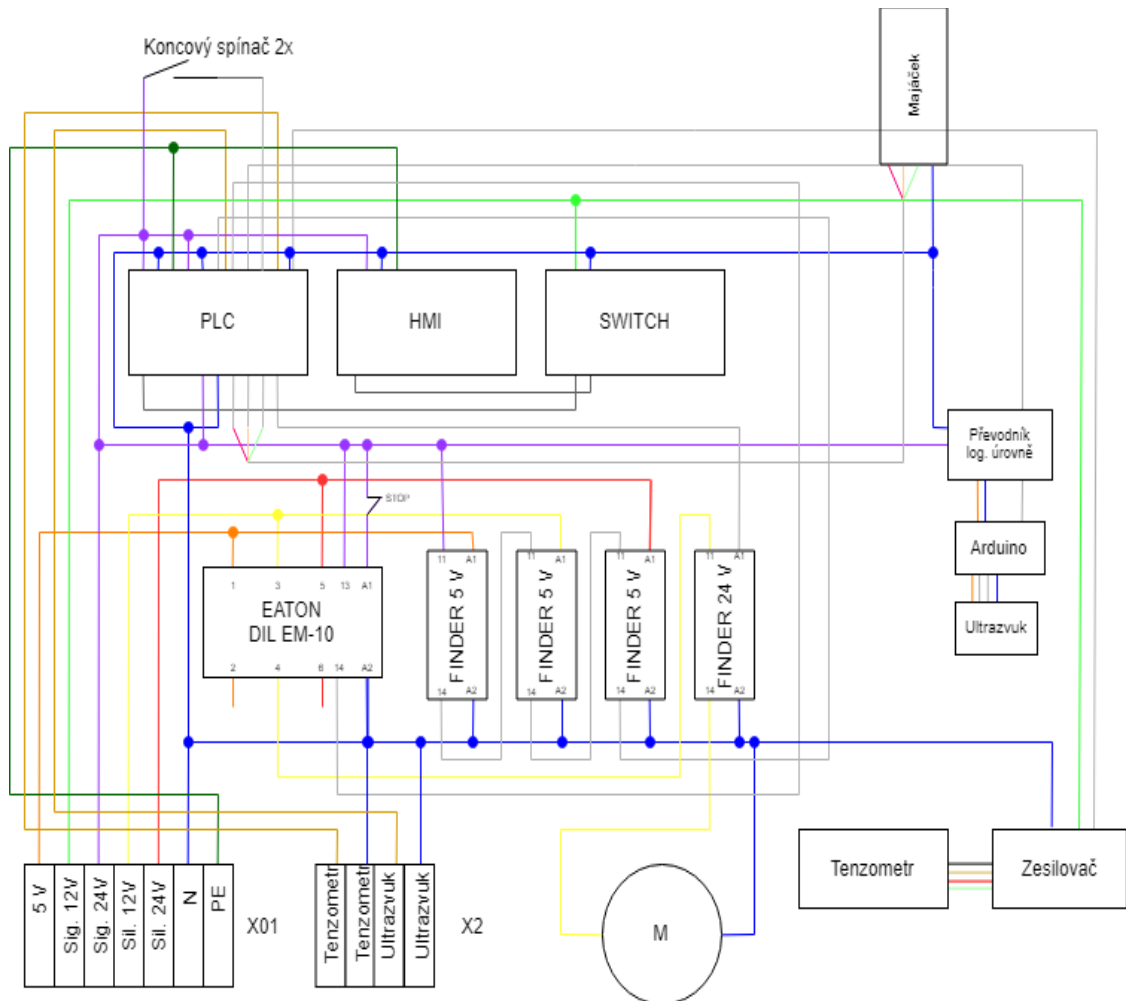
Do rozvaděče byly přidány tři relé finder spdt, pomocí kterých je do PLC signalizováno, která silová napětí jsou připojena. Tahle funkce je spíše informativní a má za úkol rychlejší analýzu výpadku některého z napětí. Pro spínání motoru je v buňce patice s relátkem, cívka relátka je ovládána 24 VDC. Pro snadnější přístup a možnost výměny přerušovaných vodičů, jsou v buňce 4 oranžové svorky na připojení senzorů. Svorky jsou ve spodní části rozvaděče také z důvodu většího místa ve žlabech, tudíž snadnější manipulace s kabely v okolí svorek.

Pro zvýšení bezpečnosti byly na násypku připevněny 2 malé koncové spínače, pro které v konstrukci byla připravena komora přesné velikosti, tak aby koncový spínač nešel vidět a šel sepnout pouze pomocí výstupků na víku, jak bylo zmíněné v kap. 5.3.1. V PLC se vyžívá sepnutí spínačů tedy log. 1. Pokud nejsou oba spínače sepnuty nelze drtič spustit v automatické, ale ani manuálním režimu. Hlavním důvodem bylo zvýšení ochrany před možným spuštěním drtiče s nežádoucím předmětem uvnitř násypky, např. při doplňování ledu. Dalším možným řešením by bylo odpojit 1 spínač od PLC a připojit ho mezi výstup relátka a napájení motoru, tudíž zabránit sepnutí motoru nejen programově, ale i fyzicky. Taktéž by šlo použít další relátko, kde jedno by bylo spínáno pomocí PLC a druhé pomocí jednoho ze dvou spínačů, napájení motoru by pak bylo vedeno sériově přes obě relátka.



Obr. 32 Použitý koncový spínač [25]

V následujícím blokovém schématu zapojení buňky, jsem barevně rozlišil jednotlivé vodiče podle typu napětí, pro lepší orientaci ve schématu. Vodiče, které jsou připojeny na vstup nebo výstup PLC mají šedou barvou, fyzicky v buňce je barevné označení bílé. U stykače a relátek nejsou vyznačeny kontakty, všechny použité kontakty jsou spínací, jediný rozpínací je beznapěťový kontakt stykače (13/14) pro signalizaci odpojení silového napětí. Barva svorek odpovídá barvě použitých u vodičů. Pouze svorkovnice X2 je celá oranžová a slouží pro snadnější připojení senzorů.



