**Dampmaskinesimulator**

**Dokumentation**

***Det Gamle Værft 2016/17***

*Jørgen Friis*

Indholdsfortegnelse

Pædagogiske overvejelser 5

Simulator Hardware 6

Forsyningsspænding 6

Lavspænding 9

Servodriver 10

Viserinstrumenter 10

Omstyring 10

Lydanlæg 10

Røganlæg 11

Ventilation 11

Varmluftblæser 12

Flammelys 12

Overtryksventil 13

Maskintelegraf 13

Omstyring 13

Oliepumpe 13

Dampmaskinemodel 14

Skueglas for olie 14

Transportbånd 14

Båndet 14

Vejeceller 15

Frekvensomformer 16

Kedelrør 17

Indfyringslåge 17

Spjæld for primær forbrændingsluft 18

Skueglas for kedelvand 18

Haner for kedelvand 18

Haner for kondensatoren 18

TV skærm i koøjet 19

Damphaner 19

Computer Hardware 20

Raspberry Pi 20

Opsætning af Raspberry Pi 3 computer 20

I2C-bus 24

Arduino Nano 28

Algoritme 28

Designparametre 28

Driftsparametre 28

Lovmæssigheder 28

Indfyring af brændsel 28

Beregning af indfyret effekt 29

Beregning af brændselsluft 29

Styring af kedel 29

Maskinens dampbehov 30

Kondensatoren 31

Kedlen 31

Sammenfatning af drifts- og designparametre på Svendborgsund med en 150 hk compoundmaskine 32

Formler til beregning af modellen 33

Dimensionering af haner 33

Forbrænding 33

Dannelse af damp 34

Beregningsrækkefølge og sammenfatning 34

Beregningsrækkefølge 34

Flyveaskeaflejring i røgrør 35

Energiproduktion 35

Dampproduktion 37

Tilføres systemet energi? 37

Mister systemet energi? 37

Røggastemperatur 37

Dampdistribution 37

Hvor meget damp er der til rådighed? 38

Luftbalance 38

Hvor meget damp fortættes i kondensatoren? 38

Varmebalance i kondensator 38

Vandbalance i kedel 39

Maskinydelse 39

Maskinretning 39

Oliebalance 40

SPIL 40

Maskintelegraf 40

Computer Software 41

Raspberry Pi 41

Hovedprogrammer 41

design() 42

handling() 43

tilstand() 44

virkning() 45

master.py 46

demo.py 46

simulator.py 46

powernet.py 46

model.py 46

PCA9685.py 46

servo.py 46

transport.py 46

vejecelle.py 46

IRremote.py 46

oliepumpe.py 47

omstyring.py 47

primaerLuft.py 47

programvalg.py 47

roegroer.py 47

sekundaerLuft.py 47

servoTemp.py 47

servoTryk.py 47

sikkerhedsventil.py 47

skueglasKedel.py 47

skueglasOlie.py 47

ventiler.py 47

Arduino 47

powernet.ino 47

model.ino 48

transport.ino 48

vejeceller.ino 48

IRremote.ino 48

oliepumpe.ino 48

omstyring.ino 48

primaerLuft.ino 48

sekundaerLuft.ino 48

programvalg.ino 49

roegroer.ino 49

servoTemp.ino 49

servoTryk.ino 49

sikkerhedsventi.ino 49

skueglasKedel.ino 49

skueglasOlie.ino 49

ventiler.ino 49

Spil 50

Programkode 53

Kredsløbsdiagrammer 53

Bilag 54

# Pædagogiske overvejelser

Når simulatoren bruges til undervisning skal eleverne først have en fælles introduktion af en medarbejder. Derpå må 2-4 elever betjene simulatoren samtidigt. Hvis de er under 7. klasse skal der være en voksen med.

Maskintelegrafrøret bruges i næste version til at give instruktioner, hvis eleverne laver fejlbetjening under vejs. Dvs. at hvis en fejl har stået på i mere end 15 sekunder, så lyder fløjten og en elev kan lægge øret til røret og høre en korrigerende kommentar fra skipper.

# Simulator Hardware

De første syv afsnit omhandler de generelle funktioner, der sidder på hovedtavlen og i kontrolrummet bag ved keddelskottet.

Simulatorens hardware er derefter beskrevet i læseretningen, når man står i maskinrummet og ser på kedlen.

## Forsyningsspænding

Dampskibssimulatoren forsynes med 230 V AC med jord fra stikkontakt i svejserummet. Det eneste, der er sluttet direkte til nettet er en 24 V DC strømforsyning, Raspberry Pi og ATX forsyningen.

Med 24 V forsynes en knivafbryder placeret på agterskottet. Knivafbryderen har 4 mulige stillinger, der starter simulatoren i fire forskellige tilstande:

1. Demoprogram, der kører i en uendelig løkke uden brugerinput.
2. Maskinsimulator med pædagogisk respons
3. Maskinsimulator med realistisk respons
4. I version 3: Maskinsimulator + skibssimulator (styrhus) med pædagogisk respons

De fire sluttekontakter går via en diodeseperation til en fælles forsyning af et 24 V DC/230 V AC relæ (#1), der tænder for strømmen til transportbåndet. Endvidere leveres 24 V DC til en glødelampe bagbord side i maskinrummet, der indikerer, at der er spænding på simulatoren.

Før diodeseparatoren aflæses (Arduino slave 0x43) hvilken stilling knivafbryderen er sluttet i via et "prelfilter" og en spændingsdeler.

Øvrige enheders forsyningsspænding samt aflæsning af knivafbryderen styres af en slave arduino (0x10) på hovedtavlen, som det fremgår af nedenstående tabel:

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Enhed** | **Arduino PIN** | **Relæ #** | **Kode for tænd** | **Kode for sluk** |
| Spændingsforsyning | Output |  |  |  |
| Raspberry Pi + ATX | - | - | - | - |
| Transportbånd 230 V AC | - | 1 | - | - |
| Ledig | D2 | 2 | 1 | 2 |
| Røgmaskine 230 V AC | D3 | 3 | 3 | 4 |
| Røgmaskine aktivering | D4 | 9 | 11 | 12 |
| Varmeblæser 230 V AC | D5 | 4 | 7 | 8 |
| Lydanlæg 230 V AC | D6 | 5 | 9 | 10 |
| TV-skærm 230 V AC | D7 | 6 | 5 | 6 |
| Ventilation 230 V AC | D8 | 7 | 19 | 20 |
| Skibsbro 230 V AC | D9 | 8 | 17 | 18 |
| Simulator klar: 24 V DC | D10 | 10 | 13 | 14 |
| Skibsbro 24 + 12 V DC | D11 | 11 | 15 | 16 |

De 10 relæer, der trækkes af Arduinoen er koblet som det ses på næste side. De hedder AR322173, og de kan klare en belastning på 10 A, 250 V AC. De er konfigureret med spolen mellem ben 1 og 6, og en afbryder mellem ben 2 og 3 og en anden afbryder mellem ben 4 og 5.

Relæ-spolens modstand er målt til 137 Ohm, og stømforbruget er målt til 90 mA ved en forsyning på 12 V DC. Beregningsmæssigt er strømmen I =U/R, dvs I = 12/137 = 88 mA, så vi regner med Ic = 90 mA i det følgende.

Som transistor vælges 2N2222, der har en max Ic på 0,6 A, og en hFE (DC Collector/Base Gain hFE Min) på 75, hvilket giver en Ib = Ic/hFE = 0,09/75 = 1,2 mA.

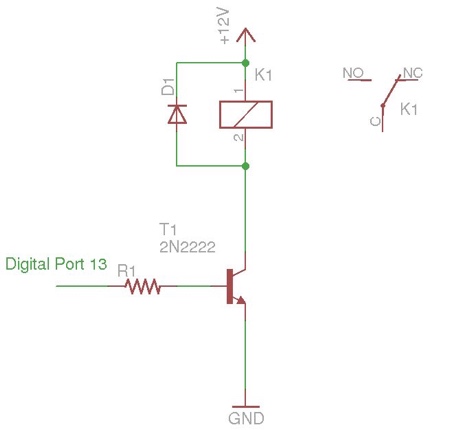
R1 på diagrammet på næste side beregnes som R1 = U/Ib = 5 V/0,0012 A = 4,2 kOhm. Vi bruger en standardmodstand på 3,9 kOhm, hvilket belaster Arduinoen med 1,3 mA, hvilket ikke er noget problem.

Som diode benyttes en 1 A standard ensretter diode, 1N4007.

Der laves en stiktavle med 12 jordforbundne 230 V AC stik på hovedtavlen i 3 rækker à 4 stik.

Stikkene nummereres fortløbende i læseretningen.

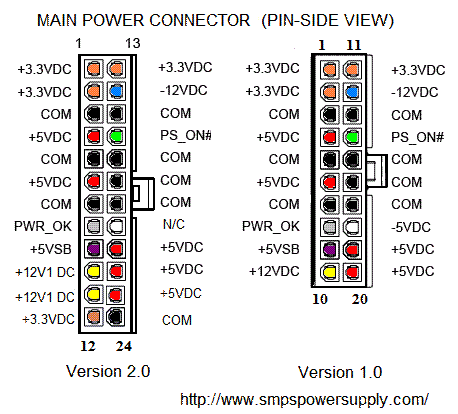
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Stik #** | **Anvendelse** | **Input** |
| 1 | Transportbånd | Relæ 1 |
| 2 | Ledig | Relæ 2 |
| 3 | Røgmaskine | Relæ 3 |
| 4 | Varmeblæser | Relæ 4 |
| 5 | Lydanlæg | Relæ 5 |
| 6 | TV-skærm | Relæ 6 |
| 7 | Ventilation | Relæ 7 |
| 8 | Skibsbro | Relæ 8 |
| 9 | Raspberry Pi | NET |
| 10 | ATX strømforsyning | NET |
| 11 | 24 V DC strømforsyning | NET |
| 12 | Ledig | NET |



## Lavspænding

Lavspænding produceres dels af en 24 V DC radiostrømforsyning, og dels af en ATX strømforsyning fra en PC. ATX forsyningen leverer 3,3 V DC (19 A), 5 V DC (14 A) og 12 V DC (7,5 A). Der etableres en fælles 0 (GND). PS\_ON# skal forbindes til COM for at tænde for strømforsyningen. Der laves en fast forbindelse, så strømforsyningen starter når den får netspænding.

ATX strømforsyningen er kablet, som følger:



Strømforsyningerne leverer strømmen ind i hovedtavlen, der distribuerer 24 og 12 V DC til de eksterne enheder. 3,3 V og 5 V anvendes kun internt i hovedtavlen.

De eksterne enheder regulerer selv strømmen ned fra 12 V, til hvad der nu er brug for.

## Servodriver

På hovedtavlen sidder en PCA9685 servodriver med 16 kanaler, som via I2C bussen er forbundet til Raspberry Pi, der styrer servoerne. Manual for driveren findes i bilag 2.

Da afstanden ud til servomotorerne er kritisk, så pca9685 kun servoen på maskintelegrafen og den på omstyringen af modellen.

Servoen på røggastermometeret drives af en arduinoslave, servoTemp. De to servoer på kedeltryksmanometeret og kondensator vacuummeteret drives af en anden arduinoslave, servoTryk.

### Viserinstrumenter

Der er følgende viserinstrumenter:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Instrument** | **Servo nr.** | **Min. udslag** | **Max. udslag** | **Min. visning** | **Max. visning** |
| Maskintelegraf | 1 |  | | * Astern, Full * Astern, Half * Astern, Slow * Stop * Ahead, Slow * Ahead, Half * Ahead, Full | |
| Røggastemperatur | 2 |  |  | 500C | 6500C |
| Damptryk i kedel | 3 |  |  | 0 bar | 10 bar |
| Vacuum i kondensator | 4 |  |  | 0 bar | 1 bar |
| Omstyring på model | 5 |  |  | FB | FF |

### Omstyring

Omstyringen på dampmaskinemodellen styres af en stor servomotor, som er Servo nr. 5.

