

THERMOPTIM®

HANDLEIDING

VOORBEELD VAN EEN GASTURBINECYCLUS MET VERBRANDING

VERSIE JAVA 1.5

© R. GICQUEL MAART 2010

INHOUD

AAN DE SLAG GAAN MET THERMOPTIM.....	3
BASISNOTIES.....	3
BEREKENING VAN EEN GASTURBINE.....	4
CRÉATIE VAN HET SCHÉMA	4
CRÉATIE VAN DE ELEMENTEN VAN DE SIMULATOR.....	7
PARAMETRERING VAN DE PUNTEN	8
PARAMETRERING VAN DE TRANSFO'S.....	9
TRACE VAN DE CYCLUS OP THERMODYNAMISCH DIAGRAM.....	12
VERBETERING VAN HET TRACÉ VAN DE CYCLI	13
<i>Verbinding van de punten door iso-waardenlijnen.....</i>	<i>13</i>
<i>Aanpassing van de kleur van de cyclus</i>	<i>14</i>
<i>Over elkaar plaatsen van meerdere cycli op een diagram.....</i>	<i>15</i>
VERANDERING VAN DIAGRAMTYPE	15

© R. GICQUEL 1997 - 2010. Elke integrale of gedeeltelijke weergave of reproductie uitgevoerd zonder toelating is onwettig en vertegenwoordigt een vervalsing die bestraft wordt door de Wet op de Intellectuele Eigendom.

Waarschuwing: de informatie vervat in dit document kan het voorwerp vormen van aanpassingen zonder voorafgaande kennisgeving en heeft in geen geval een bindend karakter.

AAN DE SLAG GAAN MET THERMOPTIM

Het doel van het eerste deel van deze handleiding is de gebruiker in staat te stellen zich snel (op minder dan een half uur) vertrouwd te maken met THERMOPTIM, met gebruikmaking van de basiselementen van de programmatuur.

Zodra deze inleidende stappen zijn afgewerkt, wordt het makkelijker de bestudering van complexere problemen aan te pakken, meer bepaald deze waarbij knooppunten of wisselaars betrokken zijn, welke worden geïllustreerd door de twee varianten van de hier voorgestelde eenvoudige cyclus. Voor een meer uitgebreide uitleg verwijzen we naar de referentiehandleiding van de programmatuur.

We verwijzen tevens naar een geheel van online vormingsmodules met audio-ondersteuning onder de titel DIAPASON, wat staat voor « Diaporamas Pédagogiques Animés et Sonorisés » (geanimeerde pedagogische diashows met geluid). Deze modules zijn bedoeld om Thermoptim te ontdekken en onder de knie te krijgen: <http://www-cenerg.ensmp.fr/cours/SE/thermoptim/accueil.html>. U vindt er een voorbeeld dat vergelijkbaar is met het geval dat hier behandeld wordt, met een andere afstelling en met links naar een vormingsite betreffende energiesystemen die heel wat technologische uitleg en varianten van deze cyclus bevat.

BASISNOTIES

De studie van een thermodynamisch systeem kan worden opgesplitst in vijf fundamentele stappen:

- 1) de analyse van de structuur (of van de architectuur) van de beschouwde technologie, die de belangrijkste functionele elementen duidelijk maakt (compressors, warmtewisselaars, turbines enz.) en hun aansluitingen.
- 2) voor elke component de identificatie van de thermodynamische vloeistoffen die hierbij betrokken zijn: zo is de in een gasturbine samengeperste vloeistof bv. lucht die brandt met een brandstof in de verbrandingskamer, om verbrande gassen te vormen, die op hun beurt worden ontspannen in de turbine.
- 3) voor elk element moet worden bepaald of deze een open of gesloten systeem vormen. We herinneren eraan dat wat hen onderscheidt respectievelijk de aanwezigheid of de afwezigheid is van een massaoverdracht naar de grenzen
- 4) voor elk element verduidelijkt de bepaling transformaties die de verschillende geïdentificeerde vloeistoffen ondergaan en de berekening van hun evoluties.
- 5) de opstelling van de globale balans van het beschouwde systeem door het samenbrengen van de verschillende modellen van de functionele elementen, rekening houdend met de interne verbindingen.

THERMOPTIM werd ontworpen om de berekening van complexe thermodynamische cycli te vereenvoudigen. Het is voor de gebruiker echter geen vervanging van de gedetailleerde analyse van het betreffende systeem, wat overeenkomt met de eerste drie bovenstaande stappen.

Vooraleer zijn project in de programmatuur te beginnen invoeren moet de gebruiker dit werk hebben uitgevoerd, anders loopt hij het risico weergavefouten te begaan.

Zodra deze analyse is uitgevoerd kan elk van de componenten gemakkelijk worden beschreven dankzij de hieronder voorgestelde punten, transformaties en wisselaars, die gegroepeerd zijn onder de vorm van een project dat eventueel een beroep doet op knooppunten.

THERMOPTIM definieert drie categorieën **lichamen** : zuivere ideale gassen, samengestelde ideale gassen en condenseerbare dampen (zonder mengelingen). De perfecte gassen slaan op het bijzondere geval van ideale gassen waarvan de thermische massacapaciteit onafhankelijk is van de temperatuur.

Thermoptim aanvaardt nog een andere categorie van zogenaamde externe lichamen die door de gebruiker worden gedefinieerd en die verschijnen op de schermen (zie specifieke opmerking hierover).

Het lichaam kan zuiver zijn, in welk geval zijn eigenschappen vooraf bepaald zijn in de programmatuur, of samengesteld zijn. In dit geval (dat alleen voor een gas mogelijk is) moet de gebruiker de samenstelling definiëren op basis van de andere gassen aanwezig in de basis, met aanduiding van de naam en de molaire of massafractie ervan. De eigenschappen van het samengestelde lichaam worden dan automatisch bepaald op basis van de eigenschappen van de samenstellende onderdelen.

