



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**AUTOMATIZACE PROCESU PROJEKTOVÁNÍ A  
PROGRAMOVÁNÍ STROJE**

AUTOMATION THE PROCESS OF DESIGNING AND PROGRAMMING OF MACHINE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Jaromír Boček**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.**

**BRNO 2017**



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Bc. Jaromír Boček**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Kvalita, spolehlivost a bezpečnost  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Automatizace procesu projektování a programování stroje**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Automatizace procesu programování řídicího systému vybraného strojního zařízení včetně návrhu včasné identifikace chyb lidského faktoru při předávání informací mezi projektanty elektro částí stroje a mezi vývojáři řídicího systému stroje.

### **Cíle diplomové práce:**

- 1) Analýza stavu vědy a techniky
- 2) Systémová analýza automatizovaného procesu
- 3) Analýza rizik u automatizovaného procesu.
- 4) Návrh a aplikace preventivních opatření pro snížení rizika.

### **Seznam literatury:**

MAREK, Jiří, et al. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. 1. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

Infozdroje.cz [online]. Praha: Albertina icome Praha s.r.o., 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: [www.infozdroje.cz](http://www.infozdroje.cz)

MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: MM publishing, s. r. o., 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/>

EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie [online]. Brusel: Úřad pro publikace, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu>

ČSN online [online]. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: [csnonline.unmz.cz](http://csnonline.unmz.cz)




Microsoft Developer Network [online]. Microsoft: Microsoft ČR, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <https://msdn.microsoft.com/>

BECKHOFF: New Automation Technology [online]. Verl: Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://www.beckhoff.de/>

BECKHOFF: Beckhoff Information System [online]. Verl: Beckhoff Automation GmbH & Co. KG, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://infosys.beckhoff.com/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  |  |
| _____<br>doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.<br>ředitel ústavu                            |  | _____<br>doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.<br>děkan fakulty                       |

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce řeší problematiku přenosu informací mezi oddělením projekce elektrického vybavení strojního zařízení a oddělením vývoje softwaru řídicího systému tohoto stroje. Diplomová práce se zaměřuje zejména na eliminaci vlivu lidského faktoru při současném zvýšení efektivity tohoto přenosu informací. Systémovou analýzou je proveden rozbor problematiky a analýza spolehlivosti přenosu informace. Na základě požadavků, vyplývajících z analýzy, jsou navržena preventivní opatření a modifikace postupů v obou odděleních. Současně je vyvinuta vlastní softwarová aplikace, která celý proces výrazně zjednoduší a zrychlí, při současném splnění požadavků na vyloučení nalezených problematických jevů, způsobených zejména lidským faktorem. Výsledné řešení je verifikováno podle vytyčeného verifikačního postupu ověřením na vlastním testovacím projektu „SampleVUT“. Při validaci je zhodnocena efektivita navrženého řešení.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the issue of information transfer between the Department of Electrical Equipment Design and the Software Development Department of the control system of this machine. The diploma thesis focuses mainly on the elimination of the influence of the human factor while increasing the efficiency of this information transfer. System analysis examines the issues and investigates the reliability of information transfer. On the basis of the requirements resulting from the analysis, preventive measures and modifications of procedures in both departments have been proposed. Simultaneously, its own software applications have been developed to considerably simplify and accelerate the process, while meeting the requirements to eliminate problematic phenomena caused particularly by human factors. The resulting solution is verified according to the designated verification process and reassessed by own "SampleVUT" test project. Validation evaluates the effectiveness of the proposed solution.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Vývoj softwaru, projekce elektro, FMEA, automatizace přenosu informací, PLC, verifikace.

## **KEYWORDS**

Software Development, Electrical Design, FMEA, Automation of Information Transfer, PLC, Verification.



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BOČEK, J. *Automatizace procesu projektování a programování stroje*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 99 s., Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.





## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za odbornou pomoc při zpracování diplomové práce a mnoho cenných rad poskytnutých v průběhu realizace řešené problematiky. Současně bych rád tímto poděkoval své rodině, která mi po celou dobu studia a zejména v závěrečné fázi při kompletaci a sestavení diplomové práce byla nesmírnou oporou.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Petra Blechy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. 5. 2017

  
.....  
Boček Jaromír



# OBSAH

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>ÚVOD DO PROBLEMATIKY .....</b>   | <b>15</b> |
| 1.1      | Motivace.....   | 15        |
| 1.2      | Problematika systému řízení jevištních mechanismů .....                   | 18        |
| 1.2.1    | Strojní zařízení jevištních technologií.....                              | 18        |
| 1.2.2    | Typy strojních zařízení horní mechanizace .....                           | 20        |
| 1.2.3    | Typy strojních zařízení dolní mechanizace.....                            | 21        |
| 1.2.4    | Typy strojních zařízení v ostatních prostorách .....                      | 22        |
| 1.2.5    | Legislativní rámec pro jevištní technologii.....                          | 23        |
| 1.3      | Problematika daných procesů.....  | 26        |
| 1.4      | Volba analýzy spolehlivosti přenosu informací.....                        | 30        |
| 1.5      | Softwarové prostředky pro realizaci .....                                 | 32        |
| 1.5.1    | EcsCAD .....  | 32        |
| 1.5.2    | MS Access a EcsCAD .....  | 33        |
| 1.5.3    | TwinCAT .....   | 34        |
| 1.5.4    | TwinCAT System Manager .....  | 36        |
| 1.5.5    | TwinCAT PLC Control.....  | 37        |
| <b>2</b> | <b>SYSTÉMOVÁ ANALÝZA .....</b>  | <b>39</b> |
| 2.1      | Myšlenková mapa .....   | 39        |
| 2.2      | Stanovení činností .....  | 40        |
| 2.3      | Rozbor aspektů problematiky.....  | 41        |
| 2.3.1    | Aspekt A1 - Rozsah projektové dokumentace elektro .....                   | 41        |
| 2.3.2    | Aspekt A2 – Rychlost Procesu interface.....                               | 42        |
| 2.3.3    | Aspekt A3 - Úspěšnost předání informací .....                             | 42        |
| 2.3.4    | Aspekt A4 – Činnosti na straně oddělení projekce elektro .....            | 44        |
| 2.3.5    | Aspekt A5 – Činnosti na straně oddělení vývoje softwaru .....             | 45        |
| 2.4      | Analýza spolehlivosti přenosu informací .....                             | 46        |
| 2.4.1    | Nastavení parametrů analýzy .....   | 46        |
| 2.4.2    | Provedení analýzy .....   | 49        |
| 2.5      | Specifikace požadavků pro preventivní opatření při návrhu realizace ..... | 52        |
| 2.6      | Stanovení způsobu verifikace.....   | 53        |
| <b>3</b> | <b>MODIFIKACE STÁVAJÍCÍCH POSTUPŮ .....</b>                               | <b>55</b> |
| 3.1      | Změny v postupech projektování .....                                      | 55        |
| 3.1.1    | Změny a pravidla pro EcsCAD.....  | 55        |
| 3.1.2    | Pravidla pro projektanty.....   | 58        |
| 3.2      | Systémové změny technické terminologie.....                               | 59        |
| 3.2.1    | Zavedení pojmu osa .....  | 60        |
| 3.2.2    | Koncepce obecného zařízení.....   | 61        |
| 3.3      | Úprava databáze EcsCAD .....  | 65        |
| 3.3.1    | Původní výpis PLC .....   | 65        |
| 3.3.2    | Úprava výpisu PLC.....  | 67        |
| 3.3.3    | Zavedení upraveného výpisu PLC do menu .....                              | 70        |
| <b>4</b> | <b>VÝVOJ SW NÁSTROJE PRO ELIMINACI CHYB .....</b>                         | <b>71</b> |
| 4.1      | Popis stávajícího zpracování informací .....                              | 71        |
| 4.2      | Automatizační interface pro TwinCAT System Manager.....                   | 74        |
| 4.3      | Vývoj vlastní softwarové aplikace .....                                   | 75        |
| 4.3.1    | Popis uživatelského rozhraní aplikace dAp .....                           | 75        |
| 4.3.2    | Popis zdrojového kódu aplikace dAp .....                                  | 77        |
| <b>5</b> | <b>VERIFIKACE .....</b>   | <b>81</b> |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 5.1  | Ověření funkčnosti testovacím projektem „SampleVUT“ .....           | 81 |
| 5.2  | Opětovná analýza spolehlivosti po aplikaci modifikací postupů ..... | 82 |
| 5.3  | Testování funkčnosti sw nástroje pro eliminaci chyb.....            | 85 |
| 5.4  | Ověření kontrolního seznamu verifikace.....                         | 86 |
| 6    | VALIDACE .....  | 87 |
| 7    | ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....  | 89 |
| 8    | ZÁVĚR.....  | 91 |
| 9    | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....                                       | 93 |
| 1    | CITOVANÁ LITERATURA .....   | 93 |
| 10   | SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ .....                                      | 95 |
| 10.1 | Seznam tabulek .....  | 95 |
| 10.2 | Seznam obrázků.....   | 95 |
| 11   | SEZNAM PŘÍLOH.....  | 97 |
|      | PŘÍLOHY .....   | 99 |

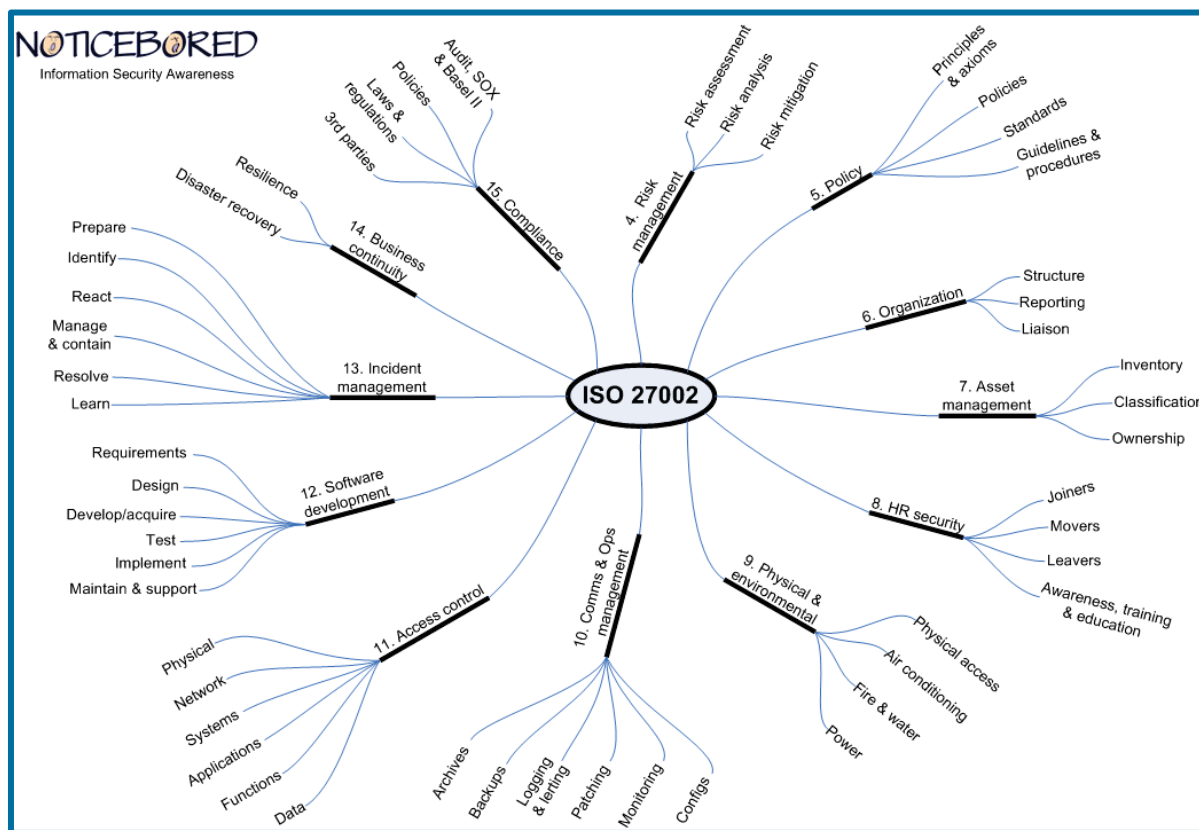
# 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

## 1.1 Motivace

Na začátku všeho je myšlenka. Obvykle jednoduchá a prostá. Okleštěná od souvislostí a návazností. Myšlenka vzniká na základě podnětu. Podnět je mnohdy neurčitý, někdy zcela konkrétní. V praktickém životě je mnoho podnětů vynucených. Vznikají potřeby.

Sestavit diplomovou práci je potřeba. Tato potřeba podnítila základní myšlenku, na jejímž základě vznikla tato diplomová práce. Jak ale takovou myšlenku uchopit? Člověk je obvykle zaměstnán mnoha každodenními činnostmi. O některých přemýšlí více, o některých méně. Některým se zdánlivě nevěnuje vůbec. Aby myšlenku udržel, musí si ji pamatovat a ještě lépe nějakým způsobem zaznamenat. Pokud je myšlenka dobře uchována, můžeme se k ní vracet. Můžeme ji rozvíjet.

Jako dobrý pomocník ve fázi úvah a rozvíjení myšlenky se jeví např. jeden z nástrojů počítačové techniky pro podporu zaznamenávání myšlenkových map – tzv. “mind mapping”. Existuje poměrně velké množství aplikačních softwarů, které podporují vytváření a zaznamenávání těchto myšlenkových map. Patří sem např. XMind, Mindjet, Mindnote, Coggle, Freemind a další. Ukázka, jak může vypadat taková myšlenková mapa je vidět na obrázku Obr. 1).



Obr. 1) Ukázka myšlenkové mapy [1]

Nedá se přesně určit, kdy vznikla myšlenka, co bude obsahem této diplomové práce. Dá se pouze říci, že někde na počátku studia, poněvadž tam vznikla potřeba a z potřeby vzniklo téma a následně zadání. Již od samého počátku byl vybrán nástroj, kterým bude myšlenka zaznamenána a rozvíjena. Nástrojem byl volně dostupný software Freemind, dostupný z Internetu: <http://freemind.sourceforge.net/wiki/index.php/Download>

Potřeba řešit diplomovou práci byla podnícena volbou vhodného tématu odrážejícího aktuální problematiku spojenou s řešením programování řídicích systémů strojních zařízení. Na straně jedné potřeba řešit diplomovou práci, na straně druhé potřeba vyřešit procesní záležitost podnícenou tématem. Myšlenka začíná nabývat reálnou podobu. Potřebu bylo nutné v obecné rovině zhmotnit tak, aby myšlenka nezanikla a mohla být zdrojem informací pro celou vědeckou i veřejnou obec.

Co je tedy potřeba?

Je potřeba vyřešit problém, resp. celý soubor problémů, které se týkají přenesení informací z jednoho oddělení do druhého oddělení v rámci realizaci jedné zakázky. Tato formulace byla příliš obecná, bylo nutné ji upřesnit. Prvním oddělením je oddělení projekce elektro a druhým oddělením je oddělení vývoje softwaru.

Je potřeba vyřešit problém, resp. soubor problémů, které se týkají přenesení informací z oddělení projekce elektro do oddělení vývoje softwaru v rámci realizace jedné zakázky. Tato formulace už byla přesnější, ale stále nebyla moc jednoznačná a vysvětlující. Nejedná se o jednu zakázku. Zakázek tato oddělení mohou řešit i více najednou. Jedná se tedy o všechny zakázky, ale informace, které je nutné přenést, jsou v rámci jedné dané konkrétní zakázky. Další problém byl ve formulaci vlastního pojmu zakázka. O jakou zakázku jde? I toto bylo nutné přeformulovat, neboť se jedná o zakázky týkající se systémů řízení, tedy automatizace. Přestože bylo uvedeno výše, že bude snahou zobecnění vzhledem k následné použitelnosti diplomové práce, bylo nutné od tohoto předpokladu mírně ustoupit a definovat i přesněji pojem systém řízení. Čtenáři diplomové práce pak musí myšlenku uchopit a přetvořit v případě aplikace na jiné odvětví průmyslu. Systémem řízení v tomto kontextu je řídicí systém souboru jevištních mechanismů. Poté bylo tedy možné opětovně přeformulovat potřebu.

Je potřeba vyřešit problém, resp. celý soubor problémů, které se týkají přenesení informací z oddělení projekce elektro do oddělení vývoje softwaru v rámci jedné dané zakázky při realizaci řídicího systému jevištních mechanismů. Definice potřeby již byla téměř úplná. V příliš obecné rovině už zůstal jen pojem problém, resp. soubor problémů. Tímto problémem byla identifikována v tomto kontextu zejména chybovost a nízká rychlost v rámci přenosu informací. Chybovostí byl stanoven celkový počet možných chyb, ať již jsou způsobeny vlivem lidského faktoru nebo použitými technickými prostředky. Rychlostí přenosu byl určen čas, spotřebovaný na kompletní přenesení informací o hardwarové konfiguraci a architektuře systému řízení. Z výše uvedeného vyplývá, že vyřešit problém, resp. celý soubor problémů znamenalo snížit počet chyb (případně eliminovat některé chyby úplně) při současném zvýšení rychlosti přenosu. Potřeba tedy mohla být naposledy přeformulována.

Je potřeba redukovat počet chyb a potřebný čas pro přenesení informací z oddělení projekce elektro do oddělení vývoje softwaru v rámci jedné dané zakázky při realizaci řídicího systému jevištních mechanismů.



Existovala potřeba – rozvíjela se myšlenka. Úplně první myšlenka byla prostá. Bude třeba nasadit automatizaci. Přenos informací musí mít pravidla. Musí být pevně ukotven. Musí se redukovat vliv lidského faktoru. Musí se redukovat chyby a některé úplně eliminovat. Musí se ovšem celý postup zvážit. Musí se analyzovat. Musí se navrhnout nové řešení. Musí existovat způsob, jak celý proces zlepšit. Musí se automatizovat.

V rámci této diplomové práce je předložen návrh, jak je možné tuto problematiku přenosu informace částečně automatizovat a nastavit jí pravidla a současně tak splnit vzniklou potřebu. Název diplomové práce „Automatizace procesu projektování a programování stroje“ je tak verbální aproximací skutečné myšlenky, která zní:

**Nastavení pravidel a částečná automatizace procesu přenosu informací mezi procesem projektování elektrických částí strojních zařízení a procesem vývoje systému řízení těchto strojů v oblasti jevištních mechanismů, jejímž cílem je redukce počtu chyb a potřebného času při přenosu těchto informací.**

## 1.2 Problematika systému řízení jevištních mechanismů

### 1.2.1 Strojní zařízení jevištních technologií

Strojní zařízení jevištní technologie je nutné chápat jako celý komplex mnoha strojních mechanismů různého typu, které jsou vzájemně propojeny, většinou jedním systémem řízení, popř. systémem řízení rozděleným na dva systémy a to pro horní mechanizaci a spodní mechanizaci. Toto rozdělení je dáno způsobem řízení těchto mechanismů, resp. ovládacími stanovišti strojníka, který daný systém řízení ovládá. V rozsáhlých divadlech, kde horní mechanizace obsahuje řádově 100 až 150 zařízení je tak nezbytné, aby systémy řízení jednotlivých sfér byly odděleny a strojník horní mechanizace pak ovládá mechanismy horní sféry a druhý strojník pak mechanismy dolní sféry. Koncepce architektury systému se liší samozřejmě objekt od objektu, ale ve všech divadelních objektech je toto základní členění na horní a dolní mechanizaci respektováno všemi zúčastněnými, od dodavatelů systému řízení až po samotného provozovatele.

Horní mechanizace se dá velmi dobře charakterizovat tím, že jednotlivá zařízení mají své pohonové jednotky umístěny v horní části jevištního komínu v tzv. provazišti, což je v podstatě patro, které je konstruováno z pochozích roštů, přes které jsou směrem dolů vedena jednotlivá nosná lana všech těchto zařízení. Ve své podstatě jsou tato všechna zařízení zvedacími mechanismy, které je možné přirovnat k různým typům jeřábů. Na rozdíl od jeřábů se ovšem pod všemi těmito zvedacími mechanismy pohybuje obslužný personál a během představení a zkoušek i samotní divadelní interpreti. Je tedy zřejmé, že na tato zařízení je kladen velmi vysoký důraz ve smyslu bezpečnosti. Na obrázku Obr. 2) jsou to vodorovně i podélně zavěšené tyče nad prostorem divadelního jeviště, jehož plocha je vymezena žlutým kruhem, který představuje zařízení jevištní točny, která už ovšem patří do zařízení spodní mechanizace.

Dolní mechanizace (někdy též spodní mechanizace), jak dává název tušit, zahrnuje všechna zařízení, která se nachází v dolní části, resp. na úrovni jeviště a v jeho suterénu. Spadají sem mechanismy, které nejsou všechny pouze zdvihovými aplikacemi, ale mohou vyvozovat vzhledem k divadelní scéně i horizontální pohyby, nebo v případě jevištních točen i pohyby rotační. Obdobně jako u horní mechanizace i zde platí to, že se v prostoru pohybuje obslužný personál včetně herců. V dolní sféře je bezpečnostní situace ještě o to markantnější, protože mnohá zařízení slouží přímo k přesunu účinkujících během představení. Zařízení, jako jsou jevištní zvedané stoly a různé typy osobních zvedacích plošin, nazývaných jevištní propadla, jsou na scéně výhradně za tímto účelem. Na scénu pak mohou z různých bočních jevišť či ze zadního prostoru přijíždět různé typy navážecích plošin, které vedeny, nebo bez vedení přiváží na scénu jevištní dekorace, nebo přímo pohybují s herci během představení.

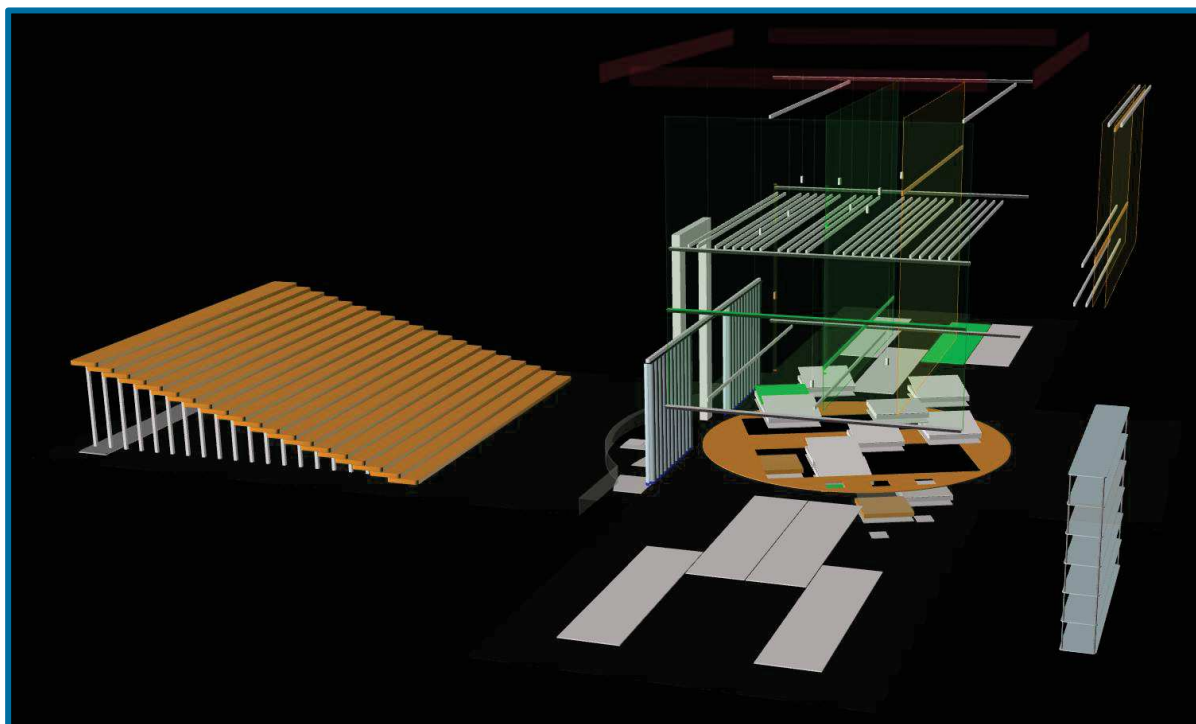
Kvůli přehlednosti a z praktického hlediska pak bývají horní i dolní mechanizace členěny na další funkční celky. U dolní mechanizace je velmi obvyklé členění ještě podle toho, zda se zařízení nacházejí v hledišti, v části jeviště před oponou a na jevišti pak dle toho, jestli jsou tato zařízení součástí hlavní jevištní scény, nebo se jedná o boční jeviště, či zadní jeviště. Toto členění se obvykle promítá potom i do horní mechanizace ve smyslu, nad kterou z uvedených částí divadla jsou zařízení horní mechanizace zavěšena. Speciálním funkčním celkem pak bývá skladování, v podobě různých dopravních plošin do skladovacích prostor, případně speciálních dopravních karuselů, nazývaných sejf dekorací a dalších strojních zařízení podobného účelu. Oblast skladování ovšem není oblastí, která se přímo podílí na jevištním představení a z tohoto důvodu zde mohou platit obdobné bezpečnostní požadavky

jako pro obvyklé strojní zařízení, neboť v tomto funkčním celku není přímá interakce obslužného personálu ani herců přímo během představení.

Pro dokreslení úplné představy o možných nebezpečích a následných rizicích je nutné zmínit, že průběh představení se povětšinou z pohledu obslužného personálu odehrává ve snížených světelných podmínkách, ne-li úplně ve tmě, a naopak divadelní interpreti mají viditelnost ztíženu tím, že jim do obličejů svítí velké množství bodových i plošných reflektorů a tedy mnohdy mají omezen zorný úhel pohledu na určitou výseč a díky vysokému přesvícení nejsou schopni rozeznat, co se odehrává o několik metrů dále za světelnou clonou pod rouškou tmy. Tyto důvody přispívají k vysokým požadavkům na konstruované mechanismy, potažmo na jejich systémy řízení.

Situace se ještě komplikuje velkým množstvím dekorací, které jsou zavěšeny na zařízeních horní mechanizace, nebo umístěny přímo na scéně a obsluha řídicích pultů systémů řízení se tak mnohdy musí spoléhat na pravdivost informací, které dostává přes HMI rozhraní přímo ze systému řízení. Obrázek Obr. 2) ukazuje jednu z možností, jak přes rozhraní HMI dát informaci o stavu jednotlivých zařízení obsluze pomocí 3D vizualizace scény.

Právě kvůli rozsahu a složitosti systémů řízení jevištních mechanismů jsou tyto systémy vybaveny mnoha způsoby různých lokálních ovládacích míst, pro zařízení, která jsou výhradně ovládána samostatným pracovníkem, např. hlavní opona, kterou ovládá pouze oponář. Obvykle je také systém vybaven více stanovišti pro připojení hlavních ovládacích pultů, kvůli přesunu celého stanoviště obsluhy pro dané představení na jiné místo, ze kterého je zajištěna lepší viditelnost na jednotlivá zařízení pro konkrétní divadelní hru. Tato různá lokální ovládání a přípojná místa pultů nic nemění na tom, že se pořád jedná o jeden komplexní systém řízení, který ve stanovený čas musí znát parametry všech zařízení a dle toho provádět jednotlivé bezpečnostní funkce i samotnou provozní obsluhu mechanizace.



Obr. 2) 3D vizualizace ze systému řízení jevištní techniky – iTEMS  
(foto archiv autora)

### 1.2.2 Typy strojních zařízení horní mechanizace

Mezi hlavní strojní mechanismy horní sféry patří tzv. tahová zařízení, která se dělí na prospektové tahy a tahy bodové. Prospektové tahy jsou zařízení, kde je pomocí více nosných lan zavěšená prospektová tyč, na kterou se následně zavěšují dekorace. Pohony prospektových tahů mohou být v různých konfiguracích a různým způsobem zalanovány. Do této skupiny patří i speciální hřídelové tahy, kdy je pohon přímo spojen s dlouhou hřídelí, která současně slouží jako navíjecí buben po celé šířce scény. Druhou velmi početnou skupinu tvoří bodové tahy, jejichž název je odvozen od spouštěného jednoho lana, sloužícího jako závěs pro dekoraci a vytvářejícího tak bodový závěs. Variant bodových tahů existuje nepřeberné množství, zejména co se týká možností, jak pohybovat s vlastním pohonem po provazišti tak, aby byl závěs spuštěn dolů na scénu v požadovaném místě. Pohony bodových tahů tak mohou být přenosné, nebo umístěny na vozících, popř. na kolejnicových drahách a způsoby jejich přemístění jsou pak ruční, nebo různé varianty elektromechanického posunu.

Speciální variantou prospektových tahů jsou pak mechanismy, sloužící k danému účelu. V takovém případě pak není zavěšena prospektová tyč, ale jiný typ konstrukce. Příkladem tak jsou např. osvětlovací baterie, kdy je na lanech zavěšena ocelová konstrukce, sloužící k rozmístění scénických svítidel. Jiným typem pak je zařízení, které se nazývá jevištní opona. Na rozdíl od ostatních látek zavěšených na prospektových tyčích, je látka umístěna na oponové dráze, což umožňuje scénické oponě i pomocí dalšího pohonu, který je součástí této dráhy, s vlastní látkou opony vyvozovat i horizontální pohyby. V horní mechanizaci, ukázka na obrázku Obr. 3), je pak celá škála dalších, pojmenovaných strojních zařízení, jejichž názvy povětšinou vycházejí z typu dekorace, nebo konstrukce, kterou pohybují. Můžeme se tak setkat s horizonty, šálavými rameny, sufity, projekčními plátny, zvedanými kontra portály, zvedanými osvětlovacími lávkami, teleskopy a pantografy. Celá škála je pak i u jednotlivých opon, které nesou názvy dle zavěšené látky, nebo principu, jakým je opona otevírána. Potkáme tak slavnostní oponu, portálový tyl, francouzskou oponu, a další. Speciální variantou opony je pak železná protipožární opona, kdy je spouštěna dolů na scénu ocelová konstrukce pokrytá pláty a sloužící k uzavření proscéniového otvoru, tedy mechanickému oddělení jeviště od hlediště v případě požáru.



Obr. 3) Ukázka horní mechanizace [2]

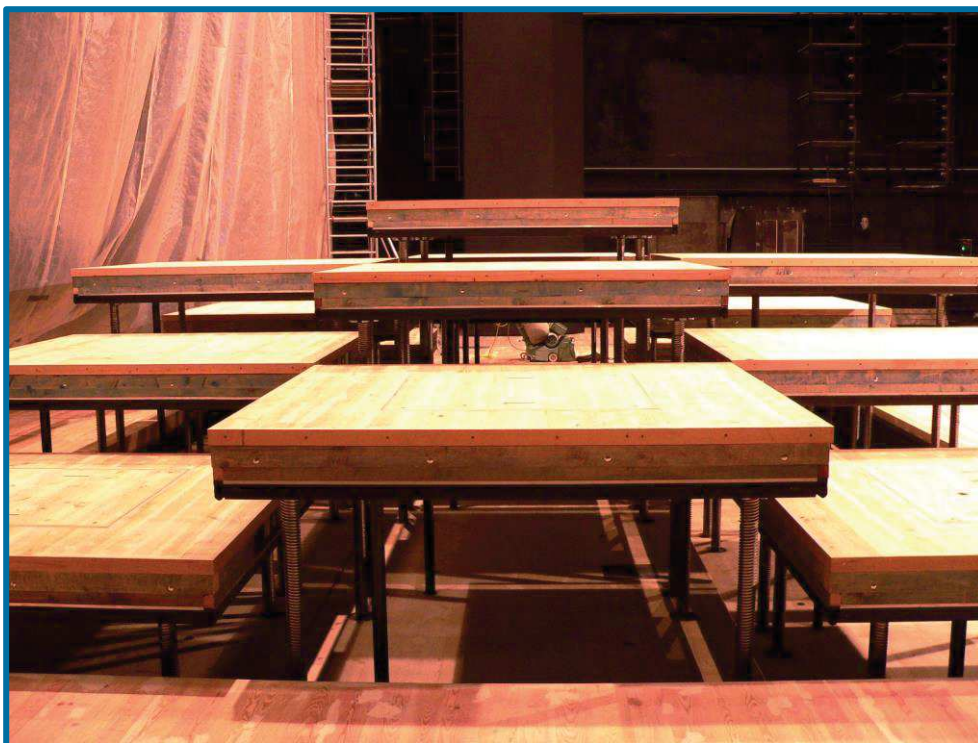


### 1.2.3 Typy strojních zařízení dolní mechanizace

Na rozdíl od horní mechanizace, kde je snaha o to, aby strojní zařízení nebyla divákem spatřena, dolní mechanizace tato zařízení přiznává a doslova vystavuje. Jevištní scény se tak pyšní různorodým členěním, zejména zvedaných jevištních stolů, které se často kombinují s jevištními točnami, ve kterých jsou tyto stoly zabudovány, popř. točnami, které jsou v tzv. kazetách do prostoru jeviště navezeny tak, že následně jevištní stoly překrývají. Jednotlivých variant jevištních stolů existuje velmi mnoho a jejich názvy se vesměs odkazují na principy jejich zvedacích mechanismů. Znamé jsou pak šroubové stoly (ukázka na obrázku Obr. 4), hřebenové, lanové, zvedané speciálními topořícími řetězy společnosti Serapid a nebo mechanismem Spiralift. Často také tyto řetězy, lana nebo šrouby nezvedají horní podestu přímo, ale pomocí nůžkových mechanismů. Názvy stolů jsou pak doplňovány pojmem nůžkové, dvojité nůžkové apod. Speciální variantou je pak použití hydrauliky v kombinaci s některým mechanickým principem, anebo přímým zdvihem pomocí hydraulických válců.

Součástí scény velkého divadla pak musí být i osobní jevištní stoly nazývané jevištní propadla, která vyvozují vertikální pohyb pouze od podlahy jeviště směrem do suterénu a slouží k tomu, aby se herec vynořil z podlahy, popř. v podlaze zmizel. Dolní mechanizace pak obsahuje další zařízení, vyvozující vertikální pohyby, jako jsou pohyblivé portály proscéniového otvoru, navážecí vozy, posuvné osvětlovací věže apod.

Vlastní kategorii pak tvoří orchestřiště, která jsou vybavena opět různými variantami zvedaných stolů. Zvedané stoly orchestřiště ovšem vzhledem ke svému účelu vyvozují vertikální pohyb od jevištní podlahy směrem dolů a vytváří tak tzv. jámy orchestřiště, neboť vlastní orchestr je vždy pod úrovní viditelnosti diváka na scénu z jednoho důvodu a vzhledem k nastavené akustice z důvodu druhého. Tyto zvedané stoly pak často bývají po obvodu vybaveny elektromechanicky zvedanými parapety, které vytvářejí bezpečnostní ohrazení kolem vzniklé, mnohdy několik metrů hluboké jámy.



Obr. 4) Ukázka dolní mechanizace  
(foto archiv autora)

### 1.2.4 Typy strojních zařízení v ostatních prostorách

Další prostory, byť spadají pod dolní mechanizaci, jsou většinou z praktického pohledu dále rozdělovány a to zejména na hlediště a prostory skladového hospodářství.

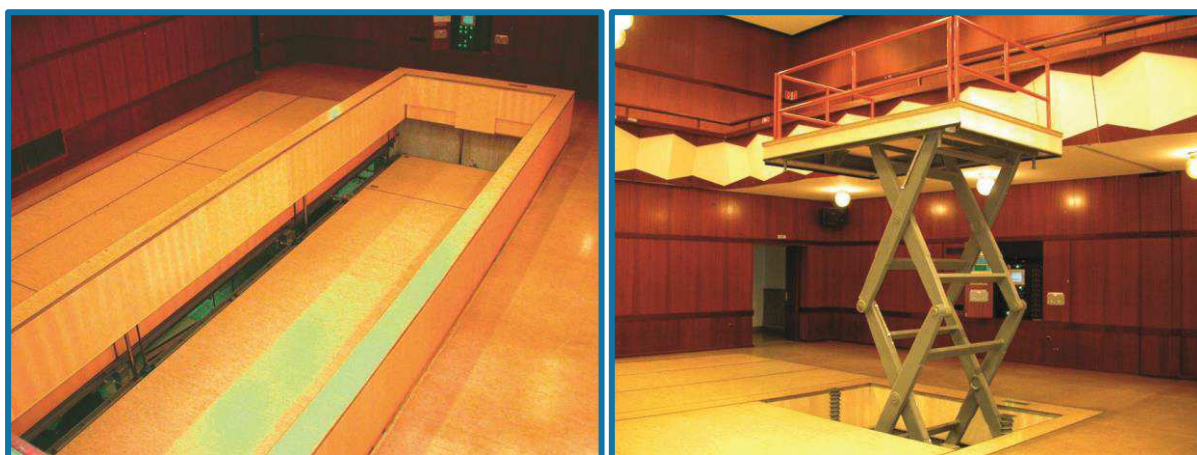
V prostorách hlediště se jedná o strojní zařízení, která slouží pro vytvoření elevace, tedy požadovaného sklonu hlediště. Tento trend je známý více až z poslední doby, poněvadž stávající, většinou historické objekty, měly vytvořeny hlediště z pevných konstrukcí, anebo jako přímou součást stavby. Právě v poslední době je stále větší trend kulturní objekty konstruovat jako multifunkční a tedy různě přestavitelná hlediště jsou tohoto faktu přímým důsledkem. Vznikají tak poměrně složité strojní mechanismy, pomocí kterých jsou např. otáčeny celé řady sedadel opěradly směrem dolů a následně spouštěny do podlahy apod. Cílem je získání rovné plochy v části, nebo v celém sálu, za účelem pořádání plesů, koncertů a podobných kulturních akcí.

V prostorách skladového hospodářství jsou osazovány různě velké zvedací dopravní plošiny a dopravní výtahy. Současně existují i specifická strojní zařízení pro ukládání dekorací a celé komplexy různých dopravníků a zakladačů, tak jak jsou známy z běžného skladového hospodářství. Výjimkou nejsou ani různé pomocné jeřábové zvedací stroje a kladkostroje. Součástí skladového hospodářství je i vyřešení celé dopravní cesty nadrozměrných dekorací ze skladovacích prostor mimo budovu kulturního objektu.

Hlavním rozdílem ostatních prostor od klasických jevištních je vyloučení účasti neodborného personálu a veřejnosti. V případě elektromechanických hledišť jsou tato strojní zařízení blokována proti chodu a zajištěna ve zvolené poloze s nastavenou elevací nebo ve stavu rovné podlahy. V případě skladového hospodářství jsou vyloučeny nezaškolené osoby provozními předpisy a standardními zabezpečeními, používanými ve strojním průmyslu.

V jevištních prostorech se pak mohou vyskytovat různá další přenosná, nebo pevně instalovaná strojní zařízení, která mohou být napojena do centrálního systému řízení jevištních technologií. Patří sem elektromechanické praktikábly, elektromechanické podhledy, koncertní mušle, apod.

Ve velkých divadlech a kulturních objektech bývají pak také další prostory, sloužící k nacvičení a zkoušení, tzv. zkušebny, které velmi často, byť v omezeném množství disponují také některými strojními zařízeními.



Obr. 5) Ukázka dopravních plošin skladového hospodářství  
(vlevo nákladní plošina s parapetem, vpravo dvojitá nůžková plošina)  
(foto archiv autora)

### 1.2.5 Legislativní rámec pro jevištní technologii

Historický rozbor vývoje legislativy v oblasti strojních zařízení je mimo rámec této diplomové práce. Pro seznámení s problematikou je ale důležité alespoň v hrubých rysech nastínit legislativní rámec stávající, který je vázán na Evropské právo, do jehož působnosti spadá i Česká Republika svým vstupem do Evropské unie dne 1. května 2004. Od tohoto okamžiku se začaly měnit všechny do té doby zavedené postupy tak, aby byly v souladu s pravidly volného obchodu v rámci EU.

V rámci fungování Evropské unie jsou jednotlivé členské státy povinny postupně přebírat a zavádět jednotlivé směrnice EU do vlastní národní legislativy. S jednotlivými směrnicemi se poté setkáváme v našem právu v podobě vládních nařízení, resp. nařízení vlády, k jejichž vydávání je vládě udělena pravomoc vycházející z Ústavy České republiky, konkrétně článkem 78: „*K provedení zákona a v jeho mezích je vláda oprávněna vydávat nařízení. Nařízení podepisuje předseda vlády a příslušný člen vlády.*“ [3].

Velká většina jevištních mechanismů je z pohledu legislativního rámce chápána jako strojní zařízení. Při posouzení shody se tedy postupuje dle Směrnice 2006/42/ES (dále jen Směrnice MD, z angl. “Machinery Directive”), resp. NV 176/2008 Sb. Tato směrnice, potažmo NV pak definuje, co je vlastně strojní zařízení v § 2 Základní pojmy a definuje také v dalších paragrafech základní požadavky na tato zařízení, jejich uvádění na trh nebo do provozu, postupy posuzování shody a mnoho dalšího.

V rámci legislativy je splnění požadavků harmonizovaných technických norem (s danou směrnicí, resp. NV) chápáno i jako splnění požadavků dané směrnice. Celé postupné ověření, které provádí výrobce strojního zařízení, je nazváno posouzením shody, které v případě strojních zařízení končí vystavením ES prohlášení o shodě, ve kterém se uvedou podrobné údaje o použitých právních předpisech nebo jejich ustanoveních, které výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce použil. Strojní zařízení se poté viditelně označí značkou CE. Samozřejmě tento popis je značně zjednodušen a zestručněn a slouží pouze k uvedení do problematiky jevištních technologií popsané dále.

V případě jevištních mechanismů se navrhuje a posuzuje stanovené strojní zařízení, a právě tato zařízení jsou řízena řídicím systémem. Směrnice MD nám přikazuje, že je nutné posoudit rizika a následně realizovat opatření, k omezení těchto rizik. Pro řídicí systémy strojních zařízení pak existují s touto směrnicí harmonizované technické normy, mezi něž patří zejména norma ČSN EN 62061 Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických systémů souvisejících s bezpečností a norma ČSN EN ISO 13849-1 Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci. Jedná se o normy pro funkční bezpečnost.

Použitelnost obou dvou norem je, co se týká hodnoty výsledku srovnatelná s tím, že první norma, tedy aplikace normy ČSN EN 62061 není použitelná pro neelektrické komponenty, jako je hydraulika, pneumatika, mechanika apod., naproti tomu druhá norma, tedy aplikace normy ČSN EN ISO 13849-1 je použitelná i na jiné oblasti včetně té elektrické. V praxi to dopadá tak, že při certifikaci řídicích systémů jsou brány v potaz obě dvě technické normy, samozřejmě s ohledem na jejich vymezenou aplikovatelnost.

Technická norma ČSN EN 62061 třídí systémy (subsystémy), resp. jejich bezpečnostní funkce, do úrovně integrity bezpečnosti SIL – “Safety Integrity Level”. Pro oblast strojních zařízení norma definuje tři úrovně, tedy SIL 1 - SIL 3, kde SIL 1 představuje nejnížší úroveň



a SIL 3 pak tu nejvyšší. Tato norma je poměrně propracovaná v mnoha detailech a je možné ji nasadit do všech elektrických systémů. Zjednodušeně řečeno, ČSN EN 62061 je určena pro správné sestavení bezpečnostních komponent, které již jsou certifikovány v dané integritě bezpečnosti, anebo pokud nejsou, jedná se o funkční celky jako součásti daného subsystému nebo systému. Jde tedy o správné sestavení potřebných bezpečnostních funkcí stroje v rámci realizace systému řízení tak, aby tyto bezpečnostní funkce splňovaly bezpečnostní integritu navržené požadované úrovně.

Technická norma ČSN EN ISO 13849-1 používá pojem PL – “Performance Level”, tedy úroveň vlastností, daného systému. V mnoha ohledech lze úroveň vlastností PL vztáhnout k úrovni integrity bezpečnosti SIL. Dokonce tato norma uvádí tabulku, ve které je toto srovnání uvedeno a je tedy dáno, že nejnižší úroveň vlastností PL = a neodpovídá žádné úrovni integrity bezpečnosti SIL, úroveň PL = b a c pak odpovídají SIL 1, PL = d pak SIL 2 a poslední nejvyšší úroveň PL = e odpovídá integritě SIL 3. Norma přebírá některé implementační metody ze své předchůdkyně a to normy ČSN EN 954-1.

V rámci jevištních technologií komplikace nastává při určování každého daného zařízení, poněvadž směrnice MD, resp. příslušné nařízení vlády, určitá zařízení ze své působnosti vyjímá. V době, kdy platilo nařízení vlády 24/2003 Sb. (MD směrnice 98/37/ES) bylo dáno, že z nařízení jsou vyjmuty „divadelní zdviže“ a podle směrnice „divadelní výtahy“. Nějakou dobu se v technické obci diskutovalo, co tyto pojmy znamenají. Objevovaly se různé komentáře a situace byla poměrně nejasná. S novou (současnou platnou) směrnicí 2006/42/ES, tedy nařízením vlády 176/2008 Sb., se situace vyjasnila. Vyjmuta jsou zařízení, resp. nařízení se nevztahuje na „strojní zařízení jevištní techniky určená k přesunu účinkujících během představení“ [4]. V případě takového zařízení je nutné postupovat při posuzování shody podle bezpečnosti obecné, tedy zákona č. 102/2001Sb., ne stanoveného strojního zařízení. Nicméně v praxi jsou všechna zařízení řízena stejným systémem, který směrnicí podléhá, poněvadž i většina zařízení dle definice strojními zařízeními jsou.

Aby to ovšem nebylo tak jednoduché, na trh České Republiky vstupují zahraniční firmy, zejména pak ze sousedního Německa, které mají vyvinuty systémy řízení pro jevištní mechanismy, které jsou v souladu a certifikovány podle celého souboru evropských technických norem EN 61508 (EN 61508 – 1 ed.2 až EN 61508 – 7 ed.2) do úrovně integrity bezpečnosti SIL 3, přestože tento soubor norem není s nařízením vlády pro strojní zařízení, respektive směrnicí MD, harmonizován. Tato situace je dána zřejmě tím, že německá národní norma pro strojní mechanismy divadel a kulturních objektů, na soubor norem z řady EN 61508 na mnoha místech odkazuje a mnohdy z něj cituje. Jedná se o technickou normu DIN 56950 – 1 z května 2012 s volně přeloženým názvem „Jevištní technologická zařízení – Strojně technická zařízení – Část1: Bezpečnostně technické požadavky a kontrola.

Originální název je: „DIN 56950 – 1 Veranstaltungstechnik - Maschinentechnische Einrichtungen - Teil 1: Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung“.

