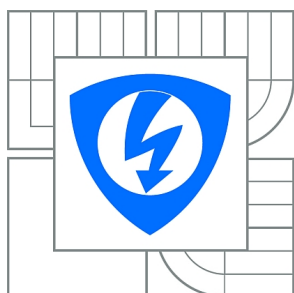




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SIMULACE TECHNOLOGICKÉHO PROCESU NA PLC

SIMULATION OF A TECHNOLOGICAL PROCESS ON PLC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN KUBÍN

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN PÁSEK, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Jan Kubín

ID: 146878

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Simulace technologického procesu na PLC

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Projekt je založen na bázi systému Simatic PCS7. Řešitel dostane odladěný řídicí program mlýnice vápence. Úkolem je k dané technologii vytvořit simulaci strojů a technologie tak, aby bylo možno tuto technologii provozovat jako s reálným procesem.

1. Popsat typickou hardwarovou sestavu PC client-server a PLC pro řízení technologických procesů
2. Provést analýzu existujícího PLC řídicího programu a popsat ho
3. Specifikovat všechna elektrická zařízení mlýnice, jejich vstupy a výstupy a způsoby řešení jejich simulace
4. Vytvořit simulační program mlýnice v STEP 7 a jeho vizualizaci ve WinCC
5. Ověřit funkci simulace v součinnosti s řídicím programem mlýnice

DOPORUČENÁ LITERATURA:

1. SIEMENS.SIMATIC Programming with STEP 7: Manual [online]. 2010
2. SIEMENS. SIMATIC HMI WinCC flexible 2008 Compact / Standard / Advanced: User's Manual [online].
3. PSP ENGINEERING A.S. Vertikální kotoučové mlýny KTM. Přerov, 2005.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 26.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Jan Pásek, CSc.

Konzultanti bakalářské práce: Ing. Zícha Zdeňek, CSc.

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je připravení pracoviště, které by umožnilo provádět seznamování personálu s novými technologiemi, seznamovat ho s novými možnostmi, které nám moderní řídicí systémy poskytují a naučit ho inovované řídicí systémy ovládat v simulovaném provozu bez technologie. Úkolem je připravit simulaci strojů a technologie tak, aby po spuštění tento program fungoval jako se skutečnou technologií. První část bakalářské práce je věnovaná základní teorii týkající se použitých prostředků pro realizaci simulace a popisu simulované technologie - vertikálního mlýnu KTM. Druhá část se zabývá návrhem a popisem vlastní simulace, ke které se využívá programu STEP 7 a pro vizualizaci WinCC.

KLÍČOVÁ SLOVA

PLC, simulace, vertikální mlýn KTM, STEP 7, WinCC, vizualizace

ABSTRACT

The aim of this work is to prepare a workplace that would enable the staff to familiarize with new technologies, to familiarize them with new possibilities that modern management systems provide and teach them to operate the innovative control systems in a simulated process like if it were the real technology. The task was to prepare the simulation of the tools and technologies so that this program functioned as the real technology. The first part of the thesis is devoted to the basic theory regarding the means used to implement the simulation and description of simulated technology - the vertical mill KTM. The second part deals with the design and description of the simulations for which the program STEP 7 is used and for the visualization the program WinCC.

KEYWORDS

PLC, simulation, vertical roller mill KTM, STEP 7, WinCC, visualisation

KUBÍN, J. *Simulace technologického procesu na PLC*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2014. 50 s. Vedoucí práce byl Ing. Jan Pásek, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Simulace technologického procesu na PLC“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

Brno

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Janu Páskovi, Csc. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále děkuji panu Ing. Zdeňkovi Zichovi, CSc. z firmy PSP Engineering a.s. za odborné rady a konzultace.

Brno

.....

(podpis autora)

OBSAH

Úvod	10
1 Řešení studentské práce	11
1.1 PLC - programovatelný automat	11
1.1.1 Historie PLC	11
1.2 Architektura průmyslového informačního systému	12
1.2.1 Procesní instrumentace	12
1.2.2 První úroveň řízení	12
1.2.3 Druhá úroveň řízení	13
1.2.4 SCADA, HMI	14
1.2.5 Komunikace mezi PLC a SCADA	14
1.3 OPC	15
1.4 STEP 7	16
1.5 WinCC	17
1.6 Vertikální mlýny KTM	18
1.6.1 Princip činnosti	18
1.6.2 Výhody použití kotoučových mlýnů KTM	19
1.6.3 Dynamický třídič III. generace DTIM	19
1.6.4 Charakteristiky třídičů DTIM	19
1.6.5 Vnitřní vybavení mlýnů KTM	20
1.7 Obsah simulace mlýnice vápence s vertikálním mlýnem	20
1.7.1 Simulace silových vývodů	20
1.7.2 Přehled simulované technologie	20
1.8 Popis funkcionality simulačního programu	22
1.8.1 Důležité informace o programu	22
1.8.2 Princip simulace motorů	23
1.8.3 Simulace analogových veličin	25
1.8.4 Simulace topení a chlazení	26
1.8.5 Simulace servopohonů - klappek	26
1.8.6 Regulační smyčky	30
1.9 Vizualizace programu	35
1.9.1 Hlavní obrazovka	36
1.9.2 Regulované veličiny	37
1.9.3 Startování a zastavování grup	38
1.9.4 Mazání, hydraulika a výběr okna	39
1.9.5 Okno alarmů a hlášení	40
1.9.6 Simulace binárních čidel	40

1.9.7	Okno regulace mazání kotoučů	42
1.9.8	Okno regulace teploty za mlýnem a podtlaku před mlýnem . .	43
1.9.9	Okno podávání materiálu do mlýna	45
2	Závěr	46
	Literatura	47
	Seznam symbolů, veličin a zkratk	48
	Seznam příloh	49
A	Specifikace elektrických zařízení mlýnice	1
B	Sekvenční diagramy startovacích a zastavovacích sekvencí	6

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Automatizační prostředky - rozdělení[2]	13
1.2	Edice WinCC flexible[5]	17
1.3	3D model vertikálního mlýna[6]	18
1.4	Zapojení technologického procesu	21
1.5	Zapojení pro spotřebiče o napájecím napětí 230 V	23
1.6	Zapojení pro spotřebiče o napájecím napětí 400 V	24
1.7	Simulace spotřebiče o napájecím napětí 400 V	24
1.8	Nastavení defaultní hodnoty tlaku oleje u kotouče č.1	25
1.9	Klapka	26
1.10	Příklad simulace klapky, část 1.	27
1.11	Příklad simulace klapky, část 2.	28
1.12	Příklad simulace klapky, část 3.	29
1.13	Příklad simulace klapky, část 4.	30
1.14	Výpočet maximální dosažitelné teploty za mlýnem	32
1.15	Výpočet časové konstanty	33
1.16	Simulace průběhu exponenciály	34
1.17	Vizualizace spuštěného programu	35
1.18	Hlavní část vizualizace	36
1.19	Regulace veličin	37
1.20	Ovládání grup	38
1.21	Mazání a hydraulika	39
1.22	Výběr okna	39
1.23	Historie alarmů a hlášení	40
1.24	Příklad simulace chyby	41
1.25	Binární čidla mazání kotouče č.1	41
1.26	Úroveň hladiny oleje v kotouči č.1	42
1.27	Úroveň hladiny oleje v kotouči č.2	42
1.28	Teplota za mlýnem	43
1.29	Podtlak před mlýnem	44
1.30	Množství materiálu dodávané do mlýna a proud hlavního motoru	45
B.1	Startovací sekvence přípravy mletí vápence	7
B.2	Zastavovací sekvence přípravy mletí vápence	8
B.3	Startovací sekvence mazání převodovky	9
B.4	Zastavovací sekvence mazání převodovky	10
B.5	Startovací sekvence mazání ložiska valounu č.1	11
B.6	Zastavovací sekvence mazání ložiska valounu č.1	12
B.7	Startovací sekvence mazání ložiska valounu č.2	13

B.8	Zastavovací sekvence mazání ložiska valounu č.2	14
B.9	Startovací sekvence hydraulické stanice	15
B.10	Zastavovací sekvence hydraulické stanice	16
B.11	Startovací sekvence transportu	17
B.12	Startovací sekvence mlecího okruhu	18
B.13	Zastavovací sekvence mlecího okruhu	19
B.14	Zastavovací sekvence transportu	20
B.15	Startovací sekvence mletí vápence	21
B.16	Zastavovací sekvence mletí vápence	22

ÚVOD

Tato práce se věnuje oblasti automatizace konkrétního technologického procesu pomocí simulace na PLC (programovatelný logický automat – Programmable Logic Controller). Technologický proces představuje vertikální mlýn a zařízení potřebná k jeho provozu (ventilátory, snímače, posuvné pásy, atd.). Jedná se o mlýn nacházející uplatnění v průmyslu cementu a vápna, chemickém, hutním, energetickém, sklářském a potravinářském s požadavkem na velmi jemné mletí materiálu. Zadavatelem je firma PSP Engineering a.s. Zadavatel dal k dispozici odladěný řídicí program vertikálního mlýna a slovní popis chování technologie jako výchozí podklady pro přípravu simulace.

K tomu, aby bylo možné takto komplexní úlohu řešit, je potřeba znát principy činnosti jak technologického procesu, tak prostředků potřebných k simulaci a její vizualizaci.

Výsledkem práce je funkční simulace technologického procesu, která funguje jako skutečná technologie.

Nedílnou součástí simulace technologie je vizualizace, uživatelsky příjemné a lehce ovladatelné prostředí simulačního programu zvyšující efektivnost práce s ním.

Hlavním přínosem této práce by mělo být její použití jako školící materiál pro seznamování zákazníků firmy PSP Engineering a.s. s technologií.

1 ŘEŠENÍ STUDENTSKÉ PRÁCE

1.1 PLC - programovatelný automat

Programovatelný logický automat je číslicový elektronický systém, zpracovávající signály z technologického procesu pomocí uživatelsky orientovaných instrukcí (sekvencních, logických, časových) uložených v programovatelné paměti, za účelem řízení technologických zařízení pomocí analogových a číslicových vstupů a výstupů.

Hlavním rozdílem mezi PLC a PC spočívá v optimalizaci pro provoz v průmyslu. Zásadní požadavky na PLC jsou spolehlivost, rychlost (nutná podmínka pro řízení v reálném čase), robustnost (odolnost vůči vlivům prostředí typu teplota, vlhkost, prašnost, otřesy), komunikace a diagnostika.

1.1.1 Historie PLC

"Myšlenka použití počítačů v přímém řízení je jen o málo mladší než samy počítače. Pokusy o konstrukci počítačů použitelných v automatizaci, a tedy vyhovujících požadavkům na činnost v reálném čase, se datují již od konce 50. let minulého století. Stále rostoucí výkonnost a spolehlivost počítačů při současně klesající ceně a požadavcích na provozní podmínky vedly na začátku 70. let k situaci, kdy bylo možné reálně uvažovat o efektivním a masovém uplatnění počítačů v automatizaci. V té době bylo také projektováno mnoho automatizovaných systémů vybavených počítači. Stále však šlo o etapu pokusů a ověřování. Podle výsledků statistických šetření – provedených tehdy ústavem INORGA – bylo v oboru těžkého strojírenství a hutnictví na celém světě zhruba 60 % projektů počítačově automatizovaných systémů neúspěšných. Od této doby však počet aplikací i počet úspěšných projektů a dokončených děl plynule rostl. V cestě širšímu uplatnění počítačů v přímém řízení stála relativně velká cena počítačových systémů. Bylo co zlepšovat i ve spolehlivosti, výkonnosti a dalších parametrech důležitých pro aplikace. Všechny tyto problémy v jisté míře přetrvávají dodnes, ale již nejsou hlavní překážkou aplikací. Do popředí však neustále, a v současné době čím dál tím více, vystupuje otázka ekonomické efektivity. Hospodárnost byla v 70. letech dvacátého století důvodem, který vedl ke konstrukci specializovaných počítačových systémů, jež se i v tehdejších podmínkách již dokázaly efektivně uplatnit v automatizaci v průmyslu.

Zmíněné specializované počítače našly uplatnění ve specifické oblasti automatizace – v ovládacích obvodech automatizovaných strojů a zařízení založených na řízení typu ano-ne. Univerzální počítačové systémy byly příliš drahé a pro daný úkol zbytečně složité. To platilo pro technické i pro programové vybavení. V této situaci se

na trhu objevily specializované logické procesory a specializované programové vybavení orientované pouze na realizaci ovládacích funkcí. Postupem času však výrazně poklesla cena stále zdokonalovaných univerzálních procesorů, které postupně nahradily jednoúčelové přístroje dosud používané ve speciálních aplikacích. V průběhu 80. let dosáhl vývoj úrovně srovnatelné s dnešním stavem. V té době se také pro PA vybavené počítači ustálilo označení PLC.

V technickém vybavení PA se nyní nenachází mnoho rysů, které by bylo třeba podrobněji osvětlovat: univerzální procesory, postupně převážily výrobky firmy Motorola, obvody pro vstup a výstup dvouhodnotových, analogových a čítačových (digitálních) veličin, později i možnost přístupu na komunikační sběrnice. To vše v konstrukčním provedení vhodném pro montáž do běžných rozváděčů v průmyslovém prostředí. V současnosti jsou na trhu dostupné i systémy s velkou odolností proti nízkým i vysokým teplotám, chvění i nárazům a s velkou spolehlivostí, která velmi pravděpodobně zaručuje jejich mnohaletý bezporuchový chod."[1]

1.2 Architektura průmyslového informačního systému

Architektura průmyslového informačního systému je možné velmi přehledně popsat pomocí tzv. pyramidy prostředků průmyslové automatizace viz. obr. 1.1, která zobrazuje dvě úrovně řízení a procesní instrumentaci.[2][3]

1.2.1 Procesní instrumentace

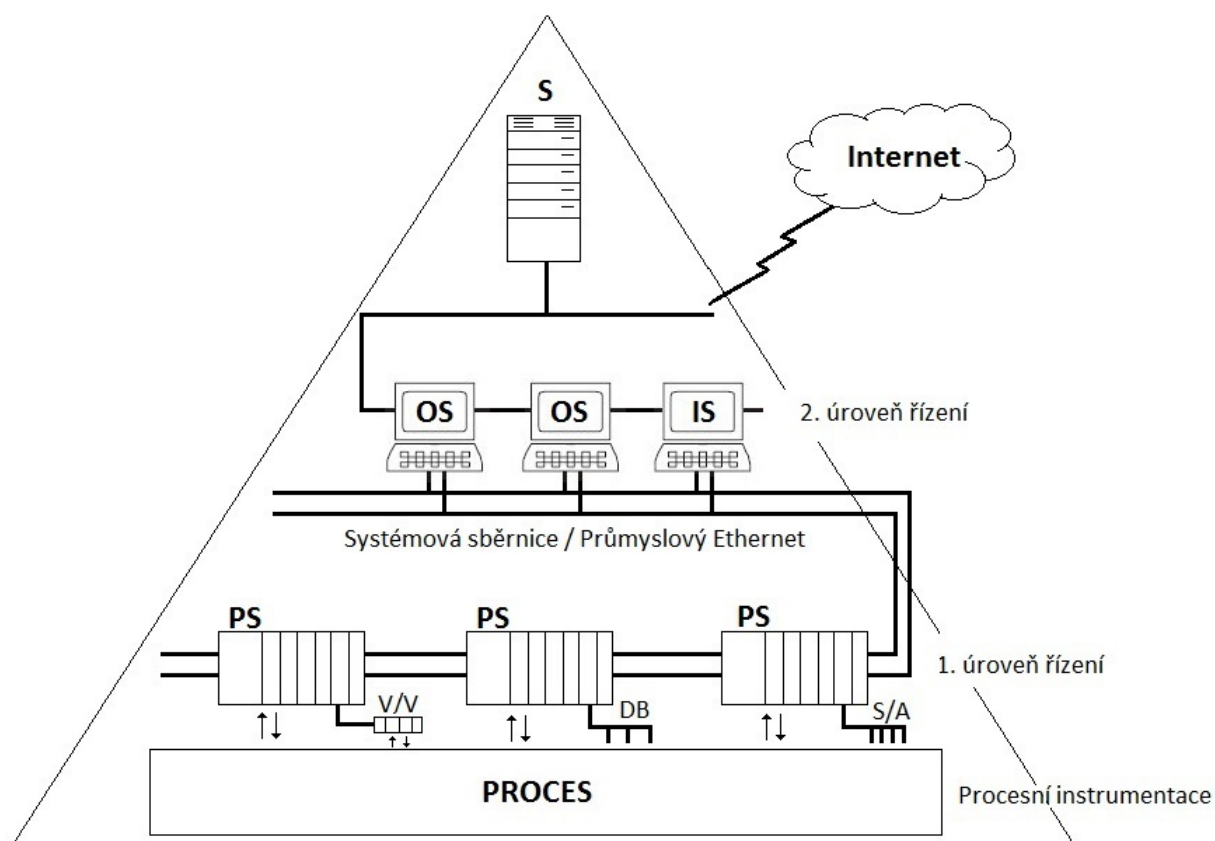
Nejnižší úroveň reprezentuje procesní instrumentace, která zahrnuje např. snímače, ventily, motory, ale třeba i velmi složité přístroje.[2][3]

1.2.2 První úroveň řízení

První úroveň řízení (bezprostřední řízení) reprezentuje řídicí členy, jako jsou např. PLC, průmyslové regulátory, DCS, IPC, které mohou provádět logické řízení, či řízení v reálném čase. Na obr. 1.1 jsou řídicí členy jednotně popsány jako procesní stanice - PS. V řídicí struktuře se objevuje i další důležitý prvek a to je systémová sběrnice. Jedná se zpravidla o sériovou vysokorychlostní, zálohovanou sběrnici, propojující v reálném čase první a druhou úroveň řízení.[2][3]

1.2.3 Druhá úroveň řízení

Druhá úroveň řízení (operátorská úroveň) zahrnuje nadřazené řízení (SCADA, MMI, operátorské, projektantské, konfigurační systémy, MES, ERP). Na obr. 1.1 jsou stanice označeny jako operátorské (OS) a inženýrské (IS) a představují pracovní stanice, či výkonné PC se speciálním softwarem určený pro projektování, operátorské řízení, monitorování procesu a podporující tvorbu historie řízení. Druhá úroveň je směrem nahoru propojena standardní lokální sítí (LAN) typu Ethernet s protokoly TCP/IP a jednoduchým propojením do sítě Internet.[2][3]



Obr. 1.1: Automatizační prostředky - rozdělení[2]

1.2.4 SCADA, HMI

Aby bylo možné řídit a ovládat technologický proces, bylo nutné zavedení vhodného systému, který by umožnil ovládání a vizualizaci. Tento systém se nazývá SCADA (systém pro ovládání a vizualizaci technologických procesů – Supervisory Control and Data Acquisition), či HMI (Human Machine Interface).

SCADA představuje operátorskou stanici na bázi PC a systémového softwaru. Umožňuje centralizovaně sledovat a ovládat technologický proces, proto se umísťuje na velín.

Pojmem HMI se rozumí vizualizace a ovládání technologického procesu přímo na místě pomocí operátorských panelů umístěných v blízkosti procesu, který znázorňuje a ovládá. Panely jsou většinou realizovány jako dotykové plochy, případně na bázi PC.

Systém HMI zajišťuje následující úlohy:

- Vizualizace procesu - proces je zobrazován na zařízení HMI, u kterého se na základě postupu procesu dynamicky aktualizuje obraz zobrazovací jednotky.
- Ovládání procesu operátorem - operátorovi je umožněno řídit proces pomocí grafického uživatelského rozhraní.
- Spouštění signalizace - určité stavy procesu automaticky spustí signalizaci, či alarm. Např. při překročení maximální povolené teploty systému.
- Archivace proměnných procesu a signalizace - umožňuje zaznamenávání sekvencí procesu a zpětné získávání produkčních dat.
- Logging procesních veličin a signalizace - umožňuje generování reportů z kratších časových úseků, např. tisk produkčních dat na konci směny.
- Management procesu a parametrů zařízení - systém HMI umožňuje ukládání parametrů procesu a zařízení v podobě tzv. receptů. Umožňuje např. stažení těchto parametrů najednou ze zařízení HMI do PLC za účelem změny verze produktu pro výrobu.

