



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Irányítástechnika és Informatika Tanszék

iContrALL

Korszerű fűtési rendszerek szabályzása - munkapéldány

SZADOLGOZAT

Készítette

Gyulai László

Belső konzulens

dr. Kiss Bálint

Külső konzulens

Kurbucz Máté

2018. október 14.

Tartalomjegyzék

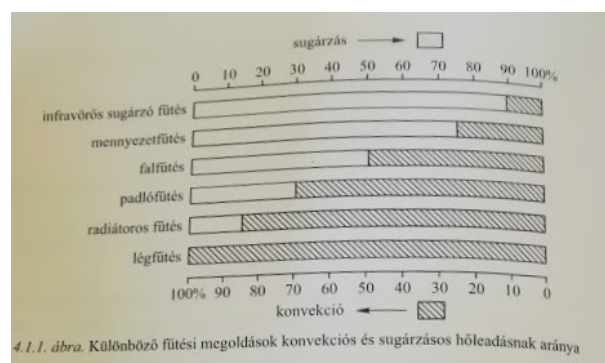
| | |
|---|-----------|
| 1. Modellalkotás, irodalomkutatás | 2 |
| 1.1. Felírandó átviteli függvények | 3 |
| 2. Ház modellje | 4 |
| 2.1. Big picture | 4 |
| 3. A felírt modell | 4 |
| 3.1. Fűtési rendszer és ház kapcsolata | 4 |
| 4. Fűtési rendszer modellje | 6 |
| 4.1. Radiátor modelljének felírása | 6 |
| 4.1.1. Hőleadás | 6 |
| 4.1.2. Hőfelvétel | 7 |
| 4.1.3. Energiamérleg állandósult állapotban | 7 |
| 4.1.4. Sugárzó és konvektív teljesítmény szétválasztása | 8 |
| 4.1.5. Dinamikus modell | 8 |
| 5. Fűtőtestek modellezése | 10 |

1. Modellalkotás, irodalomkutatás

Munkámban elsősorban a különböző fűtési típusok közti különbségeket szeretném megvizsgálni. A ház modelljét először adottnak venném, az eltérést pedig a különböző fűtési módok jelentenék. Azaz megpróbálom felírni a környezet belső hőmérsékletre való ráhatását, eztán pedig modellezem többféle fűtőtest viselkedését.

Ehhez először áttekintettem a hőátadás lehetséges formáit és forrásait. Arra jutottam, hogy ha a levegő hőmérsékletére szabályzok, akkor az abba beleszóló tényezőket veszem sorra:

- konvektív hőátadás: a felszín közelében felmelegedett levegő áramlani kezd
- radiatív hőátadás: sugárzással kibocsátott energia a környezetbe



1. ábra. Alacsony hőmérsékletű fűtés és magas hőmérsékletű hűtés c. könyv ábrája

A levegő hőmérsékletére ezek a következőképp hatnak a leginkább:

- a fűtőtestek konvektív és radiatív hőátadással is melegítik a környezetet
- a radiatív energiát a tárgyak, falak nyelik el, amik ezáltal felmelegszenek (mintegy kapacitásként lesz egy hőtároló tömeg, ami a fűtés kikapcsolásával fenntartja a hőmérsékletet / lassítja a hűlést)
- a fűtetlen falfelületek hűtik a szobát (külső hőmérséklet befolyása)

Így a kezdeti modellben azzal a feltételezéssel élek, hogy ezen kívül más hatás nem lép fel.

A modellben feltételezem, hogy a fűtőtest felületi hőmérsékletével tudunk beavatkozni. A modellben paraméter a fűtőtestek hőátadási tényezője és felülete. Zavarásként (?) hat a külső hőmérséklet értéke, amit mérni is tudunk. Kimenet a belső hőmérséklet (térben konstansnak véve azt / átlagolva a szoba levegőjére)

A modell felírásához a fűtőtest tulajdonságain kívül szükség van a szobában található levegő mennyiségére is. A zavarás hatását is fel kell írni, azaz hogy egy külső hőmérsékletváltozás hogyan jelenik meg a kimeneten. (Célszerű itt egy átviteli függvényt felírni először, szuperpozíciószerűen. A zavarás viszont nem a modell bemenetén és nem is a kimenetén hat.)