## Lydanlæg

Simulatoren er forsynet med to mono lydanlæg: Et placeret under transportbåndet og med en 130 W højttaler i hvert sideskab, og et placeret i talerøret mellem bro og maskinrum.

Venstre kanal benyttes til generel lyd i maskinrummet og højre kanal bruges til at give instruktioner til maskinmesteren gennem talerøret.

Lydfilerne afspilles af Raspberry Pi´ mini jack udgang og leveres til forstærkernes mikrofon indgange.

Der arbejdes med 12 kanaler på mixerbordet. Antallet er afhængigt af behovet for antal samtidige lyde.

Der er følgende lydfiler til rådighed:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Filnavn** | **Lyd** | **Anvendelse** | **Varighed** |
| anloebAssens.ogg | Maskinrum på Bjørn | Demo kanal 0 | 18:04 minutter |
| maskinrumStart.ogg | Maskinrumslyde uden hovedmaskine | Alm. Drift kanal 0 | 06:03 minutter |
| Hovedmaskine.ogg | Hovedmaskine kører | Alm. Drift kanal 1 | 01:33.6 minutter |
| fuldKraft.ogg | Fuld kraft | Alm. Drift kanal 1 | 02:34.2 minutter |
| halvKraft.ogg | Halv kraft | Alm. Drift kanal 1 | 00:17.0 minutter |
| langsom.ogg | Langsomt | Alm. Drift kanal 1 | 00:16.1 minutter |
| maskintelegraf.ogg | Maskintelegrafen ringer | Alm. Drift kanal 2 | 0:03.1 minutter |
| floejteTelegraf.ogg | Maskinrumsfløjte | Alm. Drift kanal 2 | 0:00.9 minutter |
| skipperxx.ogg  chiefxx.ogg | Ordrer fra broen (flere filer) | Alm. Drift kanal 11 |  |
| mulitPumpe.ogg | Multifunktions pumpe | Alm. Drift kanal 3 | 0:03.2 minutter |
| luftUd.ogg | Udluftning | Alm. Drift kanal 5 |  |
| dampUd.ogg | Damp release | Alm. Drift kanal 5 |  |
| overtryksventil.ogg | Sikkerhedsventil blæser | Alm. Drift kanal 6 |  |
| maskinknirk.ogg | Hovedmaskinen skal smøres | Alm. Drift kanal 7 |  |
| maskinSammenbrud.ogg | Maskinhaveri | Alm. Drift kanal 8 |  |
| Dampfloejte.ogg | Dampfløjte | Alm. Drift kanal 9 | 0:03.5 minutter |
| vandIroer.ogg | Vand i rør | Alm. Drift kanal 4 |  |
| vandPjask.ogg | Vand løber over | Alm. Drift kanal 10 |  |

## Røganlæg

Der er tikoblet en teaterrøgs generator til manifolden for kedelrørene. Generatoren tændes når indfyringen starter, og røgudviklingen startes når frontlågen på kedlen åbnes.

Røgudviklingen kører i 60 sekunder hvorefter der starter en ventilator, som suger røgen ud.

## Ventilation

Der etableres udsugning til det fri fra toppen af skorstenen, sådan at den dannede røg kan fjernes fra simulatoren.

Ventilatoren starter ved aktivering af relæ # 7, og den kører til programmet genstartes.

Der ventileres ca. 6 m3/min.

## Varmluftblæser

Der placeres en varmluftblæser ophængt under kedelrørene med blæseretning mod indfyringsåbningen. Den styres af et selvstændigt 13 A relæ for ikke at overbelaste printet i powernettet. Blæseren startes når der er "ild" i ovnen.

Varmluftsblæseren har en effekt på 2.000 W.

## Flammelys

Der laves en lysflade med 20 RGB powerleds, som placeres på bagvæggen i brandkammeret, så den lyser ud mod indfyringsåbningen.

Power led'ene limes på en 5 mm aluminiumsplade.

LED'erne forbindes så lysstyrke og farve kan reguleres for hele fladen. Slaven genererer selv et varierende lys. Dvs at masteren kun tænder eller slukker for lyset, sådan at masterens regnekraft ikke går til at lave lysshow. Lysdioderne har følgende specifikation:

* **Emitting Color :RGB(Red, Green, Blue)**
* **DC Forward Voltage (VF): Red: 2.0-2.5Vdc, Green: 3.2-3.6Vdc, Blue: 3.2-3.6Vdc,**
* **DC Forward Current (IF): Red: 400MA/ Green: 350MA/ Blue: 350MA**
* **Viewing Angle: 120 Degree**
* **Luminous Intensity: Red: 45-50LM, Green: 65-75LM, Blue: 20-25LM**
* **Wave Length: Red: 620-625nm, Green: 520-530nm, Blue: 460-465nm.**

Med 20 parallelforbundne dioder bliver strømforbruget hhv 8 A på rød og 7 A på blå og grøn.

For at have lidt sikerhedsmargen designer vi lysfladen med 20 dioder. Det giver 8 A på rød og 7 A på blå og grøn. Det giver et effekttab i mosfetten på 24 W, hvilket den kan håndtere.

Det giver dog fortsat behov for en særskilt 5 V stømforsyning, som kan levere de 22 A. Denne strømforsyning kan tændes med samme relæ, som tænder for varmeblæseren. Det kan løses med en ATX 350 W strømforsyning, der kan give 25 A på 5 V.

Farveskanning af fotografier af brændende kul i essen giver følgende typiske farver:

RGB = 248, 209, 166

RGB = 252, 251, 233

RGB = 226, 98, 113

RGB = 239, 145, 93

RGB = 168, 73, 103

RGB = 229, 137, 86

Arduinoen programmeres så den vælger 3 random værdier for farverne og en for varigheden, og så gentager det i det uendelige.

random(R) = 168 til 252

random(G) = 73 til 251

random(B) = 93 til 233

random(tid) = 100 til 5000 millisekunder

Det bør programmeres, så farverne fader over i hinanden i løbet af den randomiserede tidsperiode.

## Overtryksventil

Midt over maskinrummet placeres en vandforstøver, der aktiveres, hvis sikkerhedsventilen letter.

Overtryksventilen blæser i 1 sekund.

Vandforstøveren vandforsynes af kommunalt trykvand via en slangebrudsventil, et stykke slange, og en 12 V magnetventil.

## Maskintelegraf

Maskintelegrafen styres på forskellige måder, afhængigt af hvilket program, der afvikles på simulatoren.

Hvis der er bemanding på broen, så styres maskintelegrafen der fra.

Hvis der ikke er bemanding på broen, så anvendes en tidskode i programmet, der angiver hvor lang tid der går mellem hver ordre, og hvilken rækkefølge ordrene kommer i.

Tidskoden er fastlagt ud fra realistiske værdier fra manorering af dampslæbebåden Bjørn.

## Omstyring

Omstyringshåndtaget har 28 omdrejninger fra fuld kraft bak til fuld kraft frem. Håndtagets stilling aflæses v.h.a. en 10 kOhm skydemodstand, der er mekanisk forbundet til en omløber på spindlen.

## Oliepumpe

Simuleringen benytter en håndpumpe, der pumper frostsikret vand fra en beholder gennem et flowmeter og retur til beholderen.

Flowmeteret benytter en hall-sensor til at måle omdrejningerne på skovlhjulet.

Arduinoslaven, der er koblet til flowmeteret returnerer antal liter væske, der er pumpet gennem pumpen siden programmet startede.

## Dampmaskinemodel

Dampmaskinemodellen styres af en Arduino slave anbragt i modellens forlængelse bag ved skottet.

Modellen initieres ved at motoren kører frem til den har højtryksstemplet i top, hvilket den registrerer ved hjælp af et blændehjul med en IR LED og en IR sensor. Blændehjulet er fastlåst på hovedaksen bag ved skottet.

Fremdriften af modellen leveres af en stepmotor og en servomotor bag skottet.

Stemplerne belyses fra den side, hvor "dampen" kommer ind.

Modellens omdrejningshastighed bestemmes ved to parametre: den tilførte energi og omstyringens stilling. Disse to værdier modtages fra Raspberry Pi masteren via I2C bussen som 2 bytes.

## Skueglas for olie

Skueglasset er via en peristaltisk pumpe med stepmotor forbundet med et tilsvarende glas på bagsiden af skottet. Pumpen kan pumpe væske mellem de to glas, og derved variere væskestanden i skueglasset.

Den samlede væskemængde passer med at det ene glas viser maksimum når det andet viser minimum.

Skueglasset har en indvendig diameter på 8 mm, hvilket giver et rumfang på ca. 0,5 ml/cm. Pumpen kan levere 160 ml/min svarende til 2,5 cm/sek. Røret kan altså fyldes på ca. 20 sekunder.

For at fastsætte 0-punktet på det synlige skueglas er det skjulte glas forsynet med en IR-lysstråle og en IR sensor, der brydes, når 0-punktet er nået i det synlige glas. Denne kalibrering foregår som en del af initieringen af simulatoren.

Pumpen styres af en Arduino slave, der modtager en byte fra Raspberry Pi masteren (0-100), der angiver den ønskede væskehøjde i skueglasset.

## Transportbånd

### Båndet

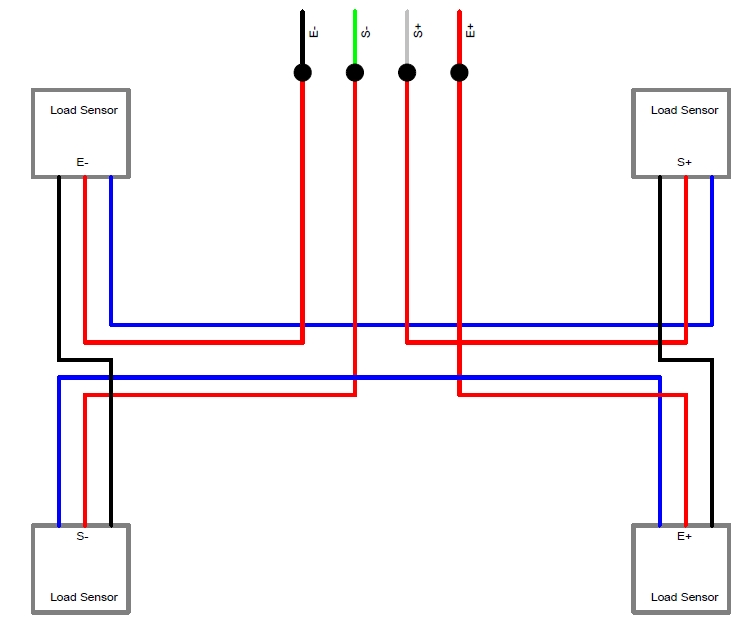
Transportbåndet er leveret af SOCO Systems og har følgende parametre:

* Længde 1500 mm
* Bredde 500 mm
* Understøttelse Ruller
* Egenvægt ca. 40 kg
* Max hastighed 0,7 m/sek

Transportbåndets minimumshastighed på ca 15% af tophastigheden er for høj, så der køres i intervaldrift. Det overvejes at ændre gearingen på båndet så max hastigheden reduceres.

### Vejeceller

Båndet står på fire vejeceller, der er koblet i en Wheatstones bro. Signalet her fra behandles i en A/D converter: HX711 fra AVIA Semiconductor. Se bilag 3.



Vejecellerne er koblet som vist ovenfor. De kobles til HX711 som følger:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | På tegning | På HX 711 |
| Forsyning + | E+ | Out + |
| Forsyning - | E- | GND |
| Signal + | S+ | A+ |
| Signal - | S+ | A- |

Vi benytter indgang A, da den kan programmeres til 128 eller 64 gange forstærkning, hvorimod indgang B har en fast forstærkning på 32 gange.

