



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ČVUT V PRAZE**

Řízení cementové mlýnice

Jan Bitter

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bitter** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **466039**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektrotechnologie**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Specializace: **Technologické systémy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Řízení cementové mlýnice

Název diplomové práce anglicky:

Cement mill control software

Pokyny pro vypracování:

1. Na základě bakalářského projektu zvolte vhodný algoritmus řízení technologického procesu cementové mlýnice
2. Navrhněte úpravy a doplnění technické části řízení procesu
3. Realizujte vybrané řídicí algoritmy
4. Ověřte funkčnost řešení
5. Zpracujte dokumentaci technické i programové části řešení.

Seznam doporučené literatury:

1. Bitter Magisterský projekt, ČVUT FEL 2021
2. Firemní dokumentace experimentální cementové mlýnice
3. Firemní dokumentace SIEMES - Simatic

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Strašík, SIDAT, spol. s r.o.

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 05.02.2021

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: 30.09.2022

Ing. Jan Strašík
podpis vedoucí(ho) práce

_____ podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis otkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Anotace

Práce se zabývá komplexním návrhem modernizace řídicích komponent experimentální cementové mlýnice. V úvodní části jsou shrnuty hlavní důvody rekonstrukce a je podrobně popsána náhrada řídicího systému. V další části práce je navržen nový řídicí systém experimentální linky včetně elektro projektu a příslušných zapojení. Poslední část práce je zaměřena na jednotlivé interní vazby v rámci systému včetně vazebných bloků a dalších spojení v programu PCS 7, který je využit jakožto vývojové prostředí s doplněním o vizualizační WinCC SCADA systém.

Klíčová slova: cementová mlýnice, PCS7, CEMAT, Siemens, frekvenční měniče, WinCC

Annotation

The thesis deals with the complex reconstruction of the experimental cement mill circuit. In the introduction part, the main reasons of the reconstruction are summarized and the possible control system replacement is detailed described. In the next part of the thesis, a new control system including electrical project is proposed. The last part of the work is focused on the description of the basic system binding including interlocks and other connections in PCS 7 software, which is used as an integrated development environment in addition to WinCC SCADA system.

Keywords: cement mill, PCS 7, CEMAT, SIEMENS, frequency converter, WinCC

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

Jan Bitter

Poděkování:

Dovolte mi, abych úvodem své práce poděkoval Ing. Janu Strašíkovi za vedení a poskytnuté postřehy k mé práci. Mé poděkování také patří Ing. Josefu Husákovi, který mi poskytl užitečné rady a připomínky potřebné během vývoje řídicího softwaru. Neopomenutelnou osobou, které patří mé poděkování, je také Jan Eibl, který mne obohatil širokým spektrem užitečných připomínek během elektro projekce. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině, která mi podala pomocnou ruku při řešení každodenních starostí během tvorby této práce.

Obsah

1	Úvod	13
2	Teoretický úvod	13
2.1	Simatic PCS 7.....	13
2.1.1	Operátorský systém	14
2.1.2	Automatizační systém	15
2.2	CEMAT	16
2.2.1	Nejpoužívanější CEMAT moduly	16
2.3	Postup výroby cementu	17
2.3.1	Těžba surovin	17
2.3.2	Drcení suroviny	17
2.3.3	Předhomogenizace surovinové směsi	18
2.3.4	Mletí směsi	18
2.3.5	Hlavní homogenizace suroviny	18
2.3.6	Výpal slínku v peci	18
2.3.7	Chlazení slínku	19
2.3.8	Uskladnění slínku	19
2.3.9	Mletí cementu	19
2.3.10	Uskladnění a expedice	19
3	Aplikace v mlýnici Přerov	20
3.1	Popis mlýnice a její účel.....	20
3.1.1	Hlavní mlýnský okruh KTM 360	20
3.1.2	Premill PM370	25
3.1.3	Drtiče	28
3.2	Elektro projekt a HW řešení	31
3.2.1	Stávající systém a důvody pro jeho nahrazení	31
3.2.2	Nový řídicí systém a jeho výhody	31
3.2.3	Síť PROFINET	32
3.2.4	Elektrické zapojení řídicího systému	35
3.2.5	Frekvenční měniče SIEMENS	39
3.2.6	SIEMENS SIMOCODE	44
3.2.7	Pohony spouštěné skrze motorové spouštěče	47

3.2.8	Hydraulické soustavy experimentální linky – elektrická zapojení	48
3.2.9	Limitní snímače (skrže digitální vstupy)	51
3.3	Softwarové řešení.....	52
3.3.1	HW konfigurace + screen z PCS7 HW	53
3.3.2	Základní pracovní metody v SIMATIC Manager	54
3.3.3	Typy technologických objektů	55
3.3.4	Provozní režimy (AUTO/MANUAL/LOCAL – Deblokační skřínky)	60
3.3.5	SCADA řešení aneb WinCC	60
3.3.6	Startovací sekvence KTM 360	64
3.3.7	Startovací sekvence PM 370	65
4	Závěr	67
5	Reference	68

Seznam použitých zkratek

AS	Automatizační systém
CAS	Centrální archivovací server (Central Archive Server)
CFC	Continuous function chart
DB	Datový blok
DS	Deblokační skříňka – lokální ovládání stroje
DVZ	Zubový válcový drtič
FB	Funkční blok
FC	Funkce
HMI	Rozhraní stroj-člověk (Human-machine interface)
HW	Hardware
IDB	Instanční datový blok
I/O	Input/Output – vstup/výstup
KDV	Kladivový drtič
MES	Výrobní informační systém (Manufacturing execution system)
OB	Organizační blok
ODV	Odrazový drtič
OS	Operační systém
PLC	Programovatelný logický automat (Programmable Logic Controller)
POV	Process object view
RIO	Remote I/O – Vzdálené periferní vstupy/výstupy
SCL	Strukturovaný řídicí jazyk (structured control language)
SFC	Měď Indium Selenid (Sequential Function Chart)
SIMOCODE	Siemens Motor Protection and Control Device
SW	Software
TIA	Totally Integrated Automation Portal

1 Úvod

V dnešní době je kladen nemalý důraz na efektivitu výrobních procesů a snahu o udržení co nejnižších nákladů na výrobu, čímž se dostává do popředí nutnost častější výměny doposud funkčních zařízení, neboť modernější komponenty slibují vyšší účinnost, která vede k nižší spotřebě elektrické energie. Dále nabízejí levnější pořizovací náklady náhradních dílů a splnění vyšších bezpečnostních standardů. Všechny tyto faktory vedou k zefektivnění výroby a generování vyššího ekonomického zisku.

Během projekce nového systému je nezbytné uvažovat mnoho faktorů, kterými jsou např. finanční možnosti zákazníka, přípravy na rozšíření provozu do budoucna, výkonové požadavky kladené na řídicí i výkonové prvky systému nebo sjednocení hardwarových komponent s ostatními stroji jiných linek, které jsou provozovány zákazníkem. V neposlední řadě je nezbytné reflektovat požadavky zákazníka, aby bylo výsledné řešení vyrobeno podle jeho představ a splňovalo nejen technické normy a standardy, ale i veškeré nároky, které budou na systém během jeho provozu na něj kladeny. Tyto aspekty jsou probrány v analytické části této práce a je s nimi nadále kalkulováno v částech elektroprojekce a návrhu ovládacího softwaru.

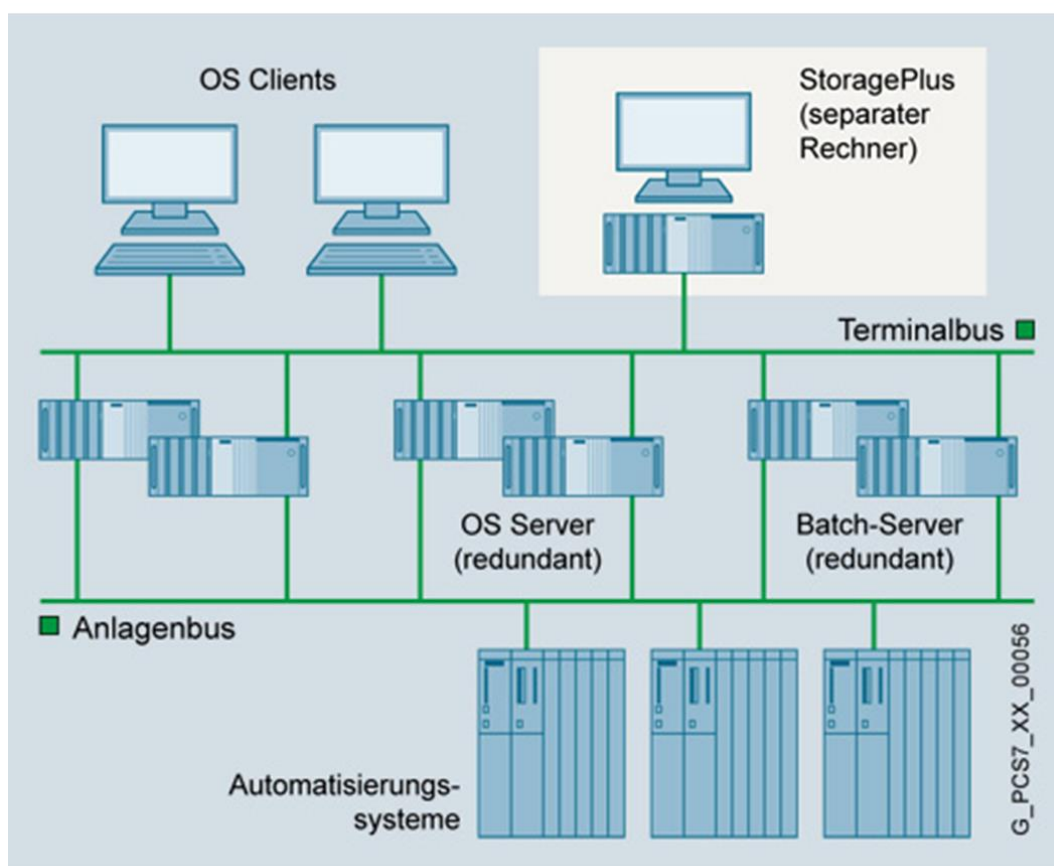
2 Teoretický úvod

2.1 SIMATIC PCS 7

SIMATIC PCS je procesní řídicí systém vyvinutý německou společností Siemens AG s komplexním spojením hardwarových i softwarových komponent společnosti Siemens s architekturou Client-Server, který lze pohodlně propojit s podnikovou sítí. V rámci celého systému lze nalézt široké spektrum jednotlivých systémů, které tvoří komplexní řešení řízení výrobních procesů. Mezi tyto systémy patří např. systém operátorský, údržbový, inženýrský, automatizační, komunikační anebo systém pro distribuční periférie. [1]

Automatizační systém v rámci PCS 7 je založen na produktové řadě SIMATIC S7 – 400. Hlavní předností tohoto systému je variabilita komponent zajištěná modulárním řešením. Lze takřka neomezeně rozšiřovat HW periférie, a tak vyhovět požadavkům na řízení i těch nejsložitějších technických procesů. K další výhodě bezesporu patří možnost jednoduchého, popř. redundantního zapojení, robustnost celého systému anebo snadné připojení k distribuovaným I/O modulům ET200S, ET 200iSP, ET 200M. Tyto distribuované I/O moduly lze nadále osadit širokým spektrem modulů (digitálních, analogových, vstupních, výstupních) popř. také lze připojit funkční moduly, procesní systémy nebo dokonce operátorské terminály. [2]

Inženýrský systém je zde postaven na bázi programu SIMATIC Manager, který obsahuje funkcionality z prostředí programu Step 7 vhodné pro diskrétní řízení. Navíc jsou k dispozici tato rozšíření: zobrazení procesních objektů POV (process object view), programování pomocí kontinuálních funkčních diagramů CFC (continuous function chart) nebo jazyk SCL (structured control language). Nespornou výhodou automatizačního systému PCS 7 v návaznosti na systém inženýrský je možnost integrace systému pro správu motorů SIMOCODE, měření vah skrze systémy SIWAREX nebo např. správa frekvenčních měničů MICROMASTER. V rámci systému PCS 7 lze založit tzv. multiprojekt, kterým rozumíme spojení několika projektů do jednoho, avšak vždy s minimálním spojením alespoň jednoho automatizačního systému s minimálně jedním operátorským systémem. [1]



Obrázek 1 - Příklad topologie sítě s využitím PCS 7 [3]

2.1.1 Operátorský systém

Operátorský systém již z podstaty svého názvu umožňuje snadnou a zejména bezpečnou možnost, jak řídit výrobní proces. Operátor sleduje výrobní proces a může upravovat jednotlivé parametry (množství vstupního materiálu, otáčky motoru, změna výrobního artiklu atp.). Celý systém může být z hlediska architektury postaven diametrálně odlišně, tak aby byly splněny klíčové požadavky

koncového zákazníka a byla zajištěna maximální bezpečnost a flexibilita celého systému. Operátorský systém lze vybavit jednou operátorskou stanicí (tzv. single station) nebo lze využít systém client/server popsany v kapitole 2.1. Ke každé stanici lze následně připojit až 4 monitory, což zvyšuje komfort a efektivitu práce operátorů. Pro větší podniky společnost Siemens doporučuje využití CAS (Central Archive Server), který sníží zatížení OS Serverů. Vizualizace, která tvoří majoritní úlohu v rámci HMI, je u Siemens navržena hierarchicky, a na každé technologické obrazovce dojde po kompilaci k vygenerování ikon z příslušné hierarchie z automatizačního systému. Tento princip má za následek snížení času potřebného pro tvorbu vizualizace, jelikož systém vygeneruje nejen ikony, ale veškeré propojení a křížové reference mezi OS a AS. [1]

2.1.2 Automatizační systém

2.1.2.1 CFC – Continuous function chart

CFC editor je základním nástrojem během tvorby automatizačního systému. Jedná se o grafický editor kontinuálních funkcí, ve kterém se skládají a vzájemně propojují systémové bloky logickými spoji. V rámci CFC je podporován autorouting a zároveň je zde integrována správa HMI (Human Machine Interface) jednotek. Celý editor je koncipován do jednotlivých instancí a lze využít i speciální možnosti jako chart-in-chart, vícenásobné použití chartu jako instančního bloku nebo SFC type bloku, čímž je zajištěna maximální přehlednost programu. [1]

2.1.2.2 SFC plan

SFC je jednoduchá součást programu vhodný pro funkční použitou právě jednou a lze jej umístit analogicky jako jiné bloky do CFC. SFC plan vždy obsahuje standardní vstupy a výstupy pro monitorování a řízení chodu programu operátorem. Do jednoho SFC planu lze zavést až 8 nezávislých sekvencí, které lze následně využít jako stavové signály typu Abort, Hold atp. [1]

2.1.2.3 SFC type

Strukturou SFC type jsou v rámci programu myšleny standardizované sekvence, které lze opakovaně využít v programu. Práce s nimi je analogická jako s běžnými funkčními bloky, proto je lze umístit jako instanci do CFC a projít s dalšími bloky programu. SFC type může obsahovat až 32 jednotlivých sekvencí a případné změny v originále se automaticky propíší i do ostatních instancí. [1]

2.1.2.4 STEP 7

STEP 7 je program od společnosti SIEMENS a utváří komplexní programovací prostředí pro PLC. Výše popsané SFC a CFC jsou grafické nástavby programu STEP 7. Jejich kompilací dojde k vytvoření standardizovaných bloků programu STEP 7. Analogicky s výše popsaným lze do S7 vkládat i funkce (FC) a funkční bloky (FB), což je využíváno zejména při tvorbě komunikačních bloků, které zajišťují konektivitu se zařízeními jiných výrobců (FESTO, SICK, SCHENK aj.). [1]

2.2 CEMAT

CEMAT je speciálně navržený systém pro cementárenské odvětví. Tento systém je uznáván většinou firem z tohoto odvětví, což má za následek jeho plošné rozšíření do většiny těchto provozů. Druhým důvodem takto masového rozšíření tohoto systému je fakt, že po celou dobu svého vývoje dochází ke spolupráci se světovými špičkami ve výrobě cementu, což má za následek splnění požadavků v prakticky všech provozech tohoto typu na světě. Aktuální verze CEMAT 9 spolupracuje s vývojovým prostředím SIEMENS PCS7, které bylo popsáno v kapitole 2.1. Spojení těchto dvou softwarů dohromady utváří unikátní spojení výrobků Siemens (řídící systémy PLC S7, frekvenční měniče, asynchronní stroje, servomotory, krokové motory, enkodéry a další výkonová či měřící zařízení) s potřebami cementárenského průmyslu. Jelikož je systém CEMAT otevřeným systémem, tak umožňuje potřebné rozšíření pro atypické provozy bez nutnosti opětovného programování základních struktur cementáren. Systém lze tedy libovolně doplnit a rozšířit o potřebné softwarové specifikace, kde požadavků konkrétního zákazníka. Takto postavené řešení je výhodné zejména pro dodavatele řídicích systémů Siemens do cementárenského průmyslu, neboť poskytuje ekonomickou úsporu při tvorbě potřebného softwaru dle požadavků zákazníka. Druhou výhodou je nezpochybnitelné rozšíření HW a SW komponent společnosti Siemens, což vede k zajištění prosperity této společnosti.

[1]

2.2.1 Nejpoužívanější CEMAT moduly

- C_ANNUNC – Modul pro hlášení alarmu, popř. zobrazení stavu signálu
- C_ANNUN8 – Modul zobrazující 7 separátních a 1 společného alarmu
- C_DAMPER – Modul pro řízení, monitoring a vizualizaci klapek
- C_DRV_1D – Modul pro řízení, monitoring a vizualizaci jednosměrných motorů
- C_DRV_2D – Modul pro řízení, monitoring a vizualizaci obousměrných motorů
- C_GROUP – Nadřazený řídicí modul pro zapínání, vypínání a monitoring technologicky seskupených sekcí. Umožňuje také detailní diagnostiku chyb včetně vizualizace stavu v rámci této SW sekce (např. části provozu či výrobní linky (mlýnský okruh, transport, balení, pec, paletizér atp.))

- C_INTERL – Modul SW blokáce zobrazení vkládaný do ostatních modulů

- C_MEASURE – Modul měření využívaný pro SW zpracování analogových dat naměřených rozšiřujícími kartami S7 popř. zobrazení fyzických hodnot. Modul obsahuje běžné funkce pro digitální měření analogových hodnot, kterými jsou např. potlačení špičkových hodnot, limit gradientu nebo monitoring překročení krajních mezí.

- C_PID3 – Modul řízení pohonu skrze PID regulaci doplněný o možnost přepínání mezi 3 sadami nastavených parametrů.

- C_ROUTE – Modul tzv. cesty, který slouží k výběru směrů v rámci modulu skupiny. V rámci zvolené cesty se provede SW blokáce určitých pohonů, čímž je zajištěn bezpečný tok materiálu po zvolené cestě. Toto řešení zamezuje chybě operátora. Tok cesty a dostupné prvky, které lze ovládat v rámci toku materiálu se zobrazí ve vizualizaci. Modul také umožňuje změnu cesty toku materiálu bez nutnosti HW zastavení materiálu.

- C_SELECT – Modul volby lze využít pro jakoukoliv volitelnou funkci. Na rozdíl od předchozího modulu cesty neumožňuje detailní analýzu poruch, avšak je snazší na použití.

- C_VALVE – Modul pro řízení, monitoring a vizualizaci ventilů

2.3 Postup výroby cementu

2.3.1 Těžba surovin

Hlavní surovinou při výrobě cementu je vápenec, jenž je těžen v povrchových dolech, které se nejčastěji nachází hned v blízkosti cementáren. Tvrdá hornina je těžena metodou odstřelů. Takto rozštěpená hornina je odvážena z lomu nakladači, které překládají materiál na pásové dopravníky, popř. nákladními vozidly do drtírny, kde dochází k následnému zmenšení na požadované rozměry. Již při těžbě jsou prováděny prvotní chemické rozbory těžené horniny, aby byla zajištěna maximální kvalita výsledného produktu. [4]

2.3.2 Drcení suroviny

Drcení suroviny probíhá v těsné blízkosti cementárny, popř. již v areálu samotné cementárny. Podle chemických a mechanických vlastností horniny probíhá drcení v odrazových, čelistových nebo kladivových drtičích. Valná většina těchto drtičů umožňuje nastavení velikosti výstupních zrn, popř. materiál putuje přes více drtičů s různým stupněm zrnitosti. Do drtičích soustav jsou velice často přidávány třídící

filtry, které mají za cíl vrácení větších zrn znovu do drtiče tak, aby byl na výstupu vždy materiál požadované zrnitosti. [4]

2.3.3 Předhomogenizace surovinové směsi

Surovina z drtičky je dopravena nejčastěji pásovými dopravníky na předhomogenizační skládku, popř. do surovinového skladu. Hlavním předpokladem pro dosažení kvalitního výstupního produktu (cementu) je nezbytná homogenita vstupní suroviny do výrobního procesu. Vytěžená surovina však obsahuje různé chemické příměsi, v závislosti na místě těžby, které mohou negativně ovlivnit kvalitu během výrobního procesu. Z tohoto důvodu je využito několik stupňů homogenizace suroviny. Prvním takovým je homogenizační skládka, která zároveň slouží jako sklad suroviny. Homogenizace je zajištěna pomocí specifického systému ukládání a odebírání suroviny. Toto lze považovat za první stupeň homogenizace. [4] [5]

2.3.4 Mletí směsi

Mletí je předposledním krokem před vstupem surovinové směsi do pece. Jedná se o nejvýznamnější proces, během kterého je nezbytné zajistit vhodné vlastnosti směsi před vstupem do pece. Během mletí dochází k rozemletí surovinové směsi na moučku, která je vhodná pro výpal v peci. Jemnost této moučky je klíčovou vlastností pro výrobu kvalitního slínku a rychlosti jeho tvorby. Z výše popsaného důvodu v tomto místě dochází k odběru vzorků, které putují do chemické laboratoře na rozborů. [4] [5]

2.3.5 Hlavní homogenizace suroviny

Po rozemletí putuje surovina do tzv. homogenizačního sila a poté do sila zásobovacího. Tato sila se nacházejí bezprostředně před pecí. Zpravidla z nich bývají odebírány vzorky, které jsou porovnávány se vzorky z předchozího kroku (mletí). Na základě těchto chemických rozborů dochází k posledním úpravám suroviny vstupující do pece. [4]

2.3.6 Výpal slínku v peci

Surovina chemicky upravená dle požadavků výrobní receptury nyní putuje ze sila do pece, kde se nachází jeden z nejsložitějších procesů, tj. výpal suroviny a tvorba slínku. Ze sil je dopravována surovinová moučka, která v první řadě vstupuje do výměníku, kde se přehřívá na zvolenou teplotu a zároveň dochází k její částečné dekarbonizaci. V rámci dnešních moderních trendů je mezi výměník a samotnou pec vložen tzv. kalcinátor, který má za cíl zvýšení výkonu a efektivity samotné pece. Moučka se pálí až na mez slinutí a vznikají tzv. slínkové minerály. Tento proces probíhá při teplotách okolo 1400°C. Cementárenské pece mohou být různých typů, avšak nejčastěji se používá pec rotační. Jedná se o rotující ocelový válec s mírným sklonem 3–7° ve směru toku suroviny. Vložka pece je ze žáruvzdorného materiálu, aby nedošlo k poškození samotné pece při vypalovacích teplotách. Rotační pece jsou zpravidla vyráběny o průměru

3-8 metrů a o délce 50-130 metrů. Pro ohřev pece jsou využívána fosilní paliva, zpravidla zemní plyn, popř. uhlí. V dnešní době je však kladen tlak na ekologický provoz i v této oblasti, proto jsou do modernizovaných závodů instalovány kotle na spalování zbytků komunálního odpadu, rozřezaných pneumatik, kostní moučky nebo použitých olejů. Důvodem tohoto řešení je využití odpadního tepla, které by nebylo využito v případě spálení odpadu v konvenčních spalovnách. Požadavky na ekologické normy však zůstávají stejně přísné jako u klasických spaloven odpadu. [6]

2.3.7 Chlazení slínku

Slínek vystupující z pece je rozehrátý na vysokou teplotu a je nezbytné jeho zchlazení, aby bylo možné jeho využití v následných výrobních procesech. Slínek po opuštění pece vstupuje do chladičů, kde probíhá jeho chlazení. Chlazení probíhá velice zprudka, což má za cíl stabilizace v peci vytvořených umělých slínkových minerálů. Tímto procesem vzniká tzv. portlandský slínek. [4]

