

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra elektrotechniky a automatizace**



**Návrh pohonných jednotek sušičky rostlinných produktů**

**Bakalářská práce**

**Vedoucí práce: Ing. Zbyněk Vondrášek, Ph.D.**

**Autor práce: Filip Pospíšil**

**PRAHA 2021**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Pospíšil

Zemědělské inženýrství

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

**Návrh pohonných jednotek sušičky rostlinných produktů**

Název anglicky

**Proposal of drive units for plant product dryer**

---

### Cíle práce

Návrhová studie pohonných jednotek pro automatizovanou sušicí linku rostlinných produktů - popis funkce jednotlivých sekcí linky, charakteru jejich odběrů a jejich energetických náročností.

Popsat původní uspořádání linky, jejích pohonných jednotek, jejich výhody a nevýhody.

Dimenzování regulačních zdrojů pro pohonné jednotky a jaký je očekávaný přínos regulace.

### Metodika

Zpracování podkladů k dimenzování pohonných jednotek pro dopravníky, ventilaci, popř. otopných prvků sušicí linky a navržení napájení pro příslušné součásti linky.

### Doporučený rozsah práce

35 – 50 s.

### Klíčová slova

sušička, rostlinný produkt, elektrický pohon, regulace

---

### Doporučené zdroje informací

Bulgakov A. A./ Řízení asynchronních motorů měniči frekvence / Praha: SNTL 1989, 240 s.

Flajtingr J., Kule L. / Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči / Plzeň: ZČU, 2002, 142 s., ISBN 80-7082-919-2

JECH, J. *Stroje pro rostlinnou výrobu 3 : stroje a zariadenia na pozberovú úpravu rastlinných materiálov a na ich skladovanie*. Praha: Profi Press ve spolupráci so Slovenskou poľnohospodárskou univerzitou v Nitre, 2011. ISBN 978-80-86726-41-0.

KUMHÁLA, F. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. KATEDRA ZEMĚDĚLSKÝCH STROJŮ. *Zemědělská technika : stroje a technologie pro rostlinnou výrobu*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1701-7.

Kůs V./ Elektrické pohony a výkonová elektronika / Plzeň: ZČU 2005. 180 s., ISBN 80-7043-422-8

NEUBAUER, K. *Stroje pro rostlinnou výrobu*. Praha: SZN, 1989. ISBN 80-209-0075-6.

PAVELKA, J. – ZDĚNEK, J. – ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE. ELEKTROTECHNICKÁ FAKULTA. *Elektrické pohony a jejich řízení*. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04642-5.

PITTERMANN, M. – ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA. KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY. *Elektrické pohony : základy*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. ISBN 978-80-7043-729-2.

*Stroje pro rostlinnou výrobu III*. NEUBAUER, K..

---

### Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

### Vedoucí práce

Ing. Zbyněk Vondrášek, Ph.D.

### Garantující pracoviště

Katedra elektrotechniky a automatizace

---

Elektronicky schváleno dne 20. 1. 2020

**doc. Ing. Miloslav Linda, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 05. 05. 2021

---

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: **Návrh pohonných jednotek sušičky rostlinných produktů** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne .....

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce panu Ing. Zbyňku Vondráškovi, Ph. D. za odborné konzultace, připomínky a cenné rady při vedení práce. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině za oporu během mého studia.

**Abstrakt:**

Bakalářská práce se zabývá pohonnými jednotkami a jejich regulačními zdroji. Ze začátku práce jsou popsány funkce jednotlivých sekcí sušicí linky rostlinných produktů a jejich pohonné jednotky, na které se budou dimenzovat regulační zdroje. Po analýze následuje teoretická část, kde je vysvětlen princip asynchronních motorů a jejich příprava pro zapojení s regulačními zdroji. Regulačními zdroji jsou frekvenční měniče, které jsou také vysvětleny v teoretické části (principy, zapojení, funkce). V praktické části je využito analýzy sekcí linky a teoretických poznatků pro realizaci rozváděčové skříně, ve které budou zapojeny a napájeny veškeré potřebné technologie pro napájení a regulaci všech částí sušicí linky. V poslední části práce je shrnuto oživení a odzkoušení rozváděče vč. dosažení výsledků a přínosů.

**Klíčová slova:** sušička; rostlinný produkt; elektrický pohon; frekvenční měnič

## **Proposal of drive units for plant product dryer**

**Summary:**

The bachelor thesis deals with drive units and their control sources. From the beginning of the thesis, the functions of individual sections of the plant product dryer and their drive units are described, on which the control sources will be dimensioned. The analysis is followed by a theoretical part, where the principle of asynchronous motors and their preparation for connection with control sources is explained. The control sources are inverters, which are also explained in the theoretical part (principles, connections, functions). The practical part uses the analysis of sections of the dryer and theoretical knowledge for the implementation of the switchboard, in which the necessary technologies for powering and regulating parts of the drying line will be connected and powered. The last part of the thesis summarizes the recovery and testing of the switchboard, incl. achieving results and benefits.

**Key words:** dryer; plant product; drive unit; inverters

# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CÍL PRÁCE A METODIKA.....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>ANALÝZA SUŠICÍ LINKY .....</b>	<b>3</b>
3.1	MECHANICKÉ USPOŘÁDÁNÍ LINKY VČ. POHONNÝCH JEDNOTEK .....	3
3.1.1	<i>Vstupní část.....</i>	5
3.1.2	<i>Sušicí část .....</i>	6
3.1.3	<i>Výstupní část.....</i>	8
3.2	ENERGETICKÁ NÁROČNOST LINKY .....	8
<b>4</b>	<b>NÁVRH ŘEŠENÍ ŘÍZENÍ POHONNÝCH JEDNOTEK .....</b>	<b>10</b>
4.1	ASYNCHRONNÍ MOTORY .....	10
4.1.1	<i>Možnosti řízení asynchronních motorů .....</i>	10
4.1.2	<i>Zapojení statorové svorkovnice .....</i>	11
4.2	FREKVENČNÍ MĚNIČE .....	12
4.2.1	<i>Dimenzování frekvenčních měničů pohonných jednotek .....</i>	13
4.2.2	<i>Volba typu frekvenčního měniče .....</i>	15
4.2.3	<i>Parametrizování VFD-E.....</i>	16
4.3	VOLBA NÍZKONAPĚŤOVÝCH PRVKŮ.....	18
4.4	VOLBA PŘÍSLUŠNÉHO ROZVÁDĚČE .....	20
<b>5</b>	<b>REALIZACE ROZVÁDĚČOVÉ SKŘÍNĚ.....</b>	<b>22</b>
5.1	ROZMÍSTĚNÍ KOMPONENT NA ROZVÁDĚČOVÉ DESCE.....	22
5.2	SILOVÉ ZAPOJOVÁNÍ KOMPONENTŮ.....	23
5.2.1	<i>Přívodní zapojení s bezpečnostním jištěním.....</i>	24
5.2.2	<i>Zapojení jističů .....</i>	25
5.2.3	<i>Napájení frekvenčních měničů.....</i>	25
<b>6</b>	<b>FINÁLNÍ ZAPOJENÍ ROZVÁDĚČE NA MÍSTĚ.....</b>	<b>27</b>
6.1	PŘIPOJENÍ MOTORŮ K FREKVENČNÍM MĚNIČŮM.....	27
6.2	NASTAVENÍ PARAMETRŮ FREKVENČNÍHO MĚNIČE VFD-E .....	29
6.3	ODZKOUŠENÍ ASYNCHRONNÍCH MOTORŮ.....	30
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>32</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....</b>	<b>33</b>

## Seznam obrázků

Obr. 1: Sušící linka na rostlinnou směs.....	3
Obr. 2: Schéma mechanických částí linky .....	5
Obr. 3: Princip sušení.....	7
Obr. 4: Zapojení do trojúhelníku.....	11
Obr. 5: Zapojení do hvězdy.....	11
Obr. 6: Blokové schéma principu frekvenčního měniče .....	13
Obr. 7: Digitální klávesnice .....	18
Obr. 8: Vyvedení jednotlivých kabelů ze soklu .....	21
Obr. 9: Kabelové kanály.....	21
Obr. 10: Rozmístěné komponent.....	22
Obr. 11: Příklad bezpečnostního zapojení stykačů .....	24
Obr. 12: Schéma silového zapojení měniče řady VFD-E .....	26
Obr. 13: Rozváděč.....	27
Obr. 14: Připojení asynchronních motorů k měničům .....	29

## Seznam tabulek

Tab. 1: Výkony jednotlivých motorů .....	9
Tab. 2: Dimenzování frekvenčních měničů .....	14
Tab. 3: Základní parametry frekvenčního měniče .....	17
Tab. 4: Volba jističů .....	19

# 1 Úvod

V této bakalářské práci jde o popis návrhu a realizace rozváděčové skříně pro řízení jednotlivých částí sušicí linky na rostlinné produkty, jakožto jednoho celku. Jedná se o starší, mechanicky zachovalou technologickou linku, která má jako zdroj tepla bioplynovou stanici. Zadáním celého projektu, poptaného od JZD z Vidlaté Seče, bylo elektricky zastaralou, obtížně regulovatelnou sušicí linku zrenovovat a nově zautomatizovat.

Práce obsahuje čtyři hlavní odvětví. První odvětví, kapitola „*Analýza sušicí linky*“, se převážně zabývá, jak už je z názvu kapitoly patrné, analýzou celé sušicí linky. Tedy jak od samotného fungování jednotlivých, mechanicky pohyblivých částí linky, tak až po její celkovou energetickou náročnost. Druhé odvětví, kapitola „*Návrh řešení řízení pohonných jednotek*“, se podrobněji zabývá možnostmi komponentů, které by byly vhodné použít k řízení celého procesu, jakožto automatizovaného celku. Zahrnuje ovládání jednotlivých asynchronních motorů pomocí frekvenčních měničů, až po samotný návrh sestavení silového rozváděče pro řízení technologií. V předposledním odvětví, tedy kapitole „*Realizace rozváděčové skříně*“, využijeme všechny poznatky z předešlých kapitol ke samotné realizaci silového rozváděče pro celou linku. Jsou zde popsány postupy od samotného rozmístění a montáže komponentů k desce rozváděče, až po jejich dílčí zapojení. V poslední části „*Finální zapojení rozváděče na místě*“ bude oživen rozváděč a proběhne odzkoušení pohonných jednotek jednotlivých částí linky a následné zhodnocení.

Na tomto projektu jsem pracoval jako brigádník se živnostníkem Martinem Kubíčkem, který vystupuje pod názvem „Elektro m-system“. Podnik je rodinného typu s přátelským kolektivem o počtu čtyř zaměstnanců. Tento menší podnik má několika letou zkušenost s průmyslovou automatizací a vyhovuje svým zákazníkům přímo na míru. Nabízí služby od zapojování rozváděčů, až po robotická pracoviště. Také disponuje vlastním zázemím s CNC výrobou. S panem Kubíčkem spolupracuji od roku 2017 a doposud realizoval několik dalších zakázek v průmyslové automatizaci. Jako příklad mohu uvést automatizaci zasněžování sjezdovky „Čertovka“ ve Ski areálu Harrachov, realizace robotického pracoviště na výrobu IN-line puků nebo renovace jednoúčelového stroje „Hudson-Sharp“ na výrobu pytlů různých velikostí.

## 2 Cíl práce a metodika

Cílem této bakalářské práce je modernizace zastaralé sušicí linky rostlinných produktů komponenty průmyslové automatizace. Kromě analýzy a popisu jednotlivých sekcí linky, charakteru jejich odběru a jejich energetických náročností směřuje práce především k návrhovému dimenzování regulačních zdrojů pro pohonné jednotky a realizace rozváděčové skříně. Práce se zabývá problematikou navržení napájení pohonných jednotek a způsobu jejich řízení, čehož se docílí implementací frekvenčních měničů novodobého průmyslu 4.0.

