

# Kedelsimulator til undervisningsbrug

Thomas Østergaard

10. september 2005

## 1 Forord

Teknologisk Institut har i de seneste 5 år arbejdet med simulatorer til undervisning og udvikling indenfor fjernvarmeinstallationer, brugsvandsanlæg og ventilationsanlæg. I den forbindelse ønskes udviklet en simulator til oliefyringsanlæg i husstands størrelse. Projektet er udført som et virksomhedsprojekt ved Teknologisk Institut, under vejledning af Otto Paulsen (*Teknologisk Institut*) og Brian Elmegaard (*DTU - institut for Mekanik Energi og Konstruktion*). Projektets omfang er på 7,5 ECTS point.

<i>INDHOLD</i>	3
----------------	---

## **Indhold**

<b>1 Forord</b>	<b>2</b>
<b>2 Nomenklaturliste</b>	<b>4</b>
<b>3 Formål</b>	<b>5</b>
<b>4 Modelleringsmetode</b>	<b>5</b>
<b>5 Systembeskrivelse</b>	<b>5</b>
<b>6 Programmets opbygning</b>	<b>6</b>
<b>7 Kedelmodellen</b>	<b>6</b>
<b>8 Shuntventil</b>	<b>10</b>
<b>9 Cirkulationspumpe</b>	<b>11</b>
<b>10 Oliebrænderen</b>	<b>12</b>
<b>11 Varmtvands beholder</b>	<b>14</b>
<b>12 Reguleringsystemet</b>	<b>14</b>
<b>13 Brugerfladen</b>	<b>15</b>
<b>14 Validering</b>	<b>16</b>
<b>15 Benyttet Litteratur</b>	<b>17</b>
<b>16 appendix 1</b>	<b>18</b>
<b>17 appendix 2</b>	<b>20</b>

## 2 Nomenklaturliste

symbol	betydning
k1,k2,k3	koefficienter til fordeling af afsat effekt i kedel fra hhv: røggas, varmtvandsbeholder og tab
$C$	varmekapacitet [ $\frac{J}{K}$ ]
$\dot{m}$	massestrøm
T	temperatur [C]
T1...T10	temperatur af kedelelementerne 1-10 [C]
$\varepsilon$	konstant til bestemmelse af røggassens afgangstemperatur
n	element nr.
$c_p$	specifik varmekapacitet ved konstant tryk [ $\frac{J}{kgK}$ ]
vvb	varmt vands beholder
UA	transmissionskoefficient*areal [ $\frac{W}{K}$ ]
$T_{adiabatisk flamme}$	Adiabatisk flammetemperatur [C]
P	effekt [W]
$\lambda$	luftoverskudstal
$H_n$	nedre brændværdi af olie [ $\frac{J}{kgK}$ ]
s	stratificeringsfaktor
f	vægtforhold imellem tør luft og brændsel
f*	vægtforholdet f ved støkiometrisk forbrænding
Kv	Kv værdier opgives i [m <sup>3</sup> /h] ved 1 bar
L	maksimalt luftindtag igennem luftspjæld [kg/s]
D	oliedyse størrelse [USgal/h]

Symbolerne vil blive brugt sammen med sænket skrift for at vise hvilken tilstand eller hvilket stof der hentydes til. F.eks. menes der med  $T_{roeggas}$  temperaturen af røggassen.

### 3 Formål

Projektet har til formål at udvikle en dynamisk model af processerne i en oliekedel. Modellen skal have en detaljeringsgrad, som vil gøre den anvendelig til undervisning af kedelteknikere i indreguleringsmetoder af oliekedler. Oliekedlen der er valgt som "forbillede" for modellen, er af typisk hustandsstørrelse (20 kW), og har indbygget varmtvandsbeholder. Modellen af oliekedlen skal sammenkobles med en eksisterende model af et radiatorsystem, som forsyner en husstand med varme, og et rørsystem, der benyttes til varmt brugsvand. Det er tanken, at lave en grafisk brugerflade, som tillader brugeren at regulere på typisk tilgængelige reguleringsparametre, og der skal i modellen i øvrigt være mulighed for at ændre på fysiske egenskaber af kedlen, så et bredere spektrum af forekommende indreguleringstilfælde kan beskrives.