2.3.8 Uskladnění slínku

Slínek se po své stabilizaci a zchlazení v chladičích analogicky jako primární surovina skladuje ve velkoprostorových silech. V těchto silech dochází k uložení a zároveň druhotnému vychladnutí slínku. [4]

2.3.9 Mletí cementu

Po vychladnutí a následném odležení je portlandský slínek mlet společně s přísadami (čistý sádrovec, popílek nebo struska), aby bylo dosaženo potřebné chemické a mechanické kvality výstupní suroviny. Klíčovým faktorem je jemnost umletí, protože jemnější cementy vykazují vyšší výslednou pevnost. Nejčastěji používanými mlýny na mletí jsou tzv. kulové mlýny. Jedná se o duté otáčející se válce okolo vodorovné osy. V útrokách samotného mlýna se nacházejí železné koule, které jsou vynášeny vzhůru pomocí odstředivé síly, odkud padají po dosáhnutí určité výšky zpět dolů. Na konci mlýna vystupující surovina prochází ještě třídičem, který dovolí opustit mlýn jen surovině s požadovanou jemností. Větší zrna, která nesplňují požadovanou jemnost, jsou vracena zpět do mlýna na opakované mletí, než dojde k jejich umletí na požadovanou hodnotu. Výstup z cementového mlýna je častým místem odběru vzorků pro chemické a mechanické testování. V rámci této kontroly je ověřováno požadované chemické složení a kvalita umletí na granulometru. [4]

2.3.10 Uskladnění a expedice

Namletý cement je pásovými dopravníky přepravován do jednotlivých cementových sil, kde je uložen pro následnou expedici. Z cementových sil jsou periodicky odebírány vzorky, aby byla zajištěna maximální požadovaná kvalita expedovaného zboží. Samotná expedice je nejčastěji provedena v podobě cisternových vlaků, které postupně popojíždějí pod silem, až dojde k jejich požadovanému naplnění. Druhou nejčastější variantou expedice jsou autocisterny,

kteře najíždějí pod sila a jsou plněny analogicky jako železniční vagóny. Posledním druhem expedice je balení do cementových pytlů a jejich expedice pomocí konvenčních kamionů či nákladních vozidel. Tato expedice není standardem pro všechny cementárny, protože je nezbytné rozšíření výroby o pytlovací a paletovací linku. [4]

3 Aplikace v mlýnici Přerov

3.1 Popis mlýnice a její účel

Linka je konstruována pro poloautomatický režim provozu, čímž je myšlena součinnost stavového automatu PLC SIMENS S7-410E s lidskou činností samotného operátora, který musí pro správný chod linky ovládat jednotlivé manuální klapky a šoupátkové uzávěry. Tyto manuální uzávěry mají do PLC zaveden maximálně signál koncového spínače, který udává polohu otevřeno/zavřeno, avšak takovýto manuální uzávěr nelze automaticky ovládat skrze PLC, ani nelze snímat procentuální polohu otevření příslušné uzávěry. Tyto funkce jsou tak vloženy přímo do rukou obsluhy samotné linky, která musí být patřičně zaškolená. Důvodem tohoto atypického provozu je samotné určení linky, která je používána jako školní, tj. slouží pro zaškolení nových operátorů, před jejich zařazením do ostrého provozu na velkých mlýnských provozech. Druhým účelem linky je testování samotných složení výsledného umletého materiálu na základě dílčích hardwarových úprav samotné mlecí linky, což vede k optimalizaci nejen výrobních procesů mletí, ale i optimalizaci tvorby nových linek a finanční úspoře při jejich stavbě.

Z výše uvedeného popisu je patrné, že nejen provoz ale i konstrukce samotné linky je odlišná od klasického mlecího okruhu, kterým jsou vybaveny dnešní cementárny. Experimentální cvičná mlýnice je rozdělena do dvou hlavních mlýnských úseků a tří doplňkových drtičů, které jsou na sobě částečně nezávislé. Takovéto uspořádání cementové mlýnice je krajně netypické a je na míru uzpůsobeno potřebám testovacího provozu.

3.1.1 Hlavní mlýnský okruh KTM 360

KTM 360 je součástí produktové řady PSP Engineering vertikálních mlýnů KTM. Tyto mlýny se vyznačují zejména svou vysokou účinností mletí díky nízké spotřebě elektrické energie. Samotný mlýn je složen z mlecí komory, která slouží k drcení materiálu mezi mlecí mísou a čtyřmi běhouny a integrovaného dynamického třídíče, který kontroluje požadovanou jemnost výstupního materiálu. Vertikální mlýnice má využití v aplikacích s malým instalačním prostorem, jelikož díky své konstrukci jsou velice kompaktní, a zároveň s požadavkem zákazníka na vysokou jemnost výstupního materiálu. Tyto mlýny jsou univerzální a lze je aplikovat do širokého pásma průmyslových odvětví např.

v cementárenském a vápenářském, chemickém, energetickém, sklářském, hutním nebo i potravinářském.

Pro značení řady KTM je určující průměr mlecí mlýny. KTM 360 aplikovaný v rámci tohoto projektu má průměr mlecí mísy 360 mm, což odpovídá jeho katalogovému označení, viz tabulka 2.

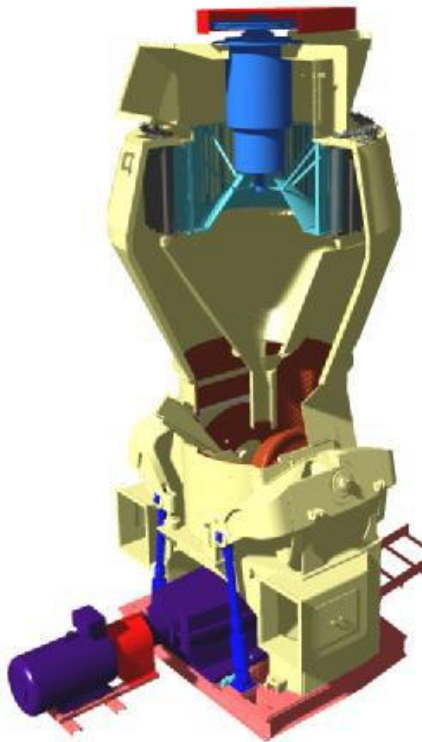
typ	A	B	C	H	a1	a2
KTM	mm	mm	mm	mm	mm	mm
360	640	880	712	2165	880	-
800	1580	1630	1725	4350	2075	1925
1 000	1940	2150	2050	5050	2450	2985
1 200	2030	2300	1846	6510	2495	3165
1 400	2200	2760	2175	6720	3050	3550
1 600	2500	3100	2500	7610	3135	3700
1 800	2860	3400	2750	8750	3550	3810
2 000	3720	4050	3200	9810	4585	6405

Tabulka 1 - Hlavní rozměry mlýnů KTM [7]

velikost	průměr mlecí mísy	průměr/šířka mlecích běhounů	počet mlecích běhounů	otáčky mlecí mísy	výkon mlýna	množství vzduchu	instalovaný příkon mlýna/třídíče	hmotnost mlýna
KTM	mm	mm	ks	ot/min	t/h	m ³ /h	kW	kg
360	360	238/84	2	140	0,8*	2 000	7,5/1,5	1 500
800	800	560/200	2	92	4,7*	12 000	35/3	8 500
1 000	1 000	715/250	2	76	7,6*	20 000	55/7,5	17 500
1 200	1 200	825/269	2	58	10,5*	28 000	110/15	25 000
1 400	1 400	920/310	2	52	18*	48 000	200/15	34 000
1 600	1 600	1 046/362	2	46	28*	70 000	315/15	48 000
1 800	1 800	1 216/404	2	41	38*	100 000	375/30	69 000
2 000	2 000	1 315/460	2	37	50*	140 000	500/30	98 200

Tabulka 2 - Hlavní technické parametry mlýnů KTM [7]

Otáčky mlecí mísy KTM 360 dosahují 142 ot/min, otáčky třídíče jsou pak plynule nastavitelné. Instalovaný příkon tohoto stroje je 7.5 kW pro samotný elektromotor mlýna a následně 1.5kW pro třídíč materiálu. Výkonnost tohoto mlýna dosahuje 0,2-1 tuny materiálu za hodinu a je závislá na fyzikálních vlastnostech mletého materiálu, který musí být rovnoměrně podáván na střed mlecí mísy, aby docházelo k rovnoměrnému rozhrnování pod oba běhouny. Pro správný chod a zajištění maximální výkonnosti je nezbytné dosažení skluzu s rovnoměrným tokem podávaného materiálu. Celková hmotnost činí 1500 kg, délka 1150 mm, šířka 1470 mm a výška 1548 mm, z čehož je patrné, že se jedná o menší mlýn. [7]



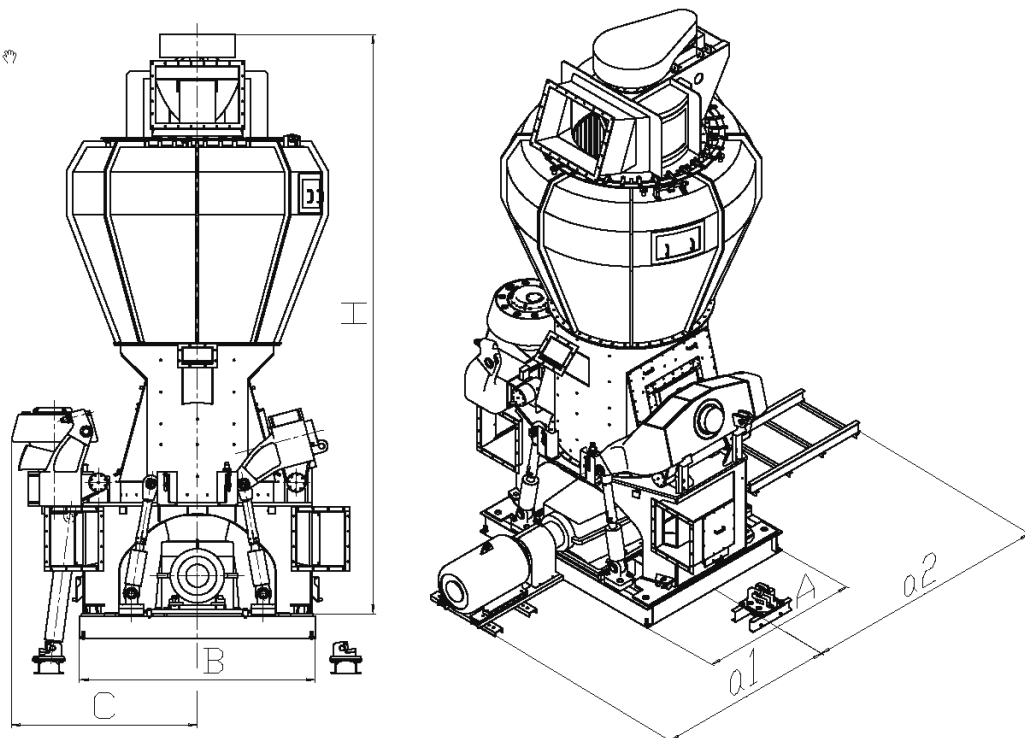
Obrázek 2 - 3D model mlýna KTM [7]

Pro správný chod mlýna je nezbytný chod pneumatického okruhu, který zajišťuje odtaž prachu během mletí a brání tak ucpání samotného mlýna. Do KTM 360 je nezbytné zajistit dodávku 2000 m³/h vzduchu za hodinu a tlaková ztráta v rámci mlýna dosahuje 150-350 Pa. Hlavní ventilátor generuje tlak 600 Pa. Konstrukční řešení mlýna umožňuje vstupní vzduch o teplotě až 400 °C a výstupní vzduch o teplotě 90 °C. Druhým nezbytným požadavkem na bezproblémový chod mlýna je zajištění správného přitlaku kuželových mlecích běhounů. Tohoto přitlaku lze docílit hydropneumatickým systémem, popř. pružinovou soustavou. V rámci projektu Experimentální mlýnice Přerov je využit hydropneumatický systém ovládaný čerpadlem přitlaku a soustavou ventilů ovládaných z PLC systému. Vhodnou kombinací obou zmíněných faktorů lze dosáhnout optimální hodnoty mlecího procesu, neboť materiál postupující od středu mlecí mísy pod běhouny je rozemílán a po jejím obvodu přepadává na tzv. zadržovací kruh, kde dochází k jeho nasátí proudem vzduchu z pneumatického okruhu, který je nasáván ze spodního dílu skrze lopatkový věnec vzhůru do zužující se mlecí komory třídíče. Třídíč následně vrací hrubší zrna zpět do mlecí mísy, zrna požadované hrubosti propadávají do spodní výstupní části mlýna skrze cyklony, popř. filtry a nejmenější materiál je odváděn skrze odprašovací systém. Celý systém pracuje v podtlakovém režimu a lze jej prohlásit za prakticky bezprašný. [7]

3.1.1.1 KTM 360 v rámci experimentální linky

Hlavní mlýnský okruh se skládá z hlavního kotoučového mlýnu KTM 360 včetně jeho elektrických, mechanických a hydraulických částí, svého předřadného turniketového podavače, který dávkuje vstupní materiál do mlýna a zajišťuje tak spád toku materiálu pro optimální mlecí účinnost a kvalitu. Nadále mlýnský okruh obsahuje komponenty společné pro zbytek linky, do kterých patří dopravníkové systémy, korečkový elevátor, odprašovací a filtrační systém, separátor a síla s materiálem.

Mlýn KTM 360 je osazen pěti pohony. Pohony s těžkým rozběhem, kterými jsou hlavní pohon mlecí mísy a pohon ventilátoru odtahu a chlazení jsou ovládány skrze SIEMENS SIMOCODE, který zajišťuje nejen ovládání, ale i bezpečnostní prvky pohonu, zejména pak přetížení. U pohonu třidiče je nezbytné udržování konstantních otáček pro správný chod mlýna. Z tohoto důvodu je tento pohon ovládán pomocí frekvenčního měniče. Zbylé pohony sloužící pro domazávání a přítlak, který zajišťuje čerpadlo, jsou spínány tradiční metodou skrze třífázový stykač.



Obrázek 3 - 3D náčrt mlýna řady KTM [7]

Po směru toku materiálu hlavní mlýnský okruh obsahuje následující součásti. V první řadě dochází k sypání materiálu z hlavního zásobníkového síla, které je umístěno v horní části linky. Za pomoci gravitace padá materiál dolů do pomocného vstupního turniketu, který zajišťuje plynulý chod a usměrnění toku materiálu před vstupem do samotného mlýna KTM 360. Za turniketem následuje výše popsaný mlýn KTM 360, který rozemele materiál na požadovanou hrubost

zrna. Z tohoto místa vedou již zmíněné dvě trasy materiálu. Vedlejší trasou materiálu je myšlen odtah menších částic pomocí vzduchotechniky směrem do filtru za pomoci externího ventilátoru. Hlavním trasou materiálu vede za pomoci gravitace na šnekový dopravník nacházející se pod mlýnem. Tento dopravník sbírá materiál z hlavního mlýna KTM 360 a premillu PM 370 a transportuje jej do vybraných odkladových nádob skrze ruční šoupátkové uzávěry nacházející se pod ním. Druhou cestou materiálu je tzv. „vratka“, kdy materiál putuje na další mlecí cyklus. Ten je zajištěn korečkovým elevátorem, který vyzdvihne materiál nahoru. Následně dochází k padání materiálu skrze šnekové dopravníky a případně může materiál procházet skrze vzduchový separátor VTP 300, kde je separován zbytkový prach z mletí. Tento separátor je umístěn mezi šnekový dopravník bezprostředně za elevátorem a šnekový dopravník nad mlýny KTM 360 a PM 370. Z tohoto šnekového dopravníku je možný tok materiálu do obou výše zmíněných mlýnů. V tomto případě pro dokončení „vratky“ putuje materiál skrze podávací turniket do hlavního mlýna KTM 360. Po ukončení potřebných cyklů je materiál skrze šnekový dopravník pod mlýny vysypán do příslušné odkladové nádoby.

3.1.1.1.1 Vzduchový okruh KTM 360

Jedná se o nepostradatelnou součást kotoučového mlýna KTM 360, jehož srdcem je ventilátor chlazení ovládaný skrze SIEMENS SIMOCODE z důvodu těžkého rozběhu. Součástí systému jsou dva šoupátkové ruční ventily před mlýnem KTM 360, které umožňují vstup chladícího vzduchu do mlýnského okruhu. Tento vzduch funguje jako chladící médium a odvádí přebytečné teplo vzniklé během mlecího procesu společně s jemnými prachovými částicemi. Aby nedošlo k poškození mlýna přehřátím z důvodu ucpání chladícího okruhu, je mlýn osazen teplotním čidlem PT 100, jehož analogová hodnota je přenášena do řídicího systému a zobrazována operátorovi. Druhým indikátorem zanesení chladícího systému je tahová diference. Jedná se o vypočtenou hodnotu z dvou osazených tlakových čidel, přičemž jedno je osazeno na vstupní a druhé na výstupní straně mlýna. Na základě výsledné diferenční hodnoty dochází k regulaci výkonu ventilátoru a případnému odstavení mlýnského okruhu.

3.1.1.1.2 Hydropohon mlecí mísy KTM 360

Hydropohon mlecí mísy je hlavním a zároveň největším pohonem celého mlýna KTM 360. Skládá se z elektrického čerpadla o výkonu 18.5 kW, které soustavou tlakových hadic napájí samotný hydromotor, který přenáší mechanický výkon na rotační pohyb v rámci mlecí mísy. Případné uzavření toku oběhové kapaliny zajišťuje hlavní ovládací ventil MY01. Pro zajištění bezporuchového chodu jsou kontrolovány následující veličiny. Teplota v nádrži hydraulického oleje, jejíž horní limitní hodnota je zavedena do řídicího systému jako kritická podmínka pro vypnutí celého pohonu. Druhou veličinou je binární signál limitní nízké hladiny v nádrži oleje, přičemž se nejedná o plovákové analogové měření, tudíž nemá operátor

k dispozici přesnou hodnotu hladiny v rámci vizualizace. Tato binární hodnota je opět zavedena jako kritická podmínka do systému. Poslední snímanou binární hodnotou je tlaková diference na olejové filtru, který se nachází před vstupem oleje zpět do akumulární nádrže. Tato hodnota upozorňuje na zanesení filtru. V rámci hydropohonového systému je do systému zavedena hodnota otáček mlecí mísy skrze měřicí převodník, jelikož tyto otáčky nelze snímat průmyslově běžnou metodou v rámci frekvenčního měniče případně ze SIMOCODE, jelikož mechanický hydropohon není roztáčen elektricky, ale skrze hydraulický olej poháněný v rámci systému elektrickým čerpadlem.

3.1.1.1.3 Systém mazání KTM 360

Mazání běhounů mlýnu KTM 360 je zajištěno třífázovým domazávacím čerpadlem o výkonu 0,07 kW, které zajišťuje distribuci mazacího oleje do šesti mazacích bodů.

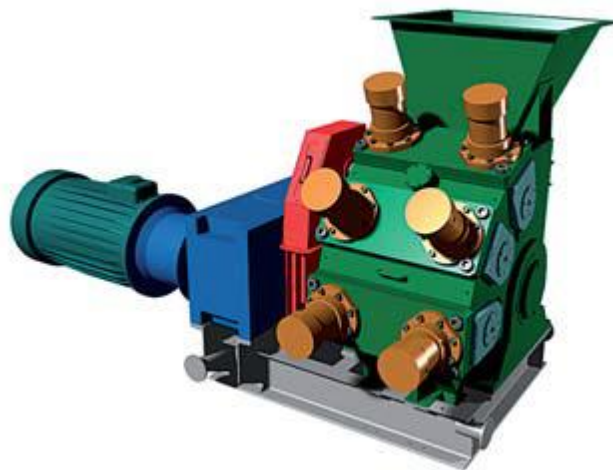
3.1.1.1.4 Hydraulický systém přítlaku KTM 360

Primárním prvkem přítlačného hydraulického systému je třífázové čerpadlo o výkonu 2,2 kW pohánějící hydraulickou kapalinu do dvou ventilů. Ventily MY02 a MY03 slouží pro sevření případně rozevření přítlačných kuželových běhounů.

3.1.2 Premill PM370

Druhým z dvou hlavních mlýnů umožňujících tzv. „vratku“ je Premill PM 370. Jedná se o horizontální kulový mlýn o jmenovitém výkonu 15 kW schopný rozdrtit materiál na hrubost zrna 0–4 mm s výkonností až 1,6 t/h zpracovaného materiálu. Tento střednětlaký mlýn je schopný rozdrtit křemíkaté materiály až do 8. stupně Mohsovy stupnice tvrdosti. Tento stupeň je druhým nejvyšším hned za diamantem a korundem a odpovídá svou tvrdostí topazu. Díky těmto vlastnostem je PM 370 vhodný pro mletí keramických materiálů, cementové suroviny, strusky, slínku, křemenného písku, vápna, vápence, bentonitu nebo např. skleněných střepek. Horizontální mlýn premill může pracovat samostatně jakou součást výrobní linky (případ tohoto projektu) v součinnosti se vzduchovým separátorem nebo mechanickým filtrem. Jelikož je přítlak mlecích válců relativně nízký, tak při mletí nedochází k tvorbě pevných odpadních látek, tudíž není nezbytné využití dezintegrátorů před zahájením samotného procesu separace. [8]

PM 370 spadá díky výše popsaným vlastnostem do tzv. skupiny Premill. Tento název skupiny mlýnů je odvozen od jejich účelu použití. Díky své nízké spotřebě elektrické energie je tento typ mlýnu vhodný k tzv. předmletí suroviny, před vstupem do samotného mlýna s jemnou hrubostí zrna výstupního materiálu.



Obrázek 4 - 3D Model Premillu PM 370 [8]

3.1.2.1 Premill PM 370 v rámci experimentální linky

Premill PM 370 je v rámci experimentální linky zařazen do druhého okruhu umožňujícího vratku. Materiál v této smyčce začíná svou cestu v jednom ze čtyř hlavních skladovacích sil, z něhož následně pokračuje do násypky nad šnekovým dopravníkem. Oproti hlavnímu mlýnu KTM 360 je zde usměrnění toku materiálu prováděno pomocí výše zmíněného šnekového dopravníku s předřadnou násypkou, zatímco u KTM 360 je pro usměrnění materiálu používán turniketový podavač. Analogicky k turniketu KTM 360 je i podávací šnekový dopravník premillu PM 370 vybaven řízením skrze frekvenční měnič z důvodu zajištění přesnosti dávkování. Materiál po průchodu dávkovacím šnekem již vstupuje do samotného premillu, který je vybaven celkem šesti motory. Prvním pohonem je již zmíněný motor šnekového podavače. Samotný premill obsahuje dvě domazávací čerpadla o výkonu 0.75 kW, jedno čerpadlo hydraulického přítlaku o výkonu 1.5 kW a 2 hlavní pohony. První motor slouží pro zajištění ovládní prvního přítlačného válce a druhý hlavní motor je samotným primárním pohonem premillu zajišťujícího rotační pohyb.

3.1.2.1.1 Hydraulický systém přítlaku PM 370

Hydraulický systém je poháněn výše zmíněným čerpadlem, které zajišťuje nezbytný tlak, potřebný k provozu hydraulické soustavy ovládající polohu všech tří přítlačných válců. Každý z válců je možné nastavovat nezávisle na ostatních, dle potřeby pro optimalizaci mlecího procesu. Čerpadlo pohání hydraulickou kapalinu z nádrže o objemu 44 dm³ skrze soustavu sedmi ventilů. První ventil slouží v prvotní fázi po startu mlýna, kdy dochází k jeho otevření, případnému zapnutí výhřevu kapaliny a čerpadlo slouží jako cirkulační k zajištění homogenity hydraulického oleje. V rámci tohoto okruhu se olej vrací skrze první ventil a filtr zpět do nádrže. Teplota v nádrži je hlídána teplotním čidlem, jehož hodnota je zavedena do řídicího systému, ve kterém je primárně hlídána horní hranice teploty, neboť při jejím překročení by docházelo k degradaci oleje a ztrátě jeho mechanických vlastností. V rámci nádrže je nadále hlídána minimální hladina

oleje v nádrži, aby nedošlo ke spuštění čerpadla na prázdno a k jeho možnému poškození. Po dosažení příslušných hodnot oleje v systému je hlavní ventil MY01 uzavřen a pro regulaci válců dochází k otevření požadovaného ventilu. Každý z válců je ovládán soustavou dvou ventilů, kde každý z nich umožňuje chod válce jedním směrem, tj. přiblížení nebo oddálení k centrálnímu středovému rotačnímu válci. Mlýn obsahuje celkem 3 přítlačné válce, z čehož je zřejmé, že jejich pohyb je zajištěn 6 ventily a společně s průtokovým ventilem tvoří hydraulickou soustavu přítlaku tohoto mlýna celkem 7 ventilů. Každý z válců má svá čidla polohy, která zobrazují procentuální polohu „otevření“ operátorovi v rámci vizualizace řídicího systému. Z důvodu různého přítlaku na jednotlivých opěrných válcích jsou do systému zavedena tři čidla tlaku hydraulického oleje, každé pro jeden válec.

