

STUDIU DE CONCEPT PRIVIND UN ECHIPAMENT ORC

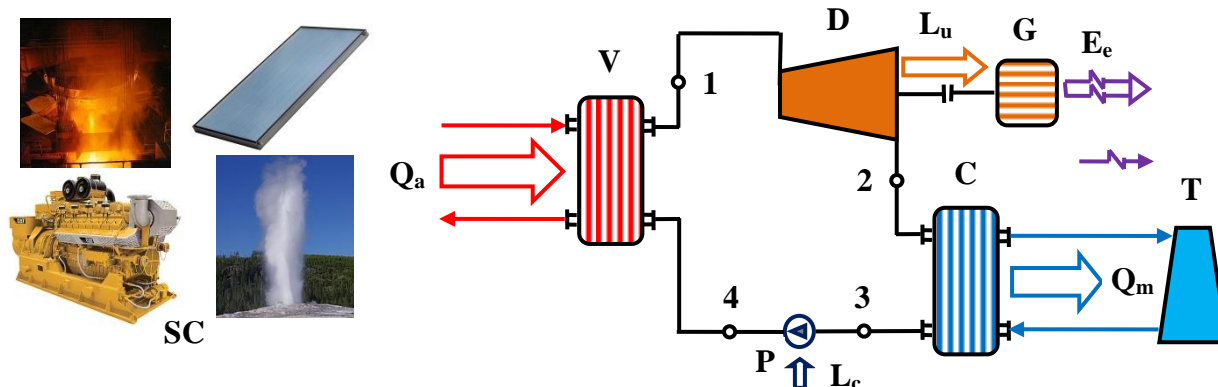
Principiul de funcționare al echipamentului ORC

Conversia în energie electrică a căldurii provenite din surse regenerabile sau a căldurii reziduale provenite din diverse procese, reprezintă o soluție de valorificare eficientă a unor forme de energie disponibile în cantități mari și cu puține alte utilizări practice.

Dacă temperatura sursei regenerabile sau reziduale de energie este redusă, se poate utiliza eficient un ciclu Rankine cu fluide organice ca agenți de lucru, acest ciclu fiind denumit și ciclul Rankine organic. Acest ciclu poate fi utilizat pentru un domeniu foarte larg de puteri: mici, medii și mari.

În instalațiile care funcționează după ciclul Rankine, se pot utiliza ca fluide organice siloxani, (substanțe cu legături chimice Si–O–Si), hidrocarburi, sau agenți frigorifici.

Schema de principiu a unei instalații cu funcționare după ciclul ORC pentru producerea energiei electrice, este prezentată în figura alăturată.



Schema de principiu a unui echipament ORC pentru producerea energiei electrice

SC – Sursa de căldură; V – Vaporizator; D – Detentor; G – Generator electric;

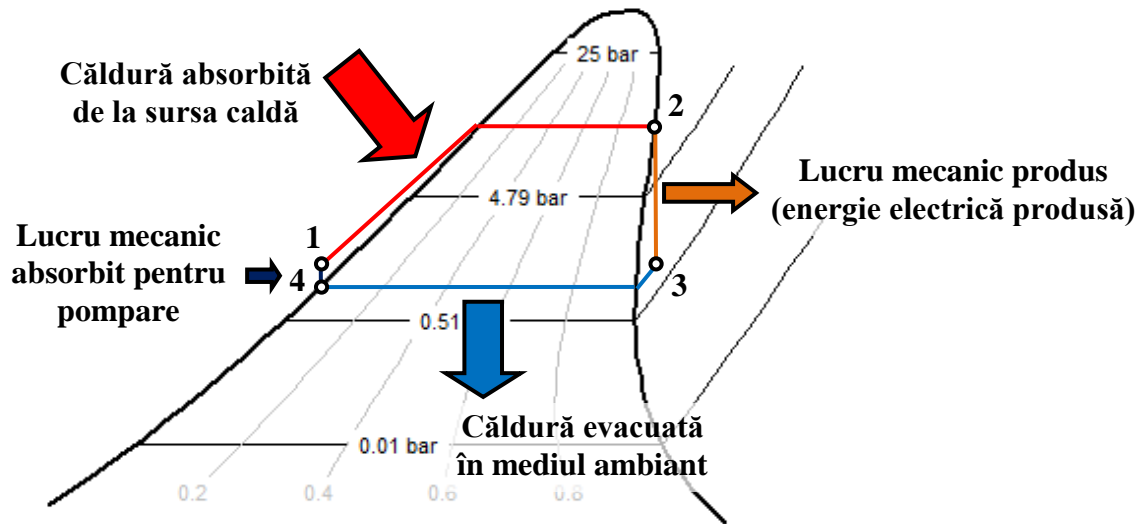
C – Condensator; P – Pompă; T – Turn de răcire

