

Szivattyú indítási folyamatok problémája több betáplálású távhőhálózatokban

Dr. Halász Gábor¹ Dr. Hős Csaba²

¹Egyetemi tanár, halasz@hds.bme.hu
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME)



Hidrodinamikai Rendszerek Tanszék (HDS Tsz.)

www.hds.bme.hu

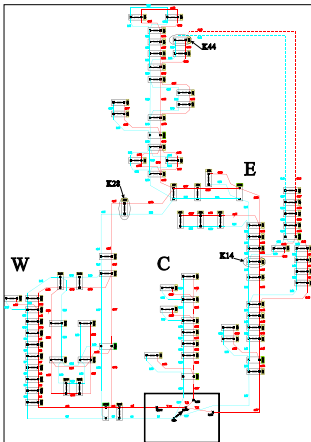
²Egyetemi adjunktus, csaba.hos@hds.bme.hu
BME, HDS Tsz.

21. Távhő Vándorgyűlés, Szeged, 2008

Áttekintés

- 1 **Bevezetés, motiváció**
- 2 **Állandósult (stacionárius) állapot számítása**
 - Célkitűzés
 - Modellezés
 - Alkalmazási példa
- 3 **Átmeneti (tranziens) állapot számítása**
 - Célkitűzés
 - A számítási módszer dióhéjban
 - Alkalmazási példák
- 4 **Összefoglalás és kitekintés**

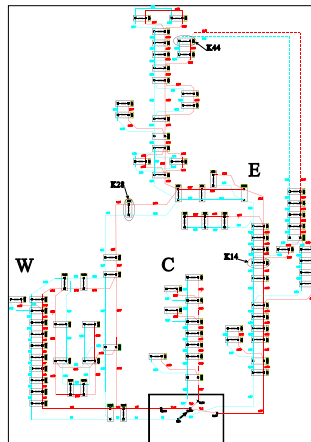
Bevezetés, motiváció



Bevezetés, motiváció

Cél:

- Adott hálózat hidraulikai és kalorikus jellemzőinek meghatározása.
- A számítás lehet időben állandósult (stacionárius) vagy időben változó (tranziens).



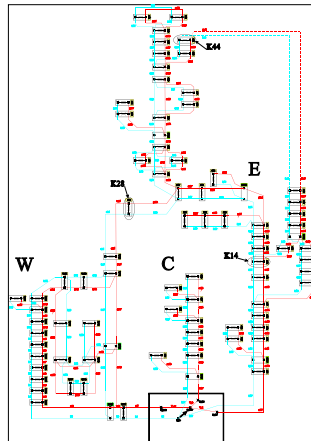
Bevezetés, motiváció

Cél:

- Adott hálózat hidraulikai és kalorikus jellemzőinek meghatározása.
- A számítás lehet időben állandósult (stacionárius) vagy időben változó (tranzien).

Ismeretlenek:

- Csomóponti nyomások, p [bar]
- Ágáramok, $\dot{m}$ [kg/s]
- Hőmérsékletek ágak elején és végén, T [°C]



Stacionárius állapot számítása

Feltételezés:

- A hálózat működése egyenletes, nincsenek időfüggő jelenségek, mennyiségek.

Stacionárius állapot számítása

Feltételezés:

- A hálózat működése egyenletes, nincsenek időfüggő jelenségek, mennyiségek.

Tipikus feladatok:

- Hálózat hidraulikai/kalorikus vizsgálata (nyomások, tömegáramok, hőmérsékletek).
- Bővítések, átalakítások hatása.
- Szivattyú választás.
- Ivóvízhálózatok esetén vízminőségi kérdések (pl. tartózkodási idő, klórkoncentráció eloszlása).
- Optimalizálás (legalacsonyabb költségű üzemvitel).

Matematikai modell

Építőelemek:

- Az ágak működésük szerint lehetnek **hidraulikus** vagy **kalorikus** ágak.

Matematikai modell

Építőelemek:

- Az ágak működésük szerint lehetnek **hidraulikus** vagy **kalorikus** ágak.
- **Hidraulikus ágak**: távvezeték csövei, keringető szivattyúk, fojtások, stb. Működésüket a hidraulikus ágegyenlet írja le: $p_e - p_v = f(\dot{m})$, de $T_e = T_v$.