A felírandó átviteli függvények:

- levegő felmelegedése konstans külső hőmérsékletet feltételezve, fűtőtest egységugrással
- levegő felmelegedése fűtés kikapcsolt állapota mellett, környezeti hőmérséklet ugrásával

1.1. Felírandó átviteli függvények

2. Ház modellje

2.1. Big picture

A modellalkotásnál igyekszek energetikai tanúsítványban szereplő adatokat felhasználni. Figyelembe kell vennem a ház hőveszteségeit és hőtároló képességét is.

A kinyerhető adatok: a határoló elemek felszíne,

hőigény numerikusan is szerepel A Simscape-ben hőátadási tényezőket és hőtároló tömegeket vettem fel.

3. A felírt modell

A schönherzes kollégiumi szoba határoló elemeit vettem fel. Ez 80 m^2 -nyi belső falfelület, 4

Táblázatban össze kellene foglalni.

Tablázat IDE.

3.1. Fűtési rendszer és ház kapcsolata

A fűtési rendszer és a szabályzás alapvető validálásához egyszerű házmodelleket fogok felállítani.

Szinte a legegyszerűbb ilyen tekintetben egy kollégiumi szoba modellje. Egy átlagos szobát 4 másik vesz körül, van ablaka, egy radiátora. Erre ki kellene számítani a hőigényt, figyelembe véve azt hogy mennyi hő szökik el a külső és belső határoló felületeken keresztül. A gyakorlati alkalmazásokban szeretnék majd az energetikai tanúsítványból kiindulni, így gyakorlatilag a szoba energetikai tanúsítását végzem el - olyan szinten, amennyire nekem szükséges.

Ashrae HVAC - 6.19 Panel H & C. - Controls strategy

Ezért utánanéztem a jellemző szerkezeti tulajdonságoknak. A modellezés Gouda alapján történik, gyakorlatilag csomóponti egyenleteket kell felírni az alábbi hálózatra, amiben az ellenállások a rétegrendi hőátbocsátási tényező reciprokai. A hőtároló képességeket kapacitások modellezik.

A ház modelljének felírásakor figyelembe vettem a hőtároló elemeket. A pontos (reális) modell felállításakor ezek hőtartalmát (a hőáram integrálja egyensúlyi állapotban legyen 0, azaz egy nagyobb ciklusban a felvett és leadott hője egyenlő) az egyensúlyi állapothoz közelinek vettem.

Viszont a szabályzótervezéshez identifikálni kell, ekkor pedig a falak, ill. szoba levegőjének kezdeti állapotát (hőmérsékletét) azonosnak vettem a külső hőmérséklettel. Így ha a hőkülönbség a modell kimenő jele, akkor lineáris a rendszer: 0 bemenetre (fűtés) 0 kimenetet ad.

Az identifikációnál így minden hőtároló elem (levegő, külső és belső falak) kezdeti hőmérsékletét a környezeti hőmérséklettel azonosnak vettem. (Még egy mérés lehet az, ha mérhető zavarásunk van, pl. kezdeti 20 °C hőmérsékletet beállítva a környezeti hőmérséklet zuhan 20-ról 10 °C-ra.)

4. Fűtési rendszer modellje

4.1. Radiátor modelljének felírása

Mivel a Matlab szimulációban a legbefűvós fűtés modelljének teljesítmény kimenete van, fel akartam állítani egy olyan modellt, ami beillesztható az eredeti légbefűvó rendszer helyére. A ház hőveszteségeit a Matlab számolja¹, ebből pedig adódik a szoba levegőjének hőmérséklete. A rendszer szabályozását így visszavezettem a leadott teljesítmény szabályzására. A levezetett egyenletnek köszönhetően egy teljesítményigényhez meg tudom majd mondani hogy mennyire kell a szabályzóselepeket kinyitni.

Az *Épületgépészet a gyakorlatban*² c. könyvben szó esik fűtési rendszerek méretezéséről. Itt adatként szerepel egy épületre a szobák hőigénye³ és névleges hőmérséklete. Ehhez választanak megfelelő méretű radiátort, hogy azokban a kiszámolt sebességgel vizet keringetve a hőleadás elég legyen az adott helyiségbe. (Ehhez figyelembe kell venni minden radiátorra a keringő víz hőmérsékletét is, különösen ha azok sorba vannak kötve és a hőmérsékletesések is jelentősek.)

