



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

ŘÍZENÍ BALÍČÍHO STROJE POMOCÍ SAFETY
PLC

CONTROL OF PACKAGING MACHINE USING SAFETY PLC

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martin Žiak

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Radek Štohl, PhD.

BRNO 2017



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Martin Žiak

ID: 158274

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Řízení balícího stroje s použitím Safety PLC

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte ve spolupráci s konstruktéry posouzení rizik balícího stroje.
2. Na základě analýzy navrhnete opatření pro zabezpečení stroje.
3. Navrhnete a realizujete navržené bezpečnostní funkce v Safety PLC.
4. Navrhnete a realizujete řídicí program pro dvousý kontinuální balicí stroj pomocí platformy motion control PLC Simotion, struktura programu musí vycházet a odpovídat standardům definovaným skupinou Organisation for Machine Automation and Control (OMAC).
5. Realizujete program pro pohony Sinamics S120 s využitím funkcionality Shared Device (PLC master Simotion, Safety master Simatic S7 – 1500F).
6. Ověřte funkčnost řešení na demonstračním zařízení.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

ČSN EN ISO 12100. Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 106s.

SIEMENS. SIMATIC S7–1500F/ET200MP Manual Collection [online document pdf] 09/2015

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 15.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Radek Štohl, Ph.D.

Konzultant: Ing. Karel Dočkal

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá technológiou kontinuálneho baliaceho stroja na začiatku z hľadiska posúdenia rizík a návrhu opatrení pre ich zníženie. Na kvantifikáciu jednotlivých faktorov rizika je využitá metodika HRN. Ďalšia časť je venovaná implementácií bezpečnostných opatrení a realizácií safety obvodov za použitia safety PLC -Simatic S7-1500F a funkcie pohonu Sinamics S120 Shared device. Bezpečnostná funkcia, ktorá je v tomto pohone realizovaná je Safe Stop 1. Nasleduje návrh pohonov a realizácia ich riadenia. Na riadenie pohonov je použité motion control PLC Simotion. Tiež sú rozobraté postupy pri konfigurácii synchronnej operácie – vačky, návrh vačiek a ich realizácia v jazyku MCC. Zdokumentovaný je použitý diagram prechodov a stavov, ktorý je v súlade s koncepciou diagramu definovanou organizáciou OMAC. Na záver je ukázané jednoduché HMI na ovládanie stroja.

Kľúčové slová

baliaci stroj, Simotion, Sinamics S120, Simatic S7-1500F, Safety PLC, posúdenie rizík, HRN, Shared device, motion control, technologický objekt, synchronna operácia, vačka

Abstract

This thesis deals with a technology of continuous packaging machine in the beginning from the point of risk assessment and design of necessary measures to reduce the risk as much as it is possible. Here the HRN method was used to quantify every risk factor. Next part documents the implementation of the safety measures and the realization of the safety circuits by using Simatic S7–1500F safety PLC and Shared device functionality. Safety function which is realized in the Sinamics S120 drive is Safe Stop 1. Next, it describes the drive dimensioning and the principle of the drive control. Simotion PLC is discussed in more details and then is used as a motion control master. An approach to the configuration of camming synchronous operation is dealt with in details. Cam design and their realization is documented, too. The thesis also demonstrates the state manager that was implemented in the user program and which is used according to the concept of OMAC state manager. In the end a simple HMI for packaging machine control is described.

Keywords

packaging machine, Simotion, Sinamics S120, Simatic S7–1500F, Safety PLC, risk assessment, HRN, Shared device, motion control, technology object, synchronous operation, cam

Bibliografická citácia:

ŽIAK, M. *Řízení balícího stroje s použitím Safety PLC*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 52 s. Vedúci diplomovej práce Ing. Radek Štohl, Ph.D..

Prehlásenie

„Prehlasujem, že svoju diplomovú prácu na tému Řízení balícího stroje použitím PLC Simotion som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho diplomovej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej diplomovej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto diplomovej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, hlavne som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúceho autorského zákona č. 121/2000 Zb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníku č. 40/2009 Zb.

V Brne dne: **15. mája 2017**

.....
podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Radkovi Štohlovi, Ph.D. za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovávaní mojej diplomovej práce.

Ďakujem konzultantovi Ing. Karlovi Dočkalovi za jeho odborné rady a usmernenie pri tvorbe programovej časti projektu a jeho firme za zastrešenie tejto diplomovej práce.

Ďakujem firme Viking Mašek za poskytnutie strojných výkresov kontinuálneho baliaceho stroja ako podkladov do diplomovej práce a firme Siemens za zapožičanie demonštračných zariadení na testovanie riadenia stroja.

V Brne dňa: **10. mája 2017**

.....

podpis autora

Obsah

1	Úvod	1
2	Technológia	3
2.1	Princíp činnosti stroja	3
2.2	Posúdenie rizík a návrh bezpečnostných opatrení	4
2.2.1	Konštrukčné parametre strojného zariadenia	5
2.2.2	Identifikácia nebezpečí	6
2.2.3	Návrh bezpečnostných komponentov	8
2.3	Dimenzovanie servopohonov	12
3	Koncept riadenia	17
3.1	Shared device	17
3.2	Profisafe	18
3.3	Základné bezpečnostné funkcie pohonov	18
4	Potrebné zariadenia	19
4.1	Simotion	19
4.1.1	Programovanie a architektúra systému	19
4.1.2	Možnosti komunikácie	20
4.1.3	Varianty	20
4.2	Pohon Sinamics S120	21
4.2.1	Drive-CLiQ	22
4.2.2	Riadiaca jednotka	23
4.2.3	Napájací modul	23
4.2.4	Motor modul	24
4.3	Simatic S7-1500	25
4.3.1	Možnosti komunikácie	26
4.4	Distribúované periférie ET 200SP	26
4.4.1	Modul bezpečných vstupov	26
4.4.2	Modul bezpečných výstupov	27
5	Safety program pre baliaci stroj	28
5.1	Parametrizácia bezpečnostných IO modulov	28
5.2	Simotion I-device F-proxy	28
5.3	Safety program	29
6	Tvorba riadiaceho programu pre baliaci stroj	32
6.1	Technologické objekty	32
6.2	Polohovanie pohonu	33
6.2.1	Referencovanie pohonu	33
6.2.2	Činnosť riadenia polohy	34
6.3	Rozbor realizácie polohovacích a synchrónnych operácií osí	35

6.4	Synchrónna operácia v MCC	39
6.5	Overenie návrhu synchrónnej operácie.....	41
6.6	Implementácia diagramu prechodov stavov.....	43
6.6.1	OMAC Pack.....	43
6.6.2	Implementácia OMAC Pack v riadiacom programe	44
7	Operátorský panel.....	46
8	Záver	48
	Literatúra	49
	Zoznam príloh.....	51

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Ilustračný obrázok vertikálneho kontinuálneho baliaceho stroja.....	4
Obrázok 2: Grafické zobrazenie rozdelenia noriem podľa typu a postupu pri posudzovaní rizika a návrhu bezpečnostných opatrení	5
Obrázok 3: Pomocné tabuľky na výpočet požadovanej úrovne SIL [8]	8
Obrázok 4: Bloková schéma navrhnutého zapojenia bezpečných I/O (čierne šípky – I/O dáta, žlté šípky – diagnostické údaje).....	10
Obrázok 5: Náčrt klukového mechanizmu pre horizontálny pohyb laminovacích čel'ustí	13
Obrázok 6: Náčrt klukového mechanizmu pre vertikálny pohyb laminovacích čel'ustí	13
Obrázok 7: Časový priebeh rýchlosti a momentu motora vertikálneho pohonu čel'ustí	14
Obrázok 8: Časový priebeh rýchlosti a momentu motora horizontálneho pohonu čel'ustí	15
Obrázok 9: Dvojosí kontinuálny baliaci stroj – pohľad spredu (vľavo), pohľad zvnútra (vpravo)	16
Obrázok 10: Koncept funkcionality Shared device [10]	17
Obrázok 11: Profisafe komunikačný protokol [7]	18
Obrázok 12: Architektúra systému Simotion [1]	20
Obrázok 13: Simotion D [1]	21
Obrázok 14: Topológia pripojenia Sinamics S 120: Principiálna schéma (vľavo), príklad skutočného zapojenia (vpravo) [2]	22
Obrázok 15: Riadiaca jednotka Sinamics [2]	23
Obrázok 16: Rôzne prevedenia napájacích modulov Sinamics [2]	24
Obrázok 17: Rôzne prevedenia motor modulov Sinamics [2]	25
Obrázok 18: Simatic S7-1500F [4]	25
Obrázok 19: ET 200SP [11]	26
Obrázok 20: Konfigurácia telegramov pre komunikáciu so Sinamics Integrated....	29
Obrázok 21: Funkčné bloky ESTOP1 a ACK_GL.....	30
Obrázok 22: Význam bitov v prvých dvoch bajtoch ProfiSafe telegramu	30
Obrázok 23: Vývojový diagram safety programu	31
Obrázok 24: Nastavenie home procedúry pre horizontálnu os	34
Obrázok 25: Funkčná schéma riadenia polohy [15]	35
Obrázok 26: Vačka pre horizontálnu os	37
Obrázok 27: Rozbor klukového mechanizmu.....	38
Obrázok 28: Vačka pre vertikálnu os	39
Obrázok 29: Program realizujúci synchronizáciu osí v MCC	40

Obrázok 30: Kontrola správneho návrhu horizontálnej vačky	41
Obrázok 31: Kontrola správneho návrhu vertikálnej vačky: zelená – poloha master osi, oranžová – poloha horizontálnej osi, žltá – poloha vertikálnej osi, modrá – poloha koncového bodu kl'uky.....	42
Obrázok 32: Priebehy polôh osí v automatickom móde: oranžová – poloha master osi, zelená – poloha vertikálnej osi, žltá – poloha horizontálnej osi.....	42
Obrázok 33: Priebehy polôh osí v testovacom (krokovom móde): oranžová – poloha master osi, zelená – poloha vertikálnej osi (rovná nule), žltá – poloha horizontálnej osi	43
Obrázok 34: Diagram prechodov a stavov [12].....	44
Obrázok 35: Implementovaný diagram prechodov a stavov v riadiacom programe	45
Obrázok 36: Úvodná obrazovka operátorského panelu na ovládanie baliaceho stroja	46
Obrázok 37: Obrazovka pre ovládanie baliaceho stroja v manuálnom móde	47
Obrázok 38: Obrazovka pre ovládanie baliaceho stroja v automatickom móde	47

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Zdroje a druhy nebezpečia s mierou rizika určenou pred aplikáciou bezpečnostných opatrení.....	6
Tabuľka 2: Zdroje a druhy nebezpečia s mierou rizika určenou po aplikácií bezpečnostných opatrení.....	11
Tabuľka 3: Prehľad vlastností jednotlivých variantov napájacích modulov Sinamics S120 [5]	24
Tabuľka 4: Dosiahnuteľná úroveň bezpečnosti v závislosti na zapojení a vyhodnotení dát zo snímačov [11].....	27
Tabuľka 5: Zhrnutie nastavenia synchrónnych operácií.....	39

1 ÚVOD

Pri kúpe akéhokoľvek výrobku zákazník dostane produkt v určitom druhu balenia. Balenie výrobkov je neoddeliteľná súčasť procesu výroby a následného predaja potravín, krmiva, súčiastok atď. Baliaca technológia teda predstavuje nutné vybavenie veľkého množstva podnikov. Ako bude uvedené v ďalšom texte, ide o strojné zariadenie, ktorého používanie predstavuje pre jeho obsluhu určité riziko. To veľmi úzko súvisí s pojmom bezpečnosť a ochrana zdravia. Nedá sa prehliadnuť, že v súčasných výrobných podnikoch sa problematika bezpečnosti odkladá stranou a to hlavne z dôvodu minimalizácie nákladov na vybavenie strojných zariadení. Zákazníci si často neuvedomujú, že v prípade nútenej odstávky alebo ublíženia na zdraví počas práce so zariadením budú ich straty mnohonásobne väčšie. Aj z tohto dôvodu je značná časť práce venovaná práve posúdeniu rizík a návrhu bezpečnostných opatrení, poukazujúc na fakt, že investícia do bezpečnosti je pri súčasnej zložitosti strojného zariadenia rozhodne nutná a hlavne návratná.

Iný pohľad, nielen na riadenie baliacich strojov ale strojných zariadení všeobecne, je pohľad systémového integrátora. Je evidentné, že PLC, ktoré sú momentálne na trhu dostupné disponujú stále väčším a väčším výkonom. Dalo by sa povedať, že pojem „logický automat“ už dnes existuje výlučne z historických dôvodov. Aj tie najbežnejšie PLC najnižších cenových kategórií sú vybavené okrem digitálnych I/O aj analógovými, prípadne ponúkajú aj jednoduché funkcie pre riadenie pohonov. Motion control si ako oblasť automatizácie jednoznačne žiada veľkú pozornosť, pretože práve táto funkcionálna začína byť bežnou súčasťou PLC a to nielen tých najvyšších výkonových tried. Tieto systémy ale zatiaľ pochopiteľne nemajú z hľadiska ponúkanej motion control funkcionality taký rozsah ako špecializované platformy.

Prvým cieľom projektu je posúdiť riziká technológie kontinuálneho baliaceho stroja ako celku, na základe posúdenia rizík vykonať návrh bezpečnostných opatrení, návrh overiť a následne realizovať safety program v safety PLC. Druhým cieľom tejto práce je navrhnuť riadiaci program pre dvojosý kontinuálny baliaci stroj a to s ohľadom na bezpečnosť a ochranu zdravia personálu pri práci s týmto zariadením. Ďalej bude tento návrh otestovaný a prezentovaný na demonštračných zariadeniach dodaných spoločnosťou Siemens. Celú popísanú problematiku možno rozdeliť na dve základné časti: posúdenie rizík spoločne s návrhom a realizáciou bezpečnostných opatrení a návrh a implementácia riadenia technológie baliaceho stroja.

Na samom začiatku je nutné čitateľa detailne zasvätiť do uvedenej problematiky – predstaviť technológiu dvojosého kontinuálneho baliaceho stroja. Stručne tu bude

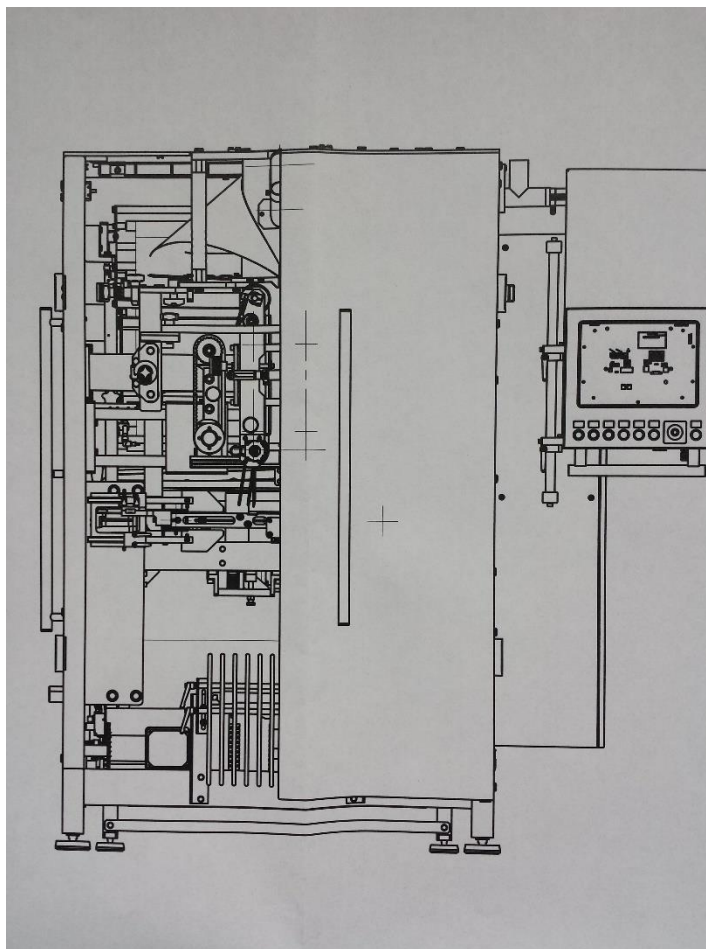
zhrnutá metodika postupu pri posudzovaní rizík a jej následná aplikácia na túto technológiu. Ďalej budú ukázané zariadenia, ktoré bude realizácia spomínanej aplikácie požadovať, ich možnosti a tiež budú spomenuté ich rôzne prevedenia, na ktoré je možné naraziť. Nasleduje komentár k realizácií riadenia pohonov, osí a synchronných operácií v PLC Simotion. Hlavná myšlienka riadiaceho programu bude podrobne rozobratá a jej realizácia bude podrobne popísaná, vrátane podrobností ohľadom použitých funkcií a funkčných blokov. Ďalším cieľom je ukázať štandard OMAC (jeho výhody a prínosy, ako pre riadenie strojných zariadení, tak i pre pripojenie zariadenia do celopodnikovej siete), rozobrať funkcionality Shared Device a predostrieť základný princíp komunikačného protokolu ProfiSafe. V samotnom závere bude ukázaný jednoduchý operátorský panel pre ovládanie baliaceho stroja.

2 TECHNOLOGIA

Na začiatku je uvedený princíp technológie dvojosého kontinuálneho baliaceho stroja. Ďalej bude stručne popísaný postup a orientácia v technických normách, týkajúcich sa bezpečnosti pri práci a posúdenia rizík. Potom nasleduje samotná analýza rizík pre konkrétnu technológiu a na nej založený návrh bezpečnostných opatrení. Záver kapitoly dokumentuje dimenzovanie pohonov pre daný stroj.

2.1 Princíp činnosti stroja

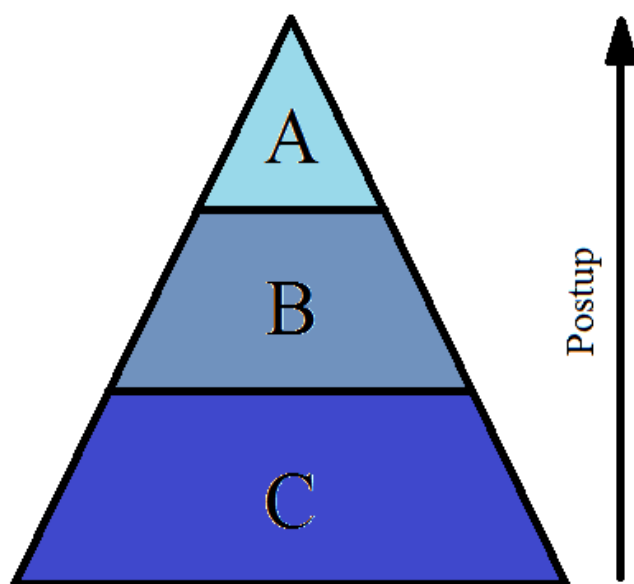
Kontinuálny vertikálny dvojosý baliaci stroj predstavuje zariadenie, ktorého úlohou je určené množstvo produktu (dané dávkovacím zariadením) zabaliť do balenia. Ako vyplýva už zo samotného názvu, baliaca fólia sa počas vytvárania balení nezastavuje, ale je odvíjaná kontinuálne. Odvíjanie je realizované odvíjacím zariadením umiestneným v zadnej časti stroja. Fólia je ťahaná cez ďalšie napínacie valčeky, ktorých úlohou je udržať fóliu stále napnutú, až kým sa nedostane k formovaciemu golieru. Pri prechode cez formovací golier sa vyrovnaná fólia upraví do polohy, v ktorej môže byť zalaminovávaná po dĺžke. Toto laminovanie realizuje pár špeciálnych vertikálnych pásových čelústí zohriatych na danú teplotu. Tento pár čelústí sa musí pohybovať rovnakou rýchlosťou ako fólia, aby nedošlo k jej pokrčeniu. Ďalšia časť je tvorená horizontálnymi laminovacími čelústami. Priblížením čelústí k sebe dôjde k ohriatiu a zalaminovaniu baliacej fólie, ich vzájomným oddialením spoj ochladne a stuhne, balenie sa uzavrie. Na čelustiach je ďalej umiestnený rezací nôž, ktorý po zalaminovaní dané balenie odstrihne od zvyšku fólie. Rezací nôž je riadený pneumatically. Vyrovnávaniu fólie počas laminovania a strihania napomáha aj prúd vzduchu, ktorý je do nej vŕhaný. Aby bol umožnený kontinuálny chod zariadenia, vyššie opísané vybavenie je ako celok umiestnené na posuvnej časti, ktorá sa môže pohybovať hore a dolu. Posuvná časť je pripojená k motoru cez klukový mechanizmus, ktorý transformuje jeho rotačný pohyb na lineárny pohyb v smere posúvania fólie a proti nemu.



Obrázok 1: Ilustračný obrázok vertikálneho kontinuálneho baliaceho stroja

2.2 Posúdenie rizík a návrh bezpečnostných opatrení

Pri posudzovaní rizika a návrhu bezpečnostných opatrení vyššie opísanej technológie sa postupuje podľa príslušných noriem a to nasledovným spôsobom. Všeobecne je možné normy pre posudzovanie rizík strojných zariadení rozdeliť na normy 3 typov: Normy typu A, B a C (Obrázok 2). Normy typu A zahŕňajú základné všeobecné princípy bezpečnosti. Sem patrí norma ISO 12100. Normy typu B riešia bezpečnostné faktory (B1) a konkrétne bezpečnostné funkcie (B2). Normy typu C sú najkonkrétnejšie, vzťahujú sa na konkrétne strojné zariadenia a ich konštrukciu napr. dopravníkové systémy, baliace stroje a pod. Štandardne sa postupuje smerom od noriem typu C až k normám typu A.



Obrázok 2: Grafické zobrazenie rozdelenia noriem podľa typu a postupu pri posudzovaní rizika a návrhu bezpečnostných opatrení

V prípade tohto projektu bude postup rovnaký. Pri posúdení rizík, ako hovorí metodika, sa začína normou EN 415-10, ktorá rieši Všeobecné požiadavky na bezpečnosť baliacich strojov, teda normou typu C. Tu sú popísané všeobecné zdroje nebezpečia sprevádzajúce používanie baliacich strojov. Ešte pred tým je ale dôležité zhrnúť konštrukčné parametre stroja, potom bude nasledovať posúdenie rizík.

2.2.1 Konštrukčné parametre strojného zariadenia

Stroj je určený na pripojenie k sieti 230/400V 50Hz, príkon je 8kVA. Je vybavený pohyblivým prívodom z trojfázovou vidlicou. Ďalej je stroj vybavený pneumatickou prípojkou 6 bar.

Kontinuálny baliaci stroj je tvorený týmito časťami: odvíjacím mechanizmom, mechanizmom vyrovnávajúcim fóliu, kontinuálnymi vertikálnymi laminovacími špirálami, vertikálnymi a horizontálnymi laminovacími čeľusťami s vyhrievacou špirálou a rezacím nožom. Ďalšími súčasťami sú elektrický rozvádzač a dotykový operátorský panel.

Pohyblivé časti stroja a hlavne laminovacie čeľusti s rezacím nožom počas prevádzky nesmú byť pre personál prístupné. Tieto časti naopak musia byť prístupné v prípade údržby, ale zariadenie musí byť v čase prístupu k týmto častiam bezpečne zastavené. Rola s fóliou je prístupná zo zadnej časti stroja, pri jej výmene za novú musí byť zariadenie zastavené. Personál, ktorý bude takéto zariadenie ovládať a používať musí byť oboznámený s návodom na použitie a možnými rizikami, ktoré z používania zariadenia vyplývajú. Rovnako s tým musia byť

oboznámení aj pracovníci vykonávajúci údržbu, aby pristupovali zvlášť opatrne hlavne k laminovacím čel'ustiam a reznému nožu.

Pri inštalácii je nutné stroj umiestniť na rovnú podlahu, tak aby nehrozilo jeho prevrátenie. Je nutné vymedziť dostatočný priestor na prístup k operátorskému panelu, priestor pre údržbu a hlavne priestor pre manipuláciu s použitými rolami od fólie a manipuláciu s novými rolami určenými na použitie.

Spomínané strojné zariadenie môže byť uvedené do 3 rôznych módov – Manuálny mód, Automatický mód a Testovací mód. Tieto módy odpovedajú štandardu OMAC (viac v kapitole 6.6.2). Počas bežnej prevádzky stroj funguje v móde Automat. Manuálny mód existuje primárne pre účely údržby, ktorá musí byť vykonávaná kvalifikovanými pracovníkmi. Úlohou testovacieho módu je uľahčiť technikom a programátorom testovanie pred tým, ako je zariadenie uvedené do „normálnej“ prevádzky, teda do módu Automat. Manuálny a testovací mód musia byť chránené rôznymi heslami.

2.2.2 Identifikácia nebezpečí

V ďalšom texte budú zhrnuté významné nebezpečia, ktorým je vystavený personál a okolie stroja. Pre prehľadnosť budú uvedené spoločne s ich príčinami resp. zdrojmi do tabuľky. Tabuľka tiež obsahuje odhad miery rizika použitím metodiky opísanej v technickom reporte ISO/TR 14 121-2, známej tiež ako HRN: miera rizika (HRN – Hazard Rating Number) sa počíta ako súčin pravdepodobnosti výskytu nebezpečnej udalosti (LO), frekvencie resp. pravidelnosti vystavenia nebezpečiu (FE), stupňa závažnosti zranenia (DPH) a počtu osôb vystavených nebezpečiu (NP).

Tabuľka 1: Zdroje a druhy nebezpečia s mierou rizika určenou pred aplikáciou bezpečnostných opatrení

Zdroj nebezpečia	Druh nebezpečia	Riziko	HRN	LO	FE	DPH	NP
Pohyblivé časti	Stlačenie	Vysoké	75	15	2,5	2	1
	Strih						
	Náraz						
	Porezanie						
	Trenie						
	Vtiahnutie						
	Zachytenie						
	Navinutie						
Strata stability stroja	Neočakávaný pohyb	Veľmi nízke	4	2	0,5	4	1
	Prevrátenie						
Kryty	Náraz	Zanedbateľné	0,0132	0,033	4	0,1	1
Elektrické vybavenie	Nebezpečný dotyk živých častí	Veľmi vysoké	150	5	5	6	1

Zdroj nebezpečia	Druh nebezpečia	Riziko	HRN	LO	FE	DPH	NP
	Nebezpečný dotyk neživých vodivých častí pri poruche						
Obalové materiály	Porezanie	Veľmi nízke	4	10	4	0,1	1
	Požiar pri prehriatí materiálu						
	Elektrický výboj (od odvíjajúceho sa materiálu)						
Nebezpečie spôsobené poruchami	Pokles a pád pohyblivých častí (prerušenie dodávky elektrickej energie)	Vysoké	80	5	4	4	1
	Neočakávaný pohyb pohyblivých častí (obnovenie elektrickej energie resp. akumulovaná energia)						
	Porušenie elektrických obvodov						
Oddel'ovacie zariadenie (rezací nôž)	Porezanie	Vysoké	75	15	2,5	2	1
	Strih						
	Neočakávaný pohyb						
Spojovacie zariadenie (laminovacie čel'uste)	Popálenie	Vysoké	75	15	2,5	2	1
	Porušenie izolácie elektrických častí						
	Požiar pri prehriatí materiálu						
	Vznik nebezpečných látok horením materiálu						
Odvíjacie mechanizmy	Vtiahnutie	Veľmi nízke	2	5	4	0,1	1
	Náraz (pretrhnutie fólie)						
Páky na nastavovanie	Náraz	Zanedbateľné	0,66	0,033	5	4	1
	Trenie						
Zneužitie	Neočakávaný pohyb	Významné	10	5	1	2	1
	Finančné straty						
	Ovplyvnenie kvality výrobkov						
Likvidácia strojného zariadenia	Nebezpečie pre životné prostredie	Významné	18	1,5	0,5	2	12

2.2.3 Návrh bezpečnostných komponentov

Nasleduje návrh bezpečnostných opatrení a komponentov za použitia verifikačného nástroja Safety Evaluation Tool [8]. Ide o nástroj od spoločnosti Siemens voľne dostupný výmenou za registráciu používateľa. Podľa normy IEC 62 061 vykoná výpočet a overenie nami navrhnutých bezpečnostných komponentov. IEC 62 061 pojednáva o úrovniach Safety Integrity Levels, ďalej len SIL. Iba na objasnenie, pri návrhu bezpečnostných obvodov by bolo rovnako správne zvoliť cestu určenia Performace Level (PL) podľa normy IEC 13 849-1. V prípade tohto projektu však bude vykonaný návrh bezpečnostných obvodov za použitia SIL.

Pri určovaní požadovanej úrovne SIL pre danú bezpečnostnú funkciu bude taktiež použitý Safety Evaluation Tool. Poskytuje užívateľovi tabuľky z prílohy A normy IEC 62 061 (Obrázok 3) a na ich základe užívateľ do Safety Evaluation Tool zadáva parametre umožňujúce vyhodnotenie požadovanej úrovne SIL. V prípade projektu baliaceho stroja je možnosť vystavenia riziku považovaná za častejšiu ako jedna hodina, pravdepodobnú, pričom vyhnúť sa riziku je možné. Závažnosti bol daný stupeň 3, teda trvalé následky od zranenia, prípadne strata prstov. Takto bola podľa spomenutých tabuliek (Obrázok 3) určená požadovaná úroveň bezpečnosti SIL 2.

Determination of the required SIL (by SIL assignment)						
Frequency Fr		Probability of hzd. event Pr		Avoidance Av		
≥ 1 per hr	5	Very high	5			
< 1 per hr - ≥ 1 per day	5	Likely	4			
< 1 per day - ≥ 1 per 2wks	4	Possible	3	Impossible	5	
< 1 per 2wks - ≥ 1 per yr	3	Rarely	2	Possible	3	
< 1 per yr	2	Negligible	1	Likely	1	

Consequences	Severity Se	Class CI = Fr + Pr + Av				
		4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15
Death, losing an eye or arm	4	SIL 2	SIL 2	SIL 2	SIL 3	SIL 3
Permanent, losing fingers	3	Other measures			SIL 1	SIL 2
Reversible, medical attention	2				SIL 1	SIL 2
Reversible, first aid	1					SIL 1

Obrázok 3: Pomocné tabuľky na výpočet požadovanej úrovne SIL [8]

Bezpečnostné funkcie sa budú navrhovať primárne pre tie časti strojného zariadenia, ktoré z posúdenia rizík vyšli ako časti predstavujúce riziko významné a vyššie. Tieto funkcie budú na strojnom zariadení ďalej doplnené výstražnými značkami upozorňujúcimi na nebezpečie vyplývajúce z daných mechanizmov. Tam, kde sa riziko ukazuje ako nízke budú predpísané postupy, ako jeho dopady ešte znížiť na úroveň, ktorá je okolím stroja, teda obsluhou a prostredím akceptovateľná.