Dle metodiky práce by mělo být možné realizovat vlastní návrh napájení pohonných jednotek za použití frekvenčních měničů. Práce bude obsahovat následující metody:

- analýza (popis jednotlivých sekcí, charakter odběrů a energetické náročnosti)
- návrh řešení (dimenzování regulačních zdrojů pro pohonné jednotky)
- realizace (navržení a realizace rozváděčové skříně s technologií)
- testování (finální zapojení a oživení)

### 3 Analýza sušicí linky

Hlavním krokem pro získání této zakázky byla prvotní analýza celé linky, tedy od zkoumání vybavenosti jednotlivými čidly, tlačítky, motory, indikátory až po sledování a porozumění mechanice pohyblivých částí. Následně byla možná představa o potřebné velikosti systému a komplexnosti celého principu fungování této linky, která je zdokumentována na obr. 1. Na základě těchto vstupních dat byla zákazníkovi předložena cenová nabídka s možným řešením, která byla zákazníkem akceptována a mohlo být započato její zpracování.

*Obr. 1: Sušicí linka na rostlinnou směs*



#### 3.1 Mechanické uspořádání linky vč. pohonných jednotek

V této podkapitole se podrobněji zaměříme na uspořádání celé sušicí linky a její pohonné jednotky. Popíšeme funkce jednotlivých mechanických částí, od samotného vstupu (vlhká směs) až po výstup (usušená směs). Celý sušicí proces trvá přibližně 60 minut, dle dané rychlosti. Jednoduché schéma znázorňující jednotlivé mechanické části linky včetně asynchronních motorů zachycuje obr. 2. Následující stručný popis slouží pro lepší pochopení mechanických částí, které jsou znázorněny na schématu.

## **Asynchronní motor**

Asynchronní motory (blíže v podkapitole 4.1 *Asynchronní motory*) jsou označeny v kroužku jako „Mx“, kde x určuje číslo motoru pro lepší orientaci při následném používání v tabulkách. Tyto pohonné jednotky slouží jako zdroj energie pro vykonávání pohybu všech pohyblivých částí. Například dopravníky, prohrabávací kartáče, ventilátory a pojezdy.

## **Mechanické dopravníky**

Po celé produkční lince se nachází hned několik dopravních zařízení pro kontinuální dopravu. Mechanické dopravníky slouží pro dopravu různých materiálů od sypkých až po stébelnaté v rovině vodorovné, šikmé i svislé [1].

Produkční linka obsahuje celkem sedm mechanických dopravníků, z toho:

- dva šnekové (D1 a D3), které zajišťují dopravu materiálu díky aktivnímu orgánu nazývaném jako šnekovice a pasivní (nosné) části dopravního žlabu
- dva hrabičkové dopravníky (D2 a D4), které hrnou materiál v nepohyblivém žlabu pomocí hrabic, spojených jedním nebo několika řetězy
- tři pásové dopravníky (D5, D6 a středový pás), z toho jeden sušicí skrze celou produkční linku o rozměrech 4\*11 metrů (šířka \* délka) a dva výstupní pásy materiálu s příčnými lopatkami, pás je nejen tažným, ale i nosným elementem dopravníku

## **Horkovzdušné výměníky**

Horkovzdušné výměníky, na obr. 2 a 3 označené také názvem jako „sahary“, jsou hlavním zdrojem tepla při sušení rostlinného materiálu pohybujícího se po pásu. Jejich princip a celkově princip sušení je blíže popsán v podkapitole 3.1.2 *Sušicí část*.

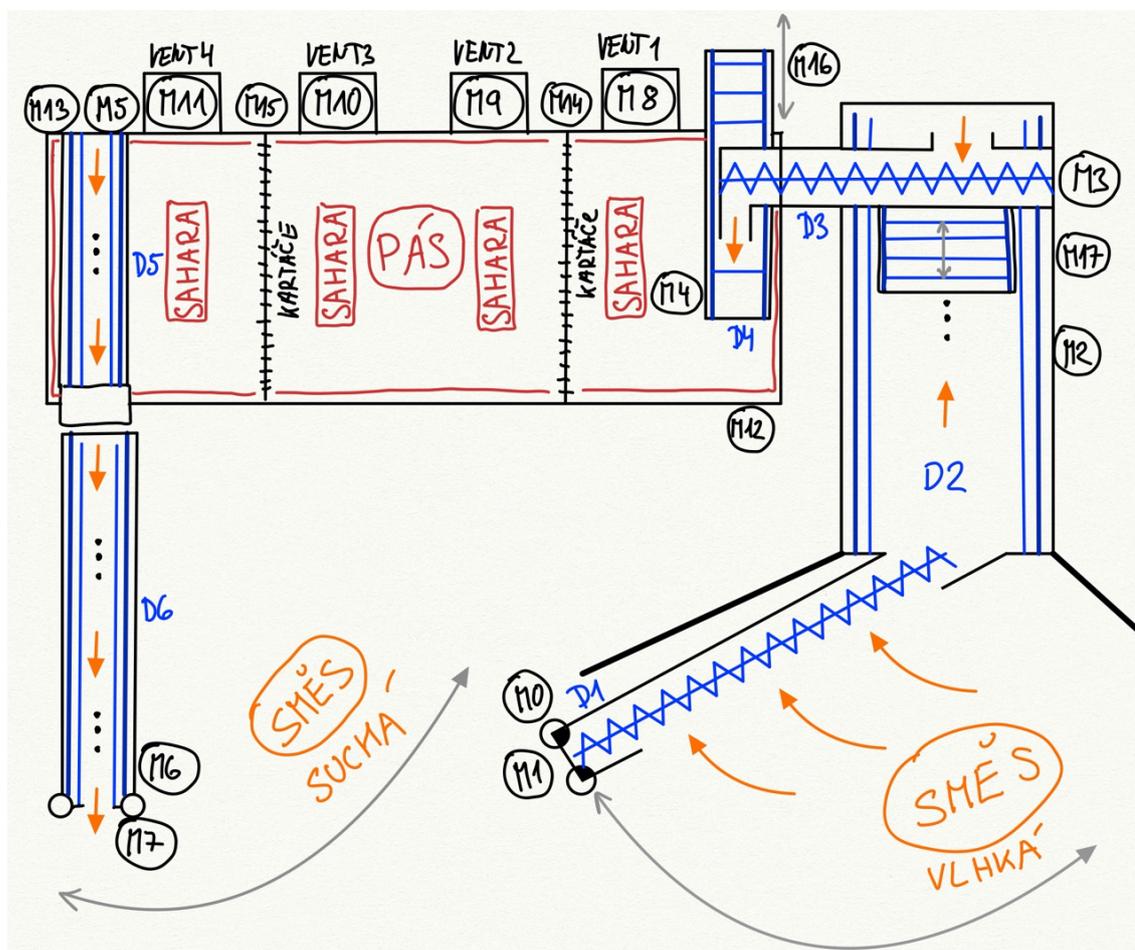
## **Kartáče**

Mechanicky jednoduše umístěná hřídel kolmo k průchodu procházejícího rostlinného materiálu linkou s lopatkovými kartáči. Nachází se v procesu sušení dvakrát a slouží pro lehké promíchání vlhké směsi na sušicím páse za účelem efektivnějšího sušení.

## **Ventilátor**

Celkem čtyři ventilátory poháněné motory M8–M11 jsou jedním z nejdůležitějších součástí aktivního sušení. Zajišťují neustálou cirkulaci vzduchu skrze horkovzdušné výměníky. Blíže popsáno v podkapitole 3.1.2 *Sušicí část*.

Obr. 2: Schéma mechanických částí linky



V následujících třech podkapitolách mechanického uspořádání je proveden podrobnější rozbor jednotlivých částí sušicí linky. Obr. 2 bude využíván k odkazování na jednotlivé motory a dopravníky, které společně vykonávají určité mechanické pohyby. Například pro vysvětlení vstupního šnekového dopravníku a jeho pohonu se budu odkazovat: „Šnekový dopravník D1 je poháněn motorem M1 (viz obr. 2), díky kterému rotující šnek dopravuje směs do dalších částí linky.“ atd.

### 3.1.1 Vstupní část

Tato část linky slouží k prvotnímu zpracování a přemístění vysypané vstupní vlhké směsi na samotný sušicí pás. Směs musí projít jednotlivými mechanickými částmi, aby byla rovnoměrně rozprostřena a připravena na sušení.

Na plochu v dosahu šnekového dopravníku se vysype vlhká směs rostlinného materiálu z korby nákladního vozidla, zde směs přebírá již zmíněný šnekový dopravník D1 podle obr. 2, který se může pohybovat do tvaru půlkruhu díky motoru M0. To umožňuje sbírat všechnu

vysypanou směs, která byla přivezena. Aktivní část vodorovného šnekového dopravníku (šnekovnice), poháněna motorem M1, dopravuje směs dále směrem do linky. Šnekový dopravník také zajišťuje prvotní rozmělnění surové směsi, aby se v dalších částech nezachytávala a nedošlo k následnému nežádoucímu ucpání linky. Směs je dopravena šnekovým dopravníkem na vstupní část šikmého hrabičkového dopravníku D2. Ten je poháněn motorem M2.

Dopravník D2 dopravuje směs do zásobníku dávkovacího zařízení umístěného ve výšce kolem 3 metrů nad zemí. Směs je nutno dávkovat na samotný sušicí pás, který je kvůli procesu sušení (cirkulace vzduchu) umístěn také na vyvýšeném místě. Dávkování se provádí pomocí šnekového dopravníku D3. Směs do dávkovacího zásobníku tohoto šneku pomáhá správně dávkovat řezné lopátkové zařízení poháněné motorem M17.

Následný šnekový dopravník za pomoci motoru M3 přesune vlhkou směs z výstupu hrabičkového dopravníku do tzv. „rozmisťovacího boxu“. V tomto boxu se nachází hrabičkový dopravník s příčnými pruty D4, který pomáhá správně rozmělnit a rozmístit směs v boxu po celé jeho ploše. Tento hrabičkový dopravník s příčnými pruty je poháněn motorem M4. Samotný box se následně pomocí motoru M16 pohybuje kolmo k sušicímu pásu. Díky těmto kombinacím pohybů dojde ke správnému a rovnoměrnému propadnutí vlhké směsi dovnitř samotné linky na pás pro následné sušení.