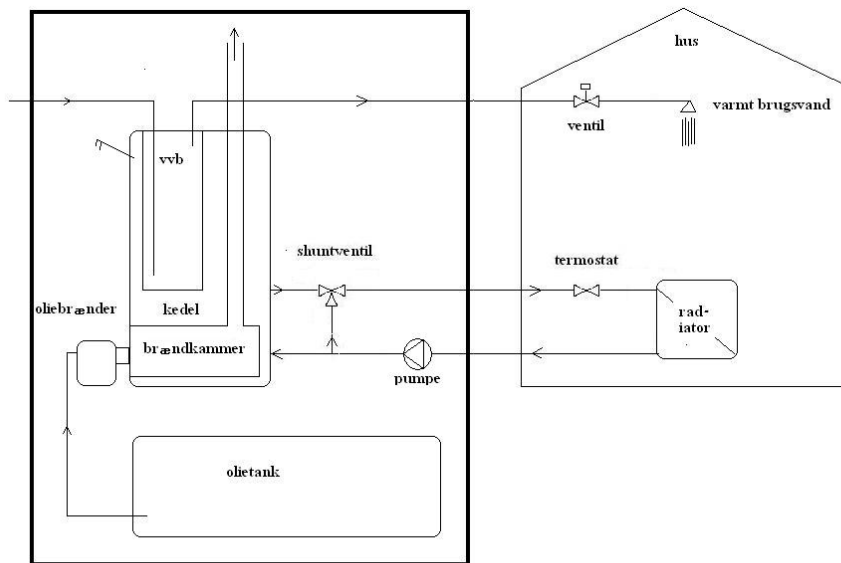
### 4 Modelleringsmetode

Til formålet benyttes programmeringssproget **LabVIEW**, med tilføjelsespakken "**GSIM Control and Simulation toolkit**". GSIM pakken tillader simulering vha. blokdiagrammer, og indeholder diverse forprogrammerede blokke såsom: integratorer, regulatorer (PI og PID) og transportforsinkelser. En anden vigtig begrundelse for at anvende LabVIEW som programmeringsmiljø er, at der kan genereres EXE filer, så det færdige program nemt kan distribueres til kursister. LabVIEW er desuden velegnet til grafisk fremstilling af resultater og brugerfladen kan tilnærmes virkelige fysiske systemer vha. knapper og grafik. Dette har også været medvirkende til at valget er faldet på LabVIEW som værktøj.

### 5 Systembeskrivelse

I projektet fokuseres på oliekedlen og de komponenter som den sædvanligvis er opbygget af. Af komponenter kan nævnes: varmtvandsbeholder, brænder, shuntventil, pumpe, termostat og overkogstermostat. Desuden kræves der en olieforsyning fra en olietank. Oliekedlen er tilkoblet et radiatorsystem og et brugsvandssystem, der tidligere er udviklet modeller for. Radiatorerne afgiver varme til et enfamiliehus, som der ligeledes er udviklet en model af. Det i projektet beskrevne system er i figur 1 afgrænset af en kraftig sort linje:

Olien pumpes fra olietanken til brænderen, som forstøver olien og blander den med luft, så den kan afbrændes i brændkammeret. Varme fra forbrændingen overføres til det omgivende kedelvand, og røggassen ledes ud igennem en skorsten. Fra kedelvandet overføres varme til varmtvandsbeholderen. Varmt vand tappes fra kedlen når termostaten åbnes, og fra varmtvandsbeholderen tappes vand når ventilen åbnes. En temperaturføler, som måler tempera-



Figur 1: Systemdiagram

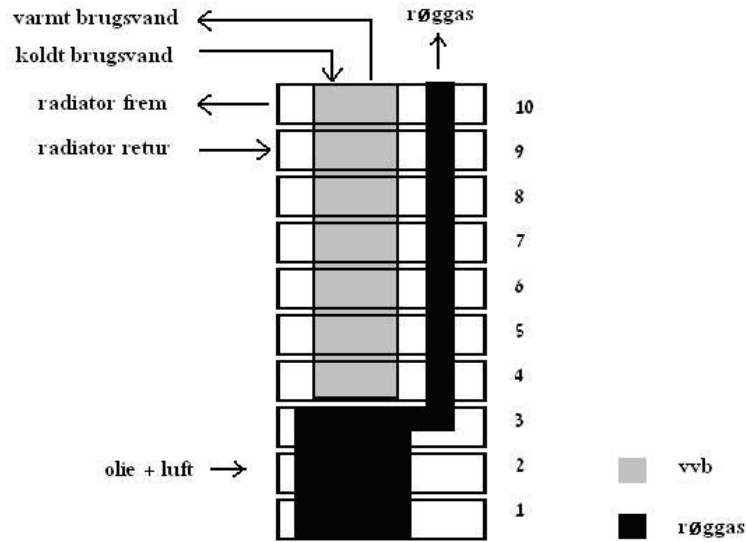
turen af kedelvandet styrer brænderens on/off forløb. Pumpen cirkulerer vandet i radiatorkredsen. Shuntventilen blander returvand fra radiator og kedelvand til en ønsket temperatur, som kan indstilles på shuntventilen.

