

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Návrh systému řízení pohonů ventilátorů chladičů plynu
pro udržování konstantní teploty vtláčeného plynu na PZP
Dolní Dunajovice.**

vedoucí práce: Ing. Karel Hruška, Ph.D.
autor: Bc. Michal Kaiser

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh řízení chlazení vtačovaného plynu do podzemního zásobníku plynu v Dolních Dunajovicích. Práce je zaměřena na rekonstrukci systému řízení spínání motorů chlazení a celkovou inovaci systému s ohledem na nové požadavky. Důležité je zachování plynulé a bezpečné dodávky zemního plynu do přepravní tranzitní soustavy.

Klíčová slova

Podzemní zásobník plynu, oteplení plynu, návrh řízení, návrh chlazení.

Abstract

This study is focused on a proposal of control system for cooling compressed gas underground gas storage facility in local of Dolní Dunajovice. The Work is focused on the reconstruction of the control system of motor, cooling and overall innovation of system with regard to new requirements. It is important to maintain continuous and secure supply of natural into the transmission transit system.

Key words

Underground gas storage, warming gas, control system, control cooling.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 12.5.2016

Jméno příjmení

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Gricovi a Ing. Karlu Hruškovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

1	ÚVOD	8
2	SOUČASNÝ STAV ZAŘÍZENÍ	13
2.1	ŠTÍTKOVÉ ÚDAJE SYNCHRONNÍCH POHONŮ	13
2.2	POPIS CHLADIČŮ PLYNU A VODY	14
2.3	POPIS VENTILÁTORŮ A ROZBĚHU	16
2.3.1	<i>Tyristorové regulátory pro plynulý rozběh motorů</i>	18
2.3.2	<i>Měření maximálních rozběhových proudů motorů ventilátorů</i>	18
2.3.3	<i>Regulace teploty plynu a chladicí vody</i>	19
3	NÁVRH ŘEŠENÍ	20
3.1	POPIS ROZVÁDĚČOVÉ SKŘÍŇE	21
3.1.1	<i>Vybavení skříně</i>	21
3.1.2	<i>Elektrické zapojení skříně</i>	22
3.2	SESTAVA ŘÍDÍČÍHO SYSTÉMU	22
3.3	ZÁKLADNÍ INFORMACE O ŘÍDÍČÍM PLC	23
3.4	ODDĚLOVACÍ RELÉ	27
3.5	SOFTSTARTÉR	27
3.6	FREKVENČNÍ MĚNIČ	27
3.7	NÁVAZNOST NA STÁVAJÍCÍ ZAŘÍZENÍ	27
3.8	OVLÁDÁNÍ	28
–	VIZUALIZACE PROVOZNÍCH STAVŮ	29
3.9	UMÍSTĚNÍ ZAŘÍZENÍ A MONTÁŽ	29
4	NÁVRH ŘEŠENÍ CHLAZENÍ VE VYSOKÝCH TEPLOTÁCH	29
4.1	POSTUP VÝPOČTU HUSTOTY	29
4.2	POSTUP VÝPOČTU - MĚRNÉ TEPLO ZA KONSTANTNÍHO TLAKU	30
4.3	VÝPOČTY	30
4.4	VÝPOČET TEPLA VZNIKLÉHO PŘI KOMPRESI PLYNU	30
4.4.1	<i>Parametry zemního plynu při teplotě $t = 0^{\circ}\text{C}$ a tlaku $p = 100\text{ kPa}$</i>	31
4.5	VÝPOČET MNOŽSTVÍ TEPLA ODEBRANÉHO CHLADIČEM	32
5	NÁVRH ŘEŠENÍ	35
5.1	PRVNÍ VARIANTA – CHLAZENÍ CHLADÍČÍHO VZDUCHU	35
5.1.1	<i>Varianta 1a – použití klimatizační jednotky</i>	35
5.1.2	<i>Varianta 1b – použití chladiče (výměníku voda/vzduch)</i>	35
5.2	DRUHÁ VARIANTA – ADIABATICKÉ VLHČENÍ CHLADÍČÍHO VZDUCHU	35
5.3	TŘETÍ VARIANTA – CHLAZENÍ VODOU A NÁSLEDNÉ ODPAŘENÍ	36
5.3.1	<i>Vstupní parametry</i>	37
5.3.2	<i>Kontrola možnosti odpaření nastříkávané vody</i>	38
6	ZÁVĚR	38
6.1	PRVNÍ ŘEŠENÍ	38
6.1.1	<i>Výhody</i>	39
6.1.2	<i>Nevýhody</i>	39
6.2	DRUHÉ ŘEŠENÍ	39
6.2.1	<i>Výhody</i>	39
6.2.2	<i>Nevýhody</i>	40
6.3	TŘETÍ ŘEŠENÍ	40
6.3.1	<i>Výhody</i>	40
6.3.2	<i>Nevýhody</i>	40

6.4	DOPORUČENÍ:	41
7	PŘÍLOHY	41
8	POUŽITÁ LITERATURA	42

1 Úvod

Předkládaná diplomová práce vznikla v souvislosti s nově vyvstalými požadavky na chlazení chladícího plynu v pro podzemní zásobník plynu (dále jen PZP) Háje na Příbramsku. Obdobný problém je současně řešen též na PZP Dolní Dunajovice, kde bude přistoupeno k rekonstrukci vtláčečské soustavy a pro který je navrhováno pilotní řešení v rámci této práce, které by mělo být v mírné modifikaci dále nasazeno i v PZP Háje.

Podzemní plynový zásobník Háje je jediný kavernový podzemní zásobník v České republice a zároveň jediný komerčně využívaný podzemní zásobník v krystalinických strukturách na světě. Při tlaku 12,5 MPa je možné uskladnit **72 mil. m³** zemního plynu. Zásobník byl konstruován jako špičkový zdroj zemního plynu pro vykrývání spotřebitelských špiček. Proto je povrchová technologie navrhována převážně na provoz v zimním období. Za dobu provozování PZP Háje byla zjištěna potřeba využívat skladovací kapacitu zásobníku i v letním období.

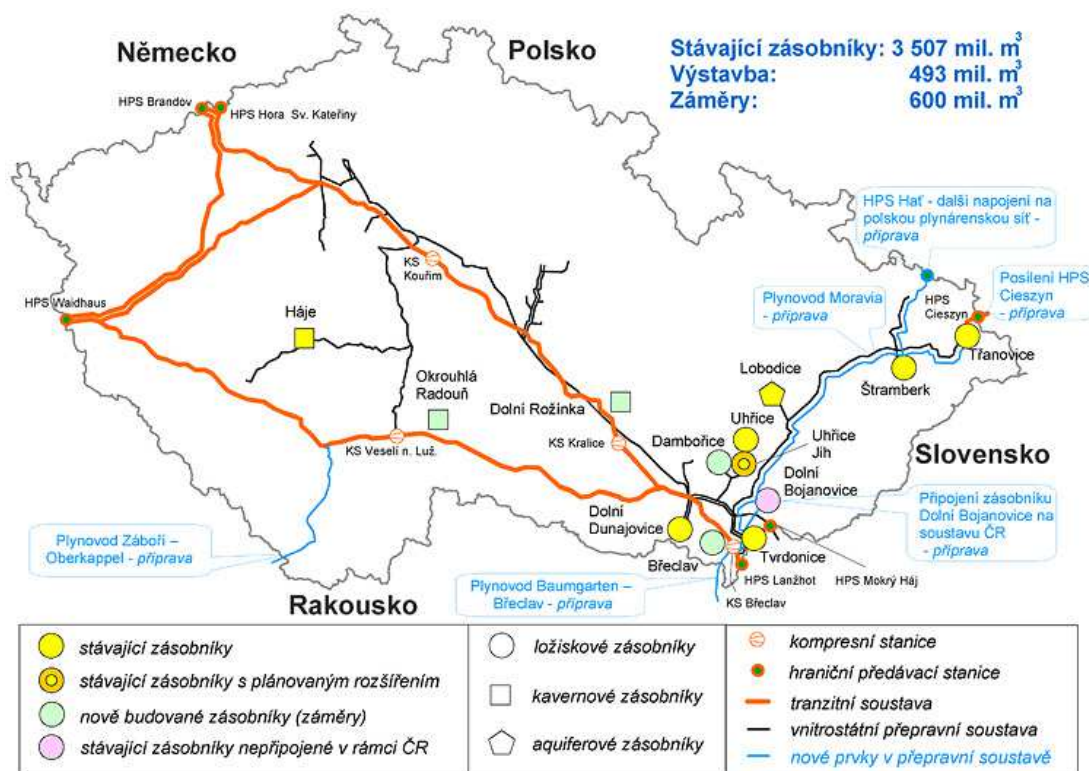
Tato změna však vyžaduje určité technologické úpravy stávajícího systému. Při návrhu a výpočtu těžebně vtláčečských vrtů byla stanovena maximální teplota vtláčeného zemního plynu pro uskladnění $t_{\max} = 35^{\circ}\text{C}$. Tato teplota byla stanovena z důvodu ochrany vrtů proti ohřátí pažnice a následnému poškození jejich těsnosti a důvodu asfaltových nátěrů, které by mohly kvůli vysoké teplotě změnit strukturu a porušit izolační stav zařízení.

Tato teplota je limitující při vtláčení zemního plynu kompresory v letním období. Chladiče plynu jsou zařazené paralelně, jsou typu vzduch – plyn a byly konstruovány na teplotu okolního (chladícího) vzduchu 15°C . Tato diplomová práce má za cíl navrhnout úpravy řízení spínání ventilátoru tohoto chladícího systému pro bezpečný a spolehlivý provoz i při teplotách venkovního vzduchu vyšších než 35°C , které mohou nastat v letních dnech.

Podzemní zásobníky plynu lze z hlediska geologického charakteru rozdělit na dvě skupiny. První skupinou jsou zásobníky vytvořené v porézním a puklinovém prostředí. Nejčastěji se jedná o zásobníky vybudované ve vodonosných porézních vrstvách, nebo ve vyčerpaných ropných a plynových polích. Druhou skupinou jsou pak zásobníky vytvořené v neporézním prostředí. Zde se nejčastěji jedná o prostory pro uskladnění v solných kavernách a důlních prostorech.

Podle způsobu jejich využívání rozlišujeme, zda se jedná o zásobníky sezónní nebo

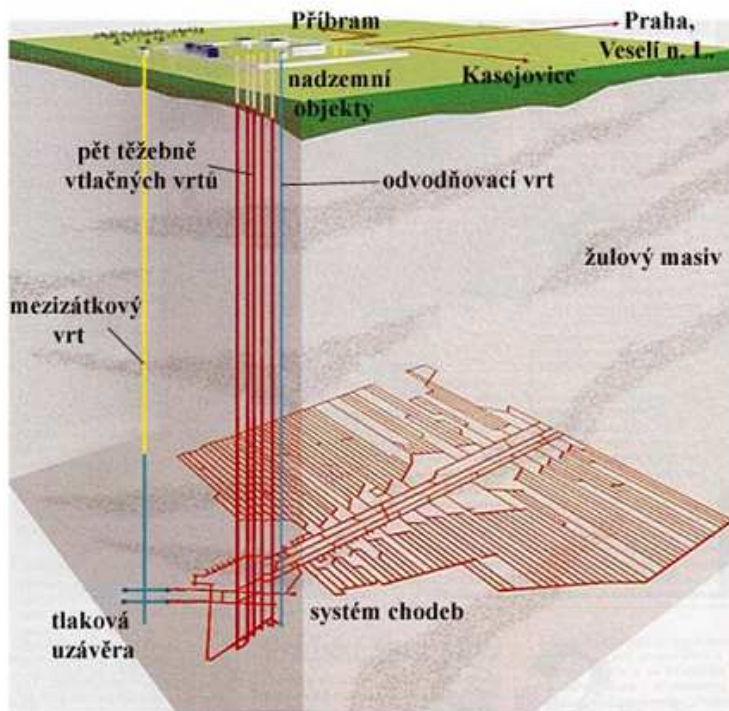
zásobníky špičkové.



Obr.1 – Plynárenská tranzitní soustava

Podzemní část PZP

Pro realizaci spodní stavby byla využita důlní díla bývalého uranového dolu šachty 16, která je vzdálena 2 500 m od stávajícího zásobníku. Podzemní skladovací část se nachází v hloubce 955 – 960 m, na ploše 1 500 m². Uskladňovací objem 620 502 m³ je vytvořen páteřovou soustavou spojených chodeb o celkové délce 45 066m , ve spádu 5 ‰, čímž je zajištěn svod případných průsaků podzemních vod do odvodňovací jámky. Zásobníkové chodby o profilu 11-13m² jsou vyraženy v horninovém masivu, který je zde budován granitoidy, gabra – dioritoidy a jejich žilným doprovodem. Vyražené chodby byly ponechány bez povrchové úpravy, pouze v místech se zhoršenou geologickou situací byly zásobníkové chodby vyztuženy svorníkovou výztuží případně stříkaným betonem. Na místech s nežádoucími průsaky vody puklinami byly provedeny injektážní práce.



Obr.2 – Kavernový zásobník plynu PZP Háje

Nadzemní část PZP

Nadzemní technologie zabezpečuje vtlačení a těžbu zemního plynu do a z kaverny v rozmezí tlaků 2,0 – 12,5 MPa, regulaci tlaku plynu na požadovanou hodnotu, obchodní a provozní měření, sušení vlhkého plynu těženého z kaverny, kompresorovna pro použití větších tlaků, hydropneumatické dotěsnění mezizátkového prostoru, filtraci, rozvodny a řídicí systému. Řídicí systém pak rozlišuje čtyři základní řídicí stavy:

Stav 000 – Závod odtlakován

Při tomto provozním stavu je uzavřeno podzemí a jsou uzavřeny hlavní uzávěry plynovodů. Ostatní uzavírací armatury jsou otevřeny – nadzemní část je odtlakována přes havarijní komíny.

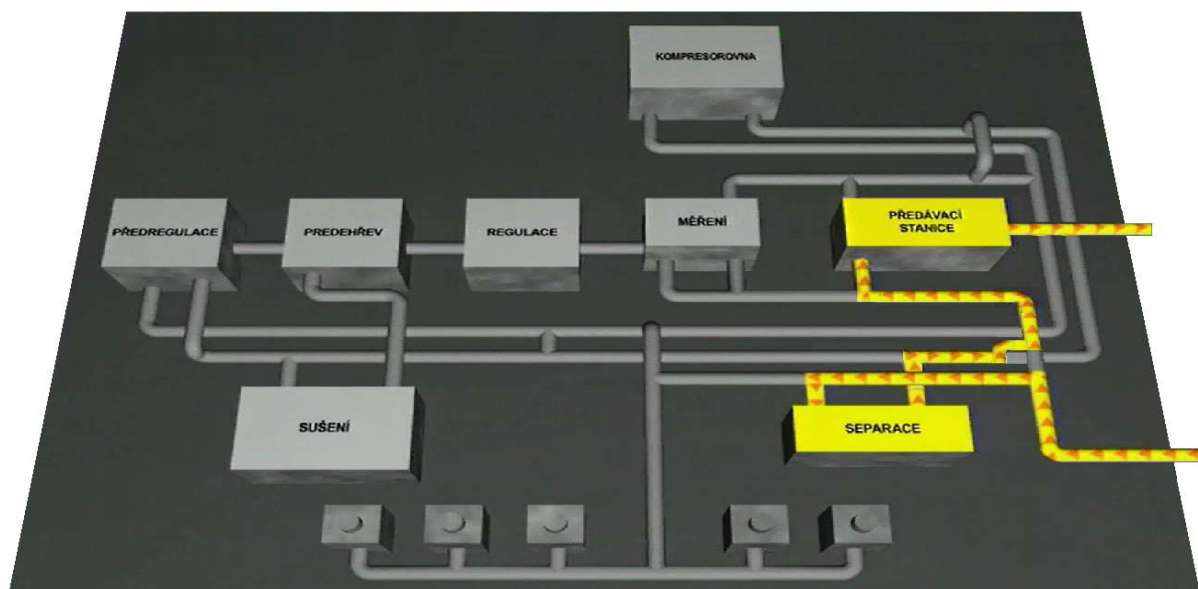
Stav 001 – Odstavení závodu

Při tomto provozním stavu je uzavřeno podzemí, jsou uzavřeny hlavní uzávěry plynovodů, uzavírací armatury havarijních komínů jsou uzavřeny a připraveny k odtlakování. Ostatní uzavírací armatury jsou otevřeny a nastaveny k odtlakování.

Stav 010 – Stop závodu + PS

Stav 010 představuje klidový stav. Zásobník je připraven přejít do stavu vtlačení nebo těžby. Podzemní část je uzavřena. Plyn je přiváděn plynovodem ze Zvěstova, prochází přes filtry a

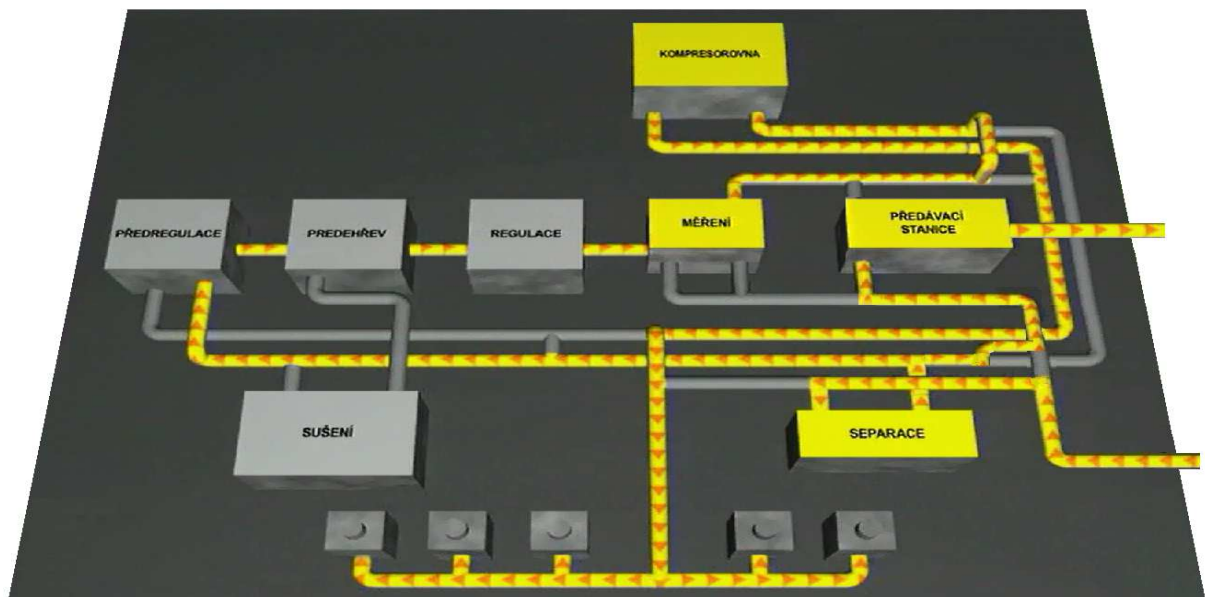
dále přes předávací stanice do distribučních plynovodů. Část plynu je spotřebovávaná pro vnitřní spotřebu.



Obr.3 – Režim zásobníku Stop závodu +PS

Stav 130 – Vtláčení kompresory +PS

Kompresory se do procesu vtláčení přiřazují po vyrovnání tlaků v zásobníku s tlakem přiváděného plynu, nebo je-li tlak v zásobníku vyšší než tlak v přívodním plynovodu. Plyn prochází přes separaci, měření do kompresorovny, odkud je turbokompresory vtláčen do podzemního zásobníku. Část plynu je dodávaná do distribučních plynovodů a část plynu je odebíraná pro vnitřní spotřebu.



Obr.4 – Režim zásobníku Vtláčení kompresory + PS

Při kompresi dochází k silnému zahřívání plynu a je nutnost ho dále ochladit na hodnoty nepřesahující 50°C . Proto po kompresi vstupuje plyn do chladičů. Chladiče PZP Háje pracují na principu rozdělení plynovodu na soustavu menších potrubí a přes tuto soustavu potrubí nuceně proudí vzduch z okolí. Špatné chlazení nastává při vysokých venkovních teplotách, kdy venková teplota je nad 35°C a teplota plynu na vstupu do chladiče je cca 85°C . Chladič má 2 ventilátory o výkonu á 15kW , jeden má pevné otáčky a druhý je řízený pomocí frekvenčního měniče.

Tyto vysoké teploty zemního plynu nejsou žádoucí pro následující technologii, hlavně pro asfaltové izolace na těžebně vtláčecích vrtech, dále pro regulační ventily, které mají měkké části na dosedacích částech.

V dřívějších dobách, kdy se zásobníky využívaly hlavně jako sezónní, přes zimu těžily a přes léto vtláčely, se tento problém objevoval méně často. Dnes se zemním plynem obchoduje na burze a režim zásobníku se řídí zákazníkem.

Identický problém s chlazením ve vysokých teplotách se týká též zásobníku v Dolních Dunajovicích (dále PZP DD), kde je též umístěn zastaralý systém spouštění ventilátorů a kompletní regulace chlazení. Proto se tato diplomová práce zabývá přednostně stavem a rekonstrukcí chlazení v PZP DD.

2 Současný stav zařízení

V provozu podzemního zásobníku plynu jsou instalovány 4 ks pístových kompresorů, vyr. ČKD Kompresory Tyto pístové kompresory pohánějí synchronní pomaloběžné motory, vyrobené v roce 1987 v závodě ČKD Elektrotechnika.

2.1 Štítkové údaje synchronních pohonů

Jde o čtyři identické synchronní motory s označením BK1 – BK4 o následujících štítkových parametrech:

Typ:	Synchronní motor 2B 411-20H
Výrobní číslo:	127502 – 127505
Jmenovitý výkon:	4000 kW
Jmenovité napětí:	6 kV
Jmenovitý proud:	403 A
Jmenovité otáčky:	300 ot/min
Chlazení:	IWC 37A71
Krytí:	IP 44
Buzení:	
Jmenovité napětí:	100 V
Jmenovitý proud:	275 A,
Provedeno bezkroužkovým budičem RBL 5:	
Jmenovité napětí budiče:	380 V AC
Jmenovitý proud budiče:	170 A AC,
Jmenovité napětí buzení budiče:	98 V DC
Jmenovitý proud buzení budiče:	275 A DC
Chlazení:	IC 37
Krytí:	IP 44

Synchronní motory mají bezkroužkové buzení typu RBL (budící výkon se přenáší magnetickým polem pomocí rotačního transformátoru). Regulace buzení je orientována na konstantní budící proud a účinník motoru.

Synchronní motory jsou konstruovány pro asynchronní rozběh ze sítě 6 kV a pro práci v prostoru možného výskytu výbušných plynů (zemní plyn). Jeho závěr je s vnitřním přetlakem dle ČSN 330373.

V roce 2012 byla provedena výměna výměníků voda/vzduch, jež zajišťují chlazení vnitřního oběhu vzduchu.

Chladiče motorů jsou napojeny na centrální chladicí systém vody.



Obr.5 – Snímek display chlazení BK3

2.2 Popis chladičů plynu a vody

Ventilátory jsou řešeny jako vertikální se sáním zdola a jsou přizpůsobeny pro upevnění na vzduchové chladiče. Oběžné kolo (průměr 3658 mm – CLASS 5000, series 60VT s devíti lopatkami) je osazeno na horním čepu hřídele ventilátoru. Hřídel je uložen ve dvou ložiskách. Výkon ventilátoru je možné měnit pouze za klidu stroje nastavením jednotlivých oběžných lopatek. Při použití frekvenčního měniče je možné měnit výkon ventilátoru změnou otáček.

