



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

REPASE ŘÍDICÍHO SYSTÉMU NA PŘEPRAVU GRANULÁTU

CONTROL SYSTEM OVERHAUL OF A GRANULATE TRANSPORT EQUIPMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtech Minčík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

BRNO 2022

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Automatizační a měřicí technika**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Vojtech Minčík

ID: 221004

Ročník: 3

Akademický rok: 2021/22

NÁZEV TÉMATU:

Repase řídicího systému na přepravu granulátu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je navrhnout a realizovat repasi řídicího systému na přepravu granulátu:

1. Zdokumentujte původní řešení řídicího systému včetně výhod a nevýhod.
2. Stručně popište způsob přepravy granulátu a definujte požadavky na nové řešení.
3. Navrhněte způsob repase řídicího systému a zdůvodněte navržené řešení z technického i ekonomického hlediska (řízení na bázi PLC, výměna výkonových relé za SSR).
4. Zdokumentujte realizované řešení (rozvaděč, schéma zapojení, řídicí program).
6. Zhodnoťte dosažené výsledky.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] Dokumentace zadavatele ke stávajícímu řídicímu systému.
- [2] Dokumentace k použitým komponentám.

Termín zadání: 7.2.2022

Termín odevzdání: 23.5.2022

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Fiedler, Ph.D.

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

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá návrhom a repasáciou podtlakového nasávacieho systému, ktorý bol súčasťou dávkovacieho zariadenia extrúdera od firmy Reifenheuser. V prvej časti je popísaná pneumatická preprava, jej hlavné časti a možnosti riadenia. Ďalej sa práca zaoberá zhodnotením pôvodného riešenia riadiaceho systému, jeho výhodami a nevýhodami, požiadavkami na modernizáciu od zadávateľa a návrhmi na jeho realizáciu. Posledná časť sa zameriava na výber vhodných komponentov a následne na finálnu realizáciu celého projektu, ktorý sa skladá z návrhu rozvádzača, vytvorenia elektrotechnickej dokumentácie a naprogramovania PLC.

Kľúčové slova

Repasácia, modernizácia, pneumatická preprava granulátu, riadenie podtlakového nasávacieho systému, SSR, PLC, Eplan, easySoft.

Abstract

This thesis deals with the design and overhaul of the suction system which was part of the extruder dosing device from Reifenheuser. The first part describes the pneumatic transport and its main parts and control possibilities. Moreover, the thesis deals with the evaluation of the original solution of the control system, its advantages and disadvantages, the requirements for modernization from the client and proposals for its implementation. The last part focuses on the selection of suitable components and subsequently on the final implementation of the entire project, which consists of the design of the switchboard, the creation of electrical documentation and PLC programming.

Keywords

Overhaul, modernization, pneumatic conveying of granulate, vacuum suction control system, SSR, PLC, Eplan, easySoft.

Bibliografická citace

MINČÍK, Vojtech. *Repase řídicího systému na přepravu granulátu*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/142690>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Petr Fiedler.

Prohlášení autora o původnosti díla

Jméno a příjmení studenta: *Vojtech Minčík*

VUT ID studenta: *221004*

Typ práce: *Bakalářská práce*

Akademický rok: *2021/22*

Téma závěrečné práce: *Repase řídicího systému na přepravu granulátu*

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne: 13. května 2022

podpis autora

Pod'akovanie

Rád by som sa pod'akoval vedúcemu práce pánovi doc. Ing. Petrovi Fiedlerovi, Ph.D. a tiež konzultantovi pánovi Ing. Pavlovi Minčíkovi za odborné vedenie a námety, ktoré pomohli zvýšiť kvalitu tejto práce.

V Brne dňa: 13. mája 2022

podpis autora

OBSAH

OBSAH	7
ZOZNAM OBRÁZKOV	8
ZOZNAM TABULIEK	9
ÚVOD	10
1. PNEUMATICKÁ PREPRAVA GRANULÁTU	11
1.1 VŠEOBECNÝ POPIS PNEUMATICKÝCH PREPRAVNÝCH SYSTÉMOV	11
1.2 HLAVNÉ ČASTI PNEUMATICKÝCH PREPRAVNÝCH SYSTÉMOV	12
1.3 PODTLAKOVÉ SYSTÉMY	13
1.3.1 Riadenie podtlakového systému	13
2. PÔVODNÉ RIEŠENIE RIADIACEHO SYSTÉMU	15
2.1 ČASOVÉ RELÉ	17
2.2 VÝKONOVÉ RELÉ	18
2.3 ZHODNOTENIE PÔVODNÉHO STAVU	19
3. NÁVRH RIEŠENIA RIADIACEHO SYSTÉMU	20
3.1 POŽIADAVKY NA NOVÉ RIEŠENIE	20
3.2 NÁVRHY MODERNIZÁCIE	20
3.3 NÁVRH RIADENIA	21
4. VÝBER KOMPONENTOV	22
4.1 VÝBER VHODNÉHO PLC A ROZŠIRUJÚCICH MODULOV	22
4.2 VÝKONOVÉ SPÍNACIE PRVKY	23
4.3 OVLÁDACIE PRVKY	26
4.4 SNÍMAČE A AKČNÉ ČLENY	28
4.5 NAPÁJANIE	28
4.5.1 Hlavný vypínač	28
4.5.2 Poistkový odpojovač	28
4.5.3 Zdroje	29
4.6 CENOVÉ ZHODNOTENIE	30
5. REALIZÁCIA	31
5.1 USPORIADANIE MONTÁŽNEJ DOSKY A VÝBER ROZVÁDZAČA	31
5.1.1 Chladienie skrine	32
5.2 ELEKTROTECHNICKÁ DOKUMENTÁCIA	33
5.3 RIADIACI SOFTVÉR	33
5.3.1 EasySoft	33
5.3.2 Hardvérová konfigurácia PLC	33
5.3.3 Program	34
ZÁVER	37

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obrázok 1.1: Všeobecný nákres systému na pneumatickú prepravu [4].....	12
Obrázok 1.2: Zapojenie podtlakového systému používaného na prepravu granulátu [6]	14
Obrázok 2.1: Bloková schéma pracovného cyklu pôvodného riadiaceho systému.....	16
Obrázok 2.2: Varianty inicializácie časového relé.....	17
Obrázok 2.3: Pôvodné riešenie riadiaceho systému.....	19
Obrázok 3.1: Bloková schéma pracovného cyklu nového riadiaceho systému.....	21
Obrázok 4.1: Závislosť $A_i = f(p)$ u podtlakových systémov. Merná práca pri izotermickej kompresii u podtlakových systémov, prevzaté z [14].	24
Obrázok 4.2: Osciloskopické meranie rozbehového prúdu	25
Obrázok 4.3: Principiálna schéma SSR [15].....	26
Obrázok 4.4: Čelný pohľad na ovládací panel.....	27
Obrázok 4.5: Napájací zdroj 10 VDC	29
Obrázok 5.1: Rozloženie montážnej dosky.....	31
Obrázok 5.2: Oteplenie rozvádzača simulované v programe SchrackDesign.....	32
Obrázok 5.3: Hardvérová konfigurácia EasyE4.....	33
Obrázok 5.4: Funkčné bloky využité pri tvorbe programu	34
Obrázok 5.5: Displej PLC.....	36
Obrázok 5.6: Vytvorený funkčný blok	36

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 2.1: Časové relé [7]	18
Tabuľka 2.2: Výkonové relé [9].....	18
Tabuľka 4.1: Hlavný modul [11]	22
Tabuľka 4.2: Rozširujúci modul [12].....	23
Tabuľka 4.3: SSR [15].....	26
Tabuľka 4.4: Signalizácia stavov	27
Tabuľka 4.5: Relé Finder 38.51.7.024.0050 [17].....	28
Tabuľka 4.6: Cenová kalkulácia	30
Tabuľka 5.1: Stratový výkon jednotlivých komponentov.....	32

ÚVOD

Táto práca nadväzuje na semestrálny projekt [1].

Dôležitou činnosťou mnohých výrobných prevádzok sa v poslednom čase stáva repasovanie použitých zariadení. Repasovanie vyplýva predovšetkým z prísnych environmentálnych predpisov, zo zvýšeného povedomia zákazníkov o otázky životného prostredia a tiež z ekonomických výhod, ktoré repasovanie prináša. Ako priemyselný proces sa repasácia zameriava na obnovu použitých zariadení na zariadenia kvalitatívne porovnateľné s novými zariadeniami. Všeobecný proces repasácie zahŕňa štyri kľúčové procesy: kontrolu, demontáž, prepracovanie komponentov a opätovnú montáž [2].

Cieľom tejto práce je navrhnúť nové riešenie riadiaceho systému podtlakového systému na prepravu granulátu podľa požiadaviek zadávateľa.

V prvej časti sa práca venuje teoretickej rešerši pneumatickej prepravy granulátu. Jednotlivé podkapitoly tejto časti sú zamerané na všeobecný opis týchto systémov, opis hlavných častí a detailnej charakteristiky podtlakových prepravných systémov a možnosti ich riadenia.

V ďalšej časti sa práca zaoberá zhodnotením pôvodného riešenia riadiaceho systému postaveného na časovom relé vo funkcii monostabilného klopného obvodu, kde bolo spínanie indukčnej záťaže realizované výkonovým relé.

Nasleduje potreba zhodnotenia pôvodného riešenia riadiaceho systému s jeho výhodami a nevýhodami, požiadavkami na modernizáciu od zadávateľa a možnými návrhmi na jeho realizáciu, aby sa zvýšila spoľahlivosť a splnila požiadavka na lepšiu prístupnosť zariadenia.

Posledná časť je zameraná na výber vhodných komponentov a následne na finálnu realizáciu celého projektu, ktorý sa skladá z návrhu rozvádzača, vytvorenia elektrotechnickej dokumentácie a naprogramovania PLC.

1. PNEUMATICKÁ PREPRAVA GRANULÁTU

Suché granulované tuhé látky – v našom prípade polyetylén (PE) môžeme prepravovať niekoľkými spôsobmi. Čoraz viac spoločností na produkciu plastových výrobkov prechádza od mechanickej ku pneumatickej preprave. Dôvodom je, že pneumatická preprava má v porovnaní s mechanicou prepravou niekoľko výhod. Prvou hlavnou výhodou je, že sa dá ľahšie nakonfigurovať pomocou flexibilných potrubí, aby sa prispôbili existujúcej technológii. To znamená, že systémy na prepravu granulátu zaberajú menej miesta ako mechanické dopravníky, ktoré majú v zásade priamu dopravnú cestu. Za ďalšiu výhodu možno považovať to, že zdroj energie môže byť na jednom mieste, na rozdiel od dopravníkov, kde treba napájanie doviesť zvlášť ku každému pohonu.

1.1 Všeobecný popis pneumatických prepravných systémov

Pneumatická preprava je proces prepravy, kde sa sypké časticové materiály pohybujú v rámci potrubného systému prúdom stlačeného vzduchu na horizontálne a vertikálne vzdialenosti. Prepravu sypkých časticových materiálov môžeme opísať podľa rôznych klasifikácií pneumatického systému a spôsobmi prúdenia týchto častíc. Prepravné systémy môžeme rozdeliť na systémy pretlakové (fúkanie), podtlakové (vákuum), kombináciu oboch alebo systém uzavretej slučky, kde vzduch ako nosné médium cirkuluje dokola [3].

Pevné častice môžu byť prepravované rôznymi spôsobmi, ktoré sa týkajú pomeru medzi hmotnostným prietokom pevných častíc a hmotnostným prietokom dodávaného vzduchu počas prepravy. Režimy sa často delia na hustú fázu a zriedenú fázu [3].

Hustá fáza – znížením rýchlosti plynu môžeme prepravovať sypké materiály rozvrstveným režimom s nerovnomernou koncentráciou pevných látok po priereze potrubia. Materiál je tlačný potrubím ako zátka, ktorá zaberá celý prierez potrubia alebo ako pohyblivé lôžko na vzdialenosť závislú od tlaku [3].

Zriedená fáza – niekedy označovaná aj ako chudobná fáza vo všeobecnosti využíva veľké objemy plynu pri vysokých rýchlostiach. Prúd plynu unáša sypké materiály pomocou vztlakových a ťažných síl pôsobiacich na jednotlivé častice. Táto fáza predstavuje najpoužívanejší systém zo všetkých pneumatických prepravných systémov [3].

1.2 Hlavné časti pneumatických prepravných systémov

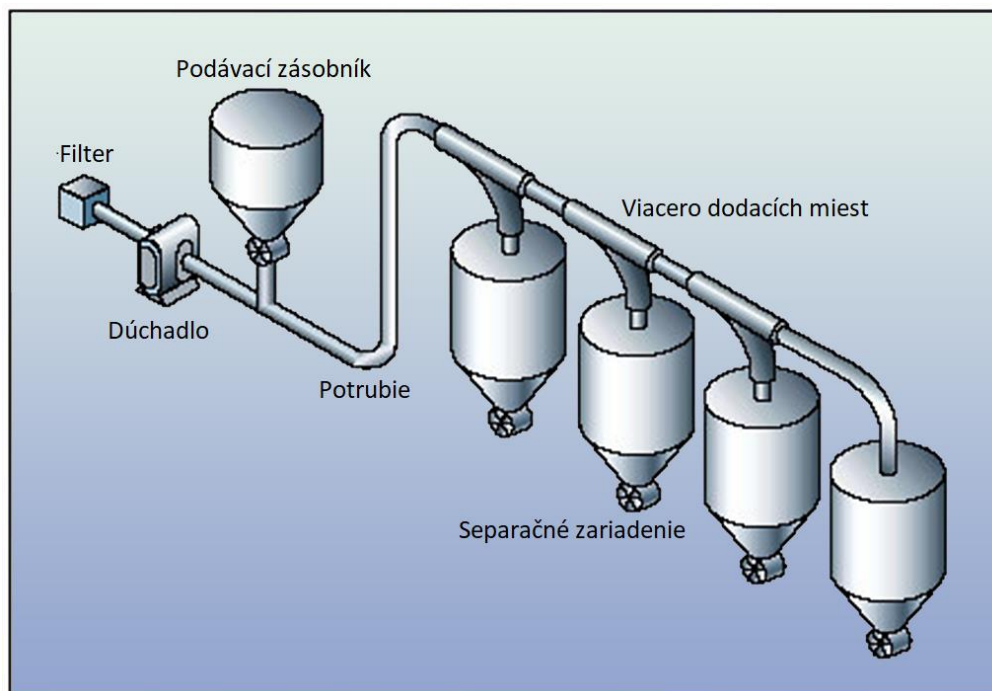
Aby mohol pneumatický prepravný systém správne plniť svoju funkciu, je zostavený z niekoľkých základných komponentov. Štandardný pneumatický prepravný systém zvyčajne tvoria tieto štyri hlavné časti [4]:

Zdroj energie – na zabezpečenie potrebnej energie prepravného média. Tu sa ako hlavný pohon používajú rôzne typy kompresorov, ventilátorov, dúchadiel a vákuových čerpadiel.