## 6 Programmets opbygning

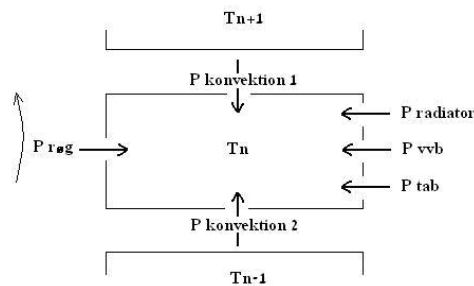
Programmet er opbygget af komponentmodeller, som kaldes fra et hovedprogram. Beregning af værdier, er så vidt muligt, holdt inden for de komponenter som de vedrører, og beskrivende parametre for en komponent er definerede i denne komponent. F.eks. beregnes forbrændingsprodukternes sammensætning i brændermodellen. Rækkefølgen hvormed komponentmodellerne kaldes styres af LabVIEW. I de følgende afsnit gennemgås modellerne for de enkelte komponenter som er blevet implementeret under projektet.

## 7 Kedelmodellen

Kedlen som modelleres er af typen: BAXI ,Block 20 MK3. Det er en ikke-kondenserende type, med indbygget varmtvandsbeholder. Kedlen har en nominel effekt på 20 kW og er har fået energimærket E på Teknologisk Institut. Vandindholdet er 100 l i både kedel og varmt vands beholder. Data for kedlen er hentet fra den tilhørende manual. En oversigt af kedlens opbygning og komponenter ses i appendiks 1.



Figur 2: Oliekedlen



Figur 3: Et kedelement

Kedlen er den mest komplicerede af de modellerede objekter. I modellen opdeles kedlen i 10 elementer, som hver kan beskrives med en effektbalance. I figur 2 er vist hvordan opdelingen af kedlen er i modellen.

Elementernes fysiske egenskaber er forskellige, pga. kedlens opbygning, men alle elementer beskrives ved samme ligning. Et element kan beskrives ved de indgående effekter, som er skitseret på figur 3.

Ligningen bliver en differentiallyigning af første orden, hvor elementets varmekapacitet indgår.

$$C_n \frac{dT_n}{dt} = P_{radiator_n} + P_{roegn} + P_{vnb_n} + P_{konvektion1_n} + P_{konvektion2_n} + P_{tab_n}$$

- $C_n$  = elementets varmekapacitet [J/K]
- $T_n$  = elementets temperatur [K]
- $P_{roeg}$  = effekttilførsel fra røggasser [W]
- $P_{radiator}$  = effektudveksling med radiator [W]
- $P_{vvb}$  = effektudveksling med den interne varmtvandsbeholder [W]
- $P_{tab}$  = varmetab til omgivelser [W]
- $P_{konvektion1}$  = effektudveksling med element  $n + 1$  [W]
- $P_{konvektion2}$  = effektudveksling med element  $n - 1$  [W]

Elementets varmekapacitet  $C_n$  vurderes ud fra oplysninger om kedeltypen, volumen og vægten af jern i kedlen. Effektudvekslingen imellem røggas og elementer  $P_{roeg}$ , beskrives ved røggassens temperaturfald igennem kedlen. Starttemperaturen for røggassen er den adiabatisk forbrændingstemperatur, og temperaturen af røggassen ved afgang fra kedlen beregnes som:

$$T_{afgang} = -\varepsilon * (T_{adiabatiskflamme} - T_{elementnr.10}) + T_{adiabatiskflamme}$$

For  $\varepsilon = 1$  fås en røggastemperatur svarende til temperaturen af det sidste kedelement, hvorimod  $\varepsilon = 0$  giver en afgangstemperatur svarende til  $T_{adiabatiskflamme}$ . I modellen er  $\varepsilon$  sat til 0,9, og man får derfor en stor afhængighed af det sidste kedelements temperatur.

Når indfyret oliemængde samt luftoverskudstal er kendt, kan en massesstrøm beregnes for røggassen, som passerer igennem kedlen, og den totale afsatte effekt kan beregnes som:

$$P_{afsat} = \dot{m}_{roeggas} c_{p_{roeggas}} (T_{adiabatiskflamme} - T_{afgang})$$

Den afsatte effekt fordeles på de 10 elementer vha. koefficienter som indgår i effektbalancerne for de enkelte elementer.  $P_{roeg}$  for element nr.  $n$  kan altså skrives som

$$P_{roeg_n} = k1_n P_{afsat},$$

hvor  $k1_n$  er fordelings koefficienten for elementet. Det er selvfølgelig et krav, at summen af fordelings koefficienterne = 1, men derudover er værdierne af koefficienterne vurderet ud fra kedelens opbygning. I modellen er brændkammeret indeholdt i de 3 nederste elementer, og det er her størstedelen af effektudvekslingen med røggassen finder sted. Derfor er koefficienterne for disse 3 elementer større end for de resterende elementer. En oversigt over



koefficienternes værdier kan ses i appendiks 2.

