



Středoškolská technika 2015

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Model tepelného čerpadla

Prokop Schmid

Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola, Písek, Karla Čapka 402
397 11 Písek

Obsah

Úvod	3
Princip tepelného čerpadla	3
Druhy energií.....	3
Druhy čerpadel.....	4
Vzduch/Voda.....	4
Voda/Voda	4
Země/Voda.....	4
Realizace modelu.....	4
Jednotlivé části TČ.....	5
Teplotní snímače	5
Kompresor.....	5
Kondenzátor.....	6
Výparník	6
Čerpadla	7
Škrtící ventil.....	7
Průhledítka.....	7
Průtokoměry	8
Návrh ovládacího panelu.....	8
Zapojení PLC pro ovládání čerpadla	8
Slaboproudá část:.....	9
Silnoproudá část:.....	9
Program:	10
Vývojový diagram programu	13
Struktura programu	13
Panel Maker	15
Web Maker	15
Datalogger.....	16
Průběh měření	16
Topný faktor.....	17
Závěr	18
Zdroje informací:.....	20

Úvod

V této práci řeším návrh a realizaci modelu tepelného čerpadla resp. jeho jednotlivých částí. Navrhnou ovládací panel s programovatelným automatem (PLC) a jinými prvky, důležitými pro regulaci a ochranu uživatele i jednotlivých prvků. Model tepelného čerpadla (TČ) v práci upravuji tak, abych dosáhl co nejlepší regulace a bylo možné kontrolovat všechny důležité veličiny. Dále musím napsat program pro řízení a upravit ho tak, aby TČ pracovalo podle zadaných požadavků. Celé zařízení bude použitelné v budoucnu při výuce pro vyzkoušení naprogramování nespojitě regulace, případně práce s naměřenými grafy.

Při realizaci modelu tepelného čerpadla byl zvolen typ voda – voda, který je s ohledem na dostupnost nejjednodušší. Taktéž pro realizaci regulace se jeví jako nejvhodnější, neboť zde není nutné řešit problematiku odmrazování, jako je tomu u typu vzduch – voda nebo vzduch – vzduch, kde dochází k orosení a namrzání.

Ke své dlouhodobé maturitě jsem si vybral toto téma, protože se s ním dnes můžeme běžně setkat i v rodinném domě. Je zajímavé, jak ho lze použít k vytápění a využívat při tom obnovitelné zdroje energie. Dnes je tak vybavena takřka každá desátá novostavba. Toto zjištění mě zaujalo a chtěl jsem vyzkoušet, jak moc je obtížné takovéto vytápění zrealizovat.

Princip tepelného čerpadla

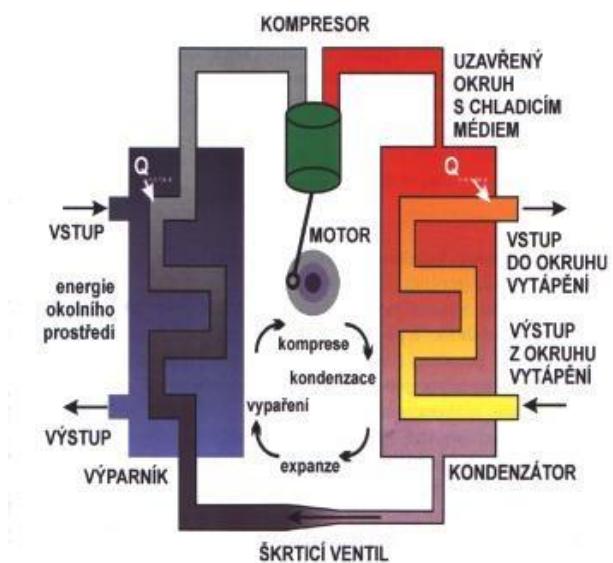
Tepelné čerpadlo pracuje na opačném principu než třeba chladnička. Chladivo v plynném stavu je stlačeno kompresorem a prochází přes kondenzátor. Zde odevzdá své teplo. Zkondenzované chladivo projde expanzní tryskou do výparníku, kde teplo (při nižším tlaku a teplotě) přijme teplo a odpaří se. Poté opět pokračuje do kompresoru a cyklus se opakuje. Jednou z charakteristik práce tepelného čerpadla je topný faktor. Ten ukazuje účinnost tepelného čerpadla poměrem vyrobeného tepla na výstupu výparníku k energii spotřebované kompresorem.

Druhy energií

Tepelné čerpadlo využívá nízkopotenciální teplo, které můžeme odebírat ze vzduchu, země nebo vody. Ostatní obnovitelné zdroje energie jsou v tomto případě nepoužitelné.

Země - geotermální energie uložená v horninách nebo naakumulovaná sluneční energie v horních vrstvách zeminy. Chladicí médium v plynném stavu sbírá teplo v potrubí uloženém do vrtu nebo do kolektoru pod povrchem země. Využívá se u čerpadel země/voda.

Vzduch - používá se u systémů vzduch/voda a vzduch/vzduch. Topný faktor je velice závislý na



Zdroj: ČEA ČR

Obrázek 1

teplotě vzduchu venkovního prostředí, ale v dnešní době tepelná čerpadla efektivně pracují až do -15 °C.

Voda - nejčastěji podzemní voda z vrtu, která je v tepelném čerpadle ochlazená a jiným vrtem se vrací zpět do země. Používá se pro tepelná čerpadla voda/voda. Dále je možné odebírat teplo z vody z rybníku, řeky,...

Druhy čerpadel

Vzduch/Voda

U tepelného čerpadla VZDUCH – VODA cirkuluje chladicí médium z venkovní jednotky do vnitřní jednotky. Vnější jednotkou (výparníkem s ventilátorem) umístěnou mimo budovu, je nasáván vzduch, ze kterého je odebírána tepelná energie, a opětně je tento vzduch (ochlazený) vyháněn do venkovního prostoru. Chladicí médium je jím ohřáto na teplotu okolí a proudí do kompresoru. V kompresoru tepelného čerpadla se ohřáté médium stlačí, tím vzroste jeho teplota a teplo se předá do výměníku (kondenzátoru), kde předá teplo vodě.

Nespornou výhodou tohoto systému je jeho jednoduchost a příznivá cena. Kompletní systém s tepelným čerpadlem VZDUCH – VODA lze pořídit již od 75 000 Kč v závislosti na výkonu a typu regulace. Nevýhodou je ale nižší účinnost při silných mrazech a namrzání vody ze vzduchu na výparníku a musí být zařazeny odmrazovací cykly, aby námraza byla odstraňována. Podobně funguje i okruh vzduch/vzduch. Pro samotnou instalaci není potřeba prakticky žádných stavebních úprav či složitých prací.

Voda/Voda

U tepelného čerpadla VODA - VODA cirkuluje voda v otevřeném okruhu mezi dvěma studnami speciálně vrtanými pro tento účel. Z jedné studny se přečerpává voda, která se vede do vertikálního kolektoru, tam se předává teplo do výměníku a ochlazená voda se odvádí do druhé studny. Zde už jsou však potřeba větší úpravy na pozemku. Nebo je možnost odebírat teplo z vody v rybníku/nádrži a řeky/potoku.

Země/Voda

Jeho jedinou nevýhodou jsou zemní práce. Pro čerpání tepla ze země potřebujeme buď zemní kolektor (někdy též označovaný jako horizontální kolektor), nebo geotermální vrty (zde se můžeme setkat i s označením vertikální kolektor). Prvně jmenovaný zdroj tepla vyžaduje rozsáhlé zemní práce. Geotermální vrty jsou však velice drahé.

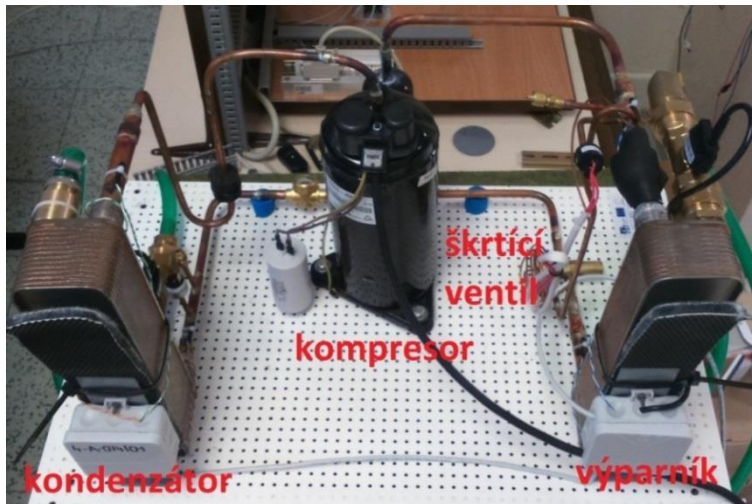
Nevýhoda je, že po zimě je půda zmrzlá a nějakou dobu trvá, než se země zregeneruje. Pokud je půda nekvalitní a geotermální vrt zamrzne, je potřeba udělat nový.