Mechanizmus plnenia – na podávanie tuhých častíc na dopravnú linku, používa sa podávací mechanizmus, napríklad rotačný ventil či skrutkový podávač.

Prepravná linka – pozostáva zo všetkých častí potrubia vedeného horizontálne alebo vertikálne, z ohybov a ďalších pomocných komponentov ako sú napríklad ventily a klapky.

Separáčné zariadenie – na konci prepravnej linky musí byť pevná látka oddelená od prúdu vzduchu, v ktorom bola prepravovaná. Na tento účel sa zvyčajne používajú cyklóny a rôzne typy filtrov [4].



Obrázok 1.1: Všeobecný náčrt systému na pneumatickú prepravu [4]

1.3 Podtlakové systémy

Vo všeobecnosti sa podtlakové systémy používajú na prepravu materiálu z niekoľkých napájacích miest do spoločného zberného miesta. Keďže prevádzka zahŕňa použitie odsávacích zariadení rôzneho druhu, tieto zariadenia sú obmedzené na vzdialenosť a kapacitu prepravovaného materiálu [3].

Na prepravu sa najčastejšie využíva podtlak alebo vákuum. Využitie nájdú pri nakladaní materiálu, vykladaní lodí, ako centrálny vysávače alebo odsávače. U týchto systémov je veľmi dôležité umiestnenie filtra pred odsávacím zariadením, ktorý zadržiava nečistoty a predlžuje životnosť zariadenia. Odsávacie zariadenie býva umiestnené na konci celého obvodu (viď Obrázok 1.2).

Výhodou tohoto systému je, že všetok vzduch sa nachádza vo vnútri systému, čo znamená, že vypúšťanie prachu a prepravovaného materiálu do ovzdušia je takmer nulové. Z tohoto dôvodu sa často používa na prepravu nebezpečných látok.

Nevýhodou tohoto systému je, že v prípade prenosu materiálu na väčšiu vzdialenosť je potrebné umiestniť viacero odsávacích zariadení stupňovito za sebou. Toto usporiadanie je nutné k dosiahnutiu dostatočného podtlaku v prenose [5].

1.3.1 Riadenie podtlakového systému

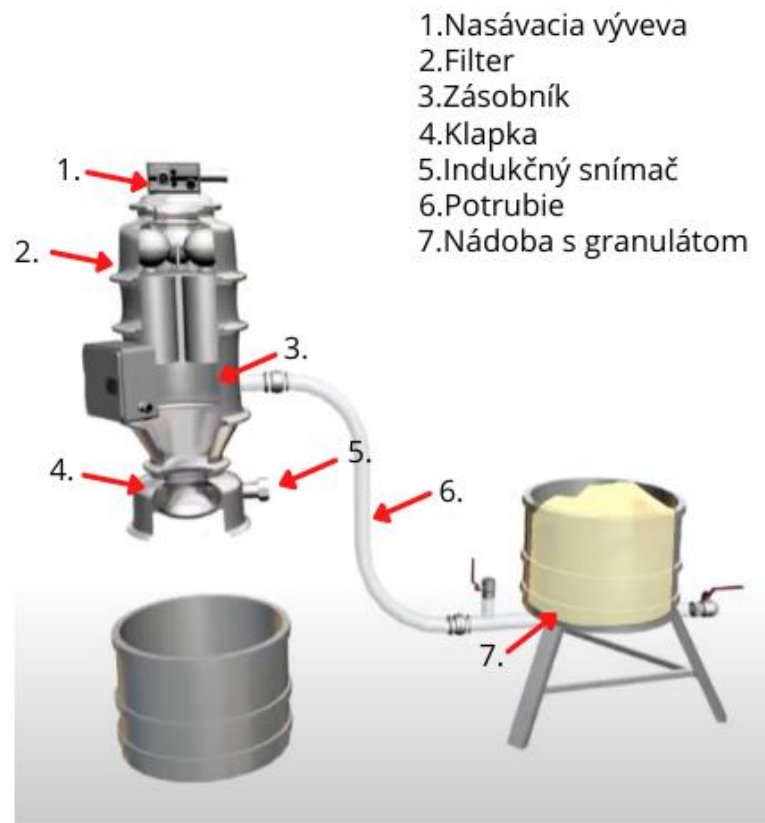
Spúšťacím impulzom pre nasávanie je zavretie klapky – pozícia 4 ako ukazuje Obrázok 1.2. V prípade, že zariadenie bolo vypnuté a klapka bola zavretá pri zapnutí a spúšťacím impulzom je nábežná hrana zavretia klapky, riadiaci systém sa môže spustiť zapnutím t.j. privedením napájacieho napätia alebo pomocou tlačidla, ktoré nahradzuje klapku. Intenzitu a spôsob nasávania možno riadiť niekoľkými spôsobmi.

Základným spôsobom je riadenie pomocou doby nasávania. Nastavuje sa tak, aby sa čo najlepšie využil objem zásobníka. Využíva sa tu plný výkon motora. Je to poväčšine komutátorový motor podobný vysávaču, ale kvalitnejšej konštrukcie, takej, aby vydržal prevádzku s častým zopínaním. Motor je umiestnený priamo na zásobníku (viď Obrázok 1.2), pozície 1 a 3. Naplnenie nádoby pri tejto konštrukcii trvá 20 až 30 sekúnd. Prestávka medzi nasávaniami môže byť od cca jednej minúty až po niekoľko desiatok minút. Závisí to od toho, aký typ materiálu sa nasáva. Výkon týchto nasávacích systémov predstavuje okolo 100 kg/hod. Na jedno nasatie prepraví 2 až 3 kg materiálu podľa veľkosti zásobníka. V prípade primárneho materiálu môže byť doba medzi nasávaniami krátká. Primárneho materiálu sa spotrebuje minimálne 70 % z celkového množstva nasatého materiálu. Nevýhodou tohto spôsobu je použitie komutátorového motora. Pri tomto type motora dochádza k opotrebeniu uhlíkov a aj samotného komutátora a zároveň pri jeho činnosti vzniká pomerne vysoké teplo. Toto teplo odvádza vzduch, ktorý sa odlúči

na filtri. Pri postupnom upchávaní filtra sa intenzita ochladzovania znižuje a zároveň sa znižuje aj výkon nasávania. Výhodou tohto spôsobu je jeho jednoduchosť a kompaktnosť.

Ďalší spôsob predstavuje využitie vývevy poháňanej asynchrónnym motorom. Na vstupe vývevy sú umiestnené membránové pneumatické ventily, ktoré otvárajú alebo blokujú trasu nasávania na povel od klapiek v jednotlivých nasávacích nádobách. Prioritu otvárania riadi elektronika – PLC. Výveva ako zdroj nasávania sa využíva tam, kde je potrebné nasávať dva a viac materiálov. Tento spôsob riadenia nasávania je zložitejší na mechanickú konštrukciu. Zdroj energie – výveva s asynchrónnym motorom pri porovnateľnom výkone je niekoľko násobne ťažšia ako komutátorový motor. Jeho výhodou pri dobrej starostlivosti je takmer neobmedzená životnosť. Problematickou súčasťou sú pneumatické membránové ventily, kde sa postupom času unaví membrána. Životnosť membrány je ale niekoľkokrát vyššia ako životnosť komutátorového motora.

Iným spôsobom riadenia je riadenie intenzity nasávania pomocou zmeny otáčok motora, prípadne škrténím vzduchu na výduchu pomocou tzv. irisovej clony. Tento spôsob sa využíva veľmi málo, lebo je problematické odhadnúť potrebnú energiu na dopravu materiálu, ktorá je závislá hlavne od jeho hmotnosti a tvaru trasy. Využíva sa skôr na kontinuálne zásobovanie, ktoré nie je prerušované klapkou.

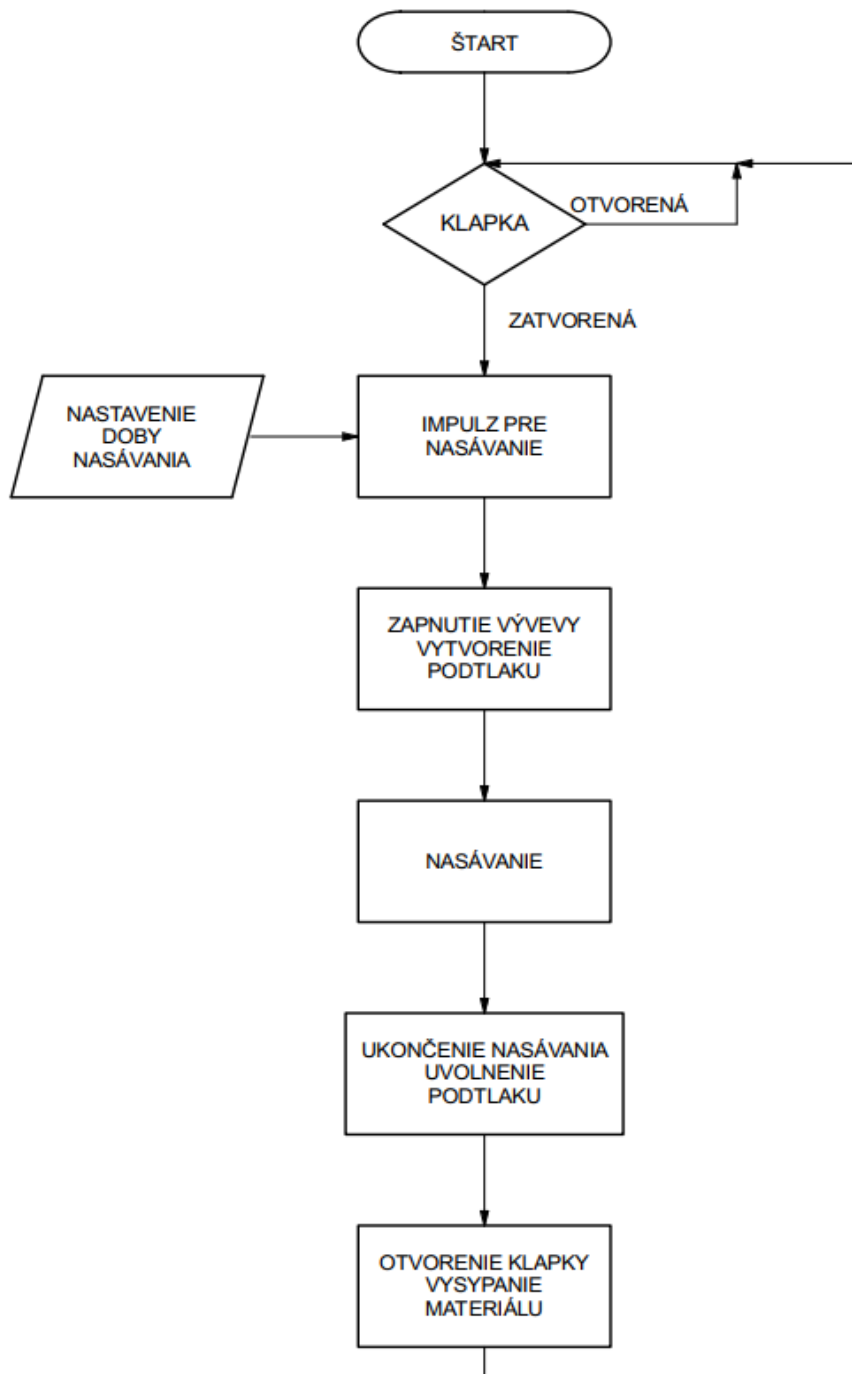


Obrázok 1.2: Zapojenie podtlakového systému používaného na prepravu granulátu [6]

2. PŔVODNÉ RIEŠENIE RIADIACEHO SYSTÉMU

Riadenie bolo realizované pomocou časového relé, ktoré bolo vo funkcii monostabilného klopného obvodu. Monostabilný klopný obvod (MKO) je obvod s jedným stabilným stavom a s jedným nestabilným stavom. V stabilnom stave môže zotrvať neobmedzene dlhú dobu, avšak v nestabilnom stave len určitú prechodnú dobu. Zo stabilného stavu do nestabilného stavu sa obvod dostáva pôsobením krátkeho vonkajšieho impulzu od snímača klapky. Dĺžka nestabilného stavu – doby nasávania sa dá nastavovať pomocou externého potenciometra na skrinke. Volila sa tak, aby za čas 20 až 30 sekúnd došlo k naplneniu záchytnej nádoby. Táto doba v prevažnej miere závisela od hmotnosti nasávaného materiálu. Vzhľadom k tomu, že výstupné kontakty štandardného časového relé nie sú schopné dlhodobo zopínať veľkú záťaž, ktorá je v našom prípade 1kW, boli doplnené o výkonové relé. Veľkou nevýhodou tohoto riešenia bolo, že u výkonového relé prichádzalo k opaľovaniu kontaktov, lebo spínalo indukčnú záťaž. To malo za následok, že buď zlepiť kontakty a motor šiel stále a poväčšine zhorel, alebo kontakty opálilo tak, že nedošlo k zopnutiu motora. V tomto prípade sa stávalo, že sa minul materiál a prišlo k prerušeniu výroby. Údržba musela v pravidelných intervaloch kontrolovať stroj a vymieňať už spomínané výkonové relé. Ďalšou nevýhodou tohto riešenia bolo, že neobsahovalo žiadne signalizačné prvky, ktoré by signalizovali jeho poruchu, prípadne poruchu v nasávaní. Porucha v nasávaní mohla vzniknúť z niekoľkých príčin. Najčastejšou príčinou bolo upchatie nasávacej hubice, v druhom rade upchatie filtra. Ďalšími príčinami mohli byť netesnosti v potrubí, ktoré spôsobovali nízku účinnosť nasávania. Táto porucha mala za následok časté zopínanie relé a tým aj jeho skoré opotrebenie.