Matematikai modell

Építőelemek:

- Az ágak működésük szerint lehetnek **hidraulikus** vagy **kalorikus** ágak.
- **Hidraulikus ágak**: távvezeték csövei, keringető szivattyúk, fojtások, stb. Működésüket a hidraulikus ágegyenlet írja le: $p_e - p_v = f(\dot{m})$, de $T_e = T_v$.
- **Kalorikus ágak**: a melegvíz-termelők (pl. kazánok) és a hőközpontok hőcserélői (fogyasztók). Az ág működését hidraulikus (ld. fent) és kalorikus ágegyenlet írja le (utóbbi alakja $P_{kal.} = f(\dot{m}, T_e, T_v)$).

Matematikai modell

Építőelemek:

- Az ágak működésük szerint lehetnek **hidraulikus** vagy **kalorikus** ágak.
- **Hidraulikus ágak**: távvezeték csövei, keringető szivattyúk, fojtások, stb. Működésüket a hidraulikus ágegyenlet írja le: $p_e - p_v = f(\dot{m})$, de $T_e = T_v$.
- **Kalorikus ágak**: a melegvíz-termelők (pl. kazánok) és a hőközpontok hőcserélői (fogyasztók). Az ág működését hidraulikus (ld. fent) és kalorikus ágegyenlet írja le (utóbbi alakja $P_{kal.} = f(\dot{m}, T_e, T_v)$).
- Csomópontok: tömegmegmaradás és kalorikus egyensúly

Matematikai modell

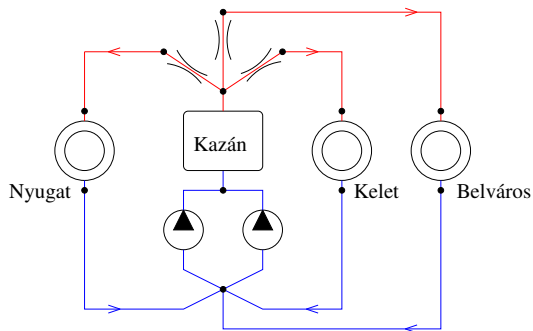
Építőelemek:

- Az ágak működésük szerint lehetnek **hidraulikus** vagy **kalorikus** ágak.
- **Hidraulikus ágak**: távvezeték csövei, keringető szivattyúk, fojtások, stb. Működésüket a hidraulikus ágegyenlet írja le: $p_e - p_v = f(\dot{m})$, de $T_e = T_v$.
- **Kalorikus ágak**: a melegvíz-termelők (pl. kazánok) és a hőközpontok hőcserélői (fogyasztók). Az ág működését hidraulikus (ld. fent) és kalorikus ágegyenlet írja le (utóbbi alakja $P_{kal.} = f(\dot{m}, T_e, T_v)$).
- Csomópontok: tömegmegmaradás és kalorikus egyensúly

Megoldás:

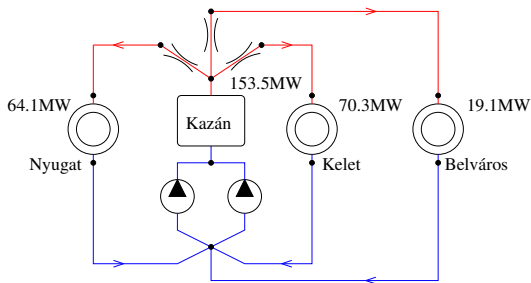
- Egyenletek száma = Ismeretlenek száma
- Az egyenletek nemlineárisak, megoldásuk iteratív módon történik.
- Pl. egy nagyváros távhőszolgáltató hálózatának leírására felállított modell adatai: 175 csomópont; 275 ág (ebből 85 kalorikus és 190 hidraulikus). Az ismeretlenek száma 808.

