

AS-84.134 Energiatekniikan automaatio

Energiatekniikan automaatio - APROS- harjoitustyö

SYKSY 2007

Automaatiotekniikan laboratorio
Teknillinen korkeakoulu

SISÄLLYS

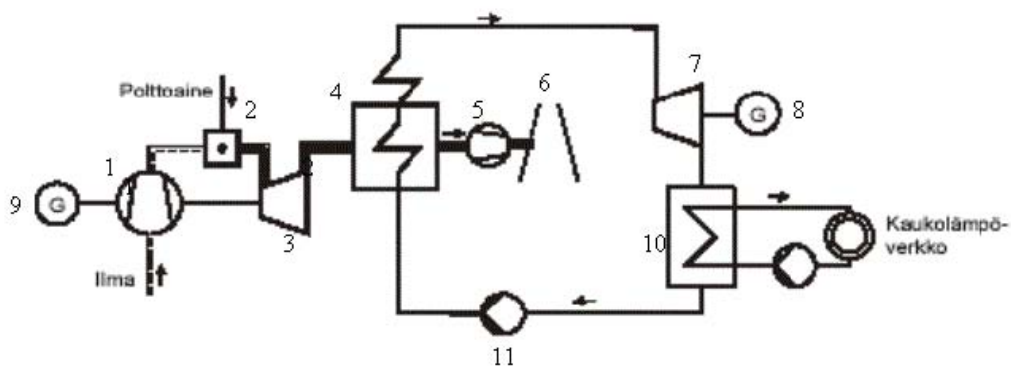
SISÄLLYS	II
JOHDANTO	1
KOMBIVOIMALAITOS	1
APROS-SIMULAATTORI	3
SIMULOITAVA MALLI	4
1.1 SIMULOINNISSA KÄYTETTÄVÄ VOIMALAITOS.....	4
1.2 SIMULOITAVAN MALLIN RAKENNE.....	4
1.3 SIMULOINNIN ALOITUS.....	5
1.4 VINKKEJÄ OHJELMAN KÄYTTÖÖN.....	7
1.5 OHJELMAN KÄYTÖN LOPETUS.....	7
KOMBIVOIMALAITOKSEN SIMULOINTI	8
1.6 KAASUTURBIININ TEHONMUUTOS.....	8
1.6.1 Johdanto kombivoimalaitoksen dynamiikkaan.....	8
1.6.2 Voimalaitoksen hyötysuhde.....	9
1.6.3 Tehtävänanto.....	10
1.6.4 Simuloinnin vaiheet.....	10
1.7 KAUKOLÄMMÖN TUOTANNON ASKELVASTEKOE.....	11
1.7.1 Johdanto askelvastemenetelmään.....	12
1.7.2 Tehtävänanto.....	13
1.7.3 Simuloinnin vaiheet.....	13
TYÖSELOTUS	14
LÄHDELUETTELO	14

Johdanto

Harjoitustyö tehdään APROS-ohjelmistolla, johon on implementoitu simulaattori kombivoimalaitoksesta. Simulaattorilla ajetaan prosessitransientteja, joiden avulla voidaan tutkia kombivoimalaitoksen dynaamista käyttäytymistä. Tehtävien aihepiirejä ovat kaasuturbiinin tehonmuutos sekä kaukolämmön tuotanto.

Kombivoimalaitos

Kombivoimalaitosprosessilla tarkoitetaan prosessia, jossa sähköntuotantoon käytetään samanaikaisesti kahta eri väliainetta tai kahdella eri lämpötila-alueella toimivaa kiertoprosessia. Kuvassa on esitetty yhdistetty kaasu-höyryprosessi. Prosessin pääkomponentit ovat kaasuturbiini, lämmöntalteenottokattila ja höyryturbiinista. Pääpolttoaineena kombivoimalaitoksissa on yleensä maakaasu ja varapolttoaineena kevytpolttoöljy. /6/



Kuva 1.1 Kombivoimalaitos /6/

1. Kompressori
2. Polttokammio
3. Kaasuturbiini
4. Lämmöntalteenottokattila
5. Savukaasupuhallin
6. Savupiippu
7. Höyryturbiini
8. Generaattori
9. Generaattori
10. Kaukolämmönvaihdin
11. Syöttövesipumppu

