

Bibliografická citace

Kouřil, Jan. *Řídicí systém pro okruh chladicí vody*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 46 s., příloha 1CD s programem. Vedoucí práce: Ing. Petr Pivoňka, CSc.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Řídicí systém pro okruh chladicí vody* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne : 2.6.2008

Podpis:

Poděkování

Děkuji tímto prof. Ing. Petru Pivoňkovi, CSc a Ing. Miloslavu Kouřilovi, CSc za cenné rady, připomínky a podporu při vypracování bakalářské práce. Také děkuji firmě Q.I.P. s.r.o. za poskytnutý prostor. Rovněž bych chtěl poděkovat i spoustě dalších lidí, za podporu zejména psychickou.

V Brně dne : 2.6.2008

Podpis:

OBSAH

OBSAH.....	3
1. SEZNAM OBRÁZKŮ.....	5
2. ÚVOD	6
3. STRUČNÝ POPIS TECHNOLOGIE	7
3.1 K čemu slouží kalírna a kalení.....	7
3.2 Kalírny	8
3.3 Využití technologie.....	9
3.4 Požadavky na chlazení.....	10
3.5 Výchozí stav zařízení.....	13
3.6 Analýza technického stavu chladicího okruhu.....	14
4. ŘÍDICÍ SYSTÉM	16
4.1 Chlazení kalícího oleje.....	16
4.2 Samotný chladicí okruh	17
5. ŘÍDICÍ ALGORITMY	19
5.1 Algoritmus řízení tlaku – regulace čerpadel	19
5.2 Algoritmus řízení teploty – regulace ventilátorů	21
6. VIZUALIZACE PROCESŮ NA PC.....	25
6.1 Režim práce vizualizační aplikace.....	25
6.2 Implementace vizualizační aplikace	27
6.3 Výhody a nevýhody vizualizačních variant	28
6.4 Praktické požadavky na aplikaci.....	30
7. PŘÁNÍ A REALITA , STAV REALIZACE.....	33
7.1 Aktuální skutečný stav	33
7.2 Použité regulační algoritmy a jejich implementace, hardware.	33
8. VIZUALIZACE OKRUHU CHLADICÍ VODY.....	35
8.1 Okno vizualizace.....	35
8.2 Okna Grafů:	37
8.3 Simulační parametry:	38

9. VÝBĚR KOMPONENT PRO ŘÍDICÍ SYSTÉM A CHYBY KE KTERÝM DOŠLO.....	39
9.1 Výběr řídicího systému	39
9.2 Vývoj a konstrukce řídicího systému.....	40
9.3 Chyby a problémy	40
9.4 Může se v řídicím systému hodit	42
10. ZÁVĚR	43
11. LITERATURA.....	44
12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	45
13. PŘÍLOHY.....	46

1. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 4-1 Schéma chladicího okruhu	17
Obrázek 6-1 Struktura vizualizace procesu.....	27
Obrázek 6-2 Ukázka záznamu z procesu (modrou průběh teploty oleje)	31
Obrázek 6-3 Ukázka vizualizace procesu	32
Obrázek 7-1 Regulátor Eurotherm 2704	34
Obrázek 8-1 Vizualizace chladicího okruhu	35
Obrázek 8-2 Graf teplot chladicího okruhu	37
Obrázek 8-3 Graf tlaků chladicí okruh.....	38

2. ÚVOD

Smyslem této práce je navrhnout řídicí systém okruhu chladicí vody v zakázkové kalírně tak, aby byl jeho provoz ekonomicky a energeticky výhodný, byla minimalizována četnost zásahů obsluhy a zvýšena jeho spolehlivost.

V zakázkové kalírně, kterou se zabývá tato práce, se využívá chladicí vody ke chlazení 3 víceúčelových pecí, jedné pece nitrační a 2 ENDO generátorů. Na pecích se chladí ložiska u vřeten ventilátorů, průstupy zirkoniových sond pro měření atmosféry, pláště předkomor a kalící médium. V generátoru se využívá k ochlazení generovaného plynu před jeho vstupem do páteřního rozvodu.

V kalírně se nachází i spousta navazujících technologií (popouštěcí pece, pračky, atd.), ty ovšem nejsou napojeny na chladicí okruh a nebudou dále zmiňovány. Ovšem v rámci systému řízení a monitorování provozu jsou některé z nich zapojeny do řídicího systému a proto se možná v nějakém obrázku vizualizace objeví.

3. STRUČNÝ POPIS TECHNOLOGIE

3.1 K ČEMU SLOUŽÍ KALÍRNA A KALENÍ

Tepelné a chemickotepelné zpracování kovů se používá pro širokou škálu materiálů, od technických slitin železa – ocelí a litin, po neželezné kovy a slitiny. V současné době objem tepelného a chemickotepelného zpracování ocelí a litin několikanásobně převyšuje objem zpracování ostatních kovů.

Historické počátky vývoje tepelného zpracování spadají do začátků metalurgie železa, přibližně do druhého tisíciletí př.n.l.

První pokusy a zkušenosti s možnostmi změny vlastností železa, byly empirické a veškerý vývoj probíhal metodou pokusů a omylů. Proces vývoje od prvního objevu železa k cíleně prováděnému kalení nebo žhání trval spoustu generací.

Při výrobě i následném zpracování (kování) bylo železo mnohokrát ohříváno a ochlazováno. Zde bylo možné pozorovat vlivy teploty ohřevu, tehdy reprezentované barvou, a případně rychlosti chladnutí (chladnul-li předmět volně na vzduchu, byl ponořen do vody či jako některé Damascénské meče zabořen do otroka) na výsledné vlastnosti výrobku.

Ohřev byl prováděn za pomoci dřevěného uhlí, což je prostředí bohaté na volný uhlík a podle podmínek spalování docházelo buď k nauhličování – cementaci materiálu (při nedokonalém spalování) či naopak k oduhličení (při přebytku kyslíku). Po oduhličení se z původně křehkého materiálu stal materiál kujný.

Potřeba kombinace vlastností vedla k míchání různých druhů ocelí a jejich skovávání dohromady. Předpokládá se, že Damascénské meče mohly být vyráběny tak, že se nejdříve upletly ze spousty drátků různých vlastností a následně skleply dohromady.

Damascénské meče, jejichž původ je v dnešní Indii, získaly svůj název podle syrského města Damašku, přes které byly do Evropy dováženy.

Nejstarší důkaz o cíleně prováděném kalení oceli pochází z Egypta. Je to sekera téměř bez uhlíku, datovaná do roku přibližně 900 před Kristem. Její břit však obsahuje asi 0,9% hmotn. uhlíku, byl kalen z teploty 800 - 900°C. Břit byl po kalení popuštěn na vysokou tvrdost, zatímco nekalitelné tělo sekery je tvrdé minimálně. Popuštění bylo provedeno vnitřním teplem, což svědčí o mistrném umu kováře, který sekeru tepelně zpracovával, neb jeho dávný výrobek je kvalitou plně srovnatelný se sekerami dnes vyráběnými [1].

3.2 KALÍRNY

Kalírny obecně jsou provozy se značnými energetickými nároky, z čehož plyne i nutnost jejího maximálního využití, zejména při dnešních rostoucích cenách energií a požadavky na šetření energií z ekologických důvodů. Většina kalíren v České republice využívá starší zařízení, zejména vzhledem k značné finanční náročnosti zařízení nového a nejisté rentabilitě investice.

Vybavení kalíren, zejména její „technologické srdce“ – pece, neprochází po mechanické stránce bouřlivým vývojem, navíc se obvykle jedná o zařízení, které má při odpovídající údržbě životnost v řádu 10-tek let. Naproti tomu počítaná a částečně i morální životnost prostředků elektronického řízení bývá 5-10 let. Díky tomu se zde otvírá značný prostor k modernizaci zařízení na úrovni řídicích systémů a optimalizace procesů, neb zde dochází k největšímu pokroku a je možné dosáhnout značných úspor při investicích o řád menších než je nákup nového zařízení.

3.3 VYUŽITÍ TECHNOLOGIE

Chladí se 3. víceúčelové pece pro chemicko-tepelné zpracování kovů, jedna pec popouštěcí a generátory endo atmosféry. Na pecích se provádí především kalení nebo cementace. Dalšími procesy jsou popouštění, nitridace a mnohé další.

Při kalení je celá vsázka pece (cca 300kg pro zařízení této dimenze) nejprve nahřata na kalící teplotu (podle materiálu obvykle 780-930°C) na které je ponechána doba potřebnou k rovnoměrnému prohřátí a k proběhnutí nutných přeměn, následně je vsázka převezena do kalící komory a spuštěna do olejové lázně. Zde dojde k rychlému ochlazení (z cca 900°C-> na cca 80°C) čímž dojde ke změně fyzikálních vlastností materiálu. Tento se obvykle stane výrazně tvrdším a křehčím. Typickým příkladem mohou být například kleště či vruty do dřeva. Pokud by nebyly ze zakaleného materiálu, snadno by se ohnuly a vymačkaly. Další běžnou kalenou součástí jsou očka visacích zámků, které díky tvrdosti nejdou přetříznout či přestříhnout.

Kalení ve víceúčelových pecích probíhá pod ochrannou atmosférou, jejímž cílem je zabránit poškození povrchu součástí (oxidací, okujením). Obvykle je používána buď inertní (dusíková) atmosféra, nebo řízená atmosféra, která má stejný obsah uhlíku jako kalená součást, díky čemuž nedochází k jeho změnám vlivem difuze.

Při cementaci je vsázka ohřata na co nejvyšší teplotu (obvykle kompromis mezi tím, co je schopna vydržet pec, limitem materiálu...) a je ponechána v atmosféře s vyšším obsahem uhlíku, než je v samotném materiálu (nejčastěji 0.8-1.3%C). Během pobytu vsázky v peci dochází k difuzi uhlíku od povrchu směrem do jádra a na povrchu se vytváří vrstvička s větším obsahem uhlíku (obvyklá tloušťka 0.3-2mm). Po uplynutí požadovaného času jsou možné dva postupy:

1. zakalení do oleje (stejně jako u normálního kalení).

2. převezení do kalící komory, ale vsázka je ponechána v ochranné atmosféře a pomalu chladne. Nedojde tedy k zakalení.