[2][3][9]

1.2.5 Komunikace mezi PLC a SCADA

Komunikaci mezi jednotlivými stanicemi a jednotkami zajišťují komunikační sítě typu Multi-Point Interface. Tyto průmyslové sítě jsou nejčastěji tvořeny technologiemi typu průmyslový Ethernet, což je obdoba klasického Ethernetu, je ale optimalizován pro používání v průmyslu (pracovní rozsah teplot, operace v reálném čase,

spolehlivost, zabezpečení). Dále mohou být tvořeny systémem PROFIBUS, což je systém založený na architektuře Master-Slave, kde mezi nimi dochází k cyklické výměně dat. Další možné technologie jsou Point-to-point (PtP) a ASi. Všechny tyto způsoby komunikace jsou odvozeny od ISO/OSI modelu pro komunikační standard. [2][3][9]

1.3 OPC

OPC znamená OLE for Process Control, kde OLE znamená Object Linking and Embedding a je standardním rozhraním pro komunikaci v technologických procesech, který definuje standardní soubor objektů, rozhraní a metod pro použití průmyslových procesů. Vznikl spoluprací mnoha dodavatelů automatizačních prostředků a společnosti Microsoft. OPC standardizuje a spravuje nezisková organizace OPC Foundation (www.opcfoundation.org) a je dostupný všem bez jakýchkoliv licenčních poplatků či omezení. [2][3][7]

Důvody vzniku OPC

Před vznikem OPC existovalo mnoho klientských aplikačních programů, které získávaly data z různých zdrojů. Aby bylo možné data získat, bylo třeba ovladače, který komunikaci umožnil. Nutnost existence ovladačů při komunikaci systémů PLC a SCADA vyplývá z faktu, že si mají předávat data dvě programové aplikace, které se přesně neznají. Potíž byla v tom, že každá aplikace musela mít svůj ovladač pro konkrétní hardware. Docházelo k chybné komunikaci mezi hardwarem od různých dodavatelů a při změně vlastností HW bylo potřeba vytvoření nového ovladače. Tyto problémy řeší standard OPC. [2][3][7]

Funkce OPC

Standard OPC umožnilo vytvořit OPC Server, který zajišťuje přístup k datům mezi hardwarem, či programy, které se na OPC server dokáží připojit pomocí OPC klienta. Způsob výměny dat je založen na technologiích OLE, COM, DCOM firmy Microsoft. [2][3][7]

1.4 STEP 7

STEP 7 je základní programový balík určený pro konfiguraci a programování SIMATIC PLC od firmy SIEMENS. Jedná se o součást průmyslového softwaru SIMATIC a je jedním z nejrozšířenějších programovacích prostředí určených pro průmyslovou automatizaci na světě. Poskytuje širokou škálu nástrojů pro co nejširší rozsah aplikací. Byl vytvořen v souladu s normou IEC 61131-3, která se zabývá standardizací v oblasti programovatelných automatů a napomáhá tak úspoře nákladů na tvorbu projektu.

Dále umožňuje kromě programování řídicích systémů na bázi PLC i programování automatizačních systémů na bázi PC. Je tedy možné jedním softwarovým vybavením vytvářet projekty pro téměř jakoukoliv hardwarovou sestavu ať už na bázi PLC, PC, či smíšenou.

STEP 7 Professional se skládá z:

- STEP 7 Basic včetně osvědčených jazyků LAD, FBD, STL
- S7-GRAPH pro grafické programování sekvenčních řízení
- S7-SCL vyšší programovací jazyk pro realizaci komplexnějších úloh
- S7-PLCSIM simulátor reálného hardware. Odladění programu v kanceláři bez spojení se skutečným automatem
- SIMATIC Manager – slouží k administraci všech nástrojů a dat projektu.
- HW konfigurace – pro konfiguraci a parametrizaci hardwaru.
- Program editor – vytváření a testování uživatelského programu.
- NetPro – nastavení přenosu dat přes MPI nebo PROFIBUS/PROFINET.
- DocPro – projektová dokumentace.

[4]

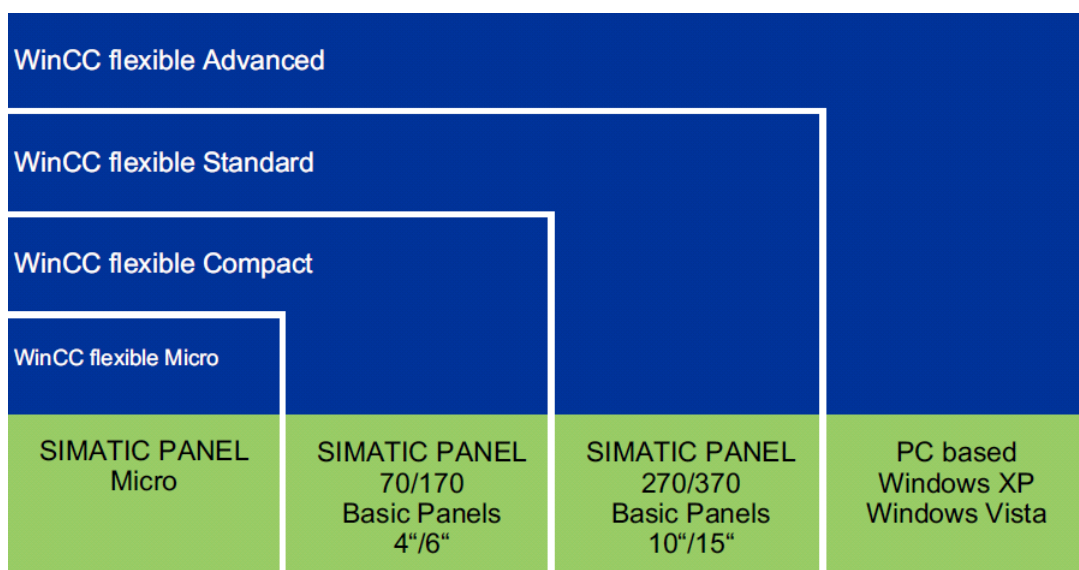
1.5 WinCC

WinCC flexible je software systému SIMATIC HMI od firmy SIEMENS. Slouží k vytváření vizualizací jak pro panely, tak pro PC. Kombinuje přímé řízení, přehlednost a flexibilitu.

Skládá se z následujících komponentů:

- WinCC flexible Engineering System - je to software obsluhující všechny základní konfigurační úlohy. Podle edice WinCC flexible se určuje, která zařízení HMI ze spektra SIMATIC HMI mohou být konfigurována.
- WinCC flexible Runtime - jedná se o software starající se o vizualizaci procesu. Projekty se vykonávají v procesním módu Runtime.
- WinCC flexible options - umožňuje rozšíření standardní funkcionality WinCC flexible.[5]

Možné edice WinCC flexible:



Obr. 1.2: Edice WinCC flexible[5]

1.6 Vertikální mlýny KTM

"Jedná se o mlýn nacházející uplatnění v průmyslu cementu a vápna, chemickém, hutním, energetickém, sklářském a potravinářském s požadavkem na velmi jemné mletí materiálu."



Obr. 1.3: 3D model vertikálního mlýna[6]

1.6.1 Princip činnosti

"Semílaný materiál je podáván na rotující mlecí mísu poháněnou elektromotorem s kuželočelní převodovkou, případně hydropohonem. Pomocí hydropneumatického (nebo pružinového) přitlaku jsou na materiál přitlačovány kuželové mlecí kotouče. Materiál postupující od středu mísy pod kotouči je rozemílán a na jejím obvodu přepadává přes zadržovací kruh. Zde je strháván proudem vzduchu, který je nasáván ze spodního dílu přes lopatkový věnec vzhůru zužující se mlecí komorou do třídiče. Ten vrací hrubší frakce zpět na mísu. Hotový produkt je pak odloučen cyklony nebo filtry. Celý systém pracuje v podtlaku, je tedy bezprašný."

1.6.2 Výhody použití kotoučových mlýnů KTM

- *"malé opotřebení pláště kotoučů (vzniká pouze otěr od mletého materiálu)*
- *hydropneumatické přitlačování kotoučů umožňující rychlou změnu přitlačné síly kotoučů změnou tlaku oleje v okruhu*
- *rychlá výměna plášťů kotoučů a mlecích segmentů mísy bez demontáže mlecí komory a třídiče*
- *poměrně malý potřebný základ pro kotvení stroje*
- *cirkulace materiálu mezi třídičem a mlecí mísou probíhá bez jakékoliv mechanické dopravy*
- *rychlá a plynulá regulace jemnosti hotového produktu*
- *intenzivní sušení mletého materiálu s vysokou vlhkostí*
- *nízká specifická spotřeba energie"*

1.6.3 Dynamický třídič III. generace DTIM

"Součástí mlýna KTM je vestavěný dynamický třídič DTIM, jehož konstrukce podstatně prodloužila jeho životnost a snížila opotřebení na minimum. Jemnost a ostrost třídění jsou řízeny několika způsoby:

- *natočením lopatek statoru*
- *změnou otáček rotoru třídiče pomocí frekvenčního měniče elektromotoru nebo výměnou řemenic*
- *změnou množství vzduchu proudícího přes třídič"*

1.6.4 Charakteristiky třídičů DTIM

- *"vysoká účinnost a ostrost třídění*
- *možnost třídění materiálů se širokým rozsahem zrnitosti*
- *snadné nastavení výsledné zrnitosti (jemnosti) produktu*
- *úspory energie*
- *zvýšení účinnosti sušení v třídiči*
- *chlazení meliva podáváním okolního vzduchu*

- *zlepšení granulometrie surovinové moučky s příznivým vlivem na následný proces výpalu.* "

1.6.5 Vnitřní vybavení mlýnů KTM

"Při mletí abrazivních materiálů je věnována velká pozornost vnitřnímu vybavení mlýna:

- *Pláště mlecích kotoučů a mlecí segmenty jsou odlity ze speciálního materiálu, nebo jsou opatřeny speciálními tvrdonávary.*
- *Pancéřování mlecí komory je provedeno speciálními tvarovanými odlitky nebo navařovanými plechy.*
- *Rotor třídiče, jeho statorové lopatky a další exponovaná místa jsou navrhovány ze speciálních plechů Hardox, případně jsou opatřeny antiabrazivními nátěry.*
- *Těleso třídiče je pak většinou opatřeno navařovanými pancéři či pancéři z Hardoxu.* " [6]

1.7 Obsah simulace mlýnice vápence s vertikálním mlýnem

1.7.1 Simulace silových vývodů

Jsou zadávány vstupní signály odpovídající zapojení silových rozvaděčů. Je možno zadat, zda je simulovaný signál v pořádku nebo v chybovém stavu. Standardně jsou jednotlivé bity odpovídající vstupům na hodnotě TRUE, pokud jsou z panelu operátora nastaveny na FALSE, je simulována odpovídající chyba. Takto jsou simulovány

- a) Motorové ochrany a napájecí jističe - standardně je vstupní signál nastaven
- b) Zpětná vazba stykačů - standardně je tento signál nastaven dle výstupního signálu modulu daného pohonu, který ovládá daný stykač

1.7.2 Přehled simulované technologie

- a) Topení - pokud je topení zapnuto, narůstá teplota vyhřívaného oleje lineárně s danou rychlostí
- b) Chlazení - pokud je zapnut chladicí ventilátor, teplota oleje klesá lineárně s danou rychlostí

- c) Teplota olejů při chodu mlýnice - pokud je mlýnice v chodu, teplota olejů lineárně narůstá
- d) Servopohony - ovládání klapek
 - pokud servopohon otevírá klapku, signál polohy klapky se lineárně zvětšuje. Při dosažení 100 % je nastaven signál poloha otevřeno
 - pokud servopohon zavírá klapku, signál polohy se lineárně zmenšuje. Při dosažení 0 % je nastaven signál poloha zavřeno
- e) Pohony s frekvenčními měniči - skutečné otáčky pohonu jsou nastavovány dle žádané hodnoty buď přímo nebo po rampě
- f) PID regulátory - regulovaná soustava je simulována setrvačným obvodem prvního řádu
- g) Čerpadla - po startu pumpy analogový signál tlakového čidla lineárně roste, po vypnutí pumpy analogový signál tlakového čidla lineárně klesá

1.8 Popis funkcionality simulačního programu

1.8.1 Důležité informace o programu

Program je rozdělen na dvě části - řídicí a simulační. Program je dále dle požadavků stroje a technologie rozdělen do technologických skupin. Programovací standardy PSP historicky navazují na původní spolupráci s firmou Siemens, a německé označení skupiny "die Gruppe" se v cementářských standardech usadilo v počestlé podobě "grupa". Dovolím si tento termín používat i ve své práci. Grupy zajišťují podmínky pro chod stroje a fungování technologie:

- FC31 - Grupa 1 - mazání převodovky
- FC32 - Grupa 2 - mazání kotoučů
- FC33 - Grupa 3 - ovládání hydrauliky

Grupy řídicí vlastní proces mletí:

- FC34 - Grupa 4 - ovládání mlecího okruhu
- FC35 - Grupa 5 - podávání materiálu do mlýna

Jiné bloky důležité pro simulaci:

- DB19 - Simulované signály
- FC98 - Přiřazování simulovaných signálů reálným vstupům
- FC99 - Simulace procesu, výpočty hodnot výstupů
- OB35 - Regulační smyčky

V bloku OB35 se nacházejí výpočty hodnot následných regulačních smyček:

- Mazání kotoučů
- Teplota za mlýnem
- Podtlak před mlýnem
- Podávání materiálu

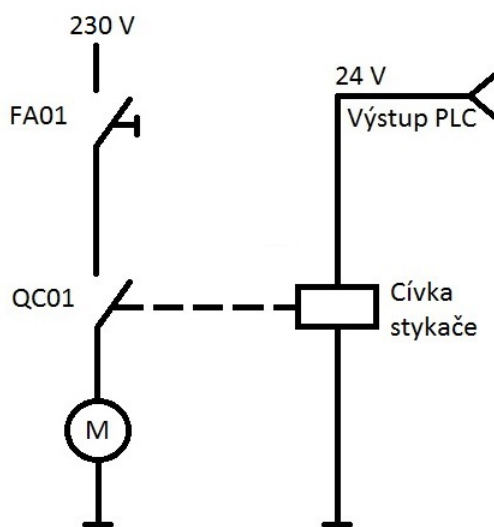
Jednotlivé části simulace budou popsány na následujících stránkách.

1.8.2 Princip simulace motorů

Zapojení se liší podle toho, jaké potřebují napájecí napětí - 230 V, či 400 V. Pokud se jedná o zapojení spotřebiče o napájecím napětí 230 V, skládá se obvod z těchto částí:

- M - motor (spotřebič)
- FA01 - napěťový jistič
- QC01 - stykač

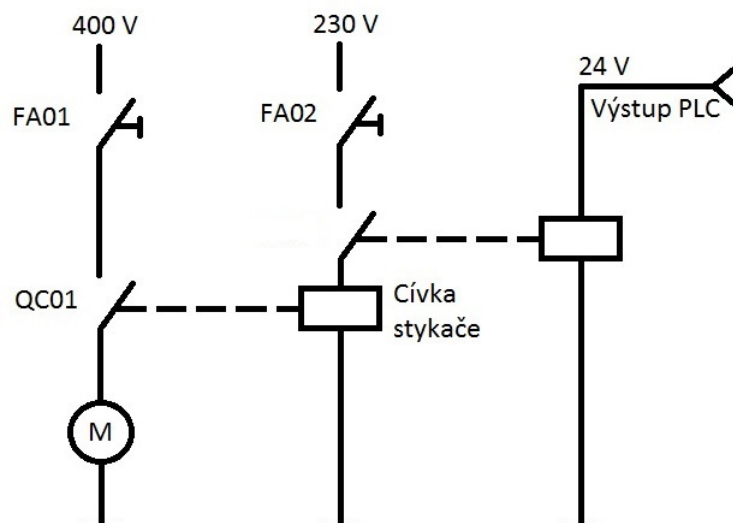
Stykač podle aktuální hodnoty výstupu PLC připojí, či odpojí spotřebič od napájecího napětí 230 V. Princip zapojení spotřebiče s napájecím napětí 230 V je názorně ukázán na obr.1.5.



Obr. 1.5: Zapojení pro spotřebiče o napájecím napětí 230 V

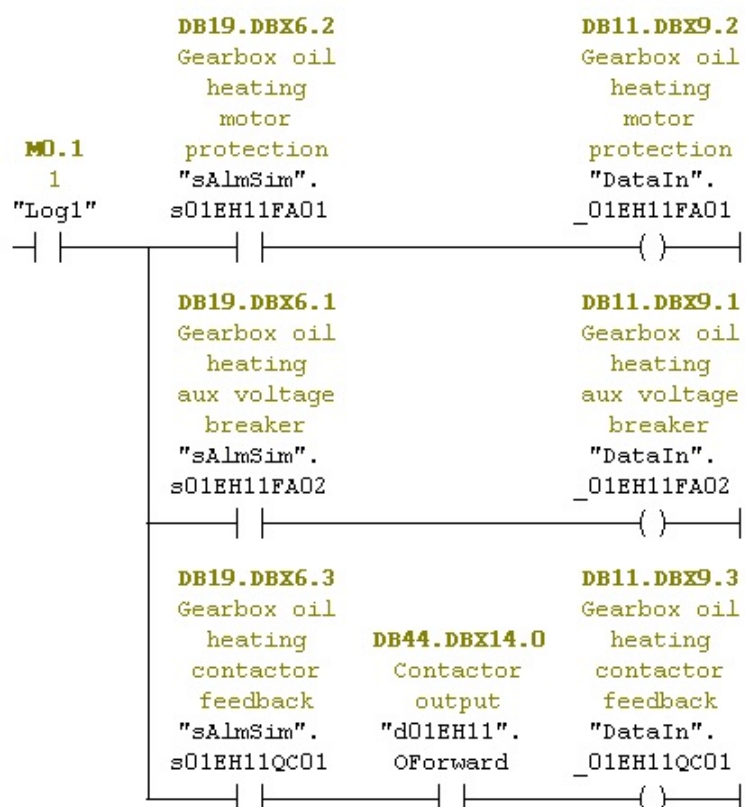
Jedná se-li o zapojení spotřebiče s napájecím napětí 400 V, změní se toto schéma přidáním větve s napájecím napětí 400 V a ochrany spotřebiče. Význam značení v obr.1.6 je následovný:

- M - motor (spotřebič)
- FA01 - ochrana spotřebiče
- FA02 - napěťový jistič
- QC01 - stykač



Obr. 1.6: Zapojení pro spotřebiče o napájecím napětí 400 V

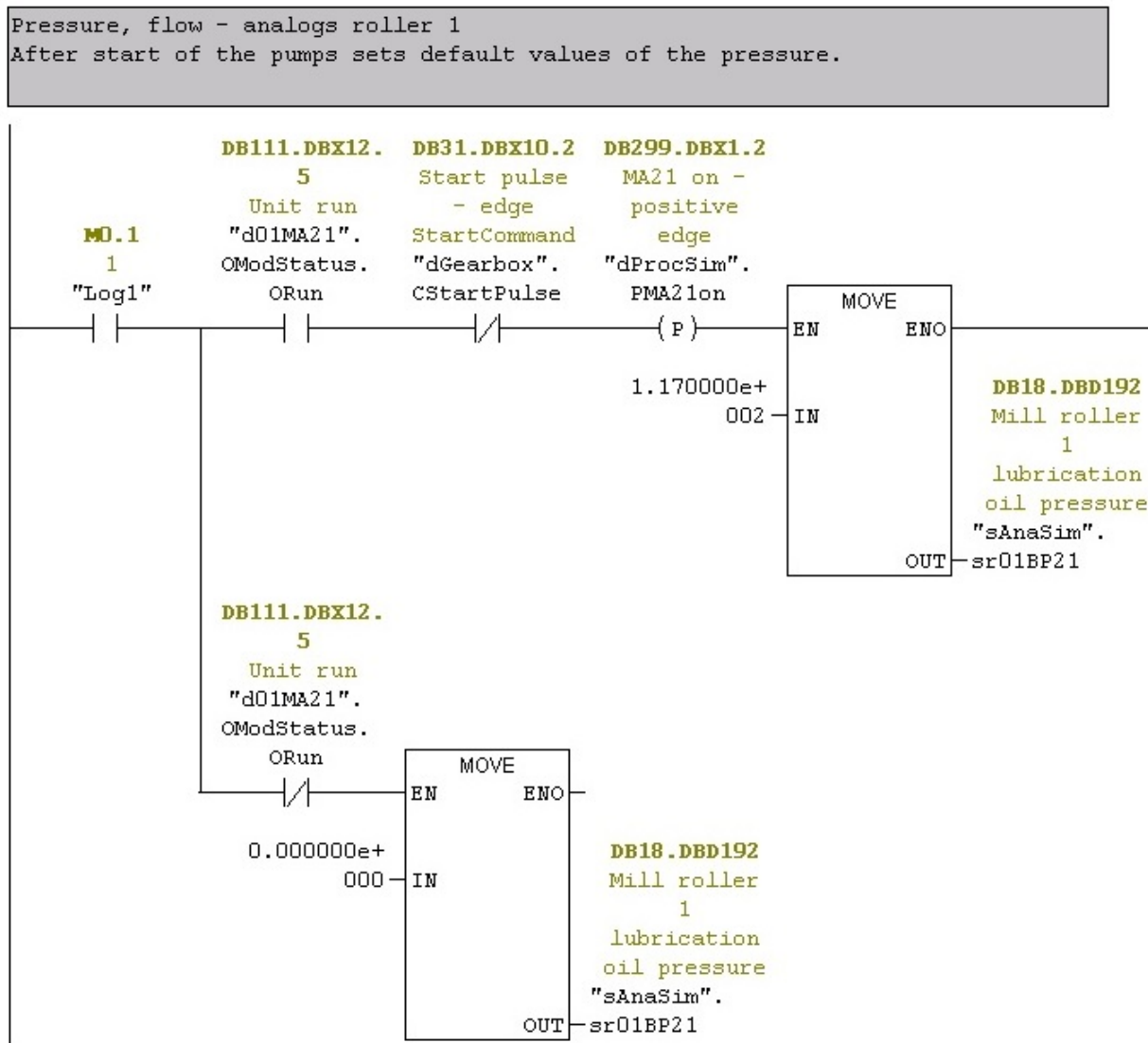
Příklad simulace spotřebiče v programu:



Obr. 1.7: Simulace spotřebiče o napájecím napětí 400 V

1.8.3 Simulace analogových veličin

Jedná se o veličiny, kterým je po nastartování příslušné části technologie přiřazena defaultní hodnota, která se bere jako výchozí pro další simulaci. Jedná se o podtlak před mlýnem, podtlak za mlýnem, teplota olejů, teploty za mlýnem a tlak olejů. Jako příklad lze uvést nastavení výchozí hodnoty tlaku oleje mazání kotouče č. 1:



Obr. 1.8: Nastavení defaultní hodnoty tlaku oleje u kotouče č.1

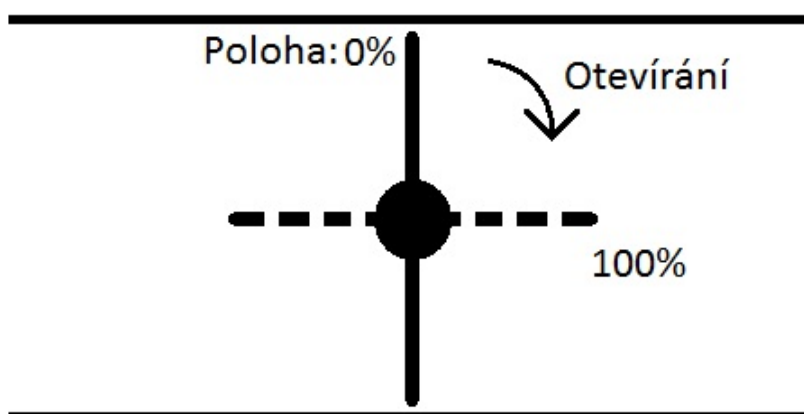
Je-li jednotka aktivní a přijde startovací puls, s nástupnou hranou se nastaví tlak oleje na hodnotu 117 kPa. Pokud dojde k vypnutí jednotky, pomocí druhé větve se nastaví hodnota tlaku oleje mazání na 0 kPa. Způsob simulace veličin bude popsán v následujících kapitolách.

1.8.4 Simulace topení a chlazení

Simulace teploty je provedena periodickým přičítáním, či odečítáním konstant od aktuální hodnoty teploty v závislosti na zapnutých spotřebičích. Jako příklad si můžeme vzít simulaci teploty oleje mazání kotouče č. 1, která se nachází v FC99 Network 7. Pro tento případ dochází ke zvýšení teploty každou sekundu o $0.218\text{ }^{\circ}\text{C}$ pokud je zapnuté topení 01EH21, nebo o $0.0217\text{ }^{\circ}\text{C}$ pokud je zapnutý hlavní motor 01MA01. K ochlazování o hodnotu $0.134\text{ }^{\circ}\text{C}$ dochází, pokud je zapnutý chladicí ventilátor 01MA23, nebo o $0.0103\text{ }^{\circ}\text{C}$ pokud je vypnuté topení 01EH21 i hlavní motor 01MA01. Teplota se tedy pohybuje po rampě, kde strmost udávají zapnuté, či vypnuté spotřebiče.

1.8.5 Simulace servopohonů - klapek

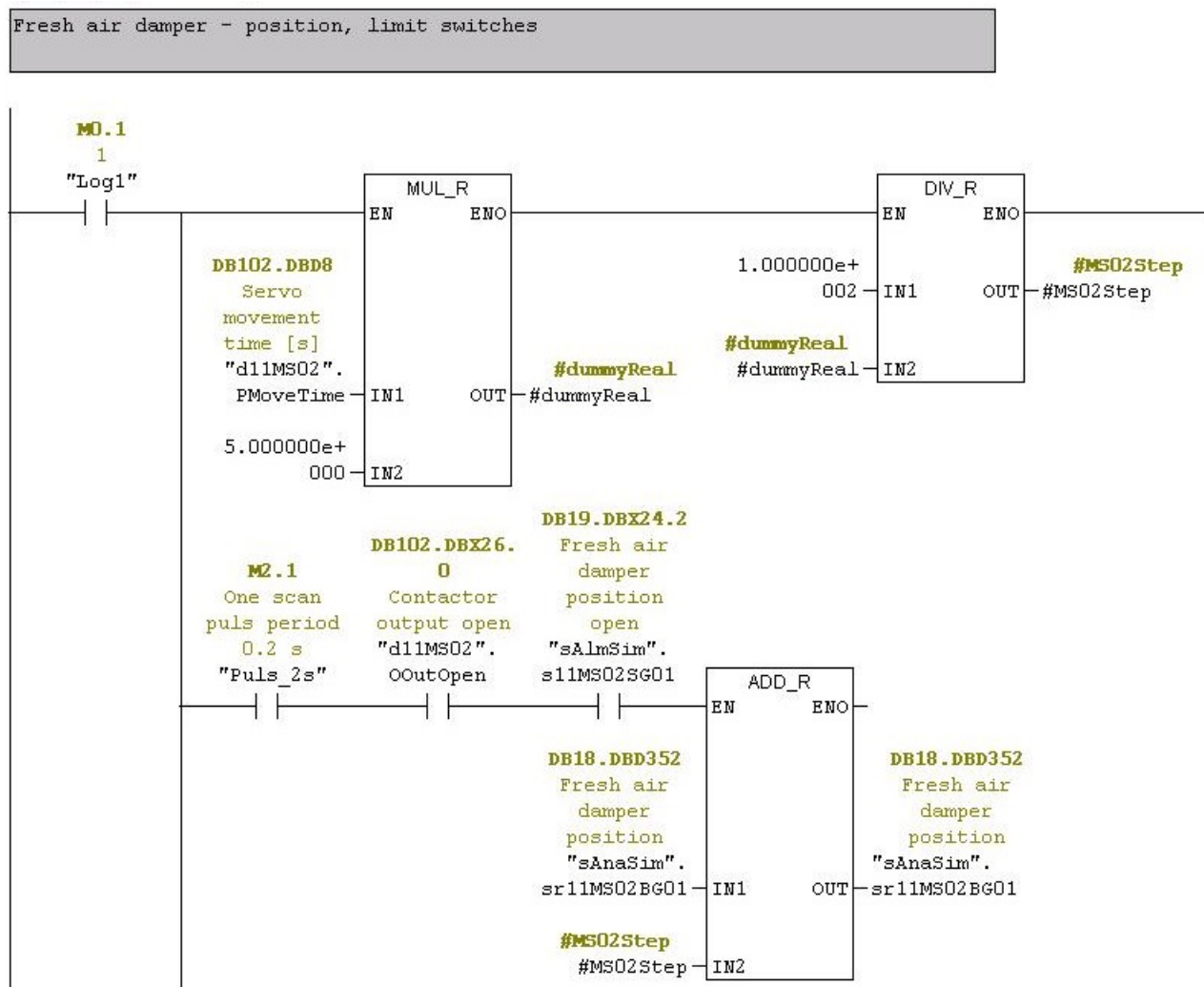
Klapky se v technologii ovládají pomocí reverzačních motorů, které umožňují otáčení v obou směrech. Poloha klapky se určuje podle procentuální polohy otevření - 0 % značí polohu zavřeno, 100 % polohu otevřeno.



Obr. 1.9: Klapka

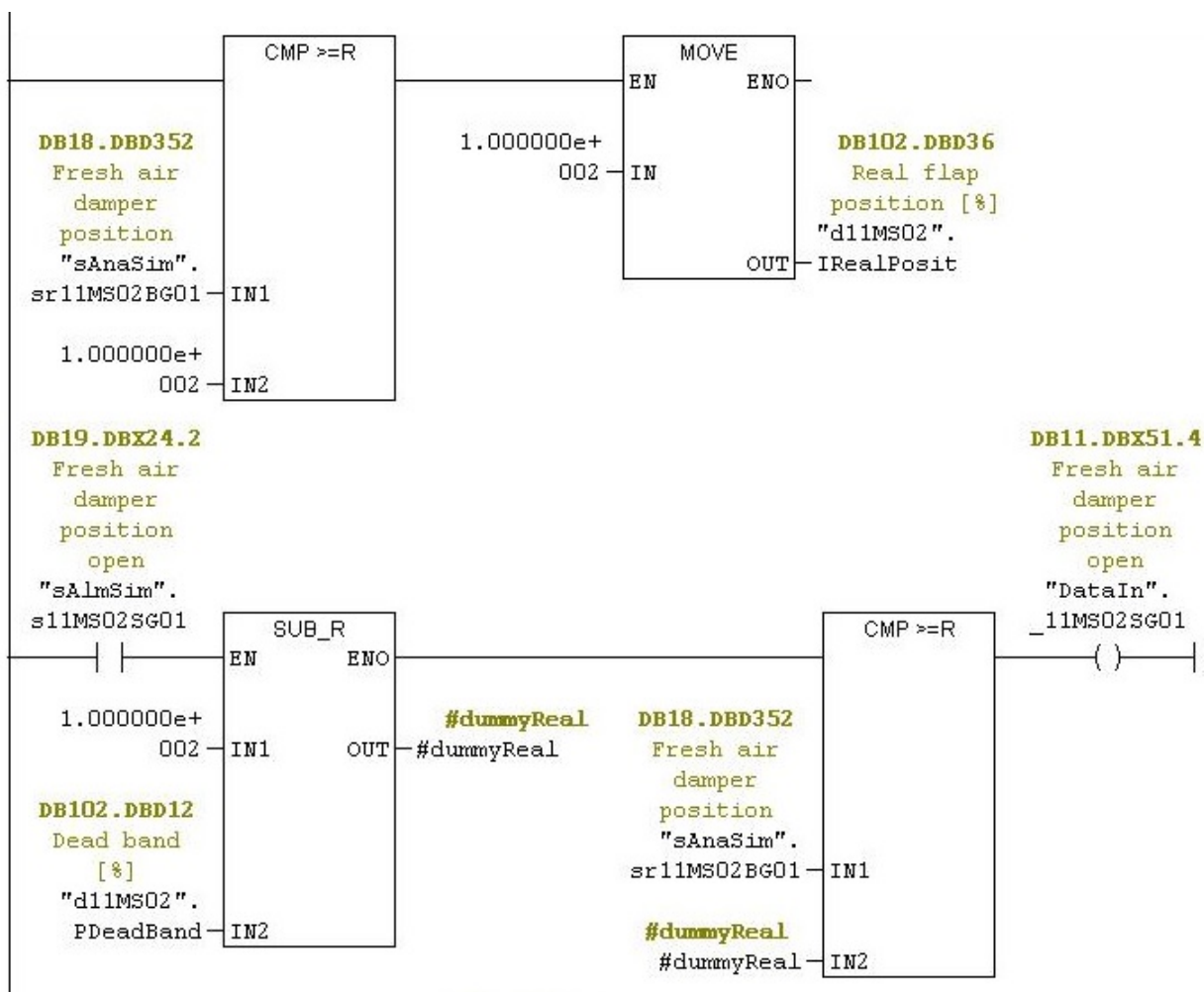
Byl stanoven požadavek, aby se klapka z polohy zavřeno do polohy otevřeno otočila za 40 s. Princip simulace polohy klapky se demonstruje na následujících stránkách na klapce pro přívod vzduchu:

V první části na obr. 1.10 se řeší dodržení časového limitu 40 s pro pohyb klapky z polohy zavřeno - 0 % do polohy otevřeno - 100 %. Jelikož se pracuje s pulsem 0.2 s, bylo třeba si určit velikost kroku. Jednoduchou úvahou se došlo k hodnotě 0.5 % za puls, což je hodnota uložena v proměnné #MS02Step. V druhé větvi se každých 0.2 s (Puls_2s) ověří, zda neseplnul stykač ("d11MS02".oOutOpen) na požadavek otevření klapky ("sAlmSim".s11MS02SG01). Pokud k tomu došlo, přičte se k aktuální hodnotě klapky ("sAnaSim".sr11MS02BG1) hodnota kroku 0.5 % (#MS02Step).



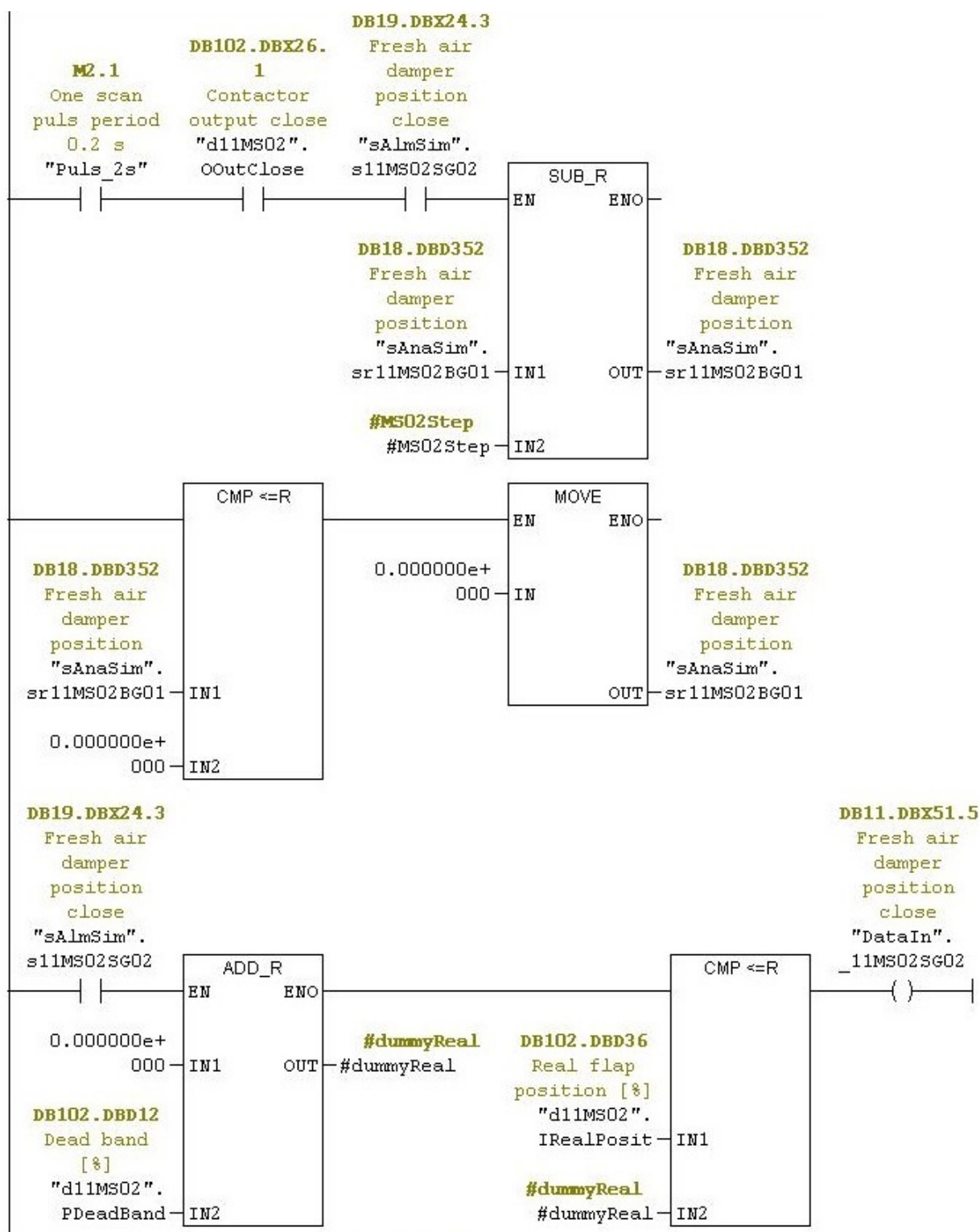
Obr. 1.10: Příklad simulace klapky, část 1.

V další části na obr. 1.11 se v první větvi nachází omezení polohy klapky na maximální hodnotu o velikosti 100 %. V druhé větvi se implementuje hystereze pásma necitlivosti o velikosti 1 %. Dále se ověřuje, zda je hodnota polohy klapky větší, či rovna 99 %. Pokud ano, dojde k sepnutí stavu otevřeno.



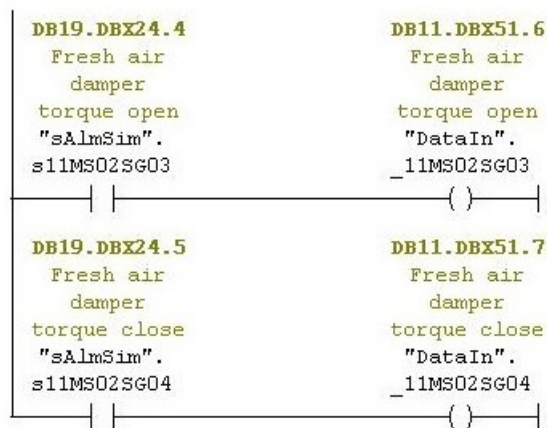
Obr. 1.11: Příklad simulace klapky, část 2.

V následující části na obr. 1.12 se řeší analogicky k otevírání klapky zavírání klapky, omezení minimální hodnoty na 0 % a polohu zavřeno:



Obr. 1.12: Příklad simulace klapky, část 3.

V poslední části na obr. 1.13 se nachází simulace chyb při otevírání, či zavírání klapky.



Obr. 1.13: Příklad simulace klapky, část 4.

1.8.6 Regulační smyčky

V projektu se nacházejí tři regulační smyčky, které regulují tyto veličiny: teplotu za mlýnem, podtlak před mlýnem a příkon pohonu podávání materiálu do mlýna. Jejich simulace je provedena pomocí setrvačných článků prvního řádu za pomoci metody rekurzivního filtru.

Výpočty regulovaných veličin jsou rozděleny do tří kroků. Prvním je výpočet maximální dosažitelné hodnoty.

Maximální dosažitelná hodnota teploty za mlýnem je lineárně ovlivněna výkonem spalovací komory, kde se při výkonu 0 % až 100 % dosáhne teploty 0 °C až 160 °C. Tato hodnota je dále ovlivněna polohou klapky přívodu čerstvého vzduchu, kde při pozici 0 % až 100 % dochází k poklesu maximální teploty o 0 °C až 30 °C a polohou rotačního podavače materiálu (turniketu), kde při pozici 0 % až 100 % dochází k poklesu maximální teploty o 0 °C až 20 °C. Časová konstanta systému je 120 s.

Maximální dosažitelná hodnota podtlaku za mlýnem je lineárně ovlivněna výkonem odtahového ventilátoru, kde se při výkonu 20 % až 100 % dosáhne podtlak hodnot 2000 Pa až 4000 Pa. Tato hodnota je dále ovlivněna polohou klapky přívodu čerstvého vzduchu, kde při pozici 0 % až 100 % dochází k poklesu maximální hodnoty podtlaku o 0 Pa až 1000 Pa a polohou modulační klapky, kde při pozici 0 % až 100 % dochází k poklesu maximální hodnoty podtlaku o 0 Pa až 1000 Pa. Časová konstanta systému je 30 s.

Příkon pohonu podávání materiálu je ovlivněn proudem protékajícím hlavním pohonem. Při hodnotě proudu 50 A až 70 A odpovídá příkonu podávání materiálu 0 % až 100 %. Množství materiálu dodávaného do mlýna odpovídá lineární závislosti, která při 100 % příkonu pohonu odpovídá 80 t materiálu přemístěného za hodinu.

Časová konstanta systému je 50 s.

Jelikož jsou následné kroky pro všechny tři smyčky stejné, jsou pro výpočty použity hodnoty pro simulaci teploty za mlýnem.

Druhým krokem je výpočet časové konstanty, která se použije pro vlastní simulaci průběhu regulace.

$$t_c = 1 - \frac{1}{e^{-\frac{T}{\tau}}} = 1 - \frac{1}{e^{-\frac{0.1}{120}}} = 8,32915 * 10^{-4} [s] \quad (1.1)$$

Kde t_c je vypočtená časová konstanta, T je perioda vzorkování a τ je časová konstanta systému.