Zariadenie malo aj svoje výhody a to, že bolo veľmi jednoduché. Inou výhodou bolo, že ak vo firme bolo viac takýchto rovnakých zariadení, bolo možné v prípade potreby toto zariadenie ľahko premiestniť na iný stroj. Pracovný cyklus začínal, keď sa klapka zavrela a indukčný jazýčkový snímač dal impulz pre nasávanie časovému relé. Vtedy došlo k zopnutiu vývevy a vytvoreniu podtlaku potrebného na prepravenie materiálu. Nasávanie sa ukončilo po vopred nastavenom čase. Došlo k uvoľneniu podtlaku čo malo za následok otvorenie klapky a vysypanie materiálu, ukazuje to Obrázok 2.1: Bloková schéma pracovného cyklu pôvodného riadiaceho systému.



Obrázok 2.1: Bloková schéma pracovného cyklu pôvodného riadiaceho systému

2.1 Časové relé

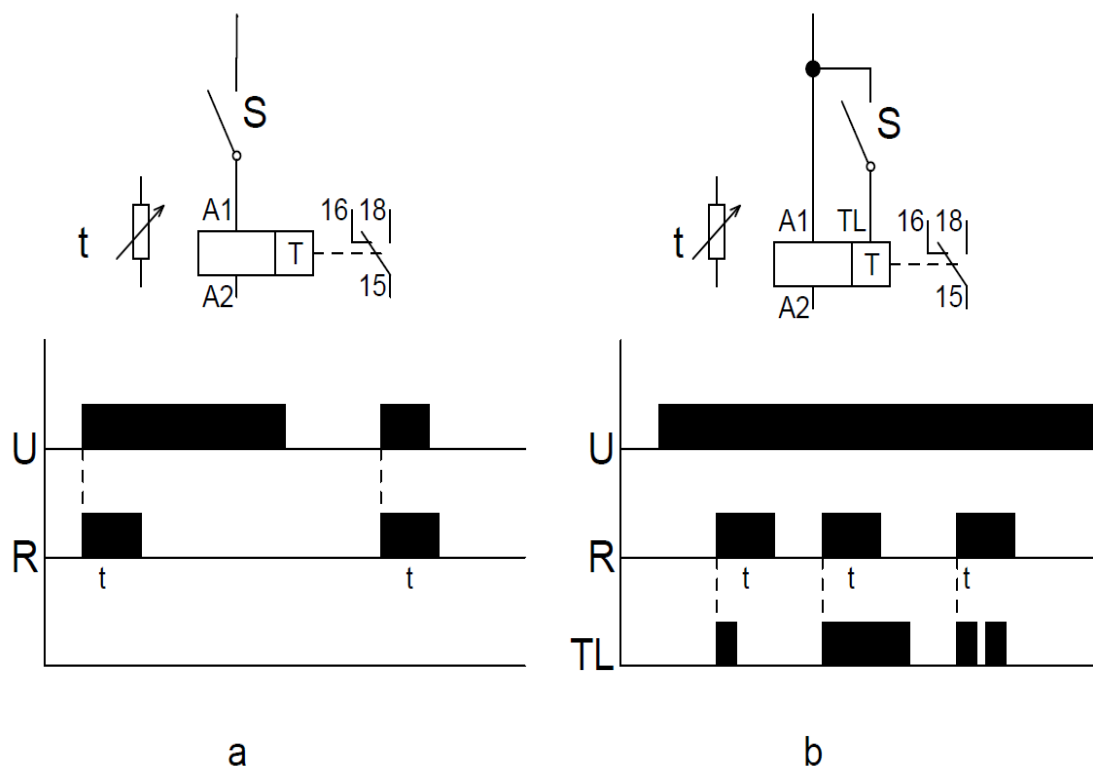
Časové relé je kombináciou elektromechanického výstupného relé a riadiaceho obvodu. Ich účelom je riadiť časovo závislý proces na podnet vstupného impulzu. Kontakty na časovom relé sa zopnú alebo rozopnú pred alebo po vopred zvolenom časovom intervale.

Časové relé sa najčastejšie vyskytujú v dvoch základných prevedeniach.

Prvý možný spôsob (Obrázok 2.2, variant a) je, že po privedení napájacieho napätia cez spínač S na relé, vykoná svoju funkciu. Tu sa inicializácia vykoná zopnutím napájacieho napätia.


V prípade druhého možného spôsobu (Obrázok 2.2, variant b), časové relé je trvalo pripojené pod napätie a svoju funkciu vykoná, keď zaznamená na vstupe TL impulz privedený cez spínač S.

V oboch prípadoch sa jedná o funkciu monostabilného klopného obvodu. Doba impulzu „t“ sa nastavuje pomocou príslušného potenciometra.



Obrázok 2.2: Varianty inicializácie časového relé


Tabuľka 2.1: Časové relé [7]

Výrobca	Crouzet	
Typ	88 888 137	
Časový rozsah	0,6 až 60 sekúnd	
Napájacie napätie	230 VAC	
Počet kontaktov	2x prepínací	
AC-1 maximálny spínaný výkon	250 VA	
Elektrická životnosť AC-1 (počet zopnutí)	10 ⁵	

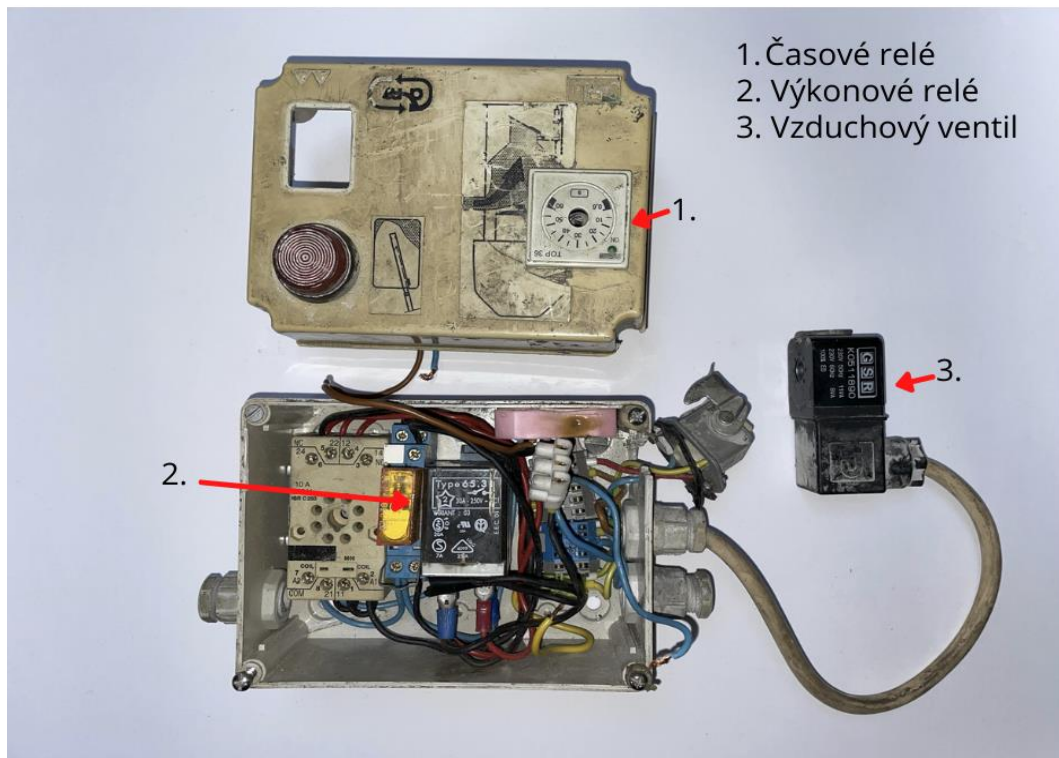
2.2 Výkonové relé

Výkonové relé predstavuje zariadenie, ktoré používa elektromagnet na otvorenie alebo zatvorenie obvodu, keď je vstup (cievka) správne vybudený. Poskytujú vysokú úroveň izolácie medzi riadiacim signálom (cievka) a výstupom (kontakty) – typicky s menovitým impulzným napätím 4 alebo 6 kV. Rovnako ako všetky elektromechanické relé, výkonové relé používa malý elektrický prúd (zvyčajne desiatky miliampérov) na ovládanie kontaktov elektromechanického spínača, ktorý riadi oveľa väčší prúd. Pre výkonové relé je tento prúd zvyčajne viac ako 10 ampérov, vďaka čomu sú zariadenia vhodné pre aplikácie s vyššími prúdmi [8].

Tabuľka 2.2: Výkonové relé [9]

Výrobca	Finder	
Typ	65.31	
Napájacie napätie	230 VAC	
Počet kontaktov	1 prepínací	
AC-1 maximálny spínaný výkon	5000 VA	
AC-3 1 fázový motor (230VAC)	1,1 kW	
Elektrická životnosť AC-1 (počet zopnutí)	80 * 10 ³	

2.3 Zhodnotenie pôvodného stavu



Obrázok 2.3: Pôvodné riešenie riadiaceho systému

Nasávací systém, ktorý bolo požadované zrepasovať, bol súčasťou dávkovacieho zariadenia extrúdera od firmy Reifenhuser. Bol navrhnutý a vyrobený pred viac ako tridsiatimi rokmi a pozostával z troch samostatných nasávacích nádob. Tieto nasávacie nádoby boli umiestnené asi vo výške troch metrov nad zemou na dávkovacom zariadení. Ich obsluha a údržba sa vykonávala z rebríka, čo bolo značne nepraktické.

Riadiaca elektronika pôvodného nasávacieho zariadenia pozostávala hlavne z elektromechanických spínacích prvkov a bola umiestnená priamo na nádobe, do ktorej sa zachytával nasávaný materiál. Obrázok 2.3 ukazuje, že pôvodné riešenie riadiaceho systému vplyvom neodbornej obsluhy a údržby stratilo svoju funkčnosť, hlavne čo sa týka bezpečnej prevádzky. Z pôvodných troch nádob sa zachovala len jedna a bolo požadované spojzduť všetky. Keďže sa nedali vždy zohnať rovnaké náhradné diely, tak sa vnútorné zapojenie veľa krát menilo. Funkcia sa prácne zisťovala po konzultácii s obsluhou stroja, lebo sa nezachovala dokumentácia vzhľadom k veku a častému sťahovaniu stroja. Nebola zrejماً napríklad funkcia vzduchového ventilu – Obrázok 2.3, pozícia 3. Jedna jeho funkcia mohla byť, že slúžil na uvoľnenie podtlaku v nasávacej nádobe po ukončení nasávania, aby došlo k otvoreniu vyprázdňovacej klapky. Druhá funkcia mohla byť, aby sa pri návrate klapky do východzej – zavretej polohy sfúkol prilepený materiál a nedochádzalo tak k prisávaniu falošného vzduchu, ktorý znižuje účinnosť nasávania.

3. NÁVRH RIEŠENIA RIADIACEHO SYSTÉMU

3.1 Požiadavky na nové riešenie

Po konzultácii so zadávateľom a analýze pôvodného zapojenia bolo hlavnou požiadavkou zvýšiť spoľahlivosť a prístupnosť ovládania. Ako sa v predchádzajúcej kapitole spomínalo, spoľahlivosť sa mala týkať hlavne častej výmeny elektromechanických spínacích prvkov. Čo sa týka ovládania, malo by byť umiestnené tak, aby obsluha mohla jednoducho zapnúť alebo vypnúť požadované zariadenie, zmeniť dobu nasávania, prípadne jednoducho skontrolovať jeho funkčnosť bez nutnosti použiť rebrík.

Ďalšou požiadavkou bola možnosť signalizovať prevádzkové stavy zariadenia ako zapnutie zariadenia, stav klapky otvorená – zatvorená, alebo, že zariadenie nenasalo materiál. Taktiež vhodnosť docielenia flexibility riadiaceho systému, aby sa tento dal presunúť v rámci prevádzky na iné dávkovacie zariadenia.