Een **punt** duidt op een partikel van een lichaam en maakt het mogelijk zijn intensieve toestandsvariabelen te bepalen: druk, temperatuur, thermische massavermogens, enthalpie, entropie, interne energie, exergie, titel. Een punt wordt gedefinieerd door zijn naam en deze van het lichaam dat ermee verbonden is. Om het te berekenen moet men:

- ofwel minstens twee van zijn toestandsvariabelen invoeren, in het algemeen de druk en de temperatuur voor de open systemen, en het volume en de temperatuur voor de gesloten systemen,
- ofwel deze automatisch bepalen door bijvoorbeeld één van de hieronder gedefinieerde transformaties te gebruiken.

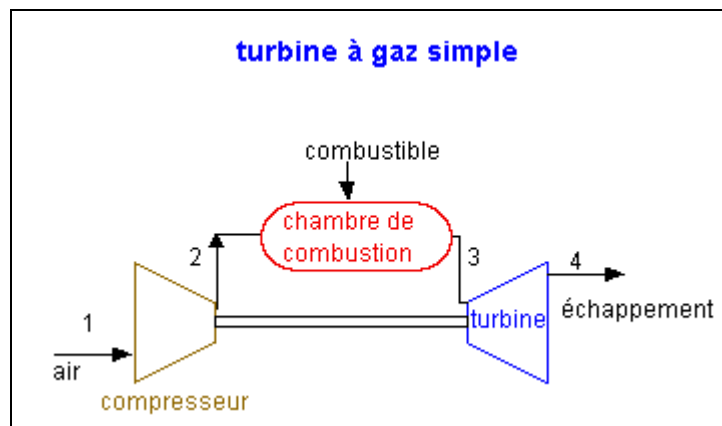
De **transformaties** (transfo's genoemd in THERMOPTIM) komen overeen met thermodynamische evoluties ondergaan door een lichaam tussen twee toestanden. Een transfo verbindt dus twee punten zoals eerder gedefinieerd, een punt stroomopwaarts en een punt stroomafwaarts. Bovendien specificeert deze het massadebiet in kwestie en maakt het dus mogelijk de extensieve toestandsvariabelen te berekenen en meer bepaald de energievaryatie in kwestie te bepalen.

De transformaties kunnen van meerdere types zijn: compressies, ontspanningen, verbrandingen, platwalsingen, warmtewisselingen, en vochtige transformaties (dit laatste geval bestrijkt zeven verschillende evolutie categorieën). Hun afstelling doet beroep op verschillende kenmerken al naargelang het geval zoals bijvoorbeeld voor een compressie, het isentropische rendement en de compressieverhouding.

Een cyclus kan worden beschreven als een geheel van punten verbonden door transformaties. Voor zover het vloeistofmassadebiet gelijk is in alle transfo's, volstaan transfo's en punten gezien het vloeistofnetwerk impliciet wordt gedefinieerd door de interne verbindingen. Als dit niet het geval is, kan het nodig zijn van de beschrijving van het netwerk te vervolledigen door gebruik van de in de documentatie beschreven knooppunten.

BEREKENING VAN EEN GASTURBINE

Een gasturbine die aardgas verbrandt zonder dissociatie zuigt lucht aan 15°C en 1 bar aan en comprimeert deze aan 16 bar in een compressor met polytropisch rendement van 0,85, dan worden de verbrande gassen ontspannen in een turbine met polytropisch rendement van 0,85. De turbine-ingangstemperatuur is 1150 °C.



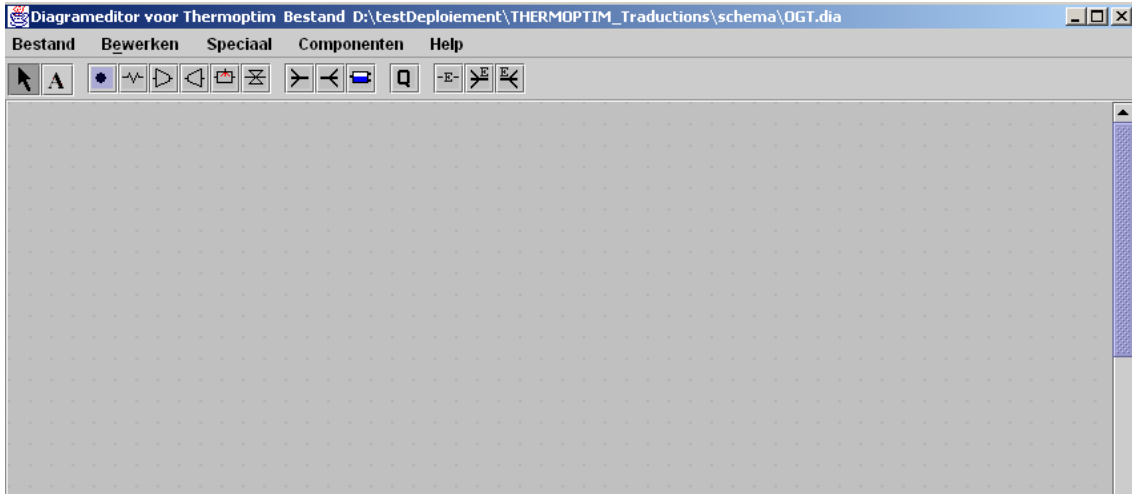
Men probeert dan een model op te stellen van de gasturbine en het rendement ervan te berekenen.




CREATIE VAN HET SCHEMA


Open THERMOPTIM. Het scherm van het schema-opmaakprogramma wordt weergegeven:

Het bevat een overzicht van de verschillende componenten die kunnen weergegeven worden (warmtewisselingen, compressors, ontspanningsorganen, verbrandingskamers, mengers, verdelers enz.)

en een werkpaneel waarin deze componenten worden geplaatst en waar ze met elkaar verbonden worden aan de hand van vectorverbanden.



Het schema van de gasturbine geeft ondubbelzinnig de te selecteren componenten aan: de compressor , de verbrandingskamer , en de turbine die een ontspanningsorgaan is .