Polttoaine ja palamisilma syötetään polttokammioon, joka sijaitsee kompressorin ja turbiinin välissä. Palamisilma on puristettu kompressorissa turbiinin paineeseen. Polttokammioista kuumat savukaasut virtaavat kaasuturbiiniin, jossa savukaasujen paine ja lämpötila laskevat lämpöenergian muuttuessa turbiinin liike-energiaksi. Palamisilman puristamiseen kuluu noin 60 % turbiinin tuottamasta mekaanisesta tehosta. Jäljelle jäävä teho muunnetaan samalla akselilla sijaitsevalla generaattorissa sähkötehoksi. Turbiinista tulevat vielä lämpimät savukaasut johdetaan lämmöntalteenottokattilaan. Savukaasujen

lämpötila on normaalia voimalaitoskattilaa huomattavasti alempi vain noin 600 °C. Kattila toimiikin vastavirtalämmönsiirtimenä, jossa kuumimmat kaasut kuumentavat tulistimen viimeistä vaihetta, jonkin verran jäähtyneitä kaasuja käytetään veden höyrytämiseen ja viileimpiä veden esilämmitykseen. Kattilasta saatava tulistettu höyry paisuu höyryturbiinissa kaukolämmönvaihtimen vastapaineeseen tai vaihtoehtoisesti, jos lämpökuormaa ei ole lauhduttimen alipaineeseen. Kaukolämmönvaihtimissa lämpöenergiaa käytetään vielä kaukolämpöveden kuumentamiseen. Kaukolämmönvaihtimissa jäähtynyt vesi jatkaa kiertoa ja pumpataan syöttövesipumpulla takaisin syöttövesisäiliön kautta lämmöntalteenottokattilaan.

Kaasuturbiinin sähköntuotannon hyötysuhde on noin 25..35 %. Höyryturbiiniprosessin sähköntuotannon hyötysuhde on noin 30..40 %. Yhdistämällä prosessit kombiprosessin sähköntuotannon hyötysuhdetta voidaan parantaa 45...50 %:in, koska yhdistetty prosessi toimii laajemalla lämpötila-alueella kuin kumpikaan yksittäisistä prosesseista. Voimalaitoksen kokonaishyötysuhde riippuu siitä, onko höyryturbiinin perässä lauhdutin vai kaukolämpöverkko. Lauhduttimen tapauksessa höyry paisuu alempaan paineeseen ja sähköä tuotetaan suhteessa enemmän. Yhdistetyssä lämmön ja sähkön tuotannossa on taas kokonaishyötysuhde parempi, koska prosessissa käytetään hyväksi myös lämpöenergia.

Voimalaitoksen kokonaishyötysuhde voi olla laskennallisesti periaatteessa jopa yli 100 %, koska hyötysuhteen laskemisessa käytetään alemmaa lämpöarvoa, joka ei ota huomioon savukaasujen höyrytymislämpöä. Maakaasulaitoksissa savukaasut voidaan kuitenkin jäähdyttää alle kastepisteen, koska korroosiovaaraa ei ole polttoaineen rikittömyyteen vuoksi. /6/

APROS-simulaattori

APROS (Advanced PROcess Simulator) on Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) ja Fortumin yhteistyönä kehittämä yleissimulaattori. Simulointiohjelmisto soveltuu prosessi-, säätö- ja automaatio suunnitteluun sekä prosessien analysointiin. APROS on monikäyttöinen työkalu prosessien mallintamiseen ja dynaamiseen simulointiin. Simuloinnilla voidaan tutkia järjestelmien ajallista kytkeytymistä tai erilaisten parametri- ja kytkentävaihtoehtojen vaikutusta tasapainotilaan. APROS-ohjelmisto on kirjoitettu FORTRAN 77 – ohjelmointikielellä ja se toimii työasemaympäristössä Windows tai UNIX-käyttöjärjestelmän alaisuudessa. /7/

Ohjelmiston kehitystyö alkoi vuonna 1986 ja tällä hetkellä kaupallisella APROS-ohjelmistolla on yli 100 aktiivikäyttäjää. Kehitystyö lähti liikkeelle ydinvoimaloiden tarpeista. Myöhemmin kehitystyötä laajennettiin kattamaan myös

konventionaaliset voimalaitokset. Vuonna 1994 julkaistiin ohjelmisto palvelemaan paperiteollisuuden tarpeita.

