

Nádoby v kaskádě

Semeštrální práce

Vypracoval: Michal Frdlík

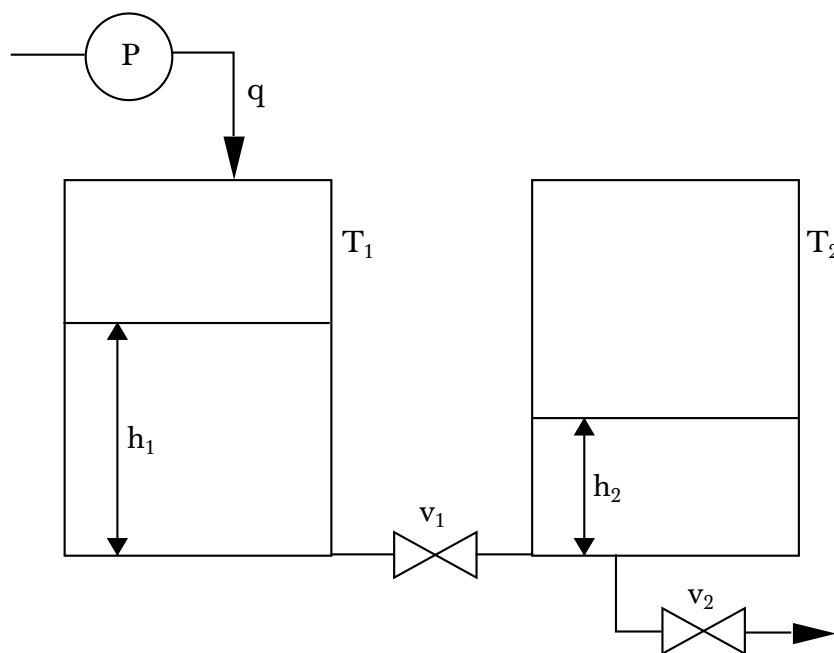
1. Úvod

Cílem práce je matematicky popsat systém dvou nádob, které jsou spojeny do kaskády potrubím, přičemž do první nádoby je vháněna tekutina pumpou a ze druhé nádoby tekutina vytéká potrubím, a vytvořit interaktivní vizuální model tohoto systému v některém z programovacích jazyků.

2. Model

2.1. Schéma

Model soustavy (znázorněn na [obrázku 1](#)) je převzat z [1] a mírně upraven.



Obr. 1. – Schéma modelu

2.2. Veličiny

- d_1, d_2 – průměry válcových nádob T_1 a T_2 [m]
- d_v – průměr potrubí [m]
- h_1, h_2 – výšky hladin v nádobách T_1 a T_2 [m]
- v_1 – součinitel ventilu č. 1 (0–1) [1]
- v_2 – součinitel ventilu č. 2 (0–1) [1]
- q – přítok do nádoby T_1 [m^3/s]

2.3. Diferenciální rovnice

$$\frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \frac{h_1(t)}{dt} = q(t) - v_1 \frac{\pi d_v^2}{4} \cdot \sqrt{2g(h_1(t) - h_2(t))}$$
$$\frac{\pi d_2^2}{4} \cdot \frac{h_2(t)}{dt} = v_1 \frac{\pi d_v^2}{4} \cdot \sqrt{2g(h_1(t) - h_2(t))} - v_2 \frac{\pi d_v^2}{4} \cdot \sqrt{2gh_2(t)}$$

2.4. Diskretisace

$$h_1(t) = T \cdot \left(- \left(\frac{d_v}{d_1} \right)^2 \cdot v_1 \cdot \sqrt{2g(h_1(t) - h_2(t))} + \frac{4}{\pi d_1^2} \cdot q_1 \right) + h_1(t - T)$$
$$h_2(t) = T \cdot \left(\left(\frac{d_v}{d_2} \right)^2 \cdot v_1 \cdot \sqrt{2g(h_1(t) - h_2(t))} - \left(\frac{d_v}{d_2} \right)^2 \cdot v_2 \cdot \sqrt{2g(h_2(t - T))} \right) + h_2(t - T)$$