3.1.2.1.2 Systém mazání ložisek PM 370

Mazání ložisek mlýna PM 370 je zajištěno zcela nezávislým hydraulickým okruhem. Tento okruh je vybaven nádrží o objemu 20 dm³ a olej z něj je poháněn dvěma čerpadly o výkonu 0,75 kW a jmenovitých otáčkách 1450 ot./min. Primárním důvodem oddělení tohoto hydraulického okruhu od okruhu hydraulického přítlaku je rozdílný maximální pracovní tlak, který je v tomto okruhu přibližně 6x menší a rozdílná úroveň filtrace cirkulujícího oleje. Analogicky k prvnímu systému je zde instalováno měření teploty a minimální hladiny v nádrži, aby nedošlo k poškození čerpadel při chodu naprázdno a zároveň byly zajištěny požadované vlastnosti mazacího oleje. Jelikož se jedná o mazací systém, tak je zde hlídána hodnota minimálního průtoku pomocí průtokového čidla SF01, neboť při nedostatečném průtoku mazacího oleje by došlo k zadření ložisek mlýna a k jeho nenávratnému poškození. Analogová hodnota tlaku každého z ventilů přítlačného hydraulického systému je snímána skrze čidlo a zavedena do řídicího systému včetně vizualizace. Operátor má tak možnost vidět tlak na každém ze šesti instalovaných ventilů. Teploty mazacího oleje jsou taktéž zavedeny do systému a zobrazeny operátorovi, avšak zde dochází k redukci sledování ze šesti na tři měřící body, neboť teplota již není měřena v místě každého z ventilů, ale na samotných ložiscích rotorů (přítlačných válců).

V rámci řídicího systému je automatické ovládání uzpůsobeno zcela autonomnímu chodu, čímž je myšlen požadavek na start mlýnu PM 370, při kterém dochází k ověření všech limitních podmínek pro bezpečný start celé soustavy PM 370 (hladiny materiálu v násypce, tlaky, teploty a průtok olejů v jednotlivých hydraulických systémech atp.) a to včetně hlídání toku materiálu, tj. v automatickém režimu nelze spustit PM 370, aniž by nebyla zajištěna doprava zpracovaného materiálu, v tomto případě je nezbytné spuštění šneku nacházejícího se pod premillem.

3.1.3 Drtiče

Experimentální mlecí linka zpracovávaná v této práci je nad rámec běžného provozu osazena třemi různými drtiči. Prvním z drtičů je válcový drtič DVZ, který je určen k drcení škváry z teplárenských a elektrárenských kotlů a lze jej přizpůsobit pro suché i mokré drcení. Druhým z drtičů je kladivový drtič s válci KDV sloužící k drcení vlhkých a lepivých materiálů, zejména pak s vysokým obsahem jílu. Tento drtič je primárně konstruován pro drcení uhlí, lignitu, zahliněného vápence, surového kaolinu, jílovitého sádrovce, cihlářských a keramických surovin nebo např. bauxitu. Třetím a zároveň posledním z drtičů je vertikální odrazový drtič ODV, který je navržen k předdrcení finálních frakcí vedoucí ke zvýšení podílu kubických zrn. Drtiče jsou syceny materiálem pomocí pásového dopravníku, kterým je materiál dopravován z hlavního třídíče VTP 300. Žádný z drtičů neumožňuje tok materiálu zpět do systému skrze korečkový elevátor a zpracovaný materiál tak putuje do zásobníkových nádob uložených pod jednotlivými drtiči.

3.1.3.1 Válcový drtič DVZ

Drtiče řady DVZ jsou zubové válcové drtiče a vyrábí se v několika výkonových a velikostních provedeních podle potřeby koncového zákazníka s výkonem hlavního elektrického pohonu 11-37 kW a maximální zpracovatelností materiálu 23–55 t/h. Jedná se o tři výkonové řady DVZ 18, instalovaný na experimentální lince, DVZ 30 a DVZ 50. [9]

typ	rozměr vstupního otvoru	stavební výška	max. vstup	výkon	el. motor
	mm	mm	mm	t/h	kW
DVZ 18	600x760	870	400	0-23	11
DVZ 30	600x1004	870	400	0-38	22-30
DVZ 50	600x1500	870	500	0-55	30-37
	mm	mm	mm	t/h	kW
DVR 10	410x698	638	50*	0-12	2x9,2
DVR 18	410x996	638	50*	0-22	2x15

Tabulka 3 - Technické parametry drtičů řady DVZ a DVR[9]

Tyto drtiče jsou konstrukčně určeny pro drcení vstupního materiálu o velikosti 25-60 mm. Ústrojí drtiče je tvořeno dvěma ozubenými válci, které se otáčejí proti sobě a mezi nimi dochází k drcení materiálu, viz obrázek 5. Proti vniknutí nedrtitelného předmětu je drtič chráněn ochranou proti přetížení, která zajistí včasné vypnutí. Drtiče DVZ se vyrábějí v provedení jednosměrných, popř. na přání zákazníka je možné instalovat pohonné ústrojí s reverzací. Tato varianta je primárně určena při případném zahlcení drtiče, takže obsluha má možnost zapnutí krátkodobého zpětného chodu, kterým drtič uvolní od usazeného materiálu.



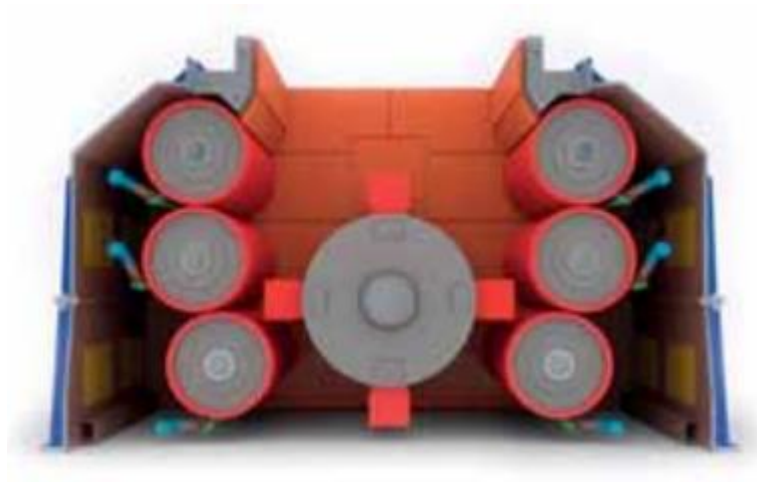
Obrázek 5 - Řez drtičem DVZ [9]

3.1.3.2 Kladivový drtič s válci KDV

Kladivový drtič je analogicky k válcovému drtiči vyráběn v několika výkonostních spektrech a jeho nejmenší varianta KDV 0606 je osazena v rámci experimentální mlýnice. K hlavní přednosti tohoto mlýnu patří vysoká provozní spolehlivost, nízké provozní a údržbové náklady, vysoký provozní výkon v kombinaci s odolností proti zalepení drtícího ústrojí. Výstupní zrnitost se pohybuje v rozsahu 30–40 mm. Drtící ústrojí je tvořeno kladivovým rotorem a skupinou otáčejících se válců, které zabraňují nalepování materiálu v drtiči. Drtící ústrojí je vyobrazeno na obrázku 6. Válce během provozu rotují a proti usazování nečistot na jejich povrchu jsou čištěny škrabáky. Drtiče KDV se vyrábějí v reverzním uspořádání, takže je možné dočasně obrátit směr toku materiálu v případě nežádoucího stavu drtiče, např. zahlcení materiálem, ucpání atp. Tyto drtiče lze také vybavit automatickým mazacím systémem, ten však není v rámci experimentální linky instalován. [10]

typ	rozměr vstupního otvoru	max. vstup		výkon*	el. motor
	mm	m ³	mm	t/h	kW
KDV 0606	670x630	0,03	500	90-150	55-75
KDV 1010	1030x995	0,05	500	230-380	100-200
KDV 1013	1030x1265	0,05	600	300-500	250-400
KDV 1313	1260x1245	0,06	800	550-900	315-500
KDV 1318	1260x1750	0,06	800	750-1250	400-630
KDV 1616	1650x1620	0,1	900	1000-2000	500-1000
KDV 1622	1650x2200	0,1	1000	1300-2500	800-1200

Tabulka 4 - Výkonové řady drtičů KDV [10]



Obrázek 6 - Řez drtičem řady KDV [10]

3.1.3.3 Vertikální odrazový drtič ODV 500

Drtiče ODV jsou konstruovány k předdrcení finálních frakcí s cílem zvýšení podílu kubických zrn v produktu. Pro toto je použit systém drcení kámen-kov (ODV-M a ODV-SM). Dalším účelem těchto drtičů je pouhé zvýšení kubických zrn, kterého je docíleno drcením kámen-kámen (ODV-M). Tyto drtiče jsou vhodné pro drcení středně tvrdých až velmi tvrdých materiálů. K jejich hlavním přednostem patří vysoká spolehlivost, nízké provozní náklady, nenáročná a levná údržba, snadný přístup do drtícího prostoru díky odklopnému víku a drtící komponenty pokryté vysoce otěruvzdornými materiály. V rámci drtící linky je osazen opět nejmenší z řady odrazových drtičů. Výkonový rozsah a kapacita zpracovaného materiálu je znázorněna v tabulce 5. [11]

Type	Max. peripheral speed of the rotor	Max. inlet piece (undersize on the square mesh)	Capacity	El. motor
	m/s	mm	t/h	kW
ODV 05S/SM	80	32	10-50	37-55
ODV 08M	75	50	50-140	90-160
ODV 08S/SM				
ODV 10M	75	70	100-200	110-200
ODV 10S/SM				
ODV 12M	70	70	150-350	200-315
ODV 12S/SM				

Tabulka 5 - Výkonové řady drtičů ODV [11]

Ústrojí drtiče je vyrobeno z vysoce otěruvzdorných materiálů, čímž je zajištěna jeho dlouhá životnost v kombinaci s omezením kontaktu drceného materiálu se zbytkem mlýna pomocí zesíleného pancéřování proti odrazům materiálu.



Obrázek 7 - Porovnání řezů drtiče ODV-S a ODV-M [11]

3.2 Elektro projekt a HW řešení

3.2.1 Stávající systém a důvody pro jeho nahrazení

Dosavadní systém je založen na automatizačním systému Allen-Bradley v čele s centrálou SLC 5/03 CPU. Primárním důvodem náhrady tohoto systému je nemožnost uspokojení požadavků zákazníka na moderní řídicí systém včetně přípravy podpory sběru dat do MES (manufacturing execution systems) systému v rámci digitalizace kladené jako součást průmyslu 4.0. Druhým nezanedbatelným aspektem je zvyšující se cena a klesající dostupnost náhradních dílů dosavadního řídicího systému, což v případě poruchy činí nežádoucí náklady a v kritickém případě i zastavení linky, což může mít za následek vysoké finanční stránky ze strany provozovatele. Stávající systém obsahuje již zmíněnou centrálu SLC 5/03 CPU v komunikačním rozvaděči (dále DT), rozšířenou o vstupní a výstupní karty, a jednu periferní stanici (IM station) pro sběr vstupů a výstupů jako součást silového rozvaděče (dále RM, popř. MCC). Komunikace mezi těmito zařízeními je zajištěna sériovou komunikací. Data vyhodnocená řídicím systémem jsou přenášena na lokální ovládací stanici v podobě průmyslového PC, které využívá obsluha k ovládání a monitoringu linky.

3.2.2 Nový řídicí systém a jeho výhody

Nový řídicí systém je na přání zákazníka navržen v prostředí SIEMENS PCS 7. Tento systém umožňuje propojení s výše popsáním systémem CEMAT speciálně vyvinutým pro cementářské odvětví. Využití systému CEMAT je vzhledem k zaměření experimentální linky více než návodné. Jelikož je v rámci modernizace kladen důraz na minimalizaci finančních nákladů, tak budou maximálně využity stávající kabely a v případě potřeby budou doplněny instalované kabelové trasy o nezbytné nové spoje.

Srdcem nového řídicího systému je procesorová centrála S7-410E z řady S7-400. Řada S7-400 tvoří pomyslný vrchol v rámci katalogové nabídky společnosti SIEMENS a umožňuje nasazení systému PCS 7, což je primární důvod použití v rámci této aplikace. Nový systém vybaven dvěma periferními IM stanicemi ET 200SP. Jedna bude osazena v silovém RM (MCC) rozvaděči a druhá

v komunikačním DT rozvaděči, kde nahradí rozšiřující vstupní a výstupní karty přidružené na původní PLC. Toto řešení je zvoleno z důvodu minimalizace finančních nákladů, neboť cena procesorové základny IM stanice ET 200SP včetně rozšiřovacích karet je nižší než samotné karty pro centrály typu S7-400. Do topologie sítě bude zařazeno nové průmyslové PC, které bude sloužit obsluze k monitoringu a ovládání linky. Na průmyslovém PC poběží lokální SIMATIC WinCC server, který umožní běh vizualizačního prostředí WinCC pro ovládání a monitoring linky. Tento systém lze dokoupením licenčních klíčů rozšířit a do budoucna jej využít pro zavedení hodnot do MES systému. Komunikace mezi periferiemi ET 200SP a centrálou S7-410E bude zajištěna sítí PROFINET.

Součástí rekonstrukce je výměna původních frekvenčních měničů jednotlivých pohonů za nové měniče od společnosti SIEMENS a jejich maximální jednotnost z důvodu snížení nákladů na údržbu a nezbytnosti držení skladových zásob náhradních dílů. Pro pohony s těžkým rozběhem (korečkový elevátor, ventilátor a vysoce výkonné pohony) bude využit SIEMENS SIMOCODE.

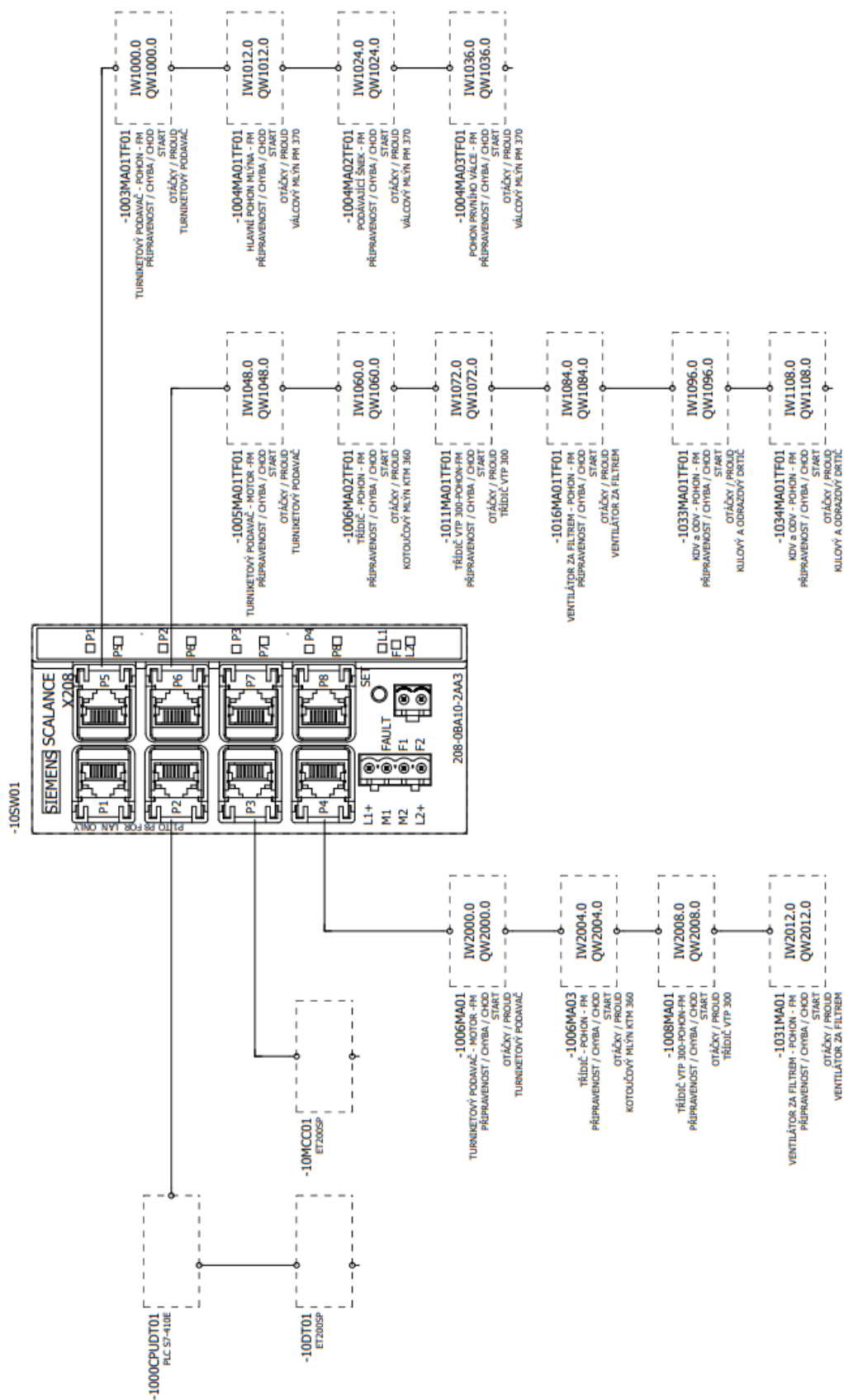
3.2.3 Síť PROFINET

Síť PROFINET je moderní náhradou původní průmyslové SIEMENS sítě PROFIBUS. PROFINET je vybudován na základech průmyslového ethernetu a je hojně využíván jako moderní standard v rámci řídicích systémů průmyslové automatizace. Typickým využitím této sítě je propojení PLC (IO-Controllers) s IM stanicemi (IO-Devices), propojení s frekvenčními měniči, HMI (Human machine interface) panely a dalšími zařízeními jako např. enkodéry a další. PROFINET je založen na moderních standardech a pracuje s TCP/IP protokoly. Přenosová rychlost činí 100 Mbit/s, avšak oproti klasickému ethernetu je nezbytná kontrola vytížení sítě. Pro bezproblémový chod je nezbytné zajistit maximálně 30 % zatíženost sítě PROFINET.

PROFINET umožňuje hojně rozšířené standardy topologie sítě, tj. tvorbu kruhových, liniových, hvězdicových a dalších síťových struktur. Hardwarovým základem sítě je ethernet type 6. Tato stíněná varianta je doplněna o bytelnější konektory, které musí vydržet ztížené podmínky průmyslového prostředí tak, aby byl zajištěn bezproblémový provoz veškerých zařízení, a to v dlouhodobém horizontu. V krajním případě se jedná i o desítky let provozu.

Projekt experimentální mlýnice obsahuje již více zmíněné jedno PLC, tudíž zde není vytvořena vazba MASTER-SLAVE mezi více PLC. Součástí sítě experimentální linky je jedno PLC řady S7-400, dvě IM ET 200SP, deset frekvenčních měničů řady SINAMICS G120C, čtyři SIRIUS Monitor SIMOCODE Pro V a jeden osmiportový switch SIEMENS SCALANCE X208. Topologie sítě je znázorněna na obrázku 8. V rámci topologie je využito možnosti více portů na zařízení, např. na PLC, frekvenčních měničích či SIMOCODECH. Takovéto řešení poskytuje možnost propojení všech potřebných zařízení (pohonů, IM atp.)

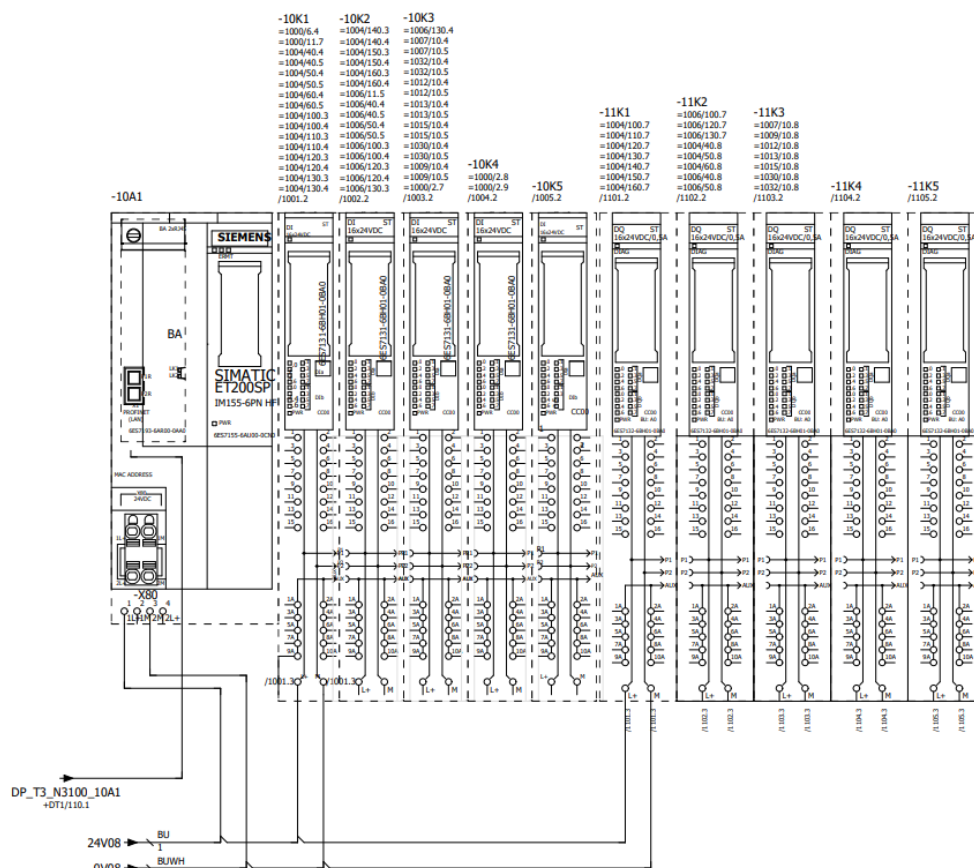
bez nutnosti souběhu více PROFINET kabelů. Toto řešení je zejména patrné na frekvenčních měničích a SIMOCODECH. Druhou nespornou výhodou je úspora portů switche, díky čemuž je možné využít levnější řadu switche s menším počtem portů. Pro porovnání osmiportový switch osazený v rámci linky vs. sedmnáct teoreticky obsazených portů, pakliže by nebylo možné řetězení sítě. Frekvenční měniče jsou v rámci sítě rozděleny do dvou větvích na switchi (port P5 a port P6), aby byla zajištěna maximální průchodnost sítě a nevznikaly tak datově přetížené oblasti. Analogicky jsou řetězeny SIMOCODY na portu 4, či PLC s IM na portu 2.