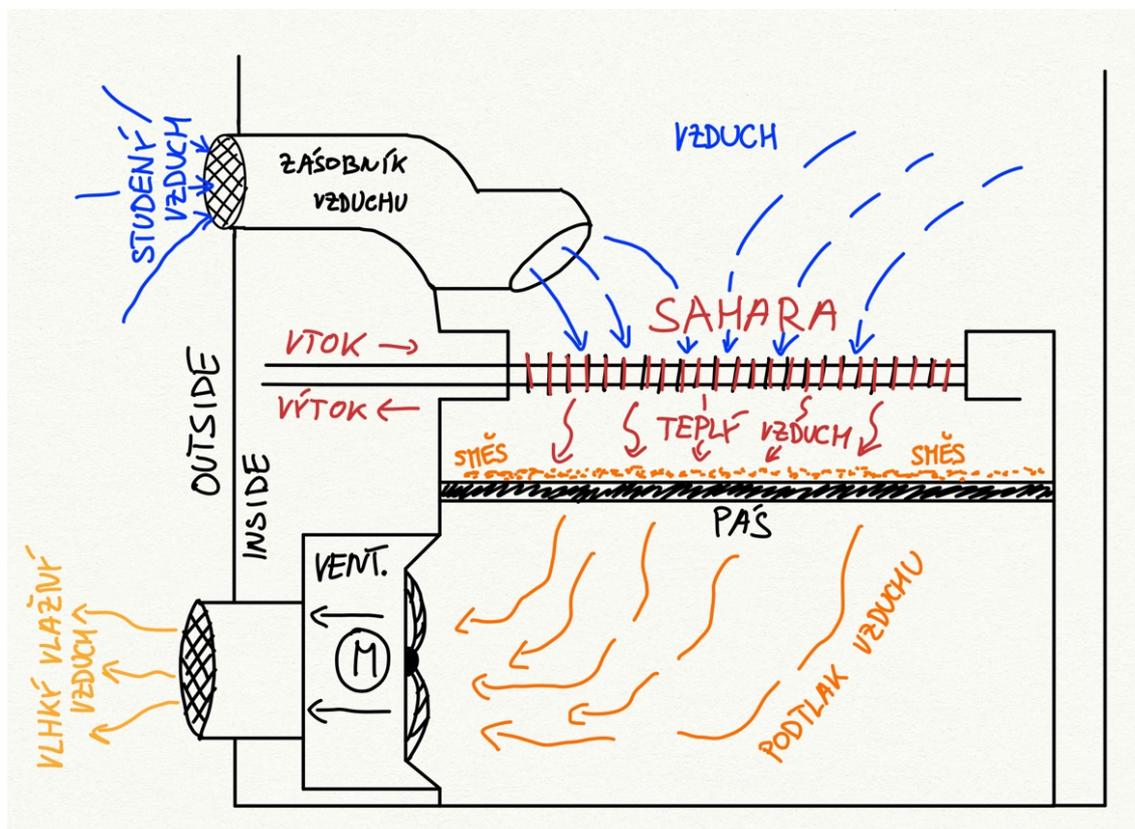
### **3.1.2 Sušicí část**

V této části nastává samotný proces sušení. Jedná se o středovou část linky, ve které je umístěn sušicí pás, který je díky svým rozměrům a nosností jedinečným prvkem celé produkční linky. Pás je ze speciálního materiálu a vydrží teploty až sto stupňů. Za zdroj tepla se používá bioplynová stanice, která ohřívá médium v potrubí na 60–80 stupňů dle výkonnosti, díky kterému je možné vykonávat nízkoenergetický proces sušení.

Po průchodu vlhké směsi vstupní částí linky dochází k rovnoměrnému rozmístění směsi na sušicím páse. Tento pás se pohybuje díky pohonu dvěma motory M12 a M13, které pohánějí válce na každém konci sušicího středu linky, okolo kterých se pás ohýbá. Pás se pohybuje na principu klasického dopravníku, časová průchodnost celým nitrem této části linky je přibližně 45–60 minut dle výkonnosti. Dále jsou zde motory M14 a M15 pro pohon rotačních kartáčů, které točivým pohybem prohrabují vysoušenou směs na pásu. To má za následek lepší efektivitu prosušení.

Proces sušení je hlavním úkolem této části linky. Pro popis a lepší pochopení pomůže průřez linkou znázorněný na obr. 3.

Obr. 3: Princip sušení



Na obrázku je znázorněný tok vzduchu, který je nasáván díky ventilátoru přes určité koridorové části. Vzduch si linka nasává z místnosti, ve které je umístěna. Pro lepší cirkulaci a čerstvý vzduch slouží také znázorněný „zásobník vzduchu“. Vzduch zvenčí a vnitřního prostoru prostupuje nejdříve horkovzdušným výměníkem. Zde jsou klasické rozehřáté radiátorové mříže, do kterých proudí teplé médium potrubím díky bioplynové stanici. Cirkulace média po celé lince je zajištěna pomocí dvou čerpadel – M18 na vtok a M19 na výtok. Tímto zajišťujeme neustále zahřáté médium, a tedy stálý ohřev vzduchu skrze jednotlivé horkovzdušné výměníky. Ohřátý vzduch prostupuje skrze výměníky přes vlhkou směs a pás. Následně je vše ochlazený a vlhký vzduch odsáván ventilátorem, který zajišťuje cirkulaci vzduchu. Celý tento princip sušení (cirkulace vzduchu) s ventilátorem a horkovzdušným výměníkem využíváme čtyřikrát po délce linky s přibližně dvoumetrovými rozestupy mezi sebou. Díky tomu se dokáže vlhká směs efektivně usušit.

### 3.1.3 Výstupní část

Poslední část zajišťuje dopravu vysušené směsi ven z linky na jednu hromadu, která je následně naložena a odvezena technikou.

Sušicí pás se na konci sušicí části linky láme přes poháněný válec motorem M13 a usušená směs samovolně padá na vodorovný pásový dopravník s lopatkami D5, který je poháněn motorem M5. Na konci dopravníku D5 směs samovolně spadá na návazný šikmý pásový dopravník s lopatkami D6 poháněný motorem M6. Dopravník D6 se dále může pohybovat do stran v půlkruhu pomocí pohonu motorem M17. Šikmý dopravník D6 je již mimo sušicí linku a dopravuje suchou směs do výšky přibližně dvou a půl metru. Směs samovolně padá na zem po dosažení výstupu dopravníku. A díky pohybu do stran vytváří hromadu určenou k odvozu. Případně je možné směs sypat přímo do nákladového prostoru přistaveného vozidla.

## 3.2 Energetická náročnost linky

Energetická náročnost celé linky spočívá především v pohonných jednotkách, tedy asynchronních motorech. Pro budoucí práci dimenzování frekvenčních měničů a silového přívodu bylo zapotřebí zjistit výkony a jmenovité proudy jednotlivých motorů pomocí tzv. „štitkových údajů“ a z toho dále vypočítat celkový výkon linky.

Pro určení celkového proudového odběru linky je přesnějším a v případě většího počtu motorů i žádanějším postupem jednoduchý součet jmenovitých proudů všech motorů. Rozdíl mezi výpočtem celkového proudu a součtem jmenovitých proudů motorů bude znázorněn níže.

V následující tab. 1 můžeme najít rekapitulaci jednotlivých motorů a přiřazení mechanických pohybů. Dále jsou v tabulce uvedené výkony jednotlivých motorů v kW (kilowatt) a jmenovité proudy v A (ampérech), s těmito hodnotami budeme dále pracovat ve výpočtech energetické náročnosti.

Tab. 1: Výkony jednotlivých motorů

Číslo motoru	Část linky	Mechanický pohyb/význam	Výkon motorů (kW)	Jmenovitý proud (A)
M0	vstupní část	posuv šnekového dopravníku po zemi „D1“	0,37	1,88
M1		rotující pohyb šnekového dopravníku „D1“	2,2	5,2
M2		posuv šikmého pásového dopravníku „D2“	2,2	5,2
M17		lopatkový dopravník	0,37	1,88
M3		rotující pohyb šnekového dopravníku „D3“	1,5	3,4
M16		posuv rozmisťovacího boxu	0,55	2,58
M4		lopatkový dopravník D4 uvnitř boxu	0,55	2,58
M12		sušicí část	pohyb válce sušícího pásu	1,5
M8	ventilátor č. 1		7,5	15,02
M14	kartáčové lopatky		0,55	2,58
M9	ventilátor č. 2		7,5	15,02
M10	ventilátor č. 3		7,5	15,02
M15	kartáčové lopatky		0,55	2,58
M11	ventilátor č. 4		7,5	15,02
M13	pohyb válce sušícího pásu		1,5	3,4
M5	výstupní část	pohyb pásového dopravníku „D5“	0,55	2,58
M6		pohyb šikmého pásového dopravníku „D6“	0,55	2,58
M7		posuv šikmého výstupního dopravníku po zemi	0,37	1,88
M18	mimo linku	čerpadlo vtoku teplého média	1,5	3,4
M19		čerpadlo výtoku ochlazeného média	1,5	3,4

Celkem tedy máme po sečtení na celé lince 20 motorů o celkovém „štítkovém“ výkonu 46,31 kW a jmenovitém proudu 108 A. Ovšem tento výkon zaokrouhlíme na 50 kW, jelikož musíme počítat s řídicími systémy (PLC), HMI (human machine interface) rozhraními, čidly a také s určitou rezervou. Celkový proudový odběr zaokrouhlíme na celých 125 A.

V případě početního řešení celkového proudového odběru třífázové sítě pomocí vzorečku  $I = \frac{P}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{50\,000}{400 \cdot \sqrt{3}} = 72,2\text{ A}$  dostaneme po dosazení celkového výkonu P [W] a přírodního 3f síťového napětí U [V] celkový proudový odběr linky  $I = 72,2\text{ A}$ . Početní výsledek proudu pomocí celkového výkonu je tedy podstatně menší oproti sečtení jmenovitých proudů motorů. To má za následek nepřesné početní řešení, jelikož zde nejsou započteny ztráty naprázdno, ztráty nakrátko atd. každého motoru zvlášť. Je tedy přesnější odečítání parametrů přímo ze štítkových údajů motorů.

## 4 Návrh řešení řízení pohonných jednotek

Tato kapitola popisuje, jakým způsobem budou řízeny všechny pohonné jednotky a tím i celkově celá produkční linka. Jednotlivé komponenty, které budou společně zajišťovat pohodlnou ovladatelnost všech motorů a umožní komplexní řízení linky, budou umístěny v rozváděčové skříní.

### 4.1 Asynchronní motory

Asynchronní motor je známý více než 100 let, jeho teorie i konstrukce jsou velmi podrobně zpracovány [2]. Asynchronní stroj patří v dnešní době mezi nejpoužívanější, což je dáno jejich relativní jednoduchostí, hromadným charakterem výroby, a z toho plynoucí nízkou cenou [3]. Asynchronní motory jsou vyráběny pro výkony od řádů jednotek wattů pro nízké napětí do desítek MW pro vysoké napětí. Mají obrovské pole působnosti skrze různé průmyslové segmenty a následné použití v dané aplikaci. Od jednoduchých pohonů bez nutného řízení rychlosti, až po náročné regulační pohony čerpadel vodáren a čističek. Nutno říci, že pole působnosti asynchronních motorů plyne z jejich spolupráce s prostředky výkonové elektroniky – střídači [3]. V současné době se řízené pohony s asynchronními motory napájejí z měničů frekvence, které slouží k přeměně střídavé energie jednoho kmitočtu na střídavou energii jiného kmitočtu [4].