Realizace modelu

Model se skládá ze tří částí:

- vlastního TČ (kompresor, 2 výměníky tepla, expanzní ventil, měděné pájené potrubí, průhledítko a chladicí kapalina)
- dvou okruhů s vodou (nádoba s ohříváním vodou, nádoba s ochlazenou vodou, čerpadla, průtokoměry a zahradní hadice jako potrubí)
- obvodů ovládní s řídicí jednotkou (panel s PLC a stykači, které ovládají kompresor a čerpadla)

Jednotlivé části TČ



Obrázek 2

Firma ACOND vybrala tyto části a uzavřela vnitřní obvod modelu naplněný chladicí kapalinou.

Teplotní snímače

Šest čidel KTY81-121 je stahovací páskou připevněno na vstupy a výstupy obou výměníků. Přečhod je potřen teplonosnou pastou a celek je překryt mirelonem.

- rozsah odporu: (980 - 1000) Ω
- rozsah teplot: (-55 až 150) $^{\circ}\text{C}$

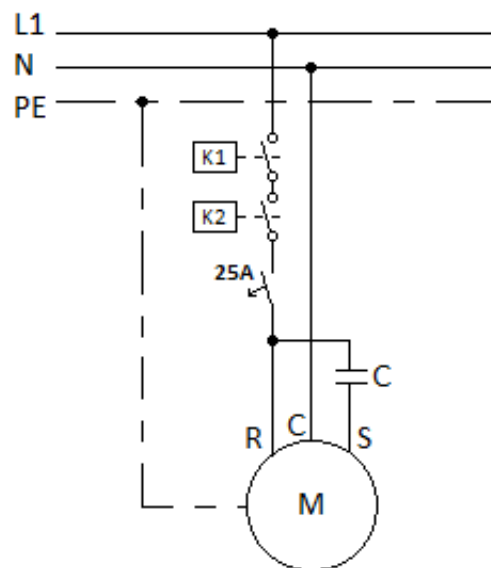


Kompresor

Nasává chladicí kapalinu v plynném stavu z výparníku, vzniklé páry stlačuje a vytlačuje do kondenzátoru při vyšším tlaku. Práce na pohon kompresoru se přemění v teplo, které se přičítá k teplu přivedenému z výparníku.



- rotační kompresor s odlučovačem kondenzátu
- výrobce: Toshiba
- typ: PA103X1C – 4DZDE
- elektrický výkon: 690 W
- tepelný výkon: 1500 W
- jednofázový
- napájecí napětí: 220 – 240 VAC, 50Hz



Obrázek 3

Aby nedošlo k přehřátí kondenzátoru, kompresor je zapojen i přes stykač K1, který ovládá čerpadla. Tímto se vyloučí možnost, že by běžel samostatně kompresor a voda by z výměníku neodváděla teplo. Jako jisticí prvek je zde použit 25A jistič.

Běhový kondenzátor zajišťuje vznik točivého magnetického pole, které je nutné pro rozběh motoru kompresoru a vyšší výkon při trvalém chodu. Ten má kapacitu 25uF a vydrží 450V(MKSP – 5P). Jedná se o běhový kondenzátor, který je připojen stále, a není potřeba ho po rozběhu odpojovat.

Využitelný trvalý výkon motoru odpovídá asi 80% výkonu trojfázového motoru stejných parametrů. Záběrný moment je 50 až 70% jmenovitého momentu.

Kondenzátor

Zajišťuje převádění tepla do topné vody. V plátech koluje stlačené zkondenzované chladivo, které předává kondenzační teplo ohřívané vodě. Chladicí kapalina v plynném skupenství se ochladí a zkapalní



Typ: B8THx24/1P-SC-M 4x3/4" & 16(20)

Počet plátů: 24

		Primární okruh		Sekundární okruh	
max. pracovní teplota	TS/°C	135	225	135	225
max. pracovní tlak	PS/bar	45	36	45	36
Testovaný tlak	PT/bar	69		69	
Objem	V /l	0,43		0,47	

Min. pracovní teplota: -196°C

Výparník

Nízkopotenciální teplo z okolního prostředí je zde předáváno chladicímu okruhu. Přivedené teplo způsobuje vypařování chladiva, páry chladiva se stávají nositelem tepelné energie a tu převádějí do kompresoru.



Typ: B8THx20/1P-SC-M 4x3/4" & 16(20)

Počet plátů: 20

		Primární okruh		Sekundární okruh	
max. pracovní teplota	TS/°C	135	225	135	225
max. pracovní tlak	PS/bar	45	36	45	36
Testovaný tlak	PT/bar	69		69	
Objem	V /l	0,35		0,39	

Min. pracovní teplota: -196 °C

Čerpadla

Zajišťují proudění vody v obou okruzích. Nasávají vodu z nádoby a vytlačují ji skrz výměníky. Šest režimů umožňuje nastavit tři rychlosti otáček, nebo tři úrovně konstantního tlaku bez ohledu na otáčky.



- firma: GRUNDFOS
- typ: ALPHA2L
- průtok Q_{\max} : 2,4 m³/h
- dopravní výška H_{\max} : 6 m
- teplota kapaliny: +2°C až +110°C (TF 110)
- tlak systému P_{\max} : 1.0 MPa / 10bar

Škrtící ventil

Zde je zase snížen tlak chladicího okruhu. Kapalně chladivo, které zkondenzovalo v kondenzátoru při vyšším (kondenzačním) tlaku, se vstříkuje do výparníku, aby se zde opět vypařilo při nižším (vypařovacím) tlaku.



- TLEX-00262
- MOP.: 15°C
- Série: TLEX <4,5
- Maximální venkovní teplota: 100°C
- Maximální teplota hlavy: 140°C
- Odpařovací teplota: (15 ... -50) °C

Průhledítko

V modelu je použito průhledítko s indikací vlhkosti od firmy Castel. Slouží pro kontrolu, zdali správně dochází ke kondenzaci chladiva. Je umístěno mezi kondenzátorem a expanzním ventilem. Pokud je kompresor zapnutý, můžeme v průhledítku pozorovat, jak kapalina proudí do ventilu.



Průtokoměry

Průtokoměr měří průtok na vírovém principu. Zároveň čidlo měří teplotu procházejícího média. K řídicí jednotce je připojeno přes modul: C-AM-06001.



- od firmy Taco
- typ: Taco Setter Tronik
- instalační poloha je libovolná
- maximální teplota média TB: 120 °C
- maximální tlak média PB: 8 bar
- rozsah: (1 – 12) l/min, (2 – 40) l/min

Pro největší přesnost měřím průtok v [dm³/h] v rozsahu 1 – 12 [l/min].

Odvzdušňovací ventily

Jeden z průtokoměrů musel být namontován na horní závit výparníku, jelikož dole by se nevešel kvůli expanznímu ventilu. Jelikož je ale umístěn v nejvyšším bodě obvodu, neměřil přesně kvůli vzduchové kapse. Proto jsem musel přidat dva automatické odvzdušňovací ventily.



- od firmy Giacomini
- typ: R88IY003
- Provozní teplota: 5 ÷ 120°C
- Maximální provozní tlak: 1,4MPa (14bar)
- Maximální odvzdušňovací tlak: 0,7MPa (7bar)

Návrh ovládacího panelu

Ovládací panel musí zajišťovat funkční regulaci. Z hlediska jednoduchosti a energetické úspory jsem zvolil regulaci nespojitou. To znamená, že kompresor běží jen tehdy, když je potřeba ohřát vodu na požadovanou teplotu. Dále je nutné, aby kompresor běžel jen v době, kdy současně běží i obě čerpadla, aby nedošlo k přehřátí výměníků. Aby se častým spínáním nezkracovala životnost kompresoru, je minimální doba jeho běhu nastavena na 3 minuty.

Pro výpočet tepelného výkonu kompresoru měřím průtok vody v obou okruzích.