3.2 Návrhy modernizácie

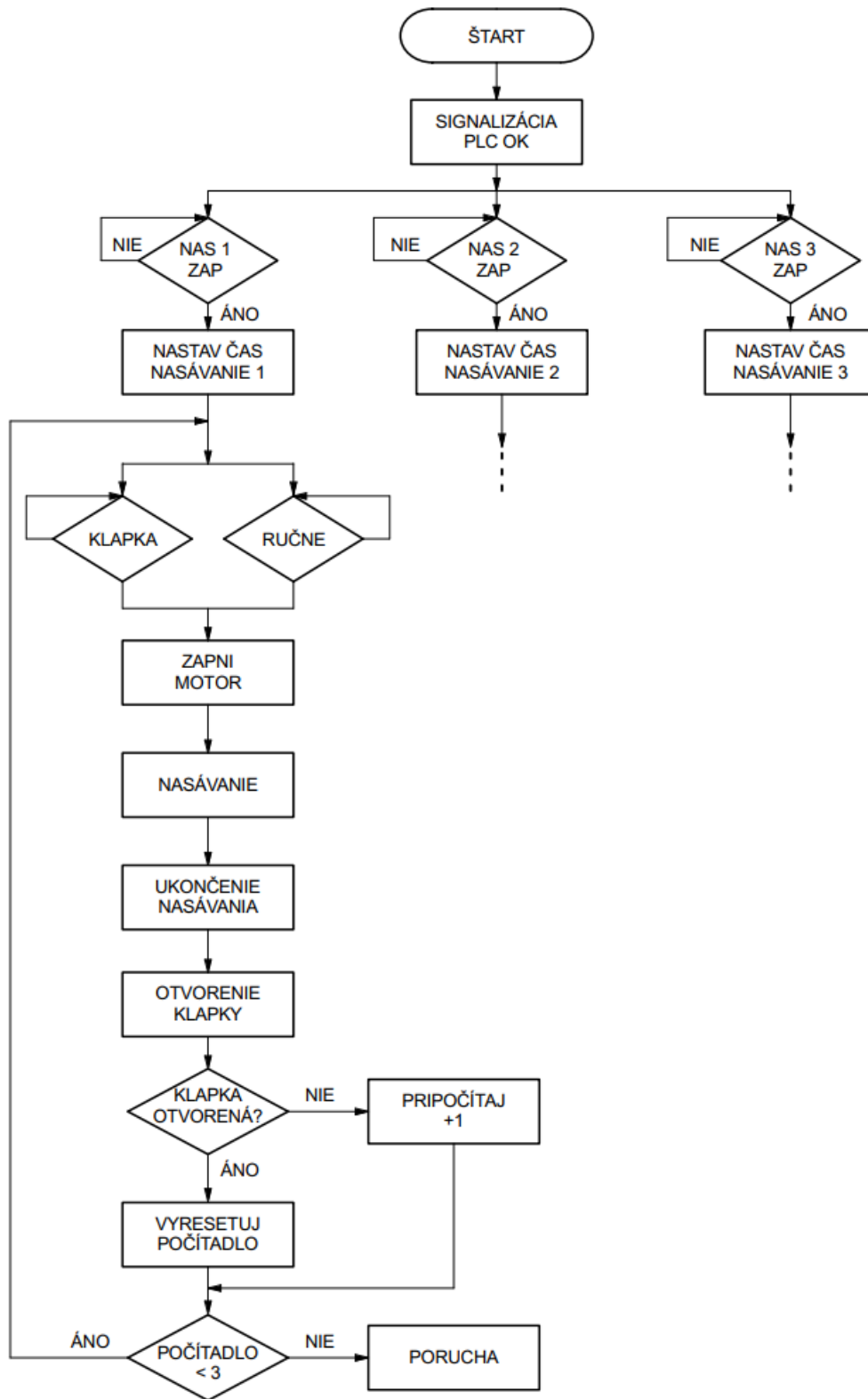
Z požiadaviek na návrh nového ovládania nasávania nám vyplynulo niekoľko možných riešení.

Najjednoduchším riešením pri splnení požiadaviek na spoľahlivosť a prístupnosť ovládania by bolo nahradiť elektromechanické výkonové relé polovodičovým spínacím prvkom typu SSR a umiestniť ovládaciú skrinku tak, aby sa nachádzala v dobrom dosahu obsluhy. Riadiacim prvkom by bolo multifunkčné časové relé vo funkcii monostabilného klopného obvodu. Toto riešenie však nevedelo splniť ďalšie požiadavky ako sú signalizácie stavov. Malo by ale jednu výhodu a to takú, že každá nasávacia jednotka by mala svoju riadiacu skrinku.

Ďalšou možnosťou realizácie je vytvorenie vlastného riadiaceho systému na báze jednočipových mikropočítačov ATMEL, Microchip prípadne na báze Arduina. Toto riešenie by však bolo jednoúčelové a vzhľadom k tomu, že sa jednalo o jednorazovú zákazku, tak sa od tejto možnosti ustúpilo.

Pri porovnaní cien multifunkčných časových relé a jednoduchých programovateľných automatov ako sú easyE4 od firmy Eaton, LOGO od Siemensu, ALPHA od Mitsubishi atď., by bolo ich využitie ďalším spôsobom riešenia. Navyše sú výhodné v naprogramovaní sekvencií, ktorými sa dajú ošetriť rôzne prevádzkové stavy zariadenia. Jedno takéto inteligentné relé je schopné obslúžiť dve a viac nasávacích zariadení podľa konfigurácie. Popritom vie splniť aj ďalšie požiadavky na riešenie, ako napríklad signalizáciu stavu klapky, stavu nasávania, či otestovanie funkčnosti nasávacieho motora. V nasledujúcej podkapitole 3.3 je zobrazený vývojový diagram pre návrh riadenia realizovateľnom na takomto jednoduchom programovateľnom relé.

3.3 Návrh riadenia



Obrázok 3.1: Blokovaná schéma pracovného cyklu nového riadiaceho systému

4. VÝBER KOMPONENTOV


4.1 Výber vhodného PLC a rozširujúcich modulov

Aby som splnil požiadavky zadávateľa potrebujem zvolit' vhodné PLC, ktoré bude mať dostatok vstupov a výstupov, aby obsiahlo riadenie troch nasávacích výjev v automatickom a ručnom režime, riadenie doby nasávania a taktiež aby spĺňalo podmienku na signalizáciu poruchy. Pre moju úlohu som potreboval 12 digitálnych vstupov na pripojenie šiestich tlačidiel, troch potenciometrov a troch signálov od snímačov klapky. Na signalizáciu, riadenie nasávacích výjev a riadenie ofuku klapiek som potreboval celkovo 11 digitálnych výstupov. Po detailnejšom prechádzaní katalógových listov výrobcov a na odporúčanie zadávateľa mi na moju aplikáciu najlepšie vychádzalo PLC od firmy Eaton, konkrétne model Easy-E4-DC-12TC1.


Riadiaci modul tohto PLC obsahuje 8 digitálnych vstupov a 4 tranzistorové výstupy. Vstupy I5 až I8 sú navyše využiteľné aj ako analógové s rozsahom 0 ÷ 10 V a s rozlíšením 12 bitov. Tieto vstupy som použil na zadávanie času nasávania pomocou potenciometru. K vybranému PLC som ešte pridal rozširujúci modul Easy-E4-DC-16TE1, ktorý obsahuje ďalších 8 digitálnych vstupov a 8 tranzistorových výstupov. Vybrané PLC navyše disponuje ethernetovým rozhraním a teda rôznymi možnosťami komunikácie, ako napríklad easyNET, Modbus TCP (klient alebo server) a SmartWire-DT master. Ethernetové rozhranie navyše umožňuje využívať integrovaný webový server pre vzdialené ovládanie a vizualizáciu. Teda ponúka možnosť pripojiť zariadenie do siete a napríklad spätne skontrolovať, či nastala nejaká porucha. V prípade potreby sa bude dať v budúcnosti pripojiť až 11 vstupno-výstupných rozširujúcich modulov pomocou Push-in svorky. Na vytváranie projektov slúži program easySoft, ktorý ponúka možnosť výberu zo štyroch programovacích jazykov (EDP, LD, FBD, ST). Projekty sa dajú ukladať na SD kartu a pomocou tlačidiel a displeja sa dajú robiť drobné úpravy v programe [10].

Tabuľka 4.1: Hlavný modul [11]

Výrobca	Eaton
Typ	Easy-E4-DC-12TC1
Napájacie napätie	24 V DC
Počet rozširiteľných modulov	Až 11
DI	8, z toho 4 AI
DO	4 (tranzistor)
Komunikácia	Ethernet
Display	Áno
Cena [€]	130

The image shows the Eaton Easy-E4-DC-12TC1 PLC module. It is a white, rack-mountable device with a front panel featuring a small LCD display, several blue buttons (DEL, ALT, ESC, OK), and a terminal block at the top for input connections. The model name 'EATON Easy-E4-DC-12TC1' is printed on the front. The top terminal block is labeled with input numbers I1 through I12 and a 'DC 24V' label. The bottom of the device shows output terminals labeled Q1 through Q4.

Tabuľka 4.2: Rozširujúci modul [12]

Výrobca	Eaton	
Typ	Easy-E4-DC-16TE1	
Napájacie napätie	24 V DC	
DI	8	
Napät'ová úroveň pre "log. 0"	0 až 5 V DC	
Napät'ová úroveň pre "log. 1"	15 až 24 V DC	
DO	8 (tranzistor)	
Spínaný prúd	0,5 A	
Cena [€]	90	

4.2 Výkonové spínacie prvky

Ako som spomínal v predchádzajúcej kapitole, najjednoduchším a najspoľahlivejším spôsobom je nahradiť súčasné elektromechanické výkonové relé za polovodičové spínacie prvky typu SSR, keďže sa jedná o časté a rýchle zopínanie nasávacej vývevy. Konkrétne sa jedná o vysávačový motor Domel 492.3.778-4 [13], s príkonom 1200 W a sacím výkonom 450 W. Aby som overil, že tento sací výkon je dostatočný na prepravu 100 kg materiálu za hodinu som použil výpočet sacieho výkonu podľa F. Dražana: Manipulace s materiálom [14].

Množstvo vzduchu potrebného na prepravu materiálu vyjadríme vzťahom:

$$V_v = \frac{Q_v}{3600 * \delta} * \frac{\rho}{\rho_{vz}} \quad (1)$$

Kde: V_v – množstvo vzduchu potrebného na prepravu [$m^3 \cdot s^{-1}$],
 Q_v – prepravované množstvo materiálu [$m^3 \cdot h^{-1}$],
 ρ – objemová hmotnosť materiálu [$kg \cdot m^{-3}$],
 ρ_{vz} – merná hmotnosť vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$],
 δ – zmiešavací pomer, pre podtlakovú prepravu zvyčajne 1 – 5.

Praktickým odmeraním PE granulátu som zistil, že 1 liter materiálu má hmotnosť 450g. Z toho vyplýva, že 100 kg bude mať objem 222 litrov.

Potom $Q_v = 0,22 m^3 \cdot h^{-1}$.

Objemová hmotnosť PE je $\rho = 930 kg \cdot m^{-3}$.

Merná hmotnosť vzduchu $\rho_{vz} = 1,29 kg \cdot m^{-3}$.

Po dosadení do vzťahu (1) vyjde $V_v = 0,044 m^3 \cdot s^{-1}$.

V_P – množstvo vzduchu potrebného pre príkon zdroja (pri atmosférickom tlaku):

$$V_P = 1,1 * V_V \quad (2)$$

Kde: V_P – množstvo vzduchu potrebného pre príkon zdroja [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

V_V – množstvo vzduchu potrebného na prenos [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Teda v našom prípade $V_P = 0,0484$ [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$].

Príkon zdroja tlakového vzduchu sa stanoví zo vzťahu:

$$P = \frac{A_i * V_P}{\mu_C} \quad (3)$$

Kde: P – príkon zdroja tlakového vzduchu [W],

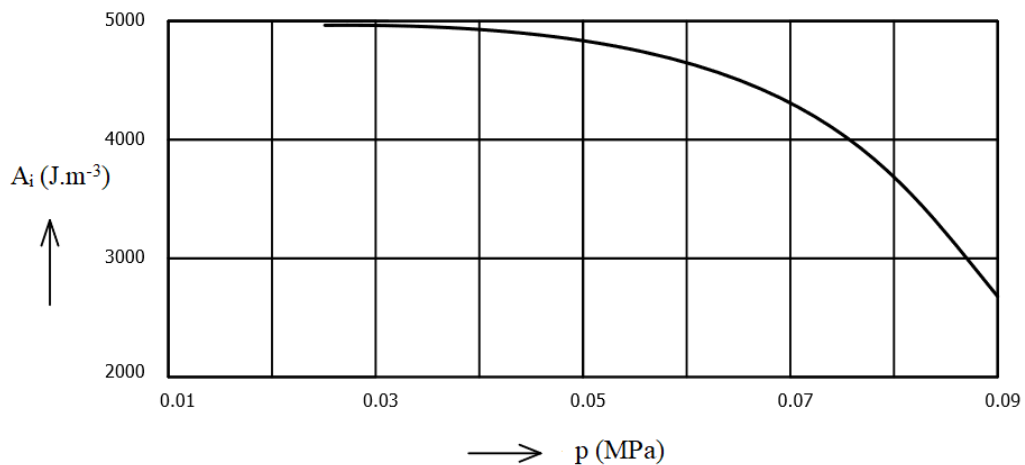
A_i – merná práca pri izotermickej kompresii [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$],

V_P – množstvo vzduchu potrebného pre príkon zdroja [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$],

μ_C – celková účinnosť zdroja, obvykle 0,6 – 0,8 [-].

Z grafu závislosti $A_i = f(p)$ u podtlakových systémov (vid' Obrázok 4.1) som odčítal mernú prácu pri izotermickej kompresii $A_i \sim 4800$ [$\text{J} \cdot \text{m}^{-3}$].

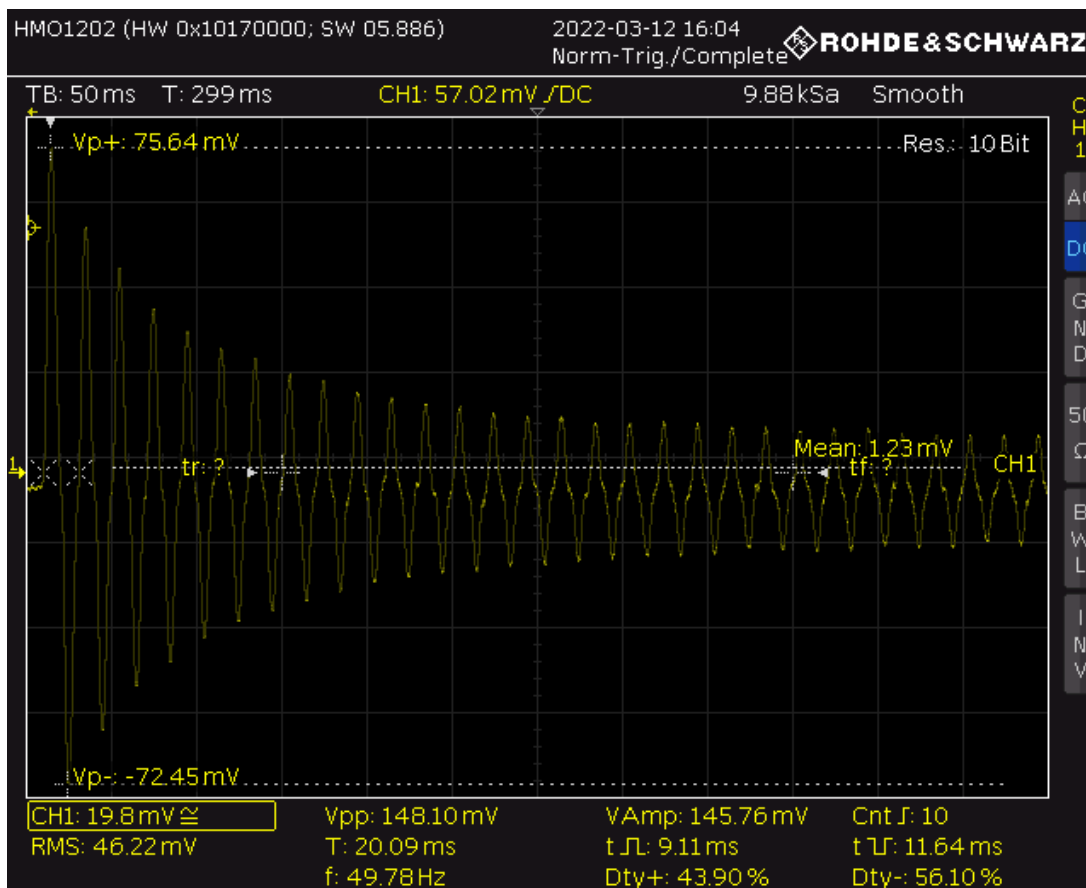
Potom príkon zdroja tlakového zdroja bude $P = 384$ [W].



Obrázok 4.1: Závislosť $A_i = f(p)$ u podtlakových systémov. Merná práca pri izotermickej kompresii u podtlakových systémov, prevzaté z [14].

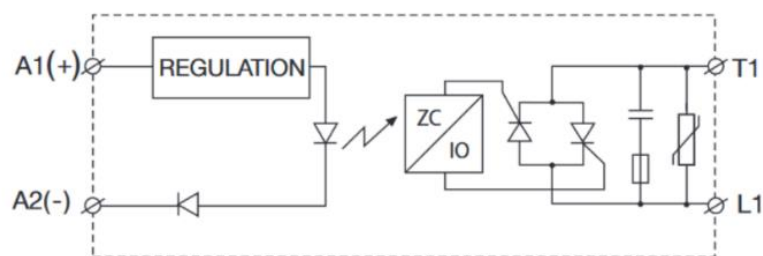
Výpočet sacieho výkonu je teoretický a zanedbáva vplyv dĺžky trasy, priemer potrubia a tlakové straty, ale je zrejmé, že sací výkon nasávacej vývevy je dostačujúci na prepravu 100 kg materiálu za hodinu.

Dôležitým parametrom pre výber vhodného SSR je poznať rozbehový prúd motora. Ten sa dá odmerať pomocou osciloskopu a prúdovej sondy, poprípade kliešťového ampérmetru. V našom prípade som použil osciloskop Rohde&Schwarz HMO1202 spolu s prúdovou sondou TP-CC600. Sondy som nastavil na rozsah 200 A, kedy nám dáva výstup AC/DC 1mV/A. Z osciloskopického merania môžeme pozorovať, že rozbehový prúd nasávacieho motora je 75,64 mV čo odpovedá 75,64 A a prevádzkový prúd je 7 mV, čo odpovedá 7 A. To zodpovedá teórii, že rozbehový prúd je približne 10 násobkom pracovného prúdu. Obrázok 4.2 vyexportovaný z osciloskopu zobrazuje ako SSR spína v nule. Na overenie správnosti merania som použil ešte kliešťový ampérmetr Chauvin Arnoux F205 nastavený na AC meranie prúdu MAX peak - MIN peak. Príloha A. 1 zobrazuje celý priebeh merania a overenie správnosti výsledkov získaných z osciloskopu využitím kliešťového ampérmetra, ktorým boli namerané podobné hodnoty.



Obrázok 4.2: Osciloskopické meranie rozbehového prúdu

Na našu úlohu som zvolil SSR od firmy Carlo Gavazzi, ktoré zvládne opakované preťaženie až 107 A. Maximálny prevádzkový prúd je 50 A, čiže zabezpečuje dostatočné predimenzovanie. Spínanie striedavej zátáže sa vykonáva pomocou antiparalelne zapojených tyristorov, ktoré sú, v porovnaní s inými spínacími komponentami, dobre známe svojimi vynikajúcimi vlastnosťami. Toto SSR má vo svojej riadiacej elektronike integrovaný aj zero crossing obvod (ZC), ktorý zabezpečuje spínanie v nule, čo výrazne minimalizuje rušenie a ovplyvňovanie ďalších elektronických obvodov. Na výstupe má integrovanú napäťovú ochranu realizovanú varistorom, teda aby pri rozopnutí obvodu nedošlo ku poškodeniu pripojeného ovládacieho obvodu. Navyše zvolené SSR disponuje RC členom na odrušenie napäťových špičiek. Vhodnosť výberu bola prekonzultovaná s technickou podporou distribútora (firma Enika).



Obrázok 4.3: Principiálna schéma SSR [15]

Tabuľka 4.3: SSR [15]

Výrobca	Carlo Gavazzi	
Typ	RGS1A60D50KKE	
Riadiace napätie U_c	4 – 32 V DC	
Menovité napätie U_e	600 V AC	
Maximálny prevádzkový prúd	50 A AC	
Prípustné opakované preťaženie	107 A AC	
Cena [€]	40	

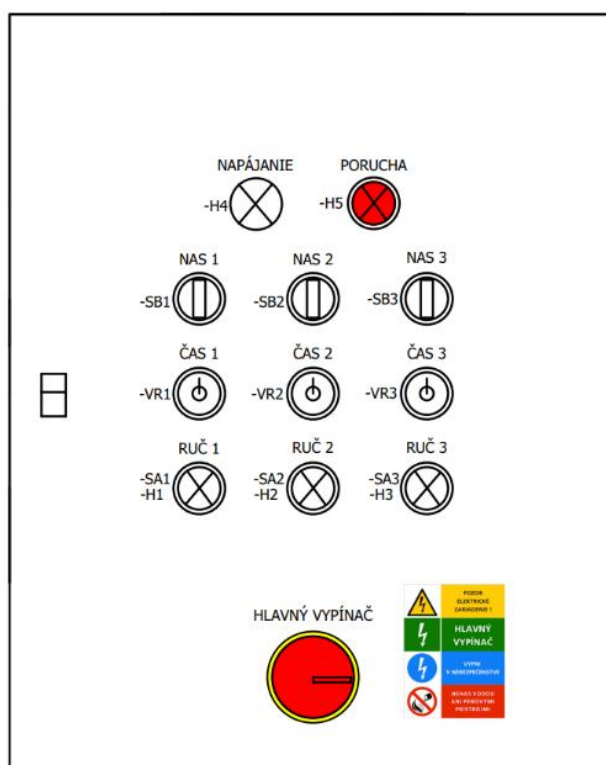
4.3 Ovládacie prvky

Obsluha má k dispozícii ovládací panel (vid' Obrázok 4.4) s celkovo šiestimi ovládacími prvkami a hlavným vypínačom. Tri z nich predstavujú otočné prepínače slúžiace na výber nasávacieho motora, zvyšné tri sú podsvietené a slúžia na ručné ovládanie nasávačov. Ďalej som na paneli umiestnil tri potenciometre na nastavenie dĺžky času nasávania.

Na signalizáciu som použil 3 podsvietené tlačidlá a 2 LED kontrolky. Jedna signalizuje, že zariadenie je pod napätím a druhá červená slúži na signalizáciu poruchy – teda keď nedôjde k opakovanému nasatiu materiálu. Obsluha si zvolí napríklad nasávač č.1 otočným prepínačom -SB1. V automatickom režime sa po zopnutí tohto prepínača, pokiaľ je klapka zavretá, automaticky spustí nasávanie. Nasávanie je signalizované tým, že kontrolka -H1 trvalo svieti. Ak je zariadenie pripravené na nasávanie, klapka je otvorená a vysýpa sa materiál, kontrolka -H1 bude pomaly blikať. Keď dôjde k poruche, tak kontrolka -H1 spolu s kontrolkou -H5 bude rýchlo blikať. Obsluha má možnosť skontrolovať aj funkčnosť nasávania ručne. Stlačením tlačidla príslušného nasávača môže spustiť nasávanie. V prípade, že klapka funguje správne, rozsvieti sa nám podsvietenie na tomto tlačidle trvalým svetlom a spustí sa nasávací motor. Ak sa nerozsvieti kontrolka, klapka nedoviera a je potrebné ju skontrolovať.

Tabuľka 4.4: Signalizácia stavov

Zobrazenie	Stav
Trvalo svieti	Nasáva
Pomaly bliká (1,33 Hz)	Klapka otvorená, zariadenie čaká
Rýchlo bliká (5 Hz)	Porucha




Obrázok 4.4: Čelný pohľad na ovládací panel

4.4 Snímače a akčné členy

Na nasávacích nádobách sa nachádzajú 3 magnetické jazýčkové senzory od firmy Aeco, konkrétne sa jedná o model SMC-12L [16]. Tieto senzory detegujú polohu klapky a posielajú signál na vstup PLC.

Galvanické oddelenie výstupných kontaktov PLC sa bežne realizuje pomocou relé. V mojom prípade som zvolil ľahko dostupné a bežne používané relé Finder 38.51.7.024.0050 [17].

Tabuľka 4.5: Relé Finder 38.51.7.024.0050 [17]

Výrobca	Finder	
Typ	38.51.7.024.0050	
Napájacie napätie	24 V DC	
Počet kontaktov	1 prepínací	
Max. spínací prúd	6 A	
Elektrická životnosť pri menovitom zaťažení AC1	$60 \cdot 10^3$	
Cena [€]	15	

4.5 Napájanie

4.5.1 Hlavný vypínač

Hlavný vypínač slúži predovšetkým na núdzové vypnutie prístroja. Vyberá sa podľa počtu odopínaných pólov a veľkosti menovitého prúdu. Na našu realizáciu bol zvolený silový vypínač Eaton T0-2-1/EA/SVB [18], s červenou otočnou rukoväťou a žltým poistným krúžkom, ktorý dokáže spínať maximálne 20 A.

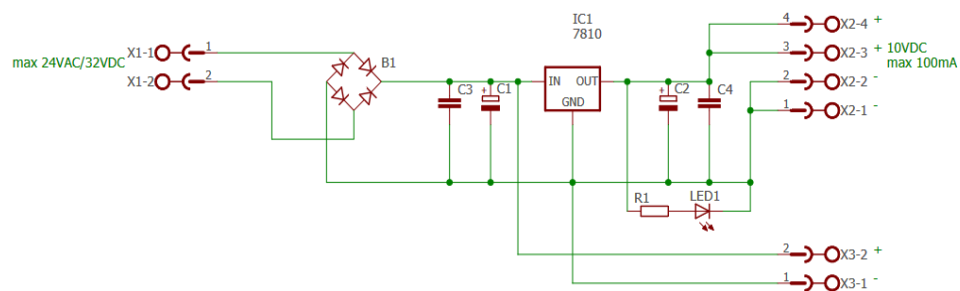
4.5.2 Poistkový odpojovač

Výrobca odporúča použiť valcové poistky s charakteristikou gR na istenie SSR. Na našu realizáciu som potreboval 3 – pólové prevedenie odpojovača OPV 10.

4.5.3 Zdroje

Pre napájanie riadiacich komponentov je okrem 230 VAC tiež potrebné napätie 24 VDC, ktoré zaisťuje napájací zdroj Omron S8VK-G06024 [19]. Jedná sa o 1-fázový napájací zdroj s výstupným napätím 24 V, výstupným prúdom 2,5 A a výstupným výkonom 60 W. Bol zvolený na základe požiadavky, že v budúcnosti by ním mohli byť napájané ďalšie doplnkové periférie, napríklad vzduchové ventily, ktoré by slúžili na čistenie klapky.

Na zadávanie analógovej hodnoty som využil vstupy I5 až I7, ktoré pracujú v rozsahu $0 \div 10$ V. Cez tieto vstupy sú pripojené potenciometre ako delič napätia. Pre ich činnosť je potrebný napájací zdroj 10 V DC, ktorý nie je bežne dostupný na trhu a bolo ho potrebné vyrobiť. Zdroj mi bol následne poskytnutý pre účely tejto realizácie. Analýzou princípu fungovania zdroja som zistil, že je postavený na bežne dostupnom integrovanom obvode 7810, kde je brané vstupné napájacie napätie zo zdroja 24 V DC. Vnútorne zapojenie zdroja je realizované podľa doporučeného zapojenia výrobcu a jeho schéma s pridanou signalizáciou výstupného napätia 10 V DC bola nakreslená v programe Eagle (viď Obrázok 4.5).



Obrázok 4.5: Napájací zdroj 10 VDC

4.6 Cenové zhodnotenie

Tabuľka 4.6: Cenová kalkulácia

Názov súčiastky	Počet [ks]	Cena [€]
Skriňa Schrack WST5040150	1	75
Hl. vypínač Eaton T0-2-1/EA/SVB	1	24
Istič Eaton PXL B6/1	1	4
Poistkový odpojovač OEZ OPV10/3	1	22
Pojistky valcové OEZ 10A PV510-GR	3	3
SSR CG RGS1A60D50KKE	3	120
Relé Finder s päticou 38.51.7.024.0050	6	90
Zdroj Omron S8VK-G06024 24 VDC	1	50
Zdroj 24 VDV / 10 VDC	1	20
PLC Easy-E4-DC-12TC1	1	130
Modul Easy-E4-DC-16TE1	1	90
Potenciometer Eaton M22-R10K	3	80
Signálky M22 24V	5	25
Svorka ABB ZK2,5	18	14
Prepojovací mostík N,PE	2	5
Kábel CYSY 5x2,5 mm ²	1	20
Káblové priechodky Scame	12	12
Inštalčný žľab 40x40 mm	1	3
DIN lišta	1	3
Režijný materiál (dutinky, očká...)	1	30
Celková cena		840

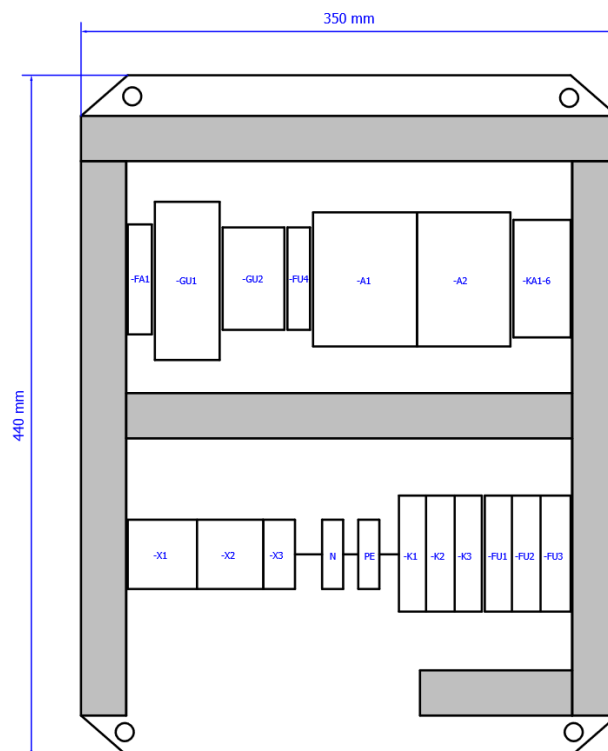
Cena navrhnutého riešenia postaveného na jednoduchom programovateľnom relé vychádza na 840 € s tým, že budú zachované pôvodné nasávacie nádoby s motormi. Ak by som toto riešenie chcel porovnať s cenami podtlakových nasávačov iných výrobcov, dostanem sa niekde na dvojnásobok ceny pri rovnakom prepravovanom množstve materiálu za hodinu. Tieto nasávače sú však jednoúčelové a ich riadiaca elektronika dokáže obsluhovať len jeden nasávač naraz, zatiaľ čo moje riešenie je navrhnuté tak, aby dokázalo obslúžiť až 3 nasávače. Výber vhodných komponentov bol prediskutovaný z technického aj ekonomického hľadiska.

5. REALIZÁCIA

5.1 Usporiadanie montážnej dosky a výber rozvádzača

Po vyšpecifikovaní všetkých použitých komponentov som v programe Eplan spravil návrh usporiadania montážnej dosky. Eplan umožňuje vytvoriť 2D návrh skrine po pridaní konkrétnych artiklov do projektu, čo výrazne šetrí čas pri kreslení návrhu usporiadania montážnej dosky.

Na realizáciu som zvolil robustnú oceľovoplechovú skriňu Schrack WST5040150 [20] s rozmermi 500 x 400 x 155 mm s krytím IP66, keďže sa bude nachádzať v prašnom prostredí a treba zabezpečiť dlhú životnosť zariadenia. Všetky komponenty sú umiestnené na DIN lište, čo zjednodušuje montáž či prípadnú výmenu. Silová časť sa nachádza v spodnej časti a ovládacia časť v hornej, aby sa silové a dátové vodiče čo najmenej nachádzali v rovnakom žľabe z dôvodu možného rušenia. Rozmiestnenie komponentov je viditeľné na obrázku, viď Príloha A. 2. Pre zachovanie stupňa krytia rozvádzača sú pre prívod kabeľáže použité plastové vývodky s gumeným tesnením. Napájanie rozvádzača je realizované káblom CYSY 5x2,5 mm² s dĺžkou 3 metre. Na vnútorné prepojenie silových súčiastok je použitý čierny jednožilový lankový vodič s prierezom 2,5 mm² a prepojenia ovládacej časti sú spravené tmavomodrým jednožilovým lankovým vodičom s prierezom 1 mm². Na ochranu pospojovaním som použil zelenožltý vodič s prierezom 6 mm².



Obrázok 5.1: Rozloženie montážnej dosky

5.1.1 Chladienie skrine

Keďže sa jedná o aplikáciu s častým zopínaním výkonových prvkov, ktoré majú vlastnú tepelnú stratu vplyvom prechodových odporov, tak bolo potrebné skriňu rozvádzača nadimenzovať tak, aby sa neprehrieval. Nevhodné nadimenzovanie veľkosti skrine by malo za následok nižšiu životnosť súčiastok a celkovo zlý vplyv na funkčnosť. Stratový výkon jednotlivých komponentov bol získaný z technických manuálov a celkový súčet obsahuje Tabuľka 5.1. Teplota okolia rozvádzača sa pohybuje okolo $15 \div 25$ °C. Na orientačný výpočet oteplenia som použil program Schrack Design, kde mi pri nastavených podmienkach vychádzala maximálna teplota na vrchnej strane skrine 33,6 °C. Túto hodnotu som bral iba ako orientačnú, pretože som vychádzal z maximálnych stratových výkonov komponentov. Praktickým meraním som zistil, že teplota sa nedostala na viac ako 27 °C. Zvolená skriňa má maximálny stratový výkon 97 W, čím spĺňa podmienky na realizáciu a nebolo potrebné prídanie ventilátora.

Tabuľka 5.1: Stratový výkon jednotlivých komponentov

Názov súčiastky	Počet [ks]	Stratový výkon
SSR RGS1A60D50KKE	3	21 W
Poistka PV10/10A gG	3	12 W
Zdroj S8VK-G06024	1	7 W
Relé Finder 38.51.7.024.0050	6	3 W
PLC Easy-E4-DC-12TC1	1	2 W
Modul Easy-E4-DC-16TE1	1	1 W
Hlavný vypínač T0-2-1/EA/SVB	1	1.8 W
Signálky M22 24V	5	2.2 W
Zdroj 24V / 10V	1	0.5 W
Spolu		50,5 W

The screenshot shows the Schrack Design software interface. On the left, there is a list of simulation parameters with their values:

- Šablóna ?
- Min. teplota okolia ? 15 °C
- Max. teplota okolia ? 25 °C
- Dodatočný stratový výkon ? 50,5 W
- Druh zaťaženia ? Jeden obvod
- Činiteľ predpokladaného zaťaženia ? 0,5
- Hlavný istič ? 20 A
- Teplota na vrchnej strane skrine ? 33,6 °C
- Maximálna dovolená teplota ? 70,0 °C
- Ostávajúci dostupný stratový výkon ? 344,3 W
- Stratový výkon komponentov ? 0,0 W

On the right, there is a 3D model of a cabinet in a perspective view, labeled 'Čelný pohľad'. The cabinet is yellow and mounted on a grey base. Above the model, the installation type is set to 'Voľne stojaca'.

34 / 70 °C  Vybraná skriňa a zariadenie môžu byť použité v tejto konfigurácii podľa normy IEC 890

Obrázok 5.2: Oteplenie rozvádzača simulované v programe SchrackDesign

5.2 Elektrotechnická dokumentácia

Elektrotechnická dokumentácia bola zhotovená v programe Eplan Electric P8 2022 a je dostupná v prílohe.

5.3 Riadiaci softvér

5.3.1 EasySoft

Pre vývoj a ladenie programu PLC easyE4 slúži vývojové prostredie easySoft, ktoré umožňuje rýchle a užívateľsky nenáročné programovanie. Dostupné funkcie sa tu dajú ľahko integrovať do spínacích schém tak, aby sa dali využiť ako riadiace programy. EasySoft ponúka voľbu štyroch programovacích jazykov [21]:

- EDP – Easy device programming
- LD – Ladder diagram
- FBD – Function block diagram
- ST – Structured text

Grafické zobrazenie zvolených hodnôt počas simulácie alebo počas prevádzky, umožnené vstavanou funkciou osciloskopu, pomôže s odhaľovaním a ošetrovaním prípadných chýb v programe.

Na ladenie programu je možné použiť vstavaný simulátor, teda nie je nutné spúšťať externý program s emulovaným PLC. V tomto simulátore je možné aj bez fyzicky pripojeného PLC ladiť programy, simulovať vstupy binárne aj analógové, či riadiť PLC pomocou simulovaného displeja s tlačidlami, čo výrazne uľahčuje prácu.

5.3.2 Hardvérová konfigurácia PLC

Ako prvú vec pri založení nového projektu je treba vytvoriť hardvérovú konfiguráciu. V programe easySoft v záložke projekt je možné vybrať základné prístroje a ich rozšírenia. Celkovo sa dá k jednému základnému prístroju Easy pripojiť až 11 rozširujúcich modulov a tým rozšíriť maximálny počet vstupov/výstupov na 188.



Obrázok 5.3: Hardvérová konfigurácia EasyE4

5.3.3 Program

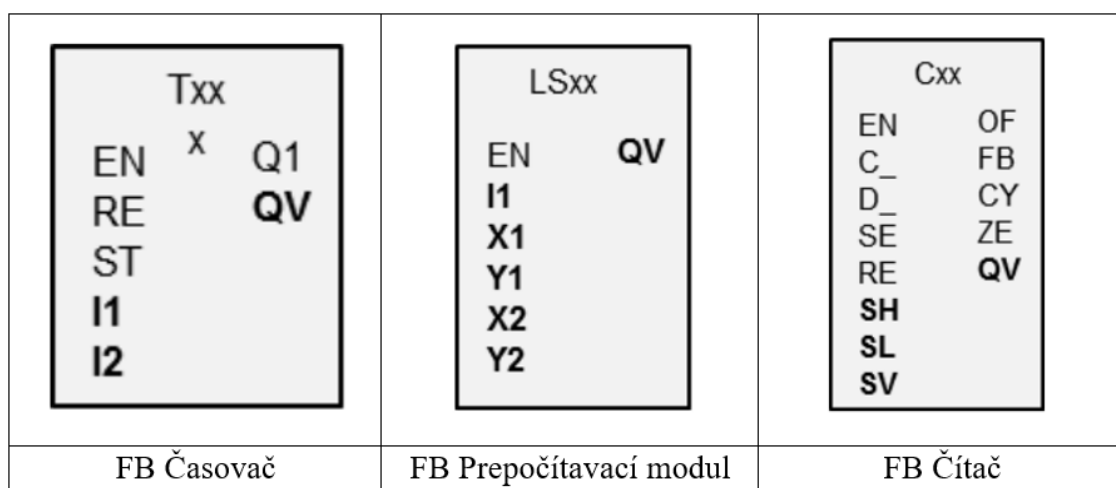
Na tvorbu programu som si zvolil na základe predchádzajúcich skúseností programovanie v jazyku LD. Ide o graficky orientovaný programovací jazyk, ktorý je založený na pravidlách booleovej algebry. Pozostáva z jednej prípadne z viacerých sietí zabezpečujúcich logické operácie a prepájanie základných modulov siete, teda elementárnych prvkov jazyka. Prvky jazyka sú priradené fyzickým vstupom prístrojov a sú spracované v rámci programu. Rovnako sú prostredníctvom prvkov jazyka ovládané aj príslušné výstupy PLC.

Základné prístroje easyE4 ponúkajú možnosť si vytvoriť až 128 užívateľských funkčných blokov. Tieto moduly je možné následne využiť v hlavnom programe obdobne ako funkčné bloky navrhnuté výrobcom. Uplatnenie nájdú najmä v prípade programovania opakovaných funkcií využívajúcich variabilné parametre. Napríklad ovládanie viacerých nasávačov.

Programovací jazyk, ktorý sa využíva v rámci užívateľského modulu môže byť odlišný od jazyka v hlavnom programe. Z toho vyplýva, že pri využívaní viacerých funkčných blokov môžeme kombinovať rôzne programovacie jazyky ako napríklad LD v hlavnom programe a ST v užívateľskom module.

Užívateľské moduly používajú osobitný dátový priestor, teda napríklad pomocná premenná M01 vytvorená v hlavnom programe predstavuje odlišný príznak než M01 v užívateľskom module [21].

Pri tvorbe programu som použil funkčné bloky Časovač (T), Prepočítavací modul (LS) a Čítač (C). Obrázok 5.4 ukazuje schematické značky vybraných funkčných blokov.



Obrázok 5.4: Funkčné bloky využité pri tvorbe programu

V programe som využil funkčný blok časovač vo funkcii oneskoreného prítáhu, monostabilného klopného obvodu a ako blikáč. Funkčný blok časovača obsahuje riadiace a funkčné vstupy a výstupy. Cez riadiace vstupy sa časovaču povoľuje činnosť a vykonáva sa reset. Cez funkčné vstupy sa zadávajú hodnoty pre časovanie, ktoré môžu byť buď konštanta, ktorá sa zadá pri vytváraní programu, poprípade to môže byť hodnota z výstupu nejakého iného funkčného bloku alebo z analógového vstupu. Pri parametrovaní je potrebné zvoliť ešte časovú základňu na ktorej bude časovač pracovať. Je možné zvoliť milisekundy s najmenším rozlíšením 5 ms, sekundy a minúty. Časovač vo funkcii monostabilného klopného obvodu som použil na riadenie doby nasávania. Časovač ako blikáč som použil na signalizáciu stavov nasávania a časovač s funkciou oneskoreného prítáhu som použil na kontrolu otvorenia klapky. Táto činnosť pracuje nasledovne: po ukončení doby nasávania sa spustí časovač s oneskoreným prítáhom a otvorením klapky sa jeho činnosť resetuje, pokiaľ sa klapka neotvorí, dočítaním do nastaveného času dá povel na signalizáciu poruchy.

Ďalším funkčným blokom, ktorý som v programe použil je prepočítavací modul LS. Prepočítavací modul konvertuje vstupný signál na signál výstupný v požadovanom rozsahu. Funkčný blok LS som využil na prepočet analógovej hodnoty zadávanej pomocou potenciometra na dobu nasávania. V našom prípade sa jedná o prepočet z analógového vstupu $0 \div 10 \text{ V}$ v rozsahu $0 \div 4095$ na čas $10 \div 100 \text{ s}$. Do premenných X1 a X2 sa zadáva rozsah vstupných hodnôt a do Y1 a Y2 sa zadáva rozsah požadovaných výstupných hodnôt.

Posledným funkčným blokom, ktorý som použil bol Čítač (C). Čítač vo svojom bloku obsahuje riadiace a funkčné vstupy a výstupy. Použil som ho vo funkcii stráženia počtu neúspešných nasávaní za sebou, teda keď neprišlo k otvoreniu klapky. Do vstupu SH sa zadá maximálny počet pokusov a čítač po vyhodnotení cez výstup OF dá signál programu, aby cez príslušnú sekvenciu pomocou signalizačných prvkov oznámil obsluhu poruchu.

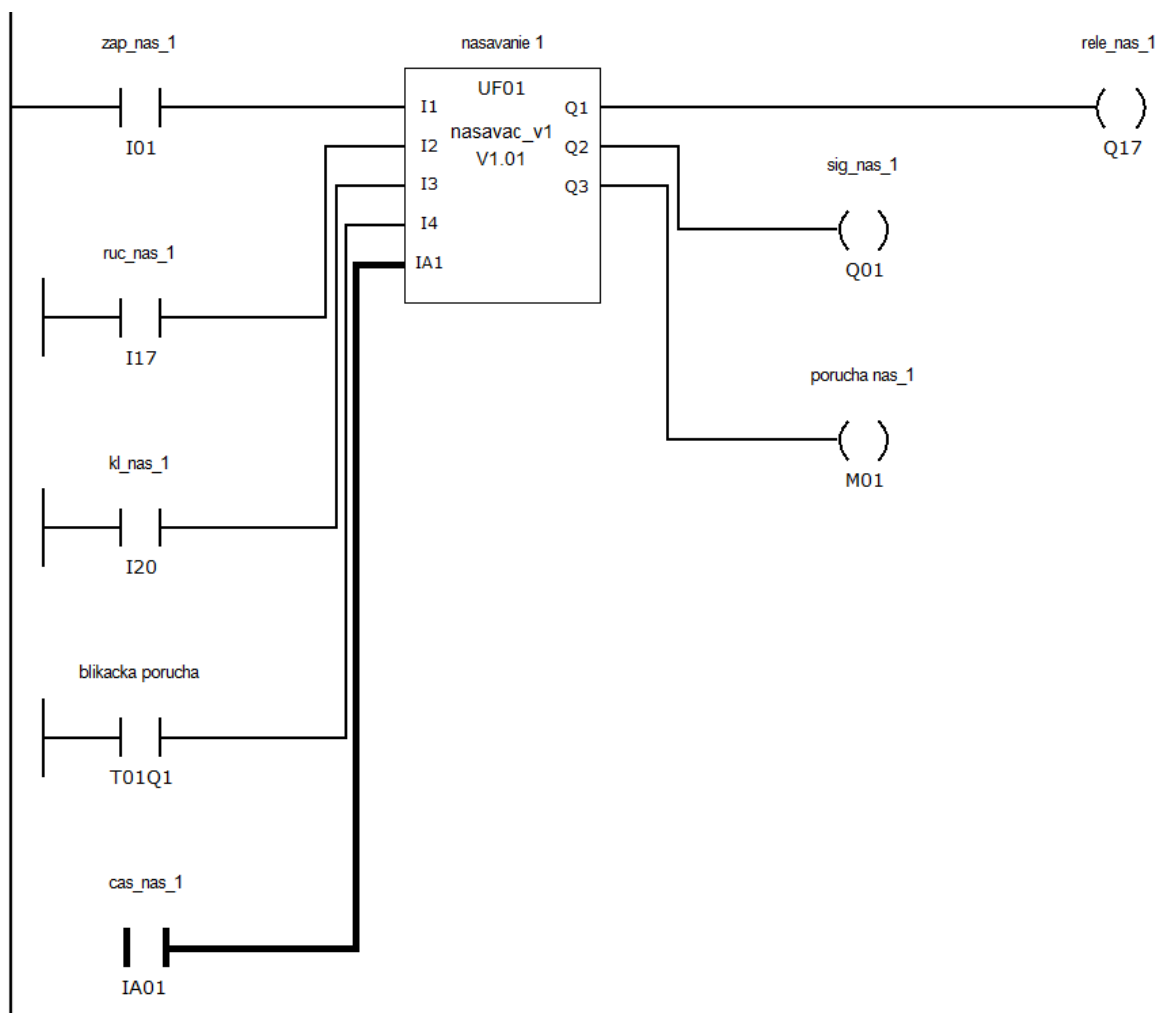
Pomocou týchto modulov som vytvoril vlastný funkčný blok, ktorý reprezentuje jednu nasávaciu jednotku a použil som ho v tomto projekte trikrát s príslušnými vstupmi a výstupmi (viď Obrázok 5.6).

Keďže PLC obsahuje integrovaný displej, rozhodol som sa na ňom zobrazovať stav činnosti, teda či je zariadenie zapnuté (ZAP), v ručnom režime (RUC), nastavený čas nasávania (CAS) a činnosť klapky (K). Toto zobrazovanie slúži na servisnú kontrolu tlačidiel, snímača klapky a potenciometrov (viď Obrázok 5.5).

Kompletný program sa nachádza v prílohe v elektronickej forme.

	ZAP	RUC	CAS	K
N1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5,0	<input type="checkbox"/>
N2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5,0	<input type="checkbox"/>
N3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5,0	<input type="checkbox"/>

Obrázok 5.5: Displej PLC



Obrázok 5.6: Vytvorený funkčný blok

ZÁVER

Táto bakalárska práca spočívala v návrhu riadiaceho systému a realizácii repasácie podtlakového nasávača granulátu.

V prvej časti sa práca zamerala hlavne na teoretický rozbor pneumatickej prepravy granulátu, ktorý je v našom prípade polyetylén. V tejto časti som sa venoval hlavne analýze činnosti opisu podtlakového prepravného systému, aby som zistili možnosti jeho riadenia. Hlavnou nevýhodou týchto systémov je ich vyššia energetická náročnosť a možnosť regulovať len spôsobom ON-OFF. Tieto systémy majú ale obrovskú výhodu v ich flexibilita a kompaktnosti.

Pôvodné riešenie som zhodnotil ako nevyhovujúce z hľadiska súčasných potrieb a spoľahlivosti, kedy zariadenie vyžadovalo častú kontrolu a preventívnu údržbu a tie si vyžadovali prerušenie alebo odstavenie výroby. Zariadenie nemalo možnosť signalizovať prevádzkové alebo poruchové stavy, ktoré by napomohli včasnému zásahu obsluhy skorigovať jeho chod.

Následne som podľa požiadaviek zadávateľa navrhol možné spôsoby modernizácie riadiaceho systému, z ktorých mi najlepšie vyšiel variant s využitím jednoduchého programovateľného relé od firmy Eaton a nahradením výkonových spínacích prvkov za polovodičové SSR. Návrh spočíval vo výbere vhodných komponentov, ich usporiadaní do skrine, zapojení, naprogramovaní PLC a finálnom oživení. Vytvoril som návod na obsluhu, elektrotechnickú dokumentáciu a program, ktorý bol prvotne odladený v simulátore. Taktiež som zabezpečil kompaktnosť, prístupnosť a flexibilitu zariadenia. Ďalej som zabezpečil signalizáciu prevádzkových stavov a vytvoril servisnú vizualizáciu na displeji PLC, kde je možné kontrolovať funkčnosť pripojených vstupov. Zariadenie je možné navyše pripojiť do nadradeného systému, kde je možné monitorovať jeho chod.

V prípade potreby užívateľa je do budúca možné pridať funkcie, ktoré vyplynú z používania zariadenia, napríklad ofuk klapiek, uvoľnenie podtlaku alebo doplniť zariadenie o miešací systém.

Riadiaci systém nasávania bol nasadený na stroj s nepretržitou prevádzkou a od inštalácie zariadenie pracuje bez poruchy.

LITERATÚRA

- [1] MINČÍK, Vojtech. Repase řídicího systému na přepravu granulátu [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/137509>. Semestrální práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky. Vedoucí práce Petr Fiedler.
- [2] ANDREW-MUNOT, M. a R.N. IBRAHIM.: Remanufacturing Process and Its Challenges. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences* [online]. 2013, 4, 488-495. ISSN 22894659
- [3] KLINZING, E. G.: *Pneumatic conveying of solids: a theoretical and practical approach*. 3rd ed. New York: Springer, c2010, 567s. ISBN 978-90-481-3608-7
- [4] RATNAYAKE, Chandana.: *A comprehensive scaling up technique for pneumatic transport systems*. Porsgrunn Norway, 2005. Doctoral thesis. Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi.
- [5] MILLS, D., JONES, M., AGARWAL, V.: *Handbook of Pneumatic Conveying Engineering*, vyd. Marcel Dekker, New York (USA), 2004, ISBN: 0-8247-4790-9
- [6] *Piab vacuum conveying principle*. YouTube [online], [cit. 2021-11-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=Bk9OIWu9gI8>
- [7] Crouzet: Timer relay TOP 36 [online], [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: <http://www.crouzet-usa.com/catalog/syrelec/top36.pdf>
- [8] *What is a power relay and its use within applications?* [online], [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: <https://www.findernet.com/en/uk/news/what-is-a-power-relay-and-its-use-within-applications/>
- [9] Finder S.p.A.: Power relay 65.31 [online], [cit. 2021-12-14]. Dostupné z: <https://www.finder-relais.net/en/finder-relays-series-65.pdf>
- [10] Eaton Industries GmbH: EasyE4 programmable relays. [online], [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://www.eaton.com/cz/cs-cz/catalog/industrial-control--drives--automation---sensors/easyE4-programmable-relays.html>
- [11] Eaton Industries GmbH: Easy-E4-DC-12TC1 [online], [cit. 2022-25-2]. Dostupné z: https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=197213&locale=cs_CZ
- [12] Eaton Industries GmbH: Easy-E4-DC-16TE1 [online], [cit. 2022-25-2]. Dostupné z: https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=197220&locale=cs_CZ
- [13] DOMEL HOLDING, d.d.: 492.3.778-4 [online], [cit. 2022-26-3]. Dostupné z: <https://www.motory-domel.cz/download/mokre-sani/492-3-778-004.pdf>
- [14] DRAŽAN, František a Karel JEŘÁBEK. Manipulace s materiálem: vysokošk. učebnice. Praha: SNTL, 1979, 454 s.
- [15] Carlo Gavazzi: RGS1A60D50KKE [online], [cit. 2022-26-3]. Dostupné z: <https://gavazziautomation.com/images/PIM/DATASHEET/ENG/rgs.pdf>
- [16] Aeco: SMC-12L BS [online], [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.aecosensors.com/versionePDF.cfm?ID_fam=34&idprodotto=5954

- [17] Finder S. p. A: Relay interface modules, 38 series [online], [cit. 2022-04-05].
Dostupné z: <https://cdn.findernet.com/app/uploads/2020/09/09083947/S38EN.pdf>
- [18] Eaton Industries GmbH: T0-2-1/EA/SVB [online], [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:
https://datasheet.eaton.com/datasheet.php?model=038873&locale=cs_CZ&_lt=
- [19] OMRON: S8VK-G06024 [online], [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:
https://assets.omron.eu/downloads/datasheet/en/v10/t056_s8vk-g_switch_mode_power_supply_datasheet_en.pdf
- [20] Schrack Technik GmbH: WST5040150 [online], [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:
<https://www.schrack.com/shop/wall-mounted-enclosure-1-door-ip65-h-500-w-400-d-155-mm-wst5040150.html>
- [21] Příručka easyE4 [online], [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://es-assets.eaton.com/DOCUMENTATION/AWB_MANUALS/MN050009_CS.pdf

ZOZNAM SYMBOLOV A SKRATIEK

Skratky:

PE	Polyetylén
MKO	Monostabilný klopný obvod
SSR	Solid state relay
PLC	Programmable Logic Controller
EDP	Easy device programming
LD	Ladder diagram
FBD	Function block diagram
ST	Structured text

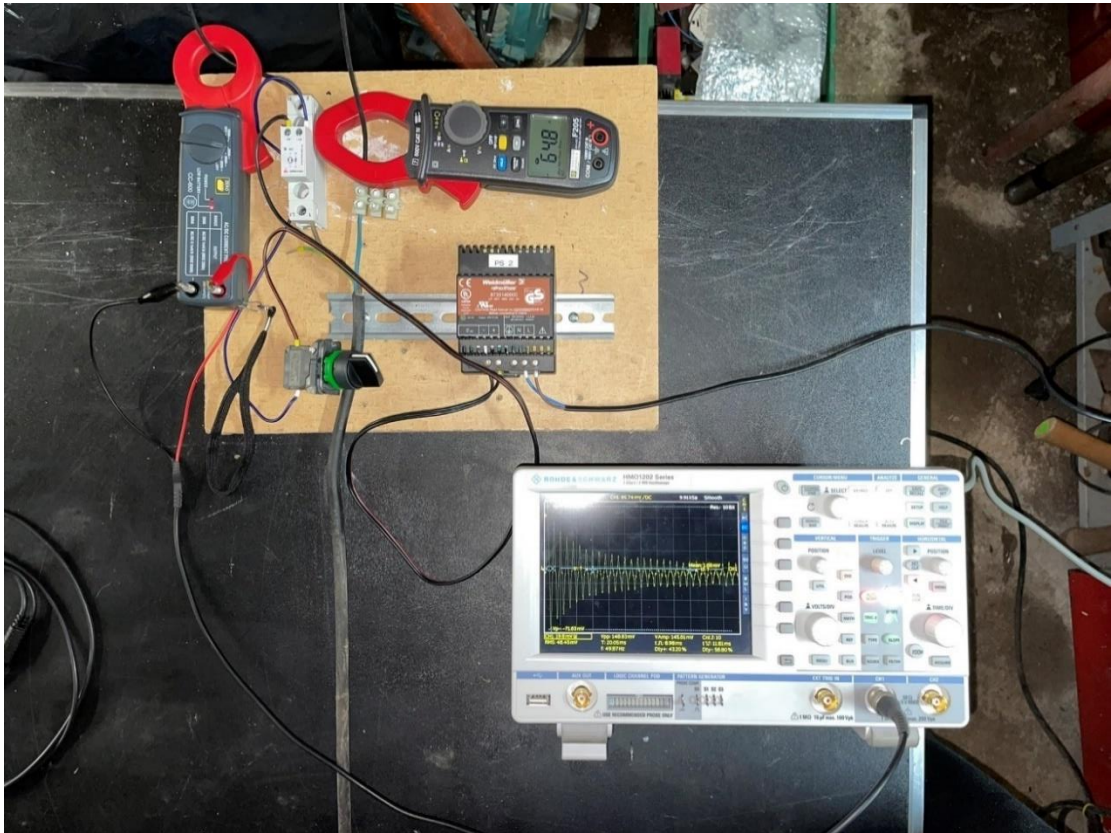
Symboly:

V_V	Množstvo vzduchu potrebného na prepravu materiálu	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
Q_V	Prietokové množstvo	$[m^3 \cdot h^{-1}]$
ρ	Objemová hmotnosť materiálu	$[kg \cdot m^{-3}]$
ρ_{VZ}	Merná hmotnosť vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$
δ	Zmiešavací pomer	[-]
V_P	Množstvo vzduchu potrebného pre príkon zdroja	$[m^3 \cdot s^{-1}]$
A_i	Merná práca pri izotermickej kompresii	$[J \cdot m^{-3}]$
P	Príkon zdroja tlakového vzduchu	[W]
μ_C	Celková účinnosť zdroja	[-]

ZOZNAM PRÍLOH

PRÍLOHA A – FOTODOKUMENTÁCIA.....	42
PRÍLOHA B – PROGRAM RIADENIA	44
PRÍLOHA C – ELEKTROTECHNICKÁ DOKUMENTÁCIA	45

Príloha A – Fotodokumentácia



Príloha A. 1: Meranie rozbehového prúdu motora



Príloha A. 2: Rozmiestnenie komponentov v rozvádzači

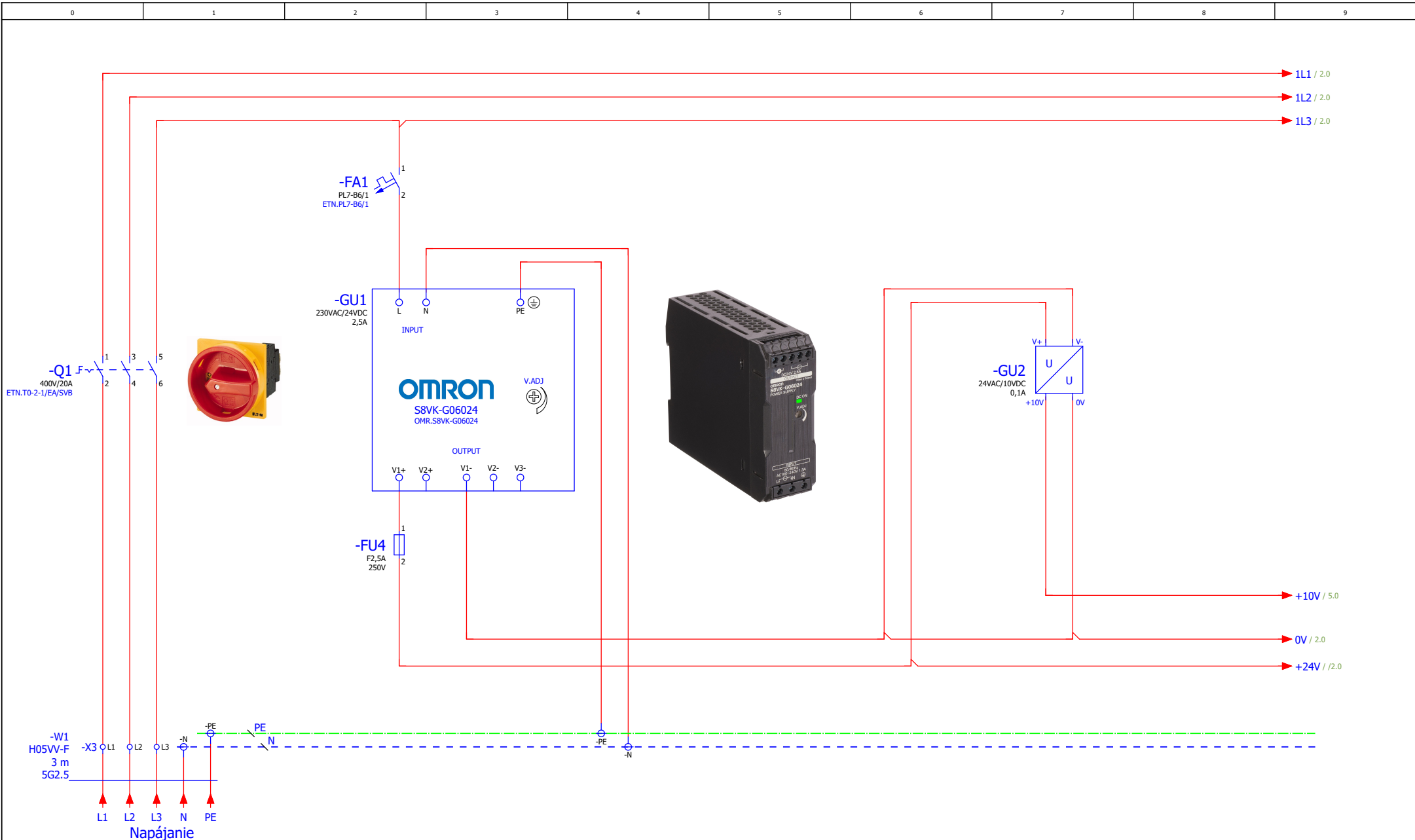


Príloha A. 3: Celkový pohľad na zariadenie

Príloha B – Program riadenia

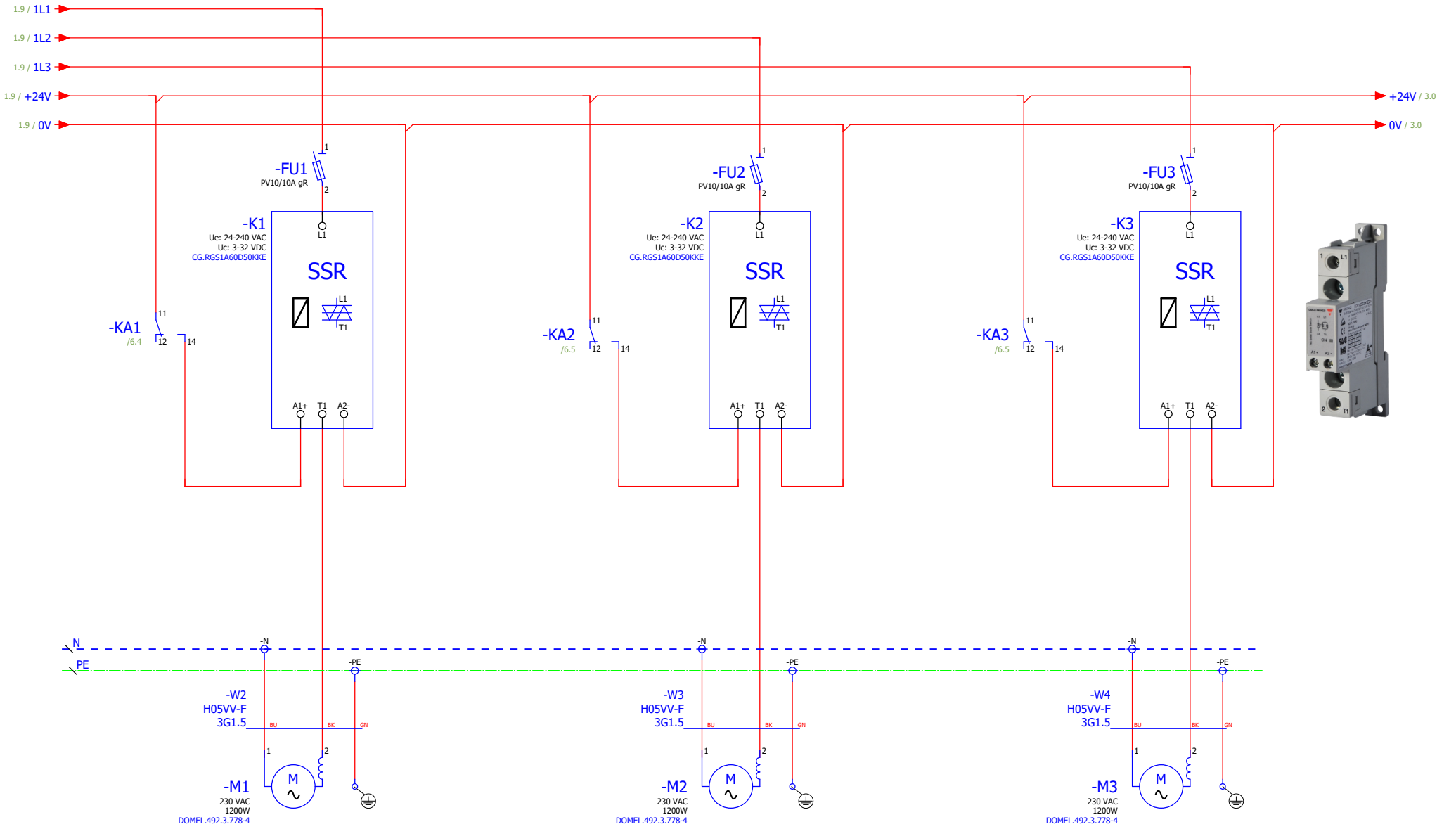
Riadiaci program bol vytvorený v softvéri easySoft 7 a je dostupný v elektronickej podobe na CD a pozostáva z vygenerovaného reportu a zdrojového súboru.

Príloha C – Elektrotechnická dokumentácia

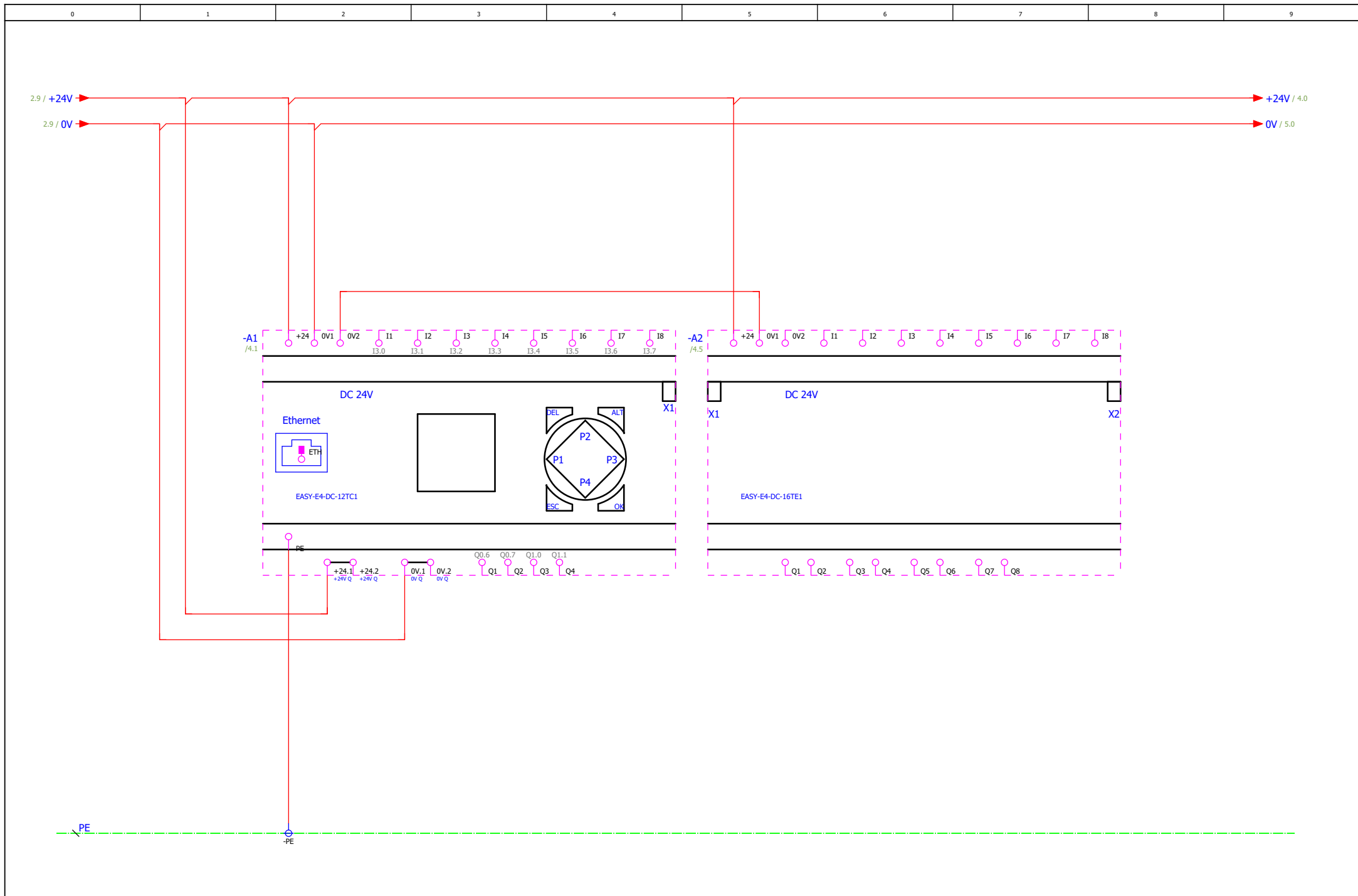


3x400V/230V, 50Hz, TN-S

				Dátum	5/4/2022	MAT Obaly				Napájanie		= ANL	
				Zprac.	Vojtech Minčík	Prerobenie nasávania na REIF 2						+ SCP	
				Zkontr.								List	1
Zmena	Dátum	Názov	Pôv.	Náhrada z	Nahradené čím							Strana	1 / 8



			Dátum	5/4/2022	MAT Obaly		Napájanie motory		= ANL	
			Zprac.	Vojtech Minčík					+ SCP	
			Zkontr.		Prerobenie nasávania na REIF 2					
Zmena	Dátum	Názov	Pôv.		Náhrada z	Nahradené čím			List	
									2	
									Strana	
									2 / 8	



		Dátum 5/1/2022		MAT Obaly		Napájanie PLC		= ANL		4	
		Zprac. Vojtech Minčík		Prerobenie nasávania na REIF 2				+ SCP			
		Zkontr.								List 3	
Zmena	Dátum	Názov	Pôv.	Náhrada z	Nahradené čím					Strana 3 / 8	