Jak je velmi dobře patrné z úvodní části této normy, jedná se o technickou normu, která mimo jiné představuje souhrn jednotlivých předchozích verzí norem pro tuto skupiny výrobků podle oblasti použití a stanovuje konkrétní konstrukční opatření na strojích v oblasti použití směrnice pro strojní zařízení 2006/42/ES i mimo její oblast. Jedná se o technickou normu týkající se bezpečnosti strojů a je uspořádána v souladu se směrnicí CEN Guide 414 a tato norma má charakter normy typu C (bezpečnostní normy pro strojní zařízení). Jejím účelem je zajistit jednotnou bezpečnostně-technickou úroveň pro plánování, konstrukci, provádění, údržbu a



zkoušení strojně-technických zařízení v místech pořádání a produkování scénických představení s přihlédnutím k zvláštním způsobům daného provozu, v souladu s novelizací směrnice EU pro strojní zařízení (Směrnice 2006/42/ES), kde je původní termín „jevištní výtahy“ nahrazen slovy „strojní zařízení určená k přesunu účinkujících během uměleckých představení“. Pomocí těchto strojně-technických zařízení však mohou být „přepřavování nejen pouze interpreti během uměleckých představení“, nýbrž také břemena nad osobami a pomocí těchto zařízení se také mohou osoby pohybovat a držet se na nich. To se děje nejen během uměleckých představení, nýbrž také během stavby dekorací, zařizování a zkoušení. Cílem této normy je navíc integrovat také strojní zařízení, která jsou vyjmuta ze Směrnice pro strojní zařízení, do jednotné bezpečnostně technické úrovně. [5]

Z výše uvedených odstavců vyplývá, že je velmi vhodné a doporučené postupovat podle této německé normy i v oblasti posuzování shody pro strojní zařízení jevištní techniky na trhu České Republiky, potažmo v rámci Evropské Unie, a to v souladu se zákonem 22/1997 Sb., který v § 13a říká:

*„Pokud nařízení vlády stanoví podle § 12 a 13 požadavky, které nepřejímají požadavky stanovené příslušnými předpisy Evropských společenství, neuplatní se tyto požadavky na výrobky, které byly vyrobeny anebo uvedeny na trh v některém členském státě Evropské unie nebo v Turecku nebo mají původ v některém ze států Evropského sdružení volného obchodu, které jsou současně smluvní stranou Evropského hospodářského prostoru, za předpokladu, že takový výrobek odpovídá:*

*a) technickým předpisům, které jsou pro výrobu anebo uvedení na trh, popřípadě pro používání tohoto výrobku v některém z těchto států závazné,*

*b) technickým normám nebo pravidlům správné praxe, které jsou vydány národním normalizačním orgánem nebo subjektem jemu na roveň postaveným, v souladu s právními předpisy a požadavky státu, který je smluvní stranou Evropského hospodářského prostoru,*

*c) mezinárodním technickým normám, oprávněně používaným v některém z těchto států, nebo*

*d) tradičním či inovačním výrobním postupům používaným v některém z těchto států v souladu s jeho právními předpisy, pro které existuje dostatečně podrobná technická dokumentace zajišťující, že tento výrobek může být pro daný účel použití posouzen, v případě potřeby i na základě doplňujících (nikoliv shodných) zkoušek výrobku,*

*pokud tyto technické předpisy, technické normy, pravidla správné praxe nebo postupy zaručují míru ochrany oprávněného zájmu odpovídající míře této ochrany v České republice.“ [6]*

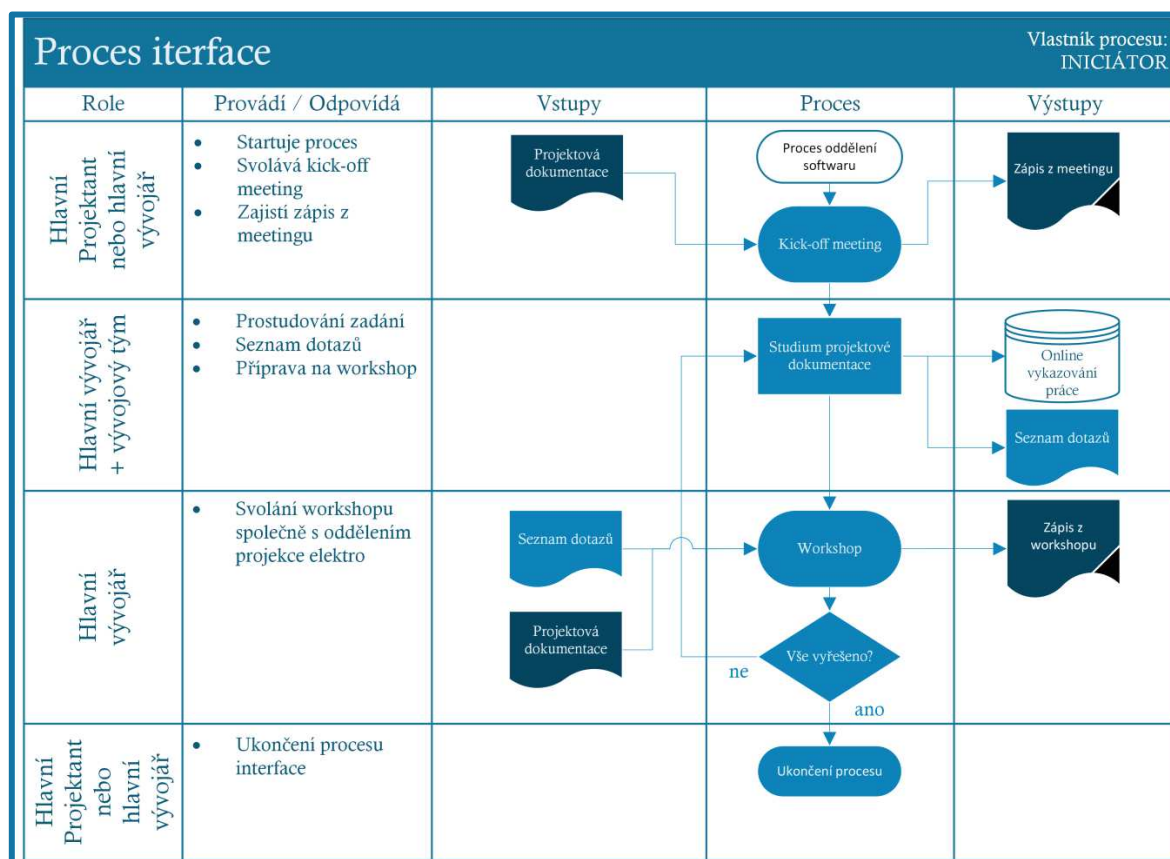
V souladu s uvedenými fakty je pro oblast řídicích systémů jevištní techniky nejvhodnějším způsobem pro docílení shody se zákonnými požadavky postupovat podle technických norem z oblasti funkční bezpečnosti, nejlépe pak podle celého souboru evropských technických norem EN 61508 (EN 61508 – 1 ed.2 až EN 61508 – 7 ed.2). Tento soubor norem je velmi komplexním souborem požadavků, mezi které mimo jiné patří i důsledná dokumentace celého vývoje systému řízení s důrazem na vyloučení chyb vlivem lidského faktoru, neboť se nejedná pouze o vyloučení náhodných chyb, ale také o vyloučení chyb systematických a zvládnutí takovýchto chyb je tak založené na principech znemožňujících vlastní iniciativy a udržujících zvládnutí celého životního cyklu v definovaných mantinelech.

V rámci této diplomové práce, přestože se nejedná přímo o bezpečnostní funkce systému řízení, jsou nastavena pravidla, opatření a způsob pro jednu z dílčích částí při vývoji systému řízení, která pak mohou být v tomto kontextu chápána jako další podpůrný prostředek pro udržení vývoje v předepsaných mantinelech, při současné dokumentaci tohoto vývoje, a jsou tak při této dílčí činnosti dodržovány základní principy, které soubor technickým norem ČSN EN 61508 vyžaduje při vývoji řídicích systémů souvisejících s bezpečností.

### 1.3 Problematika daných procesů

V této kapitole je popsáno, jakým způsobem bylo při řešení diplomové práce přistoupeno k jednotlivým procesům, které se týkají přenosu informace mezi projekčním oddělením elektro a oddělením vývoje softwaru z pohledu uvedených procesů. V nejzákladnějším principu se jedná o část výstupních informací z projekčního oddělení, které slouží jako vstupní informace pro oddělení vývoje softwaru.

Pro názornost byly zakresleny mapy těchto procesů v diagramech typu “Swimming pool”. Na obrázku Obr. 8) je zakreslena procesní mapa oddělení elektro a na obrázku Obr. 9) proces oddělení vývoje softwaru. Z uvedených obrázků Obr. 8) a Obr. 9) by se mohlo zdát, že jedinou součástí interface mezi oddělením projekce elektro a oddělením vývoje softwaru je pouze projektová dokumentace elektro, která je výstupem prvního ze jmenovaných procesů a současně vstupem druhého.



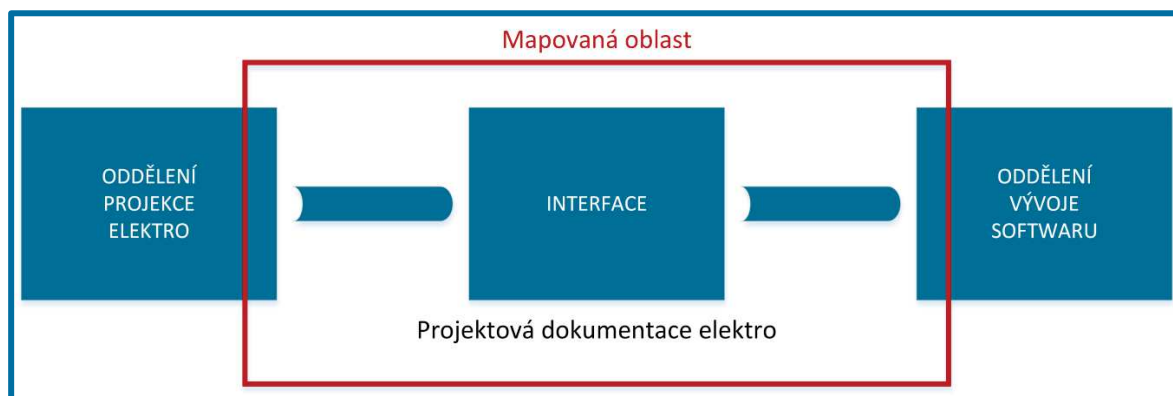
Obr. 6) Proces interface

Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že samotný přenos informací a jeho způsob provedení je také procesem. Nejde pouze o fyzický nebo elektronický přenos z jednoho oddělení do druhého, ale současně se předpokládá jedno, obvykle více, setkání zainteresovaných členů daných oddělení a uspořádání minimálně schůzky typu kick-off meetingu a workshopu. Bylo zjištěno, že potřeba uspořádání těchto schůzek je o to nezbytnější, pokud se jedná o útvary z různých společností. Za tímto účelem byla zpracována i procesní mapa samotného procesu předávání informací mezi oddělením elektro a oddělením vývoje softwaru a celý proces byl pojmenován „Proces interface“. Zpracovaný proces interface je patrný z obrázku Obr. 6).

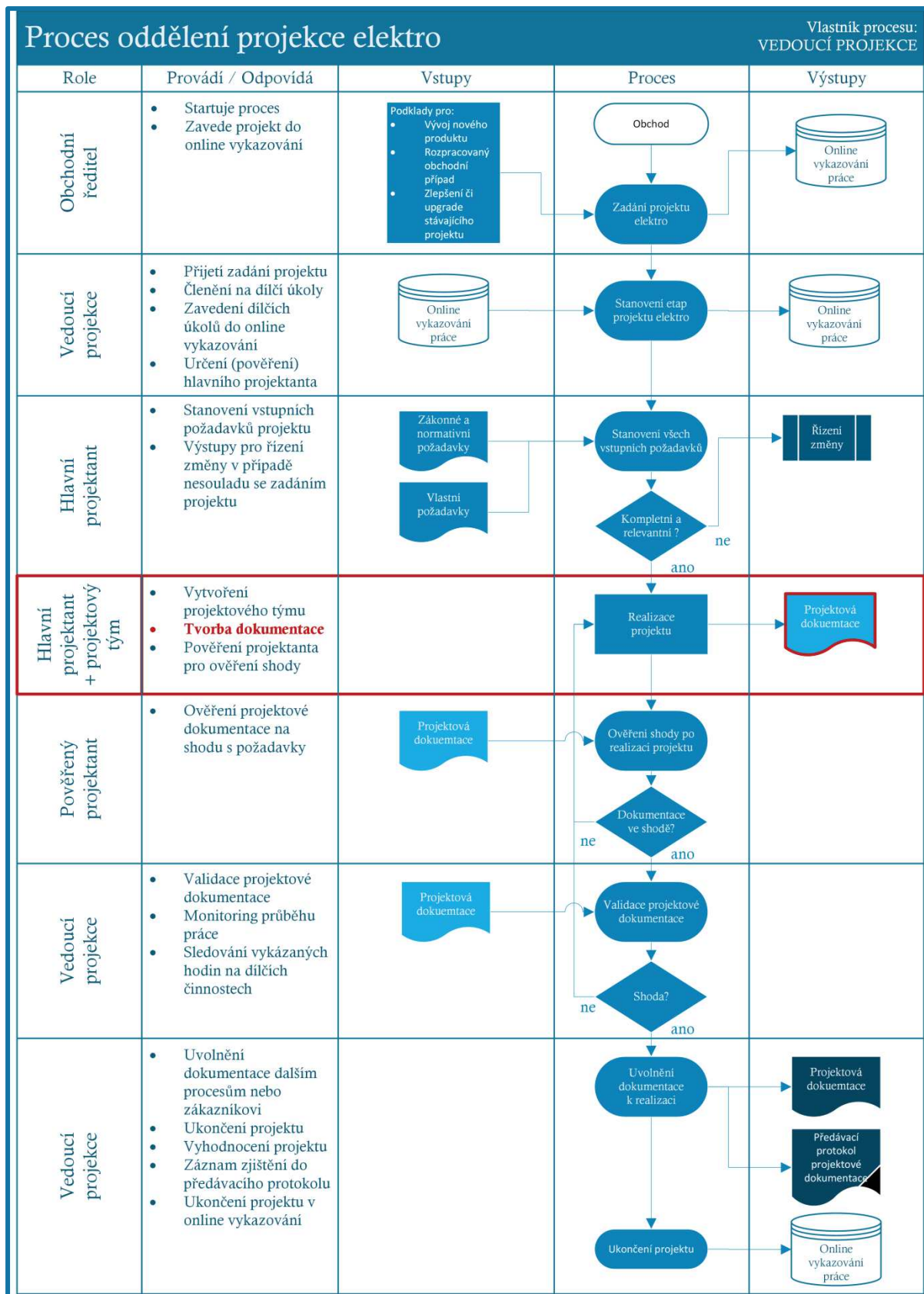
Vlastníkem procesu byl určen iniciátor, který vyvolá spuštění procesu. Bylo zjištěno, že tímto iniciátorem bývá obvykle hlavní vývojář, tedy člen oddělení vývoje softwaru, ale není to nezbytně podmínkou a proces může být spuštěn i z oddělení projekce elektro. Účelem procesu interface je předání dokumentace s objasněním jejího obsahu tak, aby následný vývoj softwaru probíhal dle zadaných parametrů a byly splněny všechny podmínky dané prvotním zadáním a následně celou předávanou projektovou dokumentací. Tato projektová dokumentace by ve své podstatě měla obsahovat veškeré informace tak, aby následné další meetingy nebyly potřebné. Prakticky se ovšem ukázalo, že je tato podmínka těžko realizovatelná vzhledem k mnoha okolnostem, např. nejednoznačností v zadání, ve špatně nastavených parametrech předávaných informací na obou stranách apod. a je nutné meetingy typu workshop svolávat.

Prakticky tedy celý proces probíhá tak, jak je uvedeno na obrázku Obr. 6). Během úvodního “kick-off” meetingu dojde k předání projektové dokumentace elektro s krátkým úvodem do projektu. Nastává čas k prostudování dokumentace ze strany oddělení vývoje softwaru a poté ke svolání workshopu, kde se objasní veškeré náležitosti projektu, zodpoví se případné dotazy a dohodnou se postupy pro vyřešení případných nejasností. Při rozsáhlém projektu je pak zcela běžné, že je nutné workshopy opakovat. Proces interface je ukončen poté, co jsou vyřešeny všechny případné dotazy k projektové dokumentaci a je zřejmé, že již nebude třeba svolávat další workshop.

Po tomto rozboru jednotlivých procesů bylo možné celou situaci zakreslit do blokového schématu, což je patrné z obrázku Obr. 7). Tento obrázek ukazuje názorně, jak vypadá daná mapovaná oblast z pohledu jednotlivých oddělení a jejich vazby. Jedná se o zjednodušené schéma, kde červeně je vyznačena daná oblast, která byla řešena v rámci této diplomové práce. Červený rámeček záměrně zasahuje do části obou oddělení, čímž je schematicky naznačeno, že byly posuzovány činnosti primárně sloužící pro Proces interface.

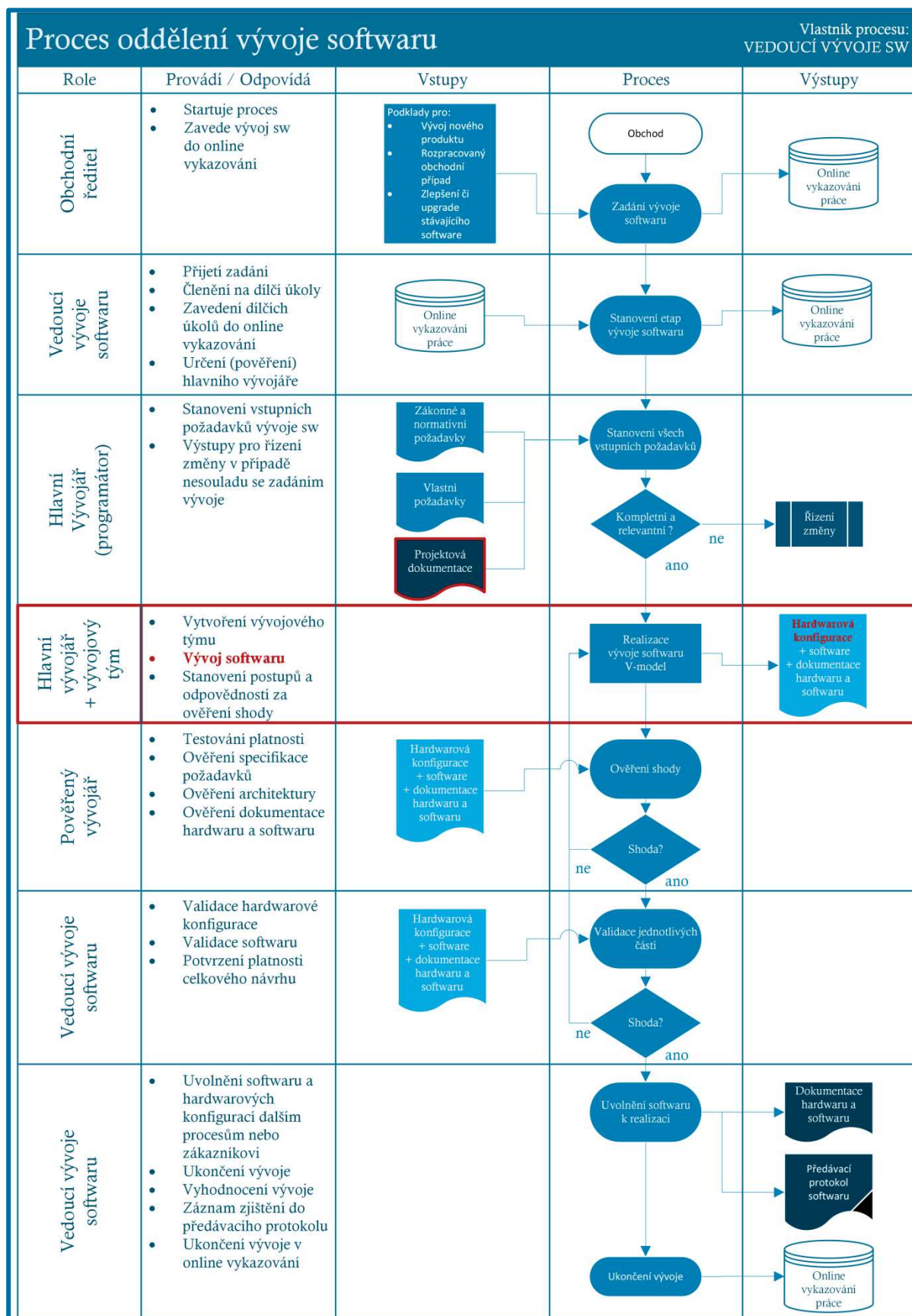


Obr. 7) Blokové schéma mapované oblasti v rámci oddělení



Obr. 8) Proces oddělení projekce elektro na modelovém příkladu





Obr. 9) Proces oddělení vývoje softwaru na modelovém příkladu

## 1.4 Volba analýzy spolehlivosti přenosu informací

Nastíněný problém přenosu informací mezi odděleními se jeví jako poměrně rozsáhlá problematika z několika různorodých oblastí. Takto nastavený problém je nutné řešit systematicky. Jako velmi vhodný nástroj se tak jeví použití některé z typů analýz rizik, které mají systematický přístup k řešení dané oblasti. Pro tuto problematiku jako nejvhodnější analýza rizik byla určena analýza FMEA, resp. FMECA.

Vznik analýzy FMEA se datuje do šedesátých let 20. století. V té době pod hlavičkou Národního ústavu pro letectví a kosmonautiku (NASA) vznikala tato metoda v průběhu právě probíhajícího programu vesmírných letů. Metoda v průběhu času zaznamenala takové úspěchy, že byla postupně implementována do různorodých oblastí nejen v průmyslu. Volba této metody je navíc podpořena faktem, že je plně aplikovatelná na procesní problémy a mohou tak být zkoumány účinky a potenciální chyby v jednotlivých fázích zkoumaných procesů, počínaje vývojem, přes projektování a konstrukci až k samotné výrobě.

Metoda FMEA je velmi účinná zejména v možnostech předcházet a zabránit jednotlivým chybám a definovaným problémům ještě před začátkem daného konkrétního procesu. Z této vlastnosti metody FMEA také vyplývá její obecné členění na Systémovou FMEA, Konstrukční FMEA a Procesní (popř. Výrobní) FMEA.

Název metody, resp. její používaná zkratka FMEA, vychází z anglického názvu metody “Failure Mode and Effects Analysis”, která se zpravidla do českého jazyka překládá pod názvem „analýza možného výskytu a vlivu vad“, nebo také poměrně známým názvem „analýza způsobů a důsledků poruch“.

Celosvětová úspěšnost metody FMEA vedla v průběhu času i k jejímu, několikrát opakovanému, zpracování ve formě technické normy. Z pohledu české legislativy, resp. z pohledu evropské unie, je její současná podoba zpracována v české technické normě vydané v roce 2007 pod názvem ČSN EN 60812 Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA). Velmi dobře a současně stručně je charakter metody FMEA uveden v úvodní části zmiňované normy:

*„Analýza způsobů a důsledků poruch je systematický postup analýzy systému za účelem zjištění potenciálních způsobů, jejich příčin a důsledků na technické parametry (výkonnost) systému (bezprostřední montážní sestavy i celého systému či procesu). Termín systém se zde používá jako představitel hardwaru, softwaru (s jejich významným působením) nebo procesu. Analýza se úspěšně provádí přednostně v rané etapě vývojového cyklu, aby se daný způsob poruchy nákladově efektivně odstranil nebo zmírnil. Tato analýza může být zahájena, jakmile je systém dostatečně vymezen, aby mohl být prezentován jako funkční blokový diagram, ve kterém mohou být stanoveny technické parametry jeho prvků.“ [7]*

Souhrnně může být metoda vyjádřena v následujících krocích:

- Posouzení předmětu analýzy – vymezení hranic analýzy
- Pochopení požadavků na systém a jeho funkce
- Stanovení kritérií poruch a jejich hodnocení
- Určení a zaznamenání všech způsobů poruch a jejich důsledků formou formuláře
- Sumarizace důsledků poruch
- Závěrečná zpráva o nálezech a výsledek analýzy

Analýza FMEA bývá také obvykle rozšiřována o analýzu kritičnosti, což je kvantitativní ukazatel velikosti způsobu poruchy. Pod tímto pojmem kritičnost je možné si představit dopad či významnost poruchy. Takto rozšířená analýza FMEA je poté označována zkratkou FMECA (Význam C je opět z angličtiny “Criticality”). Význam kritičnosti v tomto pojetí je kvantifikace relativní velikosti každého důsledku poruchy a tím pádem výrazně lepší pozice pro rozhodování na základě závažnosti v kombinaci s kritičností. Pro kvantifikaci kritičnosti může být použito více metod. Jednou z nejznámějších je stanovení tzv. čísla priority rizika RPN (“Risk Priority Number”), v české literatuře označovaného též PRČ. Toto číslo získáme dle vzorce (1):

$$RPN=S \times O \times D \quad (1)$$

kde:

- S - klasifikace závažnosti
- O - klasifikace pravděpodobnosti výskytu
- D - detekce neboli odhalení poruchy

Ve všech třech případech se jedná se o bezrozměrné veličiny. Existují i další metody, např. sestavení matice kritičnosti, apod. Mezi hlavní přínosy metody FMEA/FMECA patří:

- Zabránění nákladným modifikacím včasným zjištěním nedostatků v návrhu
- Zjištění poruch a kombinací poruch, které mají významné až nepříjemné důsledky
- Významně zkracuje dobu řešení vývojových prací
- Optimalizuje návrh a vede ke snížení počtu změn ve fázi realizace
- Umožňuje vývojářům pochopení těch faktorů, které ovlivňují bezporuchovost
- Vytváří důležité informace o daném procesu nebo produktu

## 1.5 Softwarové prostředky pro realizaci

V současné době existuje poměrně velké množství aplikačních softwarů pro tvorbu projektové dokumentace elektro a ve své podstatě se vždy jedná o programy pracující na principu databázových systémů v kombinaci s příslušným CAD systémem. Vzhledem k rozsahu a funkčnosti jednotlivých aplikací byl pro účely této diplomové práce vybrán konkrétní aplikační software EcsCAD nadnárodního koncernu Mensch und Maschine Software SE, pracující s databázemi MS Access.

Vývojová prostředí pro implementaci řídicích systémů jsou zastoupena ještě ve větším počtu, než je tomu v případě projekčních softwarů. Na rozdíl od projekčních softwarů jsou tyto aplikace poměrně úzce svázány s použitým hardwarem, neboť tyto aplikační softwary jsou poskytovány (placenou formou či bezúplatně) přímo dodavateli jednotlivých hardwarových řešení – tedy řídicích počítačů, PLC modulů, vstupně výstupních modulů a dalšího hardwarového vybavení pro systémy řízení. Vzhledem k aplikačním možnostem a rozsahu funkčnosti byl pro tuto diplomovou práci vybrán vývojový a aplikační software TwinCAT od společnosti Beckhoff Automation GmbH & Co. KG.

V následujících podkapitolách jsou stručně popsány jednotlivé použité aplikační softwary a jejich části, které se přímo dotýkají cíle této diplomové práce tak, aby byl vytvořen celkový obraz problematiky, která je diplomovou prací zpracována.

### 1.5.1 EcsCAD

EcsCAD je softwarový nástroj pro podporu návrhu a dokumentaci elektrických obvodů a technologických celků. Tento softwarový nástroj pomáhá elektro inženýrům v realizaci výkresové dokumentace obvodových schémat, návrhu rozváděčů, tvorbě plánů elektroinstalací a v neposlední řadě při návrhu celých systémů řízení z pohledu hardwarových konfigurací.

Software EcsCAD je vybaven rozsáhlými databázemi elektrotechnických značek a symbolů a pokročilými funkcemi k jejich vzájemnému propojování vodičů a kabeláží. Tyto pokročilé funkce omezují chyby projektantů při samotném návrhu. Současně jsou při projekčních pracích vytvářeny vazby jednotlivých symbolů na konkrétní komponenty, rovněž zpracované do rozsáhlých databází, řazených dle jednotlivých výrobců.

Výstupy z tohoto aplikačního softwaru lze rozdělit na výkresovou dokumentaci a dokumentaci specifikací. Výkresová část dokumentace je tedy souborem jednotlivých výkresů ve formátu DWG. Dokumentací jednotlivých specifikací jsou pak různé podoby výpisů a seznamů z celé dokumentace, jako jsou rozpisy materiálů, seznamy vodičů, kabelů a jejich propojení, tabulky propojení svorkovnic, seznamy PLC komponent, výpisy vstupů a výstupů a mnoho dalších.

Jedná se o velmi sofistikovaný CAD nástroj s integrovaným databázovým systémem, který je v případě EcsCADu, resp. použitého EcsCAD 2014 R2, propojen se databázemi ve formátu MS Access. Tento podpůrný nástroj pro tvorbu dokumentace je v praxi využíván projekčním oddělením elektro.



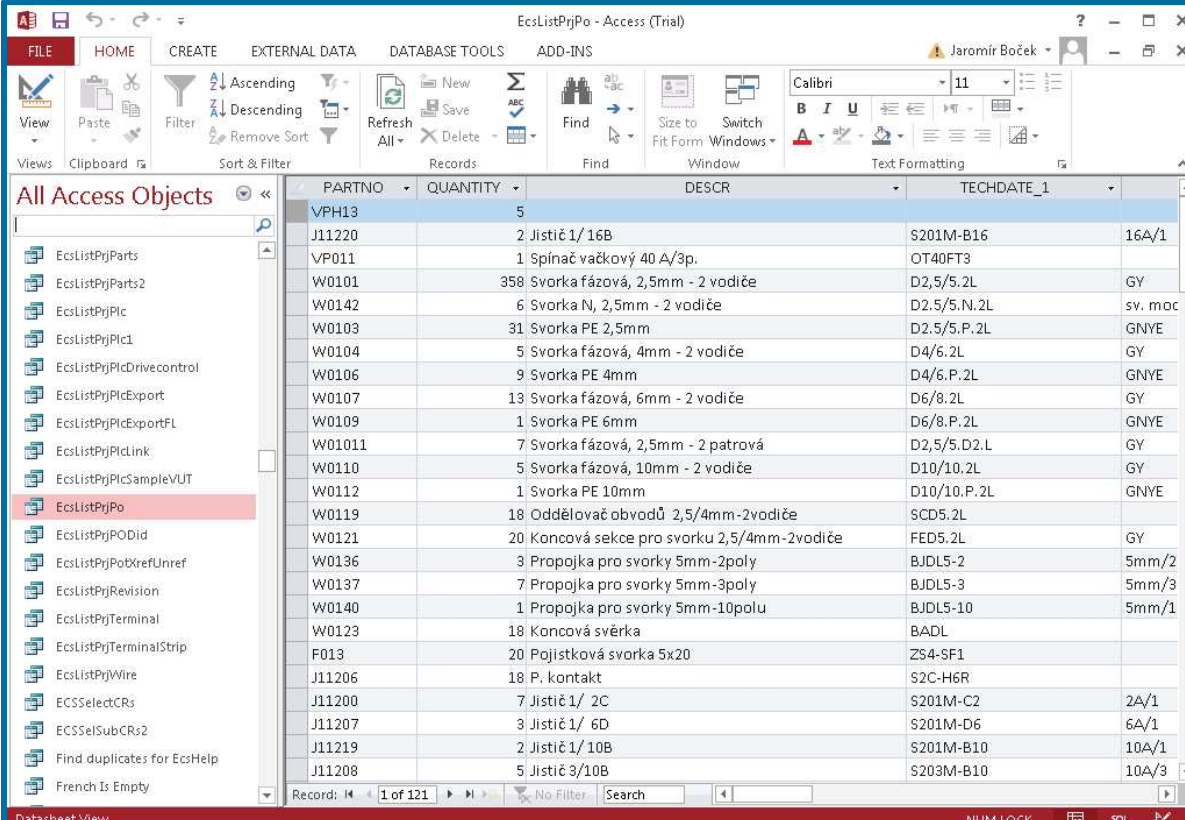
## 1.5.2 MS Access a EcsCAD

V případě nasazení EcsCADu je výrobcem doporučena současná instalace kancelářského balíku MS Office v takové verzi, která obsahuje i databázový editor MS Access. Pokud není k dispozici licence pro MS Access, je možné nasazení pouze runtime jádra MS Access, ovšem s tím, že uživatel ztrácí možnost jednotlivé databáze upravovat, resp. přizpůsobit jednotlivé výpisy dle vlastní potřeby a je odkázan na kompletní nastavení EcsCADu tak, jak jej dostal od výrobce.

Jelikož jedním ze základních stavebních kamenů pro zdárný výsledek diplomové práce bylo upravení jednoho z výpisů vstupů a výstupů PLC konfigurace, byla použita plná licence softwaru MS Access. Další použití takto upravené databáze na případných dalších počítačových strojích jednotlivých projektantů již nezbytně nevyžaduje instalaci MS Access na jejich strojích a EcsCAD pak již pracuje s takto upravenou databází, která může být na tyto počítačové stroje prostým způsobem zkopírována.

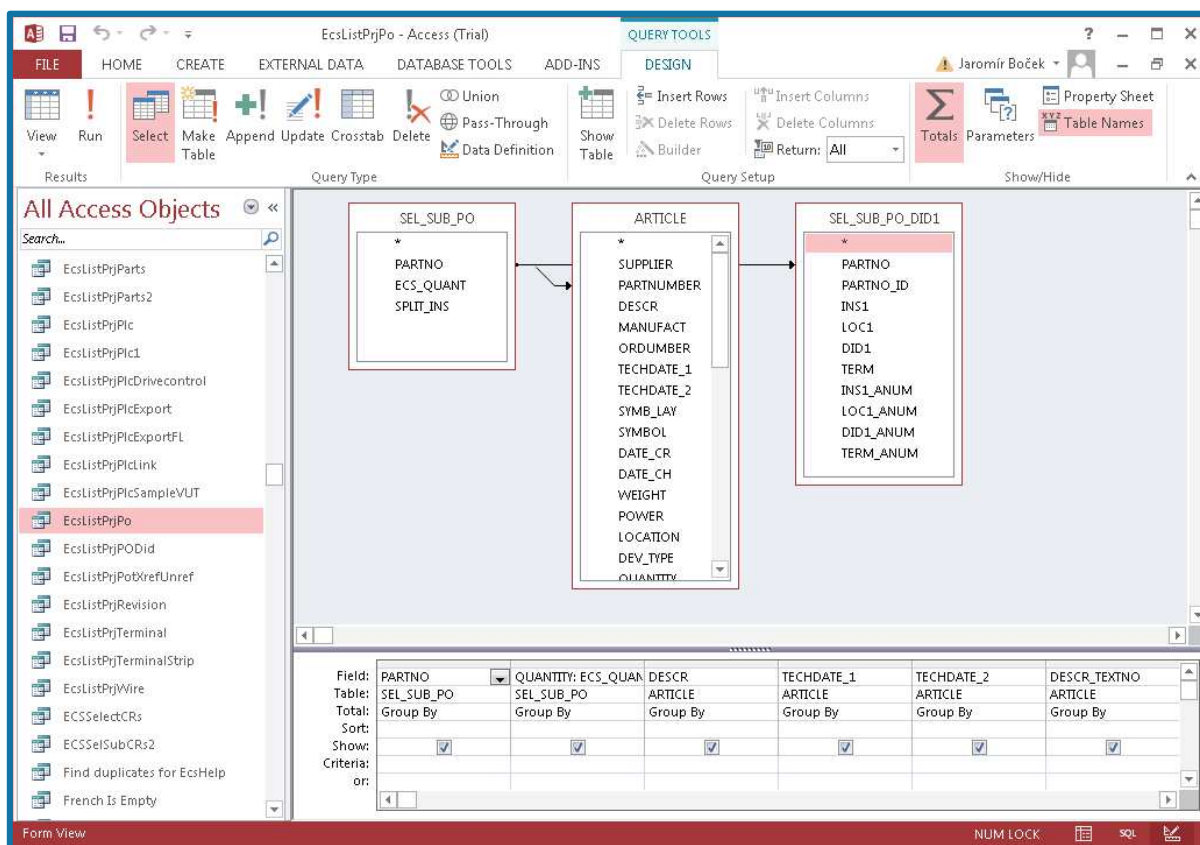
Na obrázku Obr. 10) je vidět, jak vypadá případný výpis materiálu, zobrazený přímo v MS Access. Samozřejmostí je, že dané výpisy lze provádět formou výpisů do tabulek MS Excel, do textových souborů, popř. do dalších formátů pro výměnu dat. Obrázek Obr. 11) pak ukazuje stejný výpis materiálu, ovšem v tzv. zobrazení návrhu, tedy v podobě, kdy je možné upravovat vlastnosti daného konkrétního výpisu.

V případě použití vytvoření výpisu přímo z EcsCADu ale nejsou vidět okna tak, jak jsou zobrazena na obrázcích Obr. 10) a Obr. 11), ale je vyvoláno přímo menu pro jednotlivé výpisy a po zvolení formátu daného výpisu se provede přímo export do tohoto navoleného formátu.



| PARTNO | QUANTITY | DESCR                                    | TECHDATE_1  |
|--------|----------|--|-------------|
| VPH13  | 5        |  |             |
| J11220 | 2        | Jistič 1/ 16B                            | S201M-B16   |
| VP011  | 1        | Spínač vačkový 40 A/3p.                  | OT40FT3     |
| W0101  | 358      | Svorka fázová, 2,5mm - 2 vodiče          | D2,5/5.2L   |
| W0142  | 6        | Svorka N, 2,5mm - 2 vodiče               | D2,5/5.N.2L |
| W0103  | 31       | Svorka PE 2,5mm                          | D2,5/5.P.2L |
| W0104  | 5        | Svorka fázová, 4mm - 2 vodiče            | D4/6.2L     |
| W0106  | 9        | Svorka PE 4mm                            | D4/6.P.2L   |
| W0107  | 13       | Svorka fázová, 6mm - 2 vodiče            | D6/8.2L     |
| W0109  | 1        | Svorka PE 6mm                            | D6/8.P.2L   |
| W01011 | 7        | Svorka fázová, 2,5mm - 2 patrová         | D2,5/5.D2.L |
| W0110  | 5        | Svorka fázová, 10mm - 2 vodiče           | D10/10.2L   |
| W0112  | 1        | Svorka PE 10mm                           | D10/10.P.2L |
| W0119  | 18       | Oddělovač obvodů 2,5/4mm-2vodiče         | SCD5.2L     |
| W0121  | 20       | Koncová sekce pro svorku 2,5/4mm-2vodiče | FED5.2L     |
| W0136  | 3        | Propojka pro svorky 5mm-2poly            | BJDL5-2     |
| W0137  | 7        | Propojka pro svorky 5mm-3poly            | BJDL5-3     |
| W0140  | 1        | Propojka pro svorky 5mm-10polu           | BJDL5-10    |
| W0123  | 18       | Koncová svěrka                           | BADL        |
| F013   | 20       | Pojistková svorka 5x20                   | ZS4-SF1     |
| J11206 | 18       | P. kontakt                               | S2C-H6R     |
| J11200 | 7        | Jistič 1/ 2C                             | S201M-C2    |
| J11207 | 3        | Jistič 1/ 6D                             | S201M-D6    |
| J11219 | 2        | Jistič 1/ 10B                            | S201M-B10   |
| J11208 | 5        | Jistič 3/10B                             | S203M-B10   |

Obr. 10) Ukázka výpisu komponent v prostředí MS Access - výpis

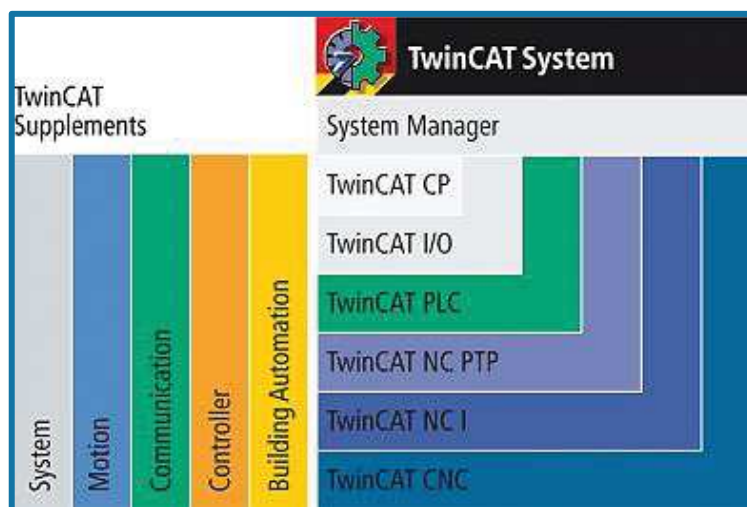


Obr. 11) Ukázka výpisu komponent v prostředí MS Access – režim návrhu

### 1.5.3 TwinCAT

TwinCAT je řešení automatizace od společnosti Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. Sama společnost o svém řešení říká, že softwarový systém Beckhoff TwinCAT obrátí jakýkoliv kompatibilní PC s “real-time” řadičem na systém multi-PLC, NC osově řízení, programovací prostředí a provozní stanici současně. TwinCAT nahrazuje běžné PLC a NC/CNC systémy, stejně jako ovládací stanice. [8]

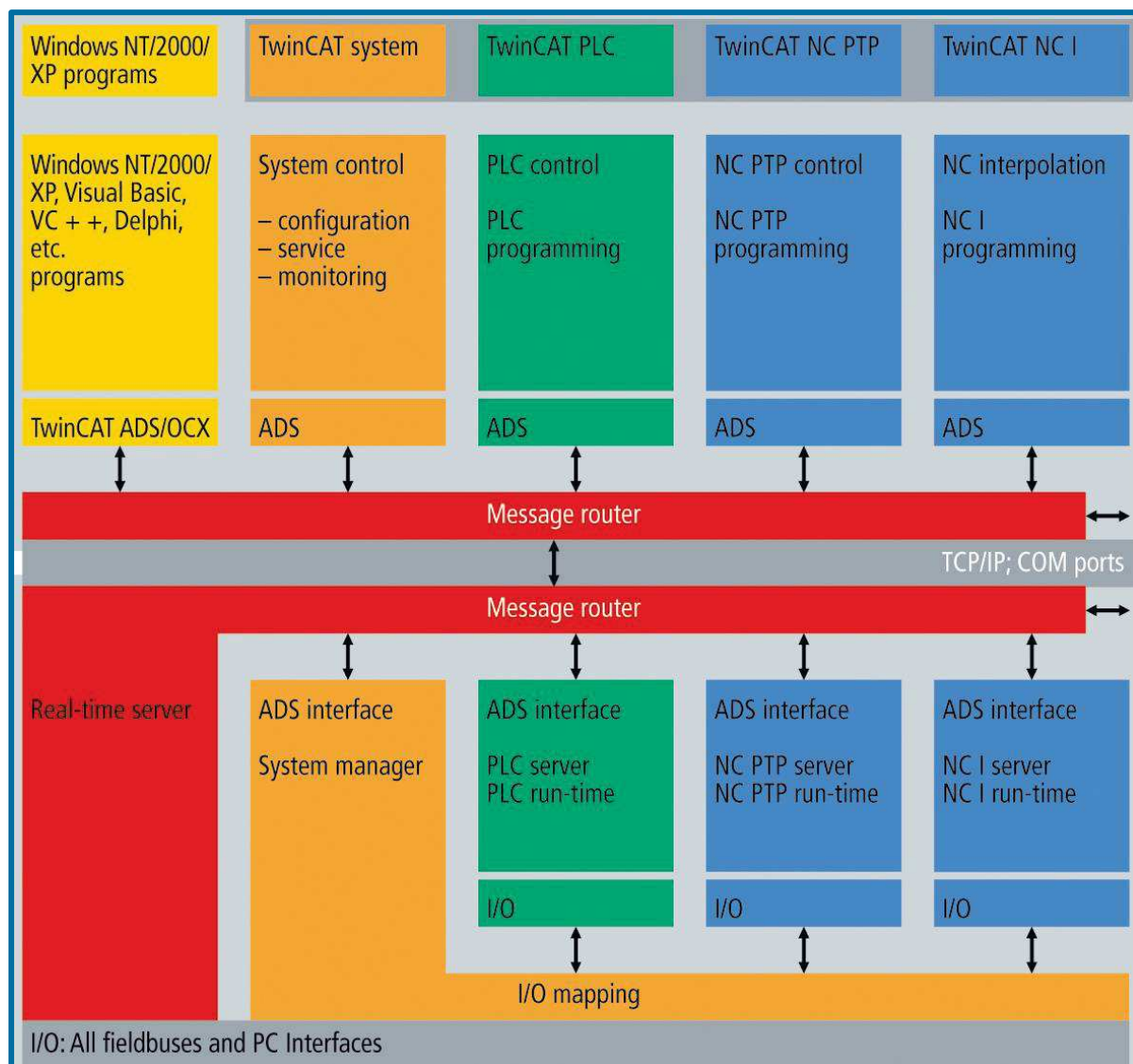
Obrázek Obr. 12) ukazuje v blokové podobě jednotlivé zajišťované oblasti v systému řízení (svislý text) a jednotlivé funkční části, jež zajišťují realizaci těchto oblastí (vodorovný text).



Obr. 12) Blokové znázornění koncepce systému TwinCAT [9]

Jedná se o otevřený systém kompatibilní s většinou standardních PC. V systému TwinCAT jsou integrována softwarová PLC programovatelná standardními jazyky dle IEC 61131-3, softwarová NC a CNC. Celý systém je možné provozovat v prostředí Windows NT/2000/XP/Vista, Windows 7, NT/XP/7 embedded a Windows CE. Celý systém je vybaven možnostmi propojení do většiny známých komunikačních linek (EtherCAT, Profibus, Interbus, a další) a současně pomocí několika interface, formou otevřených standardů Microsoft (OCX, OPC, DLL, a další), umožňuje vytvořit datová spojení do dalších programů v rámci jednoho, či více PC.

Vnitřní strukturu jednotlivých částí je dobře vidět na obrázku Obr. 13)., který ukazuje princip fungování TwinCAT systému, co se týče vnitřní komunikace jednotlivých softwarových modulů s “real-time” jádrem pomocí tzv. “Message Router”.



Obr. 13) Funkční moduly v rámci TwinCAT systému [10]

### 1.5.4 TwinCAT System Manager

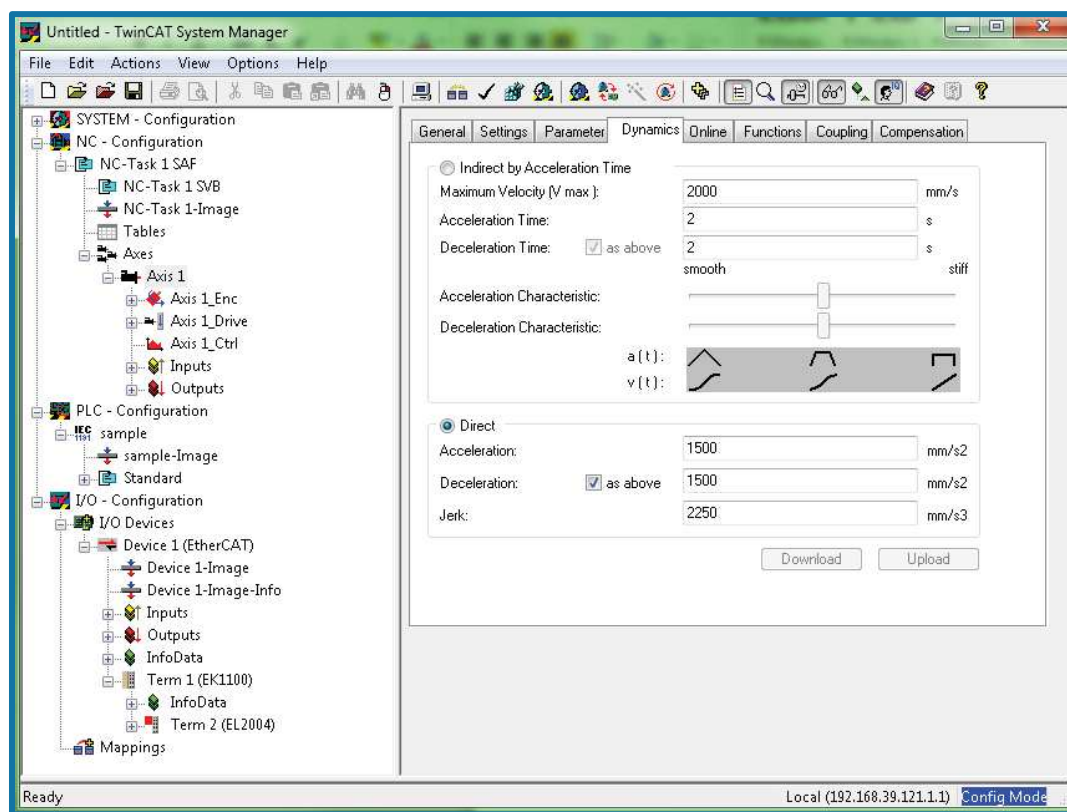
Součástí systému TwinCAT je tzv. systémový manažer – “TwinCAT System Manager”. Systémový manažer slouží k vytvoření a sestavení celé konfigurace hardwaru pro vytvářený systém řízení. V systémovém manažeru se vytvářejí relace mezi jednotlivými runtime PLC, konkrétními PLC programy, konfiguracemi jednotlivých řízených os v rámci NC řízení a připojeními vstupně výstupními kanály. [11]

“System Manager” je možné rozdělit na funkční části, jak je vidět na obrázku Obr. 12).

Jednotlivé části je možné stručně charakterizovat následovně:

TwinCAT CP – název vychází z anglického “Control Panel”, tedy řídicí panel. Jedná se o zajištění driveru, resp. komunikačního interface, pro navázání spojení s libovolným řídicím panel a následovně zajištění patřičného HMI.

TwinCAT I/O – obecně známý název, opět z angličtiny, tedy “Inputs / Outputs”. Jedná se o část, která zajišťuje nastavení interakcí mezi jednotlivými vstupy a výstupy, v systému interpretovanými jako jednotlivé I/O kanály, a mezi jednotlivými proměnnými, které jsou definovány jako vstupy a výstupy z jednotlivých softwarových PLC. Tyto vazby jsou v systému nazývány “Link” a v českém prostředí se tak ustaluje pojem linkování nebo prolinkování. Právě proces prolinkování je jednou z částí, která je řešena v rámci této diplomové práce dodatečnou automatizací tohoto procesu s využitím faktu, že softwarová aplikace TwinCAT System Manager vystavuje do operačního systému svůj automatizační interface a je tedy možné ji téměř celou ovládnout vlastní aplikací, napsanou např. v prostředí MS Visual Studio s využitím programovacích jazyků, jako je C++, C#, a dalších. Ve stromové struktuře na obrázku Obr. 14) v dolní části je vidět část konfigurace I/O kanálů.