Ačkoliv cementace bývá prováděna kvůli zvýšení povrchové tvrdosti, ke které dojde až po zakalení, součástka bývá někdy mezi cementací a samotným kalením ještě mechanicky opracovávána. V tomto případě je vysoká tvrdost nežádoucí vzhledem k opotřebení nástrojů a času obrábění. Je tedy třeba nechat součástku pomalu vychladnout, aby nedošlo k zakalení a zvýšení tvrdostí, vyjmout z pece, odvézt na opracování a po opracování opět zahřát a zakalit.

Samotná ochranná atmosféra se skládá ze základního plynu (ENDO), a pak jsou k ní přidávány příměsi: metan(nebo propan), vzduch, čpavek, dusík. Metan(propan) spolu se vzduchem slouží k regulaci množství uhlíku v atmosféře (reguluje se PID regulátorem, při potřebě zvýšit hladinu uhlíku se přidává metan(propan), snižuje se vzduchem). Čpavek slouží k nitridaci, dusík se používá jako ochranný plyn při nízkých teplotách (není výbušný). ENDO plyn se vyrábí v ENDO generátorech zahřátím směsi vzduch/metan na cca 1000°C za přítomnosti katalyzátoru. Vzniklý plyn je následně ochlazen na cca 100°C, kdy již není problém jeho rozvádění běžnými armaturami a je veden k jednotlivým pecím.

Z uvedeného popisu je možné odhadnout hlavní zdroje tepla, které je třeba odvádět z technologie. Zbývající zdroje tepla (ložiska ventilátoru a průstupy sond) generují minimální množství tepla. (<1KW/ zařízení).

3.4 POŽADAVKY NA CHLAZENÍ

1. Chlazení olejových kalících lázní:

Pracovní teplota kalících lázní je dána použitým médiem. Zde použitý olej má rozsah pracovních teplot cca 60-120°C. V tomto rozsahu se může teplota oleje pohybovat, aniž by to mělo nějaký negativní vliv na kvalitu produkce. Pokud poklesne teplota pod spodní hranici, klesá kalící

účinnost, olej houstne, dochází k jeho karbonizaci – není schopen dostatečně rychle odvést předané teplo a lokálně se připaluje. Pokud dojde naopak k přehřátí oleje nad 120°C, hrozí jeho vznícení.

2. Chlazení plášťů kalících komor:

Smyslem chlazení je ochránit plášť komory před přehřátím následkem tepla sálajícího z chladnoucí vsázky. Rovněž je třeba zajistit dostatečný tepelný spád pro chlazení vsázky v požadovaném čase. Požadavky na teplotu : není žádoucí, aby teplota chladicího média byla méně než 20°C, neb by mohlo docházet ke kondenzaci vody na vnitřní stěně předkomory i na vnějším plášti zařízení. Maximální teplota výstupní vody by neměla přesáhnout 60-70°C a to z důvodu, aby nedocházelo k přílišnému vývinu páry a byla k dispozici rezerva pro případ poruchy (snížení průtoku) chladicího média.

3. Chlazení vyvíječů:

Je třeba pouze zajistit, aby výstupní teplota plynu nebyla vyšší než cca 100°C, pro teplotu chladicího média platí stejné požadavky jako v bodu 2.)

4. Chlazení ložisek a průstupů sond: Cílem je zajistit, aby nedošlo k přehřátí ložisek a těsnění, požadovaná teplota je tak do 70°C.

Z hlediska chlazení jsou nejvýznamější body 1. a 2., kdy dochází k odvádění tepla ze vsázky a je to vždy nárazová činnost.

Při kalení do oleje se vsázka nahřívá i hodinu plným topným výkonem zařízení (pochopitelně po odečtení ztrát přes plášť zařízení), aby při zavezení do oleje toto teplo předala během několika málo minut (obvykle do cca 5 min., doba je závislá na tvaru součástky) s tím, že nejintenzivnější přestup tepla je na začátku (velký tepelný spád). To by mohlo vyvolat zdání potřeby chladicího systému

s obrovským špičkovým výkonem, ale není tomu tak, protože předané teplo ohřeje olejovou lázeň (což nevadí, lázeň je tak navržena) a k jejímu vychlazení je čas až do dalšího kalení (většinou minimálně hodina). Navíc je olejová lázeň obvykle schopná přežít při poruše chlazení odkalení 2 vsázek za sebou a následně řídicí systém pece zamezí dalšímu kalení.

Daleko kritičtější z pohledu chlazení je bod 2.), kdy dochází k chladnutí vsázky v předkomoře. Sice díky přestupu přes vzduch je ochlazování výrazně pomalejší než v oleji, ovšem při teplotě vsázky 950 °C je přenos tepla sáláním značně intenzivní. Na rozdíl od kalení do oleje zde není médium schopné akumulovat energii, plášť je pouze plech tlustý cca 4mm, na kterém jsou navařeny smyčky měděných trubek, kterými protéká chladicí voda.

Případný výpadek chlazení je citelný už v délce 1 minuty, kdy dochází ke značnému vývinu páry v přehřátých trubkách. V případě dlouhodobějšího výpadku chlazení dojde k přehřátí pláště, které se může projevit v lepším případě deformacemi (například nejdou otevřít dveře) či opalem barvy, v horších případech až vznícením případných nečistot na povrchu či poškozením elektrovýzbroje upevněné zvenku na plášti. Ta by ovšem měla být dostatečně daleko, aby nedošlo k jejímu poškození.

Chladnutí v předkomoře obvykle trvá několik hodin, tepelný tok je největší na začátku a s časem klesá. Chladicí smyčky jsou poměrně náročné na čistotu chladicího média, protože v případě zanesení vodním kamenem je jejich vyčištění značně obtížné, občas (při delším zanedbání údržby) až nemožné. Pak je nutno chladicí smyčky buď jednu po druhé provrtávat, nebo rovnou odřezat a navařit nové.

3.5 VÝCHOZÍ STAV ZAŘÍZENÍ

Kalárna disponuje jediným minichladičem (malá chladicí věž) o maximálním chladicím výkonu cca 500KW. Chlazení je realizováno otevřeným okruhem, olej je chlazen přes trubkové či deskové výměníky.

Nevýhody použité koncepce:

- Otevřený okruh: Dochází ke značnému odparu vody (až 1000 m³ za kalendářní rok), což kromě finančních nákladů (40Kč/m³) sebou nese i problém se zanášením chladicího okruhu vodním kamenem. Toto je dosti velký problém, neb prakticky veškerý vodní kámen z tohoto 1000 000 l vody se usadí na stěnách výměníků, či klesne jako kal na dno nádrže. Navíc k němu přibude i další, který vzniká z prachu který chladicí věž nasává. Kvalita vody v okruhu je tedy několikanásobně horší než ve vodovodu. Je sice možné vodou chemicky upravovat, ale to je poměrně náročný proces.
- Regulace: Je použit jednoduchý releový regulátor, který při překročení nastavené teploty spustí chladicí věž(čerpadlo+ventilátor). Řízení čerpadel (2ks, jedno slouží jako rezerva) je prováděno pomocí jednoduchého tlakového spínače. To s sebou nese spoustu nevýhod: Pokud dojde k jakékoliv poruše na systému chladicí věže (zamrznutí, porucha ventilátoru/čerpadla,...), není závada nikterak hlídána a je otázka náhody, kdy si obsluha všimne, že se chladicí okruh přehřívá. Při poruše čerpadla je sice zaregistrován pokles tlaku a spuštěn klaxón, což signalizuje obsluze nutnost pustit záložní čerpadlo. To ale obvykle několik týdnů stálo, tím pádem se odvodnilo a není schopné okamžitého provozu. Je třeba jej napřed zavodnit.
- Po celou dobu je všechno teplo draze odváděno do ovzduší (může jít o 100kW, i více), což v létě nevadí, ale minimálně polovinu roku by bylo možné ho využít k vytápění haly a takto vzniklé úspory by byly značné.(cena jedné kWh tepla je cca 80 hal -> 80Kč/hod). Navíc by se šetřilo i za odpařenou vodu.

Výhody:

- Systém je jednoduchý.

3.6 ANALÝZA TECHNICKÉHO STAVU CHLADICÍHO OKRUHU

Před jakýmkoliv pokusy o úpravy řízení chladicího okruhu byla provedena jeho komplexní prohlídka a zjištěno několik podstatných konstrukčních vad, jejichž projevy by sice bylo možné potlačit sofistikovaným systémem řízení, ale bylo by to velice nákladné a nepříliš efektivní.

V prvním kroku bylo zjištěno naprosto nevhodné protrubkování chladicího okruhu, kdy výstup z čerpadel vedl doprostřed rozvodu k technologiím, zatímco expanzní nádoba se nacházela na konci rozvodu. Toto mělo za následek rány, které se ozývaly zejména při vypínání čerpadel, kdy docházelo k velice rychlé změně proudění z jedné strany na druhou a tím ke značným tlakovým rázům. Tyto mohou snadno vytvořit mžikový přetlak v řádu desítek atmosfér, což vede ke značnému zkrácení životnosti připojených zařízení. Například obyčejné zpětné klapky měly u čerpadel životnost 14 dní.

Nabízí se řešení v podobě plynulého rozběhu a doběhu čerpadel přes frekvenční měnič či softstartér. Vzhledem k omezeným finančním prostředkům a dalším bylo přistoupeno k přetrubkování napájecí části okruhu, která navíc umožnila jeho další úpravy, například osazení filtrem a vodoměrem.

Samotné přetrubkování bylo realizováno tak, že se pořídila expanzní nádoba, do které vede jedno potrubí z čerpadel, a druhé z ní vede ven do technologie. Díky tomu již nedochází k obracení směru toku vody a veškeré hydrodynamické rázy odpadly. Díky tomu je následně možné osadit okruh i manometry, na jejichž životnost měly vodní rázy značně neblahý vliv. Při těchto úpravách byl nainstalován i filtr s by-passem a rovněž vodoměr. Následně bylo osazeno měření teploty, které umožnilo

společně s údaji z vodoměru orientačně spočítat průměrnou energetickou zátěž okruhu.

Rovněž bylo zjištěno značné zanášení chladičů a výměníků vodním kamenem. Toto je nejlépe řešitelné uzavřeným chladicím okruhem.