Uživatel celý obvod ovládá pomocí tlačítek START a STOP a panelem operátora u PLC.

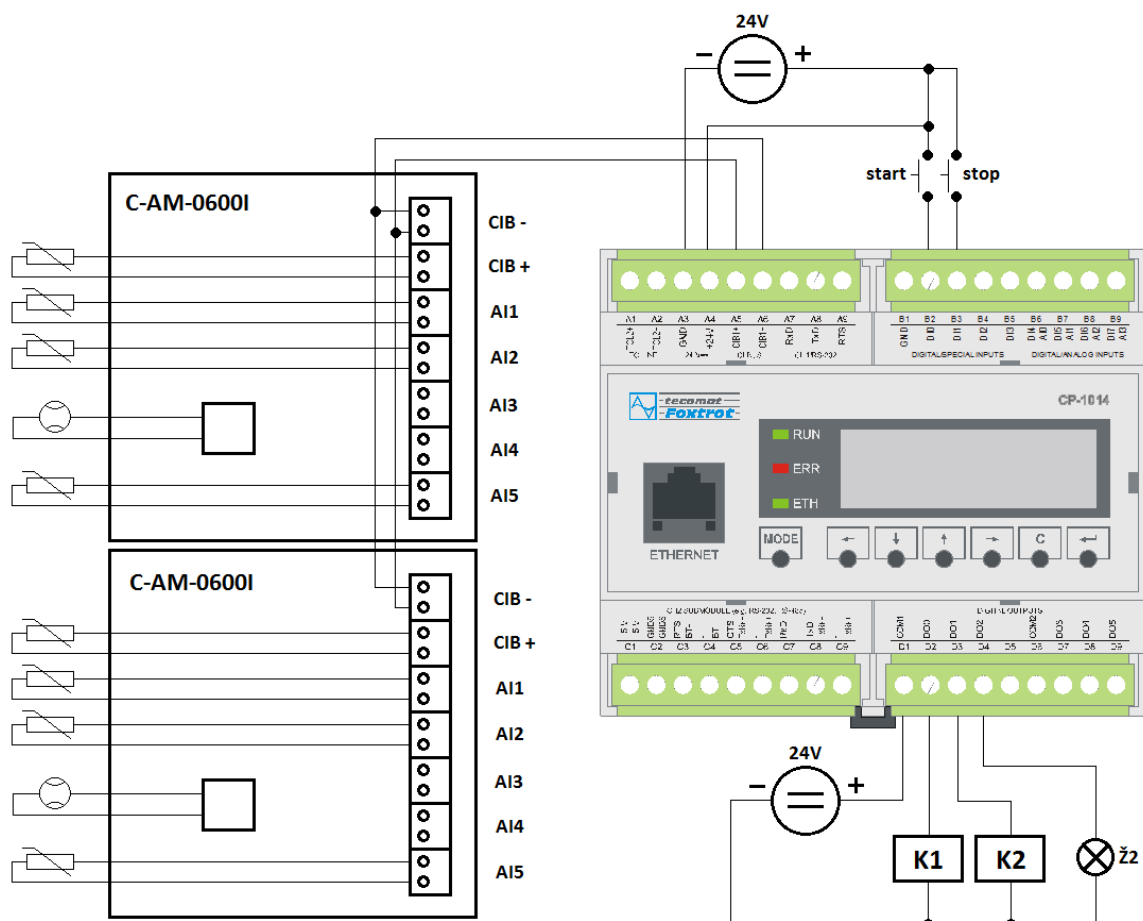
Tady má přehled všech teplot a může nastavit požadovanou teplotu topné vody. Je zde i výpočet tepelného výkonu a topného faktoru.

Zapojení PLC pro ovládání čerpadla

Potřeboval jsem dva digitální vstupy, CIB sběrnici a tři digitální výstupy. Použil jsem tedy Foxtrot CP-1014. Je vybaven osmi binárními vstupy 24 V, z nichž max. 4 vstupy lze využít jako analogové s rozsahem 0÷10 V a max. 4 jako vstupy se speciálními funkcemi (rychlý čítač, připojení inkrementální snímače apod.) a 6 reléovými výstupy. Má LCD displej, 4 x 20 znaků a 6 uživatelských tlačítek. S tímto programovatelným automatem jsme již ve škole pracovali, což také hrálo při výběru důležitou roli. Program jsem psal v jazyce ST v programu Mosaic a pro komunikaci jsem použil komunikaci přes rozhraní Ethernet.

Slaboproudá část:

- PLC je připojeno na výstup zdroje stejnosměrného napětí DR-60 /24 V od firmy Elko
- přes CIB sběrnici jsou paralelně připojeny moduly pro teplotní snímače a průtokoměry
- na vstup PLC jsou připojena jen dvě tlačítka start a stop, přes která spínám 24 V
- na výstup jsou připojeny cívky stykačů K1 a K2 spolu se světelnou indikací běhu programu
- 2 moduly C-AM-0600I umožňují vyhodnocovat hodnoty snímané 2 průtokoměry a 10 teplotními čidly. Já použil jen 8 svorek.
- přes výstupní kontakty jsou spínány dva stykače a indikační žárovka
- každý průtokoměr měří jeden okruh vody
- 6 čidel typu KTY81-121 a 2 teplotní čidla v průtokoměrech měří všechny potřebné teploty v celém modelu

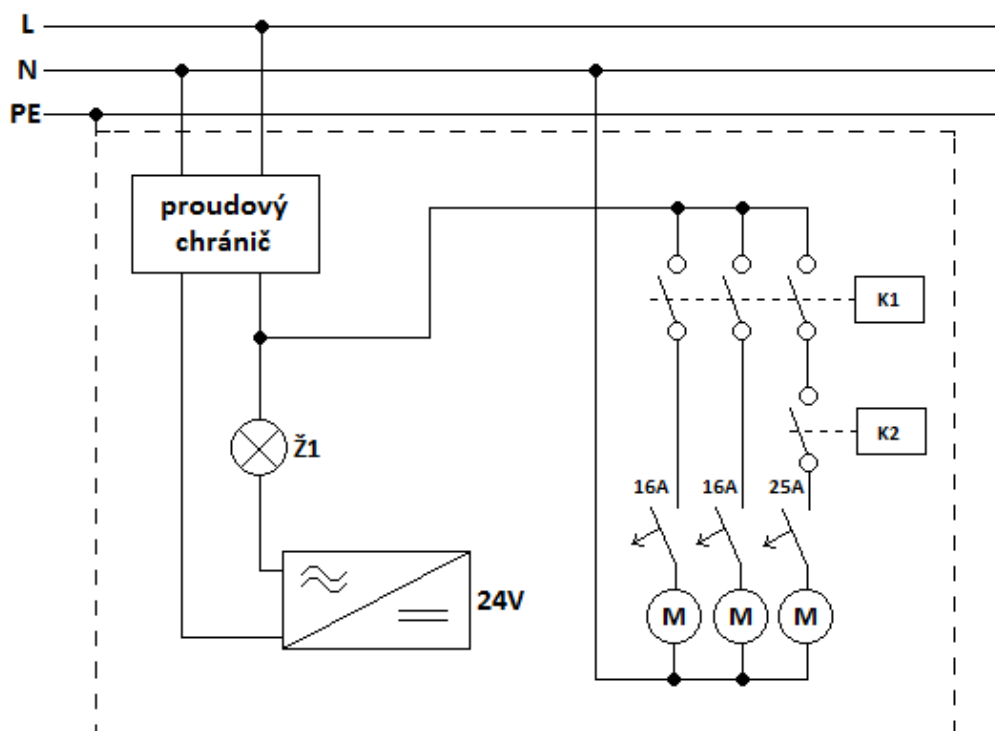


Obrázek 4 – Příloha č.1

Fotografie – Příloha č.2

Silnoproudá část:

- je zde napájen zdroj stejnosměrného napětí
- přes stykač K1 jsou napájena obě čerpadla a kompresor je zapojen přes kontakty obou stykačů, aby nedošlo ke stavu, kdy poběží kompresor a čerpadla nebudou odvádět teplo