Obr. 33 Blokové schéma zapojení buňky

7 PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ

7.1 PLC

V buňce drtič ledu je použit automat PLC 1200 od firmy Siemens, který je v provedení kompaktní. Pomocí PLC je řízen celý výrobní proces, který má buňka splňovat. Dále se pomocí automatu signalizují různé stavy, pomocí majáku na buňce. Pro ultrazvukové měření se u vstupního pinu využívá funkce HSC (vysokorychlostní čítač). [26] V buňce je využito 7 digitálních vstupních pinů, dále 1 analogový vstupní pin a 4 digitální výstupní piny.

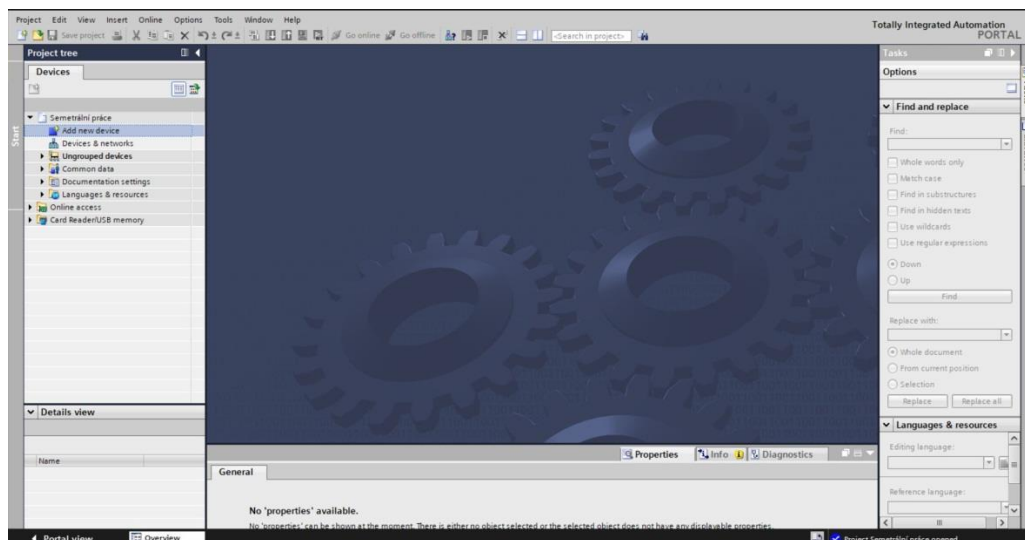


Obr. 34 PLC 1200 [27]

7.2 TIA portal

Jedním z nejznámějších softwarů pro práci s PLC od firmy Siemens je TIA portal. Tenhle softwarový rámec sdružuje všechny potřebné prvky, zejména nástroje automatizace a výrobního procesu. V TIA portále lze programovat, vytvářet vizualizace, diagnostikovat aktuální stavy a konfigurovat řídicí členy. [15] Dále lze v softwaru také projektovat a navrhovat vizualizace na HMI panel.

Prostředí softwaru je velmi přehledné a dá se v něm snadno orientovat. Při spuštění programu nám k první konfiguraci bude radit průvodce, díky kterému zvládneme vše správně nakonfigurovat. Hlavní okno programu se dělí na čtyři části. Pracovní prostor, kde tvoříme například náš program je tvořen největší plochou uprostřed. Horní panely jsou určeny pro práci se samostatným projektem, komunikaci s automatem, nahrávání, spouštění a veškerou komunikací mezi počítačem a automatem. V levé části „strom projektu“, v tomto panelu, probíhá konfigurace jednotlivých zařízení a modulů, také je zde položka s programovými bloky, tagy, skupiny zařízení a mnoho dalších. Poslední část se nachází vpravo Najdeme zde panel s hardware katalogy, tasky a knihovny funkcí.



Obr. 35 Uživatelské prostředí Tia portálu

7.3 Program

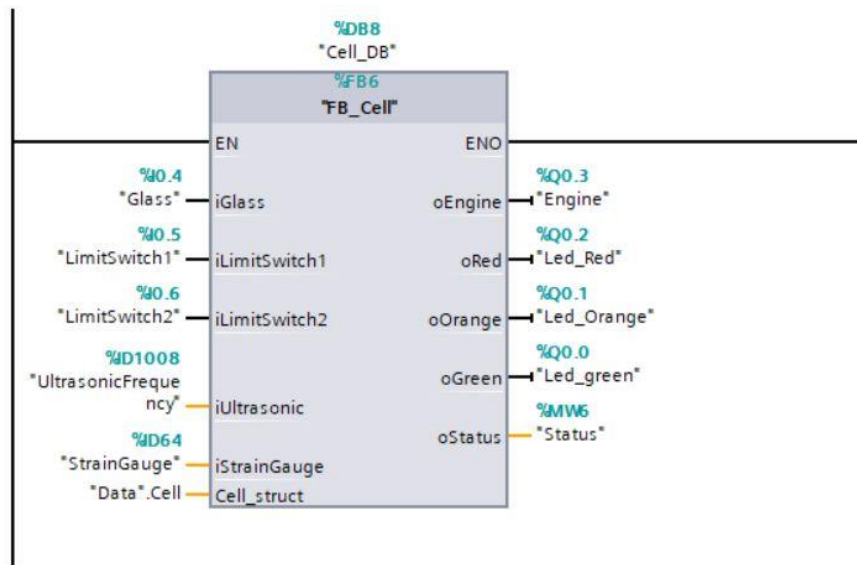
Před samostatným vytvořením programu jsem měl v plánu tvořit jednotlivé obyčejné bloky pomocí SCL jazyku a ty následně volit v bloku main, který měl být psán pomocí LAD. Postupem času bylo rozhodnuto, že bude využito tzv. standardizace programu, ke kterém je potřeba si vytvořit vlastní uživatelské datové typy tzv. UDT. Tato forma vytváření datových typů jako standardních datových struktur nejen optimalizuje program z hlediska jeho modularity, opakovatelnosti objektů / buněk a rozšiřitelnosti, ale jak se ukáže v následující kapitole, je také podmínkou pro výměnu dat s nadřazeným systémem. Každý významnější prvek (motor, senzor apod.) je vytvořen jako UDT. Každý UDT obsahuje v základu 3 části: příkazy/parametry, výstupy a stavy.