4. ŘÍDICÍ SYSTÉM

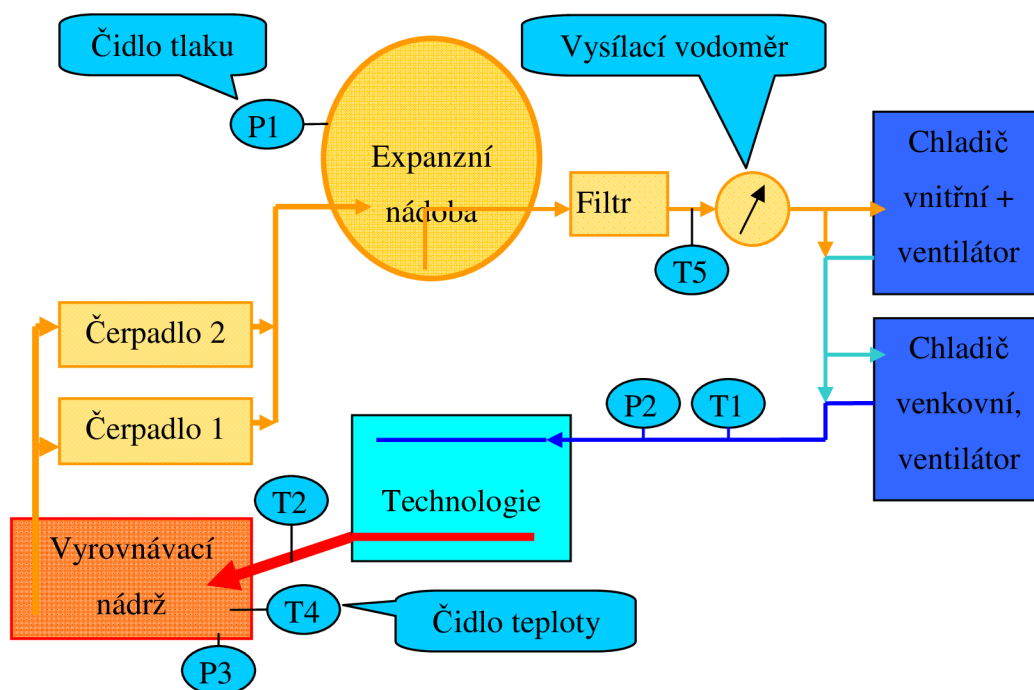
Původní řídicí systém byl rozdělen do několika částí:

4.1 CHLAZENÍ KALICÍHO OLEJE

- Je fyzikální nesmysl chladit olej vodou, neb z média o teplotě obvykle 75-100°C vyrobíme vodu o teplotě 40°C (dojde ke snížení tepelného spádu), kterou následně draze chladíme. Je tu i další (dosti podstatná) nevýhoda: Při průchodu oleje výměníkem může při poruše výměníku dojít k vniknutí vody do oleje, což při malém množství negativně ovlivňuje kalicí účinnost a při větším množství může vést i k požáru, neb olej s vodou pak při překročení 100°C pění podobně jako pivo.
- Navrhnuté technické řešení: místo vodního chladiče osadit vzduchovým chladičem(teplovzdušnou jednotkou). Jednotku buď v létě umístit ven a nebo v zimě v hale, případně osadit 2 jednu do haly, jednu ven.
- Řídicí algoritmus: Pro celou regulační smyčku teploty oleje: Řízení bude vzhledem k pomalé odezvě systému a nízkými požadavky na přesnost teploty a malou schopností regulačního zásahu realizováno pomocí regulátoru Zapnuto- Vypnuto, s mrtvým pásmem o velikosti 9 °C, hysterezí 2 °C. Prakticky tedy bude topení lázně zapnuto při poklesu pod 63°C, vypnuto při vzrůstu teploty nad 65°C. Chlazení bude zapnuto při překročení 76°C, vypnuto při poklesu teploty pod 74°C. Toto široké rozmezí je zde z důvodu, že pokud probíhají třeba cementační cykly, které trvají 5, 8, někdy i 24 hodin, tak teplota lázně během této doby samovolně vychládá a šetří se el. energie potřebná pro udržování lázně na teplotě. Pokud cyklus trvá příliš dlouho, je udržována stále bezpečná teplota cca 64°C. Po zakalení teplota vyletí až o 25°C, a následně dojde k aktivaci chlazení. Hlavním problémem v řízení olejové lázně je pomalá odezva systému na regulační zásah(Chlazení) a nutnost zařídit, aby v žádném případě teplota nepřerostla přes 120°C. Tato kolize je vyřešena tak, že systém nepovolí kalení do oleje teplejšího než 90°C (neboli, je možné kalit, i když ještě není dokončeno chlazení na 74°C). Aby

ale při poruše chladicího systému nedošlo k zablokování zařízení, je hlídána doba po kterou teplota zůstává větší než 90°C, a pokud je tato delší než 45 min (Běžná minimální doba cyklu vsázky je 50-55min) je akusticky/opticky indikována porucha chlazení.

4.2 SAMOTNÝ CHLADICÍ OKRUH



Obrázek 4-1 Schéma chladicího okruhu

Chlazení komor, vřeteníků a vyvíječů zůstalo principiálně stejné, chladí se protékající chladicí vodou. Pro zajištění optimální efektivity provozu je vhodné seřadit vyvíječ tak, aby vystupující voda měla teplotu cca 60-65°C. Toto se dá nejnázve zařídit pomocí automatického regulačního ventilu. Kalící komory jsou stále chlazeny malým množstvím protékající vody, v případě vzrůstu teploty nad cca 60 °C dojde pomocí automatického regulačního ventilu ke zvýšení průtoku. Průtoky přes vřeteník jsou nastavovány ručně na hodnotu několikanásobně vyšší než by bylo potřeba pro chlazení, aby v případě ucpání škrtkící clonky nedošlo k selhání (potřebný průtok je velmi malý). Regulace zde není třeba.

Navrhnuté technické řešení (týká se jádra chladicího okruhu): Vzhledem k tomu, že po přepojení chlazení oleje na přímé chlazení vzduchem pokleslo zatížení chladicího okruhu asi na 25% původní hodnoty, je možné celý systém přeředit pro zajištění maximální účinnosti a minimálních nákladů (energetických, časových). Spočívá ve zrušení chladicí věže, nahrazení otevřeného chladicího okruhu uzavřeným.

Místo chladicí věže budou použity vzduchové chladiče (výměník vzduch/voda, obdobně jako v autě). Řízení teploty chladicí vody (neboli chlazení), stejně jako řízení tlaku (čerpadel) bude realizováno pomocí PLC s napojením na PC. PLC bude jako vstup využívat venkovní teplotu, teplotu v hale, teplotu vstupující do chladicího okruhu, teplotu vody přitékající z chladicího okruhu, teplotu vody za čerpadly a teplotu vody ve vyrovnávací nádrži.

Pro řízení čerpadel bude využito čidlo tlaku v expanzní nádobě, čidlo tlaku na vstupu do chladicího okruhu, čidlo tlaku na dně vyrovnávací nádrže, které bude fungovat jako čidlo výšky hladiny. Průtok bude měřen pomocí vysílacího vodoměru.

5. ŘÍDICÍ ALGORITMY

5.1 ALGORITMUS ŘÍZENÍ TLAKU – REGULACE ČERPADEL

Samotná regulace probíhá podle čidla tlaku P1. V případě poklesu tlaku pod 3 bary dojde k sepnutí primárního čerpadla, při dosažení tlaku 4 bary dojde k vypnutí primárního čerpadla. V případě příliš velkého odběru vody, který by přesahoval výkon primárního čerpadla, bude tlak klesat i po zapnutí primárního čerpadla. V tomto případě při dosažení tlaku 2,9 bar na P1 dojde ke spuštění sekundárního čerpadla. Sekundární čerpadlo bude v chodu až do dosažení tlaku 3,9 bar. Toto je proto, aby při velkém průtoku vody běželo primární čerpadlo trvale a sekundární pouze kompenzovalo zbytek průtoku, neboli bude snížena četnost spínání a tím i zátěž čerpadel. Čidlo tlaku P2 plní následující funkci: Při poklesu tlaku na P2 pod 2.1 bar dojde k sepnutí primárního čerpadla, při poklesu pod 2 bary sekundárního. Vypnutí proběhne podle čidla P1. Vypnutí má větší váhu než zapnutí. Toto plní funkci ochrany zařízení a zajišťuje, aby tlak vody na vstupu do technologie neklesl pod 2 bary i při velkém průtoku a zanesení filtru. V případě poklesu tlaku na P2 pod 1.9 bar dojde k signalizaci poruchy chladicího okruhu.

Funkce čidla tlaku P3: je použito pro měření hladiny ve vyrovnávací nádrži. Při výšce nádrže 2m (maximální naplnění 180cm) je použito čidlo s rozsahem 20kPa. Při poklesu tlaku pod 5kPa (50cm) dojde k zablokování čerpadel, aby se zabránilo zavzdušnění. Při poklesu pod 11kPa (110cm) dojde k otevření solenoidového ventilu pro přípouštění vody. Zavírá se při dosažení 12kPa (120cm). Pokud dojde k překročení 16kPa (160cm), je automaticky vyhlášena chyba chladicího okruhu, stejně tak při poklesu pod 8kPa (80cm) . Při překročení 180cm odteče přebytečná voda přepadem do kanálu. Podstava vyrovnávací nádrže má rozměry 140x170cm, plocha tedy je $2,38\text{m}^2$. To znamená že každý centimetr hladiny reprezentuje cca 23,5l vody(zaokrouhlo, uvažován nevyužitý objem sacích potrubí, schodů ...). Expanzní nádoba má celkový objem 1m^3 . Při předpokládaném rozsahu pracovního tlaku 290kPa – 400kPa a hluchém objemu nádrže 100l (voda na dně, která se nečerpá) je

možno pomocí Boyle-Mariotova zákona vypočítat změnu objemu vody v nádrži /Není to úplně přesné, neb Boyle-Mariotův zákon platí pro izotermický děj a při stlačování plynu dochází k jeho zahřívání, toto je však v našem případě nepatrné a můžeme ho zanedbat./

Rovnice 5-1 Boyle – Mariotův zákon

$$p_1 * V_1 = p_2 * V_2 = konst$$

V našem případě $p_1 = 390\text{kPa}$ (je třeba uvažovat absolutní tlak, proto $+100\text{kPa}$), $p_2 = 500\text{kPa}$. $V_1 = 900\text{l}$ ($1\text{m}^3 - 100\text{l}$ hluchého objemu).

Po dosazení: $900 * 390 / 500 = 702\text{ l}$. Při načerpání tedy vzduch v nádobě zabírá 702l , to znamená že načerpaná voda má objem: $1\text{m}^3 - 100\text{l} - 702\text{l} = 198\text{l}$.

