

# Laboratorní model řízení procesů s využitím průmyslové sběrnice Profibus-PA

VŠB-TU OSTRAVA, FEI

Miroslav Štefela, kat.455

## Úvod

### *Motivace práce*

Pro řízení procesů s využitím průmyslové sběrnice Profibus-PA jsem měl jasně stanovený cíl. Seznámit se s řídicím programovatelným automatem Simatic S7-400 a Profibus-DP/PA. Realizovat laboratorní model, který bude připojen k procesní automatizaci. Součástí modelu musí být akční (čerpadlo, elektromagnetický ventil, topení) a měřicí členy (teploměr, tlakoměr). Dále sestavit řídicí program a vizualizaci.

### *Základní pojmy*

*Profibus* (Process Field Bus) - jedná se o průmyslovou komunikační síť, která představuje jeden z celosvětově nejrozšířenějších komunikačních standardů v oblasti průmyslové automatizace.

*Profibus-DP* (Decentralized Periphery) - nejjednodušší a nejrozšířenější varianta Profibus pro rychlou komunikaci typu master-slave. Je určena pro automatizaci a aplikace na úrovni jednoduchých procesů, k nasazení na nižší systémové úrovni.

*Profibus-PA* (Process Automation) - Tato varianta je určena pro prodloužení Profibus-DP pro procesní automatizaci zejména ve výbušném prostředí (Ex). Důležité je plnění požadavku na jiskrovou bezpečnost a možnost napájení připojených zařízení přímo ze sběrnice. Profibus-PA používá rozšířenou formu Profibus-DP a je určena pro jednoduché aplikace.

## Konstrukce

### *Charakteristika*

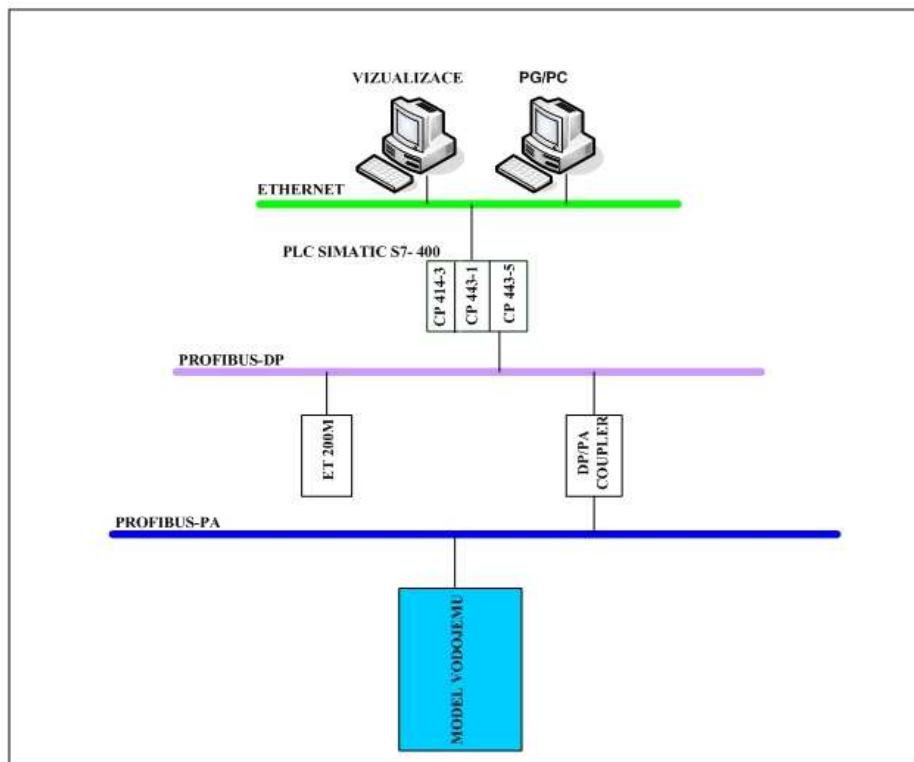
Laboratorní model Vodojemu umožňuje vyzkoušet regulaci hladiny a teploty vody ve válci. Tlak zpracovává snímač tlaku SITRANS P DS III. Hodnota tlaku v barech je posílána po sběrnici PROFIBUS-PA. Součástí tlakoměru je displej, který poskytuje okamžitou informaci o výsledku měření. Výhodou tlakoměru je reálná velikost měřené veličiny.