1	▼ Cmd	Struct
2	Manual	Bool
3	Automat	Bool
4	StartManual	Bool
5	StopManual	Bool
6	StartAutomat	Bool
7	StopAutomat	Bool
8	▼ Output	Struct
9	Out	Bool
10	Status	Word
11	Error	Bool
12	▼ State	Struct
13	Manual	Bool
14	Automat	Bool
15	Run	Bool
16	Stop	Bool

Obr. 36 Datový typ motor

7.3.1 Funkční bloky

Následovalo vytvoření funkčních bloků, ve kterých je využito právě specifického UDT. V bloku je naprogramována základní funkčnost každého prvku. Základní funkční bloky jsou poskládány do dalších nadřazených úkonů (dávkování, signalizace). Nadřazené úkony jsou vytvořeny zase jako funkční bloky se svým datový typem. Postupným voláním bloků nadřazenými funkcemi byl vytvořen konečný blok s názvem buňka. Jako rozhraní mezi volajícím a volaným blokem slouží jejich UDT. Veškeré fyzické vstupy a výstupy jsou přiváděny do funkčních bloků, resp. funkcí na nejnižší úrovni. Postupným voláním se informace z I/O dostávají prostřednictvím rozhraní UDT nahoru, až k hlavnímu programu tvořenému funkčním blokem "Buňka".



Obr. 37 Funkční blok buňka

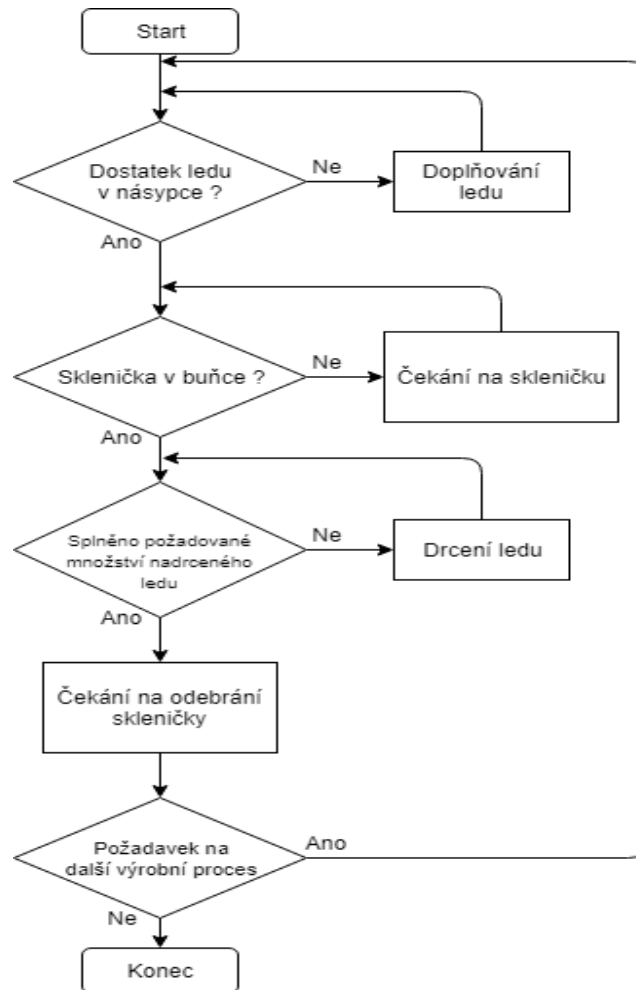
7.3.2 Data

Pro předávání a ukládání veškerých potřebných hodnot byl vytvořen blok s názvem Data. Tento blok je vlastně velká struktura, ve které jsou vytvořeny jednotlivé položky, což jsou vlastně jednotlivé funkční prvky, které potřebují ukládat nějaká data. Jednotlivé položky jsou zase vytvořeny, jako UDT podle určitého prvku. Dále byl pro základní signalizaci vytvořen funkční blok maják, ve kterém je řešena základní signalizace stavu buňky na majáček v horní části buňky.

7.3.3 Popis

Konečný kód je tedy vytvořen z dílčích částí, které lze rozdělit na základní a nadřazené části programu. Základní funkční bloky jsou napsány pomocí jazyk SCL, pro lepší přehlednost je kód řazen do jednotlivých region sekcí. Blok main a nadřazené funkce jsou vytvořeny pomocí jazyka LAD, kvůli přehlednosti a snadnější orientaci. Program byl postupně zkoušen a simulován pomocí nástavby PLCSIM od firmy Siemens. Tato funkce nám umožňuje nahrát program do virtuálního PLC a pomocí sledovací tabulky

odzkoušet jednotlivé úkony. Během přítomnosti u buňky, byl samozřejmě kód testován přímo na fyzickém PLC. Po splnění požadované funkčnosti řízení, byl kód uspořádán a upraven vzhledově a následně nahrán do PLC v buňce.