Példa



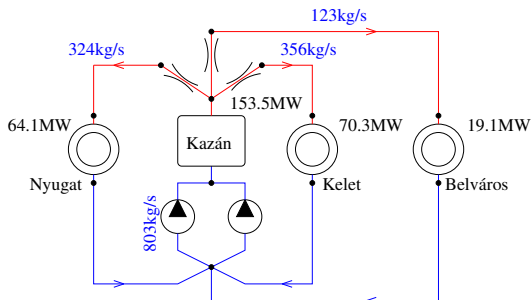
Példa

- Adatok: D , L , λ , szivattyú jelleggörbe, ellenállástényezők, kalorikus teljesítmények



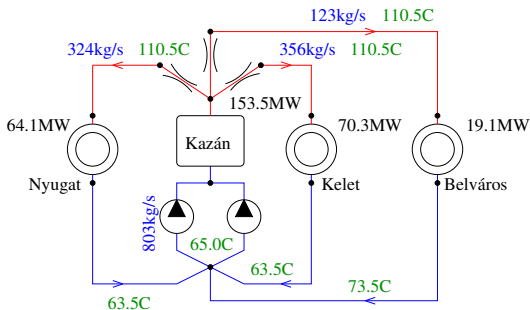
Példa

- Adatok: D , L , λ , szivattyú jelleggörbe, ellenállástényezők, kalorikus teljesítmények
- Eredmények: tömegáramok



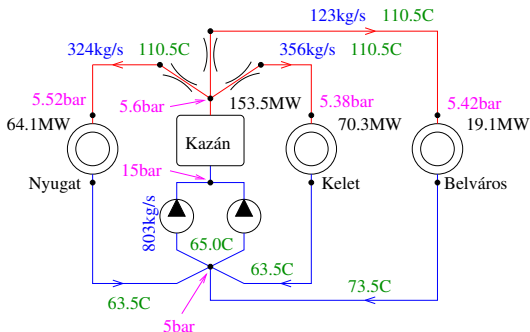
Példa

- Adatok: D , L , λ , szivattyú jelleggörbe, ellenállástényezők, kalorikus teljesítmények
- Eredmények: tömegáramok
- Eredmények: hőmérsékletek



Példa

- Adatok: D , L , λ , szivattyú jelleggörbe, ellenállástényezők, kalorikus teljesítmények
- Eredmények: tömegáramok
- Eredmények: hőmérsékletek
- Eredmények: nyomások



Tranziens állapot számítása

Cél:

- Időben változó jellemzők számítása, tipikusan veszélyes nyomáscsúcsok előrejelzése.

Tranziens állapot számítása

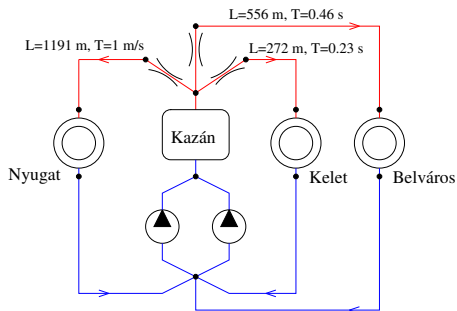
Cél:

- Időben változó jellemzők számítása, tipikusan veszélyes nyomáscsúcsok előrejelzése.

Jellemző feladatok:

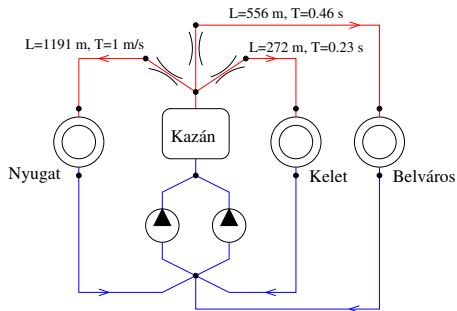
- Szivattyú indítás (direkt vagy frekvenciaváltó)
- Szivattyú kiesés
- Csőtörés
- Lengésvédelmi berendezések (légüst, légbeszívó szelep) méretezése

Rugalmas csövek és merev alrendszerek



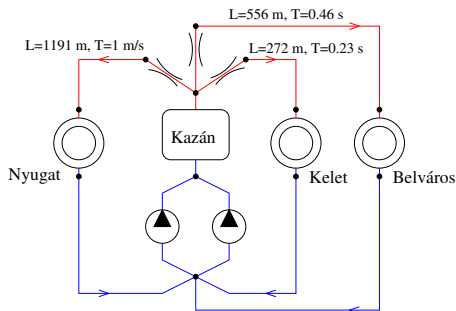
- A hullámterjedés sebessége vízben 800-1400 m/s