Pääpiirteissään APROS-ohjelmisto koostuu mallikirjastoista, ratkaisujärjestelmästä, tietokannasta ja käyttöliittymästä. Mallikirjasto sisältää voimalaitosprosessissa käytettävät komponentit kuten lämmönsiirtimet, pumput, turbiinit, venttiilit ja putket. Automaatio- ja sähköjärjestelmien mallintamiseen löytyy ohjelmistosta omat komponenttinsa mm. PID-säädin, laiteohjain ja generaattori. Mallit koostuvat näistä komponenteista ja komponenttien välisistä kytkennöistä. Näiden tietojen perusteella ratkaisujärjestelmä laskee mallin dynaamisen käyttäytymisen. Kerran luotuja malleja voidaan käyttää kokonaan tai osittain uudestaan uusia malleja rakennettaessa tai validoitaessa. /7/

APROS-ohjelmistossa on helppo graafinen käyttöliittymä. Mallintaminen tapahtuu käyttäen yritys-erehdys –menetelmää ja menetelmän käyttäminen on helppoa, koska ei tarvita kääntämistä tai linkkausta. Ohjelmistossa on reaaliaikainen tietokanta ja se toimii client/server –arkkitehtuurin mukaisesti. Ohjelmisto voidaan liittää muihin järjestelmiin käyttäen avoimia rajapintoja (OPC, DLL, TCP/IP, CORBA). /8/

Simuloitava malli

1.1 Simuloinnissa käytettävä voimalaitos

Mallin voimalaitos on yhdistettyyn sähkön ja lämmön tuotantoon tarkoitettu kombivoimalaitos. Sen esikuvan on käytössä oleva voimalaitos, jota kuitenkin on mallissa yksinkertaistettu. Mallista puuttuu mm. paljon säätöjä. Voimalaitoksen tärkeimmät osat ovat kaasuturbiiniyksikkö, lämmöntalteenottokattila, höyryturbiiniyksikkö, kaukolämmönvaihtimet ja kauko-lämpöakku. /4/

Kaukolämpöakkuja ladattaessa kaasuturbiinia ajetaan normaaliteholla. Ylimääräinen kaukolämpöteho ladataan akkuun, joka toimii puskurina. Sähköteho määräytyy kaasuturbiinin tehosta. Jos kaukolämpöakku ei ole käytössä, on laitosta ajettava siten että kaukolämpöteho vastaa hetkellistä kulutusta. Tämä toteutetaan siten, että kaukolämpöjohdon menoveden lämpötilaa säädetään ohjaamalla kaasuturbiinin tehoa. /1/

1.2 Simuloitavan mallin rakenne

Malli koostuu 25 aliprosessista, joita voidaan käyttää joita voidaan käyttää myös irrallisina esimerkiksi mallinnettaessa uutta voimalaitosta. Jokainen aliprosessi

on kuvattu omalla GRADES netillään. Mallin GRADES netit on lueteltu alla. /4/

- Accumulator Loading Temp. Control – Lämpöakun latauslämpötilansäädön malli
- Accumulator Circuit Flow Control – Lämpöakkupiirin virtauksen säädön malli
- Accu Loading- Discharge Power Control – Lämpöakun latauksen/ purkauksen tehonsäädön malli
- Accumulator LoadingDischarge Power – Lämpöakun lataus/purkaustehon mittaus
- Auxillary Steam System – Apuhöyryjärjestelmän malli
- District Heating Consumption Control – Kaukolämmön kulutuksensäädön malli
- District Heating Circuit – Kaukolämpöjärjestelmän malli
- District Heating Circuit of Town – Kaupungin kaukolämpöverkon malli
- Dh- Circuit Mean Pressure Control – Kaukolämpöverkon keskipaineen säädön malli
- District Heater Outlet Temp. Control - LTO- Kattilan lämmönsiirtimen menolämpötilansäädön malli
- Dh –water Plant Outlet Temp. Control – Kaukolämpöveden menolämpötilansäädön malli
- Dh- water Temperature Setpoint – Kaukolämpöveden asetusarvon malli
- Electric System – Sähköjärjestelmän malli
- FSR Control 1 – Kaasuturbiinin automaatiojärjestelmän malli
- Feed water Tank Pressure Control – Syöttövesisäiliön paineensäädön malli
- Gas Turbine – Kaasuturbiini
- Heat Accumulator Pressure Control – Lämpöakun painesäädön malli
- Heat Accumulator – Lämpöakun malli
- Level Control of Drum - Lieriön pinnan säädön malli
- Preheater Level Control – Matalapaine-esilämmittimen pinnansäädön malli
- Heat Recovery Boiler – Lämmöntalteenottokattilan malli
- RK –System – Paineenpitojärjestelmän malli
- Steam Pressure Control – Höyryn painesäädön malli
- Turbine Plant – Höyryturbiinilaitoksen malli
- UM20W01 Level Control – Lauhduuttavan kaukolämmönsiirtimen pinnansäädön malli