Obr. 38 Vývojový diagram výrobního procesu

7.4 HMI touch panel

HMI technologie, je rozhraní mezi určitým zařízením a řídicí obsluhou. Tahle technologie nám pomocí vizualizace umožňuje zobrazení aktuálního stavu zařízení, ale také nám dovoluje ovládat daný stroj. Díky technologii HMI se dřívější náročné ovládání pomocí různých tlačítek, spínačů a ovladačů, mění na velmi jednoduché a uživatelsky nenáročné řízení. Na dotykovém panelu pak můžeme sledovat jak výstupní, či vstupní hodnoty, tak také pomocí připravených polí stroji předávat naše aktuální požadavky. [28]

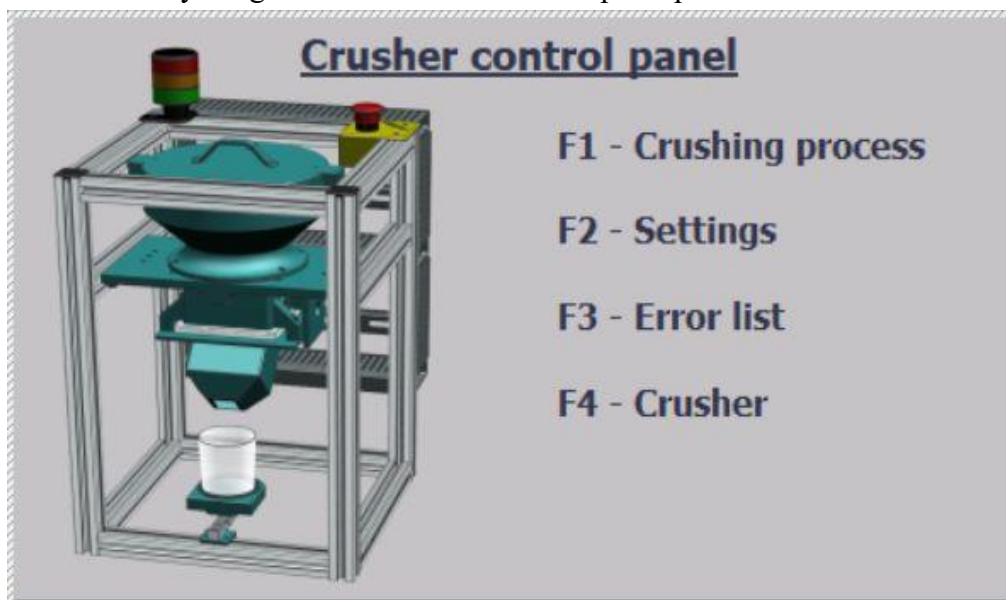
K našemu automatu je připojen HMI touch panel od firmy Siemens. Tenhle panel je použit pro sledování aktuálního stavu (obsah ledu v násypce, signalizace chodu motoru, aktuální hmotnost skleničky). Dále je na panelu možnost ručního zapnutí a vypnutí motoru. Vizualizace byla vytvořena ve vývojovém prostředí rámce TIA portal.



Obr. 39 HMI touch panel [29]

7.5 Vizualizace

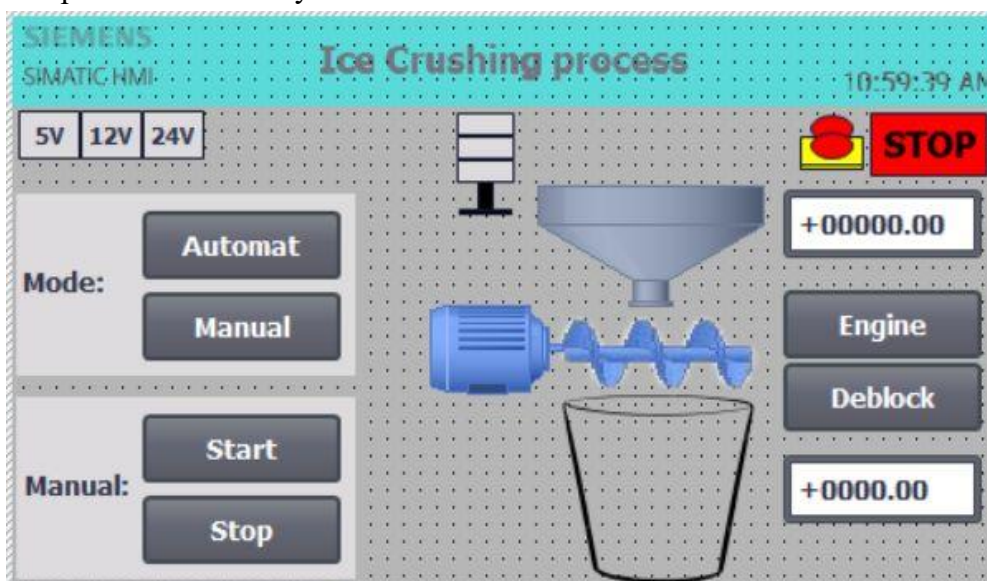
Před vytvořením vizualizace jsem se rozhodl vytvořit 4 obrazovky. Tyto obrazovky jdou přepínat pomocí tlačítek ve spodní části panelu. Při spuštění panelu se zobrazí čtvrtá obrazovka, která byla nastavena jako základní. Tato obrazovka obsahuje pouze obrázek celé buňky a legendu ostatních obrazovek pro lepší orientaci.



Obr. 40 Základní obrazovka

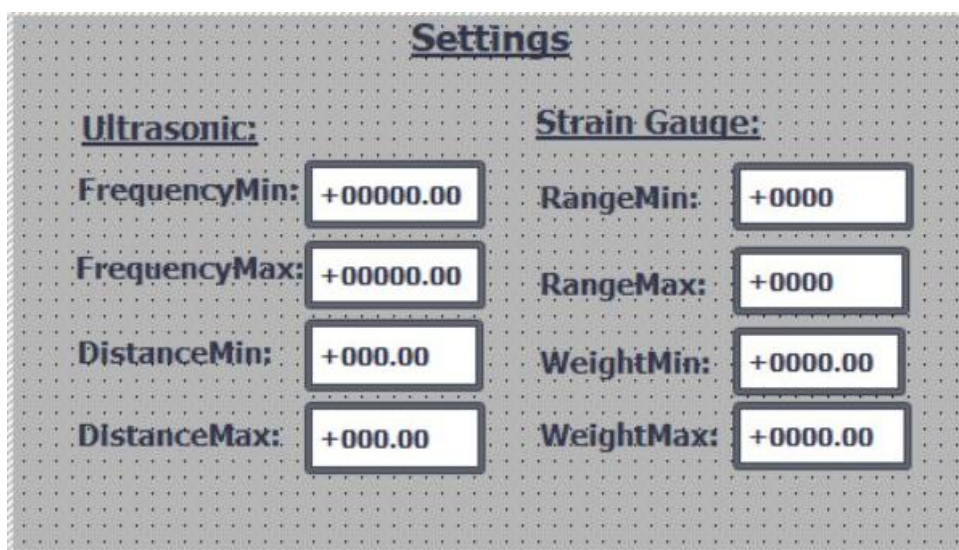
Na první obrazovce nazvané „Crushing process“ se nachází tlačítka na přepnutí mezi manuálním a automatickým režimem. V automatickém režimu se v pravé části