1 – Vaporii saturați de presiune ridicată; 2 – Vaporii supraîncălziți de presiune scăzută;

3 – Lichid de presiune scăzută; 4 – Lichid de presiune ridicată

În vaporizatorul V, căldura provenită de la o sursă regenerabilă sau recuperată dintr-un proces oarecare (Q_a), este absorbită de agentul de lucru care vaporizează la temperatură și presiune relativ scăzute. Vaporii saturați sau ușor supraîncălziți, cu starea 1 se destind în detentorul D, unde se produce lucrul mecanic util (L_u), care este transformat în energie electrică (E_e) în generatorul electric G. Din detentor rezultă vaporii supraîncălziți la presiune scăzută cu starea 2. În condensatorul C, vaporii condensează și cedează căldură mediului ambiant (Q_m) prin agentul de răcire al condensatorului, care poate să fie apă sau aer. În cazul răcirii cu apă a condensatorului, aceasta este răcită în turnul de răcire T, unde căldura preluată de apă în condensator, este transferată aerului ambiant, iar apa este răcită până la temperatura termometrului umed. Condensul aflat la presiune scăzută, cu starea 3 este aspirat de pompa P în care presiunea lichidului, respectiv energia potențială de presiune a acestuia, crește până la presiunea ridicată din vaporizator V. Pentru acest proces se consumă lucrul mecanic (L_c). Lichidul cu starea 4, aflat la presiune ridicată, este introdus în vaporizator, denumit uneori și generator de vaporii, după care ciclul de funcționare se reia.

Ciclul teoretic de lucru a instalației care funcționează după ciclul ORC este prezentat în figura alăturată, în diagrama T-s.



Reprezentarea ciclului ORC teoretic în diagrama T-s

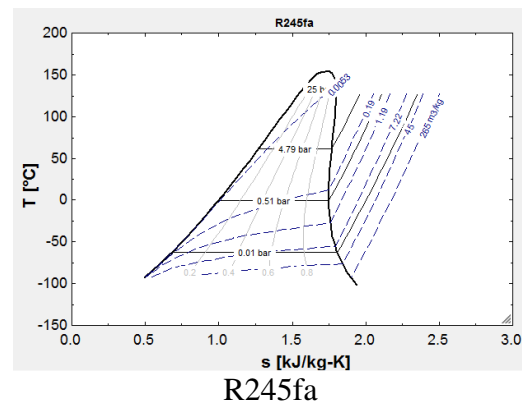
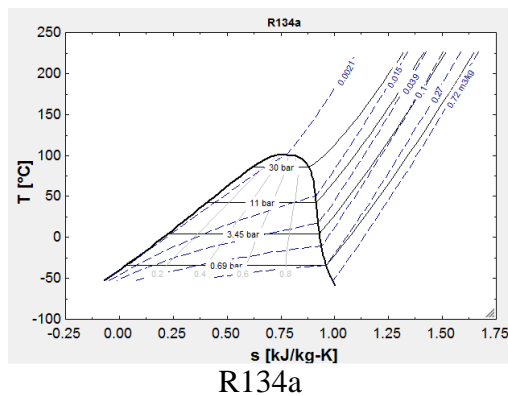
Considerații privind agentul de lucru

Agenții de lucru din instalațiile care funcționează după ciclul Rankine, prezintă proprietăți termodinamice diferite, care influențează atât condițiile de lucru, în principal presiuni și temperaturi, cât și performanțele energetice, în special *randamentul termodinamic* (sau termic, sau mecanic) (η_m) definit prin raportul dintre energia mecanică produsă sau lucrul mecanic util produs (L_u) și căldura consumată (Q_a), respectiv *randamentul electric* (sau global) (η_e) definit prin raportul dintre energia electrică produsă (E_e) și căldura consumată (Q_a) (Angelino et. all, 1984).