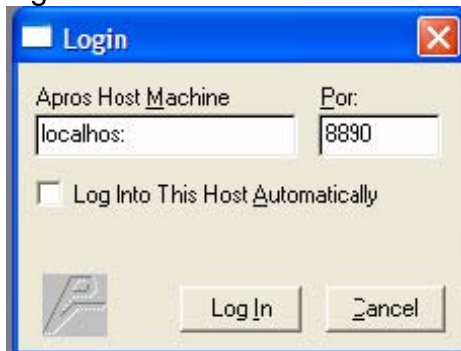
Mallit on rakenettu ohjelmassa valmiina olevien komponenttien avulla. Mallinnuksessa yleisimmin käytetty symboli on point. Se ei esitä mitään todellista komponenttia vaan on ns. laskenta piste, jolla Aprosissa yhdistetään prosessikomponentteja ja suoritetaan niihin liittyviä laskuja. /5/

1.3 Simuloinnin aloitus

Simulointiohjelmisto on asennettuna viiteen koneeseen TUAS-talon mikroluokassa. Viidestä Apros -koneesta löytyy tehtävissä käytettävät mallit. Näiden koneiden nimet ovat seuraavat: 152112, 152113, 152114, 152115 ja 152116

Ohjelma löytyy Käynnistä -valikon alta ohjelmista Apros 5.07

1. Simulointiohjelmisto käynnistetään käynnistämällä graafinen käyttöliittymä Grades
2. Login ikkunassa valitaan localhost ja portiksi 8890



3. Tehtäviin päästään käsiksi valitsemalla Project- valikosta Open Workspace ja valitsemalla Open. Tämä yhdistää ohjelman oikeaan tietokantaan.
4. Tämän jälkeen tehtävän voi valita kohdasta Project => Open Model =>
5. Mallit (tehtava1.dir ja tehtava4.dir) sijaitsevat hakemistossa C:\ \Apros 5.07\Combustion\CombustionProject\Workspace samassa hakemistossa on hakemisto EneAutBack, jossa on varmuuskopiot malleista. Kopiomalla täältä mallit yhtä hakemistotasoa ylemmäksi saa aina hyvässä tilassa olevan mallin, jos sattuu tulemaan ongelmia.

1.4 Vinkkejä ohjelman käyttöön

- Kombivoimalaitosmallin eri kuvissa esiintyy prosessikomponentteja harmaalla alustalla. Tällaiset komponentit ovat kopioita alkuperäisestä komponentista, joka esiintyy jossain muualla samassa mallissa. Painamalla hiiren oikeanpuoleista näppäintä ja valitsemalla Jump To pääsee toisten samaa komponenttia esittävien symbolien luo. Kopioita on käytetty mallissa selventämään eri kuvien välisiä kytkentöjä.
- Komponenttien tiedot saa näkyviin klikaamalla komponentin päällä

hiiren oikeaa näppäintä ja valitsemalla Properties

- Aprosin komponenttien tarkemmasta toiminnasta löytyy tietoa Aprosien HTML-pohjaisesta Help-dokumentista, jonka löytää Käynnistä -valikon alta Apros => Apros Dokumentation
- Page Up näppäimellä saadaan kuvaa kauemmaksi ja Page Down lähemmäksi, nuolinäppäimillä voi kuvaa siirtää
- Aproxessa käytetään erottimena pistettä esim 0.1 Mpa

1.5 Ohjelman käytön lopetus

1. Sulje Graafinen käyttöliittymä Grades kohdasta Project => Exit
2. **Älä tallenna muutoksia valmiisiin tehtäviin**

Kombivoimalaitoksen simulointi

1.6 Kaasuturbiinin tehonmuutos

Tehtävässä tarkastellaan voimalaitoksen tehonmuutosta. Tarkoitus on hahmottaa kuinka nopeisiin tehonmuutoksiin voimalaitos kykynee, mitä vaikutuksia kaasuturbiinin tehon muutoksella on muuhun prosessiin ja prosessiarvoihin.. Tehtävässä lasketaan voimalaitoksen kokonaishyötysuhde sekä sähköntuotannon hyötysuhde.

1.6.1 Johdanto kombivoimalaitoksen dynamiikkaan

Sähkötehon muutosnopeus on kriittinen niille voimalaitoksille, jotka osallistuvat sähköverkon sekuntitason taajuuden säätöön. Pohjoismaissa primääristä säädöstä vastaavat kuitenkin lähinnä vesivoimalaitokset. Keski-Euroopassa kuitenkin on tavallista, että myös lämpövoimalaitokset osallistuvat primääriin säätöön. Sähköverkon taajuuden primääriin eli sekuntitason säätöön osallistuvilta yksiköiltä vaaditaan nykyä 5 % :n tehon muutokseen 30 sekunnissa.