Den anden ende af HX 711 forbindes til 5 V forsyningsspænding og til en Arduino Nano som følger:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | HX 711 | Arduino |
| Forsyning + 5 V DC | VCC | + 5V |
| Jord 0 V | GND | GND |
| Data | DO/RX | A1 |
| Klokkesignal | CK/TX | A0 |

### Frekvensomformer

Motorhastigheden styres af en frekvensomformer, Danfoss VLT 2800.

Frekvensomformeren er opsat med standard fabriksopsætning med følgende ændringer:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Parameter** | **Variabel #** | **Værdi** | **Bemærkninger** |
| Local/remote operation | 002 | 0 | Frekvensomformeren fjernstyres |
| Motor Power [kW] | 102 | 0.12 | Mærkeplade på motor |
| Motor voltage [V] | 103 | 230 | Mærkeplade på motor |
| Motor frequency [Hz] | 104 | 50 | Mærkeplade på motor |
| Motor current [A] | 105 | 0.84 | Mærkeplade på motor |
| Rated motor speed [rpm] | 106 | 1325 | Mærkeplade på motor |
| Digital input | 302 | 7 | Start af motor styret på terminal 18 |
| Digitalt input | 304 | 2 | Coasting stop inverted  (motoren løber selv farten af) |
| Analog input | 308 | 1 | Analog spændingsinput på terminal 53 |

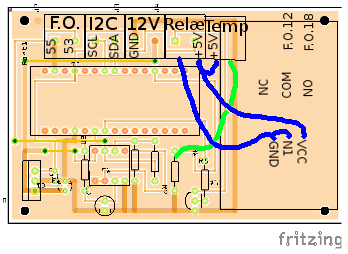
Frekvensomformeren (F.O.) er forsynet med jumper fra terminal 12 (12 V DC) til terminal 27, samt forbundet med µC (Arduino Nano) via relæ til terminal 18 (start/stop) og via spændingsreguleringskreds til terminal 53 (frekvensstyring).

Relæet forbindes sådan, at det kun strømforsynes, når det skal være tændt. Dvs at motoren stopper ved strømsvigt på svagstrømssiden.

Stømforbruget i relækredsen er målt til 80 mA ved en forsyning på 5 V DC.

Som transistor vælges 2N2222, der har en max Ic på 0,6 A, og en hFE (DC Collector/Base Gain hFE Min) på 75, hvilket giver en Ib = Ic/hFE = 0,08/75 = 1,1 mA.

Basismodstanden, R1 beregnes som R1 = U/Ib = 5 V/0,0011 A = 4,7 kOhm.



Via 12 V DC forsyningen får kredsen fælles jord (GRN) med Raspberry Pi.

I2C kabling har sort som SCL og hvid som SDA.

Kredsen er dimensioneret efter en termistor på ca 10 kohm. Hvis termistoren har en anden modstand skal modstanden for enden af den grønne ledning på tegningen skiftes til en med en værdi af samme størrelsesorden som termistoren, da den indgår i en spændingsdeler.

Se i øvrigt bilag 1 side 56.

## Kedelrør

Kedelrørene nummereres fortløbende set fra fyrrumssiden. Rørene nummer 6, 7,11,39 og 42 er forsynet med ultralyds afstandsmålere, så man kan detektere om røret bliver renset med rensekosten.

Forbindelsen til ultralydstransducerne er farvekodet som følger:

|  |  |
| --- | --- |
| **Funktion** | **Farve** |
| Vcc | Rød |
| Trig | Sort |
| Echo | Gul |
| GND | hvid |

## Indfyringslåge

Indfyringslågen skal være lukket når simulatoren initieres. Der sidder

en optiske rotary encoder på indfyringslågens hængsel.

Rotary encoder er forbundet til en Arduino slave. Raspberry Pi masteren aflæser lågens stilling via I2C bussen som procent åben (0-100).

## Spjæld for primær forbrændingsluft

Spjældets stilling aflæses v.h.a. rotary encoder koblet til en Arduino slave. Spjældets stilling aflæses af Raspberry Pi masteren via I2C bussen. Der aflæses procent åben (0-100).

## Skueglas for kedelvand

Skueglasset er via en peristaltisk pumpe med stepmotor forbundet med et tilsvarende glas på bagsiden af skottet. Pumpen kan pumpe væske mellem de to glas, og derved variere væskestanden i skueglasset.

Den samlede væskemængde passer med at det ene glas viser maksimum når det andet viser minimum.

Skueglasset har en indvendig diameter på 8 mm, hvilket giver et rumfang på ca. 0,5 ml/cm. Pumpen kan levere 160 ml/min svarende til 2,5 cm/sek. Røret kan altså fyldes på ca. 20 sekunder.

For at fastsætte 0-punktet på det synlige skueglas er det skjulte glas forsynet med en IR-lysstråle og en IR sensor, der brydes, når 0-punktet er nået i det synlige glas. Denne kalibrering foregår som en del af initieringen af simulatoren.

Pumpen styres af en Arduino slave, der modtager en byte fra Raspberry Pi masteren (0-100), der angiver den ønskede væskehøjde i skueglasset.

## Haner for kedelvand

Der er to haner for regulering af kedelvandet: en påfyldningshane øverst og en aftapningshane nederst.

Hanerne har 8 omdrejninger fra helt lukket til helt åben. Håndtagets stilling aflæses v.h.a. en 10 kOhm skydemodstand, der er mekanisk forbundet til en omløber på spindlen.

Stillingen af alle 6 haner aflæses af den samme Arduino slave, og gemmes i et register på 6 bytes. Raspberry Pi masteren anmoder om dataene via I2C bussen.

## Haner for kondensatoren

Der er to haner til regulering af havvandet i kondensatoren: en påfyldningshane til venstre og en aftapningshane til højre.

Hanerne har 8 omdrejninger fra helt lukket til helt åben. Håndtagets stilling aflæses v.h.a. en 10 kOhm skydemodstand, der er mekanisk forbundet til en omløber på spindlen.

Stillingen af alle 6 haner aflæses af den samme Arduino slave, og gemmes i et register på 6 bytes. Raspberry Pi masteren anmoder om dataene via I2C bussen.

## TV skærm i koøjet

TV skærmen strømforsynes via relæ nr 6. Når skærmen har forsyningsspænding skal den tændes og der skal vælges visning v.h.a. en IR fjernbetjening. IR signalerne produceres af en Arduino slave med en IR LED, der sender den relevante kode til skærmen.

Koderne består af et 38 kHz firkantsignal, der er tændt eller slukket i et bestemt tidsmønster ligesom en slags morsekode. En ordre består af 38 pulser og 38 pauser, hvor alle pauserne har samme længde og længden af pulserne varierer mellem korte og lange.

Koden er dechiffreret ved at optage signalet fra den fjernbetjening, der fulgte med fjernsynet.

Arduino slaven styres af Raspberry Pi masteren via I2C bussen. Masteren sender en byte: 1, 2, 3 eller 4, og det får slaven til at sende det ønskede signal til fjernsynet.

Der optages en videofilm fra bagbord side af Ærøfærgen på en sejlads fra Ærøskøbing til Svendborg. Den afspilles, hvis der ikke er bemanding på broen.

Hvis der er bemanding på broen, så vises skærmbilledet fra simulatoren på skærmen. (Version 3)

## Damphaner

Den venstre hane regulerer dampmængden til dampmaskinen.

Den højre hane lukker damp ud i det fri.

Hanerne har 8 omdrejninger fra helt lukket til helt åben. Håndtagets stilling aflæses v.h.a. en 10 kOhm skydemodstand, der er mekanisk forbundet til en omløber på spindlen.

Stillingen af alle 6 haner aflæses af den samme Arduino slave, og gemmes i et register på 6 bytes. Raspberry Pi masteren anmoder om dataene via I2C bussen.

# Computer Hardware

Simulatoren drives af en Raspberry Pi 3.0 og 17 Arduino Nano 3.0.

## Raspberry Pi

Valgt computer: Raspberryn Pi 3 Model B V1.2.

User: pi. Pw: AngeloDGV.

### Opsætning af Raspberry Pi 3 computer

Fra Raspberry Pi's website, <http://www.raspberrypi.org/downloads> , downloades det nyeste Raspbian image. Raspbian er operativsystemet til Raspberry Pi. Det er en Linux klon:

***NOOBS***

Offline and network install

Version: **2.1.0**

Release date: **2016-11-29**

*NOOBS INSTALLATION INSTRUCTIONS*

*1. Insert an SD card that is 4GB or greater in size into your computer.*

*2. Format the SD card using the platform-specific instructions below:*

*a. Windows*

*i. Download the SD Association's Formatting Tool from https://www.sdcard.org/downloads/formatter\_4/eula\_windows/*

*ii. Install and run the Formatting Tool on your machine*

*iii. Set "FORMAT SIZE ADJUSTMENT" option to "ON" in the "Options" menu*

*iv. Check that the SD card you inserted matches the one selected by the Tool*

*v. Click the "Format" button*

*b. Mac*

*i. Download the SD Association's Formatting Tool from https://www.sdcard.org/downloads/formatter\_4/eula\_mac/*

*ii. Install and run the Formatting Tool on your machine*

*iii. Select "Overwrite Format"*

*iv. Check that the SD card you inserted matches the one selected by the Tool*

*v. Click the "Format" button*

*c. Linux*

*i. We recommend using gparted (or the command line version parted)*

*ii. Format the entire disk as FAT*

*3. Extract the files contained in this NOOBS zip file.*

*4. Copy the extracted files onto the SD card that you just formatted so that this file is at the root directory of the SD card. Please note that in some cases it may extract the files into a folder, if this is the case then please copy across the files from inside the folder rather than the folder itself.*

*5. Insert the SD card into your Pi and connect the power supply.*

*Your Pi will now boot into NOOBS and should display a list of operating systems that you can choose to install.*

*If your display remains blank, you should select the correct output mode for your display by pressing one of the following number keys on your keyboard:*

*1. HDMI mode - this is the default display mode.*

*2. HDMI safe mode - select this mode if you are using the HDMI connector and cannot see anything on screen when the Pi has booted.*

*3. Composite PAL mode - select either this mode or composite NTSC mode if you are using the composite RCA video connector.*

*4. Composite NTSC mode*

*If you are still having difficulties after following these instructions, then please visit the Raspberry Pi Forums ( http://www.raspberrypi.org/forums/ ) for support.*

Vælg følgende operativsystem til installation:

***Raspbian Jessie with PIXEL***

Image with PIXEL desktop based on Debian Jessie

Version: **November 2016**

Release date: **2016-11-25**

Kernel version: **4.4**

**Når operativsystemet er installeret opsættes landekode, keyboard og mus til danske standarder. Derpå vælger man konfigurationsmenuen til at tillade I2C kommunikation.**

**Herefter går man ind i kommandovinduet for at tilføje de nødvendige moduler til modulfilerne i /etc direktoratet:**

**... $ sudo nano /etc/modules**

**Filen skal om nødvendigt rettes til at have følgende indhold:**

# /etc/modules: kernel modules to load at boot time.

#

# This file contains the names of kernel modules that should be loaded

# at boot time, one per line. Lines beginning with "#" are ignored.

# Parameters can be specified after the module name.

snd-bcm2835

i2c-bcm2708

i2c-dev

**Tjek om modulerne er installeret:**

**...$ sudo apt-get install i2c-tools**

**Før du fortsætter skal du reboote raspberry Pi computeren:**

**...$ sudo shutdown -r now**

**Så er det tid til at teste om Raspberry Pi'en kan udføre I2C kommunikation:**

**...$ sudo i2cdetect -y 1**

**Svaret skulle se nogenlunde sådan ud:**

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 a b c d e f

00: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --

10: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --

20: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --

30: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --

40: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --

50: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --

60: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --

70: -- -- -- -- -- -- -- --

**Så er vi kommet til at skulle installere I2C understøttelse for Python 3:**

...$ sudo apt-get install python-smbus

...$ sudo apt-get install libi2c-dev

...$ sudo apt-get install python3-dev

...$ cd /usr/src

...$ sudo wget http://ftp.de.debian.org/debian/pool/main/i/i2c-tools/i2c-tools\_3.1.0.orig.tar.bz2