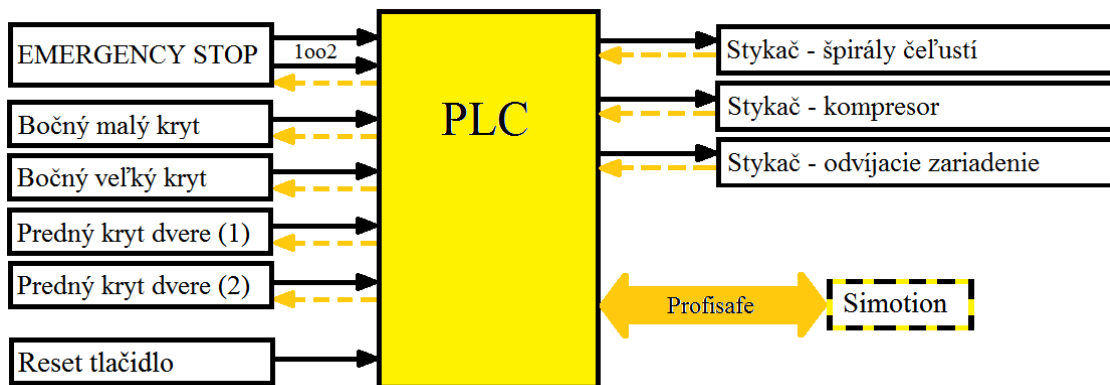
Vďaka vhodnému návrhu konštrukcie je možné všetky časti, ktoré predstavujú vysoké riziko (ide hlavne o pohybujúce sa hmoty) zakryť zhora pevným plným ochranným krytom z plechu a štyrmi pohyblivými ochrannými krytmi zo strán. Tie budú mať magnetický doraz, t. j. v zavretej polohe budú držať vďaka permanentným magnetom. Poloha krytov bude monitorovaná magnetickými snímačmi umiestnenými v hornej časti krytov, čo najďalej od osi otvárania. Tým sa minimalizuje možnosť prístupu k častiam stroja, ktoré práve zastavujú. Pri otvorení ktoréhokolvek z týchto štyroch spomenutých krytov musí byť zaručené, že pohony riadiace pohyblivé časti budú bezpečne zastavené. V súvislosti s prednými pohyblivými krytmi sa musí bezpečnostným vzdialenostiam venovať zvýšená pozornosť, keďže zospodu sú nebezpečné časti prístupné. V norme EN 415-10 sa uvádza: „Kde je medzera medzi ochranným krytom a podlahou väčšia ako 40 mm ale menšia ako alebo rovná 240 mm musia byť bezpečnostné vzdialenosti k najbližším nebezpečným zónam minimálne 550 mm, pokiaľ výška najnižšej nebezpečnej zóny je vyššia ako 300 mm nad spodným ochranným krytom.“. Predné kryty uvedeného stroja túto požiadavku spĺňajú. Medzera medzi krytom a podlahou je 150,1 mm. Najnižšie nebezpečné časti sú ale vzdialené 765,5mm od spodného okraja krytu. V prípade ostatných krytov je táto požiadavka tiež splnená, pretože vzdialenosti k nebezpečným častiam sú vo všetkých prípadoch ešte väčšie ako pri predných krytoch.

Bezpečný stav navodzujú dve bezpečnostné funkcie. Prvá realizuje bezpečné zastavenie pohonu Sinamics S120 (komunikácia prostredníctvom ProfiSafe a bezpečnostná funkcia pohonu SS1 bude bližšie popísaná v kapitole 3.2) pri otvorení niektorého z krytov, ktoré sú monitorované magnetickými snímačmi zapojenými jedнокanálovo. Neoddeliteľnou súčasťou tejto funkcie je tiež tlačidlo núdzového zastavenia. Tu bude použité dvojkanálové ekvivalentné zapojenie. Tieto tlačidlá sú štandardne vybavené slotmi pre dva kontakty na pripojenie štyroch vodičov, preto budú využité naplno. Týmto pádom bude možné detegovať porušenia obvodov núdzového zastavenia. Druhá safety funkcia realizuje odpojenie stykačov ostatných elektrických zariadení, ktoré predstavujú zdroje potenciálneho nebezpečia. Udalosti, ktoré túto funkciu aktivujú sú rovnaké ako tie, pri prvej funkcii.

Naviac k vyššie spomenutému, pohon realizujúci vertikálny pohyb čelustí bude vybavený mechanickou brzdou (funkcia SBC bude popísaná v kapitole 3.2). Takto sa predíde potenciálnym nebezpečným stavom napr. pri prerušení dodávky elektrickej energie a s tým súvisiacim ohrozeniam obsluhy, prípadne poškodeniam stroja.

Blokovú schému navrhnutého zapojenia zobrazuje Obrázok 4. Na základe výsledkov zo Safety Evaluation Tool možno konštatovať, že pre obe bezpečnostné funkcie sme dosiahli požadovanú úroveň integrity bezpečnosti SIL 2. O tom svedčí aj dosiahnutá

PFH_d (Pravdepodobnosť výskytu nebezpečnej poruchy za hodinu) pre prvú funkciu: $1,6560 \times 10^{-7}$ a pre druhú: $1,5228 \times 10^{-8}$. Teda PFH_d spĺňa požadovaný interval hodnôt pri SIL 2: od 10^{-7} do 10^{-6} podľa IEC 62 061, v prípade druhej funkcie je ešte nižšie. Príloha 1 obsahuje podrobný report z pomocného nástroja Safety Evaluation Tool.



Obrázok 4: Bloková schéma navrhnutého zapojenia bezpečných I/O (čierne šípky – I/O dáta, žlté šípky – diagnostické údaje)

Ako ochranu pred nebezpečným dotykom neživých častí pri poruche je potrebné vykonať doplňujúce ochranné pospájanie podľa ČSN EN 60 204-1 ed. 2. Ochrana pred nebezpečným dotykom živých častí je realizovaná uzamknuteľným krytom elektrického rozvádzača vyhotovenom v krytí IP44.

Stabilita stroja musí byť vždy zabezpečená tak, aby počas prevádzky nemohlo dôjsť k jeho pohybu prípadne prevráteniu. Pri presune stroja na krátke vzdialenosti je potrebné použiť vysokozdvížný vozík. Pri presune na väčšie vzdialenosti je nutné stroj prepravovať na palete upevnený tak, aby nemohlo dôjsť k jeho uvoľneniu.

Na zníženie rizika zneužitia strojného zariadenia je prikázané použitie hesiel v operátorskom paneli. Odporúčajú sa rôzne úrovne administrátorov s rôznymi prístupovými právami k jednotlivým, hlavne systémovým nastaveniam a nastaveniam týkajúcich sa produkcie. Pri likvidácii stroja je nutné minimalizovať dopad na životné prostredie hlavne použitím separovaného odpadu a ekologickým zaobchádzaním s jednotlivými časťami napr. ich opätovné použitie (kryty, časti konštrukcie a pod.).

Vyššie uvedené zapojenie elektrického bezpečnostného vybavenia a návrhy doplňujúcich bezpečnostných opatrení nezaručujú nulovú hodnotu rizika. Síce znížili riziko súvisiace s používaním stroja, ale nesmie sa zabudnúť ani na zbytkové riziká, ktoré stále z používania stroja vyplývajú. Tým sú napríklad oboje laminácie čeľuste. Sú neustále ohrievané na danú teplotu a napriek dostatočne rýchlemu odpojeniu od elektrickej energie môžu stále udržiavať svoju teplotu. Tá síce pomaly klesá, ale napriek tomu hrozí nebezpečenstvo popálenia. Ďalšie zbytkové riziko predstavuje nebezpečný dotyk živých častí po odomknutí elektrického rozvádzača. Tu je zase predpokladaný prístup iba oprávneným osobám s príslušnou

elektrotechnickou kvalifikáciou. Tiež existuje zbytkové riziko zneužitia stroja. Zapisovanie hesiel na disky, servery, alebo papiere zvyšuje pravdepodobnosť zneužitia zariadenia. Udržiavanie rovnakých hesiel počas dlhšej doby môže viesť k zneužitiu, preto sa odporúča heslá pravidelne meniť. Rozhodne sa neodporúča umiestňovanie hesiel priamo na zariadenie.

HRN pre zbytkové riziká z dôvodu vyššej prehľadnosti budú opäť uvedené v tabuľke.

Tabuľka 2: Zdroje a druhy nebezpečia s mierou rizika určenou po aplikácii bezpečnostných opatrení

Zdroj nebezpečia	Druh nebezpečia	Riziko	HRN	LO	FE	DPH	NP
Pohyblivé časti	Stlačenie	Nízke	6	2	1,5	2	1
	Strih						
	Náraz						
	Porezanie						
	Trenie						
	Vtiahnutie						
	Zachytenie						
	Navinutie						
Strata stability stroja	Neočakávaný pohyb	Veľmi nízke	4	2	0,5	4	1
	Prevrátenie						
Kryty	Náraz	Zanedbateľné	0,0132	0,033	4	0,1	1
Elektrické vybavenie	Nebezpečný dotyk živých častí	Nízke	5	2	5	0,5	1
	Nebezpečný dotyk neživých vodivých častí pri poruche						
Obalové materiály	Porezanie	Veľmi nízke	4	10	4	0,1	1
	Požiar pri prehriatí materiálu						
	Elektrický výboj (od odvíjajúceho sa materiálu)						
Nebezpečie spôsobené poruchami	Pokles a pád pohyblivých častí (prerušenie dodávky elektrickej energie)	Veľmi nízke	4	2	4	0,5	1
	Neočakávaný pohyb pohyblivých častí (obnovenie elektrickej energie resp. akumulovaná energia)						
	Porušenie elektrických obvodov						
	Porezanie	Nízke	6	2	1,5	2	1

Zdroj nebezpečia	Druh nebezpečia	Riziko	HRN	LO	FE	DPH	NP
Oddel'ovacie zariadenie (rezací nôž)	Strih						
	Neočakávaný pohyb						
Spojovacie zariadenie (laminovacie čel'uste)	Popálenie	Nízke	6	2	1,5	2	1
	Porušenie izolácie elektrických častí						
	Požiar pri prehriatí materiálu						
	Vznik nebezpečných látok horením materiálu						
Odvíjacie mechanizmy	Vtiahnutie	Veľmi nízke	2	5	4	0,1	1
	Náraz (pretrhnutie fólie)						
Páky na nastavovanie	Náraz	Zanedbateľné	0,66	0,033	5	4	1
	Trenie						
Zneužitie	Neočakávaný pohyb	Nízke	5	5	0,5	2	1
	Finančné straty						
	Ovplyvnenie kvality výrobkov						
Likvidácia strojného zariadenia	Nebezpečie pre životné prostredie	Veľmi nízke	4,5	1,5	0,5	0,5	12

Ako zobrazuje Tabuľka 2, vykonaním vyššie popísaných bezpečnostných opatrení sa podarilo neakceptovateľne vysoké riziká znížiť tak, aby boli zanedbateľné, veľmi nízke, prípadne nízke podľa HRN. V prípade ďalšieho znižovania aj veľmi nízkych a nízkych rizík by sa cena návrhu bezpečnostných opatrení dostala na hodnotu neúmernú cene zariadenia. Nehovoriac o tom, že tieto by už boli na hranici s praktickosťou zariadenia.

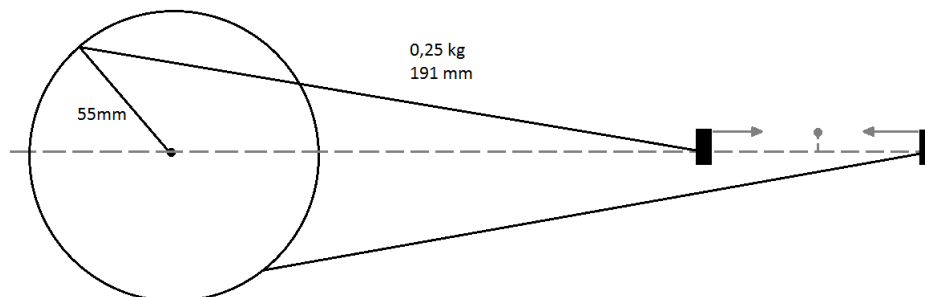
2.3 Dimenzovanie servopohonov

Najdôležitejšie pohony baliaceho stroja sú tie, ktoré realizujú horizontálny a vertikálny pohyb laminovacích čel'ustí. Pre tieto pohony boli navrhnuté kl'ukové mechanizmy, ktorých parametre budú zohľadnené pri výbere motorov.

Pre horizontálny pohyb čel'ustí:

- Uhol pri zovretí je 176°
- Uhol pri otvorení je 69°
- Hmotnosť čel'ustí je 20 kg
- Doba laminovania sáčku je 100 ms pri sile 4000 N

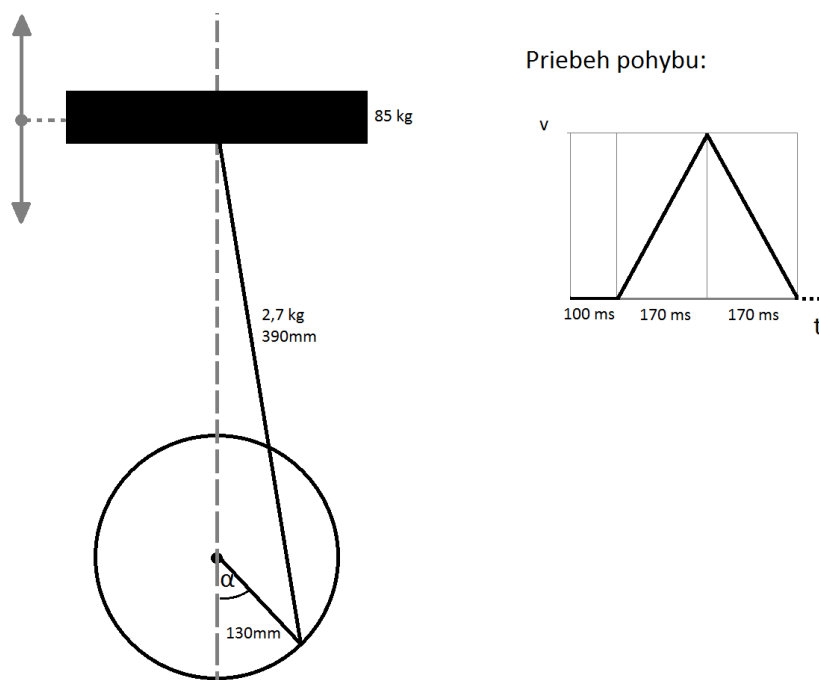
- Na motor je pripevnený remeňový prevod 134 mm/112 mm, šírka remenice je 40 mm
- Obrázok 5 zobrazuje ďalšie údaje



Obrázok 5: Náčrt klukového mechanizmu pre horizontálny pohyb laminovacích čelústí

Pre vertikálny pohyb čelústí:

- Uhol pre najvyššiu polohu čelústí je 130°
- Hmotnosť bremena s čelústami je 85 kg
- Obrázok 6 zobrazuje ďalšie údaje



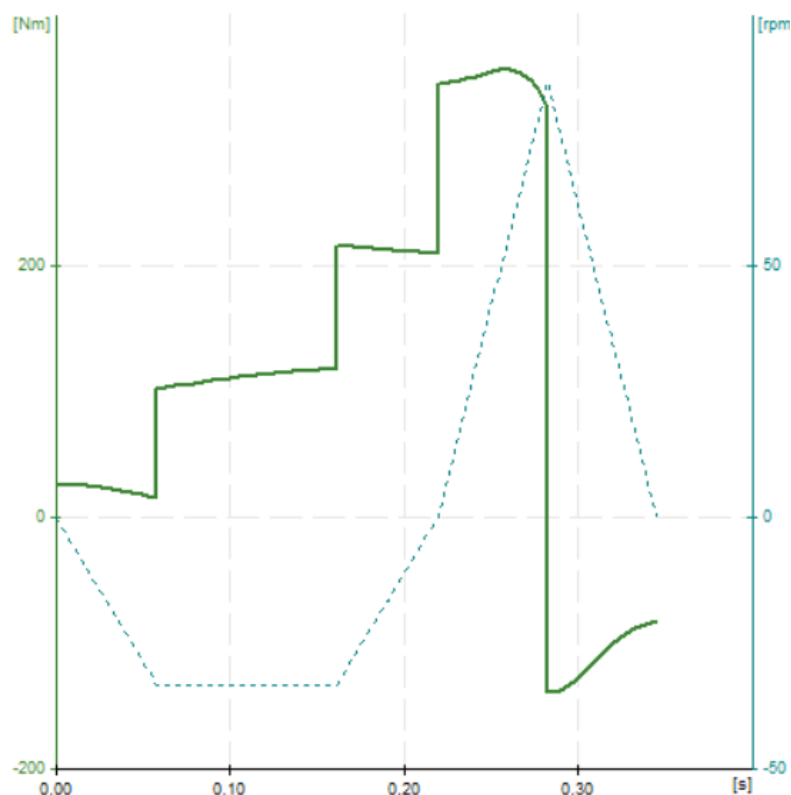
Obrázok 6: Náčrt klukového mechanizmu pre vertikálny pohyb laminovacích čelústí

Pri návrhu bude použitý pomocný software od firmy Siemens – SIZER [9]. Ten poskytuje výpočtové šablóny pre typické aplikácie elektrických pohonov. V tomto prípade prácu výrazne zjednoduší použitie šablóny pre klukový mechanizmus. Po zadaní parametrov mechanizmu SIZER požaduje návrh priebehu pohybu.

Pri návrhu pohonu vertikálneho pohybu čeľustí je priebeh pohybu definovaný v dvoch sekciách: 1. sekcia predstavuje pohyb konštantnou rýchlosťou (rovnakou ako rýchlosť fólie), 2. sekcia definuje opätovný návrat k začiatkovej polohe. V 1. sekcií na základe požadovanej rýchlosti materiálu je pomocou SIZER stanovená uhlová rýchlosť otáčania hriadeľa. Požadovaná rýchlosť materiálu $v_{MATERIAL}$ (v mm/s) je definovaná ako:

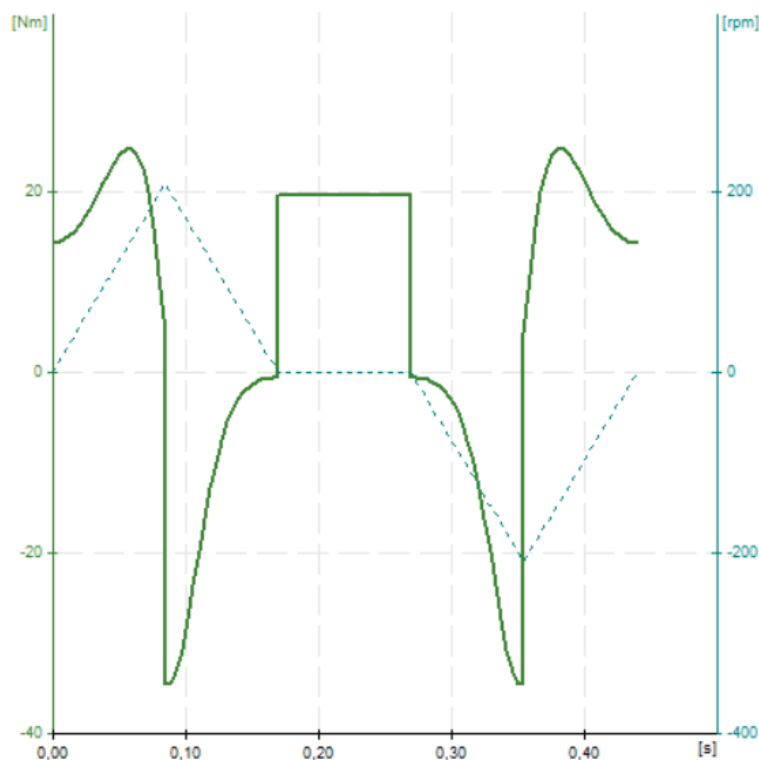
$$v_{MATERIAL} = 60 p l_{MAX} \quad (2.1)$$

Kde p je počet sáčkov za minútu, l_{MAX} je maximálna dĺžka sáčku v mm. Vzhľadom k požiadavke na konštantnú rýchlosť bude zvolený trapézoidný priebeh rýchlosti. Je nutné približne definovať čas, tohto pohybu – 100 ms pohybu s konštantnou rýchlosťou + 120 ms ako „rezerva“ na zrýchlenie a na spomalenie. Ďalej možno vykonať jemné korekcie s ohľadom na priebehy rýchlostí, polôh a momentu motora. Pri 2. sekcií je postup jednoduchší: je potrebné dostať čeľuste opäť do začiatkovej polohy, teda uhlová vzdialenosť, ktorú musí hriadeľ opísať je v podstate známa zo sekcie 1. Použitý bude deltoidný priebeh rýchlosti, keďže teraz je cieľom iba dosiahnutie začiatkovej polohy bez ohľadu na charakter priebehu rýchlosti. Čas pohybu sa volí s ohľadom na zrýchlenie a teda aj moment motora.



Obrázok 7: Časový priebeh rýchlosti a momentu motora vertikálneho pohonu čeľustí

Pri návrhu pohonu horizontálneho pohybu čelústí je priebeh pohybu definovaný v troch sekciách: 1. sekcia popisuje zovretie čelústí, 2. sekcia definuje pôsobenie konštantnej sily na fóliu a posledná 3. sekcia predstavuje otvorenie čelústí. V 1. a 3. sekcií je použitý deltoidný priebeh rýchlosti pohybu. Pohyb je charakterizovaný počiatočnými a cieľovými uhlami hriadeľa a časom pohybu. V 2. sekcií je rýchlosť nulová, avšak nesmie sa zabudnúť na pôsobenie konštantnej sily pri laminovaní fólie.



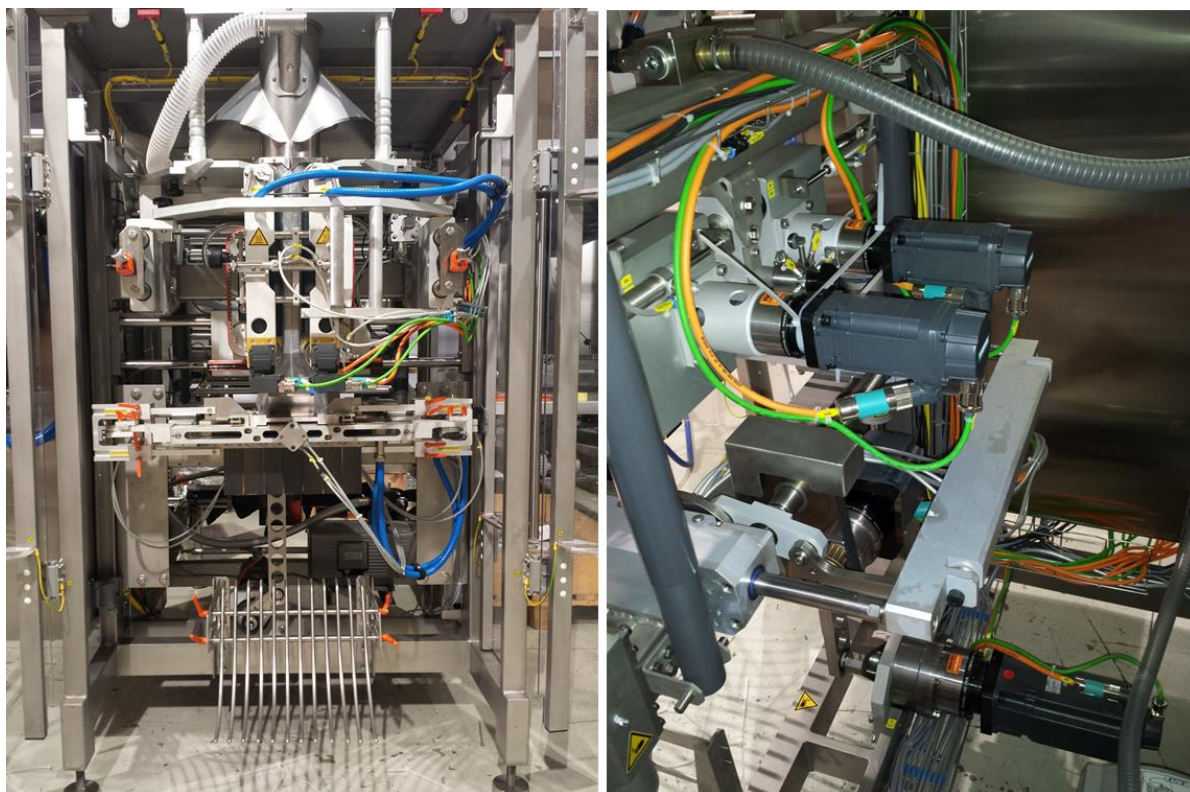
Obrázok 8: Časový priebeh rýchlosti a momentu motora horizontálneho pohonu čelústí

Pri výbere motorov pre pohon vyrovnávania fólie a pozdĺžneho kontinuálneho laminovania sa použijú najmenšie dostupné servomotory. Úlohou týchto motorov bude udržiavať kontinuálne bežiacu fóliu neustále napnutú.

Po vykonaní výpočtov v SIZERi sa ako najvhodnejšie ukázali nasledovné komponenty:

- Motor vertikálneho pohonu čelústí: $M_N = 10 \text{ Nm}$; $M_0 = 12 \text{ Nm}$; $I_N = 7,1 \text{ A}$; $I_0 = 8,1 \text{ A}$; $n_N = 2000 \text{ ot/min}$
- Motor horizontálneho pohonu čelústí: $M_N = 7 \text{ Nm}$; $M_0 = 8,5 \text{ Nm}$; $I_N = 2,65 \text{ A}$; $I_0 = 3,0 \text{ A}$; $n_N = 2000 \text{ ot/min}$
- Motorový modul: $I_N = 9,0 \text{ A}$; $I_P = 27,0 \text{ A}$

- 2-krát motor pre vyrovnávanie fólie a 2-krát motor pre pohon pozdĺžneho kontinuálneho laminovania: $M_N = 0,08 \text{ Nm}$; $M_0 = 0,18 \text{ Nm}$; $I_N = 1 \text{ A}$; $I_0 = 1,7 \text{ A}$; $n_N = 6000 \text{ ot/min}$
- 2-krát Motorový modul: $I_N = 1,7 \text{ A}$; $I_P = 5,1 \text{ A}$
- Napájací modul: Smart Line Module – $P_N = 5,0 \text{ kW}$; $P_P = 10,0 \text{ kW}$



Obrázok 9: Dvojosí kontinuálny baliaci stroj – pohľad spredu (vľavo), pohľad zvnútra (vpravo)

Vo všetkých prípadoch ide o synchronné servomotory s permanentnými magnetmi 1FK7. Ostatné komponenty systému pohonov Sinamics sú bližšie rozobraté v kapitole 4, rovnako ako aj riadiaci systém Simotion. Report z nástroja SIZER obsahuje Príloha 2.

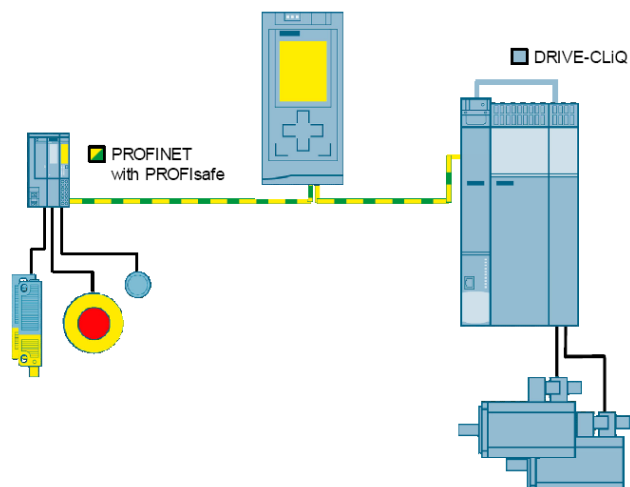
3 KONCEPT RIADENIA

Cieľom tejto krátkej kapitoly je predstaviť hlavnú myšlienku realizácie riadenia a bezpečnosti dvojsoého kontinuálneho baliaceho stroja. Ako už bolo spomentuté, celú technológiu zariadenia je možné rozdeliť na dve kooperujúce časti neoddeliteľne stojace vedľa seba – motion control a safety. Premostením týchto dvoch častí je práve funkcionálna Shared device.

3.1 Shared device

Shared device [10] umožňuje prístup viacerých navzájom nezávislých riadiacich systémov k jednému IO zariadeniu. Túto funkciu je možné využiť napríklad pre súčasný prístup safety a riadiaceho PLC k určitej IO periférii na zbernici Profinet. V prípade baliaceho stroja bude riadiacim PLC Simotion, ten bude spracovávať dáta týkajúce sa ovládania pohonov, riadenia polohy v uzavretej regulačnej slučke a synchronizácie pohonov. Bezpečnostné funkcie budú ale spracovávané v separátnom Safety PLC Simatic S7 – 1500F. Ten bude komunikovať s jednotkou Sinamics Integrated, ktorá je súčasťou Simotion. Teda jednotka Sinamics Integrated bude mať defacto dvoch masterov – motion mastra a safety mastra. Na komunikáciu medzi safety PLC a IO perifériou je potrebná výmena safety kritických dát a teda štandardný komunikačný protokol Profinet na túto úlohu nepostačuje. Je potrebné použiť dodatočnú bezpečnostnú nadstavbu pre Profinet – Profisafe.

Bude použitá funkcia Profinetu I-device F-proxy [10], čo v praxi znamená, že Simotion bude preposielať ProfiSafe telegramy od S7-1500F do pohonu. Takto bude pre safety PLC možné ovládať integrované bezpečnostné funkcie pohonov. Z pohľadu safety PLC slúži Simotion ako IO zariadenie na zbernici Profinet, podobne ako IO moduly ET-200SP.