Obrázek 5

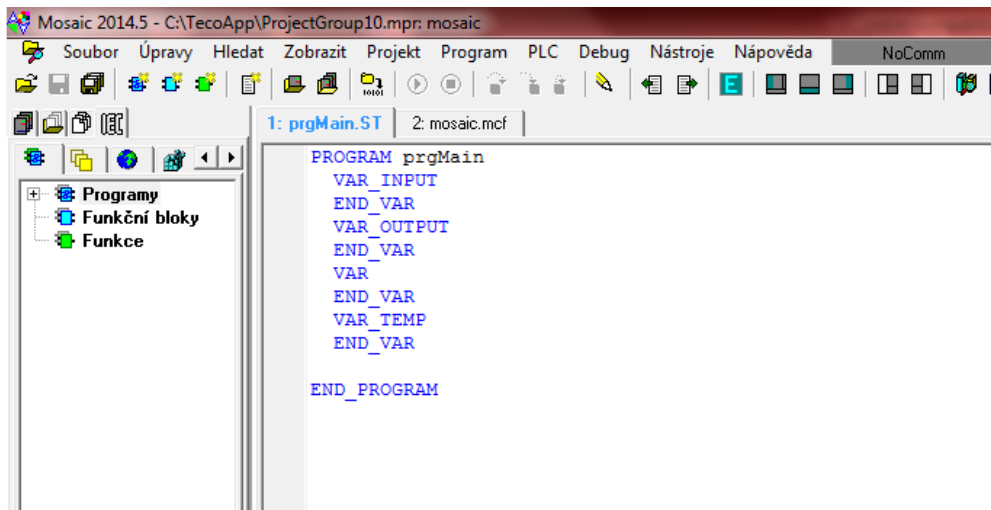
- celý obvod je jištěn proudovým chráničem a hned za ním je světelná indikace, která signalizuje, že je obvod pod napětím
- čerpadla jsou jištěna 16A jističem a kompresor má při rozběhu větší odběr, tak je připojen přes 25A jistič
- všechny neživé části modelu jsou spojeny a přivedeny na ochranný vodič PE, proto by nemělo při poruše dojít k ublížení na zdraví
- stykač K1 ovládá dvě čerpadla a stykač K2 kompresor
- pokud neběží oběhová čerpadla, není možné, aby kompresor stlačoval chladicí médium

Obrázek 5 – Příloha č.3

Fotografie – Příloha č.4

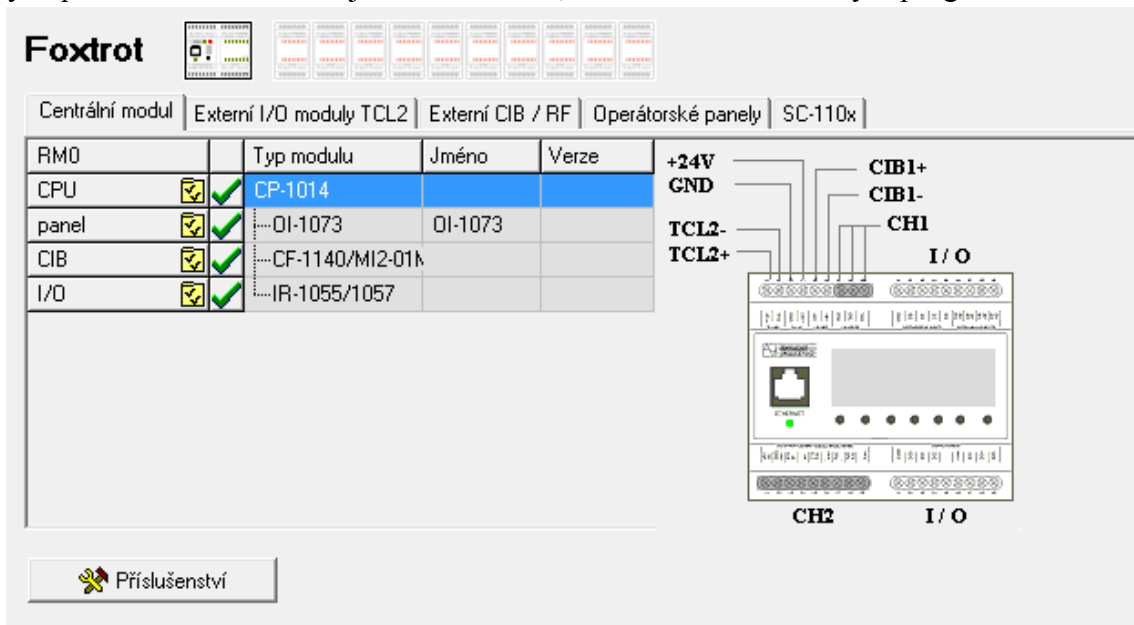
Program:

Pro napsání programu pro programovatelný automat jsem využil vývojové prostředí Mosaic. Mosaic je vývojové prostředí pro tvorbu a ladění programů pro programovatelné logické systémy (PLC, Programmable Logic Controller) TECOMAT® a TECOREG® z produkce firmy Teco a.s. Kolín. Prostředí je vyvíjeno ve shodě s mezinárodní normou IEC EN-61131-3, která definuje strukturu programů a programovací jazyky pro PLC. Aplikace je vyvíjena v rámci projektu, který je součástí projektové skupiny.



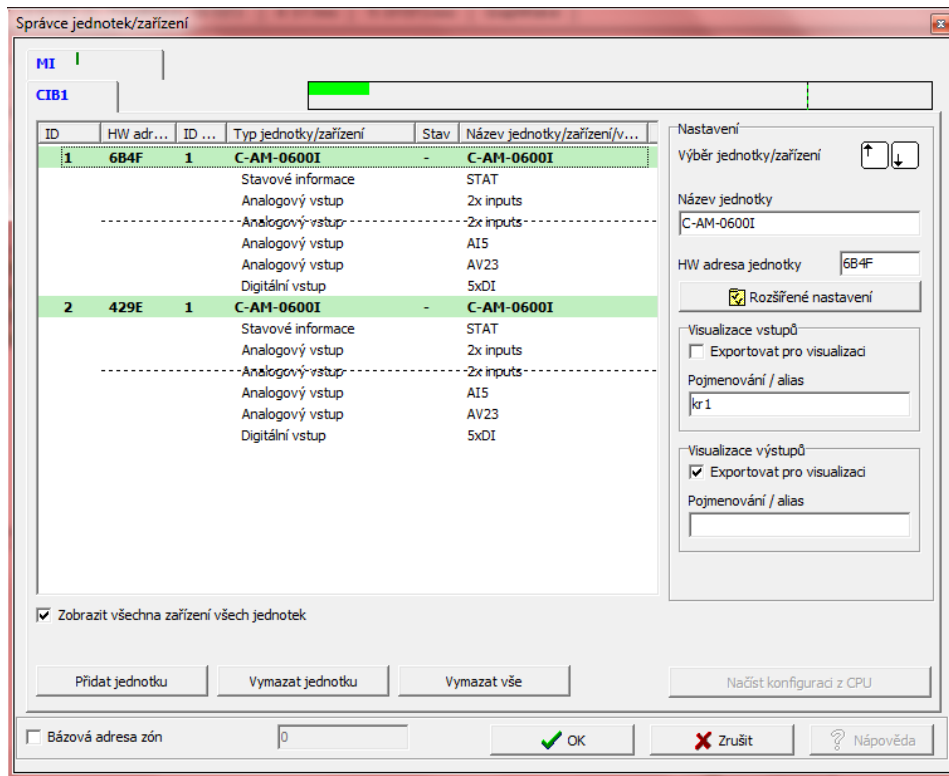
Obrázek 6

V nové skupině projektů musím vybrat typ CP-1014 a nastavit mu CIB sběrnici kde jsou všechna teplotní čidla a průtokoměry. Dále přiřadím alias k modulům C-AM-0600I a k vstupům a výstupům automatu. Pokud je vše nastavené, mohu začít se samotným programem.