...$ sudo tar xvf i2c-tools\_3.1.0.orig.tar.bz2

...$ cd i2c-tools-3.1.0/py-smbus

...$ sudo mv smbusmodule.c smbusmodule.c.old

...$ sudo wget https://gist.githubusercontent.com/sebastianludwig/c648a9e06c0dc2264fbd/raw/2b74f9e72bbdffe298ce02214be8ea1c20aa290f/smbusmodule.c

**Hvis det hele virkede som det skulle, så er følgende ting sket:**

1. **installering af libi2c-development biblioteker**
2. **installering af python3-dev biblioteker**
3. **download af den aktuelle version af i2c-tools, for tiden er det version 3.1.0**
4. **udpakning og verificering af indholdet af i2c-tools arkivet**
5. **skift til kilde kode direktoratet for py-smbus**
6. **omdøbe smbusmodule.c kildekode fil til noget andet**
7. **hente den nyeste version af den kode der virker med Python version 3-**

**Hurra for Sebastian Ludwig, der har skrevet kildekoden :-)**

**Nu har vi fået fat i kildekoden, så skal den blot kompileres og lægges det rigtige sted, så Python 3 kan få fat i den:**

...$ cd /usr/src/i2c-tools-3.1.0/py-smbus

...$ sudo python3 setup.py build

**Det skulle gerne give et svar a´la :**

running build

running build\_ext

building 'smbus' extension

gcc -pthread -DNDEBUG -g -fwrapv -O2 -Wall -Wstrict-prototypes -D\_FORTIFY\_SOURCE=2 -g -fstack-protector --param=ssp-buffer-size=4 -Wformat -Werror=format-security -fPIC -I/usr/include/python3.2mu -c smbusmodule.c -o build/temp.linux-armv6l-3.2/smbusmodule.o

creating build/lib.linux-armv6l-3.2

gcc -pthread -shared -Wl,-O1 -Wl,-Bsymbolic-functions -Wl,-z,relro build/temp.linux-armv6l-3.2/smbusmodule.o -o build/lib.linux-armv6l-3.2/smbus.cpython-32mu.so

**Og så skal den installeres:**

...$ sudo python3 setup.py install

running install

running build

running build\_ext

running install\_lib

copying build/lib.linux-armv6l-3.2/smbus.cpython-32mu.so -> /usr/local/lib/python3.2/dist-packages

running install\_egg\_info

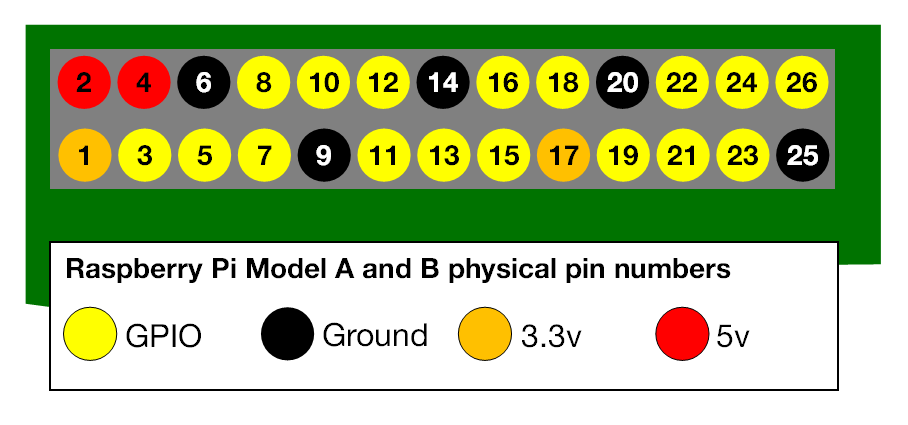
Writing /usr/local/lib/python3.2/dist-packages/smbus-1.1.egg-info

**Så er Python 3 klar til at kunne kommunikere med I2C modulerne.**

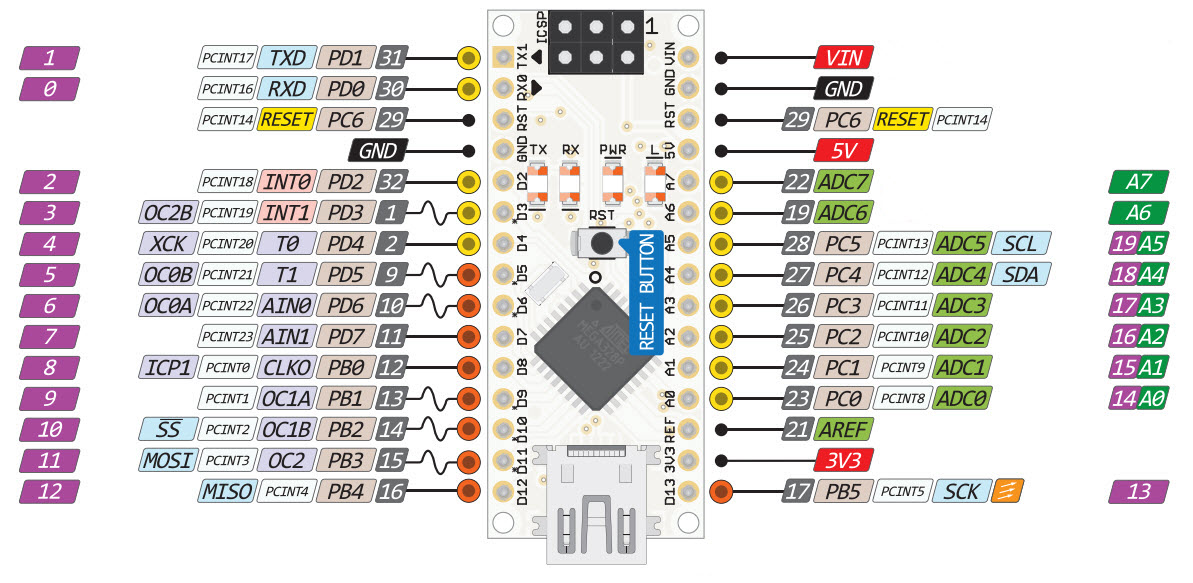
**Tak til** [**http://jtecheng.com/?p=959#comment-925**](http://jtecheng.com/?p=959#comment-925)

### **I2C-bus**

**På Rasberry Pi's GIOP (General Input Output Pins) findes pin 3, 5 og 6:**



På Arduino Nano findes pin A4, A5 og GND:



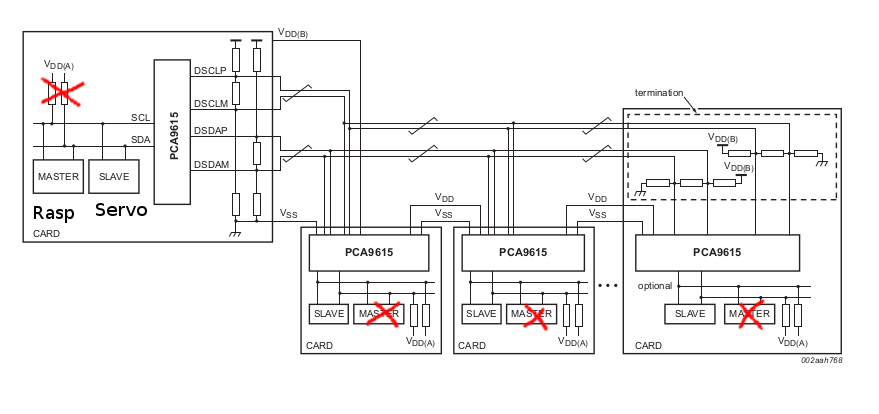
**og de forbindes som følger:**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Raspberry Pi 3 | Arduino Nano |
| I2C SDA | 3 | A4 |
| I2C SCL | 5 | A5 |
| GND | 6 | GND |

Da I2C bussen ikke er designet til at fungere over lange afstande (over nogle få cm) er vi nødt til at lave et kunstgreb: I2C signalet oversættes til et differentielt signal, DI2C, der transmitteres i parsnoede ledninger, hvorved det bliver væsentligt mindre følsomt overfor ekstern elektromagnetisk støj, som der er meget af i et maskinværksted som på Det Gamle Værft.

1. Der benyttes en PCA9615DPJ kreds. Se PCA9615 datablad

Kablingen er som følger:



Der anvendes ikke pull-up modstande før den første DI2C-kreds, da de er indbygget i Rasberry Pi.

Der kables mellem RaspberryPi og Arduinoslaver med cat5e spundet kabel. Farvekoderne fremgår af nedenstående tabel:

|  |  |
| --- | --- |
| **Funktion** | **Wirefarve** |
| D-SCL-P | Orange |
| D-SCL-M | Orange/hvid |
| D-SDA-P | Grøn |
| D-SDA-M | Grøn/hvid |
| VDD(B) = +5V DC | Brun + Brun/hvid |
| VSS = GND | Blå + Blå/hvid |

Slaverne kobles på én bus i følgende rækkefølge:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Busplacering** | **Funktion** | **Slave nummer** |
| **Hovedtavle** | | |
| 0 | Hovedcomputer + servostyring | Master + 0x40 + 0x70 |
| 0 | Styring af 240 V AC forsyningsspænding mv. | 0x10 |
| **Bag styrbord skot** | | |
| 1 | Dampmaskinemodel | 0x52 |
| 2 | Omstyring | 0x29 |
| 3 | Oliepumpe | 0x51 |
| **Bag ovnskot** | | |
| 4 | Vejeceller | 0x31 |
| 5 | Skueglas for smøreolie | 0x38 |
| 6 | Indfyringslåge | 0x33 |
| 7 | Luftspjæld | 0x34 |
| 8 | Røggasrør | 0x35 |
| 9 | Servo røggas | 0x44 |
| 10 | Transportbånd | 0x32 |
| 11 | Skueglas for kedelvand | 0x37 |
| 12 | Dampventiler, Søvandsventiler og Kedelvandsventiler | 0x36 |
| 13 | Overtryksventil | 0x39 |
| **Bag bagbord skot** | | |
| 14 | TVskærm fjernbetjening | 0x42 |
| 15 | Servo manometre | 0x43 |
| 16 | Valg af simulatorfunktion | 0x41 |
| **Kommandobro** | | |
| 17 | Maskintelegraf afsender (version 3) | 0x20 |

I Python programmeringen tages der højde for at der kan opstå I/O-fejl hvis bussen er optaget eller hvis den Arduino, som man henvender sig til er ved at lave noget andet, der sætter interruptet ud af drift. Kommer der en I/O-fejl skal programmet forsøge 29 gange mere, før det resulterer i et stop.

## Arduino Nano

De enkelte Arduino mikrocomputere er programmeret i Arduino-C. Som indføring i Arduino-C kan anbefales: Beginning C for Arduino af Jack Purdum (ISBN-13: 978-1-4842-0941-7).

# Algoritme

I de følgende afsnit beskrives de algoritmer, der benyttes til at simulere dampmaskinens drift.

## Designparametre

Her beskrives de designparametre, der er anvendt i hhv den realistiske udgave af algoritmen og den pædagogiske udgave.

De realistiske designparametre er som vi forventer at de vil blive om bord på Angelo, når den er forsynet med en 150 hk compound dampmaskine.

De pædagogiske designparametre er tilpasset, sådan at brugeren af simulatoren oplever en hurtigere reaktion på sine handlinger. Det gøres fx ved at reducere kedelstørrelsen.

## Driftsparametre

Her beskrives de variable, som skyldes maskinens slitage: Olieforbrug, damptab mv.

De realistiske driftsparametre er som vi forventer at de vil blive om bord på Angelo, når den er forsynet med en 150 hk compound dampmaskine.

De pædagogiske driftsparametre er tilpasset, sådan at brugeren af simulatoren oplever en hurtigere reaktion på sine handlinger. Det gøres fx ved at øge mængden af flyveaske der dannes pr time, øge behovet for smøring, og større tab af damp grundet utætheder etc.