Skříň ventilátoru je na straně sání opatřena ochranným sítem, které zabraňuje přístupu do prostor oběžného kola

Skříň ventilátoru je svařovaná, opatřená nosníky, které nesou oběžné kolo a pohonnou jednotku

Pohonnou jednotku tvoří elektromotor a řemenový převod opatřený krytem. Ventilátory nasávají vzduch z volné atmosféry a vhání ho do prostoru chladiče. Dopravovaná vzdušina musí být neagresivní, nesmí obsahovat abrazivní příměsi, její teplota může být od -25°C do +33°C. Ventilátor může pracovat do prostředí s nebezpečím výbuchu SNV 2, skupina

nevýbušnosti IIC, teplotní třída T4.

Technická data: (převzato z dokumentace výrobce; viz příloha č.20)

Chladič plynu je tvořen trubkovými sekcemi

Trubky:

průměr: $d = 25 \text{ mm}$

Délka: $l = 10 \text{ m}$

Celkový povrch trubek: $S_1 = 377 \text{ m}^2$

Chladicí žebra:

Materiál: hliník

Průměr: $d_2 = 56 \text{ mm}$

Tloušťka: $t = 0,4 \text{ mm}$

Celková plocha žeber: $S_2 = 7910 \text{ m}^2$.

Zemní plyn:

Hmotnostní průtok: $dm/dt = 84\,875 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1} (125\,000 \text{ Nm}^3\cdot\text{k}^{-1})$

Vstupní teplota: $t_1 = 116^\circ\text{C}$

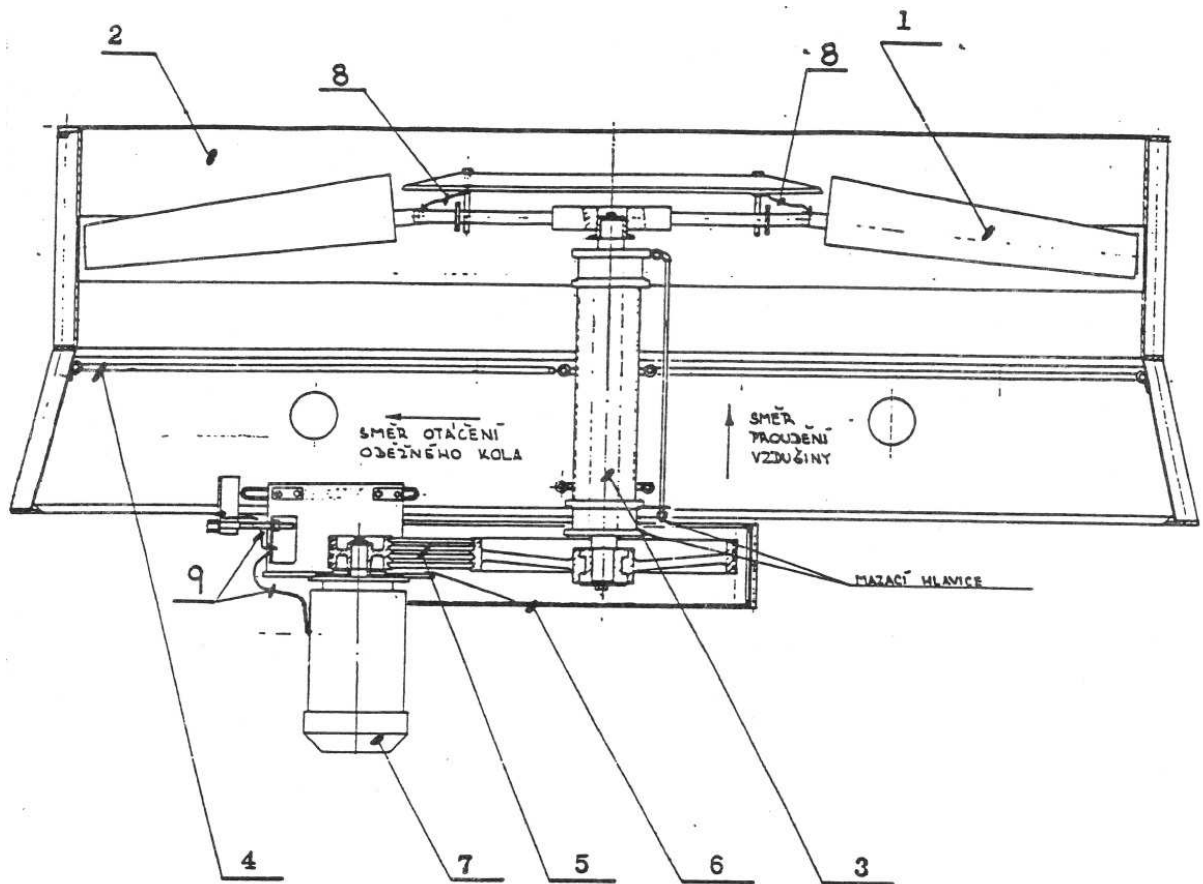
Výstupní teplota za chladičem: $t_2 = 30^\circ\text{C}$

Chladicí vzduch:

Výpočtová teplota vzduchu: $t = 15^\circ\text{C}$

Max. hmotnostní tok: $dm/dt = 498\,430 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$

Rychlost proudění vzduchu: $v = 2,484 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$



Obr.6 – řez ventilátoru (1 – oběžné kolo, 2 – skříň ventilátoru, 3 – uložení APF, 4 – ochranné síto, 5 – řemenový převod, 6 – kryt řemenů, 7 – elektromotor, 8 – elektricky vodivé propojení lopatek a náboje, 9 – elektricky vodivé propojení el. motoru se skříní ventilátoru.

2.3 Popis ventilátorů a rozběhu

Chladiče v PZP DD jsou osazeny 32 ks ventilátorů s asynchronními motory s kotvou nakrátko:

Typ:	Siemens MJ 6207
Uspořádání:	IMO V3
Krytí:	IP55
Jmenovité napětí:	$U_n = 400V$
Zapojení vinutí:	hvězda (Y)
Jmenovitý proud:	$I_n = 32A$
Účinník:	$\cos\varphi = 0,78$
Jmenovitý výkon:	$P = 15kW$

Jmenovité otáčky: $n = 725 \text{ ot/min}$
 Jmenovitá frekvence: $f = 50 \text{ Hz}$
 Ventilátor:
 Rotor: Průměr D3658 mm
 Ot 658: $n_2 = 180 \text{ ot/min}$
 Celkový tepelný výkon všech plynových výměníků $P = 6000 \text{ kW}$

Ventilátory jsou rozděleny do čtyř sekcí (podle výkonových kompresorů), každá sekce obsahuje 8 ventilátorů. Ventilátory každé sekce jsou napájeny z vlastní rozváděčové skříně RMS1 až RMS4, ve které jsou ovládací a jistící prvky a tyristorový rozběhový regulátor (softstartér).

V každé sekci je pět ventilátorů zajišťujících chlazení vtlačенého plynu, tři ventilátory pro chlazení vody. Skříně jsou napájeny z rozvaděče nn, z vývodů dle následující tabulky:

pole rozvaděče	vývod	v. č. deonu	Soft start. skříně	v.č. skříně
RM 2017/4	RM 2051	67991	RMS 1	363-04-99
RM 2017/4	RM 2052	67992	RMS 2	364-04-99
RM 2017/18	RM 2053	67982	RMS 3	365-04-99
RM 2017/18	RM 2054	67785	RMS 4	366-04-99

Tab.1 – popis rozvaděčů včetně výstupů

Deony mají tyto štítkové parametry:

Typ: J2UX 50L 24
 Maximální proud: 400 A
 Maximální napětí: 500 V
 Frekvence: 50 Hz
 Nulová cívka 230 V, tepelná ochrana 300-400A
 Štítkové parametry skříní RMS1 až RMS4:
 Napětí: 400/230 V
 Frekvence: 50 Hz
 Výkon motorů: 8 x 15 kW
 rok výroby 1999

Motory jsou připojeny stávající kabeláží na přechodové skříně (výměna v roce 2010):

EX-GENERI, typ X.X2, CE 1026, 550 V, 40 A max, 16 mm², FTZÚ 07 ATEX 0069 II 2GD Ex e tD II T6 T85 °C, r.v. 2009., IP66

Ovládací skříně pro místní ovládání:

typ X1SA, spínací kontakty, 10 A, 2,5 mm²,

Ex 93.0650 Ex II 26/D EEx de II CT6

Výrobní čísla ovládacích skříní a přechodových svorkovnic:

Chladič číslo	Přechod. skříně sekce 1-4	Přechod. skříně sekce 5-8	Ovládací skříně
1	716	714	1978
2	698	700	1980
3	701	699	1979
4	717	715	1981

Tab.2 – popis rozvaděčů

2.3.1 Tyristorové regulátory pro plynulý rozběh motorů

Tyristorové softstartové regulátory pro plynulý rozběh motorů pracují na principu regulace napětí na svorkách rozbíhaného motoru.

Jsou sestaveny z bezpotenciálových modulů MT-125-12 LHO. Plynulý rozběh je zajištěn funkcí pozvolného zvyšování napájecího napětí rozbíhaného motoru. Pro „utržení“ motoru z klidové polohy je použita funkce „kick startu“, kde na dobu 200ms je na motor přivedeno plné napětí, které překoná klidové momenty soustrojí a poté je napětí pozvolna zvyšováno z hodnoty cca 50V na plné svorkové napětí.

Pro rozběh motorů jedné sekce je využit jeden softstartový regulátor, po rozběhu daného motoru je motor připojen na napájecí síť, regulátor je odpojen a připraven pro rozběh dalšího ventilátoru.

2.3.2 Měření maximálních rozběhových proudů motorů ventilátorů

Proudy byly měřeny analogovým klešťovým ampérmetrem a byla zaznamenána nejvyšší

hodnota proudu při rozběhu asynchronního motoru.

Sekce ventilátorů chladičů kompresoru BK1 (je zaznamenána nejvyšší hodnota rozběhového proudu jednotlivého motoru v A)

Motor	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Proud	98	96	96	92	92	94	96	96

Sekce ventilátorů chladičů kompresoru BK2 (je zaznamenána nejvyšší hodnota rozběhového proudu jednotlivého motoru v A)

Motor	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Proud	92	92	92	94	93	92	96	92

Sekce ventilátorů chladičů kompresoru BK3 (je zaznamenána nejvyšší hodnota rozběhového proudu jednotlivého motoru v A)

Motor	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Proud	98	94	92	94	92	96	95	95

Sekce ventilátorů chladičů kompresoru BK4 (je zaznamenána nejvyšší hodnota rozběhového proudu jednotlivého motoru)

Motor	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8
Proud	95	95	94	92	94	92	92	90

2.3.3 Regulace teploty plynu a chladicí vody

Spouštění ventilátorů chladičů je řízeno řídicím systémem. Má dva základní regulační režimy:

Ruční řízení:

Dispečeri ve velínu PZP ručně spínají a volí počet ventilátorů, na základě teploty plynu a vody

Automatické:

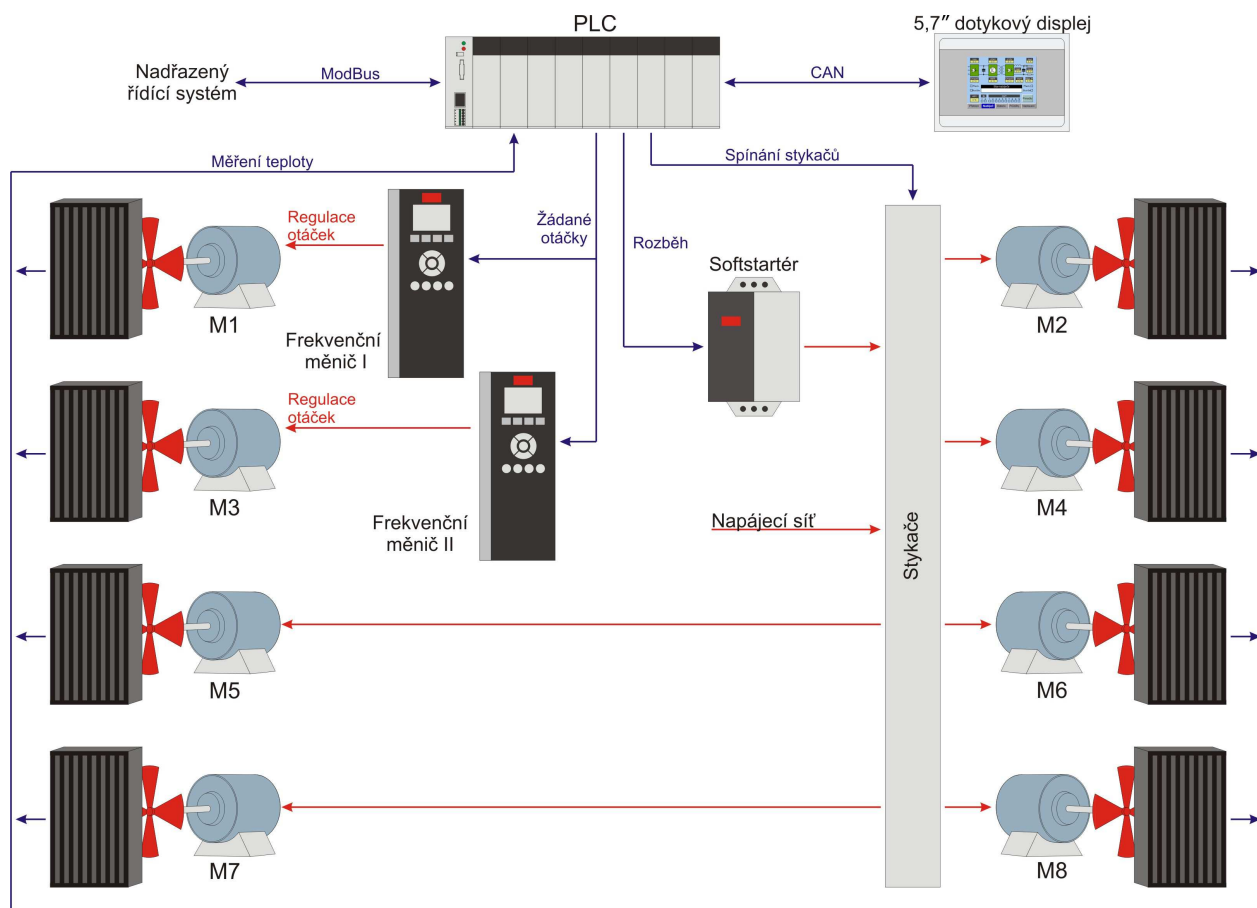
Řídicí systém, na základě teploty a plynu spíná a vypíná jednotlivé ventilátory příslušných sekcí plynu a vody.

Nevýhody stávajícího systému:

- Nepřesná regulace teploty plynu a vody
- Časté spínání a vypínání soustrojí ventilátorů
- Energeticky náročný provoz
- Zastaralý systém napájení a regulace
- Při vysokých venkovních teplotách a i chodu všech ventilátorů, nelze dosáhnout požadované teploty výstupního plynu.
- Odstavení kompresorovny z důvodu vysokých teplot
- Ohrožená plynulá dodávka zemního plynu do transitní soustavy

3 Návrh řešení

Kompletně nové řízení, ovládání a regulace ventilátorů chladičů v podzemním zásobníku plynu v Dolních Dunajovicích. Úprava chlazení zemního plynu při vysokých venkovních teplotách. Nový rozvaděč bude vybaven frekvenčními měniči pro regulaci otáček dvou motorů a softstartérem, který slouží pro rozběh neregulovaných motorů (šesti). Ovládací a signalizační prvky jsou umístěny ve dveřích rozvaděče. Jistící a ochranné prvky jsou umístěny uvnitř rozvaděče. Přívody jsou spodem.



Obr.7 – Schéma ovládání motorů

3.1 Popis rozváděčové skříně

3.1.1 Vybavení skříně

- Modulární řídicí systém
- Dotyková obrazovka (HMI) – ve dveřích
- Přechodová relé
- Frekvenční měnič – 2ks
- Softstartér
- Svorkovnice pro připojení
- Jističí a ovládací prvky

3.1.2 Elektrické zapojení skříně

Silový přívod 3x400V do rozvaděče bude na svorkovnici XN, odtud bude přes pojistkový odpínač QU1 veden na jednotlivé prvky silového rozvodu – přes pojistkové odpínače QUS1 (softstartér), QUF1÷2 (frekvenční měniče), QUM1÷6 (neregulované motory). Napětí ovládací bude jištěno jističem FA1.

Informace o přítomnosti napětí bude vyhodnocena v relé KA1 (jištěno odpínačem QU2), relé hlásícím kontaktem (rozmnoženo na KAP) o stavu napětí informuje do řídicího systému, do PLC a rozsvěcí kontrolu na dveřích skříně. Informace o velikosti proudu bude vyhodnocena v MTI (5A), převedena v převodníku MPI (4-20mA) a měřena v PLC.

Možnost místa ovládání bude zvolena na dveřích rozvaděče přepínačem Místně/Dálkově. Při navolení způsobu Místně jsou motory spínány přímo ze spínací skříně u chladiče, venku.

Vývody na motory č.1,3 (svorkovnice XM1, 3) jsou přímo z frekvenčních měničů. Motory neregulované jsou kontaktně propojeny se softstartérem (KMS1÷6) a také přímo na napájecí napětí (stykače KMP1÷6), motory budou chráněny tepelnou ochranou QM1÷6. Vývody na motory jsou na svorkovnici XM2, 4÷8.

Ovládací napětí 230V z jističe FA1 bude vedeno na softstartér, napájecí zdroj NZ (přes FU1) a pro napájení cívek převodních relé KI.

Napětí 24V ze zdroje NZ bude vedeno na PLC a pro napájení převodních relé KI a KO (přes jistič FA2), na napájení HMI panelu (jistič FA3). Hlášky do nadřazeného systému budou vyvedeny na svorkovnici XS.

Datově bude sestava propojena z PLC přes převodník ModBus RTU na TCP/IP s nadřazeným systémem (standardní ethernetový stíněný kabel, kategorie 5e), PLC a HMI spolu komunikují po lince CAN.

3.2 Sestava řídicího systému

Řídicí systém ovládání provozu bude umístěn v horní části rozvaděčové skříně. Systém je sestaven z modulárního PLC Eaton (Moeller). Jako centrální procesorová jednotka bude použita CPU XC200, dále je sestava rozšířena o jednotky vstupů a výstupů potřebných ke kontrole a ovládání provozních veličin a stavů.

Sestava PLC je následující:

- Procesorová jednotka CPU XC201-512kB
- 2x modul pro analogové vstupy a výstupy XIOC 4AI-2AO-U1

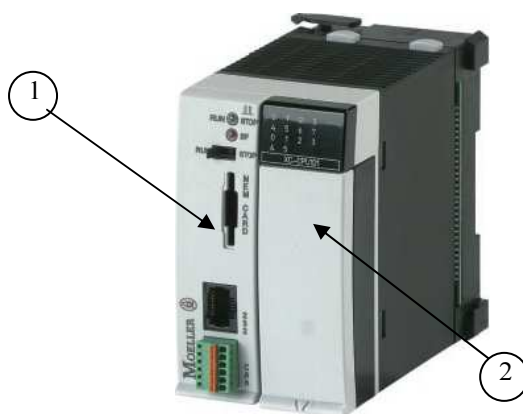
- 2x modul digitálních vstupů XIOC 16DI
- 2x modul digitálních výstupů XIOC 16DO-S
- 1x modul pro komunikační rozhraní XIOC-SER

PLC je umístěno v horní části skříně. Dále je v této skříně umístěn napájecí zdroj 230V/24V, 10A pro řídicí PLC a také sada relé Finder pro převody ovládacích napětí na 24V DC. Vstupy jsou převáděny z hladin 230V DC.

3.3 Základní informace o řídicím PLC

XC-CPU (obr. č. 8) je základní jednotka modulárního PLC. Základní jednotka se skládá z procesorové jednotky (označená na obr. č. 8 šipkou 1) a z 24V napájecí jednotky (označené jako 2 na obr. č. 8).

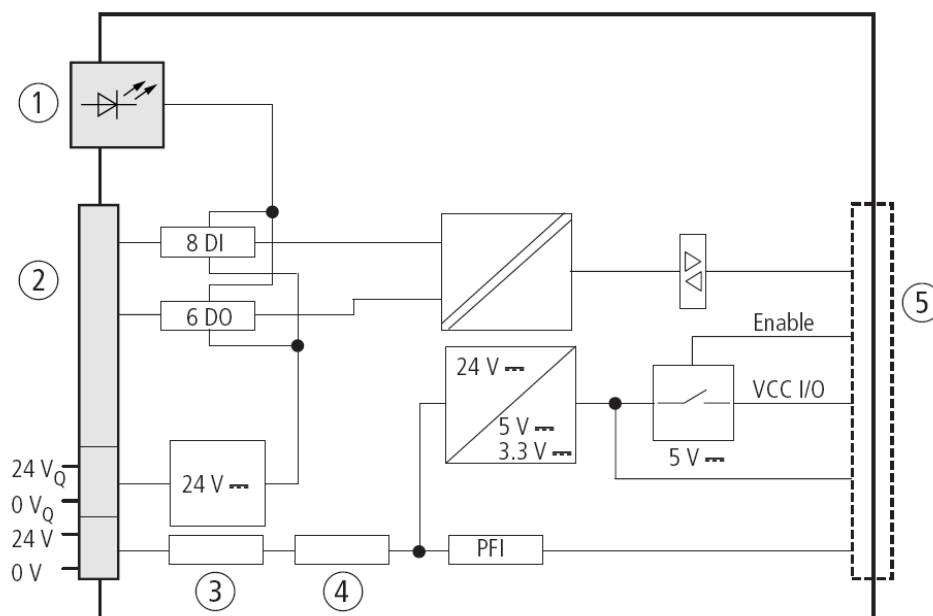
Procesorová jednotka je osazena RISC mikroprocesorem Infineon C164 s pamětí programu 512 kB a pamětí dat 2048 kB. Na procesorové jednotce jsou umístěny LED diody pro signalizaci RUN/STOP (tedy zastavení/běhu programu) a LED SF = System Fault (tedy chyba systému). Pod nimi je umístěn přepínač RUN/STOP pro spuštění/zastavení běhu programu, slot pro přídatnou MMC paměťovou kartu, rozhraní ETHERNET/RS232 pro komunikaci s programovacím zařízením a rozhraní USB.



Obr. č. 8 – XC-CPU

Napájecí jednotka dodává napájecí napětí pro procesorovou jednotku a pro vstupy/výstupy. Jednotka má integrováno 8 digitálních vstupů a 6 digitálních výstupů. Její funkce je převést vstupní napětí 24V na napětí potřebná pro PLC – tedy pro procesorovou jednotku a pro

napájení vstupů/výstupů (dále jen I/O). Speciální funkcí napájecí jednotky je, že lokální I/O a procesorová jednotka mohou mít navzájem oddělené zdroje napětí. Blokový diagram napájecí jednotky je uveden na obr. č. 9.

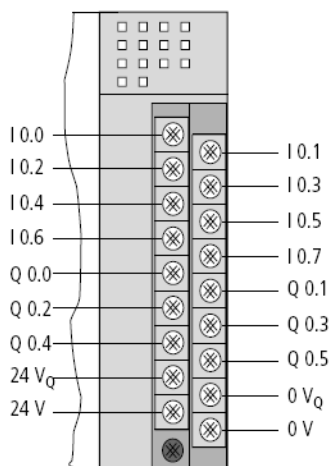


Obr. č. 9 – Blokový diagram napájecí jednotky

Z blokového diagramu na obr. Č. 9 je vidět, že na svorkovnici (2) jsou svorky $24V_Q$ a $0V_Q$, které mohou být použity k oddělenému napájení integrovaných I/O a toto napájení je elektricky odděleno od propojovací sběrnice.