Při provozu tedy může docházet ke kolísání hladiny nádrže až o $198\text{ l} / 23,5\text{ l/cm} = \text{cca } 8,5\text{ cm}$. Je tedy vidět, že při spuštění dopouštění ($<110\text{cm}$) je vždy doplněno minimálně $1,5\text{ cm}$, tedy cca 35l vody. Může to být i víc, záleží na tom, zda-li k ukončení dopouštění ($>120\text{cm}$) dojde při plném vyprázdnění expanzí nádoby, či jindy . Nebude tedy docházet k dopouštění vody při každém cyklu a tím k zbytečnému namáhání solenoidového ventilu. Navíc při uzavřeném okruhu bude ztráta vody minimální a dopouštěcí funkce bude spíše pro kompenzaci úbytku vody po připojení prázdného zařízení apod.

Další důležitou věcí při řízení chladicího okruhu je cyklické používání obou čerpadel. Pokud by totiž zůstalo rozdělení primární – sekundární čerpadlo konstantí a nedocházelo by k překročení průtoku primárního čerpadla (výkon čerpadla je asi $18\text{m}^3/\text{h}$, očekávaný průtok chladicím okruhem tak $4 - 10\text{m}^3/\text{h}$), tak sekundární čerpadlo nebude prakticky vůbec používané a v případě nutnosti jeho okamžitého použití pravděpodobně nebude funkční (např. dojde k jeho zavzdušnění). Aby se tomu zabránilo, je třeba jednou za čas prohodit funkci primárního a sekundárního čerpadla. Je ale důležité, aby nedocházelo ke střídání 50/50, protože při použití stejných čerpadel by pravděpodobně obě vyžadovaly servis, případně vykazovaly

závadu ve stejnou dobu.(myšleno v řádu dnů). Proto obsluha zvolí jedno čerpadlo za primární, a druhé se bude cyklovat jednou za hodinu 2 kompletními cykly.

A poslední, nejdůležitější část řídicího algoritmu tlaku: detekce vadného čerpadla. Při provozu čerpadla dochází časem k vydírání ucpávek kolem hřídelí, což po jisté době způsobí netěsnost a následné zavzdušnění čerpadla. K poruše může samozřejmě dojít i z jiných příčin (ucpání sacího koše, spálení elektrického obvodu motoru /vinutí, stykač .../, zadření čerpadla.) Toto se projeví tak, že čerpadlo přestane dodávat vodu buď úplně, nebo částečně a tím pádem i při jeho běhu bude docházet k poklesu tlaku v expanzní nádobě. Toto by normálně způsobilo zapnutí sekundárního čerpadla, neb systém by si to vyložil jako příliš vysoký odběr vody. K vyloučení této záměny, slouží v systému vysílací vodoměr, takže pokud systém zjistí, že během chodu čerpadla(např. 10s) oteklo do technologie 10 l, ale tlak v nádobě stále klesá (čerpadlo dodává 5 l/s) vyhlásí chybu čerpadla.

Tento systém je možné dále zdokonalovat, případně je možné i vysílací vodoměr vynechat a dopočítávat výkon čerpadla z poměru doby čerpání/vydávání vody do/z expanzní nádrže. Toto samozřejmě může být zkresleno nerovnoměrným odběrem, který se ovšem dá odhalit podle rozdílu tlaků mezi P1 a P2. . .(úbytek tlaku v chladičích a na filtru bude vykazovat zhruba přímou úměrnost průtoku). Nicméně přesná znalost průtoku nám umožní vypočítat bezrozměrnou hodnotu zanesení filtru a tím dát pokyn obsluze k jeho čištění.

5.2 ALGORITMUS ŘÍZENÍ TEPLoty – REGULACE VENTILÁTORŮ

Před navrhnutím chladicího systému bylo provedeno orientační měření tepla předávaného do chladicí věže. Toto bylo realizováno pomocí záznamu teploty vody vstupující a vystupující, zjištěním rozdílu těchto dvou teplot a průtoku. Naměřené hodnoty jsou tyto: Rozdíl teploty: cca 9°C, průměrný průtok: cca 2,5m³/h. Pomocí kalorimetrické rovnice můžeme spočítat předaný výkon: Měrná tepelná kapacita vody je 4190J/kg. Z toho vypočítám výkon předávaný při průtoku 1m³/h a rozdílu teplot 1°C : $4,190\text{MJ}/\text{m}^3\text{C}/3600 = 1,16\text{kW}/(\text{m}^3/\text{h}^\circ\text{C})$

Tedy pokud okruhem protéká $2,5\text{m}^3/\text{h}$ a rozdíl teploty je 9°C , je předávaný výkon roven: $2,5 \cdot 9 \cdot 1,16 = \text{cca } 26\text{kW}$. Na tuto hodnotu je třeba napočítat tepelné výměníky, aby nedocházelo k přehřívání okruhu.

Výhodou tohoto systému je, že se vzrůstající teplotou chladicí vody roste tepelný spád a tedy i výkon chladičů. Pokud by bylo místo výměníků použito strojní chlazení, chladič na principu velké ledničky, pak je sice možné udržovat teplotu chladicí vody na 20°C i v parném létě, pokud ale dojde ke špatnému návrhu výkonu čerpadla a technologie bude produkovat více tepla než bude schopno čerpadlo odvézt, dojde k náhlému přehátí tepelného čerpadla a ke kolapsu systému. U výměníků dojde pouze ke zvýšení teploty vody vracející se do technologie, tím pádem i teploty vody z technologie, a pokud není rozdíl výkonů výrazný (např. kapacita chlazení poloviční) dojde k nárůstu chladicího výkonu za cenu zvýšené vstupní teploty chladicí vody.

Nejvýhodnější je navrhnout běžný provoz chladicího systému tak, aby v zimních měsících voda vstupující do technologie měla 30°C , voda vystupující 40°C a tato je následně použita k přímému vytápění haly. Pokud budeme mít chladič navržen na vodu $40^\circ\text{C}/30^\circ\text{C}$, vzduch 20°C , výkon 30kW máme v zimě možnost zvýšit výkon chladiče na třeba dvojnásobek pouze tím, že místo vzduchu z haly (20°C) do něj přivedeme vzduch z venku (např. 0°C). V létě je situace poněkud horší. Venkovní teplota může být až řekněme 35°C , a pokud budeme mít venkovní chladič napočítaný na spád 3°C (teplota výstupní vody- teplota okolního vzduchu) bude mít voda vracející se do okruhu teplotu 38°C . To již je celkem dost, a při požadavku na 2-násobný výkon třeba 43°C . Je tedy zřejmé, že před instalací je třeba důkladně zvážit požadovaný výkon chlazení, požadované teploty vody a investovanou částku (Zejména letní chladič je značně finančně náročný a není ekonomicky reálné ho napočítat třeba se 100% rezervou výkonu)

Samotný algoritmus regulace teploty je následující: Vzhledem ke značné setrvačnosti systému (zejména vyrovnávací nádrže) jsou prakticky vyloučeny rychlé poruchy,

proto stačí regulátor PI, derivační složka na rychlé změny by jen komplikovala ladění. Bylo by sice možné provádět regulaci pomocí výpočtu, známe všechny potřebné teploty, ale toto by nebylo dlouhodobě spolehlivé, neb bude docházet k zanášení výměníků prachem a tím pádem ke změně parametrů systému. Vzhledem ke komplexnosti systému a nemožnosti zjistit předem všechny parametry rovnic bude nejvhodnější naladit regulátor na již hotovém systému.

Regulace teploty se bude lišit v létě a v zimě: V létě bude regulátor udržovat teplotu max 30°C (požadovaná teplota výstupní vody), s tím rozdílem, že požadovaná teplota bude ovlivňována venkovní teplotou: Bude-li venku 30°C, pojedou ventilátory na plný výkon a výstupní teplota vody by měla být 33°C při jmenovitém zatížení. Klesne-li ovšem venkovní teplota na 25°C, pojedou ventilátory pouze na částečný výkon a teplota výstupní vody bude 30°C. Je ovšem výhodné, aby např. v noci, kdy bude venkovní teplota třeba 13°C se teplota vody v chladičím okruhu snížila třeba na 20°C. Toto jednak umožní nižší průtok vody technologií s úsporou čerpadel, navíc se vytvoří „rezerva chladu“, pro další den (okruh obsahuje cca 4m³ vody, což při rozdílu teploty 10°C činí cca 45kWh, tedy teplo předané během hodiny a půl provozu technologie. Neboli požadovaná teplota vody bude lineární funkcí teploty venkovní v rozsahu 20-30°C. Přesnou funkci bude optimální zvolit podle účinnosti chladičeho systému, například pomocí množství el. energie potřebné k odvedení 1GJ tepla. Tato bude kromě teploty závislá i na vlhkosti venkovního vzduchu.

V zimě bude teplota vody regulována stále na 30°C, s tím rozdílem, že podle aktuální teploty v hale a venku, tím pádem podle požadavků na větrání či topení bude výkon chladiče regulován jednak otáčkami ventilátoru, jednak teplotou přiváděného vzduchu. Regulační algoritmus pak bude fungovat tak, že regulátor teploty vody bude řídit otáčky ventilátoru na chladiči a regulátor teploty v hale bude řídit poměr vzduchu odebíraného z haly a nasávaného z venku. Systém rovněž bude umožňovat manuální ovládání chladiče, např. pro použití jako větrák, kdy bude potlačena funkce regulace teploty, ale tak, aby nemohlo dojít k zamrznutí výměníku (bude regulováno

na minimální teplotu výstupní vody 10°C). Je zřejmé, že reulátor otáček ventilátoru bude pracovat za poměrně komplikovaných podmínek (značné změny regulované soustavy), což by ale nemělo způsobit větší problém, neb nejsou kladeny přísné požadavky na teplotu vody (± 1 až 2 stupně). Navíc přívodní potrubí bude fungovat i jako filtr a případné rozkmity teploty utlumí ještě než voda doteče do zařízení. Doba odezvy chladiče na změnu otáček bude rovněž poměrně rychlá. Médiu bude trvat cca 10s než proteče celým chladičem.

Poslední důležitou funkcí řídicího systému je evidence a analýza vlastního chodu. Systém bude zobrazovat okamžitý odebíraný a chlazený výkon (klouzávy průměr z např. 5 měření), Odebrané teplo za hodinu, den, týden, stejně tak i spotřebovanou elektřinu. Pro plánování údržby je třeba znát dobu chodu jednotlivých čerpadel.