## Lovmæssigheder

Her beskrives de temodynamiske sammenhænge mellem indfyret mængde kul og den dannede mængde damp.

### Indfyring af brændsel

1. Brugeren skovler brændsel (granitskærver) ind i indfyringshullet.
2. Skærverne lander på et transportbånd
3. Når vejecellerne under transportbåndet registrerer en vægt, der er større end transportbåndets egen vægt, begynder båndet at køre skærverne tilbage til brændselsbunken.
4. Transportbåndets hastighed styres sådan, at det svarer til den forventede forbrændingshastighed. Dvs.:
   1. Langsom i starten
   2. Afhængig af luftmængde (hvor åbent står de to spjæld?)
   3. Afhængig af påfyring (for meget brændsel kvæler ilden)
   4. Skal stoppe når der ikke er mere brændsel på båndet.
5. Den indfyrede masse måles 10 gange i sekundet som (båndets hastighed \* (den vejede belastning/båndets længde)). 10 målinger summeres og derved findes den indfyrede masse i kg/sek.

### Beregning af indfyret effekt

1. Der regnes med Newcastle-kul med en brandværdi på 7.600 kcal/kg.
2. 1 m3 kul vejer 820 kg.
3. Forbrændingshastigheden er udtrykt ved det antal kg kul, som forbrænder pr m2 rist i timen. I vores eksempel regner vi med 80 kg kul/m2, der er et erfaringstal fra fragtdampere med naturlig træk.

### Beregning af brændselsluft

1. En økonomisk forbrænding er betinget af, at der tilføres fyret mindst muligt luft, men dog tilstrækkeligt til at fuldstændig forbrænding opnås.
2. I praksis har det vist sig fordelagtigt til hvert kg kul at tilføre omkr. 16 kg luft med kunstig, og omkr. 20 kg luft ved naturligt træk.
3. Hvis der kun anvendes naturligt træk – dvs. at røggassens opdrift i skorstenen skaber trækket – er lufttrykket på omkring 10 mm VS.
4. I Svendborgsund har der kun været anvendt naturlig træk. Vi går derfor ud fra, at der anvendes 20 kg luft pr kg kul.
5. Luften tilføres dels under risten (primærluft) og dels lige over risten (sekundærluft), og styres ved to spjæld: Det nederste spjæld udgøres af askelugen, der kan stå mere eller mindre åben. Det øverste spjæld er indfyringslågen.
6. Den rette luftmængde findes ved at se på forbrændingen, på den røg, der kommer ud af skorstenen og på røggastemperaturen ved indgangen til skorstenen.
7. Røggastemperaturen i bunden af skorstenen ligger ca 50 0C over kedeltemperaturen når der ikke indfyres og ca 20 0C over kedeltemperaturen under indfyringen.
8. Hvis røggastemperaturen bliver væsentligt højere end kedeltemperaturen, fx 550 grader, så skal kedelrørene renses, da der er kommet for meget sod i dem.
9. Varmegradsforhøjelsen, dvs. det antal grader, som røggassen er varmere end omgivelserne i fyrrummet, når den går ind i kedlen beregnes som: Brændværdien/(middelvarmefylden\*røggassens vægt), hvilket i vores eksempel giver: 7.600/(0,24\*(1+20))+18 = 1.526 0C.

### Styring af kedel

1. Kedlen skal yde et damptryk på 9 at abs.
2. Damptrykket vises på et manometer på manøvrepladsen. Bemærk, at kedlens trykmåler viser overtrykket, hertil skal adderes 1 at for at få det absolutte tryk.
3. På kedlen sidder et skueglas, der viser vandstanden i kedlen. Vandstanden i kedlen skal ændres som følge af tab og påfyldning.
4. Kedlens virkningsgrad anslås til 72%
   1. Røggassens spildvarme anslås til 18%
   2. Tab som skyldes ubrændte gasarter og kulstøv i røgen anslås til 2%
   3. Tab som skyldes ubrændte kulstykker, som falder gennem risten, samt varmeindholdet i asken anslås til 2%
   4. Tab ved varmeudstråling fra kedlen anslås til 5%
   5. Tab ved påfyring, fyrrensning mm anslås til 1%
5. Kedlens varmebalance:
   1. Forbrænding af 1 kg kul i kedlens ildrum tilfører kedlen en varmemængde lig med brandværdien, her 7.600 kcal. En del af denne varme går tabt, resten tilføres kedelvandet, her 72% af 7.600 kcal lig med 5.472 kcal.
   2. Det antal kg kraftdamp, der dannes under det givne tryk og temperatur, kaldes fordampningstallet.
   3. Den nødvendige varme for dannelse af 1 kg damp under det givne tryk og temperatur fra vand af fødevandets temperatur kaldes dannelsesvarmen, her:
      1. Fødevandets varmegrad er t00C, her 40 0C
      2. Kedelvandets varmegrad er t10C, her 174,5 0C
      3. Fordampningsvarmen er r, her 486,8 kcal
      4. Dannelsesvarmen for den mættede damp bliver således:  
         λm = t1 – t0 + r kcal = 174,4 – 40 + 486,8 = 621,2 kcal/kg damp
6. Varmestrømmen fra røggas til vand i kedlen:
   1. Q = 1 \* k \* (trøg – tvand) kcal pr m2 pr time, hvor 1/k = 1/α1 + s/λ + 1/α2
      1. Røgens middeltemperatur, trøg, er 1.000 0C
      2. Kedelpladens tykkelse, s, er 16 mm
      3. Varmeledningstallet, λ, for kedelpladen er 40
      4. Kedeltrykket er 9 at abs, svarende til en kedelvandstemperatur på 174,5 0C
      5. Varmeovergangstallet fra røg til plade, α1, er 32 og fra plade til vand, α2, er det 5000.
      6. Det giver således 1/k = 1/32 + 0,016/40 + 1/5000 => k = 31,2
      7. Varmestrømmen bliver således:  
         Q = 1\*31,2 (1.000 – 174,5) = 25.756 kcal pr m2 pr time.
      8. I vores tilfælde er kedlens hedeflade på 70 m2.

### Maskinens dampbehov

1. Dampdannelse.
   1. Under dampopsæting holdes stopventilen åben. Yderluftens tryk vil derfor hvile på vandoverfladen og vandets varmegrad stiger jævnt til det når 100 0C.
   2. Når der begynder at strømme damp ud af stopventilen lukkes denne, og derved opsamles de dannede dampe i damprummet. Trykket på vandoverfladen bliver derved større end 1 atm. og kogningen stopper indtil vandets varmegrad under fortsat varmetilførsel til sidst bliver så stort at sikkerhedsventilerne løftes, dersom man ikke forinden mindsker fyringen eller leder dampen til maskinen.
   3. Når det ønskede damptryk er opnået åbnes for maskinventilen og maskinen starter, hvis glideventilerne i maskinen står til det.
   4. Når maskinen er i gang, og en regelmæssig fordampning finder sted forbliver kedlens varmegrad uændret, så længe maskinens dampforbrug svarer til den i kedlen udviklede dampmængde.
   5. Bruges der mere damp, end der produceres vil temperaturen i kedlen, og dermed trykket falde indtil der fyres mere på.
   6. Bruges der mindre damp, end der produceres vil temperaturen i kedlen og dermed trykket stige indtil påfyringen reduceres, eller trykket blæser ud af sikkerhedsventilen.

### Kondensatoren

1. Dampfortætning
   1. I kondensatoren afkøles dampen med havvand i en varmeveksler.
   2. Dampens tryk i kondensatoren varer til temperaturen af den fortættede damp. En temperatur på 40 0C svarer til et tryk på 0,07 at. Abs.
   3. Vakuummåleren angiver yderluftens tryk minus trykket i rummet. Skalaen går fra 0-100%, hvor 100% er absolut vakuum. Et tryk på 0,07 at. Abs. Svarer således til 93% vakuum.

### Kedlen

1. Vandoverfladen ligger i ¾ af kedlens højde.
2. sikkerhedsventilen kan fjerne 10% mere damp, end kedlen kan producere.
3. Ud fra tegningerne af den oprindelige kedel på Svendborgsund (d=2750 mm og l=3000 mm), og en forudsætning om, at fyrrum og røgkanaler optager halvdelen af kedlens rumfang, så får vi et damprum på 1,21 m3 og en vandmængde på 7,69 m3.

### Sammenfatning af drifts- og designparametre på Svendborgsund med en 150 hk compoundmaskine

1. Brændværdi for Newcastlekul: 7.600 kcal/kg
2. Tilført brændselsluft (primær plus sekundær ved naturligt træk): 20 kg luft/kg kul
3. Ønsket kedeltryk: 9 at abs
4. Deraf følgende kedeltemperatur: 174 0C
5. Fyrrummets temperatur: 180C
6. Røggastemperatur ved indgang til kedlen: 1526 0C
7. Forbrændingshastighed: 80 kg kul/m2 rist i timen.
8. Kedlens virkningsgrad sættes til: 72%
9. Der tilføres vandet 5.472 kcal pr kg afbrændt kul: 5.472 kcal til kedlen/kg kul
10. Dannelsesvarmen for mættet damp ved 9 at abs beregnes til: 621,2 kcal/kg damp
11. Der dannes således 8,8 kg damp pr kg kul: 8,8 kg damp/kg kul
12. Vandtemperatur i kondensatoren er ca 40 0C, hvilket giver et tryk på: 0,07 at. Abs = 93 %
13. Damprum: 1,21 m3
14. Kedelvand: 7,69 m3
15. Middeltryk i HT cylinder: 3,44 kg/cm2
16. Diameter HT cylinder: 380 mm
17. Slaglængde: 360 mm
18. Slagvolumen HT cylinder: 41 liter
19. Dampforbrug ved ydelse på 150 hk: 1.044 kg/time
20. Kulforbrug ved ydelse på 150 hk: 119 kg kul/time
21. Vi sætter max kulforbrug til: 150 kg kul/time
22. forbrugt forbrændingsluft ved 150 kg kul/time: 3.000 kg luft/time
23. Mindst muligt risteareal: 1,9 m2
24. Omdrejninger ved fuld kraft: 113 rpm

### Formler til beregning af modellen

#### Dimensionering af haner

Haner til vand dimensioneres til 3 liter/sek, svarende til ydelsen af en brandslange C.

Haner til damp dimensioneres til 140% af den maksimale dampproduktion, svarende til kravene til overtryksventilen. Den maksimale dampproduktion opnås ved 150 kg kul indfyret pr time med en brandværdi på 7600 kcal/kg. Med en virkningsgrad på 72 % giver det en energitilførsel på 228 kcal/sek, svarende til 955 kJ/sek. Da fordampningsvarmen er lavest ved højeste tryk beregner vi dampproduktionen ved 9 bar abs, hvor der medgår 2030 kJ/kg damp, hvilket betyder at vi maksimalt kan producere: 955/2030 = 0,47 kg damp/sek. 140% heraf er 0,66 kg damp/sek.

#### Forbrænding

Forbrændingens hastighed er et samspil mellem den til rådighed værende mængde af kul, ristens areal (dvs. kullagets tykkelse) og den til rådighed værende mængde forbrændingsluft og dennes fordeling mellem primær- og sekundærluft.

Den maksimale forbrændingshastighed sætter vi til 150 kg/time fordi vi forudsætter, at den maksimale luftmængde der kan strømme ind i fyrrummet med en gunstig fordeling mellem primær- og sekundærluft er 3.000 kg/time.

Den gunstigste fordeling mellem primær- og sekundærluft sætter vi til 100% åbning af primært luftspjæld og 10% åbning af sekundært luftspjæld. 110 % samlet åbning af luftspjæld svarer altså til tilførsel af 3.000 kg luft pr. time, eller 3.000/110 = 27,3 kg luft/%, eller 27,3/20 kg kul/%.

Hvis kullaget bliver for tykt reducerer det den effektive tilførsel af primær forbrændingsluft.