Napětí ze svorek 24V a 0V je přivedeno přes filtr (3) a vyrovnávací obvod (4) na měnič, který vyrobí napětí potřebná pro procesorovou jednotku. Tato napětí jsou poté dále rozvedena sběrnici (5) do rozšiřujících I/O modulů. Pokud dojde k výpadku napájení 24V nebo jeho poklesu pod úroveň 10V, vyhodnotí to procesor díky bloku PFI – power fail interrupt – přerušení od ztráty napájení a dojde k vypnutí systému povelém od CPU. Blok označený na obr. 10 jako (1) jsou LED diody indikující stav I/O.

Integrované digitální vstupy a výstupy jsou vyvedeny na svorkovnici ukryté pod krytem v přední části napájecí jednotky. Vstupy i Výstupy jsou dimenzovány na napětí 24V ss. Digitální výstupy Q0.0 až Q0.5 jsou zatíženy trvalým proudem 500mA . Stav jednotlivých I/O indikuje pole LED diod nad svorkovnicí – obr. č. 10.



Obr. č. 10 – Blokový diagram napájecí jednotky

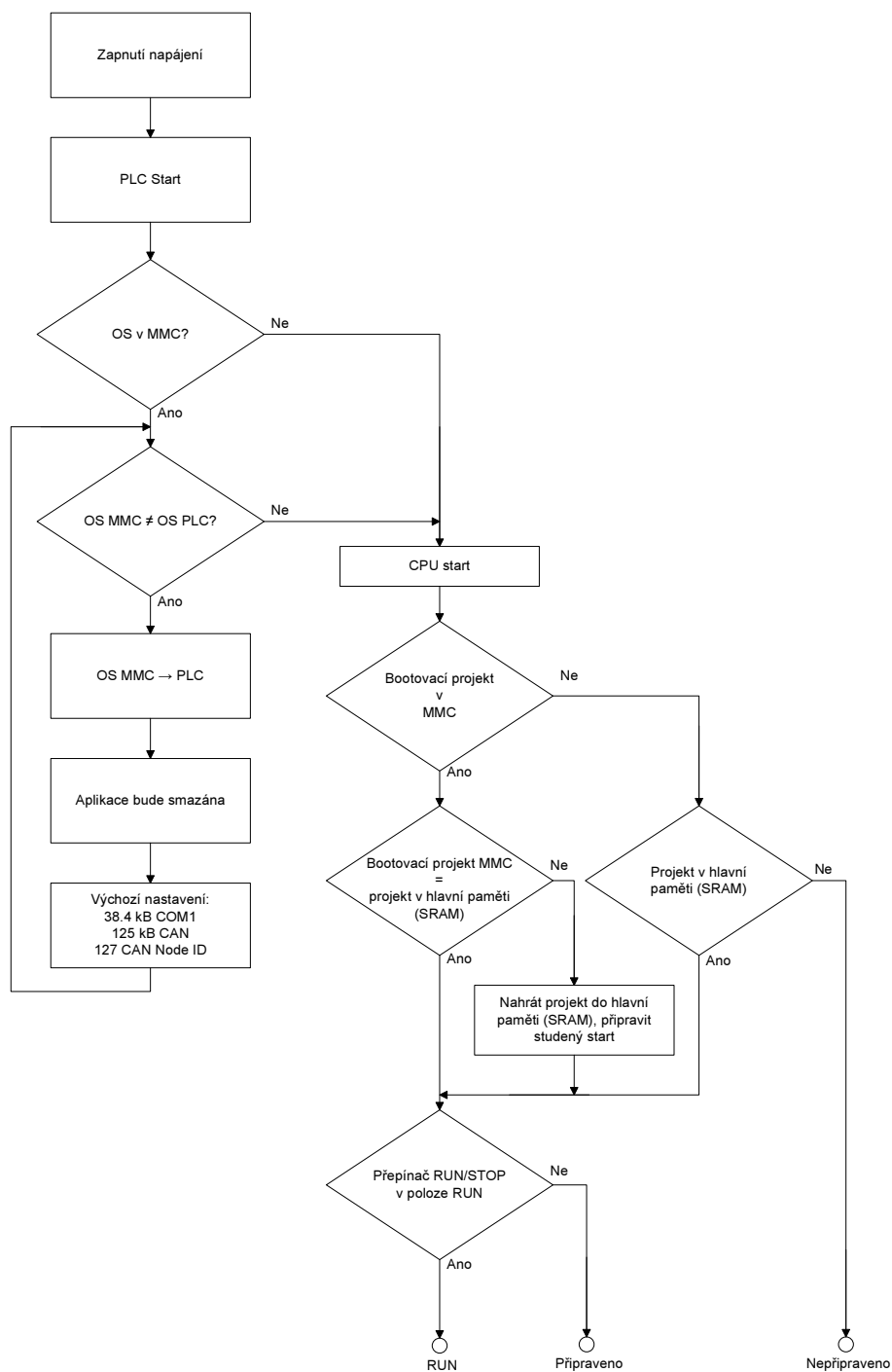
Po úspěšném skončení testů převezme operační systém komunikaci s programovacím systémem XSoft a kontrolu nad prováděním aplikačního programu a jeho odlaďováním. Operační systém podporuje současně jen jeden aplikační program.

Na obrázku č.11 je zobrazen diagram, který zachycuje posloupnost stavů při zapnutí XC-CPU-101. Výsledný stav je jeden ze tří stavů: RUN, připraveno nebo nepřipraveno a je indikován LED diodami. Pokud je výsledný stav RUN, odstartuje se běh programu, zkontroluje se, zda aktuální stav I/O odpovídá nadefinovanému stavu a zda parametry rozšiřujících modulů zadaných programátorem odpovídají skutečnosti a jsou fyzicky přítomné. Moduly, které nejsou přítomny nijak neovlivní start programu, pokud však jsou přítomny jiné typy modulů, start programu neproběhne. Rozlišujeme dva druhy startů: „Cold“ start = „studený“ start a „Warm“ start = „teplý“ start. Studený start je iniciován po zapnutí napájení a po každém „Cold“ resetu = „studeném“ resetu. Během studeného resetu jsou hodnoty všech proměnných nastaveny na jejich inicializační hodnoty a poté je spuštěn program.

Všechny ostatní starty programu jsou teplými starty, tedy i start programu po tzv. „Warm“ resetu = „teplý“ reset. Při tomto startu některým proměnným (musí se příslušně zadefinovat) zůstávají aktuální hodnoty a ostatní jsou nastaveny do inicializačních hodnot.

Provádění programu je možno zastavit přepnutím přepínače do polohy STOP, toto vede k přerušení běhu programu na konci cyklu. Program je také zastaven při výpadku napájení pomocí PFI = Power Fail interrupt = přerušení od ztráty napájení. Výstupy jsou vypnuty ve

stejném čase, kdy dojde k přerušení programu. Pokud dojde k obnovení napájení, PLC se chová podle diagramu na obrázku č.11.



Obr. č. 11 – Posloupnost stavů při zapnutí

3.4 Oddělovací relé

Pro oddělení vstupních signálů 230V a jejich převodu na napětí 24V, které zpracovává řídicí systém, jsou použity relé Finder, typ 38.xx.xx. Pro oddělení výstupních signálů a jejich převod z 24V DC na 230V AC jsou použity relé Finder 48.xx.xx.

3.5 Softstartér

Pro měkký rozběh asynchronních motorů, které nejsou regulovány (motor č. 2, 4, 5 ,6, 7 a 8) je použit střídavý měnič napětí – softstartér. Softstartér plynule zvyšuje své výstupní napětí po nastavené rampě, a tím rozbíhá zvolený motor. Tento rozběh je výhodný tím, že nedochází k odběru výrazně vyšších rozběhových proudů asynchronním motorem.

Softstartéry doporučuji Danfoss MCD201.

3.6 Frekvenční měnič

Pro spojitou regulaci otáček řízených motorů (č. 1, 3) v závislosti na žádané a skutečné teplotě jsou použity frekvenční měniče, každý motor je trvale připojen ke svému frekvenčnímu měniči.

Měnič zpracovává analogovou hodnotu žádané a skutečné teploty a jeho vnitřní PID regulátor zabezpečuje přizpůsobení výstupní frekvence motoru tak, aby byla udržované žádaná teplota. Měnič na svém analogovém výstupu dává informaci o aktuálním kmitočtu motoru. Měniče doporučuji Danfoss FC302

3.7 Návaznost na stávající zařízení

Rozvaděč má návaznosti na stávající zařízení technologie:

Metalické propojení s řídicím systémem

- hlášky o stavu teplených ochran motorů
- hlášky o chodu motorů
- hláška o přítomnosti napětí 3x400V AC

- hláška o sepnutém hlavním přívodu

Datové propojení s řídicím systémem

- Do nadřazené sítě je připojeno PLC (pro servisní přístup) a datový převodník Papouch (převodník ModBus RTU na ModBus TCP/IP)

3.8 Ovládání

Ovládací PLC motorů ventilátorů shromažďuje informace o stavu technologie ventilátorů chladiče a dle požadavku ovládá jednotlivé motory ventilátorů.

Regulované motory jsou ovládány přímo frekvenčním měničem, který v automatickém provozu reguluje výstupní otáčky motorů tak, aby udržel požadovanou teplotu chladiče.

Neregulované motory jsou kontaktní logikou postupně rozbíhány jedním softstartérem a pak připínány přímo na síť, v ručním režimu dle požadavku obsluhy, v automatickém dle nastavených algoritmů.

Ovládání technologie ventilátorů je možné zásadně třemi způsoby:

1. Místní režim od motorů

- Místní režim se volí přepínačem na rozvaděči do polohy „Místně“, poté jsou motory spouštěny ze zamykatelné skříňky od chladiče přepínači
- V režimu místně jsou rozběhnuty neregulované motory, regulované motory přejdou do režimu „JOG“, kdy pracují na jmenovitých otáčkách
- V místním režimu není aktivní automatika provozu s kontrolou teplot a spínání motorů dle přednastavených algoritmů

2. Ručně z velína

- Obsluha ne velínu zadává požadavek na chod jednotlivých motorů
- Režim je, až na místo zadání povelu, shodný s režimem „Místně“

3. Automaticky

- V automaticce zadání jsou motory spínány v závislosti na nastavených podmínkách tak, aby docházelo k udržení požadované teploty chladičů vody i plynu

– Vizualizace provozních stavů

Provozní stavy jednotlivých motorů jsou zobrazeny na dotykové obrazovce v rozvaděči. Dále je zobrazena hláška o požadované a skutečné teplotě a o režimu provozu zařízení.

3.9 Umístění zařízení a montáž

Zařízení bude umístěné v rozvaděčové skříni. Ventilace skříňové řízení je přirozená. Rozvaděč s krytím IP 20 je určen do prostorů „základních“ z hlediska platných ČSN. Vlhkost vzduchu by neměla překročit 70%, provozní teplota 0-40⁰C. V podmínkách odlišných od výše uvedených není zajištěna bezporuchová funkce všech regulačních komponentů.

4 Návrh řešení chlazení ve vysokých teplotách

Problém s chlazením ve vysokých teplotách se na PZP Háje objevil poprvé v roce 2015, kdy se začal zásobník více využívat v letním období. V předchozích letech byla na letní období s vysokými teplotami díky nízké poptávce po plynu plánována odstávka a údržba všech technologických celků a zásobník byl po dobu jednoho měsíce odstaven. V současné době je však třeba každou plánovanou odstávku hlásit s předstihem 1 měsíc na virtuálním dispečinku.

Toto již v současné době není možné, a při využívání zásobníku v letních měsících dochází k překročení teploty výstupního plynu nad 35⁰C, proto bylo rozhodnuto přistoupit k rekonstrukci chlazení. Stejný problém se objevil paralelně na PZP DD.

4.1 Postup výpočtu hustoty

Hustotu zemního plynu můžeme vyjádřit jako

$$\rho = \frac{39360}{\left(\frac{2 \cdot 10^7}{P} - \frac{400}{T} + 1\right) \cdot T}, \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}], T [\text{K}], P [\text{Pa}] \quad (1)$$

s hodnotami všech veličin vyjádřenými v jednotkách SI, případně

$$\rho = \frac{39360}{\left(\frac{20}{P} - \frac{400}{T} + 1\right) \cdot T}, \quad [\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}], T [\text{K}], P [\text{MPa}] \quad (2)$$

4.2 Postup výpočtu - měrné teplo za konstantního tlaku

Měrná tepelná kapacita tranzitního zemního plynu za konstantního tlaku c_p se při nižších tlacích do 0,5 MPa a teplotách nad -30 °C málo odchyľuje od kapacity ideálního plynu. Pro tyto podmínky (do teploty 500 °C) můžeme použít jednoduchý empirický vzorec, ve kterém nevystupuje tlak plynu,

$$c_p = 2,15 + \left(\frac{t}{2000} + 1 \right) \cdot \frac{t}{370}, \text{ [kJ.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{ °C]} \quad (3)$$

Pro vyšší tlaky a zejména pro nižší teploty je třeba použít i korekce na tlak plynu, se kterou má empirický vzorec tvar:

$$c_p = 2,15 + \left(\frac{t}{2000} + 1 \right) \cdot \frac{t}{370} + ((p + 50) \cdot p - 5) \cdot 2,2 \cdot 10^{-5} \cdot \exp\left(\frac{1500}{t + 337} \right), \quad (4)$$

[kJkg⁻¹.K⁻¹, °C, MPa]

4.3 Výpočty

4.4 Výpočet tepla vzniklého při kompresi plynu

Pro výpočet potřebného chladicího výkonu můžeme považovat komprimovaný zemní plyn za ideální plyn a pro výpočty jeho vlastností můžeme použít zjednodušené výpočty.

Kompresi zemního plynu prováděnou na provozu PZP Háje můžeme obecně považovat za polytropickou změnu ideálního plynu. Tento názor můžeme dokázat výpočtem polytropického součinitele n .

Závislost mezi tlakem a objemem je dán vztahem : $p_1 \cdot v_1^n = p_2 \cdot v_2^n = p \cdot v^n \quad (5)$

Vztah mezi termickými veličinami počátečního a konečného stavu je dán rovnicí podobně

jako u adiabatické změny: $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{n-1} \quad (6)$

Z rovnice (2) lze odvodit vztah pro výpočet polytropického součinitele n :

$$n = \frac{1}{1 - \frac{\ln T_2 - \ln T_1}{\ln p_2 - \ln p_1}} \quad (7)$$

Jestliže $n = \kappa$, kde κ je izentropický součinitel a $\kappa = \frac{c_p}{c_v}$, potom se jedná čistě o adiabatickou

změnu bez přívodu nebo odebírání tepla.

Při kompresi ZP na PZP Háje byly naměřeny tyto hodnoty:

tabulka 3 – vybrané naměřené hodnoty z přílohy č.21

vstupní teplota plynu t_1 [°C]	výstupní teplota plynu t_2 [°C]	vstupní tlak plynu p_1 [kPa]	výstupní tlak plynu p_2 [kPa]	průtok dv/dt [Nm ³ .h ⁻¹]	Vypočítaný polytropický součinitel n
13,4	65,8	4084	6970	122 500	1,458
13,9	78,3	4115	7834	160 000	1,458
13,2	87,1	4427	9328	160 000	1,445
13,0	98,8	4017	9494	150 000	1,439

Z výše naměřených hodnot lze vypočítat po dosazení do (1) teplotu T_2 komprimovaného plynu při komprimaci na maximální absolutní tlak 11800 kPa.

tabulka 4 – vybrané hodnoty plynu pro maximální kompresní tlak z přílohy č.21

vstupní teplota plynu t_1 [°C]	výstupní teplota plynu t_2 [°C]	vstupní tlak plynu p_1 [kPa]	výstupní tlak plynu p_2 [kPa]	průtok dv/dt [Nm ³ .h ⁻¹]	Vypočítaný polytropický součinitel n
13,9	146,5	3658	11 800	108 000	1,455
13,2	112	4427	11 800	145 000	1,439

Při známé objemovém průtoku dv/dt , známé měrné tepelné kapacitě a rozdílu teplot $\Delta T = T_2 - T_1$, kde T_2 je teplota po kompresi a T_1 je požadovaná teplota po ochlazení, můžeme vypočítat podle rovnice:

$$Q_p = \frac{dm}{dt} \cdot c_p \cdot \Delta t \quad [\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (8)$$

teplo, které je potřebné komprimovanému plynu odebrat.

4.4.1 Parametry zemního plynu při teplotě $t = 0^\circ\text{C}$ a tlaku $p = 100 \text{ kPa}$

Měrná tepelná kapacita při konstantním tlaku: $c_p = 2,17 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

měrná tepelná kapacita při konstantním objemu: $c_v = 1,65 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

izentropický koeficient:

$$\kappa = 1,31$$

hustota:

$$\rho = 0,72 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

měrná plynová konstanta: $r = 518,36 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
 molová hmotnost: $M = 16,07 \text{ kg.kmol}^{-1}$

Protože průtočné množství plynu je udáváno v $\text{Nm}^3.\text{h}^{-1}$, můžeme použít parametry zemního plynu pro tyto hodnoty, to znamená pro tlak $p = 100 \text{ kPa}$ a teplotu $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Potom po dosazení do (3) je měrná tepelná kapacita zemního plynu

$$c_p = 2,15 + \left(\frac{15}{2000} + 1 \right) \cdot \frac{15}{370} = 2,191 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$$

a po dosazení do (2) je hustota zemního plynu $\rho = \frac{39360}{\left(\frac{20}{0,1} - \frac{400}{288,15} + 1 \right) \cdot 288,15} = 0,684 \text{ kg.m}^3$

Hmotnostní tok se vypočítá podle vzorce: $\frac{dm}{dt} = \frac{dv}{dt} \cdot \rho \text{ [kg.h}^{-1}\text{]}$ (9)

Hodnoty z tabulek 3 a 4 a výpočty podle rovnic (8) a (9) jsou zpracovány v následující tabulce:

tabulka 5 – množství tepla potřebné odebrat plynu v jednotlivé stavy při výstupní teplotě plynu $T_2 = 30^\circ\text{C}$

$\frac{dv}{dt}$ [$\text{Nm}^3.\text{h}^{-1}$]	$\frac{dm}{dt}$ [kg.h^{-1}]	Δt [$^\circ\text{C}$]	Q_p [$\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$]
122 500	83 790	35,8	6572303
160 000	109 440	48,3	11581521
160 000	109 440	57,1	13691612
150 000	102 600	68,8	15466006
108 000	73 872	107,7	19041150
145 000	99 180	83,0	18041243

Z tabulky č. 5 je zřejmé, že nejvíce tepla je potřebné odebrat při průtoku $108\,000 \text{ Nm}^3.\text{h}^{-1}$. Jeho velikost je $Q = 19041150 \text{ kJ} = 5\,289 \text{ kW.h}$ a vstupní teplota plynu do chladiče $T_1 = 137,7^\circ\text{C}$.

4.5 Výpočet množství tepla odebraného chladičem

Maximální hmotnostní průtok chladicího vzduchu procházející chladičem plynu je dle dodavatele uvedené v příloze č.20 $\frac{dm}{dt}_{\text{vzd}} = 498\,430 \text{ kg.h}^{-1}$.

Výpočtová výstupní teplota chladícího vzduchu je stanovena $t_{2vzd} = 57,8$ °C.
 Výpočtová vstupní teplota chladícího vzduchu je stanovena $t_{1vzd} = 15$ °C.

Hustotu vlhkého vzduchu lze vypočítat podle vzorce:

$$\rho_{vv} = \rho_{sv} + \rho_p = \frac{p - \varphi \cdot p_d''}{r_a \cdot T} + \frac{\varphi \cdot p_d''}{r_d \cdot T} = \frac{p}{r_a \cdot T} - \left[\frac{\varphi \cdot p_d''}{T} \cdot \left(\frac{1}{287,1} - \frac{1}{461,5} \right) \right] \quad [\text{kg.m}^{-3}] \quad (10)$$

kde je:

p – celkový tlak [Pa]

p_d'' - tlak syté vodní páry [Pa]

$r_a = 287,1 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ – měrná plynová konstanta suchého vzduchu

$r_d = 461,5 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ – měrná plynová konstanta vodní páry

Izobarickou měrnou tepelnou kapacitu vlhkého vzduchu vypočítat podle vztahu:

$$c_{pvv} = \sigma_{sv} \cdot c_{psv} + \sigma_p \cdot c_{pp} \quad [\text{J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}] \quad (11)$$

kde je:

$$\sigma_{sv} = \frac{m_{sv}}{m_{vv}} = \frac{1}{1+x} \quad \text{- hmotnostní zlomek suchého vzduchu} \quad (12)$$

$$\sigma_p = \frac{m_p}{m_{vv}} = \frac{x}{1+x} \quad \text{- hmotnostní zlomek páry} \quad (13)$$

$$x = \frac{\rho_p}{\rho_{sv}} \quad [\text{kg}_p/\text{kg}_{sv}] \quad \text{- měrná vlhkost vzduchu} \quad (14)$$

$c_{psv} = 1004,7 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ – měrná tepelná kapacita suchého vzduchu

$c_{pp} = 1860 \text{ J.kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ – měrná tepelná kapacita páry

Jako příloha č.24 je uveden Psychrometrický diagram podle Molliera zpracovaný pro vlhký vzduch o tlaku 100 kPa. Na tomto diagramu lze odečíst potřebné hodnoty pro různé stavy vlhkého plynu o tlaku $p = 100$ kPa. Pro jiný tlak by bylo nutné tyto hodnoty přepočítat.

Pro výpočtové teploty chladícího vzduchu $t_{1vzd} = 15$ °C, $t_{2vzd} = 57,8$ °C a za předpokladu relativní vlhkosti chladícího vzduchu $\varphi = 50$ % je možné odečíst další hodnoty z Mollierova diagramu a dále vypočítat:

$x = 0,0052 \text{ kg}_p \cdot \text{kg}_{sv}^{-1}$ a $p_d'' = 715 \text{ Pa}$, odtud

$$\rho_{vv} = \frac{p}{r_a \cdot T} - \left[\frac{\varphi \cdot p_d''}{T} \cdot \left(\frac{1}{287,1} - \frac{1}{461,5} \right) \right] = \frac{100000}{287,1 \cdot 288,15} - \left[\frac{0,5 \cdot 715}{287,15} \cdot \left(\frac{1}{287,1} - \frac{1}{461,5} \right) \right] = 1,207 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$c_{p_{vv}} = \frac{1}{1+x} \cdot c_{p_{sv}} + \frac{x}{1+x} \cdot c_{p_p} = \frac{1}{1+0,0052} \cdot 1004,7 + \frac{0,0052}{1+0,0052} \cdot 1860 = 1009,12 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Teplu odvedené chladičím vzduchem Q_{o1} je potom:

$$Q_{o1} = \dot{m}_{vz} \cdot c_{p_{vv}} \cdot \Delta t = 498430 \cdot 1,00912 \cdot (58,7 - 15) = 21980037,29 \text{ kJ} \text{ a po přepočtu na kW.h}$$

$$Q_{o1} = 6105,56 \text{ kW.h}$$

Jestliže porovnáme teplo, které je potřeba odvést z komprimovaného plynu a teplo možné odvést chladičím vzduchem, zjistíme, že pro dané podmínky je výkon chladiče navržen s dostatečnou rezervou.