6. VIZUALIZACE PROCESŮ NA PC

Řízení zde popsaných procesů je či má být realizováno pomocí PLC, případně regulátorů obsahujících bloky logických operací použitelných k řízení. Tyto regulátory jsou napojeny na komunikační linku RS-485, po které komunikují rychlostí 19,2kbaud protokolem MODBUS RTU s řídicím počítačem. Jako vizualizační program je použit ControlWeb2000 a samotnou komunikaci po sériové lince řídí ovladač MODBUS ASCII/RTU. Na komunikační linku RS-485 je možné připojit až 32 zařízení přímo (HW limit sběrnice), až 255 zařízení s použitím opakovačů (adresní rozsah).

Kromě regulátorů a PLC je možné připojit i další přístroje (frekvenční měniče, atd.), komunikující tímto protokolem, za předpokladu že to má pro řízení či vizualizaci přes PC smysl. Pro programy tohoto typu se rovněž používá označení SCADA/HMI (Supervisory Control And Data Acquisition - systémy pro průmyslové řízení a sběr dat, Human Machine Interface – rozhraní člověk stroj). Control web byl zvolen z důvodu, že je výrazně levnější než konkurenční programy (Wonderware, Reliance...) a v české republice je celkem rozšířen. Navíc někteří čeští výrobci nabízejí ovladače svých zařízení/protokolů pro ControlWeb zdarma či za poměrně nízký peníz.

6.1 REŽIM PRÁCE VIZUALIZAČNÍ APLIKACE

Programy napsané v prostředí ControlWeb, mají některé zvláštnosti ve srovnání s „klasickými“ programovacími jazyky, jako např. „C“. Vzhledem k hlavnímu určení softwaru ControlWeb k řízení, vizualizaci procesů, ke sběru, ukládání a analýze dat a pro ovládání stroje/procesu Je možno zvolit 2 varianty fungování programu: jednak datově řízenou aplikaci, která není časově kritická, nebo aplikaci pracující v reálném čase. Hlavní rozdíl spočívá v tom, že datově řízená aplikace se moc nestará o časové kontinuum. Jednoduše pošle žádost ovladači o

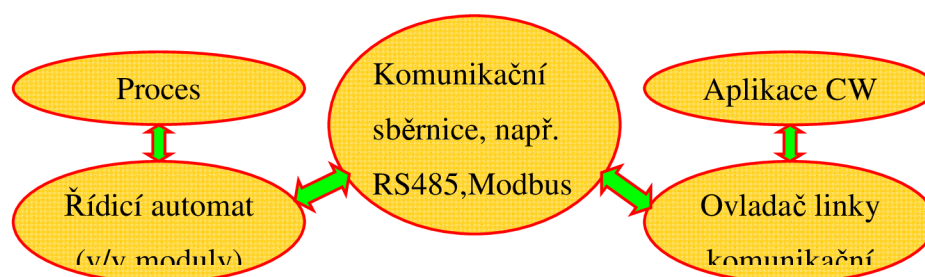
načtení požadované hodnoty, počká až přijde odpověď a pak ji vypíše na obrazovku. Tento cyklus může v závislosti na hardware - software - komunikačním protokolu trvat i déle než sekundu a nemusí skončit vždy za stejný čas. Toto nevádí při většině aplikací sloužících pro vizualizaci / ukládání dat z běžných procesů, může to ovšem způsobit problém u procesů vyžadujících rychlé ukládání dat či u přímého řízení. Například při použití PID regulátoru může vést nestejná perioda čtení vstupního parametru k nestabilitě a chybné funkci.

Aplikace v běžící v reálném čase jsou značně složitější na návrh a programování samotné, neb je třeba precizně ošetřit aby nedocházelo ke skluzům a následující havárii aplikace z důvodů příliš pomalého HW. Ačkoliv v dnešní době je sice skoro nemožné narazit na limit výpočetního výkonu procesoru (myšleno při řídicí aplikaci, u náročného 3D zobrazení to není až takový problém), ale může snadno dojít při nesprávném návrhu aplikace ke zpoždování vlivem čekání na přečtení V/V kanálů, či k výskytu chyby na komunikační lince. Aplikace reálného času musí být navržena tak, aby při shodě všech možných požadavků na čtení či zápis vstupů či výstupů stihla všechno provést v žádaném čase. Toto je možné nejspíše ošetřit periodickým čtením všech vstupů a zápisem všech výstupů v cyklu, který může běžet i nezávisle na vlastním řídicím jádru. Systém by měl rovněž obsahovat výkonovou rezervu, zejména pokud jde o aplikaci běžící ve víceúlohovém prostředí, například MS Windows. Může totiž dojít ke spuštění další úlohy (antivir, vzdálený přístup, program pro správu souborů...) a pokud bude systém pracovat na hraně může dojít k havárii aplikace.

V našem případě bude ovšem použita datově řízená aplikace, neb její návrh je výrazně jednodušší, má menší požadavky na výkon systému a k danému účelu je vhodnější. Samotné řízení totiž probíhá v řídicích automatech, program z nich pouze stahuje data, ta zpracovává, zobrazuje, ukládá, atd., k přímé zpětné vazbě však nedochází. Je samozřejmě možné provádět zápisy hodnot i z PC do Ř.A., ale toto rovněž není nijak časově kritické. Jádro ControlWebu je schopno vynechat z komunikace kanály, které nejsou momentálně požadovány a tím šetřit procesorový

čas, a vytvářet další rezervu na komunikační lince (pokud například směr otáčení ventilátoru je ukládán jednou za půl minuty, ale pro zobrazení je žádán každou sekundu, bude v případě nezobrazení daného přístroje komunikován s periodou 30s, jinak s periodou 1s.)

6.2 IMPLEMENTACE VIZUALIZAČNÍ APLIKACE



Obrázek 6-1 Struktura vizualizace procesu

Použitý ovladač komunikační linky umožňuje implementaci do jedné konkrétní aplikace pomocí skupiny komunikačních kanálů. Po spuštění se pevně naváže na komunikační port a neumožní žádné další aplikaci přístup. Je sice možné provést softwarové odpojení/připojení portu, ale při běhu aplikace toto ztrácí smysl. My ovšem můžeme požadovat, aby se stahovaná data zobrazovala na více počítačích či ve více různých aplikacích na sobě vzájemně nezávislých.

Toto je možné částečně řešit tak, že se pro ovládání komunikační linky místo tohoto ovladače použije např. OPC server, a ostatní aplikace potom nepřistupují k portu, ale ptají se serveru, ten vyšle dotaz přes komunikační linku, a následně vrátí aplikaci odpověď. Nicméně toto řešení je finančně nákladnější, i když univerzálnější. Je třeba mít OPC server pro danou komunikační linku a daný protokol, a následně i OPC ovladač pro Control Web. Toto řešení může být i několikrát dražší než pouze ovladač komunikační linky. Ale umožňuje i použití dalších OPC serverů pro jiné protokoly, rozhraní,...

Samotná vizualizační část procesu (měřené hodnoty, animační schémata...) tedy může být implementována jako:

1. součást hlavního programu, většinou na jednom či více vlastních panelech...
2. jako samostatná aplikace komunikující s hlavním programem či přímo se servery zajišťujícími komunikaci s Ř.A. (Pomocí OPC, TCP/IP...)
3. jednoduše jako webová stránka, přístupná odkudkoliv z intra netu/internetu.

6.3 VÝHODY A NEVÝHODY VIZUALIZAČNÍCH VARIANT

1. Součást hlavního programu:

- výhody:
 - i. Vizualizační aplikace využívá stejné komunikační prostředky jako hlavní program (není nutno programovat další komunikaci)
 - ii. Celý obslužný program tvoří jeden celek. Je méně pravděpodobné, že jedna jeho část havaruje či ji někdo ilegálně ukončí.
 - iii. Vizualizace má snadný a plný přístup ke všem datům hlavního programu
 - iv. K dispozici je celá škála prostředků, které vývojové prostředí nabízí.
- nevýhody:
 - i. Vizualizace běží stále, není ji možné ukončit. I když pokud není zobrazena, je tímto způsobené zatížení minimální.
 - ii. Může běžet jen na jednom konkrétním PC.
- shrnutí:

Aplikace vhodná pro jednoduché použití na jednom PC, bez rozšiřování, nejjednodušší a nejlevnější. Je však možno přistupovat vzdáleně pomocí vzdálené plochy. V řadě případů dostačující řešení.

2. Samostatná aplikace:

- výhody:
 - i. Vizualizací může běžet na libovolném množství počítačů zaráz.

- ii. Každou běžící vizualizaci je možné kdykoliv ukončit aniž by to ohrozilo ostatní.
- iii. K dispozici je celá škála prostředků které vývojové prostředí nabízí.
- nevýhody:
 - i. Ke spuštění vizualizace na je potřeba mít na každém počítači zakoupen a nainstalován ControlWebRuntime. (Náklady)
 - ii. V případě přerušovaného běhu jednotlivých vizualizací vzniká problém, pokud je využíván nějaký záznamník průběhů s umístěním a přístupem k datovým souborům.
 - iii. V hlavním programu musí být naprogramován server pro obsluhu vzdálených vizualizací.
- shrnutí:

Vhodné řešení pro většinu použití v rámci podniku, spíše pro komplexnější použití, snadné rozšíření na libovolný počet PC bez větší programátorské námahy. Plná kvalita vizualizace, dražší řešení(licence).

3. Webová stránka:

- výhody:
 - i. Vizualizací může běžet na libovolném množství počítačů zaráz.
 - ii. Každou běžící vizualizaci je možné kdykoliv ukončit, aniž by to ohrozilo ostatní.
 - iii. Na počítač nejsou kladeny žádné speciální požadvky. Stačí internet a webový prohlížeč.
- nevýhody:
 - i. Prostředky pro vizualizaci jsou velice omezené.
 - ii. Je třeba zařídit připojení webového serveru k internetu a jeho zabezpečení proti útokům.
 - iii. V hlavním programu musí být naprogramován webový server, Nebo je možné vyrobit server jako aplikaci která běží na jiném PC a komunikuje s řídicím programem podobně jako 2.) Toto je

výhodné z hlediska bezpečnosti. Samotné řídicí PC může běžet v zabezpečené LAN, a web server v demilitarizované zóně

- shrnutí:
Vhodné jako doplněk jednoho z předcházejících řešení, omezená kvalita, univerzálnost.