Relațiile matematice de definiție a celor două randamente sunt:

$$\eta_m = \frac{L_u}{Q_a}; \quad \eta_e = \frac{E_e}{Q_a}$$

În figurile alăturate sunt prezentate diagramele termodinamice temperatură (T) – entropie (s), pentru apă, pentru freonii R134a și R245fa. Diagramele au fost realizate cu ajutorul mediului de programare Engineering Equation Solver (EES), pentru care Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca deține licență academică (Klein, 2011).

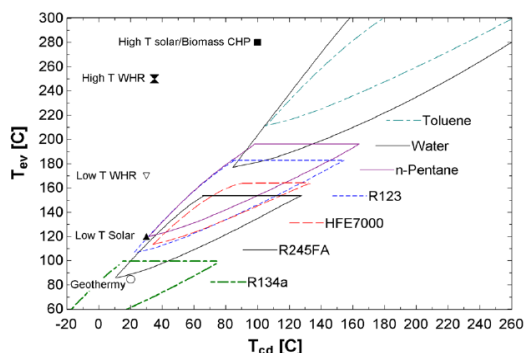


Diagrame T-s pentru apă și câteva fluide organice

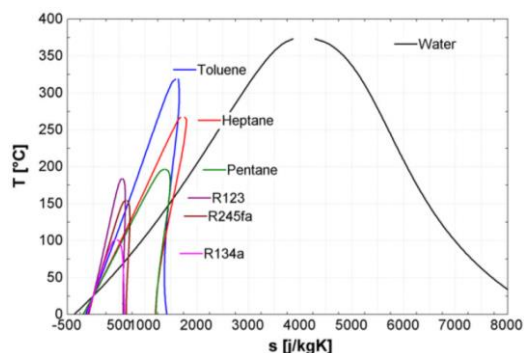
Procesul termodinamic prin care se produce lucru mecanic respectiv energie electrică, este destinderea teoretic adiabatică a vaporilor. Acest proces se reprezintă în diagramele T-s prin drepte verticale. Procesul de destindere trebuie să se desfășoare în domeniul vaporilor supraîncălziți și nu este admisă apariția lichidului în timpul procesului, deoarece acesta interacționează cu organele de mașini aflate în mișcare ale detentoarelor și determină distrugerea acestora.

Randamentul detentoarelor cu fluide organice este de cca. (65...95)%, iar randamentul global al instalației se situează în intervalul (18...24)% sau mai mult, fiind cu atât mai ridicat cu cât temperatura sursei de căldură este mai ridicată. Pe de altă parte, dacă temperaturile sursei de căldură scad sub 100°C, randamentul global scade la cca. (7...8)%, sau chiar mai puțin (Badr et. all, 1984), (Badr et. all, 1990), (Nusiaputra et all., 2014).

Agentul de lucru a fost ales în funcție de nivelul de temperatură al sursei calde, în funcție de recomandările din literatura de specialitate. Pentru exemplificare, se prezintă recomandările din (Lermort et al, 2013) și (Quoilin et al, 2013).



Domeniul de lucru pentru compresoarele Scroll (Lermort et al, 2013)



Diagramele T-s pentru apă și agenți organici (Quoilin et al, 2013)

Pentru temperatura sursei calde de (80...110)°C, se recomandă utilizarea agenților R134a și R245fa. R134 este recomandat pentru funcționarea cu energie geotermală, pentru temperatura sursei calde de maxim 100°C dar determină randamente scăzute ale instalațiilor, iar R245fa este recomandat pentru funcționarea cu energie solară, pentru temperatura sursei calde de minim 80°C și permite atingerea unor valori mai ridicate ale randamentelor.

În urma analizării opțiunilor posibile, a fost ales agentul de lucru R245fa.

Specificații ale instalațiilor ORC de mică putere

În cadrul proiectului se urmărește realizarea unui model experimental pentru o instalație de mică putere, care funcționează după ciclul ORC. Ținta de putere electrică pe care trebuie să o producă instalația este de 1-3 kW. În lume au fost realizate și alte instalații experimentale de puteri electrice similare: 0.5 kW (Jradi et al., 2014); 1 kW (Lermort et al., 2011), (Meyer et al., 2013), (Quoilin et al., 2010), respectiv 3 kW (Orosz et al., 2009), (Georges et al., 2013), (Zanelli & Favrat, 1994).