objeví tlačítko „Deblock“, kterým se odblokuje chod drtiče v případě, že by nastal timeout a došlo by k blokaci. K manuálnímu režimu jsou tu tlačítka „Start“ a „Stop“, kterými lze spouštět chod motoru nezávisle na řídicích podmínkách, kromě nutnosti zavřeného víka. Dále se na obrazovce nachází signalizace připojených napětí do buňky, stlačení STOP tlačítka, chod motoru a aktuální rozsvícená signalizační světla majáčku. Poslední částí na obrazovce jsou hodnoty senzorů. Hodnota vedle násypky ukazuje, kolik ledu se nachází v násypce a blok vedle skleničky zobrazuje aktuální měřenou hmotnost přiložené skleničky.



Obr. 41 Obrazovka crushing process

Na druhé obrazovce s názvem „Settings“ se nachází jednotlivé nastavitelné parametry. Tyto parametry slouží k určení rozsahů senzorů, maximálních a minimálních hodnot apod. Hodnoty parametrů lze zapisovat po dvojitém kliknutí na textový rámeček.



Obr. 42 Obrazovka Settings

Na třetí obrazovce se nachází alarm list, ve kterém se budou vypisovat veškeré chyby, které v buňce během procesu drcení vzniknou. Jednotlivé chyby budou mít své ID a v listě budou řazeny chronologicky, tudíž lze postupně zjistit, kterou chybou nějaký větší problém začal.



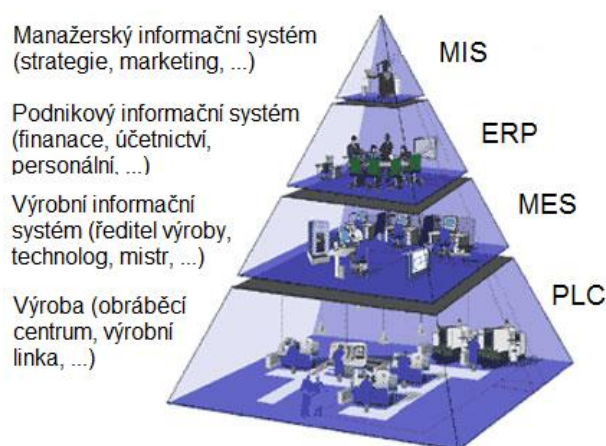
Obr. 43 Ukázka spuštěné buňky s vizualizací

8 KOMUNIKACE BUŇKY SE SYSTÉMEM TESTEBEDU

Předně je třeba říci, že řídicí program buňky je podřízenou entitou, zatímco testbed je entitou nadřazenou. Podmínkou pro komunikaci těchto entit je, aby obě strany měly stejnou datovou strukturu. To byl také důvod, proč se pro všechny objekty v PLC programu buňky vytvářely jako standardizované uživatelské datové typy. Podstata tohoto členění vychází ze standardu S88 pro programování typů Batch, více v kap. 8.2.

8.1 Nadřazený systém MES

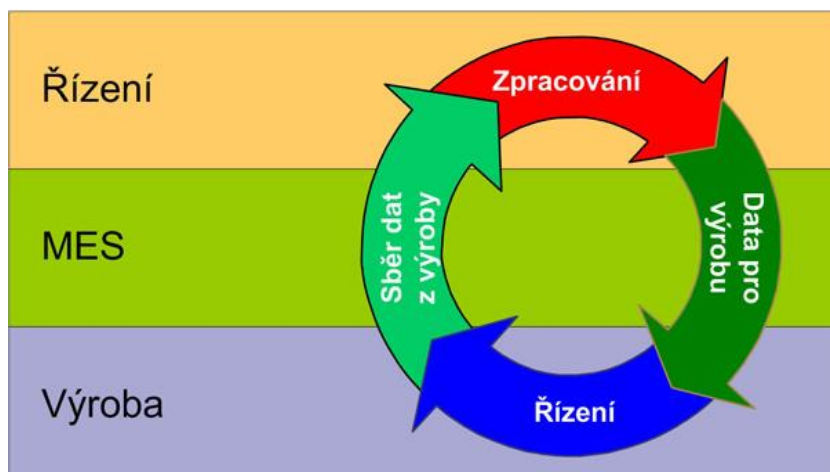
V kapitole 3.4 bylo uvedeno, že testbed je svým způsobem hybrid systémů Batch a MES. Je otázkou, zda a do jaké míry se oba tyto systémy zde uplatní v návaznosti na buňky, které přijmou zásady Průmyslu 4.0. Dá se předpokládat, že to bude role spíše inspirativní a suplementární.



Obr. 44 Pyramida informačního výrobního systému [11]

Pozici systému MES v pyramidě řídicího systému znázorňuje obr. 44. V řízení testbedu Barman bude MES hrát pouze inspirativní roli, podobně jako systém Batch, takže uvedu k němu pouze nejzákladnější informace.