Teplotu nejprve změříme snímačem teploty PT100 našroubovaný přímo do válce. Výstupní parametrem snímače je napětí, které je přiváděno na převodník teploty SITRANS T3K. V převodníku se napětí digitalizuje a převádí na teplotu.

Hodnoty teploty a tlaku jsou posílány přes Profibus-PA do DP/PA Coupleru, který transformuje přenos na Profibus-DP. Úroveň napětíových signálů teploty a tlaku jsou

snímány kartou analogových vstupů zařazenou na rozšiřujícím modelu ET 200M, který je předává po sběrnici Profibus-DP programovatelnému automatu SIMATIC S7-400.

Data jsou z PLC přenášena pomocí ethernetové karty CP443-1 do PC. V počítači jsou data ukládána do serveru, kde si následně InTouch tyto data vyčítá do aplikace, anebo opět jsou nastavená data v InTouch zapisována do PLC.



### Technický popis

Základem řešení úlohy je postavený model Vodojemu, jehož vlastnosti mohou odpovídat reálným procesům v oblastech procesní automatizace regulace hladiny a teploty ve vodních nádržích. Jako měřicí nádrž slouží speciální dvoulitrový chemický válec, který je odolný teplotám do 120°C.

Teplotu  $t$  [°C] měříme přímo ve válci a její hodnotu vysíláme ke zpracování programovatelnému automatu. Při měření hydrostatického tlaku  $PH$  [bar] používáme tlakoměr upevněný ve spodní části modelu údaj o aktuální hodnotě tlaku taktéž zpracovává řídicí programovatelný automat. Na základě akční veličiny, teploty či tlaku probíhá regulace na žádanou hodnotu tak, že jsou vysílány řídicí signály o napěťové hodnotě 24 V na vstupní svorkovnici Vodojemu.

Při řízení tohoto modelu používáme tři řídicí signály, protože potřebujeme spínat tři akční členy. Spínáním relé ovládáme jednotlivé akční členy. U všech tří relé je řídicí napětí stejné a to 24V, protože se jedná o napěťové úrovně jednotlivých řídicích signálů. Hodnota ovládacího napětí závisí na velikosti napájecího napětí daného akčního členu. V případě elektromagnetického ventilu a čerpadla se jedná o napětí 24V. Odlišnost nastane u topení jehož ovládací napětí je 230V.

K vypouštění vody slouží elektromagnetický přímo ovládaný ventil EVPE 2006.22, který řídíme logickými stavy 1 nebo 0 tj. vypouštění ON/OFF.

Čerpání vody zaručíme výkonným čerpadlem APO 050, které určeno pro pohánění vody odstříkovačů nákladních automobilů. Řízení probíhá logickými stavy 1 či 0 tj. čerpání ON/OFF.

Abychom dokázali ohřát vodu ve válci musíme použít topení. Principem ohřívání vody je 60W žárovka, která působí tepelnou energii na plastovou hadici uvnitř obalu topení. Ovládáme pouze spínání žárovky stavy 1 nebo 0 tj. světlo ON/OFF. Celkový proudový odběr jednotlivých akčních členů je 3,85 A (PŘÍLOHA).

Jako přenosové médium pro vodu slouží rozvod hliníkových trubek a plastové, silikonové hadice. U hliníkových trubek o délce 1 m bylo použito velikosti vnitřního průměru 3/8 Rp. Tyto trubky jsou propojeny kovovými spojkami. Číré silikonové hadice s průměrem 6 mm a hliníkový plastový přechod slouží pro spojení plastového a hliníkového vedení. Díky dobrým mechanickým vlastnostem plastové hadice byla použita pro ohřívání vody v topení.

Pro napojení akčních členů Vodojemu k trubkovému rozvodu bylo zapotřebí použití speciálních přechodů. Tyto přechody mají za úkol např. u elektromagnetického ventilu zmenšit vnitřní průměr 1/2 Rp na požadovaný 3/8 Rp trubkového vedení.

Celkovou zásobou vody pro Vodojem je pětilitrový plastový kanistr, který slouží jako sběrná nádrž. Do sběrné nádrže musel být vyvrtán otvor pro zpětný vtok vody z válce a výpustný kohoutek.