Bovendien voegen we een brandstofintrede, een luchtintrede en een gasuitgang toe, alle drie weergegeven door transfo-punten . De laatste twee zijn niet absoluut noodzakelijk, maar ze maken het mogelijk de cyclus beter te bekijken, zoals we verder in de tekst zullen zien. Een transfo-punt dient hoofdzakelijk om een debiet met een punt te verbinden.

Algemeen	
procespunt	
naam van de component	<input type="text" value="luchtintrede"/>
naam stof	<input type="text" value="lucht"/>
debiet	<input type="text" value="1"/>

Begin door de luchtintrede te selecteren en plaats deze op het werkpaneel. Een definitievenster voor de component wordt weergegeven. In het geval van de transfo-punt is het bijzonder eenvoudig omdat de component dezelfde naam heeft als de punten stroomopwaarts en stroomafwaarts (u kunt echter een andere naam specificeren dan deze van de component voor het punt als u dat wenst). Begin met het invoeren van zijn naam (luchtintrede) en dan de naam van het lichaam (lucht) en het debiet (1 t/s).

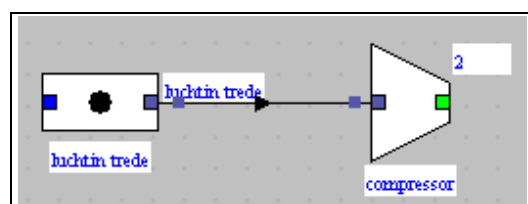
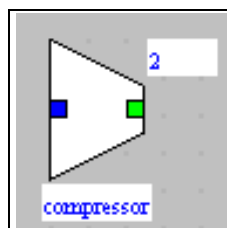


Klik vervolgens op de knop "Toepassen" om de twee tabbladen te valideren. De component verschijnt op het scherm.

Selecteer vervolgens de compressor. Een definitievenster met tabbladen van de component wordt weergegeven. Begin met het invoeren van zijn naam (compressor). Klik vervolgens op het tabblad van de uitgangspoint en voer gewoon de naam van het uitgangspunt in (2). De naam van het lichaam (lucht) wordt automatisch aangebracht stroomopwaarts van de component (de luchtintrede) als u het aansluit op de compressor.

Algemeen		uitlaatpoort
uitlaatpoort		
naam van het punt	<input type="text" value="2"/>	
naam stof	<input type="text"/>	
debiet	<input type="text" value="1"/>	

Klik vervolgens op de knop "Toepassen" om de twee tabbladen te valideren. De component verschijnt op het scherm.



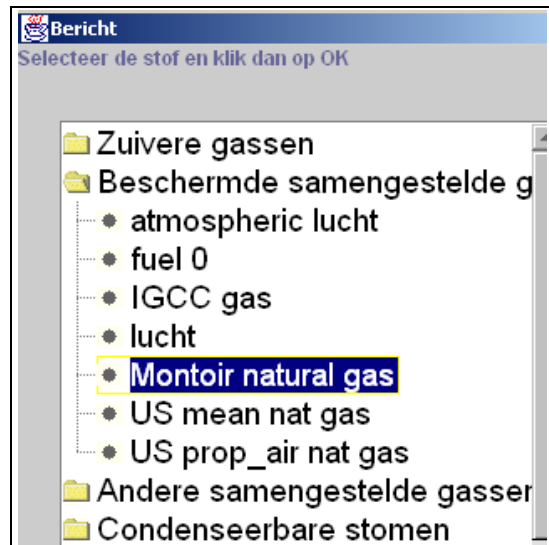
U kunt dan deze componenten onderling verbinden. Klik daarvoor op de uitgangspoort (groen) van de luchtingang en sleep met de muis tot de ingangspoort van de component waarmee deze moet worden verbonden (hier de compressor) en laat de knop los. Een gerichte link verschijnt dan op het scherm.

Selecteer dan de compressor en laat zijn eigenschappen verschijnen (menu Opmaak of F4). Een nieuw tabblad dat verband houdt met de ingangspoort wordt weergegeven. De eigenschappen van de uitgangspoort van de component gesitueerd stroomopwaarts werden overgedragen bij de verbinding. U kunt nagaan of het lichaam van de uitgangspoort eveneens werd bijgewerkt gezien er bij dit type componenten geen lichaamsveranderingen optreden.


Merk verder op dat de invoer van de naam van het lichaam op twee manieren kan gebeuren: ofwel rechtstreeks, ofwel door te dubbelklikken in het veld van de naam, wat de gestructureerde lijst van de in de database beschikbare lichamen opent, in welk geval u het gewenste lichaam kiest.

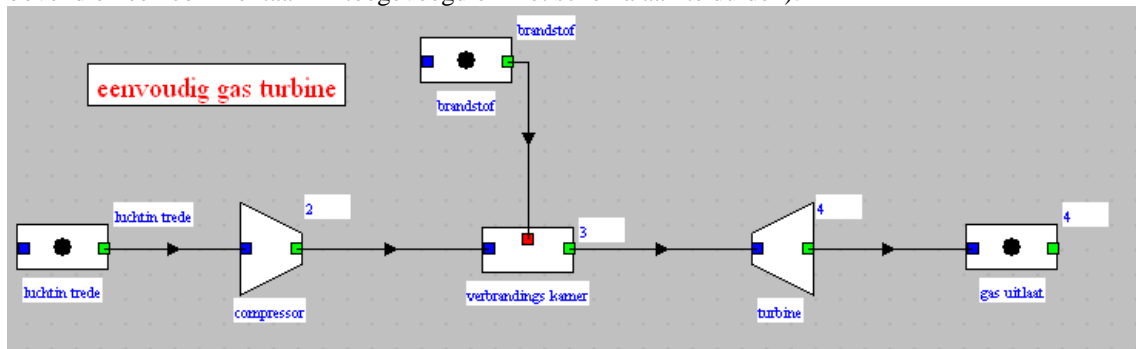
Op de afbeelding op het scherm heet het aardgas dat gedefinieerd wordt in de database van Thermoptim `gaz_de_Montoir`.