Obrázek 8 - Topologie sítě PROFINET

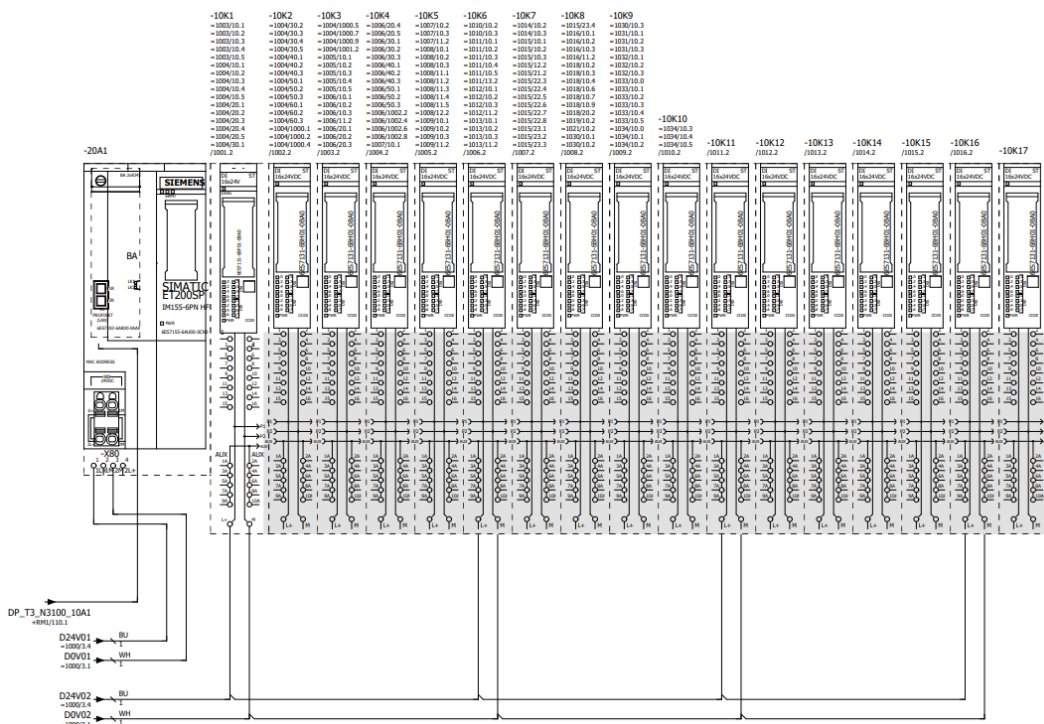
3.2.4 Elektrické zapojení řídicího systému

Aktivní řídicí prvky ovládacího systému, tj. PLC S7-400 a IM ET200SP, které jsou napájeny stejnosměrným napětím o hladině 24 V. Silový rozvaděč obsahuje menší ze dvou sestav ET 200SP. Tato sestava (dále ET 200SP RM) je hlavní procesorovou jednotkou se dvěma komunikačními porty sítě PROFINET. Pro připojení čidel, a dalších akčních členů je využito pět vstupních rozšiřovacích karet 6ES7131-6BH01-0BA0 (DI 16x24VDC – 16 digitálních vstupů) a pět výstupních rozšiřovacích karet 6ES7132-6BH00-0BA0 (DQ 16x24VDC/0,5A – 16 digitálních výstupů). Karty jsou osazeny do základních jednotek (base unit). V rámci sestavy jsou využity dva typy těchto základních jednotek. Obě jednotky jsou vybaveny tzv. AUX rozhraním. Toto rozhraní obsahuje 10 pinů, na které lze přivést požadovanou hladinu napětí až do maxima 24 VDC. Napájení karet je zajištěno skrze první base unit 6ES7193-6BP20-0DA0. Tento typ jednotky je na spodní hraně vybaven dvěma napájecími svorkami. Následná distribuce napětí mezi kartami je zajištěna pomocí vnitřní sběrnice, a to včetně AUX pole. Druhou využitou base unit je 6ES7193-6BP20-0BA0. Jedná se opět o základní jednotku s 10 AUX porty, které jsou tzv. průběžné, tzn., dochází k přenosu AUX potenciálu mezi jednotlivými základními jednotkami. Průběh potenciálu je znázorněn na obrázku 9. Potenciál na AUX pole je přiveden jedním z deseti pinů na první jednotce dotyčného pole.

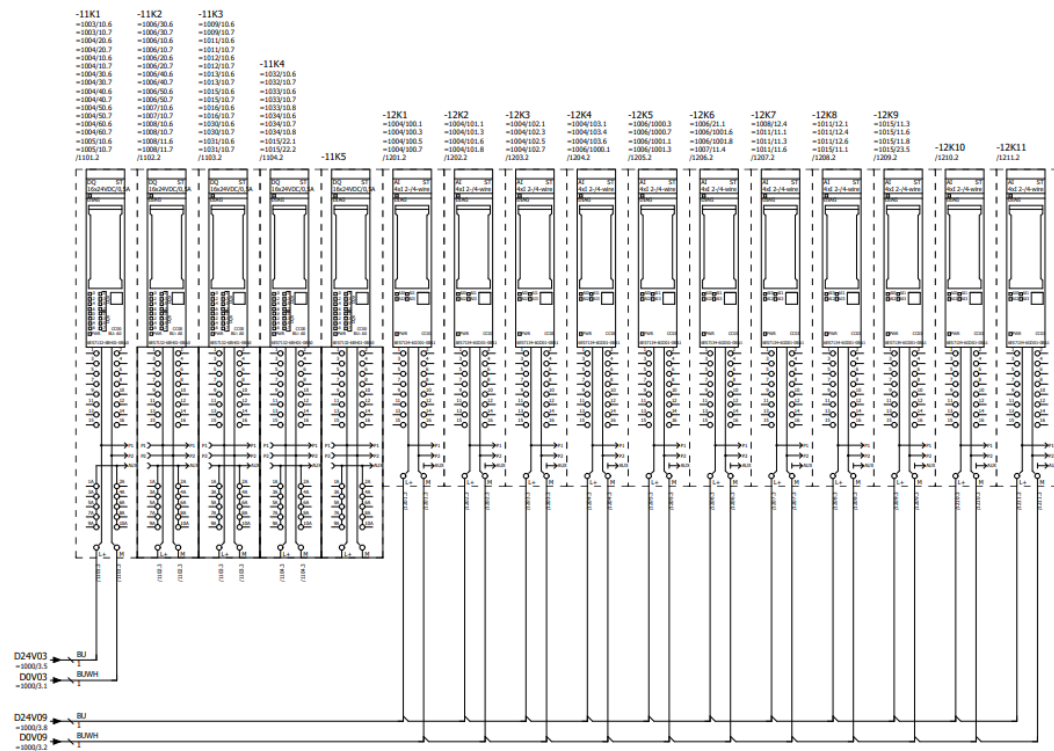


Obrázek 9 - Topologie sestavy ET 200SP RM

Analogickým způsobem zapojení je řešena distribuovaná periferie IM ET 200SP DT, která se nachází v komunikačním rozvaděči. Tato sestava je oproti ET 200SP RM značně složitější a namísto 10 rozšiřovacích karet je osazena 33 rozšiřovacími kartami. Sedmáct z nich tvoří karty digitálních vstupů popsaných v ET 200SP RM. Tyto karty jsou osazeny na dvou již zmíněných základních jednotkách a jsou rozděleny do čtyř potenciálových skupin maximálně po 5 kartách. Tímto je zajištěn dostatečný napájecí výkon tak, aby nedošlo k poklesu napětí a případným poruchám či chybám během provozu. Druhou částí této sestavy jsou šestnácti pinové výstupní karty DQ 16x24VDC/0,5A. Tyto karty jsou instalovány v rámci jedné potenciálové skupiny, která je napájena skrze první základní jednotku této výstupní řady. Potenciál AUX portů je společný pro všechny karty a je přiveden skrze jeden z pinů prvního AUX pole a dále je distribuován interní vestavěnou sběrnicí. Poslední součástí sestavy je tvořena analogovými vstupními kartami 6ES7134-6GD01-0BA1, které jsou osazeny na základních jednotkách 6ES193-6BP00-0DA0. Tyto analogové karty umožňují dvojí zapojení. Prvním z nich je zapojení v dvoudrátovém režimu a druhé v režimu čtyř drátovém. Výběr režimu záleží na připojeném čidle. Topologie sestavy ET 200SP DT je vyobrazena na obrázcích 10 a 11.

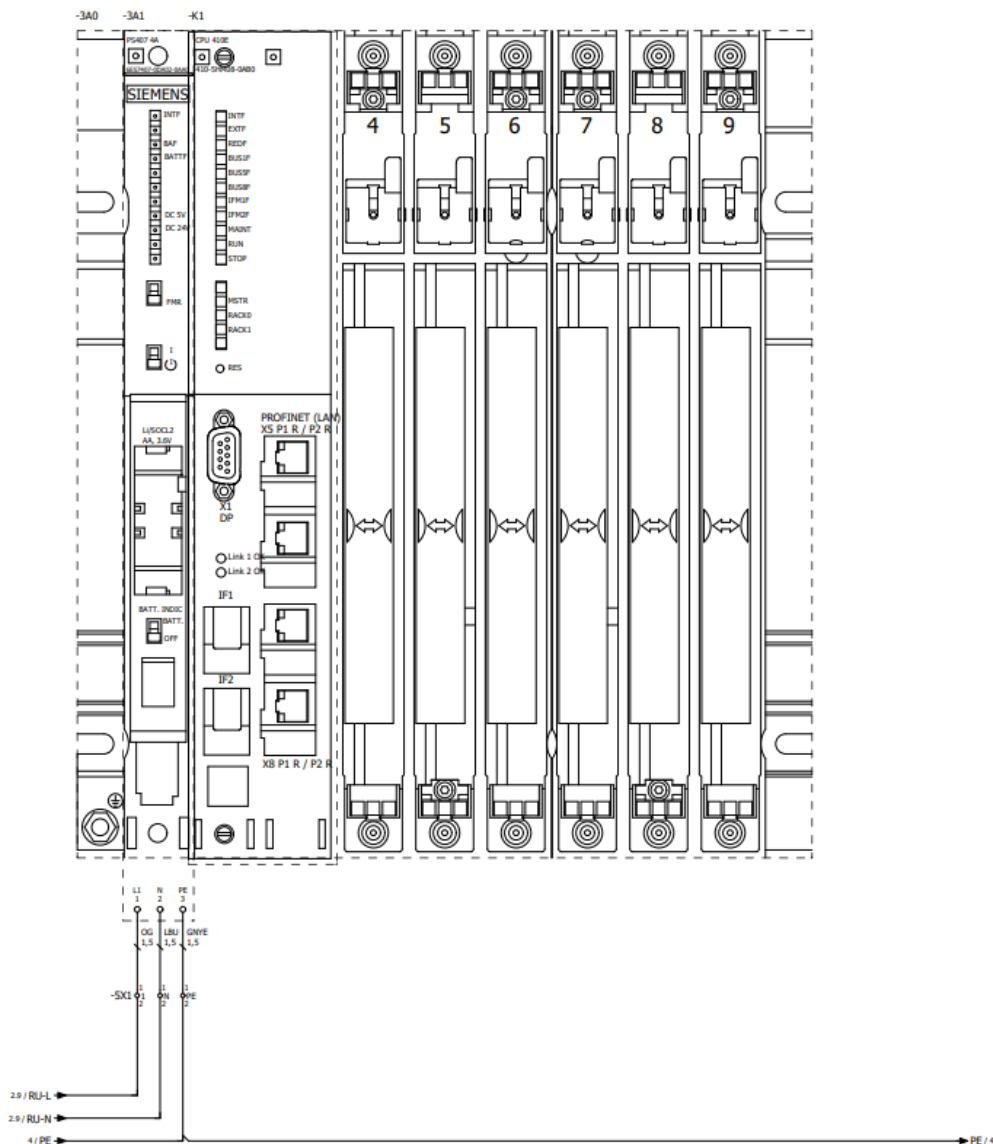


Obrázek 10 - První část sestavy ET 200SP DT



Obrázek 11 - Druhá část sestavy ET 200SP DT

Sestava samotné PLC stanice obsahuje napájecí zdroj PS407 4A (power supply) dimenzovaný do maximálního výkonu 4A. Tento zdroj je napájen jednofázovým střídavým přívodem o jmenovitém napětí 230 V přivedeným z UPS. Vnitřní struktura zdroje obsahujícího usměrňovač zajišťuje požadované napájecí napětí 24 V DC pro samotnou centrálu S7-410E. Toto napájení je ze zdroje zajištěno pomocí interní sběrnice analogické k vnitřní sběrnici base unit instalovaných v periferních stanicích ET 200SP. Na obrázku 12 je vyobrazena hardwarová konfigurace PLC sestavy, ze které jsou patrné volné sloty připravené pro instalaci rozšiřovacích karet. Tyto sloty jsou neobsazeny z již dříve zmíněných ekonomických důvodů a jsou nahrazeny jednotkou ET 200SP DT oproti stávajícímu řídicímu systému.

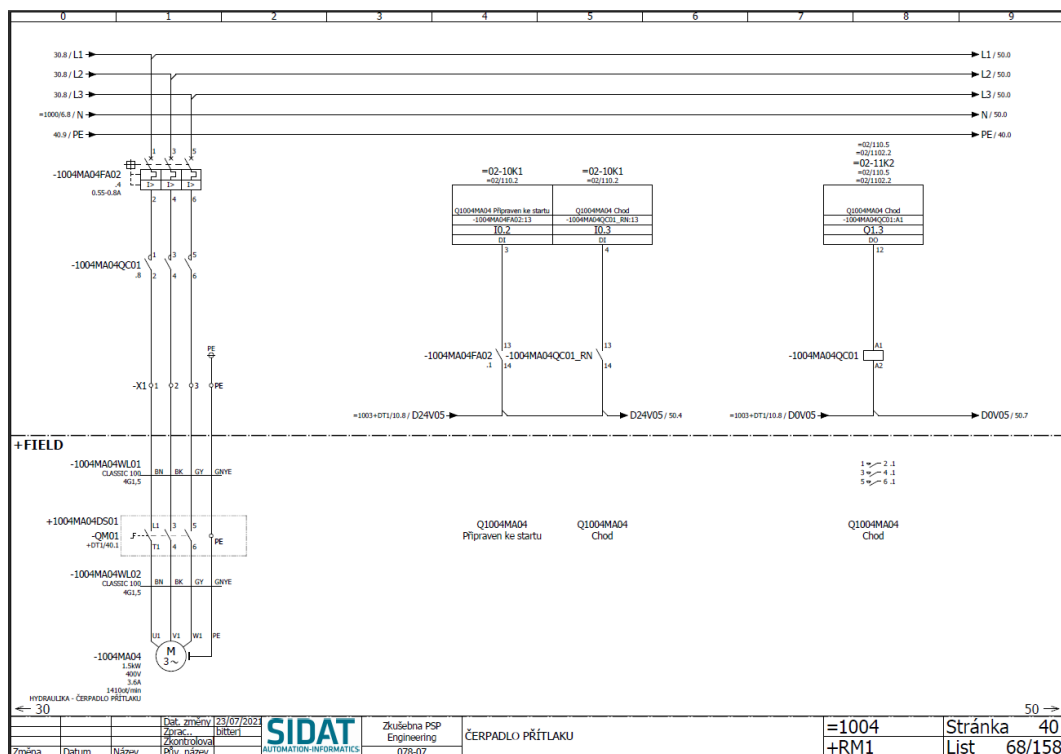


Obrázek 12 - Sestava PLC S7-410E

3.2.4.1 Připojení komponent do ET 200SP

Do silové periferie ET 200SP RM jsou primárně připojeny prvky týkající se ovládání silových prvků pohonů. Typickým příkladem jsou pomocné kontakty stykačů, relé a motorových spouštěčů, které jsou zapojeny do vstupních digitálních karet. Na jeden pin vstupní karty připadá jeden pomocný kontakt disponující svou unikátní adresou v rámci řídicího systému, např. adresa I0.3 je obsazena pomocným kontaktem stykače pohonu čerpadla přítlaku na premillu PM 370 signalizující chod dotyčného pohonu. Druhá strana kontaktu, která není připojena na vstupní kartu, je připojena na svorkovnici s příslušnou potenciálovou skupinou 24 V DC. Analogicky jsou osazeny digitální výstupní karty. Každý pin obsahuje unikátní adresu v rámci softwaru a je na něj připojen maximálně jeden prvek. Např. na výstupní adresu Q1.3 je připojena cívka stykače 1004MA04QC01 ovládajícího čerpadlo přítlaku 1004MA04 na premillu PM 370. Hlavním rozdílem při zapojení výstupní karty oproti kartě vstupní je zapojení druhé strany

připojeného prvku, který je místo potenciálu 24 V DC připojen na příslušnou skupinu nulového napětí. Toto zapojení je patrné na obrázku 13.



Obrázek 13 - Zapojení silové části čerpadla 1004MA04

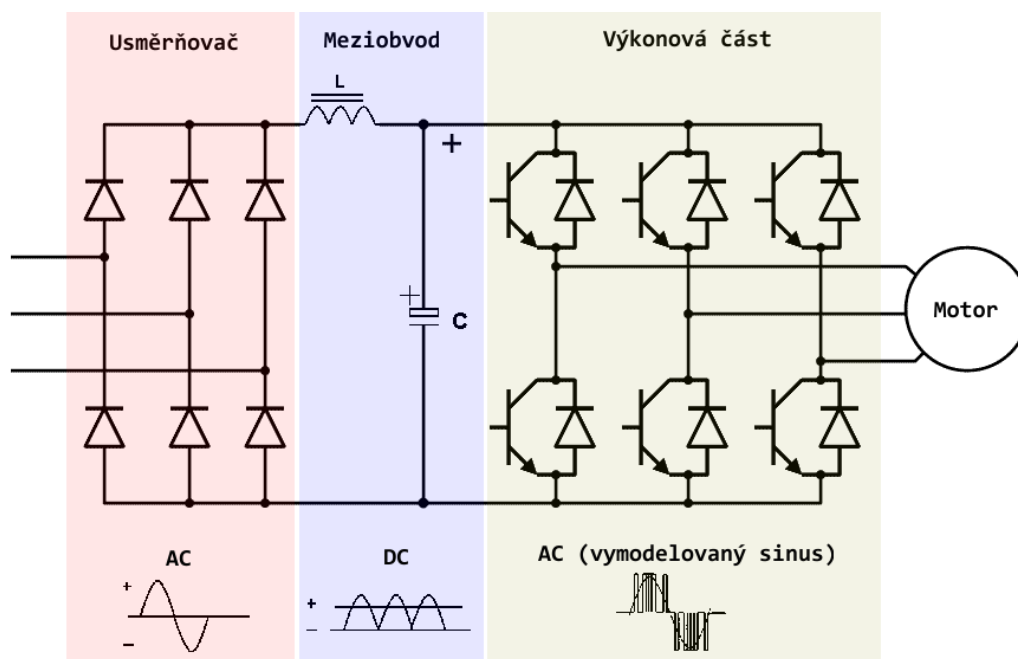
Do sestavy umístěné v komunikačním rozvaděči jsou připojeny tzv. deblokační skříňky (DS), které slouží obsluze k lokálnímu ovládní jednotlivých součástí např. hlavní pohon premillu PM 370. Všechny tyto deblokační skříňky jsou vybaveny následujícími ovládacími prvky: místní vypínač, START, STOP, tlačítko pro zvýšení rychlosti pohonu a tlačítko pro snížení rychlosti pohonu. Dále jsou deblokační skříňky osazeny soustavou LED signalizujících aktivaci lokálního ovládní a kontrolku chodu v jednom a v případě obousměrného pohonu i ve druhém směru otáčení. Další skupinou připojenou do sestavy ET 200SP DT jsou analogová čidla měřící teplotu, nejčastěji PT 100, tlak, průtok, elektrické spotřeby, otáček, popř. hladiny nebo polohy. Jak již bylo zmíněno výše, tak analogová čidla jsou podle potřeby připojeny buď dvoudrátově, nebo čtyř drátově a jejich hodnoty jsou zobrazeny operátorovi na hlavní ovládací obrazovce vizualizace SCADA systému WinCC.

3.2.5 Frekvenční měniče SIEMENS

Pohony v rámci experimentální linky jsou spouštěny třemi hlavními způsoby. Prvním je přímý rozběh pomocí motorového spouštěče a stykače. Druhým typem rozběhu je využití systému SIMOCODE popsaného v další kapitole. Posledním typem rozběhu a řízení je využití frekvenčního měniče.

Frekvenční měnič je zařízení na změnu střídavého proudu určité frekvence na střídavý proud frekvence jiné. Měnič se skládá ze tří základních částí.

První část je tvořena usměrňovačem v podobě řízeného nebo neřízeného můstku, kterým je střídavý proud usměrněn do stejnosměrného meziobvodu. Ten tvoří druhou část měniče. Meziobvod je zpravidla tvořen cívkou a kondenzátorem pro vyhlazení proudu a napětí v meziobvodu. K meziobvodu může být připojen brzdňý odpor pro maření přebytečné elektrické energie během deceleračního stavu pohonu. Za meziobvodem následuje poslední ze tří výkonových částí měniče, kterou je výkonový střídač. Střídač je zpravidla sestaven soustavou IGBT tranzistorů se zpětnými diodami, jehož cílem je generování třífázového střídavého napětí o požadované frekvenci. Schéma základního frekvenčního měniče je znázorněno na obrázku 14.



Obrázek 14 - Schéma zapojení frekvenčního měniče [12]

Primárním důvodem nasazení frekvenčních měničů je požadavek na plynulou regulaci rychlosti dotyčného pohonu. V porovnání s dříve používanými odporovými rozběhy, kdy docházelo k postupnému vyřazování odporové dekadý během zrychlování pohonu, mají frekvenční měniče nespornou výhodu vyšší účinnosti a plynulejšího rozběhu pomocí uživatelem definované rozběhové rampy, takže jsou zcela eliminovány proudové rázy v motoru. Tyto rázy jsou nejvíce patrné při dříve používaném přímém připojení na síť. Hlavní nevýhodou frekvenčního měniče je jeho složitost, zejména pak řídicí výpočetní části obsahující procesor, komunikační prostředí, ovládací panel a další prvky. Procesor je určen ke zpracování stavových signálů interních komponent měniče, kterými jsou usměrňovač, meziobvod a střídač a ovlivňuje řídicí signály střídače a případně i usměrňovače v závislosti na jeho konstrukci. Výstup může být z procesoru řízen skalárně pro jednodušší aplikace nebo vektorově. Do řídicí smyčky procesoru je zpravidla zavedena zpětná vazba otáček, popř. polohy. Procesor obsluhuje i další prvky frekvenčního měniče, kterými jsou autonomní regulace pomocí PID

regulátoru, analogové a digitální vstupy a výstupy nebo měření různých veličin pohonu. Moderní frekvenční měniče jsou vybaveny ochranou proti přetížení, aby nedošlo k jejich poškození.

V oblasti vysokých výkonů (řádově MW) je možné využití tzv. přímých měničů, které nejsou vybaveny stejnosměrným meziobvodem. Tyto měniče se využívají zejména pro řízení pomaloběžných motorů, neboť při napájení ze sítě o frekvenci 50 Hz tyto měniče dosahují na výstupu frekvence okolo 30 Hz. Opakem těchto měničů je provoz speciálně upravených měničů v režimu vyšší frekvence, než je běžná výstupní. V tomto specifickém režimu dochází ke zvýšení otáček pohonu na úkor snížení jeho hnacího momentu. Tato aplikace je vhodná pro pohony s menší dynamickou odezvou a je nezbytné uvažovat dimenzování měniče i pohonu na tuto vyšší frekvenci tak, aby nedošlo k jejich poškození vlivem poháněné zátěže.

3.2.5.1 Frekvenční měniče G120C

G120C jsou frekvenční měniče vyráběné společností SIEMENS AG. Jedná se o řadu nízkonapěťových střídavých měničů vyrábějících se ve výkonovém rozpětí od 0.55 kW do 132 kW. Řada G120C je tzv. „compact“ verzí měničů řady G120, oproti kterým se liší ve velikosti, funkcionalitách řízení pohonu a zejména pak v pořizovacích nákladech. Řada G120 oproti G120C umožňuje vyšší variabilitu v rámci samotné konfigurace, neboť pro řadu G120 je nezbytné dokoupit příslušný „power module“ (napájecí modul) a řídicí jednotku. Napájecí modul následně podle výběru umožňuje nebo neumožňuje rekuperovanou energii navrátit do sítě. Řídicí jednotku lze pro řadu G120 zvolit v provedení s instalovanou „safety“ specifikací či bez ní. Řídicí jednotka v provedení „safety“ je příplatkovou řadou splňující přísné normované požadavky na bezpečnostní chod ve specifických provozech. Jelikož měniče G120C nedisponují touto variabilitou jako řada G120, tak je nezbytné dbát na jejich správné dimenzování před instalací u koncového zákazníka. V případě změny jeho požadavků by bylo nezbytné vyměnit celý frekvenční měnič, což je ekonomicky nevýhodné. Řada G120C je tedy vhodným adeptem pro stálé pevné instalace, u kterých není předpokládána častá změna požadavků na samotný měnič.