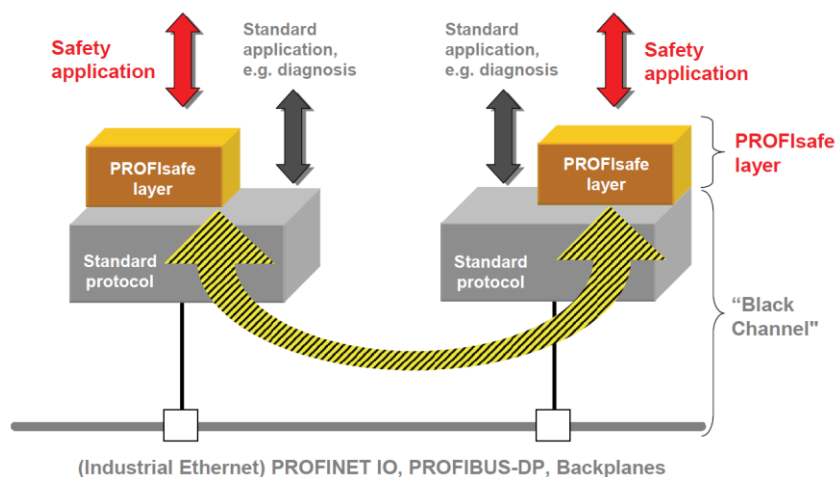


Obrázok 10: Koncept funkcionality Shared device [10]

Spojením integrovaných bezpečnostných funkcií [5] jednotky Sinamics Integrated a S7 – 1500F prostredníctvom Profisafe je možné dosiahnuť úroveň bezpečnosti SIL 2/ PL d.

3.2 Profisafe

Profisafe [7] protokol je možné použiť na zbernici Profinet alebo Profibus. Je možné používať jedno prenosové médium ako pre safety kritické výmeny dát, tak aj pre klasické komunikácie. Profisafe disponuje mechanizmami, ktoré znižujú resp. odstraňujú chyby: opakovanie dát, strata informácie, vyslanie v nesprávnom poradí, strata integrity dát, dlhé oneskorenia, zmiešanie safety a štandardných telegramov a pod. Týmto mechanizmami sú postupné číslovanie správ, potvrdzovanie, cyklický súčet (CRC) a unikátna F-adresa odosielateľa a príjemcu.



Obrázok 11: Profisafe komunikačný protokol [7]

3.3 Základné bezpečnostné funkcie pohonov

Tieto funkcie sú štandardne dostupné v každom pohone Sinamics S120 (vrátane Sinamics Integrated). Použiteľné sú vždy, bez špeciálnych nárokov na enkóder a aj v aplikáciách riadenia pohonov bez enkódera. Týmto funkciami sú:

- STO – Safe Torque Off – Odpovedá zastaveniu v kategórii 0. Bráni zdroju dodať motoru takú energiu, ktorá by mohla vygenerovať moment.
- SS1 – Safe Speed 1 – Odpovedá zastaveniu v kategórii 1. Motor je riadene zastavený po „rýchlej rampe“ a po jeho zastavení je aktivovaná funkcia STO.
- SBC – Safe Break Control – Implementuje bezpečné riadenie mechanickej brzdy.

4 POTREBNÉ ZARIADENIA

Táto kapitola popisuje zariadenia, ktoré budú použité na realizáciu projektu dvojosého kontinuálneho baliaceho stroja, ich vlastnosti, možnosti, prípadne rôzne prevedenia. Dôležitou časťou projektu sú pohony Sinamics S120, ktoré budú riadené systémom Simotion, zatiaľ čo bezpečnostné funkcie budú realizované v safety PLC Simatic S7-1500F.

4.1 Simotion

Je špecializované PLC ponúkané spoločnosťou Siemens na riadenie pohonov v pohybových aplikáciách. Umožňuje ako základné operácie, tak aj pokročilé operácie s pohonmi, či už jednotlivo s každým pohonom samostatne napr. otáčkové riadenie, riadenie polohy v uzavretej slučke alebo s celými skupinami pohonov napr. synchronne operácie, výstupné vačky a pod. Konfigurácia a programovanie sú možné v prostredí Simotion Scout prípadne Scout TIA, ktoré je súčasťou TIA Portal.

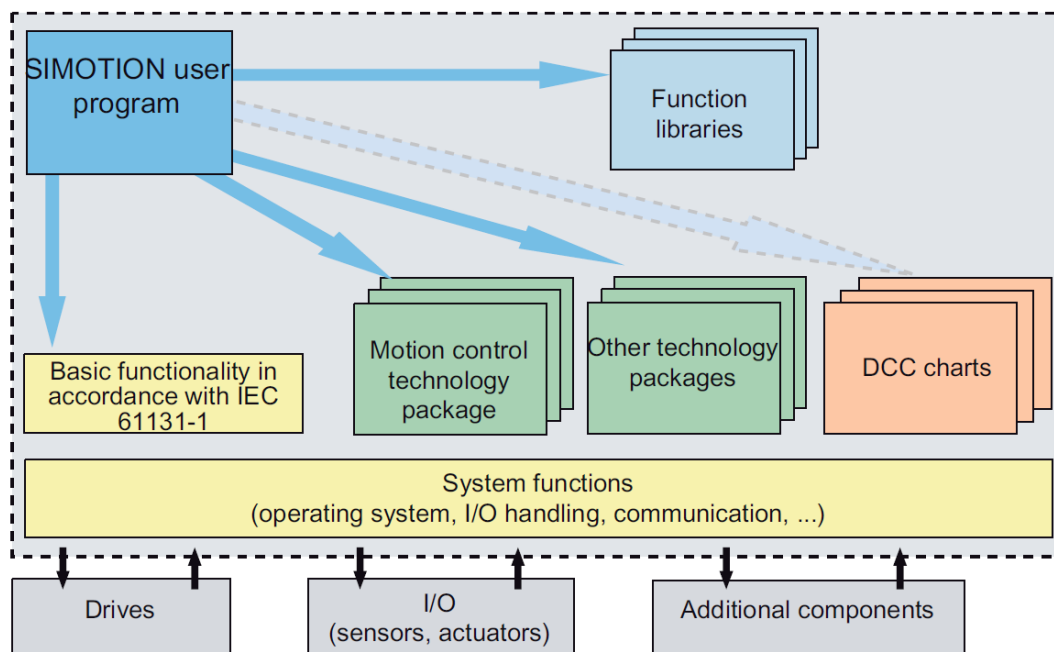
4.1.1 Programovanie a architektúra systému

Základnou filozofiou systému Simotion je združenie funkcionality PLC (IEC 61 131 – 3), technologických funkcií (riadenie hydrauliky, teploty, a pod.) s motion control funkciami. Pri programovaní [1] má užívateľ na výber viacero spôsobov, pričom niektoré z nich sú známe z klasických PLC:

- LAD – Ladder Logic Diagram: grafický programovací jazyk, jeho syntax korešponduje s elektrickými schémami
- FBD – Function Block Diagram: grafický programovací jazyk, matematické, logické alebo komplexnejšie operácie sú reprezentované blokom s danými vstupmi a výstupmi
- DCC – Drive Control Chart: grafický programovací jazyk, rozširuje možnosti najjednoduchšieho možného spôsobu konfigurácie riadiaceho systému Simotion alebo pohonu Sinamics
- MCC – Motion Control Chart: grafický programovací jazyk, ide o flowchart, ktorý zjednodušuje a zrýchľuje programovanie zložitých hlavne sekvenčne orientovaných aplikácií
- ST – Structured Text: programovací jazyk založený na Pascale, umožňuje efektívne spravovať dáta, optimalizovať procesy a prevádzať zložité matematické a štatistické kalkulácie

Základná funkcionality systému (nazývaná tiež Simotion Kernel [1]) v sebe zahŕňa funkcie pre riadenie v otvorenej slučke, uzavretej slučke, technologické funkcie rovnako ako funkcie pre logické a aritmetické operácie. Je definovaných viacero

úrovni spúšťania programu – synchronne, podmienené určitou udalosťou, prerušením, časovaním, sekvenčné, voľne bežiacie. Simotion ponúka knižnice obsahujúce systémové funkcie a funkcie pre pohybové aplikácie. Ďalej je možné použiť rôzne rozšírenia nazývané Technology Packages. Ich funkcie je v programe možné použiť podobným spôsobom ako základné funkcie zo Simotion Kernel.



Obrázok 12: Architektúra systému Simotion [1]

4.1.2 Možnosti komunikácie

Simotion disponuje nasledovnými možnosťami komunikačných rozhraní [1]:

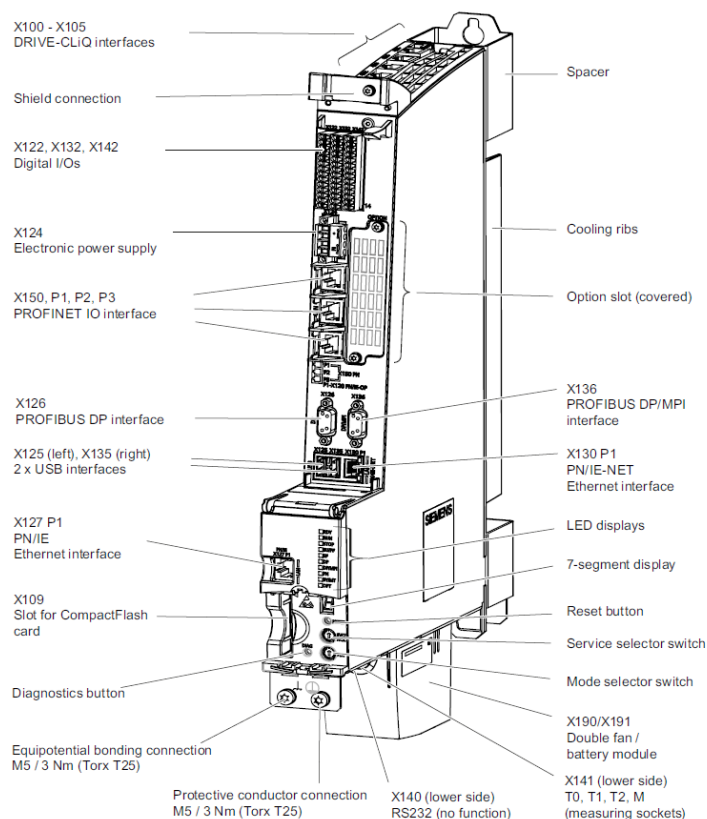
- Profinet / Industrial Ethernet – Je založený na otvorenom štandarde Industrial Ethernet pre automatizáciu. Umožňuje celopodnikové prepojenie a prenos dát do všetkých úrovní riadiacej pyramídy. Dovoľuje použitie jednej siete na komunikáciu v reálnom čase pre automatizačné aplikácie a zároveň aj IT komunikáciu bez nárokov na reálny čas. V prípade potreby safety komunikácie je k dispozícii ProfiSafe profil.
- Profibus – Predstavuje otvorenú priemyselnú zbernicu pre procesnú automatizáciu. Zabezpečuje rýchly a spoľahlivý prenos dát a integrované diagnostické funkcie. Možno ho použiť nezávisle na výrobcovi daných zariadení. Tiež je možná safety komunikácia prostredníctvom profilu ProfiSafe.

4.1.3 Varianty

Simotion je ponúkaný v troch variantoch [1] – Simotion C, Simotion D, Simotion P. Každý variant má určité špecifiká a je vhodný pre iný typ aplikácie:

- Simotion C – Controller based, možná je konfigurácia s centralizovanými IO, ale aj s distribuovanými IO. Používa sa pri riadení starších alebo neštandardných pohonov prostredníctvom IO kariet.
- Simotion P – PC based, znamená že Simotion P Runtime beží paralelne a úplne nezávisle s Windows. Toto prevedenie je vhodné v tých prípadoch, ktoré vyžadujú kombináciu motion control aplikácií a klasických aplikácií vhodných pre Windows, prípadne ak sa požaduje vzájomná výmena dát medzi Simotion P Runtime a Windows.
- Simotion D – Drive based, v sebe syntetizuje funkciu riadiacej jednotky Sinamics S120 (viac informácií v kap. 4.2.2) a nadradeného riadiaceho systému Simotion.

Pri realizácii riadiaceho programu pre pohony dvojsoého kontinuálneho baliaceho stroja bude použitý práve Simotion D.



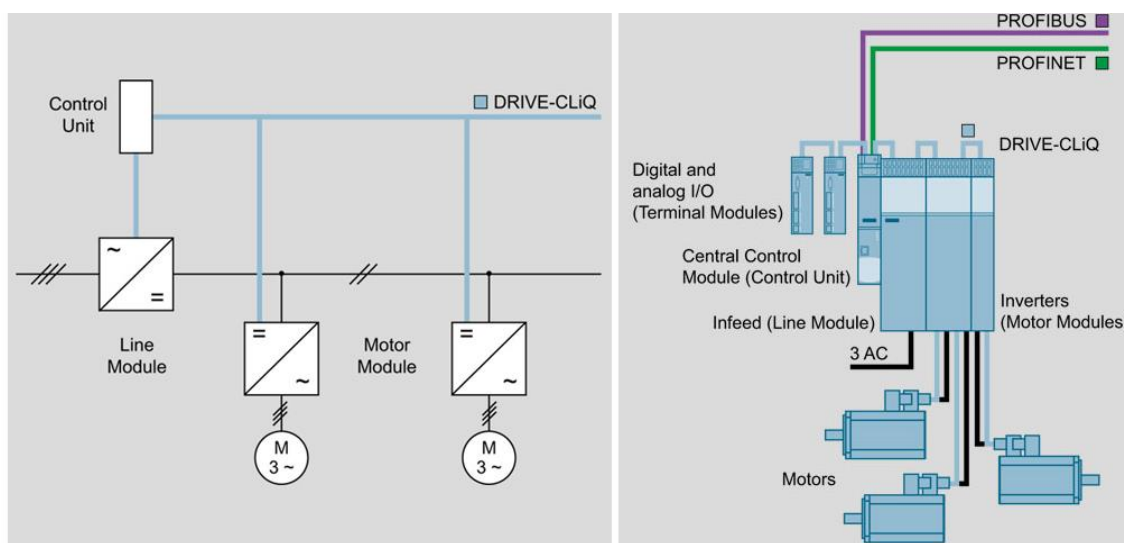
Obrázok 13: Simotion D [1]

4.2 Pohon Sinamics S120

Pri zariadeniach rodiny Sinamics S120 je pod pojmom pohon zahrnutého viac, než len akčný člen vykonávajúci pohyb či už rotačný alebo translačný. Ide o modulárne zariadenie, ktoré pozostáva s riadiacej jednotky (CU – Control Unit), napájacieho modulu (line module), striedača (motor module) a akčných členov (motorov),

prípadne rozširujúcich IO modulov (terminal module) na zber a spracovanie dát súvisiacich s akčnými členmi. Takto popísané komponenty sú navzájom prepojené prostredníctvom Drive-CLiQ Interface. V prípade požiadavky na komunikáciu riadiacej jednotky s nadradeným systémom je k dispozícii buď komunikačné rozhranie pre Profinet, alebo Profibus.

Pohony Sinamics S120 sa vyskytujú v dvoch variantoch: AC/AC a DC/AC. V projekte bude použitý DC/AC variant. DC/AC znamená, že striedač, ktorý generuje riadenie motora (AC) je pripojený k jednosmernému medziovodu (DC).



Obrázok 14: Topológia pripojenia Sinamics S 120: Princiálna schéma (vľavo), príklad skutočného zapojenia (vpravo) [2]

4.2.1 Drive-CLiQ

Rozhranie Drive-CLiQ [3] predstavuje neoddeliteľnú súčasť systému Sinamics. Používa sa na pripájanie motor modulov, prípadne IO modulov k riadiacej jednotke. Dôležitou vlastnosťou Drive-CLiQ je umožnenie pripojenia enkóderov jednotlivých motorov k motor modulom. Keďže ide o otvorený interface, je použiteľný na komunikáciu s enkódermi od rôznych výrobcov, teda z pohľadu zákazníka je možné rozšíriť pole voľby enkóderu tak, aby vyhovoval jeho predstave či už o presnosti merania alebo cenovým požiadavkám. Prenosová rýchlosť Drive-CLiQ 100Mbit/s je dostatočná aj na náročnejšie aplikácie využívajúce riadenie v uzavretej slučke. Pre programátora znamená použitie motora s priamo namontovaným enkóderom, ktorý disponuje Drive-CLiQ interfacom výrazné zjednodušenie – automatickú konfiguráciu motora. Technológia využíva elektronický „štítok“ motora obsahujúci všetky potrebné informácie o tomto motore. Tie sa do projektu načítajú automaticky a tak sa čas strávený uvádzaním do prevádzky výrazne skraca.

4.2.2 Riadiaca jednotka

Riadiaca jednotka [2] v sebe sústreďuje centrálnu inteligenciu pohonov Sinamics S120. Menej náročné operácie s pohonmi je možné realizovať v riadiacej jednotke priamo. Veľmi zjednodušene je možné funkciu riadiacej jednotky pohonu Sinamics S120 popísať nasledovne: K motor modulu je pripojený motor výkonovým vedením a prostredníctvom Drive-CLiQ enkóder. Riadiaca jednotka na základe užívateľského programu a spätnej väzby z enkóderu generuje riadenie motora, realizované z motor modulu po výkonovom vedení a zároveň dostáva informáciu o stave napájacieho modulu (buď cez Drive-CLiQ alebo prostredníctvom IO). (Obrázok 14)



Obrázok 15: Riadiaca jednotka Sinamics [2]

4.2.3 Napájací modul

Motor modul Sinamics S 120 DC/AC využíva jednosmerné napätie. Napájací modul [2] teda zaisťuje oddelenie obvodu, ktorý napája motor modul od napájacej siete. Existujú tri varianty napájacích modulov:

- Basic Line Module – používa sa v aplikáciách, kde sa energia zo zdroja iba odoberá, nadbytočne generovaná energia musí byť spotrebovaná v brzdnom rezistore brzdneho modulu.
- Smart Line Module – umožňuje tok energie nielen zo zdroja, ale aj späť do napájacej siete.
- Active Line Module – realizuje kompenzáciu jalového výkonu, dokáže zvyšovať napätie v medziobvode aj pri poklese napätia v napájacej sieti.

Tabuľka 3: Prehľad vlastností jednotlivých variantov napájacích modulov Sinamics S120 [5]

Vlastnosť	Basic Line Moule	Smart Line Moule	Active Line Moule
Činnosť	Neriaditeľná	Neriaditeľná	Riaditeľná
Kompenzácia fluktuácií napätia siete	Nie	Nie	Áno
Rekuperácia energie	Nie	Áno	Áno
Generovanie vyšších harmonických	Vysoké	Vysoké	Nízke
Kompenzácia jalového výkonu	Nie	Nie	Áno



Obrázok 16: Rôzne prevedenia napájacích modulov Sinamics [2]

4.2.4 Motor modul

Slúži na pripojenie riadeného motoru, teda na pripojenie Drive-CLiQ zbernice jeho enkóderu a jeho výkonového vedenia. Rovnako ako u napájacích modulov, aj u motor modulov [2] možno naraziť na dva typy prevedenia, a to buď modulárne alebo skriňové. Pri aplikáciách, v ktorých postačuje nižší výkonový rozsah je možné použiť takzvaný dvojité motor modul. Samozrejme každý z dvojice pripojených motorov je možné riadiť separátne. Hlavnou výhodou tohto prevedenia je úspora miesta v rozvádzači. Motor modul umožňuje riadenie v režime servo, vektorové riadenie a U/f riadenie.



Obrázok 17: Rôzne prevedenia motor modulov Sinamics [2]

4.3 Simatic S7-1500

PLC z rodiny S7-1500 od firmy Siemens predstavujú PLC vyššej výkonovej rady určené pre najrôznejšie automatizačné aplikácie. Sú výsledkom postupného vývoja zariadení S7-300 a S7-400. Výsledkom postupného zdokonaľovania je viacero variantov (s integrovaným CPU v ET200SP, prípadne variant soft-PLC) a rôzne CPU, každé vhodné pre určitý typ aplikácie (Fail safe – bezpečnostné funkcie, Technology – motion control funkcie atď.).

Z hľadiska tohto projektu je potrebné safety PLC S7-1500F [4]. Toto safety PLC umožňuje centralizovanú, aj distribuovanú IO konfiguráciu. Jedno CPU je schopné spracovávať ako safety programy, tak aj štandardné užívateľské programy. CPU sú certifikované ako SIL 3 podľa IEC 61 508 a PL e/Cat. 4 podľa IEC 13 849-1.



Obrázok 18: Simatic S7-1500F [4]

4.3.1 Možnosti komunikácie

S7-1500 disponuje týmito komunikačnými rozhraniami [4]:

- Profinet/ Industrial Ethernet
- Profibus

Prostredníctvom uvedených rozhraní ponúka toto PLC služby ako napr. HMI komunikáciu, pripojenie distribuovaných periférií, webový server, časovú synchronizáciu a samozrejme možnosť pripojenia inžinierskej stanice (PG/PC).

4.4 Distribuované periférie ET 200SP

ET 200SP [11] predstavuje multifunkčný IO modul distribuovaných periférií na zbernici Profibus prípadne Profinet. Možná je konfigurácia s rôznymi modulmi ako napr. modul digitálnych alebo analógových vstupov, výstupov, soft štartéry pre motory a pod.

V projekte baliaceho stroja bude ET 200SP použité ako modul distribuovaných bezpečných vstupov a výstupov.



Obrázok 19: ET 200SP [11]

4.4.1 Modul bezpečných vstupov

Modul bezpečných vstupov F-DI 8x24VDC HF [11] má k dispozícii 8 digitálnych vstupov. V prípade využitia dvojkanálového zapojenia má užívateľ k dispozícii štyri kanály: 0-4, 1-5, 2-6, 3-7. Umožnené je tiež interné napájanie vstupných kanálov. Ďalšou možnosťou je test na skrat v obvode snímača – ak je detegovaný skrat, interné napájanie snímača je odpojené.

Modul bezpečných vstupov ďalej disponuje možnosťou rôzneho vyhodnocovania signálov [11] zo snímačov a vstupných zariadení:

- 1oo1 – snímač zaberá jeden vstupný kanál
- 1oo2, ekvivalentné zapojenie – dvojkanálové ekvivalentné zapojenie snímača alebo dva jednokanálové snímače zapojené ekvivalentne
- 1oo2, neekvivalentné zapojenie – dvojkanálové neekvivalentné zapojenie snímača alebo dva jednokanálové snímače zapojené neekvivalentne

Tabuľka 4 ukazuje možnosti dosiahnutej úrovne bezpečnosti pri použití modulu bezpečných vstupov.

Tabuľka 4: Dosiahnuteľná úroveň bezpečnosti v závislosti na zapojení a vyhodnotení dát zo snímačov [11]

Spôsob vyhodnotenia dát zo snímača	Napájanie snímača	Dosiahnuteľná úroveň SIL/Kat./PL
1oo1	Akékoli'vek	3/3/d
1oo2 ekvivalentné	Interné bez testu na skrat	3/3/e
	Externé	
1oo2 ekvivalentné	Interné s testom na skrat	3/4/e
1oo2 neekvivalentné	Interné s testom na skrat	
	Externé s testom na skrat	

4.4.2 Modul bezpečných výstupov

Modul bezpečných výstupov F-DQ 4x24VDC PM HF [11] ponúka štyri bezpečné výstupy, pre ktoré sú umožnené nasledujúce autodiagnostické testy:

- Dark test – pokiaľ je kanál aktívny („log. 1“), výstup sa veľmi rýchlo vypne a opäť zapne
- Light test – pokiaľ je kanál neaktívny („log. 0“), krajný a stredný vodič sa naraz veľmi rýchlo zapnú a opäť vypnú, záťažou preteká prúd
- Switch-on test – pokiaľ je kanál neaktívny („log. 0“), krajný a stredný vodič sa striedavo veľmi rýchlo zapne a opäť vypne, záťažou nepreteká žiadny prúd

5 SAFETY PROGRAM PRE BALIACI STROJ

Po posúdení rizík, návrhu bezpečnostných opatrení a vytýčení hardwarových prostriedkov potrebných na realizáciu projektu, je možné pristúpiť k realizácii samotného safety programu. Práve safety program, kroky spojené s parametrizáciou IO modulov a implementácia Shared device konceptu budú v tejto kapitole podrobnejšie rozobraté.

5.1 Parametrizácia bezpečnostných IO modulov

Ako bolo uvedené už v predchádzajúcej kapitole, bezpečnostné moduly sa od štandardných modulov odlišujú hlavne poskytovanou funkcionalitou. Je ich preto potrebné pred použitím pozorne parametrizovať, aby bola vo výsledku naozaj dosiahnutá požadovaná úroveň integrity bezpečnosti.

Pri použití modulov bezpečných IO je nutné najprv definovať ich F parametre. Tieto parametre určujú unikátnu identifikáciu IO modulov, informácie o ich správaní pri poruche a možnostiach ich uvedenia do opätovného chodu po odstránení a potvrdení poruchy. Unikátny identifikátor daného IO modulu určuje jeho Profisafe adresu. Ide o dvojicu: F adresa cieľa (musí byť unikátna pre dané CPU) a F adresa zdroja (musí byť unikátna pre danú sieť). Tieto nastavenia je vhodné vykonať hneď po pripojení modulu ET 200SP do hardwarovej konfigurácie safety PLC.

Nasleduje definovanie vstupných signálov. Oproti klasickým vstupným modulom sú tu určité dôležité špecifiká, ktoré majú vplyv na správnu funkciu modulu. Nepoužitý vstupný kanál je treba deaktivovať. Pokiaľ by tak vykonané nebolo, samodiagnostické testy by to vyhodnotili ako poruchu a daný modul by prešiel do chybového stavu, ktorý za behu nemožno odstrániť. Ďalšou špeciálnou funkciou oproti klasickým vstupným modulom je dvojkanálové zapojenie vstupných zariadení. Je možný výber zapojenia pre každý kanál z možností popísaných v kapitole 4.4. Na dvojkanálové zapojenie z hľadiska programu sa referuje podľa nižšieho čísla kanálu (I0.0 využíva kanál 0 a 4, I0.1 využíva kanál 1 a 5 atď.). Pri parametrizácii modulu bezpečnostných výstupov sa nesmie zabudnúť na nastavenie detekcie prerušenia drôtu a časov pre light, dark a switch on testy. Rovnako ako pri module bezpečných vstupov aj tu je nutné nepoužívané výstupné kanály deaktivovať.

5.2 Simotion I-device F-proxy

Základnou myšlienkou bezpečnosti kontinuálneho baliaceho stroja je Shared Device, ako už bolo naznačené v kapitole 3. Teda z pohľadu safety PLC je teraz nutné

realizovať komunikáciu s pohonom Sinamics Integrated. Tento je súčasťou Simotion a teda sám nedisponuje žiadnymi komunikačnými rozhraniami, ktoré by boli pre užívateľa „zvonku“ prístupné. Komunikácia medzi Simotion a Sinamics Integrated je totiž realizovaná interne prostredníctvom zbernice Profibus Integrated (táto zbernica je viditeľná aj pri tvorbe hardwarovej konfigurácie v prostredí TIA Portal). Tu sa ponúka riešenie použiť Profinetové rozhranie Simotionu na spojenie zo Safety PLC a správy určené pre Sinamics Integrated jednoducho presmerovať do pohonu. Správy pre riadenie pohonov majú podobu tzv. štandardných telegramov, pričom každý obsahuje dáta relevantné pre iný typ riadenia napr. otáčkové, polohové, a v tomto prípade aj safety kritické riadenie. Konfigurácia telegramov je na užívateľovi a realizuje sa v Scout TIA. Pre komunikáciu zo Simotion bol zvolený štandardný telegram 105 vhodný pre polohovacie aplikácie. Navyše je potrebné pridať ProfiSafe telegram 30 [10], ktorým budú prenášané požiadavky na realizáciu bezpečnostných funkcií v pohone. Parametrizácia týchto funkcií sa opäť vykoná v prostredí Scout TIA. Realizovaná bude základná safety funkcia Safe Stop 1, teda pôjde o zastavenie stroja v kategórii 1.

Object	Drive object	-No.	Telegram type	Settings		Input data		Output data		Technology object
						Length	Address	Length	Address	
1	Control_Unit	1	SIEMENS telegram 390, PZD-2/2	Standard/automatic	✓	2	256..259	2	256..259	---
2	Horizontal_servo	3	PROFIsafe standard telegram 30, PZD-1/1		✓	3	140..145	3	140..145	
			SIEMENS telegram 105, PZD-10/10	Standard/automatic	✓	10	288..307	10	288..307	Horizontal
			Telegram extension		✓	1	308..309	0	---..---	
3	Vertical_servo	2	PROFIsafe standard telegram 30, PZD-1/1		✓	3	146..151	3	146..151	
			SIEMENS telegram 105, PZD-10/10	Standard/automatic	✓	10	320..339	10	320..339	Vertical
			Telegram extension		✓	1	340..341	0	---..---	

Obrázok 20: Konfigurácia telegramov pre komunikáciu so Sinamics Integrated

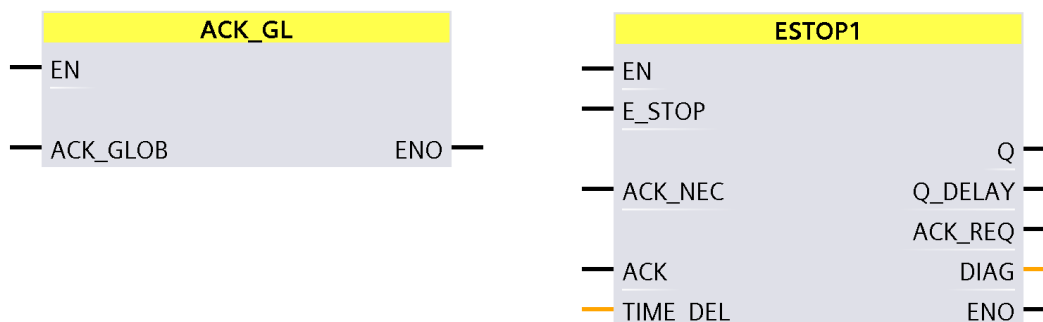
V Simotione je ďalej nutné nastaviť I-device F-proxy [10] funkciu. Výsledok korektného nastavenia je možnosť zapisovať zo Safety PLC do Profisafe Telegramu rovnakým spôsobom, ako je užívateľ zvyknutý pri prístupe na výstupy PLC. Zvláštnu pozornosť je potrebné venovať záložke F-proxy, v ktorej sa nastavuje už spomínaná F adresa cieľa. Tá sa musí zhodovať s nastavením Profisafe adresy v Sinamics Integrated. Po splnení vyššie popísaného je hardwarová konfigurácia hotová a teda sa pristupuje k tvorbe safety programu.