#### 4.1.1 Možnosti řízení asynchronních motorů

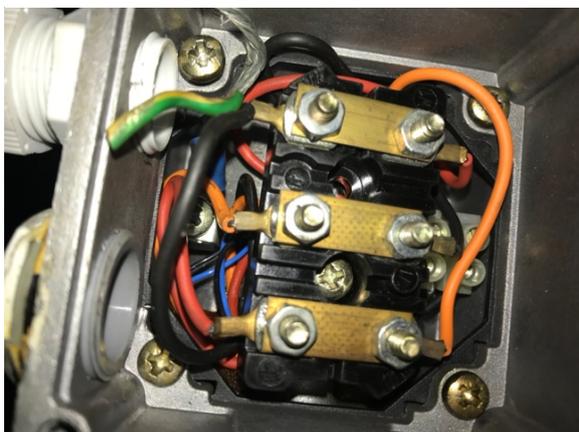
Z důvodu nepříliš výhodných rozběhových vlastností asynchronních motorů, způsobených především velkým záběrovým proudem, se rozběh motoru řeší různými způsoby. U staršího z typů regulací v průmyslovém odvětví asynchronních motorů bylo hojně využíváno tzv. rozběhu hvězda (Y) – trojúhelník (D), v některých případech je využíváno i dnes. V principu se jedná o to, že necháme motor rozběhnout v zapojení hvězda (Y) po určitou dobu, než dosáhne motor blízkosti jmenovitých otáček. V takovém případě má motor menší výkon, a tedy i záběrový proud. Po dosažení jmenovitých otáček přepneme vinutí do trojúhelníku (D) a motor poběží na jmenovitých hodnotách. Nutno podotknout, že každý motor nelze takto přepínat. Vždy je důležité řídit se štítkovými údaji daného motoru. Pro tento způsob rozběhu motoru je nutné použít speciální přepínač nebo dva stykače. Ovládání zapojení musí být provedeno takovým způsobem, aby nebylo možné sepnout oba způsoby zapojení, tedy hvězdu (Y) a trojúhelník (D), najednou. To se může stát například při nekorektním zapojení stykačové metody spouštění. V dnešní době převládá regulace motorů za pomoci frekvenčních měničů, které umožňují uživateli širokého nastavení a komfortnosti. Ovšem pořizovací cena se stává nevýhodou tohoto

způsobu řízení. V případě absence nutnosti široké regulace otáček asynchronního motoru, a tedy frekvence jeho napájecí soustavy je způsob rozběhu s přepínáním hvězda – trojúhelník stále dobrým řešením.

#### 4.1.2 Zapojení satorové svorkovnice

Pro rozběh asynchronního motoru pomocí frekvenčního měniče je nutno správného zapojení jednotlivých fází satorového vinutí motoru vyvedených na svorkovnici pro komfortnost zapojení. Schéma těchto zapojení můžeme u většiny motorů nalézt z druhé strany krytu svorkovnice. Ve většině případů máme dva základní způsoby zapojení, a to do trojúhelníku (viz obr. 4) a hvězdy (viz obr. 5).

Obr. 4: Zapojení do trojúhelníku



Obr. 5: Zapojení do hvězdy



Jednotlivé začátky vyvedených fází na svorkovnici motoru jsou nejčastěji označeny U1, V1, W1 a konce fází vinutí U2, V2, W2 [5]. U starších typů motorů se také můžeme setkat s označením A, B, C (začátek vinutí) a A0, B0, C0 (konec vinutí). Propojením svorek nad sebou (U1-W2, V1-U2, W1-V2) docílíme spojení vinutí do trojúhelníku, jednotlivé fáze napájení asynchronního motoru připojíme ideálně na L1-U1, L2-V1, L3-W1. Horizontální propojení horních svorek W2, U2, V2 způsobí spojení vinutí do hvězdy. Jednotlivé fáze napájení asynchronního motoru v případě zapojení do hvězdy přivedeme na L1-U1, L2-V1, L3-W1. Pro propojení vyvedených fází do hvězdy či trojúhelníku se používá plíšků, které by měly být součástí motoru u svorkovnice.

## 4.2 Frekvenční měniče

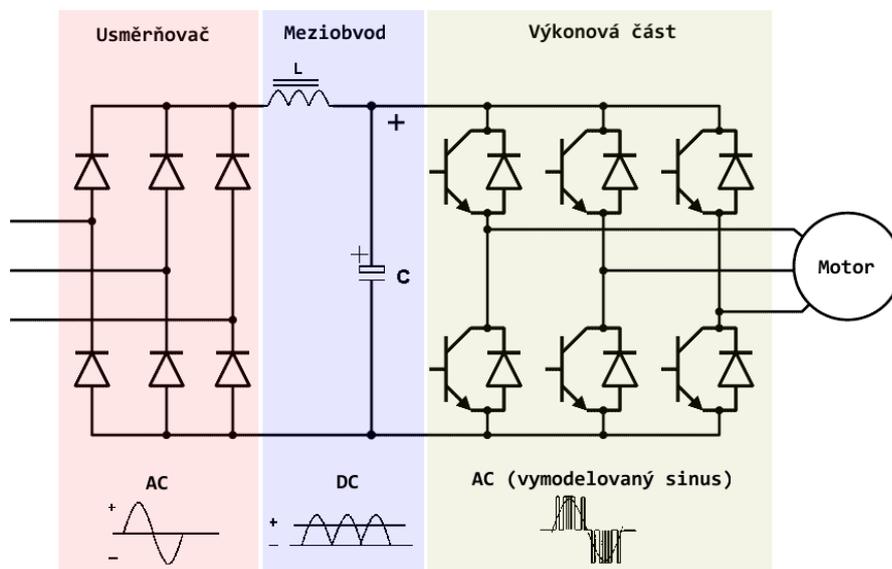
Frekvenční měnič je v našem případě základní, a přitom nejsložitější prvek celé soustavy řízení asynchronních motorů. Zjednodušeně frekvenční měnič slouží k řízení otáček (nejen) asynchronních motorů. V podstatě jediný způsob, jak efektivně řídit jejich otáčky je změna sinusového napětí konstantní frekvence, čímž dosahujeme plynulého řízení otáček motoru pracujícího v soustavě elektrického pohonu [6]. Pro účel širokého rozsahu řízení frekvence na výstupní straně měniče je potřeba použít konfigurace nepřímé, která je tvořena soustavou „usměrňovač – stejnosměrný meziobvod – střídač“

Stejnoseměrný meziobvod většinou obsahuje kondenzátorové baterie. V té je uložena energie, která prochází dále přes střídačovou část do motoru. Při brždění se motor může chovat jako generátor, tedy meziobvod je nabíjen z motoru. Zde si musíme dávat pozor při rychlém brždění, které může mít za následek vznik přepětí na meziobvodu. Tomu lze zabránit snížením strmosti dobohové rampy, odlehčením motoru, změnou měniče za výkonnější, či změnou konfigurace měniče za rekuperační. Ovšem nejpoužívanější metodou je připojení tzv. „brzdných rezistorů“ k měničům. Jedná se o rezistory s velkým ztrátovým výkonem, ve kterém se přebytečná energie mění na teplo. Dále si musíme dávat pozor, že po odpojení napájecího napětí frekvenčního měniče zůstává tato část i několik minut pod napětím.

Za stejnosměrným meziobvodem je zařazena střídačová část, zde se nacházejí spínací prvky. Za spínací prvky je většinou použita šestice IGBT tranzistorů a řídicí obvod. Následně pomocí řídicího obvodu IPM (Intelligent Power Module) dochází k modulaci signálu reprezentující třífázové sinusové napětí, díky PWM (pulsně šířkové modulaci) [7]. Nyní je z měniče přiveden na svorkovnici samotného motoru výstupní signál o požadované frekvenci.

Celý tento výše, zjednodušeně popsaný princip fungování frekvenčního měniče je schématicky znázorněn na obr. 6.

Obr. 6: Blokové schéma principu frekvenčního měniče



Zdroj: [8]

#### 4.2.1 Dimenzování frekvenčních měničů pohonných jednotek

Frekvenční měnič většinou nastavením neumožňuje měnit vstupní napájecí napětí. Je tedy důležité, zda použijeme měnič na napájecí jednofázovou síť 230 V, nebo třífázovou 400 V. Pokud máme motory s menším odebíraným výkonem (cca do 1,5 kW), můžeme použít měnič s napájecím napětím jednofázové sítě 230 V. V případě použití měniče na 230 V je nutné upravit svorkovnici na motoru na 3x230 V, tudíž zapojení do trojúhelníku. Naopak při použití třífázové sítě 400 V musíme svorkovnici motoru zapojit do hvězdy 3x400 V. Také se může vyskytnout motor se štítkovou hodnotou zapojení trojúhelník 400 V / hvězda 690 V. V tomto případě zapojíme motor do trojúhelníku a připojíme na výstup frekvenčního měniče, který je připojen na třífázovou napájecí síť 400 V. Jedná se většinou o výkonnější motory. Musíme tedy vždy zjistit základní údaje o motorech (výkon [kW], hodnoty napětí pro zapojení hvězda/trojúhelník [V]) pomocí štítkových údajů a dle nich postupovat při výběru správného frekvenčního měniče.

Výběr frekvenčního měniče je závislý především na výkonu a zatěžení regulovaného motoru. Měnič je nutné vybrat se stejným, nebo bližším vyšším výstupním výkonem, než je uvedeno na štítku motoru. Například pro motor 0,55kW a zvláště těžkým zatěžením bude vhodné použít i měnič s maximálním výstupním výkonem 0,75 kW. Následné přesné hodnoty připojeného motoru se nastavují přímo na měniči skrze nastavení parametrů. Dále musíme

počítat s napájecí sítí měniče, jak bylo zmíněno v předešlém odstavci. Ovšem nesmíme zapomenout správně zapojit svorkovnici motoru, dle zvolené napájecí sítě frekvenčního měniče.

V našem případě používáme 9 motorů s výkony pod 1 kW, tudíž i z ekonomických důvodů volíme jednofázové frekvenční měniče napájené sítí 1 x 230 V. Motory zapojíme do trojúhelníku dle štítkových parametrů. Také díky počtu devíti jednofázových měničů budeme mít symetricky zatíženou třífázovou napájecí síť rozváděče. Výkonnostně volíme frekvenční měniče bližší vyšší štítkovým výkonnostním údajům motorů. Dále linka obsahuje 5 motorů o výkonu 1,5 kW. Na napájení těchto motorů použijeme již třífázové frekvenční měniče napájené sítí 3 x 400 V o výstupním výkonu 1,5 kW. Zapojení těchto motorů bude na napětí 400 V, dle štítkových údajů do hvězdy. Další 2 motory o výkonu 2,2 kW zapojíme také do hvězdy 400 V a použijeme frekvenční měniče o výkonu 2,2 kW na třífázovou napájecí síť 3 x 400 V. Nejvýkonnější motory o výkonu 7,5 kW mají štítkový údaj zapojení trojúhelník 400 V a hvězda 690 V. Naši napájecí síť frekvenčních měničů máme 3 x 400 V, tudíž použijeme zapojení motoru do trojúhelníku. Frekvenční měnič použijeme třífázový 3 x 400 V o výstupním výkonu 7,5 kW. Tab. 2 jednoduše znázorňuje celý tento popis navrhování frekvenčních měničů pro jednotlivé motory.