Sursa caldă

Instalația va funcționa cu energie regenerabilă de potențial termic scăzut, respectiv apă geotermală sau energie solară. În ambele variante, energia motoare pentru instalație va fi reprezentată de apa caldă cu temperaturi situate în intervalul (80...110)°C. Se estimează o variație a temperaturii apei calde în vaporizator de cca. (15...20)°C.

Sursa rece

Sursa rece a instalației va fi reprezentată de apa de răcire în circuit închis, prevăzut cu turn de răcire. În aceste condiții, temperatura estimată a apei de răcire la intrarea în condensator este de (18...28)°C în funcție de sezon. Se estimează o variație a temperaturii apei de răcire în condensator de cca. 5°C.

Detentorul

Pentru instalațiile cu funcționare după ciclul ORC, de putere mică, detentorul poate să fie de tip scroll, cu pistoane, cu șurub sau turbodetentor (Jradi et al., 2014), (Lermort et al., 2011), (Lermort et al., 2013), (Orosz et al., 2009), (Orosz et al., 2013). În vederea simplificării construcției și având în vedere disponibilitatea pe piață a unor echipamente de acest tip, utilizate pe scară largă în instalații frigorifice, de climatizare și în pompele de căldură, se estimează utilizarea unui detentor de tip scroll, realizat prin conversia unui compresor frigorific (Hrada, 2010), (Meyer et al., 2013), (Quoilin et al., 2010), (Zanelli & Favrat, 1994). Randamentul procesului de destindere are valori uzuale în intervalul (45...80)% (Jradi et al., 2014), (Lermort et al., 2011), (Orosz et al., 2009), (Quoilin et al., 2010).

Sinteza informațiilor disponibile în literatură privind detentoare de mică putere

Referință	Model detentor	Producător	Putere el. [W]	Agent	Obs.
(Jradi et al., 2014)	SHS-33B4150	Sanden	500	HFE7100	Mercedes S400
(Orosz et al., 2009)	SCSA6	Denso	100-500		Automotive scroll
(Orosz et al., 2009)	ZP51K5e	Copeland	100-500		Commercial HVAC scroll
(Orosz et al., 2009)	ES18	Denso	3000		Nerecomandat; Vulnerabil la uzură
(Orosz et al., 2009)					Compressoare auto: < 1kW; <200 cm ³ /rot
(Orosz et al., 2009)					Compressoare scroll comerciale (Copeland, Danfoss): 3 kW
(Meyer et al., 2013)	E15H022A-SH	Airsquared USA	1000	R245fa R134a	http://airsquared.com/wp-content/uploads/e15h022a-sh.pdf http://airsquared.com/products/scroll-expanders/#SI

În urma analizei opțiunilor existente, a fost ales detentorul E15H022A-SH, produs de compania Airsquared USA, care funcționează atât cu R245fa, cât și cu R134a.

Fișa tehnică a detentorului, este disponibilă pe internet:

<http://airsquared.com/wp-content/uploads/e15h022a-sh.pdf>

Pompa

Pentru antrenarea și creșterea presiunii agentului de lucru, se va utiliza o pompă care funcționează prin una din următoarele tehnologii: centrifugală, cu pistoane, sau cu membrană (Orosz et al., 2009). Randamentul procesului de comprimare are valori uzuale în intervalul (60...80)% (Nusiaputra et al., 2014), (Quoilin et al., 2010).

Referință	Model pompa	Producător	Debit	Obs.
(Meyer et al., 2013)	Cat 2SF22ELS	Cat Pumps		http://www.catpumps.com/products/pdfs/2SF10ES_H.pdf http://www.catpumps.com/fliers/2SF22ELS.pdf

În urma analizei opțiunilor existente, a fost aleasă pompa cu pistoane 2SF22ELS, produsă de compania Cat Pumps USA, care funcționează atât cu R245fa, cât și cu R134a.