Rugalmas csövek és merev alrendszerek



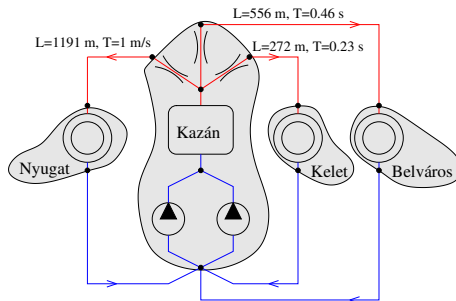
- A hullámterjedés sebessége vízben 800-1400 m/s
- A nyomáshullámok a gépházakon elhanyagolható idő alatt végigvonulnak.

Rugalmas csövek és merev alrendszerek



- A hullámterjedés sebessége vízben 800-1400 m/s
- A nyomáshullámok a gépházakon elhanyagolható idő alatt végigvonulnak.
- A hosszú csöveken (távvezetékek) esetén ez az időtartam már néhány másodperc is lehet.

Rugalmas csövek és merev alrendszerek



- A hullámterjedés sebessége vízben 800-1400 m/s
- A nyomáshullámok a gépházakon elhanyagolható idő alatt végigvonulnak.
- A hosszú csöveken (távvezetékek) esetén ez az időtartam már néhány másodperc is lehet.
- A rendszert felosztjuk **merev alrendszerekre** és **rugalmas csövekre**.

Rugalmas csövek és merev alrendszerek

- A hullámterjedés sebessége vízben 800-1400 m/s
- A nyomáshullámok a gépházakon elhanyagolható idő alatt végigvonulnak.
- A hosszú csöveken (távvezetékek) esetén ez az időtartam már néhány másodperc is lehet.
- A rendszert felosztjuk **merev alrendszerekre** és **rugalmas csövekre**.
- **Merev alrendszerek**: az elemeket dinamikusan, de koncentrált paraméterekkel modellezzük (KDE). Példa: szivattyú

$$\theta_{m.+sz.} \frac{d(2\pi n_{sz})}{dt} = M_{motor}(n_m) - \frac{P_{sz}}{2\pi n_{sz}}$$

Rugalmas csövek és merev alrendszerek

- A hullámterjedés sebessége vízben 800-1400 m/s
- A nyomáshullámok a gépházakon elhanyagolható idő alatt végigvonulnak.
- A hosszú csöveken (távvezetékek) esetén ez az időtartam már néhány másodperc is lehet.
- A rendszert felosztjuk **merev alrendszerekre** és **rugalmas csövekre**.
- **Merev alrendszerek**: az elemeket dinamikusan, de koncentrált paraméterekkel modellezzük (KDE). Példa: szivattyú

$$\theta_{m.+sz.} \frac{d(2\pi n_{sz})}{dt} = M_{motor}(n_m) - \frac{P_{sz}}{2\pi n_{sz}}$$

- **Rugalmas csövek**: elosztott paraméterű modellek (PDE)

Rugalmas csövek és merev alrendszerek

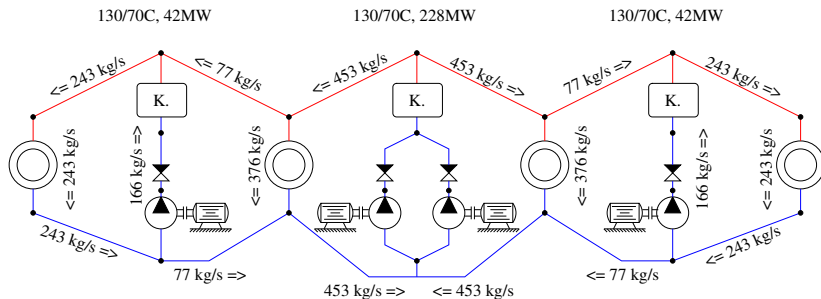
- A hullámterjedés sebessége vízben 800-1400 m/s
- A nyomáshullámok a gépházakon elhanyagolható idő alatt végigvonulnak.
- A hosszú csöveken (távvezetékek) esetén ez az időtartam már néhány másodperc is lehet.
- A rendszert felosztjuk **merev alrendszerekre** és **rugalmas csövekre**.
- **Merev alrendszerek**: az elemeket dinamikusan, de koncentrált paraméterekkel modellezzük (KDE). Példa: szivattyú

$$\theta_{m.+sz.} \frac{d(2\pi n_{sz})}{dt} = M_{motor}(n_m) - \frac{P_{sz}}{2\pi n_{sz}}$$

- **Rugalmas csövek**: elosztott paraméterű modellek (PDE)
- A kalorikus tranzienseket elhanyagoljuk, ezek lényegesen lassabban mennek végbe.