Frekvenční měniče G120C jsou dodávány v sedmi velikostních pouzdrech, do kterých je vložena příslušná elektronika podle požadavků zákazníka, např. vybavenost brzdícím odporem, tlumící cívkou, kompenzací jalového výkonu a další. Navzdory své nižší ceně umožňují měniče compact řady řízení v nízkofrekvenční oblasti, čímž dosahují vyšší provozní účinnosti snížením ztrát. Další výhodou jejich použití je možnost vektorového řízení, které není samozřejmostí u měničů této cenové kategorie. Další nespornou výhodou je již v základu instalované certifikované vypnutí „Safe Torque Off“, tj. vypnutí v případě momentového přetížení, takže není nutná instalace dalších komponent, které by postihovaly tuto bezpečnostní funkci. Měniče G120C umožňují běžné

komunikační standardy, kterými jsou PROFINET, Ethernet/IP, PROFIBUS nebo USS/Modbus RTU.

Řada měničů G120C je oblíbená zejména díky své uživatelské přívětivosti během jejich prvotního nastavení. Toto nastavení je možné provádět několika různými způsoby. Základní nastavení lze provést bez nutnosti využití připojení programovacího PC pomocí přípojného operátorského panelu. Tento panel se připojuje na čelní stranu měniče a nemusí být vždy osazen. Tyto panely se vyrábí ve dvou provedeních, Basic operator panel BOP-2 a Intelligent operator panel IOP-2. Pokud není od zákazníka výslovný požadavek na instalaci inteligentních operátorských panelů, tak je běžnou praxí osadit měnič základním panelem, jehož cena je podstatně nižší než u inteligentní verze. V případě, že je zákazníkem kladen důraz na minimální cenu instalace, tak lze v případě instalace více měničů jednoho do jednoho rozvaděče instalovat operátorský panel na jeden, popř. na určité množství z osazených měničů. Na těchto panelech se obsluhuje zobrazí i příslušná chybová hláška v případě poruchy. Přendáním panelů mezi měniči lze takto provést základní diagnostiku všech měničů. Porovnání panelů je vyobrazeno na obrázku 15, kde je na levé straně základní panel BOP-2 s dvouřádkovým černobílým displejem a na straně pravé inteligentní panel IOP-2 s barevným displejem.

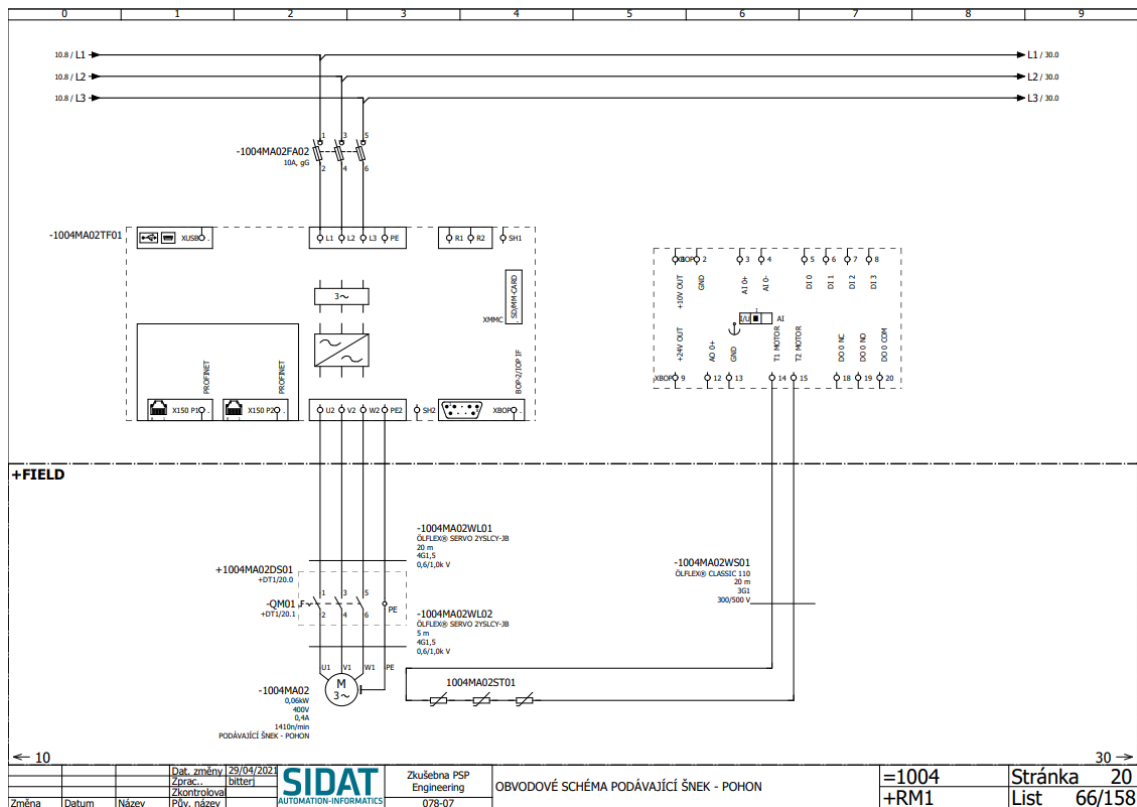


Obrázek 15 - Porovnání operátorských panelů měniče G120C [13]

Pokročilé nastavování měničů je zajištěno prostřednictvím externího programátorského PC, které je k měniči připojeno zpravidla sítí PROFINET. Alternativně lze využít PROFIBUS konektor. V rámci PC lze nastavení popsána

níže provádět skrze dva základní programy od společnosti SIEMENS. Prvním a zároveň starším z nich je SIEMENS STARTER. Tento program se specializuje výhradně na nastavování pohonů společnosti SIEMENS, kterými jsou frekvenční AC měniče, DC měniče, servo kontroléry a další. V rámci standardizace a sjednocení většiny softwarových řešení od společnosti SIEMENS byl vyvinut TIA portál (Totally Integrated Automation Portal). Do tohoto programu je začleněné vývojové prostředí pro PLC S7-300, S7-1200 a S7-1500 a to včetně hardwarového katalogu pro tvorbu hardwarových sestav potřebných v rámci softwarového řešení. Dalšími prvky implementovaných do tohoto programu je moderní analogie výše zmíněného SIEMENS STARTER, STARTDRIVE, SIEMENS SIMULATOR a mnoho dalšího. Tento komplexní umožňuje programátorovi vytvořit celý projekt od tvorby hardwarové sestavy, řídicího kódu až po parametrizaci jednotlivých pohonů, nastavení komunikačních telegramů a dalších protokolů v rámci komunikační sítě PROFINET/PROFIBUS.

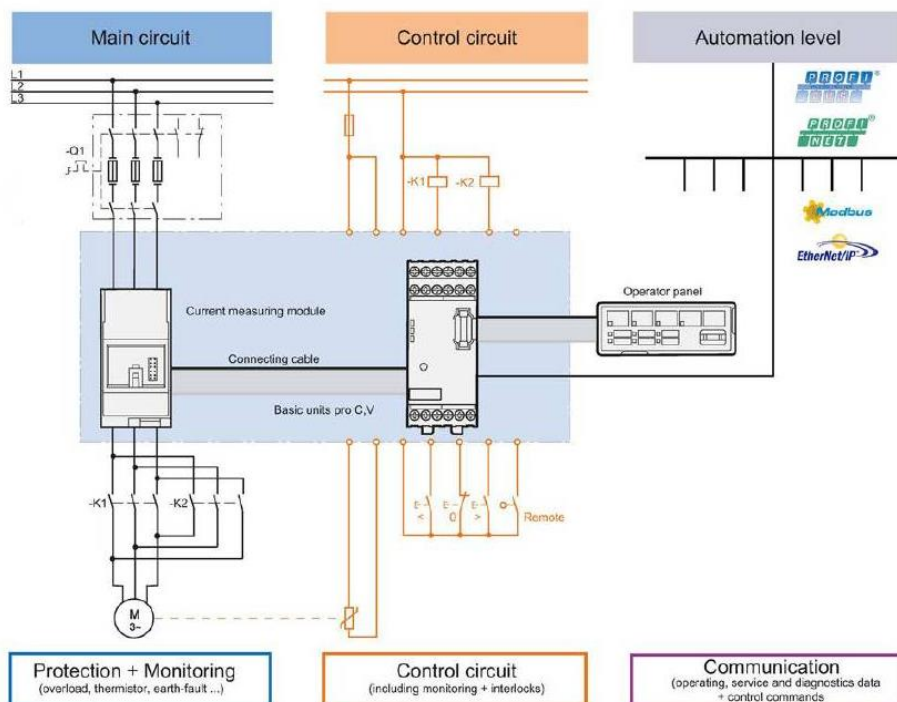
Běžně nastavované parametry frekvenčních měničů G120C jsou v první řadě hardwarové parametry instalovaného pohonu, tj. výkon pohonu, předpokládaná hmotnost instalované zátěže či její doba v podobě zátěžného momentu, komunikační telegram a sestavení stavových slov předávajících informace o stavu měniče a pohonu do PLC (Ready, Feedback OK, Overload atd.). Dále je nezbytné nastavit hardwarovou konfiguraci sestavy, tj. zda je instalován brzdový odpor, mechanická brzda, tlumicí cívka nebo tepelná ochrana motoru. Hardwarové parametry dimenzování pohonu (výkon, vinutí, typ hřídele atp.) jsou řešeny v průběhu elektroprojekce v prostředí SIEMENS SIZER, popř. v nové podobě v SIEMENS TIA SELECTION TOOL, do kterého je prostředí SIZER implementováno, podobně jak je tomu u implementace STARTERU do TIA Portálu. Ukázka zapojení frekvenčního měniče je zobrazena na obrázku XY, na kterém je připojen měnič k podávacímu šneku premillu PM 370, a to včetně jeho tepelné ochrany a jeho deblokační skříňky lokálního ovládní.



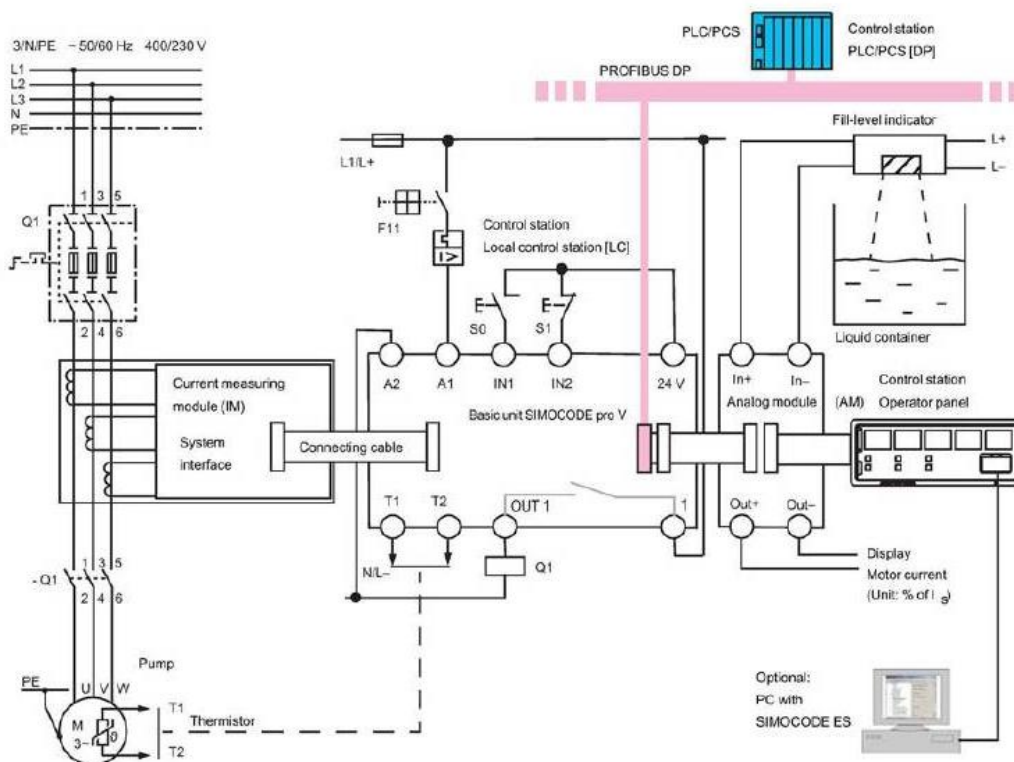
Obrázek 16 - Zapojení frekvenčního měniče podávacího šneku premilly PM 370

3.2.6 SIEMENS SIMOCODE

SIMOCODE je aktivní řídicí prvek od společnosti SIEMENS vhodný pro řízení, ochranu a monitoring stavu pohonů. Na základě těchto vlastností je postaven jeho název. SIMOCODE je zkráceným marketingovým označením pro Siemens Motor Protection and Control Device. SIMOCODE je složen z modulu měřícího proud a základní jednotky. Tyto základní jednotky jsou rozděleny do tří základních variant PRO C, PRO S a PRO V. Základním rozdílem těchto jednotek je jejich výkonnost procesoru, rozšiřitelnost doplňkovými moduly a jejich komunikační rozhraní (PROFIBUS/PROFINET/Modbus). V rámci experimentální mlýnice jsou instalovány pouze SIMOCODE PRO V, které jsou připojeny skrze switch SCALANCE do sítě PROFINET. Aplikace SIMOCODE je vhodná typicky pro cementářenské odvětví, ve kterých je typickým požadavkem hlídání, ochrana a řízení pohonů. Jelikož SIMOCODE umožňuje vyřešení všech tří zmíněných požadavků v jednom zařízení, tak je velice oblíbeným prvkem instalovaným v řídicích systémech tohoto odvětví. Díky modularitě, která je nabízena SIMOCODEM lze flexibilně aplikovat tento systém na většinu pohonů.



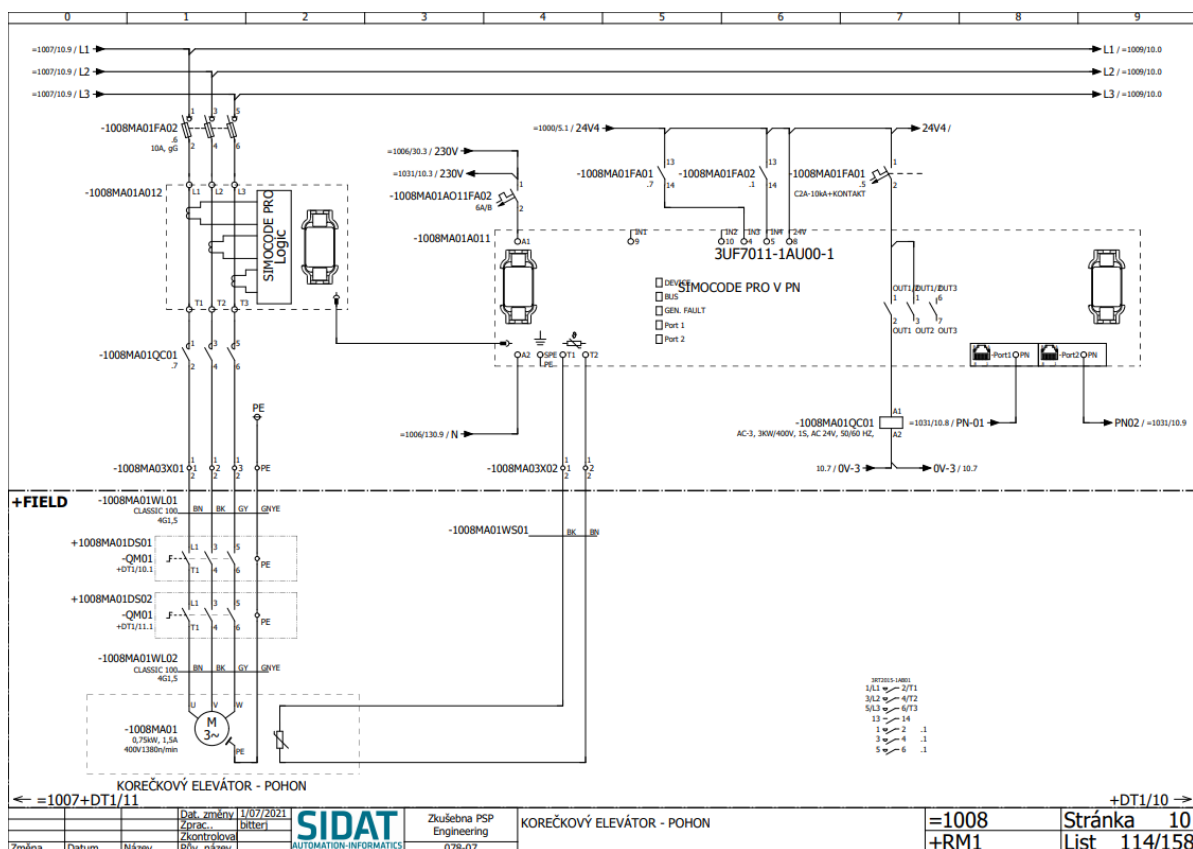
Obrázek 17 - Doporučené zapojení silového obvodu SIMOCODE PRO V [14]



Obrázek 18 - Připojení jednotlivých periferií do SIMOCODE [15]

Na obrázku 18 je vyobrazena vnitřní struktura SIMOCODE PRO. Na levé straně je znázorněna výkonová část SIMOCODE, která je tvořena z hlavního odjištění pohonu, měřícího modulu, stykače a samotného motoru. Měřící modul je spojen se základní výpočetní jednotkou samotného SIMOCODE PRO V pomocí

originálního propojovacího kabelu. Do této základní jednotky jsou připojeny měřící prvky, kterými je nejčastěji tepelná ochrana motoru. SIMOCODE je zde napájen ze sítě 24 V pro komunikační rozhraní a ze sítě 230 V pro hlavní akční členy. SIMOCODE lze následně rozšiřovat o analogové moduly, operátorské panely a další prvky, které však nejsou v rámci experimentální linky využity. Analogový modul je určen na měření analogových hodnot pomocí připojených čidel, např. měření hladiny, tlaku atp. Veškerá zpracovaná data ze základní jednotky jsou přenášena pomocí instalované sítě PROFIBUS/PROFINET do řídicího automatu, kde jsou zanesena do samotného řídicího algoritmu. Na obrázku 19 je zobrazeno zapojení SIMOCODE PRO V PN (PROFINET) v rámci experimentální cementové mlýnice, konkrétně na korečkovém elevátoru sloužícího k vyzdvižení materiálu ze spodního šneku pod mlýny do horního patra k separátoru.



Obrázek 19 - Zapojení SIMOCODE PRO V – korečkový elevátor

3.2.6.1 Nastavení SIMOCODE

Nastavení SIMOCODE probíhá skrze počítač programátora s příslušným softwarovým vybavením. V prvé řadě je nezbytné připojení skrze PG/PC interface neboli připojení programátorského PC do sítě, do které je připojen dotyčný SIMOCODE. V rámci parametrizace je nezbytné nastavení jmenovitých a limitních hodnot podle parametrů připojeného motoru. Dalším krokem je provedení příslušného propojení funkčních bloků v rámci řídicího systému, pro správný chod

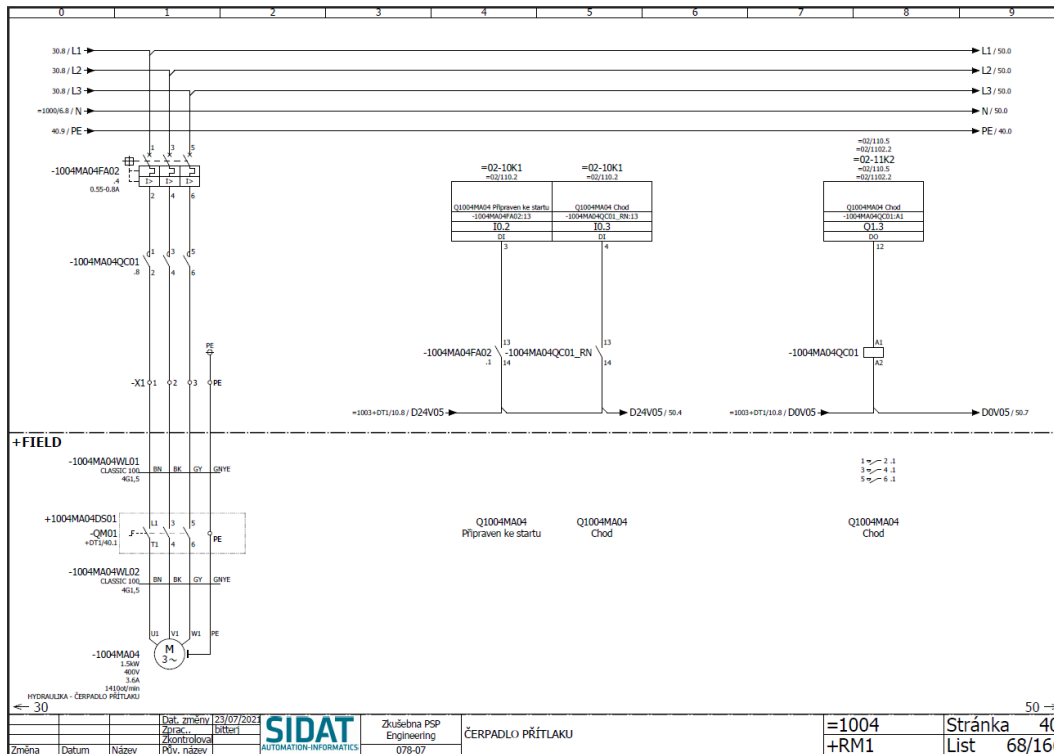
dotyčného motoru (nastavení reverzace, brzdy, teplotní ochrany atp.). Tato nastavení probíhají v systému STARTER, popř. TIA Portál.

3.2.7 Pohony spouštěné skrze motorové spouštěče

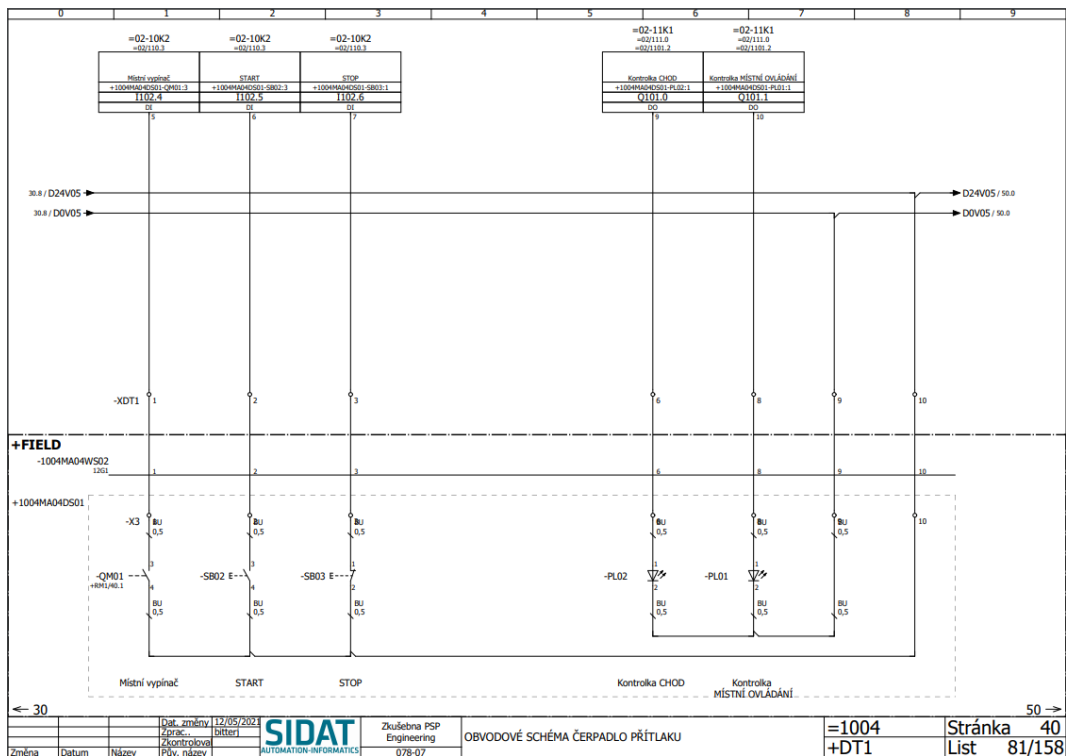
Třetím a posledním typem spouštění motorů v rámci experimentální mlýnice je start pomocí motorového spouštěče. Tento typ spouštění je využit na pohonech s klasickým rozběhem, pro těžké rozběhy je využito SIEMENS SIMOCODE viz kapitola 3.2.6, na které není kladen důraz na řízení otáček.