Důležitým pojmem systému MES je datový model, jeho nejdůležitější část je technologický postup výrobku, ten popisuje výrobní proces a obsahuje všechny činnosti a kroky, které musím splnit pro vytvoření požadovaného výrobku. Nejčastějšími prvky modelu jsou technologický postup, výrobní operace, řízení zdrojů, časové modely, nástroje, materiály apod. [10]



Obr. 45 Cyklus výrobních a provozních informací [9]

Dalším důležitým faktorem výběru systému MES je sběr dat z výroby. Snahou je využití automatizace sběru dat přímo z výroby, a tak zapisovat veškeré data do informačního systému pouze jednou, nejlépe na místě jejich vzniku. Sběr dat dost zásadně ovlivňuje celkovou produktivitu výroby a výrazně snižuje náklady na provoz. [11] Zaměstnanci mají díky on-line datům rychlý přehled o každém dílčím procesu výrobku, dokážou mnohem lépe identifikovat „problémové oddíly“. [9]

U našeho testbedu není koncepce nadřazeného systému MES zcela jasná, a bude převážně řešena až v další etapě vývoje testbedu. Hlavním úkolem systému by byl sběr veškerých potřebných dat ze všech buněk. Na základě vyvolaných požadavků pak řídit přesuny skleničky mezi potřebnými buňkami a zajistit tak co nejhladší a bezproblémovou výrobu nápojů.

8.2 Připojení buňky do testbedu

Při návrhu buňky byly dodrženy veškeré žádané náležitosti, ať už co se týká mechanického návrhu, rozměru buňky, dále její bezpečnosti a funkčnosti. Buňka splňuje podmínky a může být připojena do testbedu. Pro připojení buňky k testbedu budou sloužit, již připravené konektory. Každá buňka má své místo, které je vyhrazeno vystouplými rohy, do kterých buňka přesně zapadne a tím je vycentrována na přesnou pozici, kvůli držáku skleničky.

Jak již bylo zmíněno, řízení každé buňky je v současné chvíli omezeno pouze na lokální PLC, které je připojeno k lokálnímu síťovému přepínači. Jako identifikátory každého PLC a HMI panelu slouží přidělené IP adresy. V další etapě může být funkce lokálního PLC redukována pouze na IP konektor.

Již při programování bylo záměrně využíváno uživatelských datových typů, které obsahují struktury. Tyto struktury tvoří v našem případě tři skupiny: příkaz/parametry, výstupy a stavy. Každá z těchto skupin obsahuje potřebné položky, které se využívají pro řízení jednotlivých bloků. Při komunikaci nadřazeného systému

s buňkou bude využíváno obousměrného toku dat, tudíž bude docházet k výměně datové struktury a všech položek, které obsahuje. Systém tedy přijatou datovou strukturu vyhodnotí a na základě ní vyvolá požadavek na následující krok výroby, a tedy přemístění skleničky do následující buňky podle stanoveného postupu. Z datové struktury lze zjistit aktuální informace o stavu výroby drinku, informace může zapsat do jiné datové struktury a poslat následující buňce, která informace využije např. k potřebné úpravě dávkování. Ke správné výměně bude tedy docházet za předpokladu, že v nadřazeném systému bude vytvořena stejná datová struktura se stejným obsahem jako má struktura buňky v našem programu. Základní řízení tedy probíhá na PLC a procedurální řízení zajišťuje systém Batch. Při vytváření programu se musíme tedy řídit požadavky systému Batch, který budeme používat. [32]

V uživatelském prostředí systému pak může vytvořit novou recepturu, nebo vybrat ze seznamu již existujících receptur. Receptura je vykonávána procedurálním řízením, které přes vytvořené rozhraní na úrovni buňky, nastaví nové parametry programu buňky. Následně můžeme vyslat požadavek na spuštění výrobního procesu a sledovat postup výroby drinku. Dále můžeme v uživatelském rozhraní nalézt např. již dokončené dávky, u kterých lze dohledat informace o stavu dokončení, ID, jméno obsluhy, která výrobu zadala apod. [32]

ZÁVĚR

V kapitole cíle práce jsem stručně rozebral zadání a nastínil, čeho bych rád v této práci dosáhnul.

Hlavním požadavkem byl mechanický návrh buňky a následné vybavení buňky elektronikou. Pomocí programu NX jsem postupně navrhnul celou buňku, kterou jsem na základě konzultací doladil a upravil, tak aby měla mechanickou odolnost a splňovala dostatečnou bezpečnost. Buňka byla po částech vytisknuta a následně úspěšně sestavena a připravena do již připravené hliníkové konstrukce.

Dále bylo potřeba vybrat potřebné snímače a elektroniku, která zaručí, že výrobní proces bude splňovat naše požadavky. Veškeré potřebné prvky byly vybrány a implementovány do buňky. Pro správné fungování senzorů bude do buňky přidána univerzální destička, na kterou čekám, až přijde z výroby viz. kap. 6.1.1.4. Všechny potřebné věci k senzorům (propojení, řídicí podmínky v programu apod.) jsou připraveny a nachystány, tak aby stačilo destičku připojit, a tím zajistit požadovanou funkčnost. Motor se mi podařilo vybrat na základě zjištěného momentu, motor následně otestovat, připevnit do buňky a zajistit bezproblémové fungování.

Pomocí programu TIA portal byl vytvořen program, který bude ovládat celou buňku, a tedy výrobní proces. Struktura programu buňky je do značné míry dána uživatelskými datovými typy, které na jedné straně mapují I/O vybavení buňky a na straně druhé požadavky na komunikaci s nadřazeným programem testbedu. Programové funkční bloky jsou napsány v jazyce SCL. Veškeré funkční bloky jsou pak volány v jednom funkčním bloku s názvem buňka. Tento funkční blok je volán v mainu, který je vytvořen v jazyce LAD. Ke snadnému nastavování parametrů a rychlé orientaci aktuálního stavu buňky byla vytvořena vizualizace, která je nahrána v HMI panelu.

Při vytvoření a sestavení buňky byly splněny všechny požadované podmínky, a tak lze buňku bezpečně připojit do demonstrátoru. Po připojení by buňka neměla nijak omezit funkčnost celého testbedu, který podle vstupního požadavku vytvoří na výstupu žádaný výrobek (drink).

Výsledkem této bakalářské práce je automatizovaná buňka s názvem „drtič ledu“, která na základě přítomnosti skleničky s NFC čipem, ze kterého načte data o hmotnosti ledu, bude drtit led, dokud nebude splněna požadovaná hmotnost, poté je drtič zastaven.

