Stoominstallatie t.b.v. een stoomgenerator.

Hogeschool van Utrecht

INHOUDSOPGAVE pag.

OPDRACHT 1

STARTLIJST 2

STOPLIJST 3

WAT TE DOEN BIJ STORINGEN 4

Gebruikte meetwaarden 6

VERKLARING PROCES 7

BEREKENINGEN 10

Bijlage 1 : schema van de installatie 13

OPDRACHT ELECTRISCHE STOOMCENTRALE

Onderzoek de volgende systemen.
1. Koelwater condensor
2. Condensaat van condensor tot voedingwater voorwarmer.
3. Ketel voedingwater van voorwarmer tot condensor.
4. Stoom van ketel tot condensor.
5. Luchtafvoer uit condensor (vacuumpomp)
6. Smeerolie.

Bekijk van deze systemen alle meet- en regelapparatuur en wat we er mee kunnen doen.
Start telkens na het onderzoek van een systeem dit op.

Bekijk de electrische bedieningskast met de verschillende mogelijkheden en beveiligingen.

Lees de instructie van de turbine

Maak nu een korte doch overzichtelijke startlijst van de installatie.
Start de installatie nu op en zorg dat de temp. van de stoom voor de turbine 8 graden hoger is dan de verzadigde stoomtemperatuur.
Wacht tot de installatie stabiel is en neem vervolgens die gegevens op nodig voor de berekening van :

1. Ketelrendement
2. Thermisch rendement turbine
3. Inwendig rendement turbine
4. Totaal rendement turbine installatie
5. Het geleverde vermogen door de trubine
6. Het vochtgehalte van de stoom na de ketel
7. Het vochtgehalte na de turbine
8. Warmte verlies in de condensor
9. Generator verliezen
10. Totaal rendement gehele installatie

Welke maatregelen moet men nemen bij de volgende storingen.
a. Uitvallen koelwaterpomp condensor
b. Condenspomp
c. Ketelpomp
d. Vacuumpomp
e. Smeeroliepomp

Berekeningen en storingen als verslag inleveren.

STARTLIJST STOOMINSALLATIE

Opstarten van condensor en smeerolie systeem:

- Zorgen voor spanning op bedieningspaneel.
- Vullen van de koelwater dagtank.
- Alle afsluiters openen van het condensor systeem behalve de persafsluiter.
- De pomp starten en de pers afsluiter openen.
- Smeeroliepomp aanzetten en water door de pomp om de olie af te koelen.
- Drukken controleren !
- Condensaatpomp aanzetten.
- Beide afsluiters onder de voorraadtank openen.
- De vacuumpomp aanzetten en er water door laten lopen.

Het opstarten van de ketel:

- Lucht toevoer openen.
- Brandstof toevoer (4 * afsluiters) openen.
- Zorgen dat water vanaf de ketel direct naar condensor loopt (afsluiter 4 en 9).
- Stoomleidingen en afsluiters bekijken zodat de stoom door de ovo gaat maar niet naar de turbine.
- Alle hoofdschakelaars aan.
- Schakelaars van pomp op fill.
- Daarna op tussenstand tot de servo positie heeft gekozen.
- De schakelaar op run zetten
- Het rode knopje ingedrukt laten totdat het rode lampje uitgaat.
- Als je stoom krijgt langzaam de stoomafsluiter openen.
- Nu de leiding naar condensor sluiten (afsluiter 4 en 9)
- Stoomafsluiter helemaal open.

Het opstarten van de turbine :

- De stoom oververhitten met ovo op 10 kW.
- De afsluiter openen naar de turbine zodat de turbine langzaam gaat draaien.
- verder openen totdat hij zichzelf instelt op 6000 toeren.

STOPPEN VAN DE STOOMINSTALLATIE

- De stoomafsluiter (bij de tafel die buiten om de turbine gaat) 3/4 slag open.
- De afsluiter na turbine sluiten.
- De tornmachine erop zetten.
- De ovo afzetten.
- De pomp van run naar fill.
- Brandstof en lucht afsluiten.
- De afsluiter van de stoom langzaam dicht draaien en op den duur bij ong. 2 bar de afsluiter naar de condensor openen.
- Nu de stoomafsluiter helemaal dicht draaien en erop letten dat de druk niet meer oploopt.
- Alles nu langzaam af laten koelen en als het koud genoeg is alles afzetten.

WAT TE DOEN BIJ STORINGEN

- Koelwaterpomp valt uit.

De warmteafvoer in de condensor vindt niet meer plaats, hierdoor condenseert de stoom niet meer. De condensaat- en voedingspomp moeten beiden na een tijdje stoom gaan verpompen. Daarvoor zijn deze niet geschikt met als gevolg dat de ketel droog kookt. Ook de smeerolie wordt niet meer gekoeld.
Hier uit volgt dat bij storing aan de koelwaterpomp de installatie moet worden stilgelegd (binnen enkele minuten)

- Condensaatpomp valt uit.

De condensaatpomp verpompt de gecondenseerde stoom (water) naar de ontgasser. De gecondenseerde stoom verzameld zich in de condensaattank. Deze raakt vol (alarm) en de ontgassertank raakt leeg. Het water hoopt zich op in de condensor.

Misschien is het mogelijk dat de ketelvoedingspomp het voedingswater, door de ontstane onderdruk, nu rechtstreeks uit de condensor pompt. Dit zou een extra belasting zijn voor de ketelvoedingspomp waardoor de massastroom stoom/water kleiner wat weer resulteert in een kleinere P_{el} waardoor het rendement van de installatie daalt.

Als deze belasting te groot is voor de ketelvoedingspomp dan moet de installatie worden stilgelegd.

Bij de opstelling op de Jutfaseweg is er nog de mogelijkheid om de resrve opvoerpomp in te schakelen. Als dit gebeurt kan de installatie misschien gewoon doordraaien.

- Ketelvoedingspomp valt uit

De ketel krijgt geen voedingswater meer waardoor de ketel droog kookt. Dit levert groot gevaar op! Direct de installatie stilleggen!

Op de Jutfaseweg is er sprake van een gedeeltelijk natuurlijke circulatie waardoor het gevaar voor droog koken kleiner is.

- Vacuümpomp valt uit

Als de vacuümpomp uitvalt kan de onderdruk in de condensor niet meer worden gehandhaafd. Hierdoor wordt de drukval over de turbine kleiner. Dit veroorzaakt een kleiner opgewekt electrisch vermogen waardoor het totaal rendement daalt.
Er is geen reden om de installatie te stoppen.

- **Smeeroliepomp valt uit**

De smeeroliepomp zorgt voor de smering van de lagers van de turbine en de generator. Tevens zorgt de olie voor koeling van deze lagers. Als de smeerolie toevoer stopt worden de lagers dus niet meer gesmeerd en gekoeld. De lagers raken oververhit door meer wrijving en minder koeling. Dit resulteert in kapote lagers.

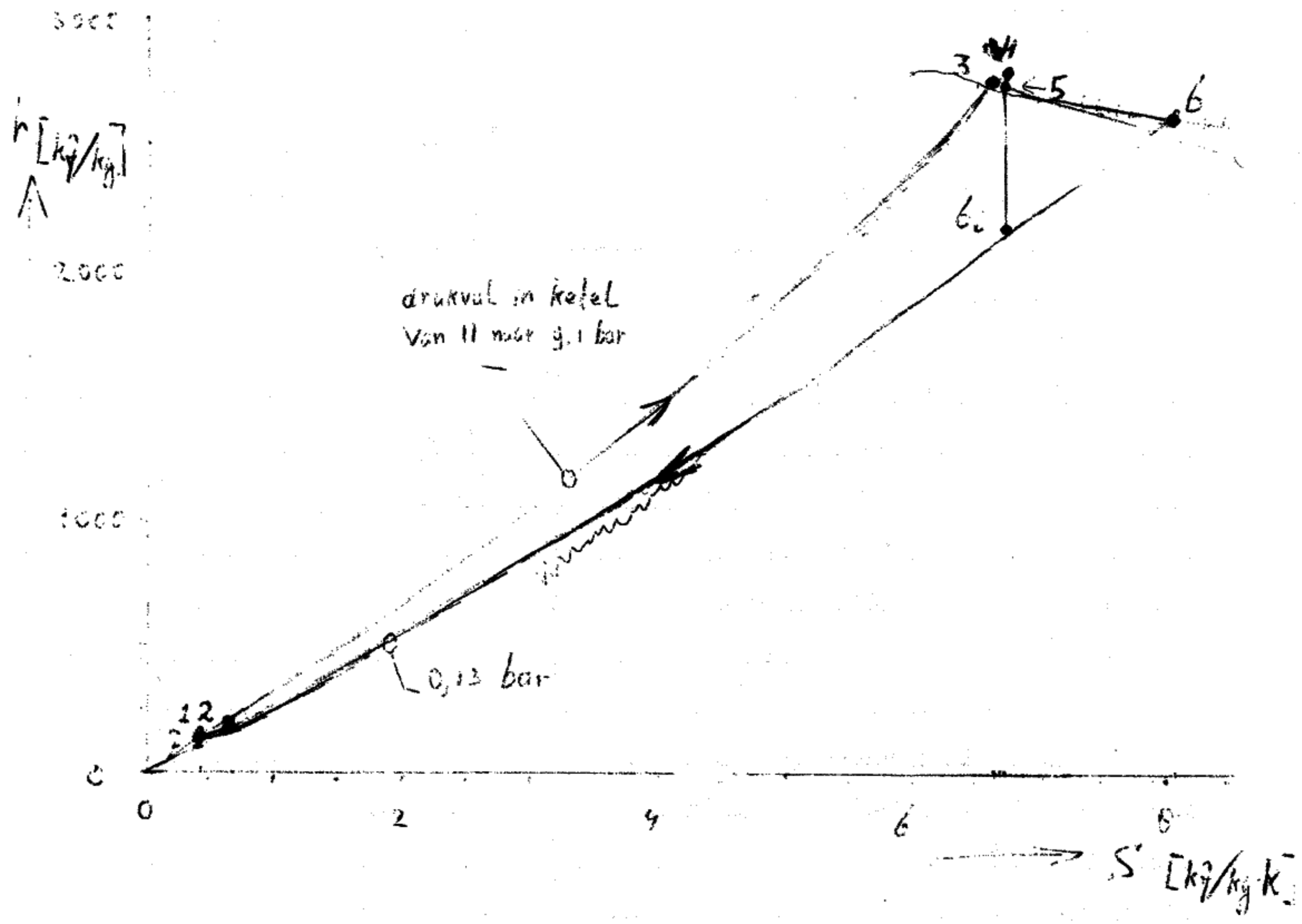
Zodra de smeeroliepomp uitvalt is het dus verstandig om de draaiende onderdelen te stoppen. Dit kan door de stoom niet door turbine te leiden maar terug te voeren naar de condensor.

Belangrijk: stilleggen van de installatie dient volgens de lijst voor het stoppen van de installatie te gebeuren.

Journaal Stoominstallatie

Plaats.	Temp.	Druk	Hoeveelh.
Koelwater Condensor in	18.5		
" " uit	26		
Δ P over meetflens		0.44	
Koelwaterpompdruk		1,3	
Druk in Condensor		66 cm Hg	
Temp. condensaat.	31.5		
Stoomdruk in ketel / stoomtemp.	9.1	180.5	
Brandstofdruk v. pomp		10,8	
" naar brander		0,6	
Luchtdruk naar brander.		3,25	
kg. brandstof verbruik p/uur			35
Persdruk voedingwaterpomp		11	
Temp voedingwater in ontgasser	49		
Druk in ontgasser.		1	
Stoomverbruik bij 100% → 1975 kg/u			22%
Temp. stoom voor OVO	180,5		
" " na OVO	187		
Druk in OVO		8	
Druk stoom voor Turbine		7,5	
Temp. stoom voor Turbine	176.5		
Druk stoom na Turbine		66 cm Hg	
Temp. stoom na Turbine	54.2		
Smo druk voor en na het filter		2,5/2,5	
Temp. Smo. naar lagers / tandw.k.	45		
" " retour "	46		
Temp. verschil over koelspiraal olie	1		
Hoeveelheid koelw. doorstr. p.uur.			

	Volt	Hz	Amp.	kW.
Totaal geleverd vermogen Gen. Generator Sp. en Lijnstroom.	385	50	–	21,5
Vermogen naar OVO. en stroom			5	4,5
Toerental Turbine / Gen.		6000 / 1500		



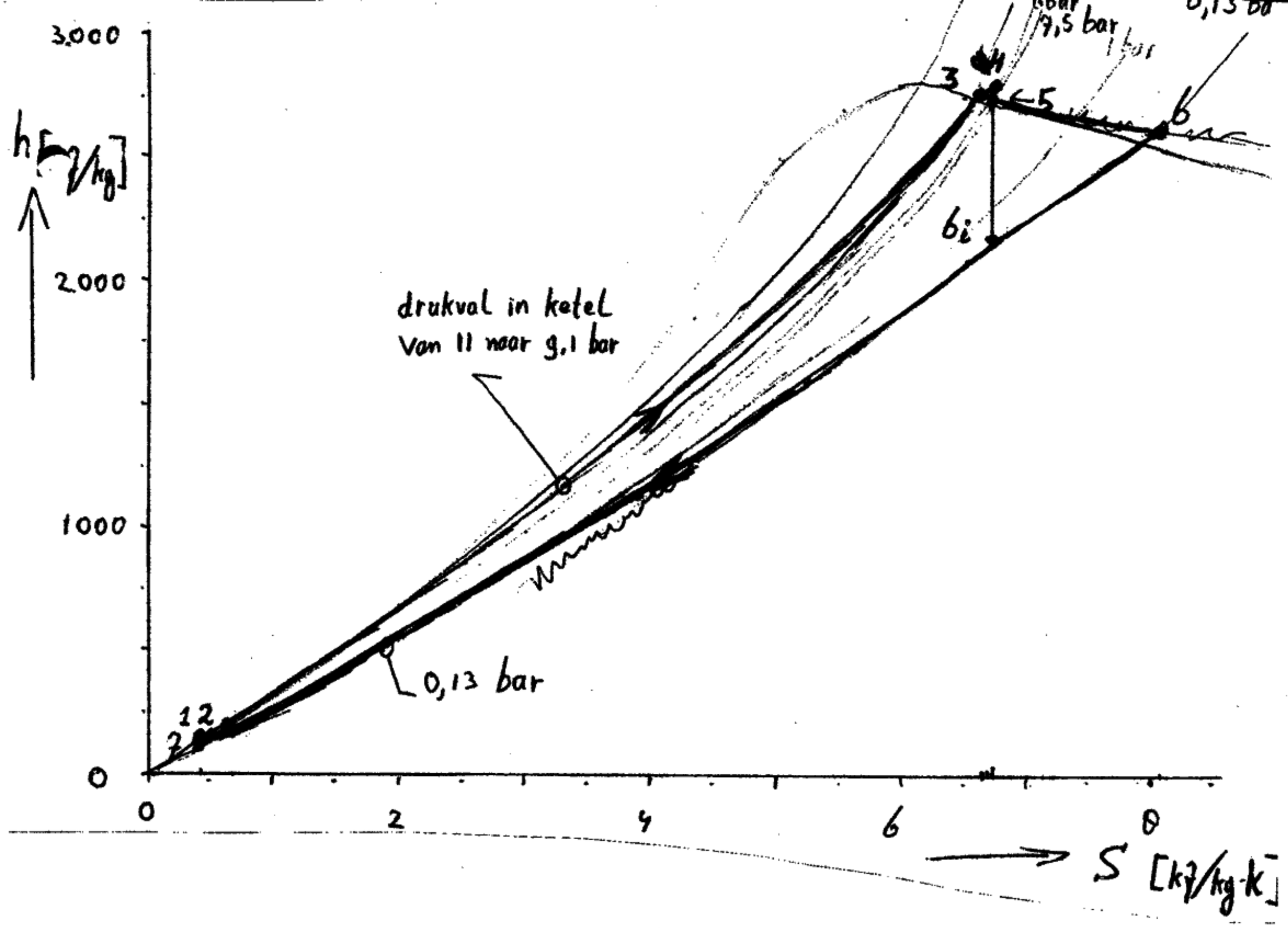
schets van het proces in een hs-diagram

verklaring van de punten

1) toestand van water in ontgasser:
t = 49°C p = 1 bar
1 bar & 40°C > 167,5 kJ/kg)
1 bar & 50°C > 209,3 kJ/kg)> h1 = 205,1 kJ/kg
s1 = 0,6904 kJ/kgK

2) toestand voedingswater in ketel:
t = 49°C p = 11 bar
11 bar & 40°C > 168,4)
11 bar & 50°C > 210,2)> h2 = 206,0 kJ/kg
s2 = 0,6899 kJ/kgK

3) toestand van stoom in de ketel:
t = 180,5°C p = 9,1 bar
9 bar & 180°C > 2.783,9)
9 bar & 190°C > 2.808,6)
9,5 bar & 180°C > 2.780,2)
9,5 bar & 190°C > 2.805,3)> h3 = 2.784,4 kJ/kg
s3 = 6,6416 kJ/kgK



schets van het proces in een hs-diagram

verklaring van de punten

1) toestand van water in ontgasser:
t = 49°C p = 1 bar
1 bar & 40°C > 167,5 kJ/kg)
1 bar & 50°C > 209,3 kJ/kg)> h1 = 205,1 kJ/kg
s1 = 0,6904 kJ/kgK

2) toestand voedingswater in ketel:
t = 49°C p = 11 bar
11 bar & 40°C > 168,4)
11 bar & 50°C > 210,2)> h2 = 206,0 kJ/kg
s2 = 0,6899 kJ/kgK

3) toestand van stoom in de ketel:
t = 180,5°C p = 9,1 bar
9 bar & 180°C > 2.783,9)
9 bar & 190°C > 2.808,6)
9,5 bar & 180°C > 2.780,2)
9,5 bar & 190°C > 2.805,3)> h3 = 2.784,4 kJ/kg
s3 = 6,6416 kJ/kgK

4) toestand stoom na OVO:
t = 187°C p = 8 bar
8 bar & 180°C > 2.791,1)
8 bar & 190°C > 2.815,1)> h4 = 2.807,9 kJ/kg
s4 = 6,7490 kJ/kgK

5) toestand stoom voor turbine:
t = 176,5°C p = 7,5 bar
7,5 bar & 170°C > 2.770,4)
7,5 bar & 180°C > 2.794,6)> h5 = 2.786,1 kJ/kg
s5 = 6,7291 kJ/kgK

6) toestand condensaat na turbine:
t = 54,2°C p = 66 cm Hg ≈ 0,13 bar
interpolatie is niet mogelijk doordat de overgang water stoom in het gebied ligt. Verzadigings tabel geeft dat stoom van 0,13 bar condenseert bij t = 51,062°C. t is hoger dus stoom.
met behulp van hs diagram: h6 ≈ 2.600 kJ/kg
s6 ≈ 8,079 kJ/kgK

i) toestand isentroop geëxpandeerde stoom:
s6i = s5 p6i = p6
Weer situatie in vloeistof/damp gebied.
Uit hs-diagram > h6i = 2.175 kJ.kg

7) toestand gecondenseerde stoom in condensaattank:
t = 31,5°C p = p6 ≈ 0,13 bar
0,14 bar & 30°C > 125,7)
0,14 bar & 40°C > 167,5)
0,12 bar & 30°C > 125,7)
0,12 bar & 40°C > 167,5)> h7 = 132,0 kJ/kg
s7 = 0,4568 kJ/kgK

Toestandsveranderingen

1 -> 2: Op druk brengen voedingswater ontgasser naar ketel
Voedingspomp levert het vermogen.

2 -> 3: Verhitten voedingswater tot stoom(geen natte stoom)
Ketel levert de warmte/het vermogen.
! let op drukval 11 naar 9,1 bar

3 -> 4: Oververhitten van de stoom met de OVO
! let op drukval 9,1 naar 8 bar

4 -> 5: Afkoelen stoom tussen OVO en turbine
! let op drukval 8 naar 7,5 bar.
!! Dit is puur verlies.

5 -> 6: Expanderen stoom in de turbine
! Dit levert vermogen/arbeid

6 -> 7: Afvoer warmte in de condensor(stoom wordt water)
warmte gaat naar koeltoren.
! druk blijft gelijk.

7 -> 1: Verpompen condensaat naar ontgasser.
! drukstijging 0,13 naar 1 bar. *(6->7 & 7->1 vaak* condensaatpomp levert vermogen. *samen)*

5 -> 6i: Isentrope expansie in turbine
Alleen mogelijk zonder lek- en dukverliezen.
Dit is praktisch niet mogelijk.

Berekeningen

- Ketelrendement

$\eta_{ketel} = Q_{uit}/Q_{toe} * 100\%$

$t_{stoom} = 180,5°C$ $\quad$ $t_{voedingswater} = 49°C$
$p_{stoom} = 9,1$ bar $\quad$ $p_{voedingswater} = 11$ bar

$\dot{m}_{stoom} = 22\% * max = 22\% * 1.975$ kg/h $= 0,121$ kg/s
$\dot{m}_{brandstof} = 35$ kg/h $= 0,0097$ kg/s
$H_o = 42,5$ MJ/kg
daaruit volgt:
$Q_{toe} = \dot{m}_{br} * H_o = 413,19$ kW
$Q_{uit} = \dot{m}_{st} * (h3-h2) = 311,21$ kW

$\eta_{ketel} = 311,21/ 413,19 * 100\% = 75,3\%$

- Thermisch rendement

$\eta_{thermisch} = W_{eff}/Q_{toe} * 100\%$

Dit is het rendement van ketel + turbine. Ideaal: geen verliezen in ketel + turbine = Rankine-proces

$Q_{toe} = h4-h2 = 2807,9 - 206,0 = 2601,9$ kJ/kg
$W_{eff} = (h4-h6i)-(h2-h7)$
$= (2807,9 - 2175) - (206,0 - 132,0)$
$= 558,9$ kJ/kg

$\eta_{thermisch} = 558,9/2601,9 = 21,5\%$

- Inwendig rendement turbine

$\eta_t = \Delta hi/\Delta ho$

$\Delta ho = \Delta h_{omkeerbaar} = h5 - h6i = 2786,1 - 2175 = 611,1$ kJ/kg
$\Delta hi = \Delta h_{inwendig} = h5 - h6 = 2786,1 - 2600 = 186,1$ kJ/kg

$\eta_t = 186,1/611,1 * 100\% = 30,5\%$

- Totaal rendement

η_{totaal} = geleverd/toegevoerd
= $P_{as}/Q_{toe(brandstof)}$

P_{as} = $\dot{m}_{stoom}$ *(h5-h6)
= 0,121 *(2786,1-2600)
= 22,49 kJ/s (kW)

Q_{toe} = $\dot{m}_{br}$ * H_o
= 413,19 kJ/s

η_{totaal} = 22,49/413,19 *100% = 5,44%

Controle:
η_{totaal} = η_{ketel} * η_{th} * η_{t}
= 0,753 * 0,215 * 0,305
= 4,94
Dit is kleiner omdat een gedeelte van het door de generator opgewekte vermogen wordt teruggevoerd naar de OVO.

- Geleverd vermogen door turbine

P_{as} = $\dot{m}_{stoom}$ * (h5-h6)
= 0,121 * (2786,1 - 2600)
= 22,46 kW

- Vochtgehalte van stoom na ketel

Dit is de stoomconditie in punt 3. Daar is p =9,1 bar en t = 180,5°C.
Uit de stoomtabellen en hs-diagram blijkt dit oververhitte stoom te zijn. Vochtgehalte is dus nul !

Uit eigen meetwaarden (p = 9 bar en t = 177,5°C) wordt via tabellen de hs-diagram ook een vochtgehalte van 0 gevonden.
$t_{verzadigd}$ bij 9 bar = 175,36°C

- Vochtgehalte stoom na turbine

stoomconditie in punt 6.
p = 0,13 bar en t = 54,2°C
stoomtabellen $t_{verzadigd}$ = 51,062°C, dus ook oververhit.
Opmerking: het is rendabeler om stoom te laten expanderen tot enkele procenten vocht i.v.m. groter expansiegebied wat dan weer meer vermogen oplevert.

- Warmteverlies over de condensor

Q_{af} is de aan het koelwater afgestane warmte.
Q_{af} = $\dot{m}_{stoom}$ * (h6-h7)

= 0,121 * (2600 - 132,0)
= 297,9 kJ (hierin zit een deel straling en warmte afgestaan aan smeerolie)

een andere methode is:

Q_{af} = $\dot{m}_{koelwater}$ * Δt * c
t_{in} = 18,5°C
t_{uit} = 26°C
Δp = 0,44 bar
-> flow = 20.250 * √(4400/2250) = 28.318 l/h =7,87 kg/s
c = 4,2 kJ/kgK

Q_{af} = 7,87 * 7,5 * 4,2 = 247,8 kJ/s (kW)

- Generatorverliezen

η_{gen} = $\eta_{electrisch}$ = Pel/Pas
Pas = $\dot{m}_{stoom}$ * (h5-h6)
= 0,121 * (2786,1-2600) = 22,46 kW
Pel = 21,5 kW (gemeten)

η_{gen} = 21,5/22,46 * 100% = 95,7%

Goed dus! verlies = 4,3%

- Rendement hele installatie

η_{geheel} = $P_{el}/Q_{brandstof}$
$Q_{brandstof}$ = 413,19 kJ/s
P_{el} = 21,5 kW
η_{geheel} = 21,5/413,19 *100% = 5,20%

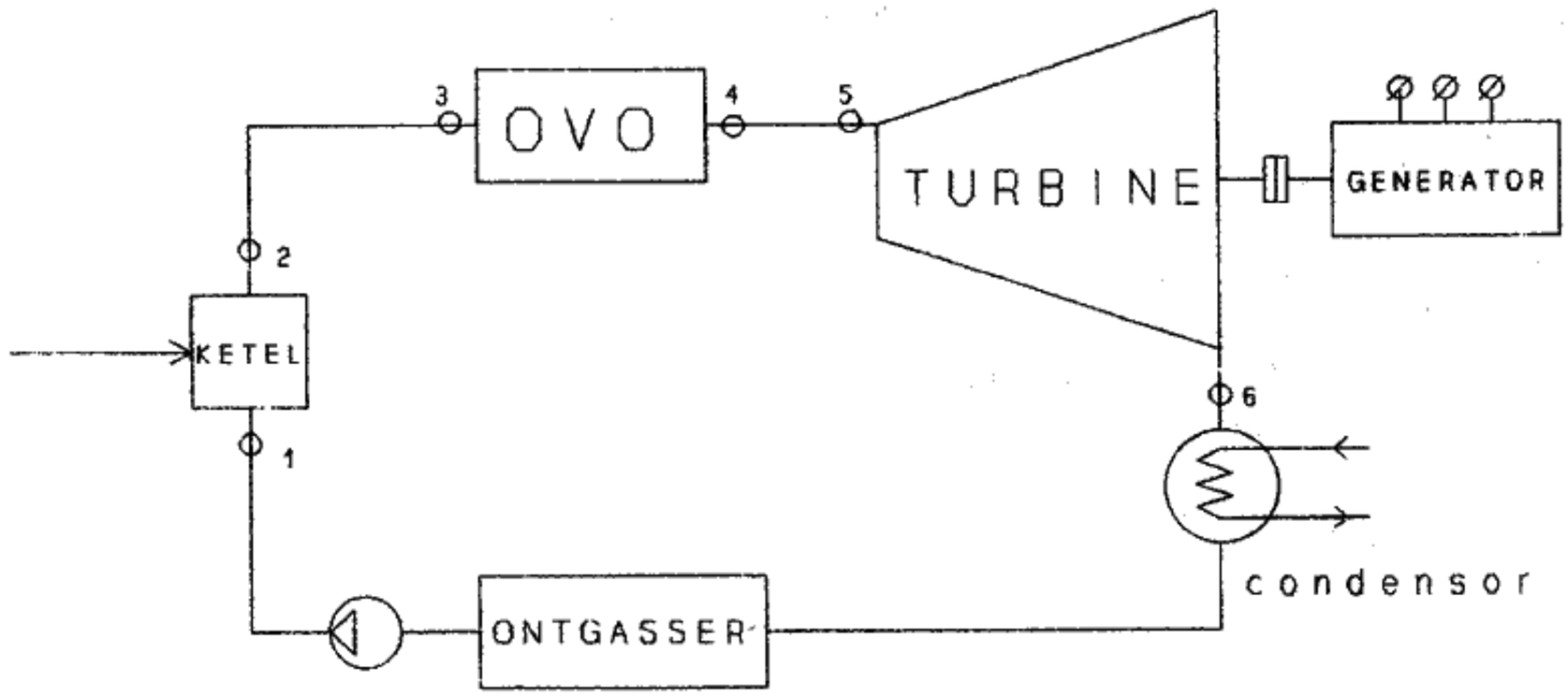
Niet echt geweldig mede doordat de belasting te laag is.

Controle:

η_{geheel} = η_{ketel} * η_{th} * η_{t} * η_{el}
= 0,753 * 0,215 * 0,305 *0,957
= 4,73%

Ook hier komt het verschil door afgevoerde energie naar de OVO.

Bijlage 1



SCHEMA VAN DE INSTALLATIE

Inhoudsopgave

1. Opstartlijst stoominstallatie	Pagina 2
1.1 Koelwatersysteem	Pagina 2
1.2 Condensaatsysteem	Pagina 2
1.3 Vacuumsysteem	Pagina 2
1.4 Brandstofsysteem	Pagina 3
1.5 Smeeroliesysteem	Pagina 3
1.6 Ketel opstarten	Pagina 3
1.7 Turbine	Pagina 3
2. Maatregelen die genomen moeten worden bij een storing.	Pagina 4
2.1 Uitvallen koelwaterpomp condensor	Pagina 4
2.2 Uitvallen condensaatpomp	Pagina 4
2.3 Uitvallen ketelpomp	Pagina 4
2.4 Uitvallen vacuümpomp	Pagina 4
2.5 Uitvallen smeeroliepomp	Pagina 4
3. Journaal Stoominstallatie	Pagina 5
4. Berekeningen	Pagina 6
4.1 Ketelrendement	Pagina 6
4.2 Thermisch rendement van de turbine	Pagina 6
4.3 Inwendig rendement	Pagina 7
4.4 Totaal rendement van de turbine	Pagina 7
4.5 Geleverde vermogen van de turbine	Pagina 7
4.6 Vochtgehalte na de ketel	Pagina 7
4.7 Vochtgehalte na de turbine	Pagina 7
4.8 Warmteverlies in de condensor	Pagina 8
4.9 Genetatorverliezen	Pagina 8
4.10 Totale rendement van de installatie	Pagina 8
Literatuurlijst.	Pagina 9

1. Opstartlijst stoominstallatie

1.1 Koelwatersysteem

- zet hoofdstroom GEB aan.
- kontroleer waterniveau in koelwatervoorraadtank.
- draai afsluiters bij Bolnes (onder koelwatertank) in goede stand.
- draai afsluiters (3x) voor koelwatervoorziening open.
- draai persafsluiter achter koelwaterpomp dicht.
- draai afsluiters boven condensors open (2x).
- zet koelwaterpomp 'bij'.
- zet koeltoren aan: * stop hoorn indrukken
  * hoofdschakelaar + ventilator aan
  * zet schakelaar op 'auto'
  * zet schakelaar op de muur op high speed
- draai persafsluiter langzaam open.
- controleer of koelwater circuleert (persdruk en druk verschil over buisma nometer bij stoomketel).

1.2 Condensaatsysteem

- open afsluiters voor de condensaatpomp (2x).
- open afsluiters onder voedingswaterdrum (2x).
- open afsluiter naast voedingswaterdrum.
- open afsluiters naast ketel.
- sluit persafsluiter achter de pomp.
- zet de pomp 'bij'.
- open persafsluiter.
- controleer de flowmeter (gaat condensaat naar afloop drum of naar voedings waterdrum).

1.3 Vacuumsysteem

- open afsluiter boven condensor.
- zet vacuümpomp 'bij'.
- zet waterkraantje zo ver open dat in de opvangbak een klein beetje water stroomt.
- legen van opvangbak door afsluiter onder de condensor te openen (vacuum in condensor 'zuigt' de opvangbak leeg).

1.4 Brandstofsysteem

- open kranen onder brandstofopslagtank (één onder tank en twee bij brandstof meter + 1 bij de leiding (rode kraan).
- lucht (voor verstuiving brandstof) afregelen op ± 3.5 bar (bij deur rechts om de hoek).

1.5 Smeeroliesysteem

- controleer niveau in de smeerolietank.
- koelwatertoevoer openen.
- start de smeeroliepomp.
- controleer drukverschil over het filter.
- controleer temperatuur.
- controleer drukmeter en temperatuurmeter bij de turbine.

1.6 Ketel opstarten

- draai het zwarte wiel vol open.
- draai de zilverkleurige afsluiter die de stoom naar de condensor laat één slag open (niet verder anders wordt er te veel stoom onttrokken uit de ketel).
- controleer het niveau in de voedingswaterdrum.
- open de stoomafsluiters tussen ketel en turbine.
- open de aftap van de OVO
- controleer of de run/fill schakelaar op de middenstand (uit) staat.
- zet run/fill schakelaar op fill (voedingswater wordt nu door de buizen in de ketel gepompt).
- zet nu de run/fill schakelaar langzaam op run.
- druk nu de rode branderknop in (branders worden nu ontstoken, controleer dit!).

1.7 Turbine

- het temperatuurverschil over de OVO moet ongeveer 7 °C worden, anders komt er vocht in de turbine.
- open kruisvormige afsluiter van de turbine tot de as van de turbine net gaat draaien.
- dit moet een half uur gedaan worden om de turbine op de temperatuur van 80°C te brengen, daarna kan de afsluiter open tot de turbine een rotatiefre quentie van 2000 toeren draait.
- na 10 minuten verder opendraaien tot 4000 toeren.
- na 7 minuten langzaam opendraaien tot 6000 toeren, de regulateur moet gaan werken; als dit het geval is: helemaal opendraaien.

2. Maatregelen die genomen moeten worden bij een storing.

2.1 Uitvallen koelwaterpomp condensor:

Bij uitvallen van de koelwaterpomp moet de reservepomp (deze staat achter bij de Bolnes) zo snel mogelijk 'bij' gezet worden. Hiervoor moeten wel de juiste afsluiters geopend en gesloten worden. Persafsluiter eerst sluiten, en na het starten langzaam opendraaien.

2.2 Uitvallen condensaatpomp:

Bij het uitvallen van de condensaatpomp moet de reserve condensaatpomp (ongeveer naast de condensaatpomp) bij gezet worden. Dit moet gebeuren om het condensaat uit de afloopdrum in de voedingswaterdrum te krijgen.

2.3 Uitvallen ketelpomp:

Als de ketelpomp uitvalt wordt de voedingswatertoevoer kleiner, hierdoor kunnen de pijpen verbranden. De branders zullen dan afslaan (door de beveiliging op de ketel).

2.4 Uitvallen vacuümpomp:

Door het uitvallen van de vacuümpomp wordt het vacuum in de condensor niet behouden. Dus stijgt de druk in de condensor.
Hierdoor wordt het entalpieverschil kleiner en dus het rendement lager. Het heeft geen verdere invloed op de werking van de stoominstallatie.

2.5 Uitvallen smeeroliepomp:

Als de smeeroliepomp uitvalt, moet de stoomtoevoer naar de turbine zo snel mogelijk dicht gedraaid worden. Hierna moet op tornen worden overgegaan, dit moet om de schoepen van de turbine gelijkmatig af te koelen. De lagers van de turbine zullen met de hand gesmeerd moeten worden.

3. Journaal Stoominstallatie

Plaats	Temp.(°C)	Druk (bar)	Hoeveelheid (/uur)
Koelwater cond. in	18.5		
Koelwater cond. uit	26		
ΔP over meetflens		0.44	
Koelwaterpompdruk		1.3	
Druk in de condensor		0.12	
Temp. condensaat	31.5		
Stoomconditie in ketel	180.5	9.1	
Brandstofdruk v. pomp		10.8	
Brandstofdruk naar brander		0.6	
Luchtdruk naar brander		3.25	
Kg brandstof verbruik			35
Persdruk voedingswaterpomp		11	
Temp. voedingswater	49		
Kg Stoomverbruik			434.5
Temp. stoom voor OVO	180.5		
Temp. stoom na OVO	187		
Druk in OVO		8	
Druk stoom voor turbine		7.5	
Temp. stoom voor turbine	176.5		
Druk stoom na turbine		0.12	
Temp. stoom na turbine	54.2		

Totaal geleverd vermogen generator		21,5 kW
Vermogen naar ovo		4,5 kW
Stroom naar ovo	5 A	

4. Berekeningen

4.1 Ketelrendement

gegeven: H_o=42.500 kJ/kg
gemeten: druk in de OVO: 8 bar
t na de OVO: 187 °C
t_{vw} uit de voedingwater voorwarmer: 49 °C
m_b=35 kg/u
m_s bij 22% = 434,5 kg/u
gevraagd: ketelrendement

gevonden in stoomtabel (tabel III): h_{os}=2791,1 kJ/kg

$h_{vw}=c_w{}^*\Delta T$ = 4,2 (49-0)=206 kJ/kg

$$\eta_k = \frac{m_s*(h_{os}-h_{vw})}{m_b*H_o} = \frac{435,5*(2791,1 - 206)}{35 * 42500} \approx 0,76 = 76\%$$

4.2 Thermisch rendement van de turbine

gemeten: druk stoom voor de turbine = 7,5 bar
temperatuur stoom voor de turbine = 176,5 °C
druk stoom na de turbine = 0,12 bar
temperatuur stoom na de turbine = 54,2 °C

Uit de stoomtabel (tabel III): h_{os}= h_3 voor de turbine = 2786,1 kJ/kg
h_{vw}= h_1 na de turbine = 227 kJ/kg
gevonden in h-s diagram: h4i= 2155 kJ/kg
h4 = 2595 kJ/kg

gevraagd: ηth

$$\eta_{th} = \frac{Q_{nuttig}}{Q_{toe}} = \frac{h_3-h_{4_i}}{h_3-h_{vw}} = \frac{2786,1-2155}{2786,1-227} \approx 0,25=25\%$$

4.3 Inwendig rendement

$$\eta_i = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4_i}} = \frac{2786 - 2595}{2786 - 2155} \approx 0,30 = 30\%$$

4.4 Totaal rendement van de turbine

gegeven : $\eta_{mechanisch} = 95\%$
gevraagd: η_{totaal}

$$\eta_{tot} = \eta_k * \eta_{th} * \eta_i * \eta_m = 0,76*0,25*0,30*0,95 = 5,4\%$$

4.5 Geleverde vermogen van de turbine

$P_e = \eta_{mech} * P_i$

$$P_i = m_s * (h_{os} - h_{vw}) = \frac{434,5}{3600} * (2786-2595) \approx 23\ kW$$

Pe = 0,95*23 = 21,9 kW

4.6 Vochtgehalte na de ketel

gemeten : stoomdruk in de ketel = 9,1 bar
temperatuur in de ketel = 180,5 °C
gevraagd: (1-x) na de ketel

Uit de stoomtabel (tabel II) volgt dat de stoom met een druk van 9,1 bar bij een temperatuur van 175,8 °C is verzadigd. Het vochtgehalte van de stoom met de hiervoor gegeven condities is daardoor 0.

4.7 Vochtgehalte na de turbine

gemeten : stoomdruk na de turbine = 0,12 bar
temperatuur na de turbine = 54,2 °C
gevraagd: (1-x) na de turbine in procenten.

Uit de stoomtabel (tabel II) volgt dat stoom met een druk van 0,12 bar bij een temperatuur van 49,446 °C is verzadigd. Het vochtgehalte in de stoom met de hiervoor gegeven condities is daardoor 0.

4.8 Warmteverlies in de condensor

Uit h-s diagram: h_4 = 2595 kJ/kg (enthalpie voor condensor)
h_{vw} = 227 kJ/kg (enthalpie na condensor)

gevraagd: warmteverlies

$$Q_{verlies} = m_s * (h_4 - h_{vw}) = \frac{434,5}{3600} * (2595-227) \approx 286 kW$$

4.9 Genetatorverliezen

Geleverde vermogen door de turbine is 21,9 kW
Geleverde vermogen van de generator is 21,5 kW
Wat er in gaat moet er ook weer uit komen. Er gaat in de generator dus 0,4 kW verloren.

4.10 Totale rendement van de installatie

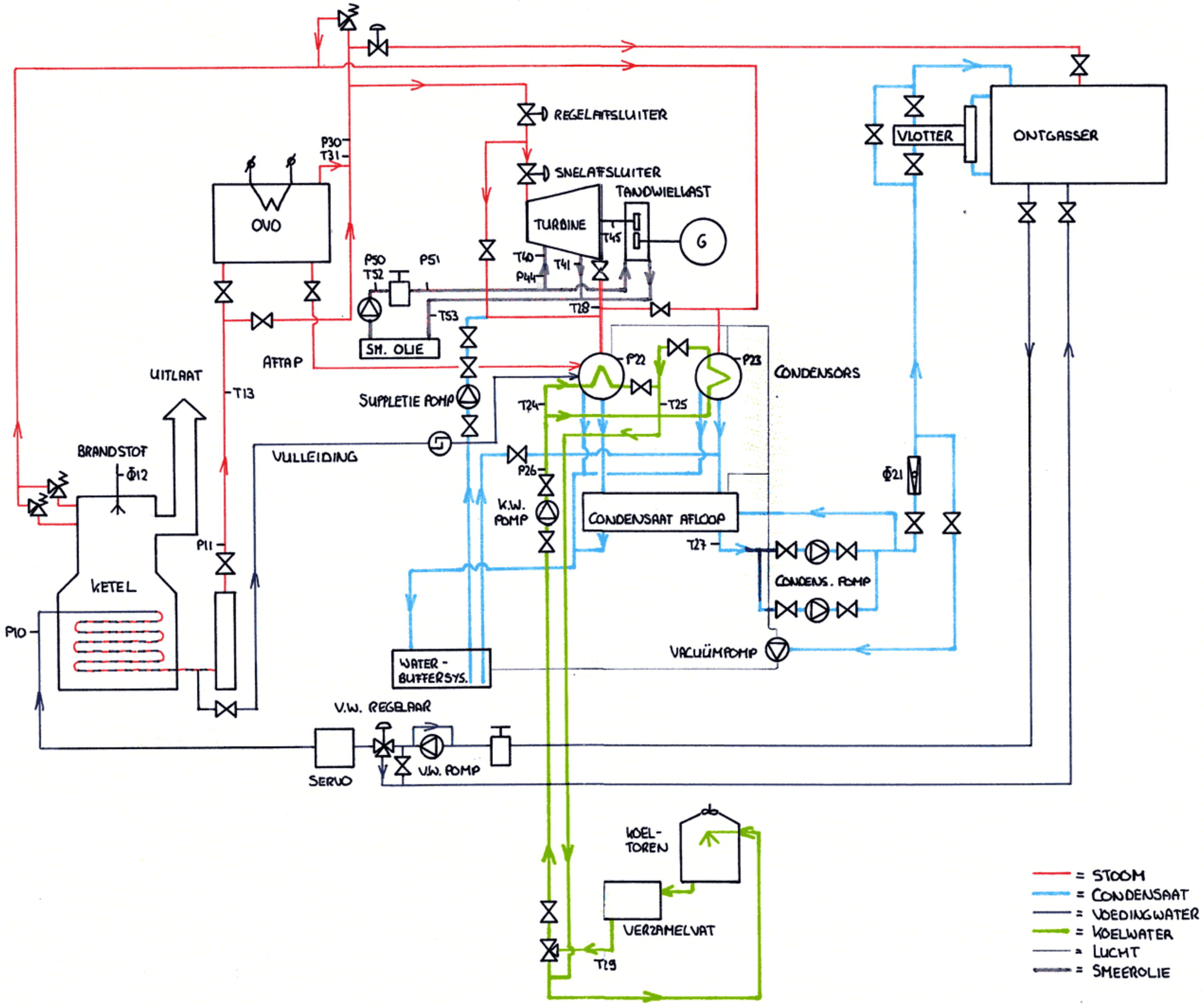
η_t = toegevoerd energie/geleverde energie

Toegevoerde energie = m_s * H_0 = 35/3600 * 42500 = 413,19 kW
Geleverde enregie = 21,5 kW

η_t = 21,5/413,9 = 0,052 = 5,2 %

Literatuurlijst.

Diktaat Stoomketels nr:036
door J.J. Bakker en E.G. v. Lonkhuizen
Diktaat Roterende stromingsmachines nr:428
door E.G. v. Lonkhuizen en T.M.E. Zaal
Stoomtabellen
door A.J. Raats en P.C. de Haan


REGELAFSLUITER
SNELAFSLUITER
TANDWIELKAST
TURBINE
G
OVO
P30
T31
P50
T52
P51
T40
T41
P44
T45
T28
T53
SM. OLIE
AFTAP
UITLAAT
T13
SUPPLETIE POMP
P22
P23
CONDENSORS
T24
T25
BRANDSTOF
Φ12
VULLEIDING
P26
K.W. POMP
CONDENSAAT AFLOOP
T27
Φ21
P11
KETEL
P10
CONDENS. POMP
VACUÜMPOMP
WATER - BUFFERSYS.
V.W. REGELAAR
SERVO
V.W. POMP
VLOTTER
ONTGASSER
KOEL-TOREN
VERZAMELVAT
T19
= STOOM
= CONDENSAAT
= VOEDINGWATER
= KOELWATER
= LUCHT
= SMEEROLIE

MEET APPARTUUR

Nummer in Tekening	soort Meter	Beschrijving
Ketel		
p10	Druk	Druk voedingswaterpomp.
p11	Druk	Stoomdruk.
Φ12	Debiet	Brandstof hoeveelheid toegevoerd.
T13	Temperatuur	Keteltemperatuur voor OVO.
Condensor		
p20	Druk	Druk stroom naar ontgasser.
Φ21	Debiet	Hoeveelheid voedingwater.
p22	Druk	Druk condensor 1.
p23	Druk	Druk condensor 2.
T24	Temperatuur	Van instromende koelwater.
T25	Temperatuur	Van uitstromende koelwater.
p26	Druk	Druk van koelwater toegevoerd.
T27	Temperatuur	Temperatuur van condensor aftap.
T28	Temperatuur	Temperatuur van stoom naar condensor.
T29	Temperatuur	Temperatuur v.h. koelvat.
OVO		
p30	Druk	Stoom druk in de ovo.
T31	Temperatuur	ΔT over de OVO.
Generator		
T40	Temperatuur	Olie temperatuur naar de generator.
T41	Temperatuur	Olie temperatuur uit de generator.
p42	Druk	Stoomdruk naar generator.
p43	Druk	Stoomdruk uit generator.
p44	Druk	Druk van olie toevoer.
T45	Toerental	Aantal omwentelingen per minute van de generator as.
Oliesysteem		
p50	Druk	Voor oliefilter.
p51	Druk	Na oliefilter.
T52	Temperatuur	Temperatuur v.d. olie naar systeem.
T53	Temperatuur	Temperatuur v.d. olie van systeem.

Controlepaneel		
T60	Temperatuur	Temperatuur van de ingaande stoom in de ovo.
T61	Temperatuur	Temperatuur van de uitgaande stoom in de ovo.
P62	Vermogen	Vermogen toegevoerd aan ovo.
S63	Stroom	Stroom toevoer aan ovo.
S64	Stroom	Stroom afgenomen van GEB.
f65	Frequentie	Frequentie van opgewekte spanning v.d. generator.
U66	Spanning	Spanning opgewekte door generator.
I67	Stroom	Stroom.
P68	Vermogen	Vermogen opgewekte door generator.

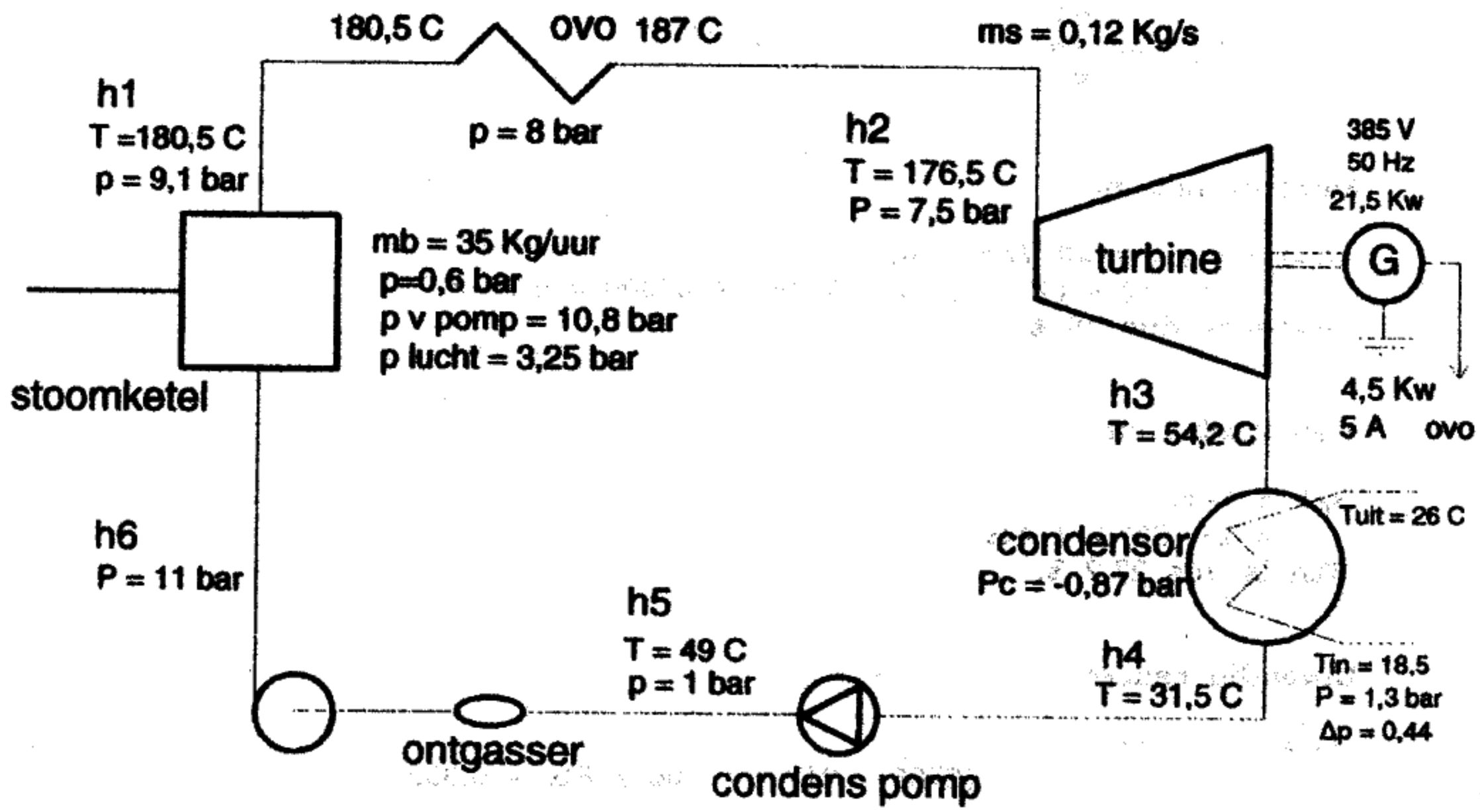
REGELAPPARATUUR

Schakelaar	Schakel-mogelijkheid	Beschrijving
Controlepaneel		
Alarm	Aan/Uit	Beveiliging van systeem.
Vermogen	Uit/GEB/Gen.	Vermogen voor pompen van GEB, generator of uit.
Vermogen	Uit/Aan	Vermogen voor ovo van GEB.
Vermogen	Uit/Aan	Vermogen voor ovo van generator.
Vermogen	Uit/Aan	Inschakelen van generator vermogen.
Vermogen	Uit/Aan	Inschakelen van GEB vermogen.
Vermogen	Auto/Hand	Voorverwarmer toegevoerd vermogen.
Vermogen	Hoger/Lager	Vermogen toevoer aan ovo.

MEET APPARTUUR

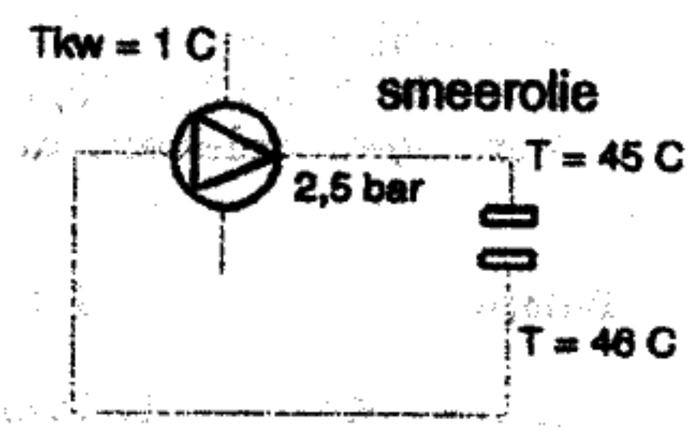
Nummer in Tekening	soort Meter	Beschrijving
Ketel		
p10	Druk	Druk voedingswaterpomp.
p11	Druk	Stoomdruk.
Φ12	Debiet	Brandstof hoeveelheid toegevoerd.
T13	Temperatuur	Keteltemperatuur voor OVO.
Condensor		
p20	Druk	Druk stroom naar ontgasser.
Φ21	Debiet	Hoeveelheid voedingwater.
p22	Druk	Druk condensor 1.
p23	Druk	Druk condensor 2.
T24	Temperatuur	Van instromende koelwater.
T25	Temperatuur	Van uitstromende koelwater.
p26	Druk	Druk van koelwater toegevoerd.
T27	Temperatuur	Temperatuur van condensor aftap.
T28	Temperatuur	Temperatuur van stoom naar condensor.
T29	Temperatuur	Temperatuur v.h. koelvat.
OVO		
p30	Druk	Stoom druk in de ovo.
T31	Temperatuur	ΔT over de OVO.
Generator		
T40	Temperatuur	Olie temperatuur naar de generator.
T41	Temperatuur	Olie temperatuur uit de generator.
p42	Druk	Stoomdruk naar generator.
p43	Druk	Stoomdruk uit generator.
p44	Druk	Druk van olie toevoer.
T45	Toerental	Aantal omwentelingen per minute van de generator as.
Oliesysteem		
p50	Druk	Voor oliefilter.
p51	Druk	Na oliefilter.
T52	Temperatuur	Temperatuur v.d. olie naar systeem.
T53	Temperatuur	Temperatuur v.d. olie van systeem.

SCHEMA :



h1 = 2791,1 KJ/Kg
h2 = 2786,1 KJ/kg = h turb
h3 = 2600 KJ/kg = h cond
h4 = 127 KJ/Kg
h5 = 205 KJ/kg
h6 = 206 KJ/kg

h cond = 0.12 bar 54 C
h turb = 7.5 bar 176.5 C



BEREKENINGEN :

Gegevens:
h1 = 2791.1 KJ/Kg
h2 = 2786.1 KJ/Kg
h3 = 2600 KJ/Kg
h4 = 127 KJ/Kg
h5 = 205 KJ/Kg
h6 = 206 KJ/Kg

Ketel rendement :

¶ketel = Ms * ▲H /mb * Ho
= 0.12 * (2791-206) / 0.0097 * 42000 = 0.75 = 75 %.
¶ketel is dus 75 %.

Thermisch rendement turbine :

¶th = 1-Tuit/Tin
= 1- (327,2 / 449,5) = 1 - 0,728 = 0,272 = 27,2 %.
¶th is dus 27,2 %.

Inwendig rendement turbine :

¶i = ▲hi / ▲ho
= (2786 - 2600) / (2786 - 2170) = 186 / 616 = 0,302
¶i is dus 30,2 %

Turbine rendement :

¶turb = i * th
= 0,302 * 0,272 = 0,082 = 8,2 %.
¶turb is dus 8,2 %

Vermogen turbine :

P = ▲hi * ms
= 186 * 0,12 = 22,32 Kw
Vermogen gelevert door turbine is dus 22,32 Kw

Dampgehalte na ketel :

X na ketel = 1. (verzadigde damp)

Dampgehalte na turbine :

X na turbine = 1 (Verzadigde stoom van :0,12 bar = 49,5 C)
Hier is het 54graden C dus verzadigings toestand met X = 1.

Condensor warmte :

Qcond = ▲hcond * ms = (h3 - h4) * ms.
= (2600 - 1270) * 0,12 = 296,76 Kw.
Afgegeven condensor warmt is dus 296,76 Kw.

Generator verliezen :

Hierbij zitten de mechanische verliezen.
Gen verl = Pturb - Pgen
= 22,32 - 21,5 = 0,82 Kw.
Generator verlies is dus 0,82 Kw.

Totaal rendement :

¶totaal = nuttig / toe = Pgen / (Ho * mb) + ovo.
= 21,5 / (42500 * 0,0972) + 8 = 0,051 = 5,1 %
¶totaal is dus 5,1 %

STARTLIJST OPSTARTEN VAN DE TURBINE.

- Koelwater oplijnen.
- Ventilator van de koeltoren aan zetten.
- Supplesie koeltoren aan zetten.
- koelwaterpomp starten.

- condensaatsysteem oplijnen.
- condensaatpomp starten.
- Afsluiters ontgasser open.
- Vacuumpomp starten.
- Suppletiewater erop zetten dat het net in de voorraadtank stroomt (waterbuffer).
  "We zien dat de rotameter suppletiewater geeft."
- Smeeroliepnmp starten

- Brandstoftoevoer naar de ketel open.
- Stoomleidingen klaar zetten (de ketel zou nu al bij kunnen).
- Stoom laten rondpompen voor turbine (± 3/4 slag open).
- Vacuum in de turbine trekken.
- **LET OP : WATERBUFFER REGELMATIG AFTAPPEN.**

- Ketel: water door de ketel pompen en evt. opvullen.
- Brander starten.
- Af en toe controleren of er stoom uit de ketel komt.
  Is dit zo dan niet meer 100% rondpompen maar de stoom naar de OVO voeren.
- Sperstoom op de turbine voor onderdruk te handhaven.
- OVO bijzetten op paneel.
- Na ± 5min. OVOomzetten van GEB naar generator.
- Smeerolietemperatuur controleren
- Rondpompen ketel/turbine afzetten zodat de stoom voor 100% naar de turbine gaat.

Nu staat de stoomturbine volledig bij.

AFZETTEN VAN DE STOOMINSTALLATIE.

- Aftap OVO openzetten.
- Bijpass open (rondpompen).
- Belasting afnemen (ketel/ovo).
- Hoofdstoomleiding dicht zetten.
- Ketel op rondpompen en branders uitzetten.
- Hoofdafsluiter dicht van de ketel.
- Turbine op tornen zetten.
- Aftap ketel open zetten.

Alles af laten koelen.

Is alles nu genoeg afgekoeld dan kunnen de volgende stappen genomen worden:

- Rondpompen afzetten.
- Koelwater afzetten.
- smeerolie afzetten.
- brandstoftoevoer afzetten.
- verbrandingslucht afzetten.

Nu is de stoomketel uit gebruik genomen.

MAATREGELEN BIJ DE VOLGENDE STORINGEN.

We gaan er bij elke storing ervan uit dat we eerst de storing proberen te verhelpen. Lukt dat niet, dan moeten we de volgende maatregelen nemen.

Uitvallen Koelwaterpomp condensor.

Bij het uitvallen van de koelwaterpomp kan de afgewekte stoom niet meer afgekoeld worden en dus moet de installatie gestopt worden.

Uitvallen Condensaatpomp.

Als de condensaatpomp uitvalt dan zal er geen condensaat meer uit de condensor gepompt worden en zal het nivo stijgen. Om dit te voorkomen moet de gehele installatie worden gestopt.

Uitvallen Ketelpomp.

De ketelpomp brengt het voedingwater op druk. Als deze uitvalt dan krijgt de ketel geen voedingwater meer waardoor de ketel kan droogkoken.
De installatie stoppen is noodzakelijk.

Uitvallen Vacuümpomp.

Als de vacuümpomp uitvalt dan zal de druk in de turbine oplopen wat een kleinere warmteval over de turbine tot gevolg zal hebben. De turbine heeft nu een zeer klein vermogen. Hier zal men de stoom rondpompen tot de pomp vervangen is.

Uitvallen Smeeroliepomp.

Bij het uitvallen van de smeeroliepomp kan de turbine niet meer gesmeerd worden waardoor vastlopen een gevolg kan zijn. Ook hier wordt rondgepompt zodat de ketel niet gestopt hoeft te worden.

Inleiding

In dit verslag worden een aantal metingen beschreven die gedaan zijn aan de stoominstallatie.

De stoominstallatie bestaat uit de volgende deelsystemen:
- stoominstallatie
- Condensors
- Oververhitter
- Stoomturbine

In bijlage 1 zijn tekeningen van de opstellingen verwerkt.

Tijdens de proef zijn verschillende metingen gedaan. Aan de hand van de meetresultaten kunnen de rendementen over de verschillende deelsystemen berekend worden.
De belangrijkste meetresultaten worden in paragraaf 1 beschreven en de berekeningen van de rendementen in paragraaf 2.

In paragraaf 3 enkele storingen gegeven, met daarbij de eventuele beveiligingen en maatregelen die genomen moeten worden.

Tenslotte wordt er in paragraaf 4 een conclusie gegeven.

1 Meetresultaten

Door het meten van de temperatuur en druk op verschillende plaatsen in het systeem, kunnen de enthalpiewaarden bepaald worden, met behulp van de stoomtabellen. Omdat een aantal van de gevonden waarden niet in het gegeven diagram staan, kan het proces niet worden weergegeven in het p,h-diagram.

De volgende waarden zijn bepaald voor de enthalpie:
h1 = 159 kJ/kg
h2 = 2769 kJ/kg
h3 = 2841 kJ/kg
h4 = 2692 kJ/kg

De massastroom stoom is 0,195 kg/s.
De massastroom brandstof is 0,012 kg/s.
De stookwaarde van de brandstof is 42500 kJ/kg.

De belastingsweerstand van de generator bedraagt 7 kW.

2 Berekeningen

Ketelrendement

Het ketelrendement wordt als volgt berekend:

$$n_k = \frac{m_s*(h_3-h_1)}{m_b*H_0} = \frac{0,195*(2841-159)}{0,012*42500} = 1,025 = 103\%$$

Thermisch rendement van de turbine

Het thermisch rendement van de turbine wordt als volgt berekend:

$$n_{th} = \frac{h_3-h_4}{h_3-h_1} = \frac{149}{2682} = 0,0555 = 5,5\%$$

Inwendig rendement van de turbine

Het inwendig rendement van de turbine wordt als volgt berekend:

$$n_i = \frac{h_1-h_2}{h_3-h_4} = \frac{2610}{149} = 17,52 = 1752\%$$

Totaal rendement van de turbine

Om het totaalrendement te kunnen berekenen moeten bovenstaande rendementen bekend zijn, maar ook het mechanisch rendement.
In het proefvoorschrift is gegeven dat de mechanische verliezen 2% bedragen. Hieruit volgt dat het mechanisch rendement 98% is.
Het totaalrendement wordt als volgt berekend:

$$n_{tot} = n_k*n_{th}*n_i*n_m = 1,025*0,0555*17,52*0,98 = 0,97 = 97\%$$

Geleverde asvermogen door de turbine

Voordat het asvermogen kan worden berekend, wordt het inwendige vermogen berekend:

$$P_i = m_s(h_1-h_2) = 0,195*2610 = 508,95kW$$

Vervolgens kan het effectieve- of asvermogen berekend worden:

$$P_e = n_m * P_i = 0,98*508,95 = 498,77kW$$

Vochtgehalte van de stoom na de ketel

Het vochtgehalte van de stoom na de ketel bedraagt
4 g/kg stoom.

Vochtgehalte na de turbine

Het vochtgehalte na de turbine is 0 g/kg stoom.

Warmteverlies in de condensor

Het warmteverlies in de condensor wordt als volgt berekend:

$$Q = m_s*(h_4-h_1) = 0,195*2533 = 493,94kW$$

Generatorverliezen

De generatorverliezen kunnen worden berekend door het verschil tussen het ingaande en uitgaande vermogen van de generator te berekenen. Het uitgaande vermogen kan worden bepaald aan de hand van de stroom en spanning die gemeten worden bij de belastingsweerstanden.

De generatorverliezen worden als volgt berekend:

$$P_e - P_{geleverd} = 498,77 - \frac{(370*22)}{1000} = 498,77-8,14 = 490,63kW$$

Totaalrendement gehele installatie

Hiervoor is het rendement van de generator berekenen:

$$n_{gen} = \frac{P_{geleverd}}{P_{as}} = \frac{8,14}{498,77} = 0,016 = 1,63\%$$

Het totaalrendement wordt als volgt berekend:

$$n_{tot.installatie} = n_{tot.ketel} * n_{gen} = 0,97*0,016 = 0,0155 = 1,55\%$$

3 Storingen

Uitvallen koelwater van condensor

Stoom condenseert niet goed en zal worden afgelblazen naar de buitenlucht. Eventueel kan de brandstoftoevoer gesloten worden.

Condensaatpomp

Er gaat een alarm af dat er te weinig water in de voedingswatertank zit. De tank moet weer gevuld worden.

Ketelvoedingswaterpomp

Brandstoftoevoer wordt gesloten door verhoudingsregelaar.

Vacuumpomp

Er komt stoom in het condensaatsysteem. Het alarm gaat af en de stoom wordt afgeblazen.

Smeeroliepomp

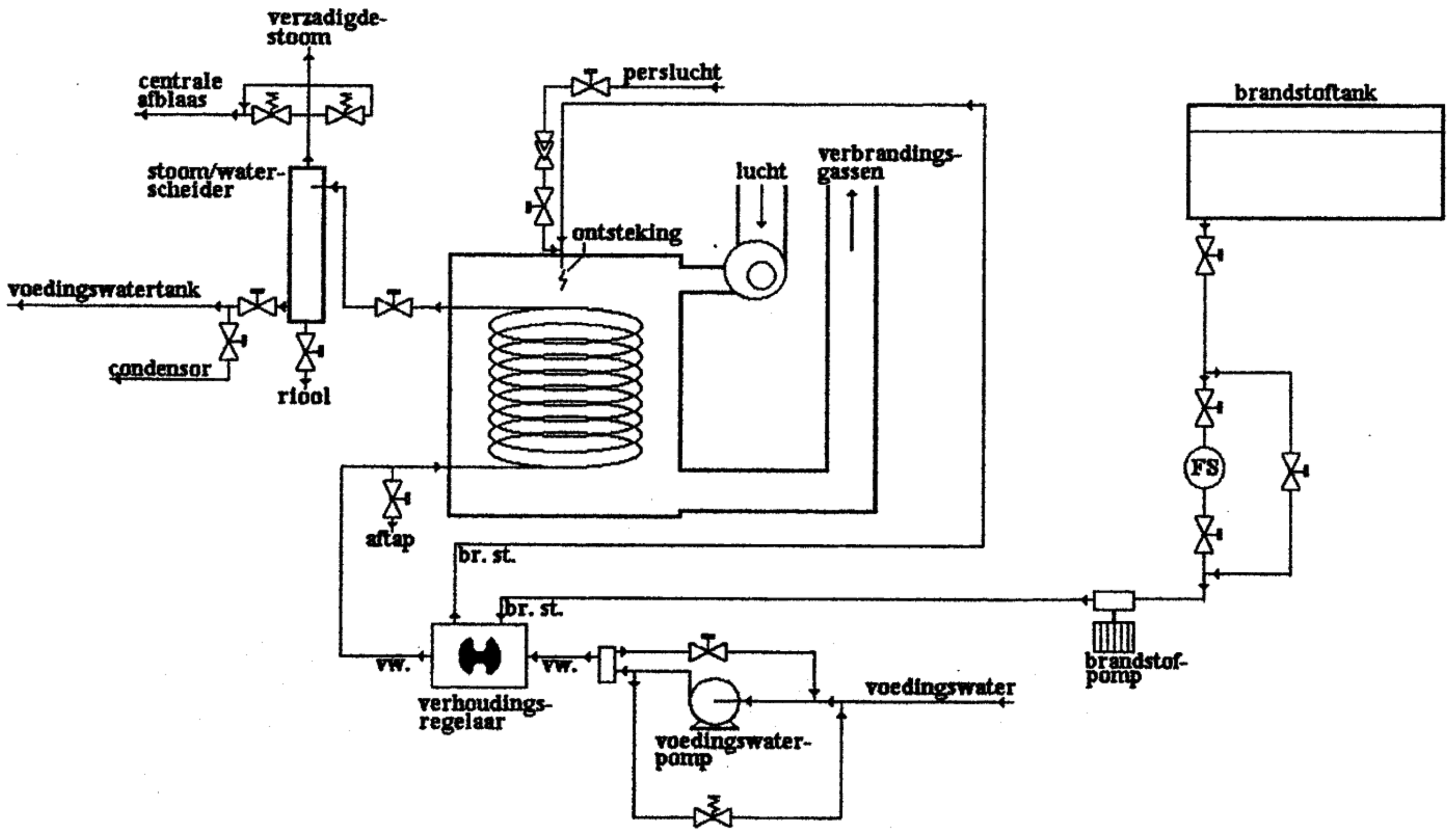
Alarm gaat af. Er ontstaat veel slijtage en warmte.
De stoom zal terug worden gevoerd naar condensor, doordat de afsluiter naar de turbine wordt gesloten.

4 Conclusie

Het ketelrendement is 102%
Het inwendig rendement is 1752%
Deze waarden kunnen niet, waarom ze zo hoog zijn weten we niet.

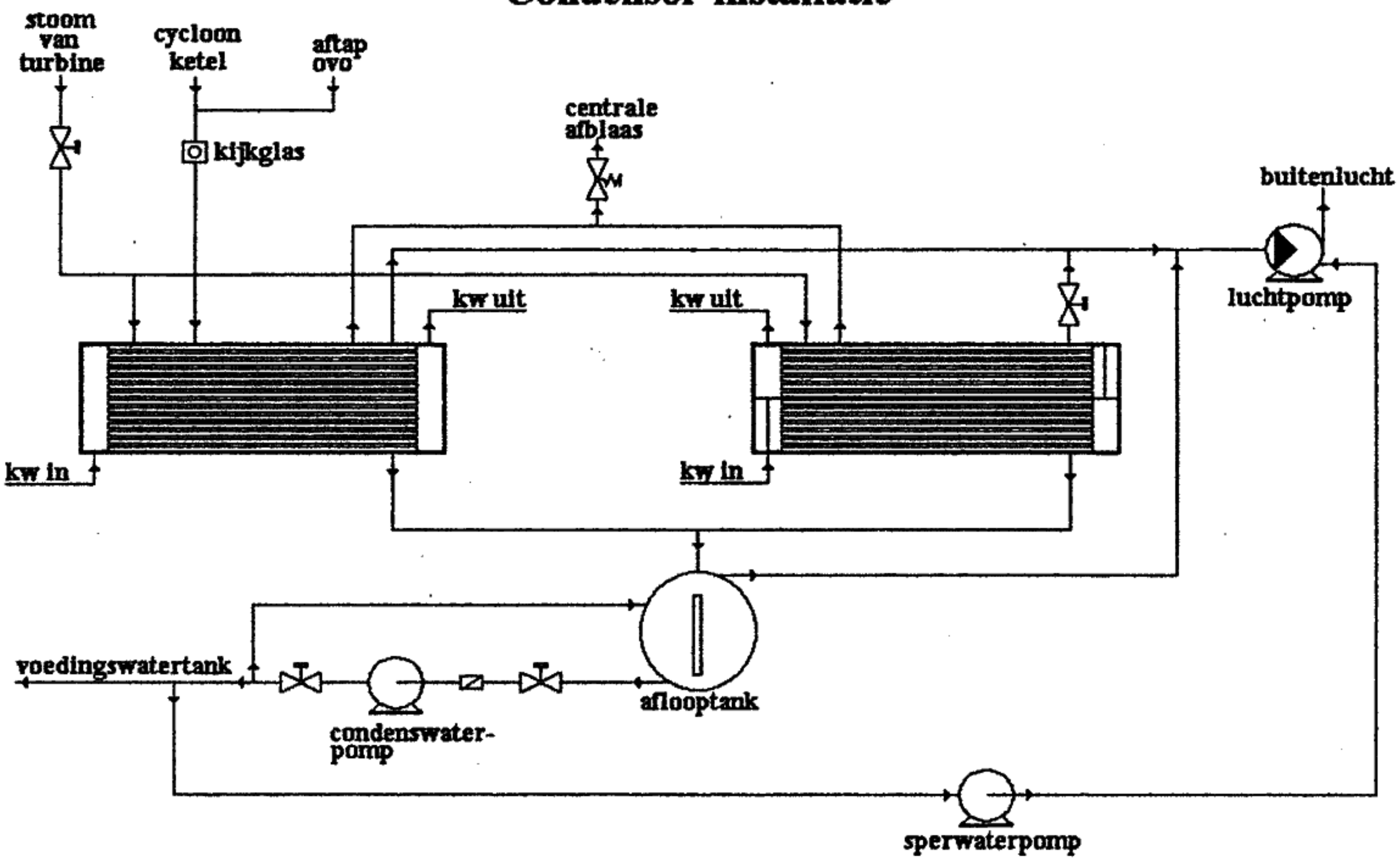
Het totaalrendement is 97%. Dit is zeer goed, maar niet reeel.

Stoom-installatie

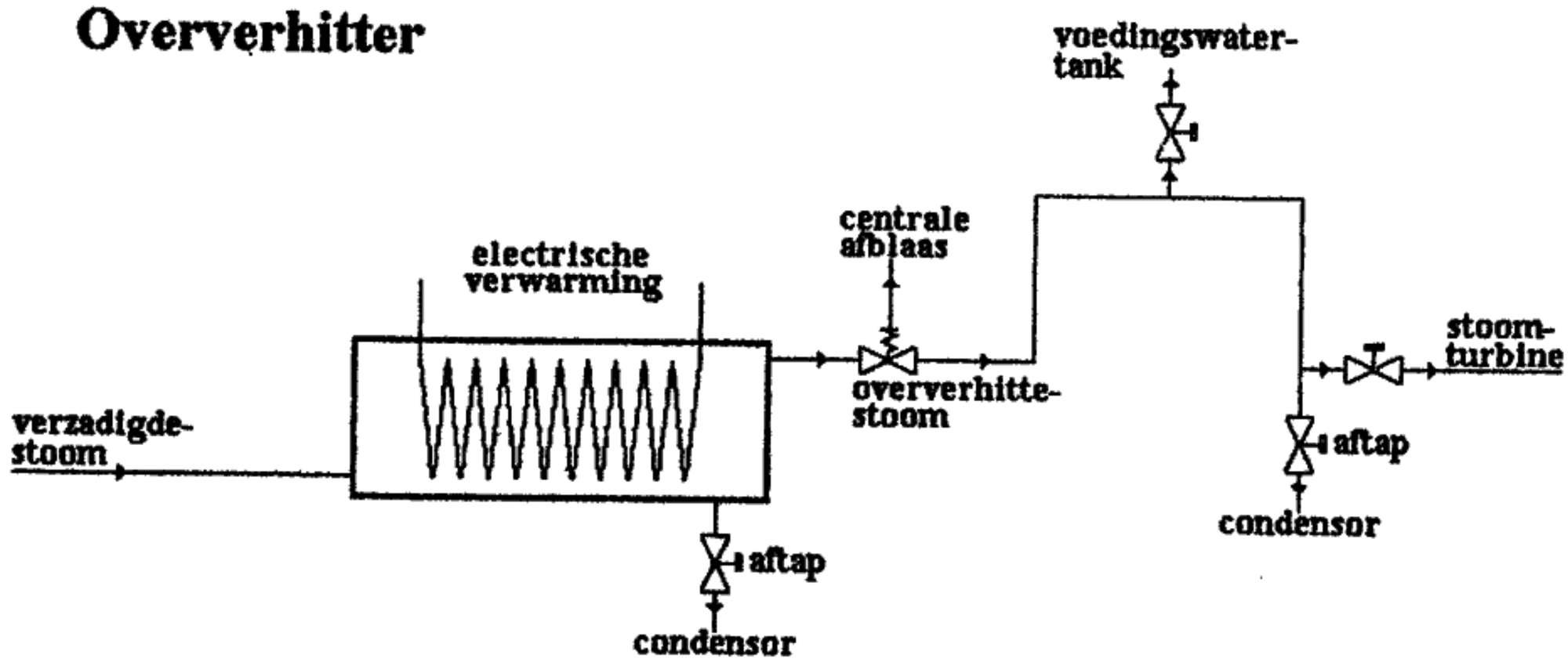
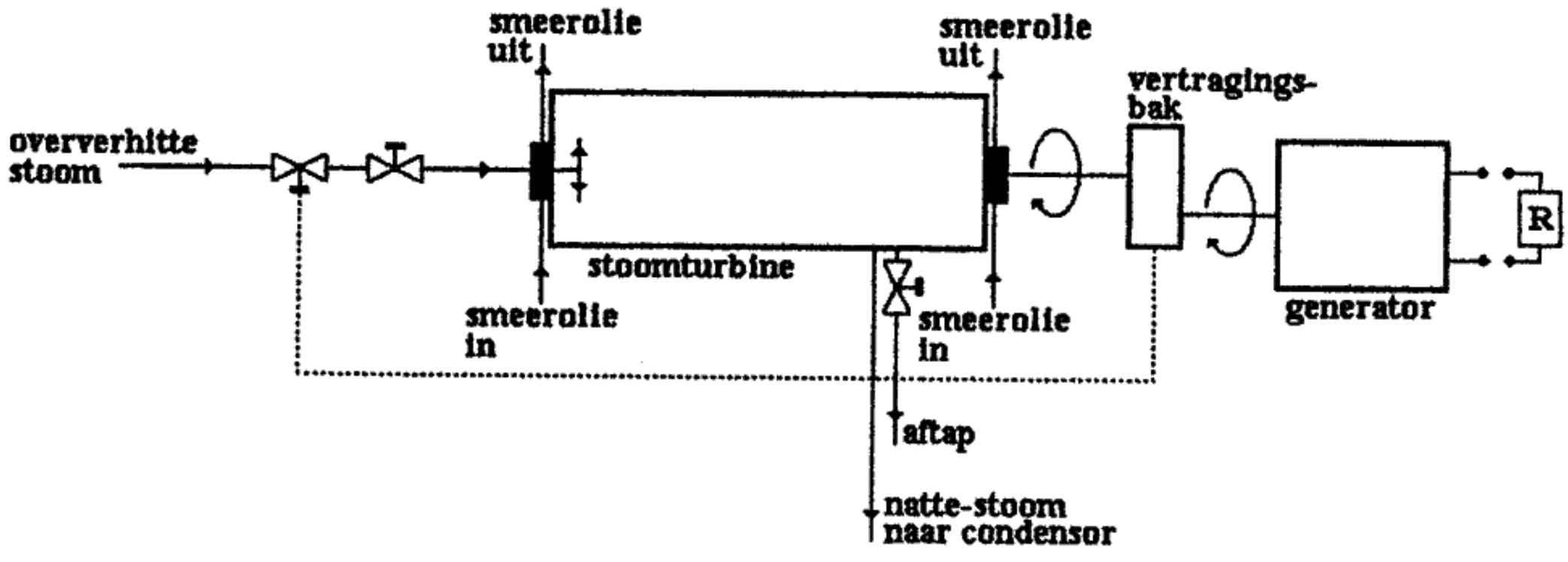


Bijlage 1

Condensor-installatie



Oververhitter



Stoom-turbine