5.3 Safety program

Pri tvorbe safety aplikácie sú programátorovi dostupné iba dva programovacie jazyky: FBD a LAD. Safety program bude realizovať bezpečnostné funkcie využívajúce komponenty, ktoré sú znázornené v blokovej schéme uvedenej v predchádzajúcom texte (Obrázok 4). Zvolený programovací jazyk bude FBD – diagram funkčných blokov. Prostredie Tia Portal poskytuje knižnice so safety inštrukciami (sú označené žltou farbou). Základom programu sú dva dôležité funkčné bloky – ESTOP1 a ACK_GL z knižnice Safety Functions.

Funkčný blok ACK_GL slúži na potvrdzovanie chýb na bezpečných IO moduloch, kanáloch alebo komunikácií. Tento blok je ovládaný reset tlačidlom.

ESTOP1 vyhodnocuje vstup ESTOP a na základe toho povoľuje alebo zakazuje svoj výstup Q. Má možnosť nastavenia časového oneskorenia výstupu Q_DELAY oproti výstupu Q. Dôležitý je vstup ACK, kam sa privádza signál potvrdzujúci opätovné spustenie stroja potom, ako sa vstup ESTOP opäť nastaví na hodnotu TRUE.



Obrázok 21: Funkčné bloky ESTOP1 a ACK_GL

Ako už bolo spomenuté vyššie, komunikácia s pohonom prebieha obdobne ako zápis na výstupy PLC. Pri vytvorení I-device F-proxy sa vytvorilo šesť vstupných a šesť výstupných bajtov pre oba motory. Je ale nutné podotknúť, že užívateľ smie zapisovať iba prvé dva bajty (Obrázok 22). V nich jednotlivé bity predstavujú aktiváciu danej bezpečnostnej funkcie, ostatné bajty slúžia na ošetrovanie chýb pri prenose prostredníctvom ProfiSafe a sú zapisované automaticky.

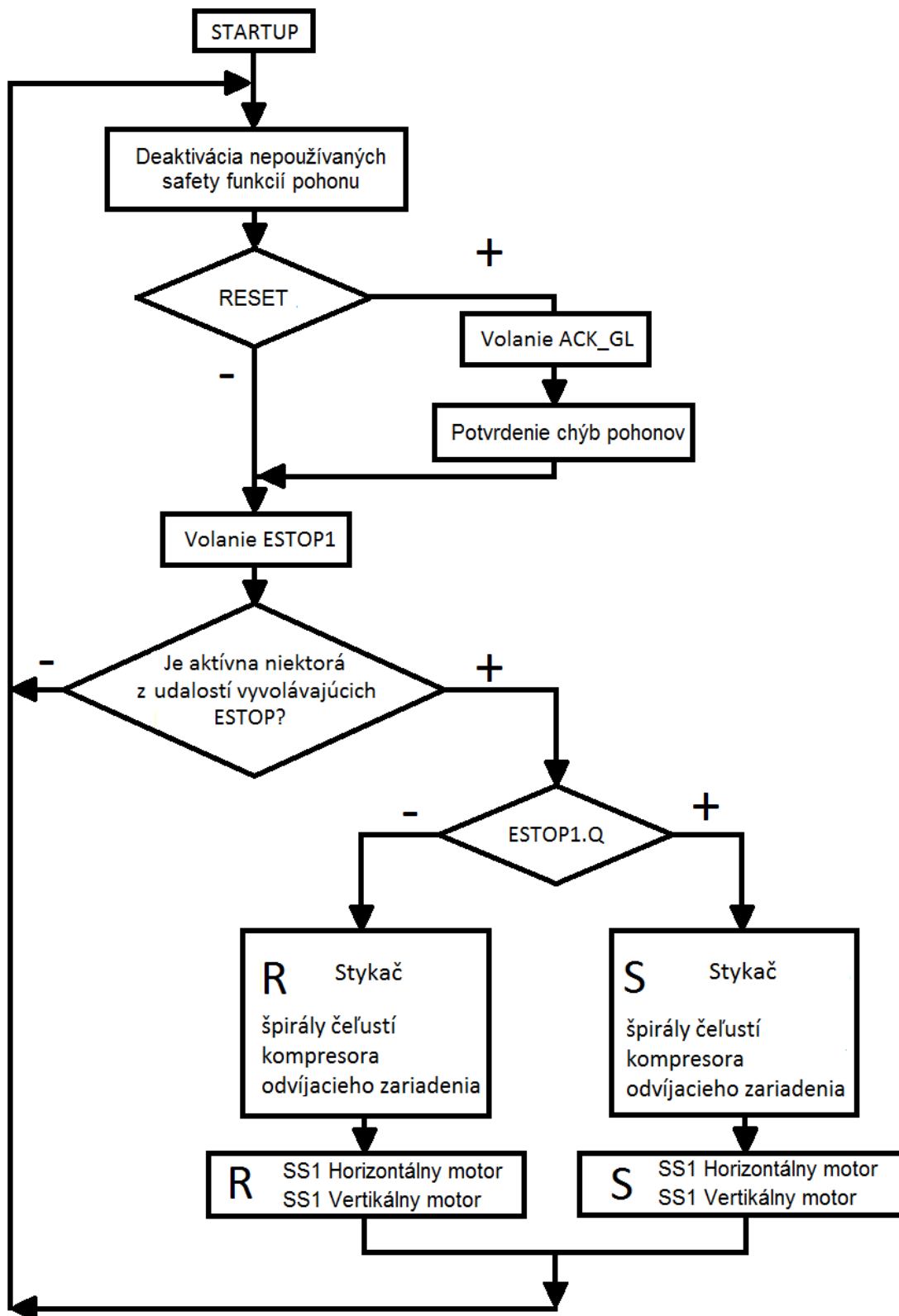
PROFIsafe status word (S_STW1, PZD1 in telegram 30)															
Byte 0								Byte 1							
0	1	2	3	4	5	6	7	0	1	2	3	4	5	6	7
STO	SS1	SS2	SOS	SLS	Res.	SLP	Int. Ev. ACK	Res.	SLS limit sel.	SLS limit sel.	Res.	SDI pos.	SDI neg.	Res.	Res.

Obrázok 22: Význam bitov v prvých dvoch bajtoch ProfiSafe telegramu

Reset tlačidlo nemusí byť zapojené ako bezpečný vstup, avšak na module bezpečných vstupov ostali voľné miesta, preto je možné tieto nevyužívané vstupy využiť.

Pri tvorbe safety programu sme postupovali podľa vývojového diagramu uvedeného nižšie (Obrázok 23). Podrobný program tak ako bol nahraný do safety PLC obsahuje Príloha 3. Vytvorením logiky programu sa tvorba safety aplikácie ešte nekončí. Pre ochranu safety aplikácie je požadované zadanie hesla. Na to slúži záložka Safety Administration, kde je ďalej možné vykonať rôzne dodatočné nastavenia – vytvoriť viaceré safety runtime skupiny a pod. Samozrejme zadanie hesla na ochranu safety aplikácie nemá žiadny vplyv na štandardnú aplikáciu, kde sa zabezpečenie heslom

nijako neprejaví. Štandardná aplikácia teda môže vedľa safety aplikácie fungovať „autonómne“, tak ako je užívateľ zvyknutý u klasických PLC bez safety funkcionality.



Obrázok 23: Vývojový diagram safety programu

6 TVORBA RIADIACEHO PROGRAMU PRE BALIACI STROJ

Táto kapitola podrobne dokumentuje tvorbu motion control programu pre dvojosí kontinuálny baliaci stroj. Zahrňuje vysvetlenie dôležitých pojmov v súvislosti s riadením polohy a synchronizácie pohonov, popis hlavných krokov pri tvorbe programu a myšlienkové postupy. Taktiež bude čitateľ zoznámený s činnosťou jednotlivých funkcií a funkčných blokov, použitých v riadiacom systéme Simotion.

6.1 Technologické objekty

V prípade Simotion ide o PLC špecializované pre riadenie pohybových aplikácií. Je teda zrejmé, že v porovnaní s klasickými PLC bude odlišný hlavne architektúrou systému. S tým súvisia nároky na vyšší výkon, špecializované dátové rozhrania a hlavne interface pre programátora, ktorý musí byť schopný aj so zložitými úlohami pracovať efektívne a prehľadne. K tomu okrem iného pomáhajú aj technologické objekty, ktoré pre programátora predstavujú v PLC akúsi abstrakciu zložitých reálnych zariadení. Sú charakterizované svojimi vlastnosťami a parametrami, ku ktorým má programátor, prípadne používateľ prístup (úplný alebo čiastočný). Tieto objekty teda existujú samostatne popri častiach užívateľského programu, je možné ich aktivovať, deaktivovať prípadne s nimi inak operovať prostredníctvom systémových funkcií. Inžiniersky softvér Scout TIA ďalej poskytuje rôzne „grafické masky“ pre manuálne nastavovanie niektorých parametrov technologických objektov a tak sa práca na zložitých úlohách stáva používateľsky prijateľnejšou a prehľadnejšou.

Z hľadiska tohto programu je najdôležitejším technologickým objektom os. Os reprezentuje motor v užívateľskom programe. Pri konfigurácii sa osi priradí konkrétny motor a ďalej sa nastavujú požadované vlastnosti napr. či bude využité riadenie rýchlosti, polohovanie, prípadne synchronná operácia a pod. Osi realizujúce pohyby v baliacom stroji vyžadujú polohovanie a synchronnú operáciu. Polohovanie je nutné ako pre vertikálny, tak aj pre horizontálny pohyb čelustí baliaceho stroja. V oboch prípadoch sú totiž špecifikované medzné polohy, do ktorých môžu dané osi jazdiť, takisto je informácia o polohe osí nutná na uskutočnenie ich synchronizácie. Bez možnosti synchronizovať osi by bola realizácia baliaceho stroja nemožná. Je preto potrebné presne definovať správanie (hlavne polohu) oboch osí s najvyššou možnou presnosťou a zároveň najvyššou možnou opakovateľnosťou (užívateľ totiž požaduje všetky sáčky danej receptúry rovnakej dĺžky). Referenčnou udalosťou ako pre začiatok, tak aj koniec synchronizácie bude tok materiálu resp. poloha, v ktorej sa odvíjaná fólia nachádza.

Tok materiálu je teda zdrojom master hodnoty. Pre simuláciu tokov materiálu rôznymi rýchlosťami bude použitá špeciálna os – virtuálna os. Táto má dôležitú vlastnosť a síce že nie je prepojená s reálnym objektom, reálnym motorom. Využíva sa práve vtedy, ak je potrebné vykonávať synchronizáciu viacerých motorov, viacerých zariadení – liniek (napr. viaceré baliace stroje s dopravníkom a pod). Táto os bude navyše nastavená ako modulo os, čo znamená, že po vykonaní jednej otáčky sa poloha vynuluje a opäť sa zvyšuje.

Realizácia vyššie popísanej synchronizácie slave osí s master osou bude možná vďaka synchrónnym objektom. Tie sa vytvoria zároveň s osou, na ktorej je synchrónna operácia povolená. V Simotion existujú tri typy synchrónnych operácií [49]: gearing („prevod“), velocity gearing („väzba konštantnej rýchlosti“) a camming („vačka“). V projekte baliaceho stroja bude pre synchronizáciu master osi a slave osí použitá vačka. Vačka je krivka, ktorá definuje vzájomný vzťah medzi master polohou a slave polohou, pričom master poloha je nezávislá premenná a slave poloha závislá premenná.

Základná konfigurácia teda vyzerá nasledovne: master bude virtuálna os a slave osami budú vertikálna a horizontálna os riadiaca pohyb čel'ustí. Horizontálna a vertikálna os budú s master osou synchronizované a to každá pomocou svojej definovanej vačky.

6.2 Polohovanie pohonu

Pred tým, ako bude vysvetlená synchronizácia pohonov a návrh vačiek je dôležité venovať pozornosť riadeniu polohy. Je potrebné uvedomiť si, ako je riadenie polohy v uzavretej slučke ovplyvnené typom snímača polohy, kde a ako sa uskutočňuje.

6.2.1 Referencovanie pohonu

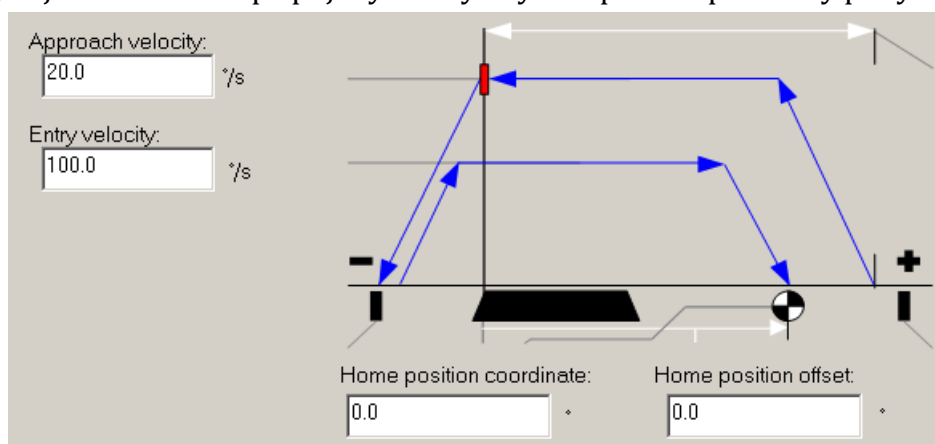
V aplikáciách s riadením pohonov v uzavretej regulačnej slučke je potrebné realizovať meranie polohy a na základe neho upravovať riadenie pohonu. Za týmto účelom sa používajú enkódery, či už namontované priamo na hriadeli motora, alebo na inom mieste priamo na technológií. Okrem voľby miesta merania je dôležitý tiež typ enkódera [14]:

- Inkrementálny – po vypnutí a opätovnom zapnutí Simotion nie sú dáta o polohe relevantné.
- Absolútny – po vypnutí Simotion sa dáta o polohe z viacerých otáčok neukladajú, pri zapnutí je aktuálna poloha vytvorená z polohy enkódera v rámci jednej otáčky.
- Cyklicky absolútny – po vypnutí a opätovnom zapnutí Simotion sa dáta o polohe nestretia, a to ani v rámci viacerých otáčok enkódera.

Na určovanie polohy pohonov baliaceho stroja je použitý enkóder cyklicky absolútny na vertikálnej osi a inkrementálny na osi horizontálnej. Oba tieto enkóдеры je nutné zreferencovať tak, aby boli ich údaje použiteľné pri tvorbe riadiaceho programu.

V prípade vertikálnej osi, teda cyklicky absolútneho enkóderu, stačí ak sa referencovanie vykoná raz, napr. v manuálnom móde. Po nastavení tejto referenčnej pozície je už možné na pohone ďalej prevádzkovať riadenie polohy bez ďalšieho referencovania. Údaje o východzej pozícii sú totiž uložené v energeticky nezávislej pamäti. Toto referencovanie bude realizované na povel z operátorskej obrazovky v manuálnom móde. V simotion bude využitá systémová funkcia `_homing`.

Pre horizontálnu os, teda pre inkrementálny enkóder je potrebné vždy po vypnutí a opätovnom spustení realizovať homovanie. Tu je možná realizácia homingu viacerými spôsobmi. Pre horizontálnu os budú použité dva z nich: priame nastavenie nulovej pozície a home procedúra (Obrázok 24). Priame nastavenie home pozície bude realizované v manuálnom móde kombináciou tlačidla na operátorskej obrazovke a funkcie `_MC_Jog` z knižnice PLC Open. Táto funkcia realizuje otáčanie motora fixne (v programe) určenou rýchlosťou v smere definovanom obsluhou (pomocou tlačidla na obrazovke operátorského panelu). Spustenie automatického módu bezprostredne po zapnutí zariadenia by ale takto viedlo k nefunkčnosti. Preto je potrebné vždy pri štarte automatického módu realizovať tzv. home procedúru. Tá v sebe zahŕňa spustenie pohonu v definovanom smere, nájazd na snímač pripojený ako rýchly vstup a kompenzačný pohyb.

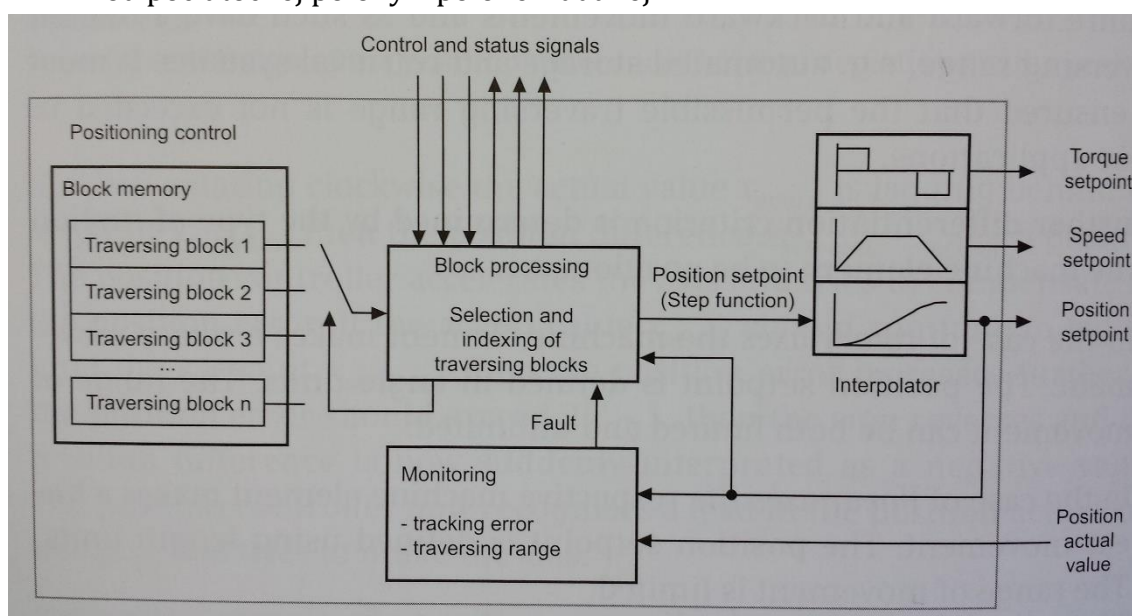


Obrázok 24: Nastavenie home procedúry pre horizontálnu os

6.2.2 Činnosť riadenia polohy

Polohovacia aplikácia pozostáva z určenej sekvencie krokov, ktoré je potrebné vykonať. Tieto kroky sú používateľom definované v riadiacom programe, ktorý je vykonávaný pomocou systému riadenia polohy [15], ten následne realizuje riadenie samotnej osi. Pozostáva z nasledovných častí:

- Pamäť blokov – tu sú uložené jednotlivé traversing bloky, pričom každý z nich obsahuje polohovaciu úlohu. Spoločne tieto bloky tvoria polohovací program definovaný programátorom ako napr. bloky z knižnice PLC Open.
- Procesor blokov – každý traversing blok, ktorý je práve spustený sa spracováva tu. Po jeho vykonaní nasleduje ďalší, atď. Procesor blokov tiež určuje setpoint pre interpolátor ako skokovú zmenu z počiatočnej pozície na požadovanú.
- Interpolátor – generuje setpoint polohy pre regulátor polohy a naviac odvodzuje dopredné väzby pre riadenie momentu, rýchlosti a polohy. Ak je pre os vydaný povel pre prechod do novej pozície, táto pozícia nemôže byť predaná riadeniu ako skoková zmena. V takom prípade by motor dosiahol veľké zrýchlenie, potom maximálny moment a maximálnu rýchlosť. Brzdienie by vyzeralo obdobne. Opísaný spôsob riadenia polohy by bol nepresný a naviac by jeho dynamika bola veľmi ťažkopádna vďaka preregulovaniu. Činnosť interpolátora spočíva v tom, že na základe setpointu rýchlosti z procesora blokov, generuje hladkú krivku a tak v podstate interpoluje od počiatočnej polohy k polohe žiadanej.



Obrázok 25: Funkčná schéma riadenia polohy [15]

6.3 Rozbor realizácie polohovacích a synchronných operácií osí

Pre tvorbu programu Simotion ponúka viaceré úrovne spúšťania jednotlivých programových častí. K dispozícii sú štandardné úrovne spúšťania [1] ako StartupTask, BackgroundTask, ShutdownTask, ďalej prerušenia: časové, systémové, používateľom definované. Špecialitami sú SynchronousTask a MotionTask.

SynchronousTask je spúšťaný s vysokou prioritou synchrónne vzhľadom k systémovému času, cyklicky. MotionTask je vhodný pre určitú sekvenciu, sled za sebou nasledujúcich operácií (nie je cyklický). Je možné ho naštartovať z inej úrovne spúšťania.

Základnými blokmi pri ovládaní osí z užívateľského programu budú bloky z knižnice PLCopen. Ide o bloky určené pre cyklické volanie, t. j. používanie v BackgroundTask. PLCopen obsahuje bloky pre aktiváciu osi, nastavenie home pozície osi, absolútne, relatívne polohovanie atď. Ovládanie synchrónnej operácie – vačky bude realizované v MotionTask. Tu výnimočne nebude použitý jazyk STL, ale MCC. MCC je ideálny spôsob riešenia programu v MotionTask, hlavne ak sú v ňom používané zložitejšie systémové funkcie a funkčné bloky, ktoré predstavujú určitú sekvenciu. V tomto prípade ide o bloky riadiace synchronizáciu a desynchronizáciu osí.

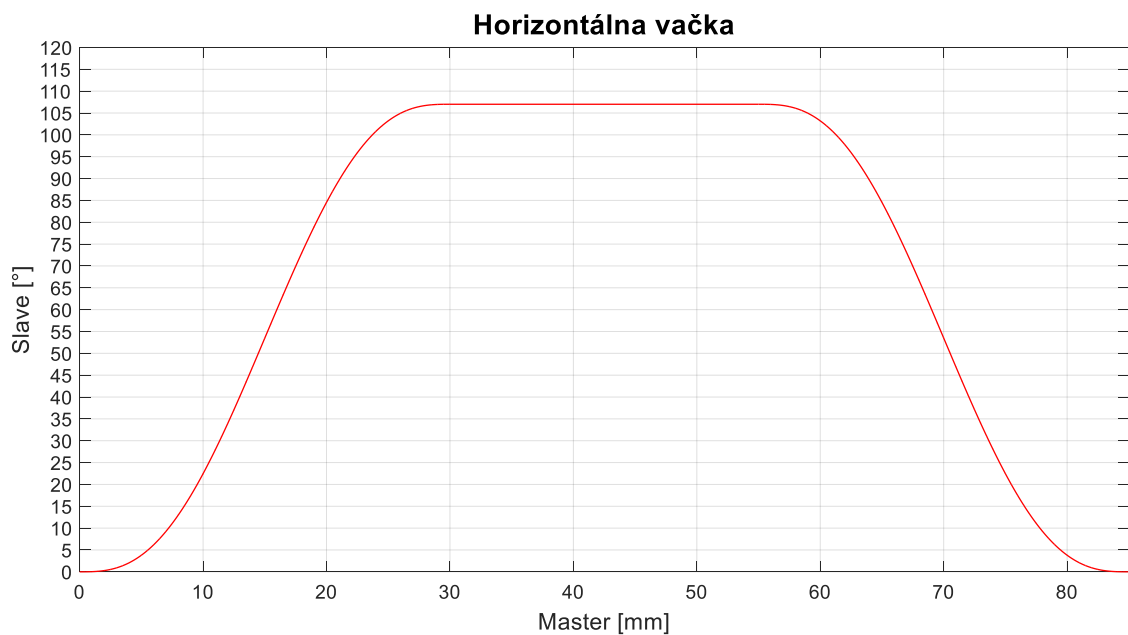
Je dôležité mať na pamäti, že vačky je potrebné navrhnuť tak, aby bolo splnené zadanie opísané v kapitole 2.3. Vytváranie vačiek je možné viacerými spôsobmi, k dispozícii je hneď priamo v Scout TIA niekoľko rôznych profilov pohybu určených pre tvorbu vačiek. Existuje ale aj možnosť importu vačiek. Pri horizontálnom pohybe čelustí je potrebné realizovať prechod slave osi z jednej pozície do druhej, rýchlosť a zrýchlenie pri prechode nie je nutné presne špecifikovať. Teda tento pohyb si možno predstaviť tak, že ak master os dosiahne definovanú pozíciu, je nutné realizovať chod čelustí k sebe. Keď je spoj zalaminovaný (zo zadania je zrejme, že to trvá 100 ms), čelusti sa môžu opäť otvoriť. K realizácii vačky je ale potrebné poznať polohu master osi v dobe, keď sa majú čelusti otvoriť. Z toho vyplýva, že musí byť známa dráha, ktorú prejde master os konštantnou rýchlosťou počas doby laminovania. Rýchlosť master osi je determinovaná dvomi parametrami: prvým je počet sáčkov za minútu (cyklus stroja) a druhým dĺžka sáčku definovaná v receptúre:

$$v_{MASTER} = \frac{\text{sáčkov}}{t} \frac{L_{MATERIÁL}}{\text{sáčok}} \quad (6.1)$$

$$L_{MASTER} = v_{MASTER} t_{LAMINOVANIA} \quad (6.2)$$

Kde v_{MASTER} je rýchlosť master osi, t je doba trvania výroby jedného sáčku v sekundách, $L_{MATERIÁL}$ je dĺžka materiálu v milimetroch, L_{MASTER} je dĺžka materiálu (v milimetroch) odvinutého za čas laminovania $t_{LAMINOVANIA}$ (v sekundách).

Na základe vzdialenosti L_{MASTER} , prejdenej za 100 ms je jednoduché určiť polohu, v master osi, v ktorej sa majú čeluste opäť roztvoriť. Samozrejme cieľová poloha slave osi nemôže byť dosiahnutá skokom, preto vačka definuje začiatočnú a koncovú rampu, ako ukazuje Obrázok 26.



Obrázok 26: Vačka pre horizontálnu os

Vačka, ktorá popisuje polohu osi realizujúcej vertikálny pohyb čel'ustí bude taktiež navrhnutá na základe vzťahov (6.1) a (6.2) uvedených vyššie. Naviac však musí byť zohľadnený fakt, že počas laminovania musí os udržiavať rovnakú rýchlosť ako je rýchlosť materiálu, teda master osi. Koncový bod kľuky, musí prejsť určitú dráhu (konštantnou rýchlosťou), ktorú ale program pre pohon vyžaduje vo forme uhlu natočenia hriadeľa motoru. Preto je potrebné podrobnejšie rozobrať kľukový mechanizmus ako taký. Jeho úlohou je prevádzať rotačný pohyb hriadeľa motora na lineárny pohyb čel'ustí. Realizácia vačky bude vyžadovať určenie polohy koncového bodu x ako funkcie uhlu natočenia hriadeľa α : $x = f(\alpha)$. Vzďialenosť od stredu osi otáčania motora až do krajnej polohy pri úplnom vystretí kľuky bude označená $R + L$, kde R je dĺžka kratšej časti a L dĺžka dlhšej časti kľukového mechanizmu. V závislosti na uhle hriadeľa sa od tejto vzdialenosti odčítavajú dĺžky x_1 a x_2 . Túto situáciu naznačuje Obrázok 27:

$$x = R + L - [x_1 + x_2] \quad (6.3)$$

Dĺžka x_1 bude vyjadrená použitím goniometrickej funkcie kosínus uhla α v pravouhlom trojuholníku:

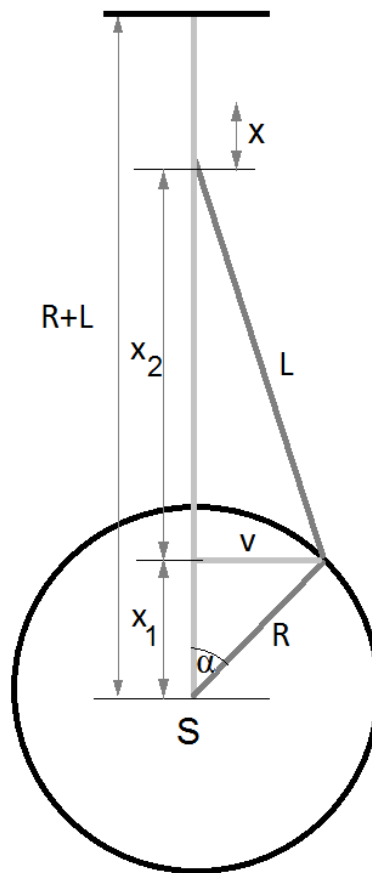
$$x_1 = R \cos(\alpha) \quad (6.4)$$

K vyjadreniu x_2 postačí Pytagorova veta (v predstavuje iba pomocné označenie vzdialenosti – Obrázok 27):

$$x_2 = \sqrt{L^2 - v^2} \quad (6.5)$$

Spojením vzťahov (6.3), (6.4) a (6.5) má $x = f(\alpha)$ nasledovnú podobu:

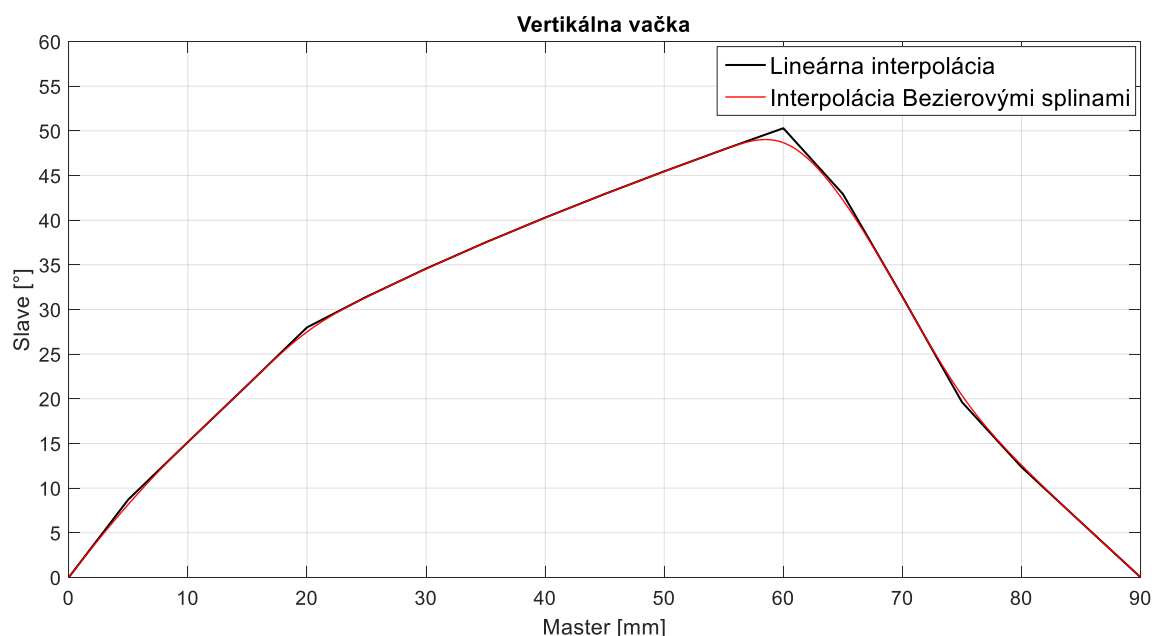
$$x = R + L - \left(R \cos(\alpha) + \sqrt{L^2 - R^2 \sin^2(\alpha)} \right) \quad (6.6)$$



Obrázok 27: Rozbor klukového mechanizmu

Prvá vačka (pre horizontálny pohyb čelustí) definuje polohy master osi, v ktorých je potrebné, aby vertikálna os bola už synchronná s master osou t. j. vertikálna os už musí ísť konštantnou rýchlosťou súbežne s materiálom a vrátiť sa do počiatočnej pozície. Synchronizačné kritérium definované v programe je samozrejme dosiahnutie určitej polohy master osou, zjednodušene – master pozícia. Vertikálna os a master os musia byť synchronne už pred tým, ako sa čeluste zovrú, aby vplyvom kompenzačných pohybov v okamihu synchronizácie nedošlo ku krčeni resp. ťahaniu fólie. Pohyb konštantnou rýchlosťou je navrhnutý tak, aby poloha koncového bodu bola totožná s polohou master osi a pomocou $x = f(\alpha)$ je veľmi jednoducho prevedená na uhol natočenia motora. Základný návrh, ale aj ďalšie vylepšenia vačky je vhodné realizovať napr. v programe MS Excel alebo Matlab, kde je možná priebežná vizualizácia. Pri importovaní návrhu do Scout TIA sa musí brať do úvahy na fakt, že importovaná vačka nie je spojitá, ide len o systém bodov. Je teda nutné správne zvoliť spôsob interpolácie: lineárna, kubické spliny alebo Bezierove

spliny. Pri použití lineárnej interpolácie sa bude rýchlosť meniť skokovo, pri použití splinovej interpolácie dôjde k „vyhladeniu“ priebehov polohy. Zvolená bola interpolácia Bezierovými splinami (Obrázok 28 – červená farba). Fáza návratu slave osi do počiatočnej polohy už môže byť realizovaná s vyššou dynamikou, cieľom je len návrat osi do nulovej pozície.