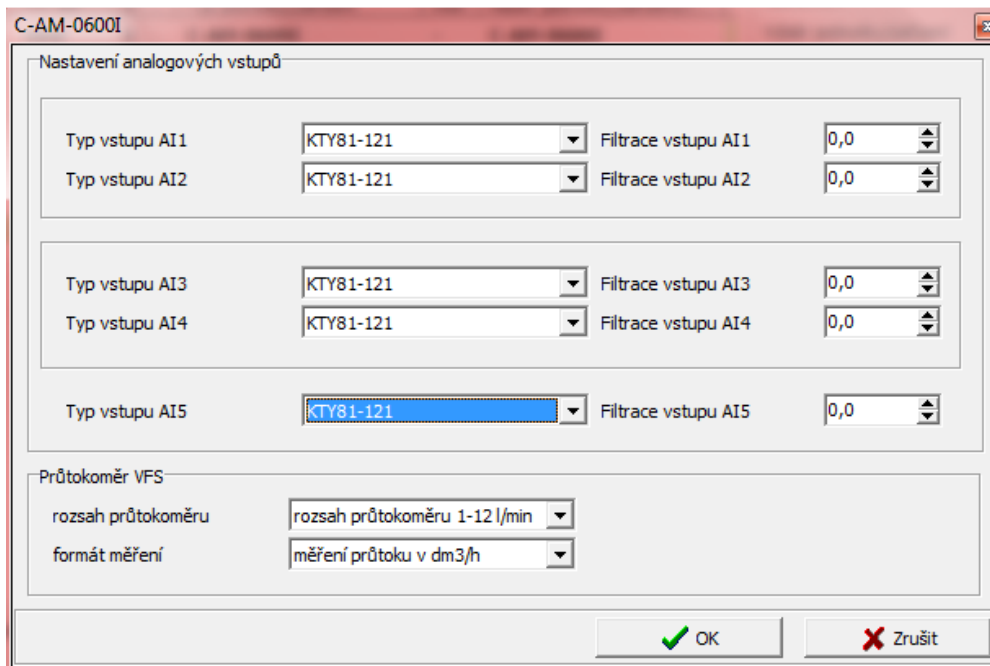
Obrázek 7

Každý modul má unikátní hardwarovou adresu, která umožňuje komunikaci PLC s daným modulem. Dále vyberu svorky, v kterých mám termočlánky a zakážu ostatní. Vstup AV23, což je průtokoměr, je od výrobce nejprve zakázán a musím ho povolit. Ještě mohu pro přehlednost pojmenovat jednotlivé moduly.



Obrázek 8

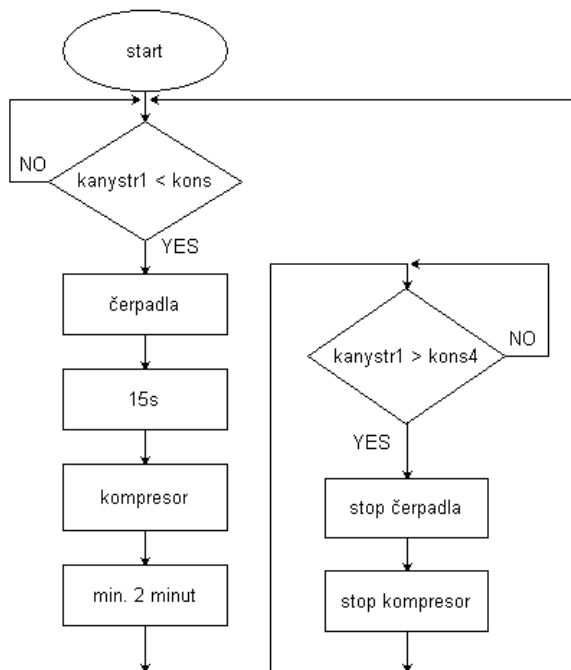
V rozšířeném nastavení vybereme dané typy termočlánků a vhodný rozsah průtokoměru.



Obrázek 9

V tabulce vstupů a výstupů přiřadíme různé alias k jednotlivým snímačům, abychom s nimi mohli pracovat v programu.

Vývojový diagram programu



Obrázek 10

kanystr1 – teplota topné vody

kons – 97,5 % z t1

kons4 – 102,5 % z t1

Struktura programu

V první větvi je klasické zapojení ovládní s přídržným kontaktem. To je jen virtuální pomocný kontakt, který funguje jako obyčejný přídržný kontakt stykače. Pokud tedy stisknu tlačítko START, sepne se kontakt k1, který je naprogramován paralelně, a tím zůstane výstup v log. 1. Tlačítkem STOP nebo kontaktem “prehrati” se větev rozpojí.

$k1 := (\text{start or } k1) \text{ and } (\text{not stop}) \text{ and } (\text{not prehrati});$

Pokud by nastala nějaká chyba a v kondenzátoru by teplota stoupla na 80 °C nebo by průtokoměrem neprotékala voda, program se ukončí.

$\text{prehrati} := (a3 > \text{ochrana}) \text{ or } (\text{kom and } (a5 < \text{prutok}));$

$\text{sve} := k1;$ *indikace běhu programu*

Aby byla hystereze regulace posunutá rovnoměrně kolem požadované hodnoty, počítám 97,5 % a 102,5% z hodnoty od uživatele. To znamená, že pokud uživatel nastaví 40 °C, regulace bude spínat mezi teplotami 39 °C a 41 °C.

$\text{kons} := (\text{kons1} * t1) / \text{kons3};$

$\text{kons4} := (\text{kons2} * t1) / \text{kons3};$

Čerpadla se zapnou, při běhu programu, a pokud bude teplota v kanystru menší než počítaná konstanta. Vypnou se, pokud teplota v kanystru převýší počítanou vyšší hodnotu a pokud již běží 2 minuty (pro ochranu kompresoru), nebo při ukončení programu. Čerpadla se vypínají, protože voda odebere teplo z kondenzátoru velice rychle a dále je kondenzátor ohříván vodou z kanystru. Což pochopitelně nechceme.

$\text{RS2}(S := k1 \text{ and } (\text{kanystr1} < \text{kons}), R1 := ((\text{kanystr1} > \text{kons4}) \text{ and } \text{citac2.Q}) \text{ or stop, } Q1 => \text{cer})$

$\text{trig}(\text{CLK} := \text{cer}, Q => \text{RS1.R1});$

Kompresor se zapne, jen pokud běží čerpadla a pokud od startu čerpadel uběhlo 15 s. Reset je možný, pokud se vypnou čerpadla, nebo při ukončení programu.

$\text{RS1}(S := \text{cer and cas1.Q}, R1 := \text{trig.Q or stop, } Q1 => \text{kom});$

Nastavení minimálního chodu kompresoru a opoždění startu.

$\text{citac1}(CU := \text{imp and kom}, R := \text{not kom}, PV := 120, CV => t8, Q => \text{RS2.R1});$

$\text{cas1}(IN := \text{cer}, PT := T\#15s, Q => \text{RS1.S});$

Pro výpočet topného faktoru potřebuji znát dobu běhu programu a celkovou dobu běhu kompresoru. Časovací impulzy "imp" běží nezávisle na kontaktech *k1* a *kom*, každé se sepne v jinou chvíli a pro minimalizaci tohoto rozdílu jsem zvolil impulzy po jedné vteřině, aby časování bylo co nejpřesnější. Místo výstupů jsem využil aktuální stav čítače a předvolbu jsem musel nastavit na 9 hodin, maximum je 32767 s. Pokud čítač přesáhne 32400 s, začne od znova a při resetování může vyjít topný faktor špatně. Další v pořadí už ale bude počítán správně.

```
citac1(CU := (imp and k1),R:= stop or cit, PV:= 32400,CV =>t3, Q=>cit);
```

```
citac(CU := (imp and kom),R:= stop, PV:= 32400,CV =>t2, Q=>cit);
```

Jelikož typ aktuálního stavu čítače je INT, musím ho převést na REAL, abych s touto hodnotou mohl pracovat ve výpočtech.

```
prikon:= INT_TO_REAL(t2);
```

```
celk:= INT_TO_REAL(t3);
```

Z knihovny EnergyLib jsem použil funkční blok *fbCalorimeterWater* pro výpočet kalorimetrické rovnice. Blok vypočítává tepelný výkon, celkové teplo a celkový objem vody. Z tepelného výkonu již snadno dopočtu topný faktor čerpadla.

```
meter( LoTempValid:= (a4<a1),
```

```
LoTemp := a4,
```

```
HiTempValid := (a1>a4),
```

```
HiTemp := a1, Flow := a5,
```

```
HeatCnt := teplo,
```

```
VolumeCnt := protekle,
```

```
Output => celkVykon,
```

```
Heat => celkTeplo,
```

```
Volume => celkObjem);
```

```
Q := (celkVykon*(celk/prevod))/(P1*(prikon/prevod));
```