3. Implementace

3.1. Softwarové prostředky

V původním plánu bylo použití jazyka Java. Tento jazyk nakonec použit nebyl, protože je zcela nevhodný pro tento typ softwaru (je zcela nevhodný pro jakýkoliv typ softwaru). Místo něj jsem využil jazyka Microsoft Visual Basic 6.0, který umožňuje příjemnou a jednoduchou práci s uživatelským rozhraním tam, kde není nutno využívat objektového modelování (a v tomto případě neexistuje jediný důvod, proč objektové modelování použít). Je to relativně velmi starý (rok 1998) částečně objektově orientovaný, událostmi řízený, silně typový, interpretovaný jazyk se statickým typovým systémem, založený na ještě starším jazyku BASIC (rok 1964). Rozšířená podpora tohoto jazyka od Microsoftu skončila v březnu roku 2008 z důvodu celkového přechodu na platformu .NET (Visual Basic.NET), a tak již velmi dlouho nelze legálně získat kompilátor a vývojové prostředí tohoto jazyka. Virtuální stroj (msvbvm60.dll) ale existuje na všech verzích operačního systému Microsoft Windows (od verze 98) a je přítomen také v emulátoru Wine, protože mnoho kritických aplikací napsaných v tomto jazyce se stále aktivně používá.

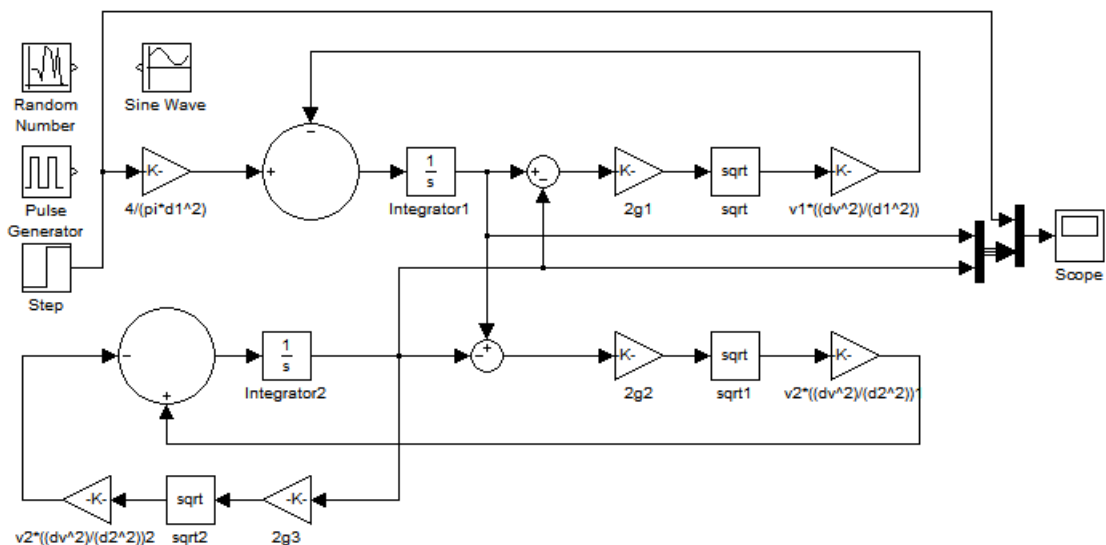
3.2. Zdrojový kód

Zdrojový kód programu je přiložen k tomuto dokumentu ve formě PDF dokumentu se zvýrazněnou syntaxí a také jako zdrojový soubor (.vbp a .frm).