Hvis der er mere end 22,5 (37,5 kg/m2 er erfaringstal fra fyring på essen) og mindre end 45 kg kul på båndet, så reduceres primærluften til:   
100-(kg kul-22,5) \*100/22,5 % af spjældets åbning. Hvis der er mere end 45 kg kul på båndet sættes primærluften til 0 %.

Transportbåndets hastighed skal svare til forbrændingshastigheden. Det vil sige at:

v = forbrændingshastighed/3.600\* længde af båndet/kg på båndet meter/sek

Hvis der tilføres mere end 10 % sekundærluft, så medregnes den overskydende sekundærluft ikke som forbrændingsluft, men den bevirker en nedkøling af røggassen. Røggassen nedkøles til:  
(spjældåbning – 10) /2 % af middeltemperaturen når der tilføres mere end 10% sekundær luft.

Hvis der tilføres mindre end 10 % sekundærluft, så falder kullenes brændværdi, da gasserne da går mere eller mindre uforbrændte gennem skorstenen. Man kan således miste op til 40-60 % af brandværdien. Her regner vi med at brandværdien reduceres med op til 40 %:

For sekundærluft < 10%:

brandværdireduceret = brandværdi \* (100 – 4 \* (10 – sekundærluft %))

Varmegradsforhøjelsen, dvs. det antal grader, som røggassen er varmere end omgivelserne i fyrrummet, når den går ind i kedlen beregnes som: Brændværdien/(middelvarmefylden\*røggassens vægt).

Vi ser bort fra spjældenes konkrete fysiske udformning på simulatoren og den konkrete mulige luftgennemstrømning.

#### Dannelse af damp

For et lette beregningerne betragtes dampen som tør mættet damp.

Ud fra kedelvandets starttemperatur findes ved tabelopslag de specifikke værdier for vandets og dampens enthalpi, samt dampens specifikke volumen. På denne baggrund findes kedlens samlede enthalpi.

Derpå beregnes enthalpiændringer som følge af indfyring og vand og damp ind og ud af kedlen. Kedlens nye samlede enthalpi omsættes ved tabelopslag til en ligevægtsværdi for hhv tryk og temperatur i kedlen.

På baggrund af den reducerede brandværdi kan røggastemperaturen beregnes som:   
brændværdien/ (middelvarmefylden\*røggassens vægt), hvilket i vores eksempel giver:

trøg = brandværdireduceret / (0,24\*(1+20)) +18 0C.

Kedlens virkningsgrad sættes til 72 %, hvilket vil sige, at kun 72 % af den indfyrede effekt overføres til kedlens udvendige overflade.

Varmestrømmen gennem kedelvæggen er afhængig af temperaturforskellen mellem røggassen og vandet i kedlen. Den effekt, der tilføres kedelvandet kan findes som:

Q = (1 / k) \* (trøg – tvand) kcal pr m2 pr time, hvor (1/k) = 1/α1 + s/λ + 1/α2 = 31,2 i vores tilfælde.

Hedefladens overflade er i vores tilfælde 70 m2, så der overføres:

Q = 31,2 \* (trøg – tvand) \* 70 kcal pr time til kedelvandet.

Når vi i den pædagogiske udgave regner med en mindre kedel, så reducerer vi hedefladen lineært med volumen på kedlen, for at det ikke skal blive for indviklet.

Konstruktionsmæssigt kan der således maksimalt overføres 3.332.784 kcal pr. time til kedelvandet.

Dog kan Q naturligvis ikke blive større end den indfyrede effekt gange kedlens virkningsgrad.

Kedelvandets temperatur og dampens tryk beregnes en gang i hver programcyklus. Varigheden af en programcyklus er 1 sekund.

Kedelvandets starttemperatur sættes i designparametrene til 40 0C for realistisk mode og 95 0C for pædagogisk mode.

#### Beregningsrækkefølge og sammenfatning

##### Beregningsrækkefølge

1. Flyveaskeaflejring i røgrør
2. Energiproduktion
3. Dampproduktion eller fortætning
4. Røggastemperatur
5. Dampdistribution
6. Luftbalance
7. Varmebalance i kondensator
8. Vandbalance i kedel
9. Maskinydelse
10. Maskinretning
11. Oliebalance  
      
    SPIL
12. Maskintelegraf
13. Gode råd fra chiefen (version 2)
14. Ordrer fra skipper

###### Flyveaskeaflejring i røgrør

Når kullene forbrænder dannes der ud over slagger også flyveaske som forlader fyrrummet gennem skorstenen. En del flyveaske aflejres dog i røgrørene, sådan at de efterhånden tilstoppes og skal renses.

I exhibition mode regner vi med at røgrørene tilstoppes 2 % i minuttet. I den realistiske mode er tallet 1 % i timen.

For at illustrere at vandet i kedlen tilføres mindre energi med flyveaske i rørene, så reduceres kullenes brandværdi med tilstopningsgraden. dvs. helt tilstoppet giver brandværdien 0.

I version 1 regnes der ikke med den løbende tilstopning af røgrørene, men derimod en tidsbestemt momental forstoppelse.

###### Energiproduktion

Tager vi alle ovenstående forhold i betragtning fås følgende udtryk for forbrændingshastighed, aktuel brandværdi, indfyret effekt og temperaturen af røggassen i brandkammeret,:

Masse af kul på båndet < 0,5 kg:

Forbrændingshastighed = 0 kg kul/time.

Båndhastighed = 0

Brændværdireduceret = brandværdi\* (100-flyveasketilstopning)/100

Indfyret effekt = 0

trøg = 40 0C

0,5 kg <= masse af kul på båndet < 22,5 kg ^ sekundær luft <= 10 %:

Forbrændingshastighed = (primær luft % + sekundær luft %) \* 27,3/20/3600 kg kul/sekund.

Båndhastighed = forbrændingshastighed \* længde af båndet/kg på båndet meter/sek  
Brændværdireduceret = brandværdi \* (100 – 4 \* (10 – sekundærluft %)) \* (100-flyveasketilstopning)/100  
Indfyret effekt = forbrændeingshastighed \* brandværdireducerettrøg = brandværdireduceret / (0,24\*(1+20)) +18 0C.

0,5 kg <= masse af kul på båndet < 22,5 kg ^ sekundær luft > 10 %:

Forbrændingshastighed = (primær luft % + 10) \* 27,3/20/3600 kg kul/sekund.

Båndhastighed = forbrændingshastighed \* længde af båndet/kg på båndet meter/sek

Brændværdireduceret = brandværdi\* (100-flyveasketilstopning)/100

Indfyret effekt = forbrændeingshastighed \* brandværdireduceret

trøg = brandværdireduceret / (0,24\*(1+20)) +18 0C.

22,5 kg < =masse af kul på båndet < 45 kg ^ sekundær luft <= 10 %:

Forbrændingshastighed = ((primær luft % \* (100-(kg kul-22,5) \*100/22,5) /100) + sekundær luft %) \* 27,3/20/3600 kg kul/sekund.

Båndhastighed = forbrændingshastighed \* længde af båndet/kg på båndet meter/sek

Brændværdireduceret = brandværdi \* (100 – 4 \* (10 – sekundærluft %))\* (100-flyveasketilstopning)/100

Indfyret effekt = forbrændeingshastighed \* brandværdireduceret

trøg = brandværdireduceret / (0,24\*(1+20)) +18 0C.

22,5 kg < =masse af kul på båndet < 45 kg ^ sekundær luft > 10 %:

Forbrændingshastighed = ((primær luft % \* (100-(kg kul-22,5) \*100/22,5) /100) + 10) \* 27,3/20/3600 kg kul/sekund.

Båndhastighed = forbrændingshastighed \* længde af båndet/kg på båndet meter/sek

Brændværdireduceret = brandværdi\* (100-flyveasketilstopning)/100

Indfyret effekt = forbrændeingshastighed \* brandværdireduceret

trøg = brandværdireduceret / (0,24\*(1+20)) +18 0C.

masse af kul på båndet > 45 kg ^ sekundær luft <= 10 %:

Forbrændingshastighed = sekundær luft % \* 27,3/20/3600 kg kul/sekund.

Båndhastighed = forbrændingshastighed \* længde af båndet/kg på båndet meter/sek

Brændværdireduceret = brandværdi \* (100 – 4 \* (10 – sekundærluft %))\* (100-flyveasketilstopning)/100

Indfyret effekt = forbrændeingshastighed \* brandværdireduceret

trøg = brandværdireduceret / (0,24\*(1+20)) +18 0C.

masse af kul på båndet > 45 kg ^ sekundær luft > 10 %:

Forbrændingshastighed = 10 \* 27,3/20/3600 kg kul/sekund.

Båndhastighed = forbrændingshastighed \* længde af båndet/kg på båndet meter/sek

Brændværdireduceret = brandværdi\* (100-flyveasketilstopning)/100

Indfyret effekt = forbrændeingshastighed \* brandværdireduceret

trøg = brandværdireduceret / (0,24\*(1+20)) +18 0C.

###### Dampproduktion

Beregningen baseres på opslag i damptabellen.

Den samlede enthalpi for vand og damp i kedlen beregnes i starttilstanden ud fra starttemperaturen.

I hver cyklus beregnes enthalpiændringen ved tilførsel af energi, tab af varme, tilførsel af kondensat, tilførsel af kedelvand, fraførsel af kedelvand og forbrug af damp.

Ud fra systemet nye enthalpi findes ligevægtstilstanden ved tabelopslag, hvorved det nye sæt af temperatur og tryk findes.

Tilføres systemet energi?

Hvis der er ild i fyrkanalen tilføres kedlen energi, indfyret effekt, som beregnet i et tidligere afsnit.

Vi går ud fra at energien udelukkende tilgår vandet, hvorved vandets temperatur øges:

Mister systemet energi?

Hvis fyrkanalen er slukket taber kedlen energi.

mistet effekt = 31,2 \* (tkedel – tluft) \* 70\*(aktuelt kedelvolumen/designvolumen) \* 4,184/3600 kJ/sek

###### Røggastemperatur

Røggastemperaturen efter kedlen ligger typisk 50 grader over kedeltemperaturen når der fyres og sekundærluften er mindre eller lig 10 %. Når sekundærluften under indfyring er lig 100 % falder røggastemperaturen ca 30 grader i forhold hertil.

Når røgrørene er helt tilstoppede af flyveaske stiger røggastemperaturen til 600 0C.

###### Dampdistribution

Dampen i kedlen kan bortledes på tre måder:

1. til maskinen via ventilen *Damp ind.* (a)
2. til det fri via ventilen *Damp ud*. (b)
3. til det fri via sikkerhedsventilen (c)

Alle tre ventiler er dimensioneret til at kunne bortlede 0,66 kg damp pr. sekund, som tidligere beregnet. dvs. at 1 % ventilåbning svarer til et max flow på 0,0066 kg damp pr. sekund.

Maskinen kan med omstyringen i fuld kraft frem eller fuld kraft bak aftage en effekt på 150 hk, hvilket svarer til 1.044 kg damp i timen, eller 0,29 kg/sek. Ved omstyringen placeret i mellemstillinger reduceres maskinens maksimale dampforbrug lineært, sådan at det er 0 i neutral stilling.

Vi går i beregningerne ud fra at den damp, der tabes via utætheder ikke har indflydelse på det maksimale dampforbrugs størrelse.

Maskinen vil altid aftage den maksimalt mulige mængde damp, hvis dampen er til rådighed.

Vi går endvidere ud fra at dampen fordeler sig mellem de tre ventiler i forhold til hvor meget de er åbne.

Endelig går vi ud fra at al dampen i kedlen er til rådighed med det aktuelle kedeltryk, selvom trykket naturligvis vil falde når vi bruger af dampen. Denne forudsætning går først helt galt hvis beregningscyklussen bliver længere end et sekund.

Hvor meget damp er der til rådighed?

mdamp = ((Vkedel – mvand) / 1000) / 1,7259p-0,939

idet vi sætter 1 liter vand = 1 kg vand.