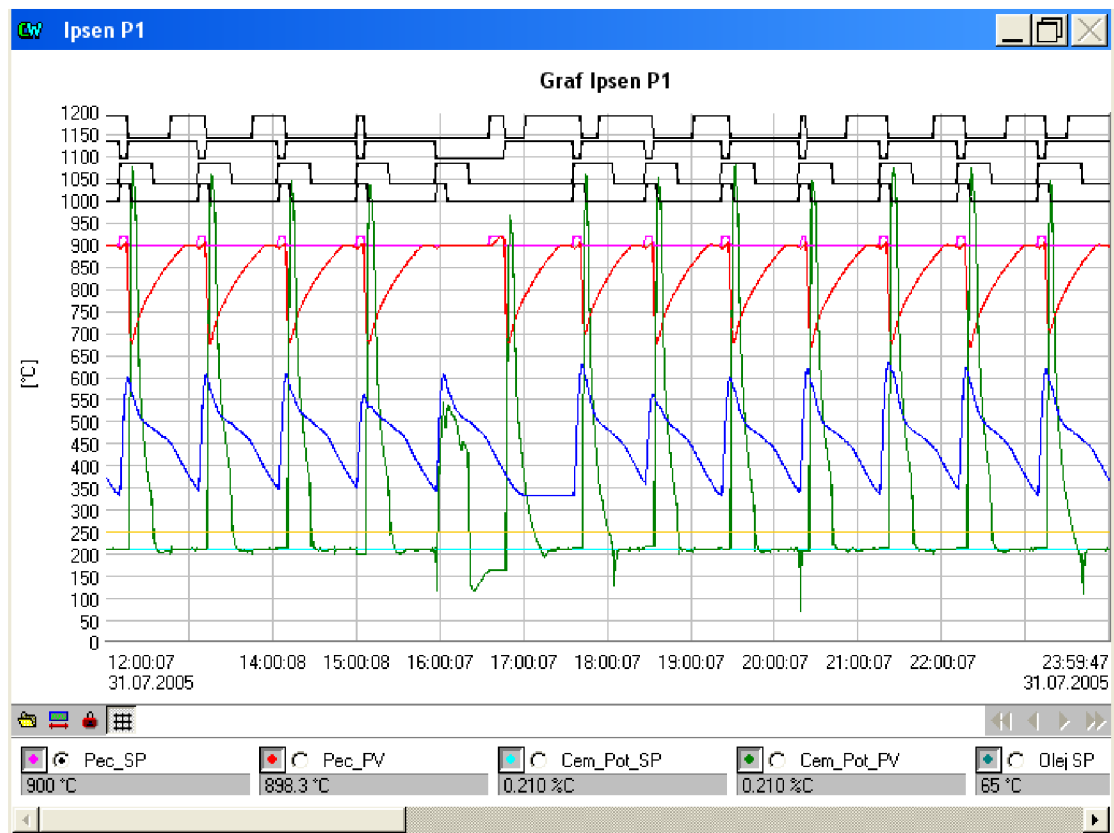
Jakou variantu tedy zvolit?

Pro jednoduchou vizualizaci a obsluhu jednoho zařízení patrně bude stačit varianta 1.) případně kombinovaná s 3.). Pokud jde o složitější vizualizační systém, asi vždy se vyplatí jít cestou 2.), která je sice poněkud složitější díky nutnosti další komunikace mezi hlavním programem a vizualizací, ale je na nejvyšší pravděpodobné, že by v počátku měla běžet vizualizace na stejném PC jako hlavní program, komunikace by tedy probíhala jen v rámci jednoho PC, tak časem vyvstane nutnost další vizualizace či zpřístupnění přes web, a tím se vložená práce vrátí. Rovněž u komplexních systémů s cenou v řádu stovek tisíc nebude již hrát 5000 za každou licenci Runtime podstatnou roli. Rovněž možno kombinovat s variantou 3.). Třetí varianta sama o sobě nemá valný smysl vzhledem k omezeným možnostem i když někdy může postačit.

6.4 PRAKTICKÉ POŽADAVKY NA APLIKACI

1. Ukládání průběhů měřených veličin.

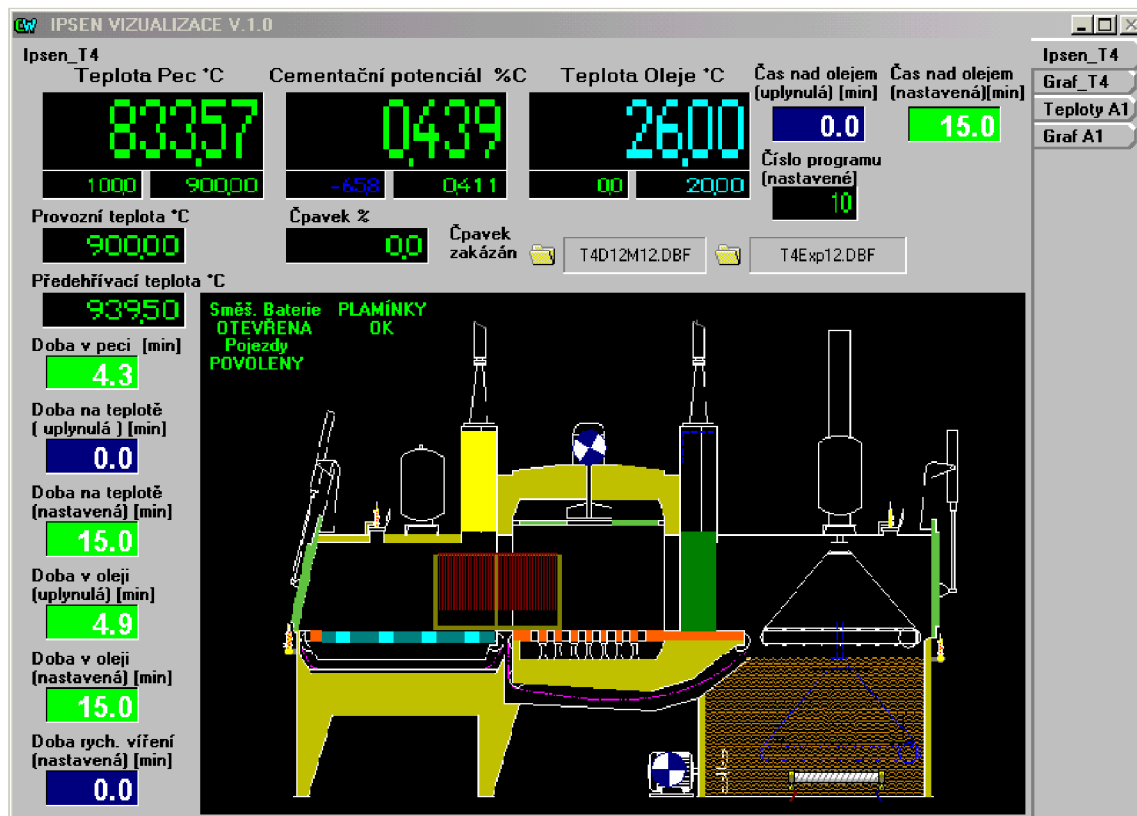
Hlavní a nejdůležitější část aplikace, má nejširší použití při analýze provozu, plánování údržby a zjišťování příčin a průběhů poruch.



Obrázek 6-2 Ukázka záznamu z procesu (modrou průběh teploty oleje)

2. Zobrazení aktuálních hodnot měřených veličin.
 Pro snadnou a rychlou orientaci technologa či údržby že všechno je v pořádku.
3. Indikace překročení limitů, poruch.
 Software může provádět libovolně složitý algoritmus analýzy poruch, který by nebylo možné do standardních PID regulátorů zahrnout, případně může obsluhu instruovat jak danou chybu odstranit.
4. Záznam (protokolování) poruch.
 U menších poruch nemajících vliv na chod zařízení je možné podle jejich četností plánovat údržbu případně analyzovat čas strávený obsluhou / údržbou na zařízení za účelem ekonomického provozu (nalezení rovnováhy mezi investičními náklady na obnovu a náklady na údržbu)
5. Grafická vizualizace procesu.

Tato nabývá na významu s rostoucí komplexností vizualizace, kdy je možné rychle shlédnout třeba 5 obrázků a získat přehled o dění v technologii, než analyzovat desítky či stovky čísel.



Obrázek 6-3 Ukázka vizualizace procesu

6. Generování protokolů o procesu.

Toto se sice u chladicího okruhu nevyužije, snad pouze v podobě měsíčních výpisů odebraného tepla a spotřebované energie. Jinak u zařízení provádějících zpracování zakázek se jedná o jednu z nejpotřebnějších komponent.

7. PŘÁNÍ A REALITA , STAV REALIZACE

7.1 AKTUÁLNÍ SKUTEČNÝ STAV

Přes to, že zpočátku vypadalo vše velice slibně, nakonec ve fázi, kdy se povedlo odstranit nejzávažnější problémy a zbývala asi půlka práce spojená s dokončením celého projektu ztratilo vedení firmy o pokračování rekonstrukce zájem, s odkazem na vysoké finanční náklady a nejistou návratnost. I když návratnost byla spočítána na 1-2 roky podle toho, jak se uvažovala cena rekuperované energie, úspory na údržbě zařízení a prodloužení životnosti chladicích systémů.

Z plánu realizovat uzavřený chladicí okruh sešlo kompletně(v zásadě klíčová část pro úspory za teplo a údržbu). Jako jistou náhražku a největší úspěch projektu je, že došlo k přepojení chlazení oleje z nevhodných vodních chladičů na vzduchové kalorifery. Z pohledu řízení takto vlastně vznik distribuovaný řídicí systém.

Z plánu rekostrukce regulace chladicího okruhu (využití PLC, nový rozvaděč silnoprůdu) rovněž kompletně sešlo. Takže další problém (nefunkčnost záložního čerpadla po delší odstávce díky nevyklování) zůstal nevyřešen. Daní za to je, že když nastane vážnější problém, musí na místo vyjízďet údržba.

Vzhledem k tomu, že chladicí okruh nedisponuje ničím co by bylo možné vizualizovat, tak je zde přiložen pouze vizualizačně-simulační program.

7.2 POUŽITÉ REGULAČNÍ ALGORITMY A JEJICH IMPLEMENTACE, HARDWARE.

Vzhledem k tomu že nedošlo k rekonstrukci řízení, je teplota regulována plynovým termostatem a tlak řízen membránovým spínačem. Za zmínku stojí distribuované řízení chlazení oleje přes řídicí regulátory víceúčelových pecí.

Na víceúčelových pecích jsou použité regulátory značky Eurotherm, model 2704. Jedná se o 3 smyčkový PID regulátor s velice obsáhlými možnostmi nastavení parametrů a typů regulace (vlečná kaskádní apod.) Tyto regulátory navíc obsahují i blok logických a analogových operací, umožňují tedy jisté „programování“ vlastních algoritmů. Samotný algoritmus je popsán v kapitole 4.1.