Obr. 14) Ukázka prostředí TwinCAT System Manager

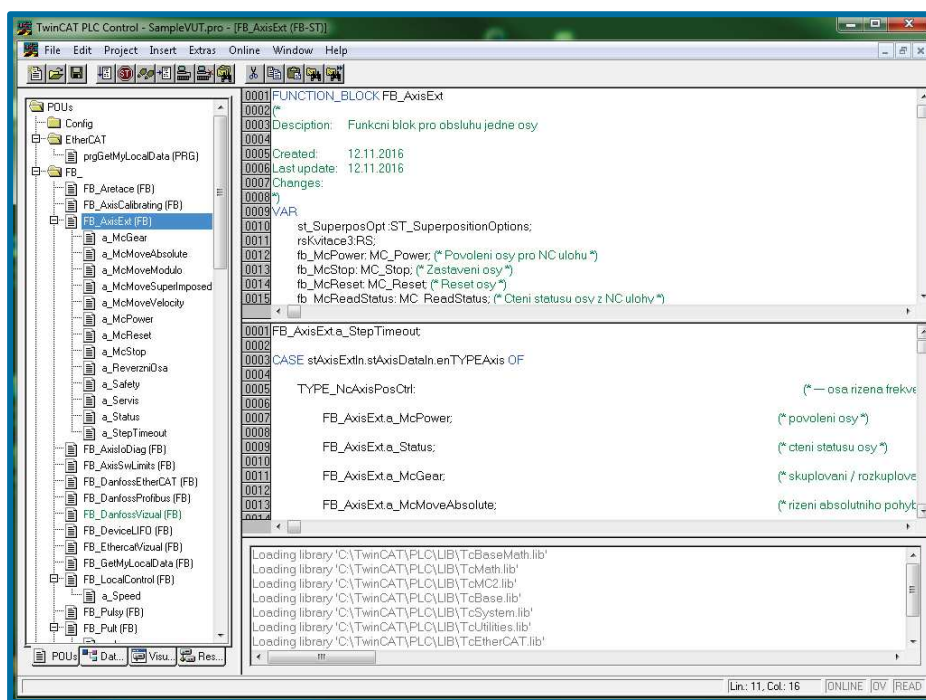


TwinCAT PLC – programovatelný logický kontrolér – z anglického “Programmable Logic Controller”. Nejedná se o fyzické PLC, ale v pojetí TwinCAT systému o softwarové PLC, prezentované v systému jednotlivými runtimy PLC. V prostředí systémového manažeru je pak možné nastavovat parametry těchto jednotlivých softwarových PLC a k nim přiřazených PLC programů. Vlastní programování, tedy vývoj softwaru pro tato PLC, je pak prováděn v softwarovém nástroji TwinCAT PLC Control, o kterém pojednává následující kapitola 1.5.5. Ve stromové struktuře na obrázku Obr. 14) uprostřed je, vidět část PLC konfigurace tak, jak je dostupná ze systémového manažeru.

TwinCAT NC – z anglického “Numeric Control” je v systémovém manažeru zastoupen ve třech variacích, dle zakoupené licence, a to NC PTP – “Point To Point”, NC I – “Interpolation” a CNC – “Computer Numeric Control”. Ve všech variantách se jedná o poziční řízení s nastavením jednotlivých os, které se na tomto řízení podílejí. Volba dané varianty se provádí dle potřeb výsledného řízení. Jednotlivé osy jsou linkovány přímo na jednotlivé I/O kanály a I/O proměnné z jednotlivých PLC. V rámci systémového manažeru je možné nastavit základní parametry NC řízení a počty a typy jednotlivých os. Vlastním ovládání NC se pak provádí pomocí programu realizovaného v PLC v prostředí TwinCAT PLC Control, kde jsou před-chystány rozsáhlé knihovny pro programování NC řízení. Obrázek Obr. 14) ve stromové struktuře v horní části ukazuje konfiguraci NC pomocí TwinCAT System Manager.

### 1.5.5 TwinCAT PLC Control

Softwarový nástroj TwinCAT PLC Control slouží k vytváření programového vybavení pro jednotlivé PLC runtime v rámci celého systému TwinCAT. K dispozici jsou všechny programovací jazyky v rámci IEC 61131-3, tedy IL, FBD, LD, SFC a CFC. Jedná se o výkonný programovací nástroj, zajišťující mnohé nadstandardní funkce, jako jsou konverze mezi jednotlivými jazyky, strukturované programování s modulárním managementem, rekompileace za běhu PLC, online změny v PLC, manažer knihoven, analýzu kódu a další.

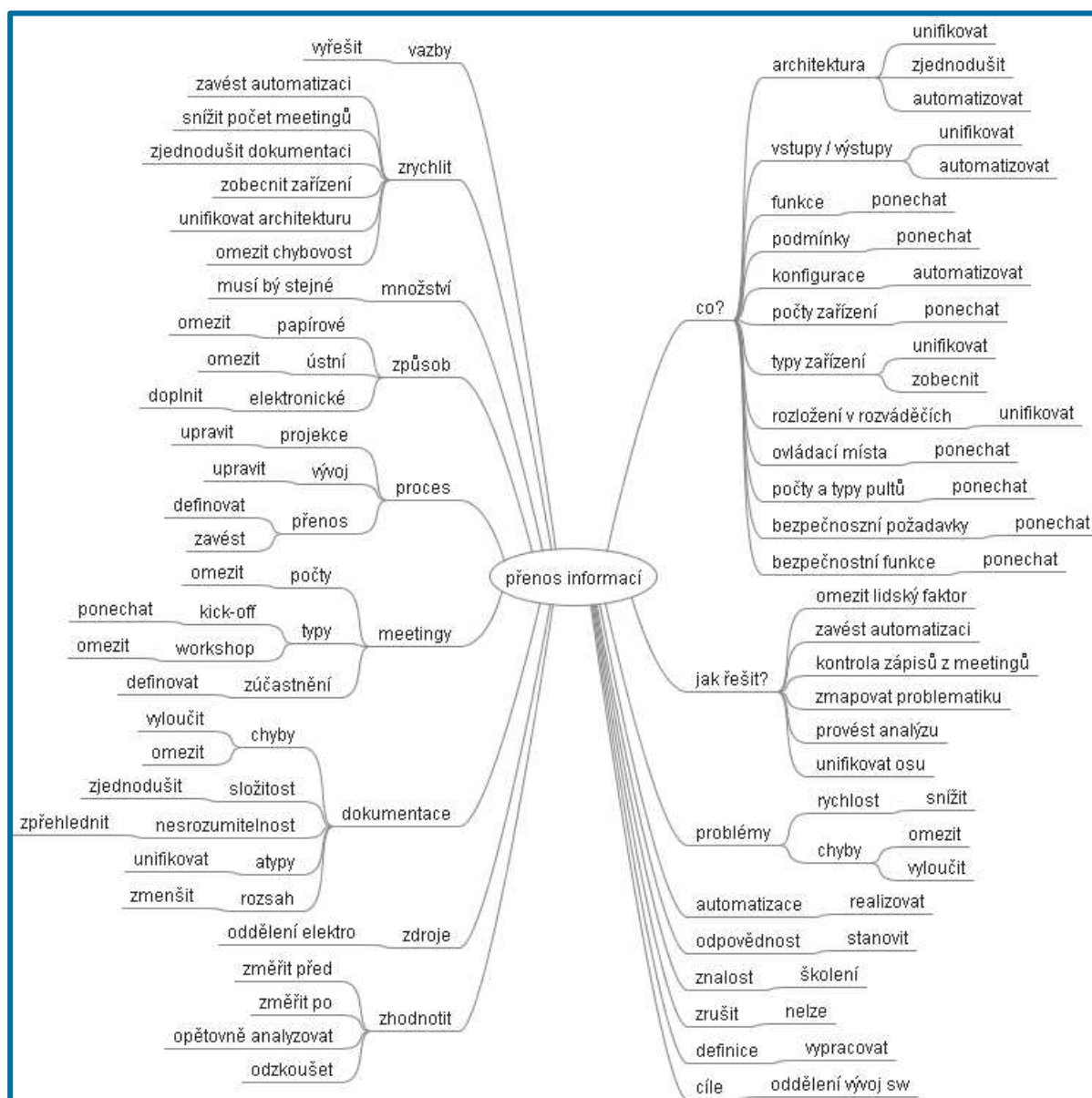


Obr. 15) Ukázka prostředí TwinCAT PLC Control

Ve stromové struktuře vlevo, na obrázku Obr. 15), je vidět část rozdělení kódu na jednotlivé podprogramy a funkční bloky. Světle modře podsvícený text ukazuje právě vybraný funkční blok FB\_AxisExt, jehož obsah je pak zobrazen v pravé části obrázku, která je rozdělena na tři části. V horní části jsou deklarace proměnných daného bloku, ve střední části je vlastní programový kód (v tomto případě v jazyce ST) a v nejnižší části je ladící okno, ve kterém je na obrázku seznam načtených knihoven. Ve spodní části pod stromovou strukturou je vidět záložkové menu, kterým se v rámci programu přepíná mezi programovací částí (právě vybrána) a dalšími částmi (řazeno zleva): deklarace datových typů a struktur, vizualizace a tzv. zdroje, kde se ovládají zdrojové knihovny, deklarují se proměnné, nastavuje se prostředí, vlastnosti PLC tasku a další nastavení a parametry potřebné pro správnou funkci PLC programu. Poté, co je program napsán a odladěn, je nutné jej zkompileovat a výsledná kompilace se poté připojuje v rámci TwinCAT System Manager do celého systému. Veškeré nastavené vstupy a výstupy jsou tak v rámci systémového manažeru přístupné a nachystané k linkování s NC úlohou anebo s jednotlivými I/O kanály.

## 2.1 Myšlenková mapa

**Nastavení pravidel a částečná automatizace procesu přenosu informací mezi procesem projektování elektrických částí strojních zařízení a procesem vývoje systému řízení těchto strojů v oblasti jevištních mechanismů, jejímž cílem je redukce počtu chyb a potřebného času při přenosu těchto informací.**



Obr. 16) Myšlenková mapa z počátků řešení problematiky

## 2.2 Stanovení činností

Stanovení činností je jedním z prvních kroků, které bylo třeba udělat. Jednotlivé činnosti jsou uvedeny níže a pro přehlednost jsou jednotlivě označeny indexem vyjadřujícím posloupnost, v jaké byly vykonávány, a tímto způsobem byl vytvořen stanovený postup. Jde o logické a systematické uspořádání, které bylo formálně dodržováno, nicméně v průběhu práce bylo nutné se k některým již provedeným krokům vracet a na základě postupu práce je aktualizovat. Jednotlivé činnosti byly záměrně kvůli přehlednosti přeneseny do názvů jednotlivých následujících kapitol a jednotlivá čísla kapitol tak odpovídají indexům pořadí postupu.

**Tab. 1) Tabulka stanovení činností**

| Oblast                     | Pořadí | Název postupu   |
|----------------------------|--------|---|
| Strategický management     | 2      | Systémová analýza   |
|                            | 2.1    | Myšlenková mapa   |
|                            | 2.2    | Stanovení činností  |
|                            | 2.3    | Rozbor aspektů problematiky   |
|                            | 2.4    | Analýza spolehlivosti přenosu informací                             |
|                            | 2.5    | Specifikace požadavků pro preventivní opatření při návrhu realizace |
|                            | 2.6    | Stanovení způsobu verifikace  |
| Operační management        | 3      | Modifikace stávajících postupů                                      |
|                            | 3.1    | Změny v postupech projektování                                      |
|                            | 3.2    | Systémové změny technické terminologie                              |
|                            | 3.3    | Úprava databáze EcsCAD  |
|                            | 4      | Vývoj SW nástroje pro eliminaci chyb                                |
|                            | 4.1    | Popis stávajícího zpracování informací                              |
|                            | 4.2    | Automatizační interface pro TwinCAT System Manager                  |
|                            | 4.3    | Vývoj vlastní softwarové aplikace                                   |
| Ověření a schválení návrhu | 5      | Verifikace  |
|                            | 5.1    | Ověření funkčnosti testovacím projektem „SampleVUT“                 |
|                            | 5.2    | Opětovná analýza spolehlivosti po aplikaci modifikací postupů       |
|                            | 5.3    | Testování funkčnosti sw nástroje pro eliminaci chyb                 |
|                            | 5.4    | Ověření kontrolního seznamu verifikace                              |
|                            | 6      | Validace  |



## 2.3 Rozbor aspektů problematiky

Celá problematika má několik aspektů, které jsou posuzovány.

Prvním aspektem byl stanoven rozsah předávaných informací a s ním související složitost těchto informací. Druhým aspektem rychlost předávání informací, třetím aspektem úspěšnost předávaných informací, resp. jejich bezchybná interpretace a použití. Jako čtvrtý aspekt byly stanoveny činnosti projekčního oddělení, které primárně slouží pro výměnu dat, tedy pro realizaci správného interface. Pátým a posledním aspektem pak činnosti oddělení vývoje softwaru, sloužící primárně pro správné a úplné zpracování interface.

Každý z těchto aspektů se podílí na celkovém výsledku přenosu informace a bude tím v konečném důsledku ovlivněn celý výsledek, resp. budou tím ovlivněny faktory, které se na výsledku podílejí, tedy celková chybovost, která se může projevit až v dalších fázích procesu.

### 2.3.1 Aspekt A1 - Rozsah projektové dokumentace elektro

Rozsah projektové dokumentace je zpravidla definován danou oblastí, pro kterou je projektová dokumentace zpracovávána. Kromě dané oblasti má vliv na rozsah projektové dokumentace také několik dalších aspektů, které jsou zohledňovány. Patří sem případné legislativní nároky, vnitropodnikové směrnice a v neposlední řadě požadavky zákazníka. Jinak pak vypadá projektová dokumentace technologické linky v chemickém průmyslu a jiný rozsah bude mít projektová dokumentace elektro pro lokální strojní zařízení v potravinářském průmyslu.

Zůstává ovšem ten fakt, že přestože se jedná o různé oblasti, je nutné elektro obvody včetně architektury hardwaru navrhnout – tedy zpracovat projektovou dokumentaci a následně tyto informace v podobě dokumentace předat zpracovateli systému řízení tak, aby byl schopen navrhnout pro zvolený projekt softwarové řešení. Vzhledem k této úvaze bylo tedy možné zavést určitá zobecnění, která budou platná pro všechny varianty dokumentací. Patrně v každé projektové dokumentaci se v nějaké podobě setkáme s následujícím výčtem projektových dokumentů:

- Bloková schémata – nejběžnější způsob, jakým je možné vyjádřit celou koncepci, či dopodrobna popsat jednotlivé části nebo zvolenou architekturu.
- Přehledová elektro schémata – schémata elektrických obvodů kreslená jednopólovým nebo třípólovým způsobem.
- Specifikace materiálu – rozpisy použitého materiálu, zpravidla rozdělené na rozpisy materiálu pro vybavu jednotlivých rozváděčů, ovládacích skříní, pultů apod. a samostatně pak rozpisy materiálu pro montáže.
- Analýzy rizik – pro danou fázi projektu. Jedná se o jeden z mnoha účinných nástrojů, jak zejména bezpečnostní požadavky na konstrukci a fungování strojního zařízení přenést do dalších fází, ve smyslu životního cyklu daného strojního zařízení.
- Technická zpráva – dokument nebo soubor dokumentů popisující veškeré náležitosti daného projektu, počínaje informacemi o zpracovateli dané části, od všech technických specifikací, jako jsou energetické bilance, stanovení současností, popisy funkce až po bezpečnostní pokyny, či pokyny k likvidaci. V rozsáhlejších projektech, zejména ve specifických oblastech s řídicími systémy pak jsou technické zprávy nahrazeny jednotlivými dokumenty,

popisujícími dané části zpracování. Obvyklými jsou např. HDS – “Hardware Design Specification”, SDS – “Software Design Specification”, FS – “Functional Specification”.

- Seznamy I/O – seznamy a popisy jednotlivých vstupů a výstupů daného systému.

Projektová dokumentace pro Proces interface se předává celá s tím, že některé z informací v dokumentaci jsou nezbytné pro další postup při vývoji systému řízení a některé jsou nezbytné zase pro koncového zákazníka a pro oddělení vývoje softwaru jsou pouze doplňkové, popř. nadbytečné. Jedním z hlavních dokumentů Procesu interface jsou Seznamy I/O, které jsou nezbytné pro správnou konfiguraci budoucích sestav PLC. Dalšími informacemi pro vytvoření úplného obrazu jsou vlastní výkresy, jak v blokovém provedení, tak i v provedení přehledových schémat, ze kterých programátor může vyčíst případné další vazby a vytvoří si představu o celé hardwarové konfiguraci a architektuře systému řízení. Celkový obraz systému řízení bývá pak dotvořen v jednotlivých konkrétních pasážích technické zprávy, popř. dokumentů, které technickou zprávu nahrazují, nebo rozšiřují.

**Pro zdárné naplnění tohoto posuzovaného aspektu byla stanovena nutná transformace projektové dokumentace do takové podoby, aby byl optimalizován rozsah projektové dokumentace při zachování její vypovídací hodnoty.**

### 2.3.2 Aspekt A2 – Rychlost Procesu interface

Výsledná rychlost Procesu interface, tedy procesu přenosu informací mezi oddělením elektro projekce a oddělením vývoje softwaru, při realizaci zakázky elektro vybavení a systému řízení stroje, či souboru strojních zařízení jevištních technologií, je funkcí dvou zásadních faktorů. Prvním z faktorů je samozřejmě velikost a rozsah realizované zakázky a s tím související velikost a rozsah projektové dokumentace na straně jedné a velikost a rozsah systému řízení s jeho dokumentací na straně druhé. Je zřejmé, že strojní zařízení vybavené jedním motorem se sadou koncových spínačů a jedním rotačním absolutním snímačem polohy bude jednoznačně jednodušší než soubor devadesáti řízených os, mezi nimiž jsou navíc vytvořeny funkční vazby a podmíněná blokování chodu.

Velikost a rozsah realizované zakázky, resp. rozsah a velikost projektové dokumentace pak budou vytvářet druhý zásadní faktor podílející se na výsledné rychlosti přenosu a to nutný počet opakování workshopů a jejich dobu trvání v rámci Procesu interface. Rozsáhlejší zakázky budou patrně potřebovat i více než jeden workshop k nastavení určité míry pochopení na obou stranách a tedy k započetí prací na vývoji systému řízení poté, co je projektová dokumentace dokončena.

**Z uvedeného předpokladu je zřejmé, že pro úspěšné splnění tohoto aspektu bylo stanoveno nutné nastavení měřitelnosti výsledné rychlosti celého Procesu interface definicí rozsahu projektové dokumentace, resp. definicí rozsahu realizace, na které má být měření provedeno.**

### 2.3.3 Aspekt A3 - Úspěšnost předání informací

Úspěšnost předání informací v rámci Procesu interface souvisí zejména s kvalitou a bezchybností projektové dokumentace a kvalitou a bezchybností zúčastněných techniků. V každém podniku existují postupy, jak tyto faktory udržet na co nejlepší úrovni. Ať se jedná o zavedené interní postupy a zvyklosti, procesní řízení, samotné vedení společnosti až po

personální oddělení a s ním související výběr techniků. Přestože jsou aplikována různá opatření, nikdy není zcela vyloučen vliv lidského faktoru.

Stejně tak se vliv lidského faktoru podílí i na chybovosti v rámci Procesu interface. Vznikají chyby na straně oddělení projekce elektro, které mohou souviset s vlastním návrhem a koncepcí. Vznikají také chyby formou nepřesností a překlepů ve vlastní dokumentaci. Při přenosu informací v rámci workshopů dochází k chybám v interpretaci. Při následném zpracování v oddělení vývoje softwaru pak vznikají opět chyby při zavádění jednotlivých informací do systému řízení.

Na straně jedné, tedy na straně oddělení projekce elektro, existují aplikační softwary pro podporu projekčních činností. Ať jsou to různé aplikace typu CAD, či různé kancelářské balíky typu MS Office. Tyto aplikační softwary jsou vyvíjeny renomovanými firmami zabývajícími se daným aplikačním prostředím mnoho let a v rámci vývoje těchto aplikací implementují do těchto softwarů velká množství prostředků pro eliminaci chyb lidského faktoru. Počínaje např. principy křížových referencí a provázanosti prvků používané v CAD systémech s podporou databází, které eliminují např. možnosti k cívce stykače přiřadit jiný počet a typ kontaktů, než daný prvek obsahuje a konče např. automatickou opravou gramatiky v aplikaci MS Word.

Na straně druhé, tedy na straně oddělení vývoje softwaru, existují také mnohá řešení formou vývojových a aplikačních softwarů, která mnoha způsoby hlídají chyby způsobené vlivem lidského faktoru při vytváření systémů řízení. Na rozdíl od oddělení projekce elektro jsou vývojová prostředí velmi úzce spojená s dodavatelem hardwarového řešení zamýšleného systému řízení. Téměř každá značka dodavatele hardwarových komponent tak disponuje i poměrně mocnými nástroji pro implementaci softwaru pro tento hardware. Patří sem například prostředí „TIA portal“ od společnosti Siemens, TwinCAT od společnosti Beckhoff, Rockwell Software Studio 5000, nebo Automation studio od společnosti B&R. Společným jmenovatelem všech takových společností je snaha o co nejlepší možnosti pro vývoj a implementaci systémů řízení v rámci jejich vlastního systému a v poslední době v rámci Průmyslu 4.0 i s přesahem do hardwarových a softwarových oblastí ostatních dodavatelů.

S prudkým rozvojem výpočetní techniky v posledních desetiletích a s tím souvisejícím prudkým rozvojem v oblasti automatizační techniky tak dochází k prohlubování možností i v oblastech projektování a následné realizace celých automatizačních celků. Aplikační softwary pro tvorbu dokumentace elektro vybavení disponují více či méně pokročilými prostředky pro návrhy celých hardwarových řešení jednotlivých výrobců a stejně tak aplikační softwary pro řešení automatizace disponují čím dál více prostředky pro podporu elektro projekcí a větší provázanosti s projekčními kanceláři.

Nejméně rozvinutou oblastí v rámci všech těchto snah je právě oblast přenesení informací z jedné etapy, v rámci životního cyklu vývoje strojního zařízení, do etapy následující. Objevují se jednotlivé přístupy, jak na straně projekčních systémů o generování vstupně výstupních specifikací, tak na straně druhé v systémech automatizace o možné importy těchto dat apod. Všechny tyto snahy jsou ovšem významně omezeny investicemi do aplikačních softwarů na obou stranách a pod tíhou těchto investic jsou výrazně omezovány na konkrétní hardwarová řešení a s nimi spojené komponenty. Velkou měrou se na tom podílí velká variabilita v oblasti průmyslových komponent a konkrétní zpracování té dané oblasti společností, jež tyto komponenty dodává.

**Úspěšnost v tomto aspektu byla identifikována jako do značné míry ovlivnitelná použitým aplikačním softwarem v obou odděleních, mezi nimiž je Proces interface nezbytný. Jako vhodné řešení v tomto ohledu bylo stanoveno co největší část informací automatizovat tak, aby vliv lidského faktoru byl omezen co nejvíce.**

#### **2.3.4 Aspekt A4 – Činnosti na straně oddělení projekce elektro**

Činnost oddělení projekce není primárně zaměřena pouze na přípravu dokumentace pro oddělení vývoje softwaru. Jeho činnost je zejména cílena na projektovou dokumentaci jako takovou, která je následně použita pro předání zákazníkovi či dalším procesům, jako jsou výroba rozváděčů, výstupní kontrola, montáž a další. Vzhledem k nutnosti použití této dokumentace i pro oddělení vývoje softwaru je ovšem nutné, aby v rámci tvorby dokumentace probíhali mnohé koordinační schůzky, které směřují ke správnému a kompletnímu celkovému návrhu elektro vybavení strojního zařízení nebo souboru strojních zařízení. Přestože je kladen čím dál větší důraz na to, aby elektro projektanti zvyšovali svoje znalosti v oblasti automatizace jako takové, není možné, aby se na návrhu celé koncepce podíleli zcela sami bez konzultací s vývojáři softwaru a techniky z oddělení výroby, jejichž znalost problematiky v konkrétních bodech je ověřena dlouholetou praxí v dané profesi a tudíž jednoznačným přínosem.

Tyto koordinační činnosti jsou zaměřeny zejména na sestavení celkové architektury výsledných PLC a definování jednotlivých částí systému řízení s vymezením názvosloví daného projektu, způsobů pojmenování vstupně výstupních jednotek a vytvoření jejich popisů. Přestože tedy oddělení projekce elektro sestavuje hardwarové konfigurace, zabývá se spíše otázkami typu, zda je použito dostatečné napájení, zda je vše relevantně jištěno proti zkratům a nadproudům, zda existují záložní napájení, zda je vše propojeno správnými komunikačními linkami apod. Přesto přese všechno se vyžaduje značný přesah do znalostí automatizace a předpokládá se, že nedochází k chybám typu záměny významu inkrementálního čidla polohy IRC s absolutním čidlem polohy ARC ve smyslu vytvoření rychlostní či polohové zpětné vazby buď přímo do frekvenčního měniče, nebo do PLC sestavy.

Činnosti na straně oddělení projekce elektro, které byly identifikovány jako přímo související s oddělením vývoje softwaru, jsou následující:

- Sestavení celkové architektury PLC a konzultace této architektury s oddělením vývoje softwaru. Výsledná architektura je pak patrná z jednotlivých výkresů a z technických popisů v rámci projektové dokumentace elektro.
- Sestavení Specifikace I/O, tedy specifikace vstupně výstupních jednotek, u nichž je třeba definovat jejich význam a případně přímo v dokumentaci pojmenovat vstupy a výstupy tak, jak budou následně pojmenovány i v konfiguracích aplikačních softwarů oddělení vývoje softwaru.
- Sestavení popisů jednotlivých funkcí a podmínek chodu. Jednotlivé funkce musí být následně přeneseny do zamýšleného softwaru řídicího systému a je tedy nutné, aby tyto funkce již při jejich definici byly realizovatelné. Obdobná situace je s jednotlivými podmínkami chodu a případným sestavováním stavových a sekvenčních diagramů, které v případě složitějších systémů musí nezbytně být součástí dokumentace.

- Sestavení bezpečnostních požadavků, které úzce souvisí s analýzami rizik, které je nutné provádět v součinnosti s ostatními zainteresovanými profesemi, tedy i s oddělením vývoje softwaru.

**Úspěšnost v tomto aspektu byla rozpoznána a stanovena, jako do značné míry podmíněná správnou definicí a optimalizací jednotlivých výše uvedených činností, které přímo souvisí s přenosem informací směrem do oddělení vývoje softwaru a tedy s definovaným Procesem interface, potažmo s činnostmi, které jsou potřebné pro správnou realizaci tohoto procesu.**

### **2.3.5 Aspekt A5 – Činnosti na straně oddělení vývoje softwaru**

Činnost oddělení vývoje softwaru ve smyslu činností souvisejících s přenosem informací mezi odděleními byla stanovena zejména jako správná interpretace informací, které jsou uvedeny v projektové dokumentaci oddělení elektro. Obdobným způsobem, jakým byl definován přesah jednotlivých projektantů elektro do automatizace, bylo třeba definovat i přesah automatizačního technika – vývojáře softwaru do oblastí projektování a s tím související projektové dokumentace. Vývojář musí být schopen číst v projektové dokumentaci pro něj relevantní data a následně je implementovat do systému řízení. Stejně tak se musí účastnit jednotlivých koordinací související s koncepcí systému a jejím architektonickým návrhem. Podílí se na definici významů vstupně výstupních jednotek a koordinuje s projekcí elektro jednotlivé požadované funkce systému s jejich podmínkami ve smyslu požadavků na přenos informací. Pracovníci oddělení vývoje softwaru se také musí účastnit jednotlivých analýz rizik a musí se tak podílet na celkové bezpečnostní koncepci, kterou pak následně implementují.

Činnosti na straně oddělení vývoje softwaru, které přímo souvisí s oddělením projekce elektro, byly stanoveny následující:

- Konzultace architektury hardwaru systému řízení s oddělením projekce elektro. Zaznamenaná architektura v projekční dokumentaci pak musí být implementována do požadovaného řídicího systému.
- Konzultace vstupně výstupních jednotek s oddělením projekce elektro a jejich následná správná interpretace a implementace v podobě konfiguračních souborů daného řídicího systému.
- Konzultace popisů jednotlivých funkcí a podmínek chodu s oddělením projekce elektro. Jednotlivé funkce musí být opět správně interpretovány a následně naprogramovány do zamýšleného softwaru řídicího systému. Obdobná situace je s jednotlivými podmínkami chodu a případným sestavováním stavových a sekvenčních diagramů, které v případě složitějších systémů musí nezbytně být součástí dokumentace.
- Přímá účast při analýzách rizik, které je nutné provádět v součinnosti s ostatními zainteresovanými profesemi, tedy i s oddělením vývoje softwaru a následná implementace bezpečnostních požadavků do systému řízení.

**V tomto aspektu byla úspěšnost stanovena jako s největší měrou podmíněná správnou interpretací požadavků projektové dokumentace elektro a tedy požadavků na vlastnosti výsledného systému řízení.**



## 2.4 Analýza spolehlivosti přenosu informací

### 2.4.1 Nastavení parametrů analýzy

Byla provedena analýza spolehlivosti pro mapovanou oblast, která je znázorněna na obrázku Obr. 7). V rámci analýzy byl zkoumán proces interface a činnosti obou oddělení, které s tímto procesem souvisely. V mapách procesů jednotlivých oddělení, obrázky Obr. 8) a Obr. 9), byla analyzovaná oblast vyznačena červeně. Proces interface, obrázek Obr. 6), byl do analýzy zahrnut celý. Analýza byla rozdělena blokově na tyto části:

Blok 1. Tvorba dokumentace elektro, související přímo s řídicím systémem.

Blok 2. Proces interface – proces předávání dokumentace a informací k dokumentaci.

Blok 3. Vývoj softwaru – vytvoření hardwarové konfigurace.

Jednotlivé tabulky Závažnosti (Tab. 2), Pravděpodobnosti výskytu (Tab. 3) a Odhalitelnosti (Tab. 4) byly stanoveny na základě realizace jednoho středně velkého projektu, čítajícího 80 zařízení horní mechanizace a 40 zařízení dolní mechanizace. Bylo odhadnuto, že projekt takového rozsahu zabírá obvykle přibližně 3 až 4 měsíce od započetí projekčních prací po dokončení softwarových prací. Kvalifikovaným odhadem byl stanoven rozsah zpracování takového projektu na přibližně 6 až 8 projektů za jeden rok, při sestavení dvou řešitelských týmů. Uvedené tabulky byly tedy optimalizovány pro časový rozsah jednoho roku pro 8 středně velkých zakázek dle definice výše.

**Tab. 2) Nastavení úrovně závažnosti jevu – S (“Severity”)**

| Závažnost jevu               | Slovní vyjádření úrovně závažnosti   | Třída |
|------------------------------|--|-------|
| Žádná                        | Žádný zjistitelný důsledek.  | 1     |
| Velmi malá                   | Kosmetický charakter.  | 2     |
| Malá                         | Způsobí zpomalení procesu, ale neohrozí výsledek. Není nutný zásah do návrhu nebo do procesu.                    | 3     |
| Velmi nízká                  | Způsobí zpomalení procesu a ohrožuje výsledek. Zvládnutelná drobnými úpravami v návrhu nebo procesu.             | 4     |
| Nízká                        | Způsobí zpomalení procesu a ohrožuje výsledek. Zvládnutelná většími úpravami v návrhu nebo procesu.              | 5     |
| Střední                      | Je vyžadován zásadní zásah do návrhu nebo do procesu. Zvládnutelná standardními postupy.                         | 6     |
| Vysoká                       | Je vyžadován zásadní zásah do návrhu nebo do procesu. Bez zásahu nelze pokračovat.                               | 7     |
| Velmi vysoká                 | Ztráta základní funkce nebo účelu, Je vyžadováno více zásadních zásahů do návrhu nebo procesu - nutný re-design. | 8     |
| Nebezpečná s varováním       | Fatální problémy s důsledkem na celý systém nebo proces bez vyvolání bezpečnostních komplikací.                  | 9     |
| Velmi nebezpečná s varováním | Fatální problémy s důsledkem na celý systém nebo proces s vyvoláním bezpečnostních komplikací.                   | 10    |

**Tab. 3) Nastavení úrovně pravděpodobnosti výskytu jevu – O (“Occurrence”)**

| Pravděpodobnost výskytu jevu | Slovní vyjádření úrovně pravděpodobnosti výskytu  | Třída |
|------------------------------|---|-------|
| Nepravděpodobná              | Téměř se nevyskytuje.   | 1     |
| Vzácná                       | Vyskytuje se maximálně jednou za rok.   | 2     |
| Velmi nízká                  | Vyskytne se ojediněle v jednom až dvou projektech za rok.                               | 3     |
| Nízká                        | Vyskytuje se ojediněle ve více než dvou projektech a méně než polovině projektů za rok. | 4     |
| Občasná                      | Vyskytuje se ve více než dvou projektech a méně než polovině projektů během roku.       | 5     |
| Mírná                        | Vyskytuje se ve více než polovině a méně než dvou třetinách projektů za rok.            | 6     |
| Častá                        | Vyskytuje se ve více než dvou třetinách projektů za rok, ale ne ve všech.               | 7     |
| Vysoká                       | Opakuje se ve všech projektech během roku.  | 8     |
| Velmi vysoká                 | Opakuje se ve všech projektech během roku a v některých i opakovaně dvakrát.            | 9     |
| Neustálá                     | Opakuje se ve všech projektech během roku a v některých i opakovaně vícekrát.           | 10    |

**Tab. 4) Stanovení úrovní pro odhalitelnost jevu – D (“Detection”)**

| Pravděpodobnost odhalitelnosti jevu | Slovní vyjádření pravděpodobnosti odhalitelnosti jevu  | Třída |
|-------------------------------------|--|-------|
| Téměř jistota                       | Nástroje řízení návrhu potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady odhalí téměř jistě.  | 1     |
| Velmi vysoká                        | Velmi vysoká pravděpodobnost, že nástroje řízení návrhu potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady odhalí.                       | 2     |
| Vysoká                              | Vysoká pravděpodobnost, že nástroje řízení návrhu potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady odhalí.                             | 3     |
| Poněkud vyšší                       | Poněkud vyšší pravděpodobnost, že nástroje řízení návrhu potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady odhalí.                      | 4     |
| Střední                             | Střední pravděpodobnost, že nástroje řízení návrhu potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady odhalí.                            | 5     |
| Nízká                               | Pravděpodobnost, že nástroje řízení návrhu odhalí potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady je nízká.                           | 6     |
| Velmi nízká                         | Velmi nízká pravděpodobnost, že nástroje řízení návrhu odhalí potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady.                        | 7     |
| Nepravděpodobné                     | Je nepravděpodobné, že nástroje řízení návrhu odhalí potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady.                                 | 8     |
| Velmi nepravděpodobné               | Je velmi nepravděpodobné, že nástroje řízení návrhu odhalí potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady.                           | 9     |
| Absolutní nejistota                 | Nástroje řízení návrhu neodhalí a/nebo nemohou odhalit potenciální příčinu/mechanismus a následný způsob závady; nebo neexistuje řízení návrhu | 10    |



## 2.4.2 Provedení analýzy

Analýza byla zpracována po jednotlivých blocích, tak jak bylo definováno v kapitole 2.4.1. Systematicky byly vyhledávány možné jevy a hodnoceny podle nastavených úrovní, dle tabulek Tab. 2), Tab. 3) a Tab. 4). Následně byl stanoven pro každý nalezený případ index RPN a současně bylo určeno i doporučené opatření. Provedení analýzy bylo zatíženo subjektivním pohledem autora, v souladu s čestným prohlášením o původu díla a samostatném zpracování. Tento nedostatek byl vyvážen praktickými zkušenostmi a předpokládaným technickým přínosem. Zpracovaná analýza byla uvedena do tabulky Tab. 5).

**Tab. 5) Analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními**

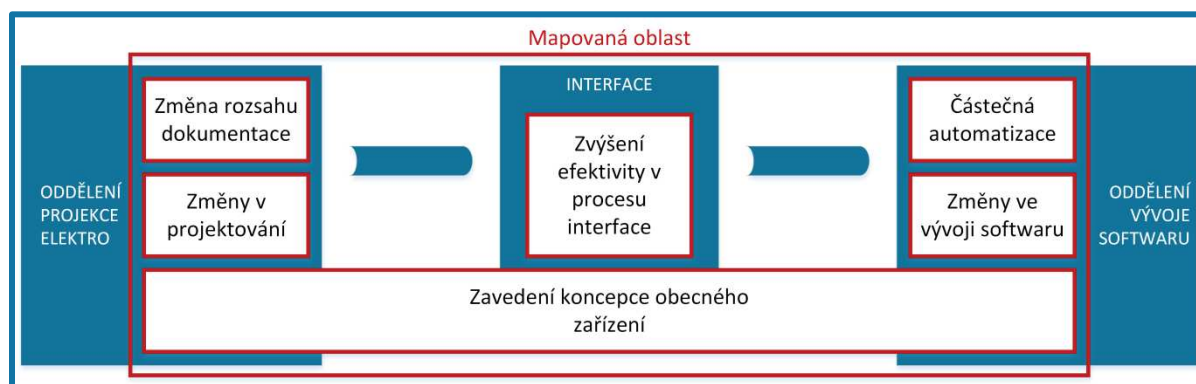
| Design FMEA |        | Odpovědnost   | Předmět   |   |     | Datum:  |
|-------------|--------|---|---|---|-----|---|
|             |        | Jaromír Boček   | Analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními       |   |     | 23. 11. 2016  |
| Č.          | Blok   | Způsob  | Důsledek  | S | RPN | Doporučená opatření   |
|             |        | Potenciální příčina   |   | O |     |   |
|             |        | Stávající opatření  |   | D |     |   |
| 1.1         | Blok 1 | Nejednotné pojmenování I/O modulů.  | Špatná orientace v dokumentaci vzhledem k ostatním projektům. | 4 | 140 | Zavedení jednotného značení I/O modulů.   |
|             |        | Nezavedeny pravidla pro pojmenování I/O modulů.   |   | 7 |     |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace.  |   | 5 |     |   |
| 1.2         | Blok 1 | Nejednotné pojmenování významů I/O modulů.  | Špatná orientace v dokumentaci vzhledem k ostatním projektům. | 4 | 140 | Zavedení jednotného pojmenování I/O modulů.   |
|             |        | Nezavedeny pravidla pro pojmenování I/O modulů.   |   | 7 |     |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace.  |   | 5 |     |   |
| 1.3         | Blok 1 | Použití kontaktů přístroje v projektu, které fyzický přístroj nemá.   | Zpomalení procesu oživení zakázky.                            | 7 | 63  | Důsledné používání křížových referencí při projektování a zavedení všech objektů do databáze.         |
|             |        | Použití značek EcsCAD bez provázání křížovými referencemi.  |   | 3 |     |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace.  |   | 3 |     |   |
| 1.4         | Blok 1 | Použití duplicitních názvů při vytváření křížových referencí.   | Komplikace při vývoji softwaru - nutné změny v dokumentaci.   | 7 | 63  | Důsledné používání křížových referencí při projektování, zavedení automatizovaného nástroje kontroly. |
|             |        | EcsCAD provádí kontrolu křížových referencí pouze v rámci jednoho rozváděče. Pokud se provazuje více rozváděčových polí, je tato kontrola plně v rukou projektanta. |   | 3 |     |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace.  |   | 3 |     |   |

| Design FMEA |        | Odpovědnost   | Předmět   |   | Datum:       |   |
|-------------|--------|---|---|---|--------------|---|
|             |        | Jaromír Boček   | Analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními   |   | 23. 11. 2016 |   |
| Č.          | Blok   | Způsob  | Důsledek  | S | RPN          | Doporučená opatření   |
|             |        | Potenciální příčina   |   | O |              |   |
|             |        | Stávající opatření  |   | D |              |   |
| 1.5         | Blok 1 | Seznamy I/O neodkazují na architekturu HW.  | Při načtení fyzické architektury dochází k chybám, poněvadž architektura sestavená z dokumentace neodpovídá reálnému stavu. | 8 | 120          | Důsledné používání křížových referencí při projektování.  |
|             |        | Vývojáři nejsou schopni zcela přesně sestavit architekturu z předané dokumentace. |   | 5 |              |   |
|             |        | Kontrola fyzického stavu proti dokumentaci v době oživení systému.                |   | 3 |              |   |
| 1.6         | Blok 1 | Překlepy.   | V dokumentaci jsou překlepy a jiné podobné chyby.   | 2 | 98           | Důsledné používání křížových referencí při projektování.  |
|             |        | Nepozornost.  |   | 7 |              |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace.  |   | 7 |              |   |
| 1.7         | Blok 1 | Rozdíly v návrhu opakovaného strojního zařízení.                                  | Komplikace při vývoji, výrobě i oživení.  | 6 | 150          | Důsledné používání křížových referencí při projektování.  |
|             |        | Lidský faktor - invence projektanta.  |   | 5 |              |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace.  |   | 5 |              |   |
| 2.1         | Blok 2 | Nepochopení při workshopech.  | Špatná interpretace získaných informací vedoucí k chybnému vývoji.  | 5 | 60           | V současné době ústně přenášené informace zavést do zápisu. Striktně vyčlenit nezbytné informace, které musí být evidovány. |
|             |        | Lidský faktor.  |   | 4 |              |   |
|             |        | Zápis z workshopu, spolupráce více vývojářů.                                      |   | 3 |              |   |
| 2.2         | Blok 2 | Neúplný seznam dotazů pro workshop.   | Nutnost opakovat workshop vzhledem k dalším dodatečným dotazům.   | 4 | 100          | Zavedení seznamu dotazů, které se obvykle opakují v rámci všech projektů, vytvoření kontrolního seznamu.                    |
|             |        | Lidský faktor.  |   | 5 |              |   |
|             |        | Žádné.  |   | 5 |              |   |
| 2.3         | Blok 2 | Špatný zápis z workshopu.   | Následná chybná interpretace informací ze zápisu.   | 3 | 84           | Kontrola zápisu oběma zúčastněnými stranami.  |
|             |        | Lidský faktor.  |   | 4 |              |   |
|             |        | Žádné.  |   | 7 |              |   |

| Design FMEA |        | Odpovědnost  | Předmět   |   |     | Datum:   |
|-------------|--------|--|---|---|-----|--|
|             |        | Jaromír Boček  | Analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními   |   |     | 23. 11. 2016   |
| Č.          | Blok   | Způsob   | Důsledek  | S | RPN | Doporučená opatření  |
|             |        | Potenciální příčina  |   | O |     |  |
|             |        | Stávající opatření   |   | D |     |  |
| 3.1         | Blok 3 | Chybný přepis I/O do PLC.  | Zpomalení procesu, dohledávání chyb, nesedí architektura na jednotlivé I/O.   | 6 | 120 | Automatizace přepisu I/O a vyloučení lidského faktoru.   |
|             |        | Lidský faktor.   |   | 5 |     |  |
|             |        | Kontrola proti architektuře.   |   | 4 |     |  |
| 3.2         | Blok 3 | Chybné prolínání I/O na fyzické moduly v rámci sestavené architektury. | Zpomalení procesu, dohledávání chyb, nesedí architektura na jednotlivé I/O, možnost prolínání proměnných se vstupy, ke kterým nenáleží. | 6 | 120 | Důsledná kontrola propojení během oživení, nasazení automatizace linkování I/O a vyloučení lidského faktoru. |
|             |        | Lidský faktor.   |   | 5 |     |  |
|             |        | Kontrola proti architektuře, ovšem velmi obtížně.                      |   | 4 |     |  |

## 2.5 Specifikace požadavků pro preventivní opatření při návrhu realizace

Sestavení specifikace požadavků pro preventivní opatření bylo provedeno za pomoci aktualizace obrázku Obr. 7) . Nově aktualizovaný obrázek Obr. 17) byl doplněn po provedené systémové analýze a ukazuje jednotlivé oblasti, které musely být zpracovány.



Obr. 17) Oblast zavedení nezbytných preventivních opatření

V rámci rozboru problematiky byly zhotoveny dva seznamy požadavků pro preventivní opatření. První seznam stanovuje nezbytné požadavky pro preventivní opatření a je uveden v tabulce Tab. 6. Bylo stanoveno, že nezbytné požadavky jsou takové, která v rámci realizace musejí být aplikována. Druhý seznam, který je uveden v tabulce Tab. 7, byl zhotoven jako soupis doporučených požadavků pro preventivní opatření. Pro doporučené požadavky bylo stanoveno, že se jedná o požadavky, která nemusí být nezbytně všechny aplikovány, ale je doporučeno alespoň některé z těchto požadavků aplikovat v rámci realizace.

**Tab. 6) Seznam nezbytných požadavků pro preventivní opatření**

| Označení | Nezbytné požadavky pro preventivní opatření   |
|----------|---|
| NO1      | Provedení změn v projektové dokumentaci, které povedou k zlepšení interpretace požadavků této dokumentace při jejím dalším zpracování v oddělení vývoje softwaru. |
| NO2      | Zavedení automatizace do procesu předávání informací mezi odděleními za účelem vyloučení lidského faktoru alespoň z části procesu.                                |
| NO3      | Zobecnění pohledu na zařízení jevištní mechaniky za účelem zvýšení efektivity při tvorbě dokumentace a při jejím dalším zpracování.                               |

**Tab. 7) Seznam doporučených požadavků pro preventivní opatření**

| Označení | Doporučené požadavky pro preventivní opatření   |
|----------|---|
| DO1      | Zvýšení efektivity při zpracování projektové dokumentace při vytváření hardwarové konfigurace za účelem vyloučení lidského faktoru při sestavování hardwarové konfigurace podle projektové dokumentace. |
| DO2      | Snížení chybovosti při vytváření projektové dokumentace v souvislosti se systémem řízení.   |
| DO3      | Sjednocení názvosloví v rámci projektové dokumentace za účelem zvýšení možnosti opakovatelnosti projektu a lepších výsledků při následné interpretaci projektové dokumentace.                           |

## 2.6 Stanovení způsobu verifikace

Aby mohly být posouzeny navrhované modifikace a vlastní vyvinutá aplikace, bylo určeno, že verifikaci bude nutné provést vytvořením testovacího projektu. Bylo stanoveno, že bude vytvořena výkresová dokumentace v prostředí EcsCAD taková, aby obsahovala alespoň dva různé typy jevištních mechanismů. Jevištní mechanismy pak musí být rozděleny alespoň ve dvou rozváděčových skříních a celkový počet zařízení pro testovací projekt byl stanoven na 3 zařízení. Současně bylo stanoveno, že testovací projekt musí obsahovat alespoň dva komponenty systému řízení, které nesouvisí přímo s konkrétním zařízením, aby bylo prokázáno, že tímto nebude ovlivněna celá koncepce.

Aby bylo prokázáno, že byly podchyceny problémy vyplývající z analýzy spolehlivosti, bylo určeno, že v rámci verifikace musí být provedena opětovná analýza spolehlivosti, kterou se prokáže, že body, které byly původní analýzou hodnoceny jako problémové, tj. jejich index RPN byl vyšší než 100, jsou po aplikaci modifikací a použití vyvinuté aplikace eliminovány, nebo alespoň jejich index RPN snížen pod tuto hodnotu.

Pro úplné a kladné splnění verifikační fáze bylo také určeno, že musí být provedena funkční zkouška sw aplikace pro eliminaci chyb s tím, že v rámci testovacího projektu musí být provedeny zkoušky všech ovládacích prvků uživatelského rozhraní ověřením funkčnosti jednotlivých funkcí těmito ovládacími prvky vyvolávaných a současně musí být provedena alespoň jedna simulace chyby v projektové dokumentaci, která prokáže i funkčnost požadovaných vnitřních kontrol, vyplývajících z požadavků odhalených během systémové analýzy. Bylo stanoveno, že verifikace proběhla úspěšně, pokud je kladně, tedy „ano“, odpovězeno na všechny body uvedené v kontrolním seznam, viz tabulka Tab. 8).

**Tab. 8) Kontrolní seznam pro verifikaci**

| Č. | Požadavek pro verifikaci   | Splněno |
|----|--|---------|
| 1  | Byly splněny všechny nezbytné požadavky pro preventivní opatření?  |         |
| 2  | Byly splněny alespoň některé doporučené požadavky pro preventivní opatření?  |         |
| 1  | Byl zpracován testovací projekt?   |         |
| 2  | Obsahuje testovací projekt alespoň dva typy zařízení?  |         |
| 3  | Obsahuje testovací projekt alespoň dvě rozváděčová pole pro zařízení?  |         |
| 4  | Je počet zařízení v testovacím projektu větší než 3?   |         |
| 5  | Jsou v testovacím projektu alespoň dvě komponenty systému řízení nesouvisející přímo se zařízeními jevištní technologie? |         |
| 6  | Byla provedena opětovná analýza spolehlivosti po aplikaci modifikací?  |         |
| 7  | Jsou opětovnou analýzou potvrzeny požadavky na $RPN < 100$ ?   |         |
| 8  | Byla provedena funkční zkouška jednotlivých ovládacích prvků uživatelského rozhraní vyvinutého softwarového nástroje?    |         |
| 9  | Byla provedena simulace alespoň jedné chyby, kterou má sw aplikace pro eliminaci chyb identifikovat nebo odstraňovat?    |         |





## 3 MODIFIKACE STÁVAJÍCÍCH POSTUPŮ

### 3.1 Změny v postupech projektování

Aby byl celý navrhovaný postup funkční, bylo potřeba zavést změny a pravidla, které musely být nastaveny v aplikačním softwaru EcsCAD a současně pravidla, jakými se budou řídit projektanti elektro při projektování elektro-vybavení.

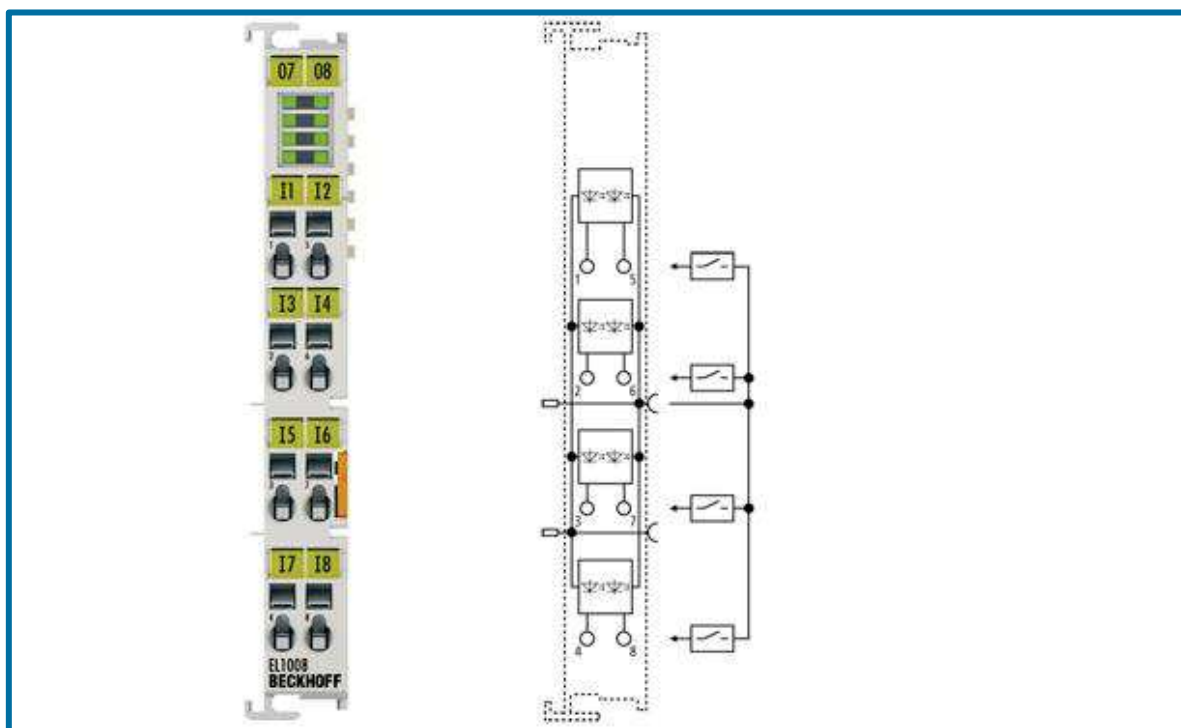
#### 3.1.1 Změny a pravidla pro EcsCAD

Bylo nutné provést několik zásadních změn, které se přímo týkají aplikace EcsCAD. Tyto změny jsou popsány v následujících kapitolách a týkají se zavedení nových EcsCAD výkresových bloků a změny nastavení fungování a zobrazení křížových referencí.

##### 3.1.1.1. Vytvoření bloků pro jednotlivé PLC komponenty – mateřský blok.

V EcsCADu musely být vytvořeny příslušné bloky, které byly určeny jako potřebné pro zavedení následné automatizace. Stávající bloky pro podporu PLC projektování nebyly pro tento záměr použitelné. Jednalo se o bloky jednotlivých PLC komponent ze sortimentu Beckhoff, které se běžně používají pro realizaci systémů řízení. Na obrázku Obr. 19) je vidět jeden ze zpracovaných bloků, konkrétně modul digitálních vstupů EL1008. Tento blok představuje osmici logických vstupů, jehož fyzická podoba je uvedena na obrázku Obr. 18).

*Poznámka: Obdobnou modulovou koncepcí mají potom i ostatní typy modulů, např. digitální výstupy, analogové vstupy, speciální moduly pro snímače polohy, snímače teploty a mnoho dalších. Jedná se o celou modulovou koncepci, kdy jsou jednotlivé moduly zasouvány jeden do druhého a zasunutím dojde k propojení vnitřní sběrnice a sestavování konfigurace výsledného PLC.*

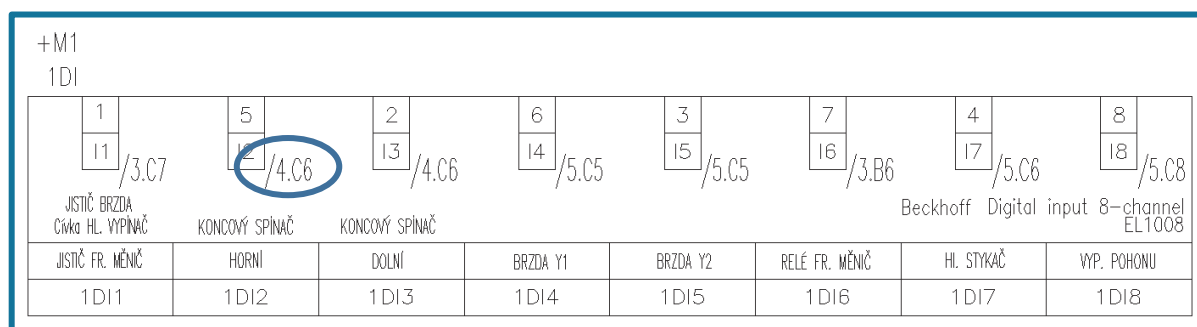


Obr. 18) Svorka EL1008 od společnosti Beckhoff [12]

Modrým oválem v obrázku Obr. 19) je vyznačena jedna z částí křížových referencí. Konkrétně tento odkaz říká, že napojení tohoto vstupu se nachází na listu 4 a jeho umístění v listu je v řádce C a ve sloupci 6. Odtud tedy zápis směrovacího odkazu, přičemž mezery nejsou relevantní:

/ČÍSLO LISTU.ŘÁDEK SLOUPEC  
(číslo) (písmeno) (číslo)

Tímto způsobem byly zpracovány všechny potřebné bloky jednotlivých vstupních a výstupních modulů, včetně potřebných komunikačních modulů, napájecích modulů, distribučních couplerů, či vlastních CPU modulů. Pro lepší popis návazného bloku v následující kapitole 3.1.1.2, jsou tyto bloky označeny jako mateřské.



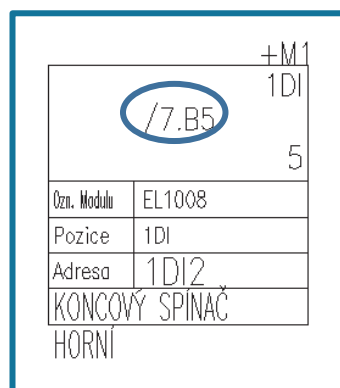
Obr. 19) Příklad mateřského bloku PLC

### 3.1.1.2. Vytvoření bloků pro navazující vstupy a výstupy – návazný blok

Každý blok uvedený v předchozí kapitole 3.1.1.1, který vyžaduje napojení vstupu nebo výstupu, potřebuje EcsCAD blok jako svůj protějšek, tak aby mohly být realizovány správně křížové reference a jednotlivá napojení vstupů a výstupů mohla figurovat na různých listech dokumentace. Tento potřebný blok byl pro přehlednost pojmenován návazným blokem.

Byl vytvořen univerzální návazný blok, reprezentující právě jedno napojení (vstupní nebo výstupní), jež je správně s mateřským blokem propojeno křížovou referencí. Vše je patrné z obrázku Obr. 20), kde je směrová část křížové reference vyznačena modrým oválem. Obdobným způsobem jako mateřský blok ukazuje pozici tohoto návazného bloku, tak tento návazný blok ukazuje zpět pozici bloku mateřského, tedy 7. list, řádek B a 5. sloupec.

Systém křížových referencí je jednou ze základních funkcí softwarů pro projektování a je možné je využívat mnoha způsoby. Samozřejmostí je, že EcsCAD hlídá i počty obsazených vstupů a výstupů na mateřských blocích.



Obr. 20) Návazný blok PLC

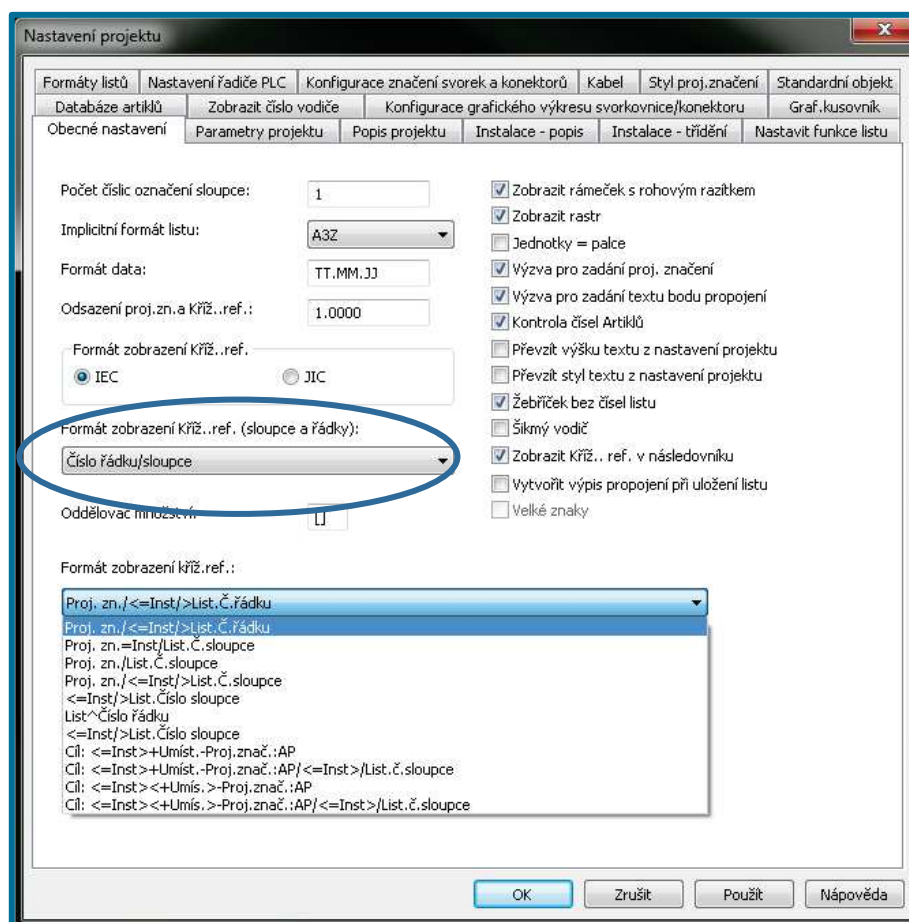
### 3.1.1.3. Nastavení požadovaného formátu zobrazení křížových referencí

Aby fungovaly správně všechny změny v zamýšleném používání křížových referencí ve výpisech vstupů a výstupů, bylo nutné v aplikaci EcsCAD nastavit správný formát zobrazování křížových referencí. Změna nastavení byla provedena pomocí menu Projekt – Možnosti, která vyvolá plovoucí okno s mnoha záložkami nastavení projektu. Na záložce Obecné nastavení byla provedena změna formátu křížových referencí tak, aby koncové pořadí křížové reference bylo v pořadí:

/ČÍSLO LISTU.ŘÁDEK SLOUPEC

V rámci EcsCADu je to volba, která je označena „Proj. zn./<=Inst./>List.Č.řádku“, jak je vyznačeno modrým podbarvením na obrázku Obr. 21). Většina ostatních variant používá značení, kdy je nejprve zjišťován řádek a k němu sloupec. Tato volba je velmi důležitá, protože tímto jsme EcsCADu řekli, aby při vyhledávání vazeb v rámci křížových referencí procházel každým výkresem po řádcích. Tedy 1. řádek, sloupec A, sloupec B atd. Následně 2. řádek, sloupec A, sloupec B, atd. A tímto způsobem celý výkres, resp. celý projekt.

Druhou volbu, kterou bylo nutné provést, bylo nastavit, jakým způsobem je směrová část křížové reference zapsána do databáze a následně zobrazována. Nastavení se nachází ve stejném plovoucím okně pro obecné nastavení projektu. Na obrázku Obr. 21) je to rozbalovací seznam, který je označen modrým oválem. V tomto poli byla nastavena volba „Číslo řádku/sloupce“, jak je patrné z obrázku Obr. 22), kde je tato volba vyznačena modrým podbarvením. Tato volba je opět velmi důležitá pro fungování celého zamýšleného procesu, obdobně jako volba z předchozího odstavce.



Obr. 21) EcsCAD – nastavení křížových referencí

Obr. 22) EcsCAD – nastavení křížových referencí – sloupce a řádky

### 3.1.2 Pravidla pro projektanty

Všechna potřebná pravidla pro projektanty byla sepsána do tabulky Tab. 9).

**Tab. 9) Seznam pravidel projekce elektro**

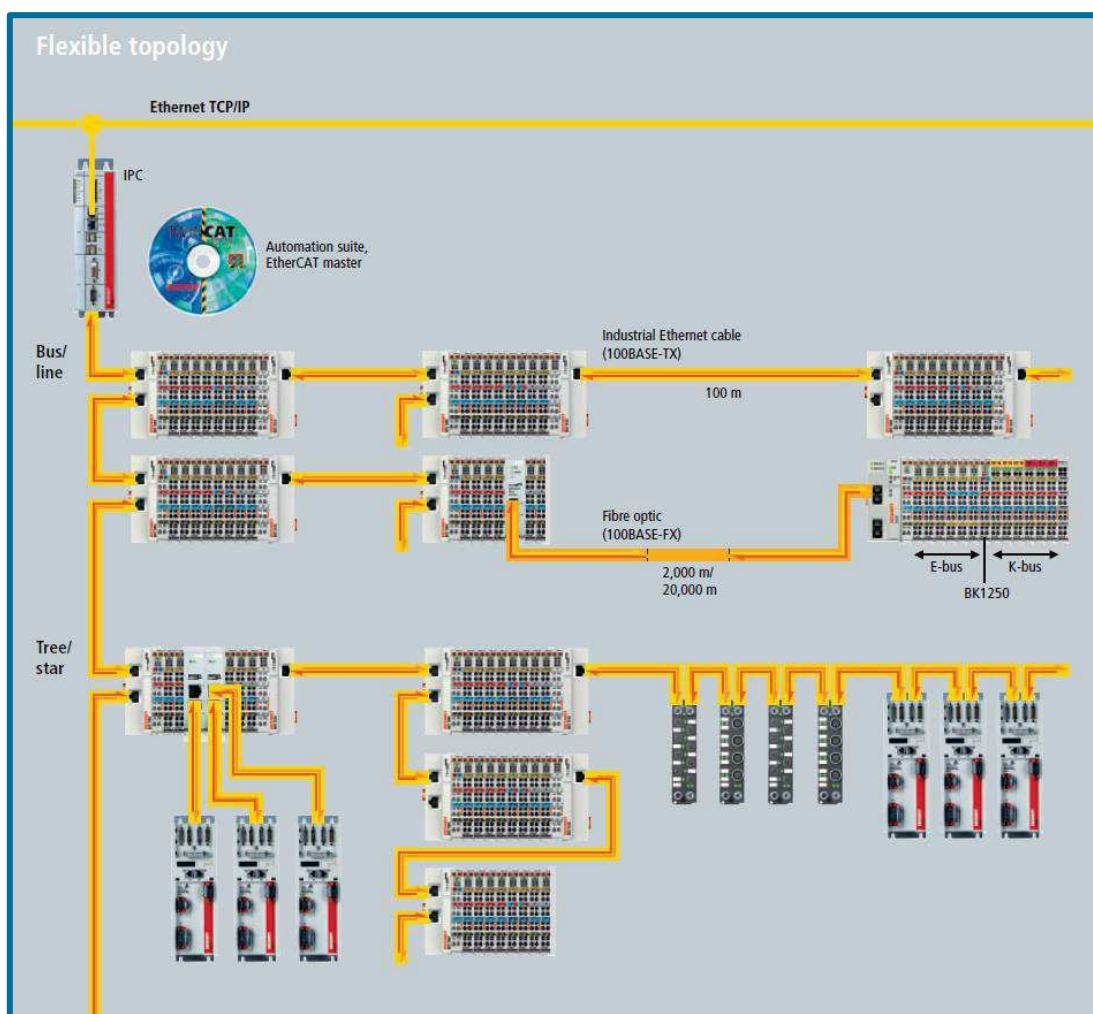
| Č. | Název  | Popis  |
|----|--|--|
| 1  | Povinnost použití nových bloků   | Všichni projektanti musí v rámci projektování systému řízení používat nově zavedené bloky pro mateřské bloky PLC modulů a k nim příslušný nový návazný blok napojení vstupů a výstupů.   |
| 2  | Povinnost úpravy nastavení křížových referencí                           | Všichni projektanti si musí upravit nastavení křížových referencí v EcsCADu tak, aby křížové reference fungovali při zjišťování pozice prvku nejdříve primárně po řádcích, sekundárně po sloupcích. Zápis křížové reference do databáze musí být ve formátu:<br>ČÍSLO LISTU.ŘÁDEK SLOUPEC      |
| 3  | Povinnost zrušení standardního výpisu vstupů a výstupů.                  | U nových projektů již nebude vytvářen standardní výpis vstupů a výstupů systému řízení.  |
| 4  | Povinnost zavedení nového výpisu vstupů a výstupů.                       | U nových projektů bude vytvářen výpis vstupů a výstupů, který bude obsahovat pozici mateřských modulů tak, jak jsou umístěny ve výkresu.   |
| 5  | Povinnost dodržovat pozice modulů PLC ve výkresu vzhledem k architektuře | Pozice modulů PLC ve výkresu (reprezentovány mateřskými bloky PLC modulů) budou striktně v pořadí, v jakém bude i výsledná konfigurace systému řízení.   |
| 6  | Povinnost dodržovat koncepci obecného zařízení                           | Všechny nově realizované systémy řízení jevištních mechanismů budou ctít koncepci obecného zařízení. V základu každé zařízení bude mít vlastní coupler a pořadí jednotlivých typů modulů bude pro různé typy os shodné. Je nutné dodržovat definované postupy pro značení jednotlivých modulů. |
| 7  | Povinnost dodržovat názvosloví   | Projektanti jsou povinni dodržovat jednotné názvosloví pro pojmenování jednotlivých vstupů a výstupů. Každé nové požadavky na nové názvy a popisy budou zaznamenány do slovníku pojmů.   |
| 8  | Správná interpretace pojmu osa   | Projektanti nesmí zaměňovat pojem zařízení, nebo pojem pohon s pojmem řízená osa.  |

### 3.2 Systémové změny technické terminologie

Existuje nepřeberné množství variací, jakým způsobem je možné vytvořit architekturu systému řízení jevištních mechanismů, resp. systému řízení obecně. Architektura vychází z použitých komponent pro automatizaci, zejména pak z komponent, použitých pro vlastní PLC konfiguraci.

S použitím komponent společnosti Beckhoff jsou pak možnosti vytvoření architektury ještě rozmanitější, což vyplývá z principu, jakým se hardware skládá do podoby systému řízení. Díky fyzickému propojování modulů vzájemně lze sestavit PLC pro čistě centralizovaný systém. Naproti tomu mohou být vytvořeny skupiny komponent, které mohou být pomocí komunikačních couplerů propojeny komunikační linkou a může tak být vytvořen systém řízení, který je decentralizovaný. Možnosti decentralizace se ještě výrazně zvýrazní použitím např. komunikační linky EtherCAT, která může být principiálně zapojena do sítí typu páteř i do sítí typu hvězda a je dostatečně rychlá. Pojem centralizace a decentralizace je zde použit ve smyslu lokality vstupních a výstupních modulů. Nejedná se o smysl řízení. Možnost decentralizace vstupních a výstupních modulů byla základním předpokladem pro unifikaci architektury jednoho zařízení v rámci systému řízení jevištních mechanismů.

Možností, jak sestavit architekturu s komponenty společnosti Beckhoff je nepřeberné množství. Variabilita propojení byla znázorněna na obrázku Obr. 23), kde je vykreslena možná topologie při použití komunikační linky EtherCAT, vytvářející tzv. "Tree Topology".



Obr. 23) Ukázka flexibility topologie EtherCAT [13]



### 3.2.1 Zavedení pojmu osa

Z velkého množství zařízení, která jsou provozována v rámci automatizační techniky v oblasti jevištních mechanismů, byl vytvořen jednotný pohled, kterým se každé zařízení posuzuje podle počtu pohonů, které potřebuje k vyvozování pohybu. Tyto pohony pak slouží na jedné straně k vyvození pohybu ve společném směru anebo na straně druhé k vyvození pohybu v jiném směru.

Nejlépe je to patrné na příkladu. Zařízení jevištní opona je zpravidla mechanismem, který umožňuje vertikální pohyb, kdy je zavěšená oponová dráha zvedána a spouštěna. Tento pohyb bývá na jevištní oponě realizován zejména z důvodů výměny oponového sametu. Spuštěním dráhy opony do výšky přibližně 1 metr na podlahu je umožněn obsluze přístup k oponové dráze a výměně látky. Druhým pohybem, kterým jevištní opona disponuje, je rozhrnování a shrnováním, někdy nazývané jako otevírání a zavírání. Jedná se o horizontální pohyb, kdy se látka opony pohybuje po dráze, zpravidla rozdělená na dva díly, od středu dráhy ke svým krajům a naopak. Jevištní opona tedy potřebuje dva pohony. Jeden pro vyvození pohybu horizontálního a druhý pro vyvození pohybu vertikálního. Tyto pohyby je nutné nějakým způsobem vymezit, co se týče dráhy. Tzn. nastavit limity, odkud a kam se zařízení smí pohybovat. Musí být určeno, zda daný pohyb bude pevně definovanou rychlostí (stykačový reverz), nebo zda bude nějakým ze způsobů řízen (např. frekvenčním měničem). Také je nutné popsat pro jednotlivé pohyby parametry vlastního pohybu, jako jsou rychlost, zrychlení, jerk, zejména u těch pohybů, které mají definovanou regulaci pohybu.

Souhrn informací, jak je popsán v předchozím odstavci, je z pohledu automatizace a systémů řízení, popisem dvou fyzických řízených os. Vývojáři softwaru mají pojem osy definován poněkud odlišným způsobem. Z pohledu vývojáře má řízená osa vlastnosti typu start, stop, nová cílová pozice, nová rychlost, moment a nastavení/čtení aktuální pozice. U takové osy pak rozlišují typ osy na servo osu, enkodérovou osu, simulovanou osu, osu typu krokový motor apod. Velmi důležitým parametrem je pak definice pozičního systému osy, který je členěn na inkrementální snímač polohy, absolutní snímač polohy a digitální interface přímo do pohonu. Z tohoto pohledu se jedná o popis logické osy tak, jak je reprezentována v systému řízení.

Důležitým milníkem bylo tyto pojmy sloučit do jednoho pojmu osa, který budou obě dvě oddělení chápat shodně. Velmi častým problémem, způsobujícím chyby vlivem lidského faktoru je právě chápání pojmu osa. Nejčastější kolizí je zaměňování pojmu zařízení s pojmem osa. Projektant označí, že má v systému 4 zařízení a hovoří o nich jako o osách. Ve skutečnosti ale jedno ze zařízení je např. jevištní opona, která má osy 2. Dalším ze zařízení je pak zvedaných jevištní stůl, který má např. osy 4. Zbývající zařízení mají po jedné ose. V souhrnu je tedy v systému řízení 8 os a nikoliv 4.

**Bylo tedy nutné tyto pojmy sjednotit a vytvořit shodný úhel pohledu na osu. Ať již se jedná o fyzickou osu, nebo o osu logickou, vždy je to pouze jeden pohon, parametry vztahující se k tomuto pohonu a parametry vztahující se k pohybu, který daný pohon vyvozuje.**



### 3.2.2 Koncepce obecného zařízení

Nově vytvořený a zavedený pojem „Koncepce obecného zařízení“ byl zvolen na základě významu tohoto pravidla. Jedná se o jakési zobecnění, lépe řečeno o unifikaci architektury jedné osy. Logické členění architektury bylo nastaveno tak, že je nutné už v projekční fázi se na jednotlivá zařízení dívat jako na jednotlivé osy a celou architekturu skládat po jednotlivých osách do rozvodných skříní, samozřejmě s přihlédnutím na to, která osa patří ke kterému zařízení. Současně bylo nastaveno, že tyto osy budou, co se týká komponent, vyskládány vždy předepsaným způsobem.

#### 3.2.2.1. Každá osa musí mít komunikační coupler pro EtherCAT.

Velmi důležité pravidlo. Projektanty obvykle svádí použití jednoho coupleru v rámci zařízení, nikoliv osy s tím, že se ušetří značné množství nákladů vyloučením několika couplerů ze systému. Tvzení je sice částečně pravdivé, co se týče ušetřených nákladů za couplery, problém je v tom, že toto tvrzení nezohledňuje fakt, že pokud je každé zařízení hardwarově poskládáno jiným způsobem, značně to zvedá náklady oddělení vývoje softwaru, kde musí ke každému zařízení, z jejich pohledu k více osám, přistupovat individuálním způsobem. Je tedy nutné, aby každá osa v systému řízení byla vybavena komunikačním couplerem.

#### 3.2.2.2. Pořadí PLC modulů

Všechny moduly použité v rámci jedné osy musí mít striktně definované pořadí. Toto pravidlo bylo stanoveno v rámci unifikace řešení. Každá osa má soubor vstupně výstupních modulů, které jsou pro všechny osy stejné. Průřezem přes všechny typy zařízení, používané v oblasti jevištních mechanismů bylo stanoveno minimální množství těchto vstupně výstupních modulů, které jsou u osy potřebné. Tyto moduly byly definovány do pořadí, které bude pro každou osu shodné.

Pořadí bylo stanoveno následující, jak je ukázáno v tabulce Tab. 10).

**Tab. 10) Pořadí PLC modulů pro unifikaci řešení**

| Pořadí | Název modulu   |
|--------|--|
| 1.     | Komunikační coupler  |
| 2.     | EtherCAT junction – rozšíření EtherCAT pro připojení frekvenčního měniče |
| 3.     | Napájecí zdroj s oddělením potenciálu                                    |
| 4.     | Modul osmi logických vstupů  |
| 5.     | Modul osmi logických výstupů   |
| 6.     | Modul čtveřice dvoukanálových bezpečnostních výstupů                     |
| 7.     | Modul čtveřice dvoukanálových bezpečnostních vstupů                      |
| 8.     | Modul osmi logických vstupů  |
| 9.     | Modul pro absolutní snímač polohy SSI                                    |
| 10.    | Koncový modul pro zakončení vnitřní sběrnice                             |

### 3.2.2.3. Možnost vynechat modul

Nesmí být vynechán modul pro komunikaci, tedy komunikační coupler. Nesmí být vynechán modul pro zakončení vnitřní sběrnice. Ostatní moduly mohou být případně vynechány s tím, že nesmí být zaměňováno pořadí modulů – pouze vynechání modulu, který pro danou osu není potřeba. Standardně tak může být vynechán modul EtherCAT junction pro rozšíření EtherCATu směrem k frekvenčnímu měniči, pokud osa tento měnič nemá, protože nemá definovanou regulaci rychlosti nebo dráhového dojezdu, nebo např. modul bezpečnostních vstupů u zařízení s vertikálním pohybem, kde se zpravidla nepoužívají bezpečnostní koncové spínače.

### 3.2.2.4. Možnost přidat modul

Do sestavy PLC modulů osy může být přidán libovolný modul navíc. Musí být ovšem ctěno pravidlo, že tento další modul, nebo více modulů, bude přidán až na předposlední pozici, tedy před koncový modul. Tím je myšleno, že stanovená pořadí vstupních a výstupních modulů končí modulem pro absolutní snímač a tedy dodatečné moduly se umístí za tento modul. Pokud dle pravidla pro možnost vynechání modulu modul pro absolutní snímač chybí, pak se dodatečné moduly poskládají za poslední modul osmi logických vstupů. Celá sestava je vždy ukončena koncovým modulem.

### 3.2.2.5. Definice označení modulů a jejich číslování

Bylo stanoveno, že jednotlivé moduly budou mít pevně definovány zkratky pro jejich označování. V rámci těchto zkratk budou i číslovány a to tak, že číslo se inkrementuje s každým dalším modulem obdobného typu. Označování modulů bylo uvedeno do tabulky Tab. 11). Index modulu je uveden vždy před označením. Např. 1DI, 2DI, 3DI, atd. Index se umístí vždy, i když je modul pouze jeden, např. 1CPU, 1ETC, 1SSI, atd.

**Tab. 11) Označování modulů PLC**

| Označení | Modul  |
|----------|--|
| CPU      | Komunikační coupler  |
| ETC      | EtherCAT junction – rozšíření EtherCAT pro připojení frekvenčního měniče |
| PS       | Napájecí zdroj s oddělením potenciálu                                    |
| DI       | Modul osmi logických vstupů  |
| DO       | Modul osmi logických výstupů   |
| SDO      | Modul čtveřice dvoukanálových bezpečnostních výstupů                     |
| SDI      | Modul čtveřice dvoukanálových bezpečnostních vstupů                      |
| SSI      | Modul pro absolutní snímač polohy SSI                                    |
| END      | Koncový modul pro zakončení vnitřní sběrnice                             |

### 3.2.2.6. Název a číslování jednotlivých vstupů a výstupů

Číslování vstupů bylo zavedeno na základě číslování jednotlivých modulů. Číslo konkrétního vstupu na konkrétním modulu má v názvu označení modulu včetně jeho čísla před označením a index pořadí daného vstupu (výstupu) v rámci tohoto modulu. Název 2DI5 tedy říká, že se jedná o druhý modul osmice digitálních vstupů v rámci jedné osy a že se jedná o jeho 5 digitální vstup.

### 3.2.2.7. Pevná definice jednotlivých vstupů a výstupů

V rámci unifikace osy byly zavedeny také předem dané významy pro konkrétní vstupy a výstupy. Přehled definice těchto významů ukazuje tabulka Tab. 12), kde je vše členěno po jednotlivých modulech a v souladu se stanoveným způsobem číslování modulů i jednotlivých vstupů a výstupů.

**Tab. 12) Označení a definice vstupů a výstupů**

| Modul | Název modulu / Vstup / Výstup  |   |
|-------|--|---|
| 1CPU  | Komunikační coupler  |   |
|       | IN   | Vstup EtherCAT  |
|       | OUT  | Výstup EtherCAT   |
| 1ETC  | EtherCAT junction – rozšíření EtherCAT pro připojení frekvenčního měniče |   |
|       | junction 1   | EtherCAT pro připojení frekvenčního měniče  |
|       | junction 2   | rezerva EtherCAT pro připojení případného pozičního čidla vybaveného touto komunikační linkou   |
| 1PS   | Napájecí zdroj s oddělením potenciálu                                    |   |
| 1DI   | Modul osmi logických vstupů  |   |
|       | 1DI1   | Sdružená informace z jističe brzd, ovládací cívky odvozené od hlavního vypínače a informace z jističe frekvenčního měniče                 |
|       | 1DI2   | Informace z koncového vypínače horní polohy v případě vertikálního pohybu a z koncového vypínače otevřeno v případě horizontálního pohybu |
|       | 1DI3   | Informace z koncového vypínače dolní polohy v případě vertikálního pohybu a z koncového vypínače zavřeno v případě horizontálního pohybu  |
|       | 1DI4   | Stav první brzdy  |
|       | 1DI5   | Stav druhé brzdy  |
|       | 1DI6   | Stav vnitřního relé frekvenčního měniče   |
|       | 1DI7   | Informace o stavu hlavního stykače odepínajícího frekvenční měnič   |
|       | 1DI8   | Informace o stavu servisního vypínače pohonu dané osy   |

| Modul | Název modulu / Vstup / Výstup                        |   |
|-------|--|---|
| 1DO   | Modul osmi logických výstupů                         |   |
|       | 1DO1   | Propojení do vstupu “Enable” frekvenčního měniče  |
|       | 1DO2   | Vyvolání funkce test brzdy  |
|       | 1DO3   | Rezerva   |
|       | 1DO4   | Rezerva   |
|       | 1DO5   | Rezerva   |
|       | 1DO6   | Rezerva   |
|       | 1DO7   | Rezerva   |
|       | 1DO8   | Rezerva   |
| 1SDO  | Modul čtveřice dvoukanalových bezpečnostních výstupů |   |
|       | 1SDO1  | Bezpečné ovládání funkce STO frekvenčního měniče – SAFESTOP   |
|       | 1SDO2  | Bezpečné ovládání první brzdy   |
|       | 1SDO3  | Bezpečné ovládání druhé brzdy   |
|       | 1SDO4  | Bezpečné odepínání hlavního jističe před frekvenčním měničem  |
| 1SDI  | Modul čtveřice dvoukanalových bezpečnostních vstupů  |   |
|       | 1SDI1  | Informace z prvního bezpečnostního koncového vypínače dolní polohy v případě vertikálního pohybu a z prvního bezpečnostního koncového vypínače zavřeno v případě horizontálního pohybu  |
|       | 1SDI2  | Informace z druhého bezpečnostního koncového vypínače dolní polohy v případě vertikálního pohybu a z druhého bezpečnostního koncového vypínače zavřeno v případě horizontálního pohybu  |
|       | 1SDI3  | Informace z prvního bezpečnostního koncového vypínače horní polohy v případě vertikálního pohybu a z prvního bezpečnostního koncového vypínače otevřeno v případě horizontálního pohybu |
|       | 1SDI4  | Informace z druhého bezpečnostního koncového vypínače horní polohy v případě vertikálního pohybu a z druhého bezpečnostního koncového vypínače otevřeno v případě horizontálního pohybu |
| 1SSI  | Modul pro absolutní snímač polohy SSI                |   |
|       | 1SSI1  | Absolutní snímač polohy s rozhraním SSI   |
| 1END  | Koncový modul pro zakončení vnitřní sběrnice         |   |

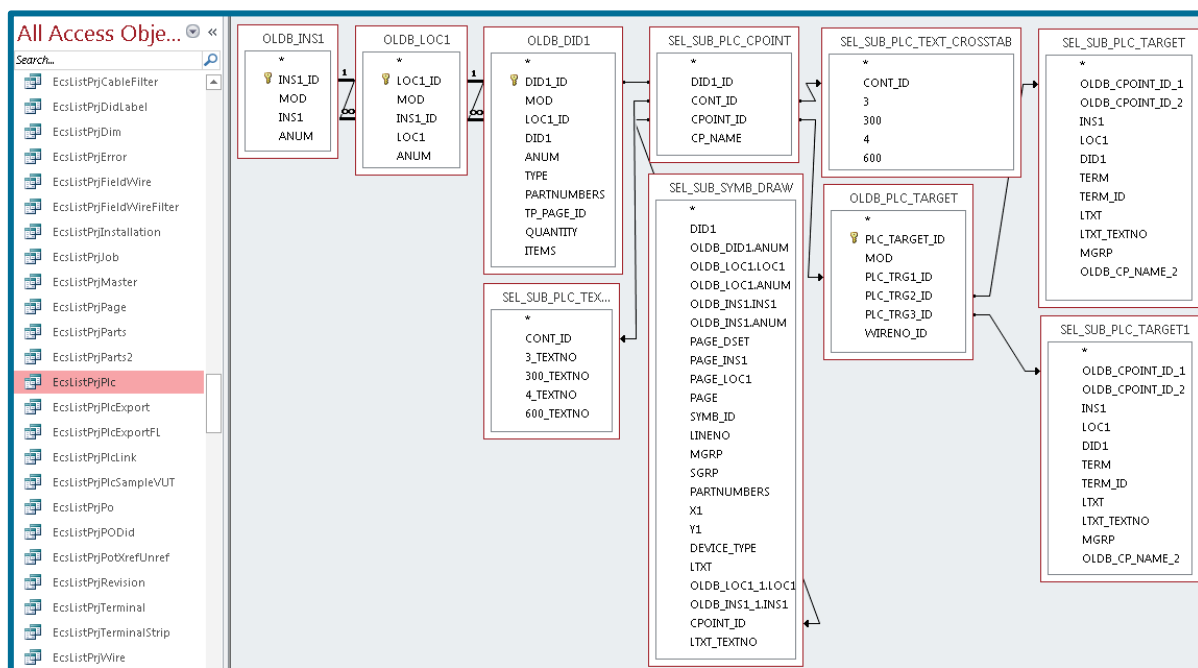
### 3.3 Úprava databáze EcsCAD

Standardní výpisy, které jsou od dodavatele EcsCADu nastaveny, neprovádí výpis PLC vstupů a výstupů tak, aby bylo ve výsledných tabulkách zobrazeno i konkrétní umístění zdrojového prvku, resp. mateřského modulu, ve výkresu. Pro fungování následné automatizace bylo nutné upravit podobu SQL dotazu do databáze tak, aby výpis udával i pozici mateřských modulů, které ve výkresové dokumentaci ctí fyzické rozmístění a celkovou architekturu.

#### 3.3.1 Původní výpis PLC

Jako nejvhodnější způsob bylo zvoleno upravení standardního výpisu vstupů a výstupů, resp. SQL dotazu. Tento SQL dotaz je vidět na obrázku Obr. 24) v režimu návrhu. Název původního dotazu je „EcsListPrjPlc“. Všechny výpisy, resp. SQL dotazy realizující výpisy, v EcsCADu začínají v názvu označením „EcsList“ za kterým zpravidla následuje zkratkami naznačeno, čeho se výpis týká. V případě SQL dotazu pro výpis PLC název pokračuje zkratkou „PrjPlc“, což naznačuje, že se jedná o výpis vstupů a výstupů – zkratka „Plc“ a že je to výpis z celého projektu – zkratka „Prj“.

Jedná se o vnitřní názvy v rámci databáze. Uživatel, pracující s EcsCADem, tyto názvy nevidí a přistupuje k výpisu přes uživatelské menu, kde si volí, který výpis potřebuje udělat. Přes toto menu je pak možné v rámci MS Accessu dohledat v režimu návrhu, který konkrétní SQL dotaz je pro danou položku uživatelského menu přiřazen. Tímto způsobem byl dohledán konkrétní dotaz pro výpis PLC vstupů a výstupů. Operace editace uživatelského menu pro jednotlivé výpisy i editace jednotlivých výpisů, resp. jejich SQL dotazů, je dodavatelem EcsCADu podporována a dokonce jsou v rámci aplikace nachystána různá makra a editační prostředky pro tyto záměry. V rámci této diplomové práce byl zvolen více programátorský přístup a to přímá editace v rámci aplikačního programu MS Access, ve kterém jsou všechny databáze EcsCADu vytvořeny.



Obr. 24) Původní SQL dotaz pro výpis PLC – „EcsListPrjPlc“ – Režim návrhu

Na dokreslení celkového obrazu je nutné zmínit, že v rámci aplikace EcsCAD existuje několik databázových souborů. Některé z nich souvisí úzce s funkcí samotného EcsCADu, některé jsou určeny pro přiřazování typů přístrojů a jejich dodavatelů – tzv. katalogy komponent, další databázový soubor je pro konkrétního uživatele a jeho vlastní uživatelské nastavení programu, dalším je databázový soubor konkrétního projektu a mnoho dalších.

Pro potřeby úpravy SQL dotazu výpisu PLC vstupů a výstupů je nutné pracovat s databázovým souborem, který je umístěn v rámci operačního systému Microsoft Windows 7 x64 ve složce:

C:\ProgramData\Autodesk\AutoCAD EcsCAD 2014 R2\data\WORK

a je nazván:

**„UL.MDB“**

Následně je nutné pracovat s druhým databázovým souborem, který je u každého projektu a obsahuje veškerá data konkrétního projektu, včetně požadovaných křížových referencí. Tento databázový soubor bylo nutné prostudovat, aby bylo zjištěno, jakým způsobem bude možné upravit SQL dotaz pro vlastní potřeby. Tento databázový soubor se nachází ve složce daného projektu v podsložce „\_INTERNAL“. Začátek cesty je závislý na dané instalaci EcsCADu:

..\PROJECT\SAMPLE\_VUT\\_INTERNAL

Databázový soubor konkrétního projektu je pojmenován vždy stejně:

**„OLDB.MDB“**

Na obrázku Obr. 25) je vidět část výpisu, který byl proveden s původním SQL dotazem „EcsListPrjPlc“. Ve sloupci „DID1“ je název vstupu PLC, sloupec „ECS\_PAGE“ udává číslo výkresu a sloupec „LINENO“ pozici na výkresu. Problém spočívá v tom, že jde o pozici návazného bloku, nikoliv mateřského. Z výpisu tedy není možné seskládat architekturu.

| EcsListPrjPlc |       |      |            |      |         |           |           |           |          |        |             |
|---------------|-------|------|------------|------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|--------|-------------|
| DID1_ID       | INS1  | LOC1 | DID1_ANUM  | DID1 | CP_NAME | PAGE_DSET | PAGE_INS1 | PAGE_LOC1 | ECS_PAGE | LINENO | DEVICE_TYPE |
| 382           | RM1.2 | F1   | 011\$CPUIC | 1CPU |         |           |           |           |          |        |             |
| 382           | RM1.2 | F1   | 011\$CPUIC | 1CPU |         |           |           |           |          |        |             |
| 364           | RM1.2 | F1   | 011\$DIID  | 1DI  | 1       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 3        | C7     | PLC_D8      |
| 364           | RM1.2 | F1   | 011\$DIID  | 1DI  | 5       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 4        | C2     | PLC_D8      |
| 364           | RM1.2 | F1   | 011\$DIID  | 1DI  | 2       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 4        | C3     | PLC_D8      |
| 364           | RM1.2 | F1   | 011\$DIID  | 1DI  | 6       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 5        | C5     | PLC_D8      |
| 364           | RM1.2 | F1   | 011\$DIID  | 1DI  |         |           |           |           |          |        |             |
| 364           | RM1.2 | F1   | 011\$DIID  | 1DI  | 7       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 3        | B6     | PLC_D8      |
| 364           | RM1.2 | F1   | 011\$DIID  | 1DI  | 4       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 5        | C6     | PLC_D8      |
| 364           | RM1.2 | F1   | 011\$DIID  | 1DI  | 8       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 5        | C8     | PLC_D8      |
| 363           | RM1.2 | F1   | 011\$DOID  | 1DO  | 1       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 3        | B5     | PLC_D8      |
| 363           | RM1.2 | F1   | 011\$DOID  | 1DO  | 5       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 3        | C6     | PLC_D8      |
| 363           | RM1.2 | F1   | 011\$DOID  | 1DO  |         |           |           |           |          |        |             |
| 363           | RM1.2 | F1   | 011\$DOID  | 1DO  |         |           |           |           |          |        |             |
| 363           | RM1.2 | F1   | 011\$DOID  | 1DO  |         |           |           |           |          |        |             |
| 363           | RM1.2 | F1   | 011\$DOID  | 1DO  |         |           |           |           |          |        |             |
| 363           | RM1.2 | F1   | 011\$DOID  | 1DO  |         |           |           |           |          |        |             |
| 378           | RM1.2 | F1   | 011\$SDOIS | 1SDO | 1/OUT   | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 5        | D4     | PLC_SD4     |
| 378           | RM1.2 | F1   | 011\$SDOIS | 1SDO | 5/OUT   | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 5        | D1     | PLC_SD4     |
| 378           | RM1.2 | F1   | 011\$SDOIS | 1SDO |         |           |           |           |          |        |             |
| 378           | RM1.2 | F1   | 011\$SDOIS | 1SDO | 7/OUT   | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 5        | D3     | PLC_SD4     |
| 385           | RM1.2 | F1   | 011\$SSIIS | 1SSI |         |           |           |           |          |        |             |
| 341           | RM1.2 | F1   | 012\$DIID  | 2DI  | 1       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 4        | C4     | PLC_D8      |
| 341           | RM1.2 | F1   | 012\$DIID  | 2DI  | 5       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 5        | C7     | PLC_D8      |
| 341           | RM1.2 | F1   | 012\$DIID  | 2DI  | 2       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 4        | C7     | PLC_D8      |
| 341           | RM1.2 | F1   | 012\$DIID  | 2DI  | 6       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 4        | C4     | PLC_D8      |
| 341           | RM1.2 | F1   | 012\$DIID  | 2DI  | 3       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 4        | C5     | PLC_D8      |
| 341           | RM1.2 | F1   | 012\$DIID  | 2DI  | 7       | RM1.2     | RM1.2     | F1        | 4        | C6     | PLC_D8      |
| 341           | RM1.2 | F1   | 012\$DIID  | 2DI  | 4       | RM1.2     | RM1.2     | -         | 2        | C7     | PLC_D8      |
| 341           | RM1.2 | F1   | 012\$DIID  | 2DI  | 8       | RM1.2     | RM1.2     | -         | 2        | C8     | PLC_D8      |
| 453           | RM1.3 | M1   | 011\$CPUIC | 1CPU |         |           |           |           |          |        |             |

Obr. 25) Původní výpis PLC – SQL dotazem „EcsListPrjPlc“



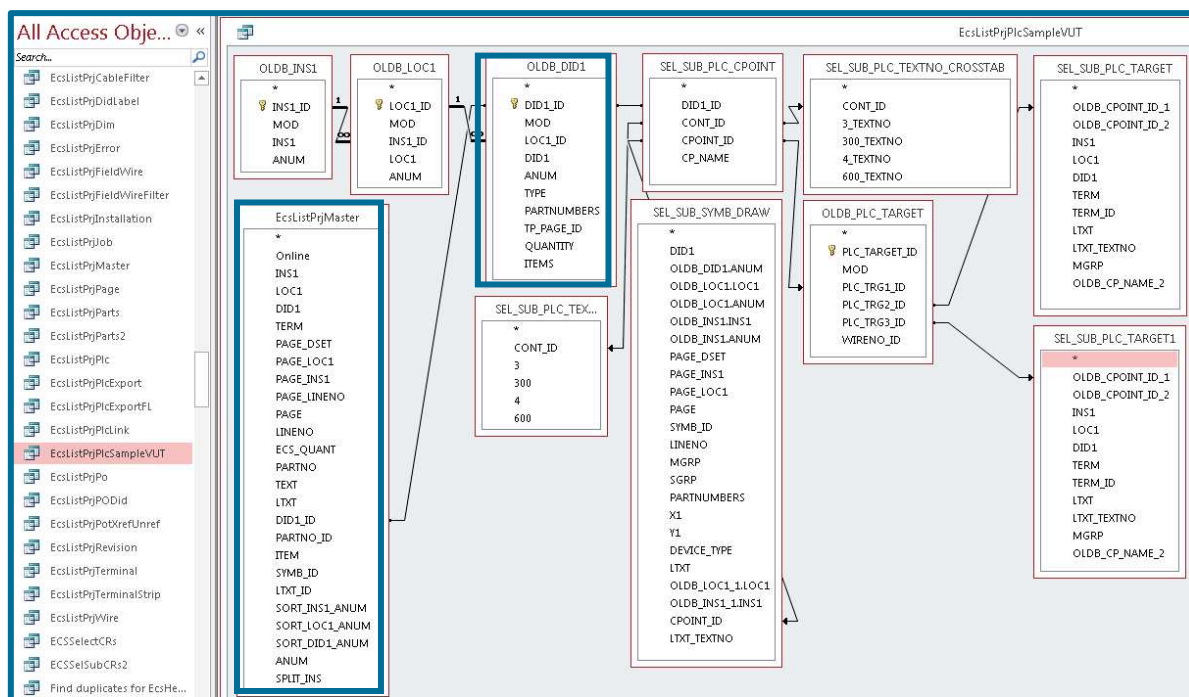
### 3.3.2 Úprava výpisu PLC

Cílem úpravy výpisu PLC bylo získat pozice mateřských bloků, které byly vytvořeny v rámci unifikace osy tak, jak je popsáno v kapitole 3.2. Pozice těchto bloků ve výkresu udává skutečnou požadovanou konfiguraci PLC, která je následně stěžejní pro výslednou automatizaci části přenosu informací mezi odděleními. Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole 3.3.1, původní výpis obsahuje pozice návazných bloků (viz Obr. 19), nikoliv mateřských (viz Obr. 20).

SQL dotaz pro výpis PLC byl po prostudování databází „OLDB.MDB“ a „UI.MDB“ upraven, resp. byl vytvořen nový SQL dotaz „EcsListPrjPlcSampleVUT“, který byl založen na původním dotazu. Do nového SQL dotazu byla přidána vazba na výpis „EcsListPrjMaster“ přes klíčový index „DID1\_ID“ z tabulky „OLDB\_DID1“. SQL dotaz „EcsListPrjMaster“ primárně slouží k výpisu všech prvků projektu, které mají přiřazen katalogový záznam výrobce a typu a jedná se o bloky, představující hardwarové komponenty. V tomto výpisu tedy figurují stykače, relé, jističe, apod. a není zatížen ostatními bloky, jako jsou kontakty cívek, pomocné kontakty jističů a ostatní typy návazných bloků ve smyslu křížových referencí. Jedná se tedy čistě o soupis mateřských bloků.

Kombinace SQL dotazu „EcsListPrjMaster“ s původním dotazem „EcsListPrjPlc“ pro výpis PLC tímto způsobem vytváří databázový SQL dotaz, který plní požadované náležitosti. Na obrázku Obr. 26) je tato úprava vyznačena modrými rámečky v režimu návrhu SQL dotazu.

Část výsledného výpisu z databáze je zobrazena na obrázku Obr. 27). Názvy vstupů a výstupů, které byly původně ve sloupci „DID1“ nyní figurují ve sloupci „300“. Umístění návazných bloků ve výkresu se posunulo do sloupce „SEL\_SUB\_SYMB\_DRAW.LINENO“.



Obr. 26) Upravený SQL dotaz – „EcsListPrjPlcSampleVUT“ – Režim návrhu

| All Access Objects  |      |      |        |             |      |                         |       |   |         |          |                          |  |
|---------------------|------|------|--------|-------------|------|-------------------------|-------|---|---------|----------|--------------------------|--|
| Search...           |      |      |        |             |      |                         |       |   |         |          |                          |  |
| INS1                | LOC1 | DID1 | 3      | PAGE_LINENO | PAGE | EcsListPrjMaster.LINENO | 300   | 600   | CP_NAME | ECS_PAGE | SEL_SUB_SYMB_DRAW.LINENO |  |
| RM1.3               | M1   | 1CPU | EK1101 | 7.B1        | 7    | B1                      | IN    | EtherCAT VSTUP                                      |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 1CPU | EK1101 | 7.B1        | 7    | B1                      | OUT   | EtherCAT VYSTUP                                     |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 1DI  | EL1008 | 7.B5        | 7    | B5                      | 1DI1  | JISTIČ BRZDA ^ Cívka HL. VYPÍNAČ ^ JISTIČ FR. MĚNIČ | 1       | 3        | C7                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DI  | EL1008 | 7.B5        | 7    | B5                      | 1DI2  | KONCOVÝ SPÍNAČ ^ HORNÍ                              | 5       | 4        | C6                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DI  | EL1008 | 7.B5        | 7    | B5                      | 1DI3  | KONCOVÝ SPÍNAČ ^ DOLNÍ                              | 2       | 4        | C6                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DI  | EL1008 | 7.B5        | 7    | B5                      | 1DI4  | BRZDA Y1  | 6       | 5        | C5                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DI  | EL1008 | 7.B5        | 7    | B5                      | 1DI5  | BRZDA Y2  | 3       | 5        | C5                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DI  | EL1008 | 7.B5        | 7    | B5                      | 1DI6  | RELÉ FR. MĚNIČ                                      | 7       | 3        | B6                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DI  | EL1008 | 7.B5        | 7    | B5                      | 1DI7  | HL. STYKAČ  | 4       | 5        | C6                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DI  | EL1008 | 7.B5        | 7    | B5                      | 1DI8  | VYP. POHONU NC                                      | 8       | 5        | C8                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DO  | EL2008 | 7.C3        | 7    | C3                      | 1DO1  | FR. MĚNIČ ^ ENABLE                                  | 1       | 3        | B5                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DO  | EL2008 | 7.C3        | 7    | C3                      | 1DO2  | TEST BRZDY  | 5       | 3        | C6                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1DO  | EL2008 | 7.C3        | 7    | C3                      | 1DO3  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 1DO  | EL2008 | 7.C3        | 7    | C3                      | 1DO4  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 1DO  | EL2008 | 7.C3        | 7    | C3                      | 1DO5  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 1DO  | EL2008 | 7.C3        | 7    | C3                      | 1DO6  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 1DO  | EL2008 | 7.C3        | 7    | C3                      | 1DO7  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 1DO  | EL2008 | 7.C3        | 7    | C3                      | 1DO8  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 1SDO | EL2904 | 7.C5        | 7    | C5                      | 1SDO1 | SAFESTOP  | 1/OUT   | 5        | D4                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1SDO | EL2904 | 7.C5        | 7    | C5                      | 1SDO2 | BRZDA Y1  | 5/OUT   | 5        | D1                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1SDO | EL2904 | 7.C5        | 7    | C5                      | 1SDO3 | BRZDA Y2  | 3/OUT   | 5        | D2                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1SDO | EL2904 | 7.C5        | 7    | C5                      | 1SDO4 | HL. STYKAČ  | 7/OUT   | 5        | D3                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1SDI | EL1904 | 7.D3        | 7    | D3                      | 1SDI1 | BEZP. KONCOVÝ SPÍNAČ ^ DOLNÍ 1                      | 1       | 4        | C2                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1SDI | EL1904 | 7.D3        | 7    | D3                      | 1SDI2 | BEZP. KONCOVÝ SPÍNAČ ^ DOLNÍ 2                      | 5       | 4        | C3                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1SDI | EL1904 | 7.D3        | 7    | D3                      | 1SDI3 | BEZP. KONCOVÝ SPÍNAČ ^ HORNÍ 1                      | 3       | 4        | C4                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1SDI | EL1904 | 7.D3        | 7    | D3                      | 1SDI4 | BEZP. KONCOVÝ SPÍNAČ ^ HORNÍ 2                      | 7       | 4        | C4                       |  |
| RM1.3               | M1   | 2DI  | EL1008 | 7.E3        | 7    | E3                      | 2DI1  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 2DI  | EL1008 | 7.E3        | 7    | E3                      | 2DI2  | VYP. POHONU NO                                      | 5       | 5        | C7                       |  |
| RM1.3               | M1   | 2DI  | EL1008 | 7.E3        | 7    | E3                      | 2DI3  | RUČNÍ OVLÁDÁNÍ                                      | 2       | 4        | C7                       |  |
| RM1.3               | M1   | 2DI  | EL1008 | 7.E3        | 7    | E3                      | 2DI4  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 2DI  | EL1008 | 7.E3        | 7    | E3                      | 2DI5  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 2DI  | EL1008 | 7.E3        | 7    | E3                      | 2DI6  |   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M1   | 2DI  | EL1008 | 7.E3        | 7    | E3                      | 2DI7  | JISTIČ VENTILÁTOR                                   | 4       | 2        | C7                       |  |
| RM1.3               | M1   | 2DI  | EL1008 | 7.E3        | 7    | E3                      | 2DI8  | TEPLOTA 50°C- HAVARIJNÍ                             | 8       | 2        | C8                       |  |
| RM1.3               | M1   | 1SSI | EL5001 | 7.E6        | 7    | E6                      | 1SSI1 | ARC   |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M2   | 1CPU | EK1101 | 17.B1       | 17   | B1                      | IN    | EtherCAT VSTUP                                      |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M2   | 1CPU | EK1101 | 17.B1       | 17   | B1                      | OUT   | EtherCAT VYSTUP                                     |         |          |                          |  |
| RM1.3               | M2   | 1DI  | EL1008 | 17.B5       | 17   | B5                      | 1DI1  | JISTIČ BRZDA ^ Cívka HL. VYPÍNAČ ^ JISTIČ FR. MĚNIČ | 1       | 13       | C7                       |  |
| RM1.3               | M2   | 1DI  | EL1008 | 17.B5       | 17   | B5                      | 1DI2  | KONCOVÝ SPÍNAČ ^ HORNÍ                              | 5       | 14       | C6                       |  |
| RM1.3               | M2   | 1DI  | EL1008 | 17.B5       | 17   | B5                      | 1DI3  | KONCOVÝ SPÍNAČ ^ DOLNÍ                              | 2       | 14       | C6                       |  |
| RM1.3               | M2   | 1DI  | EL1008 | 17.B5       | 17   | B5                      | 1DI4  | BRZDA Y1  | 6       | 15       | C5                       |  |
| RM1.3               | M2   | 1DI  | EL1008 | 17.B5       | 17   | B5                      | 1DI5  | BRZDA Y2  | 3       | 15       | C5                       |  |
| PRJ_ERROR_TMP       |      |      |        |             |      |                         |       |   |         |          |                          |  |
| Records: 185 of 189 |      |      |        |             |      |                         |       |   |         |          |                          |  |

Obr. 27) Nový výpis PLC – SQL dotazem „EcsListPrjPlcSampleVUT“

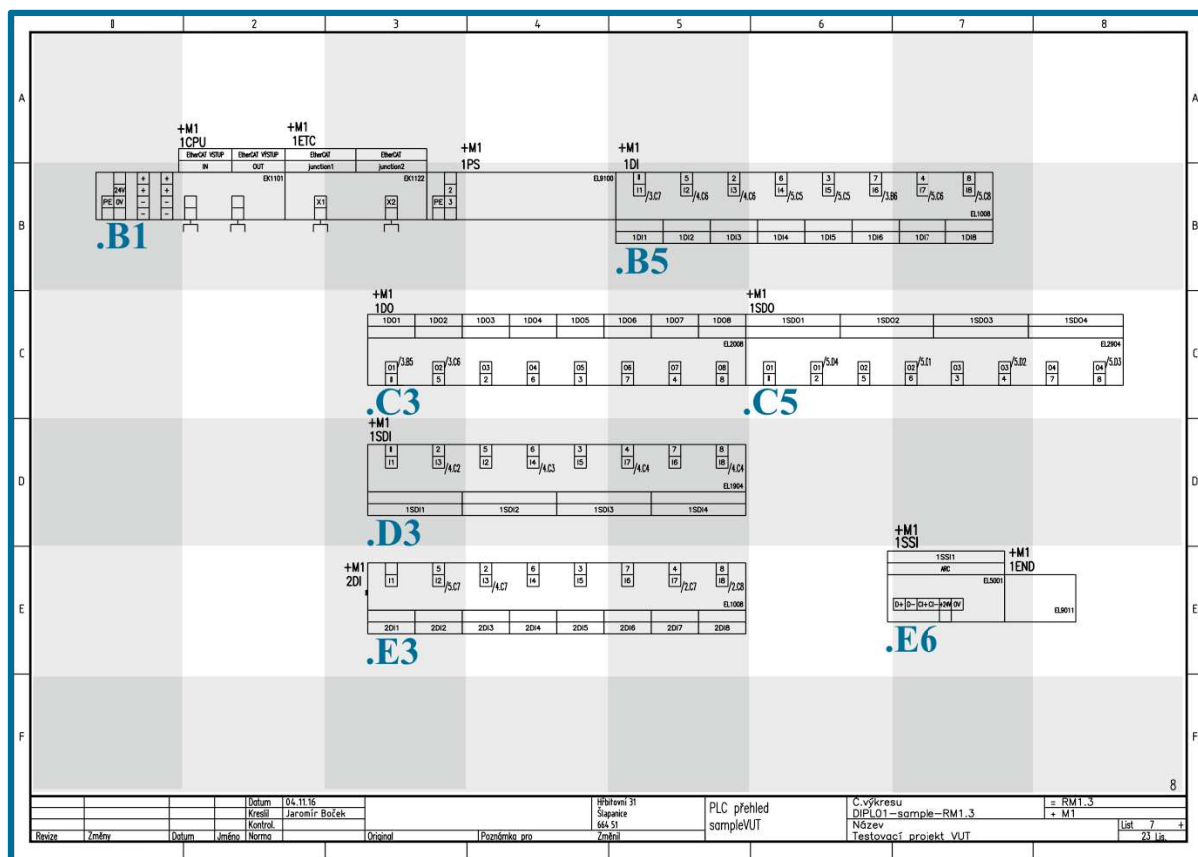
V upraveném výpisu nyní ve sloupci „DID1“ figuruje název mateřského bloku a ve sloupci „PAGE.LINENO“ je jeho pozice ve výkresu, rozdělená pak samostatně na stránku, ve sloupci „PAGE“ a umístění, ve sloupci „EcsListPrjMaster.LINENO“.

Nový SQL dotaz „EcsListPrjPlcSampleVUT“ byl navíc oproti původní verzi doplněn o vzestupné seřazení dat podle sloupců v následujícím pořadí:

- 1.) vzestupně dle sloupce „INS1“
- 2.) vzestupně dle sloupce „LOC1“
- 3.) vzestupně dle sloupce „PAGE.LINENO“
- 4.) vzestupně dle sloupce „300“

Tímto seřazením bylo dosaženo, že následný výpis má požadovanou podobu, která odpovídá zakreslené architektuře ve výkresové dokumentaci. Na obrázku Obr. 27) je to patrné. Ukázka výpisu zachycuje celé zařízení M1 (sloupec „LOC1“) od shora až po vyznačený řádek, který již reprezentuje zařízení M2. Modul PLC je zapsán ve sloupci „DID1“ a jeho pozice ve výkresu ve sloupci „PAGE.LINENO“. Konkrétní vstup pak ve sloupci „300“ s jeho významem ve sloupci „600“. Řazeno od shora dolů pořadí odpovídá výkresu, pokud jej čteme po řádcích „A“ až „F“ a v řádcích se pohybujeme po sloupcích zleva doprava od 1 až 8.

Uvedený výpis z obrázku Obr. 27) tak mohl být srovnán se skutečnou architekturou způsobem, který je naznačen na obrázku Obr. 28). Pro přehlednost byly odebrány některé z popisů a vlastní propojení vodičů. V obrázku jsou vyznačeny modrým textem adresy modulů pro srovnání s výpisem a pro celkovou přehlednost jsou graficky zvýrazněny jednotlivé řádky a sloupce.

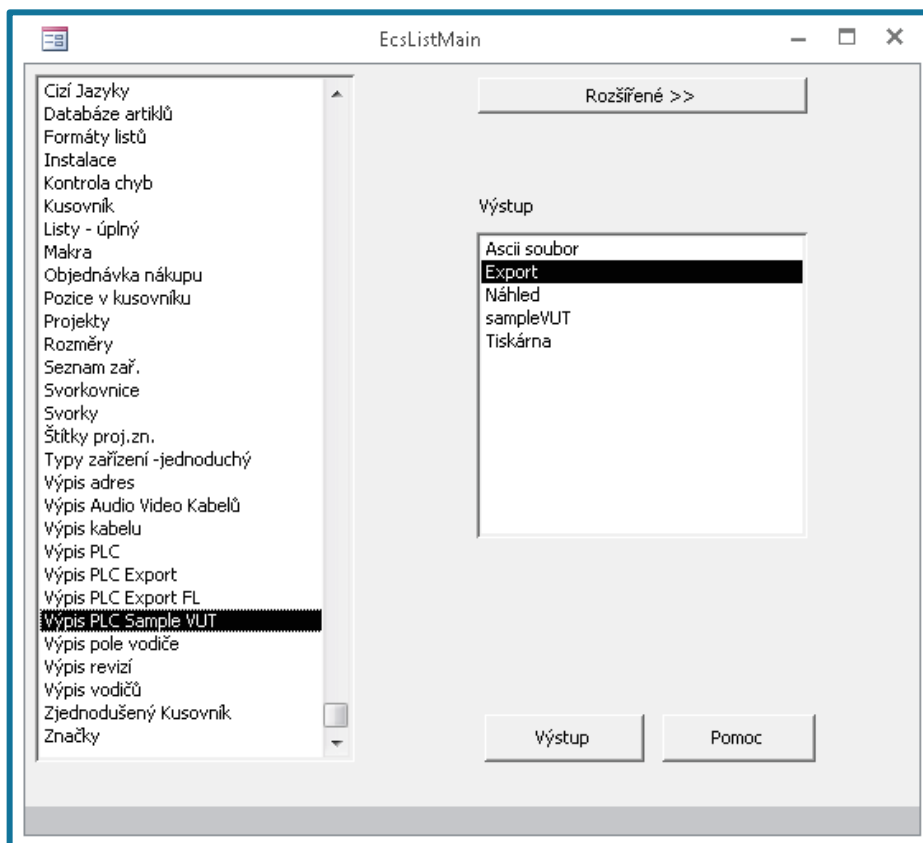


Obr. 28) Sestava PLC motorického řetězového tahu M1

### 3.3.3 Zavedení upraveného výpisu PLC do menu

Poté, co byl upravený, resp. nový výpis otestován, mohl být zaveden do menu EcsCADu tak, aby byl dostupný uživatelům. Zavedení výpisu bylo nastaveno tak, aby výpis pomocí modifikovaného SQL dotazu směřoval do souboru ve formátu MS Excel, obdobně, jak byly nastaveny i ostatní výpisy EcsCADu. Cílová složka pro umístění souboru byla nastavena na složku „INTERNAL>List“ v rámci daného projektu, obdobně jako pro ostatní výpisy. Pro rozlišení od ostatních výpisů byl nastaven název výsledného výpisu „PrjPlcSampleVUT.xls“.

Podobu výsledného menu, jak jej uvidí uživatel EcsCADu, je možné vidět na obrázku Obr. 29).



Obr. 29) Výsledné menu EcsCADu - Výpis PLC Sample VUT



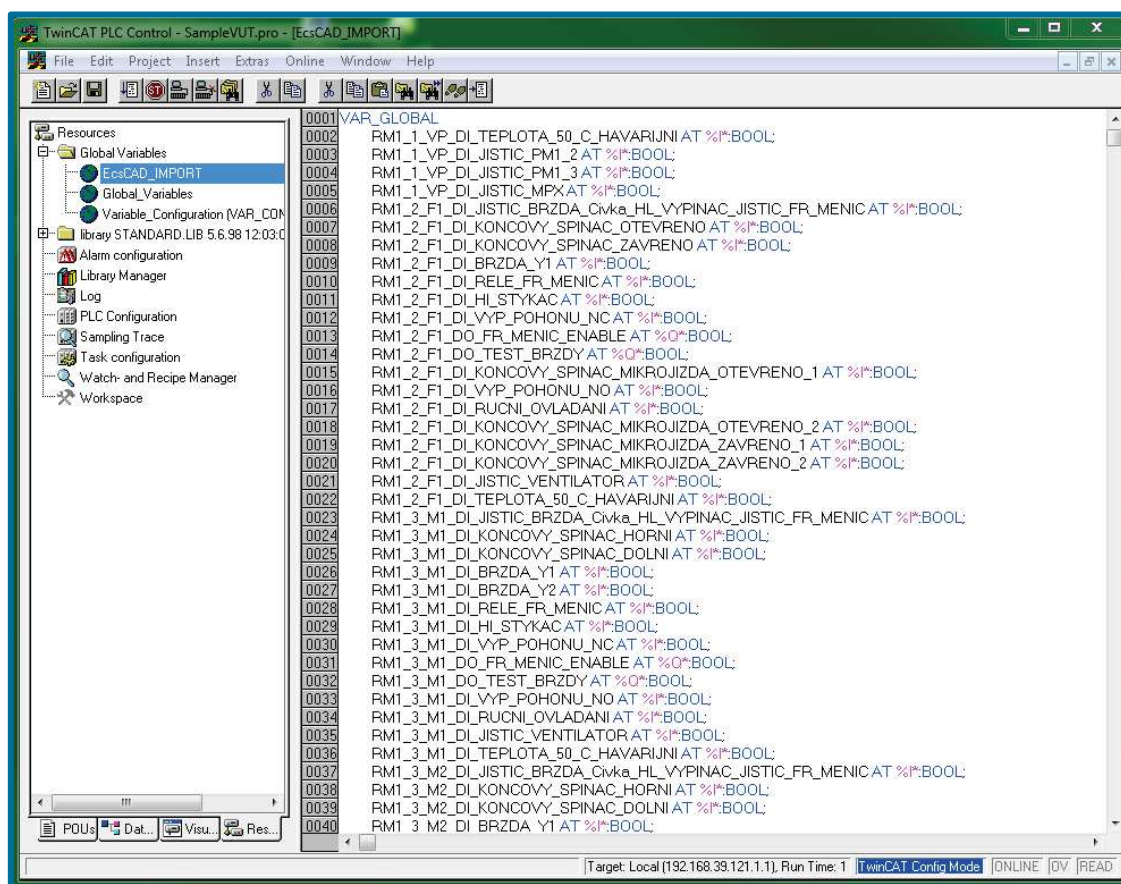
## 4 VÝVOJ SW NÁSTROJE PRO ELIMINACI CHYB

### 4.1 Popis stávajícího zpracování informací

Aby se dal správně a v plném rozsahu pochopit význam vyvíjeného softwarového nástroje pro eliminaci chyb a automatizaci části procesu předávání informací, bylo třeba také popsat, co vývojové oddělení softwaru se získanými informacemi musí udělat v rámci vývoje softwaru, pokud postupuje dosavadním způsobem. V této kapitole je popsáno, jakým způsobem je provedeno zpracování získaných informací před aplikací navržených modifikací a bez využití nově navržené softwarového nástroje.

Vývojář obdrží projektovou dokumentaci, jejímž obsahem je mimo jiné výkresová dokumentace a seznam potřebných vstupů a výstupů. V rámci vývojového prostředí TwinCAT musí provést několik zásadních kroků. V první řadě musí sestavit v aplikaci TwinCAT PLC Control soupis všech potřebných vstupů a výstupů v rámci globálních proměnných projektu plánovaného softwaru.

Soupis vytváří vývojář tak, že jednotlivým proměnným přiřazuje názvy tak, aby název nějakým způsobem identifikoval význam dané proměnné, resp. daného vstupu či výstupu, na který bude tato proměnná navázána. Výsledný soupis pak vypadá obdobně, jak je vidět na obrázku Obr. 30). Proměnné jsou pak následně navázány na vnitřní logiku, která musí být naprogramována. Poté, co je vše naprogramováno, je vytvořen tzv. “build”, neboli program je zkompilován. V rámci kompilace vznikne soubor s názvem daného projektu a s příponou \*.tpy. V případě ukázky na obrázku Obr. 30) by to byl soubor „SampleVUT.tpy“.



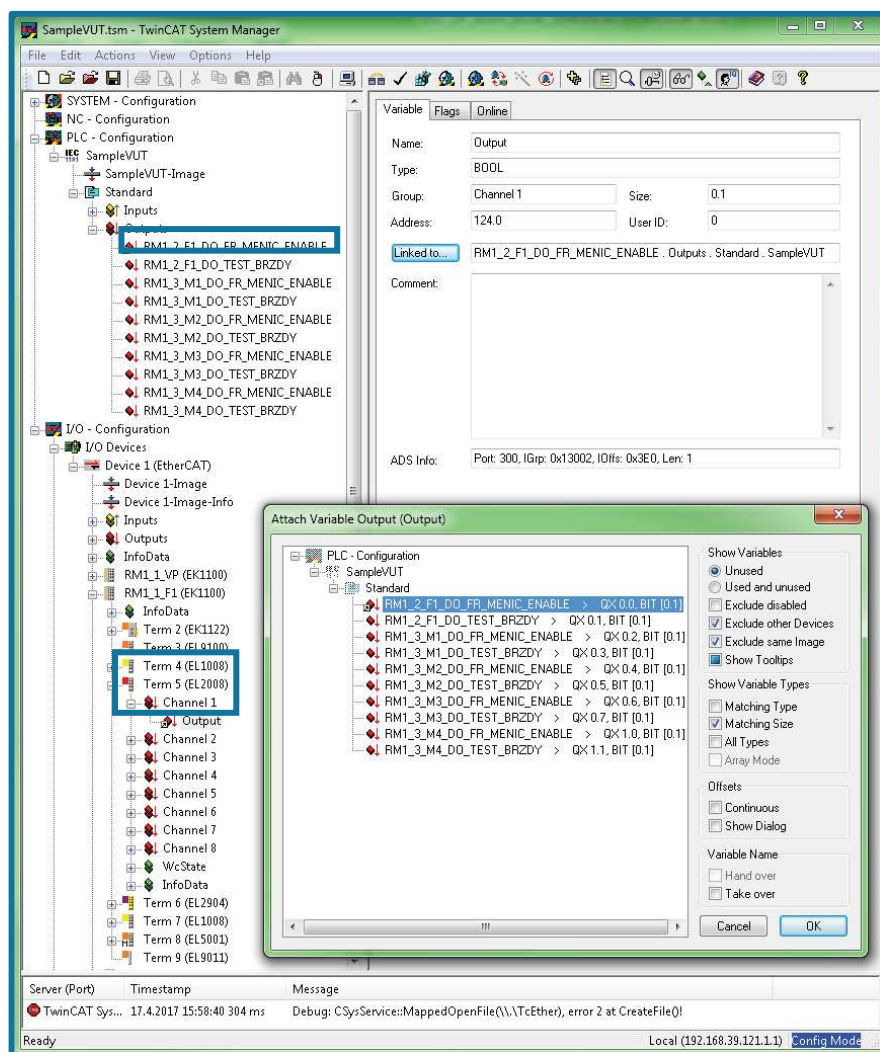
Obr. 30) Ukázka soupisu proměnných v prostředí TwinCAT PLC Control

Soubor s příponou \*.tpy je založen na formátu XML a používá se k připojení projektu do systémového manažeru (“TwinCAT System Manager”) a k následnému vytváření konfigurace systému a provázání s vlastním programem, jak bylo popsáno v kapitole 1.5.4.

Vytvořený seznam proměnných programu musí vývojář nyní provázat se skutečnou konfigurací (“I/O Configuration”), kterou musí buďto ručně vytvořit, což je velmi pracné při rozsáhlejších projektech, nebo ji tzv. naskenuje z již fyzicky sestavené konfigurace. Obvykle se postupuje způsobem skenování. Jednotlivé komponenty se ve výrobě poskládají dle dokumentace a v rámci ožívování se celá sestava uvede pod napětí a vývojář se pak může k sestavě připojit a konfiguraci hardwaru naskenovat.

Postup linkování proměnných je pak možné pospat pomocí obrázku Obr. 31). Provádí se ručně tak, že z levé poloviny obrazovky se vybere konkrétní vstup nebo výstup hardwarové konfigurace a stiskne se modře označené tlačítko “Linked to...”. Tímto je vyvolána obrazovka “Attach Variable Output”, ve které se vybere požadovaná proměnná programu, který byl předtím připojen (v naší ukázce „SampleVUT.tpy“). Stiskem „OK“ se přiřazení potvrdí a následně je vidět propojení v textovém poli vedle modře označeného tlačítka “Linked to...”.

Postup linkování je možné provádět obdobně i opačným způsobem. Nejprve se vybere konkrétní proměnná z PLC konfigurace a ta se přiřadí pomocí “Linked to...” ke konkrétnímu vstupu nebo výstupu I/O konfigurace.



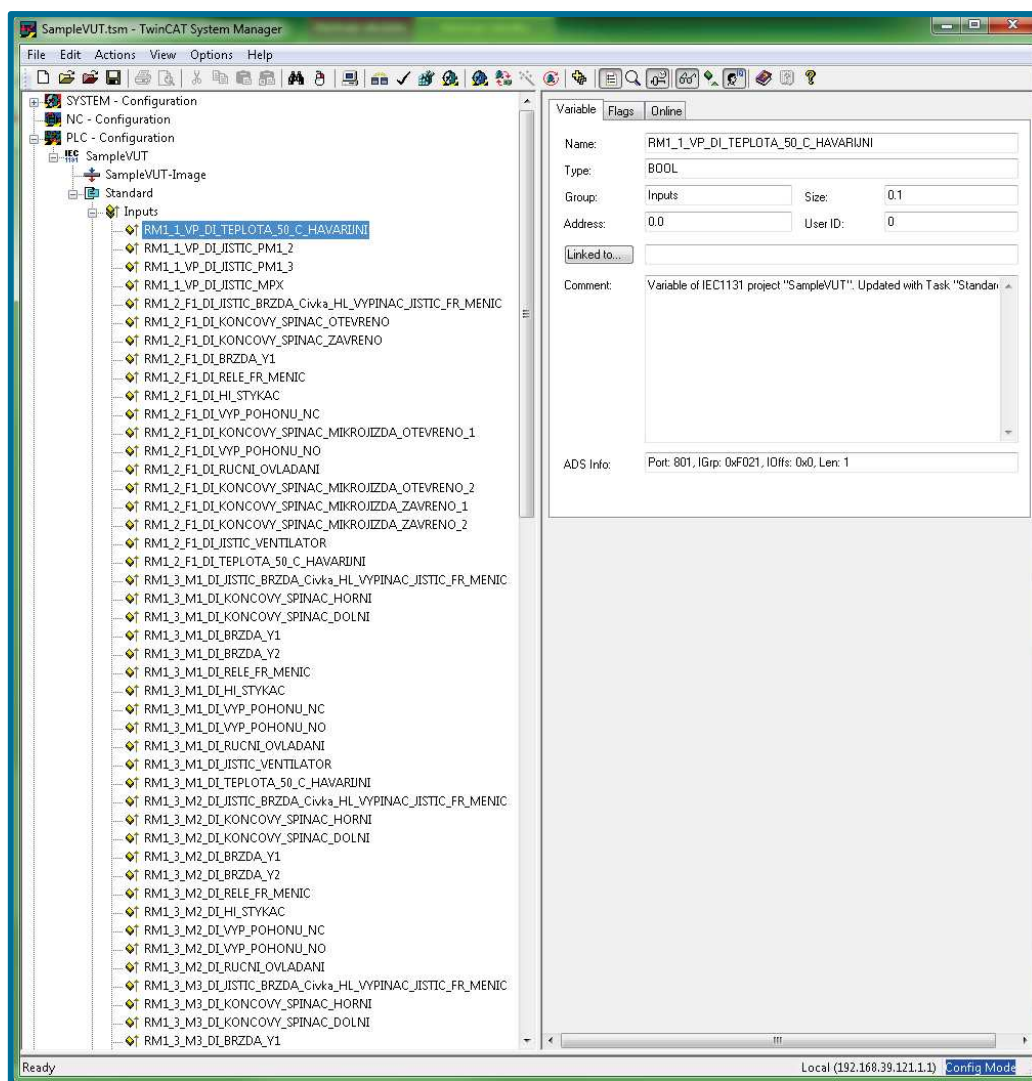
Obr. 31) Způsob linkování v prostředí TwinCAT System Manager



Nalinkované proměnné v PLC konfiguraci i vstupy nebo výstupy v I/O konfiguraci jsou pak označeny ikonkou malé šipky u hlavní ikony proměnné nebo vstupu či výstupu. Na obrázku Obr. 31) je nalinkovaná proměnná i nalinkovaný výstup označen modrým rámečkem.

Toto linkování je nutné provést se všemi vstupy a výstupy. Přestože dialogové okno “Attach Variable Output” disponuje různými možnostmi filtrací tak, aby se seznam co nejvíce přizpůsobil v množství nabízených proměnných, je patrné, že u rozsáhlých projektů je tato činnost linkování velmi zdoluhavá a s velkým rizikem, že budou některé z proměnných linkovány chybně. Skutečnost je možné demonstrovat na obrázku Obr. 32), kde je zobrazen částečný výpis vstupních proměnných projektu „SampleVUT“.

Tento projekt, určený pro 5 os (viz kapitola 5.1), obsahuje 88 digitálních vstupů a 40 digitálních výstupů. Je tedy nutné nalinkovat celkem 128 proměnných. Vzhledem k tomu, že obecně každý typ zařízení má mírně odlišný počet vstupů a výstupů a navíc celkový počet zkresluje jednotlivá vstupní pole, kde se počet vstupů a výstupů liší od těch osových, přesto se dá přibližně kalkulovat, že jedna osa má 16 digitálních vstupů a 8 digitálních výstupů, celkem tedy 24 proměnných. Např. pro projekt obsahující 100 os by tak bylo nutné linkovat 2400 proměnných. V jevištních technologiích nejsou řídicí systémy s počtem 100 os ničím ojedinělým.



Obr. 32) Částečný výpis vstupů projektu SampleVUT

## 4.2 Automatizační interface pro TwinCAT System Manager

Vývojové prostředí TwinCAT, resp. jeho část TwinCAT System Manager disponuje tzv. automatizačním interface. Automatizační interface umožňuje automatické vytváření a manipulaci s konfigurací v rámci TwinCAT prostředí pomocí programovacích / skriptovacích jazyků. Automatizace konfigurace je tak dostupná prostřednictvím automatizačního interface založeném na technologii COM a je tak možné její využití všemi programovacími jazyky schopné technologie COM (např. C++, C#, apod.) anebo dynamickými skriptovacími jazyky, např. Windows PowerShell, IronPython nebo dokonce starší VBscript. [14]

Existence a následné prostudování automatizačního interface bylo jedním ze stěžejních bodů této diplomové práce. Možnost programově ovládnout činnosti, které běžně dělá vývojář s poměrně dlouhou dobou trvání a chybovostí, se od samého začátku jevila jako výrazný krok vpřed. Samozřejmě možnosti automatizačního interface by byly zbytečné, pokud by se současně nepodařilo ovládnout aplikaci EcsCAD a současně nebyly provedeny ostatní kroky směrem k unifikaci osy a k pravidlům práce v obou odděleních.

Systém TwinCAT v použité verzi v2.11.2248 (Build 2248) disponuje dvěma automatizačními interface a to ITcSysManager a ITcSmTreeItem. Z těchto dvou je ITcSysManager ten základní. Stručný popis jeho metod je uveden v tabulce Tab. 13). Metody, které byly použity v rámci naprogramování vlastní aplikace, jsou vyznačeny podbarvením řádku. Druhý interface ITcSmTreeItem byl využíván při použití metody LookupTreeItem z interface ITcSysManager.

Popis uvedených interface je dostupný u výrobce na adrese:

<https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcautomationinterface/html/note.htm&id=3906136430114857776>

**Tab. 13) Metody interface ITcSysManager**

| ITcSysManager metody  | Popis metody  |
|-----------------------|---|
| NewConfiguration      | Generuje novou konfiguraci.   |
| OpenConfiguration     | Zavede předem vytvořený konfigurační soubor.  |
| SaveConfiguration     | Uloží konfiguraci do souboru s daným jménem nebo s aktuálním názvem.  |
| ActivateConfiguration | Aktivuje konfiguraci (obdobu uložení do registrů).  |
| LookupTreeItem        | Nahlédne na konfigurační položku ve stromové struktuře podle jména a vrací zpět ITcSmTreeItem rozhraní.       |
| StartRestartTwinCAT   | Spustí nebo restartuje TwinCAT systém.  |
| IsTwinCATStarted      | Vyhodnotí, zda je TwinCAT systém spuštěn.   |
| LinkVariables         | Linkuje dvě proměnné podle názvu.   |
| UnlinkVariables       | Vymaže vazbu (zruší linkování) mezi dvěma proměnnými podle daného názvu nebo všechny odkazy z jedné proměnné. |

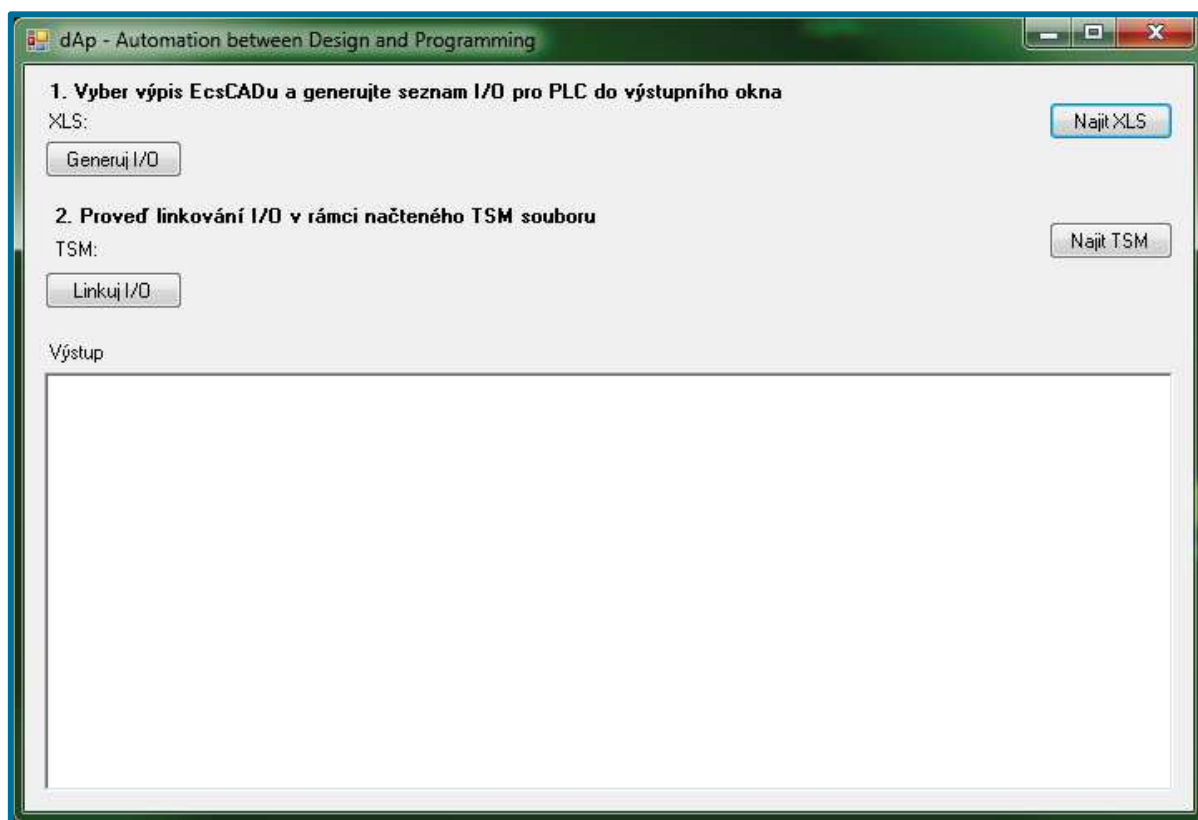
## 4.3 Vývoj vlastní softwarové aplikace

Vlastní softwarová aplikace byla vyvinuta za účelem eliminace chyb, které byly analyzovány jako významné během systémové analýzy. Pro vývoj této aplikace bylo vybráno vývojové prostředí „Microsoft Visual Studio 2015“ v sestavení „Community Edition“, verze 14.0.24720.00 Update 1, s nainstalovaným frameworkem „Microsoft .NET Framework“, verze 4.6.01055.

### 4.3.1 Popis uživatelského rozhraní aplikace dAp

Aplikace byla nazvána „dAp“, slovní hříčkou z anglického „Automation between Design and Programming“. Vlastní aplikace byla rozdělena na dvě stěžejní části, které se pak promítají i do uživatelského rozhraní. Jedná se v prvním kroku o načtení výpisu PLC vstupů a výstupů s jejich následnou kontrolou a v druhém kroku pak o nalinkování již v systému zavedených PLC vstupů a výstupů na jejich fyzickou konfiguraci, jak bylo popsáno v kapitolách 1.5.4 a zejména pak v kapitole 4.1.

Jak je patrné z obrázku Obr. 33), uživatelské rozhraní je velmi jednoduché a neumožňuje tak uživateli udělat při ovládání aplikace chybu, která by vyplývala z nepřehlednosti nebo složitosti rozhraní. Jedná se o standardní aplikaci pro operační systém Windows, která byla vyvinuta na základě jednoho uživatelského formuláře. V prvním kroku uživatel stiskem tlačítka „Najít XLS“ vyhledá a připojí příslušný výpis PLC ve formátu Microsoft Excel a následně stiskem tlačítka „Generuj I/O“ vygeneruje příslušný seznam PLC proměnných, které pak může zavést do vlastního programu v prostředí TwinCAT PLC Control, jak je popsáno v kapitolách 1.5.5 a zejména pak v kapitole 4.1. Současně dojde ke vnitřním naprogramovaným kontrolám, jejichž výsledek, společně se seznamem proměnných, je vypsán do okna „Výstup“.



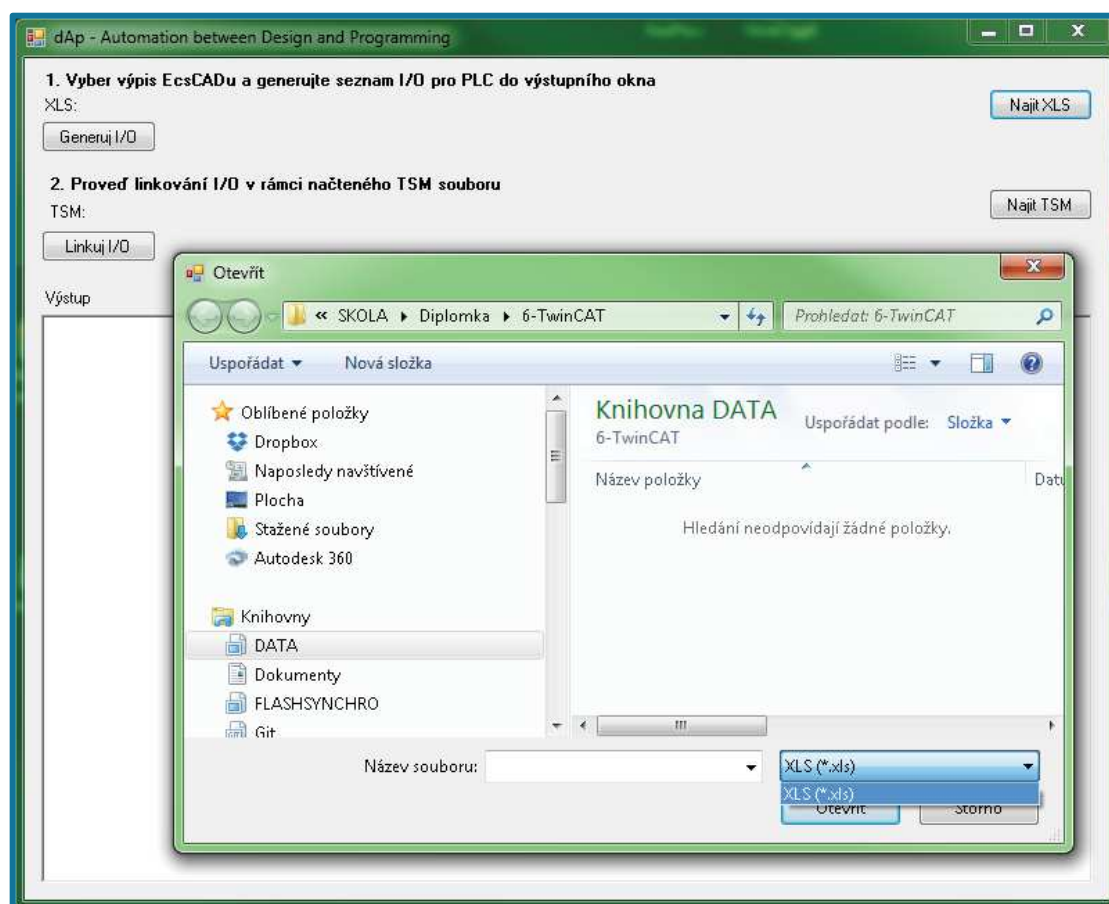
Obr. 33) Softwarová aplikace dAp

Druhý krok aplikace slouží k provedení nalinkování proměnných, které již byly v rámci vývojového prostředí TwinCAT System Manager zavedeny do celkové konfigurace systému řízení, jak je popsáno v kapitolách 1.5.4 a zejména pak v kapitole 4.1 a vysvětleno pomocí obrázku Obr. 31). Postup je velmi podobný s krokem prvním a to tak, že se pomocí tlačítka „Najít TSM“ vybere příslušný soubor konfigurace (s příponou \*.tsm) a následným stiskem tlačítka „Linkuj I/O“ se provede vlastní nalinkování. Obdobně jako v prvním kroku je do výstupního okna proveden výpis případných chyb a stav, jak linkování proměnných na vstupy a výstupy v konfiguraci proběhlo.

V obou dvou krocích po vyhledání příslušného souboru tlačítkem „Najít XLS“ nebo „Najít TSM“ dojde k zapsání názvu souboru, společně s jeho cestou, do textového pole v příslušném kroku tak, aby uživatel zpětně mohl vizuálně zkontrolovat, že si načtl správný soubor. V případě prvního kroku tak najde název souboru v řádku označeném „XLS:“ a pro krok druhý je textové pole, resp. příslušný řádek označen textem „TSM:“.

Aplikace je ošetřena proti standardním typům chyb, např. proti otevření souboru jiného typu, než je pro daný krok relevantní, což je patrné z obrázku Obr. 34), kde je znázorněn dialog pro výběr souboru. V dialogu je modře podbarveno pole výběru typu souboru, ze kterého je patrná nemožnost zvolit jiný typ, než je ten přednastavený. V tomto případě se jedná o použití tlačítka „Načti XLS“, tedy o výběr výpisu vstupů a výstupů PLC ve formátu Microsoft Excel. Výběr konfiguračního souboru v druhém kroku je ošetřen stejným způsobem.

Pokud není načten potřebný soubor výpisu proměnných nebo soubor konfigurace, tlačítka „Generuj I/O“ a „Linkuj I/O“ neprovádí žádnou akci.



Obr. 34) Softwarová aplikace dAp – ošetření typu souboru

Dialogové okno aplikace dAp je optimalizováno pro minimální rozlišení obrazovky (480 x 320) pixelů, což je v dnešní době velkoplošných monitorů spíše ošetřením proti tomu, aby okno zůstalo dostatečně velké pro zobrazení všech svých ovládacích prvků, než aby šlo o podporu malých monitorů. Aplikaci je pak možné standardním způsobem roztáhnout do celé plochy obrazovky, popř. ji stáhnout na lištu běžících programů Windows. V pravém horním rohu dialogového okna jsou umístěny standardní tlačítka pro provedení těchto úkonů, společně se standardním tlačítkem pro ukončení aplikace.

### 4.3.2 Popis zdrojového kódu aplikace dAp

Zdrojový kód aplikace dAp je součástí této diplomové práce a byl kompletně uložen na příloženém CD. Pro rychlou orientaci ve zdrojovém kódu je níže v textu uveden stručný přehled jednotlivých částí zdrojového kódu.

Celé řešení a nastavení pro vývojové prostředí Microsoft Visual Studio je uloženo v souboru „dAp Solution.sln“. Všechny příslušné soubory jsou pak umístěny ve složce „dAp“. Jedná se zejména o vlastní soubor projektu „dAp.csproj.user“ s uživatelským nastavením projektu a jednotlivé soubory zdrojového kódu uvedené v tabulce Tab. 14.

**Tab. 14) Popis souborů zdrojového kódu**

| Název souboru           | Stručný popis obsahu souboru  |
|-------------------------|---|
| App.config              | Soubor konfigurace nastavení aplikace.  |
| dAp.csproj              | Soubor projektu.  |
| dAp.csproj.user         | Soubor s uživatelským nastavením projektu.  |
| Program.cs              | Soubor zdrojového kódu – Vstupní bod aplikace. Z této části kódu je spouštěn formulář Form1.<br><code>Application.Run(new Form1());</code>  |
| Form1.Designer.cs       | Soubor s automaticky generovaným kódem na základě přidáných a použitých ovládacích prvků formuláře Form1.   |
| Form1.resx              | Definice prostředků a zdrojů formuláře Form1.   |
| HWComponent.cs          | Soubor zdrojového kódu – Definice veřejné třídy HWComponent, která se používá v aplikaci dAp při linkování proměnných jako položka při procházení stromu konfigurace vstupů a výstupů. Na typ HWComponent jsou také převedeny jednotlivé položky seznamu vstupů a výstupů při vytváření názvů proměnných.                   |
| HWComponent Comparer.cs | Soubor zdrojového kódu – Veřejná třída HWComponentComparer jako implementace rozhraní IComparer pro porovnání dvou objektů, v tomto případě objektů HWComponent. Třída má implementovanou veřejnou metodu:<br><code>public int Compare(HWComponent x, HWComponent y)</code><br>/ Porovnání dvou objektů typu HWComponent. / |



| Název souboru | Stručný popis obsahu souboru   |
|---------------|--|
| Form1.cs      | Soubor se zdrojovým kódem formuláře Form1. Formulář Form1 je jediným formulářem aplikace dAp a slouží jako hlavní uživatelské rozhraní aplikace. Kromě obsluhy jednotlivých prvků formuláře má tato třída implementovány metody pro provedení obou naprogramovaných kroků:   |
|               | <code>private void button1_Click(object sender, EventArgs e)</code><br>/ Otevření dialogu výběru souboru, omezeno na formátu Microsoft Excel. Spouštěno tlačítkem „Najít XLS“. /   |
|               | <code>private void button2_Click(object sender, EventArgs e)</code><br>/ Spuštění analýzy souboru Excel metodou XLSEXPORSE.Parse, kontrola chyb pomocí stejné třídy a následný výpis do okna Výstup. Spouštěno tlačítkem „Generuj I/O“. /  |
|               | <code>private void button3_Click(object sender, EventArgs e)</code><br>/ Otevření dialogu výběru souboru, omezeno na formátu konfigurace TwinCAT System Manager. Spouštěno tlačítkem „Najít TSM“. /  |
|               | <code>private void button5_Click(object sender, EventArgs e)</code><br>/ Provedení linkování vstupů a výstupů v načtené konfiguraci. Využívá interface ITcSysManager, popsáný v kapitole 4.2, resp. metody vyznačené v tabulce Tab. 13. Spouštěno tlačítkem „Linkuj I/O“. /  |
|               | <code>private static void RecursiveRename(ITcSmTreeItem root, HWTree tree)</code><br>/ Procházení konfigurace s plněním objektu HWTree. Metoda je rekurzivní. /  |
|               | <code>private static string RecursiveFindPLCTreeItem(ITcSmTreeItem root, string name)</code><br>/ Rekurzivní metoda pro vyhledávání položky podle jména v hardwarové konfiguraci PLC. /  |
|               | <code>private string FindPLCItem(string name)</code><br>/ Metoda pro vyhledávání položky podle jména v konfiguraci PLC, využívá rekurzivní metodu RecursiveFindPLCTreeItem. /  |
| HWTree.cs     | Soubor zdrojového kódu – Veřejná třída HWTree, která se používá v aplikaci dAp při linkování proměnných ve stromu konfigurace vstupů a výstupů a pro jednotlivé kontroly chyb a operace s jednotlivými položkami stromu konfigurace. Na objekt HWTree je převeden i celý seznam vstupů a výstupů při jeho načítání z Excelu pomocí veřejné třídy XLSEXPORSE. Třída má implementovány metody: |
|               | <code>public void Add(HWComponent node)</code><br>/ Přidání položky do stromu konfigurace. /   |
|               | <code>public override string ToString()</code><br>/ Přetypování metody pro převod na textový řetězec. /  |



| Název souboru     | Stručný popis obsahu souboru  |
|-------------------|---|
|                   | <code>public void Sort()</code><br>/ Správné seřazení položek stromu. /   |
|                   | <code>public string CheckForErrors()</code><br>/ Kontrola chyb při porovnání, seřazení a linkování. /   |
|                   | <code>public string TCOut()</code><br>/ Výpis výsledku do výstupního okna. /  |
|                   | <code>internal int FindEK(int ekNum)</code><br>/ Nalezení komunikačního coupleru, jakožto první položky každé osy. /  |
|                   | <code>internal int FindTerm(int ekNumber, string termType, int termNum)</code><br>/ Nalezení modulu I/O podle zadaných parametrů. /                                       |
|                   |   |
| XLSExportParse.cs | Soubor zdrojového kódu – Veřejná třída XLSExportParse, sloužící k analýze seznamu vstupů a výstupů ze souboru ve formátu Microsoft Excel. Třída má implementovány metody: |
|                   | <code>internal static HWTree Parse(string fileName)</code><br>/ Vlastní analýza, vracející objekt HWTree. /   |
|                   | <code>public static string RemoveDiacritics(string s)</code><br>/ Odstraňování případné diakritiky. /   |



## 5 VERIFIKACE

### 5.1 Ověření funkčnosti testovacím projektem „SampleVUT“

Pro správné nastavení a otestování funkčnosti zamýšleného záměru byl naprojektován, resp. nakreslen zkušební projekt, nazvaný „SampleVUT“, ve kterém jsou realizovány postupy a změny definované v rámci systémové analýzy, zejména pak kapitolou 3. Testovací projekt byl rozvržen do tří rozváděčových polí. Rozváděčová pole byla označena RM1.1, RM1.2 a RM1.3.