Obrázok 28: Vačka pre vertikálnu os

6.4 Synchronná operácia v MCC

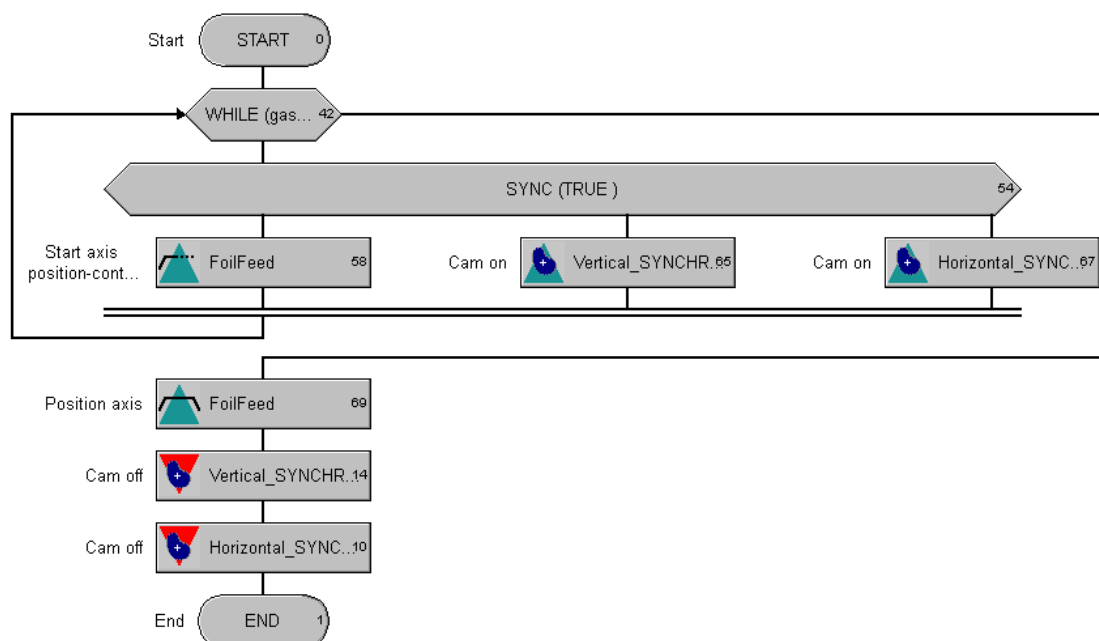
Samotný program pre synchronizáciu osí realizuje MotionTask1. To znamená, že sa predpokladá spúšťanie z inej úrovne užívateľského programu (touto bude práve diagram prechodov a stavov popísaný v kapitole 6.6.2). Tento program je realizovaný v jazyku Motion Control Chart (MCC). Konfiguráciu synchronizácie vykoná blok Cam on. Na tomto mieste je potrebné definovať pre obe osi príslušné synchronné objekty, ďalej hlavne kritérium synchronizácie, synchronizačnú dĺžku a realizáciu vačky ako cyklickú/necyklickú, absolútnu/relatívnu a ďalšie parametre. Tabuľka 5 zhrňuje najdôležitejšie parametre synchronizácie pre obe osi.

Tabuľka 5: Zhrnutie nastavenia synchronných operácií

Parameter	Horizontálna os	Vertikálna os
Začiatok synchronizácie	Na pozíciu master osi	
Referenčný bod	Synchronizácia pred danou pozíciou	
Synchronizačná dĺžka	5,0 mm	
Pozícia master osi	5,0 mm	10,0 mm
Realizácia vačky	Necyklická, absolútna	

V oboch prípadoch synchronizácia začína pri dosiahnutí určitej polohy master osou. To umožňuje správne načasovanie zovretia čel'ustí a začiatok pohybu vertikálnej osi rovnakou rýchlosťou ako je rýchlosť master osi. Je žiadané, aby v zadanej polohe boli osi už synchronizované. Teda synchronizácia sa začne už pri master polohe 0 mm, počas 5 mm dôjde k synchronizácii s horizontálnou osou a následne je na synchronizáciu master a vertikálnej osi opäť určených 5 mm, až kým master poloha nebude 10 mm. V tomto bode sú už obe osi synchrónne voči master osi, vykonajú definované pohyby a opäť čakajú na splnenie synchronizačného kritéria t. j. polohy master osi. Master ako modulo os dosiahne koncový bod svojho rozsahu, (ten je určený dĺžkou sáčku), jeho poloha sa vynuluje a znova narastá. Slave osi sa synchronizujú a popísaný dej sa opakuje, pokiaľ je požiadavka na produkciu. Zrušenie synchronizácie vykonávajú bloky Cam off. Ich parametre sú analogické s tými pre Cam on, ale nimi je determinovaná operácia desynchronizácie. Desynchronizácia sa spúšťa v prípade, že bola požiadavka na produkciu zrušená. Ide o riadené zastavenie, teda rozpracovaný sáčok je dokončený.

Takto pripravená implementácia (Obrázok 29) poslúži pri realizácii ovládania pre obsluhu vo forme diagramu prechodov a stavov, ktorý vyžaduje ako riadené zastavenie, tak aj vynútené rýchle zastavenie strojného zariadenia. Telo cyklu While sa vykonáva, pokiaľ je programom spúšťaným v BackgroundTask nastavovaná požiadavka na beh MotionTask1. Ak bude táto požiadavka deaktivovaná, telo cyklu sa nevykoná, os odvíjajúca fóliu (virtuálny master) sa napolohuje do nulovej pozície a synchronizácia oboch osí je deaktivovaná. Tým sa beh MotionTask1 riadene ukončí. V prípade požiadavky na rýchle zastavenie je použitá systémová funkcia `_resetTaskID`, ktorá MotionTask1 okamžite ukončí.

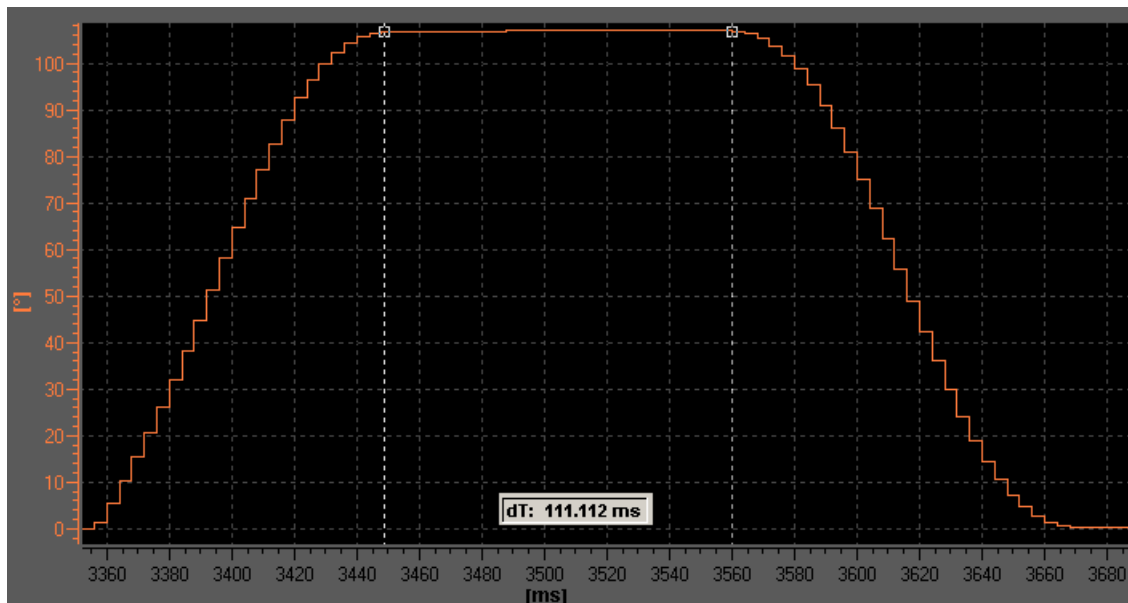


Obrázok 29: Program realizujúci synchronizáciu osí v MCC

6.5 Overenie návrhu synchrónnej operácie

Správnosť vyššie popísaných vačiek je možné jednoducho overiť použitím funkcie softwaru Scout TIA, Device Trace. Táto funkcia predstavuje jednoduchý osciloskop, na ktorom je možné zaznamenávať priebehy ľubovoľných premenných užívateľského programu alebo parametre technologických objektov. Rovnako sú k dispozícii aj základné možnosti matematickej analýzy. Nie je však možné údaje exportovať, a tak budú priebehy v ďalšom texte ukázané iba vo forme print screenov.

Overenie správnosti realizácie horizontálnej vačky pozostáva z merania času, ktorý os strávi v polohe 107°, teda čas laminovania. Zo zadania vyplýva, že by mal byť 100 ms. Funkcia Device trace ukazuje hodnotu 111,112 ms, čo možno považovať za správnu hodnotu.

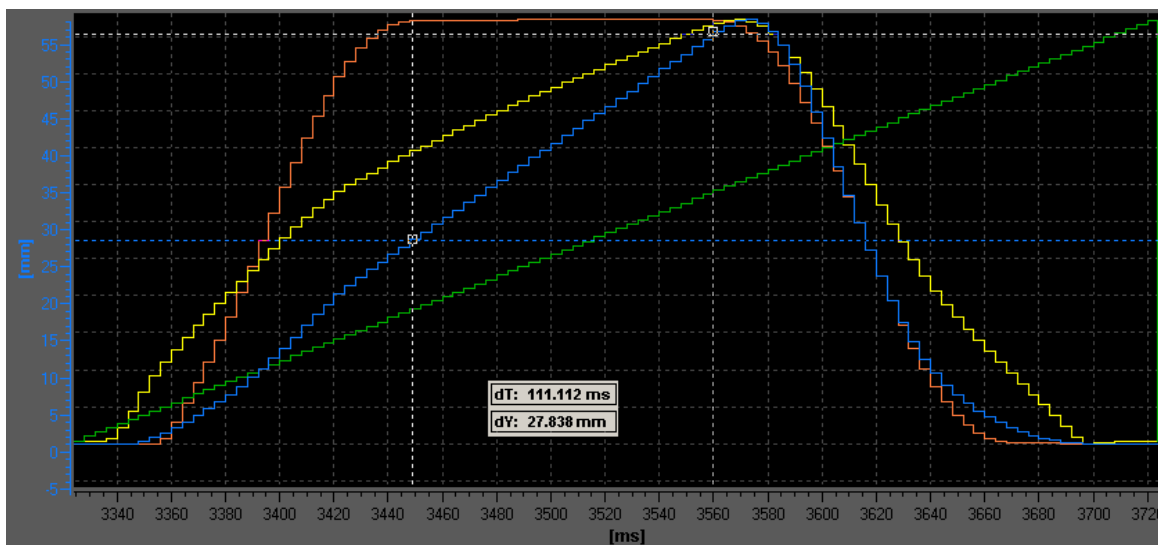


Obrázok 30: Kontrola správneho návrhu horizontálnej vačky

Pri overení návrhu vertikálnej vačky bude potrebná čo najpresnejšia informácia o polohe koncového bodu kl'uky. Tú je možné získať výpočtom podľa vzťahu $x = f(\alpha)$, pričom poloha x sa bude počítať vždy na základe aktuálnej pozície vertikálnej osi. Výpočet bude realizovaný v IPOSynchronousTask – úlohe spúšťanej cyklicky s najvyššou prioritou. Pomocou kurzorov času a meranej hodnoty je možné vidieť že počas 100 ms, kým je poloha horizontálnej osi 107° sa koncový bod pohybuje rýchlosťou:

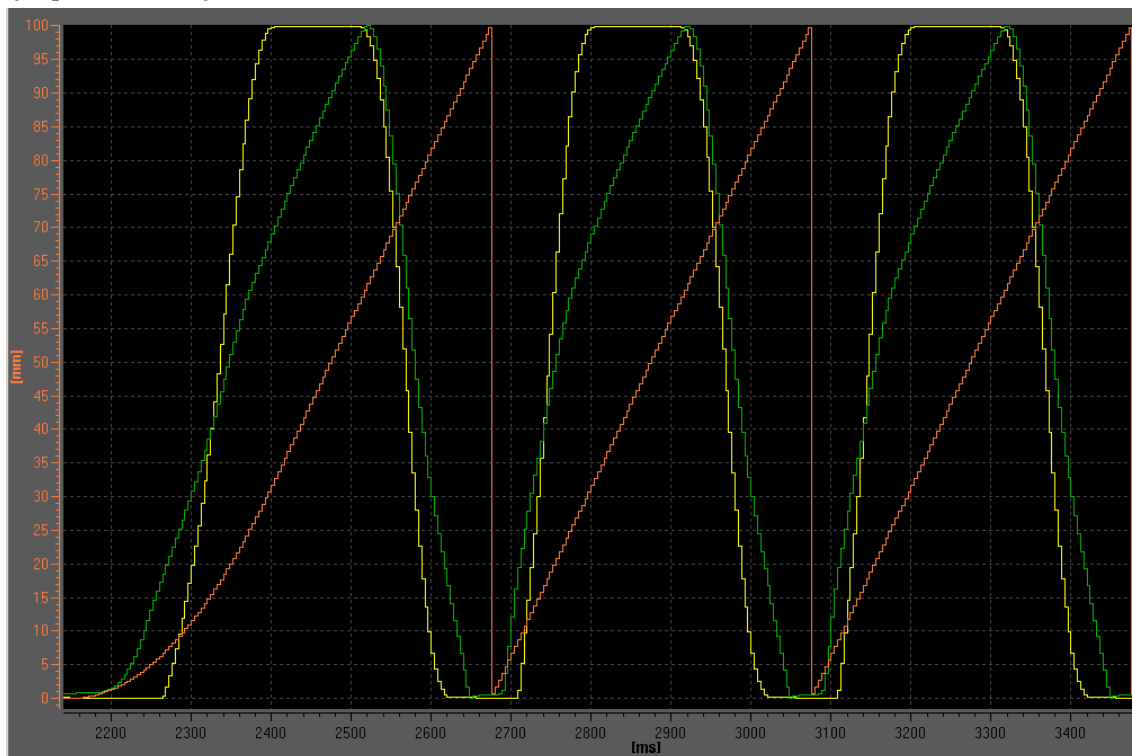
$$v = \frac{dY}{dT} = \frac{27,838}{0,111112} = 250,54 \text{ mm/s} \quad (6.7)$$

Kde dY a dT sú namerané údaje (Obrázok 31). Rýchlosť master osi bola v programe nastavená na 250 mm/s. Z uvedeného vyplýva, že koncový bod kl'uky vertikálnej osi sa naozaj pohybuje rovnakou rýchlosťou ako master os.

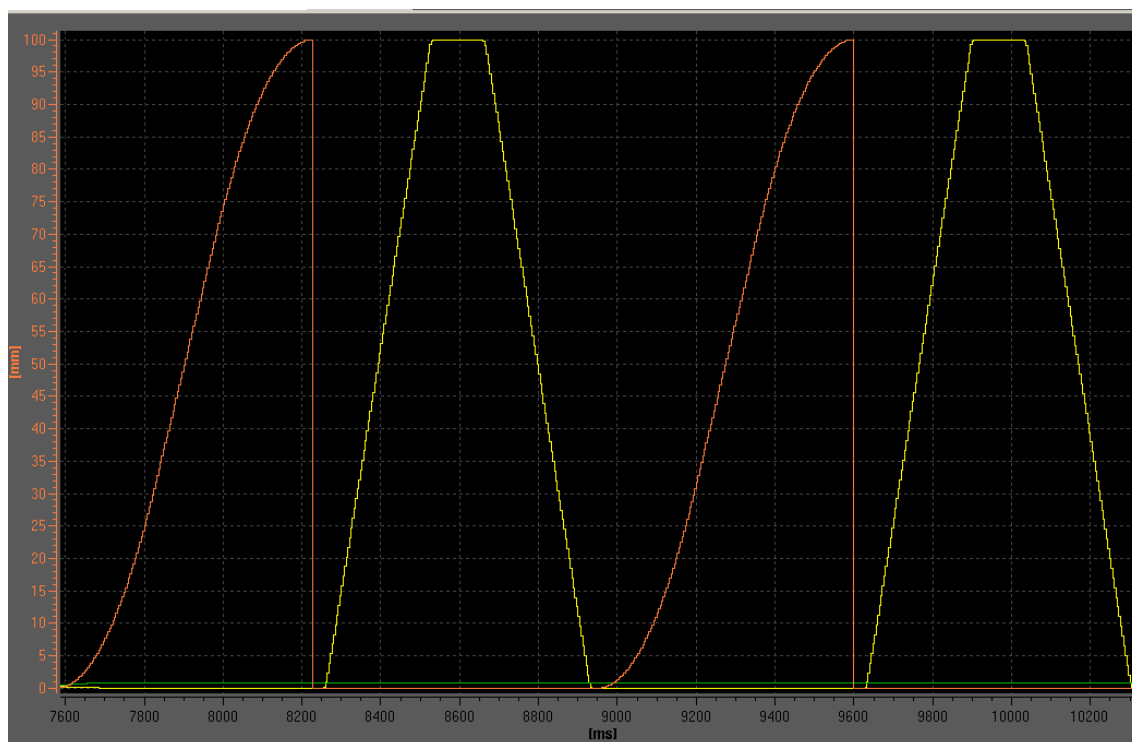


Obrázok 31: Kontrola správneho návrhu vertikálnej vačky: zelená – poloha master osi, oranžová – poloha horizontálnej osi, žltá – poloha vertikálnej osi, modrá – poloha koncového bodu kľuky

Na záver tejto podkapitoly budú ešte ukázané priebehy polôh osí v automatickom a testovacom (v tomto prípade krokovom) móde. Krokový mód (Obrázok 33) je realizovaný ako sekvencia jednoduchých polohovacích príkazov z knižnice PLC Open, poslúžil pri počiatočnom testovaní a ladení diagramu prechodov a stavov (kapitola 6.6.2).



Obrázok 32: Priebehy polôh osí v automatickom móde: oranžová – poloha master osi, zelená – poloha vertikálnej osi, žltá – poloha horizontálnej osi



Obrázok 33: Priebehy polôh osí v testovacom (krokovom móde): oranžová – poloha master osi, zelená – poloha vertikálnej osi (rovná nule), žltá – poloha horizontálnej osi

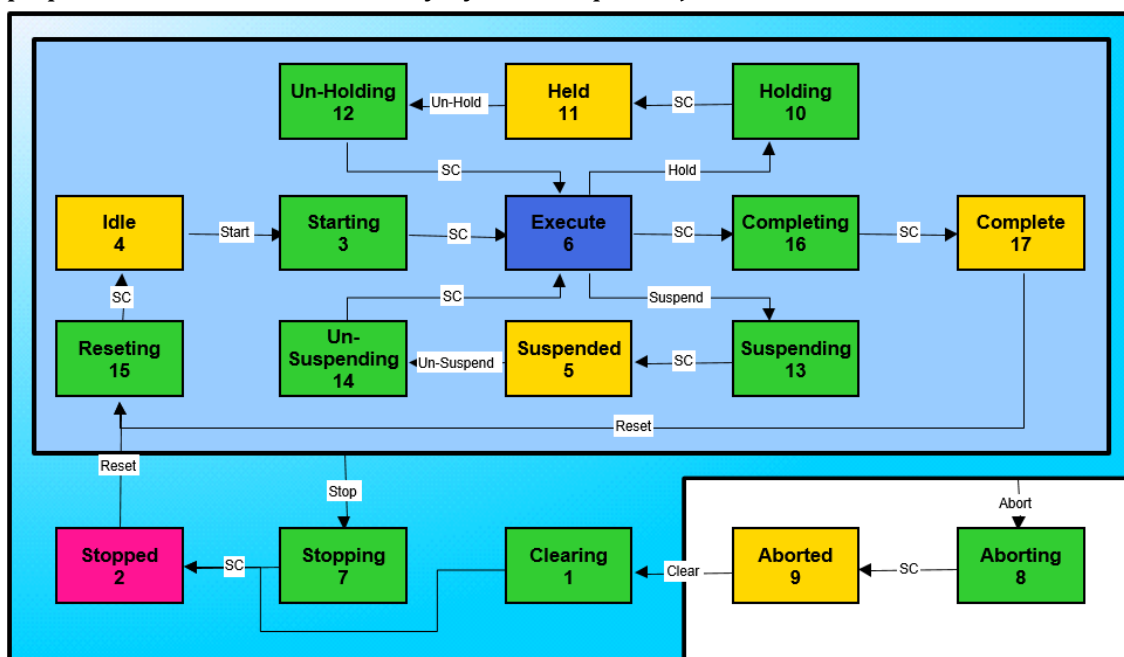
6.6 Implementácia diagramu prechodov stavov

Ako každé strojné zariadenie, aj baliaci stroj má svoje špecifické procesné parametre, ktoré sa menia v závislosti od toho, či stroj práve vyrába produkt, je bez materiálu alebo na ňom práve prebieha údržba. Definovanie diagramu prechodov a stavov vnáša do obsluhy, údržby a aj samotnej činnosti stroja poriadok. Jednoznačne je definované, aké akcie v akom stave nesmú byť realizované a aké sú naopak povolené. Takisto je potrebné naviazať na analýzu rizík (kapitola 2.2), poskytnúť užívateľom viaceré módy zariadenia, rovnako ako stavy a povely zariadenia, súvisiace s bezpečnosťou a ochranou zdravia pri práci ako napr. núdzové, alarmové a chybové stavy baliaceho stroja.

6.6.1 OMAC Pack

OMAC [6] (The Organisation for Machine Automation and control) je skupina, ktorá združuje popredných výrobcov strojných zariadení, systémových integrátorov, poskytovateľov technológií, neziskové a vládne organizácie s cieľom konfrontovať problémy globálnej výroby. Organizácia OMAC ako taká má dve skupiny, ktorých snahou je umožniť výrobcovi efektivitu práce, znížiť čas dodania a tak zvýšiť ziskovosť a s tým súvisiacu konkurencieschopnosť. Týmito skupinami sú: Baliace technológie a Nástroje priemyselných zariadení.

OMAC okrem iného definuje knižnicu OMAC Pack [12], kompatibilnú s technickým reportom ISA TR88.00.02, ktorá je dostupná vo forme funkcií a funkčných blokov s definovaným interfacom. Tento štandard je zložený z tzv. manažéra stavov a jednotnej terminológie premenných použitých v riadiacom programe. Manažér stavov poskytuje niekoľko módox, v ktorých môže stroj fungovať: manuálny mód, produkcia, údržba a užívateľské resp. testovacie módy. Pre každý z týchto módox je ďalej definovaný diagram prechodov a stavov (Obrázok 34), ktorý definuje stav zariadenia a jednotlivé akcie v rámci konkrétneho aktívneho módu daného stroja. Štandard všeobecne definuje, aké druhy akcií musia byť a smú byť v jednotlivých módoch vykonávané. Ďalej je definovaná jednotná terminológia príkazov pre názvy stavov, prechody medzi stavmi a procesnými premennými, ktorých hlavná výhoda je zjavná pri tvorbe aplikácií typu HMI, SCADA. Tieto je vďaka jednotnej terminológii možné ľahko rozšíriť, prípadne opakovane použiť pri podobných aplikáciách. V tejto knižnici sú definované aj funkcie, funkčné bloky a globálne premenné, ktoré je možné jednoducho využiť pri tvorbe reportov o výkonnosti, efektivite výroby, prípadne sledovať čas, strávený výrobou a prestojmi.



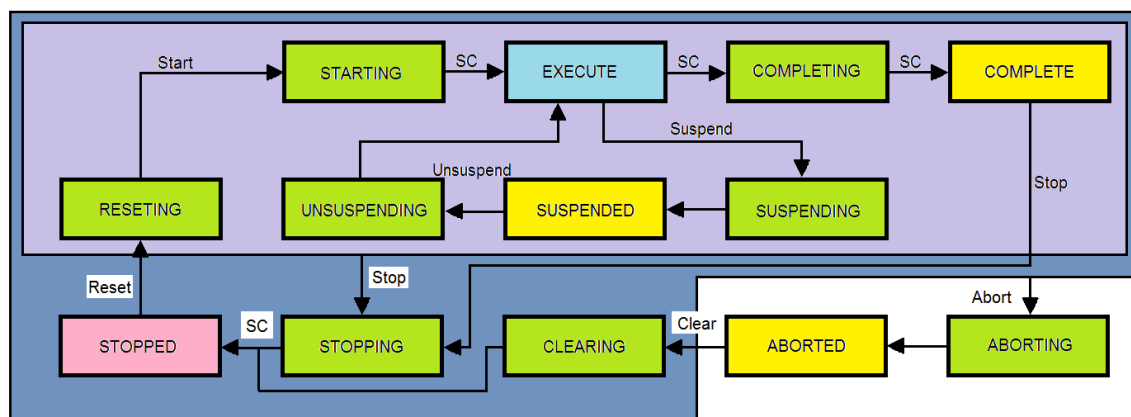
Obrázok 34: Diagram prechodov a stavov [12]

6.6.2 Implementácia OMAC Pack v riadiacom programe

Riadiaci program dvojsoého kontinuálneho baliaceho stroja umožňuje beh stroja v troch režimoch: Manuálny, Automatický a Testovací. Z hľadiska OMAC Pack majú Automatický a Testovací mód implementované všetky stavy okrem stavov Idle, Held, Holding a Unholding (Obrázok 35). Stoj je teda zo stavu Stopped prepnutý resetom do stavu Reseting a následne do stavu Starting. Táto zmena zjednodušuje obsluhu stroja a stav Idle z princípu funkcie stroja ako samostatnej jednotky nie je

potrebný. Stav Held sa obvykle využíva v prípade, že operátor potrebuje napr. uvoľniť zaseknuté výrobky. Z konštrukcie ale vyplýva, že by operátor musel otvoriť dvere, čo znamená stav Aborting a následne Aborted, z toho vyplýva, že by stav Held nemal zmysel a preto nie je implementovaný. Diagram prechodov a stavov pre manuálny mód zase vynecháva Held, Suspended, Idle a Complete a s nimi súvisiace prechodové stavy, pretože tieto logicky nemajú zmysel pri manuálnom riadení stroja. Navyše manuálny mód existuje za účelom údržby stroja a nie je určený na výrobu produktu.