Fișa tehnică a pompei, este disponibilă pe internet:

http://www.catpumps.com/products/pdfs/2SF10ES_H.pdf

Calculul termodinamic al ciclului ORC

Calculul termic al ciclului la funcționarea cu colectori solari parabolici

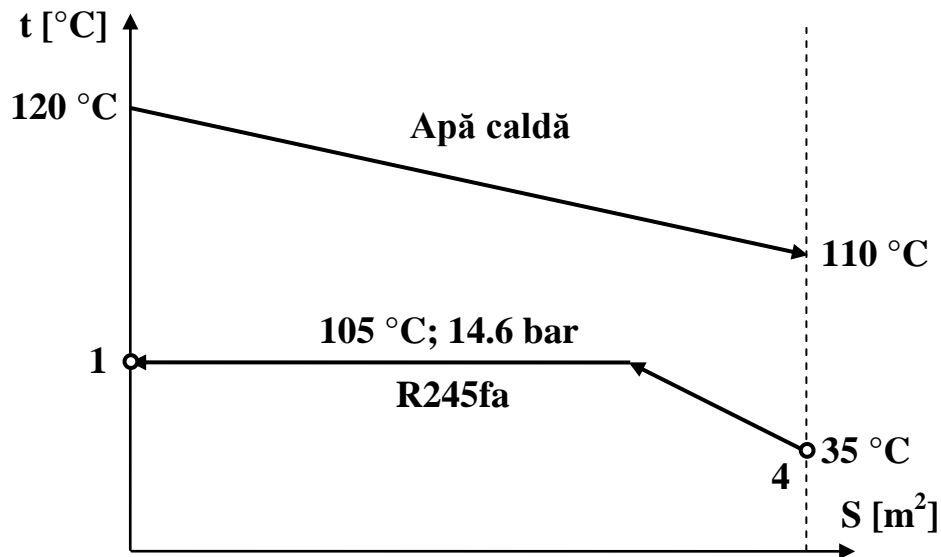
Debitul volumic teoretic al detentorului, respectiv debitul volumic descris de pistoanele orbitale ale sistemului scroll, se determină pentru următoarele condiții de lucru nominale ale unui sistem solar cu colectoare parabolice:

- Putere electrică: 1 kWe
- Agent frigorific: R245fa
- Temperatura apei calde: 120°C
- Variația temperaturii apei calde: 10°C
- Diferența totală de temperatură în vaporizator: 15°C
- Temperatura apei de răcire: 25°C
- Variația temperaturii apei de răcire: 5°C
- Diferența totală de temperatură în condensator: 10°C
- Randamentul destinderii în detentor: 65%
- Randamentul comprimării în pompă: 75%
- Randamentul generatorului electric: 80%
- Randamentul motorului electric al pompei: 85%
- Randamentul volumetric al detentorului: 0.95%

Pentru efectuarea calculelor, a fost realizat un program de calcul EES și a rezultat debitul volumic teoretic al detentorului de 2.513 m³/h.

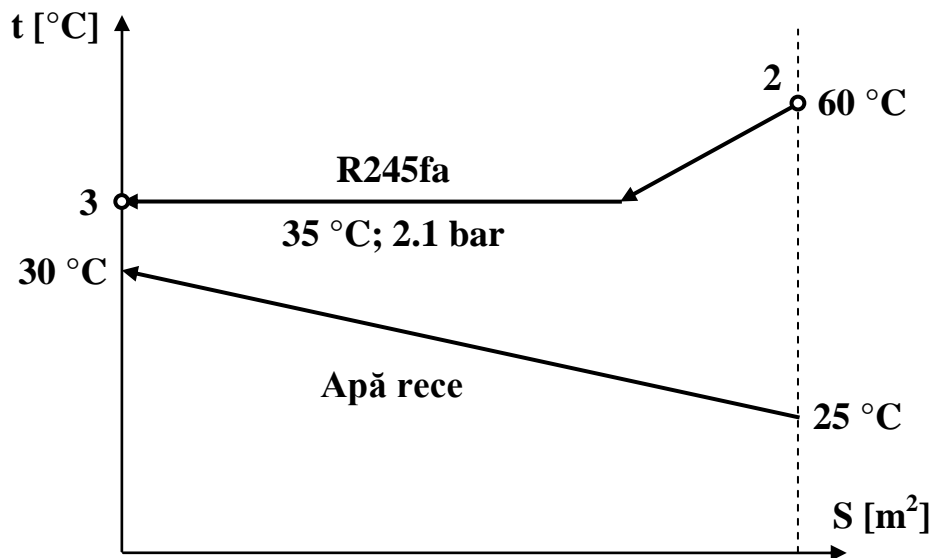
Acest debit volumic teoretic poate fi realizat de detentorul E15H022A-SH, produs de compania Airsquared USA, la turația 3472 rot/min, iar turația maximă a detentorului este de 3600 rot/min. În consecință se verifică faptul că detentorul selectat poate realiza o putere electrică de 1 kW.