Literatura

- [1] Průmysl 4.0: o Průmyslu 4.0 [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.prumysl-4.cz/>
- [2] Průmysl 4.0: informace k Průmyslu 4.0 [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Pr%C5%AFmysl_4.0
- [3] An Industry 4.0 Testbed (Self-Acting Barman): Principles and Design (Kaczmarczyk, 2018)
- [4] Testbed: základní informace k projektu [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://vlada.pl/>
- [5] Průmysl 4.0: prvky Průmyslu 4.0 [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/prumysl40/>
- [6] NFC: úvod do nfc [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Near_Field_Communication
- [7] NFC: použití NFC [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/co-je-nfc-k-cemu-je-dobre-ho-pouzit/>
- [8] MES system [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: http://luckytek.eu/manufacturing_execution_system_mes/
- [9] MES system: sber dat [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://mescentrum.cz/clanky/sber-dat/84-sber-dat-z-vyrobny>
- [10] MES system: slovník pojmů [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://mescentrum.cz/slovník-pojmu>
- [11] MES system: řízení výroby [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://m.systemonline.cz/řízení-vyrobny/system-mes-jako-strategicky-partner-pro-krizi.htm>
- [12] 3D Tisk: slovník [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.materialpro3d.cz/materialovy-slovník>
- [13] NX: software NX [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.t-plm.cz/cs/portfolio/cad-cam/siemens-nx/>
- [14] NX: doplňkové informace [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/NX>
- [15] Tia portal: software [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/industryforum/novy-tia-portal-vam-urychli-a-zjednodusi-praci>
- [16] RIPKA, Pavel, Stanislav ĎAĎO, Marcel KREIDEL a Jiří NOVÁK. Senzory a snímače. ČVUT v Praze, Fakulta elektronická, 2005.
- [17] Ultrazvukový snímač: úvod k ultrazvukovým snímačům [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/ultrazvukove-senzory-priblizeni-funkce-provedeni-pouziti.html>
- [18] Ultrazvukový snímač vzdálenosti: návod k laboratorní úloze. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2018.
- [19] Tenzometry: princip a použití [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/foliive-odporove-tenzometry-princip-provedeni-pouziti-historie.html>

- [20] PODRABSKÝ, T. Návrh, simulace a realizace funkčních modulů testbedu Průmysl 4.0. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018
- [21] VŠB – Technická univerzita Ostrava [online] EMvM – zapojení odporových tenzometrů [cit. 2019-05-08] Dostupné z: <http://homel.vsb.cz/~sof007/files/EMvM/cviceni-3+4.pdf>
- [22] Hladinoměry: principy a provedení [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/spojite-mereni-vyska-hladiny-principy-mereni-a-provedeni-snimacu.html>
- [23] Motor stěračů: obrázek [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.skoda-dily.cz>
- [24] Senzory: principy a obrázky [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://navody.arduino-shop.cz/>
- [25] Koncový spínač [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.robotshop.com/en/micro-contact-limit-switch.html>
- [26] PLC [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc.htm>
- [27] PLC: obrázek [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/s7-1200-siemens-make-plc-13513424091.html>
- [28] HMI: touch panel [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.aispro.com/products/hmi-touch-panels>
- [29] HMI panel: obrázek [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://uk.rs-online.com/web/p/touch-screen-hmi-displays/8643967/>
- [30] PLC: automatizace [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/hmi.htm>
- [31] Tenzometry: úvod do tenzometrů [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Tenzometr>
- [32] Automatizace procesů: Návod do laboratorních cvičení MAUP. Brno. Skripta. VUT
- [33] Průmysl 4.0: Pojmy. Ipaczech [online]. [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: <https://www.ipaczech.cz/cz/tisk-a-media/aktuality/smart-factory-inteligentni-tovarna>
- [34] PÁSEK, J.: Automatizace procesů III - Průmysl 4.0. Učební text VUT, FEKT, Brno 2019 [cit. 13. 05. 2019].