Umístění všech prvků Vodojemu je na podkladových dřevcích ve tvaru hranolu, pomocí kovové upevňovací pásky o velikosti 0,5 a 0,8 mm skrz šrouby k podkladové desce. Schematické znázornění Vodojemu.

Při konstrukci Vodojemu muselo být vzato v úvahu přetečení vody ve válci. K odstranění problémů dopomohlo víko s odvodovou hliníkovou trubicí zakončenou ve sběrné nádrži. Dále zahnutí trubek při odvodu vody z válce není náhodné, protože je potřeba předejít vzniku vzduchové bubliny. Mohlo by dojít ke špatnému měření snímače tlaku. Výška hladiny vody je pořád v úrovni nalévacího otvoru sběrné nádrže.

Abychom mohli vyměnit tlakoměrem při provozu je opatřen uzavíracím kohoutem, který zabezpečí uzavření přívodu vody. Součástí šroubení tlakoměru je také odvzdušňovací ventil. Zabečíme tak opět vznik již zmiňované vzduchové bubliny.

Další výhodou je sací koš, který je součástí silikonové hadice čerpadla ve sběrné nádrži. Tímto zabráníme nežádoucímu výtoku vody zpět (PŘÍLOHA).

Abych mohl provést výměnu vody, je sběrná nádrž na spodní části opatřena vypouštěcím kohoutkem. Skutečný vzhled Vodojemu o rozměrech 120x90 cm podkladové dřevotřískové desky a odpovídající hmotnosti .

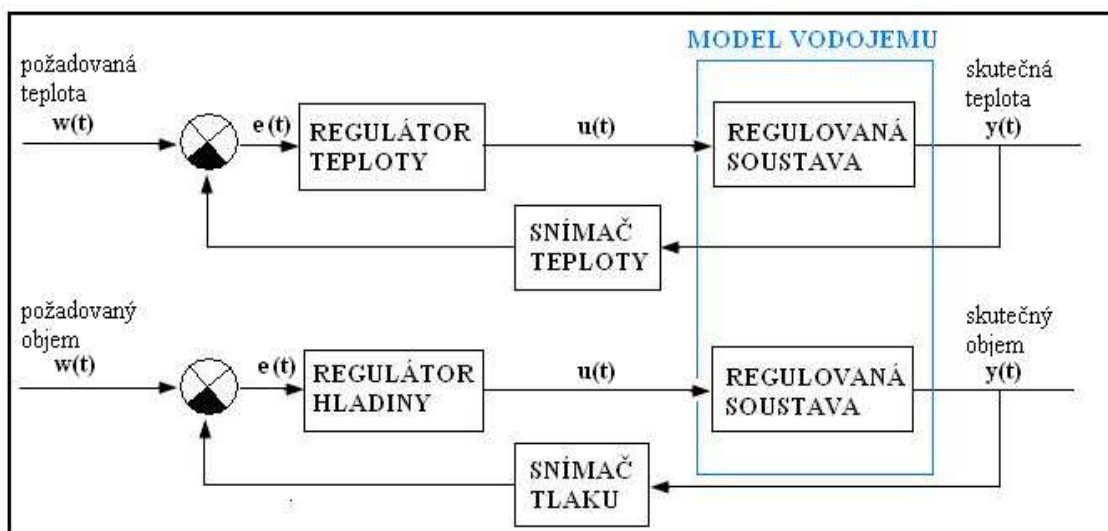


## Řídicí aplikace

### *Regulační obvod*

Regulátor hladiny a teploty má za úkol automaticky udržovat úroveň hladiny a teploty ve válci na požadované hodnotě. K tomuto účelu měříme tlak vodního sloupce ve válci, který musíme přepočítat na objem. Dále je potřeba kontrolovat aktuální teplotu vody ve válci. Jedná se tedy o soustavu s dvěma vstupními a dvěma výstupními veličinami.

Činnost regulačního obvodu je založena na neustálém srovnávání vstupu  $w(t)$ , který vyjadřuje požadované chování s výstupem  $y(t)$ . Dále podává informaci o skutečném chování, prostřednictvím záporné zpětné vazby (snímač teploty a tlaku). Na vstupu regulátoru (teploty, hladiny) vzniká regulační odchylka  $e(t) = w(t) - y(t)$ , která je zesílena, vhodně funkčně upravena a jako akční veličina  $u(t)$  vstupuje do regulované soustavy, kde mění výstup – regulovanou veličinu  $y(t)$  – tak, aby regulační odchylka  $e(t)$  byla co nejmenší.