Tab. 2: Dimenzování frekvenčních měničů

Číslo motoru	Výkon motorů (kW)	$\Delta$ [V] / $Y$ [V]	Zapojení motoru	Frekvenční měnič [kW]	Napájecí síť frek. měniče / napětí [V]
<b>M0</b>	0,37	230 / 400	$\Delta$	0,4	1f / 230
<b>M1</b>	2,2	230 / 400	$Y$	2,2	3f / 400
<b>M2</b>	2,2	230 / 400	$Y$	2,2	3f / 400
<b>M17</b>	0,37	230 / 400	$\Delta$	0,4	1f / 230
<b>M3</b>	1,5	230 / 400	$Y$	1,5	3f / 400
<b>M16</b>	0,55	230 / 400	$\Delta$	0,7	1f / 230
<b>M4</b>	0,55	230 / 400	$\Delta$	0,7	1f / 230
<b>M12</b>	1,5	230 / 400	$Y$	1,5	3f / 400
<b>M8</b>	7,5	400 / 690	$\Delta$	7,5	3f / 400
<b>M14</b>	0,55	230 / 400	$\Delta$	0,7	1f / 230
<b>M9</b>	7,5	400 / 690	$\Delta$	7,5	3f / 400
<b>M10</b>	7,5	400 / 690	$\Delta$	7,5	3f / 400
<b>M15</b>	0,55	230 / 400	$\Delta$	0,7	1f / 230
<b>M11</b>	7,5	400 / 690	$\Delta$	7,5	3f / 400
<b>M13</b>	1,5	230 / 400	$Y$	1,5	3f / 400
<b>M5</b>	0,55	230 / 400	$\Delta$	0,7	1f / 230
<b>M6</b>	0,55	230 / 400	$\Delta$	0,7	1f / 230
<b>M7</b>	0,37	230 / 400	$\Delta$	0,4	1f / 230
<b>M18</b>	1,5	230 / 400	$Y$	1,5	3f / 400
<b>M19</b>	1,5	230 / 400	$Y$	1,5	3f / 400

## 4.2.2 Volba typu frekvenčního měniče

Na trhu se vyskytuje velké množství společností vyrábějící frekvenční měniče různých typů a výkonnostních tříd. Asi nejznámějšími společnostmi zabývající se průmyslovou automatizací, a tedy i prodejem frekvenčních měničů jsou společnosti Rockwell, Siemens a ABB. Rockwell automation je jednou z největších světových společností produkující průmyslovou elektroniku a elektrotechniku se sídlem v USA. Z tohoto koncernu je například velmi známá dceřiná společnost Allen-Bradley. Siemens AG je globálním technologickým koncernem se sídlem v Německu. A poslední zmíněnou známou firmou zabývající se průmyslovou automatizací je švédsko-švýcarská nadnárodní korporace ABB. V našem případě používáme frekvenční měniče tchajwanské společnosti Delta Electronics, Inc. Tato společnost konkuruje výše zmíněným společnostem (Rockwell, Siemens, ABB atd.) hlavně cenou nabízených produktů a téměř srovnatelnou úrovní kvality. Zde mohou být pro zákazníky velmi atraktivní cenové nabídky automatizace výrobního procesu díky levnějším komponentům a srovnatelné kvalitě.

Delta Electronics nabízí hned několik řad frekvenčních měničů, například námi použité měniče řady VFD-E, které jsou pro naši aplikaci dostačující. Rozsah výkonů této řady měničů začíná na 200 W a může být až 22 kW. Základní charakteristika frekvenčního měniče řady VFD-E [9]:

- Vektorové řízení bez zpětné vazby nebo skalární řízení U/f
- Výstupní frekvence do 600 Hz
- Nosná frekvence do 15 kHz
- Přetížitelnost 150 % jmenovitého proudu po dobu 1 minuty
- PID regulace s funkcí spánku
- Autotuning (rotační i statický)
- Zabudované malé PLC s 500 kroky, 28 základními a 17 aplikačními instrukcemi
- Zabudovaný EMI filtr (u verzí 1x 230 V a 3x 400 V)
- Možnost připojení PTC od motoru
- Odnímatelná klávesnice
- Komunikace RS-485 s protokolem Modbus ASCII / RTU
- Možnost použití komunikačních převodníků CANopen, ProfiBus, DeviceNet nebo Lonworks nacevaknutých přímo na měnič
- Integrovaná brzdová jednotka
- 6 digitálních přepínatelných vstupů NPN / PNP

- 1 napěťový a 1 přepínatelný napěťový / proudový analogový vstup
- 1 tranzistorový a 1 relé výstup se spínacím i rozpínacím kontaktem
- 1 napěťový analogový výstup
- Možnost rozšíření vstupů / výstupů nebo připojení enkodéru s pomocí volitelné karty
- Standartní provedení IP20

Tento typ frekvenčního měniče je vhodný pro aplikace jako obráběcí stroje, balící stroje, tiskařské stroje, textilní stroje, eskalátory, dopravníky, ventilátory, čerpadla aj.

#### **4.2.3 Parametrizování VFD-E**

Každý frekvenční měnič musíme korektně nastavit dle připojeného motoru k danému měniči. Nastavení se provádí parametrizováním dle tzv. parametrů měniče, které nám umožňují široké možnosti způsobu ovládní motoru. Od jednoduché změny frekvence motoru, až po komplexní regulaci motoru. Každý frekvenční měnič má různé způsoby nastavení a parametrizování, právě dle pořízené značky měniče. V našem případě používáme frekvenční měniče řady VFD-E již zmíněné značky Delta Electronics, Inc. Za pomoci manuálu „*VFD-E: Sensorless Vector Control Compact Drive*“ [9], který je volně dostupný na webových stránkách firmy Delta electronics, Inc., nastavíme ty nejzákladnější parametry pro rozběh motoru viz tab. 3.

Tab. 3: Základní parametry frekvenčního měniče

Parametr	Vysvětlení	Nastavení	Tovární nastavení
<b>00.02</b>	Resetování parametrů	0: Parametr může být čten / zapisován 1: Všechny parametry jsou pouze pro čtení 6: Vyčistit PLC program 8: Klávesnice zamknuta 9: Všechny parametry resetovat do továrního nastavení (50 Hz, 230 V / 400 V nebo 220 V / 380 V dle parametru 00.12) 10: Všechny parametry resetovat do továrního nastavení (60 Hz, 220 V / 440 V)	0
<b>01.00</b>	Maximální výstupní, provozní frekvence (Fmax)	50.00 až 599.00 Hz	60.00
<b>01.01</b>	Jmenovitá frekvence (Hz)	0.10 až 599.00 Hz	60.00
<b>01.02</b>	Jmenovité napětí (Vmax)	0,1 V až 255 V (1f měnič) 0,1 V až 510 V (3f měnič)	220.0 440.0
<b>01.09</b>	Doba akcelerace (rozběh)	0,01 až 600,0 sekund	10.0
<b>01.10</b>	Doba deklarace (doběh)	0,01 až 600,0 sekund	10.0
<b>02.00</b>	Zdroj nastavení pro řídicí frekvenci	0: Digitální klávesnice tlačítka 1: napěťový vstup AVI 0 – 10 V 2: proudový vstup ACI / AVI2 4 – 20 mA 3: RS-485 vstup po komunikaci 4: klávesnice potenciometr	1
<b>02.01</b>	Zdroj nastavení operačního signálu (start/stop...)	0: Digitální klávesnice 1: Externí vstupy. Klávesnice povolena 2: Externí vstup. Klávesnice zakázána 3: RS-485 komunikační ovládání, klávesnice povolena 4: RS-485 komunikační ovládání, klávesnice zakázána	1
<b>07.00</b>	Jmenovitý proud (Amax)	dle typu měniče	A
<b>09.00</b>	Komunikační adresa	1 až 254	1
<b>09.01</b>	Prezensová rychlost komunikace	0: baud rate 4800 bps 1: baud rate 9600 bps 2: baud rate 19200 bps 3: baud rate 38400 bps	1
<b>09.04</b>	Komunikační protokol	0: 7, N, 2 (Modbus, ASCII) 1: 7, E, 1 (Modbus, ASCII) 2: 7, O, 1 (Modbus, ASCII) 3: 8, N, 2 (Modbus, RTU) 4: 8, E, 1 (Modbus, RTU) 5: 8, O, 1 (Modbus, RTU) 6: 8, N, 1 (Modbus, RTU) 7: 8, E, 2 (Modbus, RTU) 8: 8, O, 2 (Modbus, RTU) 9: 7, N, 1 (Modbus, ASCII) 10: 7, E, 2 (Modbus, ASCII) 11: 7, O, 2 (Modbus, ASCII)	0

Nastavení parametrů měniče se nastavuje především skrze tzv. digitální klávesnici viz obr. 7, která je volně vyjímatelná a na frekvenční měnič se pouze nasadí. Lze tedy mít jednu klávesnici pro několik měničů.

Obr. 7: Digitální klávesnice



Zdroj: [9]

Při nastavování frekvenčního měniče za pomoci klávesnice se musíme tlačítkem MODE dostat na libovolnou obrazovku s písmeny F, H, A atd. Tyto písmena se nachází v menu a jejich hodnoty na LCD displeji nám ukazují základní údaje o motoru a stavu frekvenčního měniče. Například můžeme vidět aktuálně zadanou frekvenci na měniči přes potenciometr, aktuální frekvenci motoru nebo jeho proud a chybové hlášky. Poté se tlačítkem ENTER dostaneme do nabídky parametrů, kterým vstupujeme do jednotlivých úrovní. Tedy po prvním stisknutí ENTER se dostaneme do skupiny parametrů, po druhém do parametrů dané skupiny, po třetím do aktuální hodnoty parametru a posledním stisknutím potvrdíme hodnotu parametru. V zásadě ENTER slouží jako vstup do další úrovně či potvrzení a MODE pro návrat o úroveň výše až po menu. Správné parametry a jejich hodnoty vybíráme za pomoci šipek nahoru a dolů. Také je možností použití speciálního softwaru a parametry nainstalovat skrze komunikační kabel přímo z počítače do měniče, což může být pro uživatele komfortnějším způsobem parametrizování.

#### 4.3 Volba nízkonapětových prvků

Frekvenční měniče je také potřeba nějakým způsobem chránit před přetížením či před zkraty. Jako ochranu použijeme samočinné nadproudové vypínače v podobě tzv. jističů. Nadproudovou tepelnou ochranu zajišťuje bimetalový pásek, který je ohříván procházejícím zatěžovacím proudem. Zkratová spoušť jističe pracuje na principu elektromagnetu, který způsobí vypnutí po dosažení určité velikosti nadproudu [10]. Pokud tedy protéká jističem nadměrný elektrický proud, automaticky odpojí elektrický obvod od sítě. Velkou výhodou jističů je skutečnost, že po odstranění příčiny vypnutí lze znovu zapnout a není potřeba jej vyměňovat.

V případě jistění třífázových spotřebičů, například v našem případě třífázových frekvenčních měničů, je výhodou možnost použití více-pólových jističů, které vypínají všechny tři póly najednou [10].

Jističe jsou vyráběny pro určitý jmenovitý proud a s různými vypínacími charakteristikami. V případě frekvenčních měničů budeme volit charakteristiku C, která se používá především pro indukční zátěže. Při rozběhu motoru může dojít k chvilkovému překročení i několika násobku jmenovitého proudu. Jistič s nižší vypínací charakteristikou by tuto proudovou špičku vyhodnotil jako zkrat a frekvenční měnič odpojil, což je nežádoucí. Z tohoto důvodu musí být jistič dimenzován tak, aby nevypínal při tomto záběrovém proudu.

Jednotlivé jističe k frekvenčním měničům volíme dle jmenovitého proudu daného motoru a typu napájení frekvenčního měniče. Tedy v případě třífázového frekvenčního měniče potřebujeme jistič se třemi póly a pro jednofázový měnič jistič s jedním pólem. Dále vybíráme nejbližší vyšší jistič dle dostupnosti dodavatele v charakteristické třídě typu C. V našem případě byly jističe zvolené do tří tříd odepínacího jmenovitého proudu, viz následující tab. 4.