Pro zajímavost počítám topný faktor i druhým způsobem, a to tak, že vypočítám ohřátí vody v kanystru za dobu běhu kompresoru. Dále musím kalorimetrickou rovnici vydělit příkonem kompresoru za dobu jeho běhu. Pro zapsání teplot při zapnutí a vypnutí kompresoru využívám 2 procesy. Jeden je zapínán při náběžné hraně kompresoru, to zapisuji čas do proměnné *t_{zac}* a aktuální teplotu do *t₁₁*. Při sestupné hraně pak čas do proměnné *t_{kon}* a teplotu do *t₁₂*.

```
kom1(CLK := kom, Q => proces1);
```

```
kom2(CLK := kom, Q => proces2);
```

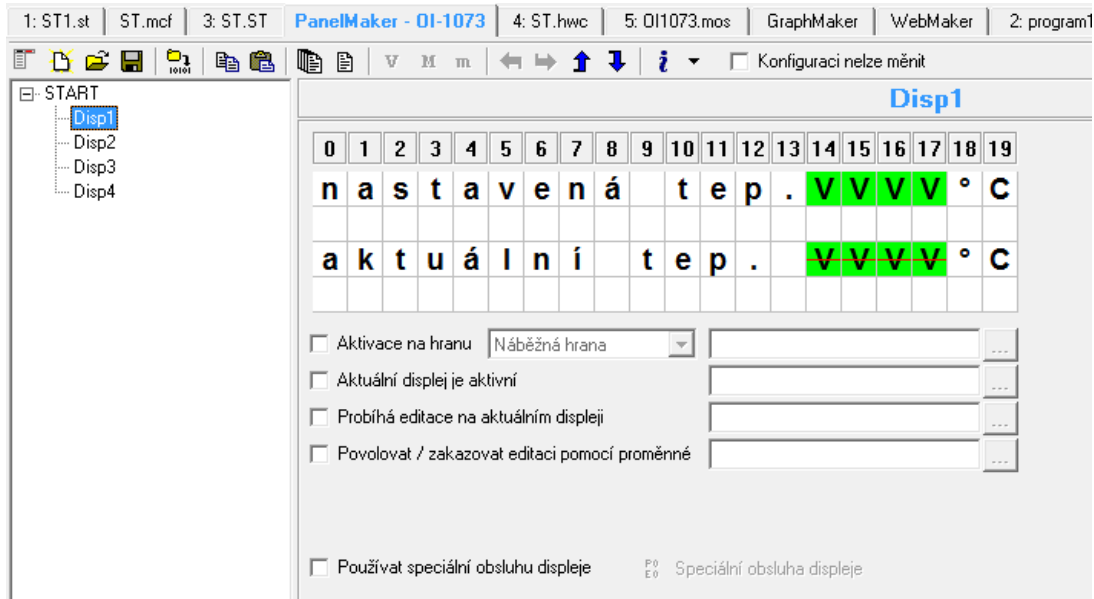
```
deltat := t12 - t11;
```

```
deltT := (tkon - tzac);
```

```
Q1:=(m*c*deltat)/(P1*(deltT));
```

Program – Příloha č.5

Panel Maker

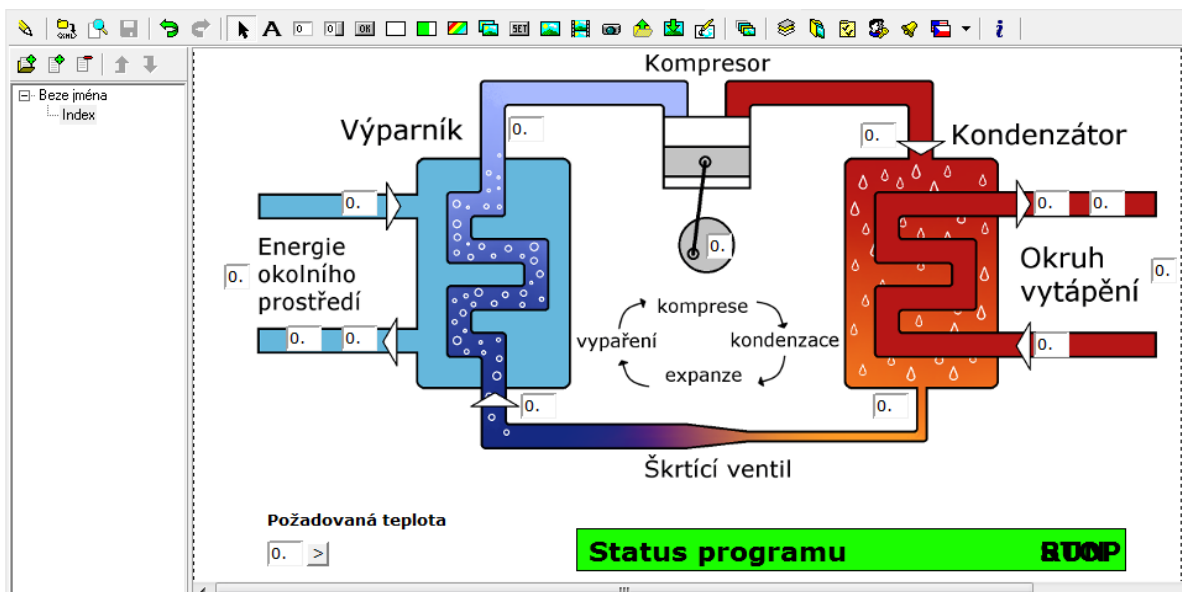


Obrázek 11

Aby uživatel mohl kontrolovat a nastavovat hodnoty, musím nadefinovat Panel Maker. Na model displeje vkládám proměnné a popis. Jednotlivé displeje, které lze postupně zobrazit na PLC poskytují následující informace:

1. displej: nastavená teplota, aktuální teplota
2. displej: okruh 1 (ohřívaná nádoba), okruh 2 (ochlazovaná nádoba), okruh u kompresoru 1 (vstup do kondenzátoru od kompresoru), okruh u kompresoru 2 (vstup do výparníku od expanzního ventilu)
3. displej: topný faktor počítaný funkčním blokem, celkové teplo (kolik tepla vyprodukoval model tepelného čerpadla), celkový objem (kolik vody protéklo kondenzátorem)
4. displej: průtok kondenzátorem a výparníkem

Web Maker



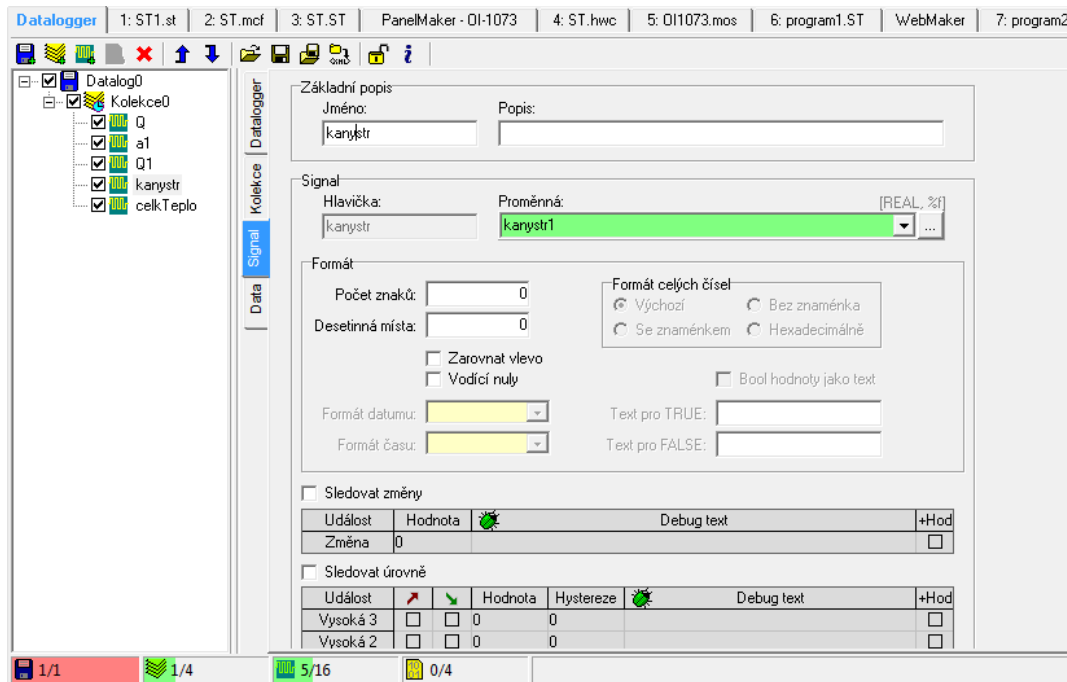
Obrázek 12

Nakreslil jsem obrázek a vložil ho do Web Makeru. WebMaker je modul vývojového prostředí Mosaic, který umožňuje vytvořit webovou aplikaci, která běží na webovém serveru, který je součástí PLC. Pokud jste na SPŠ v Písku připojeni síťovým kabelem, dostanete se na webový server po zadání adresy 172.16.25.74 do webového prohlížeče. Login: TepCer a heslo: SPSaVOS. K obrázku jsem vložil hodnoty termočlánků přesně do míst, kde teploty měřím. Dále vidím hodnoty průtokoměrů, stav kompresoru a mohu pohodlně nastavovat požadovanou teplotu. Status programu je buď červený STOP, nebo zelený RUN.