Rozváděčové pole RM1.1 bylo navrženo jako hlavní vstupní pole pro připojení přívodu a napájení zbývajících dvou rozváděčových polí RM1.2 a RM1.3. Současně byly do tohoto pole umístěny dva průmyslové počítače pro zamýšlený řídicí systém. V tomto rozváděčovém poli byl umístěn hříbový ovladač pro nouzové vypnutí a projektované jistící prvky byly navrženy s pomocnými kontakty. Teplota v rozváděči bude hlídána termostatem. Všechny stavy těchto prvků byly zavedeny do vstupních modulů PLC. Vstupní pole bylo vybaveno komunikačním couplerem, za kterým následuje modul digitálních vstupů, modul bezpečnostních digitálních vstupů a procesorová jednotka pro vykonávání bezpečnostního kódu celého systému řízení. Sestava byla ukončena koncovým modulem. Celá sestava PLC modulů tohoto vstupního pole není předmětem koncepce obecného zařízení, jak byla popsána v kapitole 3.2.2, protože se v rámci systému vyskytuje pouze jednou a není třeba ji nijak zobecňovat. Aby byl ovšem projekt z pohledu celého systému řízení kompletní, bylo projektováno i toto vstupní pole a současně při verifikaci byla sestava PLC tohoto pole použita k ověření, že nezasahuje do celé koncepce modifikací stávajících postupů, zejména pak výstupních soupisů vstupů a výstupů systému řízení jako celku.

Rozváděčové pole RM1.2 bylo projektováno pro napájení a ovládání jevištní slavnostní opony označené F1. Tato opona byla navržena jako rozhrnovaná opona, tedy zařízení s vyvozovaným horizontálním pohybem. V rozváděči RM1.2 bylo projektováno pouze vybavení pro tuto oponu. U vertikálního pohybu jevištní opony není potřeba instalace dvojitého brždění, a proto byl oponový pohon vybaven pouze jednou brzdou. Na jevištní dráze byly umístěny pouze standardní koncové vypínače polohy a opona nebyla vybavena bezpečnostními koncovými vypínači. Pro jevištní oponu bylo navrženo snímání polohy absolutním snímačem polohy. Vzhledem ke koncepci obecného zařízení, dle kapitoly 3.2.2, bylo naprojektováno toto zařízení jako jedna řízená osa s horizontálním pohybem.

Rozváděčové pole RM1.3 bylo navrženo pro napájení a ovládání čtyř stejných motorických řetězových tahů M1, M2, M3 a M4. Motorické řetězové tahy vyvozují vertikální pohyb, tedy zdvih. Proto byl projektován systém dvojitého brždění. Na zdvihové dráze pojezdu byly navrženy koncové vypínače vymezující limit dráhy. Pro případ selhání koncových vypínačů byly tyto pozice pojištěny ještě dvojicí bezpečnostních koncových vypínačů na každém konci dráhy. Motorické řetězové tahy byly navrženy jako regulované frekvenčním měničem a dráhová zpětná vazba byla zajištěna absolutním snímačem polohy. Motorické řetězové tahy byly co do vybavení, výkonu a parametrů projektovány jako identické. V rámci předepsaných modifikací byla tato zařízení projektována jako čtyři identické řízené osy s vertikálním pohybem.

Zařízení byla do rozváděčových polí rozmístěna záměrně tímto způsobem, aby se při testech potvrdilo, že nezáleží na počtu zařízení v jednotlivých rozváděčových skříních a současně

nezáleží na typu zařízení. Z pohledu koncepce obecného zařízení bylo tedy projektováno 5 řízených os s tím, že čtyři osy byly určeny jako identické a jedna odlišného typu. Celý systém byl tedy sestaven jako systém řízení pro obsluhu jedné horizontální osy, čtyř vertikálních os a obslužení vstupního napájecího pole.

## 5.2 Opětovná analýza spolehlivosti po aplikaci modifikací postupů

V rámci opětovné analýzy spolehlivosti ve fázi verifikace byly posuzovány všechny původní nalezené jevy a byly hodnoceny dle stejných úrovní, jako u původní analýzy, tedy dle tabulek Tab. 2), Tab. 3) a Tab. 4). Cílem bylo posouzení, zda po aplikaci modifikací stávajících postupů a nasazením softwarového nástroje pro eliminaci chyb „dAp“ byl snížen index RPN pod úroveň 100, popř. daný jev zcela eliminován. V rámci této opětovné analýzy nebyly vyhledávány nové jevy, které souvisejí se zavedenými modifikacemi a nasazení softwarové aplikace. Výsledná opětovná analýza je uvedena v tabulce Tab. 15).

**Tab. 15) Opětovná analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními**

| Design FMEA |        | Odpovědnost   | Předmět   |   |     | Datum:  |
|-------------|--------|---|---|---|-----|---|
|             |        | Jaromír Boček   | Analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními po aplikaci nápravných opatření |   |     | 03. 04. 2017  |
| Č.          | Blok   | Způsob  | Důsledek  | S | RPN | Doporučená opatření   |
|             |        | Potenciální příčina   |   | O |     |   |
|             |        | Stávající opatření  |   | D |     |   |
| 1.1         | Blok 1 | Nejednotné pojmenování I/O modulů.  | Špatná orientace v dokumentaci vzhledem k ostatním projektům.                           | 4 | 60  |   |
|             |        | Projektant nedodrží zavedená pravidla.  |   | 3 |     |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace a zavedená pravidla pro jednotné pojmenování I/O.         |   | 5 |     |   |
| 1.2         | Blok 1 | Nejednotné pojmenování významů I/O modulů.  | Špatná orientace v dokumentaci vzhledem k ostatním projektům.                           | 4 | 60  |   |
|             |        | Projektant nedodrží zavedená pravidla.  |   | 3 |     |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace a zavedená pravidla pro jednotné pojmenování významů I/O. |   | 5 |     |   |
| 1.3         | Blok 1 | Použití kontaktů přístroje v projektu, které fyzický přístroj nemá.                     | Zpomalení procesu oživení zakázky.  | 7 | 63  | Důsledné používání křížových referencí při projektování a zavedení všech objektů do databáze. |
|             |        | Použití značek EcsCAD bez provázání křížovými referencemi.                              |   | 3 |     |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace.  |   | 3 |     |   |

| Design FMEA |        | Odpovědnost   | Předmět   |   | Datum:       |   |
|-------------|--------|---|---|---|--------------|---|
|             |        | Jaromír Boček   | Analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními po aplikaci nápravných opatření                                     |   | 03. 04. 2017 |   |
| Č.          | Blok   | Způsob  | Důsledek  | S | RPN          | Doporučená opatření   |
|             |        | Potenciální příčina   |   | O |              |   |
|             |        | Stávající opatření  |   | D |              |   |
| 1.4         | Blok 1 | Použití duplicitních názvů při vytváření křížových referencí.   | Komplikace při vývoji softwaru - nutné změny v dokumentaci.   | 7 | 21           | Důsledné používání křížových referencí při projektování.  |
|             |        | EcsCAD provádí kontrolu křížových referencí pouze v rámci jednoho rozváděče. Pokud se provazuje více rozváděčových polí, je tato kontrola plně v rukou projektanta. |   | 3 |              |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace a použití aplikace „dAp“.   |   | 1 |              |   |
| 1.5         | Blok 1 | Seznamy I/O neodkazují na architekturu HW.  | Při načtení fyzické architektury dochází k chybám, poněvadž architektura sestavená z dokumentace neodpovídá reálnému stavu. | 8 | 120          | Důsledné používání křížových referencí při projektování.  |
|             |        | Vývojáři nejsou schopni zcela přesně sestavit architekturu z předané dokumentace.   |   | 5 |              |   |
|             |        | Kontrola fyzického stavu proti dokumentaci v době oživení systému.  |   | 3 |              |   |
| 1.6         | Blok 1 | Překlepy.   | V dokumentaci jsou překlepy a jiné podobné chyby.   | 2 | 98           | Důsledné používání křížových referencí při projektování.  |
|             |        | Nepozornost.  |   | 7 |              |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace.  |   | 7 |              |   |
| 1.7         | Blok 1 | Rozdíly v návrhu opakovaného strojního zařízení.  | Komplikace při vývoji, výrobě i oživení.  | 6 | 72           | Důsledné používání křížových referencí při projektování.  |
|             |        | Projektant nedodrží zavedená pravidla.  |   | 3 |              |   |
|             |        | Výstupní kontrola dokumentace a zavedení koncepce obecného zařízení.  |   | 4 |              |   |
| 2.1         | Blok 2 | Nepochopení při workshopech.  | Špatná interpretace získaných informací vedoucí k chybnému vývoji.  | 5 | 45           | V současné době ústně přenášené informace zavést do zápisu. Striktně vyčlenit nezbytné informace, které musí být evidovány. |
|             |        | Lidský faktor.  |   | 3 |              |   |
|             |        | Zápis z workshopu, spolupráce více vývojářů, zavedení koncepce obecného zařízení, zavedení jednotného pojmenování I/O.  |   | 3 |              |   |

| Design FMEA |        | Odpovědnost  | Předmět   |   | Datum:       |  |
|-------------|--------|--|---|---|--------------|--|
|             |        | Jaromír Boček  | Analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními po aplikaci nápravných opatření   |   | 03. 04. 2017 |  |
| Č.          | Blok   | Způsob   | Důsledek  | S | RPN          | Doporučená opatření  |
|             |        | Potenciální příčina  |   | O |              |  |
|             |        | Stávající opatření   |   | D |              |  |
| 2.2         | Blok 2 | Neúplný seznam dotazů pro workshop.  | Nutnost opakovat workshop vzhledem k dalším dodatečným dotazům.   | 4 | 100          | Zavedení seznamu dotazů, které se obvykle opakují v rámci všech projektů, vytvoření kontrolního seznamu. |
|             |        | Lidský faktor.   |   | 5 |              |  |
|             |        | Žádné.   |   | 5 |              |  |
| 2.3         | Blok 2 | Špatný zápis z workshopu.  | Následná chybná interpretace informací ze zápisu.   | 3 | 84           | Kontrola zápisu oběma zúčastněnými stranami.   |
|             |        | Lidský faktor.   |   | 4 |              |  |
|             |        | Žádné.   |   | 7 |              |  |
| 3.1         | Blok 3 | Chybný přepis I/O do PLC.  | Zpomalení procesu, dohledávání chyb, nesedí architektura na jednotlivé I/O.   | 6 | 24           |  |
|             |        | Lidský faktor při kopírování z aplikace „dAp“.   |   | 2 |              |  |
|             |        | Použití aplikace „dAp“.  |   | 2 |              |  |
| 3.2         | Blok 3 | Chybné prolínání I/O na fyzické moduly v rámci sestavené architektury.                 | Zpomalení procesu, dohledávání chyb, nesedí architektura na jednotlivé I/O, možnost prolínání proměnných se vstupy, ke kterým nenáleží. | 6 | 36           | Důsledná kontrola propojení během oživení.   |
|             |        | Chybně vygenerovaná architektura nebo skenovaná architektura z chybně sestaveného PLC. |   | 3 |              |  |
|             |        | Použití aplikace „dAp“. Kontrola sestavené architektury před skenováním.               |   | 2 |              |  |



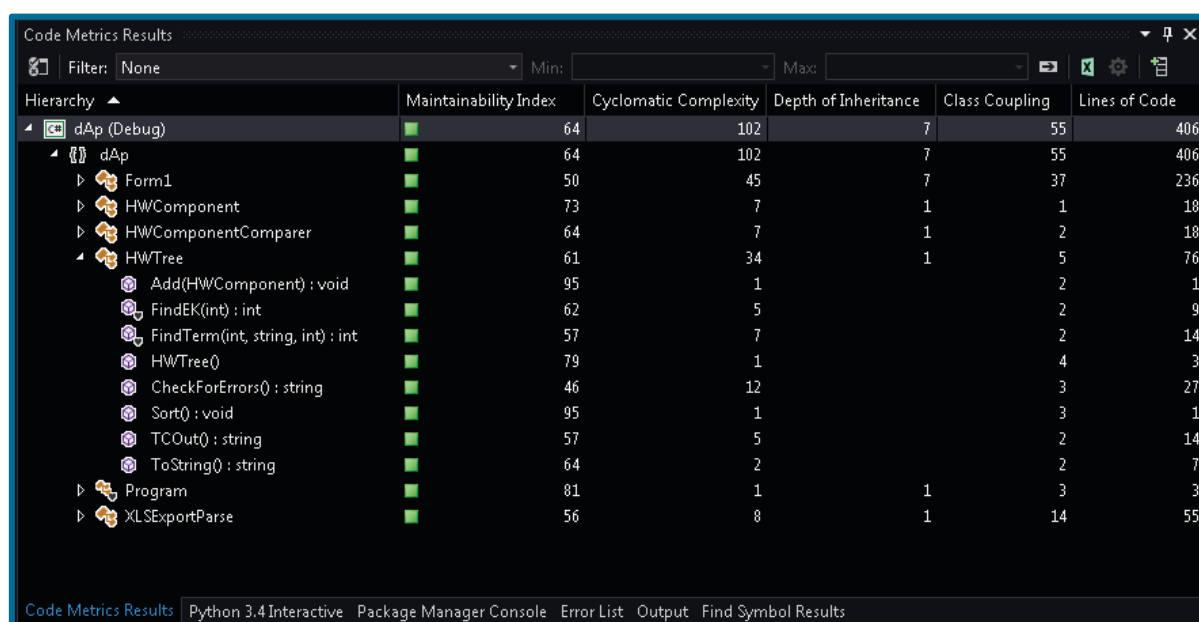
### 5.3 Testování funkčnosti sw nástroje pro eliminaci chyb

V rámci testování funkčnosti byly provedeny ve vývojovém prostředí standardní analýzy zdrojového kódu navrženého softwarového nástroje pro eliminaci chyb, nazvaného „dAp“. Provedené analýzy prokázaly, že zdrojový kód je v pořádku. Výsledek měření metriky kódu dopadl také dobře, což je patrné z obrázku Obr. 35). S obdobným, tedy kladným, výsledkem dopadly i vlastní překlady zdrojového kódu, které vykazovaly 0 chyb, 0 upozornění i 0 dodatečných zpráv.

V rámci testování byly prověřovány jednotlivé prvky uživatelského rozhraní a jejich návaznost na vykonávaný kód. Aplikace „dAp“ se při všech testech chovala korektně a podle předpokladu. Součástí simulací bylo i provedení několika testů pro ověření funkčnosti vnitřních kontrol pro vyhledávání duplicit v pojmenování vstupů a výstupů ve zdrojovém souboru ve formátu Excel, který byl generován z testovacího projektu „SampleVUT“ po aplikaci modifikací, popsanych v kapitole 3.3. Simulační test byl proveden tak, že byla duplicita ve jménu vytvořena přímo v EcsCADem vygenerovaném souboru se seznamem vstupů a výstupů. Obdobným způsobem bylo ověřeno přidání diakritiky do pojmenování vstupů a její následné odstranění aplikací „dAp“ při použití prvního kroku, tedy generování seznamu I/O pro PLC z připojeného souboru ve formátu Excel.

Při testování byl proveden také test, zda umí aplikace zareagovat na rozdílnost konfigurace generované výpisem vstupů a výstupů oproti skenované konfiguraci v prostředí TwinCAT System Manager. Testování bylo provedeno ručním odstraněním jednoho ze vstupních modulů v konfiguraci. Aplikace „dAp“ na tento rozdíl zareagovala podle požadavků a nalinkovala pouze vstupy a výstupy, jejichž pořadí v konfiguraci odpovídalo. Chybná část konfigurace byla vypsána do výstupního okna s označením čísla coupleru a příslušných vstupů a výstupů, které nebyly linkovány.

Pro testování byla aplikace „dAp“ instalována na osobní počítač s operačním systémem Microsoft Windows 7 x64. Současně tímto byl otestován i instalační balíček aplikace. Po testech byla aplikace odinstalována a bylo prověřeno, že de-instalace proběhla korektně. Aplikace „dAp“, jako taková, byla verifikována a označena verzí 1.0, určenou k užívání.



| Hierarchy                        | Maintainability Index | Cyclomatic Complexity | Depth of Inheritance | Class Coupling | Lines of Code |
|----------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------|---------------|
| dAp (Debug)                      | 64                    | 102                   | 7                    | 55             | 406           |
| dAp                              | 64                    | 102                   | 7                    | 55             | 406           |
| Form1                            | 50                    | 45                    | 7                    | 37             | 236           |
| HWComponent                      | 73                    | 7                     | 1                    | 1              | 18            |
| HWComponentComparer              | 64                    | 7                     | 1                    | 2              | 18            |
| HWTree                           | 61                    | 34                    | 1                    | 5              | 76            |
| Add(HWComponent) : void          | 95                    | 1                     |                      | 2              | 1             |
| FindEK(int) : int                | 62                    | 5                     |                      | 2              | 9             |
| FindTerm(int, string, int) : int | 57                    | 7                     |                      | 2              | 14            |
| HWTree()                         | 79                    | 1                     |                      | 4              | 3             |
| CheckForErrors() : string        | 46                    | 12                    |                      | 3              | 27            |
| Sort() : void                    | 95                    | 1                     |                      | 3              | 1             |
| TCOut() : string                 | 57                    | 5                     |                      | 2              | 14            |
| ToString() : string              | 64                    | 2                     |                      | 2              | 7             |
| Program                          | 81                    | 1                     | 1                    | 3              | 3             |
| XLSEXPExportParse                | 56                    | 8                     | 1                    | 14             | 55            |

Obr. 35) Výsledek měření metriky kódu aplikace „dAp“.

## 5.4 Ověření kontrolního seznamu verifikace

V rámci verifikace bylo provedeno ověření dle kontrolního seznamu definovaného v rámci systémové analýzy v kapitole 2.6. Tabulka Tab. 16) ukazuje výsledek verifikace.

**Tab. 16) Ověření kontrolní seznamu pro verifikaci**

| Č.  | Požadavek pro verifikaci   | Splněno |
|---|--|---------|
| 1   | Byly splněny všechny nezbytné požadavky pro preventivní opatření?  | ano     |
| Požadavky NO1, NO2, NO3, jak byly definovány v tabulce Tab. 6), byly splněny.   |  |         |
| 2   | Byly splněny alespoň některé doporučené požadavky pro preventivní opatření?  | ano     |
| Požadavky DO1, DO2, DO3, jako byly definovány v tabulce Tab. 7), byly splněny.  |  |         |
| 1   | Byl zpracován testovací projekt?   | ano     |
| 2   | Obsahuje testovací projekt alespoň dva typy zařízení?  | ano     |
| Bylo ověřeno, že součástí testovacího projektu je jedna osa z horizontálním pohybem a jednoduchou brzdou a čtyři osy s vertikálním pohybem a dvojitou brzdou.   |  |         |
| 3   | Obsahuje testovací projekt alespoň dvě rozváděčová pole pro zařízení?  | ano     |
| Testovací projekt byl rozložen do tří rozváděčových polí. První pole pro napájení. Druhé pole pro jednu osu s horizontálním pohybem. Třetí pole pro čtyři osy s vertikálním pohybem.  |  |         |
| 4   | Je počet zařízení v testovacím projektu větší než 3?   | ano     |
| Bylo ověřeno, že testovací projekt obsahuje 5 řízených os s tím, že každá osa je přímo zařízením. Scénická jevištní opona F1 a čtyři řetězové motorické tahy M1 – M4.   |  |         |
| 5   | Jsou v testovacím projektu alespoň dvě komponenty systému řízení nesouvisející přímo se zařízeními jevištní technologie? | ano     |
| V prvním poli byly projektovány vstupní a výstupní moduly pro diagnostiku napájecího pole, což přímo nesouvisí se zařízením. Tento požadavek byl splněn.  |  |         |
| 6   | Byla provedena opětovná analýza spolehlivosti po aplikaci modifikací?  | ano     |
| Bylo ověřeno, že opětovná analýza byla provedena s tím, že nebyly vyhledávány nové jevy související s nasazením softwarového nástroje. Byly pouze hodnoceny předchozí analýzou nalezené body po aplikaci nápravných opatření. |  |         |
| 7   | Jsou opětovnou analýzou potvrzeny požadavky na RPN < 100?  | ano     |
| Bylo ověřeno, že všechny indexy RPN ≤ 100.  |  |         |
| 8   | Byla provedena funkční zkouška jednotlivých ovládacích prvků uživatelského rozhraní vyvinutého softwarového nástroje?    | ano     |
| 9   | Byla provedena simulace alespoň jedné chyby, kterou má sw aplikace pro eliminaci chyb identifikovat nebo odstraňovat?    | ano     |

## 6 VALIDACE

V rámci validace navrženého řešení bylo provedeno technickoekonomické zhodnocení. Technickoekonomické zhodnocení se týkalo zejména použití vyvinuté softwarové aplikace pro eliminaci chyb, nazvané „dAp“. Tato aplikace nahrazuje, v druhém kroku jejího použití, činnost vývojáře a proto bylo určeno, že je třeba zhodnotit přínos použití aplikace zejména v tomto ohledu. Jinými slovy, byla posuzována efektivita navrženého postupu s předpokládaným ekonomickým dopadem.

Počet digitálních vstupů a výstupů testovacího projektu „SampleVUT“ generovaný aplikací „dAp“ je 72. Počet zařízení, resp. řízených os v tomto projektu je 5. Pro přibližnou představu bylo tedy možné počítat 14 vstupů a výstupů na jednu osu. Drobné rozdíly v počtu vstupů a výstupů pro rozdílné typy zařízení byly zanedbány.

Bylo prověřeno, že linkování 72 vstupů a výstupů projektu „SampleVUT“ trvá při původním postupu, tedy ručně, 18 minut. Uvedené hodnoty se vztahují pouze na testovací projekt „SampleVUT“, poněvadž v případě jiných projektů, zejména s vyšším počtem vstupů a výstupů, budou uvedené časy narůstat. Tento efekt je způsoben tím, že čím je více vstupů a výstupů pro linkování, tím je delší seznam, ze kterého se při linkování vybírá příslušná proměnná PLC. Velikost okna pro výběr je omezená a je nutné při vybírání používat rolovací lištu. Současně i čas je v průběhu linkování proměnlivý s tendencí se zkracovat, poněvadž každý nalinkovaný vstup nebo výstup se v seznamu již neobjevuje, pokud je nastaven správně filtr. Více informací o linkování proměnných je uvedeno v kapitole 4.1, popř. přímo na obrázku Obr. 31).

Z uvedených faktů byl kvalifikovaným odhadem stanoven průměrný čas pro linkování jednoho vstupu (či výstupu) na 18 sekund. Měřením bylo zjištěno, že aplikace „dAp“ je schopná 5 os, tak jak jsou projektovány v testovacím projektu nalinkovat za 3 sekundy. Pro posouzení rychlosti aplikace „dAp“ bylo měření provedeno ještě na stávajícím, již realizovaném projektu, čítajícím 102 os. Při tomto měření byl čas řádově srovnatelný, a to 9 sekund.

Pro stanovení srovnání bylo dle zkušeností z praxe určeno typické divadlo s počtem 150 os. Z uvedených měření společně s kvalifikovaným odhadem bylo určeno, že aplikace „dAp“ by toto určené typické divadlo linkovala max. 15 sekund. Při počtu 14-ti vstupů a výstupů na jednu osu by se jednalo o nalinkování 2100 vstupů a výstupů, což by při výše uvedených kalkulacích znamenalo strávený čas „ručním“ linkováním, tedy původním způsobem, 37.800 sekund, což je 10,5 hodiny. Vzhledem k dlouholetým zkušenostem autora bylo konstatováno, že je tento výpočet nadměrně optimistický a v praxi bývá systém řízení se 150 osami linkován i dvojnásobně dlouho.

Zvýšení efektivity tedy bylo prokázáno velmi jednoduchým porovnáním:

| Čas potřebný pro původní způsob<br>linkování PLC proměnných [s] | Čas potřebný při použití „dAp“ pro<br>linkování PLC proměnných [s] |
|---|--|
| 37.800  | 15   |

Při takto markantním rozdílu bylo zcela upuštěno od posuzování dalších přínosů, jako jsou eliminace chyb, nebo sestavení názvů PLC proměnných z výkresové dokumentace.



## 7 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

Podle stanovených kritérií bylo prokázáno, že aplikované modifikace v postupech společně s použitím aplikace „dAp“ jako softwarového nástroje pro eliminaci chyb jsou účinné a byly schváleny při verifikaci. V kontrolním seznamu byly všechny body zodpovězeny kladně a v některých bodech bylo provedeno i více, než bylo požadováno pro schválení. Verifikace byla úspěšná.

V rámci validace bylo provedeno zhodnocení efektivity při použití navržené softwarové aplikace vzhledem k jejímu technickoekonomickému přínosu při současné eliminaci podstatných chyb vlivem lidského faktoru. Pro úplné zhodnocení by bylo vhodné aplikovat celý postup i na některé již realizované projekty, aby se účinnost a efektivita řešení prokázala i na reálných projektech. Tento úkon by ovšem znamenal zásahy do již odsouhlasených a archivovaných dat, protože by bylo nutné v rámci navržených opatření ve stávajících výkresech vyměňovat EcsCAD bloky, sloužící pro PLC tak, aby mohl být proveden výpis PLC vstupů a výstupů z takového stávajícího projektu. Vzhledem k časové náročnosti a výše uvedeným faktům bylo od tohoto kroku upuštěno.

V rámci této diplomové práce byla řešena problematika stávajícího stavu přenosu informací mezi oddělením elektro projekce a oddělením vývoje softwaru. Pro úplné nasazení navržených opatření včetně vyvinutého softwarového nástroje „dAp“ by bylo nutné provést opětovnou kompletní analýzu zavedených navržených postupů tak, aby byly identifikovány jevy, které by mohly souviset s implementací těchto opatření do praxe. Systémová analýza včetně analýzy spolehlivosti prováděné v rámci této diplomové práce byla zpracovávána čistě za účelem posouzení stávajícího stavu. Následně opětovná analýza spolehlivosti při verifikaci byla zpracována za účelem posouzení snížení, popř. eliminace jevů, které byly nalezeny v rámci systémové analýzy.

Přestože do řešení celé diplomové práce byla přenesena autorova znalost problematiky z praxe, včetně znalostí získaných během studií a během řešení tématu diplomové práce, všechny práce byly prováděny v souladu s jeho prohlášením o samostatném zpracování a původnosti díla a tímto je výsledek lokálně omezen. Pro úplné nasazení v praxi by bylo nutné opakovat minimálně analýzy spolehlivosti, které by bylo třeba zpracovat v týmu, sestaveného z jednotlivých zainteresovaných stran, minimálně ze zástupce oddělení projekce elektro a zástupce oddělení vývoje softwaru.





## 8 ZÁVĚR

Diplomová práce řeší problematiku přenesení informací mezi oddělením projekce elektro a oddělením vývoje softwaru v rámci realizací zakázek řídicích systémů strojních zařízení v oblasti jevištních mechanismů. Hlavním cílem byla redukce, popř. eliminace chyb, které jsou při tomto procesu způsobeny vlivem lidského faktoru.

V rámci řešení diplomové práce byl proveden v první kapitole úvod do celé problematiky, zahrnující informace k pochopení celého kontextu problematiky. Postupně bylo provedeno seznámení s jevištní technologií a strojními zařízeními v této oblasti používanými. Pro vytvoření úplné představy bylo provedeno seznámení s relevantní legislativou, která se na toto odvětví vztahuje. V další části byl vytvořen pohled na vlastní procesy zainteresovaných oddělení, tedy proces projektování elektrického vybavení stroje, proces vývoje softwaru pro tento stroj a zejména proces přenosu informací mezi těmito odděleními. Pro uvedení do celé problematiky pak bylo nezbytné uvést informace k analýze spolehlivosti a v neposlední řadě používané technické prostředky, kterými tato oddělení disponují při realizaci řídicích systémů jevištních mechanismů.

Systémovou analýzou byl následně proveden rozbor problematiky a stanovení činností, které budou nezbytné pro identifikaci a realizaci nápravných opatření. Rozbor jednotlivých aspektů společně s provedením analýzy spolehlivosti přenosu informací vyústil k sestavení specifikace požadavků pro preventivní opatření a stanovení způsobu ověření, společně s kontrolním seznamem verifikace navrhovaného řešení.

Modifikace stávajících postupů při projektování elektrického vybavení strojního zařízení a při vývoji softwaru k tomuto zařízení, společně s vyvinutým softwarovým nástrojem pro redukci a případnou eliminaci chyb při přenosu informací, nazvanou „dAp“, pak bylo praktickým provedením realizace požadavků, vyplývajících ze systémové analýzy. Byly zavedeny nové postupy pro projektování elektro, upraven způsob výpisů modulů systému řízení, zobecněn pohled na jevištní zařízení zavedením unifikace a vyvinut softwarový nástroj, který vývojářům software usnadní celé přenesení architektury požadovaného systému řízení přímo do jejich vývojového prostředí pro tvorbu softwaru.

Navržené řešení bylo ověřeno ve fázi verifikace dle předem nastavených kritérií, sestavených ve verifikačním kontrolním seznamu. Verifikace dopadla úspěšně ve všech požadavcích. Následně bylo při validaci provedeno technickoekonomické zhodnocení s výsledkem prokazatelného přínosu použití vyvinutého softwarového nástroje a tedy i aplikací navržených modifikací ve stávajících postupech.

Přestože řešení diplomové práce bylo zaměřeno na poměrně úzký průmyslový obor, navržené modifikace postupů i vlastní vyvinutá softwarová aplikace jsou obecným řešením tohoto problému, při použití stejných, případně obdobných, technických prostředků v rámci jednotlivých dotčených oddělení a při použití stejného hardwaru a softwaru pro návrh a vývoj výsledného systému řízení strojních zařízení.



## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] **Buzan, Tony.** LOGICAL MIND MAP | Creative Studies. *Blog at WordPress.com*. [Online] 1. Srpen 2011. [Citace: 30. Leden 2017.] Dostupné z: <https://asyraf5843.wordpress.com/2011/08/01/logical-mind-map/>
- [2] **Drivecontrol, s.r.o.** Reference: Lublin: fotografie 20160223\_184153\_lublin\_2.jpg. *Prezentace firmy Drivecontrol, s.r.o.* [Online] 2014. [Citace: 19. duben 2017.] Dostupné z: [http://www.drivecontrol.cz/file/photo/20160223\\_184153\\_lublin\\_2.jpg](http://www.drivecontrol.cz/file/photo/20160223_184153_lublin_2.jpg)
- [3] **České národní rady.** Ústavní zákon č. 1/1993 Sb. ÚSTAVA ČESKÉ REPUBLIKY ze dne 16. prosince 1992. *Portál veřejné správy*. [Online] [Citace: 30. Leden 2017.] Citován Čl. 78. Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=1~2F1993&rpp=15#seznam>
- [4] **Evropský parlament, Rada Evropské unie.** SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES. *EUR-Lex*. [Online] [Citace: 7. Listopad 2016.] Citován Čl. 1, odst. 2, pism. j). Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0042>
- [5] DIN 56950-1. *Veranstaltungstechnik - Maschinentechnische Einrichtungen - Teil 1: Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung*. s.l. : Beuth Verlag GmbH. Bd. ICS 97.200.10, Květen 2012. Citována kapitola "Úvod", volným překladem.
- [6] **Parlament České republiky.** Zákon č. 22/1997 Sb. ZÁKON ze dne 24. ledna 1997 o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů. *Portál veřejné správy*. [Online] [Citace: 12. Listopad 2016.] Dostupné z: <https://portal.gov.cz/app/zakony/zakon.jsp?page=0&nr=22~2F1997&rpp=15#seznam> Uveřejněno v č. 6/1997 Sbírky zákonů.
- [7] ČSN EN 60812. *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)*. místo neznámé : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. Sv. ICS 03.120.01, 03.120.30, 21.020, Leden 2012.
- [8] TwinCAT 2. *BECKHOFF New Automation Technology*. [Online] © Beckhoff Automation 2016. [Citace: 14. Duben 2017.] Dostupné z: <https://beckhoff.de/english.asp?twincat/default.htm>
- [9] Beckhoff | TwinCAT Product overview. *BECKHOFF New Automation Technology*. [Online] © Beckhoff Automation 2016. [Citace: 10. Duben 2017.] Dostupné z: <https://beckhoff.de/english.asp?twincat/overvw.htm?id=15987603960676>
- [10] ADS introduction. *Beckhoff Information System - English*. [Online] © Beckhoff Automation 2016. [Citace: 14. Duben 2017.] Dostupné z: [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcadscommon/html/tcadscommon\\_intro.htm&id=](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcadscommon/html/tcadscommon_intro.htm&id=)
- [11] Beckhoff TwinCAT System Manager. *BECKHOFF New Automation Technology*. [Online] © Beckhoff Automation 2016. [Citace: 20. Duben 2017.] Dostupné z: <https://beckhoff.de/english.asp?twincat/SysMang.htm?id=159876032042705>

- [12] The EL1008 digital input terminal. *BECKHOFF New Automation Technology*. [Online] © Beckhoff Automation 2016. [Citace: 1. Květen 2017.] Dostupné z: <https://beckhoff.de/english.asp?ethercat/el1008.htm?id=1989211831288>
- [13] New Automation Technology 2011 | EtherCAT Flyer. *BECKHOFF New Automation Technology*. [Online] [Citace: 16. Listopad 2016.] Dokument PDF. Dostupné z: [https://download.beckhoff.com/download/Document/catalog/Beckhoff\\_EtherCAT\\_terminals.pdf](https://download.beckhoff.com/download/Document/catalog/Beckhoff_EtherCAT_terminals.pdf)
- [14] TwinCAT System Manager: Automation Interface. *Beckhoff Information System - English*. [Online] © Beckhoff Automation 2016. [Citace: 30. Leden 2017.] Dostupné z: [https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcautomationinterface/html/tcsysman\\_automation.htm&id=972389352036000631](https://infosys.beckhoff.com/english.php?content=../content/1033/tcautomationinterface/html/tcsysman_automation.htm&id=972389352036000631)

## 10 SEZNAM TABULEK A OBRÁZKŮ

### 10.1 Seznam tabulek

|   |    |
|---|----|
| Tab. 1) Tabulka stanovení činností .....  | 40 |
| Tab. 2) Nastavení úrovně závažnosti jevu – S (“Severity”) .....                 | 46 |
| Tab. 3) Nastavení úrovně pravděpodobnosti výskytu jevu – O (“Occurrence”) ..... | 47 |
| Tab. 4) Stanovení úrovně pro odhalitelnost jevu – D (“Detection”) .....         | 48 |
| Tab. 5) Analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními .....           | 49 |
| Tab. 6) Seznam nezbytných požadavků pro preventivní opatření .....              | 52 |
| Tab. 7) Seznam doporučených požadavků pro preventivní opatření .....            | 52 |
| Tab. 8) Kontrolní seznam pro verifikaci .....                                   | 53 |
| Tab. 9) Seznam pravidel projekce elektro .....                                  | 58 |
| Tab. 10) Pořadí PLC modulů pro unifikaci řešení .....                           | 61 |
| Tab. 11) Označování modulů PLC .....  | 62 |
| Tab. 12) Označení a definice vstupů a výstupů .....                             | 63 |
| Tab. 13) Metody interface ITcSysManager .....                                   | 74 |
| Tab. 14) Popis souborů zdrojového kódu .....                                    | 77 |
| Tab. 15) Opětovná analýza spolehlivosti přenosu informací mezi odděleními ..... | 82 |
| Tab. 16) Ověření kontrolní seznamu pro verifikaci .....                         | 86 |

### 10.2 Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| Obr. 1) Ukázka myšlenkové mapy [1] .....  | 15 |
| Obr. 2) 3D vizualizace ze systému řízení jevištní techniky – iTEMS .....        | 19 |
| Obr. 3) Ukázka horní mechanizace [2] .....                                      | 20 |
| Obr. 4) Ukázka dolní mechanizace .....  | 21 |
| Obr. 5) Ukázka dopravních plošin skladového hospodářství .....                  | 22 |
| Obr. 6) Proces interface .....  | 26 |
| Obr. 7) Blokové schéma mapované oblasti v rámci oddělení .....                  | 27 |
| Obr. 8) Proces oddělení projekce elektro na modelovém příkladu .....            | 28 |
| Obr. 9) Proces oddělení vývoje softwaru na modelovém příkladu .....             | 29 |
| Obr. 10) Ukázka výpisu komponent v prostředí MS Access - výpis .....            | 33 |
| Obr. 11) Ukázka výpisu komponent v prostředí MS Access – režim návrhu .....     | 34 |
| Obr. 12) Blokové znázornění koncepce systému TwinCAT [9] .....                  | 34 |
| Obr. 13) Funkční moduly v rámci TwinCAT systému [10] .....                      | 35 |
| Obr. 14) Ukázka prostředí TwinCAT System Manager .....                          | 36 |
| Obr. 15) Ukázka prostředí TwinCAT PLC Control .....                             | 37 |
| Obr. 16) Myšlenková mapa z počátků řešení problematiky .....                    | 39 |
| Obr. 17) Oblast zavedení nezbytných preventivních opatření .....                | 52 |
| Obr. 18) Svorka EL1008 od společnosti Beckhoff [12] .....                       | 55 |
| Obr. 19) Příklad mateřského bloku PLC .....                                     | 56 |
| Obr. 20) Ná vazný blok PLC .....  | 56 |
| Obr. 21) EcsCAD – nastavení křížových referencí .....                           | 57 |
| Obr. 22) EcsCAD – nastavení křížových referencí – sloupce a řádky .....         | 58 |
| Obr. 23) Ukázka flexibility topologie EtherCAT [13] .....                       | 59 |
| Obr. 24) Původní SQL dotaz pro výpis PLC – „EcsListPrjPlc“ – Režim návrhu ..... | 65 |

|   |    |
|---|----|
| Obr. 25) Původní výpis PLC – SQL dotazem „EcsListPrjPlc“ .....              | 66 |
| Obr. 26) Upravený SQL dotaz – „EcsListPrjPlcSampleVUT“ – Režim návrhu ..... | 67 |
| Obr. 27) Nový výpis PLC – SQL dotazem „EcsListPrjPlcSampleVUT“ .....        | 68 |
| Obr. 28) Sestava PLC motorického řetězového tahu M1 .....                   | 69 |
| Obr. 29) Výsledné menu EcsCADu - Výpis PLC Sample VUT .....                 | 70 |
| Obr. 30) Ukázka soupisu proměnných v prostředí TwinCAT PLC Control .....    | 71 |
| Obr. 31) Způsob linkování v prostředí TwinCAT System Manager .....          | 72 |
| Obr. 32) Částečný výpis vstupů projektu SampleVUT .....                     | 73 |
| Obr. 33) Softwarová aplikace dAp .....                                      | 75 |
| Obr. 34) Softwarová aplikace dAp – ošetření typu souboru.....               | 76 |
| Obr. 35) Výsledek měření metriky kódu aplikace „dAp“ .....                  | 85 |



## 11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Vytisknutá výkresová dokumentace testovacího projektu „SampleVUT“

Příloha 2: DVD obsahující zdrojové kódy aplikace „dAp“ a výkresovou dokumentaci

Obsah přiloženého DVD:

1-CODE\ (*Zdrojový kód aplikace „dAp“*)

1-CODE\dAp\ (*Vlastní zdrojový kód aplikace „dAp“*)

1-CODE\Publish\ (*Instalační složka aplikace „dAp“*)

2-ECSCAD\ (*Potřebné složky EcsCADu, včetně projektu „SampleVUT“*)

2-ECSCAD\DATABASE\ (*Databáze EcsCADu*)

2-ECSCAD\PDF Export\ (*Export projektu do PDF*)

2-ECSCAD\PROJECT\ (*Složka projektů*)

2-ECSCAD\PROJECT\SAMPLE\_VUT\ (*Složka projektu „SampleVUT“*)

2-ECSCAD\PROJECT\SAMPLE\_VUT\\_INTERNAL\ (*Databáze a výpisy*)

2-ECSCAD\PROJECT\SAMPLE\_VUT\RM1.1\ (*Výkresy DWG*)

2-ECSCAD\PROJECT\SAMPLE\_VUT\RM1.2\ (*Výkresy DWG*)

2-ECSCAD\PROJECT\SAMPLE\_VUT\RM1.3\ (*Výkresy DWG*)



## PŘÍLOHY

### Příloha 1

### Výkresová dokumentace testovacího projektu

### „SampleVUT“

Instalace : RM1.1

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| Název       | Testovací projekt VUT |
| Č.zakázky   | ID:115452             |
| Č.výkresu   | DIPL01-sample-RM1.1   |
| Kreslil     | Jaromír Boček         |
| Datum       | 04.11.16              |
| Počet listů | 10                    |

|        |       |       |       |          |               |          |              |              |                       |         |         |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|--------------|-----------------------|---------|---------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | TITULNÍ LIST | Č.výkresu             | = RM1.1 |         |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Šlapanice    | sampleVUT    | DIPL01-sample-RM1.1   | + -     |         |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |              | Název                 | List    | 0 +     |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil       | Testovací projekt VUT |         | 10 Lis. |

1

2

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

5

6

7

8

1

2

3

4

5

6

7

8

60

200

RM 1.1

+VP

E1

ZAPNUTO

S1

HL. VYPÍNAČ

1

FAZE AC

N

PE

OVLÁDÁNÍ 230V AC

OVLÁDÁNÍ 24V AC

OVLÁDÁNÍ 24V DC L+

OVLÁDÁNÍ 24V DC L-

MĚŘENÉ SIGNÁLY

VNĚJŠÍ NAPÁJENÍ

BRZDY 205V DC

ČERNÁ

MODRÁ

ZELENÁ / ŽLUTÁ

ČERVENÁ

-

MODRÁ

MODRÁ

BÍLÁ

ORANŽOVÁ

ŠEDÁ

Ø 1,5 mm²

Ø 0,75 mm²

Ø 0,75 mm²

Ø 0,75 mm²

Ø 0,75 mm²

Ø 0,75 mm²

Ø 0,75 mm²

BARVA VODIČŮ

PRŮŘEZ

BÍLÁ

MODRÁ

ORANŽOVÁ

HNĚDÁ

ZELENÁ

WH

BU

OG

BN

GN

EL.DATA:

NAPĚŤOVÁ SÍŤ :

OVLÁDACÍ NAPĚTÍ :

INSTALOVANÝ VÝKON

INSTALOVANÝ PROUD

HL. VYPÍNAČ

STANOVENÉ PRACOVNÍ NAPĚTÍ

STANOVENÉ IZOLAČNÍ NAPĚTÍ

ZKRATOVÝ PROUD

TEPLOTA PROSTŘEDÍ

TNS, 3NPE 400/230V, 50Hz

24V DC- PELV

35,6 kW

32 A

32A

400 V

500 V

10kA

+5...+35 °C

1 POZOR! POD NAPĚTÍM

I PŘI VYPNUTÉM HLAVNÍM VYPÍNAČI.

TYP :

KRYTÍ IP (UZAVŘENÝ/OTEVŘENÝ):

ROZMĚRY (š/v/hl) mm:

ZÁVĚSY :

NÁTĚR :

OBSLUHA :

KABELOVÉ PŘÍVODY / VÝVODY :

BOČNICE :

BOČNICE UMÍSTĚNÍ :

MONTÁŽNÍ PANEL:

S 55 06 20 04

IP55/IP20

600/2000/400

VLEVO

RAL 7032

PRACOVNÍK POUČENÝ

SPODEM

ANO

VLEVO

ANO

NAPĚŤOVÁ SÍŤ :

OVLÁDACÍ NAPĚTÍ :

OCHRANA PŘED NEB. DOTYKEM NEŽIVÝCH ČÁSTÍ :

ZVÝŠENÁ OCHRANA :

TNC-S, 3NPE 400/230V, 50Hz

24V DC- PELV

AUTOMATICKÝM ODPOJENÍM OD ZDROJE

ELEKTRICKÝM ODDĚLENÍM OBVODŮ

Datum

04.11.16

Kreslil

Jaromír Boček

Kontrol.

Original

Poznámka pro

Změnil

TECHNICKÝ POPIS

sampleVUT

Č.výkresu

DIPLO1-sample-RM1.1

Název

Testovací projekt VUT

= RM1.1

+ -

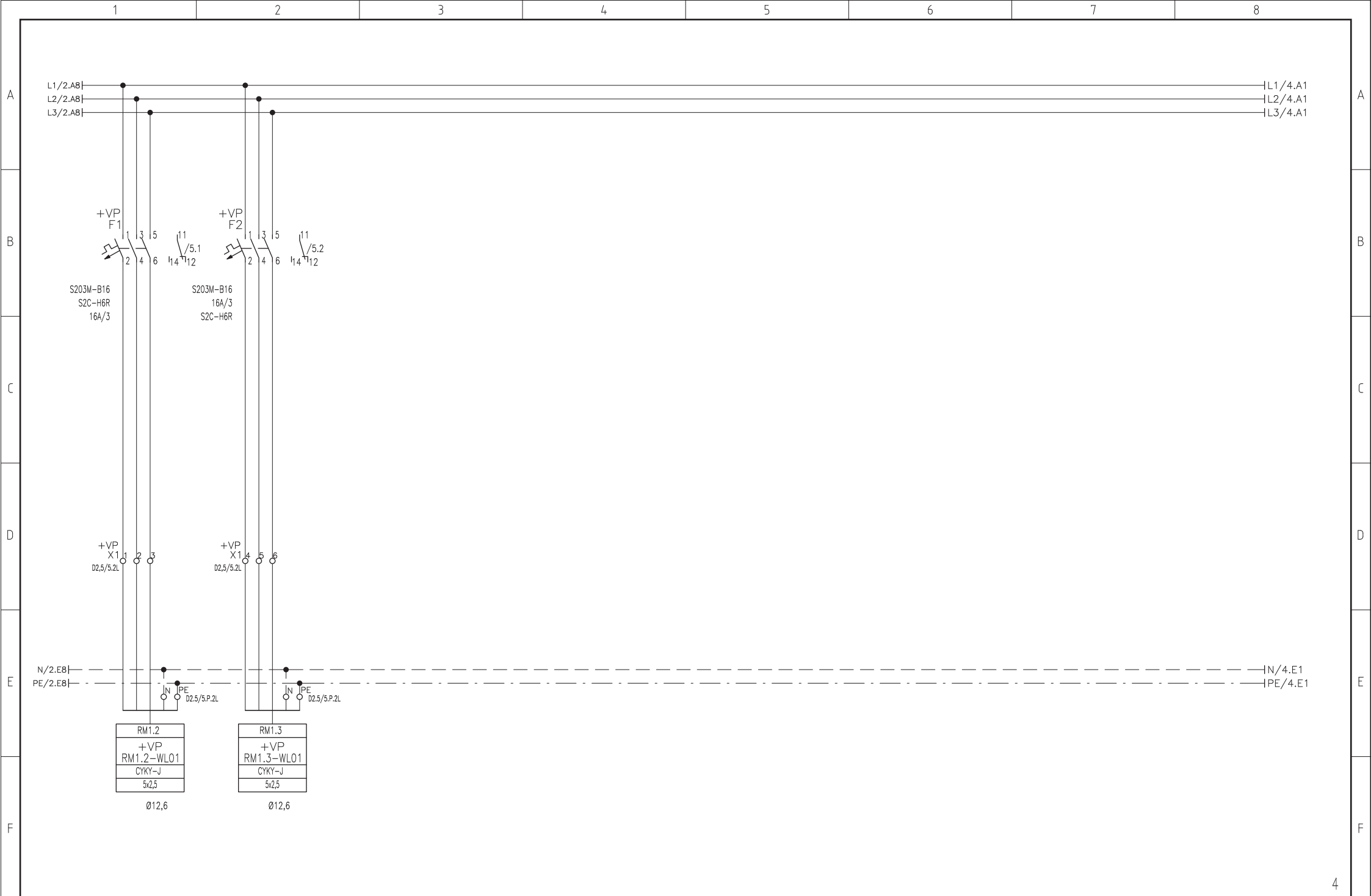
List 1

10 Lis.

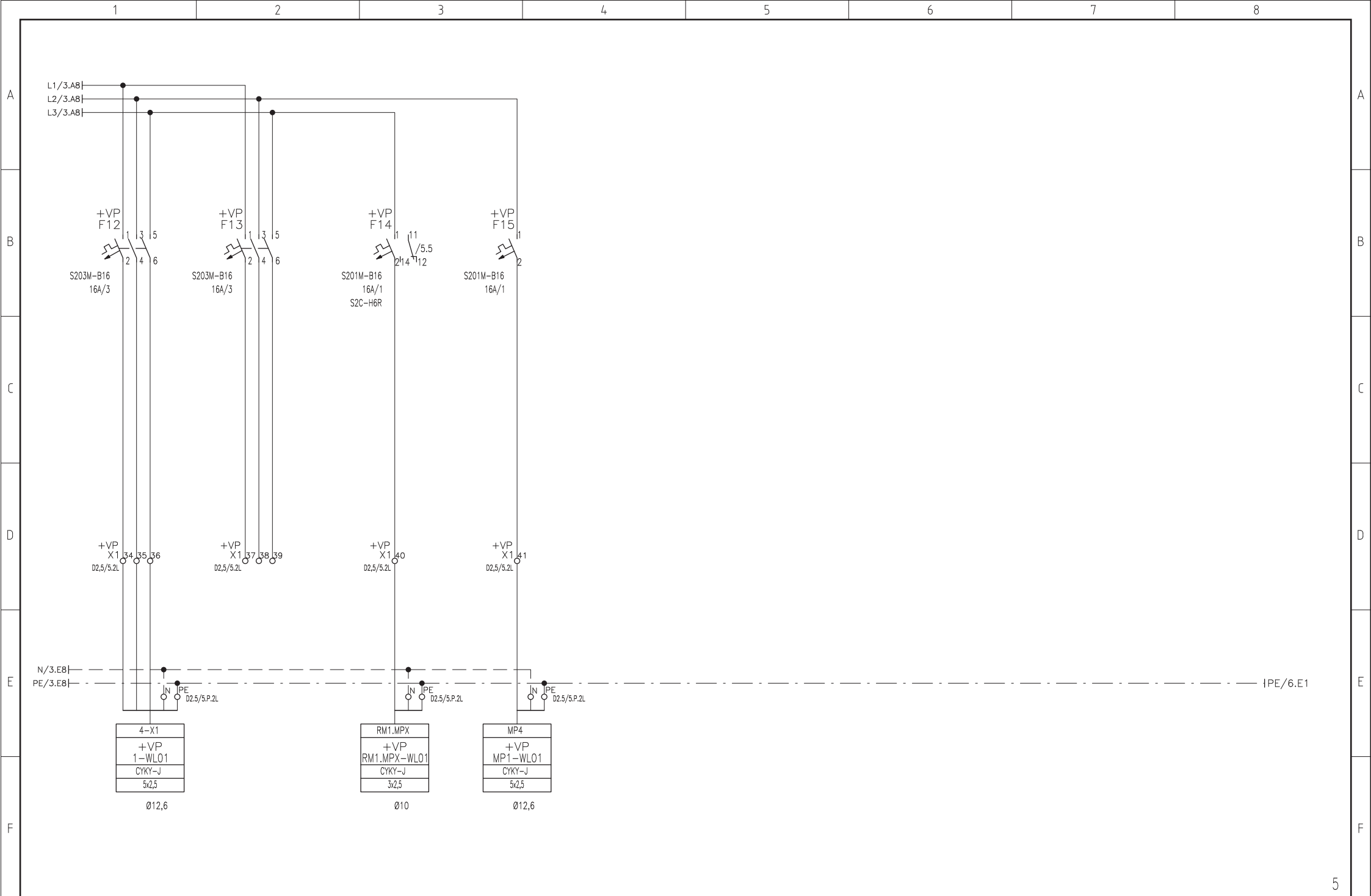
2



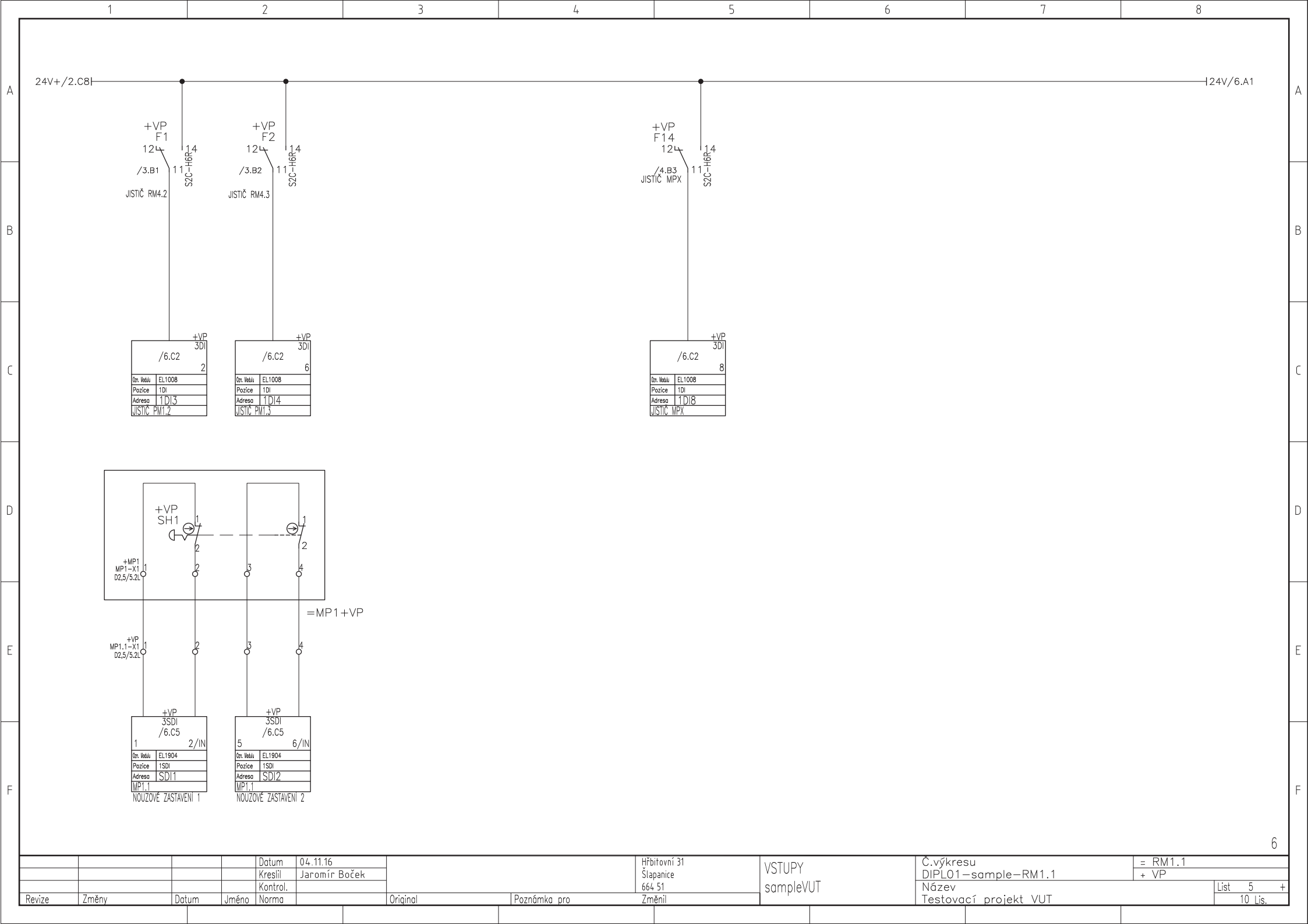




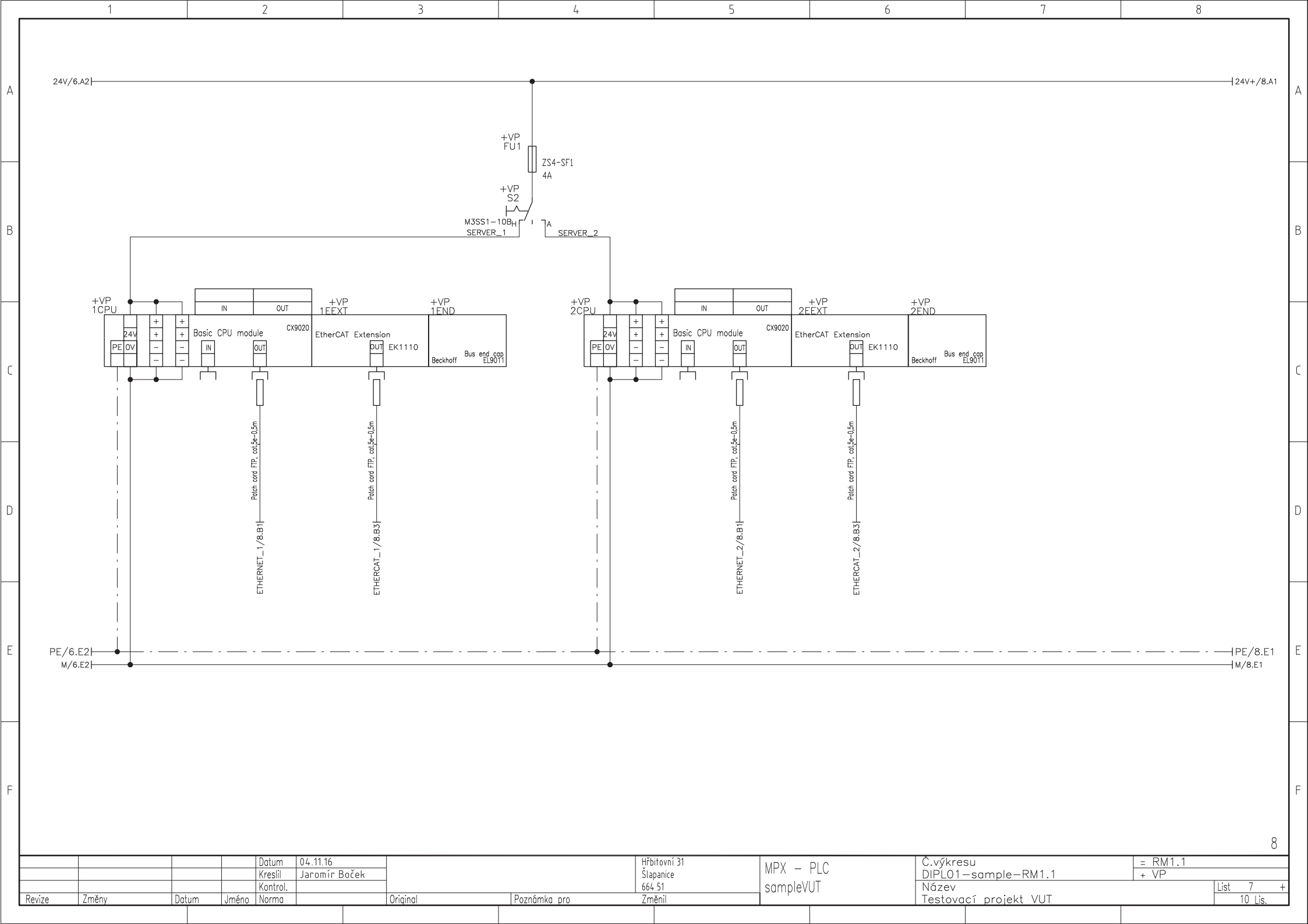
|        |       |       |       |          |               |          |              |                    |                       |         |   |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|--------------------|-----------------------|---------|---|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | NAPÁJENÍ ROZVADĚČE | Č.výkresu             | = RM1.1 |   |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Slapanice    | sampleVUT          | DIPL01-sample-RM1.1   | + VP    |   |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |                    | Název                 | List 3  | + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil             | Testovací projekt VUT | 10 Lis. |   |



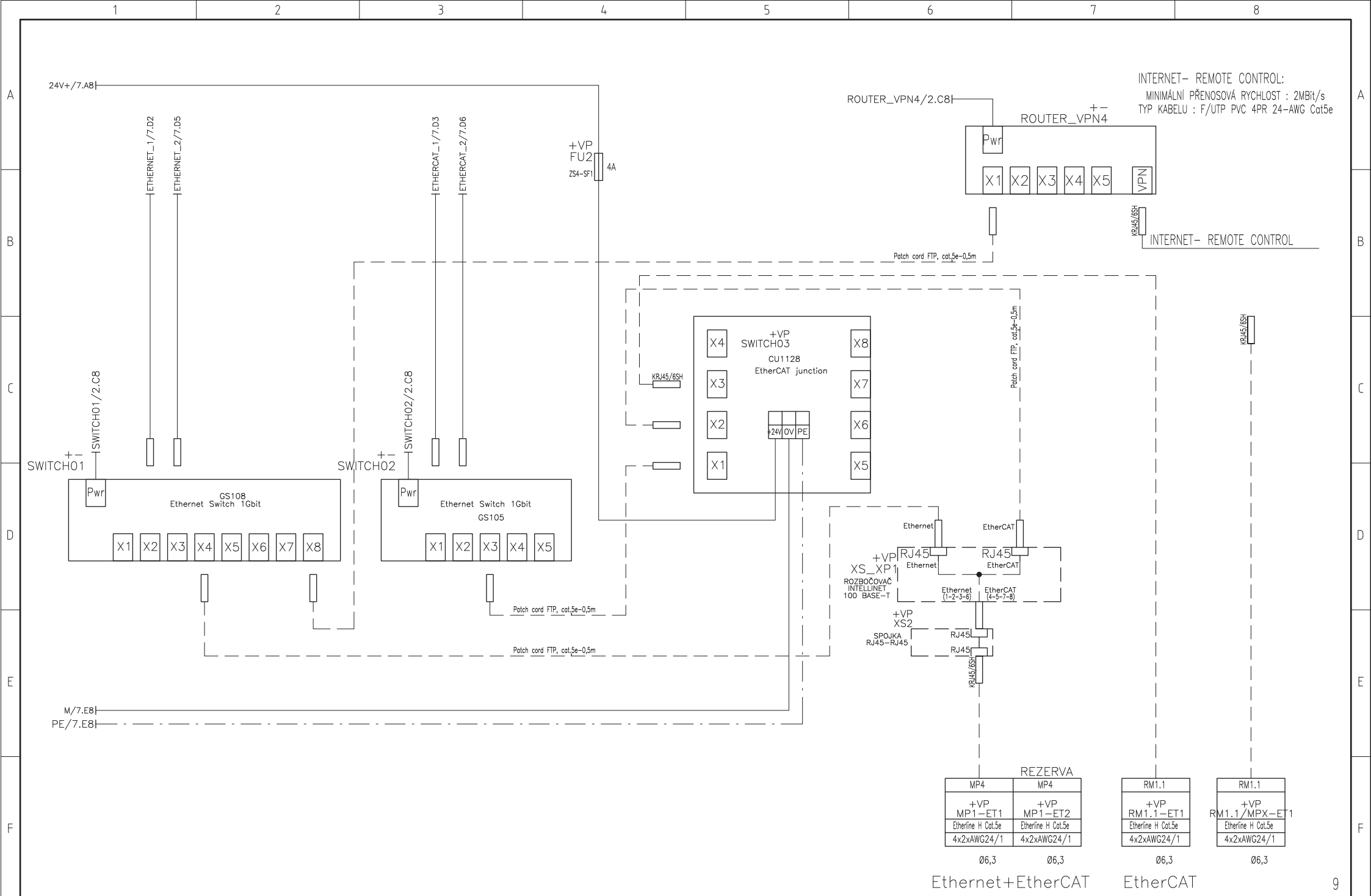
|        |       |       |       |          |               |          |              |                    |                       |          |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|--------------------|-----------------------|----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | NAPÁJENÍ ROZVADĚČE | Č.výkresu             | = RM1.1  |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Slapanice    | sampleVUT          | DIPLO1-sample-RM1.1   | + VP     |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |                    | Název                 | List 4 + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil             | Testovací projekt VUT | 10 Lis.  |





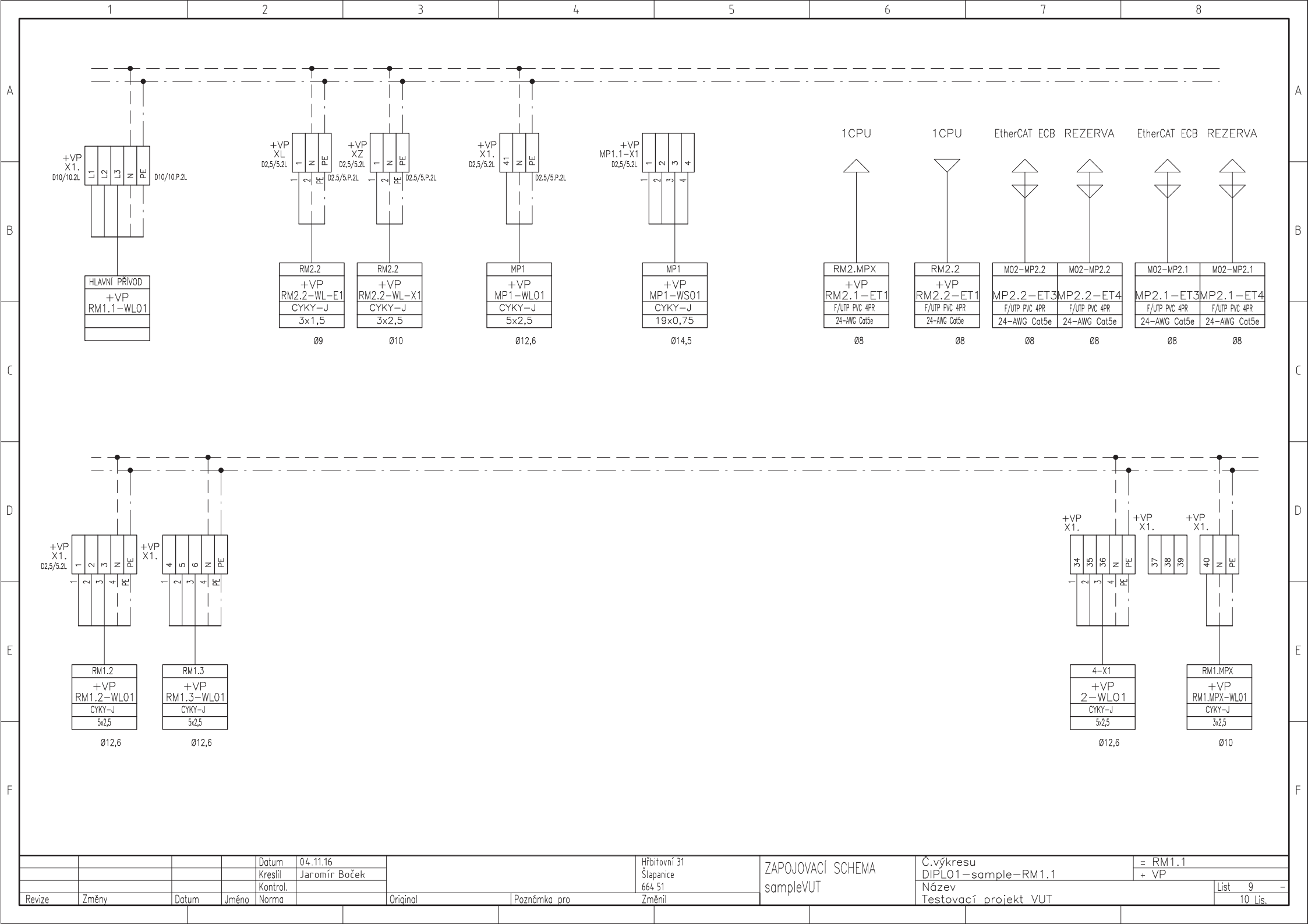


|        |       |       |       |          |               |          |              |           |                       |         |   |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|-----------|-----------------------|---------|---|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | MPX - PLC | Č.výkresu             | = RM1.1 |   |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Štápanice    | sampleVUT | DIPL01-sample-RM1.1   | + VP    |   |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |           | Název                 | List 7  | + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil    | Testovací projekt VUT | 10 Lis. |   |



|        |       |       |       |          |               |          |              |                         |                       |          |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|-------------------------|-----------------------|----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | MPX -Ethernet +EtherCAT | Č.výkresu             | = RM1.1  |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Slápanice    | sampleVUT               | DIPLO1-sample-RM1.1   | + VP     |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |                         | Název                 | List 8 + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil                  | Testovací projekt VUT | 10 Lis.  |





|        |       |       |       |          |               |          |              |                   |                       |          |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|-------------------|-----------------------|----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | ZAPOJOVACÍ SCHEMA | Č.výkresu             | = RM1.1  |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Slapanice    | sampleVUT         | DIPLO1-sample-RM1.1   | + VP     |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |                   | Název                 | List 9 - |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil            | Testovací projekt VUT | 10 Lis.  |

Instalace : RM1.2

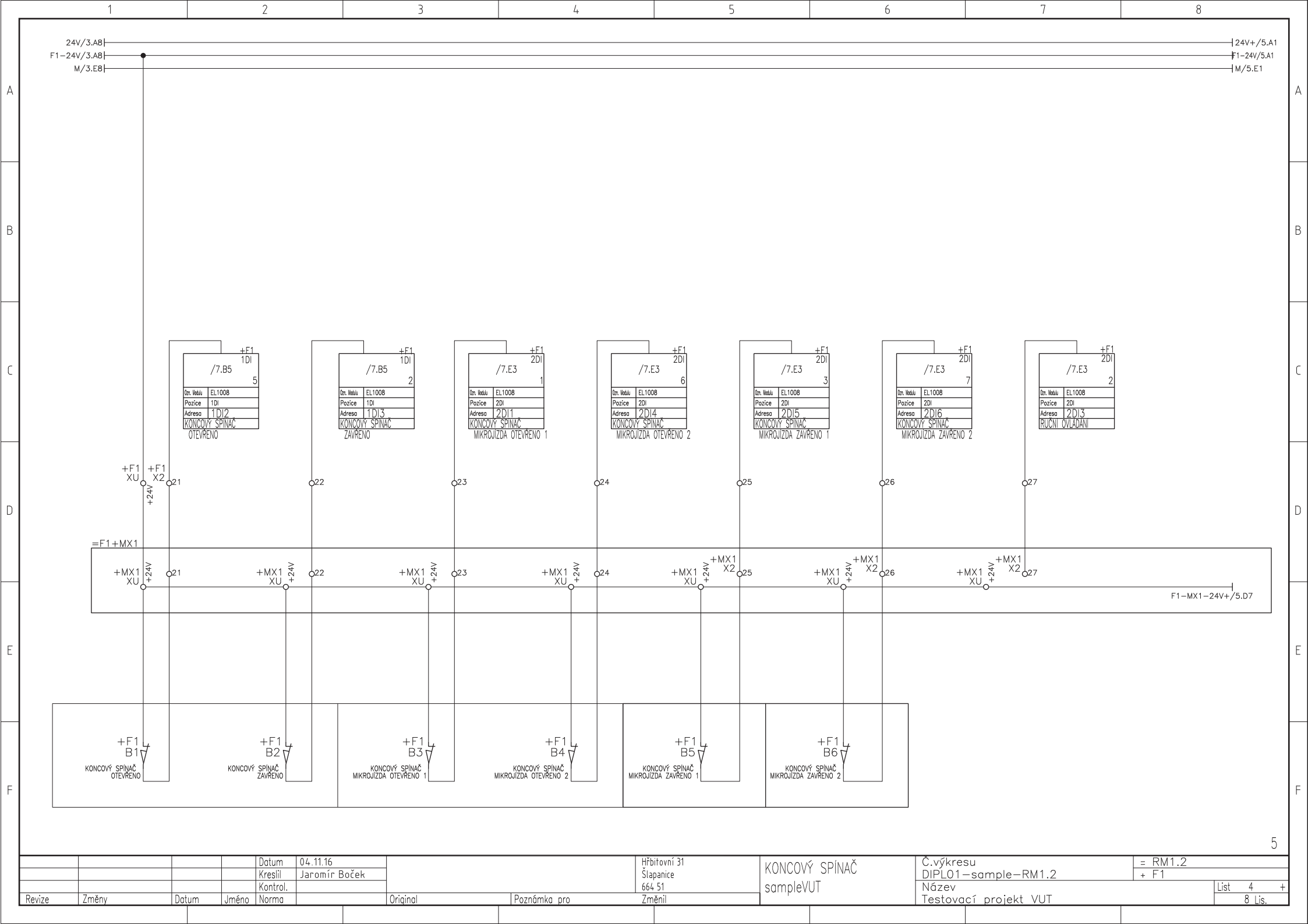
|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| Název       | Testovací projekt VUT |
| Č.zakázky   | ID:115452             |
| Č.výkresu   | DIPL01-sample-RM1.2   |
| Kreslil     | Jaromír Boček         |
| Datum       | 04.11.16              |
| Počet listů | 8                     |

|        |       |       |       |          |               |          |              |              |              |                       |         |        |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|---------|--------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          |              | Hřbitovní 31 | TITULNÍ LIST | Č.výkresu             | = RM1.2 |        |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          |              | Slapanice    | sampleVUT    | DIPL01-sample-RM1.2   | + -     |        |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          |              | 664 51       |              | Název                 | List    | 0 +    |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil       |              | Testovací projekt VUT |         | 8 Lis. |

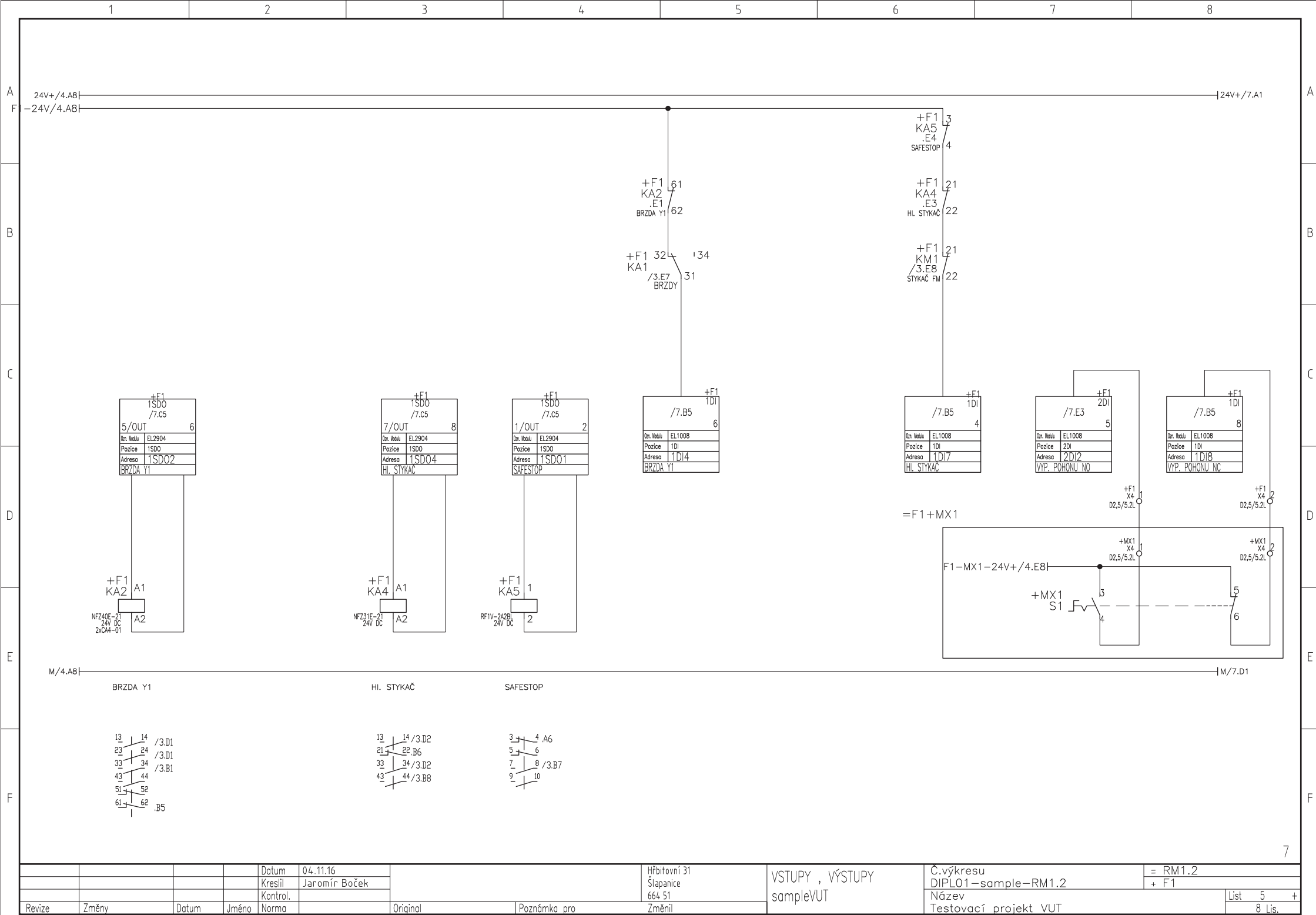




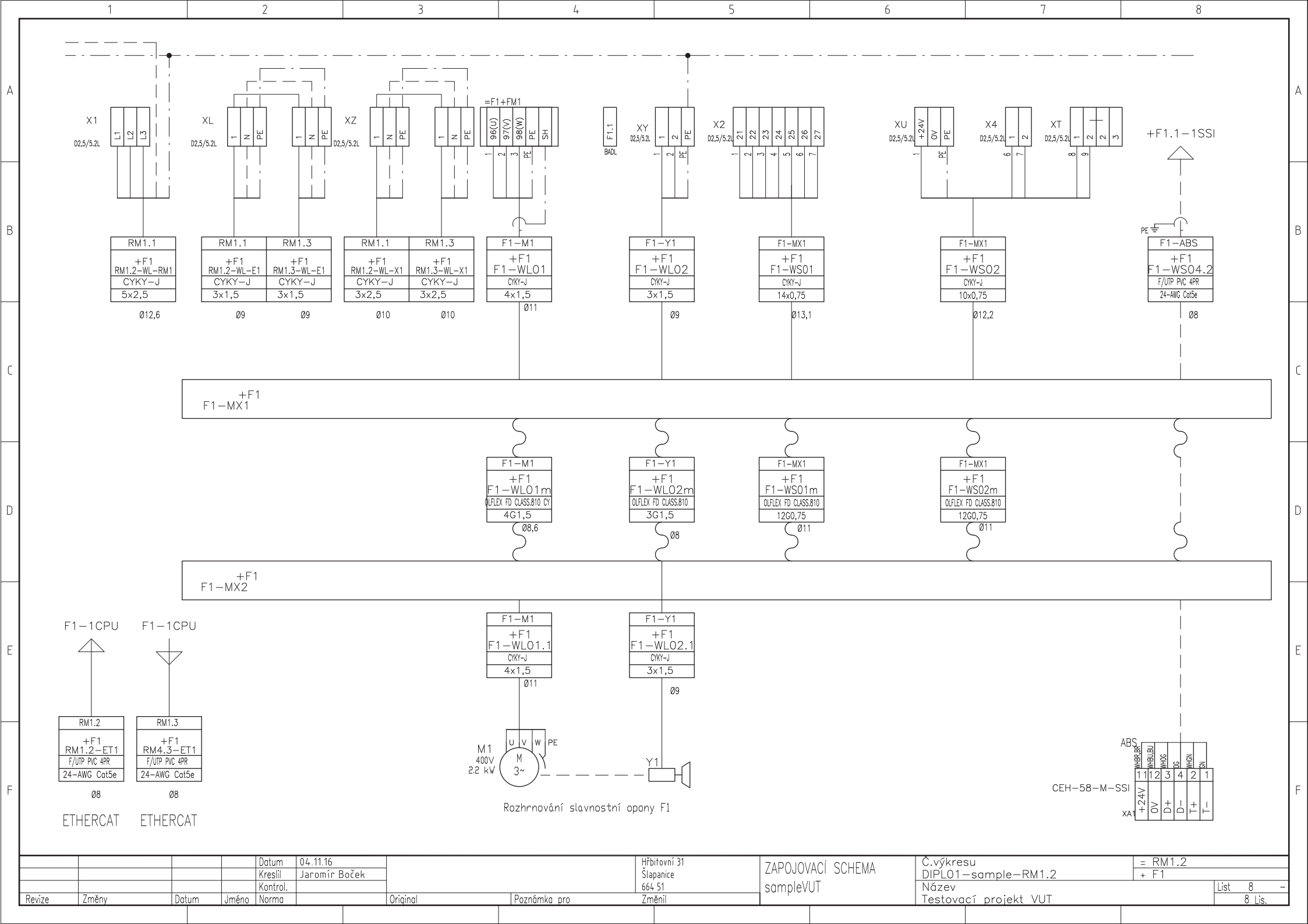








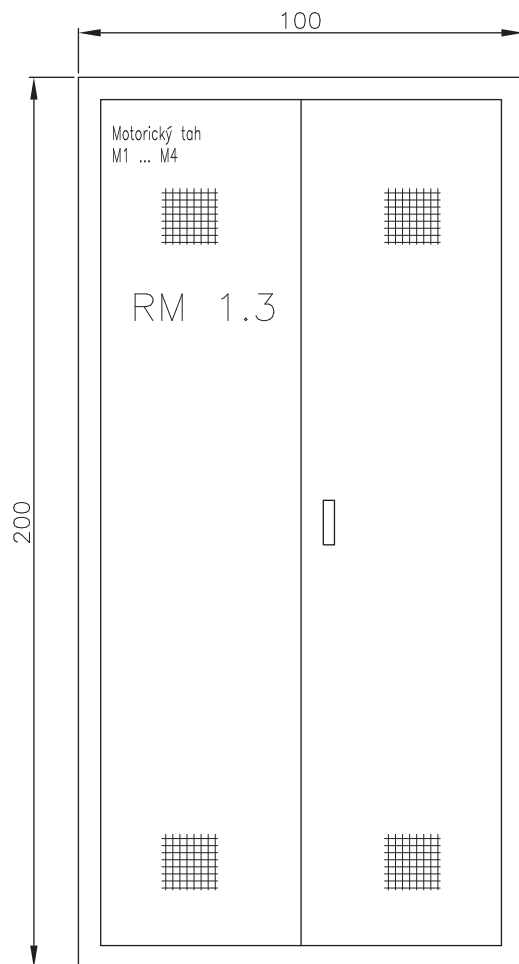




|        |       |       |       |          |               |          |              |                   |                       |          |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|-------------------|-----------------------|----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | ZAPOJOVACÍ SCHEMA | Č.výkresu             | = RM1.2  |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Slapanice    | sampleVUT         | DIPLO1-sample-RM1.2   | + F1     |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |                   | Název                 | List 8 - |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil            | Testovací projekt VUT | 8 Lis.   |

Instalace : RM1.3

|             |                       |
|-------------|-----------------------|
| Název       | Testovací projekt VUT |
| Č.zakázky   | ID:115452             |
| Č.výkresu   | DIPL01-sample-RM1.3   |
| Kreslil     | Jaromír Boček         |
| Datum       | 04.11.16              |
| Počet listů | 23                    |



|                    | BARVA VODIČŮ   | PRŮŘEZ     | BARVA VODIČŮ | WH |
|--------------------|----------------|------------|--------------|----|
| FÁZE AC            | ČERNÁ          |            | BÍLÁ         | WH |
| N                  | MODRÁ          |            | MODRÁ        | BU |
| PE                 | ZELENÁ / ŽLUTÁ |            | ORANŽOVÁ     | OG |
| OVLÁDÁNÍ 230V AC   | ČERVENÁ        | Ø 1,5 mm²  | HNĚDÁ        | BN |
| OVLÁDÁNÍ 24V AC    | –              | Ø 0,75 mm² | ZELENÁ       | GN |
| OVLÁDÁNÍ 24V DC L+ | MODRÁ          | Ø 0,75 mm² |              |    |
| OVLÁDÁNÍ 24V DC L– | MODRÁ          | Ø 0,75 mm² |              |    |
| MĚŘENÉ SIGNÁLY     | BÍLÁ           | Ø 0,75 mm² |              |    |
| VNĚJŠÍ NAPÁJENÍ    | ORANŽOVÁ       | Ø 0,75 mm² |              |    |
| BRZDY 205V DC      | ŠEDÁ           | Ø 0,75 mm² |              |    |

|                           |                          |  |
|---------------------------|--------------------------|--|
| EL.DATA:                  |                          |  |
| NAPĚTOVÁ SÍŤ :            | TNS, 3NPE 400/230V, 50Hz |  |
| OVLÁDACÍ NAPĚTÍ :         | 24V DC- PELV             |  |
| INSTALOVANÝ VÝKON         | 35,6 kW                  |  |
| INSTALOVANÝ PROUD         | 32 A                     |  |
| HL. VYPÍNAČ               | 32A                      |  |
| STANOVENÉ PRACOVNÍ NAPĚTÍ | 400 V                    |  |
| STANOVENÉ IZOLAČNÍ NAPĚTÍ | 500 V                    |  |
| ZKRATOVÝ PROUD            | 10kA                     |  |
| TEPLOTA PROSTŘEDÍ         | +5...+35 °C              |  |
|                           |                          |  |
|                           |                          |  |
|                           |                          |  |

|                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| TYP :                         | S 55 10 20 04     |
| KRYTÍ IP (UZAVRENÝ/OTEVŘENÝ): | IP55/IP20         |
| ROZMĚRY (š/v/hl) mm:          | 1000/2000/400     |
| ZÁVĚSY :                      | VLEVO             |
| NÁTER :                       | RAL 7032          |
| OBSLUHA :                     | PRACOVNÍK POUČENÝ |
| KABELOVÉ PŘÍVODY / VÝVODY :   | SPODEM            |
| BOČNICE :                     | ANO               |
| BOČNICE UMÍSTĚNÍ :            | VPRÁVO            |
| MONTÁŽNÍ PANEĽ :              | ANO               |

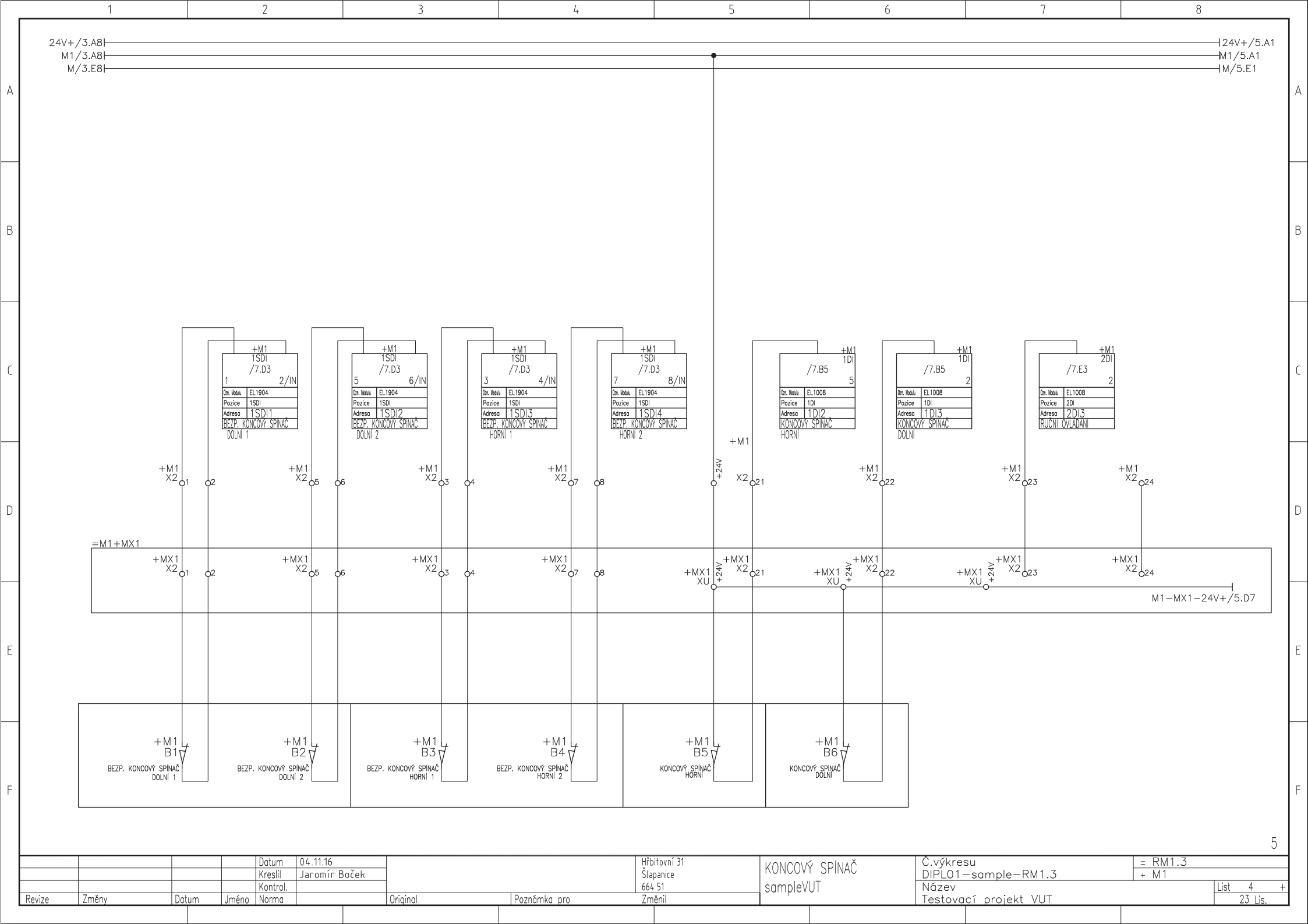
|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| NAPĚŤOVÁ SÍŤ :                             | TNC-S, 3NPE 400/230V, 50Hz       |
| OVLÁDACÍ NAPĚTÍ :                          | 24V DC- PELV                     |
| OCHRANA PŘED NEB. DOTYKEM NEŽIVÝCH ČÁSTÍ : | AUTOMATICKÝM ODPOJENÍM OD ZDROJE |
| ŽIVÝCH OCHRANA :                           | FIDELITICKÝM ODPOJENÍM OBVODŮ    |

|        |       |       |       |          |               |          |              |              |                              |                       |         |         |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|--------------|------------------------------|-----------------------|---------|---------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          |              | Hřbitovní 31 | TECHNICKÝ POPIS<br>sampleVUT | Č.výkresu             | = RM1.3 |         |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          |              | Šlapanice    |                              | DIPLO1-sample-RM1.3   | + -     |         |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          |              | 664 51       |                              | Název                 |         | List 1  |
| Revize | Změny | Datum | Jméno |          |               | Original | Poznámka pro | Změnil       |                              | Testovací projekt VUT |         | 23 lis. |

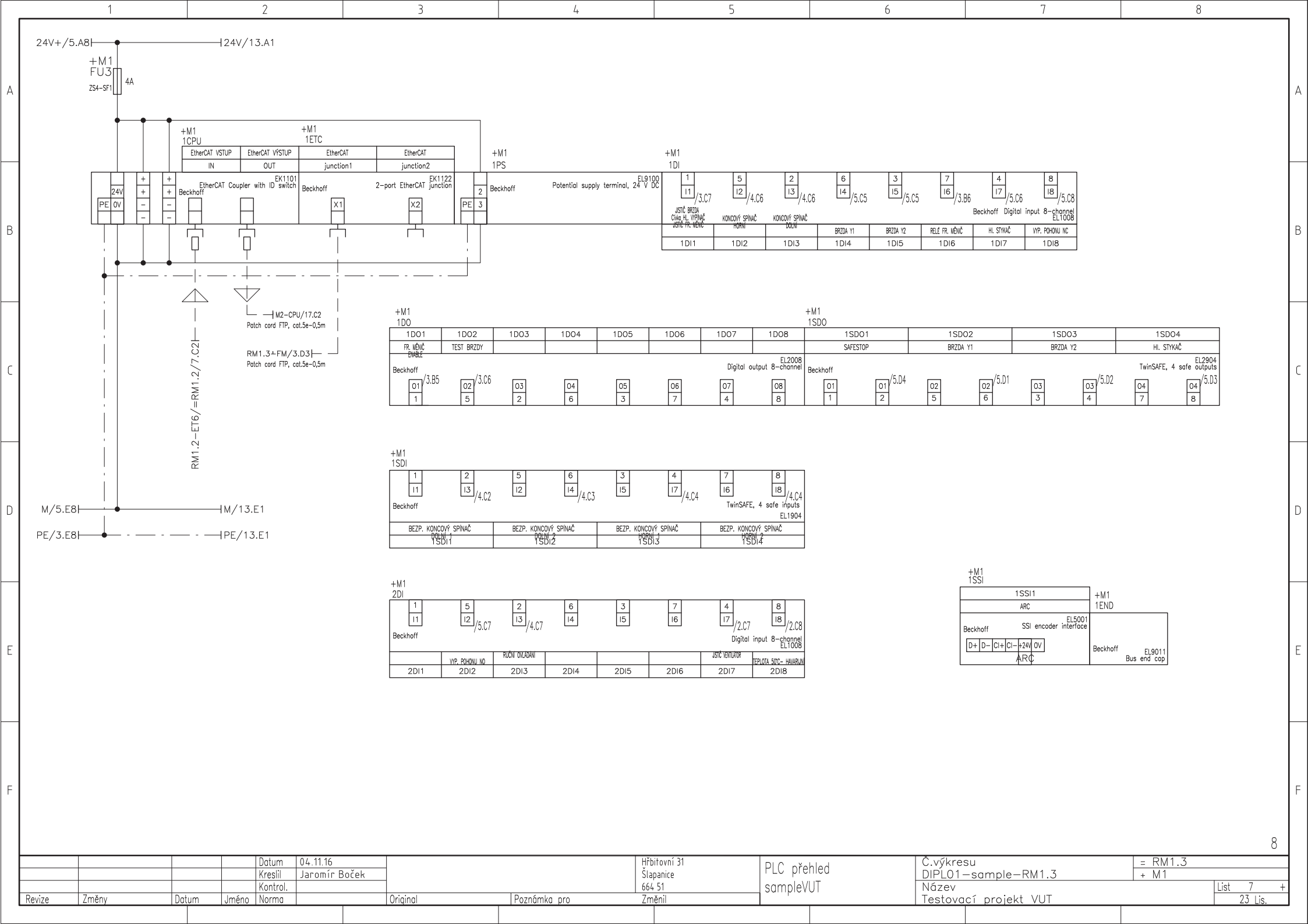






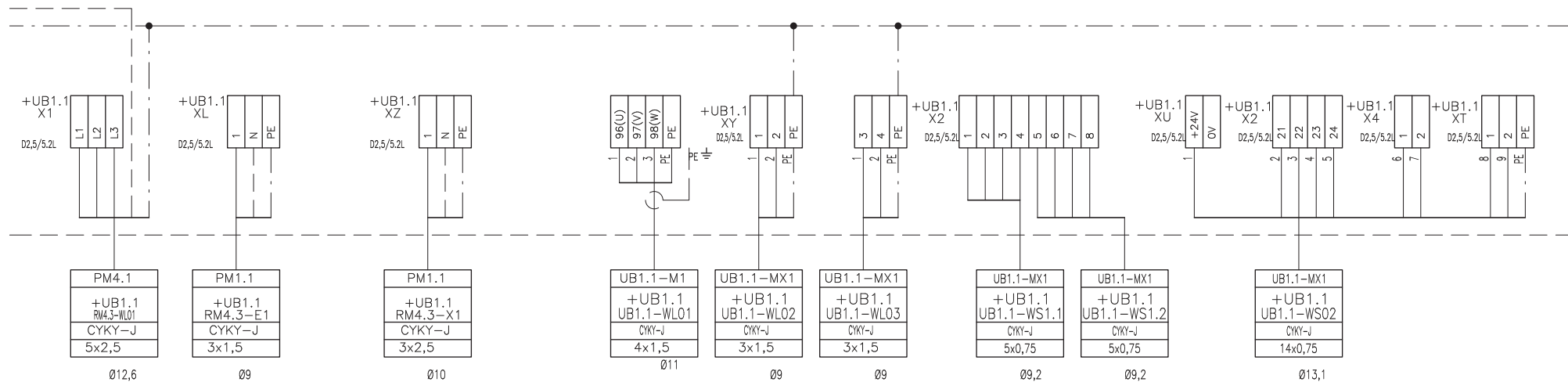




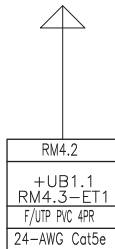


|        |       |       |       |          |               |          |              |              |  |             |                       |          |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|--------------|--|-------------|-----------------------|----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          |              | Hřbitovní 31 |  | PLC přehled | Č.výkresu             | = RM1.3  |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          |              | Šlapanice    |  | sampleVUT   | DIPLO1-sample-RM1.3   | + M1     |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          |              | 664 51       |  |             | Název                 | List 7 + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil       |  |             | Testovací projekt VUT | 23 Lis.  |

=RM1.3+M1



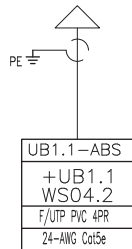
M3-1CPU



Ø8

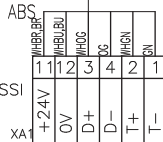
ETHERCAT

+M1-1SSI

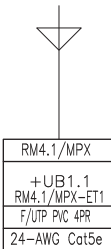


Ø8

CEH-58-M-SSI



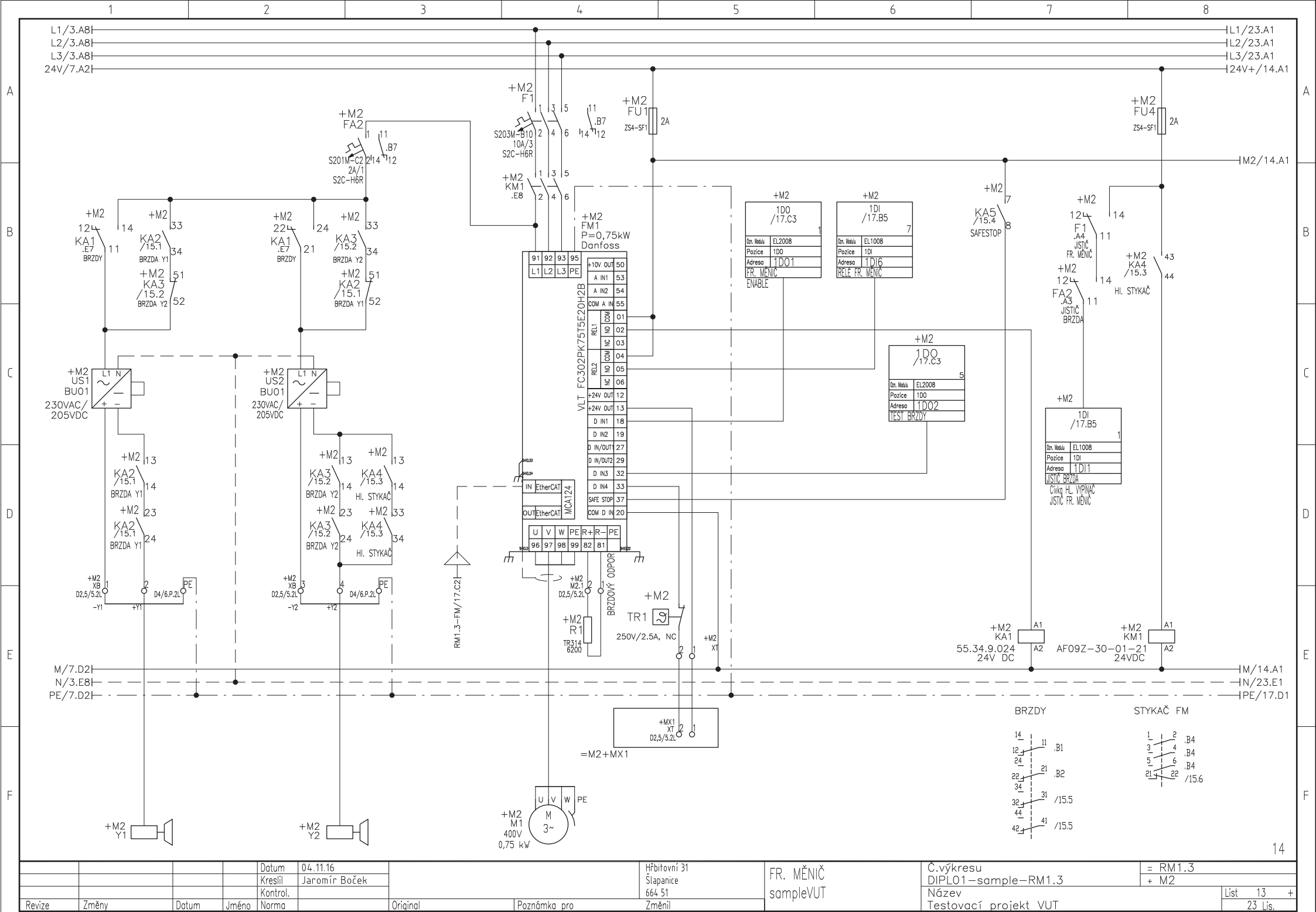
M3-1CPU



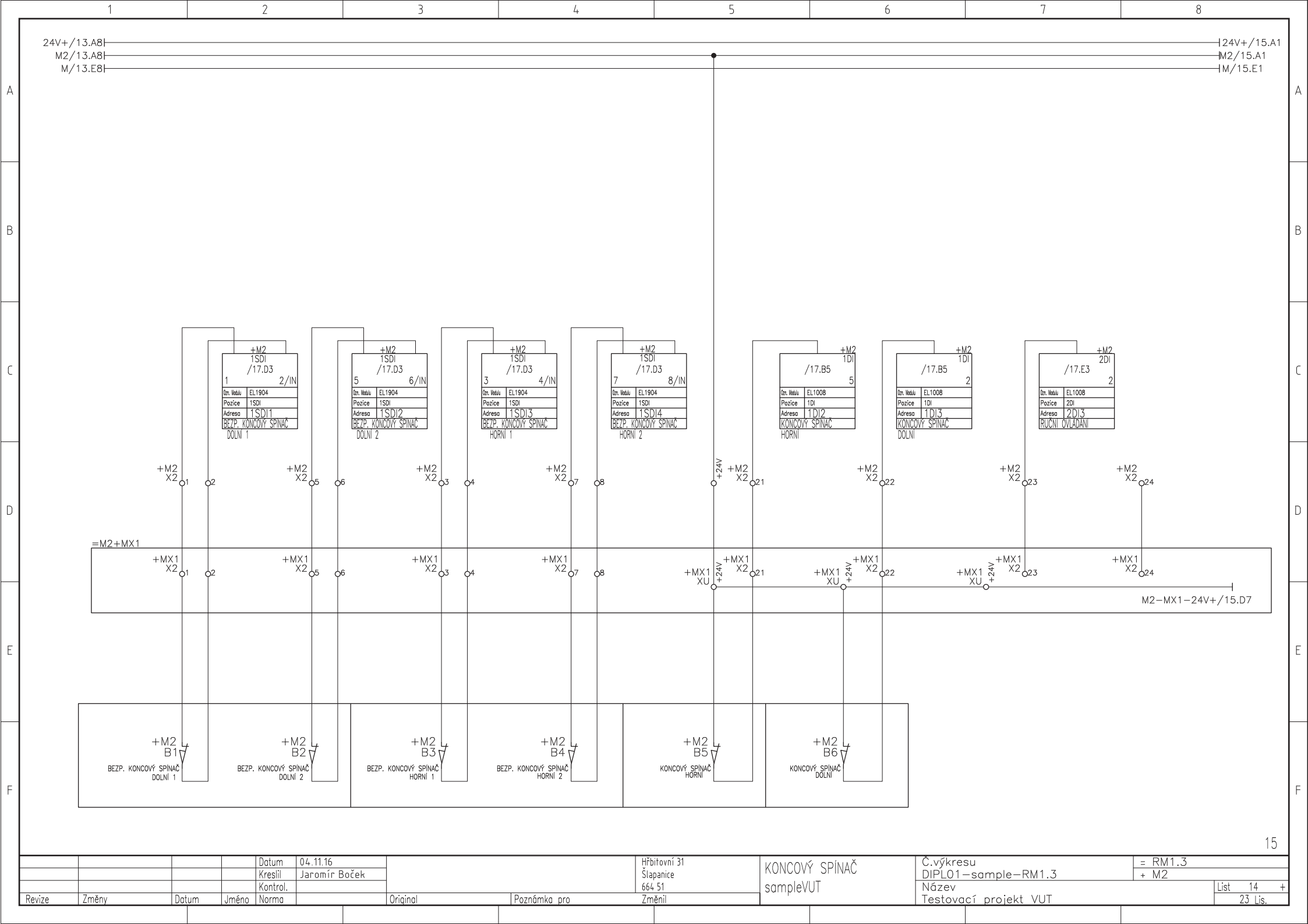
Ø8

ETHERCAT

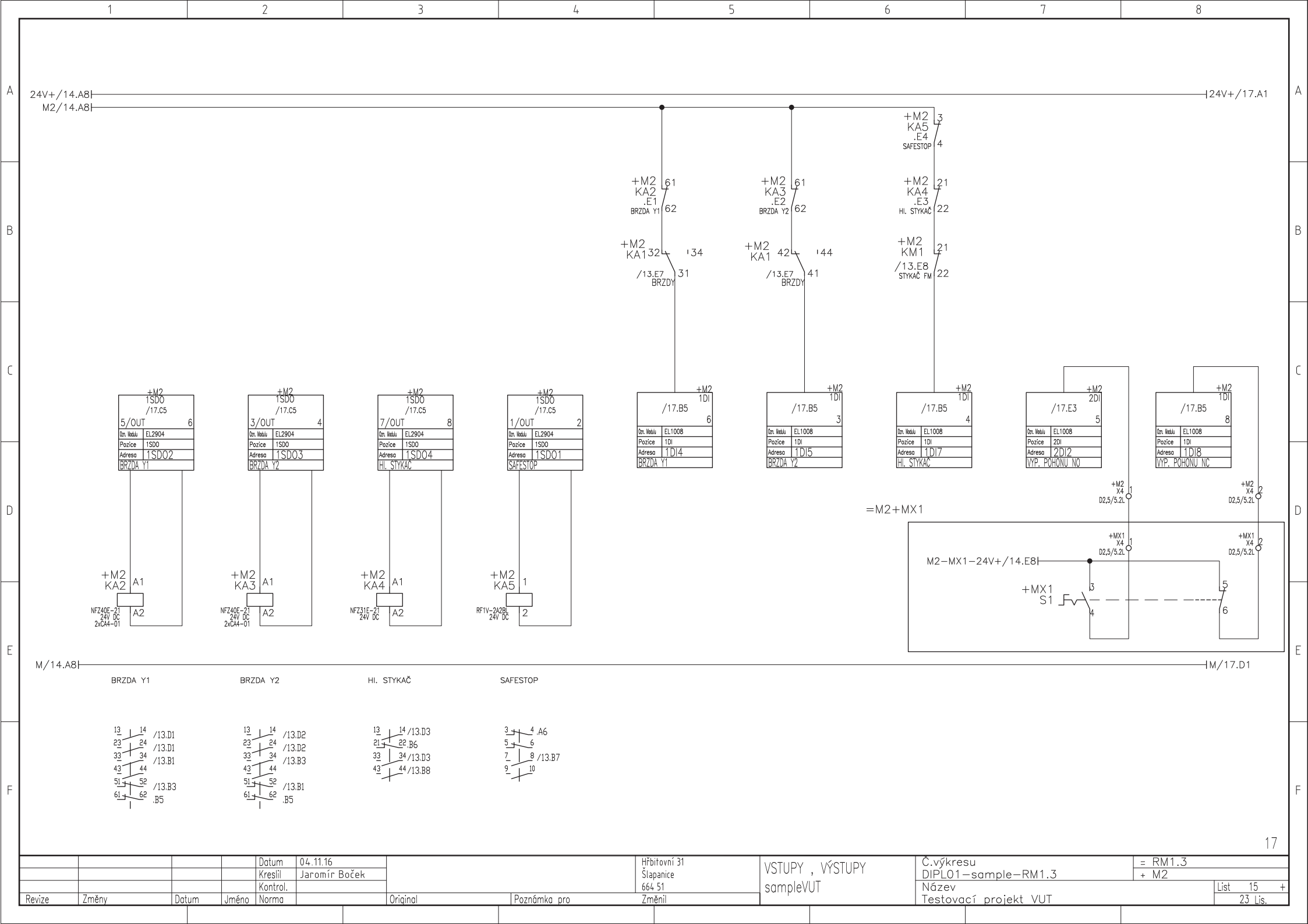
|        |       |       |       |          |               |          |              |                   |                       |          |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|-------------------|-----------------------|----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | ZAPOJOVACÍ SCHEMA | Č.výkresu             | = RM1.3  |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Slápanice    | sampleVUT         | DIPLO1-sample-RM1.3   | + M1     |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |                   | Název                 | List 8 + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil            | Testovací projekt VUT | 23 Lis.  |



|        |       |       |       |          |               |          |                                     |                        |                                  |         |    |      |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|-------------------------------------|------------------------|----------------------------------|---------|----|------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31<br>Šlapanice<br>664 51 | FR. MĚNIČ<br>sampleVUT | Č.výkresu<br>DIPLO1-sample-RM1.3 | = RM1.3 |    |      |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          |                                     |                        |                                  | + M2    |    |      |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          |                                     |                        |                                  |         |    |      |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro                        | Změnil                 | Název<br>Testovací projekt VUT   | List    | 13 | +    |
|        |       |       |       |          |               |          |                                     |                        |                                  |         | 23 | Lis. |

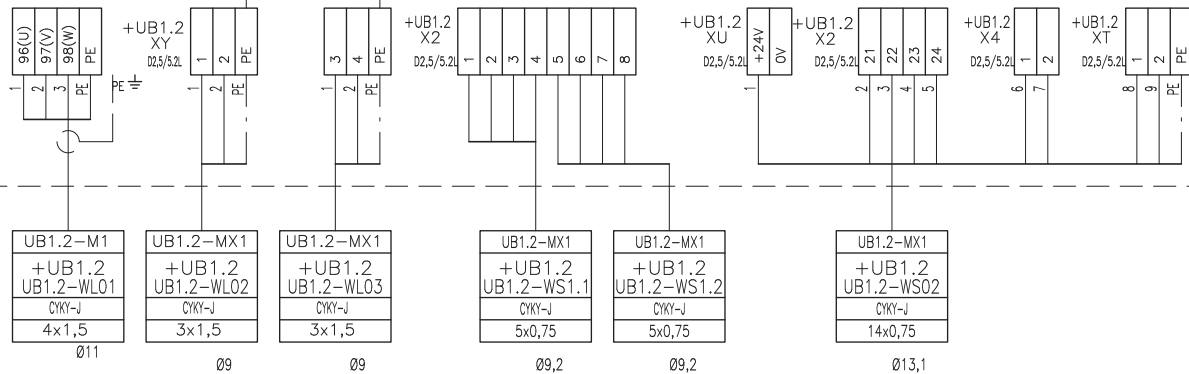
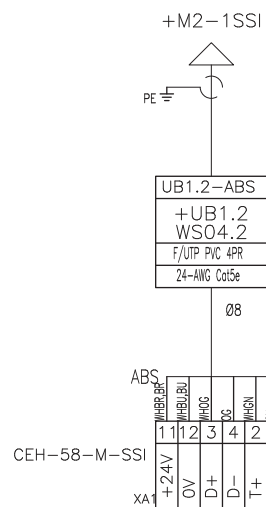




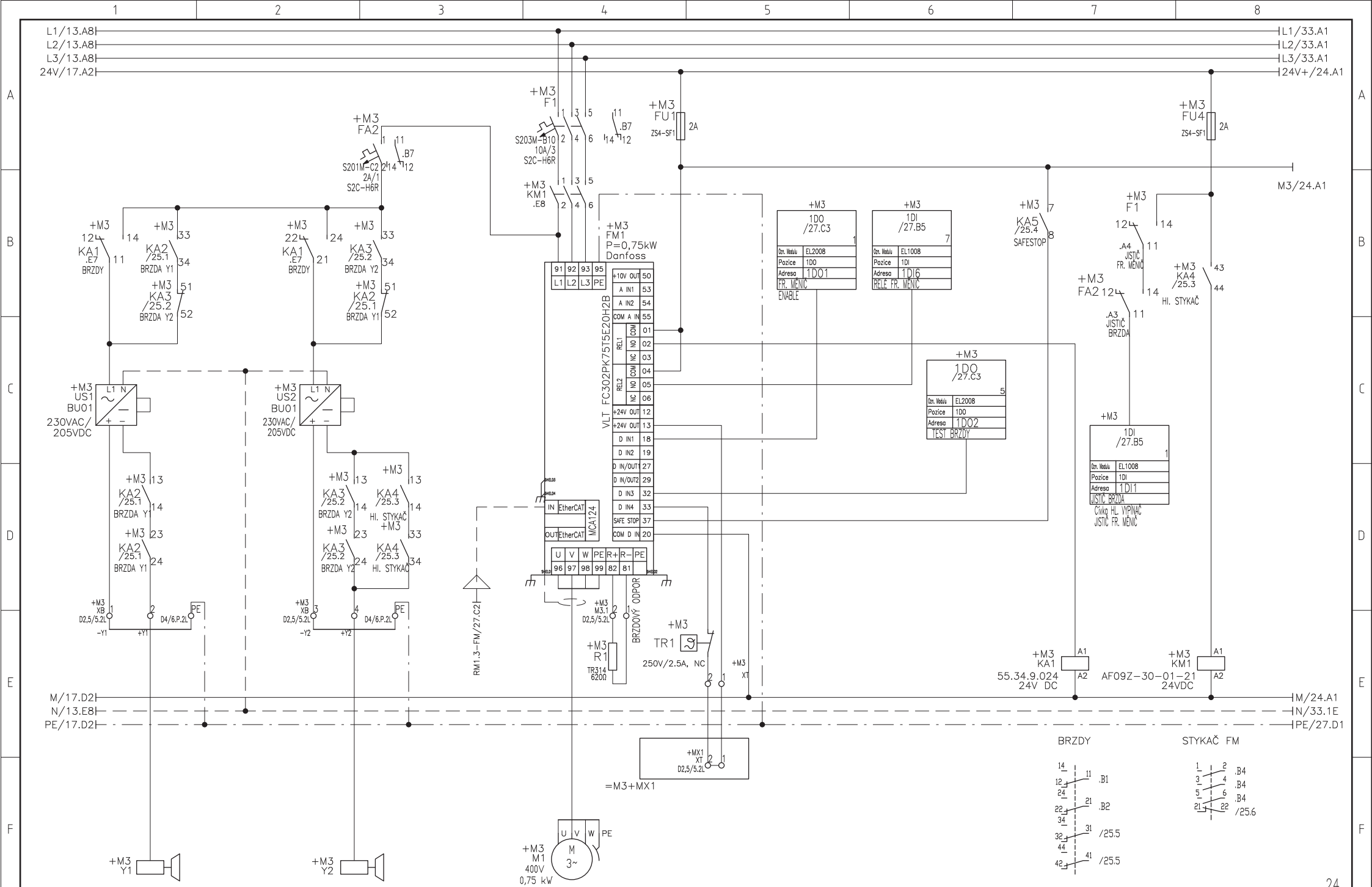




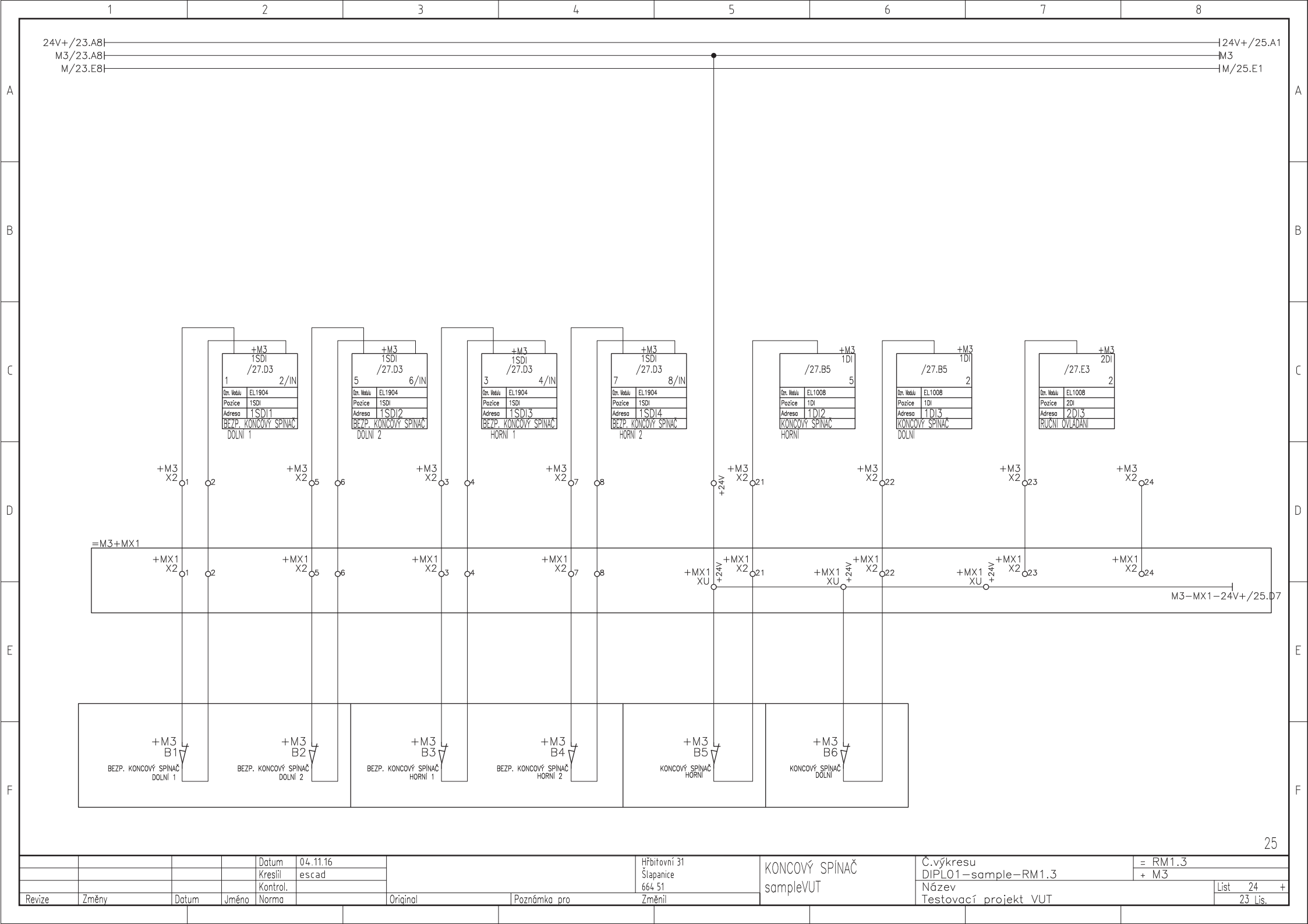
=RM1.3+M2

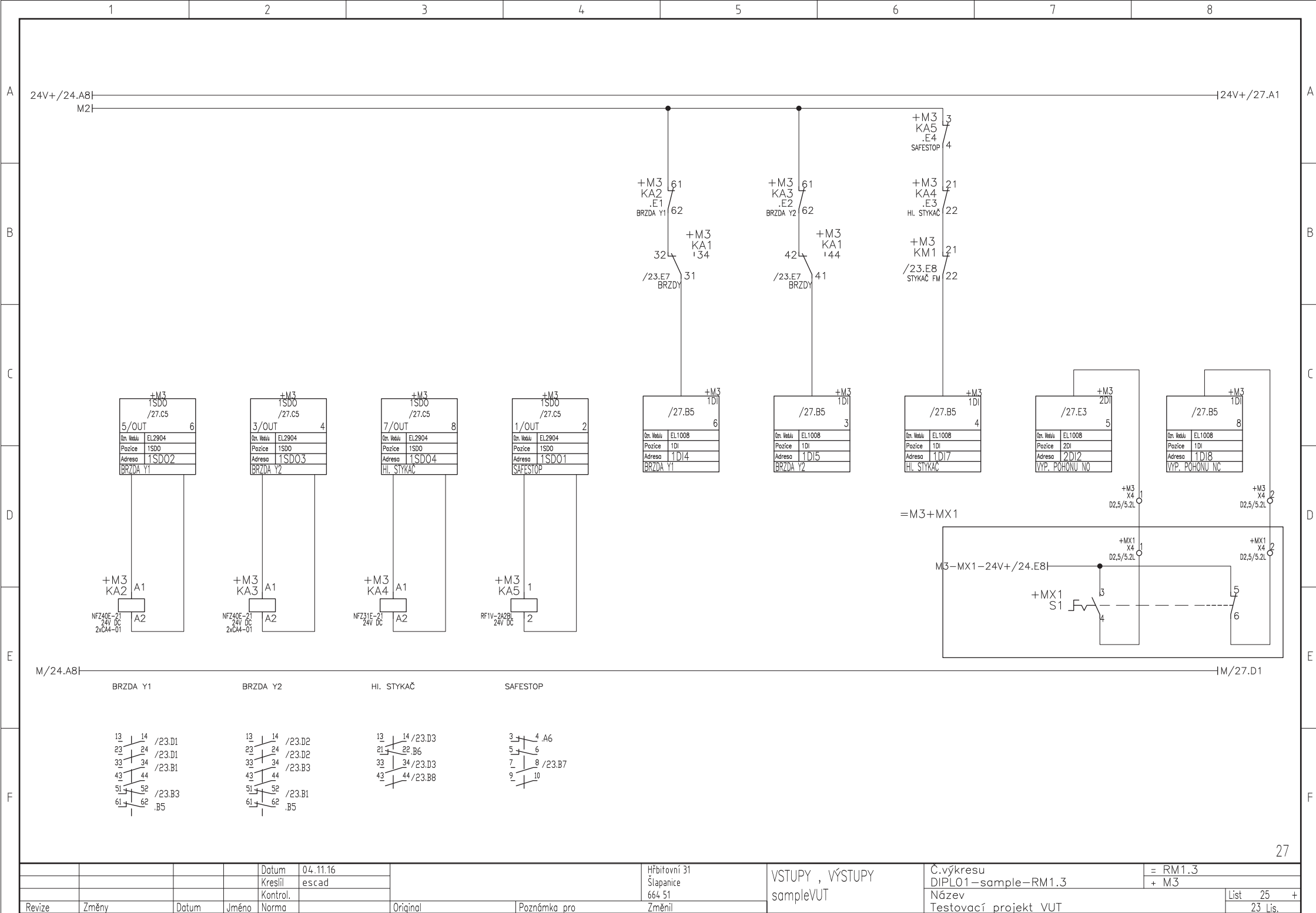


|        |       |       |       |          |               |          |              |                   |                       |         |   |
|--------|-------|-------|-------|----------|---------------|----------|--------------|-------------------|-----------------------|---------|---|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16      |          | Hřbitovní 31 | ZAPOJOVACÍ SCHEMA | Č.výkresu             | = RM1.3 |   |
|        |       |       |       | Kreslil  | Jaromír Boček |          | Slapanice    | sampleVUT         | DIPLO1-sample-RM1.3   | + M2    |   |
|        |       |       |       | Kontrol. |               |          | 664 51       |                   | Název                 | List 18 | + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |               | Original | Poznámka pro | Změnil            | Testovací projekt VUT | 23 Lis. |   |



|          |          |              |              |                       |           |
|----------|----------|--------------|--------------|-----------------------|-----------|
| Datum    | 04.11.16 | Hřbitovní 31 | FR. MĚNÍC    | Č.výkresu             | = RM1.3   |
| Kreslil  | escad    | Slapanice    | sampleVUT    | DIPLO1-sample-RM1.3   | + M3      |
| Kontrol. |          | 664 51       |              | Název                 | List 23 + |
| Revize   | Změny    | Original     | Poznámka pro | Testovací projekt VUT | 23 Lis.   |

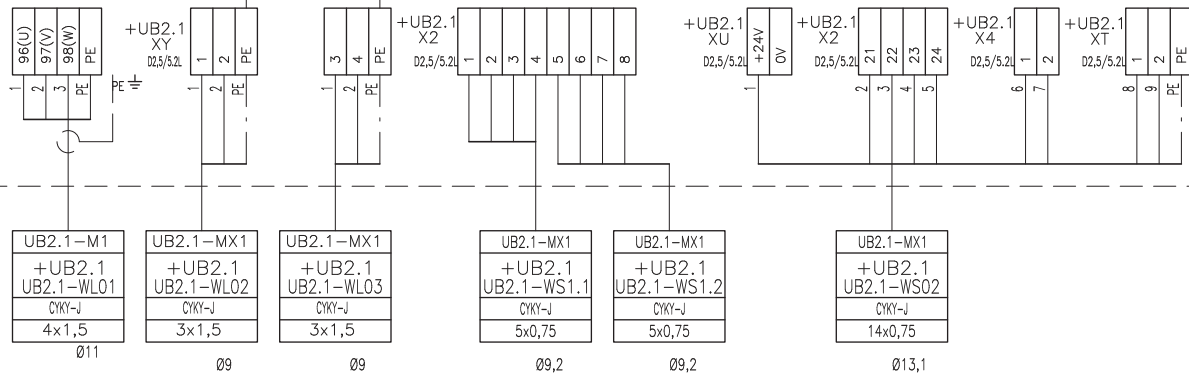
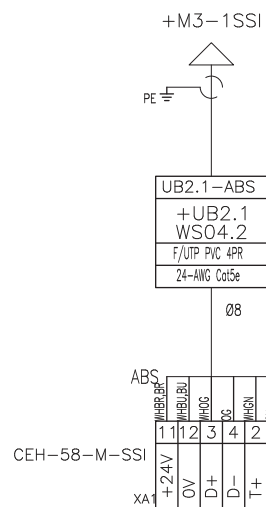




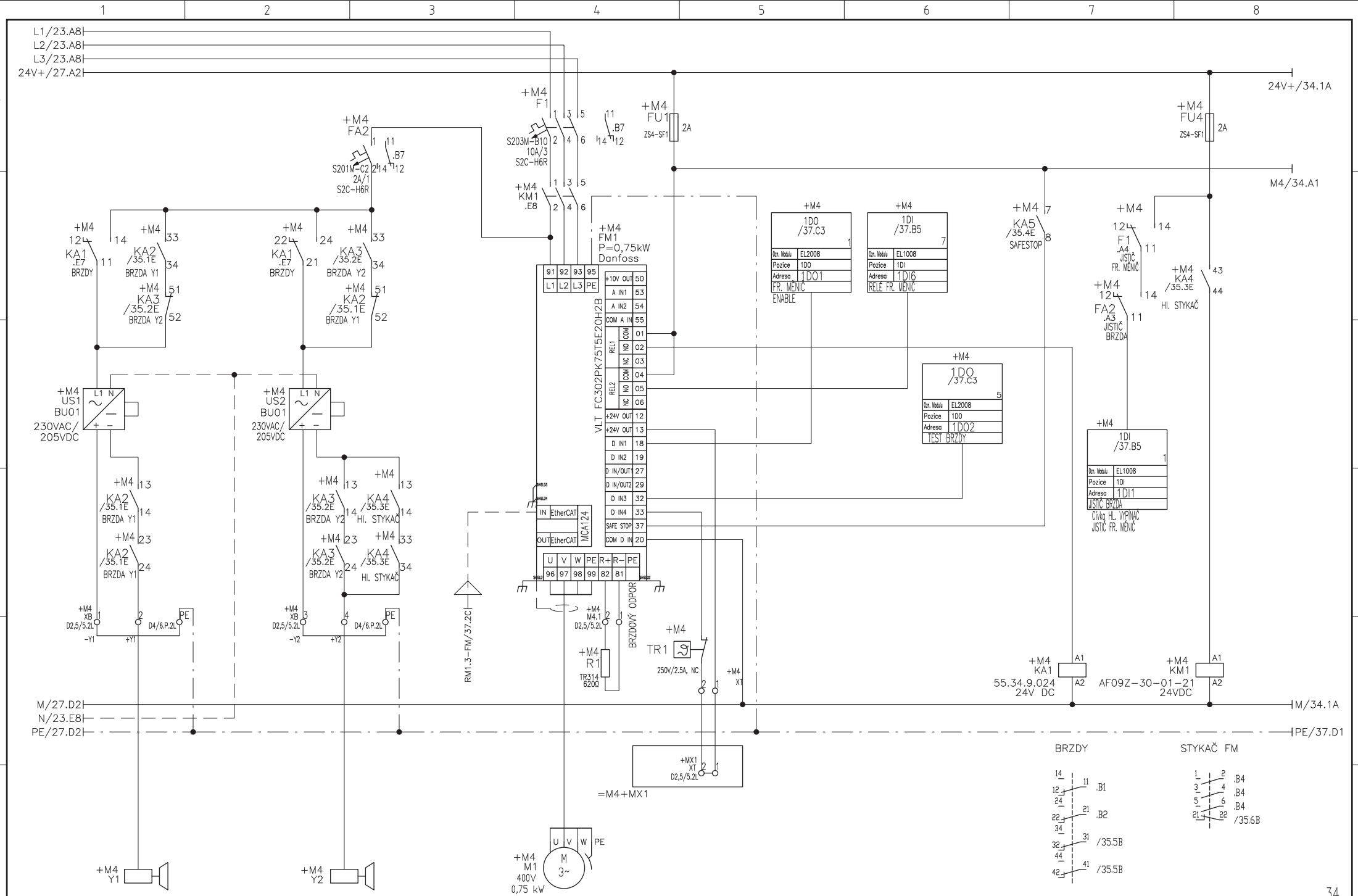




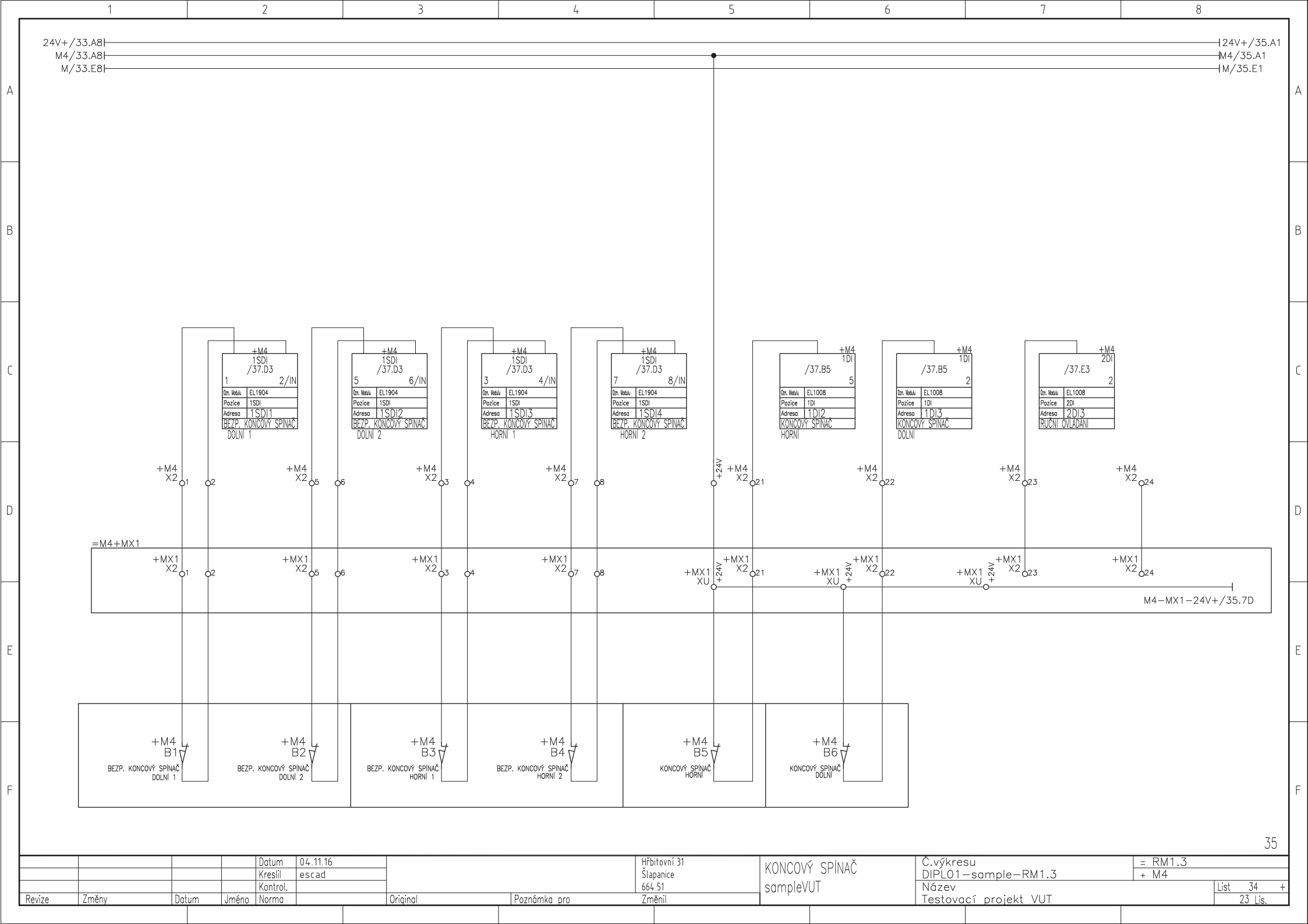
=RM1.3+M3



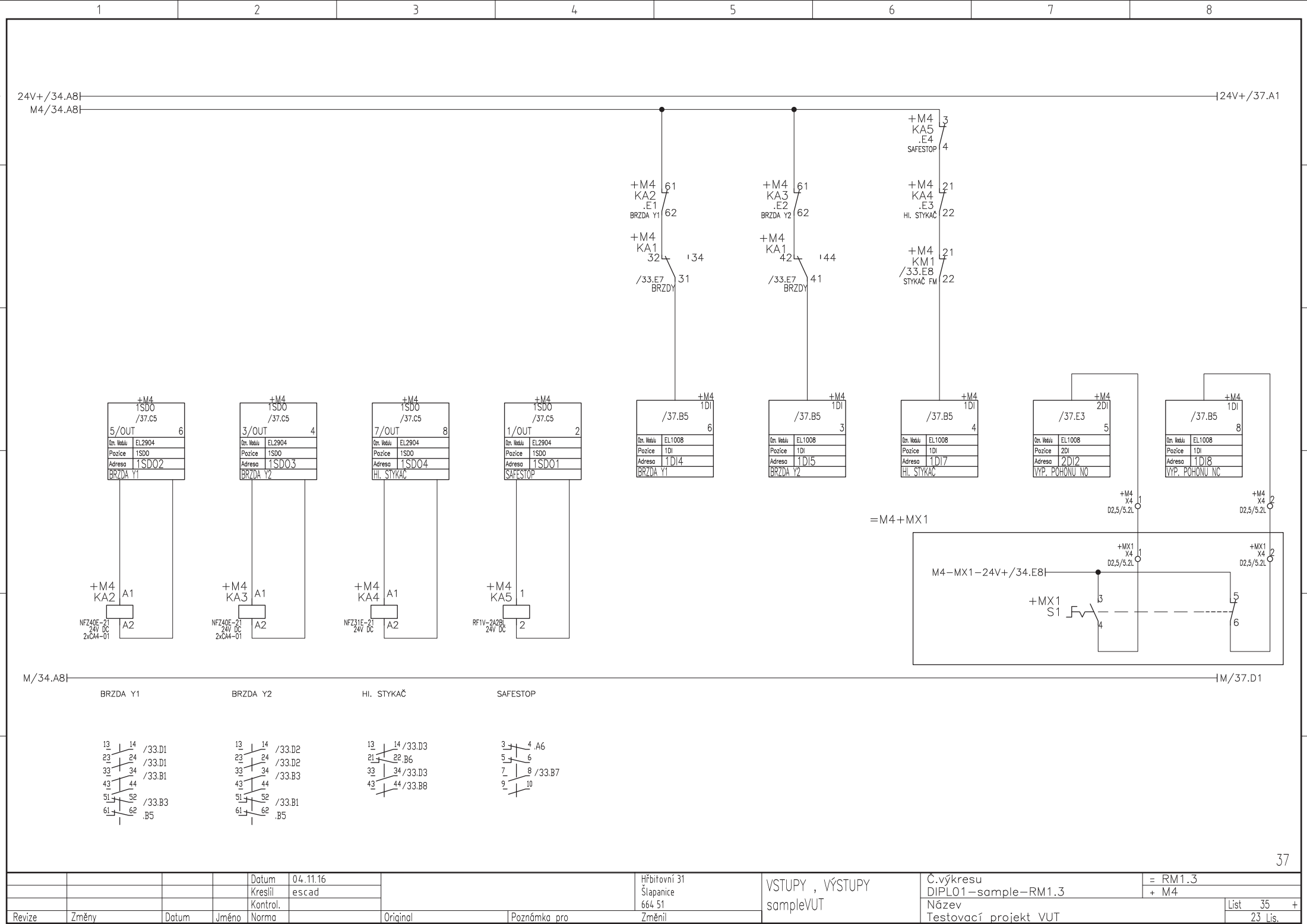
|        |       |       |       |          |          |          |              |                   |                       |           |
|--------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|--------------|-------------------|-----------------------|-----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16 |          | Hřbitovní 31 | ZAPOJOVACÍ SCHEMA | Č.výkresu             | = RM1.3   |
|        |       |       |       | Kreslil  | escad    |          | Slapanice    | sampleVUT         | DIPLO1-sample-RM1.3   | + M3      |
|        |       |       |       | Kontrol. |          |          | 664 51       |                   | Název                 | List 28 + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |          | Original | Poznámka pro | Změnil            | Testovací projekt VUT | 23 Lis.   |



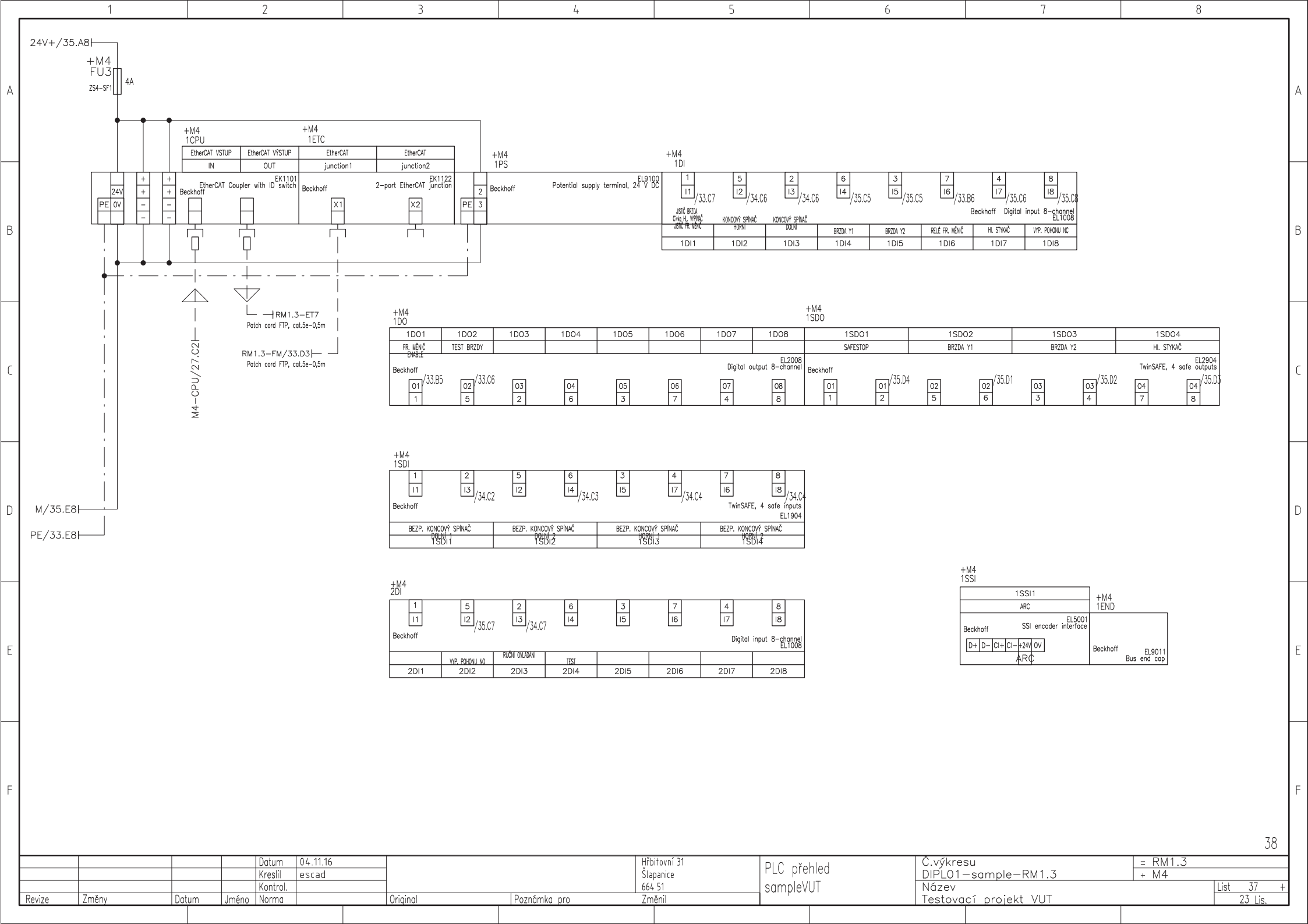
|                |  |  |  |              |  |              |  |                       |  |         |  |
|----------------|--|--|--|--------------|--|--------------|--|-----------------------|--|---------|--|
| Datum 04.11.16 |  |  |  | Hřbitovní 31 |  | FR. MĚNIČ    |  | Č.výkresu             |  | = RM1.3 |  |
| Kreslil escad  |  |  |  | Slapanice    |  | sampleVUT    |  | DIPLO1-sample-RM1.3   |  | + M4    |  |
| Kontrol.       |  |  |  | 664 51       |  |              |  | Název                 |  | List 33 |  |
| Revize         |  |  |  | Original     |  | Poznámka pro |  | Testovací projekt VUT |  | 23 Lis. |  |
| Jméno          |  |  |  | Změnil       |  |              |  |                       |  |         |  |
| Datum          |  |  |  |              |  |              |  |                       |  |         |  |



|        |       |       |       |          |          |          |              |                |                       |           |
|--------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|--------------|----------------|-----------------------|-----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16 |          | Hřbitovní 31 | KONCOVÝ SPÍNAČ | Č.výkresu             | = RM1.3   |
|        |       |       |       | Kreslil  | escad    |          | Šlapanice    | sampleVUT      | DIPLO1-sample-RM1.3   | + M4      |
|        |       |       |       | Kontrol. |          |          | 664 51       |                | Název                 | List 34 + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |          | Original | Poznámka pro | Změnil         | Testovací projekt VUT | 23 Lis.   |

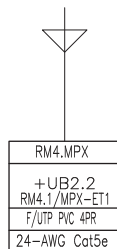


|        |       |       |       |          |          |          |              |                  |                       |         |           |
|--------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|--------------|------------------|-----------------------|---------|-----------|
|        |       |       |       | Datum    | 04.11.16 |          | Hřbitovní 31 | VSTUPY , VÝSTUPY | Č.výkresu             | = RM1.3 |           |
|        |       |       |       | Kreslil  | escad    |          | Šlapanice    | sampleVUT        | DIPLO1-sample-RM1.3   | + M4    |           |
|        |       |       |       | Kontrol. |          |          | 664 51       |                  | Název                 |         | List 35 + |
| Revize | Změny | Datum | Jméno | Norma    |          | Original | Poznámka pro | Změnil           | Testovací projekt VUT |         | 23 Lis.   |



=RM1.3+M4

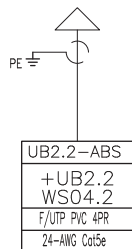
M4-1CPU



Ø8

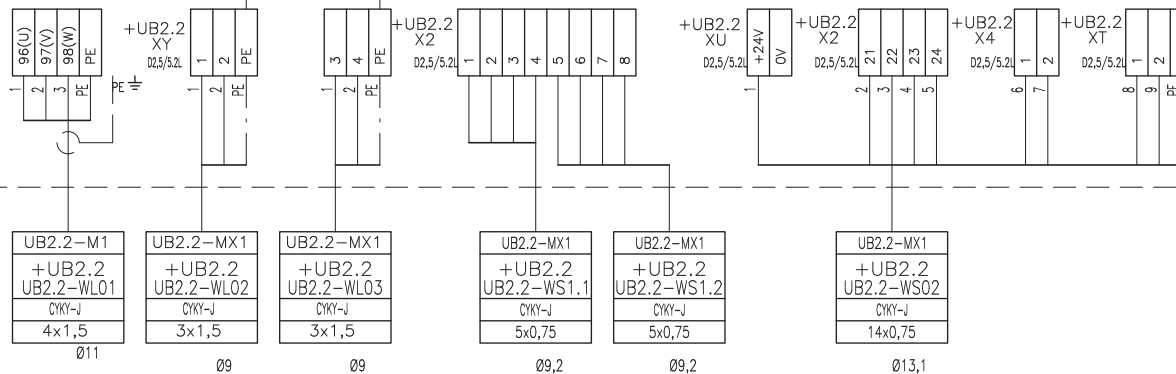
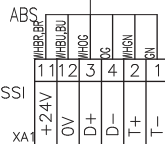
ETHERCAT

+M4-1SSI



Ø8

CEH-58-M-SSI



Datum 04.11.16

Kreslil escad

Kontrol.

Norma

Original

Poznámka pro

Hřbitovní 31

Slapanice

664 51

Změnil

ZAPOJOVACÍ SCHEMA  
sampleVUT

Č.výkresu  
DIPLO1-sample-RM1.3

Název

Testovací projekt VUT

= RM1.3

+ M4

List 38

23 Lis.