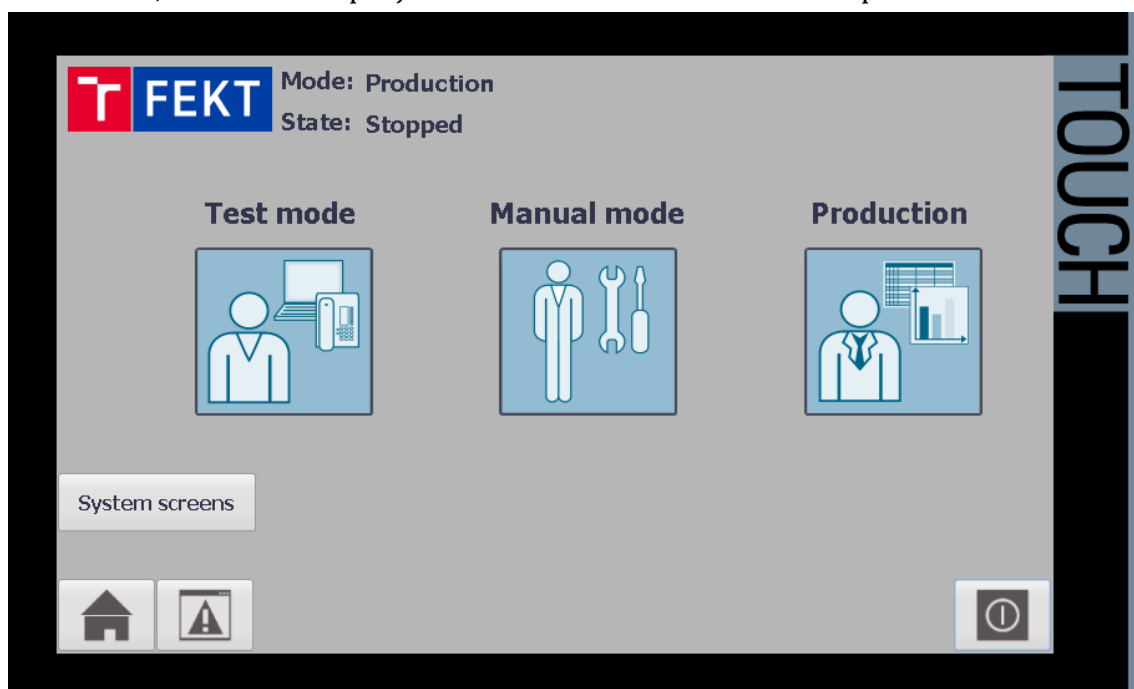
Všeobecne platí, že stavy Stopped a Aborted sú stavy kludové, t. j. stroj nevykonáva žiadny pohyb. Pri spustení technológie sa začína stavom Starting, kde sa zapína výkonová časť zariadenia, osi ktoré majú nastavenú home pozíciu sa do nej presunú, pri osiach, ktoré nemajú nastavenú home pozíciu, sa vykoná homing procedúra. Celkovo ide o kroky, ktoré pripravujú zariadenie do stavu Execute. V ňom je stroj inštruovaný tak, aby vyrábala produkt podľa aktuálne nastavenej receptúry. V prípade potreby operátor vynúti stav Suspended. Stroj beží, ale výstupom nie je žiadny produkt. Potom sa povelením Unsuspend opäť spúšťa produkcia. Stav Suspended je tiež možné aktivovať vplyvom nesplnenia podmienok iných zariadení, ktoré s výrobou súvisia napr. dávkovač nie je pripravený alebo dopravníkový pás linky nebeží a pod. Stav Complete sa dosiahne automaticky, ak sa dôjde na koniec baliacej fólie. V ktoromkoľvek zo stavov Execute, Suspended a Complete je možné vydať povel Stop. Týmto povelením sa zastavuje výroba, ide o riadené zastavenie – teda dokončí sa začatý produkt a osi prejdú do svojich počiatočných pozícií. Naopak, povel Abort predstavuje rýchle zastavenie technológie a môže byť vydaný zo stavu Stopped, Execute, Suspended aj Complete – má najvyššiu prioritu. Aborting predstavuje rýchle zastavenie typicky z dôvodu poruchy, alarmu, alebo na povel safety obvodov, rozpracovaný produkt sa neukončuje. Z tohto stavu je možné prejsť do stavu Stopped povelením Clear, pričom Clearing predstavuje resetovanie chýb vzniknutých na pohono, osiach alebo iných častiach stojného zariadenia. Povel Clear musí byť spojený so signálom tlačidla Reset, pripojeného do safety PLC.



Obrázok 35: Implementovaný diagram prechodov a stavov v riadiacom programe

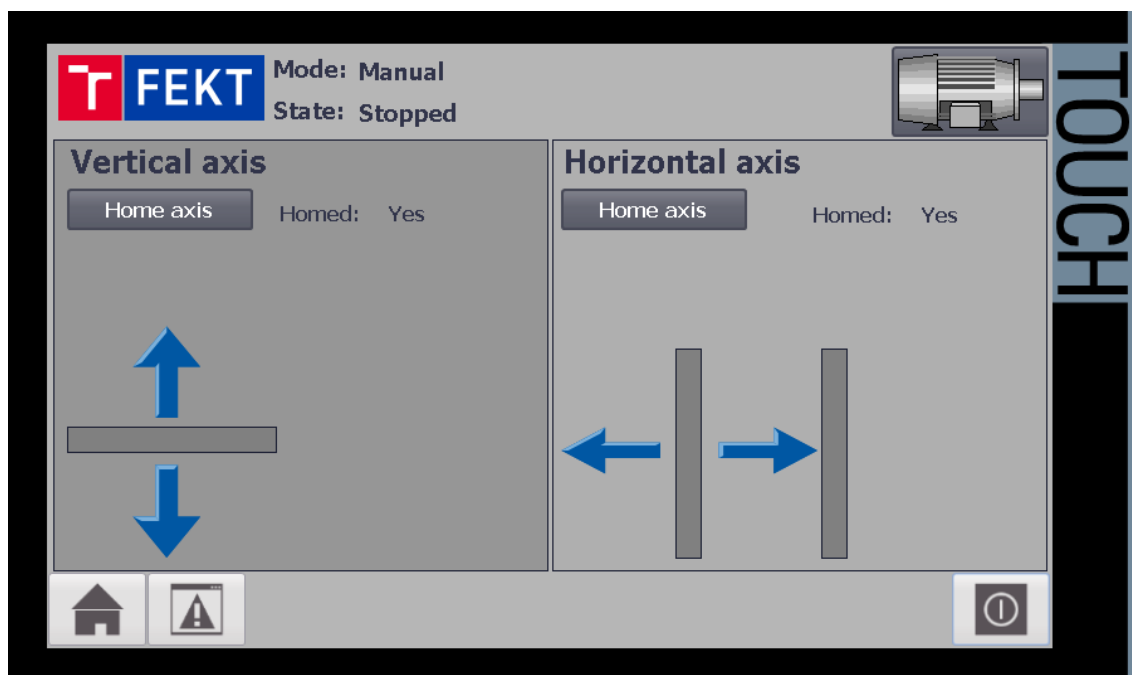
7 OPERÁTORSKÝ PANEL

Na ovládanie baliaceho stroja slúži dotykový ovládací panel TP 700 Comfort. Na jeho úvodnej obrazovke (Obrázok 36) má obsluha možnosť zvoliť jeden z troch možných módov stroja. Múd testovací a manuálny sú chránené heslom a prístupné iba oprávneným osobám. Automatický mód je prístupný stále, ak je aktívny, je stroj pripravený produkovať výrobky. V hornej časti je vždy viditeľný aktuálny mód a stav, v ktorom sa baliaci stroj nachádza. Obsluha má z tejto obrazovky prístup k tzv. systémovým obrazovkám, ktoré ponúkajú doplnkové možnosti: systémové informácie, informácie o projekte a informácie o administrácii používateľov.



Obrázok 36: Úvodná obrazovka operátorského panelu na ovládanie baliaceho stroja

V manuálnom móde (Obrázok 37) má operátor možnosť pohybovať vertikálnou aj horizontálnou osou a vykonávať ich homovanie. V automatickom móde (Obrázok 38) má operátor možnosť stroj spustiť, zastaviť, vynútiť stav Suspended a opäť vynútiť produkciu. Je tiež možné zmeniť dĺžku sáčku, zmena sa ale prejaví až po zastavení a spustení produkcie. Ďalej je k dispozícii počítadlo produktov, ktoré je možné vynulovať nezávisle na aktuálnom stave. V spodnej časti sú zobrazené informácie o stave osí. Obrazovka pre ovládanie zariadenia v testovacom móde je rovnaká ako tá pre mód automatický.



Obrázok 37: Obrazovka pre ovládanie baliaceho stroja v manuálnom móde



Obrázok 38: Obrazovka pre ovládanie baliaceho stroja v automatickom móde

8 ZÁVER

Celý projekt pozostáva z dvoch základných častí. Prvou je posúdenie rizík s návrhom a realizáciou bezpečnostných opatrení a druhou je návrh a realizácia riadenia osí poháňajúcich laminovacie čeluste kontinuálneho baliaceho stroja.

V prvej časti práce bola na úvod predstretá technológia strojného zariadenia spoločne s podrobným posúdením rizík a ich kvantifikáciou podľa HRN. Zároveň bol vykonaný návrh a odporúčania na zníženie prípadne odstránenie týchto rizík. Tieto opatrenia boli opäť verifikované pomocou HRN. Bezpečnostné obvody zariadenia musia podľa normy typu C zodpovedať SIL 2. To, že navrhnuté obvody a ich komponenty SIL 2 naozaj odpovedajú, bolo overené nástrojom Safety Evaluation Tool. Ďalej boli pre danú technológiu vybraté motory pomocou nástroja SIZER. Aplikáciu požadovanej úrovne integrity bezpečnosti na pohony Sinamics uľahčila ich funkcia Shared device. V safety PLC Simatic S7-1500F bol realizovaný program, ktorý ovláda tieto pohony, v prípade aktivácie safety obvodov. Použitá bola jedna zo základných safety funkcií pohonu – Safe Stop 1.

Ako už bolo naznačené vyššie, druhá časť projektu bola venovaná návrhu a realizácií riadenia osí. V úvode tejto časti bola popísaná realizácia riadenia polohy v uzavretej regulačnej slučke. Nasledoval návrh synchronizácie osí, ktorá bola realizovaná ako elektronická vačka v motion control PLC Simotion. Po návrhu synchronnej operácie bolo nutné realizovať v strojnom zariadení diagram prechodov a stavov, a to v spätnej väzbe na návrh bezpečnostných komponentov z prvej časti práce. Tu bol zvolený diagram z knižnice OMAC Pack, ktorej autorom je organizácia OMAC. Výsledný riadiaci program, spoločne so safety programom boli otestované a odskúšané na demonštračnom zariadení dodanom spoločnosťou Siemens. K tomuto zariadeniu boli na ovládanie vytvorené operátorské obrazovky na dotykovom paneli TP 700 Comfort. Podarilo sa dosiahnuť rýchlosť stroja približne 152 sáčkov za minútu pri dĺžke 100 mm.

Záverom na základe vyššie uvedeného je možné konštatovať, že zadanie bolo splnené a navyše bolo vykonané dimenzovanie pohonov a vytvorenie operátorských obrazoviek v dotykovom paneli Simatic HMI. Samozrejme riadiaci program pre celý baliaci stroj vrátane ostatných komponentov ako sú dávkovač alebo prípadne dopravníkový pás pre vyrobené produkty by vyžadoval oveľa hlbšiu analýzu. Bolo by nutné vziať do úvahy, že aj os riadiaca odvíjanie fólie by musela byť synchronizovaná s dávkovačom. K tomu by bola potrebná ďalšia špecifická operácia – výstupná vačka. Ak by bol stroj ako jednotka súčasťou väčšej výrobnéj linky, tak by bolo nutné realizovať synchronizáciu celého stroja na tzv. externý enkóder. Obe tieto špeciálne operácie sú pomocou Simotion realizovateľné, avšak svojou zložitosťou by presiahli rámec tejto práce.

Literatúra

- [1] SIEMENS. SIMOTION Documentation Package for the Software Versions V4.0 to V4.5 [online dokument pdf], 01/2015 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/40211807/simotion-documentation-package-for-the-software-versions-v4-0-to-v4-5?dti=0&lc=en-SK>
- [2] SIEMENS. SINAMICS Built-in Units [online], 2017. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/converters/low-voltage-converters/sinamics-s/motion-control-drives/pages/sinamics-s120.aspx>
- [3] SIEMENS. *DRIVE CLiQ* [online dokument pdf], 07/2014 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <https://www.industry.usa.siemens.com/drives/us/en/electric-drives/ac-drives/high-performance-and-servo-drives/drive-cliq-motor-drive-integration-system/Documents/DRV-Drive CLiQ Brochure.pdf>
- [4] SIEMENS. *SIMATIC S7-1500F/ET200MP Manual Collection* [online document pdf], 09/2015 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/86140384/simatic-s7-1500-et-200mp-manual-collection?dti=0&lc=en-SK>
- [5] SIEMENS. Dokumentace pro SINAMICS S verze 4.7 [online document pdf], 09/2015 [cit. 2017-01-04].
- [6] OMAC. *About OMAC* [online], 2016 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://omac.org/about-omac/>
- [7] PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. *PROFIsafe System Description – Safety Technology and Application* [online document pdf], 11/2010 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: https://www.automation.com/pdf_articles/profinet/PROFIsafe_system_description_v_2010_English.pdf
- [8] SIEMENS. *Safety Evaluation Tool* [online], 2017 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/safety-integrated/machine-safety/safety-evaluation-tool/pages/default.aspx>
- [9] SIEMENS. *SIZER for Siemens Drives* [online], 12/2016 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/54992004/sizer-for-siemens-drives?dti=0&lc=en-WW>
- [10] SIEMENS. *SIMOTION/SINAMICS: Triggering drive-internal safety functions via SIMOTION and PROFINET with PROFIsafe (I device F proxy)* [online document pdf], 11/2013 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: [https://support.industry.siemens.com/cs/document/50207350/simotion-sinamics%3A-triggering-drive-internal-safety-functions-via-simotion-and-profinet-with-profisafe-\(i-device-f-proxy\)?dti=0&lc=en-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/50207350/simotion-sinamics%3A-triggering-drive-internal-safety-functions-via-simotion-and-profinet-with-profisafe-(i-device-f-proxy)?dti=0&lc=en-WW)

- [11] SIEMENS. *ET200SP Manual Collection* [online document pdf], 03/2017 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/84133942/simatic-et-200sp-manual-collection?dti=0&lc=en-WW>
- [12] SIEMENS. *SIMATIC/SIMOTION OMAC PackML V3 Machine and Unit States* [online document pdf], 12/2015 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/49970441/simatic-simotion-omac-packml-v3-machine-and-unit-states?dti=0&lc=en-WW>
- [13] OMAC. *Packaging Workgroup* [online], 2016 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://omac.org/workgroups/packaging-workgroup/>
- [14] SIEMENS. SITRAIN: Training for industry. SIMOTION [materiály ku školeniu], 02/2017 [cit. 2017-04-24].
- [15] JENS WEIDAUER AND RICHARD MESSER. *Electrical drives: principles, planning, applications, solutions*. Erlangen: PUBLICIS, 2014. ISBN 9783895784347.

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha 1: Report z nástroja Safety Evaluation Tool

Príloha 2: Report z nástroja SIZER

Príloha 3: Safety program v PLC S7-1500

Príloha 4: DVD s elektronickou verziou práce, projektom v TIA Portal a doplnkovými súbormi

Príloha 1: Report z nástroja Safety Evaluation Tool

Safety Evaluation Tool

Name:	Baliaci Stroj
Safety standard:	IEC 62061, Safety of machinery - Functional safety of safety-related electrical, electronic and programmable electronic control systems
Manager:	Martin Žiak
Inspector:	
System type:	
Document risk analysis:	
Description:	
SET version:	2.4.8-20161117
Product data version:	0.61

Table of contents

1. Safety functions	(page 3)
2. Approval	(page 4)
3. Annex functions	(page 5)
4. Annex subsystems	(page 7)
5. CCF dialog selections IEC	(page 29)
6. Annex order lists	(page 32)

List of safety functions:

Safety area

Núdzové zastavenie ostatných nebezpečných pohyblivých častí (page 3)

Núdzové zastavenie Sinamics 120 (SS1) (page 3)

1. Safety functions

1.1. Safety function Núdzové zastavenie ostatných nebezpečných pohyblivých čatí

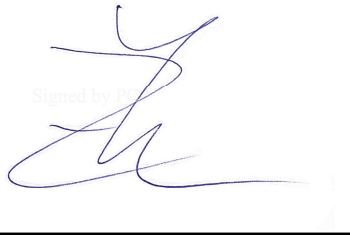
Name:	Núdzové zastavenie ostatných nebezpečných pohyblivých čatí
Last editor:	Ziak, Martin
Inspector:	
Last edit date:	February 28, 2017 9:29:59 AM GMT
Status:	open
Version:	1.0
Operation mode:	<operationmode>
Description:	Núdzové zastavenie sa vykoná ak: - je stlačený EMERGENCY STOP - je otvorený predný kryt (jedny alebo druhé dvere) - je otvorený malý bočný kryt - je otvorený veľký bočný kryt
Required SIL:	SIL 2
SIL-calculation by IEC 62061:	(page 29)
Achieved SIL:	SIL 2
Achieved PFHD:	1.5228 E-08
Details of the subsystems see annex (pages 8, 9, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17, 15)	

1.2. Safety function Núdzové zastavenie Sinamics 120 (SS1)

Name:	Núdzové zastavenie Sinamics 120 (SS1)
Last editor:	Ziak, Martin
Inspector:	
Last edit date:	February 14, 2017 1:58:55 PM GMT
Status:	open
Version:	1.0
Operation mode:	<operationmode>
Description:	Núdzové zastavenie sa vykoná ak: - je stlačený EMERGENCY STOP - je otvorený predný kryt (jedny alebo druhé dvere) - je otvorený malý bočný kryt - je otvorený veľký bočný kryt
Required SIL:	SIL 2
SIL-calculation by IEC 62061:	(page 30)
Achieved SIL:	SIL 2
Achieved PFHD:	1.6560 E-07
Details of the subsystems see annex (pages 19, 20, 18, 21, 22, 23, 24, 27, 25, 26)	

2. Approval

Hereby you assure correct and valid choices and inputs as well as all their according values. When application software is used then the required safety integrity only can be achieved with tested software.



Signed by PPS

Martin Žiak
(Manager)

(Inspector)

Exclusion of Liability

The Safety Evaluation Tool is made available to you at no charge. No warranty for the current report is given except in relation to cases of willful acts or malicious conduct. This shall apply in particular in relation to the correctness, absence of defects, completeness and the usability of any results generated in terms of the use of the Safety Evaluation Tool.

The use of the Safety Evaluation Tool is voluntary and at one's own risk. Insofar as Siemens provides any technical support such as, for example, by the generation of reports, such is done on a voluntary basis and without any recognition of any legal duty.

Any liability of Siemens and its agents – with the exception of cases of personal injury – is strictly limited to cases of willful acts and gross negligence and to the extent of any foreseeable and typical damage.

The Safety Evaluation Tool has been tested by TÜV SÜD Product Safety.

3. Annex functions

Núdzové zastavenie ostatných nebezpečných pohyblivých častí

List of subsystems

DETECTION

Bočný malý kryt (page 7)
 Bočný veľký kryt (page 7)
 EMERGENCY STOP (page 8)
 Predný kryt (dvere 1) (page 9)
 Predný kryt (dvere 2) (page 10)

EVALUATION

PLC S7-1500F (page 11)
 S7 - Bočný malý kryt (page 11)
 S7 - Bočný veľký kryt (page 12)
 S7 - EMERGENCY STOP (page 12)
 S7 - Predný kryt (dvere 1) (page 13)
 S7 - Predný kryt (dvere 2) (page 13)
 S7 - Stykač - kompresor (page 14)
 S7 - Stykač - odvíjacie zariadenie (page 14)
 S7 - Stykač - špirály čeľustí (page 14)

REACTION

Stykač - kompresor (page 15)
 Stykač - odvíjacie zariadenie (page 16)
 Stykač - špirály čeľustí (page 17)

Núdzové zastavenie Sinamics 120 (SS1)

List of subsystems

DETECTION

Bočný malý kryt (page 18)
 Bočný veľký kryt (page 18)
 EMERGENCY STOP (page 19)
 Predný kryt (dvere 1) (page 20)
 Predný kryt (dvere 2) (page 21)

EVALUATION

PLC S7-1500F (page 22)
 S7 - Bočný malý kryt (page 22)
 S7 - Bočný veľký kryt (page 23)
 S7 - EMERGENCY STOP (page 23)
 S7 - Predný kryt (dvere 1) (page 24)
 S7 - Predný kryt (dvere 2) (page 24)

REACTION

Double Motor Module Frame Size Booksize Compact (1) (page 25)
 Double Motor Module Frame Size Booksize Compact (2) (page 25)
 Pohon verikálneho laminovania (1) (page 25)
 Pohon verikálneho laminovania (2) (page 26)

Pohon vertikálneho pohybu čeľustí (page 26)

Pohon zovretia čeľustí (page 27)

SIMOTION D425-2 DP/PN (page 27)

4. Annex subsystems

4.1. Safety function Núdzové zastavenie ostatných nebezpečných pohyblivých čatí

4.1.1. DETECTION

4.1.1.1. Subsystem Bočný malý kryt

Name:	Bočný malý kryt
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 3
For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and $DC \geq 90\%$ SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.	
PFH_D:	2.97 E-13
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Detecting Devices
Product type:	Magnetically Operated Switch
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS Magnetically Operated Switch
Order number:	3SE6.0.-.BA..
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
B₁₀ (operation cycles):	10,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B_{10D} (operation cycles):	20,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	1
Unit:	Per week
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D:	2.97 E-11
mission time due to wear (years):	191,780
Component replacement after (years):	20.0

*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1

4.1.1.2. Subsystem Bočný veľký kryt

Name:	Bočný veľký kryt
Description:	
No. of components:	1

Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 3
For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and $DC \geq 90\%$ SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.	
PFH _D :	2.97 E-13
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Detecting Devices
Product type:	Magnetically Operated Switch
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS Magnetically Operated Switch
Order number:	3SE6.0.-.BA..
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
B ₁₀ (operation cycles):	10,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B _{10D} (operation cycles):	20,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	1
Unit:	Per week
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D :	2.97 E-11
mission time due to wear (years):	191,780
Component replacement after (years):	20.0

*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1

4.1.1.3. Subsystem EMERGENCY STOP

Name:	EMERGENCY STOP
Description:	
No. of components:	2
Type:	Customer data required
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	2 Channels
Measures against failures with a common cause (%):	2
Total points:	75
Please see the selections of the ccf dialog at annex:	(page 29)
SFF:	0.99
HFT:	1

SIL CL:	SIL 3	
PFH _D :	5.01 E-10	
Channels		
Manufacturer:	Siemens	Siemens
Product group:	SIRIUS Commanding and Signaling Devices	SIRIUS Commanding and Signaling Devices
Product type:	EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Release (rotate to unlatch)	EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Release (rotate to unlatch)
Integrated communication connection:	without	without
Description:	SIRIUS EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Reset	SIRIUS EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Reset
Order number:	3SB3.0.-1.A2.	3SB3.0.-1.A2.
Reference designations:		
Supplementary notes:	n/a	n/a
B ₁₀ (operation cycles):	100,000	100,000
Ratio of dangerous failures (%):	20	20
B _{10D} (operation cycles):	500,000	500,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	3	3
Unit:	Per day	Per day
DC (%):	99 (High)	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %	
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)	
λ _D :	2.50 E-08	2.50 E-08
Max. service life, T1 (years):	20	20
mission time due to wear (years):	91	91
Component replacement after (years):	20.0	20.0
*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1		

4.1.1.4. Subsystem Predný kryt (dvere 1)

Name:	Predný kryt (dvere 1)
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 3
For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and DC ≥ 90% SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.	
PFH_D:	5.00 E-11
Channels	
Manufacturer:	Siemens

Product group:	SIRIUS Detecting Devices
Product type:	Magnetically Operated Switch
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS Magnetically Operated Switch
Order number:	3SE6.0.-.BA..
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
B₁₀ (operation cycles):	10,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B_{10D} (operation cycles):	20,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	1
Unit:	Per hour
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D:	5.00 E-09
mission time due to wear (years):	1,141
Component replacement after (years):	20.0

*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1

4.1.1.5. Subsystem Predný kryt (dvere 2)

Name:	Predný kryt (dvere 2)
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 3

For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and $DC \geq 90\%$ SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.

PFH_D:	5.00 E-11
-------------------------	-----------

Channels

Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Detecting Devices
Product type:	Magnetically Operated Switch
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS Magnetically Operated Switch
Order number:	3SE6.0.-.BA..
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
B₁₀ (operation cycles):	10,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B_{10D} (operation cycles):	20,000,000

Number of operations / test interval (switching cycles):	1
Unit:	Per hour
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D :	5.00 E-09
mission time due to wear (years):	1,141
Component replacement after (years):	20.0

*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1

4.1.2. EVALUATION

4.1.2.1. Subsystem PLC S7-1500F

Name:	PLC S7-1500F
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH _D :	2.00 E-09
PFH _D Profisafe incl.:	1.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC S7 F-CPU
Product type:	CPU 1518F-4PN/DP
Description:	SIMATIC S7-1500F, CPU 1518F-4 PN/DP, CENTRAL PROCESSING UNIT WITH WORKING MEMORY 4,5 MB FOR PROGRAM AND 10 MB FOR DATA, 1. INTERFACE, PROFINET IRT WITH 2 PORT SWITCH, 2. INTERFACE, ETHERNET, 3. INTERFACE, ETHERNET, 4. INTERFACE, PROFIBUS, 1 NS BIT-PERFORMANCE, SIMATIC MEMORY CARD NECESSARY
Order number:	6ES7518-4FP00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.2.2. Subsystem S7 - Bočný malý kryt

Name:	S7 - Bočný malý kryt
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH _D :	1.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens

Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16
	1 channel
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.2.3. Subsystem S7 - Bočný veľký kryt

Name:	S7 - Bočný veľký kryt
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	1.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16
	1 channel
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.2.4. Subsystem S7 - EMERGENCY STOP

Name:	S7 - EMERGENCY STOP
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	1.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16
	2 channels
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0

Reference designations:

Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.2.5. Subsystem S7 - Predný kryt (dvere 1)

Name: S7 - Predný kryt (dvere 1)

Description:

No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	1.00 E-09

Channels

Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16 1 channel
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0

Reference designations:

Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.2.6. Subsystem S7 - Predný kryt (dvere 2)

Name: S7 - Predný kryt (dvere 2)

Description:

No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	1.00 E-09

Channels

Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16 1 channel
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0

Reference designations:

Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.2.7. Subsystem S7 - Stykač - kompresor

Name:	S7 - Stykač - kompresor
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	2.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DQ 8
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL OUTPUT MODULE F-DQ 8X24VDC 2A PPM PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-2BF00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.2.8. Subsystem S7 - Stykač - odvíjacie zariadenie

Name:	S7 - Stykač - odvíjacie zariadenie
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	2.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DQ 8
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL OUTPUT MODULE F-DQ 8X24VDC 2A PPM PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-2BF00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.2.9. Subsystem S7 - Stykač - špirály čeľustí

Name:	S7 - Stykač - špirály čeľustí
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists

Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH _D :	2.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DQ 8
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL OUTPUT MODULE F-DQ 8X24VDC 2A PPM PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-2BF00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.1.3. REACTION

4.1.3.1. Subsystem Stykač - kompresor

Name:	Stykač - kompresor
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 2
For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and DC ≥ 90% SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.	
PFH _D :	2.54 E-10
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Contactors / Motor Starters
Product type:	Compact Starter 3RA6 (up to 12A)
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS COMPACT STARTER, UP TO 12A
Order number:	3RA61
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
Fault rate calculated:	with a B10 value
B ₁₀ (operation cycles):	3,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B _{10D} (operation cycles):	6,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	257
Unit:	Per week
DC (%):	99 (High)

DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of output signals and intermediate results within the logic (L) and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D :	2.54 E-08
mission time due to wear (years):	223
Component replacement after (years):	20.0
*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1	

4.1.3.2. Subsystem Stykač - odvíjacie zariadenie

Name:	Stykač - odvíjacie zariadenie
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 2
For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and $DC \geq 90\%$ SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.	
PFH _D :	2.54 E-10
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Contactors / Motor Starters
Product type:	Compact Starter 3RA6 (up to 12A)
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS COMPACT STARTER, UP TO 12A
Order number:	3RA61
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
Fault rate calculated:	with a B10 value
B ₁₀ (operation cycles):	3,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B _{10D} (operation cycles):	6,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	257
Unit:	Per week
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of output signals and intermediate results within the logic (L) and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D :	2.54 E-08
mission time due to wear (years):	223
Component replacement after (years):	20.0
*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1	

4.1.3.3. Subsystem Stykač - špirály čeľustí

Name:	Stykač - špirály čeľustí
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 2
For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and $DC \geq 90\%$ SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.	
PFH_D:	1.11 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Contactors / Motor Starters
Product type:	Contactors 3RT
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS CONTACTOR 3RT, (The B10 value is determined at 66% of the nominal current I _e and AC-3/400V. Other values on request)
Order number:	3RT10
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
Fault rate calculated:	with a B10 value
B₁₀ (operation cycles):	1,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	73
B_{10D} (operation cycles):	1,369,863
Number of operations / test interval (switching cycles):	257
Unit:	Per week
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of output signals and intermediate results within the logic (L) and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D:	1.11 E-07
mission time due to wear (years):	74
Component replacement after (years):	20.0
*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1	

4.2. Safety function Núdzové zastavenie Sinamics 120 (SS1)

4.2.1. DETECTION

4.2.1.1. Subsystem Bočný malý kryt

Name:	Bočný malý kryt
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 3

For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and $DC \geq 90\%$ SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.

PFH _D :	2.97 E-13
--------------------	-----------

Channels

Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Detecting Devices
Product type:	Magnetically Operated Switch
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS Magnetically Operated Switch
Order number:	3SE6.0.-.BA..
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
B ₁₀ (operation cycles):	10,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B _{10D} (operation cycles):	20,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	1
Unit:	Per week
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ _D :	2.97 E-11
mission time due to wear (years):	191,780
Component replacement after (years):	20.0

*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1

4.2.1.2. Subsystem Bočný veľký kryt

Name:	Bočný veľký kryt
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20

S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 3
For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and $DC \geq 90\%$ SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.	
PFH_D:	2.97 E-13
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Detecting Devices
Product type:	Magnetically Operated Switch
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS Magnetically Operated Switch
Order number:	3SE6.0.-.BA..
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
B₁₀ (operation cycles):	10,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B_{10D} (operation cycles):	20,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	1
Unit:	Per week
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D:	2.97 E-11
mission time due to wear (years):	191,780
Component replacement after (years):	20.0

*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1

4.2.1.3. Subsystem EMERGENCY STOP

Name:	EMERGENCY STOP
Description:	
No. of components:	2
Type:	Customer data required
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	2 Channels
Measures against failures with a common cause (%):	2
Total points:	75
Please see the selections of the ccf dialog at annex:	(page 30)
SFF:	0.99
HFT:	1
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	5.01 E-10

Channels

Manufacturer:	Siemens	Siemens
Product group:	SIRIUS Commanding and Signaling Devices	SIRIUS Commanding and Signaling Devices
Product type:	EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Release (rotate to unlatch)	EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Release (rotate to unlatch)
Integrated communication connection:	without	without
Description:	SIRIUS EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Reset	SIRIUS EMERGENCY STOP pushbutton, Turn-to-Reset
Order number:	3SB3.0.-1.A2.	3SB3.0.-1.A2.
Reference designations:		
Supplementary notes:	n/a	n/a
B₁₀ (operation cycles):	100,000	100,000
Ratio of dangerous failures (%):	20	20
B_{10D} (operation cycles):	500,000	500,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	3	3
Unit:	Per day	Per day
DC (%):	99 (High)	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %	
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)	
λ_D:	2.50 E-08	2.50 E-08
Max. service life, T1 (years):	20	20
mission time due to wear (years):	91	91
Component replacement after (years):	20.0	20.0
*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1		

4.2.1.4. Subsystem Predný kryt (dvere 1)

Name:	Predný kryt (dvere 1)
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 3
For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and DC ≥ 90% SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.	
PFH_D:	5.00 E-11

Channels

Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Detecting Devices
Product type:	Magnetically Operated Switch
Integrated communication connection:	without

Description:	SIRIUS Magnetically Operated Switch
Order number:	3SE6.0.-.BA..
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
B₁₀ (operation cycles):	10,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B_{10D} (operation cycles):	20,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	1
Unit:	Per hour
DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D:	5.00 E-09
mission time due to wear (years):	1,141
Component replacement after (years):	20.0

*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1

4.2.1.5. Subsystem Predný kryt (dvere 2)

Name:	Predný kryt (dvere 2)
Description:	
No. of components:	1
Type:	Customer data required
Max. service life, T1 (years):	20
S7 Connection:	S7-1500
Architecture of circuit:	1 Channel
Measures against failures with a common cause (%):	10
SIL CL:	SIL 3

For a single channel architecture (hardware fault tolerance of 0) and DC ≥ 90% SIL CL 2 or 3 only can be achieved with supplement measures. That means a safe condition of the machine shall be initiated by performing a specified fault reaction when a fault will be detected.