Webový server – Příloha č.6

Datalogger

Datalogger je nástroj určený pro vytvoření automatického systému pro ukládání dat a událostí v PLC systémech Tecomat. Záznam je ukládán na paměťovou kartu, kterou musí být daný systém vybaven. Výsledný soubor je uložen ve standardním formátu CSV (Comma-Separated Values – hodnoty oddělené čárkami) pro možnost jednoduchého zpracování v některém z běžně užívaných tabulkových editorů a databází. Na hodnoty uložené na paměťové kartě, se jednoduše dostanu kliknutím na obrázek ve webovém serveru. Mohu si uložit kompletní tabulku se všemi hodnotami.



Obrázek 13

Průběh měření

Klešťovým ampérmetrem jsem s panem učitelem změřil kompresor

proud 3,1 A a napětí 236 V

činný výkon $P = 690\text{W}$

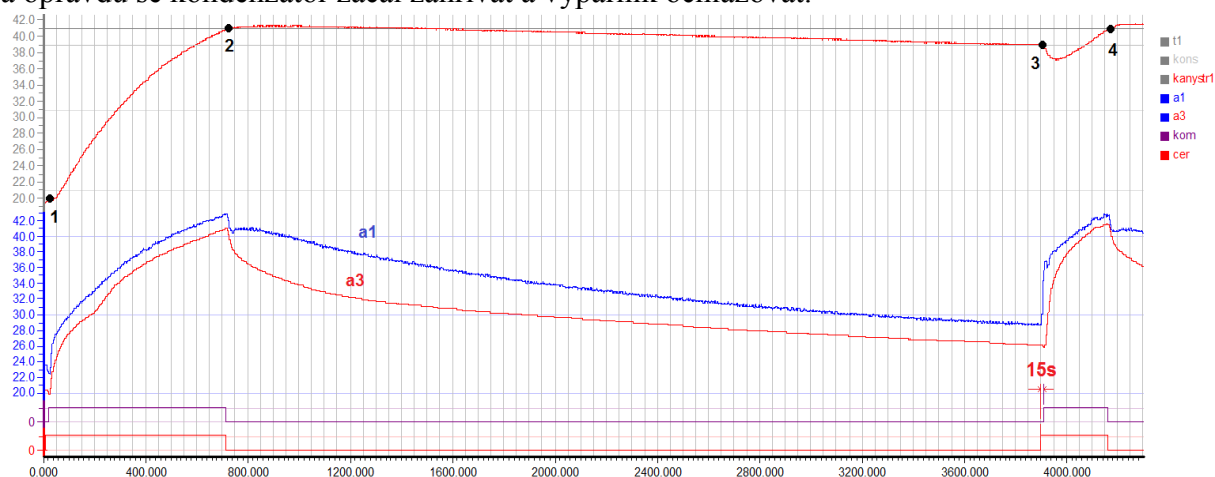
zdánlivý výkon $S = UI = 236 * 3,1 = 731,6\text{ VA}$

pro zajímavost jsem si spočetl i jalový výkon $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = 243,18\text{ Var}$

účinník kompresoru tedy vyjde $\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{690}{731,6} = 0,94$

Při prvním spuštění modelu jsem zjistil, že čerpadla u vytvořeného modelu nedokážou vytáhnout vodu ze sudů, protože jsou moc vysoko. Po přeorganizování prvků bylo ale vše

v pořádku a mohl jsem začít zkoušet i okruh s kompresorem. Chvilku jsem nechal vše běžet a opravdu se kondenzátor začal zahřívat a výparník ochlazovat.



Obrázek 14

Zde je zaznamenán začátek programu. (1) Čerpadla se rozběhnou a proudící voda (19,4 °C) trochu ochladí výměník (modrá a červená křivka). Po 15s se zapne kompresor (fialový průběh) a teplota začne pomalu stoupat, až dosáhne počítaných 102,5 % (41 °C) z požadované hodnoty (2) a kompresor i čerpadla se vypnou. Teplota na vstupu do kondenzátoru (od kompresoru) je červený průběh a3 a teplota na výstupu z kondenzátoru (do kanystru) je modrý průběh a1. Obě teploty jsou měřeny rozdílným způsobem a i při minimalizování chyby u a4, není měření přesné jako u a1. Termočlánek a3 je připevněn na povrchu kovové trubky, potřený tepelně vodivou pastou a překrytý tepelnou izolací, ale stejně neměří přesně teplotu kapaliny. I když průběhy teplot neodpovídají, teploty jsou přibližně stejné. Nyní tepelné čerpadlo čeká, až se teplo z kanystru vyzáří do prostoru. Jakmile teplota v kanystru klesne na hodnotu 97,5 % z požadované (3), zapnou se čerpadla. Výměnky se zase zavodní a po 15 s se zapne

i kompresor. Minimální běh kompresoru je nastaven na 2 minuty, ale teplota v kanystru se neohřívá tak rychle, takže doba běhu bývá kolem 4 minut (4). Dále je průběh periodický. Při běžné pokojové teplotě se kanystr ochladí o 1 °C přibližně za 22 minut.

Topný faktor

Dále jsem se zabýval měřením a počítáním topného faktoru. Nejprve jsem upravil kalorimetrickou rovnici, ale když rozdíl vstupní a výstupní teploty na chvilku vyšel záporný, celý průměr byl ovlivněn. Proto jsem využil funkční blok z knihovny EnergyLib, který je podmíněný během kompresoru. Z tohoto bloku ale musím ještě vypočítat topný faktor. Z funkčního bloku vezmu celkové vyrobené teplo v kWh (musím převést na Wh) a vydělím to příkonem

a celkovou dobou běhu kompresoru.

$$C = \frac{\text{celkTeplo} * 1000}{500 * \text{běh kompresoru}}$$

Teplotu $t1$ měří průtokoměr přímo uvnitř vody a odpadá tedy ztráta tepla při průchodu kovu. Tento způsob je zatím nepoužitelný. Obě teploty v kalorimetrické rovnici se musí měřit stejně.

Pro zajímavost počítám topný faktor ještě jedním způsobem.

$$C = \frac{m * c * (\vartheta_2 - \vartheta_1)}{P * (t_2 - t_1)}$$

Pokud kompresor poběží 2 minuty, a voda v kanystru se ohřeje o 2 °C, topný faktor vyjde 1,39.

$$C = \frac{10 * 4180 * (41 - 39)}{690 * (120 - 0)} = 1$$

Při startu programu má voda v kanystru přibližně 19 °C a ohřeje se tedy přibližně o 21 °C a topný faktor je = 2,93.

$$C = \frac{10 * 4180 * (41 - 19)}{690 * (500 - 0)} = 2,67$$

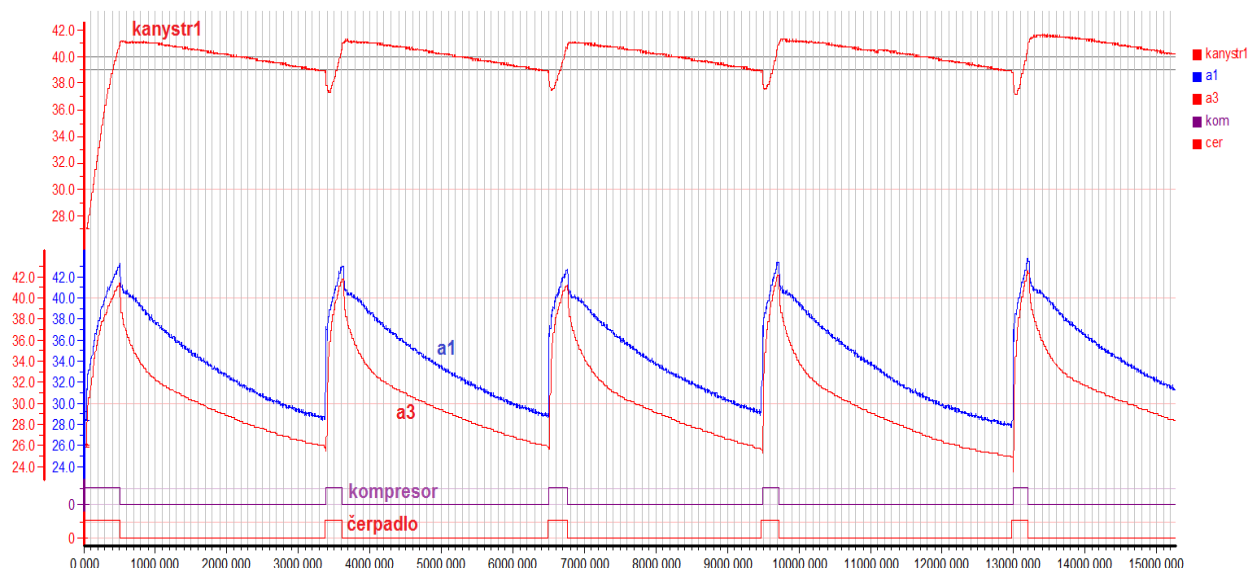
Výsledek můžeme vidět až po vypnutí kompresoru. Pokud se kompresor zapne, přepíše se jen hodnota ϑ_1 a t_1 . To znamená, že rozdíly teplot zůstane přibližně stejný, ale rozdíl časů bude vycházet záporný. Po vypnutí kompresoru se přepíše i ϑ_2 a t_2 a výsledek je správný. Výsledky jsem dlouhodobě ukládal přes datalogger.

Jedno měření můžete vidět v této tabulce. Model běžel 4,2 hodiny a kompresor běžel 5x.

Tabulka 1

kompresor	topný faktor
1	2,66
2	0,69
3	0,62
4	0,67
5	0,65
průměr	1,06

První hodnota je vysoká, jelikož se voda v kanystru ohřála o hodně. Dále kompresor ohřál vodu jen o 2 stupně přibližně za 3,5 minuty. Kanystry s vodou byly plné.



Obrázek 15

Závěr

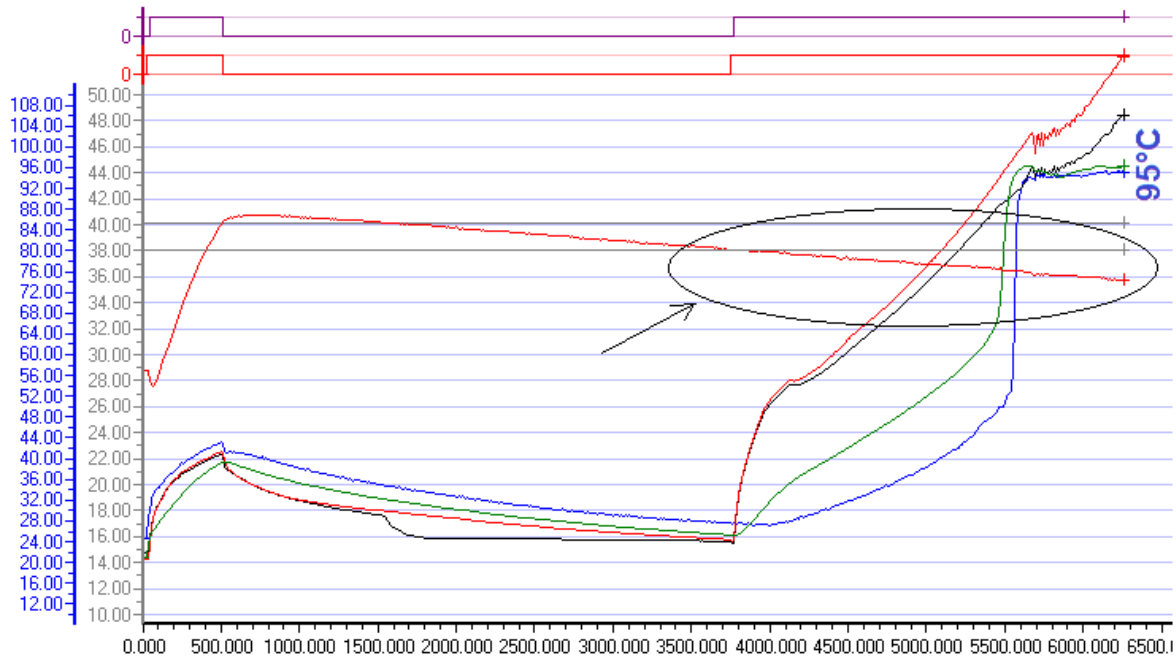
Záměrem vytvořením modelu bylo dokázat, že realizace tepelného

o čerpadla nemusí být neřešitelný problém. Lze jej postavit z komponentů běžně dostupných na našem trhu.

Nejprve jsem regulaci naprogramoval tak, aby čerpadla běžela neustále, ale ukázalo se, že po vypnutí kompresoru se proces obrátí a ohřátá voda v kanystru dodává teplo do kondenzátoru.

Po přepsání programu vše vypadalo, jak mělo, ale po delším měření se voda v kanystru ohřála nad požadovanou hodnotu a cyklus se také obrátil. Musel jsem tedy do programu ještě zasáhnout a upravit řízení kompresoru a čerpadel. Vytvořil jsem podmínku, kterou jste mohli vidět v popisu programu.

Během měření nastala jedna větší chyba.



Obrázek 16

Jak můžete vidět na obrázku, čerpadla a kompresor se v pořádku spustily, ale čerpadlo u kondenzátoru nenasálo vodu. Teplota v kanystru tedy dále klesala a kondenzátor nebyl chlazen a teplota v něm stále stoupala. Podmínka pro vypnutí kompresoru nemohla být plněna a tak kompresor běže dál a snažil se ohřát vodu. I když byla naprogramována ochrana proti přehřátí kondenzátoru (nesmí být $a1 > 95 \text{ } ^\circ\text{C}$), přehřál se kompresor a jistič zásuvky vypadl. Upravil jsem ochranu proti přehřátí, a dále jsem do programu vepsal podmínku, že při běhu kompresoru musí průtokoměr ukazovat hodnotu nad $200 \text{ m}^3/\text{h}$. Jinak se program vypne.

Měření pomocí funkčního bloku, které je prováděno v závislosti na průtoku a aktuálním rozdílu teplot před a za kondenzátorem se s výsledky druhé metody neshoduje. Jak jsem již zmínil, měření teploty $a1$ a $a4$ je rozdílné a rozdíl měřených teplot je vyšší, než ve skutečnosti, a tím je topný faktor také vyšší. Doporučuji přidat termočlánek KTY81-121 stejným způsobem jako ostatní do míst, kde se nachází průtokoměr. Když budou všechny teploty měřeny stejným způsobem, topný faktor počítaný oběma způsoby by měl vycházet přibližně stejně.

Model je připraven na zavedení do výuky, ale není moc vhodný. Čekání na ochlazení vody je velice časově náročné a studenti za 2 hodiny stihnou vyzkoušet jen několik programů. Kanystr vychladne přibližně za 45 minut. Toto by šlo vyřešit proházováním kanystrů, nebo třetím čerpadlem, co by přečerpávalo vodu mezi kanystry. To pak ale bude měření topného faktoru nepřesné, neboť kompresor bude neustále ohřívat vodu z velice nízké teploty. Studenti se naučí pracovat se sběrníci CIB a definováním přídatných modulů.

Pokud jde o mě, do tepelného čerpadla bych investoval. Vyzkoušel jsem funkci a podle hodnot to vypadá, že ročně ušetří dost peněz za vytápění. Řekl bych, že ekologické vytápění má veliký význam a také budoucnost....

Zdroje informací:

Všechny informace jsem čerpal z internetu.

<http://www.technologyheat.cz>

http://cs.wikipedia.org/wiki/Tepelné_čerpadlo

<http://www.technologyheat.cz/jak-funguje-tepelne-cerpadlo.html>

<http://www.abeceda-cerpadel.cz/>

http://www.badura.cz/vyp_kon/tec-moto.htm

http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektrick%C3%BD_v%C3%BDkon