Effektudvekslingen imellem elementet og varmtvandsbeholderen  $P_{vvb_n}$  beregnes vha. en UA-værdi for hele den neddykkede beholder, som er estimeret til 1000 [W/K]. Igen benyttes fordelingskoefficienter til at "fordele" UA-værdien imellem kedelementerne.

$$P_{vvb_n} = k2_n U A_{vvb} (T_{vvb} - T_n)$$

$P_{radiator}$ : Radiatorsystemet er tilsluttet øverst i kedlen. I modellen betyder det, at fremløbet til radiatoren er tilsluttet i element nr 10, returløbet er tilsluttet element nr 9. Det antages at vandet i elementerne opblandes øjeblikkeligt, og derfor kan påvirkningen af radiatortilslutningen til hhv. element nr 9 og element nr 10 skrives som:

$$P_{radiator_9} = \dot{m}_{radiator} c_p (T_{retur} - T_9)$$

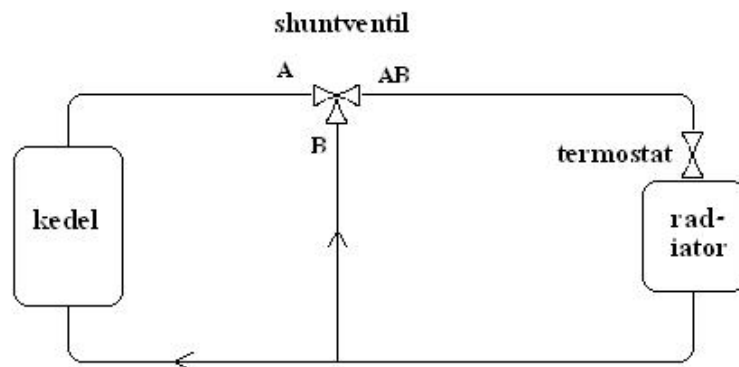
$$P_{radiator_{10}} = \dot{m}_{radiator} c_p (T_9 - T_{10})$$

, hvor  $T_{retur}$  er temperaturen af returvandet fra radiatorkredsen. De øvrige elementer "mærker" derfor kun tilslutningen af radiatorsystemet som en ændring af temperaturen i de øverste lag.

$P_{konvektion}$ : Intern konvektion i kedlen beskrives i modellen som varmeledning imellem lagene, men med visse regler for varmeudvekslingen. Varmeledningen skal ske opad, hvilket betyder at en positiv effekt, som tilføres element nr. n, skal komme fra element nr. n-1. Yderligere er det et krav, at temperaturen af element nr. n-1 er højere end temperaturen af element nr. n. Størrelsen af effekten er:

$$P_{konvektion_n} = s(T_{n-1} - T_n)$$

, hvor s er en "stratificerings faktor" som er fælles for alle elementerne. Den tildeles en værdi således at temperaturprofilen igennem kedlen ser realistisk ud, og ikke viser større interne temperatur differenser end 20 K, når kedlen er i drift. Ideen er, at simulere den naturlige konvektion, som vil ske internt i en kedel, hvor varmen tilføres i den nederste del. Jo mere varme der tilføres, desto større temperaturdifferens, og desto mere konvektion. Når varmetilførslen stoppes vil konvektionen fortsætte, indtil der er opnået en ensartet temperatur i kedlen. I en kedel uden varmetilførsel og uden tapping vil den interne konvektion føre til højere temperatur øverst i kedlen, men dette fænomen tager modellen ikke højde for. Størrelserne  $P_{konvektion1}$  og  $P_{konvektion2}$ , som indgår i et elements effektbalance hentyder til, at både tilført effekt fra element n-1 og afgivet effekt til element n+1 medregnes i



Figur 4: Shunt ventilen

element  $n$ 's effektbalance.

Tabet fra et element  $P_{tab_n}$  er den varmemængde som afgives til den omgivende luft. Som for varmtvandsbeholderen, er en UA-værdi fra kedel til luft blevet estimeret, og derved fås, på tilsvarende vis:

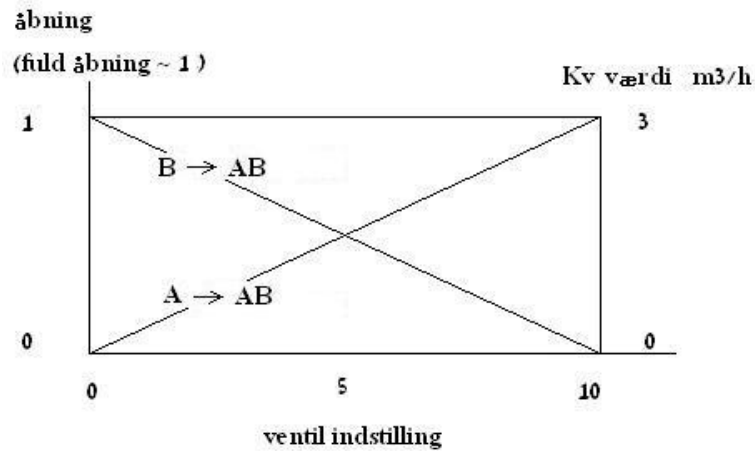
$$P_{tab_n} = k3_n U A_{omg} * (T_{omg} - T_n)$$

$U A_{omg}$  er estimeret til at være 10 [W/K].

## 8 Shuntventil

I shuntten blandes kedelvand på en temperatur på f.eks. 75 C med returvand fra radiatorerne, se figur 4. Shuntventilen modelleres som en lineær ventil og har indstillingsmulighed fra 0-10, svarende til en varmeydelse på 0-20 kW. Indstilles ventilen på 0, er der lukket fra  $A \rightarrow AB$ , og fuldt åbent fra  $B \rightarrow AB$ . Indstilles ventilen til 5, er der halv åbning fra begge sider, osv. Indstillingen af ventilen bestemmer blandingsforholdet. Shuntventilens Kv værdier varierer ligeledes lineært med indstillingen. Den maksimale Kv værdi som kan opnås igennem begge shuntventilens to porte er 3 [m<sup>3</sup>/h], og den minimale er 0.

Figur 5 viser hvordan ventilen er modelleret. Shuntventilen er en motorventil, og skal indstilles via en regulator, som tillader både manuel og automatisk styring. Den automatiske styring sker med PID regulering, hvor alle relevante reguleringsparametre, samt setpunkt kan indstilles af brugeren. Styresignalet er den målte fremløbstemperatur til radiatorerne.



Figur 5:

## 9 Cirkulationspumpe

Cirkulationspumpen kan indstilles til at yde forskellige pumpetryk. Pumpetrykket samt termostats og shuntventilens indstilling er bestemmende for mængden af vand der cirkuleres i radiatorkredsen. Desuden er der en fast modstand i kedel og rørsystem. Kedlens Kv-værdi er sat til 10 [ $m^3/h$ ], og rørenes Kv-værdi er sat til 4 [ $m^3/h$ ]. Med kendskab til det samlede systems Kv-værdi og pumpetrykket, kan flowet beregnes med formlen:

$$\dot{m} = \sqrt{\Delta p} K v_{system}$$

-her skal pumpetrykket indsættes i [bar] og flowet beregnes i [ $m^3/h$ ]. Ved benyttelse af regneregler for parallel og seriekoblede modstande i et rørsystem kan det samlede systems Kv-værdi beregnes:

$$K v_{system} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{K v_{shunt+kedel}^2} + \frac{1}{K v_{termostat}^2} + \frac{1}{K v_{roer}^2}}}$$

hvor,

$$K v_{shunt+kedel} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{K v_{kedel}^2} + \frac{1}{K v_{A \rightarrow AB}^2}}} + K v_{B \rightarrow AB}$$

- $K v_{A \rightarrow AB}$  = shuntventilens Kv-værdi fra punkt A til AB [ $m^3/h$ ]
- $K v_{B \rightarrow AB}$  = shuntventilens Kv-værdi fra punkt B til AB [ $m^3/h$ ]

## 10 Oliebrænderen

I brænderen blandes olie med luft vha. en dyse og en ventilator. Ved opstart af brænderen er der følgende 3 trin som styres elektronisk. 1: olieforvarmning indtil temperaturkrav er nået. 2: start af oliepumpe samt ventilator(15 s), 3: magnetventil åbnes og olien antændes med gnisttænder.

Når brænderen kører er der konstant flammeovervågning, som sikrer at den indsprøjtede olie afbrændes, og at grænseværdier for sodtal og CO indhold i røggassen overholdes. Opstartsfasen er modelleret med de nævnte trin. Brænderen tændes derfor med minimum 15 sekunders forsinkelse. Olieforvarmningen modelleres med en tidsforsinkelse, som er proportional med differencen imellem den aktuelle olietemperatur og temperaturkravet.

$$t_{olieforvarmning} = T_{oliekrav} - T_{oliestart}$$

Oliens starttemperatur,  $T_{oliestart}$ , antages at være den samme som temperaturen af det nederste kedelement.