Ga verder met het creëren van de andere componenten (de brandstof, de verbrandingskamer, de turbine en de gassenuitgang) maar zonder de naam van het lichaam in te voeren voor deze twee laatste, omdat deze automatisch zal worden aangebracht bij de aansluiting.



Voor de verbrandingsgassen kunt u er ofwel er een kiezen uit de niet beschermde gassen van de database, ofwel zelf de gewenste naam geven, bijvoorbeeld hier "verbrande_gassen".

Na de verschillende componenten te hebben aangesloten bekomt u het volgende resultaat (er werd bovendien een commentaar  toegevoegd om het schema aan te duiden):



Door de pijltoetsen van het toetsenbord te gebruiken kunt u het schema verfijnen door de componenten die niet goed zijn uitgelijnd, zoals de compressor of de turbine, lichtjes te verplaatsen.

In dit stadium wordt de kwalitatieve beschrijving van de cyclus voltooid. Om de archivering van uw schema's te vergemakkelijken kunt u deze een naam en een beschrijving toewijzen door de regel "Beschrijving" van het menu Bestand te selecteren:

Bewaar vervolgens uw schema door het een naam te geven met de extensie .dia: bijvoorbeeld "OGT.dia".

U kunt een controle uitvoeren door een component te selecteren en door zijn eigenschappen te laten verschijnen (F4 of menu Bewerken) aangezien u door aansluiting van de componenten bepaalde gegevens van stroomopwaarts naar stroomafwaarts hebt aangebracht zodanig dat alle namen en lichamen van de ingangspoorten automatisch worden geïnitieerd.

CREATIE VAN DE ELEMENTEN VAN DE SIMULATOR

Om de elementen van de simulator te creëren is het aan te raden de interface te gebruiken die deze verbindt met het schemaopmaakprogramma en die kan worden geopend vanuit het speciale menu van het schemaopmaakprogramma. Klik dan op de knop "De tafel van de elementen bijwerken". Het volgende scherm wordt weergegeven:



In de tabel links verschijnt de lijst van de componenten die u hebt gecreëerd. Tegenover elk van hen markeert een "X" het vakje "schema" terwijl het vakje "simulator" leeg blijft. De rechterkolom geeft aan welke componenten geselecteerd zijn, met andere woorden de relevante componenten voor de operaties die verricht worden vanaf de interface. Standaard worden alle componenten geselecteerd maar een knop stelt u in staat ze allemaal te deselecteren als u dat wenst. Anders kunt u door dubbelklikken op een regel van de tabel deze regel selecteren of deselecteren.

Om het geheel van de componenten over te brengen naar de simulator klikt u op de knop "De simulator updaten vanuit het schema". Er wordt u een naam gevraagd voor het project. Voer bijvoorbeeld "TAG" in. Zodra de overdracht is uitgevoerd, verschijnt het projectscherm zoals in onderstaande figuur.

Als de componenten onvoldoende gedefinieerd zijn in het schemaopmaakprogramma worden ze niet overgedragen en worden ze geel gekleurd. Thermoptim probeert de gebruiker met een boodschap te verwittigen in geval van een probleem, maar het is mogelijk dat een fout blijft bestaan. In dat geval de componenten die een probleem vormen één voor één selecteren, de regel "Eigenschappen weergeven" kiezen in het menu Bewerken en de verschillende tabbladen overlopen om te zien of er geen informatie ontbreekt. Als een veld niet bewerkbaar is, moet u de component loskoppelen om deze vrij te maken. U sluit deze opnieuw aan zodra het probleem is opgelost.

Vijf punten en zes transfo's werden gecreëerd, met een standaard afstelling (1 bar en 300 K voor de punten). Om de creatie van het model af te ronden moet u nu elk van de schermen van de aangemaakte punten en transfo's openen en ze afstellen zodat ze conform zijn met het de relevante situatie. U kunt dit doen vanuit het bovenstaande projectscherm of vanuit het schemaopmaakprogramma, door te dubbelklikken op de componenten om toegang te krijgen tot de transfo's, en op de links om toegang te krijgen tot de punten (u kunt deze natuurlijk ook openen vanuit de schermen van de transfo's).

THERMOPTIM Java. Copyright R. Gicquel 1999-2010

Projectbestanden Resultatenbestanden Speciaal Help

Naam van het project : OGT

5 PUNTEN

naam van het p...	stof	P (bar)	T (°C)
4	verbrandings_...	1	26,85
brandstof	Montoir natural...	1	26,85
luchtin trede	lucht	1	26,85
2	lucht	1	26,85
3	verbrandings_...	1	26,85

6 PROCESSEN

naam proces	inlaatpunt	uitlaatpunt	type proces
luchtin trede	luchtin trede	luchtin trede	uitwisseling
brandstof	brandstof	brandstof	uitwisseling
gas uitlaat	4	4	uitwisseling
compressor	luchtin trede	2	compressie
turbine	3	4	expansie
verbrandings k...	2	3	verbranding

KNOPEN

naam	type	hoofdader
------	------	-----------

Geassocieerd diagram : gas turbine

DRUKINSTELLINGEN

naam	waarde
------	--------

Balans

efficiëntie 0

nuttige energie 0

aangekochte energie 0

Herberekenen

debiëteenhed

WarmtewisselaarS

naam	type	warme vloei...	koude vloei...
------	------	----------------	----------------

AFSTELLING VAN DE PUNTEN

Scherm berekening punt

project simple gas turbine waargenomen < >

punt luchtin trede

stof lucht tonen Dupliceren Opslaan

Extern mengsel Verwijderen Sluiten

Open systeem (T, v, u) Gesloten systeem (T, v, u) Vochtige mengsels

P (bar) 1 P en T gekend

instelling gecontr. druk h (kJ/kg) -9,87037072 P en h gekend

s (kJ/kg/K) 0,128011156 P en s gekend

exergie (kJ/kg) -46,7568

T (°C) 15

T (K) 288,15

u (kJ/kg) -7,0423588

s (kJ/kg/K) 0,128011156

V (m³/kg) 0,827301151

Cp (J/kg/K) 1 001,88

Cv (J/kg/K) 714,77

gamma 1,40168

Berekenen

Voer de toestand van het lichaam in bij het punt "luchtintrede". We kennen zijn druk (1 bar) en zijn temperatuur (15 °C). Het kan dus worden berekend:

Voor punt (2) is de enige gekende informatie in dit verband de druk $p = 16$ bar. In de huidige toestand van de cyclusberekening negeren we zijn temperatuur of zijn enthalpie.