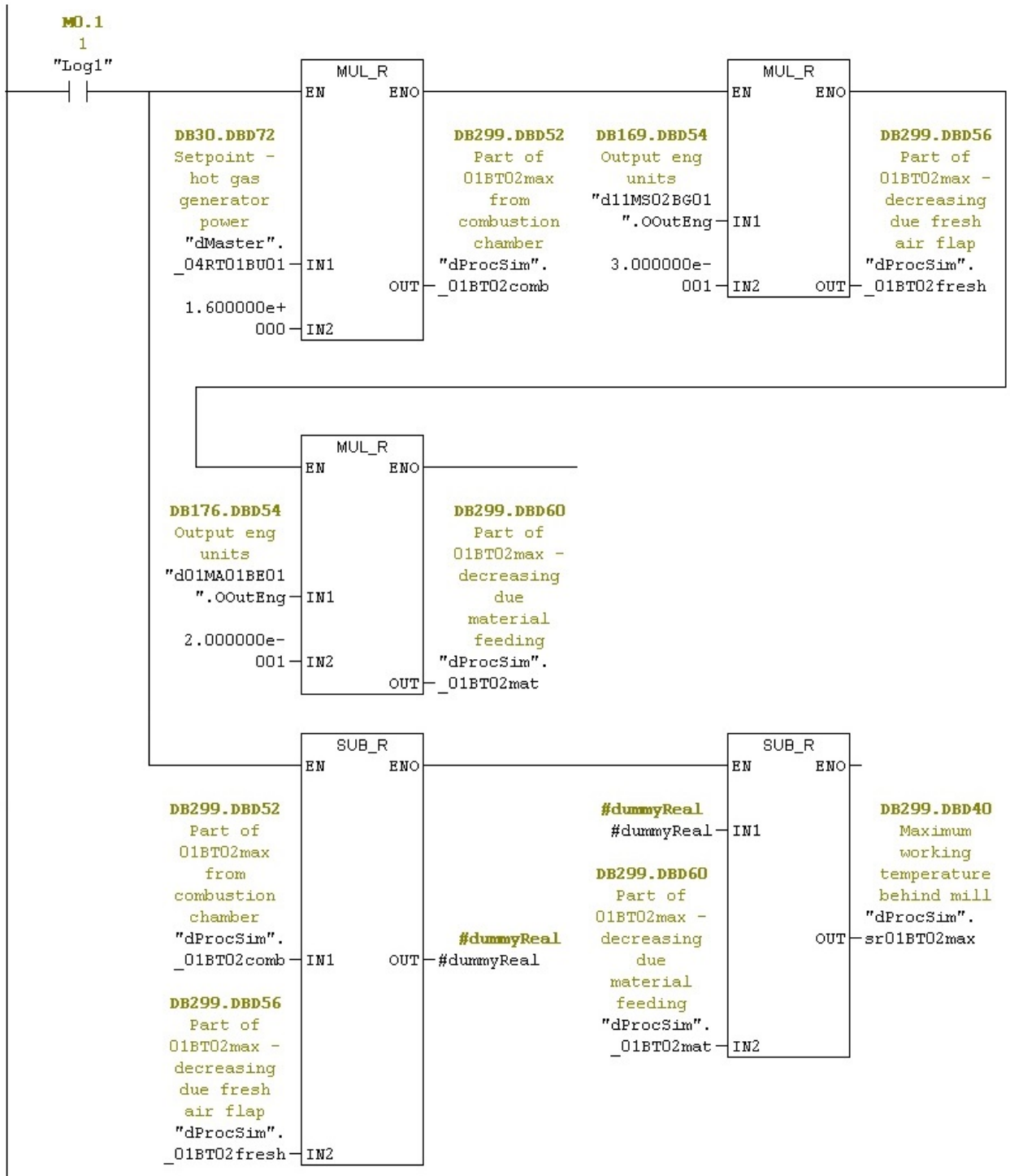
Třetím krokem je výpočet aktuální hodnoty teploty za mlýnem, která se počítá podle vzorce, který je volán s periodou 0.1 s.

$$akt = (t_{max} - akt) * t_c + akt [^{\circ}C] \quad (1.2)$$

Kde akt je aktuální hodnota počítané veličiny, t_{max} je maximální dosažitelná hodnota počítané veličiny a t_c je vypočtená časová konstanta. [10]

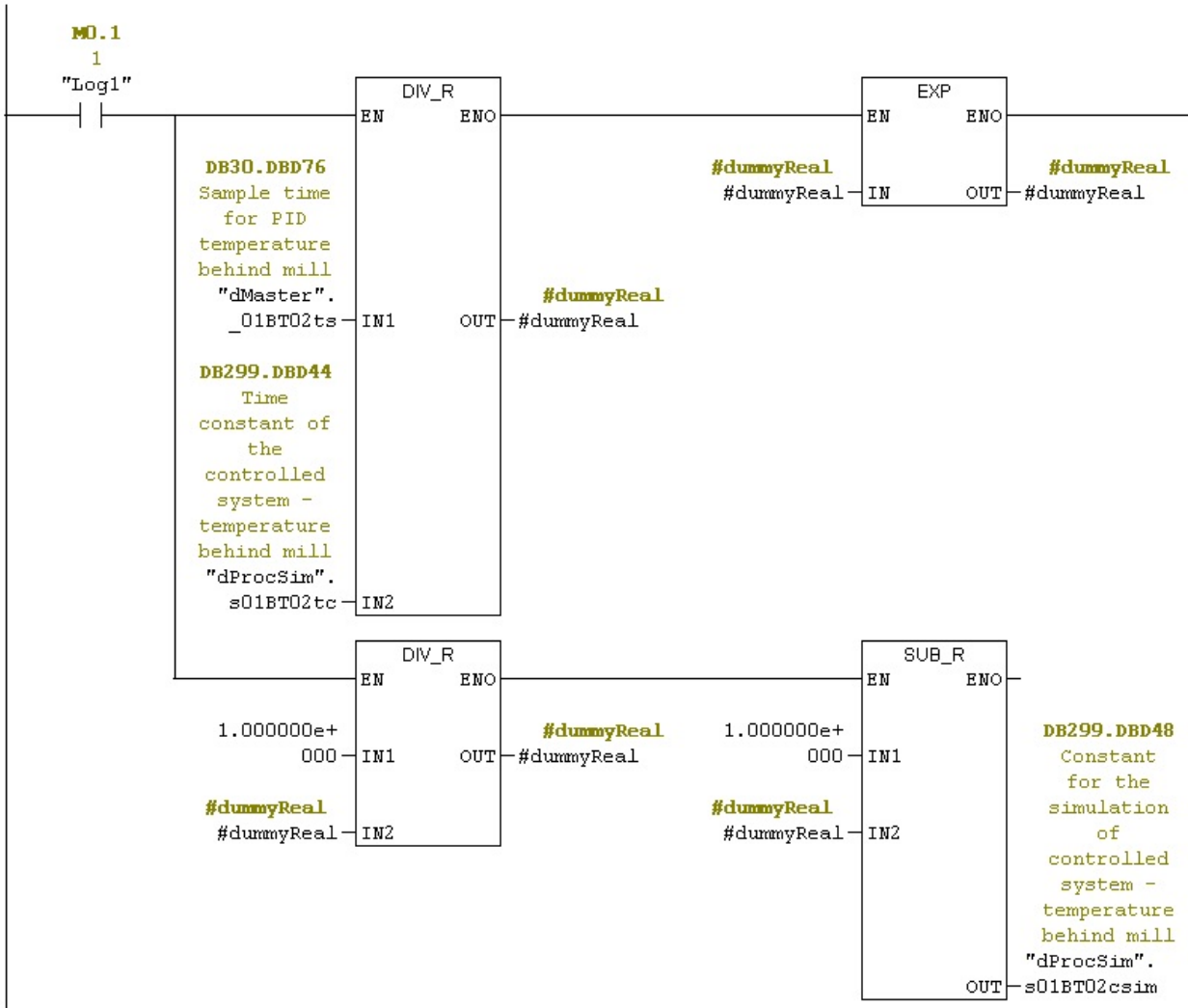
Implementace těchto kroků v programu je zobrazena na obr. 1.14 , 1.15 a 1.16

Max temperature behind mill
 ... acc. combustion chamber power - power 0..100% causes temperature behind mill
 0..160°C
 ... fresh air flap - flap position 0..100% corresponds to a temperature drop 0..30°C
 ... material feeding to mill - damper position 0..100% corresponds to a temperature drop 0..20°C



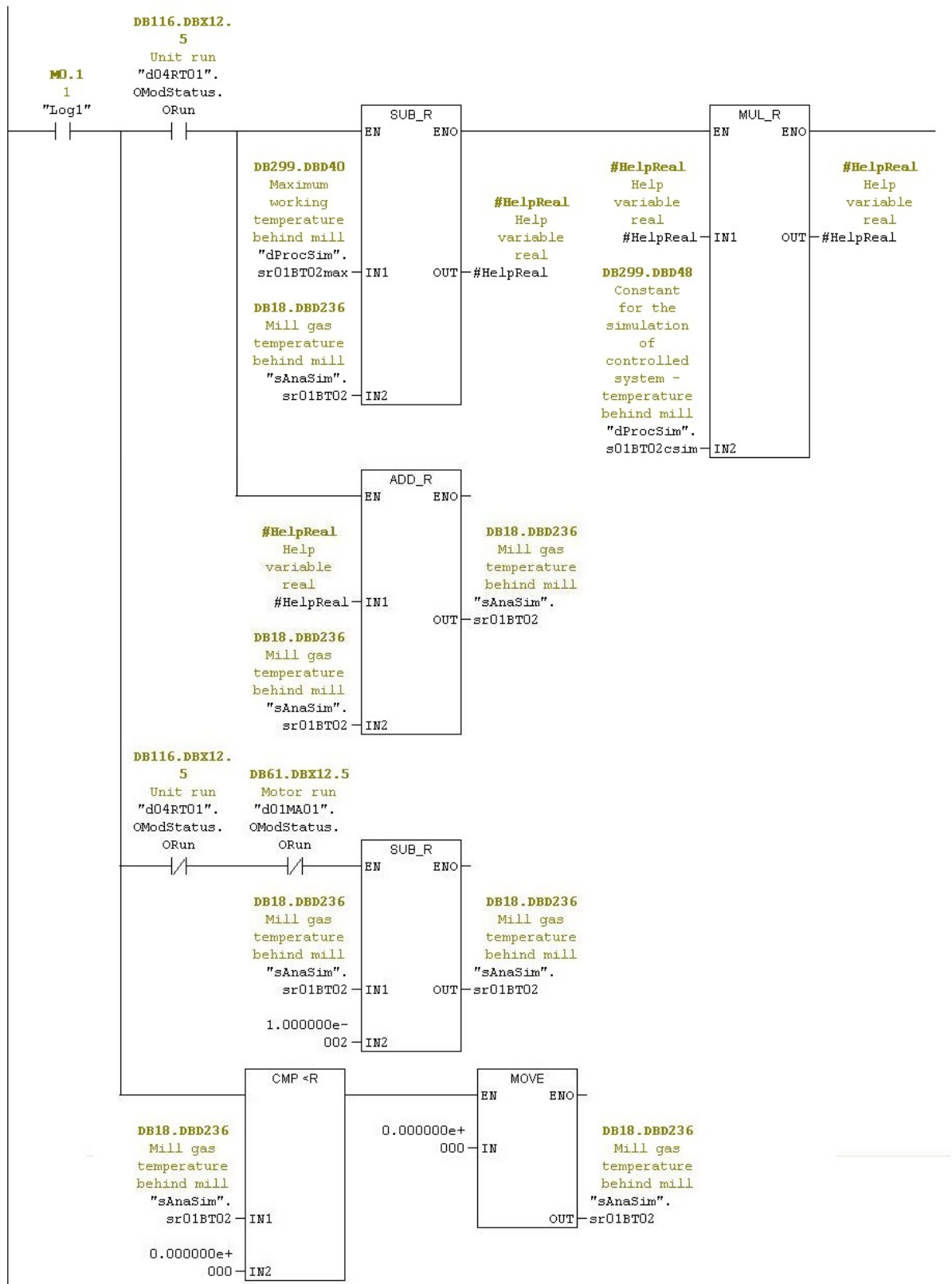
Obr. 1.14: Výpočet maximální dosažitelné teploty za mlýnem

Temperature behind mill
 Auxilliary calculations - constant for the simulation of controlled circuit -
 from time constant of controlled system (tc=120s)



Obr. 1.15: Výpočet časové konstanty

Temperature behind mill - simulation

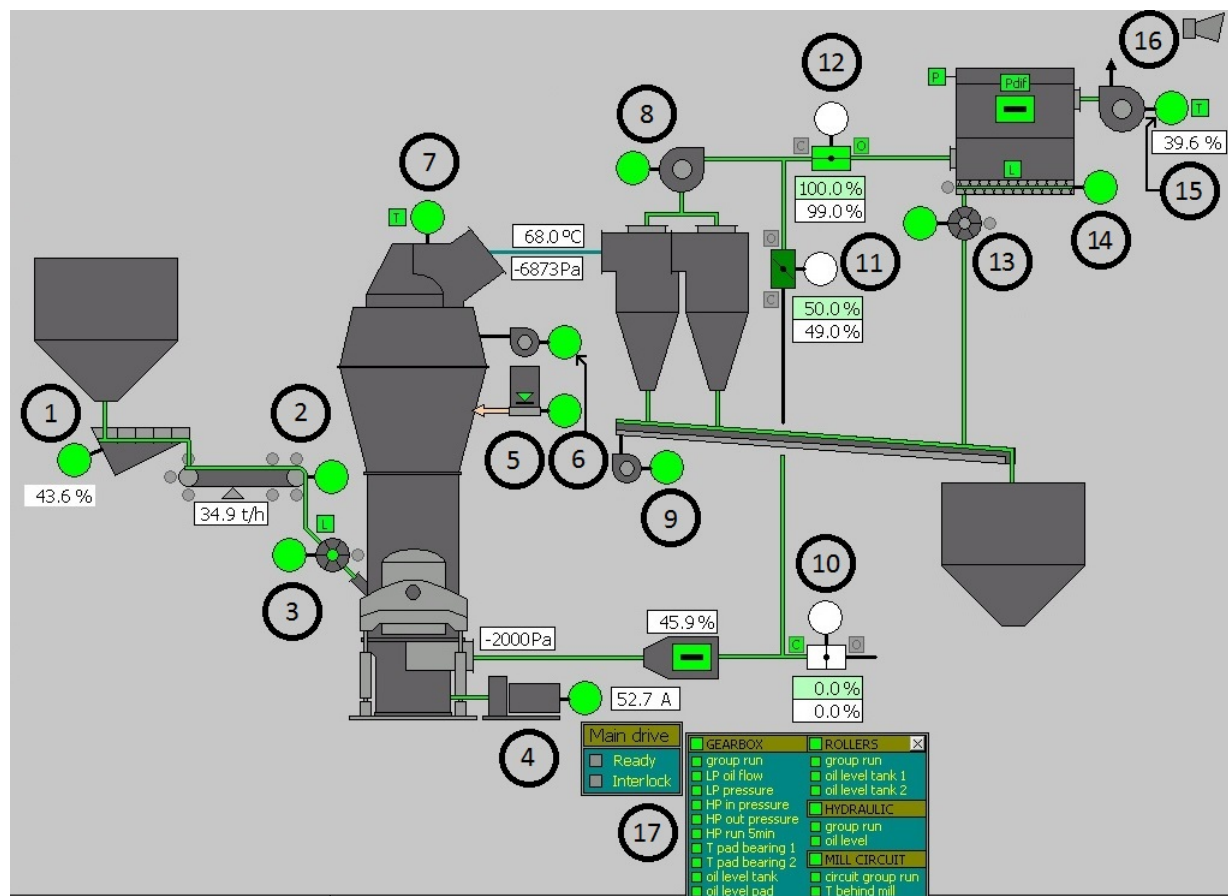


Obr. 1.16: Simulace průběhu exponenciály

[illegible]

36

1.9.1 Hlavní obrazovka



Obr. 1.18: Hlavní část vizualizace

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. Vibrační podavač | 10. Klapka přívodu vzduchu |
| 2. Dopravní pás | 11. Modulační klapka |
| 3. Rotační podavač materiálu | 12. Řídicí klapka |
| 4. Hlavní motor | 13. Rotační uzávěr filtru |
| 5. Mazání třídiče - pumpa | 14. Šnekový dopravník filtru |
| 6. Těsnící ventilátor | 15. Ventilátor filtru |
| 7. Třídič | 16. Zvuková signalizace |
| 8. Procesní ventilátor | 17. Signalizace splnění podmínek pro start hlavního motoru |
| 9. Ventilátor pneužlabu | |

1.9.2 Regulované veličiny

Oil level roller 1		
SP	50.0 %	
PV	46.5 %	
MV	59.5 %	
Aut	Man	
Oil level roller 2		
SP	50.0 %	
PV	46.4 %	
MV	58.9 %	
Aut	Man	
T behind mill		
SP	70.0 °C	
PV	68.0 °C	
MV	45.9 %	
Aut	Man	
P in front of mill		
SP	-2000 Pa	
PV	-2000 Pa	
MV	39.6 %	
Aut	Man	
Material feeding		
SP	60.0 A	
PV	52.7 A	
MV	34.9 t/h	
Aut	Man	

Obr. 1.19: Regulace veličin

V levé části hlavního okna jsou zobrazeny všechny veličiny, které jsou v systému regulovány. Regulace je možná buď automatická pomocí setpointu, nebo manuálně.

Jedná se o tyto veličiny:

1. Hladina oleje mazání kotouče č. 1
2. Hladina oleje mazání kotouče č. 2
3. Teplota za mlýnem
4. Podtlak před mlýnem
5. Podávání materiálu

a obsahují tato pole:

- SP - setpoint (požadovaná hodnota)
- PV - aktuální hodnota veličiny
- MV - akční zásah
- Aut - přepínač na automatické řízení
- Man - přepínač na manuální řízení

Akční zásah u každé veličiny označuje prvek v systému, jehož výkon přímo ovlivňuje regulovanou veličinu. Pro hladinu oleje mazání kotouče č. 1 a 2 se jedná o výkon pumpy, která do ložisek kotoučů vhání olej. U teploty za mlýnem se jedná o generátor horkého plynu, podtlak před mlýnem je ovlivněn výkonem ventilátoru, který tento podtlak vytváří a u podávání materiálu se jedná o množství materiálu dodávaného do mlýna.

1.9.3 Startování a zastavování grup

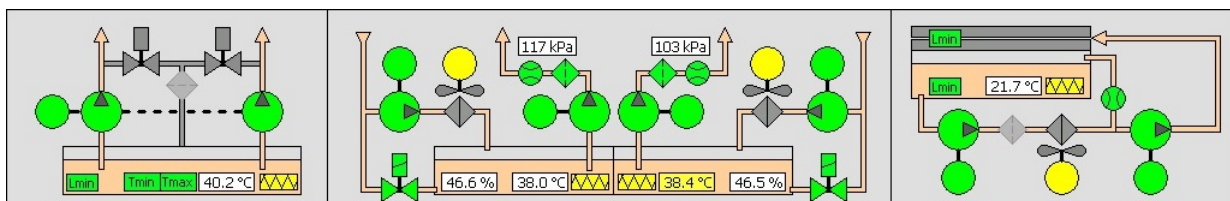


Obr. 1.20: Ovládání grup

V pravé části vizualizace se nachází prvky ovládající startování a zastavování jednotlivých grup, které jsou popsány výše v popisu funkcionality simulace. Nacházejí se zde tlačítka:

- Start - Kliknutím na tlačítko Start dojde k zahájení startovací sekvence příslušné grupy dle sekvenčních grafů, které se nacházejí v příloze.
- Stop - Kliknutím na tlačítko Stop dojde k zahájení zastavovací sekvence příslušné grupy dle sekvenčních grafů, které se nacházejí v příloze.
- HARD STOP - slouží k okamžitému zastavení všech grup
- LOCAL - zapíná a vypíná lokální mód

1.9.4 Mazání, hydraulika a výběr okna



Obr. 1.21: Mazání a hydraulika

V první části - vlevo se nachází vizualizace hydrauliky pro přítlak kotoučů na rotační desku a možnost simulace poruchy této části technologie.

Druhá část - uprostřed zobrazuje stav oleje určeného pro mazání kotoučů. Ke správnému chodu kotoučů je třeba udržovat jistou hladinu oleje o určité teplotě pro plynulý chod výrobního procesu. Při mletí se olej v kotoučích zahřívá a tudíž je třeba zajistit jeho cirkulaci, aby nedošlo k přehřátí. Cirkulaci zajišťuje dvojice pump, kde jedna olej do ložiska kotouče vhání a druhá zahřátý olej odsává. Ten je následně chlazen a vrácen do oběhu. Na každý kotouč připadá jedna dvojice pump. Dále se tu nachází tlačítka pro simulaci poruchy.

Třetí část - vpravo udává teplotu oleje, stav čerpadel, topení a chlazení oleje určeného k mazání převodovky hlavního motoru. Jedná se o dva okruhy, z čehož první (menší) zahrnuje topení a chlazení oleje, nízkotlaké čerpadlo a indikátory poruch oběhu oleje. Po dosažení určitých podmínek (správná teplota oleje, dostatečná doba cirkulace) se připojí větší okruh pomocí vysokotlakého čerpadla, který vytváří olejový film v axiálním ložisku před startem mlýna. Po rozběhu mlýna se tato pumpa po zadané době vypíná.

Main	Text	Text	Text	Text	Alarms	PID_lubr	PID_circuit	PID_feed	Text
------	------	------	------	------	--------	----------	-------------	----------	------

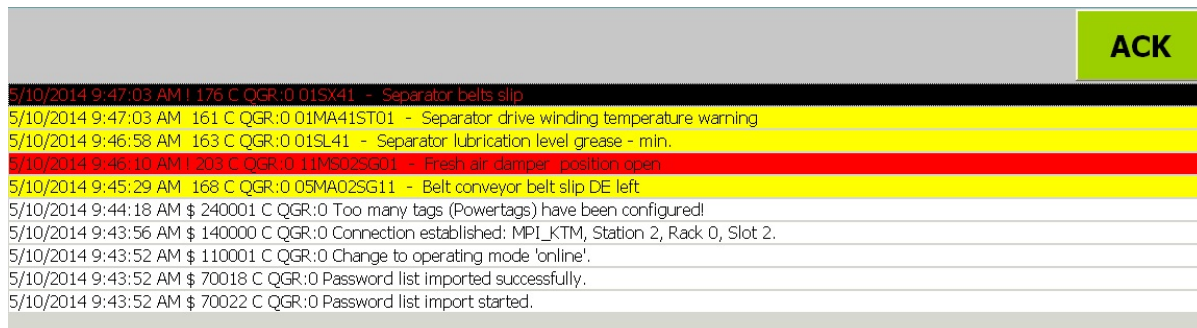
Obr. 1.22: Výběr okna

Tato část vizualizace umožňuje přepínání zobrazení pomocí tlačítek mezi:

- Main - hlavní obrazovkou
- Alarms - historií alarmů a hlášení
- PID_lubr - hladiny oleje v kotouče č.1 a 2
- PID_circuit - průběhy regulace podtlaku před mlýnem a teploty za mlýnem
- PID_feed - regulací podávání materiálu

1.9.5 Okno alarmů a hlášení

Po kliknutí na tlačítko Alarms se zobrazí okno, které obsahuje veškeré hlášení a alarmy, které se za chodu programu vyskytly:



Obr. 1.23: Historie alarmů a hlášení

Barevné značení závažnosti zprávy je následovné:

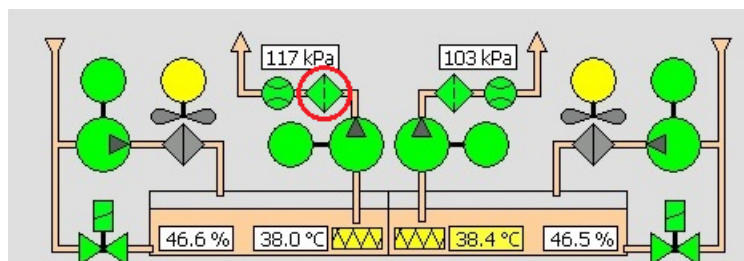
- Bílá - hlášení, neovlivňující chod simulace
- Žlutá - varování, že se část technologie nechová, jak by se předpokládalo. Nedochází přímo k odstavení procesu, ale může ovlivnit jiné části technologie, které by následně odstavení mohly zavinit.
- Červená - porucha, při které dochází k odstavení části technologie.
- Černá - značí aktuálně vybrané hlášení, které je poté možné pomocí tlačítka ACK označit jako vyřešené (např. po opravení závady), čímž se umožní opětovné nastartování, či dostartování části technologie.