V letním období ovšem vstupní teplota chladičím vzduchu $t_{1 \text{ vzd}}$ může dosahovat až 35°C . Za předpokladu stejné výstupní teploty chladičím vzduchu $t_{2 \text{ vzd}}$ a stejné relativní vlhkosti φ můžeme vypočítat teplo odvedené chladičím vzduchem Q_{o2} :

$x = 0,0174 \text{ kg}_p \cdot \text{kg}_{sv}^{-1}$ a $p_d'' = 2700 \text{ Pa}$, pak je:

$$c_{p_{vv}} = \frac{1}{1+x} \cdot c_{p_{sv}} + \frac{x}{1+x} \cdot c_{p_p} = \frac{1}{1+0,0174} \cdot 1004,7 + \frac{0,0174}{1+0,0174} \cdot 1860 = 1019,328 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$Q_{o2} = \dot{m}_{vz} \cdot c_{p_{vv}} \cdot \Delta t = 498430 \cdot 1,01933 \cdot (58,7 - 35) = 12041132,25 \text{ kJ} \text{ a po přepočtu na kW.h}$$

$$Q_{o1} = 3344,76 \text{ kW.h}$$

Jestliže za Q_o dosadíme max. Q_p můžeme vypočítat maximální vstupní teplotu chladičím vzduch $t_{1 \text{ vzd}}$, při které je chladič ještě schopen komprimovaný plyn uchládit na požadovanou výstupní teplotu $t_2 = 57,8^\circ\text{C}$.

$$t_{1 \text{ vzd}} = t_{2 \text{ vzd}} - \frac{Q_p}{\dot{m}_{vz} \cdot c_{p_{vv}}} = 57,8 - \frac{19041150}{498430 \cdot 1,01933} = 20,3^\circ\text{C}$$

5 Návrh řešení

5.1 První varianta – chlazení chladícího vzduchu

Při chlazení chladícího vzduchu na požadovanou max. vstupní teplotu $t_{1vzd} = 20^\circ\text{C}$ bude nutné odebrat teplo Q_{ovzd} :

$$Q_{ovzd} = \dot{m}_{vz} \cdot c_{pvv} \cdot \Delta t = 498430 \cdot 1,01933 \cdot (35 - 20) = 7620968 \text{ kJ} = 2117 \text{ kW.h} \quad (15)$$

5.1.1 Varianta 1a – použití klimatizační jednotky

Dle výpočtu (15) je zřejmé, že by bylo nutné použít chladicí jednotku, která za jednu hodinu ochladí plyn o energii $Q = 2117 \text{ kW.h}$. Toto řešení pak číselně odpovídá požadovanému výkonu klimatizační jednotky, tj mělo by jít o jednotku o minimálním výkonu $P = 2117 \text{ kW}$. Tato varianta by byla značně finančně náročná jak na pořízení, tak i na provozování tohoto zařízení.

5.1.2 Varianta 1b – použití chladiče (výměníku voda/vzduch)

Protože zvýšení chladícího výkonu chladičů plynů je požadováno v letních měsících a vlastní provozování bude probíhat v nahodilých intervalech, bylo by možné k chlazení použít pitnou vodu, popřípadě filtrovanou vodu z požární nádrže. Tato voda by se již nevracela zpět do systému, ale použila by se na zálivku travnatých ploch, popřípadě ke zvýšení účinnosti katodové ochrany horizontálních rozvodů smáčením půdy v okolí obětních anod.

Potřebné množství chladící vody:

Parametry vody:

Vstupní teplota chladící vody $t_{1H_2O} = 10^\circ\text{C}$; výpočtová výstupní teplota chladící vody $t_{2H_2O} = 23^\circ\text{C}$; měrná tepelná kapacita vody $c_{pH_2O} = 4219 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$;

$$m_{H_2O} = \frac{Q_{ovzd}}{c_{pH_2O} \cdot \Delta t} = \frac{7620968}{4,219 \cdot (23 - 10)} = 138950 \text{ kg.h}^{-1} = 138,95 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}.$$

5.2 Druhá varianta – adiabatické vlhčení chladícího vzduchu

Adiabatické vlhčení vzduchu lze provádět dvěma způsoby. První způsob je přidáváním syté

vodní páry do vzduchu. Tento způsob je energeticky náročný zejména na výrobu páry. Druhý způsob je provádění vlhčení vzduchu v adiabatické pračce. Princip adiabatické pračky spočívá v rozstříkávání vody do proudu vzduchu. Na povrchu kapiček dochází k intenzivnímu přestupu tepla. Teplo potřebné k odpaření vody přejímá z okolního vzduchu, vzduch se ochlazuje a zároveň je vzduch syčen vodními parami. V adiabatické pračce je teoreticky možno dosáhnout stavu nasycení vzduchu, tedy relativní vlhkost vzduchu $\varphi = 100\%$, prakticky je však možné dosáhnout relativní vlhkost vzduchu $\varphi = 95\%$. Tato změna stavu vzduchu probíhá za nezměněné entalpie vlhčeného vzduchu. Z Mollierova diagramu je patrné, že při adiabatickém vlhčení je možné vlhčený vzduch zchladit pouze na určitou teplotu, která je závislá na teplotě a relativní vlhkosti vlhčeného plynu a odpovídá hodnotě relativní vlhkosti $\varphi = 100\%$.

V následující tabulce budou uvedeny různé výchozí stavy vzduchu a je jich změny. Tyto stavy jsou předpokládány pro tlak vzduchu $p = 100\text{ kPa}$.

tabulka 6 – změny stavů vlhčeného vzduchu

výchozí stav				$\varphi = 100\%$			
t_1 [°C]	φ_1 [%]	ρ_1 [kg.m ⁻³]	x_1 [kg _p .kg _{sv} ⁻¹]	t_{2min} [°C]	ρ_2 [kg.m ⁻³]	x_2 [kg _p .kg _{sv} ⁻¹]	Δx [kg _p .kg _{sv} ⁻¹]
35	30	1,124	0,0106	22,2	1,18	0,0160	0,0054
35	50	1,119	0,0176	26,0	1,15	0,0212	0,0036
30	30	1,143	0,0078	17,5	1,195	0,0128	0,0050
30	50	1,139	0,0132	22,0	1,17	0,0164	0,0032

V tabulce č.6 je možné pozorovat, že ze čtyřech zkoumaných výchozích stavů chladičího vzduchu je možné nejvíce nasytit chladičí vzduch 0,0054 kg vodní páry na 1 kg chladičího vzduchu. Při maximálním hmotnostním toku chladičího vzduchu $dm/dt_{vzd} = 498\,430\text{ kg.h}^{-1}$ se jedná o spotřebu vody $S = 2691,53\text{ kg.h}^{-1} = 44,86\text{ l.min}^{-1}$.

5.3 Třetí varianta – chlazení vodou a následné odpaření

V této variantě je navrženo využití vysokého výparného tepla vody, které lze určit dle vztahu:

$$\Delta h_v = 2500 - 2,0425 \cdot t - 0,00381 \cdot t^2 \quad [\text{kJ.kg}^{-1}] \quad (16)$$

a její měrné tepelné kapacity::

$$c_{H_2O} = (4210 - 1,363 \cdot t + 0,014 \cdot t^2) \cdot 10^{-3} \quad [\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}] \quad (17)$$

Princip spočívá v tom, že chladicí voda bude nastříkávána přímo na teplosměnnou plochu chladiče, kde část tepla odebere a zahřeje se. Chladicí vzduch se také zahřeje a absorbuje odpařovanou chladicí vodou. Výhoda vzniká v tom, že ohřátý vzduch dokáže absorbovat větší množství vody, jak je možné sledovat v Mollierově diagramu, a zároveň voda, která se odpařuje přímo na chladících plochách, odebírá další teplo.

V tomto případě je velice složité určit chování chladicího vzduchu v kombinaci s nastříkovanou vodou, proto bude princip chlazení analyzován metodou superpozice. Předpoklady výpočtu budou následující:

- chladičí vzduch nebude ovlivňován nastříkávanou vodou. To znamená, že se nebude měnit jeho teplota a vlhkost do té doby, než bude v kontaktu s teplosměnnou plochou výměníku chladiče.
- nastříkávaná voda se na teplosměnné ploše ohřeje na teplotu chladicího vzduchu, čímž odebere část přiváděného tepla komprimovaným plynem a dále se bude odpařovat a sytit ohřátý chladicí vzduch. Vlastním odpařováním bude dále odebírat teplo komprimovanému plynu.

5.3.1 Vstupní parametry

Teplota chladicího vzduchu $t_1 = 35^\circ\text{C}$; průtok chladicího vzduchu $\dot{m} = 498\,430\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$
 teplota nastříkávané vody $t_{v1} = 10^\circ\text{C}$; výstupní teplota plynu z chladiče $T_2 = 30^\circ\text{C}$
 z tabulky č. 5 :

max. teplo k odebrání:	$Q = 19041150\text{ kJ} = 5\,289\text{ kW}\cdot\text{h}$
vstupní teplota plynu do chladiče	$T_1 = 137,7^\circ\text{C}$.
měrná tepelná kapacita vody	$c_{pH_2O} = 4,188\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ při teplotě $t = 20^\circ\text{C}$
měrné výparné teplo vody	$\Delta h_v = 2422,85\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ při teplotě $t = 35^\circ\text{C}$
měrná tepelná kapacita vzduchu	$c_{pvv} = 1019,328\text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ při teplotě $t = 35^\circ\text{C}$
předpokládané množství nastříkávané vody	$3500\text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$.

Teplo odebrané ohřevem vody z teploty $t_1 = 10^\circ\text{C}$ na $t_2 = 35^\circ\text{C}$ je:

$$Q_1 = m \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1) = 3500 \cdot 4,188 \cdot (35 - 10) = 366450\text{ kJ} \quad (18)$$

Při odpaření vody se odebere teplo:

$$Q_2 = m \cdot \Delta h_v = 3500 \cdot 2422,85 = 8479975 \text{ kJ} \quad (19)$$

Výpočet tepla odebraného chladícím vzduchem:

$$Q_3 = Q - Q_1 - Q_2 = 19041150 - 366450 - 8479975 = 10194725 \text{ kJ} \quad (20)$$

Výpočet výstupní teploty chladícího vzduchu:

$$t_2 = t_1 + \frac{Q_3}{c_{p_{vz}} \cdot m_{vz}} = 35 + \frac{10194725}{1,0019 \cdot 498430} = 55,4 \text{ °C} \quad (21)$$

5.3.2 Kontrola možnosti odpaření nastříkávané vody

Dle přílohy č.25 pro parametry vzduchu $t = 35^\circ\text{C}$ a relativní vlhkost $\varphi = 50\%$ tento vzduch obsahuje $x = 17,5$ g vody na 1kg suchého vzduchu.

Při hmotnostním průtoku vzduchu $\dot{m} = 498\,430 \text{ kg}\cdot\text{h}^{-1}$ je potřeba odpaření 3500 kg vody potřeba, aby 1 kg vzduchu absorboval:

$$dx = \frac{m_{H_2O}}{m_{vz}} = \frac{3500}{498430} = 0,007 \text{ kg} = 7 \text{ g vody.} \quad (22)$$

Z přílohy č. 25 lze dále odečíst, že pro parametry vzduchu $t = 55^\circ\text{C}$ a relativní vlhkost $\varphi = 50\%$ tento vzduch obsahuje $x = 52,5$ g vody na 1kg suchého vzduchu. Z toho plyne, že při ohřevu vlhkého vzduchu z teploty $t_1 = 35^\circ\text{C}$ na teplotu $t_2 = 55^\circ\text{C}$ a při zachování jeho stejné relativní vlhkosti $\varphi = 50\%$ je schopen absorbovat 1 kg vzduchu 35 g vody.

6 Závěr

Každá z výše navrhovaných řešení má určité výhody i nevýhody.

6.1 První řešení

V prvním řešení, kde je navrhováno chlazení vstupního chladícího vzduchu, jsou rozebrány dvě možnosti.

V první je navrženo použití klimatizační jednotky. Při výpočtu chladicího výkonu bylo zjištěno, že tento výkon by měl být minimálně 2117 kW a jestliže započítáme účinnost cca 85 %, je nutná jednotka o příkonu 2500 kW.

V druhé variantě je navrženo použití chladicího výměníku voda vzduch, kde pro chlazení chladicího vzduchu je navrhováno použití pitné vody, která by se dále využila k zavlažování travnatých ploch a ke zvýšení účinnosti horizontální katodové ochrany. V tomto případě by se pohybovala spotřeba chladicí vody okolo $140 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

6.1.1 Výhody

Výhodou tohoto řešení je, že při instalaci by nedošlo větším zásahům do již instalovaného chladiče plynu. Pouze by se na sání chladících ventilátorů připevnilo prodloužené sací potrubí od klimatizační jednotky nebo od chladiče vzduchu. Další výhodou tohoto řešení oproti následujícím je, že při chlazení plynu nedochází ke vnikání vody do chladicího prostoru a k možné následné korozi zařízení.

6.1.2 Nevýhody

Velkou nevýhodou je finanční náročnost při nákupu a provozování klimatizační jednotky o velkém chladicím výkonu. Při použití vodního chladiče je zase nevýhodou značná spotřeba chladicí vody zvláště při dlouhodobém provozování. Pravděpodobně by bylo potřeba uzavřít smlouvu o nadměrném odběru pitné vody z vodovodního řádu.

6.2 Druhé řešení

V tomto řešení je navrhováno chlazení chladicího vzduchu pomocí adiabatického vlhčení. Při tomto způsobu chlazení dochází ke snížení teploty chladicího vzduchu, ale zároveň ke zvýšení jeho relativní vlhkosti.

6.2.1 Výhody

Výhodou je jednoduchá realizace, která spočívá v úpravě sacích traktů jednotlivých ventilátorů. Zde je nutné pouze zajistit dostatečný kontakt chlazeného vzduchu s chladicí vodou např. vhodnými rozprašovacími tryskami, které budou tvořit vodní mlhu přes kterou bude proudit chlazený vzduch.

6.2.2 Nevýhody

Hlavní nevýhodou tohoto řešení je pouze omezený rozsah použití. Takto chlazený vzduch je schopný pohltit pouze omezené množství chladicí vody a to v závislosti na jeho vstupní teplotě a vstupní relativní vlhkosti, a tím je i omezena možnost jeho ochlazení. Tímto způsobem je možné pouze částečně zvýšit chladicí výkon již instalovaného chladiče plynu. Při tomto řešení je předpokládána max. spotřeba chladicí vody okolo $2,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Při větším přívodu chladicí vody než je chladicí vzduch schopen pohltit bude docházet k vynášení vody do chladiče plynu.

6.3 Třetí řešení

Třetí řešení spočívá ve chlazení nastříkávanou vodou a její následné odpaření v kombinaci chlazením plynu proudícím vzduchem. Chladicí voda je nastříkávána ve formě mlhy přímo na chladicí plochy výměníku chladiče plynu, kde částečně odebere teplo chlazenému plynu. Na chladicích plochách se dále odpaří čímž odebírá další teplo. Chlazení vodou je kombinované s chlazením chladicím vzduchem, který také absorbuje odpařenou vodu.

6.3.1 Výhody

Při tomto řešení je využito vysokého výparného tepla vody, kdy pro odpaření 1 kg vody je potřeba odebrat okolo 2400 kJ tepla. Zároveň chladicí vzduch ohřátý chlazením plynu je schopný absorbovat daleko větší množství odpařené vody než vzduch chladnější, takže při dokonalém nastavení rozprašování vody na chladicí plochy výměníku může docházet k dokonalému odpaření chladicí vody a z plynového chladiče by odcházel pouze vlhký vzduch.

6.3.2 Nevýhody

Nutný zásah do konstrukce chladiče plynu a instalace rozvodného a rozprašovacího potrubí. Nutnost použití rozprašovacích nebo mlhu tvořících trysek. Při nastříkávání vody může docházet k zatékání vody v konstrukci chladiče. Při použití neupravené chladicí vody může docházet k zanášení trysek minerály. Předpokládána spotřeba chladicí vody při max. výkonu je $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

6.4 Doporučení

Z výše navrhovaných řešení doporučuji použít třetí variantu. Spotřeba vody okolo $3,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ není nijak velká s ohledem na to, že se jedná o spotřebu při maximální výkon kompresoru. V praxi se tato hodnota dosahuje velice zřídka. Při vyhodnocení provozování v minulých letech, lze předpokládat, že využívání ochlazovacího opatření nebude dlouhodobě kontinuální, ale pouze nárazové. Celkový systém se bude skládat pouze ze soustavy trysek, rozvodného a přívodního potrubí. Sestavu trysek potrubí bude nutné vsadit pod výměník chladiče plynu ve vhodné vzdálenosti, aby docházelo k pokrytí rozstříkem na celou plochu výměníku. Přívodní potrubí navrhuji osadit průtokoměrem a regulačním ventilem. Dále navrhuji rozdělit rozvodné potrubí na dva okruhy, aby byla možná větší regulace nastříkované vody a tlaku vody na tryskách.

V příloze č.27 je navrženo rozmístění nastříkávajících trysek a schéma rozvodného potrubí a jeho umístění ve skříni chladiče plynu. Chladicí vodu lze odebírat přímo z rozvodného řádu, protože navrhované trysky pracují i při nízkých tlacích, kterým tlak vody v rozvodném řádu vyhovuje. Při častějším používání bude nutná údržba rozprašovacích trysek, zejména čištění od usazujících se minerálů. Rozprašovací trysky jsem navrhl použít od fy. Spraying Systems Co. Typ 1/4 GA-W – SS – 10W. Tyto trysky mají rozprašovací kužel s vrcholovým úhlem 120° a fungují s tlakem kapaliny v rozsahu 0,3 – 6 bar. Jsou vyrobeny z nerezové oceli. Katalogový list je v příloze č.26.

7 Přílohy

Příloha č.1: Titulní strana

Příloha č.2: Silové zapojení měničů

Příloha č.3: Silové zapojení motorů M1-M3

Příloha č.4: Silové zapojení motorů M4-M6

Příloha č.5: Silové zapojení motorů M7-M8

Příloha č.6: Zapojení softstartér

Příloha č.7: Rozvod 24VDC

Příloha č.8: Ovládání frekvenčních měničů

Příloha č.9: Datová komunikace

Příloha č.10: PLC napájení

Příloha č.11: PLC-CPU101

- Příloha č.12: PLC-m_AI1, m_AI2
- Příloha č.13: PLC-m_DI1
- Příloha č.14: PLC-m_DI2, m_DO1
- Příloha č.15: PLC-m_DO2
- Příloha č.16: Výstupní přechodová relé I
- Příloha č.17: Výstupní přechodová relé II
- Příloha č.18: Výstupní přechodová relé III
- Příloha č.19: Hlášky o stavu relé
- Příloha č.20: Technická specifikace výrobce chladiče
- Příloha č.21: Měřené hodnoty při vtláčení zemního plynu kompresory
- Příloha č.22: Výpočet průtočného množství a teplot komprimovaného plynu pro $P = 6000 \text{ kW}$
- Příloha č.23: Graf průtočného množství a teplot v závislosti na výstupním tlaku plynu
- Příloha č.24: Mollierův diagram vlhkého vzduchu pro tlak $p = 100 \text{ kPa}$
- Příloha č.25: Rozšířený Mollierův diagram vlhkého vzduchu pro tlak $p = 101,325 \text{ kPa}$
- Příloha č.26: Katalogový list použité trysky
- Příloha č.27: Rozmístění trysek a rozvodného potrubí
- Příloha č.28: Schéma potrubí
- Příloha č.29: Zjednodušené dimenzování potrubí podle ČSN EN 806-3

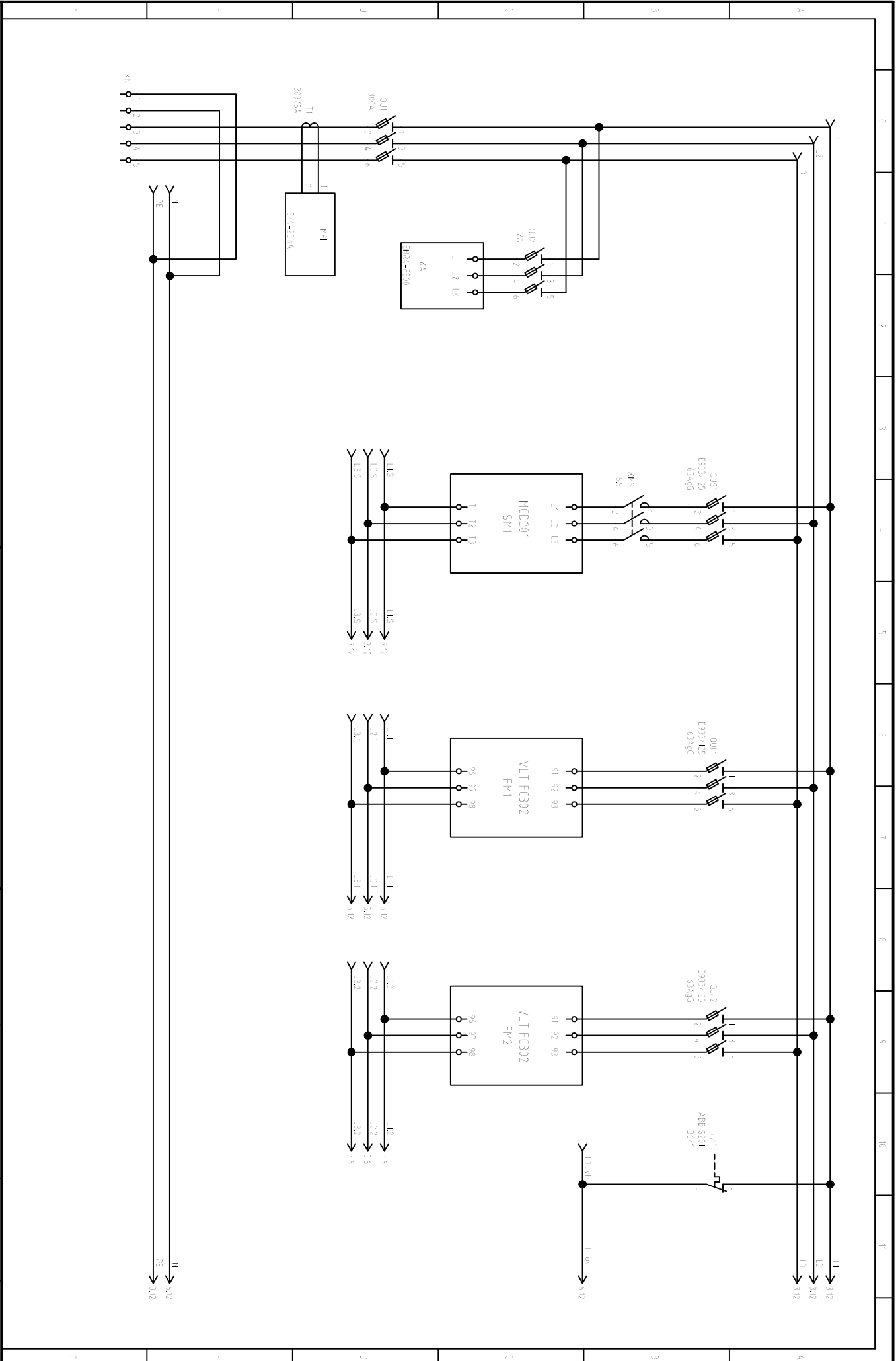
8 Použitá literatura

- [1] - Provozní dokumentace PZP Háje, PZP Dolní Dunajovice
- [2] - Plynárenská příručka, Praha 2002
- [3] - <http://www.eaton.cz/Czech/index.htm>
- [4] - <http://www.danfoss.cz/home/>
- [5] - V. Koza (2004) <http://zemniplyn.wz.cz>
- [6] - Doc.Ing.Jiří Nožička, Csc. Základy termomechaniky ČVUT 2001
- [7] - Magda Fialová, Pavel Šafařík Základy termodynamiky vlhkého vzduchu ČVUT 2002
- [8] - Doc.Ing. Richard Nový, Csc. Technika prostředí ČVUT 2000
- [9] - <http://www.tzb-info.cz>
- [10] - Ing. Rudolf Kříž, Ing. Pavel Vávra, Strojírenská příručka, svazek 4 Scientia spol. s.r.o. Praha 1994
- [11] - <http://www.trysky.cz>