Punt 3 staat op 16 bar en 1150 °C overeenkomstig het einde van de verbranding. Deze waarden kunnen worden ingevoerd, maar het punt kan nog niet worden berekend gezien zijn samenstelling niet gekend is.

Punt 4 heeft als druk 1 bar, maar zijn temperatuur is onbekend.

Het laatste te parametriseren punt is de brandstof, die we veronderstellen 20 bar en 15 °C te zijn.

AFSTELLING VAN DE TRANSFO'S

Begin met de compressie tussen de punten "luchtintrede" en 2. U hebt de keuze tussen meerdere compressiewijzen: adiabatisch of polytropisch, en voor de open systemen of voor de gesloten systemen. Voor de eerste categorie is de compressieverhouding deze van de drukwaarden, voor de tweede deze van de volumes. Deze kan zoals hier worden berekend of worden opgelegd.

Kies hier: adiabatisch, referentie polytropisch, met isentropisch rendement gelijk aan 0,85 en open systemen.

Selecteer de berekeningswijze "Het rendement opleggen en de transfo" en klik dan op de knop "Berekenen". De toestand van punt 2 wordt berekend evenals de overeenkomstige enthalpievariatie. De waarde van de compressieverhouding wordt weergegeven (hier 16).

The screenshot shows a software interface for configuring a compressor process. The interface is in Dutch and includes the following elements:

- proces:** compressor
- type:** compressie
- type energie:** nuttig
- Debiet inst:** (unchecked)
- debiet:** 1
- inlaatpunt:** luchtin trede
- inlaat parameters:**
 - T (°C): 15
 - P (bar): 1
 - h (kJ/kg): -9,87
 - titer: 1
- uitlaatpunt:** 2
- uitlaat parameters:**
 - T (°C): 442,62
 - P (bar): 16
 - h (kJ/kg): 432,84
 - titer: 1
- compressie options:**
 - adiabatisch
 - niet adiabatisch
 - isentropische referentie
 - polytropische referentie
 - polytropisch rend.: 0,85
 - polytropische exponent: 1,48847
 - drukverhouding (>= 1): 16
 - berekend
 - ingesteld
- Buttons:** Verwijderen, Sluiten, Opslaan, Waargenomen, Berekennen
- Footer text:**
 - Het rendement instellen en het proces berekenen
 - Het rendement berekenen als het uitlaatpunt gekend...

De berekening van de verbranding is complexer: aangezien de verbrandingseindetemperatuur is opgelegd gelijk aan 1150 °C, voer deze waarde in bij het veld rechts onderaan en selecteer "Lambda berekenen". Opgelet: de temperatuur moet worden ingevoerd in het scherm van de transfo en niet in deze van punt 2.

Voor het overige, aangezien er geen dissociatie is, is het niet nodig er het percentage van te definiëren en evenmin de stollingstemperatuur aan te duiden. Overigens, gezien we de warmteverliezen naar buiten negeren, is het kamerrendement gelijk aan 1.

De transfo kan worden berekend door te klikken op de knop "Berekenen". De luchtfactor wordt bepaald evenals het vereiste brandstofdebiet en dit wordt automatisch bijgewerkt in zijn transfo-punt. Het debiet aan de uitgang van de kamer wordt weergegeven.

The screenshot shows a software interface for calculating combustion chamber parameters. The main settings are:

- proces:** verbrandings kamer
- type:** verbranding
- type energie:** aangekocht
- Debiet inst:** (unchecked)
- inlaatpunt:** 2
- uitlaatpunt:** 3
- brandstof:** brandstof
- rend.verbranding:** 1
- rendement kamer:** 1

Key calculated values and settings:

- debiet:** 1,018269
- m Δh:** 889,54
- W:** 0
- lambda:** 3,2817
- T (°C):** 1 150
- lambda berekenen:** (selected)
- T berekenen:** (unchecked)
- Het brandstofdebiet instellen:** (unchecked)
- druk ingesteld:** door het inlaatpunt
- druk ingesteld:** door de gebruiker

Buttons include: Opslaan, Verwijderen, Sluiten, Berekenen, tonen, and a red 'druk ingesteld' indicator.

De samenstelling van de verbrandingsgassen wordt bepaald. Deze kan worden weergegeven door te klikken op de rode knop "weergeven" gesitueerd naast de naam van het lichaam in het scherm van punt 3:

naam van de component	molaire fractie	massafractie
CO2	0,03215996	0,04949052
H2O	0,05980526	0,03767364
O2	0,141611	0,1584484
N2	0,7576949	0,7421938
Ar	0,00872887	0,0121936