1.9.6 Simulace binárních čidel

Jedná se o veličiny, které se nacházejí v FC99 v NW 5, 11, 17, 21, 27. Tyto signály mají na hlavní obrazovce možnost kliknutím na odpovídající symbol změnit simulační hodnotu. Jedná se o tyto signály:

- Úroveň olejů - Lmin
- Ucpání filtrů
- Příliš malý průtok oleje
- Teplota u hydrauliky - Tmin, Tmax
- Teplota třídiče - T
- Filtr - velká úroveň prachu - L

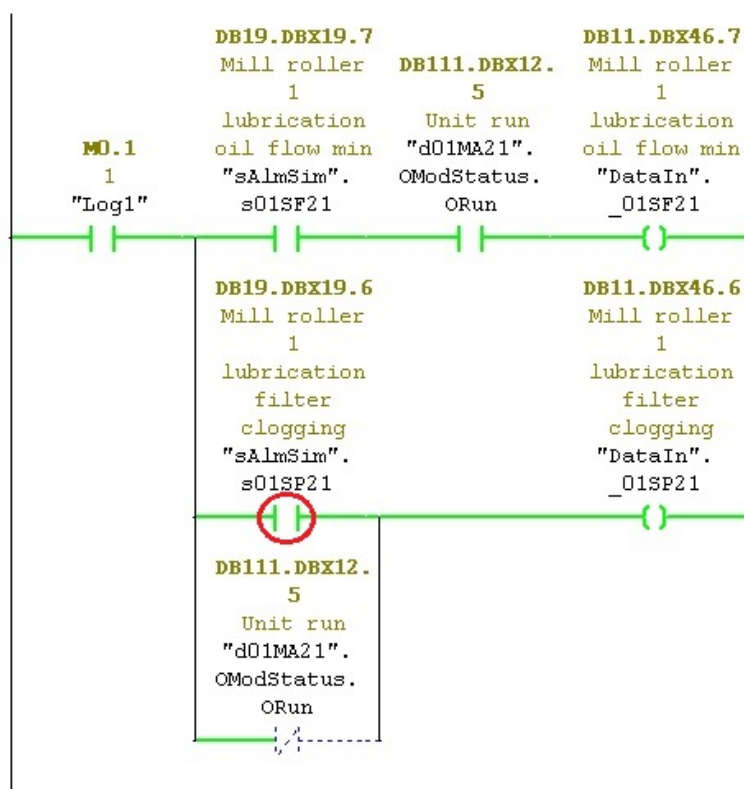
Vizualizace obsahuje i další tlačítka a symboly, které způsobí chybové hlášení, jako třeba vyvlíknutí pásového dopravníku, či zaseknutí klapky. Kliknutím na symbol zvýrazněný v obr. 1.24 by došlo k rozepnutí kontaktu "aAlmSim".s01SP21 v obr. 1.25 a tím k shození výstupu "DataIn"._01SP21, což by mělo za následek chybové hlášení.



Obr. 1.24: Příklad simulace chyby

Network 11 : Rollers lubrication

Pressure, flow - binary roller 1
Set of the binary sensors



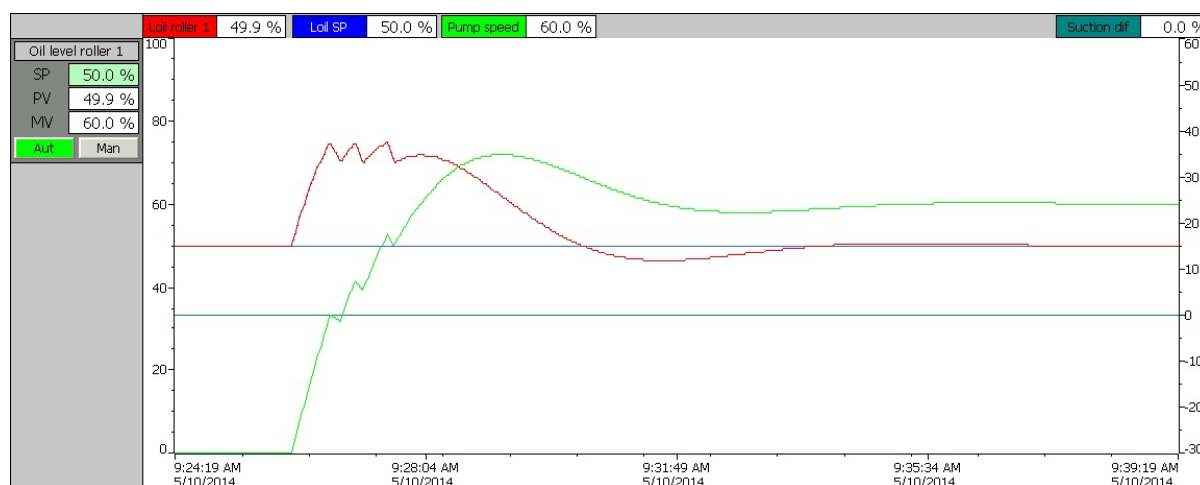
Obr. 1.25: Binární čidla mazání kotouče č.1

1.9.7 Okno regulace mazání kotoučů

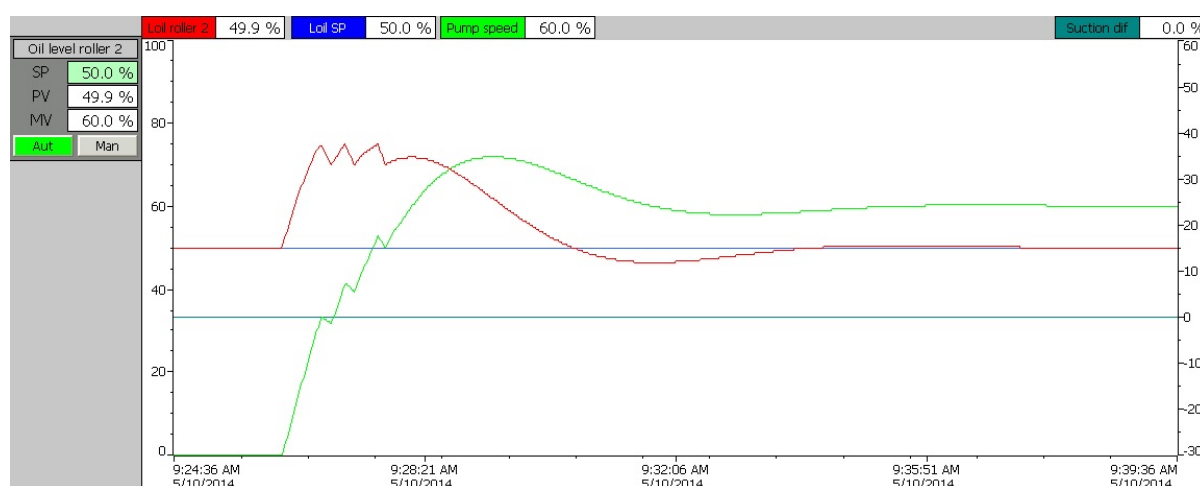
Po kliknutí na tlačítko PID_lubr se zobrazí okno, ve kterém se nachází průběh regulace úrovně oleje v kotouči č. 1 a 2. Tyto grafy mají v sobě zahrnuty několik průběhů odlišené barvami:

- Červená - Aktuální hladina oleje
- Modrá - setpoint (požadovaná hodnota hladiny oleje)
- Zelená - Akční zásah (výkon pumpy)

Dále se v levé části nachází nastavení setpointu pro automatickou regulaci a výběr mezi manuálním, či automatickým řízením.



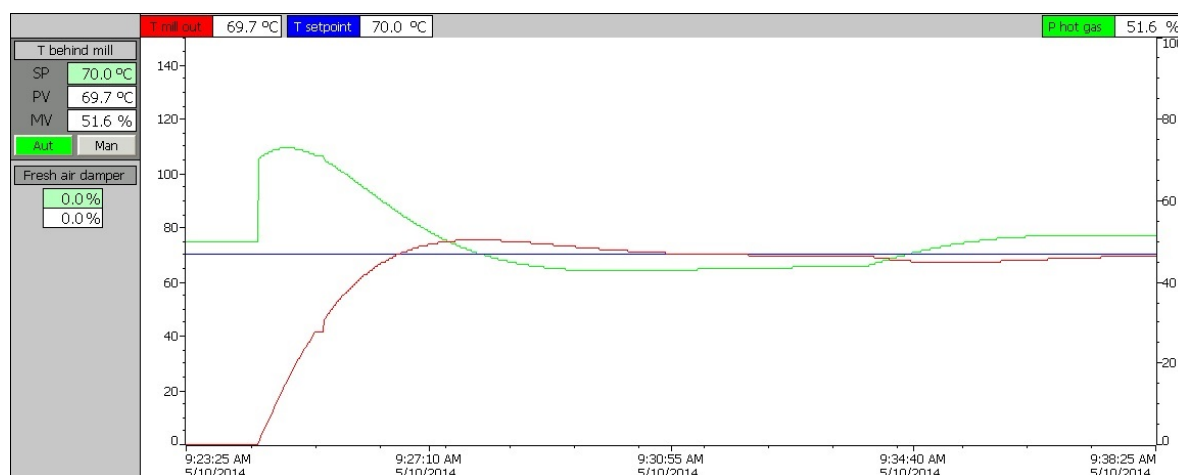
Obr. 1.26: Úroveň hladiny oleje v kotouči č.1



Obr. 1.27: Úroveň hladiny oleje v kotouči č.2

1.9.8 Okno regulace teploty za mlýnem a podtlaku před mlýnem

Kliknutím na tlačítko PID_circ se zobrazí okno s průběhem teploty za mlýnem, podtlakem před mlýnem a příslušné klapky, které tyto průběhy ovlivňují.

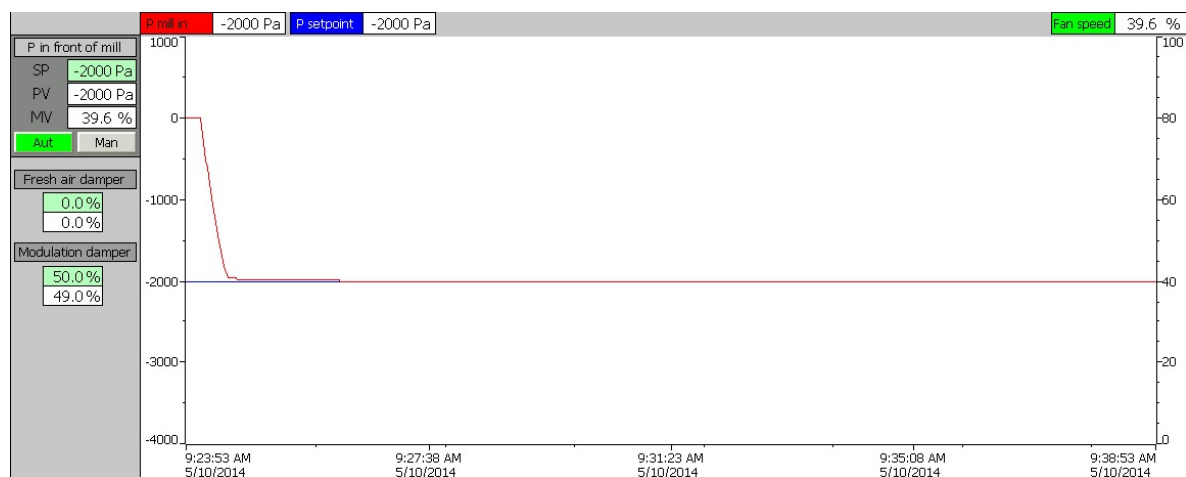


Obr. 1.28: Teplota za mlýnem

Průběhy:

- Červená - Aktuální teplota za mlýnem
- Modrá - setpoint (požadovaná hodnota teploty)
- Zelená - Akční zásah (výkon ohřívací jednotky - hot gas generator)

V levé části se nachází nastavení setpointu, aktuální hodnota teploty, velikost akčního zásahu a volba mezi automatickým a manuálním řízením. Dále se tu nachází pozice klapky přívodu vzduchu, která tuto regulaci ovlivňuje.



Obr. 1.29: Podtlak před mlýnem

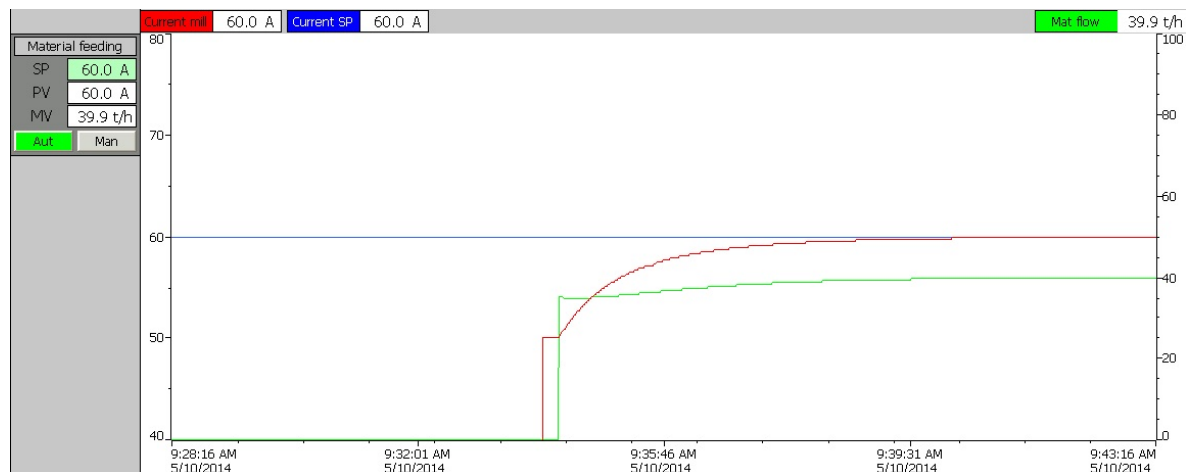
Průběhy:

- Červená - Podtlak před mlýnem
- Modrá - setpoint (požadovaná hodnota podtlaku)
- Zelená - akční zásah (výkon ventilátoru)

V levé části se nachází nastavení setpointu, aktuální hodnota podtlaku, velikost akčního zásahu ventilátoru a volba mezi automatickým a manuálním řízením. Dále se tu nachází pozice klapky přívodu vzduchu a pozice modulační klapky.

1.9.9 Okno podávání materiálu do mlýna

Kliknutím na tlačítko PID_feed dojde ke zobrazení okna obsahující průběh podávání materiálu do mlýna.



Obr. 1.30: Množství materiálu dodávané do mlýna a proud hlavního motoru

Průběhy:

- Červená - Proud hlavního motoru
- Modrá - setpoint (požadovaná hodnota proudu)
- Zelená - akční zásah (množství materiálu dodávaného do mlýna)

V levé části se nachází volba velikosti setpointu, aktuální proud hlavního motoru, aktuální množství materiálu dodávaného do mlýna a výběr manuální, či automatické regulace.

2 ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou simulace technologického procesu programovatelným automatem. Cílem práce bylo vytvoření programového prostředí, které by umožňovalo simulovat provoz technologického procesu - vertikálního mlýnu, jako s reálnou technologií.

Byly popsány základní pojmy související s tématem zadané práce, které jsou určeny k získání přehledu o problematice. Tento přehled zahrnuje historii programovatelného automatu, architekturu průmyslové informačního systému a softwarové vybavení určené k řízení a simulaci procesů. Dále byl popsán technologický systém, který je předmětem simulace - vertikální mlýn, jeho vlastnosti, výhody a vybavení.

Hlavním cílem práce bylo vytvoření vlastní simulace, která navazuje na řídicí program, vytvořený v programu STEP7, dodaný zadavatelem, kterým je firma PSP Engineering a.s. Bylo tedy nutné provést analýzu existujícího programu, aby bylo možné v návaznosti vytvořit simulaci. Byl vytvořen popis simulace jednotlivých prvků, které se v technologickém procesu vyskytují a princip napojení na řídicí program.

Aby byla simulace přehledná a bylo možné ji používat v praxi, bylo nutné vytvořit vizualizaci, která by měla být uživatelsky příjemná na ovládání, byla přehledná a měla výpovědní hodnotu o aktuálním stavu simulace. K tomuto účelu byl vybrán program WinCC flexible 2008 od firmy Siemens z důvodu kompatibility s programem STEP7.

Všechny body zadání byly plněny s tím, že hlavní důraz byl kladen na funkčnost simulace a vizualizace technologického procesu. Výsledky práce budou využívány jako testovací nástroje pro zadavatelskou společnost PSP Engineering a.s. Nesporný zisk z vypracování této práce si odnáším i já, jako řešitel. Jde především o osvojení tvorby projektů v programu STEP7 a tvorby vizualizace v programu WinCC flexible 2008. V neposlední řadě jsou to i zkušenosti nabyté spoluprací s firmou PSP Engineering a.s.

Možnosti rozšíření této práce by spočívalo ve zdokonalení simulovaného programu pomocí měření průběhů jednotlivých veličin na reálné technologii a následné implementaci přesnějších průběhů do simulace, případně rozšíření vizualizace o zálohování průběhů regulace pro následnou analýzu.