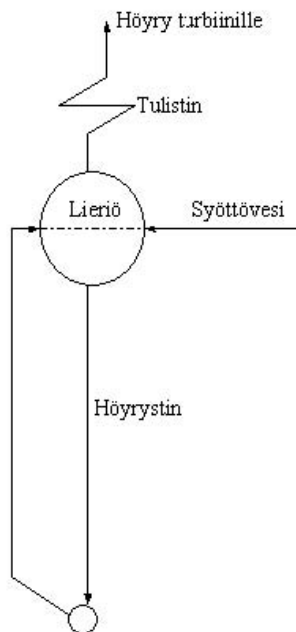
/1/

Voimalaitoksen tehoa muutetaan ohjaamalla polttoaineen syöttöä polttokammioon. Kun polttoteho kasvaa nousee savukaasujen lämpötila. Tästä seuraa savukaasujen entalpiamuutoksen kasvu kaasuturbiinissa, mikä nostaa turbiinin tehoa. Simuloitava malli on yksinkertaistettu siten, että mallista puuttuu johtosiipisäätö. Oikeassa kaasuturbiinissa on johtosiipisäätö, jonka tarkoitus on säätää palamisilmanvirtausta. Koska säätö puuttuu, vaihtelee savukaasujen lämpötila-alue kuormaa muutettaessa huomattavasti.

Voimlaitoksessa savukaasujen lämpötilaa rajoittaa siipimateriaalien kestävyys. Usein kaasuturbiinin siipiä jäähdytetäänkin puhaltamalla siipien läpi kompressorin välitosta otettua ilmaa. Mallissa savukaasujen lämpötilaa rajoitetaan kuitenkin säätöpiirillä (kuvassa FSR Control 1), jonka tarkoituksena on rajoittaa polttoaineen syöttöä mikäli lämpötila ylittää tietyn rajan.

Mallissa ei ole säätöpiiriä tuorehöyryn lämpötilalle. Eniten käytetty tapa höyryn lämpötilan säätöön voimalaitoksissa on syöttöveden ruiskuttaminen tuorehöyryn joukoon.

Lämmöntalteenottokattilassa vesikierto pidetään tasapainossa säätämällä lieriön pintaa. Lieriön tehtävä kattilassa on toimia veden ja höyryn erottimena. Vesi pumpataan kattilapaineeseen syöttövesipumpulla syöttövesisäiliöstä ekonomaiseriini eli veden esilämmittimeen. Esilämmittimessä lämmennyt vesi jatkaa lieriöön. Lieriössä vesi on kylläisessä tilassa, lieriön yläosassa on höyryä ja alaosassa vettä. Höyry virtaa lieriön yläosasta tulistimille ja alaosasta vesi jatkaa kiertoaan höyrystimessä.



Kuva 4.1 Vesi-höyrykierto kattilassa

Höyryturbiinin teho lasketaan höyryn massavirran ja höyryn entalpia muutoksen tulona. Höyryn entalpia riippuu höyryn lämpötilasta ja paineesta. /6/

$$P_{\text{höyryt.}} = m_{\text{höyry}} * (h_1 - h_2)$$

h_1 = tuorehöyryn entalpia eli turbiiniin menevän höyryn entalpia

h_2 = höyryn entalpia turbiinin jälkeen

Mallissa on turbiiniin etupainesäätö (kuvassa Steam Pressure Control), joka pitää turbiiniin menevän höyryn paineen vakiona. Usein kombivoimalaitoksessa käytetään myös ns. liukuvan paineen säätöä, jolloin tuorehöyryn paine saa muuttua tietyissä rajoissa. Tämä säätötapa on monimutkaisempi mutta turbiinin hyötysuhde kuorman vaihdellessa on parempi. /4/

1.6.2 Voimalaitoksen hyötysuhde

Voimalaitoksen hyötysuhde voidaan määrittää syötetyn polttoainetehon ja saadun sähkötehon ja lämpötehon suhteena. Maakaasun polttoaineteho lasketaan tilavuusvirran ja tehollisen lämpöarvon tulona.

Polttoaineteho

$$\phi_{pa} = V H_u$$

Maakaasun tehollinen lämpöarvo on noin 36 MJ/m³ (n), maakaasun tiheys on 0,72 kg/m³ (n)

Sähköntuotannon hyötysuhde

$$\eta_g = \frac{P_{\text{sähkö}}}{\phi_{pa}}$$

Sähköä kombivoimalaitoksessa tuottaa sekä kaasuturbiini että höyryturbiini.