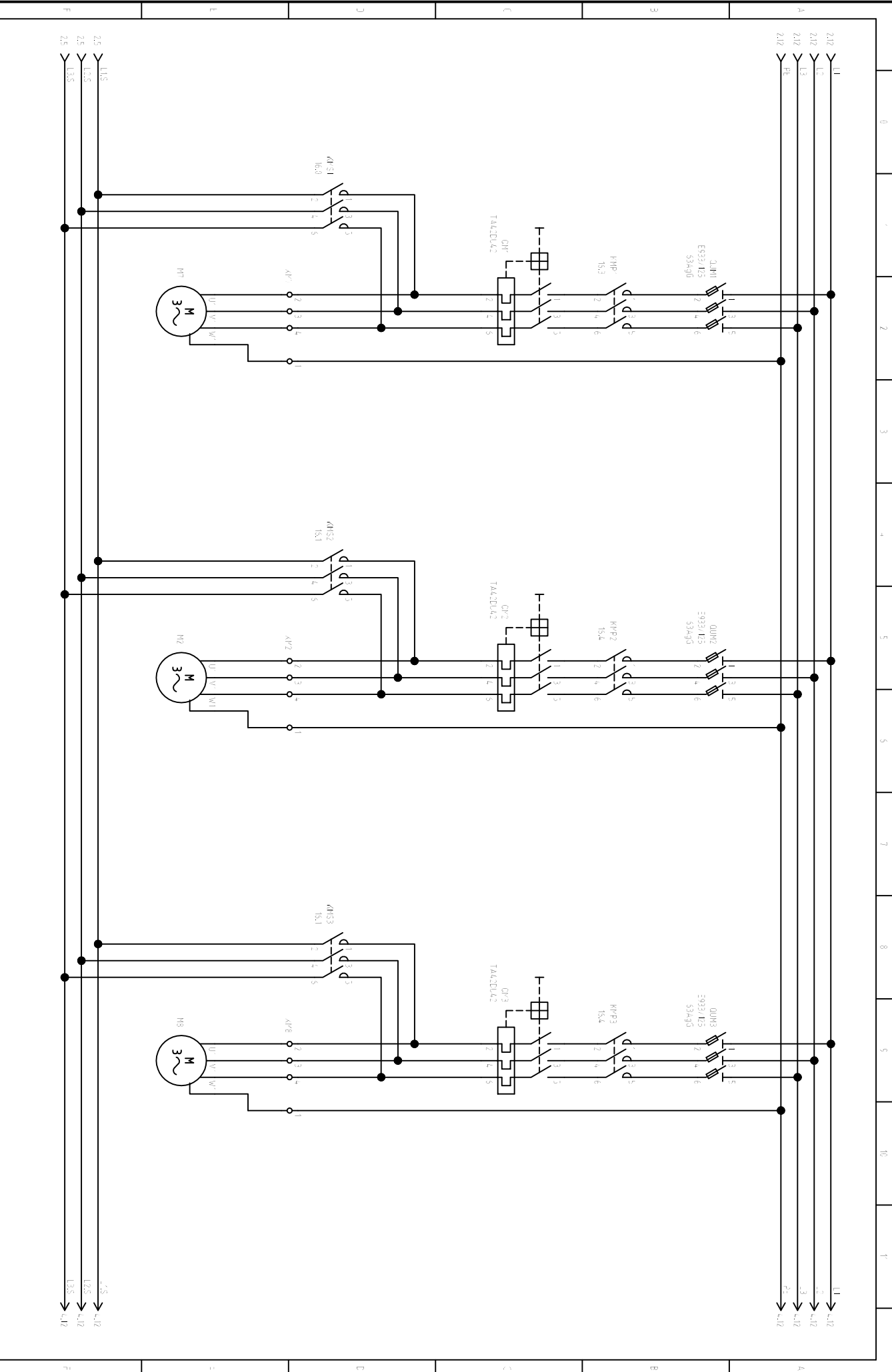
Titulní strana

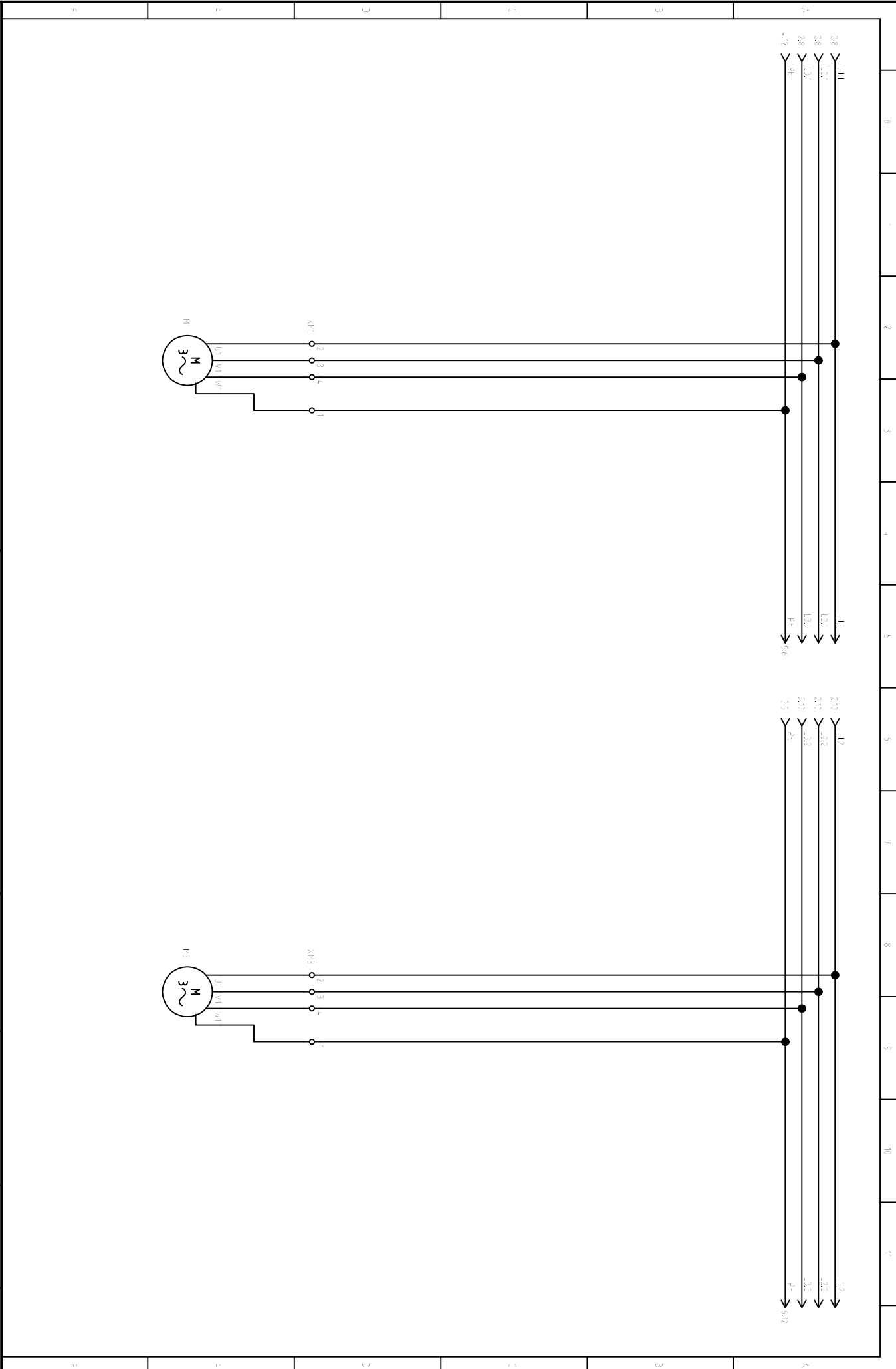
Informace o zákazníkovi		Popis projektu			
Základní	RUE Gas Storage	01	Chladicí		
Adresa 1	Doon Duale Ke	02			
Adresa 2		03			
PSC		04	S001-04 - 5a-1a		
Název		05			
Telefon		06			
Fax		07			
E-mail		08			
Poznamenání		09			
Poznámka 2		10			
Poznámka 3		11			
Datum příjezdu	4.4.2016	12			
Kreslí	Št. Hübner	13			
Komentář 		14			
		15			
		16			
		17			
		18			
		19			
		20			
		Chladicí			

Projekt:	Chladicí PZP DD	Váves ČZ	S001-04 - 5a-1a
Datum:	4.4.2016		
		Diplomová práce - Návrh systému řízení pohonů ventilátorů chladičů plynu pro udržování teploty.	
			Učitel: P. Tříska, Č.1

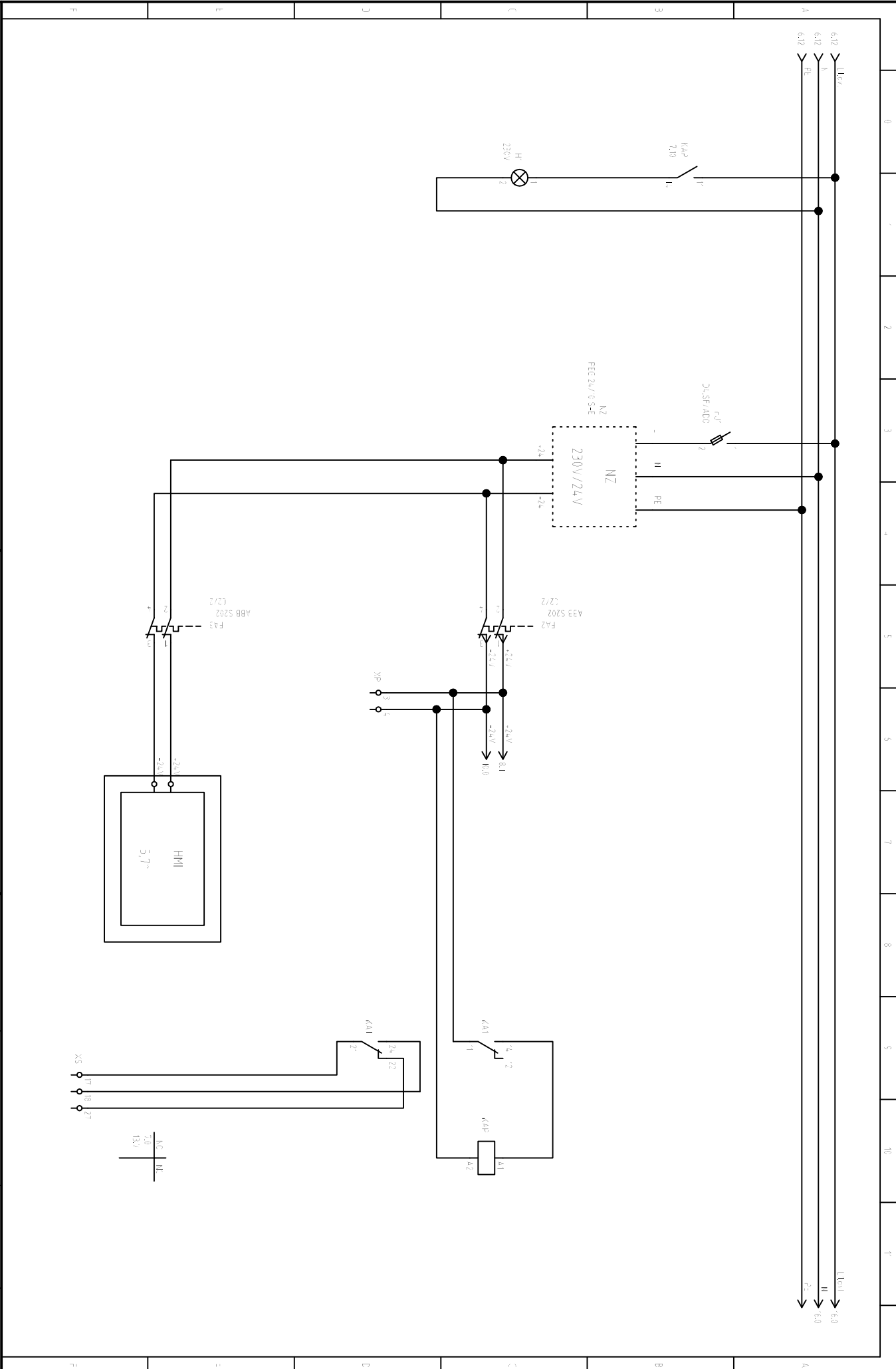


Zsadačská úniková v Plzni Fabrika elektrotechnická Na ředě elektrické inženýrské a ekologické		Stav: rozvad. 30-400/30/ Slova zapojení měřič Chladicí PZP 3D		Projekt: Chladicí PZP 3D		Kód: S3 S001-04-16-TA		Revizor: 4.2.2016		Číslo: B.1.1.1.1.1	
		Datum: 13.10.16		Zpracovatel: L3.10.16		Umístění: ...				Jméno: P. P. P. P. P.	

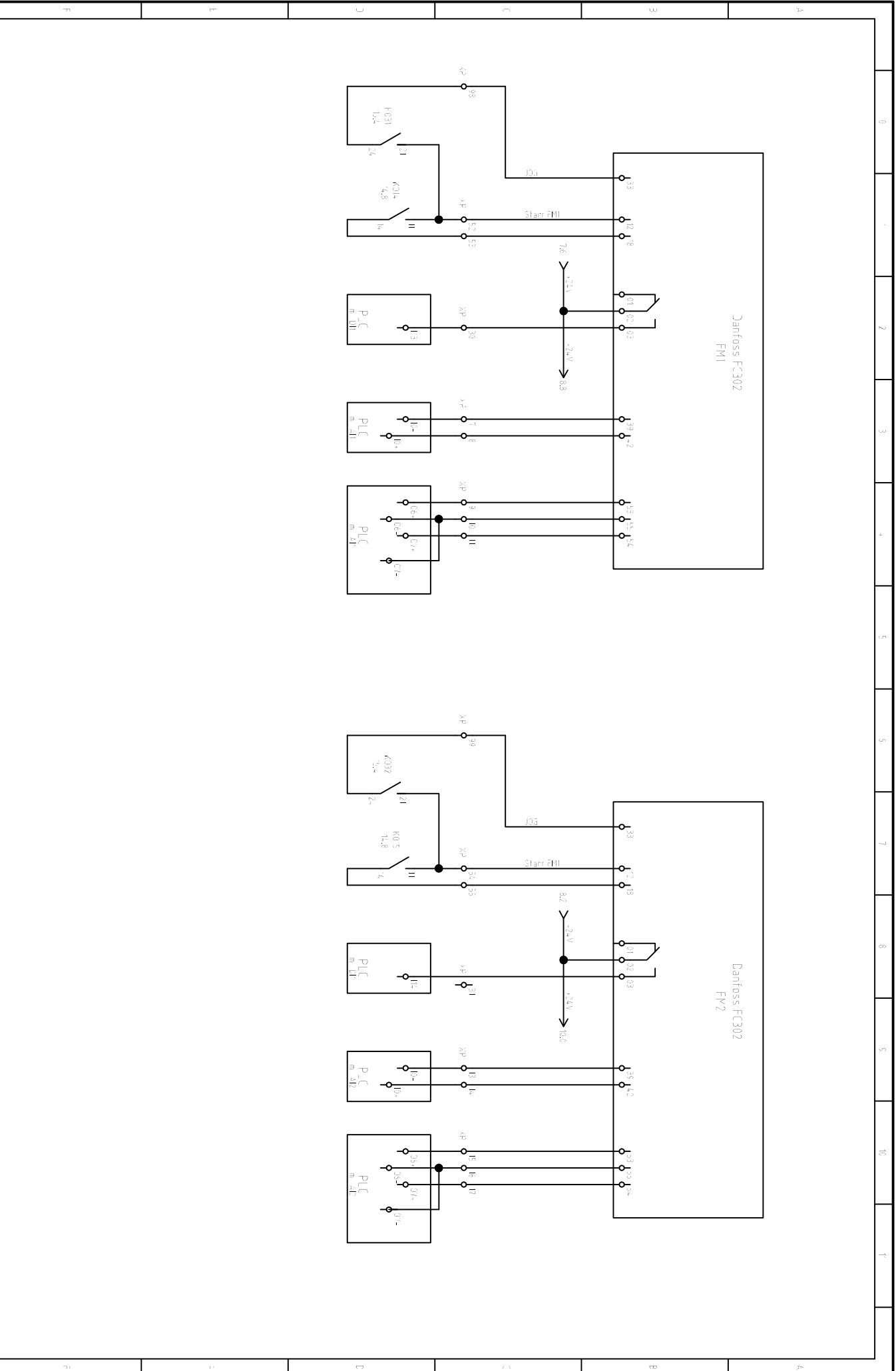




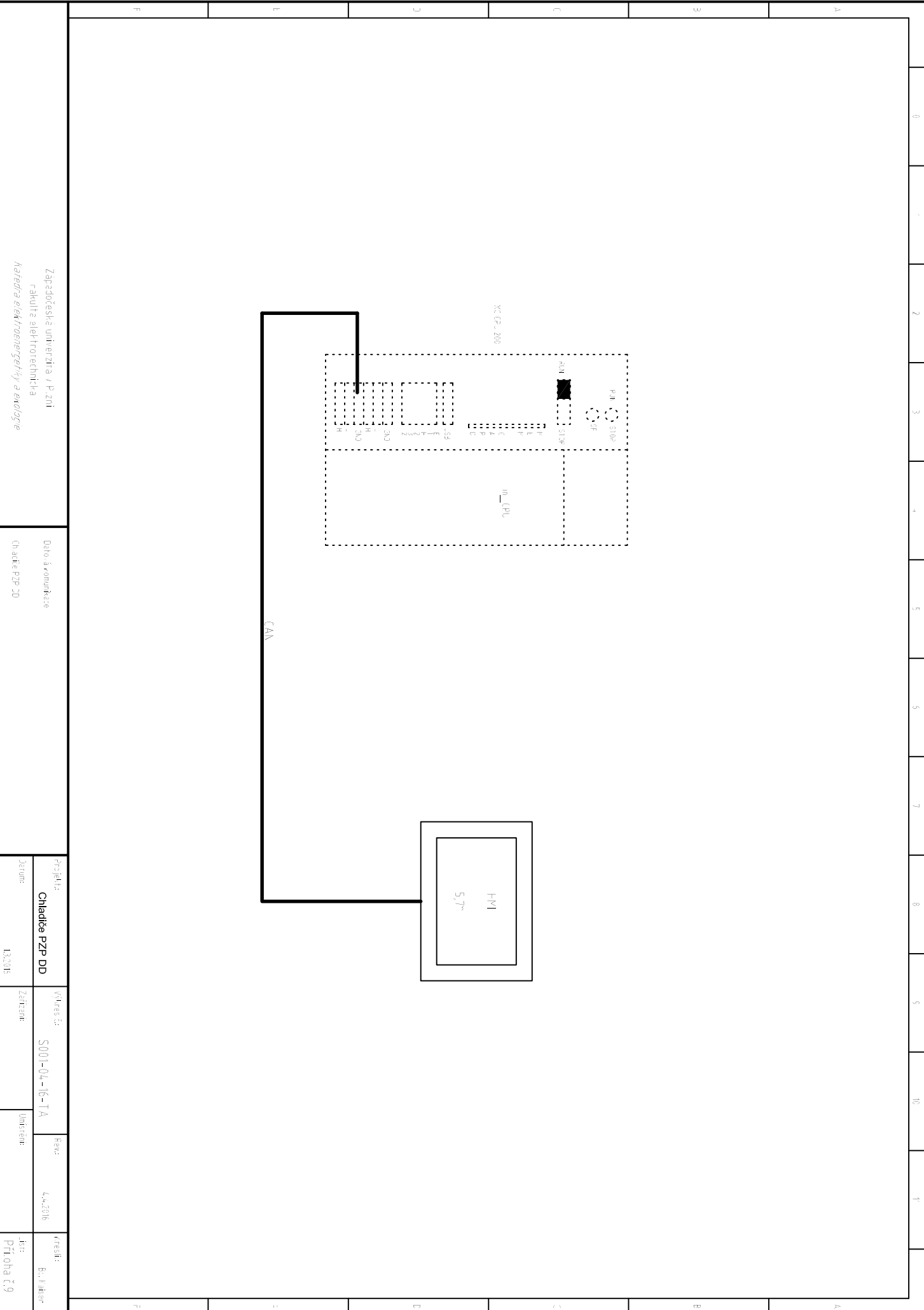
Zápovedná univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická <i>Katedra elektrotechniky a elektroniky</i>		Síťová zapojení motorů M-4/8 Chladicí PZP 30	
		Projekt: Chladicí PZP DD	Kódový list: S001-04-16-TA
Datum: 13.03.16	Zpracovatel: B. F. J. J. J.	Revize: 4.4.2016	Kreslí: B. F. J. J. J.



Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická Katedra elektrotechniky a ekologie		Revizní ZL DC Chadiče PZP 3D		Projekt: Chadiče PZP DD		křes: S001-04-16-TA		čas: 4.2016		kreslí: B. Hájek	
				Datum: 13.03.16		Změny:		Umístění:		-kres: P. Pácha č.7	



Zápovedská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická Katedra elektrotechniky a ekologie		On štátni fak. učební materiál Charakter: PZP 30	
Projekt:	Chladicí PZP DD	Verze:	S001-04-16-TA
Jméno:	L330E	Zetřena:	
		Upraveno:	
		Reviz:	4.2.016
		Verze:	01



Zapadoceska univerzita v Plzni
 fakulta elektrotechnicka
 katedra elektrotechniky a elektroniky

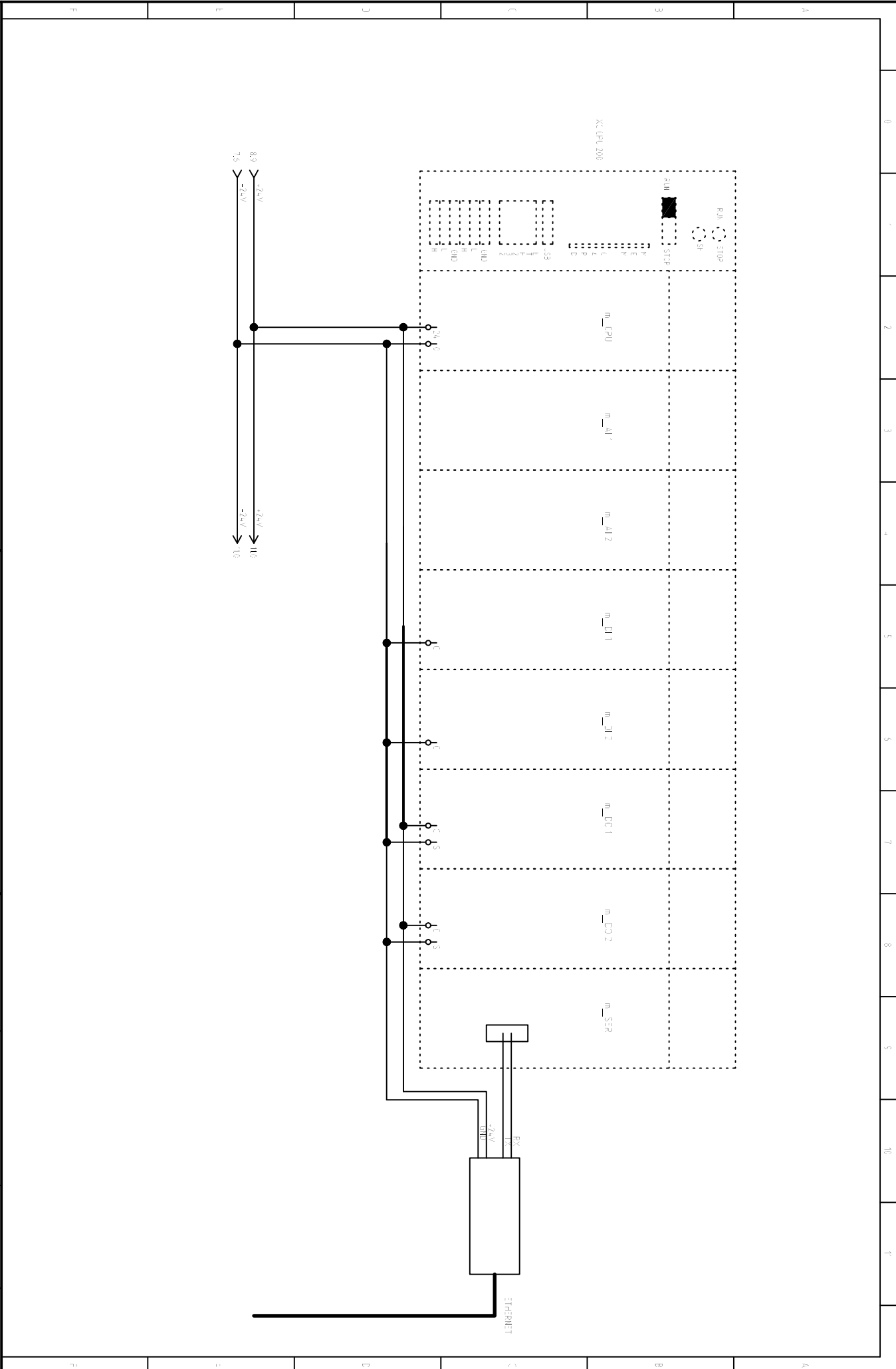
Oslovení a komunikace
 Chladice PZP DD

Projekt:
Chladice PZP DD
 Datum: 13.03.16

Kód projektu: S001-04-16-TA
 Změna: 1

Verze: 4.2.016

Upraveno: B. J. J. J.
 Datum: 13.03.16

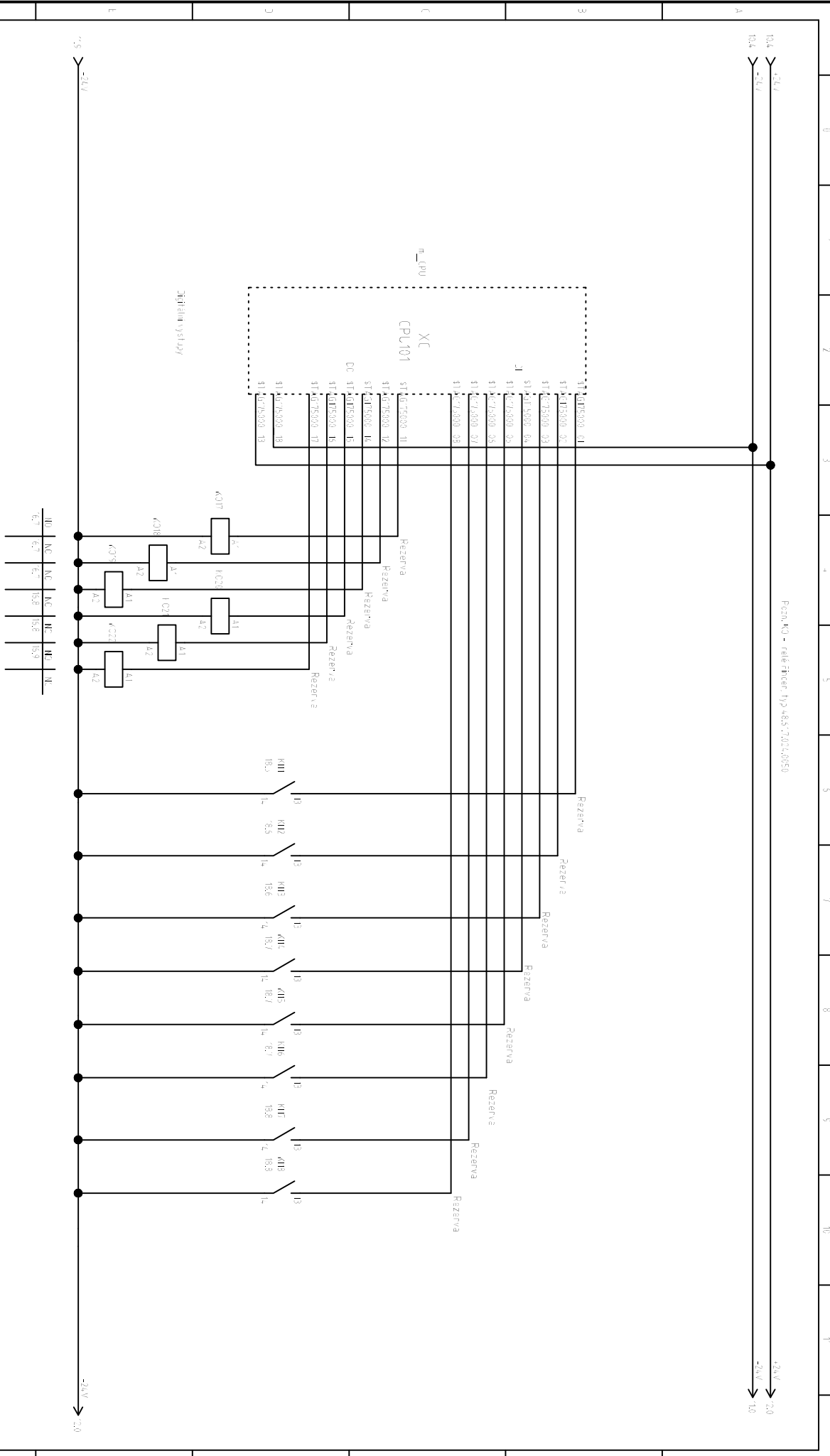


Západočeská univerzita v Plzni
 Fakulta elektrotechnická
 Katedra elektrotechniky a ekologie

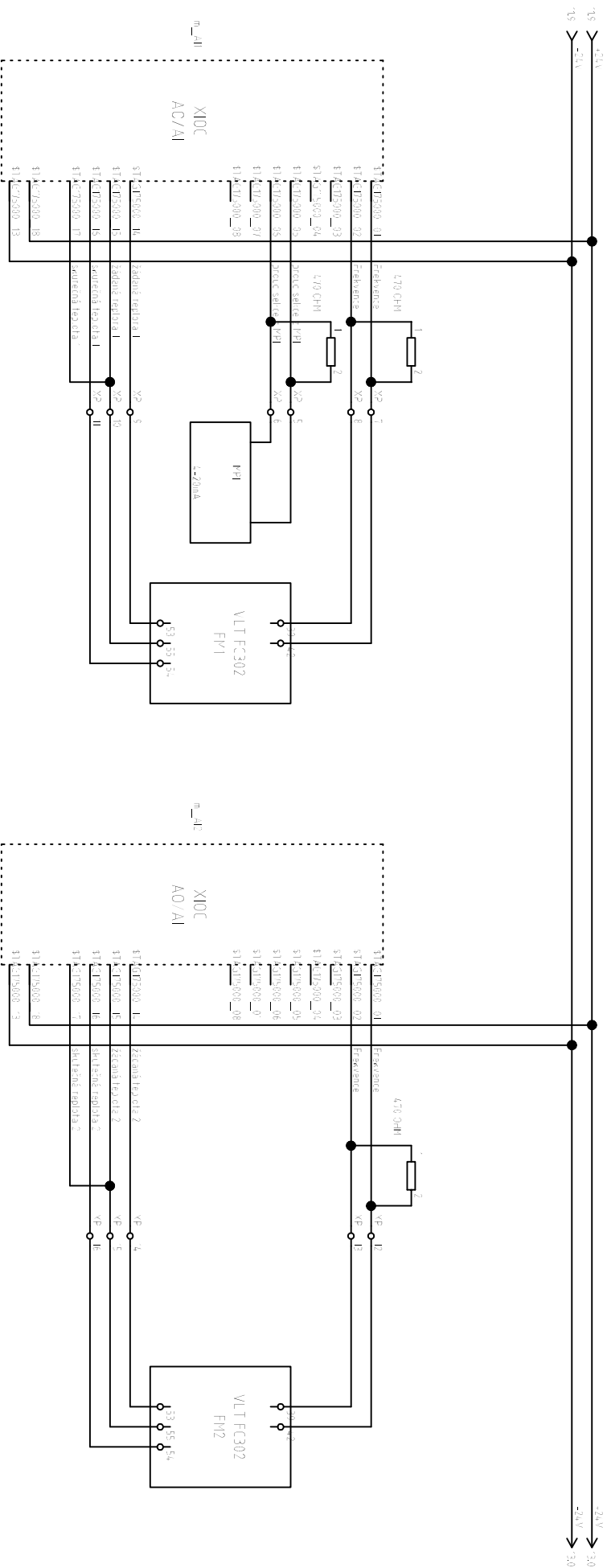
PLC - napájení
 Chladicí PZP 20

Projekt:		Číslo:		Datum:	
Chladicí PZP DD		S001-04-16-TA		13.03.16	
Zeměpisná adresa:		Umístění:		Číslo:	
S001-04-16-TA		L3.03E		B.1.1.16.01	
Datum:		Umístění:		Číslo:	
13.03.16		L3.03E		B.1.1.16.01	

Panel KO - reléřní řízení 300.0050



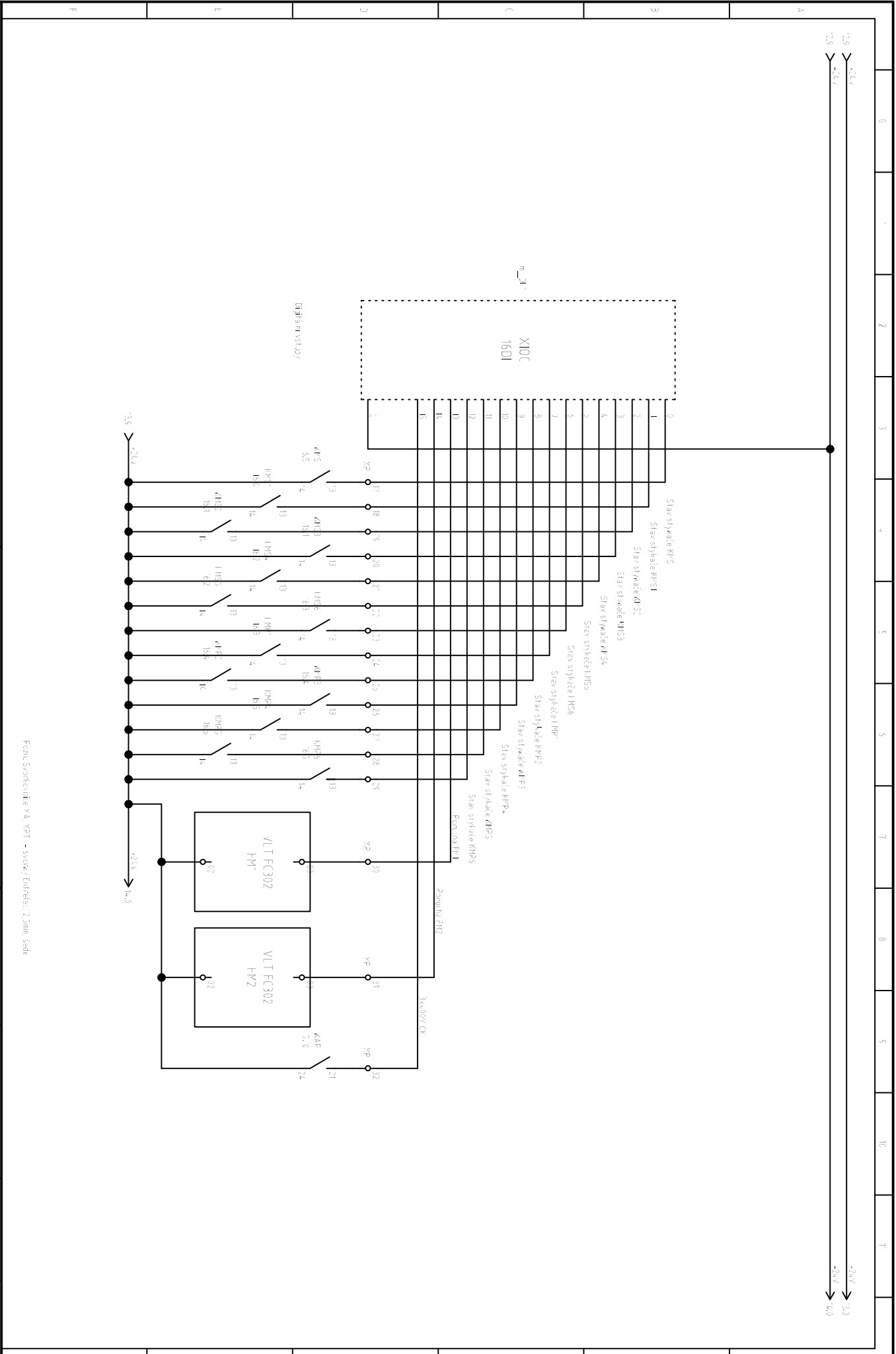
Zapadlá strana uni. eržiť v Plzni Fakulta elektrotechnická Katedra elektrotechniky a ekológie		PLC - CPU11 Chladicí PZP 30		Projekt: Chladicí PZP DD		Kódový list: S001-04-16-TA		Revizie: 4.2.2016		List: Príloha č.11	
		Datum: 13.03.16		Zařizovateľ: L3,03E							



/střupj +-20mA/0-10V
/střupj +-20mA/0-10V

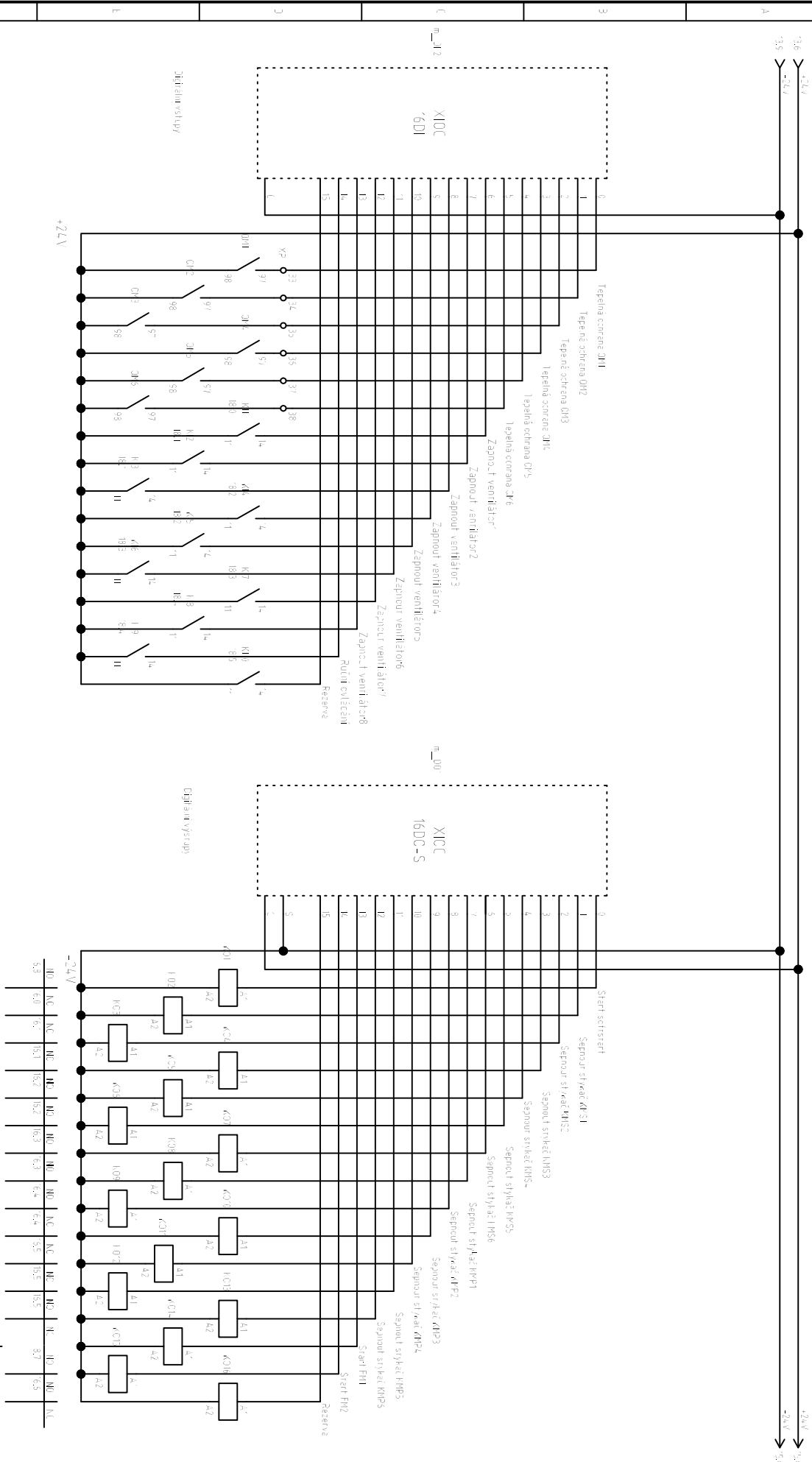
Výstupy 4-20mA/0-10V
Výstupy 4-20mA/0-10V

Zapracovská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnika Katedra elektrotechniky a ekologie		PLC - m_III_m_III Chladicí PZP 3D		Projekt: Chladicí PZP DD		Verze E: S001-04-16-TA		Rev: 4.2016		Kreslí: Ed. Hájek	
		Chladicí PZP 3D		Datum: 13.03.16		Změřeno:		Uměřeno:		Kreslí: Přiloha č. 2	

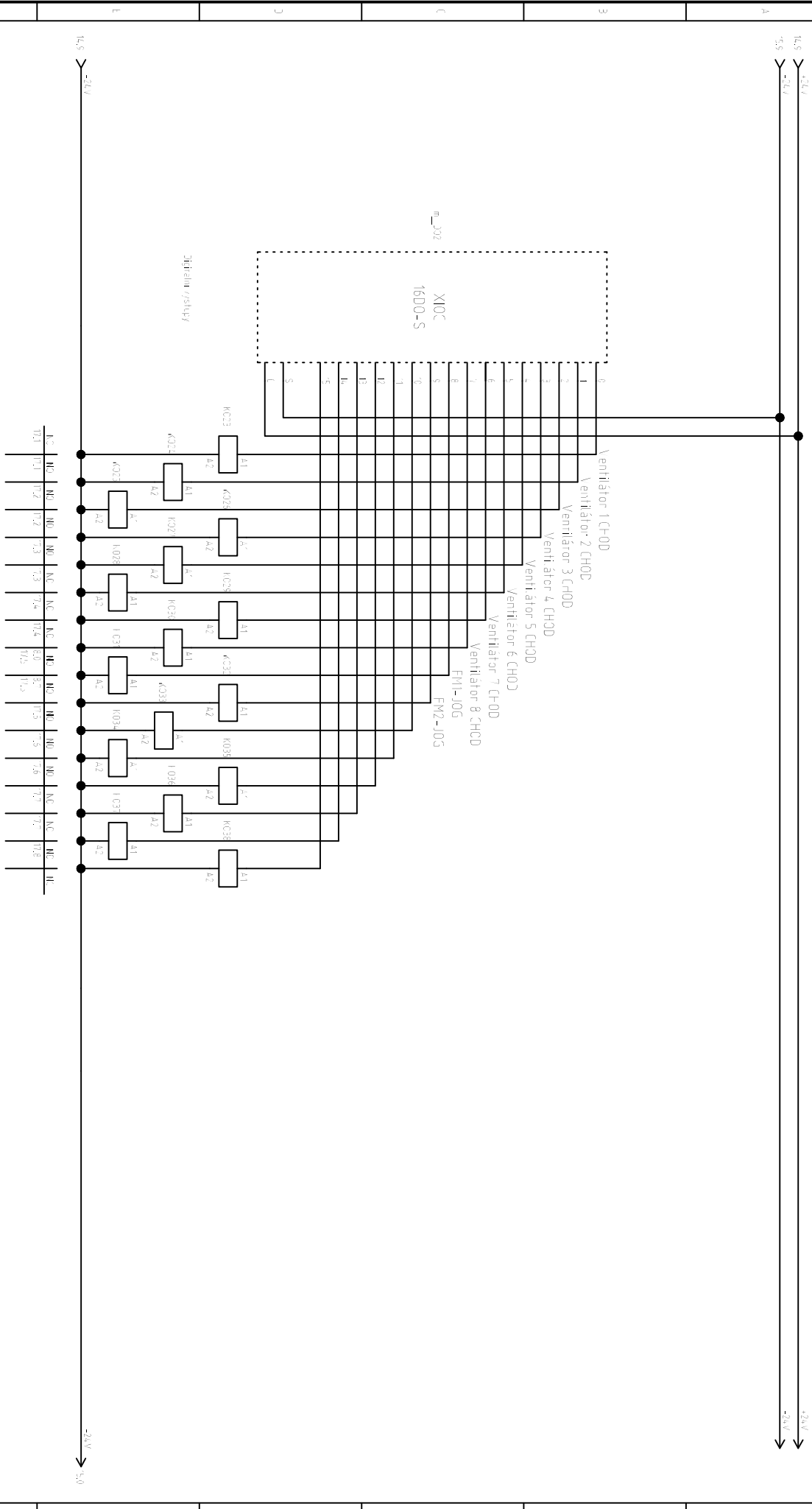


Pezin, Surovčičnik VA, V2T - stroj / Elektrika, 2.0im, Sida

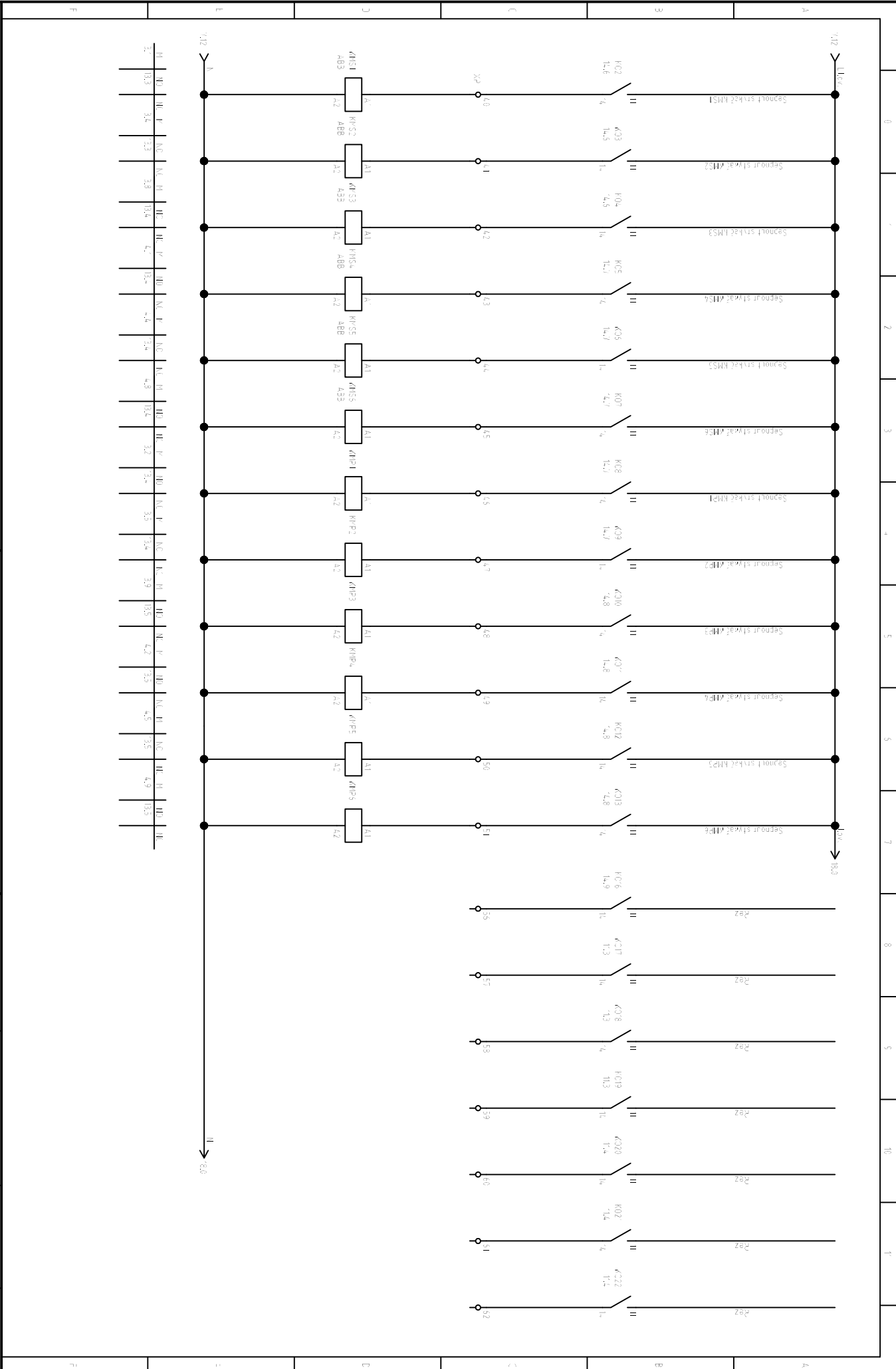
Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická Katedra elektrotechniky a elektroniky		Projekt: Chladice PZP DD		Datum: 13.03.16	
PLC - m_21 Chladice PZP DD		Verze E: S001-04-16-TA		Změřeno: 4.2.2016	
		Umístění: 13.03.16		Kreslí: Bc. Vašer	



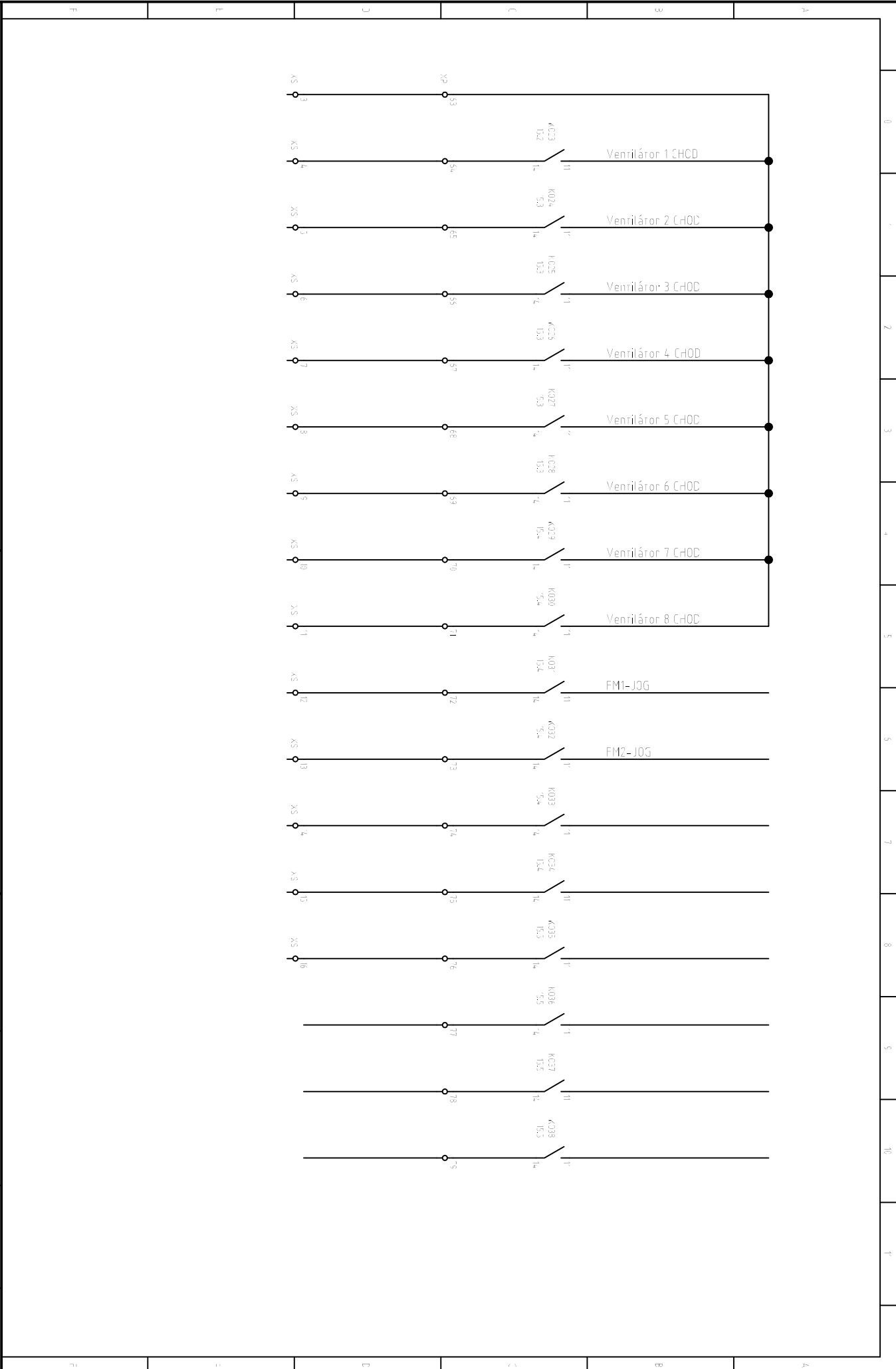
Západočeská univerzita v Plzni		PLC - m_DIC_m_C31		Projekt:	
Fakulta elektrotechnická		Chladicí PZP DD		Chladicí PZP DD	
Katedra elektrotechniky a energie		Chladicí PZP DD		Datum:	
				L3,03E	
				Zařizov:	
				S001-04-16-TA	
				Reviz:	
				4.2.2016	
				Vytvořil:	
				Bc. Vaňásek	
				Reviz:	
				Přiloha č. 14	



Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická Katedra elektrotechnologie a elektroniky		PLC - m_202		Projekt: Chladice PZP DD		Kód projektu: S001-04-16-TA		Datum: 13.03.2016		Verze: 4.4.2016		Autor: B. J. Štěpánek	
				Datum: 13.03.2016		Verze: 4.4.2016		Autor: B. J. Štěpánek		Projekt: Chladice PZP DD		Kód projektu: S001-04-16-TA	



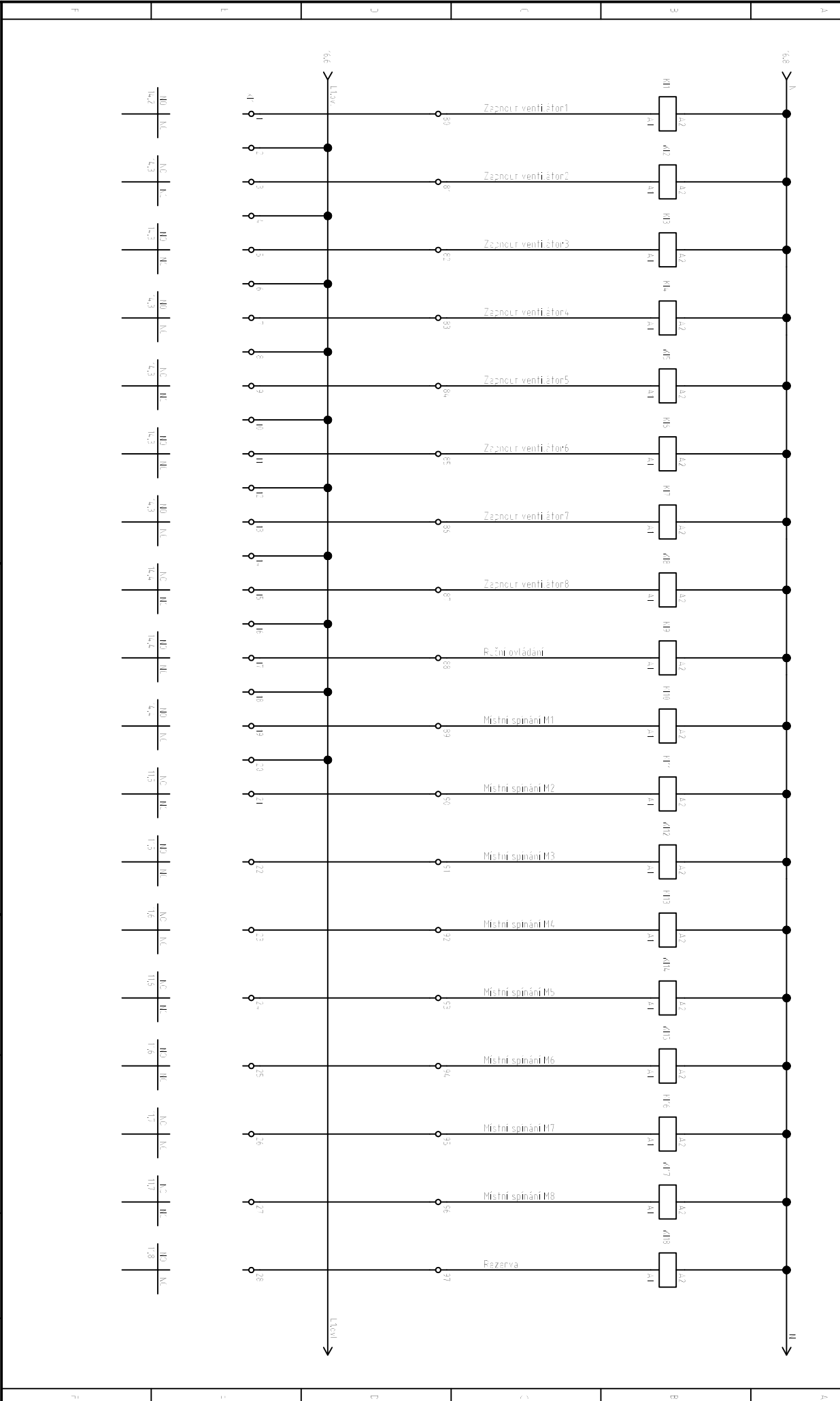
Západočeská univerzita v Plzni Fakulta elektrotechnická Katedra elektroenergetiky a ekologie		Vstupní frekvence a síť Chladicí PZP DD		Projekt: Chladicí PZP DD		Datum: 13.03.16	
				Křesťák E:		S001-04-16-TA	
				Zetřídění:			
				Umístění:			
				Reviz:		4.4.2016	
				Kreslí:		3x.kaiser	
				-kreslí:		Příloha č. 6	



Zapadovčasný univerzál v PZM
 Fakulta elektrotechnická
 Metóda elektrického inžinierstva a analýzy

Vstupní frekvence a táhlo II

Projekt:	Chladicí PZP DD	Verze E:	S001-04-15-TA	Reviz:	4.2.2016	Upraveno:	Priloha č. 7
Jméno:	L.Č.16	Zatřídění:					



Zápedočeské univerzita / PZni Fakulta elektrotechnická Katedra elektroenergetiky a ekologie		Vstupní předpověď ne 6 Okrajové PZP 20		Projekt: Chladicí PZP DD		Verze: S001-04-16-TA		Datum: 4.2.2016		Uživatel: Průcha Ľ. 8	
				Změna:		Změna:		Změna:		Změna:	

MĚŘENÉ HODNOTY PŘI VTLÁČENÍ PLYNU KOMPRESORY DO ZÁSOBNÍKU PZP HÁJE

Měřené hodnoty:

datum (čas)	tlak na sání [kPa]	teplota na sání [°C]	tlak na výtlačku [kPa]	teplota na výtlačku T ₁ [°C]	průtok plynu [Nm ³ .h ⁻¹]	teplota chladicího vzduchu [°C]	teplota plynu za chladicem T ₂ [°C]	teplota plynu u sond [°C]	polytropický součinitel n	tepelná kapacita c _p	odebrané teplo Q [kJ]	odebrané teplo Q [kW]	teplo k odebrání Q [kJ]	teplo k odebrání Q [kW]
26.7.07	4083,8	13,4	6969,5	65,8	122500	26,2	30,3	29,1	1,458	2,191	6516765,83	1810,21	6571837,10	1825,51
28.7.07	4114,5	13,9	7833,9	78,3	161582	23,7	35,5	33,0	1,458	2,191	10363451,58	2878,74	11695203,53	3248,67
2.8.06	3658,1	13,7	7326,0	85,9	176596	20,7	38,7	28,3	1,478	2,191	12490808,07	3469,67	14793139,22	4109,21
16.8.06	4427,4	13,2	9328,4	87,1	160119	20,7	36,5	33,0	1,445	2,191	12141184,54	3372,55	13700822,87	3805,78
17.8.06	4017,1	13,0	9494,0	98,8	148785	14,1	34,9	28,3	1,439	2,191	14247139,66	3957,54	15339643,33	4261,01
22.9.06	4398,3	12,9	9538,5	89,7	130650	21,2	32,6	25,4	1,443	2,191	11179263,59	3105,35	11688301,87	3246,75
13.8.05	3875,2	12,6	7594,6	82,8	197705	18,4	36,8	33,0	1,485	2,191	13628346,24	3785,65	15642971,34	4345,27
30.8.05	4302,6	13,2	8644,7	81,7	125921	24,3	33,3	32,5	1,444	2,191	9132952,52	2536,93	9755653,83	2709,90
31.8.05	4282,1	13,3	8947,5	86,8	123459	24,7	34,4	33,0	1,449	2,191	9694417,43	2692,89	10508452,48	2919,01
Průměry:	4128,8	13,2							1,455					

Vypočítané hodnoty:

Výpočet pro T₂ = 30°C

Predikce pro maximální tlak:

Vypočítané hodnoty:

Výpočet pro T₂ = 30°C

	tlak na sání [kPa]	teplota na sání [°C]	tlak na výtlačku [kPa]	teplota na výtlačku T ₁ [°C]	průtok plynu [Nm ³ .h ⁻¹]
průměr	4128,8	13,2	11800	124,7	95000
max	3658,1	13,9	11800	147,6	95000
min	4427,4	12,6	11800	112,1	95000

teplota plynu za chladicem T ₂ [°C]
30,0
30,0
30,0

polytropický součinitel n	tepelná kapacita c _p
1,455	2,191
1,485	2,191
1,439	2,191

teplo k odebrání Q [kJ]	teplo k odebrání Q [kW]
13476895,36	3743,58
16740682,02	4650,19
11694045,48	3248,35

	tlak na sání [kPa]	teplota na sání [°C]	tlak na výtlačku [kPa]	teplota na výtlačku T ₁ [°C]	průtok plynu [Nm ³ .h ⁻¹]
	3658,0	13,9	11800	147,7	108000
	4427	13,2	11800	113,0	145000

teplota plynu za chladicem T ₂ [°C]
30,0
30,0

polytropický součinitel n	tepelná kapacita c _p
1,485	2,191
1,439	2,191

teplo k odebrání Q [kJ]	teplo k odebrání Q [kW]
19041150,73	5289,21
18041243,05	5011,46

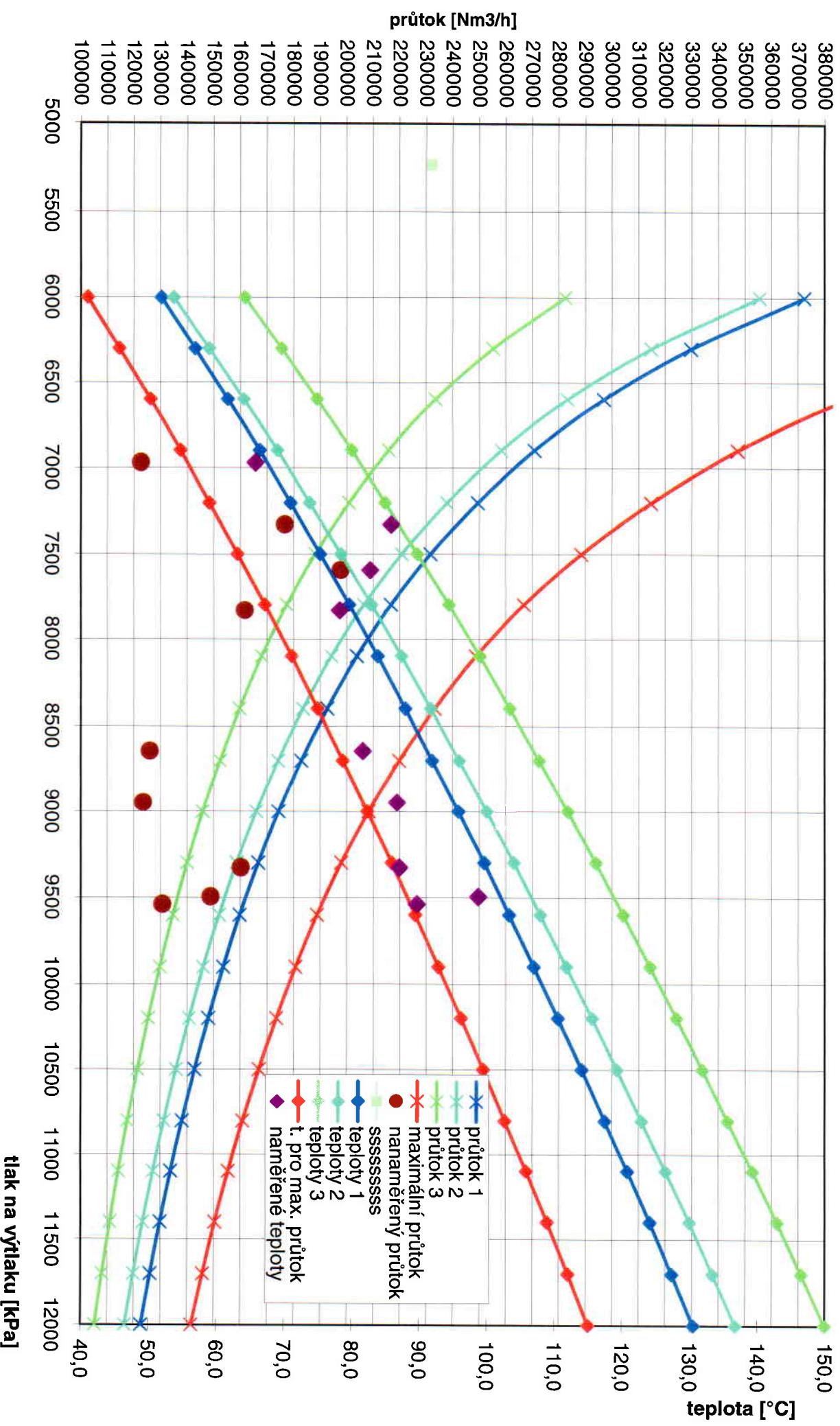
Protože průtočné množství plynu je udáváno v Nm³.h⁻¹, jsou výpočty prováděny s parametry zemního plynu pro tyto hodnoty, to znamená pro tlak p = 100 kPa, teplotu plynu t = 15 °C a požadovanou výstupní teplotu plynu za chladicem T₂ = 30°C.

VÝPOČET PRŮTOKU PLYNU A TEPLoty NA VÝTLAKU PRO MAX. VÝKON TURBINY P = 6000 kW

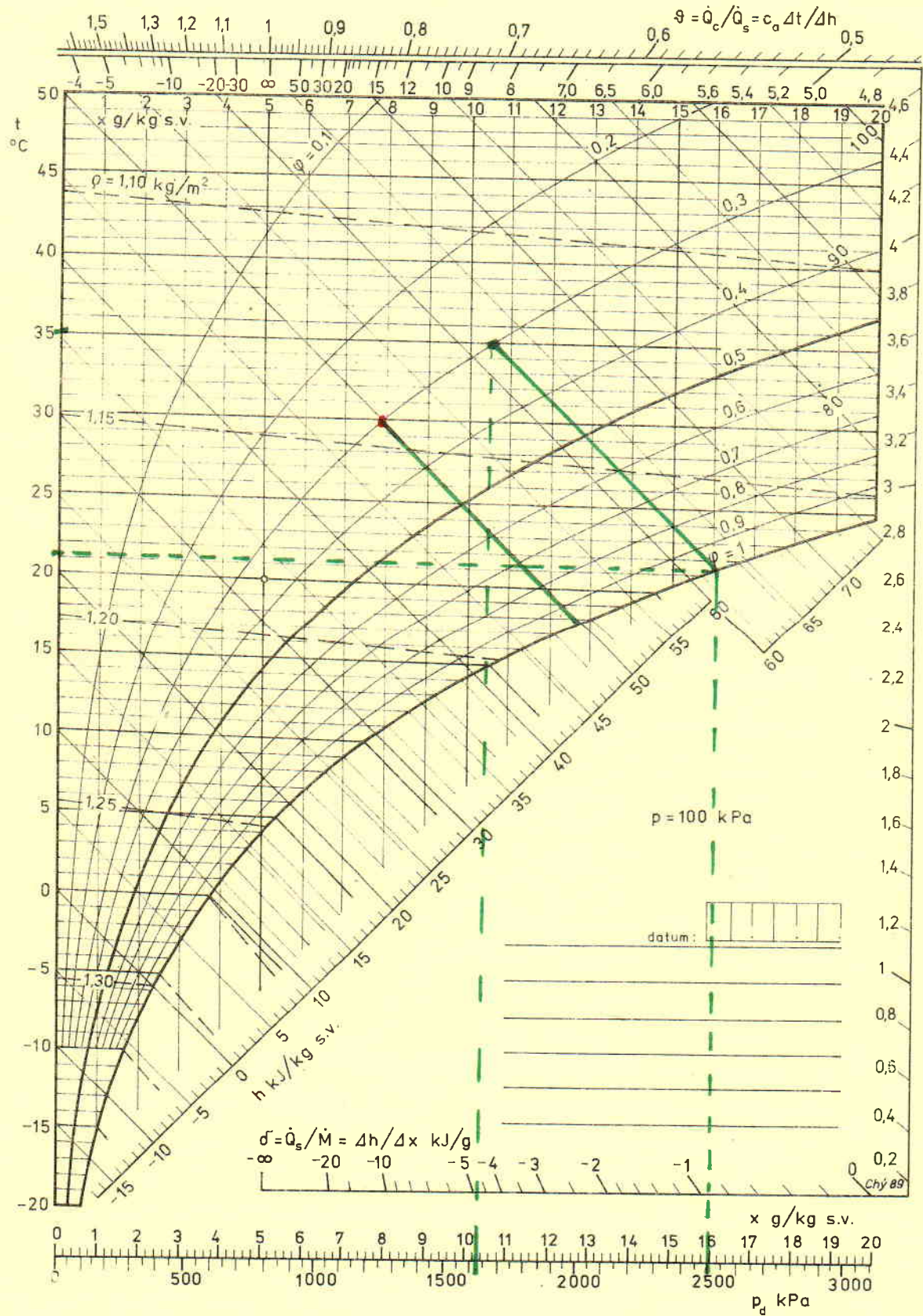
výkon P [kW]	práce A [kJ]	tlak na sání [kPa]	teplota na sání [°C]	polytropický součinitel n	měrná plynová konstanta r [J.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	měrná tepelná kapacita c _p [kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹]	hustota ρ [kg.m ³]
6000	21600000	4000	13,2	1,455	518,36	2,191	0,684
		4427	13,9	1,485			
		3658		1,439			