LITERATURA

- [1] Historie programovatelných automatů a jejich současné efektivní použití. Automa. 2003, roč. 2003, č. 6. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28831>.
- [2] ZEŽULKA, František. *Prostředky průmyslové automatizace*. Brno: VUTIUM Brno, 2004.
- [3] PÁSEK, Jan. *Programovatelné automaty v řízení technologických procesů*. Brno, 2007.
- [4] SIEMENS. *SIMATIC Programming with STEP 7: Manual* [online]. 2010 [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <http://www.automation.siemens.com/doconweb/pdf/SINUMERIK_SINAMICS_02_2012_E/S7P.pdf?p=1>.
- [5] SIEMENS. *SIMATIC HMI WinCC flexible 2008 Compact / Standard / Advanced: User's Manual* [online]. 2008 [cit. 2013-12-30]. Dostupné z: <<https://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&objID=16502685&subtype=133300>>.
- [6] PSP ENGINEERING A.S. *Vertikální Kotoučové Mlýny KTM*. Přerov, 2005.
- [7] OPC FOUNDATION [online]. *What is OPC?*. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <http://opcf.org/Default.aspx/01_about/01_what_is.asp?MID=AboutOPC>.
- [8] CSE Technology [online]. *PC Based Control*. 2007 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <<http://www.cse.com.au/IndTrends.html>>.
- [9] InduSoft [online]. *What is the difference between SCADA and HMI?*. 2013 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <<http://www.indusoft.com/blog/2013/04/19/what-is-the-difference-between-scada-and-hmi/>>.
- [10] The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing [online]. *Recursive Filters*. 2011 [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <<http://www.dspguide.com/ch19.htm>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

akt aktuální hodnota počítané veličiny

DCS Distributed Control System

DSP číslicové zpracování signálů – Digital Signal Processing

f_{vz} vzorkovací kmitočet

HMI Human Machine Interface

IPC Inter-Process Communication

SCADA systém pro ovládání a vizualizaci technologických procesů – Supervisory Control and Data Acquisition

MPI Multi-Point Interface

OLE Object Linking and Embedding

OPC OLE for Process Control

PA Programovatelný automat

PC Personal Computer

PLC programovatelný logický automat – Programmable Logic Controller

PtP Point-to-point

T perioda vzorkování

t_c vypočtená časová konstanta

t_{max} maximální dosažitelná hodnota počítané veličiny

V/V Vstupně / Výstupní zařízení

τ časová konstanta systému

SEZNAM PŘÍLOH

A	Specifikace elektrických zařízení mlýnice	1
B	Sekvenční diagramy startovacích a zastavovacích sekvencí	6

A SPECIFIKACE ELEKTRICKÝCH ZAŘÍZENÍ MLÝNICE

Symbol	Description	Modul	DB
	Gearbox lubrication		
_Gearbox	Gearbox lubrication	Group	DB031
_01MA11	Mill gearbox lubrication - low-press pump	Motor	DB041
_01MA12	Mill gearbox lubrication - high-press pump	Motor	DB042
_01MA13	Mill gearbox lubrication - air/oil cooler	Motor	DB043
_01EH11	Mill gearbox lubrication - oil heating	Motor	DB044
_01BT11	Mill main drive gearbox oil temperature 1	Analog	DB121
_01BT12	Mill main drive gearbox oil temperature 2	Analog	DB122
_01BT13	Gearbox thrust bearing temperature 1	Analog	DB123
_01BT14	Gearbox thrust bearing temperature 2	Analog	DB124
_01MA11BT01	Gearbox lubrication low press oil temperature	Analog	DB125
_01MA11BP01	Gearbox lubrication low press oil pressure	Analog	DB126
_01MA12BP01	Gearbox lubrication high press oil pressure input	Analog	DB127
_01MA12BP02	Gearbox lubrication high press oil pressure output	Analog	DB128
_01SL11	Mill main drive gearbox - oil level min	Limit	DB191
_01SL12	Gearbox thrust bearing tilting pad - oil level min warning	Limit	DB192
_01SL13	Gearbox thrust bearing tilting pad - oil level min interlock	Limit	DB193
_01MA11SF01	Gearbox lubrication lowpress- oil flow min warning	Limit	DB194
_01MA11SF02	Gearbox lubrication lowpress- oil flow min alarm	Limit	DB195
_01MA11SP01	Gearbox lubrication lowpress- filter clogging	Limit	DB196

	Roller bearings lubrication		
_Rollers	Rollers bearings lubrication	Group	DB032
_01MA21	Roller 1 bearings lubrication - lubrication pump	Unit	DB111
_01MA22	Roller 1 bearings lubrication - suction pump	Motor	DB045
_01MA23	Roller 1 bearings lubrication - air cooler fan	Motor	DB046
_01EH21	Roller 1 bearings lubrication - oil heating	Motor	DB047
_01MY21	Roller 1 bearings lubrication - suction valve	Valve	DB081
_01BT21	Mill roller 1 lubrication tank oil temperature	Analog	DB129
_01BL21	Mill roller 1 lubrication tank oil level	Analog	DB130
_01BP21	Mill roller 1 lubrication oil pressure	Analog	DB131
_01MA21BS01	Roller 1 bearing - lubrication pump actual speed	Analog	DB132
_01SP21	Mill roller 1 lubrication - filter clogging	Limit	DB197
_01SF21	Mill roller 1 lubrication - oil flow min	Limit	DB198
_01MA26	Roller 2 bearings lubrication - lubrication pump	Unit	DB112
_01MA27	Roller 2 bearings lubrication - suction pump	Motor	DB048
_01MA28	Roller 2 bearings lubrication - air cooler fan	Motor	DB049
_01EH26	Roller 2 bearings lubrication - oil heating	Motor	DB050
_01MY26	Roller 2 bearings lubrication - suction valve	Valve	DB082
_01BT26	Mill roller 2 lubrication tank oil temperature	Analog	DB133
_01BL26	Mill roller 2 lubrication tank oil level	Analog	DB134
_01BP26	Mill roller 2 lubrication oil pressure	Analog	DB135
_01MA26BS01	Roller 2 bearing - lubrication pump actual speed	Analog	DB136
_01SP26	Mill roller 2 lubrication - filter clogging	Limit	DB199
_01SF26	Mill roller 2 lubrication - oil flow min	Limit	DB200

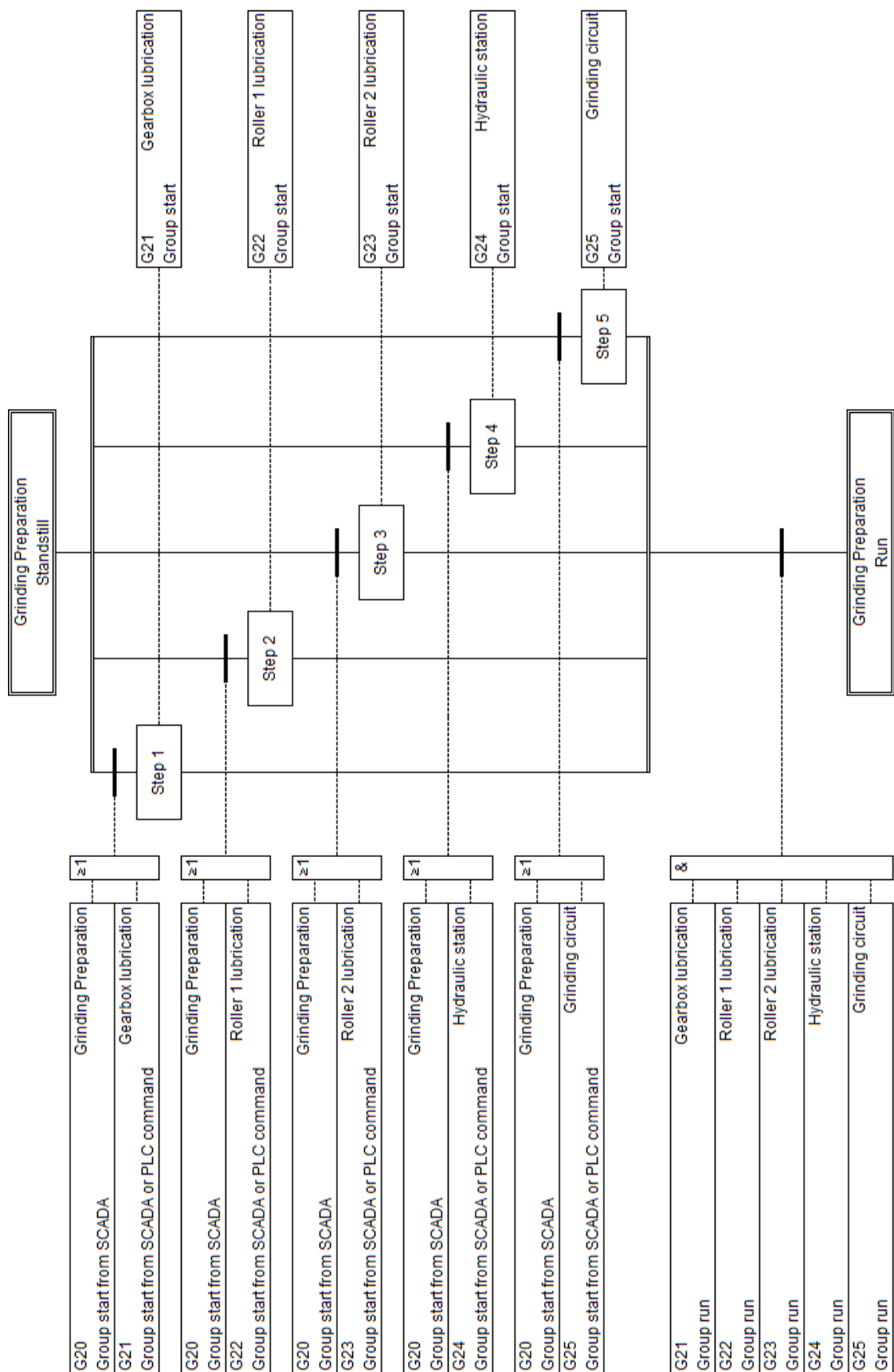
	Hydraulic unit		
_Hydraulic	Hydraulic unit	Group	DB033
_01MA31	Mill hydraulic - pressure oil pump	Motor	DB051
_01EH31	Mill hydraulic - oil heating	Motor	DB052
_01MY31	Hydraulic rollers Down valve	Valve	DB083
_01MY32	Hydraulic rollers Up valve	Valve	DB084
_01MY33	Hydraulic lowPress pump release valve	Valve	DB085
_01MY34	Hydraulic highPress pump release valve	Valve	DB086
_01MY35	Hydraulic service cylinder Up valve	Valve	DB087
_01MY36	Hydraulic service cylinder Down valve	Valve	DB088
_01MY37	Hydraulic roller 1 accu - release valve	Valve	DB089
_01MY38	Hydraulic roller 2 accu - release valve	Valve	DB090
_01MY39	Hydraulic back pressure reduction valve	Valve	DB091
_01MY3A	Hydraulic tread pressure reduction valve	Valve	DB092
_01MY3B	Hydraulic back pressure boost valve	Valve	DB093
_01BP31	Mill hydraulic unit tread pressure	Analog	DB137
_01BP32	Mill hydraulic unit back pressure	Analog	DB138
_01BT31	Mill hydraulic unit oil temperature	Analog	DB139
_01ST31	Mill hydraulic unit - oil temperature min	Limit	DB201
_01ST32	Mill hydraulic unit - oil temperature max	Limit	DB202
_01SL31	Mill hydraulic unit - oil level min warning	Limit	DB203
_01SL32	Mill hydraulic unit - oil level min interlock	Limit	DB204
_01SP31	Mill hydraulic unit - filter clogging	Limit	DB205

	Grinding circuit		
_Circuit	Grinding circuit	Group	DB034
_01MA52	Mill seal air blower	Motor	DB053
_01MA41	Separator drive	Unit	DB113
_01EH41	Separator drive - heating	Motor	DB054
_01MA42	Separator grease lubrication - pump	Motor	DB055
_03MA01	Process fan	Unit	DB114
_03EH01	Process fan - anticondensation heating	Motor	DB056
_04RT01	Hot gas generator - cabinet	Unit	DB116
_09RT01	Bag filter - pulse regeneration	Unit	DB117
_09MA01	Bag filter - screw conveyor	Motor	DB057
_09MA02	Bag filter - rotary air lock	Motor	DB058
_09EH01	Bag filter - heating	Motor	DB059
_10MA01	Bag filter - fan	Unit	DB115
_11MS01	Modulation damper	Damper	DB101
_11MS02	Fresh air damper	Damper	DB102
_11MS03	Control damper	Damper	DB103
_13MA01	Air slide - fan	Motor	DB060
_01BT01	Mill gas temperature in front of mill	Analog	DB140
_01BP01	Mill gas pressure in front of mill	Analog	DB141
_01BT02	Mill gas temperature behind mill	Analog	DB142
_01BP02	Mill gas pressure behind mill	Analog	DB143
_03BP01	Process fan gas pressure in front of fan	Analog	DB144
_09RT01BT01	Bag filter gas temperature in front of filter	Analog	DB145
_09RT01BP01	Bag filter gas pressure in from of filter	Analog	DB146
_01BT41	Mill separator upper bearing temperature	Analog	DB147
_01BT42	Mill separator lower bearing temperature	Analog	DB148
_01BX41	Mill separator vibration	Analog	DB149
_01MA41BS01	Mill separator drive actual speed	Analog	DB150
_01MA41BE01	Mill separator drive drive current	Analog	DB151
_03BT01	Process fan bearing 1 temperature	Analog	DB152
_03BT02	Process fan bearing 2 temperature	Analog	DB153
_03BX01	Process fan vibration 1	Analog	DB154
_03BX02	Process fan vibration 2	Analog	DB155
_03MA01BT01	Process fan - drive bearing 1 temperature	Analog	DB156
_03MA01BT02	Process fan - drive bearing 2 temperature	Analog	DB157
_03MA01BT03	Process fan - drive winding 1 temperature	Analog	DB158
_03MA01BT04	Process fan - drive winding 2 temperature	Analog	DB159
_03MA01BT05	Process fan - drive winding 3 temperature	Analog	DB160
_03MA01BS01	Process fan - drive actual speed	Analog	DB161
_03MA01BE01	Process fan - drive drive current	Analog	DB162

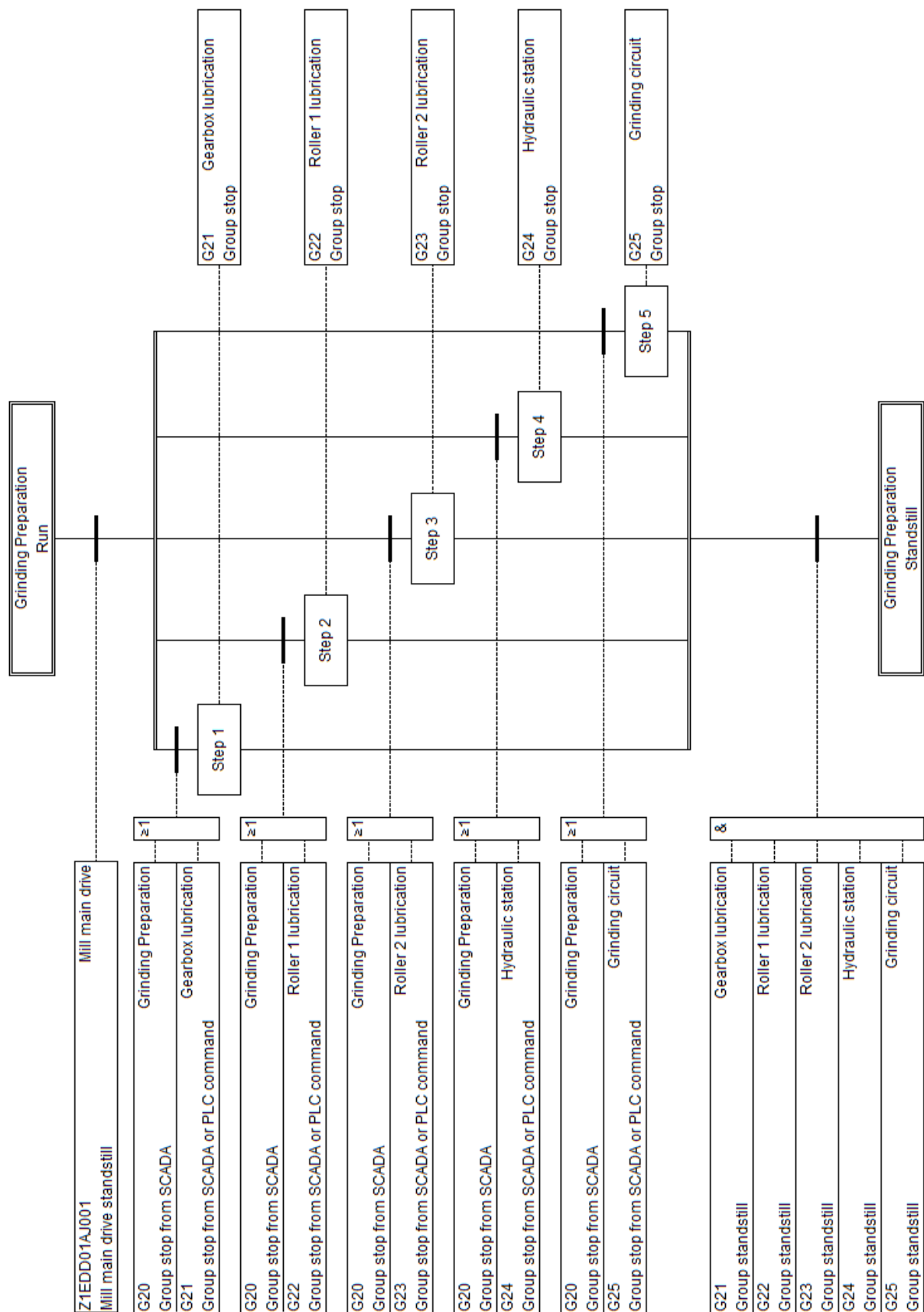
_09RT01BP02	Bag filter - control unit dif. pressure	Analog	DB163
_10BT01	Bag filter fan - bearing 1 temperature	Analog	DB164
_10BT02	Bag filter fan - bearing 2 temperature	Analog	DB165
_10MA01BS01	Bag filter fan drive actual speed	Analog	DB166
_10MA01BE01	Bag filter fan drive current	Analog	DB167
_11MS01BG01	Modulation damper position	Analog	DB168
_11MS02BG01	Fresh air damper position	Analog	DB169
_11MS03BG01	Control damper position	Analog	DB170
_01SX41	Mill separator - belts slip	Limit	DB206
_01MA41ST01	Mill separator drive - winding temperature warning	Limit	DB207
_01MA41ST02	Mill separator drive - winding temperature alarm	Limit	DB208
_01SL41	Mill separator lubrication - level grease - min.	Limit	DB209
_01SL42	Mill separator lubrication - level grease - min.min.	Limit	DB210
_09RT01SP01	Bag filter - compressed air pressure min.	Limit	DB211
_09RT01SP02	Bag filter - control unit - filter clogging	Limit	DB212
_09SL04	Bag filter hopper - dust level	Limit	DB213
_09ST02	Bag filter hopper heating - safety thermostat	Limit	DB214
_10MA01ST02	Bag filter fan drive - winding temperature	Limit	DB215

	Limestone grinding		
_Grinding	Limestone grinding	Group	DB035
_01MA01	Mill main drive	Motor	DB061
_01EH01	Mill main drive - heating	Motor	DB062
_05MA01	Vibration feeder	Unit	DB118
_05MA02	Belt conveyor	Motor	DB063
_05MA03	Rotary feeder - air lock to mill	Motor	DB064
_01MA01BT01	Mil main drive bearing 1 temperature	Analog	DB171
_01MA01BT02	Mil main drive bearing 2 temperature	Analog	DB172
_01MA01BT03	Mil main drive winding 1 temperature	Analog	DB173
_01MA01BT04	Mil main drive winding 2 temperature	Analog	DB174
_01MA01BT05	Mil main drive winding 3 temperature	Analog	DB175
_01MA01BE01	Mill main drive current	Analog	DB176
_01BE03	Vertical roller mill pressure difference	Analog	DB177
_05MA01BS01	Vibrating feeder actual speed	Analog	DB178
_05BF01	Limestone to mill scale amount of limestone	Analog	DB179

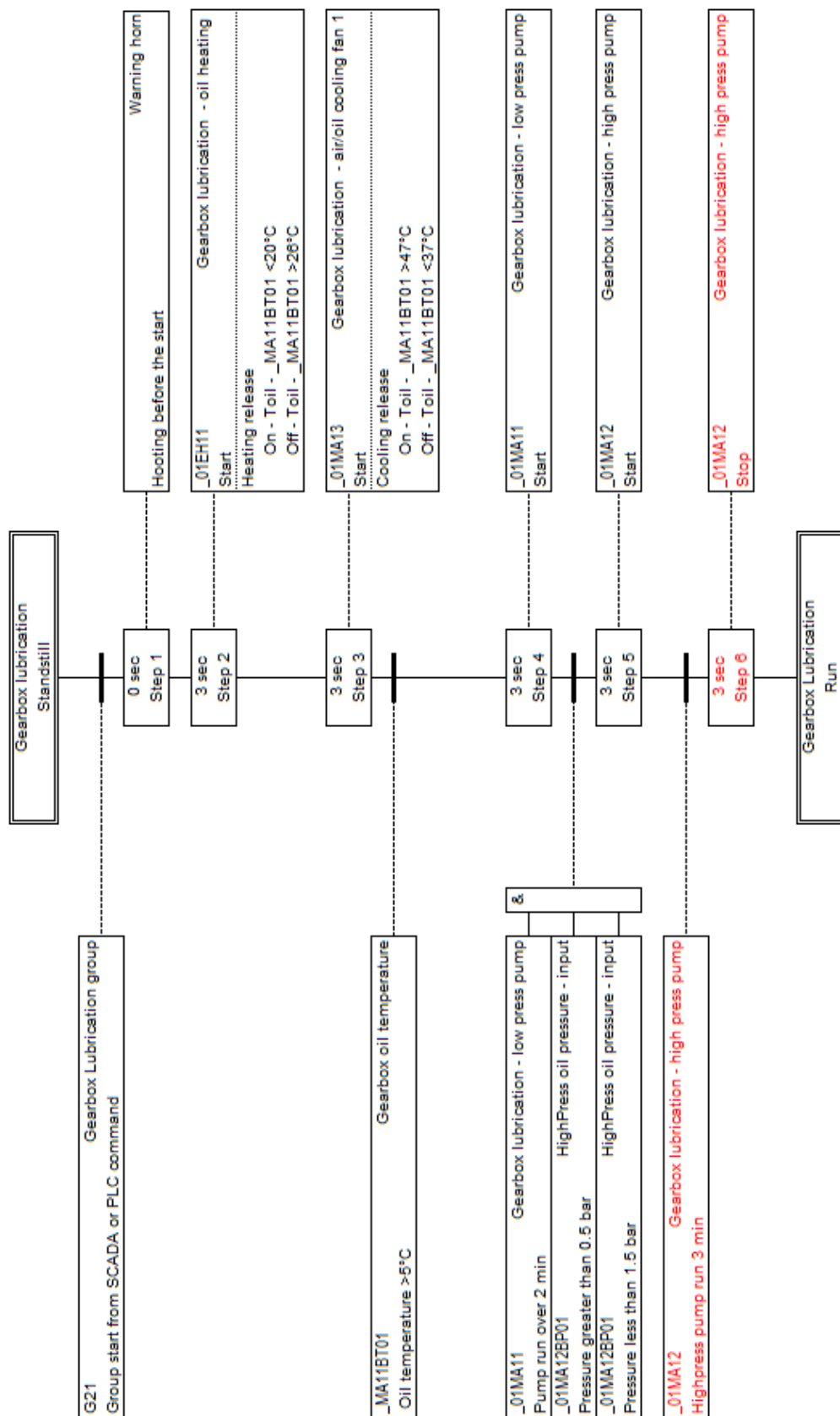
B SEKVENČNÍ DIAGRAMY STARTOVACÍCH A ZASTAVOVACÍCH SEKVENCÍ



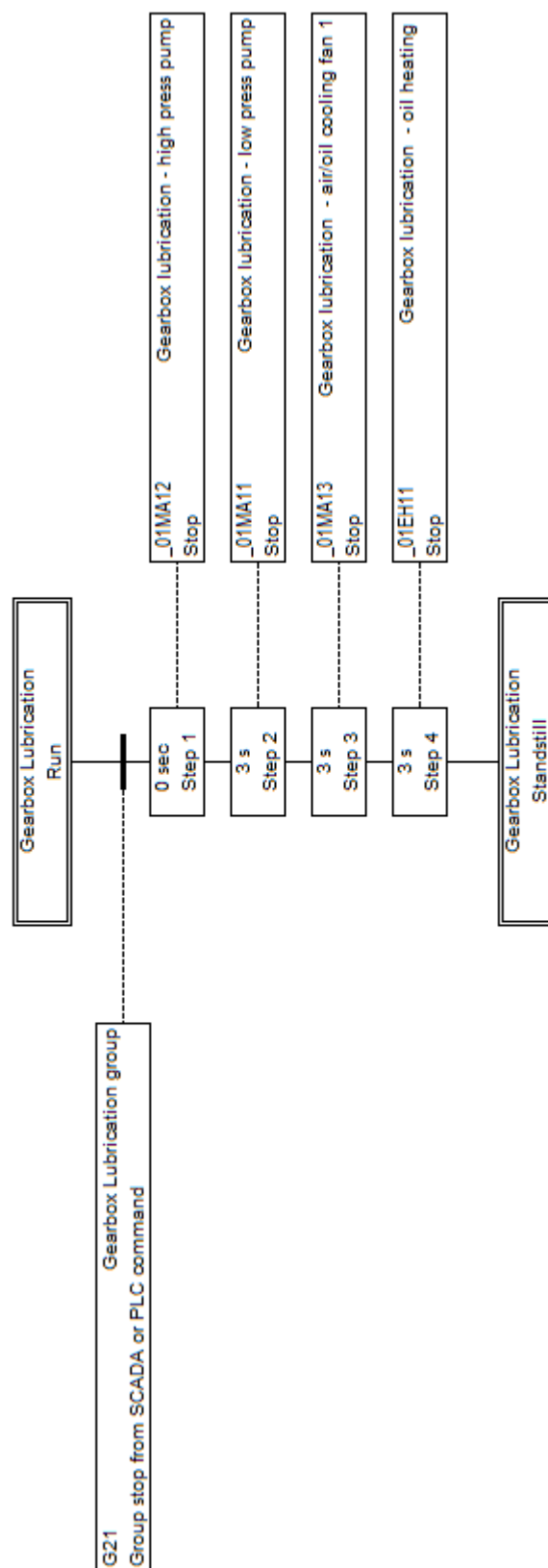
Obr. B.1: Startovací sekvence přípravy mletí vápence