PFH_D:	5.00 E-11
-------------------------	-----------

Channels

Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIRIUS Detecting Devices
Product type:	Magnetically Operated Switch
Integrated communication connection:	without
Description:	SIRIUS Magnetically Operated Switch
Order number:	3SE6.0.-.BA..
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
B₁₀ (operation cycles):	10,000,000
Ratio of dangerous failures (%):	50
B_{10D} (operation cycles):	20,000,000
Number of operations / test interval (switching cycles):	1
Unit:	Per hour

DC (%):	99 (High)
DC (Table E.1)*:	99 %
Measure (Table E.1)*:	Cross monitoring of input signals and intermediate results within the logic (L), and temporal and logical software monitor of the program flow and detection of static faults and short circuits (for multiple I/O)
λ_D :	5.00 E-09
mission time due to wear (years):	1,141
Component replacement after (years):	20.0

*Estimates for diagnostic coverage ISO 13849-1, Annex E.1

4.2.2. EVALUATION

4.2.2.1. Subsystem PLC S7-1500F

Name:	PLC S7-1500F
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH _D :	2.00 E-09
PFH _D Profisafe incl.:	1.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC S7 F-CPU
Product type:	CPU 1518F-4PN/DP
Description:	SIMATIC S7-1500F, CPU 1518F-4 PN/DP, CENTRAL PROCESSING UNIT WITH WORKING MEMORY 4,5 MB FOR PROGRAM AND 10 MB FOR DATA, 1. INTERFACE, PROFINET IRT WITH 2 PORT SWITCH, 2. INTERFACE, ETHERNET, 3. INTERFACE, ETHERNET, 4. INTERFACE, PROFIBUS, 1 NS BIT-PERFORMANCE, SIMATIC MEMORY CARD NECESSARY
Order number:	6ES7518-4FP00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.2.2. Subsystem S7 - Bočný malý kryt

Name:	S7 - Bočný malý kryt
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH _D :	1.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16
	1 channel

Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.2.3. Subsystem S7 - Bočný veľký kryt

Name:	S7 - Bočný veľký kryt
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	1.00 E-09

Channels

Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16 1 channel

Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.2.4. Subsystem S7 - EMERGENCY STOP

Name:	S7 - EMERGENCY STOP
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH_D:	1.00 E-09

Channels

Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16 2 channels

Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20

Component replacement after (years): **20.0**

4.2.2.5. Subsystem S7 - Predný kryt (dvere 1)

Name:	S7 - Predný kryt (dvere 1)
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH _D :	1.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16
	1 channel
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.2.6. Subsystem S7 - Predný kryt (dvere 2)

Name:	S7 - Predný kryt (dvere 2)
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 3
PFH _D :	1.00 E-09
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMATIC ET200MP - fail-safe Modules
Product type:	SM526 F-DI 16
	1 channel
Description:	SIMATIC S7-1500, FAILSAFE DIGITAL INPUT MODULE, F-DI 16X24VDC PROFISAFE; 35 MM WIDTH; UP TO PL E (ISO 13849-1)/SIL3 (IEC 61508)
Order number:	6ES7526-1BH00-0AB0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.3. REACTION

4.2.3.1. Subsystem Double Motor Module Frame Size Booksize Compact (1)

Name:	Double Motor Module Frame Size Booksize Compact (1)
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 2
PFH_D:	1.20 E-08
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SINAMICS S120 modular
Product type:	Double Motor Module Frame Size Booksize Compact
	2 Axis
	without SBC
Description:	SINAMICS DOUBLE MOTOR MODULE INPUT: DC 600V OUTPUT: 3AC 400V, FRAME SIZE BOOKSIZE COMPACT
Order number:	6SL3420-2TEXX-XAA1
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.3.2. Subsystem Double Motor Module Frame Size Booksize Compact (2)

Name:	Double Motor Module Frame Size Booksize Compact (2)
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 2
PFH_D:	1.60 E-08
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SINAMICS S120 modular
Product type:	Double Motor Module Frame Size Booksize Compact
	2 Axis
	1 axis with SBC
Description:	SINAMICS DOUBLE MOTOR MODULE INPUT: DC 600V OUTPUT: 3AC 400V, FRAME SIZE BOOKSIZE COMPACT
Order number:	6SL3420-2TEXX-XAA1
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.3.3. Subsystem Pohon verikálneho laminovania (1)

Name:	Pohon verikálneho laminovania (1)
Description:	
No. of components:	1

Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 2
PFH _D :	3.00 E-08
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SINAMICS S120 modular
Product type:	Motor with DRIVE-CLiQ Interface, 1-Encoder system sin/cos highly integrated interface (DQI)
Description:	Motor with DRIVE-CLiQ interface
Order number:	OHNE
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.3.4. Subsystem Pohon verlikálneho laminovania (2)

Name:	Pohon verlikálneho laminovania (2)
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 2
PFH _D :	3.00 E-08
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SINAMICS S120 modular
Product type:	Motor with DRIVE-CLiQ Interface, 1-Encoder system sin/cos highly integrated interface (DQI)
Description:	Motor with DRIVE-CLiQ interface
Order number:	OHNE
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.3.5. Subsystem Pohon verlikálneho pohybu čeľustí

Name:	Pohon verlikálneho pohybu čeľustí
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 2
PFH _D :	3.00 E-08
Channels	
Manufacturer:	Siemens

Product group:	SINAMICS S120 modular
Product type:	Motor with DRIVE-CLiQ Interface, 1-Encoder system sin/cos highly integrated interface (DQI)
Description:	Motor with DRIVE-CLiQ interface
Order number:	OHNE
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.3.6. Subsystem Pohon zovretia čeľustí

Name:	Pohon zovretia čeľustí
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 2
PFH_D:	3.00 E-08
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SINAMICS S120 modular
Product type:	Motor with DRIVE-CLiQ Interface, 1-Encoder system sin/cos highly integrated interface (DQI)
Description:	Motor with DRIVE-CLiQ interface
Order number:	OHNE
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a
mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

4.2.3.7. Subsystem SIMOTION D425-2 DP/PN

Name:	SIMOTION D425-2 DP/PN
Description:	
No. of components:	1
Type:	SIL/PL exists
Max. service life, T1 (years):	20
SIL CL:	SIL 2
PFH_D:	1.00 E-08
Channels	
Manufacturer:	Siemens
Product group:	SIMOTION
Product type:	SIMOTION D425-2 DP/PN
Description:	SIMOTION DRIVE BASED CONTROL UNIT D425-2 DP/PN MULTI-AXIS CONTROLLER, BASIC PERFORMANCE UP TO 16 MC AXES
Order number:	6AU1425-2AD00-0AA0
Reference designations:	
Supplementary notes:	n/a

mission time due to wear (years):	20
Component replacement after (years):	20.0

5. CCF dialog selections IEC

5.1. SIL-calculation by IEC 62061 Núdzové zastavenie ostatných nebezpečných pohyblivých čatí

Dialog data for safety function "Núdzové zastavenie ostatných nebezpečných pohyblivých čatí" (page 3)

SIL-calculation by IEC 62061:

Extend of damage Se	Permanent, loss of fingers	
Frequency Fr	≤ 1 pro h	5
Probability of occurance Pr	Likely	4
Avoidance Av	Possible	3
Duration less than 10 minutes	No	
		12

5.1.1. Selections of the user in the ccf dialog of EMERGENCY STOP

CCF-dialog data for subsystem "EMERGENCY STOP" (page 8)

Question	Points	Selected
Separation/segregation		
Are SRECS signal cables for the individual channels routed separately from other channels at all positions or sufficiently protected?	5	Yes
Where information encoding/decoding is used, is it sufficient for the detection of signal transmission errors?	10	Yes
Are SRECS signal and electrical energy power cables separate at all positions or sufficiently protected?	5	Yes
If subsystem elements are able to contribute to a CCF, are they provided as physically separated devices in own local enclosures?	5	No
Diversity/redundancy		
Does the subsystem employ differnt electrical technologies, e.g. electronics or programmable electronics and an electromechanical relay as other party?	8	Yes
Does the subsystem employ elements that use different physical prinicples (e.g. detecting elements at a safety door which use mechanic and magnetic detecting techniques)?	10	No
Does the subsystem employ elements with differing time responses regarding functional operation and/or failure modes?	10	No
Do the subsystem elements have a diagnostic test interval of ≤ 1 min?	10	Yes
Complexity/design/application		
Is cross-connection between channels of the subsystem avoided except those used for diagnostic testing purposes?	2	Yes
Assessment/analysis		
Have the results of the failure modes and effects analysis been examined to establish sources of common cause failure and have predetermined sources of common cause failure been eliminated by design?	9	Yes
Are field failures analysed and reported back to the design process?	9	Yes
Competence/training		
Do subsystem designers understand the causes and consequences of common cause failures?	4	Yes
Environmental control		
Do the subsystem elements operate likely always without supervision of evironmental conditions within the range of temperature, humidity, corrosion, dust, vibration, etc. for which they have been tested?	9	Yes
Is the subsystem immune to adverse influences from electromagnetic interference up to and including the limits specified in IEC 61326-3-1?	9	Yes

Question	Points	Selected
	75	

5.2. SIL-calculation by IEC 62061 Núdzové zastavenie Sinamics 120 (SS1)

Dialog data for safety function "Núdzové zastavenie Sinamics 120 (SS1)" (page 3)

SIL-calculation by IEC 62061:

Extend of damage Se	Permanent, loss of fingers	
Frequency Fr	≤ 1 pro h	5
Probability of occurrence Pr	Likely	4
Avoidance Av	Possible	3
Duration less than 10 minutes	No	
		12

5.2.1. Selections of the user in the ccf dialog of EMERGENCY STOP

CCF-dialog data for subsystem "EMERGENCY STOP" (page 19)

Question	Points	Selected
Separation/segregation		
Are SRECS signal cables for the individual channels routed separately from other channels at all positions or sufficiently protected?	5	Yes
Where information encoding/decoding is used, is it sufficient for the detection of signal transmission errors?	10	Yes
Are SRECS signal and electrical energy power cables separate at all positions or sufficiently protected?	5	Yes
If subsystem elements are able to contribute to a CCF, are they provided as physically separated devices in own local enclosures?	5	No
Diversity/redundancy		
Does the subsystem employ different electrical technologies, e.g. electronics or programmable electronics and an electromechanical relay as other party?	8	Yes
Does the subsystem employ elements that use different physical principles (e.g. detecting elements at a safety door which use mechanic and magnetic detecting techniques)?	10	No
Does the subsystem employ elements with differing time responses regarding functional operation and/or failure modes?	10	No
Do the subsystem elements have a diagnostic test interval of ≤ 1 min?	10	Yes
Complexity/design/application		
Is cross-connection between channels of the subsystem avoided except those used for diagnostic testing purposes?	2	Yes
Assessment/analysis		
Have the results of the failure modes and effects analysis been examined to establish sources of common cause failure and have predetermined sources of common cause failure been eliminated by design?	9	Yes
Are field failures analysed and reported back to the design process?	9	Yes
Competence/training		
Do subsystem designers understand the causes and consequences of common cause failures?	4	Yes
Environmental control		
Do the subsystem elements operate likely always without supervision of environmental conditions within the range of temperature, humidity, corrosion, dust, vibration, etc. for which they have been tested?	9	Yes

Question	Points	Selected
Is the subsystem immune to adverse influences from electromagnetic interference up to and including the limits specified in IEC 61326-3-1?	9	Yes
	75	

6. Annex order lists

6.1. List of all safety related control parts: Núdzové zastavenie ostatných nebezpečných pohyblivých častí

Function area	Subsystem	Parts	
		Manufacturer	Order number
DETECTION	Bočný malý kryt	Siemens	3SE6.0.-.BA..
DETECTION	Bočný veľký kryt	Siemens	3SE6.0.-.BA..
DETECTION	EMERGENCY STOP	Siemens	3SB3.0.-1.A2.
DETECTION	EMERGENCY STOP	Siemens	3SB3.0.-1.A2.
DETECTION	Predný kryt (dvere 1)	Siemens	3SE6.0.-.BA..
DETECTION	Predný kryt (dvere 2)	Siemens	3SE6.0.-.BA..
EVALUATION	PLC S7-1500F	Siemens	6ES7518-4FP00-0AB0
EVALUATION	S7 - Bočný malý kryt	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - Bočný veľký kryt	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - EMERGENCY STOP	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - Predný kryt (dvere 1)	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - Predný kryt (dvere 2)	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - Stykač - kompresor	Siemens	6ES7526-2BF00-0AB0
EVALUATION	S7 - Stykač - odvíjacie zariadenie	Siemens	6ES7526-2BF00-0AB0
EVALUATION	S7 - Stykač - špirály čelustí	Siemens	6ES7526-2BF00-0AB0
REACTION	Stykač - kompresor	Siemens	3RA61
REACTION	Stykač - odvíjacie zariadenie	Siemens	3RA61
REACTION	Stykač - špirály čelustí	Siemens	3RT10

6.2. List of all safety related control parts: Núdzové zastavenie Sinamics 120 (SS1)

Function area	Subsystem	Parts	
		Manufacturer	Order number
DETECTION	Bočný malý kryt	Siemens	3SE6.0.-.BA..
DETECTION	Bočný veľký kryt	Siemens	3SE6.0.-.BA..
DETECTION	EMERGENCY STOP	Siemens	3SB3.0.-1.A2.
DETECTION	EMERGENCY STOP	Siemens	3SB3.0.-1.A2.
DETECTION	Predný kryt (dvere 1)	Siemens	3SE6.0.-.BA..
DETECTION	Predný kryt (dvere 2)	Siemens	3SE6.0.-.BA..
EVALUATION	PLC S7-1500F	Siemens	6ES7518-4FP00-0AB0
EVALUATION	S7 - Bočný malý kryt	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - Bočný veľký kryt	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - EMERGENCY STOP	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - Predný kryt (dvere 1)	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
EVALUATION	S7 - Predný kryt (dvere 2)	Siemens	6ES7526-1BH00-0AB0
REACTION	Double Motor Module Frame Size Booksize Compact (1)	Siemens	6SL3420-2TEXX-XAA1
REACTION	Double Motor Module Frame Size Booksize Compact (2)	Siemens	6SL3420-2TEXX-XAA1
REACTION	Pohon veľikálneho laminovania (1)	Siemens	OHNE

Function area	Subsystem	Parts	
		Manufacturer	Order number
REACTION	Pohon vertikálneho laminovania (2)	Siemens	OHNE
REACTION	Pohon vertikálneho pohybu čelustí	Siemens	OHNE
REACTION	Pohon zovretia čelustí	Siemens	OHNE
REACTION	SIMOTION D425-2 DP/PN	Siemens	6AU1425-2AD00-0AA0

Príloha 2: Report z nástroja SIZER

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Customer No.: 001
Last saved:
Project: diplomova_praca_motory
Author: Martin Žiak
Comment: Návrh pohonov pre dvojsoj kontinuuálny balici stroj

1. Technical data

• Supply system

- Line data

Voltage	400 V
Frequency	50 Hz
Number of phases	3
Allowance for differing supply voltage	No
Allowance for short term supply fluctuations	Yes
Maximum temporary undervoltage to the rated voltage	15 %
Undervoltage	340 V

• Drive system / Supply system

- SINAMICS S DC/AC

DC link	Smart Line Module (unregulated DC link)
Configure in the smart mode	No
Cooling method	Internal air cooling
Mounting bracket for booksize compact	6SL3462-1CC00-0AA0
Mounting bracket for booksize compact	6SL3462-1CC00-0AA0
Sum of the DC link capacitances (without braking components)	0,770 mF
Maximum precharging limit	6,000 mF

- Input options

Line contactor	3RT2024
Line filter	6SL3000-0HE15-0AA0
Line choke	6SL3000-0CE15-0AA0

- Line Module

Order designation	6SL3130-6AE15-0AB1
Product name	Smart Line Module
Connected in parallel	1
Line Module / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Line Module / catalog data	
Rated power of a module	5,00 kW
Peak power of a module	10,00 kW
Compliance with Category C2 limit	No
Dimensions (height x width x depth)	50 x 410 x 270 mm
Line Module / load-specific data	
Available power	4,47 kW
Avail. peak power	8,95 kW
Line Module / DC link power	
Evaluation	Power classes
Power class 1	
Effective power	0,46 kW
Peak power	5,98 kW
Power range	0,00 kW - 1,80 kW
Axis	Vertikalny smer celusti
Effective power	0,68 kW
Peak power	3,98 kW
Continuous	No

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Axis	Horizontalny smer celusti
Effective power	0,32 kW
Peak power	1,35 kW
Continuous	No
Axis	Vyrovnávanie folie1
Effective power	0,16 kW
Peak power	0,16 kW
Continuous	No
Axis	Vyrovnávanie folie2
Effective power	0,16 kW
Peak power	0,16 kW
Continuous	No
Axis	Kontinualne pozdĺzne laminovanie1
Effective power	0,16 kW
Peak power	0,16 kW
Continuous	No
Axis	Kontinualne pozdĺzne laminovanie2
Effective power	0,16 kW
Peak power	0,16 kW
Continuous	No
Calculated coincidence factor	0,28
Coincidence factor for max. motor DC link power	1,00
Total	
Effective power	0,46 kW
Peak power	5,98 kW

• Vertikalny smer celusti / Drive system / Supply system

- Motor Module

Order designation	6SL3120-2TE21-0AD0
Product name	Double Motor Module
Connected in parallel	1
Drive-based Safety Integrated	None
Motor Module / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Motor Module / catalog data	
Rated current of a module	9,00 A
Peak current	27,00 A
Dimensions (height x width x depth)	50 x 410 x 226 mm
Motor Module / load-specific data	
Available current	9,00 A
Available peak current	27,00 A
Pulse frequency factory setting	4,00 kHz
Required pulse frequency	4,00 kHz

- Motor supply cable

Laying method	VDE 0298-4, without spacing
Cable cross-section	1 * 4x1.5 mm ²
external cable, PVC, 90° C	
Cable length	10,0 m
Connector for power cable	
Order designation	6SL3162-2MA00-0AC0
Version	Screw connection

- Motor

Order designation	1FK7064-4CC71-1CB1
Motor / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Ambient temperature	40 °C
Temperature rise class	F/100K
Dimensioning with field weakening operation	No
Motor / catalog data (100K values)	
Motor type	1FK7
Version	High Dynamic (generation 2)
Calculated power	2,50 kW
Static torque	12,00 Nm
Rated torque	10,00 Nm
Stall current	8,10 A
Rated current	7,10 A
Rated speed	2000,00 rpm
Shaft height	63 mm
Efficiency	0,920
Encoder	AM24DQI - absolute encoder 24-bit + 12-bit multiturn
Encoder evaluation	Motor integrated
Cooling method	Self-cooling
Holding brake	With holding brake
Shaft extension	With featherkey and half-key balancing
Radial eccentricity tolerance	N
Vibration severity grade	A
Degree of protection	IP 65
Type of construction	IM B5 (IM V1, IM V3)
Direction of connection	270 degree rotatable
Paint finish	Anthracite (similar to RAL7016)
Motor / calculated data	
RMS motor current	7,41 A
Maximum motor current	14,13 A
Thermal utilization	93,9 %
Utilization of the max. possible torque	93,9 %
External moment of inertia / motor moment of inertia	5,17
Load speed / rated speed	0,31
Load data on the motor shaft	
Load type	Slider crank / eccentric
Effective load torque	10,74 Nm
Mean speed	626,47 rpm
Peak torque	20,22 Nm
Speed at peak torque	1037,44 rpm
Max. speed	1729,07 rpm
Load data on the additional gearbox	
Maximum output torque	355,20 Nm
Maximum output speed	86,45 rpm

• Horizontalny smer celusti / Drive system / Supply system

- Motor Module

Order designation	6SL3120-2TE21-0AD0
Product name	Double Motor Module
Connected in parallel	1
Drive-based Safety Integrated	None
Motor Module / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Motor Module / catalog data	
Rated current of a module	9,00 A
Peak current	27,00 A
Dimensions (height x width x depth)	50 x 410 x 226 mm

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Motor Module / load-specific data	
Available current	9,00 A
Available peak current	27,00 A
Pulse frequency factory setting	4,00 kHz
Required pulse frequency	4,00 kHz

- Motor supply cable

Cable type	MOTION-CONNECT 500 without brake cable, quick connection (fixed mounting) S120R
Laying method	DIN EN 60204-1
Cable cross-section	1 * 4x1.5 mm ²
Order designation	6FX5002-5CN06-1BA0
Cable length	10,0 m

- Motor

Order designation	1FK7062-2AC71-1CG0
Motor / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Temperature rise class	F/100K
Dimensioning with field weakening operation	No
Motor / catalog data (100K values)	
Motor type	1FK7
Version	Compact (generation 2)
Calculated power	1,78 kW
Static torque	8,50 Nm
Rated torque	7,00 Nm
Stall current	3,00 A
Rated current	2,65 A
Rated speed	2000,00 rpm
Shaft height	63 mm
Efficiency	0,900
Encoder	AM24DQI - absolute encoder 24-bit + 12-bit multiturn
Encoder evaluation	Motor integrated
Cooling method	Self-cooling
Holding brake	Without holding brake
Shaft extension	Plain
Radial eccentricity tolerance	N
Vibration severity grade	A
Degree of protection	IP 64
Type of construction	IM B5 (IM V1, IM V3)
Direction of connection	270 degree rotatable
Paint finish	Anthracite (similar to RAL7016)
Motor / gearbox data	
Order designation	V40
Name	LP120-M01
Mounting position	Horizontal
Type of construction	IM B5
Gearbox shaft	With featherkey
Rated output speed	520,00 rpm
Maximum output speed	960,00 rpm
Gear ratio	5
Operating mode	Continuous operation
Rated output torque	110,00 Nm
Maximum output torque	220,00 Nm
Efficiency	97,0 %
Moment of inertia	0,000542 kg m ²
Motor / calculated data	

Customer: FEKT
Plant: UAMT

RMS motor current	1,82 A
Maximum motor current	3,09 A
Thermal utilization	69,5 %
Utilization of the max. possible torque	48,8 %
External moment of inertia / motor moment of inertia	3,89
Load speed / rated speed	0,24
Load data on the motor shaft	
Load type	Slider crank / eccentric
Effective load torque	5,13 Nm
Mean speed	484,92 rpm
Peak torque	8,65 Nm
Speed at peak torque	1192,32 rpm
Max. speed	1255,08 rpm
Load data on the mounted gearbox	
Mean output torque	19,55 Nm
Maximum output torque	29,47 Nm
Mean output speed	96,98 rpm
Maximum output speed	251,02 rpm
Shock factor	2,10
Load data on the belt drive	
Maximum output torque	34,70 Nm
Maximum output speed	209,80 rpm

• Vyrovnávanie folie1 / Drive system / Supply system

- Motor Module

Order designation	6SL3420-2TE11-7AA1
Product name	Double Motor Module
Connected in parallel	1
Drive-based Safety Integrated	None
Motor Module / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Motor Module / catalog data	
Rated current of a module	1,70 A
Peak current	5,10 A
Dimensions (height x width x depth)	75 x 300 x 224 mm
Motor Module / load-specific data	
Available current	1,70 A
Available peak current	5,10 A
Pulse frequency factory setting	4,00 kHz
Required pulse frequency	4,00 kHz

- Motor supply cable

Cable type	MOTION-CONNECT 500 with brake cable, quick connection (fixed mounting)
Laying method	DIN EN 60204-1
Cable cross-section	1 * 4x1.5 mm ²
Order designation	6FX5002-5DN30-1BA0
Cable length	10,0 m

- Motor encoder

Encoder	IC2048S/R - incremental encoder sin/cos 1Vpp 2048 S/R with C and D track
Encoder evaluation	SMC 20
Order designation	6SL3055-0AA00-5BA3
Signal cables	
Order designation	6FX8002-2CA20-1BA0

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Cable type	MOTION-CONNECT 800 IP20/IP67 (trailing-type)
Cable length	10,00 m

- Motor

Order designation	1FK7011-5AK74-1AG3
Motor / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Temperature rise class	F/100K
Motor / catalog data (100K values)	
Motor type	1FK7
Static torque	0,18 Nm
Stall current	1,70 A
Rated speed	6000,00 rpm
Rated current	1,00 A
Rated torque	0,08 Nm
Type of construction	IM B5 (IM V1, IM V3)
Direction of connection	270 degree rotatable
Shaft height	20 mm
Efficiency	0,510
Encoder	IC2048S/R - incremental encoder sin/cos 1Vpp 2048 S/R with C and D track
Encoder evaluation	External SMC module
Temperature evaluation	PT1000
Note	The use of the PT1000 temperature sensor is recommended and supported as of SINAMICS G FW 4.7 SP6 SINAMICS S 4.7 HF17 SINUMERIK 4.5 SP6 or 4.7 SP2 HF1 SIMOTION SCOUT V4.5 (relevant for SIMOTION D and configuration of SINAMICS S120 CUs via SCOUT)
Cooling method	Self-cooling
Holding brake	Without holding brake
Shaft extension	Plain
Radial eccentricity tolerance	N
Vibration severity grade	A
Degree of protection	IP 54
Paint finish	Anthracite (similar to RAL7016)
Version	Compact (generation 1)
Load data on the motor shaft	
Speed at the operating point	6000,00 rpm
Torque at the operating point	0,08 Nm
Current at the operating point	0,74 A
Power at the operating point	0,05 kW
Actual stall current	1,70 A
Actual static torque	0,18 Nm

• Vyrovnávanie folie2 / Drive system / Supply system

- Motor Module

Order designation	6SL3420-2TE11-7AA1
Product name	Double Motor Module
Connected in parallel	1
Drive-based Safety Integrated	None
Motor Module / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Motor Module / catalog data	

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Rated current of a module	1,70 A
Peak current	5,10 A
Dimensions (height x width x depth)	75 x 300 x 224 mm
Motor Module / load-specific data	
Available current	1,70 A
Available peak current	5,10 A
Pulse frequency factory setting	4,00 kHz
Required pulse frequency	4,00 kHz

- Motor supply cable

Cable type	MOTION-CONNECT 500 with brake cable, quick connection (fixed mounting)
Laying method	DIN EN 60204-1
Cable cross-section	1 * 4x1.5 mm ²
Order designation	6FX5002-5DN30-1BA0
Cable length	10,0 m

- Motor encoder

Encoder	IC2048S/R - incremental encoder sin/cos 1Vpp 2048 S/R with C and D track
Encoder evaluation	SMC 20
Order designation	6SL3055-0AA00-5BA3
Signal cables	
Order designation	6FX8002-2CA20-1BA0
Cable type	MOTION-CONNECT 800 IP20/IP67 (trailing-type)
Cable length	10,00 m

- Motor

Order designation	1FK7011-5AK74-1AG3
Motor / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Temperature rise class	F/100K
Motor / catalog data (100K values)	
Motor type	1FK7
Static torque	0,18 Nm
Stall current	1,70 A
Rated speed	6000,00 rpm
Rated current	1,00 A
Rated torque	0,08 Nm
Type of construction	IM B5 (IM V1, IM V3)
Direction of connection	270 degree rotatable
Shaft height	20 mm
Efficiency	0,510
Encoder	IC2048S/R - incremental encoder sin/cos 1Vpp 2048 S/R with C and D track
Encoder evaluation	External SMC module
Temperature evaluation	PT1000
Note	The use of the PT1000 temperature sensor is recommended and supported as of SINAMICS G FW 4.7 SP6 SINAMICS S 4.7 HF17 SINUMERIK 4.5 SP6 or 4.7 SP2 HF1 SIMOTION SCOUT V4.5 (relevant for SIMOTION D and configuration of SINAMICS S120 CUs via SCOUT)
Cooling method	Self-cooling
Holding brake	Without holding brake
Shaft extension	Plain
Radial eccentricity tolerance	N

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Vibration severity grade	A
Degree of protection	IP 54
Paint finish	Anthracite (similar to RAL7016)
Version	Compact (generation 1)
Load data on the motor shaft	
Speed at the operating point	6000,00 rpm
Torque at the operating point	0,08 Nm
Current at the operating point	0,74 A
Power at the operating point	0,05 kW
Actual stall current	1,70 A
Actual static torque	0,18 Nm

• Kontinualne pozdlzne laminovanie1 / Drive system / Supply system

- Motor Module

Order designation	6SL3420-2TE11-7AA1
Product name	Double Motor Module
Connected in parallel	1
Drive-based Safety Integrated	None
Motor Module / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Motor Module / catalog data	
Rated current of a module	1,70 A
Peak current	5,10 A
Dimensions (height x width x depth)	75 x 300 x 224 mm
Motor Module / load-specific data	
Available current	1,70 A
Available peak current	5,10 A
Pulse frequency factory setting	4,00 kHz
Required pulse frequency	4,00 kHz

- Motor supply cable

Cable type	MOTION-CONNECT 500 with brake cable, quick connection (fixed mounting)
Laying method	DIN EN 60204-1
Cable cross-section	1 * 4x1.5 mm ²
Order designation	6FX5002-5DN30-1BA0
Cable length	10,0 m

- Motor encoder

Encoder	IC2048S/R - incremental encoder sin/cos 1Vpp 2048 S/R with C and D track
Encoder evaluation	SMC 20
Order designation	6SL3055-0AA00-5BA3
Signal cables	
Order designation	6FX8002-2CA20-1BA0
Cable type	MOTION-CONNECT 800 IP20/IP67 (trailing-type)
Cable length	10,00 m

- Motor

Order designation	1FK7011-5AK74-1AG3
Motor / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Temperature rise class	F/100K
Motor / catalog data (100K values)	
Motor type	1FK7
Static torque	0,18 Nm
Stall current	1,70 A

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Rated speed	6000,00 rpm
Rated current	1,00 A
Rated torque	0,08 Nm
Type of construction	IM B5 (IM V1, IM V3)
Direction of connection	270 degree rotatable
Shaft height	20 mm
Efficiency	0,510
Encoder	IC2048S/R - incremental encoder sin/cos 1Vpp 2048 S/R with C and D track
Encoder evaluation	External SMC module
Temperature evaluation	PT1000
Note	The use of the PT1000 temperature sensor is recommended and supported as of SINAMICS G FW 4.7 SP6 SINAMICS S 4.7 HF17 SINUMERIK 4.5 SP6 or 4.7 SP2 HF1 SIMOTION SCOUT V4.5 (relevant for SIMOTION D and configuration of SINAMICS S120 CUs via SCOUT)
Cooling method	Self-cooling
Holding brake	Without holding brake
Shaft extension	Plain
Radial eccentricity tolerance	N
Vibration severity grade	A
Degree of protection	IP 54
Paint finish	Anthracite (similar to RAL7016)
Version	Compact (generation 1)
Load data on the motor shaft	
Speed at the operating point	6000,00 rpm
Torque at the operating point	0,08 Nm
Current at the operating point	0,74 A
Power at the operating point	0,05 kW
Actual stall current	1,70 A
Actual static torque	0,18 Nm

• Kontinualne pozdlzne laminovanie2 / Drive system / Supply system

- Motor Module

Order designation	6SL3420-2TE11-7AA1
Product name	Double Motor Module
Connected in parallel	1
Drive-based Safety Integrated	None
Motor Module / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Motor Module / catalog data	
Rated current of a module	1,70 A
Peak current	5,10 A
Dimensions (height x width x depth)	75 x 300 x 224 mm
Motor Module / load-specific data	
Available current	1,70 A
Available peak current	5,10 A
Pulse frequency factory setting	4,00 kHz
Required pulse frequency	4,00 kHz

- Motor supply cable

Cable type	MOTION-CONNECT 500 with brake cable, quick connection (fixed mounting)
Laying method	DIN EN 60204-1

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Cable cross-section	1 * 4x1.5 mm ²
Order designation	6FX5002-5DN30-1BA0
Cable length	10,0 m
- Motor encoder	
Encoder	IC2048S/R - incremental encoder sin/cos 1Vpp 2048 S/R with C and D track
Encoder evaluation	SMC 20
Order designation	6SL3055-0AA00-5BA3
Signal cables	
Order designation	6FX8002-2CA20-1BA0
Cable type	MOTION-CONNECT 800 IP20/IP67 (trailing-type)
Cable length	10,00 m
- Motor	
Order designation	1FK7011-5AK74-1AG3
Motor / ambient conditions	
Installation altitude	1000 m
Ambient temperature	40 °C
Temperature rise class	F/100K
Motor / catalog data (100K values)	
Motor type	1FK7
Static torque	0,18 Nm
Stall current	1,70 A
Rated speed	6000,00 rpm
Rated current	1,00 A
Rated torque	0,08 Nm
Type of construction	IM B5 (IM V1, IM V3)
Direction of connection	270 degree rotatable
Shaft height	20 mm
Efficiency	0,510
Encoder	IC2048S/R - incremental encoder sin/cos 1Vpp 2048 S/R with C and D track
Encoder evaluation	External SMC module
Temperature evaluation	PT1000
Note	The use of the PT1000 temperature sensor is recommended and supported as of SINAMICS G FW 4.7 SP6 SINAMICS S 4.7 HF17 SINUMERIK 4.5 SP6 or 4.7 SP2 HF1 SIMOTION SCOUT V4.5 (relevant for SIMOTION D and configuration of SINAMICS S120 CUs via SCOUT)
Cooling method	Self-cooling
Holding brake	Without holding brake
Shaft extension	Plain
Radial eccentricity tolerance	N
Vibration severity grade	A
Degree of protection	IP 54
Paint finish	Anthracite (similar to RAL7016)
Version	Compact (generation 1)
Load data on the motor shaft	
Speed at the operating point	6000,00 rpm
Torque at the operating point	0,08 Nm
Current at the operating point	0,74 A
Power at the operating point	0,05 kW
Actual stall current	1,70 A
Actual static torque	0,18 Nm

Customer: FEKT
Plant: UAMT

Legend

The overload capability for dimensioning according to load characteristic (e.g. load cycle with constant ON duration) refers to a temporarily required overload on the motor. With longer or cyclic overloads, a configuration via the application is required.