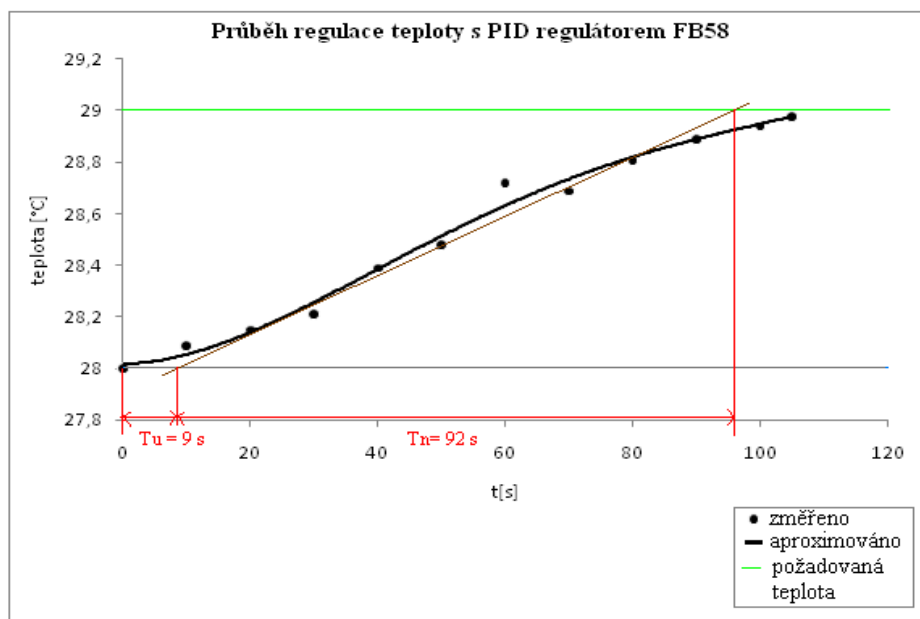
### Regulace teploty

Pro regulaci teploty vody ve válci používáme FB 58. Jedná se o regulátor založen na PID algoritmu, který součástí komponenty integrované do STEP 7. Výstupní pulzně modulovanou akční veličinou regulátoru ovládáme ohřev vody zapínáním a vypínáním topení

Pro nastavení konstant PID regulátoru jsme použili pravidla Zieglera a Nicholse. Jedná se o metodu založenou na vyhodnocení přechodové charakteristiky regulovaného systému .

Na základě doby průtahu  $T_u$ , doby náběhu  $T_n$  (resp. normalizovaného dopravního zpoždění  $\Theta = T_u / T_n$ ) a statického zesílení  $K$ , které popisuje statické vlastnosti systému. Stanovíme ho jako poměr ustálené hodnoty přechodové odezvy  $y(\infty)$  a velikosti skoku, který ji vyvolal. V případě přechodové charakteristiky se jedná o odezvu na jednotkový skok a platí tedy  $K=1$ . Pak lze nastavit regulátor podle pravidel.

Regulátor	ro	Ti	Td
PID	$1,2/(K \cdot \Theta)$	$2 \cdot T_u$	$0,5 \cdot T_u$
	1,2	18 s	4,5 s



## Regulace hladiny

Nespojitý dvoupolohový regulátor působí pomocí akční veličiny  $u(t)$  na soustavu (model Vodojemu). Po skokové změně požadované objemu  $w(t)$ , provede v čase  $t=0$ , regulátor sepne a skutečná velikost hladiny začne narůstat (sepnuto čerpadlo).

Ve skutečnosti je akční veličina vypnuta v čase  $t1$ , kdy regulační odchylka dosáhne hodnoty  $w+(h/2)$ . Vlivem toho začne skutečná velikost hladiny  $y(t)$  klesat (sepnut ventil). Tento stav trvá až do okamžiku  $t2$ , kdy regulační odchylka dosáhne hodnoty  $w-(h/2)$ , při které regulátor opět sepne. Celý děj se periodicky opakuje.