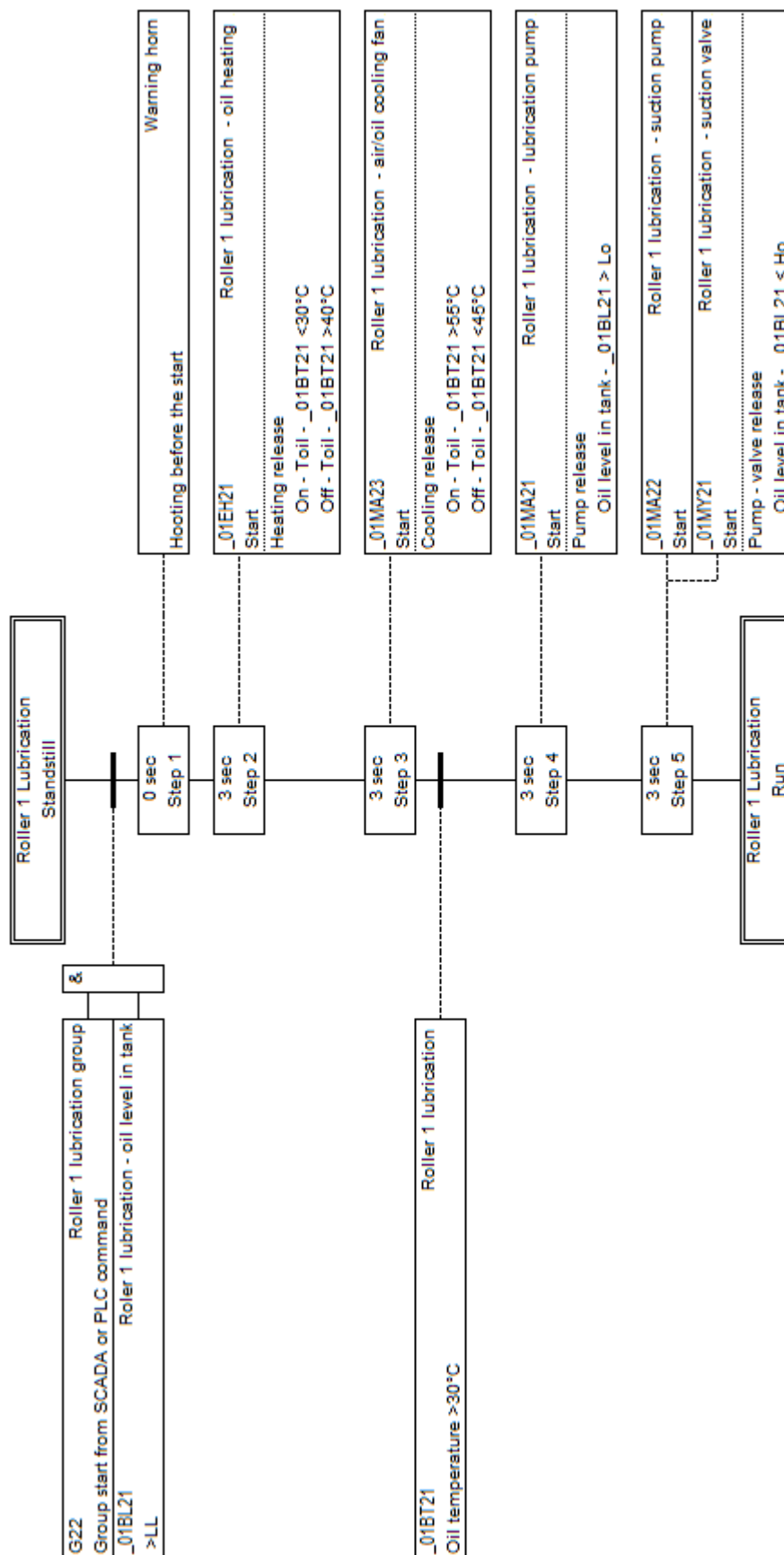
Obr. B.2: Zastavovací sekvence přípravy mletí vápence



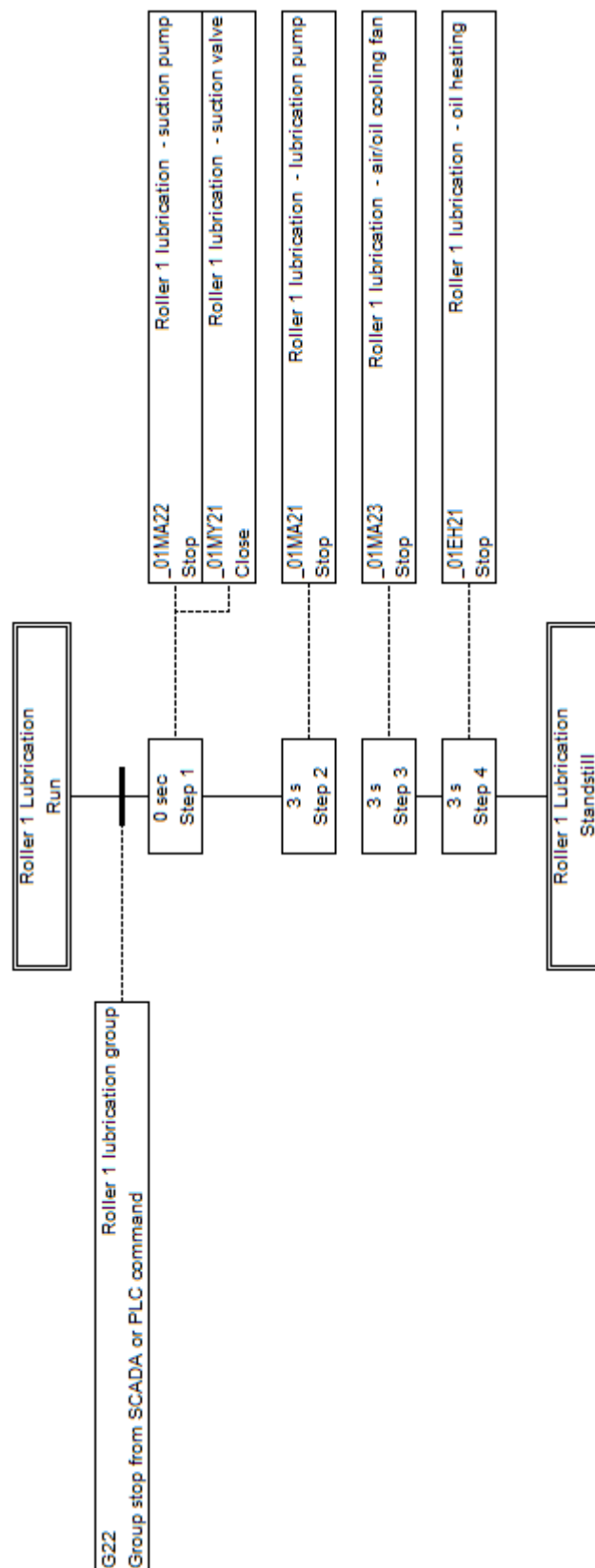
Obr. B.3: Startovací sekvence mazání převodovky



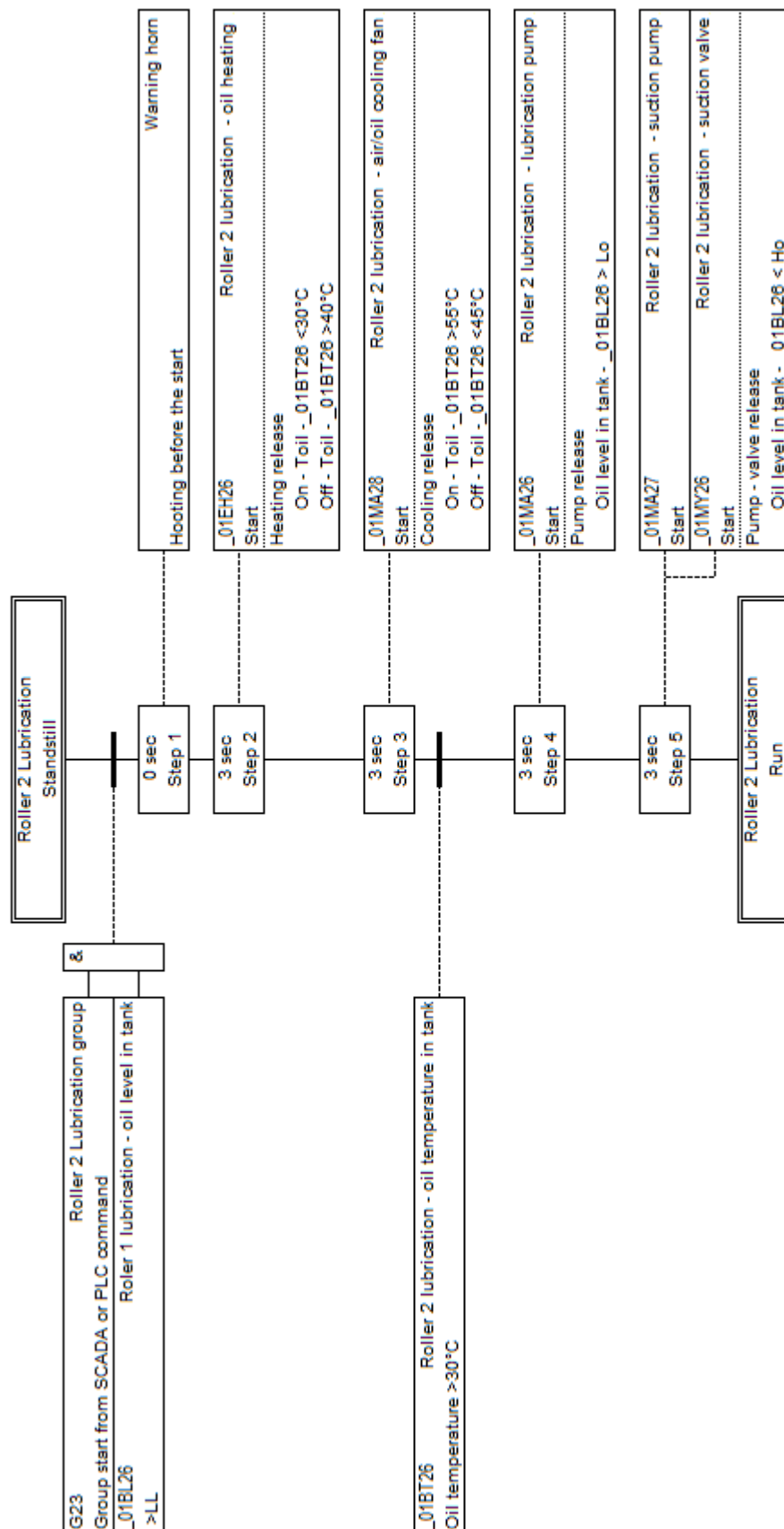
Obr. B.4: Zastavovací sekvence mazání převodovky



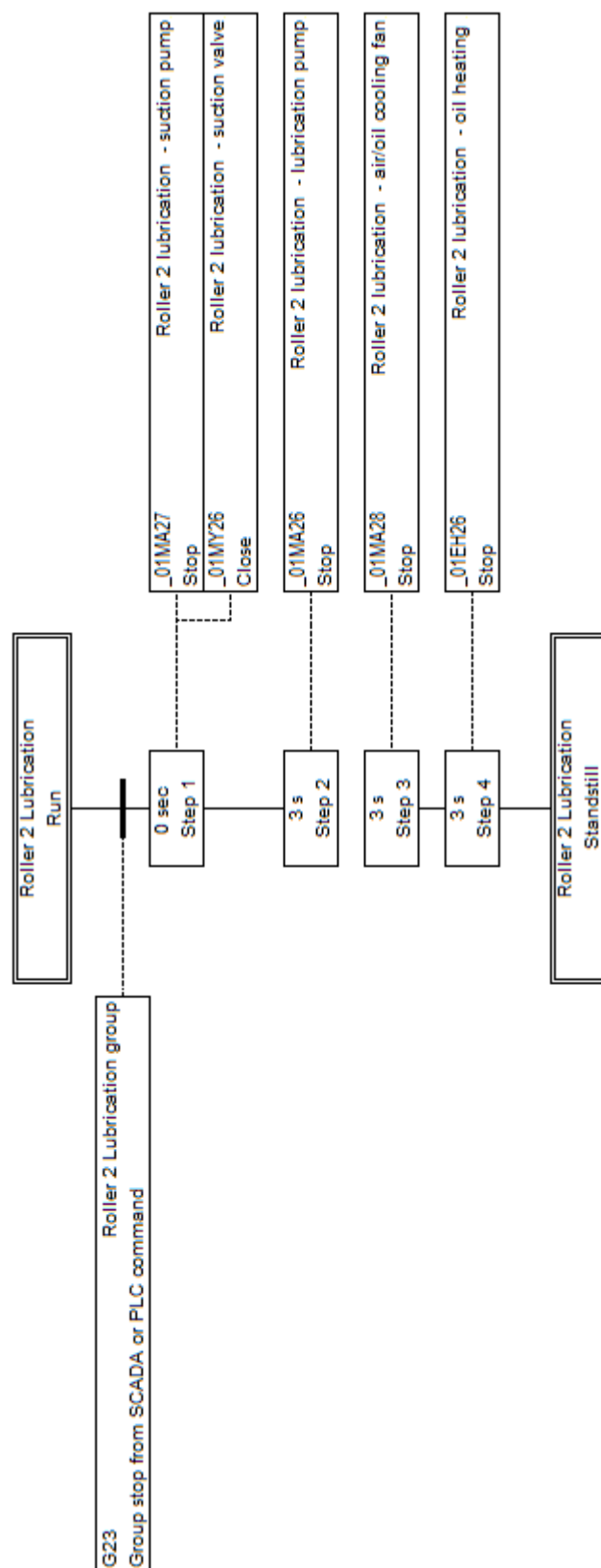
Obr. B.5: Startovací sekvence mazání ložiska valounu č.1



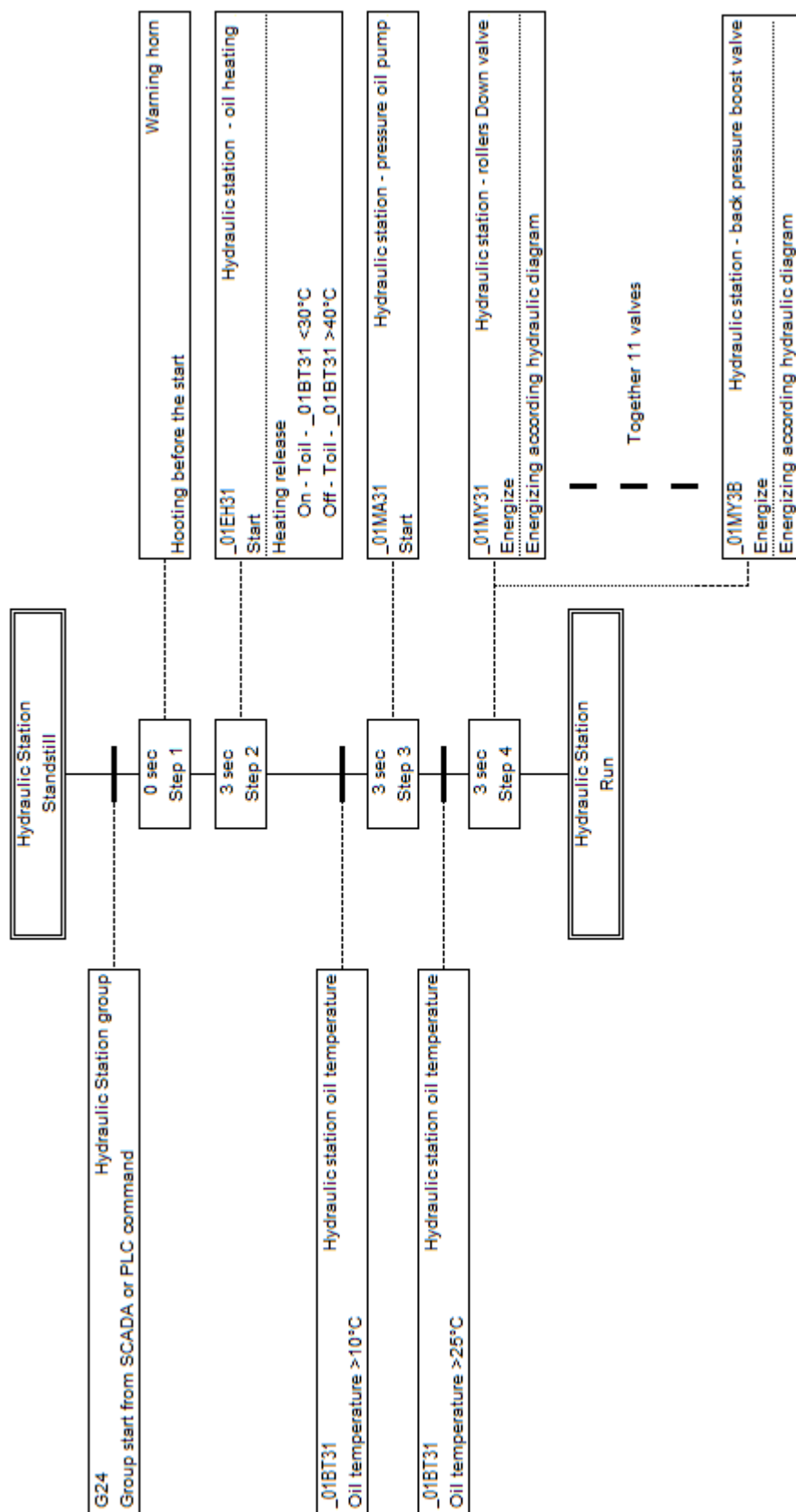
Obr. B.6: Zastavovací sekvence mazání ložiska valounu č.1