	1		2		maximální teploty		maximální průtok	
	p ₁ = 4000 kPa; t ₁ = 13,2°C; n = 1,455		p ₁ = 4000 kPa; t ₁ = 13,2°C; n = 1,485		p ₁ = 3658 kPa; t ₁ = 13,9°C; n = 1,485		p ₁ = 4427 kPa; t ₁ = 13,2°C; n = 1,439	
tlak na výtlaku [kPa]	max. teplota na výtlaku [°C]	max. přepravovaný objem [Nm ³ .h ⁻¹]	max. teplota na výtlaku [°C]	max. přepravovaný objem [Nm ³ .h ⁻¹]	max. teplota na výtlaku [°C]	max. přepravovaný objem [Nm ³ .h ⁻¹]	max. teplota na výtlaku [°C]	max. přepravovaný objem [Nm ³ .h ⁻¹]
6000	51,9	372334	53,7	355481	64,3	282327	41,0	517882
6300	56,9	329760	59,0	314723	69,7	252322	45,7	442903
6600	61,7	296905	64,1	283270	74,9	233528	50,3	388490
6900	66,4	270759	69,0	258240	80,0	215735	54,7	347165
7200	71,0	249439	73,8	237832	85,0	200873	59,0	314688
7500	75,4	231710	78,5	220861	89,8	188262	63,2	288472
7800	79,7	216724	83,0	206516	94,4	177420	67,2	266851
8100	83,9	203881	87,4	194224	99,0	167992	71,2	248702
8400	88,0	192747	91,7	183567	103,4	159715	75,0	233242
8700	92,0	182996	95,9	174234	107,8	152385	78,7	219907
9000	95,9	174380	100,0	165989	112,0	145845	82,4	208282
9300	99,7	166709	104,0	158648	116,2	139971	86,0	196052
9600	103,4	159832	108,0	152067	120,2	134664	89,5	188975
9900	107,0	153630	111,8	146132	124,2	129844	92,9	180865
10200	110,6	148005	115,6	140749	128,1	125444	96,2	173571
10500	114,1	142878	119,3	135844	131,9	121411	99,5	166973
10800	117,5	138184	122,9	131353	135,7	117699	102,7	160974
11100	120,9	133870	126,5	127225	139,3	114270	105,9	155495
11400	124,2	129889	130,0	123416	142,9	111092	109,0	150469
11700	127,4	126204	133,4	119890	146,5	108137	112,0	145840
12000	130,6	122781	136,8	116616	150,0	105382	115,0	141562

Závislost průtoku plynu na výstupním tlaku pro max. teoretický výkon turbosoustrojí P = 6000 kW

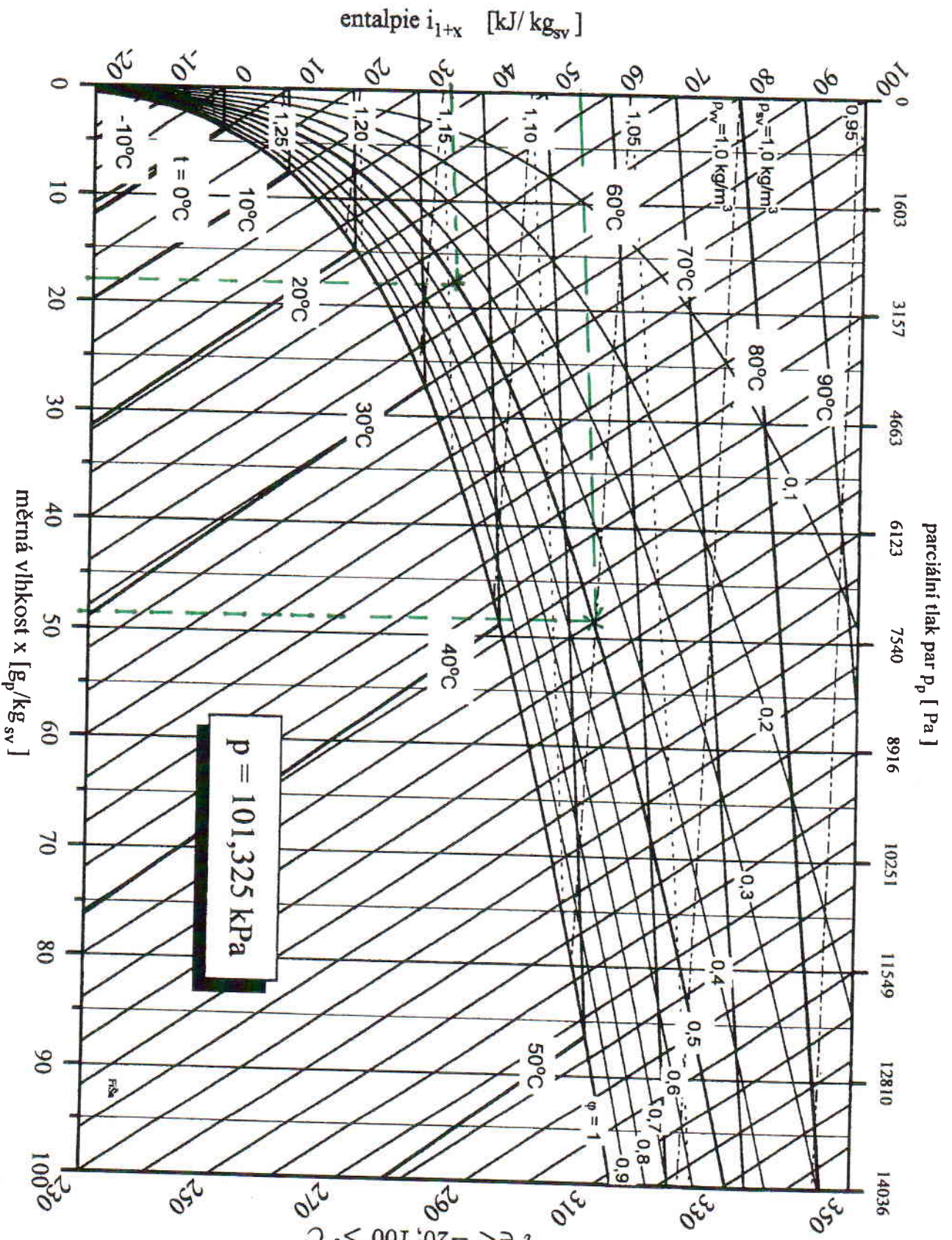


Psychrometrický diagram podle Molliera



adiabatické suché vlhčení vzduchu

příloha č. 25



7.5 Mollierov i-x diagram vlhkého vzduchu pro standardní tlak $p_{sv} = 101,325 \text{ kPa}$, $x < 0; 100 > \frac{g}{kg_{sv}}$ a teploty $t \in < -20; 100 > ^\circ \text{C}$

FullJet[®] Spray Nozzles • Wide Angle Spray

Small Capacity



FULL CONE NOZZLES



G-W



Removable cap & vane
1/8"-1/2" NPT or BSPT (F)

GG-W



Removable cap & vane
1/8"-1/2" NPT or BSPT (M)

HH-W



One-piece body
1/8"-1/2" NPT or BSPT (M)

ANGLE TYPE

GA-W



Removable cap & vane
1/8"-1/2" NPT or BSPT (F)

GGA-W



Removable cap & vane
1/8"-1/2" NPT or BSPT (M)

DESIGN FEATURES

Wide angle FullJet nozzles feature a solid cone-shaped spray pattern with a round impact area and spray angles of 102° to 120° at 10 psi (0.7 bar). They produce a uniform spray of medium to coarse drops across their entire spray area. This yields excellent results in spraying applications requiring complete coverage of an area or zone. This uniform spray distribution results from a

unique vane design and exacting internal proportions.

Angle type wide angle FullJet nozzles feature a spraying axis 90° from the axis of the nozzle inlet. The angle type design is useful wherever FullJet nozzles must be installed on an extension over the center of a spray zone or mounted in a side-tapped header.

- **Model G-W and GG-W** nozzles feature three-piece construction (body/cap/vane) with removable vanes.
- **Model GA-W and GGA-W** nozzles also feature removable caps and vanes.
- **Model HH-W** nozzle features a two-piece construction with non-removable vanes.



Spraying Systems Co.[®]

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com



FullJet® Spray Nozzles • Wide Angle Spray

Small Capacity

FULL CONE NOZZLES

COMMON APPLICATIONS

- Washing and rinsing processes
- Cooling of primary metals and other materials
- Suppression of fugitive dust in the processing of bulk ores, coal, limestone, sand, and gravel
- Scrubbing, washing, and cooling of flue gases to remove fly ash and other products of combustion
- Deluging combustible materials and storage tanks for fire suppression and prevention
- Breaking up and deaerating foam
- Creating and dispersing drops in chemical reaction processing

ACCESSORIES

- Split-eyelet Connector
- Adjustable Ball Fittings
- Strainers
- Pressure Gauges
- Pressure Regulators
- Pressure Relief Valves
- Control Valves
- Solenoid Valves
- Check Valves

See Section L for more info

PERFORMANCE DATA

Nozzle Inlet Conn. NPT or BSPT	Nozzle Type					Capacity Size	Orifice Dia. Nom. (mm)	Max. Free Passage Dia.* (mm)	Capacity (liters per minute)										Spray Angle		
	Standard Type		Angle						0.3 bar	0.5 bar	0.7 bar	1 bar	2 bar	3 bar	4 bar	5 bar	6 bar	0.3 bar	0.7 bar	6 bar	
	Conn F	Conn M	Conn F	Conn M	Conn M																
	G-W	GG-W	HH-W	GA-W	GGA-W																
1/8	•	•				1.5W	1.2	.64	—	—	.57	.67	.90	1.1	1.3	1.4	1.5	—	120°	86°	
	•	•	•			2.8W	1.6	1.0	—	—	1.1	1.2	1.7	2.0	2.3	2.5	2.7	—	120°	102°	
	•	•	•	•	•	4.3W	2.0	1.0	—	—	1.6	1.9	2.6	3.1	3.5	3.9	4.2	—	120°	102°	
	•	•	•			5.6W	2.4	1.0	—	1.8	2.1	2.5	3.4	4.0	4.6	5.1	5.5	—	120°	102°	
	•	•	•	•	•	8W	2.4	1.3	—	2.6	3.0	3.6	4.8	5.8	6.6	7.2	7.8	—	120°	103°	
1/4	•	•	•			10W	2.8	1.3	2.6	3.3	3.8	4.5	6.0	7.2	8.2	9.1	9.8	112°	120°	103°	
	•	•	•			12W	3.2	1.3	3.1	3.9	4.6	5.3	7.3	8.7	9.8	10.9	11.8	114°	120°	103°	
	•	•	•	•	•	14W	3.6	1.6	3.7	4.6	5.3	6.2	8.5	10.1	11.5	12.7	13.7	114°	120°	103°	
3/8	•	•	•			17W	4.0	1.6	4.5	5.6	6.5	7.6	10.3	12.3	13.9	15.4	16.7	114°	120°	103°	
	•	•	•	•	•	20W	4.4	2.4	5.2	6.6	7.6	8.9	12.1	14.5	16.5	18.1	19.6	114°	120°	104°	
	•	•	•			24W	4.8	2.4	6.3	7.9	9.1	10.7	14.5	17.3	19.7	22	24	114°	120°	104°	
	•	•	•	•	•	27W	5.2	2.8	7.1	8.9	10.3	12.0	16.3	19.5	22	24	26	114°	120°	106°	
1/2	•	•	•			30W	5.6	2.8	7.9	9.9	11.4	13.4	18.1	22	25	27	29	114°	120°	108°	
	•	•	•	•	•	35W	6.0	3.2	9.2	11.5	13.3	15.6	21	25	29	32	34	114°	120°	108°	
	•	•	•			40W	6.4	3.2	10.5	13.1	15.2	17.8	24	29	33	36	39	114°	120°	108°	
	•	•	•	•	•	45W	6.4	3.6	11.8	14.8	17.1	20	27	33	37	41	44	114°	120°	110°	
	•	•	•	•	•	50W	6.7	4.0	13.1	16.4	19.1	22	30	36	41	45	49	114°	120°	112°	

* Foreign matter with maximum diameter as listed can pass through nozzle without clogging.



Spraying Systems Co.®

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
 Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
 Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

FullJet® Spray Nozzles • Wide Angle Spray

Small Capacity



FULL CONE NOZZLES

DIMENSIONS & WEIGHTS

STANDARD

Diagram	Nozzle Type (Conn.)	Nozzle Inlet Conn. NPT or BSPT	Length (mm)	Hex. (mm)	Net Weight (kg)
G-W 	G-W	1/8	31	14.3	.03
		1/4	37.5	17.5	.04
GG-W 	GG-W (F)	3/8	46	20.6	.07
		1/2	57	25.4	.17
HH-W 	GG-W (M)	1/8	32.5	14.3	.02
		1/4	39.5	17.5	.04
HH-W 	HH-W (M)	3/8	47	20.6	.07
		1/2	56.5	25.4	.17
		1/8	17.5	1.6 dia.	.01
		1/4	23	14.0 dia.	.01
		3/8	30	17.0 dia.	.03
		1/2	35	21 dia.	.04

Based on largest/heaviest version of each type.

ANGLE TYPE

Diagram	Nozzle Type (Conn.)	Nozzle Inlet Conn. NPT or BSPT	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	L (mm)	Net Weight (kg)
GA-W 	GA-W (F)	1/8	17.5	15.9	14.3 sq.	24.6	23	.04
		1/4	22.2	19.8	17.5 sq.	31	29.5	.06
		3/8	25.4	22.2	20.6 sq.	36.5	32.5	.09
		1/2	38.9	27	25.4 sq.	51.6	40	.18
GGA-W 	GGA-W (M)	1/8	17.5	16.7	14.3 sq.	24.6	24	.04
		1/4	22.2	20.6	17.5 sq.	31.8	29.5	.06
		3/8	25.4	23	20.6 sq.	36.5	33.5	.09
		1/2	38.9	28.6	25.4 sq.	51.6	41.5	.18

Based on largest/heaviest version of each type.

MATERIALS

Material	Material Code	Nozzle Type				
		G-W	GG-W	HH-W	GA-W	GGA-W
Brass	(none)	•	•	•	•	•
Mild Steel	I	•	•	•	•	•
303 Stainless Steel	SS	•	•	•	•	•
316 Stainless Steel	316SS	•	•	•	•	•
Polyvinyl Chloride	PVC	•	•	•		

Other materials available upon request.

ORDERING INFO

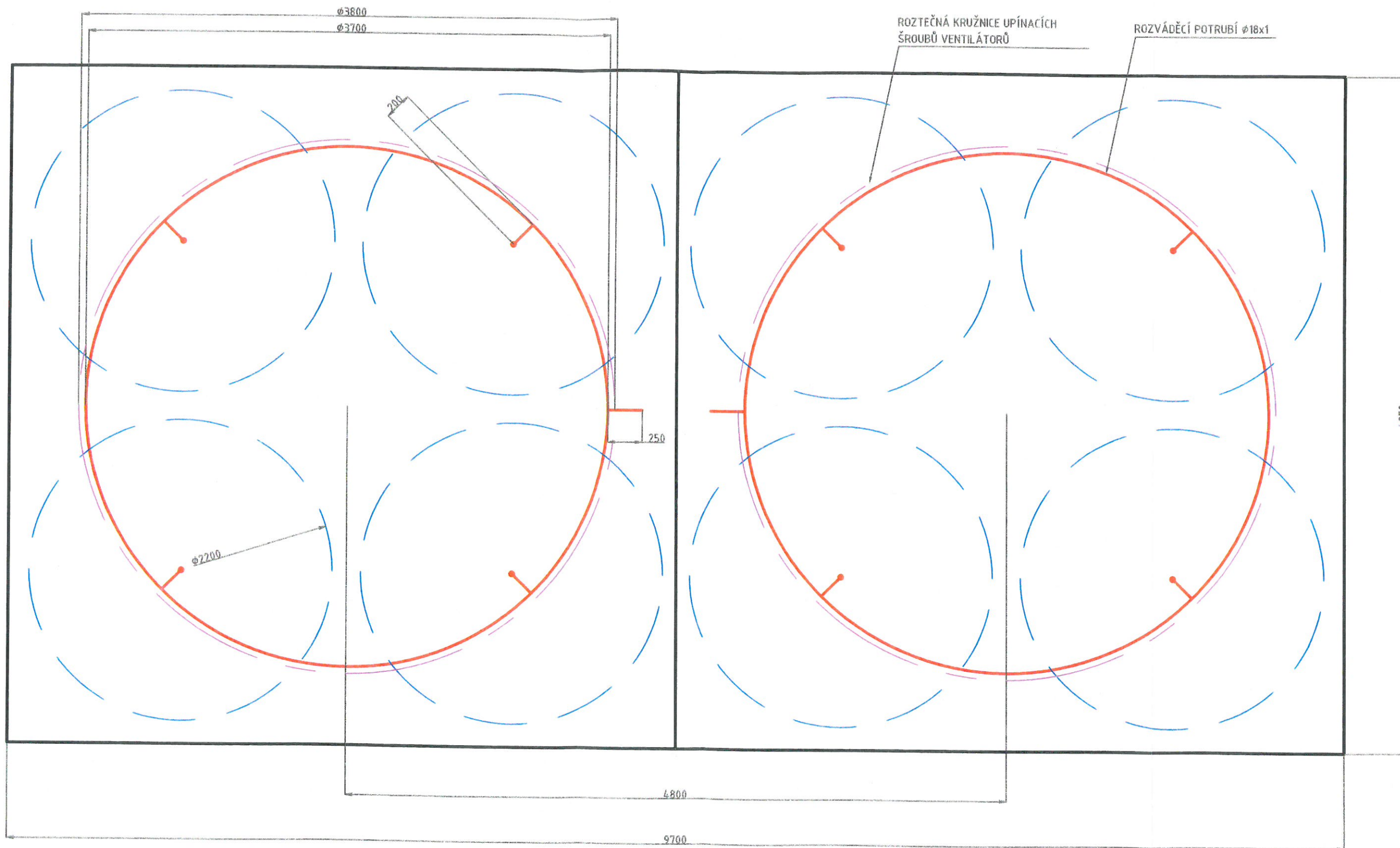
STANDARD SPRAY NOZZLE			
1/4 G - SS 14W			
Inlet Conn.	Nozzle Type	Material Code	Capacity Size



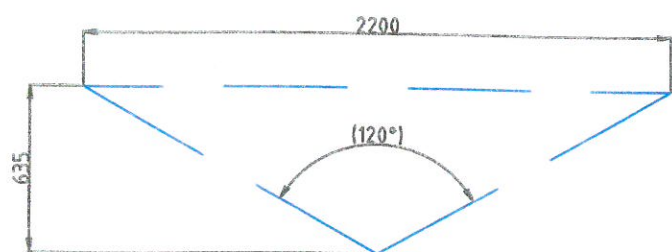
Spraying Systems Co.®

Phone 1-800-95-SPRAY, Fax 1-888-95-SPRAY
 Outside the U.S., Phone 1(630) 665-5000, Fax 1(630) 260-0842
 Visit our Web Site: www.spray.com, email: info@spray.com

ROZMÍSTĚNÍ TRYSEK V CHLADIČI PLYNU



ROZSTRÍK TRYSKY



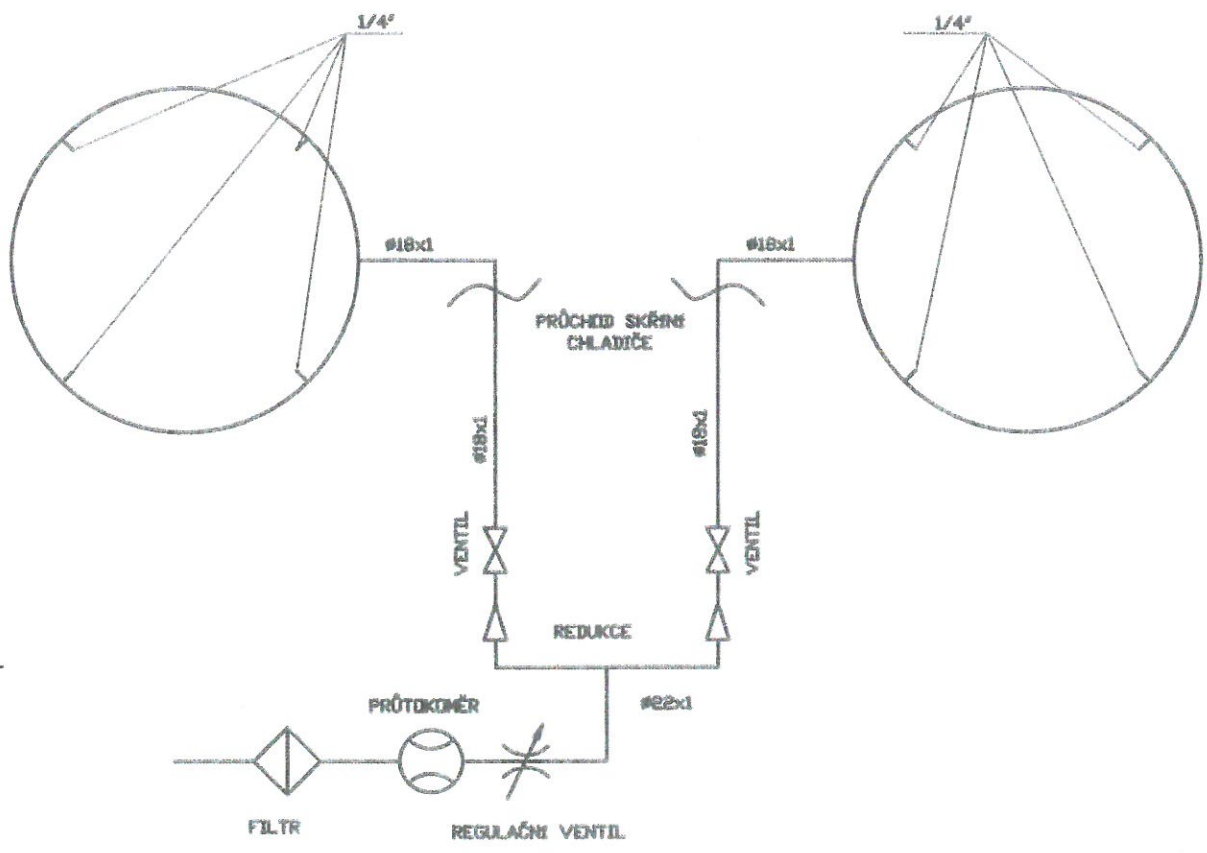


SCHÉMA NAPÁJECÍHO POTRUBÍ

Zjednodušené dimenzování potrubí podle ČSN EN 806-3

Ocelové pozinkované potrubí

Max. součty LU	4¹⁾	16		40	160	300	600	1600
Největší hodnoty LU		5	8	8				
DN	15	20		25	32	40	50	65
Vnitřní průměr (mm)	16	21,6		27,2	35,9	41,8	53	68,8
Max. délka potrubí (m)	3	20	14					

Měděné potrubí (možno použít i pro potrubí z nerezavějící oceli)

Max. součty LU	1	2²⁾	10	20	50	165	430	1050
Největší hodnoty LU			5	8	8			
Vnější průměr × tloušťka stěny	12×1,0	15×1,0	18×1,0	22×1,0	28×1,5	35×1,5	42×1,5	54×2
Vnitřní průměr (mm)	10,0	13,0	16,0	20,0	25	32	39	50
Max. délka potrubí (m)	20	15						

Potrubí z PPR, PN 20

Max součty LU	1	2²⁾	3	4	6	13	30	70	200	540	970
Největší hodnoty LU				4	4	5	8				
Vnější průměr × tloušťka stěny	16×2,7	20×3,4	25×4,2	32×5,4	40×6,7	50×8,4	63×10,5	75×12,5			
Vnitřní průměr (mm)	10,6	13,2	16,6	21,2	26,6	33,2	42	50			
Max. délka potrubí (m)	20	12	15	9	7						

¹⁾ Jen jedna výtoková armatura o hodnotě výtokových jednotek LU ≤ 4.

²⁾ Jen jedna výtoková armatura o hodnotě výtokových jednotek LU ≤ 2.

Tab. 1 - Určení průměru potrubí podle výtokových jednotek LU

Kde hodnota LU je považována jako desetinásobek jmenovitého průtoku armaturou Q_A (l/s).
Pro více spotřebičů se hodnoty sčítají.