De ontspanning kan nu op haar beurt worden berekend. Zijn polytropisch rendement is eveneens gelijk aan 0,85 :

proces type

type energie Debiet inst

inlaatpunt tonen m Δh debiet

T (°C) P (bar) h (kJ/kg) titer

uitlaatpunt tonen

T (°C) P (bar) h (kJ/kg) titer

adiabatisch niet adiabatisch

isentropische referentie polytropische referentie

polytropisch rend. polytropische exponent

expansieverhouding (>= 1) berekend ingesteld

Het rendement instellen en het proces berekenen

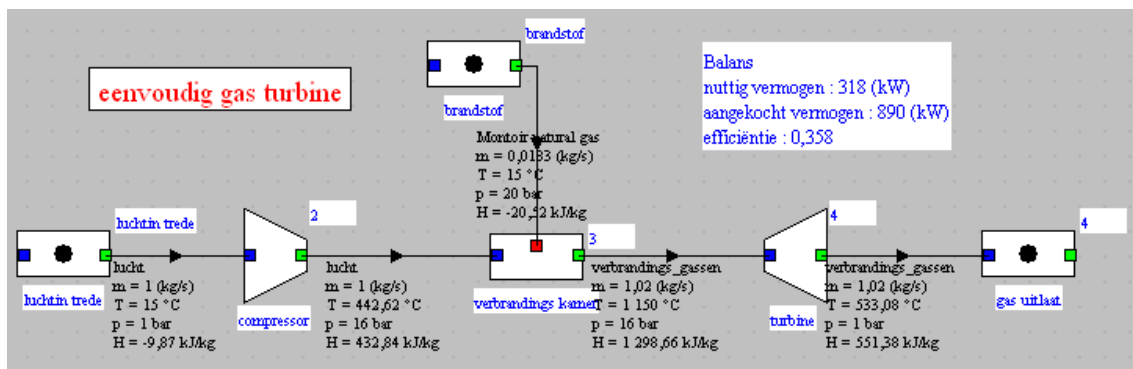
Het rendement berekenen als het uitlaatpunt gekend...

mechanisch in evenwicht gebracht m...

Het model van de gasturbine wordt dan volledig gekwantificeerd. Zijn rendement kan worden bekomen door te klikken op de knop "Herberekenen" van het hoofdscherm van de simulator:

De verschillende punten van de cyclus kunnen ook op het schema worden bekeken. Om de weergave nog te verbeteren kunt u een component invoegen van het type "Balans" die het mogelijk maakt de elementen van de balans rechtstreeks op het schema over te brengen (deze laatste component is alleen toegankelijk vanuit het menu "Componenten"). Bovendien kunt u de in aanmerking te nemen debiteenheid specificeren, bijvoorbeeld de t/s, aan de hand van de dropdown rechts onderaan de simulator.

Balans	
efficiëntie	0,358
nuttige energie	318
aangekochte energie	890



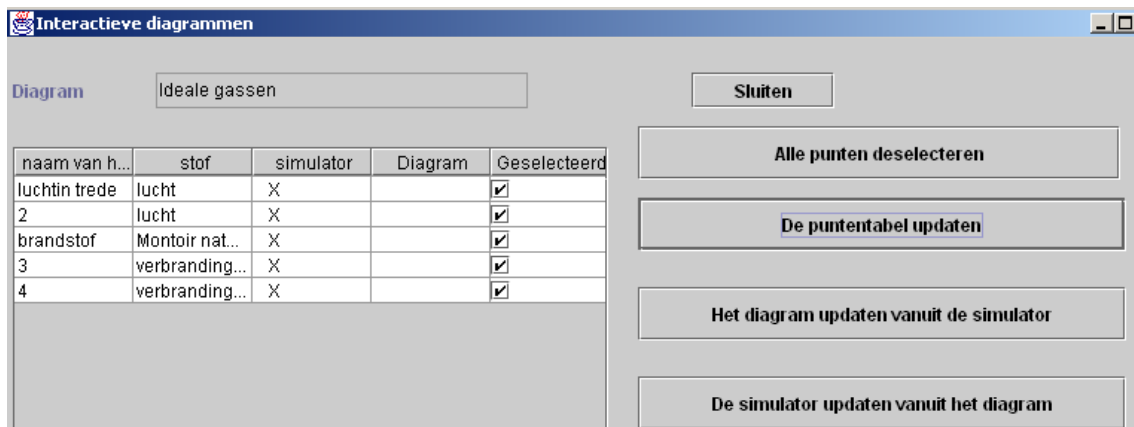
Hier is de aanwezigheid van de tranfo's-punten "luchtintrede" en "gasuitvoer" het belangrijkste. Dit maakt het mogelijk de punten "luchtintrede" en "4" weer te geven met gerichte links en er tevens de toestand van weer te geven.

Bewaar uiteindelijk het projectbestand, bijvoorbeeld onder de naam TAG.prj.

TRACE VAN DE CYCLUS OP THERMODYNAMISCH DIAGRAM

Het tracé van de cyclus op thermodynamisch diagram kan op de volgende wijze worden uitgevoerd: de interactieve diagrammen zijn toegankelijk op de regel "Interactieve Diagrammen" van het menu "Speciaal" van het scherm van de simulator, dat een vergelijkbare interface opent met deze die de simulator en het schemaopmaakprogramma verbindt. Dubbelklik in het veld links bovenaan om het gewenste diagramtype te kiezen (hier "Ideale gassen") en kies lucht als lichaam. Kies het gewenste diagramtype in het menu "Grafiek" (hier (T,s)).

Keer vervolgens terug naar de interface en klik op de knop "De tabel van de punten bijwerken", wat u het volgende resultaat oplevert:



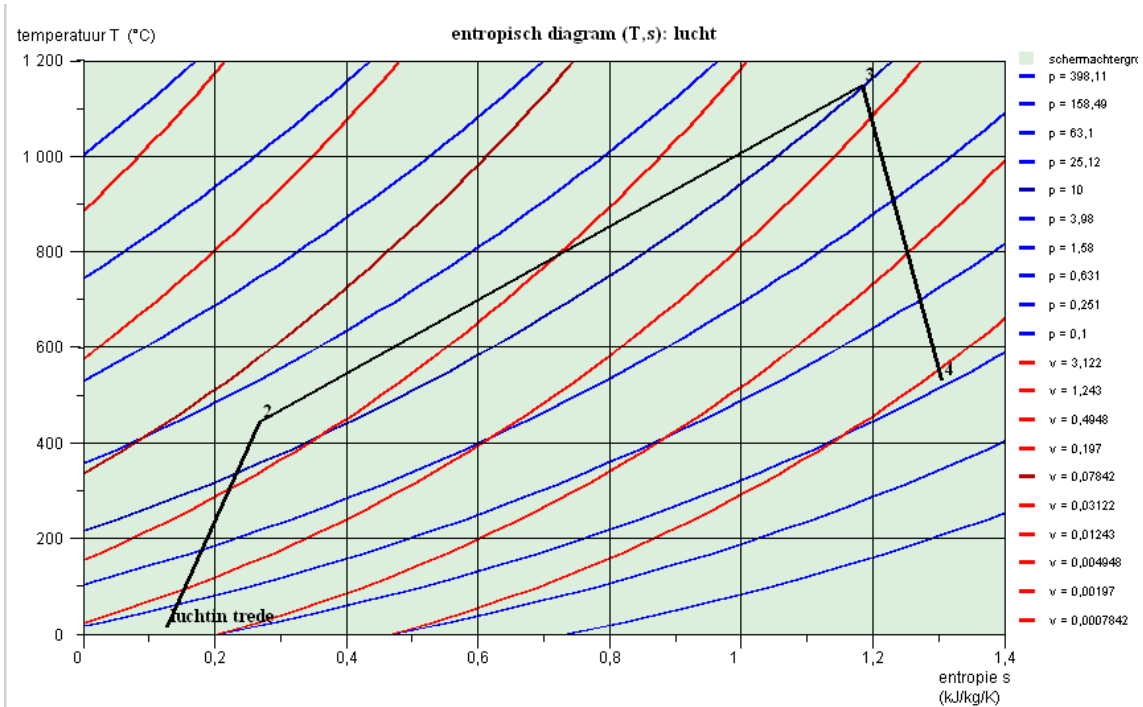
De interface tussen de simulator en de interactieve diagrammen omvat meerdere velden en knoppen evenals een hoofdtabel die de verschillende punten toont. Deze punten bestaan in het project of werden gecreëerd als cycluspunten in het diagram (hier zijn er geen).

De eerste twee kolommen geven de naam en het lichaam van de punten aan. Als een punt wordt gedefinieerd in de simulator, verschijnt een "X" in de derde kolom, als het tot een cyclus van het diagram behoort, wordt een "X" weergegeven in de vierde kolom.

Deselecteer de brandstof die niet moet verschijnen in het diagram. Klik vervolgens op de knop "Het diagram bijwerken vanuit de simulator" om de waarden van de geselecteerde punten over te dragen vanuit de simulator naar het diagram en klik dan op "Verbonden punten" in het "Cyclus"-menu van het diagram.

De punten worden overgedragen waarbij getracht wordt ze zo goed mogelijk te ordenen, maar het kan nodig zijn ze opnieuw te ordenen om een correct verbonden tracé te bekomen. Het opmaakprogramma van cycluspunten van het diagram maakt het mogelijk dat in dit geval te doen zoals we hierna zullen zien.

U zult echter allicht moeten beginnen met de afstelling van het diagram bij te stellen. Kies in het menu "Grafiek" temperatuur- en drukkiveaus die passen bij ons geval: 0 tot 1200 °C, en 0,1 tot 30 bar, en stel de schalen van de assen overeenkomstig bij.



VERBETERING VAN HET TRACÉ VAN DE CYCLI

Recent werden enkele verbeteringen aangebracht aan het cyclitracé voor versie 1.3:

- ten eerste is het mogelijk punten te verbinden door middel van diverse iso-waardenlijnen (isobaren, isentropen enz.)
- daarnaast kan de kleur van elke cyclus worden gewijzigd overeenkomstig de voorkeur van de gebruiker
- ten slotte is het mogelijk meerdere cycli op hetzelfde diagram over elkaar te plaatsen

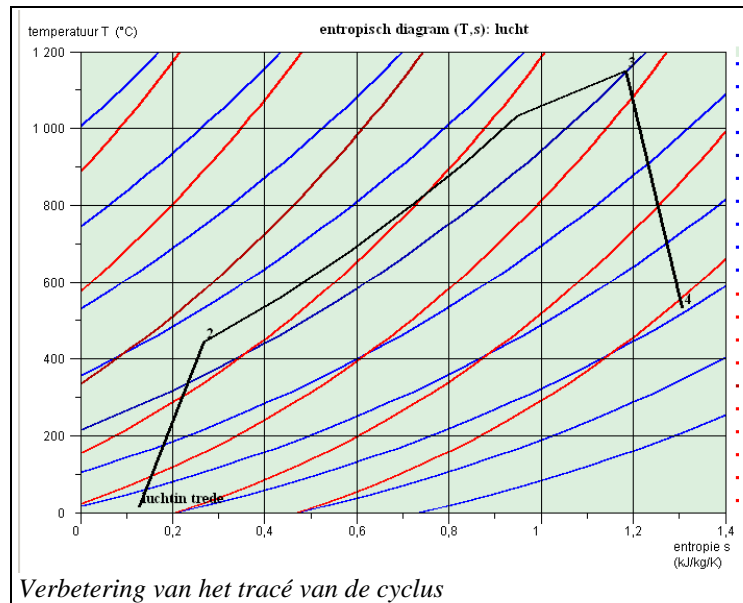
Verbinding van de punten door iso-waardenlijnen

Het tracé van de cyclus in het entropisch diagram is niet helemaal bevredigend omdat ThermoOptim de verschillende punten door middel van een rechte gebroken lijn verbindt.

U kunt dit tracé manueel verbeteren door op de volgende wijze te werk te gaan: open de editor van cyclipunten die toegankelijk is vanuit het menu "Cyclus" van het diagram. De verschillende punten worden hieronder weergegeven.