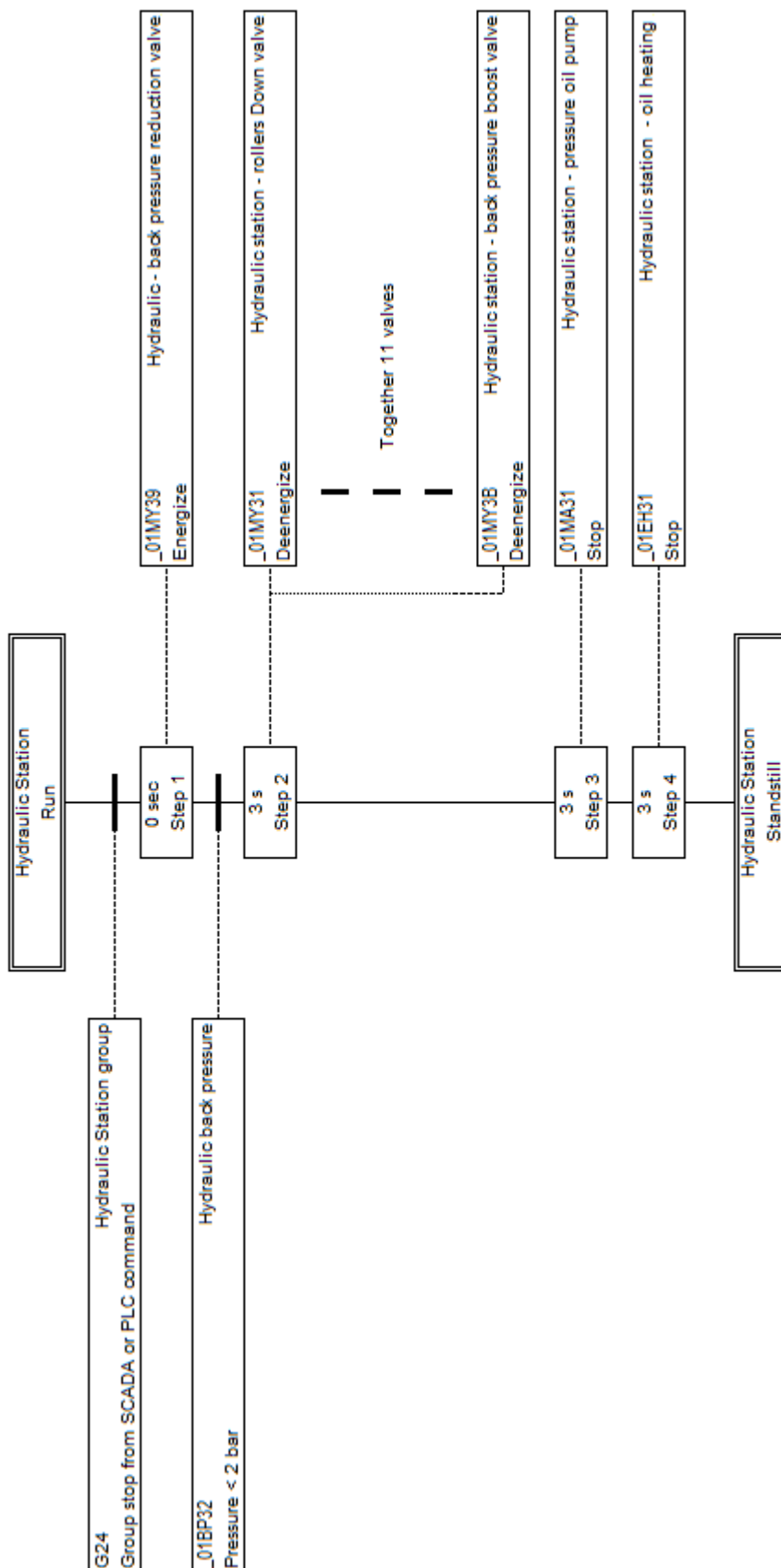
Obr. B.7: Startovací sekvence mazání ložiska valounu č.2



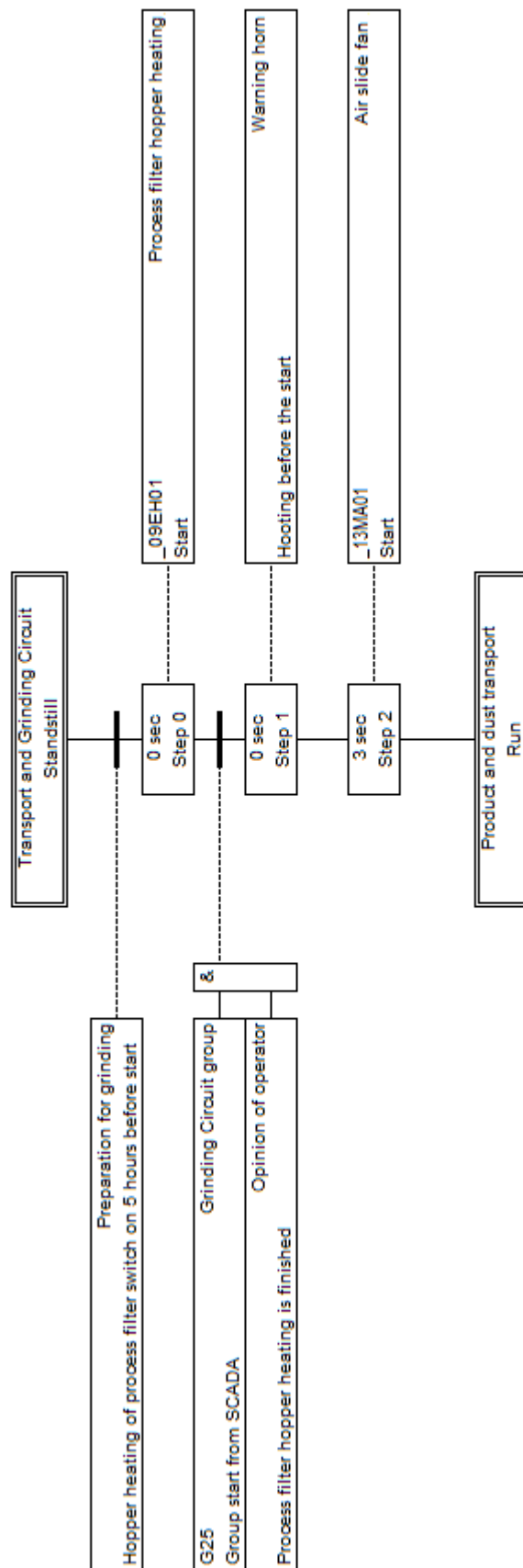
Obr. B.8: Zastavovací sekvence mazání ložiska valounu č.2



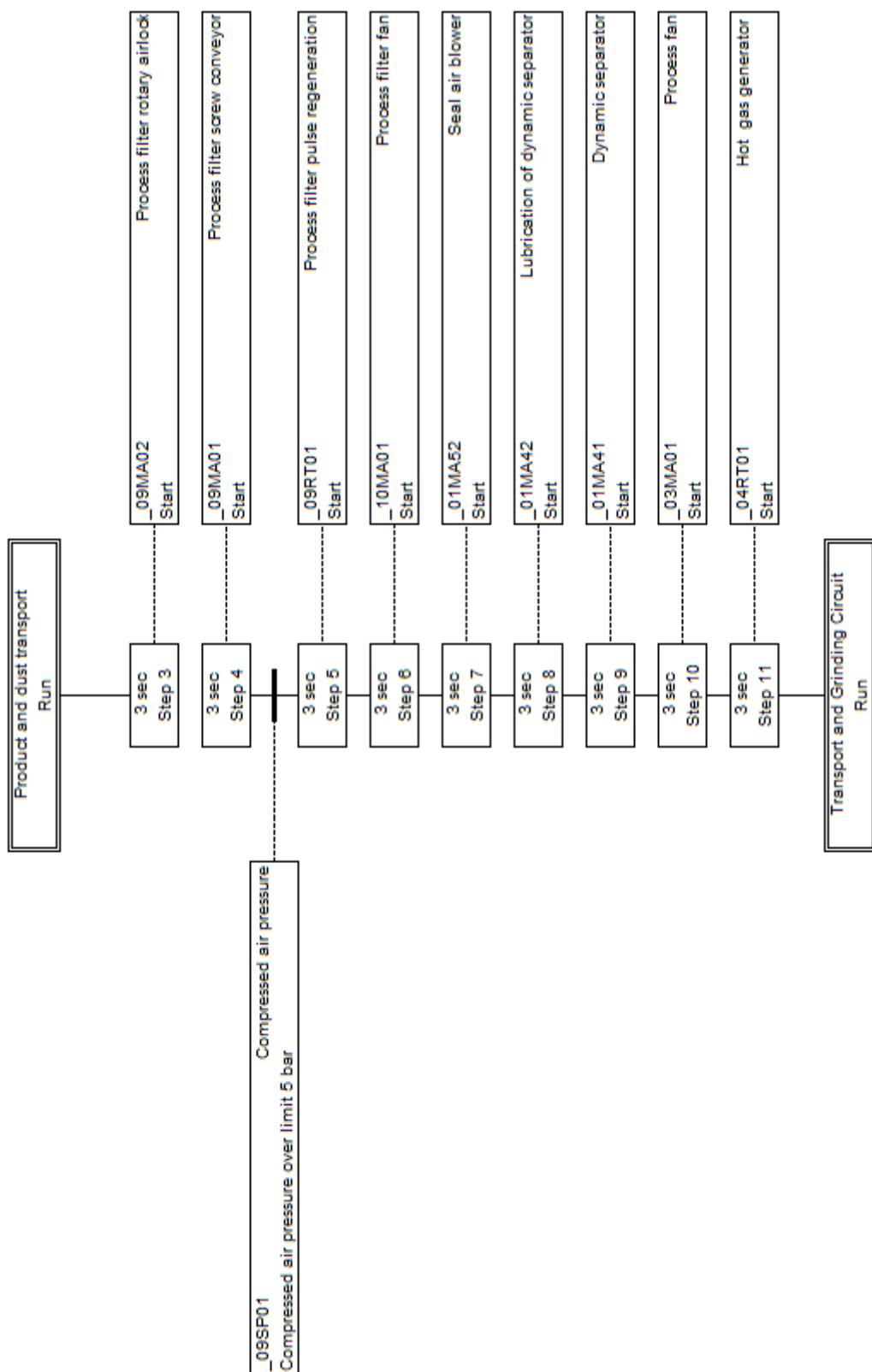
Obr. B.9: Startovací sekvence hydraulické stanice



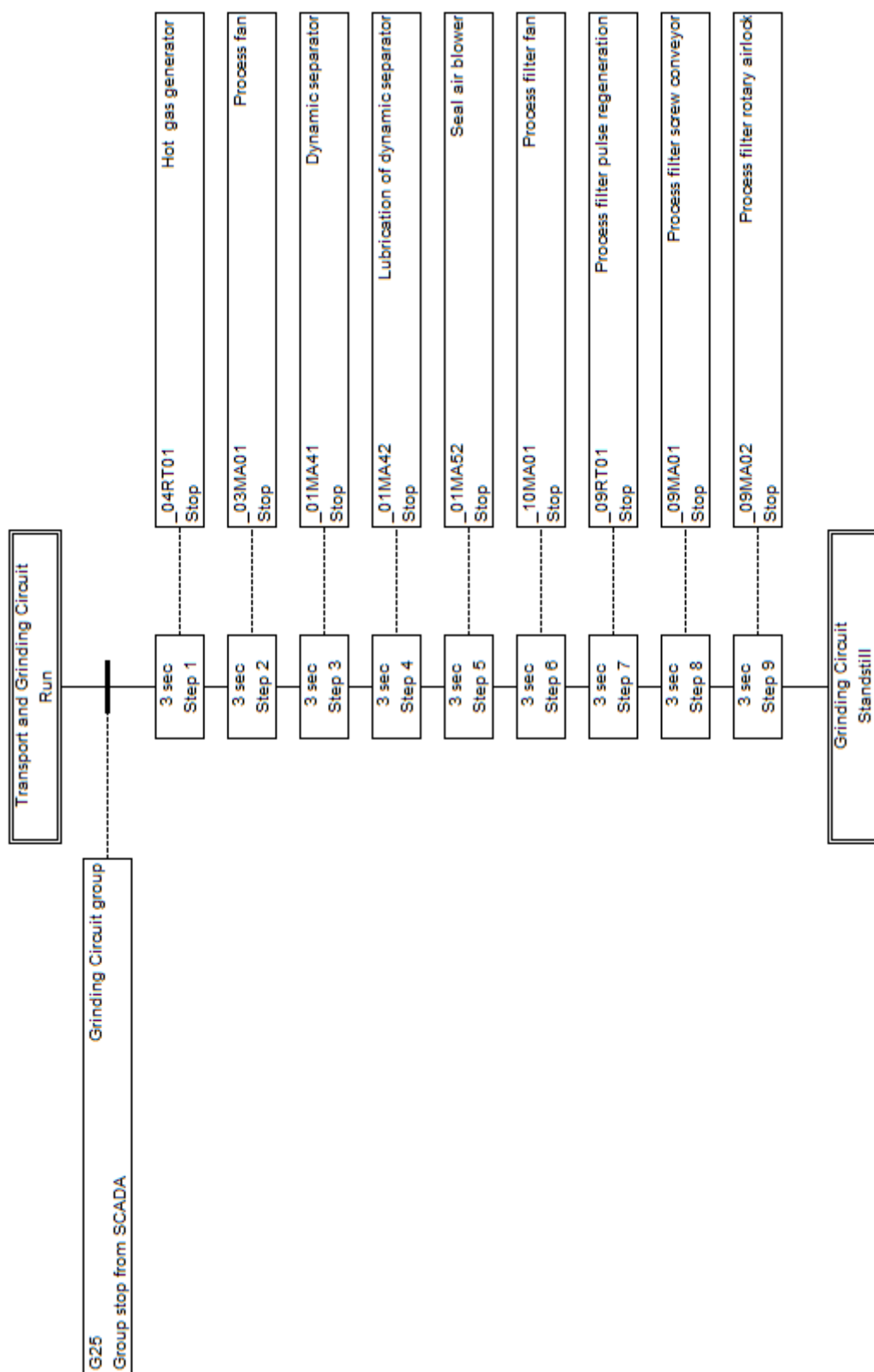
Obr. B.10: Zastavovací sekvence hydraulické stanice



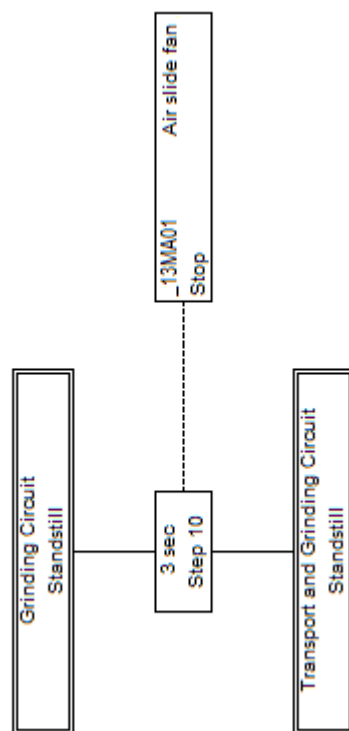
Obr. B.11: Startovací sekvence transportu



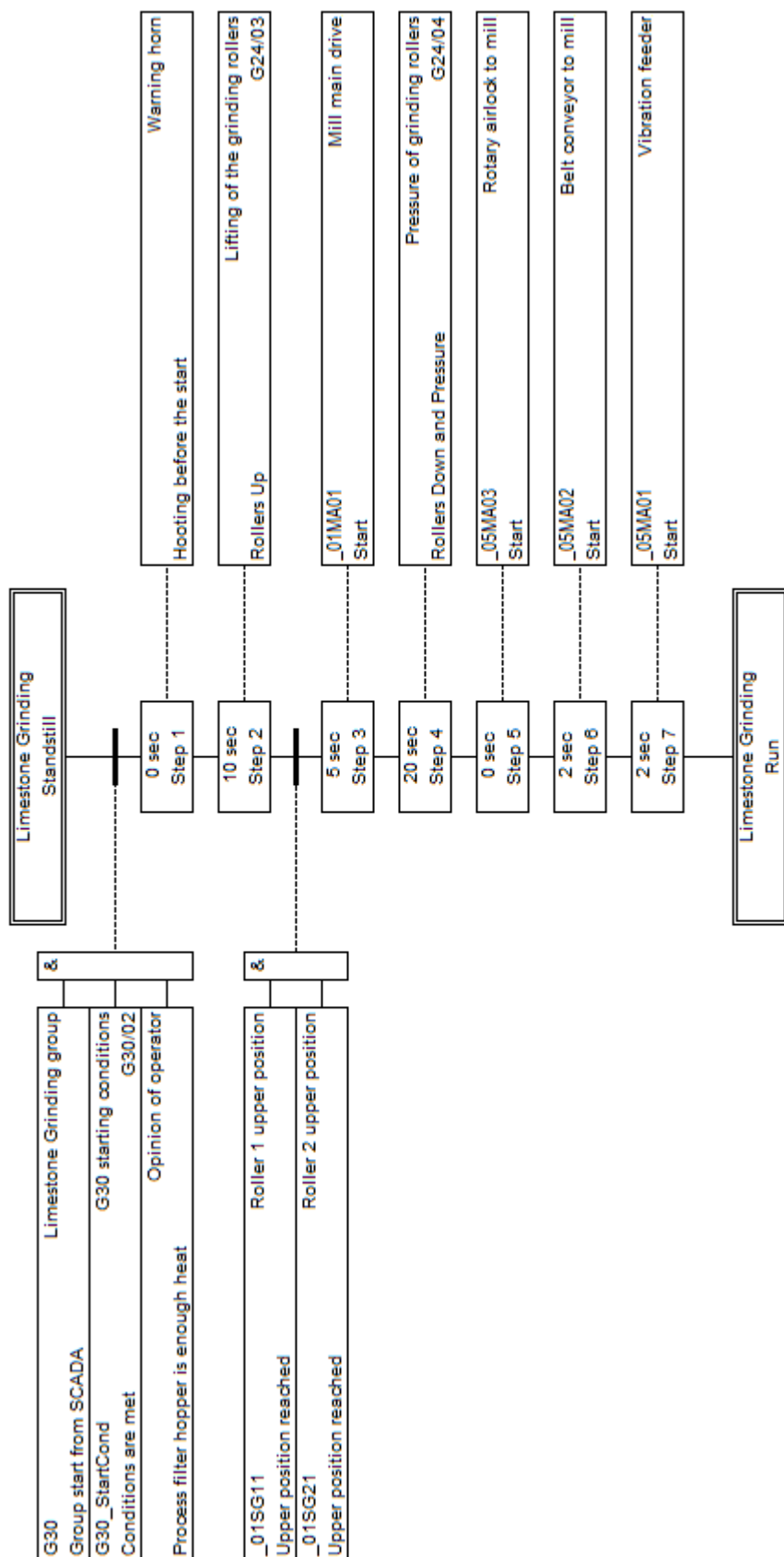
Obr. B.12: Startovací sekvence mlecího okruhu



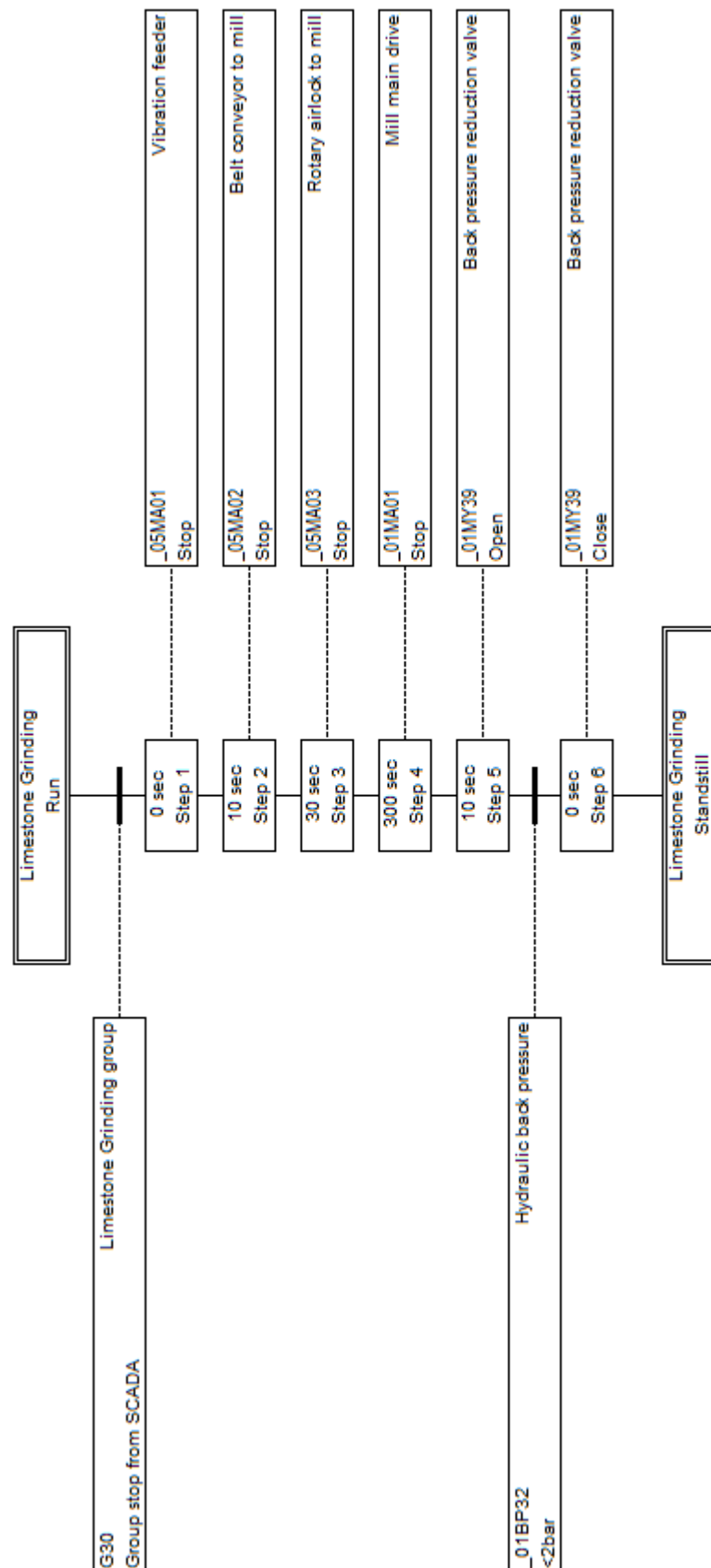
Obr. B.13: Zastavovací sekvence mlecího okruhu



Obr. B.14: Zastavovací sekvence transportu



Obr. B.15: Startovací sekvence mletí vápence



Obr. B.16: Zastavovací sekvence mletí vápence