Hvis a, b og c angiver ventilernes åbning bliver:

mdamp,maskine = a/(a+b+c) \* mdamp/100 kg damp/sek

###### Luftbalance

Når kedlen fyres op skal dampen fordrive luften i kedlen til det fri. Derfor skal der i beregningerne holdes øje med hvornår der er dannet tilstrækkeligt damp til at fortrænge luften, og om ventilen har været åben.

Hvis den akkumulerede udledte luft/damp mængde er mindre end den akkumulerede dampmængde til maskinen plus rumfanget af damprummet i kedlen, så er kedlen ikke blevet luftet ud.

Hvis kedlen ikke er blevet luftet ud inden der ledes damp til maskinen, så reduceres dampmængden med 10 % for at tage hensyn til at de 10 % luft, der så vil være i dampen ikke har dampens egenskaber. Der tages ikke hensyn til den luft, der er i maskinen, og at rigtige dampmaskiner har indbyggede luftfælder, der sørger for at fjerne luften fra dampen.

Hvor meget damp fortættes i kondensatoren?

Vi regner med at 5% af den damp, der tilføres maskinen går tabt i utætheder. Til rådighed for fortætning i kondensatoren er altså:

mkondensat = mdamp,maskine \* 5 / 100 kg, eller det tilsvarende antal liter.

###### Varmebalance i kondensator

Dampaskinens ydelse er afhængig af trykforskellen mellem kedlen og kondensatoren. Trykket i kondensatoren er afhængigt af temperaturen, som igen afhænger af den tilførte mængde kølevand fra havet.

Vi laver den forenklede antagelse, at temperaturen i kondensatoren varierer mellem 9 og 99 0C afhængigt af hvor meget ventilen *Kondensator ind* er åbnet. Hvis der ikke tilføres maskinen damp er kondensatorens temperatur 9 grader.

tkondensator = 99 – (åbning% \* 0,9)

Det tilsvarende tryk i kondensatoren findes ved opslag i damptabellen.

###### Vandbalance i kedel

*Vand i kedel efter = vand i kedel før + pumpet ind fra lagertank – pumpet ud til lagertank + pumpet ind fra kondensator + fortættet damp – fordampet damp.*

Forudsætter vi at der maksimalt er mættet damp i halvdelen af kedelrumfanget, vil der højst kunne kondensere 2 liter vand heraf, så det ser vi bort fra i det følgende.

Vandmængde pumpet ind fra kondensator er medtaget under dampdistributionsberegningerne.

Fortættet og fordampet damp er medtaget under dampproduktion.

Vandstanden beregnes som om kedlen er kasseformet, da vi alligevel ikke kan kompensere for røgrørenes placering. Vandstanden vises i skueglasset.

Dvs:

Vand i kedel efter = vand i kedel før + (vand ind i % \* vand ind max – vand ud i % \* vand ud max) \* tid.

###### Maskinydelse

Maskinydelsen, udtrykt i omdrejningshastigheden på modellen, afhænger af følgende faktorer:

1. kg damp, der tilføres pr sekund
2. trykforskel mellem kedel og kondensator
3. omstyringens stilling
4. kondensatvandets mulighed for at komme tilbage til kedlen

Der tilføres mellem 0 og 0,29 kg damp pr sekund. Trykforskellen mellem kedel og kondensator varierer mellem 0 og 10 bar. Vi regner med normal drift ved et kedeltryk på 8 ato og at overtryksventilen blæser ved 10 ato. Omstyringens stilling er mellem 0 og 100, hvor 50 er neutral.

Vi kan finde omdrejningstallet ved:

O = Omax \* (mdamp,maskine / 0,29) \* ((Pkedel – Pkondensator) / 10) \* (|omstyring – 50|) \*   
(kondensatorhane % åben)

###### Maskinretning

Hvis omstyring = 50 står maskinen stille.

Hvis omstyring < 50 løber maskinen forlæns.

Hvis omstyring > 50 løber maskinen baglens.

###### Oliebalance

Maskinens olieforbrug afhænger af maskinydelsen:

olieforbrug = olieforbrug, max \* O / Omax  liter/time

Olieniveau i tanken er lig indpumpet oliemængde minus forbrugt oliemængde.

Den indpumpede mængde findes ved aflæsning af oliepumpen og bestemme forskellen siden sidste aflæsning.

Oliestanden vises på skueglasset.

##### SPIL

###### Maskintelegraf

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Tid | Sekunder | Ordre |
| 05:00 | 300 | FS, FF, FB, FS |
| 05:05 | 305 | LF |
| 05:15 | 315 | LB |
| 05:25 | 325 | LF |
| 05:45 | 345 | HF |
| 06:30 | 390 | FF |
| 16:05 | 965 | FS, FF, FB, FS |
| 16:08 | 968 | LF |
| 17:13 | 1033 | LB |
| 17:35 | 1055 | LF |
| 18:12 | 1092 | LB |
| 18:38 | 1118 | LF |
| 20:31 | 1231 | LB |
| 20:59 | 1259 | LF |
| 21:30 | 1290 | LB |
| 21:57 | 1317 | LF |
| 23:07 | 1387 | LB |
| 23:23 | 1403 | LF |
| 27:10 | 1630 | FS |

# Computer Software

## Raspberry Pi

Styresystemet i Raspberry Pi er Raspbian Linux:

***Raspbian Jessie with PIXEL***

Image with PIXEL desktop based on Debian Jessie

Version: **November 2016**

Release date: **2016-11-25**

Kernel version: **4.4**

En generel indføring i Linux kan findes i: Beginning Linux Programming af Neil Matthew og Richard Stones. (ISBN 978-0-470-14762-7).

Raspberry Pi afvikler et programkompleks skrevet i Python 3. Version 3.5. Som indføring i Python 3 kan anbefales: The Coder's Apprentice af Pieter Spronck. Bogen kan downloades fra <http://www.spronck.net/pythonbook>.

Alle Python programkoderne, der er skrevet til simulatoren, ligger i /home/pi/simulator.

### Hovedprogrammer

Der er et masterprogram: Simulator.py der starter simulatoren op og aflæser valget af hovedprogram. Der er 3 hovedprogrammer:

* Master.py, der aflæser programvalg og 0-stiller alt ved programvalg 0
* Demo.py, modul der afvikler et demonstrationsprogram uden brugerinput
* Simulator.py, modul der afvikler simulationsprogrammet

Computerens valg af hovedprogram afhænger af operatørens valg på knivafbryderen i maskinrummet.

Programmerne er modulært opbygget med et modul til betjeningen af hver Arduino i simulatoren.

Simulator.py har alle tre de centrale data gemt i fire array-variable, som er opbygget som det fremgår af nedenstående skemaer:

#### design()

Indeholder simulatorens (dampmaskinens) designparametre. I de to exhibition programmer er de tillempet for at få en hurtigere respons på operatørens ageren.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Position** | **Beskrivelse** | **Pædagogisk værdi** | **Realistisk værdi** |
| [0] | Antal sekunder mellem hver opdatering | 1 | 1 |
| [1] | Kedel rumfang i liter | 7.690 | 500 |
| [2] | Brandværdi af kul i kJ/kg | 32.000 | 32.000 |
| [3] | Olieforbrug pr time ved 100% maskinydelse i liter | 2 | 20 |
| [4] | Rumfang af smøreolietank i liter | 5 | 5 |
| [5] | Skalering af oliepumpe | 0.1 | 0.1 |
| [6] | Kedelvandstab i % | 5 | 5 |
| [7] | Overtryksventil på kedel blæser ved x bar | 10 | 10 |
| [8] | Kedelvandshaner max flow i liter/sek | 3 | 3 |
| [9] | Kondensvandshaner max flow i liter/sek | 3 | 3 |
| [10] | Damphaner max flow i kg/sek | 0,66 | 0,66 |
| [11] | Længde af transportbånd i meter | 1,4 | 1,4 |
| [12] | Max hastighed af transportbånd i meter/sek | 0,7 | 0,7 |
| [13] | Skalering af brandværdi | 1 | 1 |
| [14] | Max dampforbrug i maskine (kg/sek) | 0,29 | 0,29 |
| [15] | Starttemperatur i kedel | 95 | 40 |

#### handling()

Indeholder værdierne af alle operatørens input på et givet tidspunkt.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Position** | **Beskrivelse** | **Mindste værdi** | **Største værdi** |
| [0] | Omstyring | 0 | 100 |
| [1] | Indpumpet oliemængde siden start (liter) | 0 | - |
| [2] | Stilling af primærluft spjæld i % åben | 0 | 100 |
| [3] | Stilling af sekundærluft spjæld i % åben | 0 | 100 |
| [4] | Masse af kul i fyrkanal (på båndet) i kg | 0 | - |
| [5] | Påfyldning af kedelvand i % af max | 0 | 100 |
| [6] | Aftapning af kedelvand i % af max | 0 | 100 |
| [7] | Åbning for havvand til kondensatoren i % af max | 0 | 100 |
| [8] | Åbning for afgang fra kondensatoren i % af max | 0 | 100 |
| [9] | Åbning for damp til maskinen i % af max | 0 | 100 |
| [10] | Åbning for overskudsdamp i % af max | 0 | 100 |
| [11] | Valg af program | 0 | 4 |

#### tilstand()

Indeholder alle de beregnede tilstandsværdier for dampmaskinen på et givet tidspunkt.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Position** | **Beskrivelse** | **Mindste værdi** | **Største værdi** |
| [0] | Omstyringens stilling | 0 | 100 |
| [1] | Olie i Oliebeholder i liter | 0 | Design[4] |
| [2] | Forbrændingshastighed i kg kul/sekund | 0 | 0,042 |
| [3] | Aktuel brandværdi af kul i kJ/kg | 0 | Design[2] |
| [4] | Røgtemperatur i kedel i 0C | 0 | 1.526 |
| [5] | Vand i kedel i liter | 0 | Design[1] |
| [6] | Damptryk i bar (abs) | 0 | Design[7] |
| [7] | Luft i damprum | 0 | 1 |
| [8] | Maskinydelse (%) | 0 | 100 |
| [9] | Maskintelegraf | 0 | 6 |
| [10] | Indfyret effekt i kJ/sek | 0 | 1.333 |
| [11] | Flyveaske i røgrør (%) | 0 | 100 |
| [12] | Tidspunkt for sidste rensning af røgrør | 0 | - |
| [13] | Vandtemperatur i kedel (0C) | 0 | 184 |
| [14] | Akummuleret damp ind i maskinen (kg) | 0 | - |
| [15] | Akummuleret damp ud til atmosfæren (kg) | 0 | - |
| [16] | Sikkerhedsventil lukket/åben | 0 | 1 |
| [17] | Damp til rådighed i kedlen (kg/sek) | 0 | - |
| [18] | Damp til rådighed for maskinen (kg/sek) | 0 | 0,29 |
| [19] | Damp, der lukkes ud til det fri (kg/sek) | 0 | 0,66 |
| [20] | Dannet kondensat (kg/sek) | 0 | 0,29 |
| [21] | Temperatur i kondensator | 9 | 99 |
| [22] | Tryk i kondensator (bar abs) | 0 | 1 |
| [23] | forbrugt oliemængde (liter/time) | 0 | - |
| [24] | Røgtemperatur i skorsten (0C) | 0 | 650 |
| [25] | Enthalpi i kedlen (kJ) | 0 | - |
| [26] | Klar til sejlads | 0 | 1 |

#### virkning()

Indeholder alle de output, som simulatoren viser til operatøren på et givet tidspunkt.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Position** | **Beskrivelse** | **Mindste værdi** | **Største værdi** |
| [0] | Omstyringens stilling på modellen | 0 | 100 |
| [1] | Modellens omdrejningshastighed | 0 | 100 |
| [2] | Oliestand i skuerør | 0 cm | 37 cm |
| [3] | Røggastemperatur ved afgang fra kedel i 0C | 50 | 650 |
| [4] | Vandstand i skuerør | 0 cm | 35 cm |
| [5] | Film i koøje | 0 (pause) | 1 (afspilning) |
| [6] | Vacuum i kondensator | 0 | 1 |
| [7] | Kedeltryk | 0 | 10 |
| [8] | Hastighed af transportbånd | 0 | Design[12] |
| [9] | Vand fra overtryksventil | 0 | 1 |
| [10] | Lys i brandkammer | 0 | 1 |
| [11] | Varme i brandkammer | 0 | 1 |
| [12] | Lyd af forberedelse til sejlads | 0 | 100 |
| [13] | Lyd af dampmaskine lydstyrke | 0 | 100 |
| [14] | Lyd af vand i rør | 0 | 100 |
| [15] | Lyd af vand, der pjasker | 0 | 100 |
| [16] | Lyd af blæsende overtryksventil | 0 | 100 |
| [17] | Lyd af maskine, der skal smøres | 0 | 100 |
| [18] | Lyd af maskinhaveri | 0 | 100 |
| [19] | Lys i kontrollampe | 0 | 1 |
| [20] | Maskintelegrafens stilling | 0 | 6 |
| [21] | Kommando i talerør | 0 | 100 |
| [22] | Lyd af maskintelegraf fløjte | 0 | 100 |
| [23] | Lyd af damp i rør | 0 | 100 |
| [24] | Aktivering af røgmaskine | 0 | 1 |
| [25] | Lyd af dampfløjte | 0 | 100 |

### master.py

Program, der starter simulatoren og aflæser valget i programvælgeren, hvorefter det kalder det relevante hovedprogram.

### demo.py

Modul, der viser hvad simulatoren kan uden brugerinddragelse. Der simuleres anløb til Assens Havn med S/S Bjørn.

Programmet kører i sløjfe, så det kan køre når udstillingen er åben, men der ikke er nogen brugere i kontrolrummet.

### simulator.py

Modul med maskinrumssimulator med pædagogisk eller realistisk respons afhængigt af hvilket programnummer, der er valgt.

Maskinisten modtager en række kommandoer via maskintelegrafen, og skal så forsøge at få modellen til at udføre de ønskede manøvrer.

Sejlturen varer ca 30 minutter.

### powernet.py

Modul, der styrer den Arduino, der styrer relæerne, der tænder og slukker for 230 V AC til simulatorens forskellige dele.

### model.py

Modul, der styrer dampmaskinemodellen.

### PCA9685.py

Modul, der muliggør kommunikation mellem Raspberry Pi og servocontrolleren PCA9685 via I2C bussen.

### servo.py

Modul, der styrer instrumentvisningen på maskintelegraf, røggastermometer, kandensator vakuummeter og kedel manometer. Endvidere styrer den omstyringen på dampmaskinemodellen.

### transport.py

Modul, der styrer transportbåndet, via en Arduino Nano, der styrer frekvensomformeren.

### vejecelle.py

Modul, der styrer den Arduino, der aflæser og resetter vejecellerne under transportbåndet.

### IRremote.py

Modul. Der styrer den Arduino, der fjernbetjener TV’et i koøjet.

### oliepumpe.py

Modul, der aflæser den Arduino, der styrer flowmåleren i oliepumpen.

### omstyring.py

Modul, der styrer Arduino slaven på omstyringshåndtaget.

### primaerLuft.py

Modul, der aflæser Arduino slaven på det primære luftspjæld.

### programvalg.py

Modul, der aflæser Arduino slaven på programvælgeren.

### roegroer.py

Modul, der styrer Arduino slave med fen ultralyds afstandsmålere placeret i røgrørene.

### sekundaerLuft.py

Modul, der aflæser den Arduino slave, der måler åbningen af indfyringslemmen.

### servoTemp.py

Modul, der sender besked til den Arduino slave, der styrer servoen på skorstenstermometeret

### servoTryk.py

Modul, der sender besked til den Arduino slave, der styrer servoen på de to manometre.

### sikkerhedsventil.py

Modul, der sender besked til den Arduino slave, der åbner og lukker for vandet til sprinkleren.

### skueglasKedel.py

Modul, der sender besked til den Arduino slave, der styrer væskestanden i kedelvandsmåleren.

### skueglasOlie.py

Modul, der sender besked til den Arduino slave, der styrer væskestanden i smøreoliemåleren.

### ventiler.py

Modul, der aflæser den Arduino slave, der læser stillingen af de seks ventilhåndtag.

## Arduino

### powernet.ino

1. Arduino I2C slave til styring af strømforsyningstavlen. Der modtages et byte med tænd eller sluksignal for et enkelt relæ.

### model.ino

Arduini I2C slave til styring af model-dampmaskinen. Der modtages 2 bytes:

1. byte er et tal mellem 0 og 255, der angiver hvor meget energi motoren tilføres

2. byte er et tal mellem 0 og 255, der angiver omstyringens stilling: 0 er fuld kraft bak.

### transport.ino

Arduino I2C slave til transportbånd styring. Styring af frekvensomformer vha af 0-10 V spænding

produceret vha PWM på Arduinoens ben D3. Endvidere styres et relæ, der tænder og slukker for motoren.

Der modtages en byte med en værdi mellem 0 og 255 til styring af frekvensen (motorhastigheden),

og en byte: 0 eller 1 til styring af sluk/tænd relæet.

### vejeceller.ino

Vejecellerne aflæses af en A/D converter, HX 711, som er forbundet med en Arduino Nano.

Programmet benytter biblioteket HX711, der er skrevet af "bogde": <https://github.com/bogde/HX711> .

### IRremote.ino

Programmet udsender et IR fjernstyringssignal til TV’et i koøjet.

### oliepumpe.ino

Programmet sender en byte til masteren med antal liter, der er pumpet siden sidste reset. Det modtager en byte fra masteren med besked om at lave reset af tælleren.

### omstyring.ino

Programmet læser omstyringens stilling ved hjælp af spændingsfaldet over et skydepotentiometer. Der midles over et antal målinger.

### primaerLuft.ino

Program, der måler åbningen af luftspjældet under transportbåndet. Der måls vha. interrupt fra en optisk encoder.

### sekundaerLuft.ino

Program, der måler åbningen af luftspjældet over transportbåndet. Der måls vha. interrupt fra en optisk encoder.

### programvalg.ino

Programmet læser hovedkontaktens stilling ud fra 24 V DC spændingen på den sluttede kontkt.

### roegroer.ino

Program til at måle den frie distance i fem røgrør ved hjælp af ultralyd.

### servoTemp.ino

Program, der styrer den servomotor, der driver viseren på skorstenstermometeret.

### servoTryk.ino

Program, der styrer de servomotorer, der driver viserne på de to manometre.

### sikkerhedsventi.ino

Program, der åbner og lukker sikkerhedsventilen.

### skueglasKedel.ino

Program til styring af væskestanden i skueglas, med anvendelse af Pololu DRV 8825 stepstick.

### skueglasOlie.ino

Program til styring af væskestanden i skueglas, med anvendelse af Pololu DRV 8825 stepstick.

### ventiler.ino

Program, der aflæser stillingen af 6 ventiler: Damp ind/ud, kedelvand ind/ud og kondensator ind/ud.

# Spil

Anvendelsen af simulatoren er som et computerspil, hvor man modtager nogle opgaver eller udfordringer, som man så skal løse.

Her er opgaven at sejle en kort tur på 15-20 minutter.

Man modtager dels udtalte ordrer fra skipper via talerøret, og dels via maskintelegrafen. Der ud over modtager man gode råd fra maskinmesteren (chiefen) via talerøret. Ordrer på maskintelegrafen understøttes af en klokke, og ordrer via talerøret indvarsles ved en fløjten 5 sekunder før ordren kommer.

Spillets tidsforløb:

00:00 Skipper: ”Skipper her – I skal være klar til afgang om 5 minutter”

05:00 Maskintelegraf: opmærksomhedssignal: FS, FF, FB, FS

05:05 Maskintelegraf: LF

05:15 Maskintelegraf: LB

05:25 Maskintelegraf: LF

05:45 Maskintelegraf: HF

06:30 Maskintelegraf: FF

15:00 Skipper: ”200 meter til havnemolen”

16:08 Maskintelegraf LF

17:13 Maskintelegraf LB

17:35 Maskintelegraf LF

18:12 Maskintelegraf LB

18:38 Maskintelegraf LF

20:31 Maskintelegraf LB

20:59 Maskintelegraf LF

21:30 Maskintelegraf LB

21:57 Maskintelegraf LF

23:07 Maskintelegraf LB

23:23 Maskintelegraf LF

25:05 Dampfløjte

27:10 Maskintelegraf FS

27:19 Telegraffløjte

27:24 Skipper: ”Skipper her – Så kan I godt bakke af. Tak for sejladsen.”

(Version 2 nedenfor)

Hvis ikke en ordre efterkommes indenfor 15 sekunder kommer skipper i talerøret med en overfusning:

Gal retning:

Skipper: ” Du kommer for lidt på dækket, og kan åbenbart ikke se forskel på for og agter på et skib.”

Skipper: ”Bak for helvede”

Skipper: ”Frem for helvede”

Gal hastighed:

Skipper: ”Tror du at det er et hvilehjem, det her?”

Skipper: ”Tag det roligt, vi skal jo ikke smadre det hele”

Skipper: ” Fuld kraft frem”

Skipper: ”Halv kraft frem”

Skipper: ”Ganske langsomt frem”

Skipper: ”Fuld kraft bak”

Skipper: ”Halv kraft bak”

Skipper: ”Ganske langsomt bak”

Skipper: ”Stop”

Ingen hastighed:

Skipper: ”Hvad foregår der? Vi kan ikke leve af at ligge her hele dagen!”

Hvis maskinen betjenes uhensigtsmæssigt kommer chiefen med et godt råd efter 10 sekunder:

Ingen kul på båndet og turen er ikke færdig:

Chiefen: ”Chiefen her – det vil være en god ide at skovle noget kul i ovnen”

Kedel < 98 0C og *damp ud* lukket:

Chiefen: ”Chiefen her – du skal åbne Damp Ud hanen for at få luften ud af kedlen. Du skal lukke den igen når du hører at dampen kommer”

Kedeltryk < 8 ato og primærluft < 100:

Chiefen: ”Chiefen her – Du skal give den noget mere underluft for at få kullene til at give mere varme”.

Kedeltryk < 9 ato og sekundærluft > 10% i mere end 15 sekunder:

Chiefen: ”Chiefen her – Du skal lukke lågen så den kun er 10 % åben når du ikke fyrer, så brænder kullene bedst.”

Kedeltryk > 9 ato:

Chiefen: ”Chiefen her – du har for meget tryk på kedlen. Luk for primærluft og luk indfyringslågen helt op. Hvis det ikke er nok, så må du lukke lidt damp ud.”

Oliestand under 5%:

Chiefen: ”Chiefen her – Du skal pumpe noget olie op i tanken, ellers ødelægger du maskinen.”

Vandstand mere end 10 % fra idealet:

Chiefen: ”Chiefen her – du skal justere vandstanden i kedlen.”

Kondensator hane ind < 100% åben:

Chiefen: ”Chiefen her – Du skal lukke helt op for kondensator ind, så du får størst mulig køling af dampen”

Kondensatorhane ud < 100%:

Chiefen: Chiefen her – du skal lukke helt op for kondensator ud, så vandet kan komme tilbage til kedlen”.

To replikker i talerøret må ikke komme tættere på hinanden end 30 sekunder.

# Programkode

Al programkode kan findes i <https://github.com/joergenfriis/Steam-Engine-Simulator>

# Kredsløbsdiagrammer

Alle kredsløbsdiagrammer kan findes i <https://github.com/joergenfriis/Steam-Engine-Simulator> .

# Bilag

1. Danfoss VLT 2800 Manual
2. Servo Driver manual
3. HX 711 datablad
4. PCA9615 datablad