Motorový spouštěč je tvořen kombinací nadproudého relé a elektromagnetického jističe, díky čemuž je zajištěna ochrana motoru proti nadproudu a zároveň i zkratu. Tyto vlastnosti musí být zajištěny podle norem IEC 60947-4-1 a IEC 60947-2, pojednávající o vypínacích charakteristikách a zejména pak o maximální povolené době do bezpečného vypnutí. Hodnota zkratového proudu bývá zpravidla pevně nastavena na hodnotu třináctinásobku jmenovité hodnoty, na kterou je dimenzována tepelná ochrana. Tato nadproudá ochrana je zajištěna pomocí teplotních vlastností bimetalového kontaktu, u kterého probíhají deformační procesy vlivem průchodu elektrického proud, tak jak je tomu u běžného nadproudého relé. Součástí motorového spouštěče jsou tři tyto bimetalové kontakty, přičemž každý z nich je osazen na jedné ze tří fází. Pro nadproudou ochranu musí platit nezávislost na vnějších vlivech v běžných pracovních podmínkách. Zpravidla jsou vypínací charakteristiky neměnné až do 60 °C. Nastavení této nadproudé/tepelné ochrany bývá možné měnit z čelní strany motorového spouštěče, avšak je nezbytné respektovat jmenovitou hodnotu proudu dotyčného chráněného motoru. Motorové spouštěče musí zajistit bezpečné vypnutí tak, aby po jejich vybavení nedošlo k přeskoku a zahoření oblouku. Tohoto stavu je docíleno potřebnou vzdáleností mezi kontakty. Většina motorových spouštěčů také umožňuje uzamčení visacím zámkem ve vypnuté poloze. Této vlastnosti je využito např. během údržby na motoru, kdy by mohlo dojít k nechtěnému poranění údržby chybnou komunikací mezi pracovníky, kteří by aktivovali motorový spouštěč během prací na zařízení.

Za motorovým spouštěčem je před motorem zařazen třífázový výkonový stykač, kterým je zajištěno samotné spuštění pohonu, a který je ovládán z řídicího systému spínáním skrze příslušný digitální výstup. Zpětná hláška o chodu motoru je generována pomocným kontaktem tohoto stykače, který je připojen na patřičný digitální vstup řídicího systému. Mezi výkonový stykač a motor bývá zpravidla zařazena připojovací svorkovnice a jedna či více deblokačních skříněk, pakliže je jimi pohon vybaven. Schéma silového zapojení v rámci experimentální linky je vyobrazeno na obrázku 20, na kterém je vyprojektováno zapojení čerpadla přítlaku premillu PM 370. Zapojení jeho deblokační skřínky 1004MA04DS01 je následně znázorněno na obrázku 21.



Obrázek 20 - Silové zapojení pohonu čerpadla přítlatku na Premillu PM 370



Obrázek 21 - Zapojení deblokační skříňky pohonu 1004MA04 – Čerpadlo přítlatku PM 370

3.2.8 Hydraulické soustavy experimentální linky – elektrická zapojení

Součástí experimentální linky je instalováno několik na sobě nezávislých hydraulických systémů, které obsluhují příslušné oblasti. Tyto systémy jsou osazeny na Premillu PM 370 a hlavním kotoučovým mlýnu KTM 360.

Jejich primárním účelem je zajištění dostatečného mazání mechanických součástí systému, popř. nastavení jejich přitlaku.

3.2.8.1 *Hydraulické systémy na PM 370*

Prvním hydraulickým systémem na Premillu PM 370 je systém přitlaku, který má za cíl udržení požadované nastavené mezery na jednotlivých opěrných rotorech. Tyto přitlačné rotory jsou zasunuty tak, aby výsledná mezera pro tok materiálu byla vždy menší a menší, čímž dochází k postupnému drcení materiálu. Soustava je napájena z nádrže s hydraulickou kapalinou o objemu 44 dm³ a poháněna čerpadlem o výkonu 1,5 kW. Maximální pracovní tlak soustavy činí 13 MPa. Do akumulární nádrže je připojeno čerpadlo se jmenovitými otáčkami 1450ot/min, čidlo pro měření SL11 minimální hladiny, aby nedošlo k zadření čerpadla, dále teplotní čidlo ST11 hlídající maximální teplotu z důvodu degradace hydraulické kapaliny. Posledním připojeným prvkem do nádrže je filtr se zpětným ventilem, který slouží k zachycení nečistot v rámci hydraulické kapaliny vracející se z oběhu zpět do akumulární nádrže. Tato soustava je ovládána 7 ventily, kde první z nich slouží pro otevření cirkulačního oběhu, aby byla při startu zajištěna homogenita hydraulické kapaliny. Dalších šest ventilů je spřaženo do dvojic a sepnutím jednoho či druhého ventilu dochází k zasunutí popř. vysunutí dotyčného přitlačného rotoru. Soustava je vybavena mechanickými přetlakovými ventily, které omezují maximální tlak soustavy tak, aby nedošlo k jejímu mechanickému poškození. Dále je soustava osazena třemi tlakovými čidly měřícími tlak v každé jednotlivé větvi (1 čidlo na 1 přitlačný rotor), jejichž hodnoty jsou operátorovi zobrazeny v rámci vizualizace jakožto analogová hodnota. Každý z rotorů je následně osazen jedním polohovým čidlem, které snímá hodnotu zasunutí do rotoru do mlýna a informuje operátora zobrazením této hodnoty na obrazovce vizualizace. Ventily MY02-MY07 jsou ovládány pouze v ručním módu skrze vizualizaci a případně z lokálního ovládání pomocí deblokační skříňky.

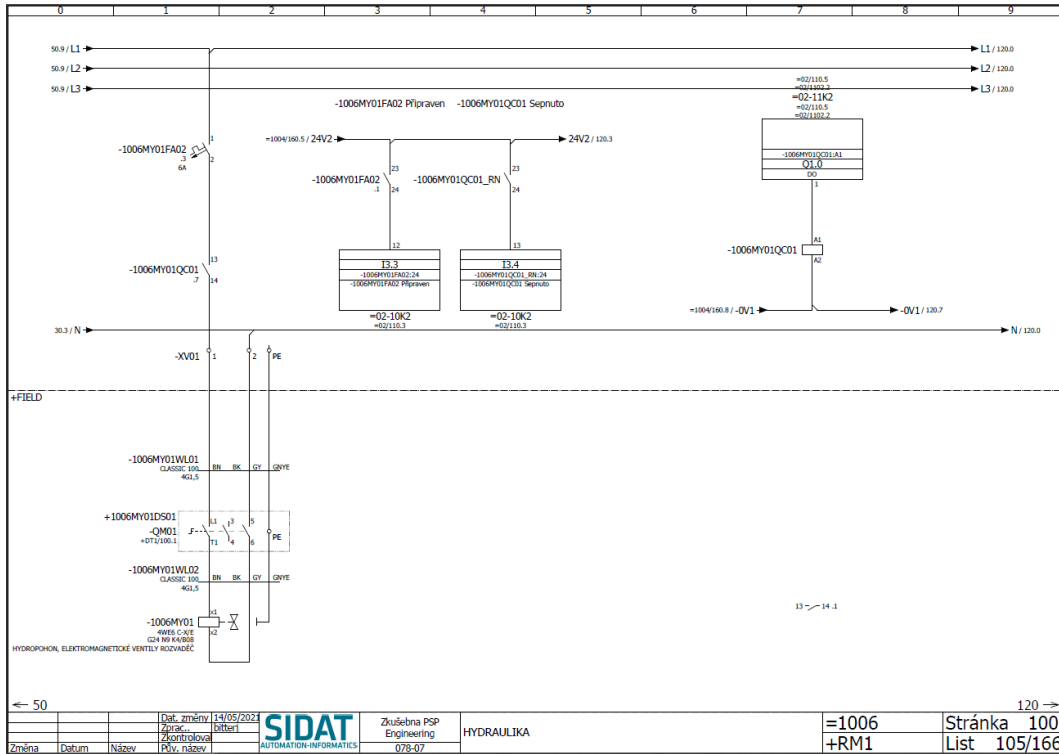
Druhou soustavou instalovanou v rámci Premillu PM 370 je soustava mazání ložisek, která je napájena z druhé nádrže o objemu 20 dm³ a kapalina je distribuována dvěma čerpadly o výkonu 0.75 kW. Maximální pracovní tlak soustavy činí 2 MPa. Analogicky se soustavou přitlaku je i zde akumulární nádrž osazena čidlem hladiny SL03, čidlem teploty ST01 a filtrem. Čerpadlo 1004MA05 obsluhuje větev s analogovými měřidly tlaku, kterých je zde osazeno šest. Tato čidla monitorují tlak na jednotlivých ložiscích a jejich analogová hodnota je zobrazena operátorovi v rámci vizualizace. V řídicím softwaru je pomocí těchto čidel hlídána hodnota nízkého tlaku, při jehož dosažení je nezbytné odstavit stroj, pakliže čerpadlo není schopno tento tlak opětovně navýšit. Tato větev je na druhé straně za ložisky rotorů osazena třemi teplotními snímači, jejichž hodnota je opět zavedena do vizualizace. Každé z těchto čidel je osazeno na jednom z přitlačných rotorů a je zde analogicky s přitlačnou soustavou hlídána horní hranice teploty, při které je nezbytné stroj odstavit. Posledním prvkem

osazeným v tomto okruhu je čidlo SF01 snímající průtok kapaliny v této větvi. Toto čidlo signalizuje pokles průtoku pod minimální kritickou mez tak, aby nedošlo k zadření stroje. Druhá z větví je striktně oběhovou a zajišťuje homogenizaci mazací kapaliny před uvedením hlavní větve do provozu.

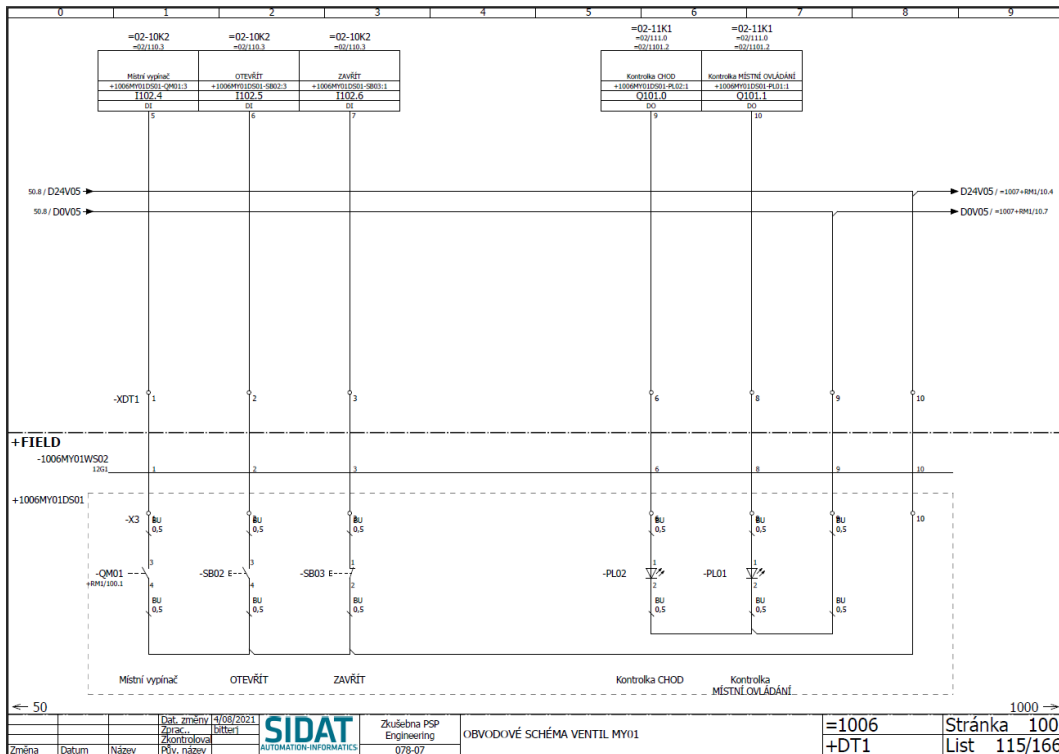
3.2.8.2 *Hydraulické systémy na KTM 360*

Hlavní kotoučový mlýn KTM 360 je osazen dvěma hydraulickými systémy. První hydraulická soustava zajišťuje přítlak kotoučových běhounů v rámci mlecí mísy. Tato soustava osazena čerpadlem 1006MA05 se jmenovitým výkonem 2,2 kW a 1420 ot/min. Toto čerpadlo prohání hydraulickou kapalinu skrze soustavu dvou opačně pracujících ventilů, kterými jsou 1006MY02 a 1006MY03. Sepnutím prvního z ventilů dochází k uzavírání čelistí a zvyšování přítlaku běhounů jejich přiblížením. Ventil 1006MY03 pracuje v opačném směru a jeho sepnutím dochází k oddalování běhounů a tím pádem snížení přítlaku uvnitř mlýna. Tato soustava je osazena mechanickým přetlakovým pojistným ventilem, aby nedošlo k jejímu poškození. Posledním instalovaným prvkem této soustavy je filtr se zpětným ventilem. Jedná se o shodný princip osazení a filtrace vracející se kapaliny do akumulací nádrže, který byl popsán již v rámci soustavy na PM 370.

Elektrické zapojení ventilů je vidět na obrázcích 22 a 23, kde je zobrazena jejich silová část a případně deblokační skříňka lokálního ovládání pro ventily, které tento typ ovládání umožňují. V rámci silového zapojení je vždy dotýčný ventil zapojen na příslušnou fázi (ventily jsou jakožto jednofázová zařízení rozdělena mezi fáze z důvodu souměrného zatížení sítě) a je připojen přes jistič požadovaných parametrů. Např. ventil 1006MY01 je připojen přes jistič o velikosti 6A. Následně je vždy za ventilem řízeným z řídicího systému připojen spínací kontakt, pro jeho ovládání. Využitím pomocného kontaktu jsou stavy jističe a spínacího kontaktu zavedeny na vstupní karty řídicího systému. Pakliže ventil obsahuje deblokační skříňku místního ovládání, tak je vložena mezi spínací kontakt a samotnou cívku ventilu, která je ovládána přes výstupní digitální kartu z řídicího systému. Zapojení samotné deblokační skříňky, která je připojena do ET 200SP DT, je analogické s pohonem bez frekvenčního měniče. Ventilová deblokační skříňka obsahuje spínací kontakt místního vypínače, spínací kontakt tlačítka otevřít, rozpínací kontakt tlačítka zavřít. Tyto prvky jsou připojeny do digitálních vstupů řídicího systému v rámci ET 200SP DT. Na kartách digitálních výstupů jsou následně připojeny dvě LED signalizující chod a aktivaci místního ovládání.



Obrázek 22 - Silové schéma zapojení ventilu 1006MY01

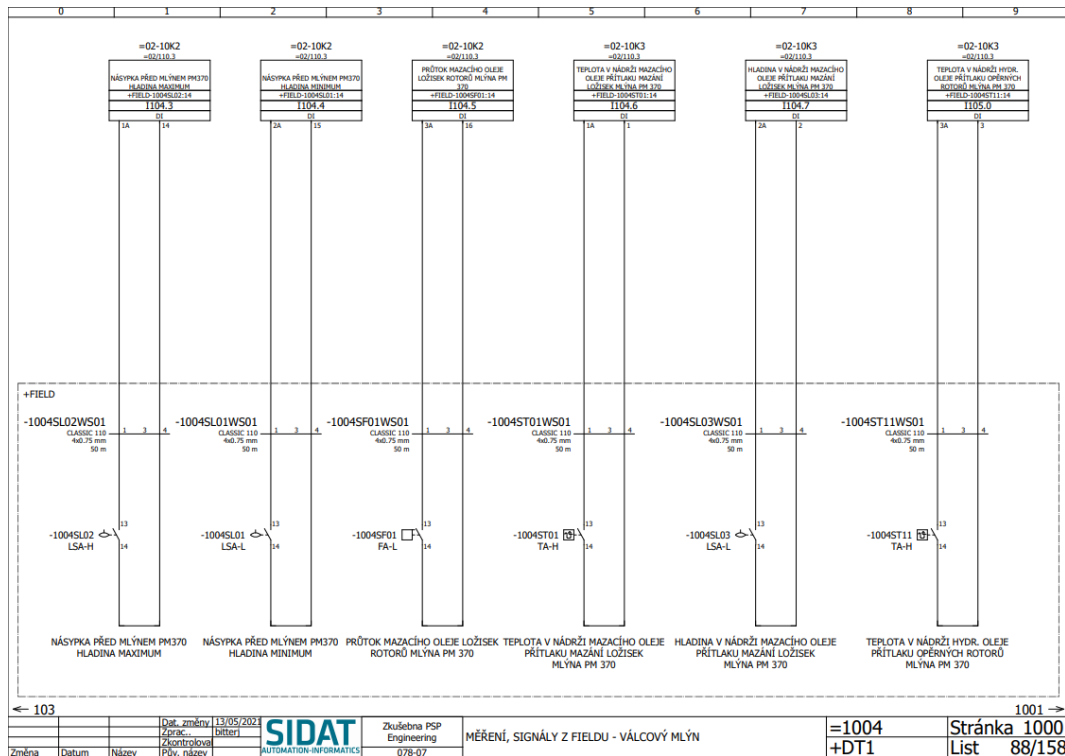


Obrázek 23 - Deblokační skříňka místního ovládní ventilu 1006MY01

3.2.9 Limitní snímače (skrže digitální vstupy)

Binární stavové signály značící mezní limity HH, H, L, LL (HH – High High, H – High, L – Low, LL – Low Low) jsou zavedeny do řídicího systému pomocí vstupní digitálních karet v rámci sestavy periferie IM ET 200SP DT. Signální čidlo

je v podobě spínacího kontaktu zapojeno mezi patřičnou svorku AUX potenciálu dotyčné karty a příslušnou svorku digitálního vstupu. Ukázkové schéma je znázorněno na obrázku XY, na kterém se nacházejí jednotlivá čidla hladin, průtoku nebo teplot týkajících se premilly PM 370.



Obrázek 24 - Zapojení binárních signálů Premilly PM 370 do ET 200SP DT

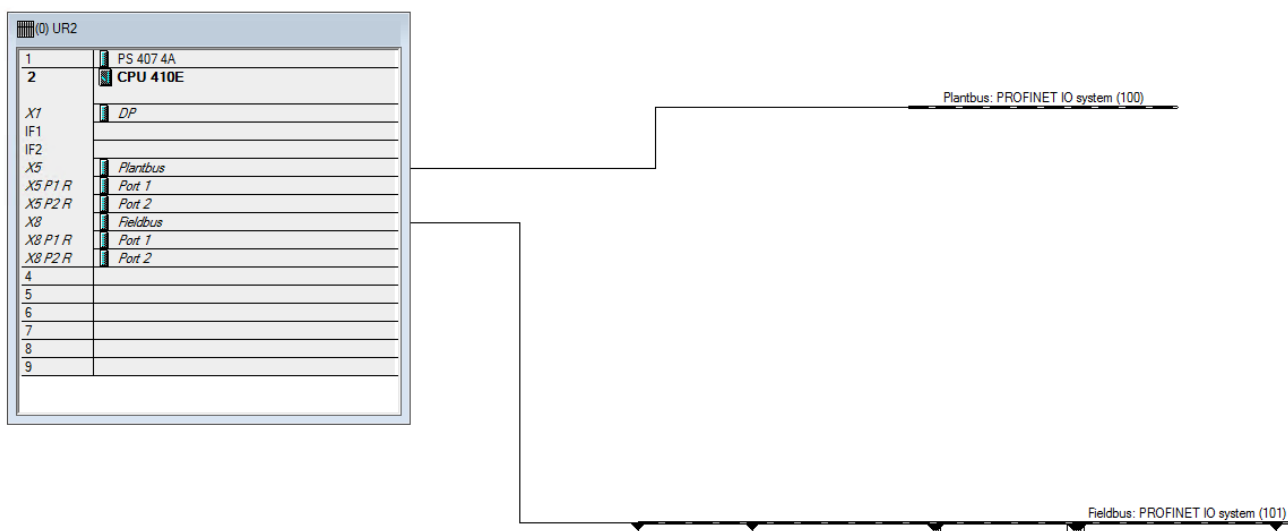
3.3 Softwarové řešení

Řídicí software je naprogramován ve vývojovém prostředí PCS7 verze V5.6 +SP2 + HF5 a doinstalovanou cementářenskou nastavbou CEMAT v9.01. Pro tvorbu základního jádra programu, které je tvořeno základními typy CFC, k jejichž tvorbě je využita knihovna firmy SIDAT spol. s.r.o. Tato vzorová CFC tvoří konstrukční jádro jednotlivých hardwarových prvků (pohonů, klapek, stavových binárních snímačů, analogových měření) v rámci softwaru. Mezi tato CFC patří: E – jednosměrný motor spínaný stykačem, E2 – obousměrný motor spínaný stykačem, E_SINA – jednosměrný motor ovládaný frekvenčním měničem, E2_SINA – obousměrný motor ovládaný frekvenčním měničem, E_SIMO – jednosměrný motor ovládaný skrze SIEMENS SIMOCODE, E2_SIMO – obousměrný motor ovládaný skrze SIMOCODE, V – ventil, M – binární signál poskytující stavovou hlášku TRUE/FALSE (M z německého Meldung), UM – analogové měření, SS – hlídač rotačního pohybu, D – klapka (D z anglického damper), AW – select neboli výběr (AW z německého Auswählen), G – skupina (G z německého Gruppe). Základní struktura těchto CFC je naprogramována podle návodu CEMAT a know-how SIDAT. V rámci práce jsou následně tato jednotlivá CFC parametrizována jakožto softwarový obraz jednotlivých

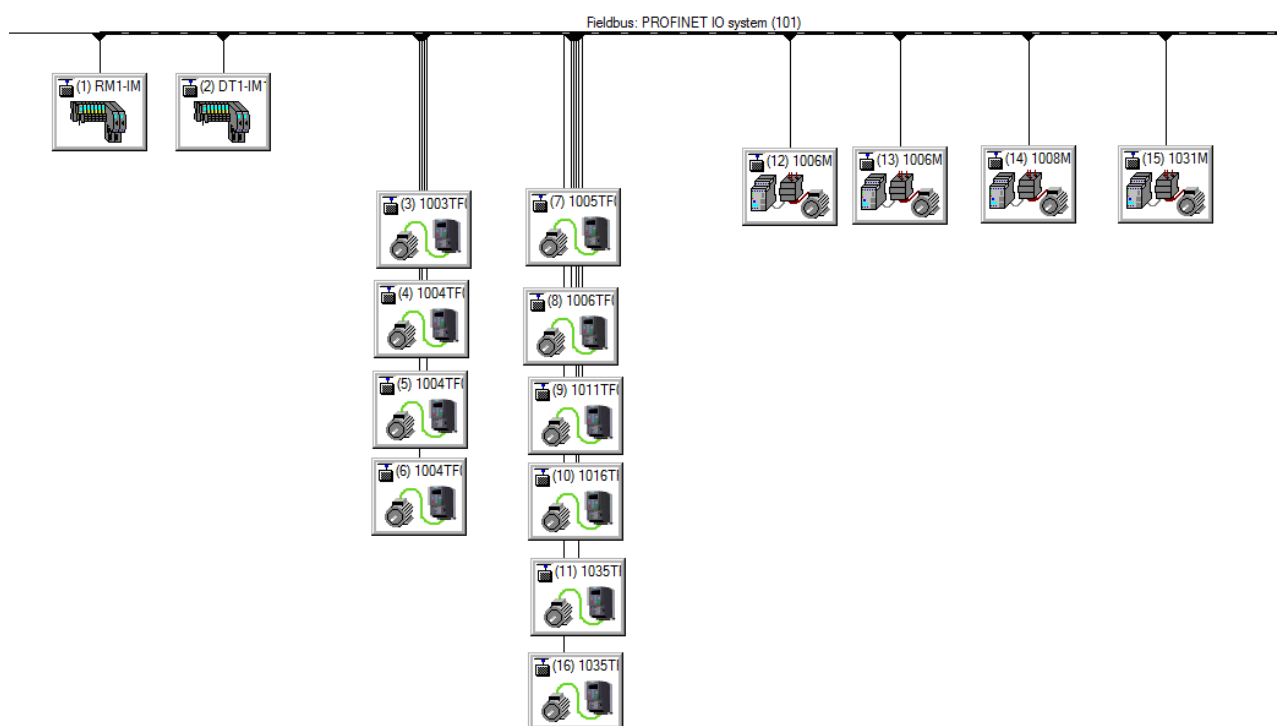
hardwarových prvků a také vzájemně propojena tak, aby byly zajištěny požadované vlastnosti zákazníka na řídicí software. Typickým příkladem jsou povely k automatickému startu či vypnutí, přepínání režimů provozu linky popsaných v kapitole 3.3.4 a v neposlední řadě vzájemná stavová logika včetně blokad mezi jednotlivými prvky tak, aby nedošlo k mechanickému poškození samotných instalovaných zařízení v rámci samotné linky.