Kokonaishyötysuhde

$$\eta_{\text{kok}} = \frac{\phi_{\text{kaukoliämpö}} + P_{\text{sähkö}}}{\phi_{\text{lämpö}}}$$

Lämpötehon laskemisessa tulee ottaa huomioon myös mahdollinen lämpöakun purku/latausteho

1.6.3 Tehtävänanto

Muutetaan kaasuturbiinin tehoa askelmaisesti ylöspäin. Koska kaukolämpökuormaa ei kuitenkaan muuteta, niin lisääntynyt lämpöteho lataa lämpöakkuja. Tehtävässä muutetaan sähkötehon asetusarvoa askelmaisesti. Mallissa tehon vaihteluväli on 100 %..104 %. Nimellisteho on 103 %. 100% vastaa minimitehoa ja 104 % maksimitehoa. /1/

Tallenna seuraavien suureiden vasteet

- kaasuturbiinin ja höyryturbiinin tuottamat sähkötehot
- kaasuturbiinin pakokaasujen lämpötila ja massavirta
- maakaasun tilavuusvirta
- tuorehöyryn paine, lämpötila ja massavirta
- kaukolämpöakun latausteho

1. Arvioi voimalaitoksen sähkötehon muutosnopeutta
2. Miten kaasuturbiinin pakokaasujen lämpötila, tuorehöyryn paine, massavirta ja lämpötila käyttäytyvät tehonmuutostilanteessa ja pohdi mistä muutokset johtuvat
3. Määritä tuotettu sähköteho eri tehoalueilla 103 %, 102,3 %, 102,5 %
4. Laske sähköntuotannon hyötysuhde sekä kokonaishyötysuhde tehon asetusarvolla 103% ja prosessiarvojen tasaannuttua.
Kaukolämmönkulutus 45,5 MW on mallissa vakio simuloinnin ajan.

1.6.4 Simuloinnin vaiheet

1. Avaa Tehtävä 1 (Project => Open Model => Tehtava1)
2. Etsi tehtäväannossa pyydetyt vasteet Trendi-ikkunoihin. Tulosten käsitteleminen on helpompaa kun samaa yksikköä olevat trendit ovat samassa ikkunassa. Esim. kaikki lämpötilat samaan ikkunaan ja tehot samaan ikkunaan. Maakaasun massavirta kannattaa kuitenkin valita omaan ikkunaan, koska se on pieni höyryn ja savukaasujen massavirtaan verrattuna

- Avaa kuva Electric System. Valitse trendiin (Trends => Pick...) kuvan alalaidassa keskellä olevasta SP10 generaattorista seurattavaksi suureeksi sähköteho (Produced Active Power)
- Lisää samaan kuvaa kaasuturbiinin tuottama sähköteho. Valitse äsken luodusta trendi-ikkunasta Add ja valitse sitten vasemmassa alanurkassa olevasta QP10D001 generaattorista seurattavaksi suureeksi sähköteho. Voit sulkea Electric System kuvan tämän jälkeen, trendi-ikkuna jää silti näkyviin.
- Avaa kuva Gas Turbine lisää uusi Trendi-ikkuna (Trends => Pick...) ja valitse venttilli QN10S001 seurattavaksi suureeksi maakaasun massavirta

- Lisää trendi savukaasujen lämpötilalle omaan ikkunaan (Trends => Pick...) Gas Turbine- kuvan oikeassa reunassa olevasta pointista NW10J010
 - Lisää trendi savukaasujen massavirralle omaan ikkunaan Pointin vasemmalla puolella olevasta putkesta QA10Z020
 - Lisää trendi tuorehöyryn paineelle. Avaa kuva Heat Recovery Boiler. Valitse trendiin To Turbine Plant tekstin yläpuolella oleva pointti RA15J010 ja valitse seurattavaksi suureeksi paine
 - Lisää savukaasujen lämpötilan trendi-ikkunaan (Add...) samasta pointista RA15J010 trendi tuorehöyryn lämpötilalle
 - Lisää turbiinille johdettu höyryn massavirta savukaasujen massavirran trendi-ikkunaan (Add...) pointin RA15J010 vasemmalla puolella olevasta putkesta QA10Z020
 - Lisää vielä trendi kaukolämmön lataus/purkausteholle kuvasta Accumulator Loading- Discharge Power tekstin Calculated Power yllä olevasta pointista MUL.52BXJ01 ja seurattavaksi suureeksi Value of analog signal (Trendi näyttää tehon MW:na)
3. Muuta trendien tallennus väliksi 10 (Tools=>Options=>Trend Interval)
 4. Aloita simulointi (Tools=> Run) Simulointi alkaa kun painat Play-näppäintä (Simulointia on helpoin seurata trendeistä. Trendi Ikkunoiden alareunassa on zoomaus näppäimiä)
 5. Simulointiaikaa voit nopeuttaa kuvan FSR Control 1 "Speed Control" laatikosta muuttamalla Desired Simulation Time. (esim. viisinkertainen nopeus, kone voi jumittua liian suurilla arvoilla)
 6. Simuloi noin 10 min. Tehon asetusarvon on alussa 103 %
 7. Avaa kuva FSR Control. Aseta tehon asetusarvoksi (Setpoint Value) 102.3 % SP-komponentista SPFSR1 (sijaitsee kuvan oikeassa reunassa keskellä). Asetusarvoa pääset muuttamaan klikkaamalla hiiren oikealla näppäimelle kompetetin päällä ja valitsemalla Properties...
 8. Simuloi noin 30 min niin, että arvot suurinpiirtein tasoittuvat.
 9. Aseta tehon asetusarvoksi 102.5 %
 10. Simuloi noin 20 min
 11. Pysäytä simulointi ja vastaa tehtävän kysymyksiin. Käytä apuna trendejä.
 12. **Kun lopetat tehtävän tekemisen älä tallenna muutoksia malliin.**