Oliens sammensætning antages at være  $C_xH_y$ , hvor  $x = 2$  og  $y = 4$ . Til beregning af sammensætningen af den tørre røggas for  $\lambda \geq 1$ : benyttes følgende formler:

$$CO_2 = \frac{\frac{x}{12x+y}}{0,0347f - \frac{y}{4(12x+y)}}$$

$$CO = 0$$

$$O_2 = \frac{0,00725f - \frac{x + \frac{y}{4}}{12x+y}}{0,0347f - \frac{y}{4(12x+y)}}$$

$$N_2 = 1 - (CO_2 + O_2)$$

,hvor  $f = \lambda f^*$  og  $f^* = 14,8$ .  $f^*$  er det antal kg tør luft som er nødvendige for en støkiometrisk forbrænding af 1 kg olie.

For tilfældet  $\lambda < 1$ : bliver sagen noget mere kompliceret, da reaktionsprodukternes sammensætning er temperatur afhængig. En metode til bestemmelse af sammensætningen indebærer algebraisk løsning af et sæt ligninger for en given temperatur. Dette er gjort for temperaturen 1500 K, som er vurderet til at være normal forbrændingstemperatur i brænderen. Sammensætningen af røggassen er siden blevet tilnærmet med polynomierne:

$$CO_2 = 100(-0,03\lambda^2 + 0,2711\lambda - 0,0955)$$

$$CO = 100(-0,1891\lambda^2 + 0,7254\lambda + 0,5362)$$

$$N_2 = 100 - (CO_2 + CO)$$

$$O_2 = 0$$

Der ses bort fra  $H_2$  i røggassen.

Oliebrænderens dysestørrelse, olietryk samt luftspjældets indstilling er bestemmende for hhv. indsprøjtet oliemængde og luftoverskudstallet ved forbrændingen. Dysestørrelsen  $D$  angives i  $[\frac{USgal}{h}]$  ved 1 [bar] trykfald over dysen, og olietrykket angives i [bar]. Luftspjældets åbning kan indstilles fra [1-100], og heraf findes, med en simpel sammenhæng, en værdi for luftoverskudstallet:

$$\lambda = \frac{f}{f^*}, \text{ hvor } f = \frac{\frac{\text{luftspjældåbning}}{100} L}{\dot{m}_{olie}} \text{ og } f^* = 14,8 \text{ [kg]}$$

,hvor  $L$  er den maksimale luftmængde [kg/s] der kan ledes igennem spjældet.  $L$  er tildelt værdien 0,02 [kg/s] ud fra det kriterie at den maksimale oliemængde skal kunne forbrændes ved  $\lambda = 1,5$ . Den indsprøjtede oliemængde i [kg/h] beregnes med formlen:

$$\dot{m}_{olie} = 3,72D\sqrt{\frac{p_{olie}[\text{bar}]}{10}}$$

Sodtal bruges af kedelteknikeren til at vurdere forbrændingens tilstand. Sodtallet måles ved at suge røggas igennem et hvidt papirfilter, og sammenligne den dannede sodplet med en farveskala. Sodtallet modelleres her ved en lineær sammenhæng med  $\lambda$ , med ligningen:

$$sodtal = -49.5\lambda + 54.533$$

For  $\lambda > 1,1$  fastsættes sodtallet til 0.

I brændermodellen bestemmes desuden den adiabatisk flammetemperatur som :

$$T_{\text{adiabatisk flamme}} = \frac{H_n}{(c_{p\text{røggas}}(1+\lambda f^*))} + T_{\text{forbrændingsluft}}$$

$H_n[\frac{J}{kgK}]$  er den nedre brændværdi.

Brugerfladen tillader brugeren at vælge imellem blåflammebrænder og gulflammebrænder, hvilket i modellen kun har betydning for reguleringsprincippet af systemet.

## 11 Varmtvands beholder

Varmtvandsbeholderen er beskrevet ved ligningen:

$$C_{vnb} \frac{dT_{vnb}}{dt} = P_{vnb} + P_{forbrug}$$

Der ses bort fra intern konvektion i beholderen, som modelleres som et enkelt element med varmekapaciteten  $C_{vnb}$ . Det forudsættes med andre ord, at der sker en øjeblikkelig opblanding af vandet i varmtvandsbeholderen, og at temperaturen overalt er den samme. Når der tappes varmt vand fra beholderen sker det med effekten:

$$P_{forbrug} = \dot{m}c_p(T_{ind} - T_{vnb})$$

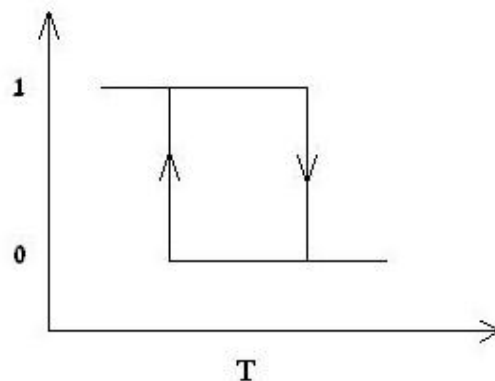
,hvor  $T_{ind}$  er temperaturen af det kolde brugsvand, som automatisk fyldes i varmtvandsbeholderen, når der tappes. Effektudvekslingen imellem de enkelte kedelelementer og varmtvandsbeholderen, er beskrevet i afsnittet om kedelmodellen. For at beregne den samlede effektudveksling adderes bidragene fra elementerne:

$$P_{vnb} = \sum_{n=1}^{10} P_{vnb_n}$$

På samme måde som kedelelementerne, er varmtvands beholderen altså beskrevet ved en 1.ordens differentialligning.

## 12 Reguleringsystemet

Når kedlen er i drift, styres den af en termostat, som tænder og slukker brænderen, alt efter temperaturniveauet i kedelvandet. Termostaten har en indbygget hysteres, som har betydning for, hvor store temperatur svingninger der opstår i kedlen under drift, og for frekvensen af opstarter og stop. På figur 6 er princippet vist. Termostaten har som output værdien 1 eller 0, som svarer til, at signalet til oliebrænderen er hhv. on eller off. Via brugerfladen kan termostatfølerens placering i kedelvandet ændres, svarende til at styringen sker med forskellige kedelelementers temperatur. Termostatens hysteresinterval kan indstilles via brugerfladen. Ud over modellen af termostaten, er der i kedlen indbygget en overkogstermostat, som sikrer, at der ikke sker kogning af kedelvandet. Hvis den målte temperatur overstiger 90 [C], udkobles brænderen, uanset signalet fra den almindelige termostatstyring. Brænderen skal herefter genindkobles manuelt, og det kan tidligst ske, når temperaturen af kedelvandet er faldet 15 [C]. Udkobling



Figur 6: Termostat med Hysterese

af oliebrænderen kan også ske hvis forbrændingen ikke sker inden for visse krav. Brugeren har mulighed for at vælge imellem blåflamme eller gulflammebrændere, hvor eneste forskel i modellen er at kravene til forbrændingen ændres. Hvis der vælges en gulflammebrænder må sodtallet ikke overstige 10. Vælges derimod en blåflammebrænder må indholdet af  $CO_2$  i røggassen ikke overstige 1%. Hvis der sker en overskridelse af de nævnte krav sendes en fejlmeddelelse, som brugeren vil se som en lysende rød lampe, og brænderen slukkes. Brænderen kan også udkobles hvis der ikke er tilførsel af olie (tom olietank), eller hvis der sætter sig skidt i oliedysen. De sidste to fejltilfælde styres af en tilfældighedsgenerator, som vil generere en fejlmeddelelse i ny og næ, og kræve at brugeren foretager en manuel genindkobling.

## 13 Brugerfladen

En typisk oliekedel til husstandsbrug giver brugeren/installatøren mulighed for, at lave en del indstillinger, som har indflydelse på kedlens driftsmønstre, samt forbrændingen. Disse indstillinger gøres på den fysiske kedel, enten på oliebrænderen eller på kedelstyringspanelet. I modellen sker det via brugerfladen, som er opbygget, så den ligner kedlens indstillingsmuligheder mest muligt. Brugerfladen tillader 3 typer brugerindstillinger: **1)** Indstillinger eller justeringer som normalt kan gøres på en oliekedel af den valgte type, dvs. indstillinger som f.eks. luftspjældets åbning, ventilpositioner, termostat indstillinger, dysestørrelse, cirkulationspumpeydelse osv. **2)** Indstillinger som vedrører systemets fysiske egenskaber, og som ved installation eller eftersyn ikke normalt er mulige at foretage, men som i undervisningssammenhæng kan være nyttige. Herunder kan nævnes: brændertype, omgivelsernes temperatur, husets dimensionerende varmetab, aftapningsmønster for varmtvandsbeholder, kv-værdier osv. **3)** Sidste type af indstillinger angår udelukkende

simuleringen, og er f.eks. simuleringshastighed, størrelse af tidstrin og skalaer på grafer. Alle indstillingerne kan foretages imens programmet kører. På brugerfladen vises beregnede størrelser, som en kedeltekniker i en indreguleringssituation vil kunne måle eller aflæse på kedelstyringspanelet, men også enkelte andre relevante resultater som f.eks. effektoverførsel i systemet og temperatur af vvb.

## 14 Validering

Beregningerne som foretages i programmet har til hensigt at kunne simulere en typisk oliekedels dynamiske egenskaber. Det har ikke været hensigten, at lave en nøjagtig fysisk model. Derfor har valideringen bestået af en vurdering af rigtigheden af de beregnede størrelser og af systemets tidskonstanter, samt en kontrol af energibalancen.

Energibalancen er kontrolleret ved at integrere effekter over lang tids kørsel, hvor kedlens start og slut-temperatur er den samme.

Kontrollen viste, at energiindholdet i den indfyrede oliemængde svarer til summen af røggastab, varmetab fra hus, og varmetab fra kedel.



## 15 Benyttet Litteratur

Sven Hadvig *Støkiometri og stofværdier* Danmarks Tekniske Højskole 1972

Erik Both og Gunnar Christiansen *Termodynamik* Danmarks Tekniske Universitet 1995, 3.oplag

F.P. Incropera D.P. DeWitt *Introduction to heat transfer* John Wiley and Sons, Fourth Edition

BAXI 20 MK3 instruktions manual

Ole Jannerup og Paul Haase Sørensen *Reguleringsteknik* Polyteknisk, 3.udg

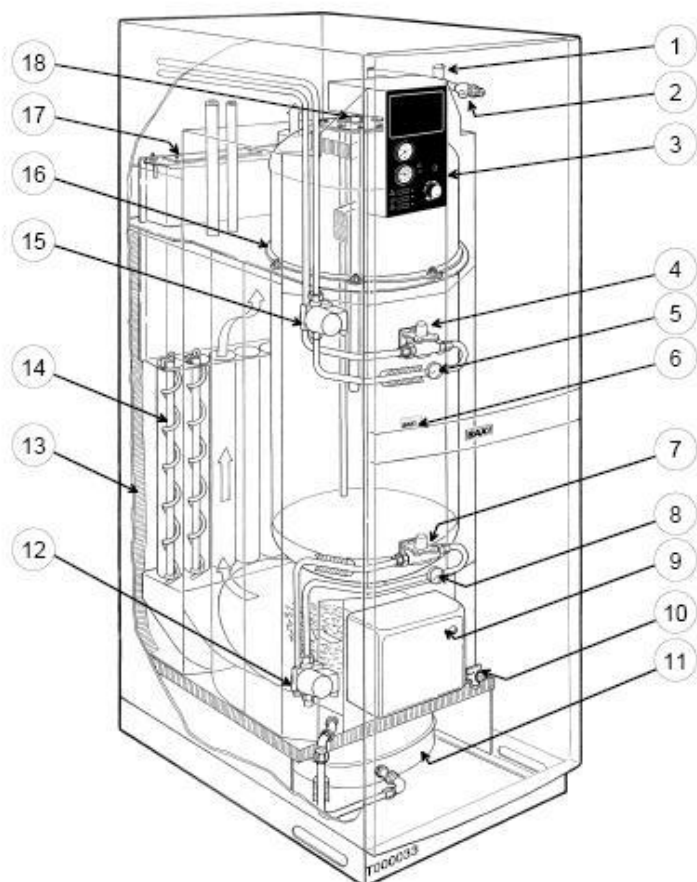
Jesper Schramm m.fl. *Noter til Energy Production and Air Pollution* Januar 2004

## 16 appendix 1

block 20mk3.jpg

**BAXI**

Block 20 MK3



- |                                  |   |
|----------------------------------|---|
| 1) Automatisk luftudlader        | 10) Påfyld/aftapshane                   |
| 2) Sikkerhedsventil(er)          | 11) Trykekspressionsbeholder            |
| 3) Kedelstyringen                | 12) Anlægs cirkulationspumpe (Kreds 1)  |
| 4) Shuntventil (Kreds 2*)        | 13) Isolering                           |
| 5) Fremløbstermometer (Kreds 2*) | 14) Turbulensspiraler                   |
| 6) Kedelskilt                    | 15) Anlægs cirkulationspumpe (Kreds 2*) |
| 7) Shuntventil (Kreds 1)         | 16) Varmt vands beholder                |
| 8) Fremløbstermometer (Kreds 1)  | 17) Rensedæksel                         |
| 9) Olie/Gasbrænder               | 18) Anode                               |

(\*) Kreds 2 er ekstra udstyr

**17 appendix 2**

element	k1	k2	k3	C[J/K]
1	0,17	0,0	0,1	46500
2	0,17	0,0	0,1	46500
3	0,17	0,0	0,1	46500
4	0,07	0,14	0,1	46500
5	0,07	0,14	0,1	46500
6	0,07	0,14	0,1	46500
7	0,07	0,14	0,1	46500
8	0,07	0,14	0,1	46500
9	0,07	0,14	0,1	46500
10	0,07	0,16	0,1	46500
vvb	-	-	-	422230
SUM	1	1	1	887230