În figura alăturată este prezentat regimul termic de calcul al vaporizatorului, pentru funcționarea cu R245fa și colectori solari parabolici.



Regimul termic de calcul al vaporizatorului

În figura alăturată este prezentat regimul termic de calcul al condensatorului, pentru funcționarea cu R245fa și răcire cu apă din turn de răcire.



Regimul termic de calcul al condensatorului

În tabelul alăturat sunt prezentate valorile parametrilor termodinamici de stare, în stările caracteristice ale ciclului termodinamic, determinate cu ajutorul programului EES.

Stare	Nr.	t [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	v [m ³ /kg]	x [-]
Ieșire vaporizator	1	105.0	14.6	477.0	1.793	0.0121	1
Ieșire detentor (teoretic)	2t	46.96	2.11	441.9	1.793	0.0880	-
Ieșire detentor (real)	2r	59.43	2.11	454.2	1.831	0.0925	-
Ieșire condensator	3	35.00	2.11	245.8	1.157	0.0007	0
Ieșire pompă (teoretic)	4t	35.22	7.91	246.2	1.157	0.0007	-
Ieșire pompă (real)	4r	35.33	7.91	246.4	1.157	0.0007	-

Debitul masic de agent frigorific are valoarea: 55.02 g/s.

În tabelul alăturat sunt prezentate valorilor puterilor participante la bilanțul de puteri al echipamentului.

Putere	Notăție	Valoare [kW]
Putere termică vaporizator	\dot{Q}_0	12.65
Putere termică condensator	\dot{Q}_k	11.46
Putere mecanică detentor	Pm	1.25
Putere electrică	Pe	1.00
Putere mecanică pompă	Pp	0.07

Randamentele echipamentului au valorile:

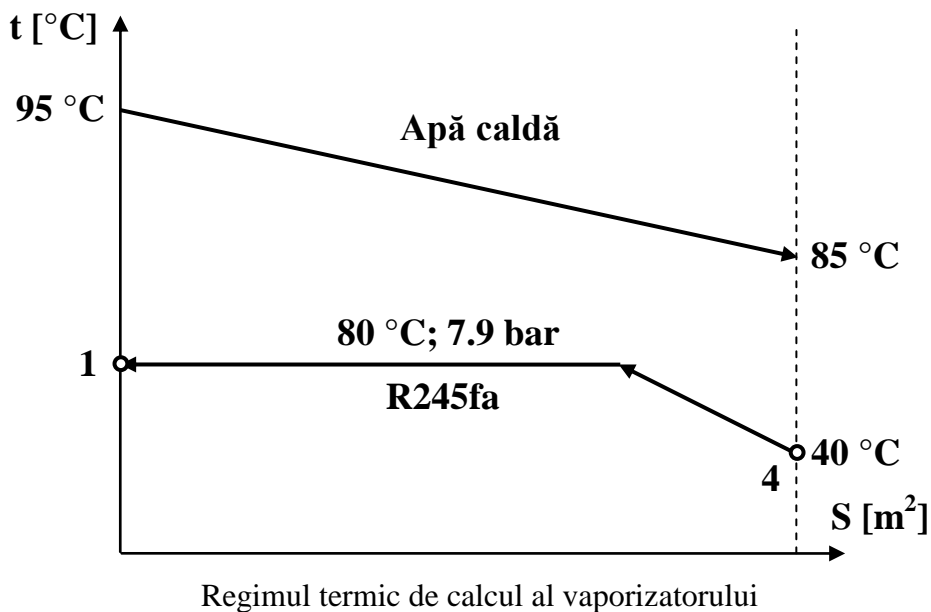
- Randamentul mecanic: 0.099 (9.9%)
- Randamentul termic: 0.079 (7.9%)

Calculul termic al ciclului la funcționarea cu colectori solari plani sau cu tuburi vidate