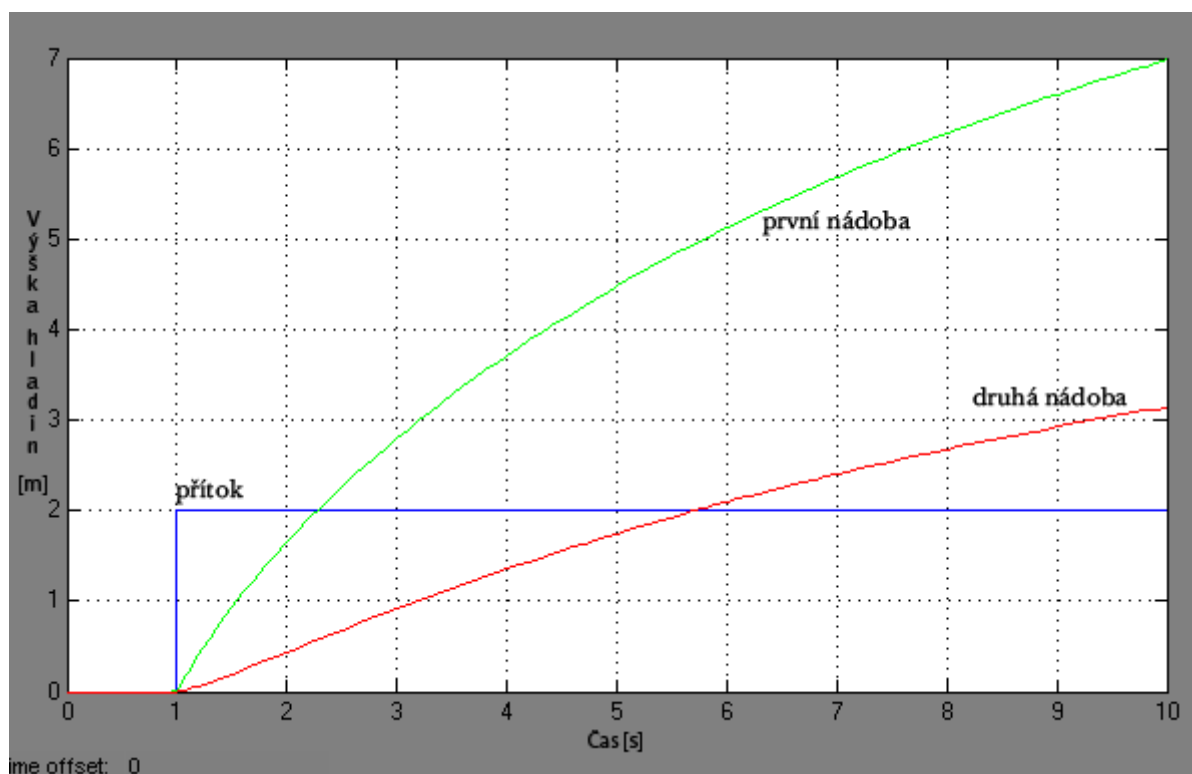
4. Simulace

Simulace systému byla provedena v programu *Simulink*. Diferenciální rovnice jsem převedl do simulinkového schématu tak, jak je tomu na [obrázku 2](#). Dále jsem provedl několik simulací odezvy na základní typy vstupního signálu – na [jednotkový skok](#), na [jednotkový impuls](#), na [harmonický signál](#) a na [náhodný signál](#) (všechny tyto případy jsou zobrazeny na následujících obrázcích). Byly použity následující konstanty. Poloměr válcových nádob – 1m. Poloměr

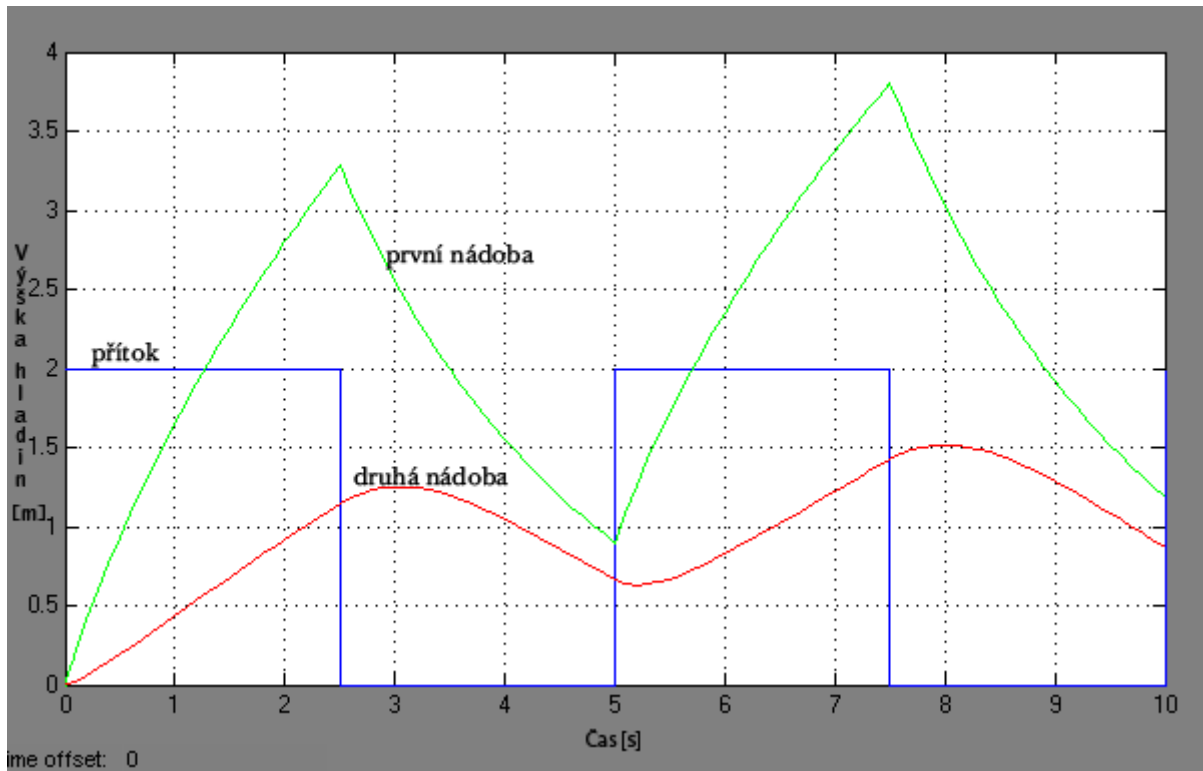
potrubí – 0,5m. Přítok – 2 kubické metry za sekundu. Ventily – otevřené na 100%. Modré křivky v grafech zobrazují vstupní signál, zelené výšku hladiny v první nádobě a červené výšku hladiny ve druhé nádobě (vstupem do systému je přítok do první nádoby).



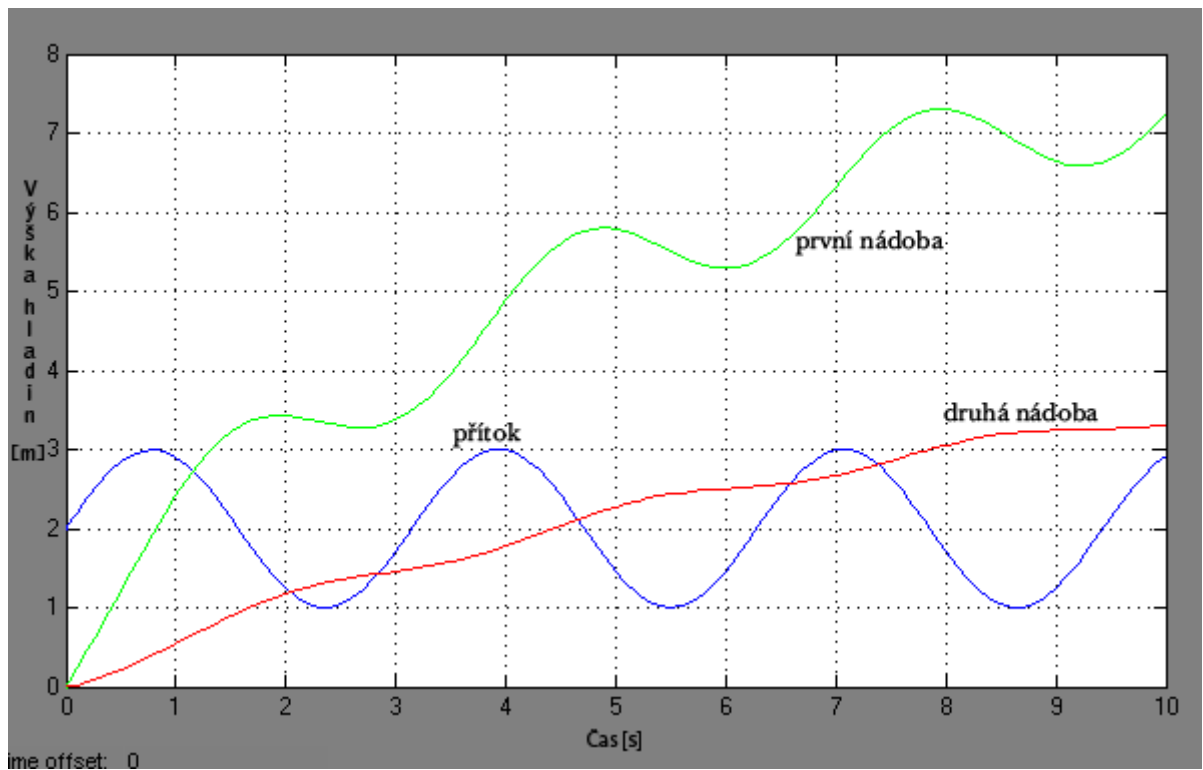
Obr. 2. – Simulační schéma



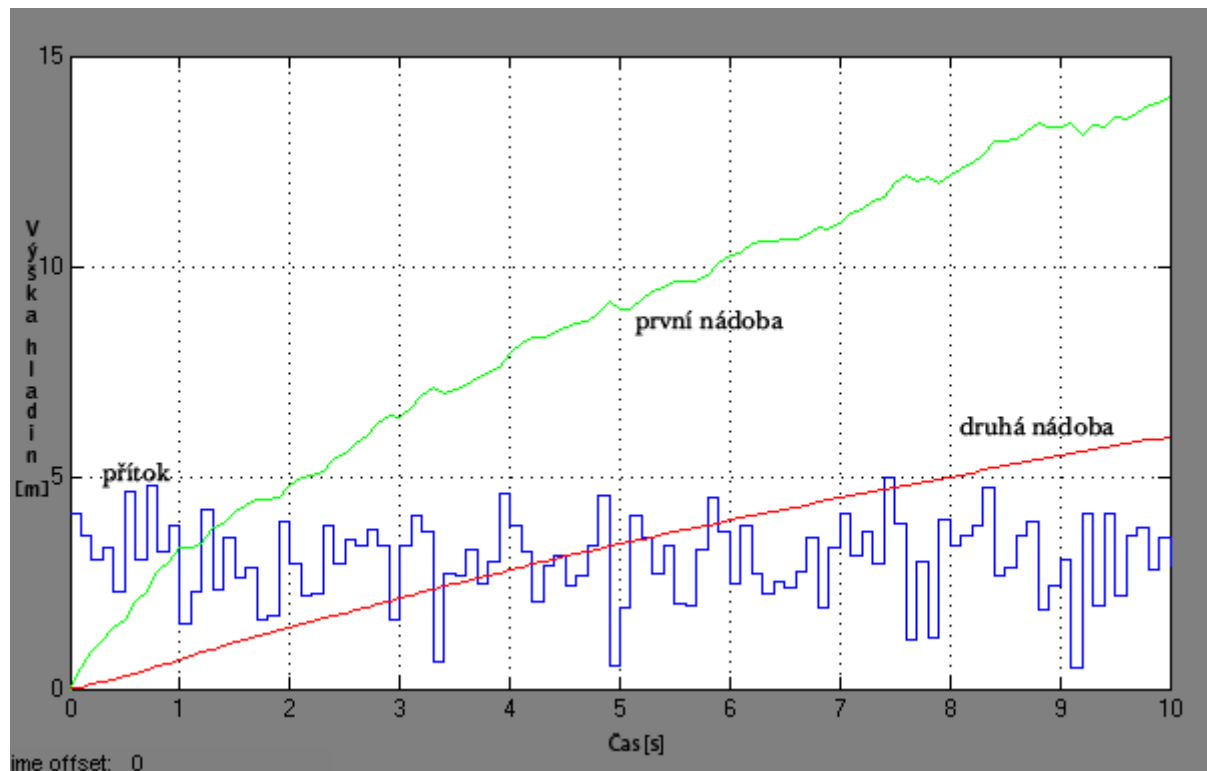
Obr. 3. – Odezva systému na jednotkový skok



Obr. 4. – Odezva systému na jednotkový impuls



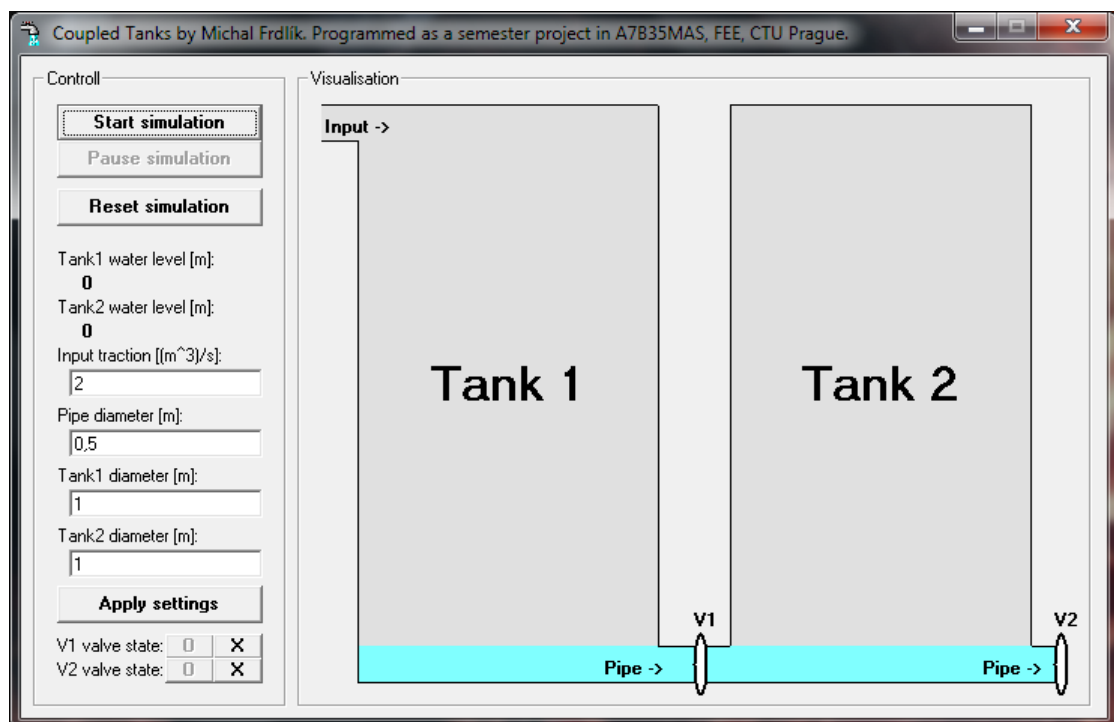
Obr. 5. – Odezva systému na harmonický signál



Obr. 6. – Odezva systému na náhodný signál

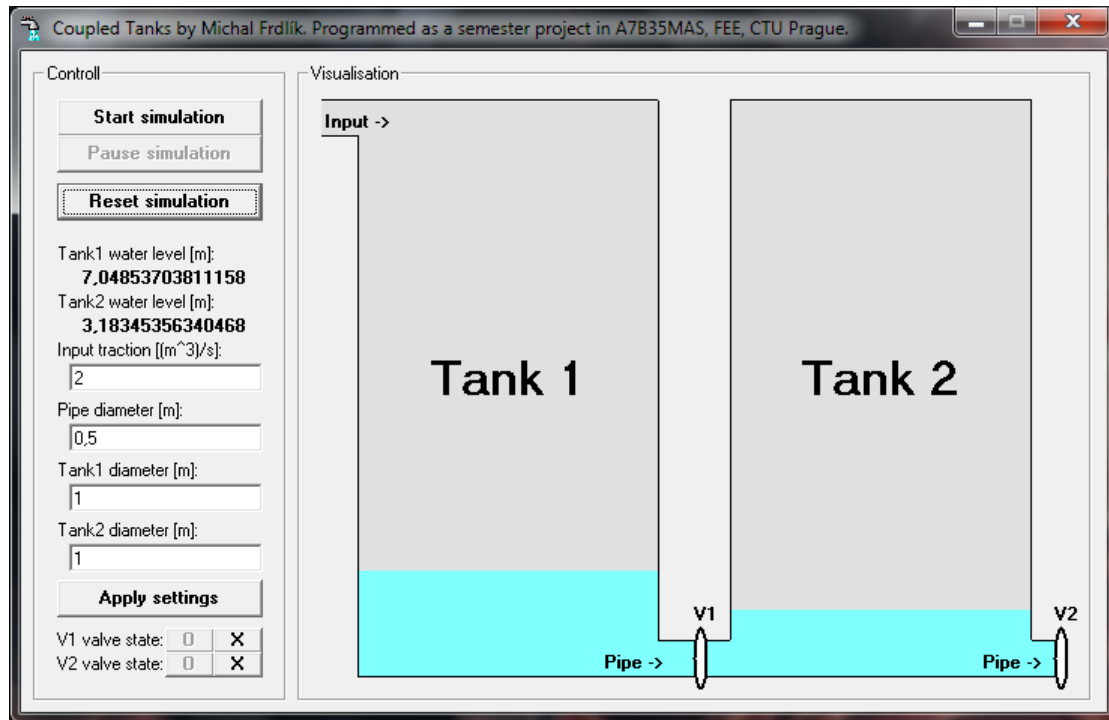
5. Testování

V **uživatelském rozhraní** visualisačního programu máme možnost nastavit 6 parametrů. Hodnotu konstantního přítoku, poloměry jednotlivých nádob, poloměr potrubí a stavy obou ventilů (zavřený nebo otevřený).



Obr. 7. – Uživatelské rozhraní visualisačního programu

Funkčnost modelu ověříme podle grafu z [obrázku 3](#), který říká, že pokud do válcové nádoby o poloměru 1m spojené potrubím o poloměru 0,5m se stejně velkou válcovou nádobou, budou přitékat dva kubické metry tekutiny za vteřinu, za 9 vteřin bude výška hladiny v první nádobě kolem 7 metrů a ve druhé nádobě něco málo přes 3 metry.



Obr. 8. – 9 vteřin po spuštění simulace

Pokud necháme simulaci spuštěnou po 9 vteřin a potom ji pozastavíme, **uvidíme**, že výšky hladin v nádobách odpovídají simulinkové simulaci. Neodpovídají ale přesně, protože časovač, který se stará o vzorkování je jednak nepřesný a druhak je velmi zatížený výpočty a zobrazováním, čili pokud bychom zmenšili čas vzorkování o řád a zmenšili také vzorkovací periodu v rovnici, simulace by byla plynulejší, teoreticky by hodnoty odpovídaly, ale byly by díky výpočtům a zobrazování zpožděné. Ve [výpisu 1](#) lze vidět funkční část procedury časovače.

```

1:   If (previousH1 - previousH2) < 0 Then
2:     ' Pokud se smyčka dostane sem, rovnice ma komplexni reseni,
3:     ' s cimz se nevyporadam
4:   Else
5:     ODM = Sqr(2 * g * (previousH1 - previousH2))
6:   End If
7:
8:   A = (dv / d1) ^ 2
9:   B = 4 / (pi * (d1 ^ 2))
10:  C = (dv / d2) ^ 2
11:
12:  H1 = Ts * ((-A * valve1 * ODM) + (B * inp)) + previousH1
13:  H2 = Ts * ((C * valve1 * ODM) - C * valve2 * Sqr(2 * _
14:    g * previousH2)) + previousH2
15:
16:  previousH1 = H1
17:  previousH2 = H2

```

Výpis 1. – Funkční část procedury časovače

6. Závěr

Podklady pro zvolený model nádob v kaskádě jsem našel na serveru Technické university v Košicích^[1]. K rovnici, která je tam uvedená, jsem došel vlastní cestou (z jejich modelu jsem čerpal pouze obecné informace o modelu a fyzice). Výslednou **diferenciální rovnici** jsem **zdiskretisoval** a následně použil pro výpočty svého **visualizačního programu**, který jsem napsal v jazyce Visual Basic 6.0. Abych ověřil správnost svého programu, za použití programu Simulink jsem z diferenciální rovnice sestavil simulační schéma a zjistil odezvu na základní typy signálů. Nad prací jsem strávil asi 8 hodin čistého času.

K sestavení a vysázení tohoto dokumentu byl použit sázecí stroj T_EX, rešp. jeho uniodové rozšíření X_YT_EX. Použitý formát je *plain*. Grafická knihovna je *graphicx*. Použité znakové sady jsou *Baskerville 10 Pro* (písmolijna Střešovická) pro běžný text a *Microsoft Consolas* pro zdrojový kód.

Reference

- [1] CyberVirtLab KKUI FEI TU Košice. CyberVirtLab : *Monitorování reálných a řízení simulovaných procesů*[online]. 2008 [cit. 2010-12-04]. Nádoby v kaskádě.
Dostupné z WWW: http://matlab.fei.tuke.sk/jds/kaskn/kaskn_model.aspx.