1.7 Kaukolämmön tuotannon askelvastekoe

Tehtävässä tehdään kaukolämmön tuotannon askelvastekoe. Tarkoituksena on tutkia kombivoimalaitoksen kykyä vastata kaukolämpöverkon tarpeeseen. Tutkimuksen kohdesuureena on kaukolämpöverkkoon menevän veden lämpötilan vaste. Askelvastekoe on käytännössä helpoin tapa määrittää prosessi.

1.7.1 Johdanto askelvastemenetelmään

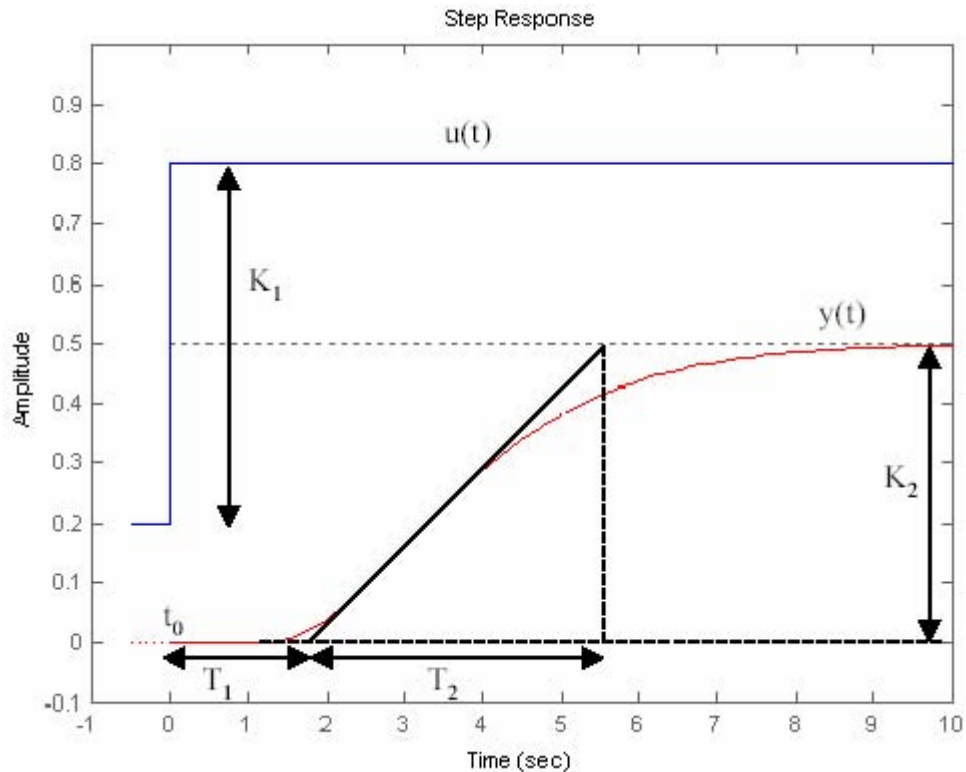
Askelvaste koe on helppo järjestää, eikä sen soveltaminen edellytä minimissään muuta kuin tulosteen kokeesta, viivoittimen ja kynän. Monia virtaus- ja sekoitusprosesseja voidaankin kuvata sen avulla tyydyttävästi. /3/