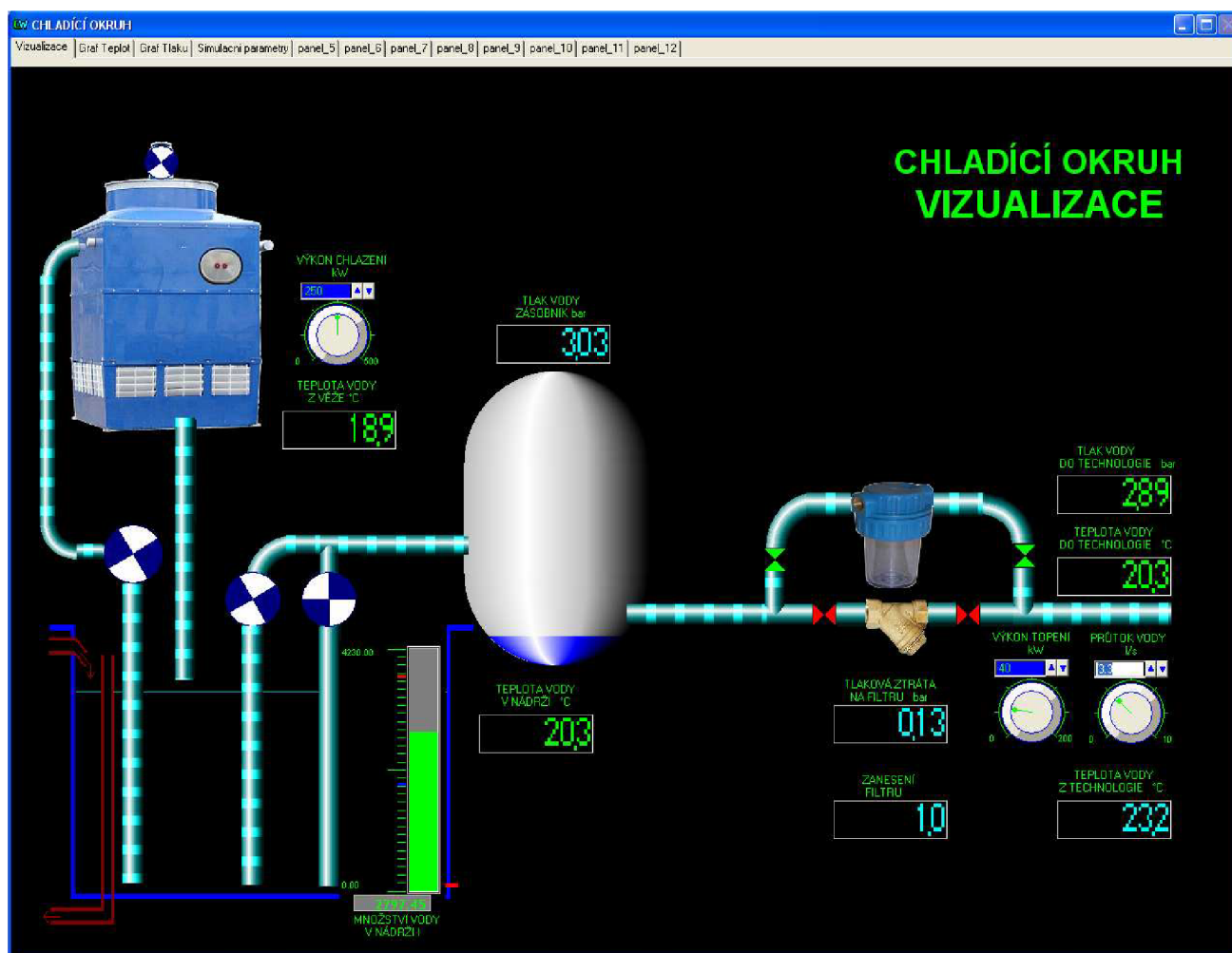
Obrázek 7-1 Regulátor Eurotherm 2704

8. VIZUALIZACE OKRUHU CHLADICÍ VODY.

Jak sem již zmínil, tak k finální realizaci chladicího okruhu nedošlo, tudíž nebylo ani možné vytvořit jeho vizualizaci pracující s reálnými daty. Proto jsem se rozhodl vytvořit aplikaci, která sice vizualizuje chladicí okruh, ale zároveň ho i simuluje, neboli aplikace není napojená na okolní svět. Aplikace se skládá z vizualizačního listu, dále obsahuje 2 grafy pomocí kterých zaznamenává průběh důležitých veličin na pevný disk a pak pár přístrojů pro ovlivňování parametrů simulace.

8.1 OKNO VIZUALIZACE

První záložka vede na list vizualizace, kde je přehledně zobrazen celý chladicí okruh.



Obrázek 8-1 Vizualizace chladicího okruhu

Velikost aplikace je zvolena tak, aby vyplnila klasický LCD monitor 17“ či 19“ to znamená je navržena na rozlišení monitoru 1280 x 1024. Tyto monitory jsou v současné době dostupné za rozumné ceny i v dotykovém provedení.

V levé části je vidět obrázek chladicí věže, v pravo od něj se nachází otočný volič pro výkon chlazení věže (umožňuje simulovat léto, zimu, vlhký suchý vzduch atd.) názorným snižováním chladicího výkonu věže. Vlevo dole se nachází nádoba na chladicí vodu, vizualizace reflektuje skutečnost, že v reálu je chladicí věž umístěna přímo nad nádrží a studená voda odtéká z věže samospádem do nádrže. U menších chladicích okruhů se někdy využívá spodek chladicí věže jako nádoba na vodu

Zhruba uprostřed je zakreslena tlaková nádoba s vodou a vzduchem. Hladina v nádrži by měla zhruba odpovídat reálným poměrům, tzn. že v nádobě tvoří většinu objemu stlačující se vzduch. Nad nádobou je zobrazen tlak vody v ní, normálně se pohybuje v rozmezí 2,9-4 bar. Při přehřátí okruhu dojde k zobrazení varování.

V pravé části je zobrazena výstupní část okruhu s filtrem. Je možné zvolit, má-li téci voda přes filtr, pak se v dolní části zobrazuje zanesení filtru, či má-li jít voda přes by-pass (při čištění). Pod filtrem je zobrazena tlaková ztráta na filtru, která je přímo úměrná množství protékající vody. Pod ní je ještě bezrozměrná hodnota ukazující, o kolikrát je větší tlaková ztráta na filtru než když je filt čistý. Číslo se pohybuje od 1 (vyčištěný filtr) až po 10. Vizualizace hlídá stav zanesení filtru, pokud překročí 3 tak dojde ke zobrazení hlášky „Vyčistit filtr“. Pokud není filtr vyčištěn, po dosažení zanesení 5 se zobrazí blikající ihned. Po dosáhnutí 6 ti se zobrazí Porucha filtru a dojde k otevření by-passu a uzavření filtru. Dvojitým kliknutím na obrázek filtru dojde k jeho vyčištění.

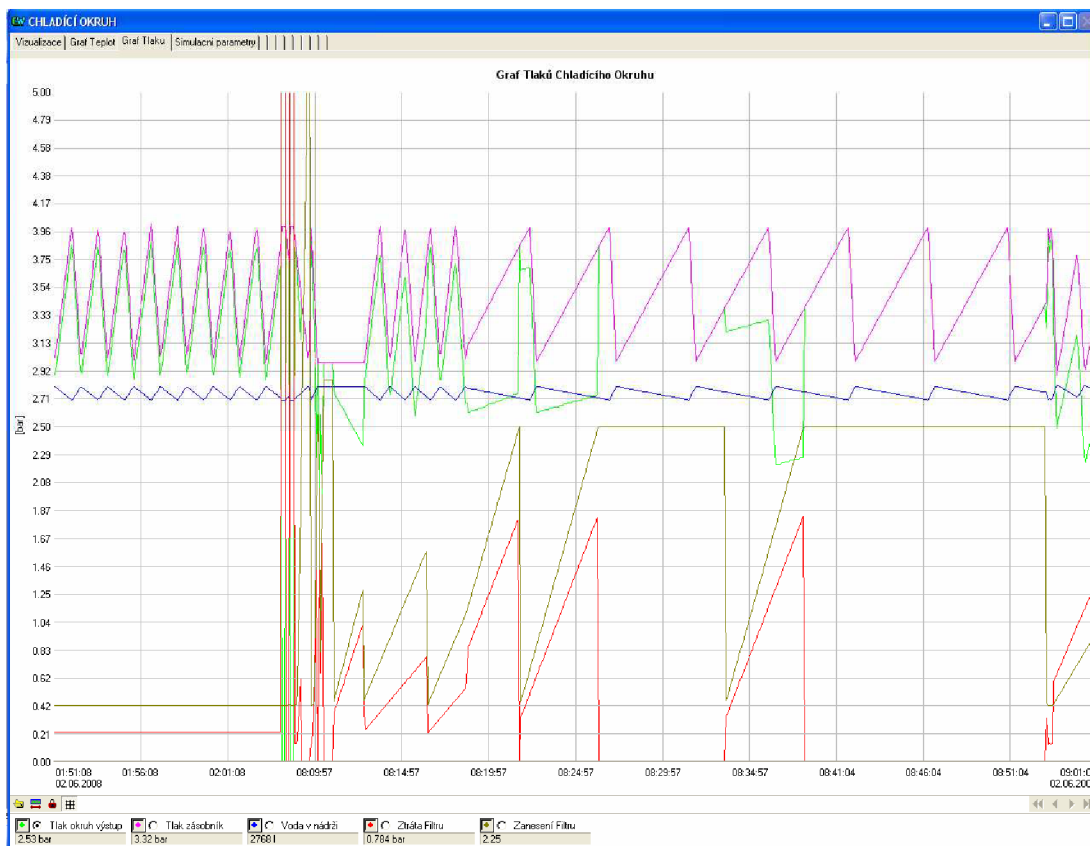
Úplně napravo se pak nacházejí ovládací prvky k obsluze simulace chlazené technologie. Je možné nastavit průtok vody a odebírané teplo. Dole je pak vidět teplota vody vracející se z technologie zpět do nádrže.