With "Simple motor selection without load configuration", the rated data based on 400/460 V will not be attained depending on the selected drive and version (DC link, control method and control factor). Please take this into account when selecting/using the motor.

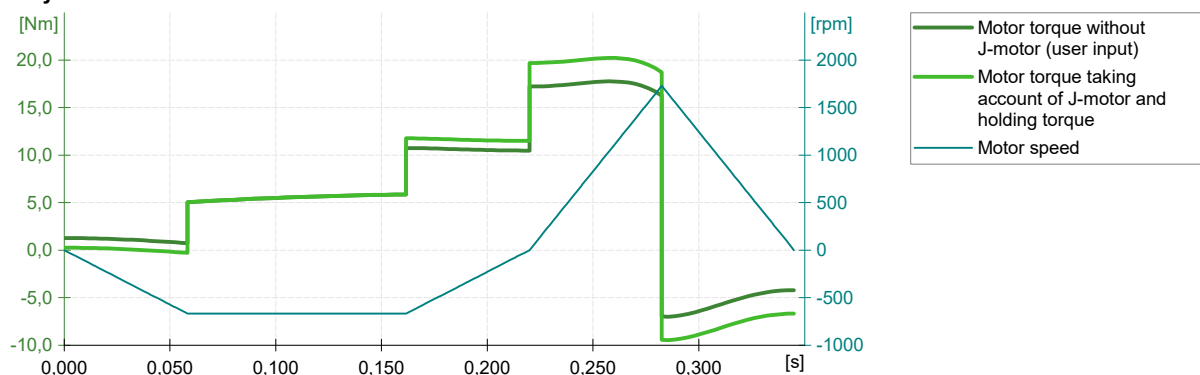
Please check the correct DRIVE-CLiQ topology for the configured SINAMICS S120 drive systems.

Customer: FEKT
Plant: UAMT

2. Load curve on the motor shaft

2.1. Vertikalny smer celusti / Drive system / Supply system / 1FK7064-4CC71-1CB1 [Slider crank / eccentric]

Load cycle data:



The data in the table does not take any rounding into account.

Traversing profile data as individual trav. sections:

Type	Duration [s]	n-start [rpm]	n-end [rpm]	M-start [Nm] without J-motor	M-end [Nm] without J-motor	M-start [Nm] with J-motor	M-end [Nm] with J-motor	Holding brake
-	0,00292	0,00	-33,42	1,27	1,27	0,25	0,25	No
-	0,00292	-33,42	-66,85	1,27	1,27	0,25	0,25	No
-	0,00292	-66,85	-100,27	1,27	1,26	0,25	0,24	No
-	0,00292	-100,27	-133,69	1,26	1,25	0,24	0,23	No
-	0,00292	-133,69	-167,11	1,25	1,23	0,23	0,21	No
-	0,00292	-167,11	-200,54	1,23	1,21	0,21	0,19	No
-	0,00292	-200,54	-233,96	1,21	1,19	0,19	0,17	No
-	0,00292	-233,96	-267,38	1,19	1,17	0,17	0,15	No
-	0,00292	-267,38	-300,80	1,17	1,14	0,15	0,12	No
-	0,00292	-300,80	-334,23	1,14	1,12	0,12	0,10	No
-	0,00292	-334,23	-367,65	1,12	1,08	0,10	0,06	No
-	0,00292	-367,65	-401,07	1,08	1,05	0,06	0,03	No
-	0,00292	-401,07	-434,49	1,05	1,02	0,03	0,00	No
-	0,00292	-434,49	-467,92	1,02	0,98	0,00	-0,04	No
-	0,00292	-467,92	-501,34	0,98	0,94	-0,04	-0,08	No
-	0,00292	-501,34	-534,76	0,94	0,90	-0,08	-0,12	No
-	0,00292	-534,76	-568,18	0,90	0,86	-0,12	-0,16	No
-	0,00292	-568,18	-601,61	0,86	0,82	-0,16	-0,20	No
-	0,00292	-601,61	-635,03	0,82	0,78	-0,20	-0,24	No
-	0,00292	-635,03	-668,45	0,78	0,73	-0,24	-0,29	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,05	5,12	5,05	5,12	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,12	5,18	5,12	5,18	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,18	5,24	5,18	5,24	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,24	5,29	5,24	5,29	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,29	5,35	5,29	5,35	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,35	5,40	5,35	5,40	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,40	5,45	5,40	5,45	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,45	5,49	5,45	5,49	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,49	5,54	5,49	5,54	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,54	5,58	5,54	5,58	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,58	5,62	5,58	5,62	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,62	5,66	5,62	5,66	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,66	5,69	5,66	5,69	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,69	5,72	5,69	5,72	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,72	5,75	5,72	5,75	No

Customer:
Plant:

FEKT
UAMT

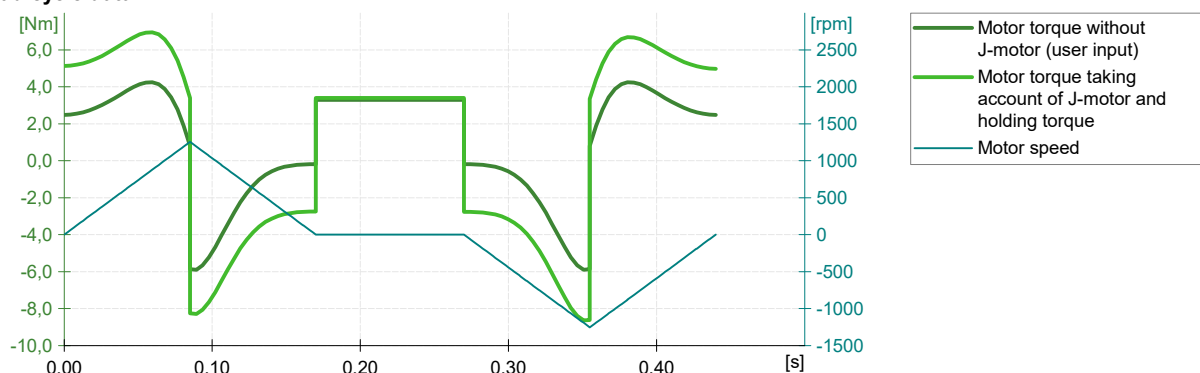
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,75	5,78	5,75	5,78	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,78	5,80	5,78	5,80	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,80	5,82	5,80	5,82	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,82	5,84	5,82	5,84	No
-	0,00517	-668,45	-668,45	5,84	5,85	5,84	5,85	No
-	0,00292	-668,45	-635,03	10,75	10,74	11,77	11,76	No
-	0,00292	-635,03	-601,61	10,74	10,73	11,76	11,75	No
-	0,00292	-601,61	-568,18	10,73	10,72	11,75	11,74	No
-	0,00292	-568,18	-534,76	10,72	10,70	11,74	11,72	No
-	0,00292	-534,76	-501,34	10,70	10,68	11,72	11,70	No
-	0,00292	-501,34	-467,92	10,68	10,66	11,70	11,68	No
-	0,00292	-467,92	-434,49	10,66	10,64	11,68	11,66	No
-	0,00292	-434,49	-401,07	10,64	10,62	11,66	11,64	No
-	0,00292	-401,07	-367,65	10,62	10,61	11,64	11,63	No
-	0,00292	-367,65	-334,23	10,61	10,59	11,63	11,61	No
-	0,00292	-334,23	-300,80	10,59	10,57	11,61	11,59	No
-	0,00292	-300,80	-267,38	10,57	10,55	11,59	11,57	No
-	0,00292	-267,38	-233,96	10,55	10,53	11,57	11,55	No
-	0,00292	-233,96	-200,54	10,53	10,52	11,55	11,54	No
-	0,00292	-200,54	-167,11	10,52	10,51	11,54	11,53	No
-	0,00292	-167,11	-133,69	10,51	10,50	11,53	11,52	No
-	0,00292	-133,69	-100,27	10,50	10,49	11,52	11,51	No
-	0,00292	-100,27	-66,85	10,49	10,48	11,51	11,50	No
-	0,00292	-66,85	-33,42	10,48	10,48	11,50	11,50	No
-	0,00292	-33,42	0,00	10,48	10,48	11,50	11,50	No
-	0,00313	0,00	86,45	17,22	17,23	19,69	19,69	No
-	0,00313	86,45	172,91	17,23	17,25	19,69	19,71	No
-	0,00313	172,91	259,36	17,25	17,28	19,71	19,75	No
-	0,00313	259,36	345,81	17,28	17,33	19,75	19,79	No
-	0,00313	345,81	432,27	17,33	17,38	19,79	19,84	No
-	0,00313	432,27	518,72	17,38	17,44	19,84	19,90	No
-	0,00313	518,72	605,17	17,44	17,51	19,90	19,97	No
-	0,00313	605,17	691,63	17,51	17,57	19,97	20,04	No
-	0,00313	691,63	778,08	17,57	17,64	20,04	20,10	No
-	0,00313	778,08	864,53	17,64	17,69	20,10	20,16	No
-	0,00313	864,53	950,99	17,69	17,74	20,16	20,20	No
-	0,00313	950,99	1037,44	17,74	17,76	20,20	20,22	No
-	0,00313	1037,44	1123,89	17,76	17,76	20,22	20,22	No
-	0,00313	1123,89	1210,35	17,76	17,72	20,22	20,18	No
-	0,00313	1210,35	1296,80	17,72	17,64	20,18	20,10	No
-	0,00313	1296,80	1383,25	17,64	17,50	20,10	19,97	No
-	0,00313	1383,25	1469,71	17,50	17,31	19,97	19,77	No
-	0,00313	1469,71	1556,16	17,31	17,04	19,77	19,51	No
-	0,00313	1556,16	1642,61	17,04	16,70	19,51	19,16	No
-	0,00313	1642,61	1729,07	16,70	16,25	19,16	18,72	No
-	0,00313	1729,07	1642,61	-6,99	-7,01	-9,45	-9,47	No
-	0,00313	1642,61	1556,16	-7,01	-6,96	-9,47	-9,42	No
-	0,00313	1556,16	1469,71	-6,96	-6,86	-9,42	-9,33	No
-	0,00313	1469,71	1383,25	-6,86	-6,72	-9,33	-9,19	No
-	0,00313	1383,25	1296,80	-6,72	-6,55	-9,19	-9,01	No
-	0,00313	1296,80	1210,35	-6,55	-6,36	-9,01	-8,82	No
-	0,00313	1210,35	1123,89	-6,36	-6,14	-8,82	-8,61	No
-	0,00313	1123,89	1037,44	-6,14	-5,92	-8,61	-8,38	No
-	0,00313	1037,44	950,99	-5,92	-5,70	-8,38	-8,16	No
-	0,00313	950,99	864,53	-5,70	-5,47	-8,16	-7,94	No
-	0,00313	864,53	778,08	-5,47	-5,26	-7,94	-7,72	No
-	0,00313	778,08	691,63	-5,26	-5,06	-7,72	-7,52	No
-	0,00313	691,63	605,17	-5,06	-4,87	-7,52	-7,33	No
-	0,00313	605,17	518,72	-4,87	-4,70	-7,33	-7,17	No
-	0,00313	518,72	432,27	-4,70	-4,56	-7,17	-7,02	No
-	0,00313	432,27	345,81	-4,56	-4,44	-7,02	-6,90	No
-	0,00313	345,81	259,36	-4,44	-4,34	-6,90	-6,80	No
-	0,00313	259,36	172,91	-4,34	-4,27	-6,80	-6,73	No

Customer: FEKT
Plant: UAMT

-	0,00313	172,91	86,45	-4,27	-4,23	-6,73	-6,69	No
-	0,00313	86,45	0,00	-4,23	-4,21	-6,69	-6,68	No

2.2. Horizontalny smer celusti / Drive system / Supply system / 1FK7062-2AC71-1CG0 [Slider crank / eccentric]

Load cycle data:



The data in the table does not take any rounding into account.

Traversing profile data as individual trav. sections:

Type	Duration [s]	n-start [rpm]	n-end [rpm]	M-start [Nm] without J-motor	M-end [Nm] without J-motor	M-start [Nm] with J-motor	M-end [Nm] with J-motor	Holding brake
-	0,00425	0,00	62,75	3,40	3,42	5,14	5,15	No
-	0,00425	62,75	125,51	3,42	3,47	5,15	5,20	No
-	0,00425	125,51	188,26	3,47	3,54	5,20	5,27	No
-	0,00425	188,26	251,02	3,54	3,65	5,27	5,38	No
-	0,00425	251,02	313,77	3,65	3,78	5,38	5,52	No
-	0,00425	313,77	376,52	3,78	3,94	5,52	5,68	No
-	0,00425	376,52	439,28	3,94	4,13	5,68	5,86	No
-	0,00425	439,28	502,03	4,13	4,33	5,86	6,06	No
-	0,00425	502,03	564,78	4,33	4,54	6,06	6,27	No
-	0,00425	564,78	627,54	4,54	4,75	6,27	6,48	No
-	0,00425	627,54	690,29	4,75	4,95	6,48	6,68	No
-	0,00425	690,29	753,05	4,95	5,11	6,68	6,84	No
-	0,00425	753,05	815,80	5,11	5,21	6,84	6,94	No
-	0,00425	815,80	878,55	5,21	5,22	6,94	6,95	No
-	0,00425	878,55	941,31	5,22	5,11	6,95	6,84	No
-	0,00425	941,31	1004,06	5,11	4,84	6,84	6,57	No
-	0,00425	1004,06	1066,82	4,84	4,38	6,57	6,11	No
-	0,00425	1066,82	1129,57	4,38	3,70	6,11	5,43	No
-	0,00425	1129,57	1192,32	3,70	2,79	5,43	4,53	No
-	0,00425	1192,32	1255,08	2,79	1,67	4,53	3,40	No
-	0,00425	1255,08	1192,32	-6,53	-6,56	-8,26	-8,29	No
-	0,00425	1192,32	1129,57	-6,56	-6,33	-8,29	-8,06	No
-	0,00425	1129,57	1066,82	-6,33	-5,91	-8,06	-7,65	No
-	0,00425	1066,82	1004,06	-5,91	-5,38	-7,65	-7,11	No
-	0,00425	1004,06	941,31	-5,38	-4,77	-7,11	-6,50	No
-	0,00425	941,31	878,55	-4,77	-4,15	-6,50	-5,88	No
-	0,00425	878,55	815,80	-4,15	-3,56	-5,88	-5,29	No
-	0,00425	815,80	753,05	-3,56	-3,02	-5,29	-4,75	No
-	0,00425	753,05	690,29	-3,02	-2,55	-4,75	-4,28	No
-	0,00425	690,29	627,54	-2,55	-2,15	-4,28	-3,88	No
-	0,00425	627,54	564,78	-2,15	-1,83	-3,88	-3,56	No
-	0,00425	564,78	502,03	-1,83	-1,58	-3,56	-3,31	No
-	0,00425	502,03	439,28	-1,58	-1,39	-3,31	-3,12	No
-	0,00425	439,28	376,52	-1,39	-1,26	-3,12	-2,99	No

FEKT
UAMT

This configuration data has been created by the SIZER for Siemens Drives program version 3.15.130.6.0. Page 15 From 16
Copyright ©Siemens AG 2001-2016. All rights reserved. (File location: C:\Users\Flex\Desktop\MM2K\diplomova_praca_motorv.szpl)

Customer: FEKT
Plant: UAMT

-	0,00425	-188,26	-125,51	3,38	3,31	5,11	5,04	No
-	0,00425	-125,51	-62,75	3,31	3,27	5,04	5,00	No
-	0,00425	-62,75	0,00	3,27	3,25	5,00	4,99	No

Príloha 3: Safety program v PLC S7-1500

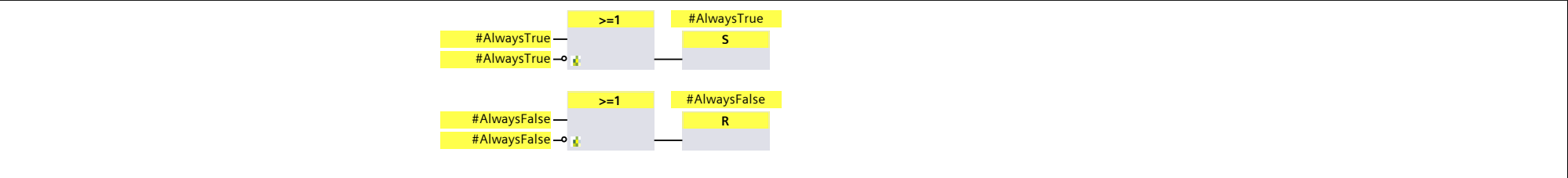
diplomova_praca_V14 / Safety_PLC [CPU 1516F-3 PN/DP] / Program blocks

Main_Safety_RTG1 [FB1]

Main_Safety_RTG1 Properties							
General							
Name	Main_Safety_RTG1	Number	1	Type	FB	Language	FBD
Numbering	Manual						
Information							
Title	Packaging machine safety relevant inputs evaluation	Author		Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID					

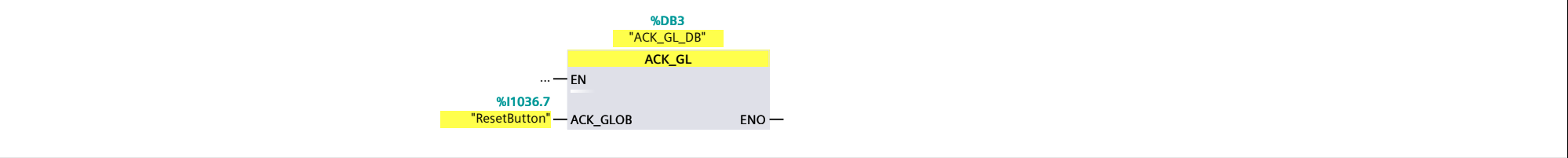
Main_Safety_RTG1									
Name	Data type	Default value	Retain	Accessible from HMI/OPC UA	Writ-able from HMI/OPC UA	Visible in HMI engi-neering	Setpoint	Supervi-sion	Comment
Input									
Output									
InOut									
▼ Static									
AlwaysTrue	Bool	true	Non-retain	True	True	True	False		
AlwaysFalse	Bool	false	Non-retain	True	True	True	False		
Temp									
Constant									

Network 1: Generate AlwaysTrue and AlwaysFalse



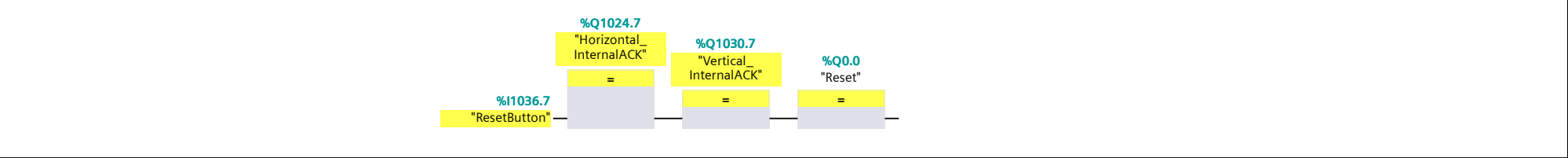
Symbol	Address	Type	Comment
#AlwaysFalse		Bool	
#AlwaysTrue		Bool	

Network 2: Reset safety errors for F-IO module



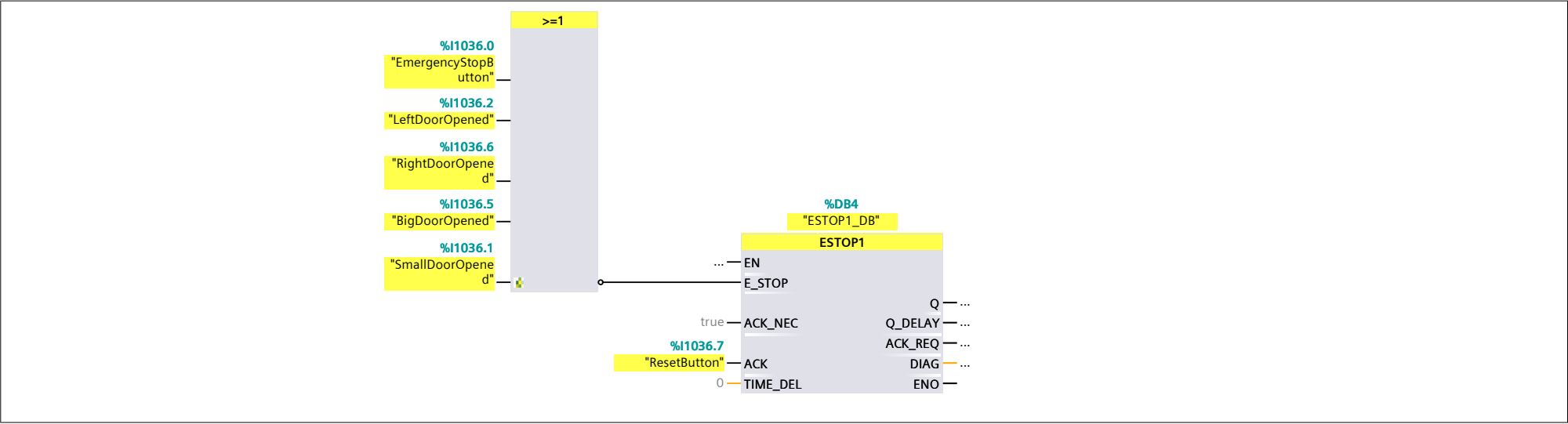
Symbol	Address	Type	Comment
"ResetButton"	%I1036.7	Bool	

Network 3: Acknowledge of drive errors



Symbol	Address	Type	Comment
"Horizontal_InternalACK"	%Q1024.7	Bool	
"Reset"	%Q0.0	Bool	
"ResetButton"	%I1036.7	Bool	
"Vertical_InternalACK"	%Q1030.7	Bool	

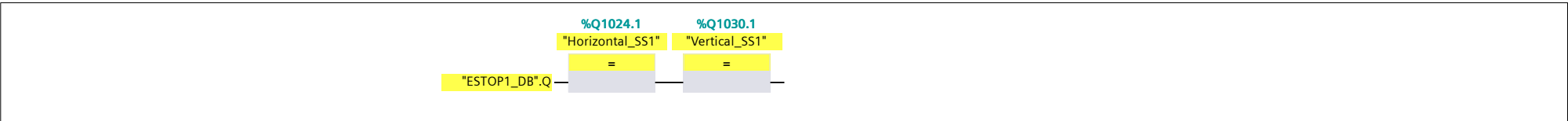
Network 4: Estop evaluation



Symbol	Address	Type	Comment
"BigDoorOpened"	%I1036.5	Bool	
"EmergencyStopButton"	%I1036.0	Bool	
"LeftDoorOpened"	%I1036.2	Bool	
"ResetButton"	%I1036.7	Bool	
"RightDoorOpened"	%I1036.6	Bool	
"SmallDoorOpened"	%I1036.1	Bool	

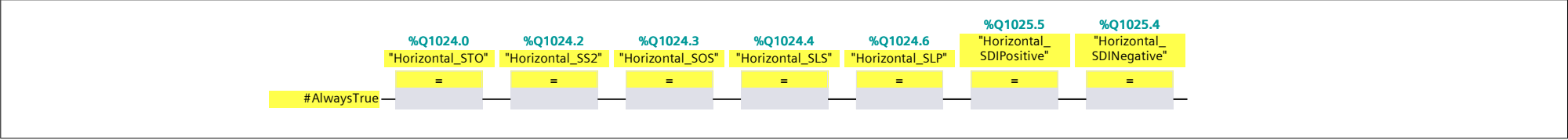
Network 5: Enable SS1 on both axes

0 - activate SS1; 1 - deactivate SS1



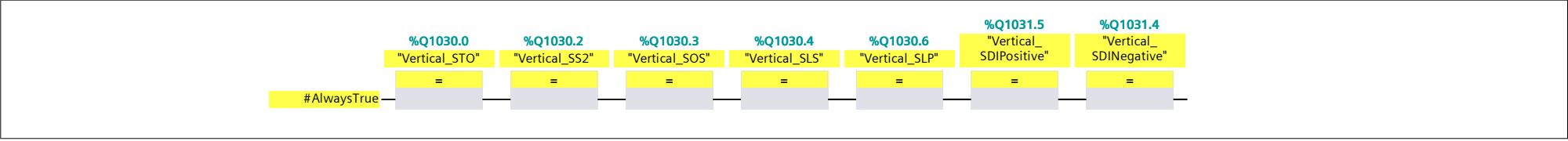
Symbol	Address	Type	Comment
"ESTOP1_DB".Q		Bool	1=Enable
"Horizontal_SS1"	%Q1024.1	Bool	
"Vertical_SS1"	%Q1030.1	Bool	

Network 6: Deactivated functions on Horizontal drive



Symbol	Address	Type	Comment
"Horizontal_SDIPositive"	%Q1025.5	Bool	
"Horizontal_SDINegative"	%Q1025.4	Bool	
"Horizontal_SLP"	%Q1024.6	Bool	
"Horizontal_SLS"	%Q1024.4	Bool	
"Horizontal_SOS"	%Q1024.3	Bool	
"Horizontal_SS2"	%Q1024.2	Bool	
"Horizontal_STO"	%Q1024.0	Bool	
#AlwaysTrue		Bool	

Network 7: Deactivated functions on Vertical drive



Symbol	Address	Type	Comment
"Vertical_SDIPositive"	%Q1031.5	Bool	
"Vertical_SDINegative"	%Q1031.4	Bool	
"Vertical_SLP"	%Q1030.6	Bool	
"Vertical_SLS"	%Q1030.4	Bool	
"Vertical_SOS"	%Q1030.3	Bool	
"Vertical_SS2"	%Q1030.2	Bool	
"Vertical_STO"	%Q1030.0	Bool	
#AlwaysTrue		Bool	

Network 8: Switching off contactors

Totally Integrated Automation Portal

%Q1042.0

"HeatingContactor"

%Q1042.1

"CompressorContactor"

%Q1042.2

"UnwindingContactor"

"ESTOP1_DB".Q

=

=

=

Symbol	Address	Type	Comment
"CompressorContactor"	%Q1042.1	Bool	
"ESTOP1_DB".Q		Bool	1=Enable
"HeatingContactor"	%Q1042.0	Bool	
"UnwindingContactor"	%Q1042.2	Bool	

Safety information: 5842A9AF; STEP 7 Safety V14; The safety program is consistent.

Príloha 4: DVD s elektronickou verziou práce,
projektom v TIA Portal a doplnkovými súbormi