Punten op het cycliwerkingsprogramma			enthalpie h	entropie s	massawarmte	volumen v
luchtin trede	15	1	-9,87037	0,128011	1 001,88	0,827301
2	442,62148	16	432,84313	0,268478	1 080,19	0,12844
3	1 150	16	1 298,66331	1,1841	1 265,13	0,258582
4	533,07559	1	551,37978	1,30501	1 146,52	2,34382

Het is nu mogelijk punten 2 en 3a te verbinden door een isobaar: selecteer de twee lijnen 2 en 3 tegelijk en klik op "Invoegen". Een selectiescherm van de verschillende iso-waardencurves wordt voorgesteld. Kies "isobaar". Er wordt vervolgens gevraagd het aantal punten op te geven dat u wenst in te voegen. Er worden er 5 opgegeven. Voer "OK" in. 5 nieuwe punten worden gecreëerd in de editor van cyclipunten. Klik op "Valideren": het tracé volgt nu de isobaar 16 bar vanaf punt 2 en toont dan een verschuiving tot punt 3.

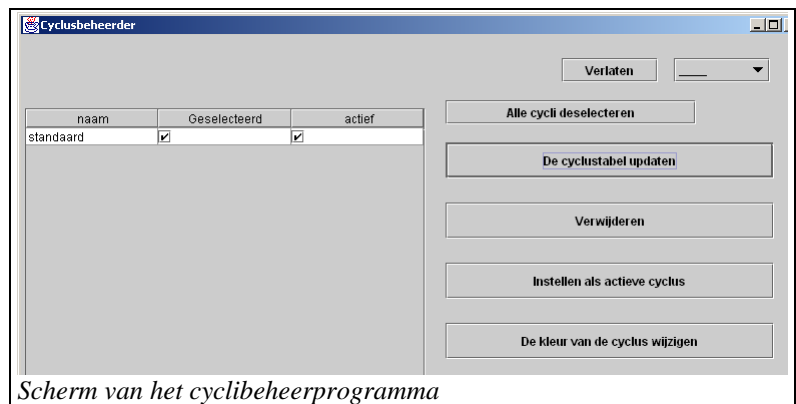


De weergave van deze cyclus op een thermodynamisch diagram vormt inderdaad een probleem, omdat het niet dezelfde vloeistof is die doorheen de volledige machine stroomt: de verandering van samenstelling in de verbrandingskamer laat in principe niet toe om de cyclus in één enkel diagram uit te zetten. Op het entropisch diagram van de lucht verschijnen punten 3 en 4 zodoende niet op de juiste isobaren door de verandering van de vloeistof. De waargenomen verschuiving kan aldus heel goed worden verklaard.

Als u deze cyclus wenst te bewaren, open dan de editor van cyclipunten, voer de titel en de beschrijving in die u wenst en bewaar de cyclus.

Aanpassing van de kleur van de cyclus

De kleur van de cyclus kan op dezelfde manier gekozen worden als voor de curves van het diagram. Met de menuregel "Cyclusbeheerprogramma" van het "Cyclus"-menu kunt u het scherm hiernaast openen. Als u op "De cyclitabel updaten" klikt, worden alle reeds geladen cycli weergegeven. Op de afbeelding worden twee cycli geladen: de standaard cyclus die "actief" is en een tweede cyclus die werd geladen vanuit een bestand.



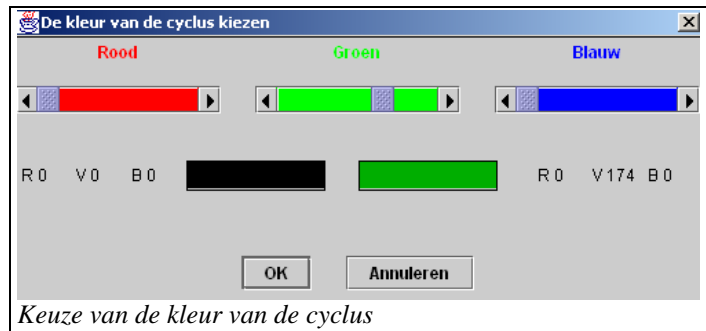
De titel van de cyclus zoals deze werd gedefinieerd in het opmaakprogramma van cycluspunten wordt als naam weergegeven.

U selecteert de actieve cyclus door zijn regel te kiezen en door te klikken op "Definiëren als actieve cyclus". De actieve cyclus heeft de volgende eigenschappen:

- deze is aangesloten op de simulator
- het is deze waarop de regels van het "Cyclus"-menu inwerken, dit wil zeggen dat deze kan worden gewist, bewaard, dat zijn punten kunnen worden opgemaakt in het cycliopmaakprogramma enz.

Als u dubbelklikt op een regel, verandert u de status ervan in de kolom "geselecteerd": als deze is aangevinkt, wordt de cyclus uitgetekend op het diagram, anders gebeurt dat niet. U kunt alle cycli deselecteren door te klikken op "Alle cycli deselecteren". U kunt een cyclus verwijderen uit de lijst door zijn regel te selecteren en door te klikken op "Verwijderen". Zijn tracé wordt ook uit het diagram verwijderd.

Om de kleur van een cyclus te wijzigen zijn regel selecteren en klikken op “De kleur van de cyclus wijzigen”. Er wordt een scherm weergegeven dat u in staat stelt de kleur te kiezen. Om de nieuwe kleur te bewaren moet u deze cyclus definiëren als de actieve cyclus en deze bewaren.



De actieve cyclus verwijderen komt neer op het wissen ervan vanuit het menu van het diagram. Om een nieuwe actieve cyclus te genereren kunt u ofwel een andere cyclus als actief definiëren, ofwel punten op het diagram creëren, het opmaakprogramma van cyclipunten openen en valideren.

Over elkaar plaatsen van meerdere cycli op een diagram

Om meerdere cycli op eenzelfde diagram uit te tekenen volstaat het van deze opeenvolgend te laden vanuit verschillende bestanden en deze te selecteren in het cyclibehoorprogramma. Deze verschijnen automatisch op het diagram.

VERANDERING VAN DIAGRAMTYPE

U kunt het diagramtype wijzigen door de overeenkomstige regel te selecteren in het menu "Grafiek". Voor de ideale gassen heeft dit in het algemeen echter weinig belang omdat het diagram van Clapeyron heel onnauwkeurig is.