Je jasné, že skutečná velikost hladiny  $y(t)$  i v ustáleném stavu kolísá v mezích určených pouze tzv. hysterezí regulátoru  $h$ , tj. rozdíl regulačních odchylek, při kterých dojde k sepnutí a rozepnutí regulátoru. Hystereze regulátoru bývá někdy označována jako spínací diference regulátoru.

Abychom přesně určili aktuální objem vody ve válci, musíme nejprve vyjádřit závislost objemu na tlaku a poté naměřená data aproximovat přímkou. Takto získáme počátek přímky  $p$  o velikosti 0,038 bar.

Počátek měření tlaku je 0,032 bar, protože se jedná o zbytkový tlak v odtokové trubce po úplném vypuštění vody z válce.

Vyjádříme směrnicový tvar přímky  $p$ :

$$y = k \cdot x + q \quad (1)$$

Kde:

$y$  = tlak,  $x$  = litry,  $q$  = počátek přímky  $p$

$$y = k \cdot x + 0,038 \quad (2)$$

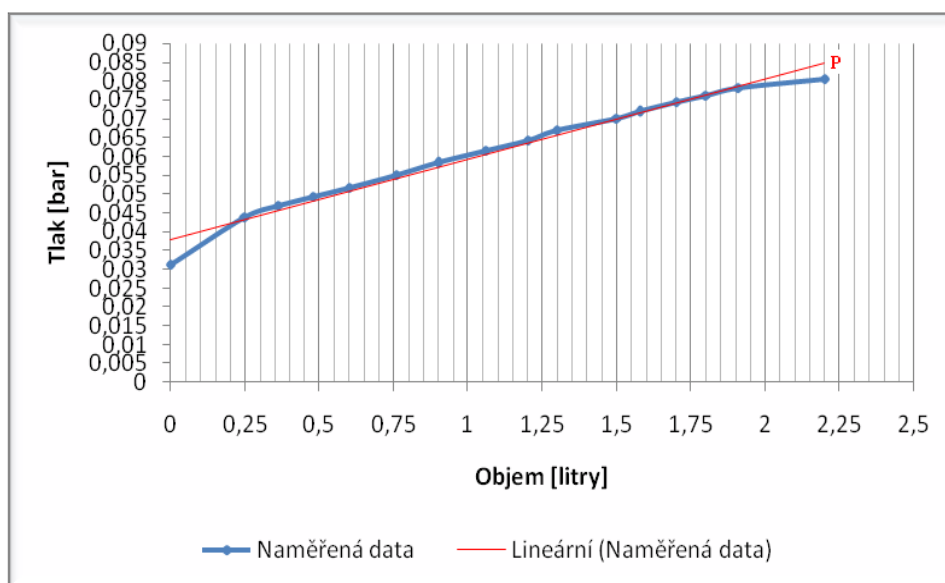
Nyní dosadíme libovolnou hodnotu tlaku s příslušným objemem a vypočítáme konstantu  $k$ :

$$k = \frac{y-0,038}{x} = 0,0193182 \quad (3)$$

Vyjádříme x:

$$x = \frac{y-0,038}{0,0193182} \quad (4)$$

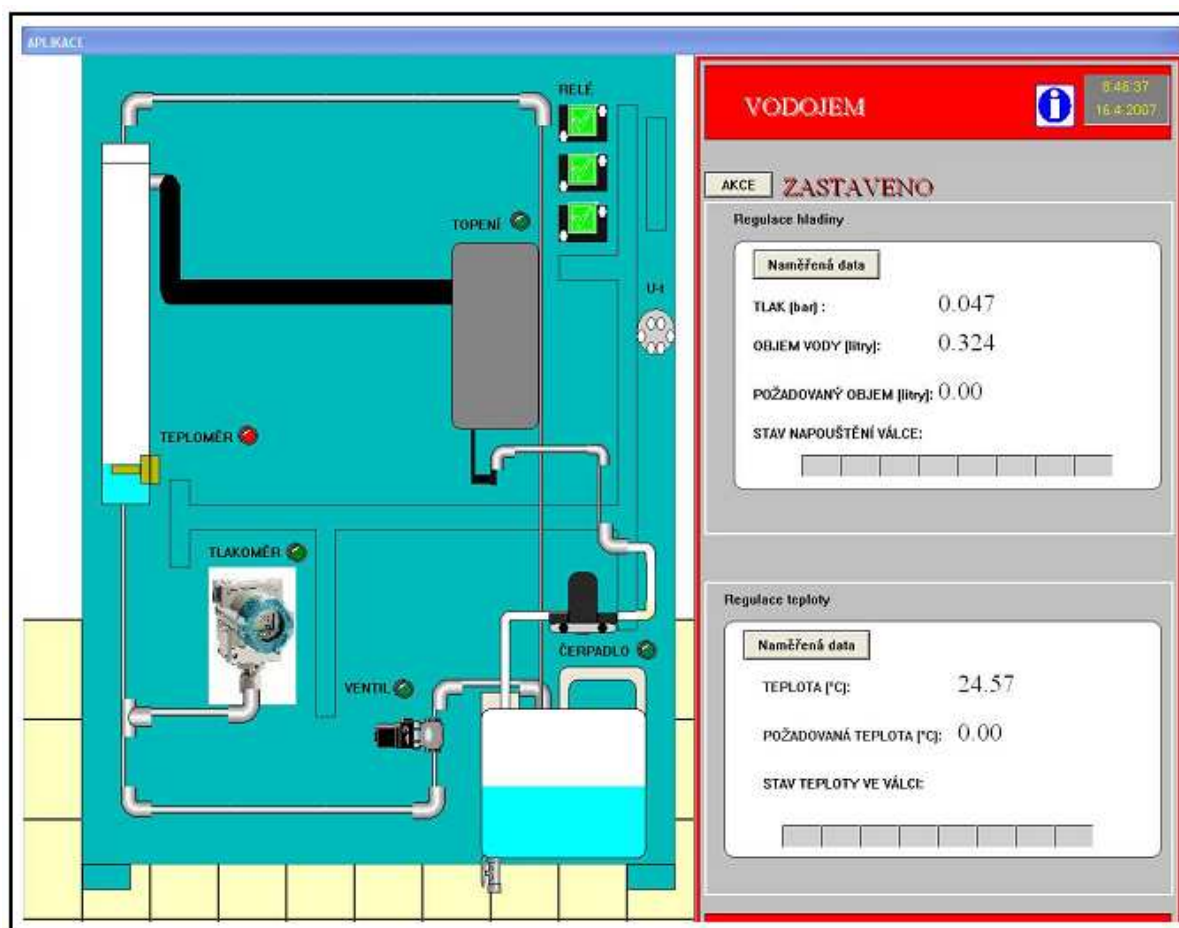
Tento vztah dosadíme do řídicího programu a zaručíme tak správný přepočít tlaku na objem vody ve válci.