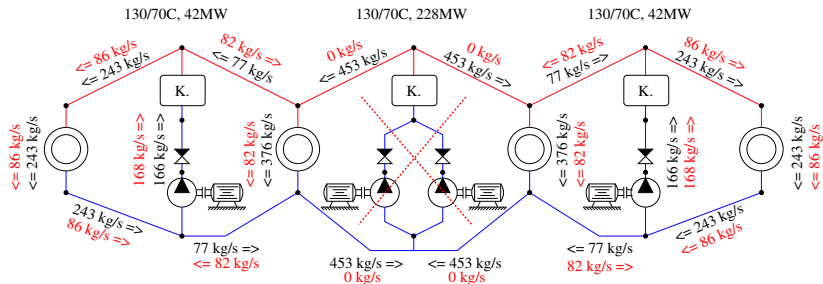
Szivattyú kiesés áramszünet miatt

Állandósult állapot kifutás előtt



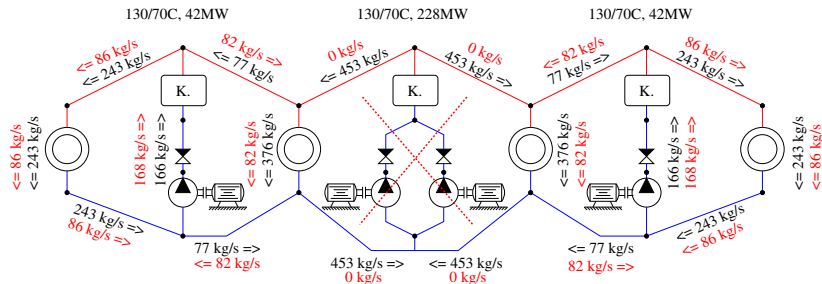
Szivattyú kiesés áramszünet miatt

Állandósult állapot kifutás előtt **és** kifutás után



Szivattyú kiesés áramszünet miatt

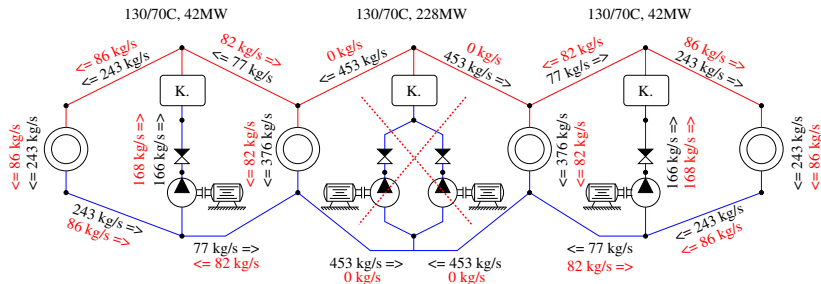
Állandósult állapot kifutás előtt **és** kifutás után



További kérdések:

Szivattyú kiesés áramszünet miatt

Állandósult állapot kifutás előtt **és** kifutás után

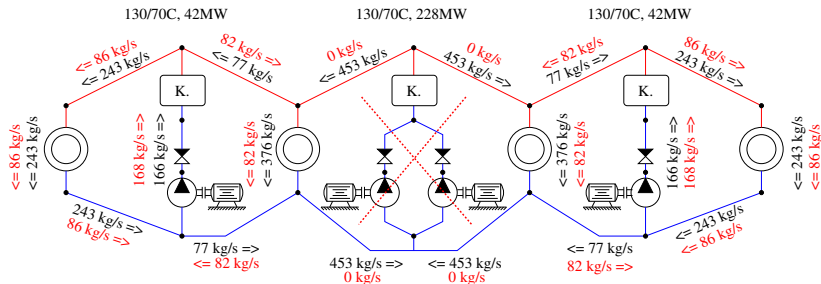


További kérdések:

- Mennyi idő alatt áll meg a szivattyú és mennyi idő kell a tranziens csillapodásához (az új stacionárius állapot beálltához)?