Tab. 4: Volba jističů

Číslo motoru	Frekvenční měnič [kW]	Napájecí síť frek. měniče / napětí [V]	$I_{jm}$ motoru [A]	Jistič	1f / 3f jistič
M0	0,4	1f / 230	1,88	C4	1f
M1	2,2	3f / 400	5,2	C6	3f
M2	2,2	3f / 400	5,2	C6	3f
M17	0,4	1f / 230	1,88	C2	1f
M3	1,5	3f / 400	3,4	C6	3f
M16	0,7	1f / 230	2,58	C4	3f
M4	0,7	1f / 230	2,58	C4	3f
M12	1,5	3f / 400	3,4	C6	3f
M8	7,5	3f / 400	15,02	C20	3f
M14	0,7	1f / 230	2,58	C4	3f
M9	7,5	3f / 400	15,02	C20	3f
M10	7,5	3f / 400	15,02	C20	3f
M15	0,7	1f / 230	2,58	C4	3f
M11	7,5	3f / 400	15,02	C20	3f
M13	1,5	3f / 400	3,4	C6	3f
M5	0,7	1f / 230	2,58	C4	3f
M6	0,7	1f / 230	2,58	C4	3f
M7	0,4	1f / 230	1,88	C4	1f
M18	1,5	3f / 400	3,4	C6	3f
M19	1,5	3f / 400	3,4	C6	3f

Nyní máme jištěny jednotlivé frekvenční měniče. Ovšem musíme také zvolit tzv. „safety“ jištění celé technologie, tedy samotného rozváděče, pomocí dvou sériově zapojených stykačů a bezpečnostního relátka. Jelikož bude přívod dimenzován na proud 125 A, použijeme dva 125 A stykače z důvodu sériového zapojení. Popis zapojení tohoto bezpečnostního jištění bude blíže popsáno v podkapitole „5.2.1. Přívodní zapojení s bezpečnostním jištěním“.

#### 4.4 Volba příslušného rozváděče

Dle definice normy je rozváděč nízkého napětí kombinací jednoho nebo více spínacích přístrojů s přidruženým řídicím, měřicím, signalizačním, ochranným, regulačním zařízením úplně sestaven pod odpovědností výrobce, včetně všech vnitřních spojů, mechanických vazeb a konstrukčních částí [11]. Rozváděčové skříně nízkého napětí slouží ke krytí elektrických zařízení umístěných na instalační desce uvnitř rozváděče. Do rozváděčové skříně bývá přivedeno hned několik kabelů od silových, až po signální či komunikační, kde jsou následně připojeny k příslušným zařízením namontovaných na instalační desce.

Rozváděče můžeme dělit hned do několika skupin dle vnější konstrukce (nekrytý, panelový, krytý, stavebnicový), místa instalace (vnitřní, venkovní instalace), způsobu montáže (přenosný, nepřenosný), krytí (IP21, IP43, IP53, IP65), druhu krytu (kovové, plechové, litinové, hliníkové), způsobu ochrany před úrazem elektrickým proudem, vybavením (typizované, individuální), způsobu provedení přívodů a vývodů (vrchem, spodem), účelu použití (průmyslové, bytové, elektroměrové, přípojkové, staveništní rozváděče) [11].

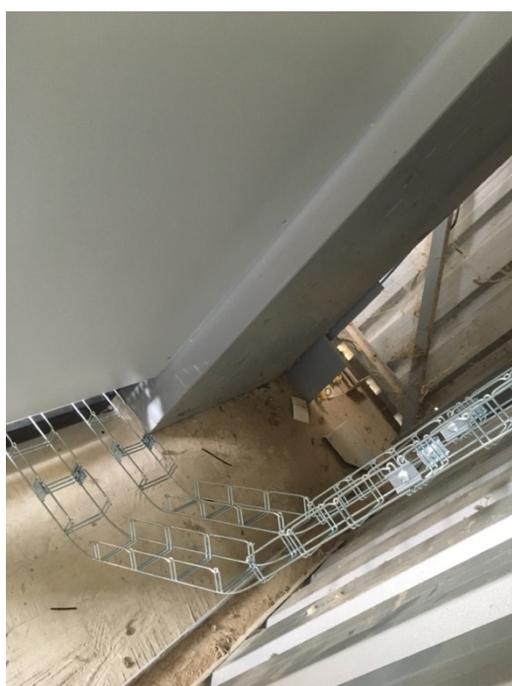
Při realizaci musíme myslet na správné umístění rozváděče. V případě použití nekrytých rozváděčů musí být umístění v elektrických rozvodnách, kde mají přístup jen pracovníci s příslušnou způsobilostí. Ostatní rozváděče se umisťují tam, kde jejich provedení a tím i krytí odpovídá danému prostředí, které by mělo být stavebně dokončené, čisté a suché [11]. Také je zapotřebí mít na místě správně připravené kabelové kanály na přívod a vývod kabelů do rozváděče. Nejvíce používaným způsobem přivedení kabelů je, že se s rozváděčem pořizuje tzv. sokl přímo pro danou skříň. Pod rozváděčovou skříň se vytvoří vzdušné dno, do kterého se přivede nejčastěji ze zadní strany kabely z kabelových kanálů. Prostor mezi dnem rozváděčové skříně a vrškem soklu je následně zakryt přiléhajícími plechy s pěnovou izolací, mezi kterou se následně vedou jednotlivé kabely viz obr. 8.

*Obr. 8: Vyvedení jednotlivých kabelů ze soklu*



V našem případě použijeme krytý skříňový rozváděč pro řadovou montáž o rozměrech 1200\*1800\*400 milimetrů (šířka \* výška \* hloubka) s IP55 od firmy Rittal, který by měl být pro použitou technologii dostačující. Rozváděč má možnost bočního skříňového rozšíření, čehož bude využito z důvodu pozdější realizaci vedlejšího rozvodného rozváděče, ze kterého bude náš technologický rozváděč napájen. Rozváděč bude umístěn na soklu, do kterého budou přivedeny kabely v zadní části z kabelových kanálů viz obr. 9.

*Obr. 9: Kabelové kanály*



## 5 Realizace rozváděčové skříně

Realizaci rozváděčové skříně je myšleno osazení rozváděčové desky potřebnými komponenty a jejich následné zapojení. Nejdříve je potřeba vyjmout montážní desku z rozváděčové skříně a umístit na místo, kde bude deska osazena. Na montážní desku instalujeme pomocí vyvrtaných děr se závity všechny produkty, tedy převážně frekvenční měniče a kabelové žlaby s DIN lištami. Zbylé komponenty, jako například jisticí prvky, svorky, stejnosměrné zdroje a řídicí systémy bývají ve většině případů přizpůsobeny pro uchycení právě na již zmíněnou DIN lištu, tedy pouze na nacvaknutí. Kabelové žlaby slouží pro uschování lankových vodičů při propojování všech prvků na rozváděčové desce.

### 5.1 Rozmístění komponent na rozváděčové desce

Při rozmístění komponentů na rozváděčové desce musíme dbát na několik zásadních faktorů, jako například sálání tepla, dostatek místa pro vedení lanka, logika zapojování, pohodlí přístupu pro uživatele a také určitě vzhled. Správného uspořádání nedocílíme hned na poprvé, je tedy dobré komponenty různě přemísťovat a zohledňovat všechny možné faktory. Finální nastínění rozmístění komponent na rozváděčové desce před navrtáním děr pro uchycení můžeme vidět na obr. 10.

*Obr. 10: Rozmístěné komponent*



Do levé části rozváděčové desky byly umístěny všechny frekvenční měniče, a to tím způsobem, že shora dolů jsou rozmístěny měniče od nejvýkonnějších až po ty nejméně výkonné z důvodu chlazení vzduchem, který se jako ohřátý pohybuje směrem nahoru. V této levé části je také umístěno ve dveřích aktivní chlazení pomocí spodního ventilátoru a horní mřížky, které zajišťují cirkulaci vzduchu v rozváděčové skříni, a tedy výměnu teplého vzduchu za studený. Dále má také každý frekvenční měnič své aktivní chlazení v podobě malého ventilátoru (kromě nejméně výkonných kusů), který také pomáhá v procesu chlazení. Mezi každou řadou měničů je umístěn otevřený drážkovaný kabelový žlab, ve kterém jsou umístěny lankové vodiče přívodního napájení a vývodů. Tento kanál je také kolem celé desky, kvůli dostatku místa lankového zapojení komponentů.

Druhá, pravá část rozváděčové desky byla využita pro umístění jisticích prvků technologie, přívodního jištění a pro komponenty samotného řízení. Jisticí prvky jsou umístěny ve vrchní části desky z důvodu větší přehlednosti a komfortnosti pro uživatele, obsluhu. Ve spodní části se nachází komponenty, které nebudou obsluhou téměř nikdy používány, jako například PLC, průmyslový síťový switch, stejnosměrné zdroje atd. Každé pomyslné patro je znovu provázáno kabelovými kanály pro umístění propojovacích vodičů. Všechny komponenty v pravé části této desky jsou uchyceny způsobem nacvaknutí na DIN lištu. Na úplném spodku rozváděčové desky je umístěna přes celou šíři rozváděčové desky DIN lišta. Zde jsou umístěny svorky pro přívod přívodního, silového napájení rozváděče a dále svorky pro zapojení jednotlivých žil více žilových kabelů. Těmito kabely jsou provedeny vstupy a výstupy z celé produkční linky do rozváděče a následně zapojeny do PLC.

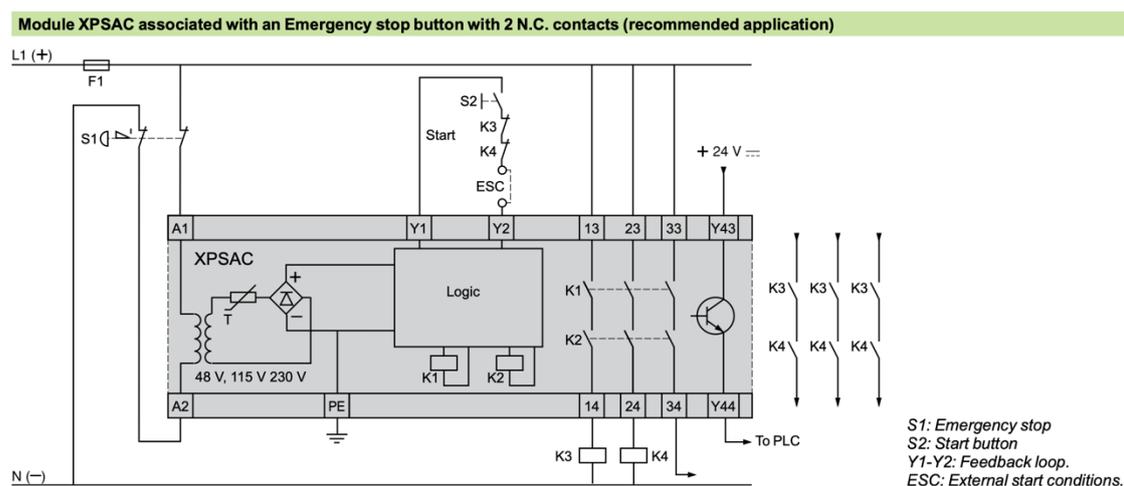
## 5.2 Silové zapojování komponentů

Všechny komponenty v rozváděči jsou propojeny vodiči typu měděného lanka. Lanko má tu výhodu, že je více poddajné nežli klasický tuhý drát. V průmyslových rozváděčích bývá klasicky využíváno lankového vodiče. V našem případě používáme vodiče o průřezu  $1.5 \text{ mm}^2$ ,  $2.5 \text{ mm}^2$ ,  $4 \text{ mm}^2$  a  $35 \text{ mm}^2$  pro silové zapojování. Na přívodní napájení rozváděčové skříně je použit vodič o průřezu  $35 \text{ mm}^2$ . Dále propojené jističe hřebenem (viz podkapitola 5.2.2 *Zapojení jističů*) jsou připojené vodiči o průřezu  $4 \text{ mm}^2$ . Přívodní napájení frekvenčních měničů o výkonu  $7,5 \text{ kW}$  je zapojené vodiči o průřezu  $2.5 \text{ mm}^2$ , tento průřez vodiče je vhodný do  $20 \text{ A}$ . Zbylé frekvenční měniče a komponenty v rozváděči jsou zapojeny vodiči o průřezu  $1.5 \text{ mm}^2$  (do  $15 \text{ A}$ ). Proudové zatížení vodiče ovlivňuje několik vnějších vlivů, například okolní teplota, způsob uložení, materiál izolace a vodiče atd.