Hasonlóan méretezési feladatot mutat be a [1, 4.2.7.3] is. Ezek alapján vezettem le a leadott hő mennyiségét állandósult állapotra. Természetesen a felmelegedés és lehűlés idejét is figyelembe kell majd venni, de ezzel érthető módon a méretezésnél sem számolnak.

4.1.1. Hőleadás

A fűtőtestek hőleadását befolyásolja a fűtőtestek közepes hőmérsékletkülönbsége (ld. a 2. egyenletet), a felülete és a hőleadási tényezője. Ezek közötti kapcsolatot adja az 1. egyenlet ([1, 358. o.]-ból):

$$\dot{Q}_{le} = k_e A_e \Delta t_m \quad (1)$$

ahol

\dot{Q}_{le} [W] a leadott hő

k_e [$\frac{W}{m^2 K}$] hőleadási tényező - ezt hőmérsékletfüggetlennek tekintem.

A_e [m²] a radiátor felülete

Δt_m [K] a közepes hőmérsékletkülönbség:

$$\Delta t_m = \frac{t_s + t_r}{2} - t_i \quad (2)$$

ahol

t_s a radiátorba befolyó, t_r az onnan kifolyó víz hőmérséklete °C-ban

¹Pontosításra szorul ez a modell is, mert valószínűleg csak a konvektív hővezetéssel számol (a sugárzásival pedig nem). A légbefűvás a ház levegőjét melegíti. Ám a modellben a ház hőtároló tömege nem jelenik meg, csak egy hőellenállás a veszteségek modellezéséhez.

²Könyvtári könyv, Verlag. 5.11.6, 2. o.

³Pontosan nem tudom még, hogyan definiálják a hőigényt: mekkora kültéri hőmérsékletet vesznek pl. figyelembe, illetve hogy radiátor méretezésénél ezt nyilván felül kell becsülni.

t_i a szoba hőmérséklete

A hőátadási tényező is hőmérsékletfüggő, de ezzel egyelőre nem foglalkozom, állandónak tekintem.

4.1.2. Hőfelvétel

A vízből felvett hő felírható:

$$\dot{Q}_{fel} = c \dot{m} \Delta t \quad (3)$$

ahol

\dot{Q}_{fel} [W] a vízből felvett hő, ami annak lehűléséből adódik

c [$\frac{J}{kg K}$] a víz fajhője

\dot{m} [$\frac{kg}{s}$] a víz tömegárama

$\Delta t = t_s - t_r$ [K] a víz lehűlésének mértéke

4.1.3. Energiamérleg állandósult állapotban

Állandósult állapot esetén a leadott hő egyenlő a felvettel, mivel akkor nem történik hőfelhalmozás, hőtárolás. Azaz ekkor a radiátor hőkapacitását nem kell figyelembe vennem.

Beírva a (2)-ba (1)-t:

$$\dot{Q}_{le} = k_e A_e \left(\frac{t_s + t_r}{2} - t_i \right) = k_e A_e \left(\frac{t_s + (t_s - \Delta t)}{2} - t_i \right) \quad (4)$$

Ahol felhasználtuk azt is, hogy $t_r = t_s - \Delta t$, majd Δt helyére beírhatjuk a (3) átrendezett alakját:

$$\Delta t = \frac{\dot{Q}_{fel}}{c \dot{m}} \quad (5)$$

Beírva (4)-ba (5)-t:

$$\dot{Q}_{le} = k_e A_e \left(t_s - t_i - \frac{\dot{Q}_{fel}}{c \dot{m}} \right)$$

$$\dot{Q}_{le} + \frac{k_e A_e \dot{Q}_{fel}}{2 c \dot{m}} = k_e A_e (t_s - t_i) \quad (6)$$

$$2 c \dot{m} \dot{Q}_{le} + k_e A_e \dot{Q}_{fel} = k_e A_e 2 c \dot{m} (t_s - t_i)$$

Csak abban az esetben, ha $\dot{Q}_{le} = \dot{Q}_{fel}$:

$$\begin{aligned}\dot{Q}(2 c \dot{m} + k_e A_e) &= 2 k_e A_e c \dot{m} (t_s - t_i) \\ \dot{Q} &= \frac{2 c \dot{m} k_e A_e}{2 c \dot{m} + k_e A_e} (t_s - t_i)\end{aligned}\quad (7)$$

A fenti képletet kiegészítve kezelhető lenne a hőmérsékletfüggő hőleadási tényező.