3.3.1 HW konfigurace

Pro zajištění správné funkčnosti řídicího softwaru je nezbytné vytvořit přesnou korelaci mezi hardwarově osazenými prvky řídicího systému (měniče, SIMOCODE, IM a další.) a jeho virtuální kopii v rámci vývojového prostředí PCS7. Součástí této virtuální kopie hardwarové sestavy jsou učiněna veškerá nastavení sítě, mezi které patří např. nastavení IP adres jednotlivých zařízení na síti, adresních rozsahů jednotlivých PLC nebo IM, hardwarové osazení jednotlivých karet v rámci IM anebo v případě osazení více PLC v jedné síti nastavení režimu MASTER-SLAVE. Adresní rozsahy sítě jsou řazeny dle platné standardizace SIDAT, tj. vzestupně od MASTER PLC. Jelikož MASTER PLC (v rámci tohoto projektu S7-410E) není osazeno vstupními ani výstupními kartami, je rozsah posunut na ET 200SP RM, které je instalováno ve stejném rozvaděči jako MASTER PLC a jehož adresní prostor začíná adresou I0.0. Adresní prostor tohoto IM je zaplněn do adresy 9.7. Dalším zařízením v síti je dle platných standardů ET 200SP DT, které začíná svůj adresní prostor pro digitální vstupy a výstupy adresou 100.0, čímž je zajištěna dostatečná rezerva v případě potřeby rozšíření v rámci silového rozvaděče RM. Digitální vstupy jsou zajištěny osazením 17 vstupních digitálních karet a zabírají tak 34 bytů adresního prostoru. Poslední vstupní adresou je I133.7. Digitální výstupy jsou vyřešeny osazenými pěti kartami a jejich adresní rozsah činí Q100.0 – Q109.7. Sestava ET 200SP DT je navrch osazena analogovými vstupními kartami, které jsou dle standardu SIDAT číslovány od adresy I512 až po I599, přičemž každá analogová karta zabírá 8 bytů. Další ve vzestupném pořadí jsou instalované frekvenční měniče SIEMENS G120C, jejichž adresní rozsah je stanoven na 12 vstupních a 12 výstupních bytů na jeden měnič. Adresace pro všechny osazené měniče je zavedena v rozsahu 1000-1119, z čehož vyplývá, že je v rámci linky osazeno 10 frekvenčních měničů. Poslední v adresním prostoru se nacházejí SIEMENS SIMOCODE, jejichž adresní rozsah je I2000 – I2015 a Q2000 – Q2013. Každý SIMOCODE využívá pro komunikaci čtyři vstupní a dva výstupní byty. Veškerá výše popsaná zařízení jsou připojena na síť „Fieldbus“, která je vyvedena z S7-410E pomocí PROFINET z konektoru X8. Druhou sítí konfigurovanou v rámci tohoto projektu je „Plantbus“, tj. síť sloužící k vnitřní komunikaci se zbytkem závodu (primárně pro MES systémy), která v aktuální době není využívána, avšak v rámci projektu je předpřipravena dle požadavků zákazníka na plánované budoucí rozšíření vnitřní infrastruktury.



Obrázek 25 - Připojení PROFINET sítě do S7-410E



Obrázek 26 - Detail sítě PROFINET Fieldbus

3.3.2 Základní pracovní metody v SIMATIC Manager

Součástí vývojového prostředí SIMATIC Manager je k dispozici na výběr ze tří nejčastěji využívaných typů zobrazení, ve kterých je možné provádět editace projektu.

Prvním a zároveň výchozím pracovním nástrojem zobrazení je tzv. Component View, v rámci něhož je možné provádět správu připojených zařízení typu PLC, správu hardwarové sestavy sítě popsané v předchozí kapitole. Dále je možné provádět správu jednotlivých chartů (technologických zapojení jednotlivých hardwarových prvků, kterými jsou např. pohony, ventily, senzory atd.).

V rámci tohoto zobrazení PLC lze také spravovat jednotlivé organizační bloky (OB1, OB100 atp.), funkční bloky (FB10, FB1000...), samotné funkce (FC1, FC3...) a jako poslední datové bloky (DB1000, DB1030...). Organizační bloky jsou základními kameny programu a jsou v rámci nich spouštěny jednotlivé funkce a funkční bloky, ve kterých jsou uloženy základní vazby programu a lze je editovat v jazycích SCL nebo STL. Hlavní rozdílem mezi FB a FC bloky je parametr „STATIC“, který je obsažen pouze v rámci funkčních bloků a není k dispozici ve funkcích. Při zavolání funkčního bloku v rámci běhu programu dochází k vytvoření tzv. instančního datového bloku (IDB), které obsahuje veškeré statické parametry („STATIC“) a lze k nim přistupovat i z jiných bloků v rámci programu. Poslední součástí programu jsou datové bloky. Ty mohou být již zmíněné instanční nebo klasické uživatelem založené. V rámci těchto datových bloků jsou pak uloženy uživatelem zvolené proměnné (vstupní, výstupní, pomocné...) a lze k nim přistupovat v rámci jednotlivých částí programu. Druhou částí správy software v rámci Component View je správa serveru, na kterém je uložena vizualizace v programu WinCC. Z této sekce lze spravovat konfiguraci serveru, jeho propojení se samotným PLC, provádět kompilaci vizualizace nebo otevřít editor WinCC s aktuálním projektem. Detailnější popis tohoto editoru se nachází v kapitole 3.3.5.

Druhým typem editoru v rámci SIMATIC Manager je Plant View, ve kterém lze spravovat knihovny s předinstalovanými funkcemi či programovacími bloky a otevírat jednotlivá CFC, a následně v nich vytvářet příslušné vazby a další změny. Typy CFC a jejich příslušné vazby jsou podrobněji popsány v kapitole 3.3.3.

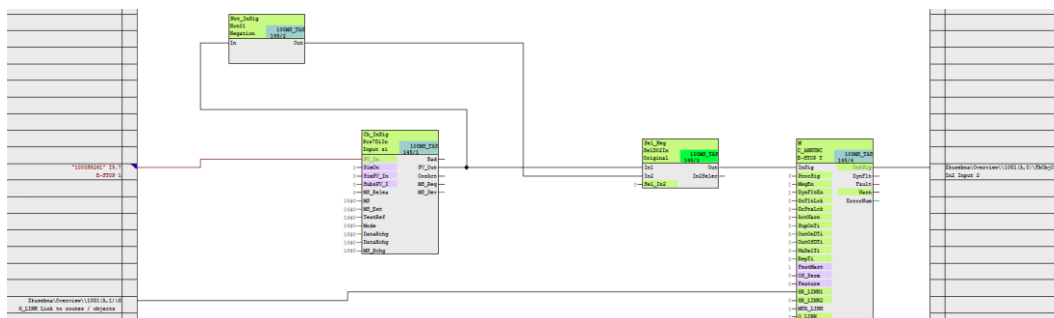
Posledním využívaným editorem je tzv. Process Object View (POV). Tento editor je určen k hromadnému zpracování jednotlivých součástí programu, mezi které patří CFC, bloky, parametry, signály, proměnné operačního systému, tagy a další. Na základě výše zmíněných parametrů lze filtrovat příslušné hardwarové prvky a CFC tak přiřadit hromadně určité vlastnosti, např. generování příslušné ikony v rámci WinCC, nastavení relevance pro MES sběr dat nebo hromadné přiřazení jednotlivých signálů. V rámci tohoto editoru také dochází k rozdělení mezi jednotlivé obrazovky v rámci WinCC.

3.3.3 Typy technologických objektů

Technologické bloky pro jednotlivé CFC byly popsány na počátku kapitoly 3.3 a reflektují softwarový obraz hardwarových komponent experimentální linky. Mezi tyto bloky patří veškeré typy pohonů, ventilů, klapek, analogových a binárních měření.

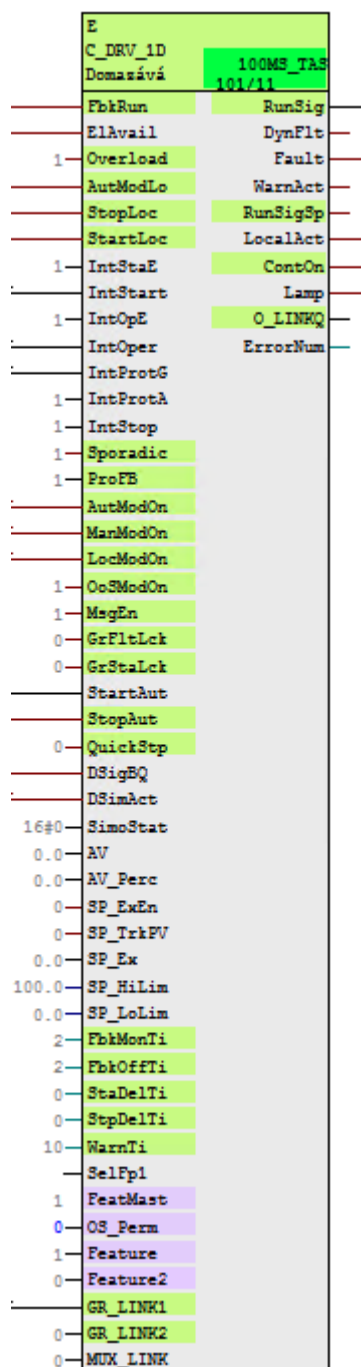
Prvním a nezákladnějším typem CFC jsou tzv. M bloky, též označované C_ANNUNC v rámci nastavby CEMAT. Jedná se binární stavovou veličinu vyhodnocující vstupní signál přivedený do řídicího systému pomocí digitální vstupní karty. Tento signál je zpracován soustavou bloků, až je přiveden

do výsledného bloku C_ANNUNC, který signál zavede do příslušné skupiny pomocí spojení GROUP LINK (dále jen GR_LINK), která sdružuje jednotlivé prvky v rámci softwaru a umožňuje jejich hromadné ovládání v rámci WinCC. Hlavní výstupní signál OutSig bloku C_ANNUNC lze následně zavést dále do softwaru, např. jako blokační signál či signál pro vypnutí celé skupiny zařízení při aktivaci tlačítka nouzového zastavení E-STOP.



Obrázek 27 - Softwarové zapojení tlačítka E-STOP

Druhým typem CFC využívaným v rámci softwaru jsou tzv. E bloky, které zajišťují provoz jednosměrných pohonů spouštěných pomocí stykače. Součástí tohoto bloku jsou signály pro ovládání ve všech třech režimech linky, podrobněji popsanych v kapitole 3.3.4, signál zapnutí, vypnutí dotyčného pohonu, protection a operating interlock a již zmíněný GR_LINK. Interlocky jsou vstupní signály vyskytující se na většině spotřebičů v rámci softwaru a zajišťují vnitřní stavové vazby mezi jednotlivými spotřebiči linky. Interlock signály lze rozdělit na tři typy podle jejich chování. Prvním z nich je tzv. Starting Interlock, který zajišťuje blokaci spotřebiče před jeho startem a nadále po jeho startu již není kontrolován. Druhým typem interlocku je Operating Interlock. Tyto blokační signály jsou hlídány po celou dobu běhu spotřebiče a jsou zde navázány zejména signály chodu ostatních spotřebičů, které jsou nezbytné pro chod dotyčného spotřebiče, např. signál z čerpadla mazání je navázán na hlavní pohon atp. Posledním typem interlocků je Protection Interlock, do kterého jsou navázány stavové signály měření. Typickými zástupci jsou binární stavové signály C_ANNUNC nebo horní či dolní meze analogového měření. Pro uvedení spotřebiče do provozu a jeho provoz je nezbytné splnění všech připojených interlocků ze všech tří stavových kategorií. V případě výpadku splnění Protection nebo Operating Interlocku během provozu stroje je nezbytné zajištění jeho okamžité vypnutí, popřípadě zahájení vypínací sekvence. Je-li pohon vybaven deblokační skříňkou, pak je v příslušném CFC sestavena vazba lokálního ovládání z tohoto ovládacího místa. Blok pohonu C_DRV_1D je zobrazen na obrázku 28.



Obrázek 28 - Blok C_DRV_1D

Třetím typem CFC je E2 obsahující blok C_DRV_2D, který je využit pro ovládání obousměrného pohonu spouštěného stykačem. Hlavním rozdílem tohoto bloku oproti bloku C_DRV_1D je zdvojení signálů pro povel start pohonu, výstupní signály značící chod nebo signalizace pomocí LED do deblokační skříňky. Bloky pohonu v rámci bloku E2 jsou řešeny analogicky s blokem E1.

Čtvrtým typem CFC je E_SINA, který je využit pro řízení jednosměrných pohonů pomocí frekvenčního měniče. E_SINA je složen ze shodného bloku C_DRV_1D jako klasický blok E, včetně deblokačních skříňek a vazebných interlock blokad.

Jeho hlavní odlišností je sekce DRIVE SIGNALS, která místo bloků FbkRun, ContOn či ElAvail obsahuje blok C_SINA, na který jsou navázány signály z frekvenčního měniče.

Pátým typem CFC je E_SIMO, které zajišťuje ovládání pohonu spouštěného pomocí SIEMENS SIMOCODE. Analogicky k CFC ovládající ostatní jednosměrné pohony je hlavní odlišnost v sekci DRIVE SIGNALS, kde je v tomto případě umístěn blok C_SIMOS zajišťující komunikaci se SIMOCODE. V rámci tohoto bloku jsou navázány signály sepnutí hlavního výkonového stykače, signál žádosti přepnutí do lokálního ovládání nebo O_LINK, který tvoří spojení mezi čidly a spotřebiči.

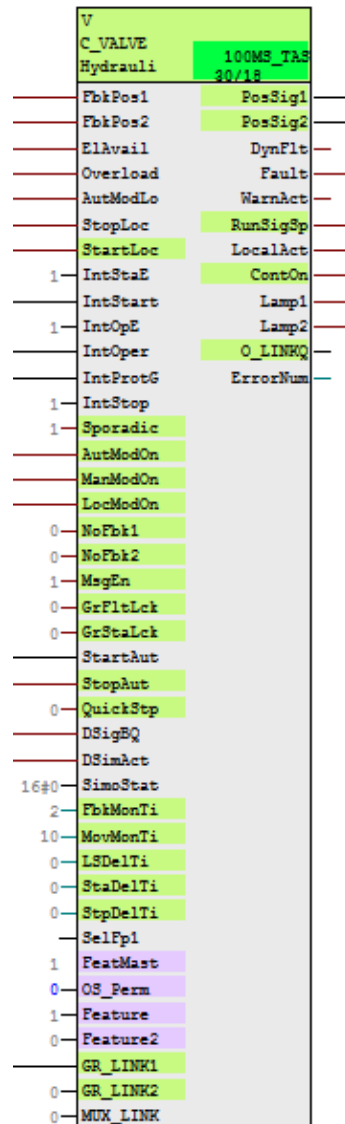
Šestáým typem CFC využitým v rámci experimentální linky je E2_SIMO, umožňující ovládání obousměrného pohonu ovládaného pomocí SIMOCODE. Toto CFC je kombinací obousměrného pohonu E2 a E_SIMO. V sekci DRIVE SIGNALS je navázán blok C_SIMOS jako u CFC E_SIMO, avšak jsou na něm obsazeny signály pro chod v obou směrech, kterými jsou např. FbkRun – Feedback Run nebo ContOn – Contactor On. V hlavní části je následně navázán blok C_DRV_2D umožňující chod oběma směry.

Sedmý typ CFC zajišťuje ovládání ventilů a je označen písmenem V. Hlavním blokem tvořící toto CFC je C_VALVE určený pro ovládání ventilů. Typickým znakem tohoto bloku jsou signály značící jednotlivé krajní polohy nebo jejich LED signalizaci do deblokačních skříněk. Blok C_VALVE je vyobrazen na obrázku 29. Sekce DRIVE SIGNALS obsahuje podobné bloky jako CFC pro jednosměrné motory bez měniče, avšak je odlišena bloky pro zpětné hlášení jednotlivých krajních pozic ventilu.

Osmý typ CFC je uzpůsoben analogovému měření. Jedná se o velice jednoduché CFC, které je složeno ze dvou bloků. Prvním je Analog Input, který zpracovává vstupní signál z analogového čidla a druhým C_MEASURE zajišťující hlídání limitních hladin HH, H, L, LL, propojení se skupinou ostatních prvků pomocí GR_LINK či O_LINK.

Devátým typem CFC je SS, které zajišťuje komunikaci se snímači rotačního pohybu dotyčných pohonů na binární bázi. Toto CFC je složeno ze čtyř základních bloků. Prvním z nich je Pcs7Diln zajišťující hlídání otáček a převádějící signál do bloků Not01 a SelD02In. Tyto bloky upraví signál pro hlavní blok C_PROFB, který je připojen pomocí O_LINK k dotyčnému pohonu a výstupní signál tohoto bloku je navázán do Protection Interlocku příslušného motoru.

Desáté CFC je označeno písmen D – Damper neboli klapka, a je složeno ze tří bloků. Hlavní blok C_DAMPER zajišťuje komunikaci se zbytkem softwaru a přidružené bloky Start_Aut_1 a Start_Aut_2 slouží k přestavění klapky do jedné nebo druhé polohy směru.



Obrázek 29 - Blok C_VALVE

Jedenácté CFC je označeno písmeny AW z německého Auswählen – navolení. Jedná se o chart tvořený třemi bloky, kterými jsou dva bloky C_INTLK2 sloužící k zapnutí a vypnutí dotýčného navolení. Tyto bloky jsou sdruženy v bloku C_SELECT, jehož výstupní signál je zaveden do všech spotřebičů, které spadají do tohoto navolení a jsou v rámci automatického režimu ovládány společně. Typickým příkladem využití navolení je spuštění mlýnu KTM 360, které obsahuje soustavu pěti pohonů a tří ventilů.

Dvanácté a poslední CFC využitě v rámci experimentální linky je označeno písmenem G – Gruppe – skupina. Skupina slouží k hromadnému ovládání prvků, avšak oproti navolení (select) umožňuje zapínat a vypínat spotřebiče, přepínat jejich provozní režimy, hlídat jednotlivé alarmy atp. Spojení grupy a selectu tvoří klíčový prvek ovládání jednotlivých komponent linky, kdy v prvé řadě dojde operátorem k jejich navolení pomocí C_SELECT a následně jejich ovládání pomocí skupiny.

3.3.4 Provozní režimy AUTO/MANUAL/LOCAL

Vývojové prostředí SIMATIC Manager s nástavbou CEMAT verze 9.01 umožňuje využití až tří odlišných režimů ovládání. Tyto režimy lze nastavit nezávisle pro jednotlivé stroje, bez ohledu na stav ostatních popř. je spravovat hromadně pomocí spojení prvků do skupiny, jak bylo popsáno v předchozí kapitole. Přepínání těchto režimů je zpravidla prováděno z vizualizace operátorem v rámci WinCC.

Režim AUTO je hlavním režimem každého procesního výrobního systému. Tento typ ovládání je plně automatický režim, který umožňuje provoz s pouhým dohledem operátora z důvodu případné poruchy nebo jiné neočekávané události, např. dosažení kritických mezních hodnot nějakého prvku systému (naplnění zásobníku, nedostatek vstupního materiálu atp.). Režim AUTO respektuje veškeré interní vazby systému včetně jednotlivých bloků mezi spotřebiči. Informace o stavu systému jsou operátorovi přenášeny skrze vizualizaci pomocí stavového řádku a stavových ikon v rámci ovládání skupiny.

Druhým režimem je Manual, který umožňuje hybridní řízení daných prvků výrobní linky pomocí vizualizace, avšak povely jakožto nastavení rychlosti, směru otáčení, nastavení limitní polohy atp. jsou zcela v režii operátora. Tento typ řízení může a nemusí respektovat vnitřní blokační vazby, které lze v případě potřeby přemostit, avšak je nezbytné dbát zvýšené opatrnosti, aby nedošlo k poškození dotyčného zařízení.

Poslední režimem ovládání je Local Mode. Tento režim vyžaduje přítomnost pracovníka obsluhy na místě u zařízení, které je v tomto případě ovládáno pomocí deblokačních skříněk lokálního ovládání, popř. ovládacího panelu HMI. Ty jsou instalovány zejména na místech potřebujících častější servisní zásahy nebo přítomnost obsluhy při zavádění materiálu do linky a dalších úkonech vyžadující zvýšenou pozornost personálu. Deblokační skřínky jsou osazeny přepínačem uvádějícím spotřebič do lokálního ovládání a následně podle typu ovládaného prvku příslušnými ovládacími tlačítky a signalizačními kontrolkami.

U jednoho spotřebiče lze v rámci řídicího softwaru nastavit restriktce dostupnosti jednotlivých režimů. Např. u obousměrného pohonu lze pomocí automatického chodu pohon roztočit v jednom směru, zatímco druhý směr otáčení je vyhrazen manuálnímu a lokálnímu řízení. Toto řešení je využito např. při drtičích, kde automatický chod jedním směrem drtí materiál a v případě mechanického zablokování drtiče je využito manuálního případně lokálního chodu k potenciálnímu odstranění zablokovaného materiálu za použití zpětného chodu.

3.3.5 SCADA řešení aneb WinCC

Vizualizace celého řídicího softwaru je provedena v programu WinCC V7.4 + SP1 + Upd16. Tento program umožňuje pokročilé zobrazení jednotlivých prvků linky včetně správy celého serverového rozhraní, na kterém

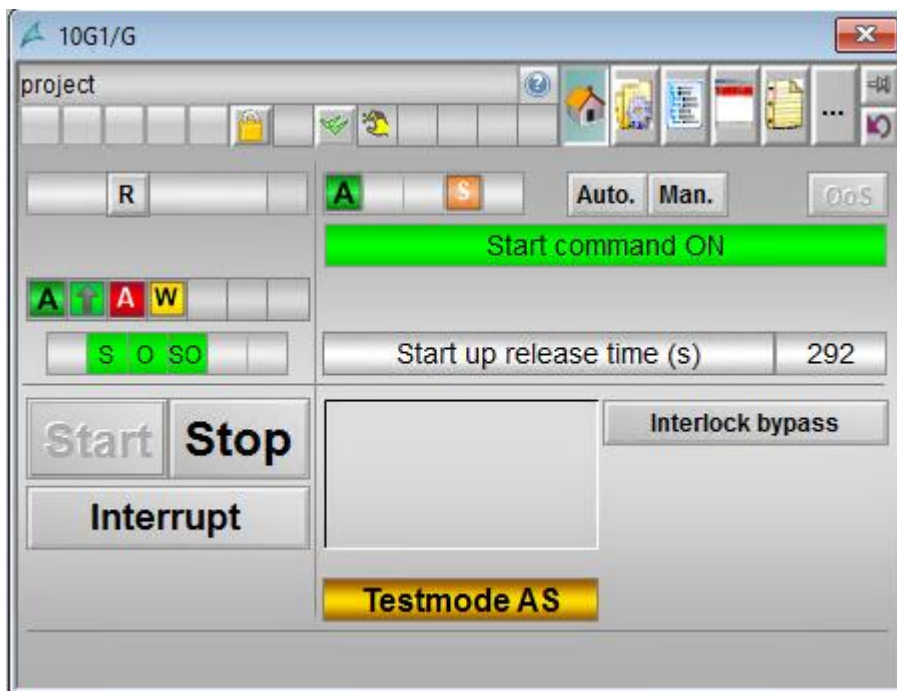
je vizualizace uložena. Typickým využitím WinCC je vytvoření několika obrazovek dotyčné technologie, v případě experimentální linky jsou to obrazovky Overview, KTM 360 a PM 370, které zajišťují operátorovy přehled nad celým výrobním procesem. Základní obrazovkou je obrazovka Overview, na které je operátor informován o stavu všech hlavních prvků celého systému, takže si může během okamžiku zkontrolovat, zda došlo k rozeběhnutí příslušného pohonu či přestavení dotyčného ventilu do požadované polohy. Další obrazovky slouží k detailnějšímu přehledu jednotlivých výseků technologie a jejich počet je zejména stanoven složitostí samotné technologie a požadavky zákazníka na rozdělení jednotlivých prvků mezi obrazovky. Přepínání mezi obrazovkami je prováděno v horní části obrazovky kliknutím na jednotlivá tlačítka s názvy obrazovek. Tato tlačítka jsou rozšířena o kontrolky stavových signálů, takže operátor má okamžitě k dispozici informaci, že na dotyčné obrazovce došlo k spuštění výstrahy či alarmu.