## 5.2.1 Přívodní zapojení s bezpečnostním jištěním

Přívodní třífázové napájení rozváděče je dimenzováno na proudový odběr linky až 125 A, v reálném případě takový odběr nejspíše nenastane, jelikož ve stejném čase nebudou spuštěny všechny motory na svůj plný výkon. Používáme tedy přívodního měděného vodiče o průřezu 35 mm<sup>2</sup>, který by měl být na tuto proudovou zátěž dostačující. Přívod nejdříve prochází skrze dva sériově zapojené stykače, které jsou spínané vlastními cívkami K3 a K4. Následně jsou fáze vyvedeny ze stykače na jističe frekvenčních měničů a dalších komponent. Sériově zapojené stykače s bezpečnostním relátkem slouží k silovému bezpečnostnímu jištění celé produkční linky. Následující schéma zapojení obr. 11 slouží k lepšímu pochopení této bezpečnostní metody zapojení. Využívá již zmíněného bezpečnostního modulu XPS, bezpečnostních tlačítek „emergency stop“ rozmístěných po produkční lince a cívek obou stykačů.

Obr. 11: Příklad bezpečnostního zapojení stykačů



Zdroj: [12]

Šedý obdélník znázorňuje bezpečnostní modul, který je zapojen dle obrázku. Bezpečnostní modul může sepnout cívky K3 a K4 sériově zapojených stykačů až po neaktivním bezpečnostním tlačítku S1 a po sepnutí tlačítka S2. Tímto se nám sepnou dva stykače a máme přívodní napájení na všech jističích. V případě nebezpečí se stiskne tlačítko S1, které způsobí rozpojení stykačů. V reálném případě máme zapojeno několik sériově propojených bezpečnostních tlačítek po celé produkční lince. Bezpečnostní tlačítka jsou zapojena v logice N.C. (normally close) z důvodu možného poškození kabelu, které by se vyhodnotilo jako nebezpečí a rozpojilo stykače. Sériově zapojení stykačů je z důvodu možného spečení kontaktů. Mohlo by dojít k tomu, že by jeden ze stykačů byl stále sepnutý i při neaktivní cívce tohoto stykače.

Ovšem díky sériovému zapojení se druhý stykač rozezne, přes který napájecí proud již nebude procházet. Pravděpodobnost toho, že by se dva stykače spekly naráz a obvod byl stále pod napětím považují za mizivou.

### 5.2.2 Zapojení jističů

Na rozváděčové desce máme více než 20 kusů jisticích prvků, které jsou umístěny na čtyřech DIN lištách pod sebou rozdělené kabelovými žlaby. Pro zjednodušení přívodního zapojení jističů jsou použity tzv. propojovací jazýčkové hřebeny. Propojovací hřebeny jsou plastové lišty, ve kterých jsou umístěny měděné pláty pro každou fázi zvlášť s jazýčkovými výběžky. Tyto hřebenové lišty se vkládají pod hlavu šroubu jističe do horní části dvojdílné svorky a nezabírají prostor v dolní části svorky. Díky tomu umožňují snadné připojení přívodních vodičů. Hřebenová lišta by měla být připojována z horní strany jističe. V opačném případě se může jistič (především bimetal uvnitř) ohřívat sálavým teplem z lišty, což může vést k nesprávnému vypínání jističe.

Namontované hřebenové lišty nám zjednodušují práci při připojování přívodních vodičů. Pokud by nebylo využito hřebenového zapojení, museli bychom zapojit každý jednotlivý jistič po jednotlivé fázi. V případě více jističů nám hřebenové propojení umožní přivést pouze tři lankové vodiče (pro každou fázi zvlášť L1, L2, L3) do každé řady jističů. Zbylé jističe v řadě budou napájeny díky hřebenové liště, která je zapojena v horní svorkovnici jističů a měděné pláty s jazýčkovými výběžky zajišťují pravidelné střídání třech fází. Určitým způsobem také hřebenové zapojení eliminuje chybu lidského faktoru při zapojování jednotlivých fází. Mohlo by se například stát, že na třífázový jistič přivedeme špatně vodiče, tedy například prohození fází mezi sebou a tím by došlo ke zkratu. Jednotlivé fáze přívodního zapojení jističů je vyvedeno ze stykačů.

### 5.2.3 Napájení frekvenčních měničů

Při zapojování napájení frekvenčních měničů musíme dbát na umístění svorkovnice pro přívodní napájení a zátěž (motor). Značení můžeme najít přímo na frekvenčních měničích. Přívodní napájení se většinou značí jako R, S, T, nebo L1, L2, L3. Zátěž připojíme na svorkovnici, která je většinou značena jako U, V, W, nebo T1, T2, T3. Ovšem jistější bude vyhledat přesný použitý typ měniče v příslušném manuálu. V našem případě se přívodní napájení na všech měničích nachází shora „Input terminals“, kam přivedeme přívodní napájení z jisticích prvků a zátěž zespoda „Output terminals“, kde budou připojeny asynchronní motory. Všechny frekvenční

měníče budou zapojeny dle manuálu viz obr. 12. Zapojení se neliší dle výkonnostní kategorie (do 11 kW měničů), ani v případě jednofázové či třífázové napájecí sítě.

Obr. 12: Schéma silového zapojení měniče řady VFD-E

### 1.1.3 Series Number Explanation

**007E23A 0T 08 01 1230**

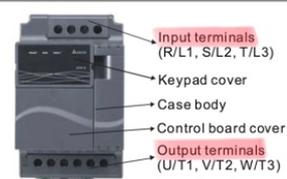
- 007E23A: Model
- 0T: Production number
- 08: Production week
- 01: Production year 2008
- 1230: Production factory

T: Taoyuan, W: Wujiang

230V 3-phase 1HP(0.75kW)

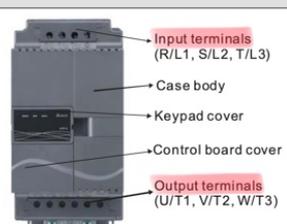
If the nameplate information does not correspond to your purchase order or if there are any problems, please contact your distributor.

#### 1-5HP/0.75-3.7kW (Frame B)



- VFD007E11A, VFD015E21A,
- VFD022E21A/23A/43A,
- VFD037E23A/43A,
- VFD007E11C, VFD015E21C,
- VFD022E21C/23C/43C,
- VFD037E23C/43C,

#### 7.5-15HP/5.5-11kW (Frame C)



- VFD055E23A/43A,
- VFD075E23A/43A,
- VFD055E23C/43C,
- VFD075E23C/43C,
- VFD110E23A/23C,
- VFD110E43A/43C,

### 1.1.4 Drive Frames and Appearances

#### 0.25-2HP/0.2-1.5kW (Frame A)



- VFD002E11A/21A/23A,
- VFD004E11A/21A/23A/43A,
- VFD007E21A/23A/43A,
- VFD015E23A/43A,
- VFD002E11C/21C/23C,
- VFD004E11C/21C/23C/43C,
- VFD007E21C/23C/43C, VFD015E23C/43C,
- VFD002E11T/21T/23T,
- VFD004E11T/21T/23T/43T,
- VFD007E21T/23T/43T, VFD015E23T/43T,
- VFD002E11P/21P/23P,
- VFD004E11P/21P/23P/43P,
- VFD007E21P/23P/43P, VFD015E23P/43P

Zdroj: [9]

Tato část je velmi důležitá, ve které si musíme být naprosto jistí. Každý frekvenční měnič má toto zapojení individuální a svorkovnice pro napájení či zátěž se může nacházet jinde. Korrectnost zapojení je velmi důležitá, jelikož při nesprávném zapojení zařízení, tedy při prohození napájení se zátěží dojde k nevratnému poškození frekvenčního měniče.

## 6 Finální zapojení rozváděče na místě

Po realizaci rozváděčové skříně na dílně byl tento rozváděč dopraven přímo na místo, kde se produkční linka nachází. Rozváděč je ukotven pomocí kotevnických šroubů hned vedle rozvodné skříně, ze které bude přivedeno hlavní napájení naší technologie. Nyní je potřeba do rozváděče zavést silové kabely od všech asynchronních motorů rozmístěných po celé produkční lince a také signálové více žilové kabely od různých čidel a ventilových bloků. Tyto kabely jsou vedeny kabelovými žlaby, které jsou umístěny po obvodu linky. Ukotvený a připravený rozváděč můžeme vidět na obr. 13.

*Obr. 13: Rozváděč*



### 6.1 Připojení motorů k frekvenčním měničům

Jednotlivé asynchronní motory jsou k frekvenčním měničům připojeny stíněnými kabely CYKFY. Jednotlivé silové kabely jsou umístěny ve společných kabelových žlabech. Z tohoto důvodu je důležité použití stíněných kabelů, jelikož poté se kabely navzájem neovlivní rušivým

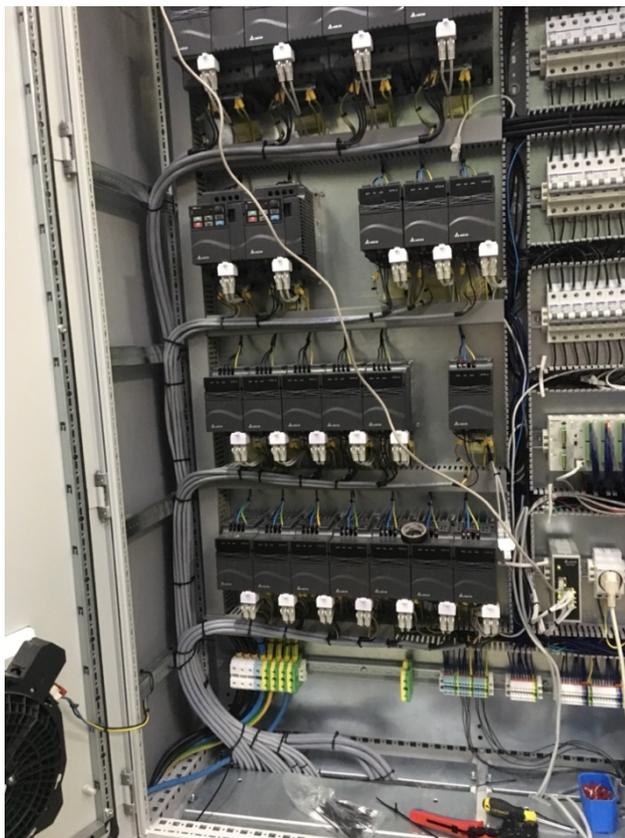
magnetickým polem. Dále stíněné silové kabely do okolí nevyzařují elektromagnetické pole, které by mohlo mít za následek rušení dalších zařízení. V blízkosti jsou totiž vedeny kabely s analogovými signály a komunikační sériovou linkou RS-485.

Po natahání kabelů od rozváděče k jednotlivým motorům si nejdříve dle tab. 2 „*Dimenzování frekvenčních měničů*“ zapojíme všechny asynchronní motory. Motory máme možnost zapojit dle schématu zapojení do hvězdy nebo trojúhelníku viz blíže v podkapitole 4.1.2 *Zapojení satorové svorkovnice*. Na straně motoru zapojujeme pouze svorky jednotlivých fází, které jsou vyvedeny na jedné straně svorkovnice jako U1, V1, W1 a zemnicí vodič kostry motoru. Na druhé straně svorkovnice jsou na svorky vyvedeny konce vinutí cívek elektromotoru jednotlivých fází U2, V2, W2.

Stínění u motorů odštípeme a zaizolujeme, připojení stínění kabelu provedeme na straně frekvenčních měničů. Ve většině případů se doporučuje použít jednostranné uzemnění stínění z důvodu zamezení zemní smyčky, která má za následek zhoršení účinku stínění. Pro oboustranné uzemnění se využívá speciálních kabelů.

Nyní provedeme připojení kabelů na straně frekvenčních měničů. Jednotlivé kabely od motorů připojíme na výstupní svorkovnici daného měniče. Svorkovnice pro zátěž může být označena jako U; V; W, ale také T1; T2; T3 viz obr. 12 „*Schéma silového zapojení měniče řady VFD-E*“ z podkapitoly 5.2.3. *Napájení frekvenčních měničů*. Tento krok je velice důležitý a je třeba minimálně dvakrát zkontrolovat, jelikož při prohození vstupní a výstupní svorkovnice, tedy záměna síťového napájení se zátěží, dojde k nevratnému poškození frekvenčního měniče. Jednotlivé vodiče kabelu připojíme na svorkovnici frekvenčního měniče ve stejném sledu fází jako na asynchronním motoru  $U1 = U (T1)$ ,  $V1 = V (T2)$ ,  $W1 = W (T3)$ . Dále ke žlutozelenému zemnicímu vodiči při zapojení na zem měniče přidáme již zmíněné stínění. Vyrovnané a již připojené silové kabely k jednotlivým frekvenčním měničům v rozváděči znázorňuje obr. 14.

Obr. 14: Připojení asynchronních motorů k měničům



## 6.2 Nastavení parametrů frekvenčního měniče VFD-E

Pro manuální odzkoušení asynchronního motoru nám postačí na měniči nastavit štítkové údaje motoru, způsob ovládání a provozní parametry, které nastavujeme pomocí tzv. digitální klávesnice viz podkapitola 4.2.3 *Parametrizování VFD-E*. Před samotným nastavováním doporučuji nejprve měnič restartovat do továrního nastavení na 50 Hz. V parametru 00.02 zvolíme 9, což nám resetuje všechny parametry do továrního nastavení pro 50 Hz (230 V / 400 V). Nyní nastavíme individuálně parametry (*Tab.3: Základní parametry frekvenčního měniče*) každého frekvenčního měniče dle připojeného asynchronního motoru pro odzkoušení následujícím způsobem:

### 1. Nastavení parametrů štítkových údajů motoru

Zde v parametrech 07.00 – jmenovitý proud (A), 01.02 – jmenovité napětí (V), 01.01 – jmenovitá frekvence (Hz) nastavíme správně hodnoty, které vyčteme ze štítkových údajů každého asynchronního motoru.

## 2. Způsob ovládání

Parametrem 02.00 nastavíme, jakým způsobem budeme zadávat řídicí frekvenci. Pro manuální odzkoušení nastavíme 4 – potenciometr klávesnice. V případě následného automatizovaného řízení frekvenčních měničů pomocí PLC se tento parametr nastaví na 3 – RS-485, což nám umožní zapisovat řídicí frekvenci systémově. Parametr 02.01 nastavuje, jakým způsobem budeme ovládat spouštění a vypínání měniče (RUN / STOP). Tento parametr nastavíme na 0, což nám umožní RUN / STOP skrze digitální klávesnici přímo na měniči. V případě zmíněného automatizovaného řízení tento parametr nastavíme na 1, což nám umožní spuštění / vypnutí externě digitálními vstupy na měniči pomocí výstupů z PLC. Vypnutí a resetování měniče je ovšem stále možné přes klávesnici.

## 3. Provozní parametry

Parametr 01.00 udává maximální provozní frekvenci, kterou nastavíme stejně jako jmenovitou frekvenci a to 50 Hz. Dalšími parametry 01.09 a 01.10 určíme rozběhovou a doběhovou rampu v sekundách, zde můžeme nechat hodnotu továrního nastavení.

Výše zmíněné tři základní skupiny nastavení parametrů jsou dostačující pro to, abychom mohli manuálně otestovat jednotlivé asynchronní motory pomocí frekvenčních měničů díky manuálnímu ovládání za pomoci digitální klávesnice. Ovšem reálně jsou asynchronní motory spouštěny a regulovány pomocí řídicího systému (PLC). Zapnutí / vypnutí je řízeno kombinací hardwarových digitálních vstupů (M1 a M2) na měniči a frekvence pomocí komunikačního protokolu Modbus po sériové lince RS-485. Pro tento způsob řízení je třeba upravit parametry 02.00 = 3 (zdroj frekvence RS-485) a 02.01 = 1 (start / stop externími vstupy). Dále je třeba nastavit parametry 09.00 (komunikační adresa), 09.01 (přenosová rychlost) a 09.04 (komunikační protokol) pro komunikaci frekvenční měnič–PLC. Po nastavení těchto komunikačních parametrů můžeme skrze Modbus protokol komunikovat do frekvenčního měniče a různě měnič nastavovat / regulovat vzdáleně pomocí řídicího systému.

### 6.3 Odzkoušení asynchronních motorů

Jednotlivé asynchronní motory můžeme začít napájet skrze příslušný frekvenční měnič po stisknutí tlačítka RUN na digitální klávesnici. Před tímto krokem doporučuji potenciometr na klávesnici stáhnout na úplné minimum otočením směrem doleva z důvodu zajištění nulové napájecí frekvence. Na digitální klávesnici by měla svítit kontrolka u nápisu RUN. Nyní

můžeme postupně zvyšovat frekvenci asynchronního motoru, pokud nám to připojená mechanika k motoru dovolí, pro jeho odzkoušení. Kdykoli můžeme stisknout tlačítko STOP pro okamžité zastavení motoru. Také nám digitální klávesnice po zastavení motoru umožňuje v hlavním menu přepnout chod motoru na opačnou stranu. Můžeme tedy asynchronní motor zapnout stylem „forward“ a „reverse“. Při chodu sledujeme, jestli je směr rotace motoru v pořádku. Dále jestli motor běží plynule bez jakýchkoliv vibrací či většího hluku. Také zkusíme plynulost nastavených rozběhových a doběhových ramp. Tímto způsobem postupně otestujeme funkčnost všech připojených asynchronních motorů k frekvenčním měničům až po správném individuálním parametrizování každého z nich.

V našem případě testování všech 22 motorů proběhlo v pořádku bez jakýchkoliv provozních alarmů. Pouze nastaly úpravy v mechanických částech při tomto zkoušení, které byly v některých případech neseřizené či povolené. Ovšem všechny asynchronní motory byly v pořádku a nevykazovaly jakékoliv známky chybovosti, které by vedly k nefunkčnosti či přetěžování frekvenčních měničů.

## 7 Závěr

Většina práce byla zaměřena na problematiku dimenzování a návržení regulačních napájecích zdrojů pohonných jednotek pro příslušné součásti linky. Dále samotná realizace rozváděčové skříně pro umístění a zapojení regulačních zdrojů a dalších potřebných prvků pro řízení sušicí linky.

Jako regulační napájecí zdroje byly použity frekvenční měniče řady VFD-E tchajwanské firmy Delta Electronics, která je distribuována firmou ProfCom, s.r.o. pro ČR a SR. Tento typ frekvenčního měniče byl použit z důvodu našich předešlých zkušeností v jiných projektech podobného charakteru a patřičné cenové atraktivnosti v poměru cena / výkon. V takovémto množství frekvenčních měničů, jako bylo použito u tohoto projektu, se přívětivější cena za kus zásadně projeví ve finální cenové nabídce a automatizace výrobního procesu může být tím dostupnější i méně majetným zákazníkům, kteří chtějí zlepšit a zefektivnit určitý výrobní proces pomocí automatizace.

Všechna očekávání zákazníka byla splněna a produkční linka byla zprovozněna do plně automatického režimu. Rozváděč byl na místě odzkoušen a všechny součásti linky a jejich pohonné jednotky napájené regulačními zdroji byly úspěšně dimenzovány. Jediný problém, který se vyskytl, byla špatně funkční mechanická část dopravníkového, sušicího pásu. Dopravníkový pás se po své délce posouval na poháněných ohýbacích válcích k jedné straně. Tento problém byl následně vyřešen pomocí rovnacího algoritmu ohýbacích válců v řídicím systému.

Tato práce popisuje nejdůležitější základní kroky pro komplexní řízení a regulaci asynchronních motorů frekvenčními měniči. Výsledek této práce, tedy rozváděč osazený potřebnými komponenty umožňuje toto komplexní řízení a regulaci sušicí linky. Zákazníkovi se zjednodušila obsluha této sušicí linky o několik lidí a celková komfortnost používání. Zastaralá elektronika, neefektivní řízení a regulace byla nahrazena moderní průmyslovou automatizací. V této práci se využívá aktuálně nejnovějších komponentů pro komplexní řízení a regulaci pohonných jednotek.

## 8 Seznam použitých zdrojů

- [1] ANDRT, Miroslav. *Technika a technologie pro chov zvířat. 1. vyd.* Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2011. ISBN 978-80-213-2164-9
- [2] FLAJTINGR, Jiří, KULE, Lumír a Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky. *Elektrické pohony se střídavými motory a polovodičovými měniči.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005. s. 13. ISBN 80-7043-354-X. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:41403930-9333-11e3-8b69-005056825209>
- [3] BARTOŠ, Václav. *Elektrické stroje.* Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2004. s. 66. ISBN 80-7043-332-9. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:54888588-3253-405b-a1b8-c168f9e65e4b>
- [4] RYDLO, Pavel a Katedra elektrotechniky. *Řízení elektrických střídavých pohonů.* V Liberci: Technická univerzita, 2006. s. 46. ISBN 80-7372-117-1. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:d1a38020-6c7b-11e7-94b3-005056825209>
- [5] BERKA, Štěpán. *Elektrotechnická schémata a zapojení, 2: Řídící, ovládací a bezdrátové prvky.* Praha: BEN – technická literatura, 2010. sv. 2 s. 90. ISBN 9788073002541. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:72d14010-d7c6-11e4-a19f-001018b5eb5c>
- [6] BULGAKOV, Aleksej Aleksejevič. *Řízení asynchronních motorů měniči frekvence.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. s. 99. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:00c7e3e8-4743-4541-b9e2-a5a16d90869e>
- [7] PITTERMANN, Martin a Elektrotechnická fakulta. *Elektrické pohony: základy.* V Plzni: Západočeská univerzita, 2008. s. 49. ISBN 978-80-7043-729-2. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:05b7d410-d210-11e3-85ae-001018b5eb5c>
- [8] MYLMS. *Zapojení a základní nastavení frekvenčního měniče* [online]. 2016 [cit. 2021-2-2]. Dostupné také z: <https://www.mylms.cz/zapojeni-a-zakladni-nastaveni-frekvencniho-menice/#vybermenice>
- [9] DELTA ELECTRONICS, Inc. *VFD-E: Sensorless Vector Control Compact Drive* [online]. 2016. Dostupné také z: <https://downloadcenter.deltaww.com/en-US/>

- [10] HRADÍLEK, Zdeněk a Fakulta elektrotechniky a informatiky. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2008. s. 61–62. ISBN 978-80-248-1696-8. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:14613368-9149-49bb-b457-7330a6cb62c1>
- [11] KOUDELKA, Ctirad. *Rozváděče a rozvodnice* [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2002. Dostupné také z: <http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/FAST/rozvadece.pdf>
- [12] SCHNEIDER ELECTRIC. *Machine safety products: Safety relays* [online]. 2014. Dostupné také z: <https://download.schneider-electric.com/>