Mivel a hőleadást, hőtárolást Simscape-ben valósítottam meg, a radiátorba bemenő hőt kell csak kiszámítani. Erre meg kell vizsgálni, hogy az állandósult állapotbeli képlet helyes-e.

Megjegyzés: A radiátorba bekerülő teljesítményt a $t_s - t_r$ szabja meg (3. egyenlet), viszont itt t_r -t kiejtettem az egyenletekből. Viszont az irodalom⁴ szerint a $\Delta t = t_s - t_r$ -re szabályozással megtakarítás érhető el. Meg kell vizsgálni, reális-e mindkét paraméter mérése, radiátorok esetén, vagy csak padlófűtésnél.

4.1.4. Sugárzó és konvektív teljesítmény szétválasztása

Fun facts:

- A falakra az $\alpha = 10 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$ érték a sugárzó és konvektív hőleadást is tartalmazza. A konvektív hőleadás függ a felületi áramlási sebességtől: falsaroknál ez az érték alacsonyabb, kb. a fele.
- A sugárzó hő a Stefan-Boltzmann törvény alapján függ az emisszivitástól. (Annak a mértéke, hogy a test a feketetesthez képest mennyi hőt bocsát ki). A hőmennyiség a hőmérséklet negyedik hatványával arányos. A **sugárzott hő meghatározásához** még meg kell keresni és be kell írni a Simscape blokkba a megfelelő együtthatókat. Valami általános összefüggést kell találni, hogy a radiátor milyen arányban melegíti a külső falat, ahol van, ill. az ablakra milyen hatással van: még nem kezelem le ezeket az aszimmetriákat, hanem minden hőmérsékleteloszlást homogénnek veszek.
- A $q_r \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$ *radiant heat flux density* a T. Cholewa⁵ (5.) egyenlet alapján számítható.
- A hőhidak a hőveszteségek meglepően nagy részéért felelősek, jelentős hibát követünk el, ha ezekkel nem számolunk. Meg kell keresni az energ. tanúsítványokban hogy hol tüntetik fel ezek mértékét.

4.1.5. Dinamikus modell

A felmelegedéskor és lehűléskor a pontos hőleadást akkor tudjuk modellezni, ha ismerjük a radiátor hőkapacitását. Ehhez tudnunk kell, hogy a radiátorban mennyi víz van, illetve hogy a radiátortest milyen nehéz.

⁵On the heat transfer coefficients between heated/cooled radiant floor and room.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.065>

Radiátor katalógusokból⁶ azt találtam, hogy az egyes radiátor típusokra ezek a paraméterek milyen értékűek.

Ismert a radiátor hossza, magassága, konstrukciója. Ez alapján a tömege, illetve az acél hőkapacitása alapján a radiátortest hőkapacitása - simscape termikus hőtároló elem blokként víztérfogata, a víz fajhője még egy hőtároló elem.

Ezen hőtároló elemek feltöltődése szimulálva adja a dinamikus viselkedést.

A modell kimenetén külön szerepelhet a sugárzás és a konvekció.

⁶Purmo Ventil Compact - purmo.com

5. Fűtőtestek modellezése

A MATLAB egyik demójában egy ház fűtési modelljét valósították meg. Ebben a fűtőtest kimenete teljesítmény dimenziójú. A ház veszteségeit a méretei és az ablakai alapján kiszámítja.

A modellezendő objektum a fűtési rendszer, itt kell számba venni hogy egy jól méretezett rendszernek mennyi a felfutási illetve a beállási ideje. Ezt számolni a kazán, a fűtővíz illetve a fűtőtest teljesítményeiből, illetve kapacitásaiból lehetne.

A fűtőtestek hőátadását számos tényező befolyásolja, ezekre az előzőekben egyenletet is felírtam. Az egyenletet Simulinkben valósítottam meg, a fűtési rendszer így beilleszthető a Matlab példájába.

Hivatkozások

- [1] Csoknyai István. *Több, mint hidraulika*. Herz Armatúra Hungária Kft, 2013.