Szivattyú kiesés áramszünet miatt

Állandósult állapot kifutás előtt **és** kifutás után

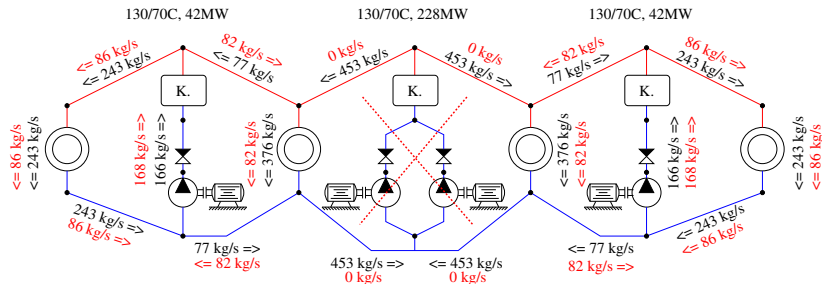


További kérdések:

- Mennyi idő alatt áll meg a szivattyú és mennyi idő kell a transziens csillapodásához (az új stacionárius állapot beálltához)?
- Mekkora lesznek a maximális nyomáscsúcsok?

Szivattyú kiesés áramszünet miatt

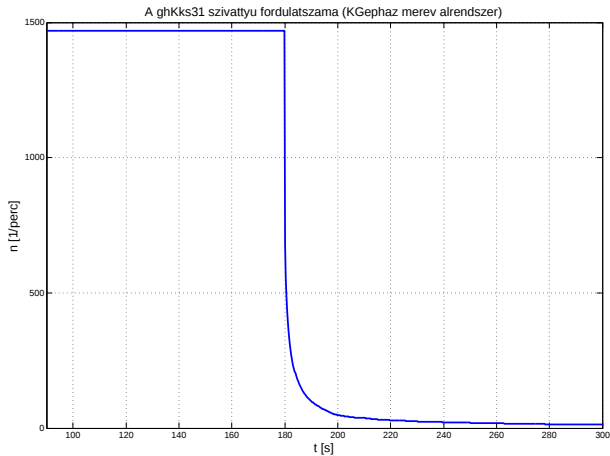
Állandósult állapot kifutás előtt és kifutás után



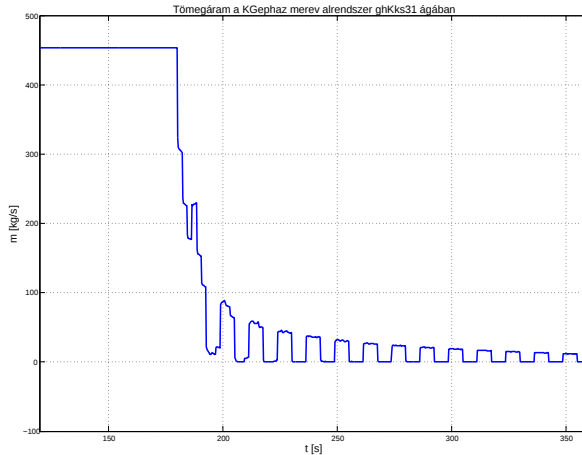
További kérdések:

- Mennyi idő alatt áll meg a szivattyú és mennyi idő kell a transziens csillapodásához (az új stacionárius állapot beálltához)?
- Mekkora lesznek a maximális nyomáscsúcsok?
- Elszakad-e a folyadékszál (minimális nyomás eléri-e a telített gőznyomást)?