Koska säätimen parametrien valinta riippuu säädettävästä prosessista, on parametrien valintaa varten määrättävä prosessista tietyjä karakteristisia suureita. Näitä prosessille ominaisia suureita voidaan määrittää esimerkiksi prosessin askelvasteen perusteella. Askelvastekokeen tapauksessa säätimen parametrien valinta tehdään askelvastemenetelmässä käytettävän Ziegler-Nicholsin kriteerin perusteella. Tehtävässä rajoitetaan tutkimaan prosessille ominaisia suureita. /2/

Askelvastemenetelmässä säätöpiirin myötähaara katkaistaan (eli säädin on käsiajolla). Poistetaan piirissä esiintyvät kuormitushäiriöt. Tehdään askelmainen muutos prosessin lähtöön. Kerätään talteen sekä ohjaus- että mittaussignaalia niin kauan kunnes prosessi on asettunut uudelle tasolle. /3/

Saadun mittaussignaalin perusteella prosessin ulostulosta määritetään prosessille ominaisia suureita, joiden avulla säätäjän parametrien laskeminen on mahdollista. Nämä suureet ovat, kuollut aika, nousuaika ja ulostulon lopullinen arvo. Tehtävässä tutkitaan kyseisiä suureita.

Kuvassa 4.4 on esitetty prosessin askelkokeen karakteristiset suureet. Kuolleella ajalla T_1 tarkoitetaan viivettä, jonka jälkeen prosessi reagoi askelherätteeseen. Nousuaika T_2 määritetään siten, että muutosilmiön tangentin käännepisteeseen piirretään suora ja tutkitaan missä pisteissä suora leikkaa suureen alkutason 0 ja lopputason $y(t)$. Tehtävässä nämä suureet on tarkoitus määrittää silmämääräisesti laskemalla menoveden lämpötilan vasteesta.



Kuva 4.4 Prosessin askelkokeen karakteristiset suureet /2/

1.7.2 Tehtävänanto

Tehtävän tapauksessa lämpöakku on ohitettuna ja kaukolämpöjohdon menoveden lämpötilan säätö on käsiajolla. Kaasuturbiinin tehoa muutetaan askelmaisesti.

Tallenna kaukolämpöverkkoon menevän veden lämpötilan vaste ja arvio kombivoimalaitoksen kykyä vastata kaukolämmön tarpeen muutokseen?

Laske kuollut aika, nousuaika?

Mistä kuollut aika johtuu?

Miksi veden lämpötila ei tasaannu vakioarvoon vaan jatkaa hidasta nousua kokeen päätyttyä?

1.7.3 Simuloinnin vaiheet

Tarkoituksena on tehdä prosessille simuloimalla askelvastekoe ja määrittää sen

perusteella prosessin vaste.

Simuloinnin vaiheet:

1. Avaa oikea malli (Project => Open Model => Tehtava4)
2. Luo trendit kaukolämpöveden lämpötilalle (UM50J035) ja voimalaitoksen asetusarvolle (SPFSR1). Kaukolämpöveden lämpötila löytyy osiosta District heating circuit.
3. Aseta tehon asetusarvo alkutilanteessa 102.3 %.
4. Simuloi kunnes lämpötila tasaantuu (Tools => run)
5. Pysäytä simulointi
6. Aseta tehon asetusarvon pyyntö 102.5%: kuvasta FSR Control 1 keskellä oikealla olevasta SP-moduulista SPFSR1 (klikkaa hiiren oikealla korvalla => properties => Setpoint value)
7. Simuloi 30 minuuttia
8. Lopeta simulointi ja tulosta trendi ja vastaa kysymyksiin

TYÖSELOTUS

Vastaa työselostuksessa tehtäväännoissa annettuihin kysymyksiin. Liitä kuvat oleellisimmista trendeistä.

LÄHDELUETTELO

- /1/ Välisuo, Martti. Kombivoimalaitoksen dynamiikan tutkiminen simuloimalla. Fortum Power and Heat Oy. 1999.
- /2/ Nihtilä, Markku. Automaatio- ja säätötekniikan laboratoriotyö, P-, PI- ja PID-säätö. TKK Systeemitekniikan laboratorio. 1976.
- /3/ Harju, Timo. PID-säätimen käytännön viritysmenetelmät. Control CAD Oy. 2000.
- /4/ Mohsen, T. Johdatus APROS-kombivoimalaitosmallin kuviin. 1999
- /5/ Ollikainen Toni. APROS-grades aloittelijan opas. 1999
- /6/ Pirilä, Pekka. Energiatalouden ja voimalaitostekniikan perusopintojakso opetusmonisteet 2001

/7/ Ollikainen, Toni. Soodakattilalaitoksen integroitu prosessimalli. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 2000.

/8/ Ollikainen, Toni. APROS simulointiohjelmisto. Esitelmä. VTT. 2003.