Seznam symbolů, veličin a zkratek

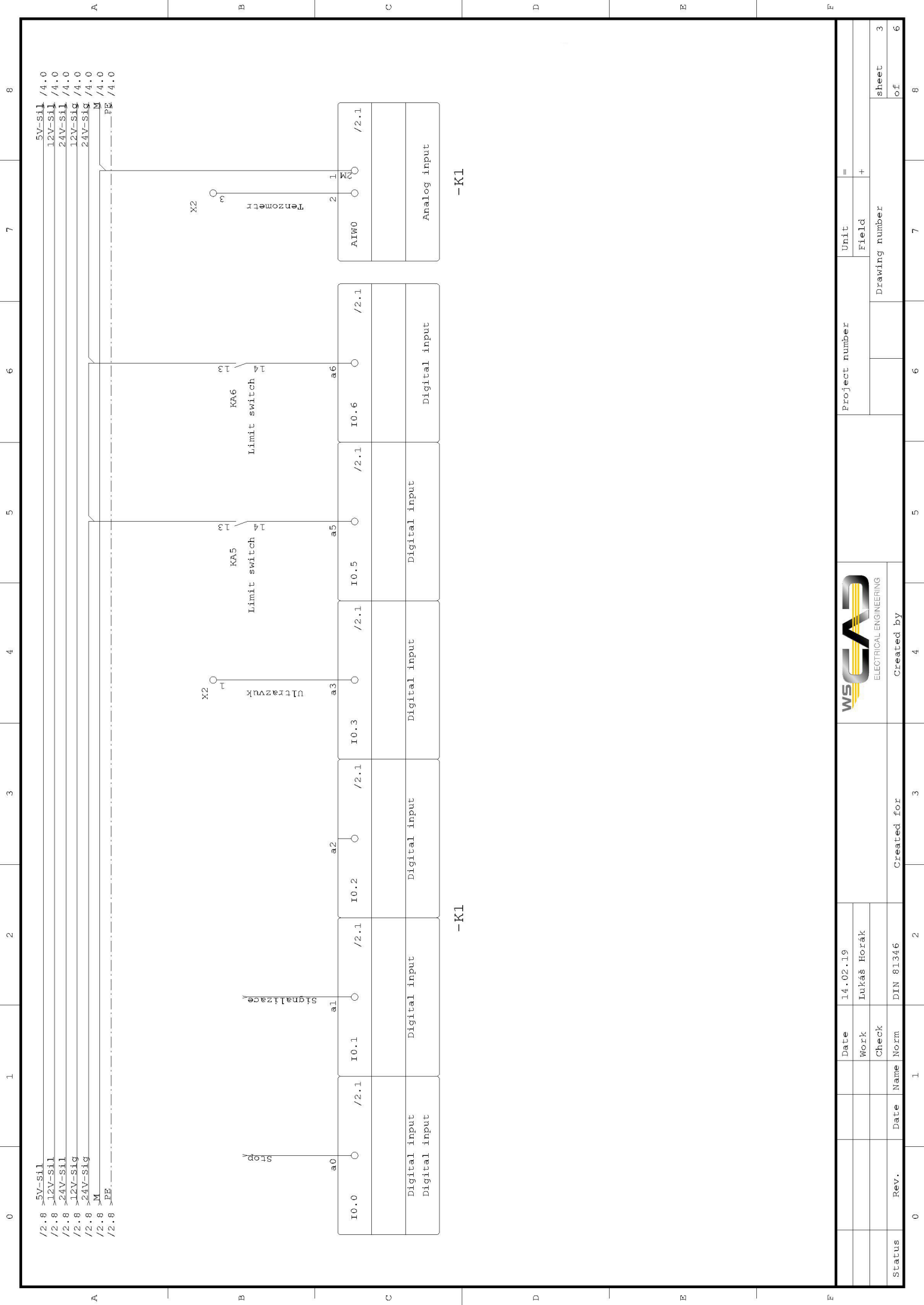
FEKT	-	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	-	Vysoké učení technické v Brně
Tzv.	-	Takzvaně
PLC	-	Programmable Logic Controller
HMI	-	Human Machine Interface
3D	-	Trojrozměrný
NFC	-	Near field communication
PLM	-	Product Lifecycle Management
CAD	-	Computer-aided design
Log	-	Logická, značí binární signál
V	-	Volt, jednotka napětí
LAD	-	Ladder diagram
SCL	-	Structured Control Language
Nm	-	Newton metr, jednotka momentu síly
MES	-	Manufacturing Execution Systems, výrobní informační systém
XML	-	eXtensible Markup Language, rozšiřitelný značkovací jazyk
CPS	-	Cyber-physical systém, kyberfyzický systém
CPPS	-	Cyber Physical Production Systems, kyberfyzický produkční systém
DR	-	Digitální reprezentace
RFID	-	Radio Frequency Identification, identifikace na rádiové frekvenci
AS	-	Administrative Shell, administrativní obálka
HSC	-	High speed counter, vysokorychlostní čítač
IoT	-	Internet of Things, internet věcí
UDT	-	User-Defined Data Types, uživatelsky definovaný datový typ

Seznam příloh

Příloha A - Obsah přiloženého CD disku

- Bakalářská práce v PDF
- Mechanický návrh buňky v programu NX
- Jednotlivé díly návrhu v STL
- Program v TIA portále
- Vizualizace v TIA portále
- Elektrické schéma zapojení ve WSCADU a PDF

Příloha B - Elektrické schéma zapojení buňky



-K1

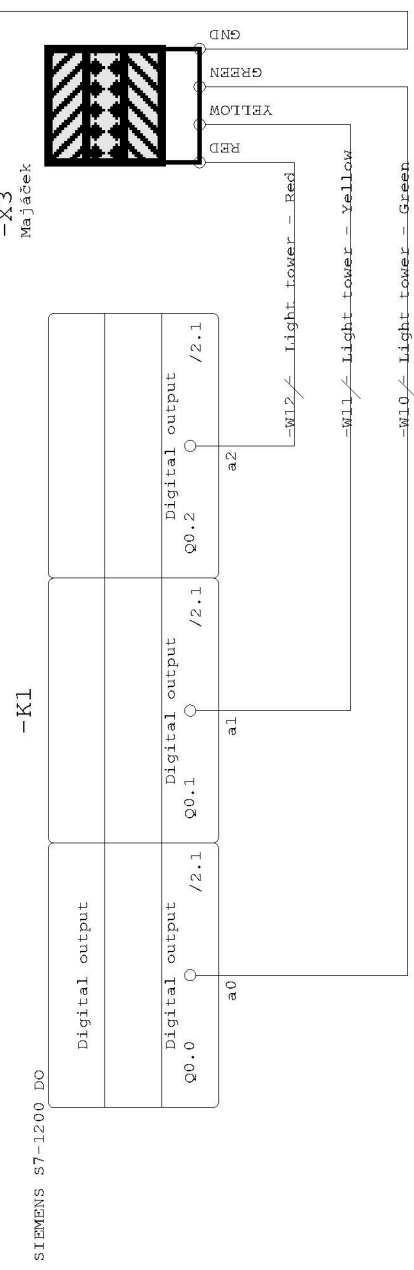
-K1



Status	Rev.	Date	Name	Created for	Project number	Unit	=
						Drawing number	
							sheet
							of
							6
							8

0	1	2	3	4	5	6	7	8
/3.8	>5V-sil							5V-sil /5.0
/3.8	>12V-sil							12V-sil /5.0
/3.8	>24V-sil							24V-sil /5.0
/3.8	>12V-sig							12V-sig /5.0
/3.8	>24V-sig							24V-sig /5.0
/3.8	>M							M /5.0
/3.8	>PE							PE /5.0

A



B

C

D

E

F

Status	Rev.	Date	Name	Created for	Project number	Unit	=
						Field	+
					Drawing number		
							sheet
							of
							8