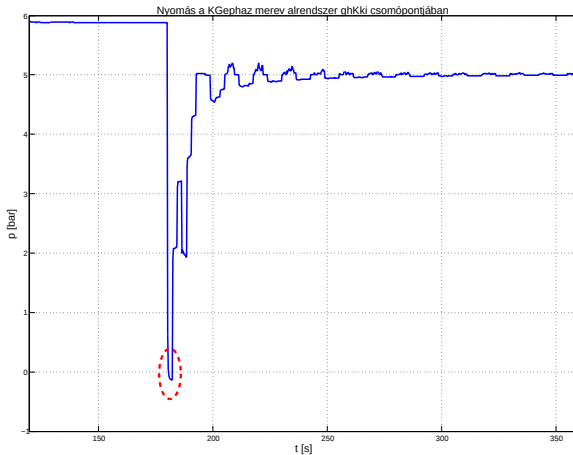
Szivattyú fordulatszám



Szivattyú tömegáram

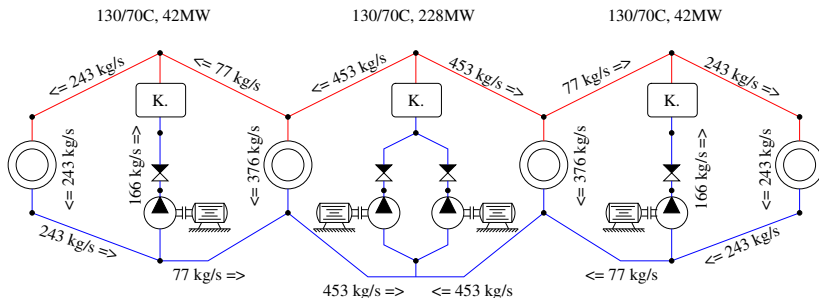


Nyomás a kazán után

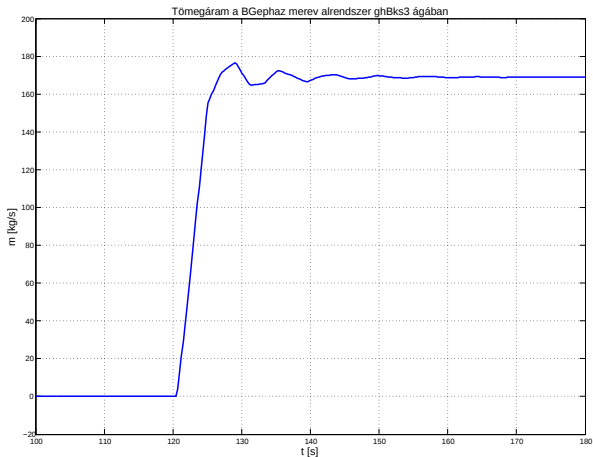


Szivattyú indítása működő rendszerre

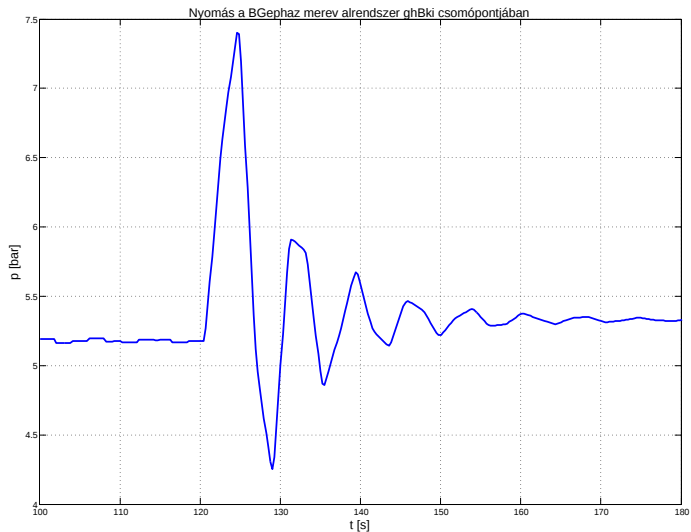
Frekvenciaváltó: 5mp. alatt 1470/perc-re.



Szivattyú tömegáram



Nyomás a szivattyú nyomócsonkján



Összefoglalás és kitekintés

Összefoglalás:

- A bemutatott módszer segítségével állandósult állapotban a **hidraulikus és kalorikus jellemzők egyszerre számíthatók**.
- Hidraulikus tranziensek esetén (pl. szivattyú kifutás, indítás, stb.) **a veszélyes állapotok** (nyomáscsúcsok, kigőzölgés) **előrejelezhetők és a lengésvédelem méretezhető**.
- Mindkét programrendszer saját fejlesztésű, elemkönyvtára tartalmazza a gyakorlatban előforduló legfontosabb elemeket és könnyen bővíthető.