Obrazovky jsou zpravidla složeny ze statických textů a grafických zobrazení znázorňující primárně mechanické prvky linky, zejména pak samotná zařízení. Tyto statické součásti se během provozu nemění, od čehož je odvozen jejich název. Druhým prvkem obrazovek jsou dynamické objekty, jejichž vlastnosti jsou měněny na základě stavu řídicího systému. Mezi tyto prvky patří dynamické ikony např. pohonů, ventilů, binárních nebo analogových čidel. Ikony jsou podle předem naprogramovaného chování ve WinCC měněny na základě hodnot zasílaných z řídicího systému z PLC. Tyto změny jsou nejčastěji reflektovány změnou grafiky těchto ikon. Bezproblémový chod je reprezentován zelenou barvou, porucha červenou, klidový režim šedou a dosažení horní nebo dolní meze analogového měření žlutou barvou. Dynamické procesy jsou zpravidla znázorněny blikáním příslušné barvy, např. start prvku či změna pozice klapky blikáním dotyčné cesty jsou znázorněny blikající zelenou barvou.

3.3.5.1 Ovládání v rámci WinCC

WinCC Runtime umožňuje odlišení přihlášených uživatelů, takže lze snadno distribuovat oprávnění jednotlivých uživatelů. Typické rozdělení je řadová obsluha, vedoucí směny, šéf údržby a administrátor, kterým je zpravidla programátor. Přihlášení uživatele probíhá po kliknutí na tlačítko v pravém horním rohu s názvem uživatele, po jehož stisknutí vyskočí na uživatele okno s požadavkem zadání uživatelského jména a hesla. Po přihlášení jsou uživateli okamžitě odemčeny veškeré nastavené funkce. Na úplném vrcholu obrazovky se nachází stavový řádek a ikony k jeho ovládání. Do tohoto stavového řádku jsou uživateli zobrazovány veškeré informace ze systému, mezi které patří dosažení limitních hladin, přetížení pohonů, výpadky elektrické energie atp. Tyto informace může uživatel prohlížet po jedné pomocí tohoto jednoho řádku nebo pomocí ikony na pravé straně otevřít celý záznam veškerých událostí a tam je jednotlivě či hromadně spravovat. Pod tímto stavovým řádkem jsou umístěna již zmíněná tlačítka pro přepínání jednotlivých obrazovek a jejich rychlá diagnostika. Pod nimi

se nachází samotné grafické zobrazení navolené obrazovky se všemi statickými i dynamickými prvky umožňujícími ovládání linky a sledování jejího stavu přihlášenému uživateli. Na pravé straně má uživatel k dispozici hlavní ovládací panel obsahující ovládání hlavní skupiny 10G1, navolení jednotlivých technologických celků a signalizaci zmáčknutí jednotlivých tlačítek nouzového zastavení E-STOP.

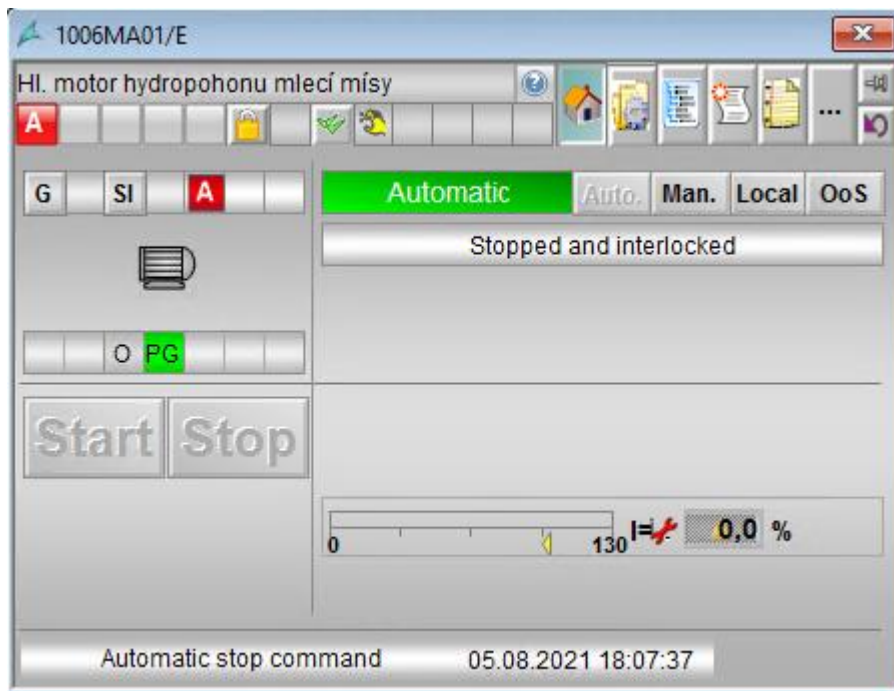


Obrázek 30 - Ovládací rozhraní skupiny 10G1

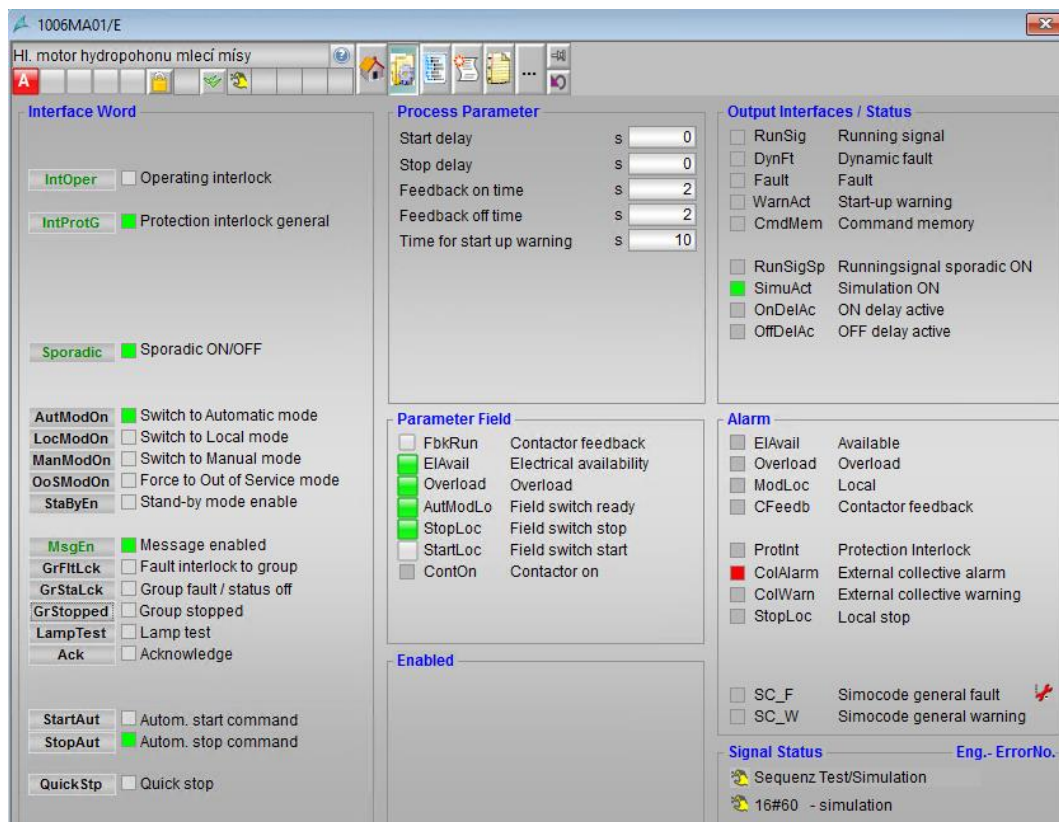


Obrázek 31 - Zjednodušený model ovládání skupiny

Poslední sekcí ovládání je spodní část obrazovky umožňující vyvolání reportů o stavu linky, trendů nejrůznějších veličin či případné přepínání obrazovek v rámci složitějších projektů. Na obrázku 32 je zobrazeno ovládací rozhraní hlavního pohonu KTM 360, které umožňuje přepínání režimů, odstavení pohonu či jeho vypnutí a zapnutí. Na obrázku 33 je pak vyobrazeno detailní diagnostické okno pohonu 1006MA01, které zobrazuje stav jednotlivých signálů. Zelená políčka signalizují splněnou podmínku signálu, šedá pak podmínku nesplněnou, žlutá výstrahu a červená následně nesplněné alarmy. V rámci diagnostického okna je např. zřetelné nesplnění Operating Interlocku, takže je zřejmé, že se motor nachází v zastaveném stavu. V tomto okně lze také upravit hodnoty časovačů od povelu náběžné hrany startovacího či vypínacího signálu, či dobu sirény před startem.



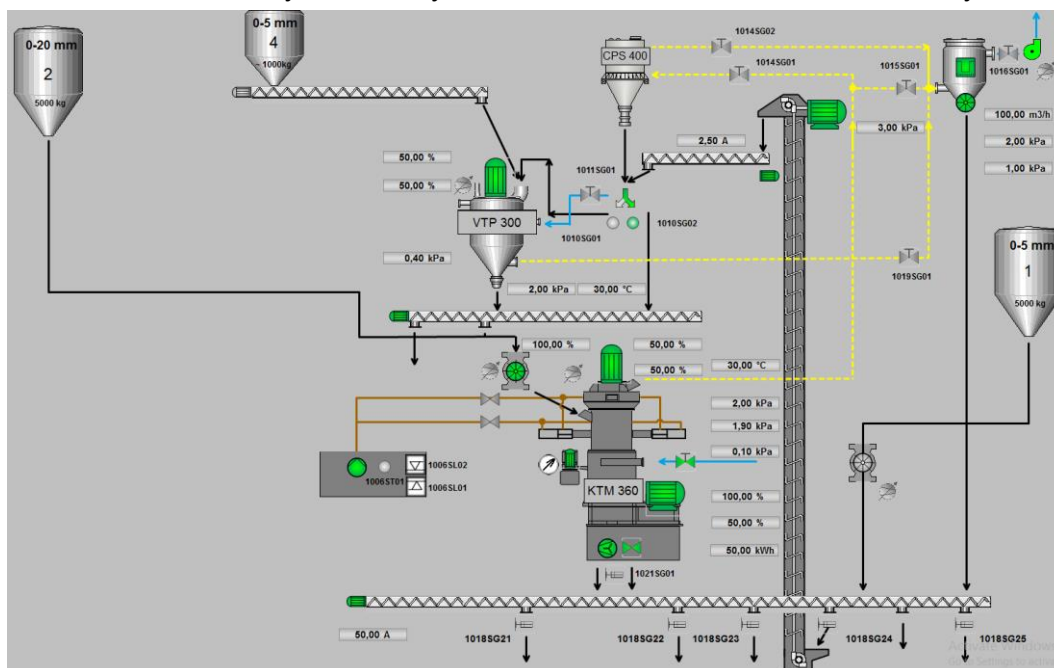
Obrázek 32 - Ovládací rozhraní pohonu 1006MA01



Obrázek 33 - Diagnostické rozhraní pohonu 1006MA01

3.3.6 Startovací sekvence KTM 360

Hlavní kotoučový mlýn KTM 360 obsahuje sadu pěti pohonů a tří ventilů. Spouštění a vypínání je prováděno v sekvencích udávaných výrobcem tak, aby nedošlo k poškození mechanických částí mlýna. Spouštěcí sekvence je zahájena šnekovým dopravníkem, který se nachází pod výsypem z mlýna KTM 360 a Premillu PM370. Jakmile je tento šnekový dopravník uveden do chodu, tak je možné spustit filtrační okruh, který zajišťuje odtah skrze potrubní systém. Tento systém filtrace je složen ze tří pohonů, kterými jsou hlavní ventilátor, pohon oklepu filtru a turniketový podavač vracející vyfiltrovaný materiál zpět na šnekový dopravník pod mlýny. Dalším krokem ve spouštění kotoučového mlýna je spuštění mazacího okruhu, který je tvořen z oběhového čerpadla. Po jeho úspěšném spuštění dochází ke startu třídíče materiálu umístěného u samotného vstupu materiálu do mlýna. Po jeho roztočení je spouštěn chladicí ventilátor, který zajišťuje, aby během mlecího procesu nedocházelo k přehřátí mlýna vlivem mělnění podávaného materiálu. Pro jeho spuštění je nezbytné splnění podmínky otevření mechanicky ovládaných ručních ventilů vzduchového systému.



Obrázek 34 - Vizualizace obrazovky KTM 360

Posledním krokem ve spuštění je start hlavního pohonu mlýna, který je specifický v tom, že se jedná o hydropohon poháněný čerpadlem. Pro jeho chod je nezbytné roztočení elektrického čerpadla čerpající hydraulickou kapalinu do samotného motoru roztáčející hřídel mlecí mísy. Pro spuštění tohoto čerpadla je potřeba zajistit minimální hladinu hydraulické kapaliny v akumulační nádrži a nepřesahení maximální teploty této kapaliny. Mezi podmínky spuštění tohoto čerpadla je zařazeno i otevření ručního šoupátkového uzávěru pod mlýnem, kterým je zajištěn odvod materiálu ze mlýna, otevření ventilu nacházejícího se na potrubí přivádějícího kapalinu z čerpadla do samotného hydropohonu, a splnění

limitní hladiny tlakové diference. Po spuštění všech těchto součástí mlýna je roztočeno čerpadlo hydraulického přítlaku, pomocí kterého lze ovládat zasunutí a vysunutí mlecích běhounů, čímž je dovršena spouštěcí sekvence celého kotoučového mlýna KTM 360.

Zastavení mlýna probíhá v následujícím pořadí. V první fázi je přerušena dodávka nového materiálu do mlýna pomocí předřadného turniketového podavače a následně i integrovaného třídiče. Po zpracování zůstatkového materiálu je spuštěn jeden z řady časovačů, který je nastaven na požadovaný časový interval, aby došlo k vyprázdnění materiálu ze zbytku mlýna. Po jeho uplynutí je pomocí snížení otáček až do úplného zastavení a uzavřením hlavního ventilu hydraulické kapaliny vypnut hlavní hydropohon mlecí mísy. Následně je vypnuto čerpadlo okruhu automatického mazání mlýna. Vypnutím všech výše popsanych okruhů dochází k vypnutí čerpadla přítlaku a k úplnému zastavení celého stroje.

3.3.7 Startovací sekvence PM 370

Spouštění Premillu PM 370 v rámci experimentální linky je zahájeno roztočením šnekového dopravníku nacházejícím se pod premillem a hlavním kotoučovým mlýnem KTM 360. Jakmile je tento šnekový dopravník uveden do provozu začne probíhat vyhodnocovací proces splnění podmínek Protection Interlocků dvou domazávacích čerpadel. Mezi těmito interlocky se nachází limitní stav hladiny mazacího oleje v akumulární nádrži, teplota tohoto oleje, teploty mazacího oleje na jednotlivých ložiskách všech rotorů mlýna nebo tlaky tohoto oleje na samotných ložiscích rotorů mlýna. Pakliže jsou všechny tyto podmínky splněny, tak v rámci automatické spouštěcí sekvence je uvedeno do chodu oběhové čerpadlo, které zajistí homogenitu mazacího oleje v akumulární nádrži. Po uplynutí nastaveného časovače je oběhové čerpadlo vypnuto a místo něj dochází k zapnutí čerpadla distribuujícího mazací olej do ložisek rotorů mlýna. V následujícím kroku je roztočen hlavní pohon Premillu PM 370 pomocí frekvenčního měniče na požadované otáčky. Jakmile je těchto otáček dosaženo, tak dochází k ověření druhé sady Protection Interlocků. V této sadě interlocků jsou obsaženy veličiny hydraulického systému přítlaku popsaného v kapitole 3.2.8.1, mezi které patří teplota hydraulické kapaliny a její dolní limitní hladina v akumulární nádrži. V neposlední řadě jsou v tomto kroku hlídány horní hodnoty tlaku v hydraulickém systému na jednotlivých přítlačných rotorech premillu. Jsou-li veškeré tyto podmínky splněny, dojde ke spuštění čerpadla přítlaku, které zajišťuje společně se soustavou ventilů zasouvání a vysouvání regulačních opěrných válců, čímž dochází k regulaci mezery a zároveň velikosti materiálu na výstupu z premillu. Po nastavení příslušné šířky pomocí přítlačných válců je obsluhou provedeno potvrzení nastavení a dochází ke spuštění posledních dvou pohonů premillu, kterými jsou pohon prvního válce pohon šnekového podavače materiálu.

Vypínací sekvence Premillu PM 370 je analogicky s kotoučovým mlýnem prováděna v opačném pořadí než sekvence spouštěcí. V prvé řadě je zastaveno

podávání nového materiálu do premillu vypnutím šnekového podavače nad premillem a spuštěním příslušného časovače, aby bylo zajištěno zpracování zbývajcího materiálu uvnitř stroje. Po uplynutí tohoto časovače je sekvencí vypnut pohon prvního válce a následně čerpadlo přtlaku opěrných válců. Další v pořadí je odstaven z provozu hlavní pohon premillu. Jelikož se jedná o největší ze všech pohonů tohoto stroje, tak je nezbytné uvažovat dynamické síly, než dojde k úplnému zastavení celé soustavy poháněné tímto motorem. Po uplynutí nezbytného času pro dotočení soustavy hlavního motoru je vypnuto čerpadlo mazacího okruhu, čímž je dovršeno zastavení všech pohonů pohánějící Premill PM 370. Jelikož je však povel k zastavení zpravidla vydáván pomocí automatického režimu ovládání skrze skupinové ovládání, tak dochází k zastavení ostatních navolených skupin technologie.

4 Závěr

V rámci práce byla vypracována analýza náhrady stávajícího řídicího softwaru experimentální cementové mlýnice, z důvodu neuspokojujícího stavu aktuální řídicího systému požadavkům zákazníka. Primárním důvodem výměny tohoto systému se stala ekonomika provozu a dostupnost náhradních dílů v případě poruchy, které díky své nižší dostupnosti by vedly k prohloubení finančních ztrát. Z těchto důvodů byly vyprojektovány nové řídicí silové komponenty a bylo k nim nakresleno kompletní elektrické zapojení včetně silové i komunikační struktury.

V další části práce byl naprogramován ovládací software v programu PCS 7 s cementářenskou nástavbou CEMAT. Tento software byl následně doplněn vizualizací v programu WinCC, která zajišťuje operátorovi experimentální linky nejen přehled o všech komponentech a jejich stavu, ale zároveň možnost prvky ovládat z pohodlí operátorské stanice pomocí počítače.

V budoucnu je počítáno s rozšířením podnikové sítě a sběru dat do příslušného MES systému, čímž bude umožněno sledování výrobních trendů, efektivity a využití jednotlivých strojů pomocí vzdáleného přístupu na podnikový server.

5 Reference

- [1] AG, SIEMENS. *CEMAT MinAS System description*. 03/2019. Munich, 03/2019n. l.
- [2] PATEL, Suhel. What is PCS 7? *Instrumentation Tools* [online]. Kakinada: Gujarat State Petroleum Corporation, c2021 [cit. 2021-8-10]. Dostupné z: <https://instrumentationtools.com/pcs-7/>
- [3] *NEX Instrument* [online]. Hong Kong: NEX Instrument, 2021 [cit. 2021-8-8]. Dostupné z: <https://www.nexinstrument.com/6ES7652-0XC17-2YB0>
- [4] ENGINEERING A.S., PSP. *Encyklopedie výroby cementu*. Přerov, 1997.
- [5] VELEBNÝ, Josef. *Vysokopecní strusky jako součást hydraulických pojiv*. Praha, 2018. Bakalářská Práce. Univerzita Karlova, Přírodovědecká Fakulta.
- [6] KOSOVÁ, Ludmila. *VLIV CEMENTÁŘSKÉHO PODNIKU NA KVALITU OVZDUŠÍ V OKOLÍ ZDROJE*. Ostrava, 2017. Diplomová práce. Vysoká škola Báňská - Technická Univerzita Ostrava, Hornicko-Geologická Fakulta.
- [7] ENGINEERING A.S., PSP. Vertikální mlýny KTM. *Vertikální mlýny KTM* [online]. CZ01/2005. Přerov: PSP Engineering, 2005, 2005, s. 6 [cit. 2021-8-8]. ISBN KTM CZ01/2005. ISSN KTM CZ01/2005. Dostupné z: <http://www.pspeng.com/cz/mleti/detail/vertikalni-mlyny-ktm/>
- [8] ENGINEERING A.S., PSP. Horizontální mlýny PREMILL. *Horizontální mlýny PREMILL* [online]. EN07/2012. Přerov: PSP Engineering, 2012, 2012, s. 6 [cit. 2021-8-8]. ISBN PREMILL EN 07/2012. ISSN PREMILL EN 07/2012. Dostupné z: <http://www.pspeng.com/cz/mleti/detail/horizontalni-mlyny-premill/>
- [9] Válcové drtiče DVZ a DVR. *Válcové drtiče DVZ a DVR* [online]. Přerov: PSP Engineering, 2021, s. 1 [cit. 2021-8-8]. Dostupné z: <http://www.pspeng.com/cz/valcove-drtice/detail/valcove-drtice-dvz-a-dvr/>
- [10] ENGINEERING A.S., PSP. Kladivové drtiče s válci KDV. *PSP Engineering a.s.* [online]. Přerov: PSP Engineering, 2021 [cit. 2021-8-8]. Dostupné z: <http://www.pspeng.com/cz/kladivove-drtice/detail/kladivove-drtice-s-valci-kdv/>
- [11] ENGINEERING A.S., PSP. Vertikální odrazové drtiče ODV. *PSP Engineering a.s.* [online]. Přerov: PSP Engineering, 2021 [cit. 2021-8-8]. Dostupné z: <http://www.pspeng.com/cz/odrazove-drtice/detail/vertikalni-odrazove-drtice-odv/>
- [12] Zapojení a základní nastavení frekvenčního měniče. *MYLMS* [online]. Česká Republika: MYLMS, 2006, 28.10.2016 [cit. 2021-8-8]. Dostupné z: <https://www.mylms.cz/zapojeni-a-zakladni-nastaveni-frekvencniho-menice/>
- [13] AG, SIEMENS. Variable speed drives. *SIEMENS AG* [online]. Munich, Germany: SIEMENS, c1996-2021 [cit. 2021-8-8]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/buildings/hvac/variable-speed-drives.html>
- [14] Siemens SIMOCODE pro C System Manual. *Manualslib* [online]. Hong Kong: ManualsLib, c2012-2021 [cit. 2021-8-8]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/1637637/Siemens-Simocode-Pro-C.html?page=30#manual>

- [15] Siemens SIMOCODE pro C System Manual. *Manualslib* [online]. Hong Kong: ManualsLib, c2012-2021 [cit. 2021-8-8]. Dostupné z: <https://www.manualslib.com/manual/1637637/Siemens-Simocode-Pro-C.html?page=34#manual>