8.2 OKNA GRAFŮ:

Ve dvou oknech se zobrazují průběhy hlídaných veličin. Na jednom jsou vyneseny teploty a vše co s nimi souvisí (teplota vody v nádrži, teplota vody vracející se z technologie, energetická bilance, množství chlazeného tepla z technologie a výkon chladicí věže), na druhém je tlak a vše co s ním souvisí (tlak v okruhu, tlak v zásobníku, množství vody v nádrži, tlaková ztráta na filtru a zanesení filtru).



Obrázek 8-2 Graf teplot chladicího okruhu



Obrázek 8-3 Graf tlaků chladicí okruh

8.3 SIMULAČNÍ PARAMETRY:

Na poslední záložce je možno nastavovat vybrané simulační parametry, ručně vypínat či zapínat čerpadla a nachází se zde i tlačítko pro ukončení aplikace. Aplikace je napsána v prostředí ControlWeb 5. Aplikace vytvořené v tomto prostředí mají zablockováno klasické windowsové vypínání, aby nedošlo k ukončení aplikace omylem.

9. VÝBĚR KOMPONENT PRO ŘÍDICÍ SYSTÉM A CHYBY KE KTERÝM DOŠLO.

Vzhledem k tomu, že chladicí okruh nebyl nakonec realizován v plánovaném rozsahu řízení, budou se v této kapitole vyskytovat problémy, se kterými jsem se setkal při tvorbě řídicích systémů pro víceúčelové pece. Je to navazující problém, protože do těchto řídicích systémů byla přestěhována část regulace chlazení oleje.

9.1 VÝBĚR ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Když vznikla potřeba provést výměnu nefunkčního regulátoru pro řízení atmosféry (cementačního potenciálu), bylo nejprve osloveno několik firem, které se tímto v České Republice zabývají, osloven byl i dodavatel zařízení. Cena repase řízení od výrobce se pohybovala někde 1-3 miliony korun, nepřipadala v úvahu. Cena dodavatelské výměny regulátoru pouze na potenciál vycházela někde kolem 300 000 Kč. Shodou okolností jsem v té době na veletrhu navštívil zastoupení fy. Eurotherm, protože jsem sháněl nějaké informace ke starším regulátorům. Když jsem byl na odchodu, tak sem se ještě zeptal, jestli náhodou nemají regulátor, který umí regulovat atmosféru. Řekli mi, že regulovat umí prakticky vše (regulátory), ale že s tím nemají žádné zkušenosti (zastoupení). Při dotazu na orientační cenu padla částka kolem 100 000 Kč za regulátor a nabídka, že nám ho zapůjčí na vyzkoušení. Regulátor splnil očekávané požadavky a byl i lepší než ten nabízený za 300 000 Kč. I takto lze vybrat řídicí systém.

Obecně je třeba před výběrem systému zvážit zejména následující

- Co přesně budu od řídicího systému požadovat, a jaké případně horozí požadavky na rozšíření. Dostatečný výkon
- Napojení systému na okolí, schopnost komunikovat s ostatními systémy v prostředí (kompatibilita).
- Spolehlivost
- Odolnost
- Plánovanou dobu života.

- Servisovatelnost, náklady na případný servis, dostupnost servisu.
- Investiční možnosti, investiční horizont.

9.2 VÝVOJ A KONSTRUKCE ŘÍDICÍHO SYSTÉMU

Začínalo se pouhým řízením potenciálu na konstantní hodnotu. Později byla přidána funkce regulace teploty na konstantní hodnotu. Od toho byl již krůček ke spojení těchto dvou veličin a k jejich programovému řízení. Ovšem jak se v rozvaděči ze 60 let vyskytnul kousek moderní techniky, začal zbytek rozvaděče vypadat o to hůře (nemluvě o značné poruchovosti). Další krok tedy bylo zařídit, aby se zmodernizovalo kompletně celé řízení pece. V úvahu připadaly dvě možnosti:

1. Koupit PLC a naprogramovat ho pro řízení pece.
2. Zkusit naprogramovat regulátor tak, aby zvládl celou pec.

Varianta 1. byla zavrhnuta kvůli vyšším finančním nákladům a také díky tomu, že jsem chtěl mít vše dostupné přes PC, ke kterému již byl připojen regulátor.

Začala práce na variantě 2. Napřed bylo spočítáno, jestli je schopen regulátor svou kapacitou zařízení uřídit. Zjistilo se, že pokud bude návrh maximálně efektivní, do regulátoru by se měl vejít. Začalo postupné přepojování řídicího systému na nový.

Za zmínku stojí, že vzhledem k napnuté finanční situaci a tomu, že faktury za výrobky zpracovávané v peci tvořili významnou část rozpočtu firmy, nebylo možné zařízení na 3 týdny vypnout a předělávat řídicí systém. Veškeré změny byly realizovány na běžícím zařízení s minimem krátkodobých odstávek. Práce sice trvala několik měsíců, ale díky tomu se povedlo rozložit náklady do delší doby a rekonstrukci ufinancovat

9.3 CHYBY A PROBLÉMY

První, asi nejzávažnější problém který se táhnul celou dobu realizace byl výkon regulátoru. V ceníku a katalogu vše vypadalo vpořádku, ale reálně byla tato

aplikace asi první na světě, při které bylo do regulátoru natlačeno tolik funkcí. Následkem toho začal regulátor vykazovat zvláštní chování, například restarty a podobně. Toto se povedlo vyřešit až úpravou regulátoru na vyšší verzi.

Další problém byl se špatným čtením výstupu. Vzhledem ke značné potřebě vstupních a výstupních portů byl k regulátoru připojen expander výstupů. Připojoval se přes speciální komunikační linku a nabízel 20 vstupů a 20 výstupů. Již po asi 5 hodinách provozu nastal problém: regulátor najednou „nechal zmizet“ vsázku z komory pece (Natopenou na 900°C) a protože měl pec prázdnou, začal zavážet další vsázku. Naštěstí se povedlo vypnout motor zakladače dřív, než došlo ke zničení minimálně natopené vsázky. Později se ukázalo, že regulátor chybně přečetl jeden vstup na expanderu a vyložil si to jako vyložení vsázky. Zajímavé na této závadě bylo to, že se vyskytovala pouze u mě. Po několika e-mailech do Anglie na téma, jestli se může na nezapojené svorce naindukovat taková energie že rozsvítí optočlen i s diodou a tak podobně, se povedlo náhodou objevit podstatu chyby. Pokud bylo 5 vstupů expanderu uvedeno do definovaných stavů, tak se chybný vstup 1-5x za 24 hodin špatně přečetl.

Problém s časováním: při odstraňování předešlého problému došlo vzhledem k nedostatku vstupů na expanderu k přepojení vstupu z expanderu na přímý vstup regulátoru. Následovalo předělání řídicího algoritmu, protože vstup z regulátoru se četl o krok dříve a 2x častěji, než vstup z expanderu.

Problém s komunikační linkou: regulátor má dvě komunikační linky RS-485 přes které je připojen ke 2 PC. Čas od času došlo k jeho zhroucení a restartu. Stalo se to tehdy, když se náhodou ve stejnou dobu přečetly z obou linek 2 specifické adresy.

Problém s vodoměrem: Použitý mechanický vodoměr přestal po roce fungovat, pro takovéto velké a trvalé průtoky je třeba použít indukční průtokoměr.

9.4 MŮŽE SE V ŘÍDICÍM SYSTÉMU HODIT

Manuální řízení: Velice se mi osvědčil takový návrh systému, kdy je možné jedním otočením tlačítka odpojit celé numerické řízení a přehodit pec na řízení pomocí tlačítek. Sice se tím stává systém složitějším, ale je to neocenitelný pomocník ať již při selhání číslicového řízení, nebo při poruchách přesahujících rámec poruch v řízení ošetřených a předpokládaných.

Záznam pokud možno všech parametrů zařízení na PC. Neocenitelná pomůcka při dohledávání a odstraňování závad či ladění zařízení. Nemyslím jen záznam důležitých procesních veličin vyžadovaných například klientem pro kontrolu kvality, ale i ten poslední koncový spínač může v případě problémů něco prozradit.

10. ZÁVĚR

I když se z organizačních důvodů nepovedlo provést kompletní rekonstrukci chladicího okruhu společně s instalací elektronického řízení, veškeré důležité podklady jsou v této práci uvedeny a neměl by být problém s jejich pomocí řízení okruhu dokončit.

Příložený simulační program zachycuje chladicí okruh v současném stavu a slouží spíše jako ukázka možností jednoduché vizualizace chladicího okruhu, která ovšem na jedné obrazovce zobrazuje vše, co je třeba pro zjištění stavu systému vědět.

Z řídicích úprav a algoritmů zmiňovaných v této práci se povedlo realizovat pouze část týkající se přímého řízení teploty oleje. Tato úprava byla provedena na všech 3 víceúčelových pecích a pracuje k plné spokojenosti. Pouze bylo třeba poněkud upravit čas / mrtvé pásmo podle konkrétní pece v závislosti na velikosti nádrže s kalícím médiem a výkonu chladicího zařízení. Obrázek 6-2 zobrazuje reálný průběh teplot ve víceúčelové peci. Obrázek 4-1 slouží jako ukázka 2D vizualizace v prostředí ControlWeb.

Věřím, že firma pod tlakem zdražujících energií změní pohled na věc a řídicí systém chladicího okruhu se nakonec povede realizovat v celé jeho původně plánované šíři.

11. LITERATURA

- [1] Ustohal, V., Stránský, K. : Tepelné zpracování v průběhu věků. Sborník 15. Dnů tepelného zpracování, Conmet - Brno, Listopad 1994.
- [2] Vavříň, P., Blaha, P.: *Řízení a regulace 1*
- [3] Pivoňka, P.: *Číslicová řídicí technika*
- [4] Bílý,R., kolektiv autorů.: *Control Web 2000*. Computer press, Praha 1999, ISBN 80-7226-158-0
- [5] Kouřil, J., *Modernizace řídicího systému komorové víceúčelové pece na základě regulátoru Eurotherm 2704*, Asociace tepelného zpracování kovů, Praha 2005, Sborník konference.
- [6] CAD fórum, <http://www.cadforum.cz/>
- [7] Stránky fy AMIT , <http://www.amit.cz/>
- [8] Stránky fy CRESSTO , <http://www.cressto.cz/>
- [9] DOSTÁLEK,L., KABELOVÁ,A. *Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémy DNS*. Computer press, Praha 1999, ISBN 80-7226-193-2

12. SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

p	tlak
V	objem
1bar	1 atmosféra = 100kPa
kbd	kilobaud : 1024 bitů/sekundu

13. PŘÍLOHY

Vizualizační program na CD: