

Házi vízellátó rendszer dinamikus vizsgálata

A dynamical study of domestic water supply system

BALOG Boldizsár Zsolt ¹, Dr. HÓS Csaba ²

² Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék, Magyarország, 1111 1111, Budapest, Műegyetem rkp. 3. D. épület 3. emelet, Telefon: +36 1 463-16-80

¹balog.boldi@gmail.com, ²cshos@hds.bme.hu

Összefoglaló

Önálló vízellátórendszerek központi egységeinek alapvető feladata, hogy a szolgáltatott víz nyomását szabályozzák. Egy ilyen szabályozó programjának elkészítéséhez létrehoztunk egy szimulációs környezetet, ami alkalmas fúrt vízutak viselkedésének vizsgálatára. Használtunk egy koncentrált- és egy elosztott paraméterű modellt, utóbbi enyhén összenyomható folyadékmodellt használ. Genetikus algoritmus segítségével behangoltuk a PID szabályozót változó munkapontok esetén.

Kulcsszavak: nyomásszabályozó, szimuláció, genetikus algoritmus, szabályozó hangolás

Abstract

Central units of automatic water supply systems must be capable of controlling the water pressure. To find such a controller, a simulation environment was created, that can be used to examine phenomena occurring in drilled water wells. A lumped parameter model and a distributed parameter model were used, latter uses a slightly compressible fluid model. With the help of a genetic algorithm a PID controller was tuned for a variable working point.

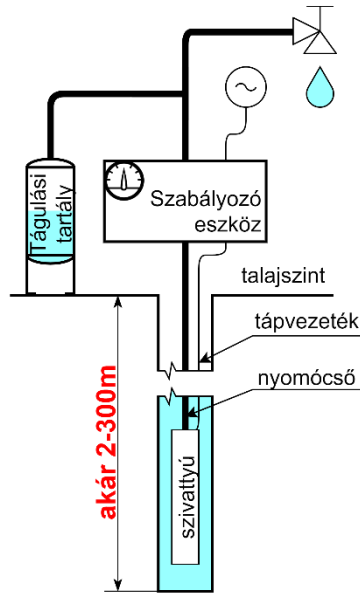
1. BEVEZETÉS

Az önálló vízellátórendszer feladata, hogy a vízfogyasztókat állandó nyomású vízzel ellássa. Ezekben a vízellátó rendszerekben gyakran mélykúti búvárszivattyút találunk. A szivattyút nem célszerű folytonosan üzemeltetni, ezért egy nyomásszabályozó eszközt szokás a rendszerbe építeni.

Az önálló vízellátó rendszer általános felépítését a 1. ábra mutatja. A fúrt kút egy viszonylag kis átmérőjű, viszonylag mély lyuk. A mélykúti szivattyúk a csőben, a nyomásszabályozó eszközök a felszínen üzemelnek. A nyomás szabályozásának a célja, hogy a fogyasztók állandó nyomású vízhez jussanak, a víz nyomását a szabályozó eszközben egy nyomástávadóval mérhetjük. A rendszerben egy mikrokontroller végezheti a szükséges számolásokat. Szimuláció segíthet a mikrokontroller programjának elkészítésekor.

2. SZIMULÁCIÓS ESZKÖZÖK

Készítettünk egy elosztott paraméterű és egy koncentrált paraméterű modellt. A két modell közötti lényegi különbség, hogy az elosztott paraméterű modellben megfigyelhető nyomáshullámok terjedése.



1. ábra Házi vízellátó rendszer általános felépítése

2.1. Koncentrált paraméterű modell

A koncentrált paraméterű modellben a víz áramlása „átlagolva”, egyetlen egyenlettel számolható. A tápvezeték-hálózatot instacionárius Bernoulli egyenletekkel, a szivattyút affin parabolákkal modelleztük [3, 4]. A modell differenciálegyenletének szabályozástechnikában megszokott alakja:

$$\frac{dQ}{dt} = K_1 Q^2 + K_2 Qn + K_3 n^2 + K_4$$

(Error! No text of specified style in document. .1)

$$p = K_5 Q^2 + K_6 Qn + K_7 n^2 + K_8 \quad (2.2)$$

Az egyenletekben Q a térfogatáram, t az idő, n a fordulatszám, p a nyomás a szabályozóeszköznél. Az indexelt K betűk állandó rendszerjellemzőket jelölnek, az ezekhez tartozó részletes levezetések a szakdolgozatomban [7] megtalálhatóak.

2.2. Elosztott paraméterű modell

Az elosztott paraméterű modell azt jelenti, hogy a rendszer viselkedését parciális differenciálegyenletekkel írjuk le. Ez a modell az 1D instacionárius kontinuitási- és mozgásegyenleten [1] alapul. A csőben lévő víz a koncentrált paraméterű modellel ellentétben nem merev testként („dugószerűen”) mozog a csőben, hanem enyhén összenyomható. Ezzel a modellel nyomáshullámok terjedése szimulálható. Ezek egyrészt a vízben mérhető hangsebességnek és a csőhossznak (1. ábra) megfelelően akár tized másodperc holtidőt is okozhatnak, amit a szabályozó tervezésekor érdemes lehet figyelembe venni, másrészt a vízellátó rendszer elemeit igénybe veszik.

2.3. Szabályozó tervezés

A nemlineáris rendszeregyenletek nehezítik a szabályozó tervezését. Jelen munka egyszerű, lineáris PID szabályozó behangolását írja le. Gyakran kézzel, próbálgatás útján hangolják be a PID szabályozó paramétereit, azaz addig változtatják a paramétereket, amíg egy megfelelő tranzienshez nem jutnak. Ez a próbálgatás előre, kézzel is elvégezhető, így sokféle kútra általános paramétereket kapunk, ez viszont kompromisszumos megoldást ad. Minden kútra külön szabályozót hangolni kedvezőbb tranzienseket eredményezhet, viszont szakértelmet [2] és időt igényel.

2.3.1. Genetikus algoritmus

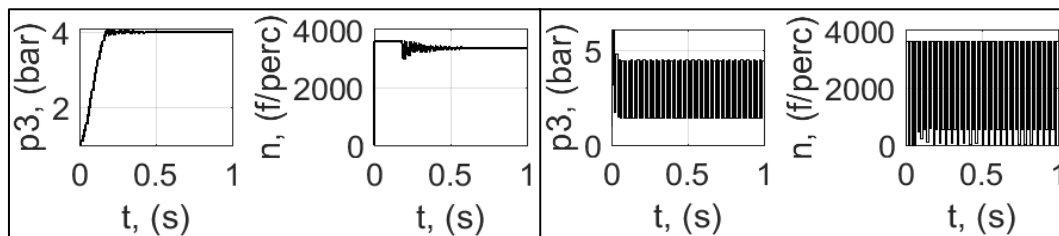
A szabályzó paramétereinek hangolására genetikus algoritmust használtunk. Ezzel az algoritmussal sokféle rendszerparaméterhez találtunk megfelelő szabályozási paramétereket, így automatikusan készítettünk különböző rendszerekhez egyéni szabályozót.

Matlabos környezetben az Optimization Toolboxban létezik egy genetikus algoritmus alapú minimumkereső eszköz [6]. Ez az algoritmus egy úgynevezett költségfüggvény minimumát igyekszik megkeresni.

3. SZIMULÁCIÓS EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A szimulációkban használt paraméterek a szakdolgozatomban [7] és a github repositoryba feltöltött programokban (<https://github.com/balogboldizsar/homeWaterSupplyModel>) megtalálhatóak.

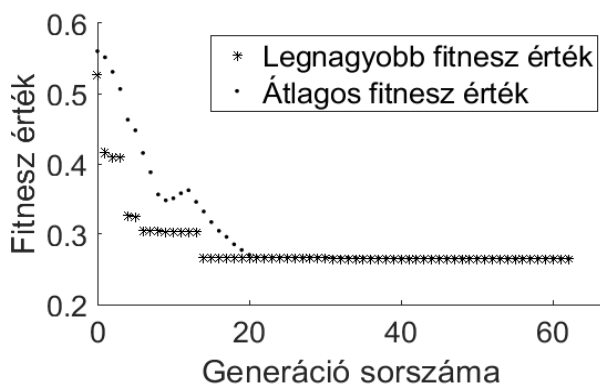
Kézzel, egy adott munkapontra a szabályozót behangolva, arra a munkapontra elfogadható tranzienszt kaptunk (2. ábra bal oldali diagramok). Más munkapontban, például nagyobb fojtás esetén (2. ábra jobb oldali diagramok) a szabályozó nem szükségszerűen működik jól. A 2. ábra diagramjain látszik, hogy a nyomás és a szivattyú fordulatszáma is állandósul az előbbi esetben, utóbbiban viszont nem, a választott erősítés túlságosan nagy.



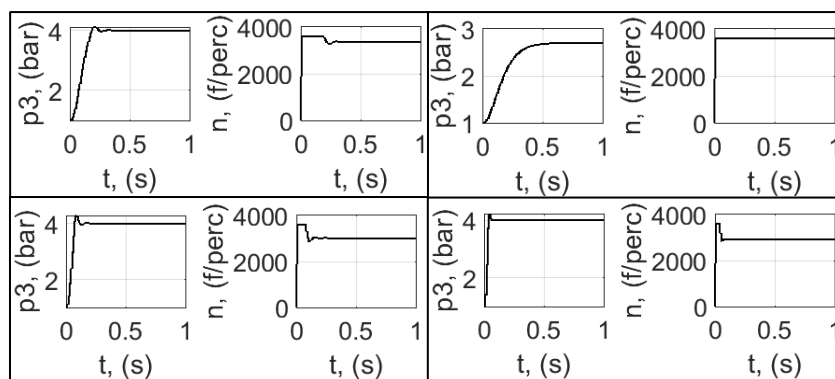
2. ábra Kézzel behangolt szabályozó helytelen működése megváltozott munkapontokban

A szabályozási paramétereket genetikus algoritmus segítségével megválasztva szintén megfelelő tranzienszhez jutottunk. A költségfüggvény értékének a teljes szabályozási idő alatt a hibajel négyzetösszegét választottuk. Értelemszerűen minden egyedre le kell futtatni a szimulációt, ezért a genetikus algoritmusokra jellemző nagy számításigénnyel ebben az alkalmazásban is számolni kell. Az algoritmus egyre jobban működő paramétereket talál, a 3. ábra diagramja egy tanítási folyamatot mutat.

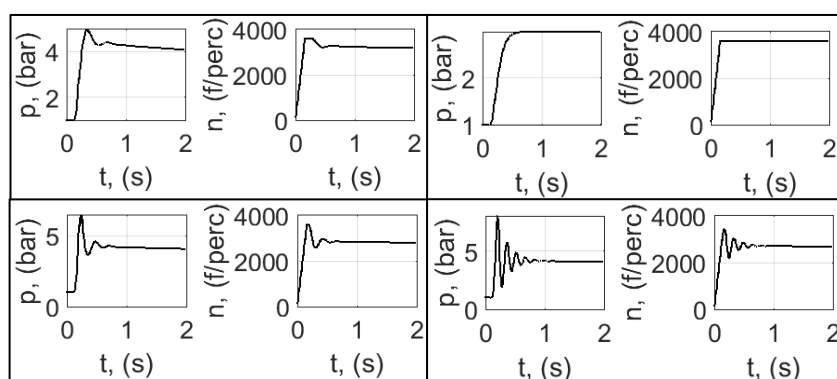
Az algoritmus futása közben a szabályozó-egyedeket változó rendszerparaméterekkel (jelen esetben változó fojtással) szembesítettük. Ha így futtattuk a genetikus algoritmust, különböző fojtások esetén is jól működő szabályozóparamétereket kaptunk a koncentrált (4. ábra) és az elosztott paraméterű (5. ábra) modellel is.



3. ábra Genetikus algoritmus szabályozó-populációjának evolúciója



5. ábra Genetikus algoritmussal behangolt szabályozó koncentrált paraméterű modell esetén



4. ábra Genetikus algoritmussal behangolt szabályozó elosztott paraméterű modell esetén

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Egy kisméretű, házi vízellátó rendszerben lejátszódó tranziens jelenségeket vizsgáltunk, különös tekintettel a nyomásszabályzó PID algoritmus és a csőben kialakuló hidraulikus tranziensek egymásrahatására. Mivel a szabályzó (felszínen található nyomásmérő) és a szabályozott elem (kútszivattyú) között időképes ill. egyéb nemlineáris hatások jelentkeznek, viszonylag könnyen előállítható olyan eset, amikor a rendszer instabillá válik. Genetikus algoritmus segítségével megkerestük azokat a szabályzó paramétereket, melyek nem csupán stabil működést, de a lehető legkisebb hibát adják egy széles paramétertartományon.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

Az előadó részvételét az OGÉT 2020 konferencián az NTP-HHTDK-19-0068 azonosítójú, "A hazai Tudományos Diákköri műhelyek és rendezvények támogatása" pályázat támogatta.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Hős Csaba és társai, Unsteady Flow in Pipe Networks, egyetemi jegyzet, BME Gépészmérnöki Kar, 2017
- [2] Korondi Péter és társai: Robotirányítások, 4. fejezet: PID szabályozás tervezése, BME MOGI, online, 2014
- [3] Kullmann László: Áramlástechnikai Gépek, egyetemi jegyzet, BME Gépészmérnöki Kar, 2014
- [4] Lajos Tamás: Áramlástan, Műegyetem Kiadó, 2015
- [5] Lantos Béla: Irányítási rendszerek elmélete és tervezése I., Akadémiai Kiadó, online, 2016
- [6] MathWorks: Global Optimization Toolbox User's Guide: Genetic Algorithm, MathWorks, online, 2019
- [7] Balog Boldizsár, Szivattyú frekvenciaváltós meghajtásának és szabályozásának fejlesztése, online, 2018