## Vizualizace

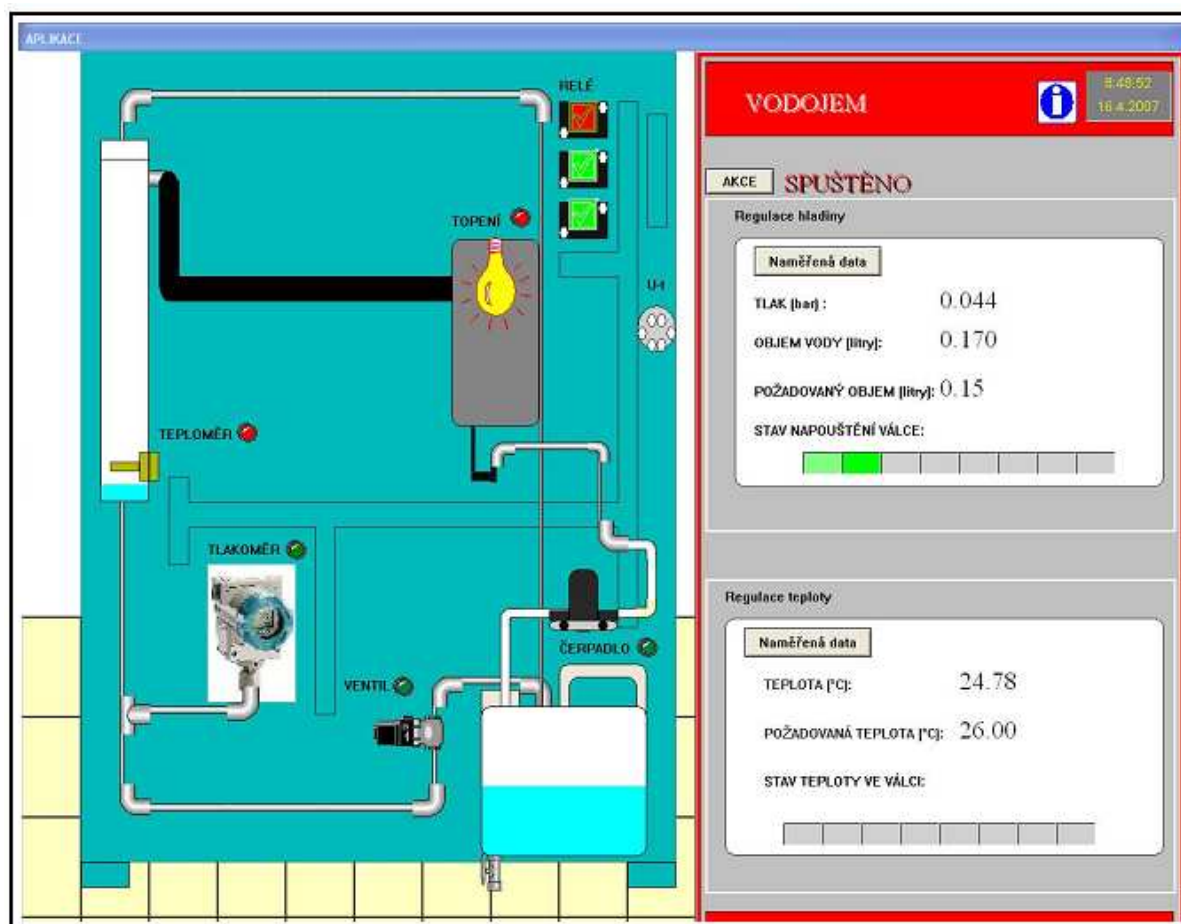
### Popis

Vizualizace v prostředí InTouch se skládá z pěti oken. První okno má název ÚVOD a slouží jako uvítací. Řízení modelu Vodojemu se provádí v hlavním okně, které se nazývá APLIKACE. Toto okno se dělí na dvě pomyslné části. V levé části okna vidíme reálný vzhled modelu Vodojemu. Stav jednotlivých akčních veličin (teploty, tlaku) a členů jsou indikovány žárovkami (zelená-vypnuto, červená-zapnuto). Každý akční člen je ovládán příslušným relé, které se také zabarvuje dle aktuálního stavu (zelené pozadí-vypnuto, červené pozadí-zapnuto). Aktuální stav vody v modelu Vodojemu můžeme pozorovat ve válci i ve sběrné nádrži.



Pravá část okna APLIKACE je ovládací. Regulaci spustíme stisknutím tlačítka AKCE. Informaci o stavu úlohy podává text box (ZASTAVENO, SPUŠTĚNO). Nyní si můžeme zvolit požadovanou veličinu (objem, teplotu). Například při regulaci teploty se zapne topení a aktivuje žárovka. Dále můžeme pozorovat aktuální stavy jednotlivých akčních veličin (teploty, tlaku, objemu). Dva analogové displeje umístěné v oknech regulace indikují mezní stavy teploty (25,30,35,40°C) a objemu (0.2,0.5,1,1.5,1.8 l). Stiskem tlačítka Naměřená data uživatel získá aktuální stavy regulovaných veličin v reálných trendech. Náповědu k celé vizualizaci získáme stiskem modrého tlačítka s písmenkem i.





## Vlastnosti modelu Vodojemu

### Praktické využití

- model Vodojemu bude používán pro cvičení na katedře měřicí a řídicí techniky FEI VŠB-TU v Ostravě (laboratoř NK 317)

### Co nabízí model Vodojemu

- ovládání vzdálených procesů
- regulaci (PID, dvoupolohové)
- ovládání reálných procesů (ohřevu, manipulace hladiny)
- vizualizaci celého procesu
- snadnou dostupnost
- možnost sériové výroby celého modelu (výkresy v Autocadu)

**PŘÍLOHY (PŘÍKLADY VLASTNÍ TVŮRČÍ PRÁCE)**

Vlastní řešení ohřevu vody prostřednictvím vlastní realizace topení



Vlastní upevnění teploměru Pt100



Vlastní řešení upevnění sacího koše