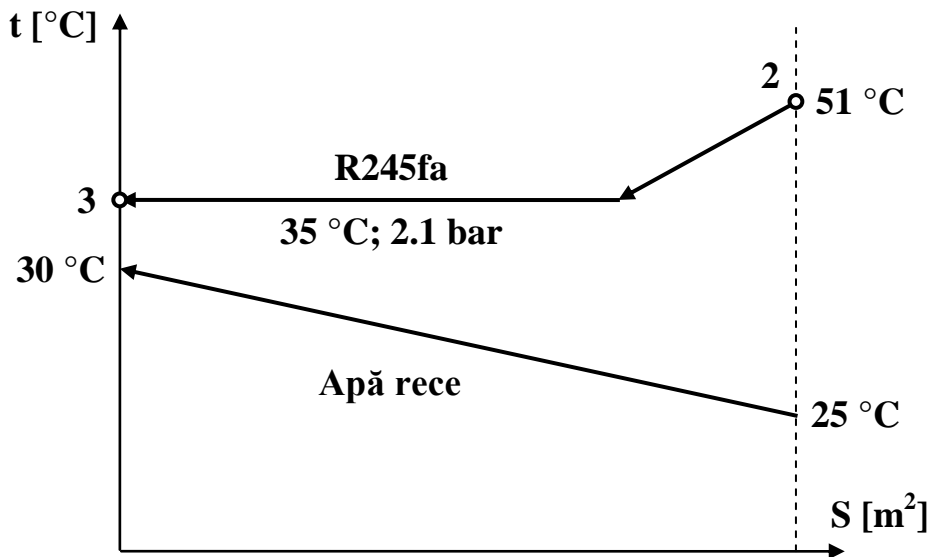
În continuare se efectuează calculul termic pentru condițiile în care se cunoaște debitul volumic teoretic al detentorului, dar temperatura apei calde este mai redusă și corespunde regimului termic al apei geotermale, sau al colectoarelor solare termice plane, sau cu tuburi vidate:

- Volumul de destindere: $12 \text{ cm}^3/\text{rot}$
- Turația detentorului: 3000 rot/min (max. 3600 rot/min)
- Agent frigorific: R245fa
- Temperatura apei calde: 95°C
- Variația temperaturii apei calde: 10°C
- Diferența totală de temperatură în vaporizator: 15°C
- Temperatura apei de răcire: 25°C
- Variația temperaturii apei de răcire: 5°C
- Diferența totală de temperatură în condensator: 10°C
- Randamentul destinderii în detentor: 65%
- Randamentul comprimării în pompă: 75%
- Randamentul generatorului electric: 80%
- Randamentul motorului electric al pompei: 85%
- Randamentul volumetric al detentorului: 0.95%

În figura alăturată este prezentat regimul termic de calcul al vaporizatorului, pentru funcționarea cu R245fa și colectori solari plani sau cu tuburi vidate.



În figura alăturată este prezentat regimul termic de calcul al condensatorului, pentru funcționarea cu R245fa.



Regimul termic de calcul al condensatorului

În tabelul alăturat sunt prezentate valorile parametrilor termodinamici de stare, în stările caracteristice ale ciclului termodinamic, determinate cu ajutorul programului EES.

Stare	Nr.	t [°C]	p [bar]	h [kJ/kg]	s [kJ/kgK]	v [m³/kg]	x [-]
Ieșire vaporizator	1	80.00	7.91	461.7	1.779	0.0227	1
Ieșire detentor (teoretic)	2t	42.54	2.11	437.6	1.779	0.0864	-
Ieșire detentor (real)	2r	51.13	2.11	446.0	1.806	0.0896	-
Ieșire condensator	3	35.00	2.11	245.8	1.157	0.0007	0
Ieșire pompă (teoretic)	4t	35.22	7.91	246.2	1.157	0.0007	-
Ieșire pompă (real)	4r	35.33	7.91	246.4	1.157	0.0007	-

Debitul masic de agent frigorific are valoarea: 29.34 g/s.

În tabelul alăturat sunt prezentate valorilor puterilor participante la bilanțul de puteri al echipamentului.

Putere	Notăție	Valoare [kW]
Putere termică vaporizator	\dot{Q}_0	6.32
Putere termică condensator	\dot{Q}_k	5.87
Putere mecanică detentor	Pm	0.461
Putere electrică	Pe	0.369
Putere mecanică pompă	Pp	0.017

Randamentele echipamentului au valorile:

- Randamentul mecanic: 0.073 (7.3%)
- Randamentul termic: 0.058 (5.8%)

Componentele echipamentului ORC

Principalele componente ale echipamentului ORC, au fost selectate în urma efectuării calculului termic și în urma verificării performanțelor echipamentelor similare menționate în literatura de specialitate.

Detentorul

Detentorul selectat este de tip E15H022A-SH, produs de compania Airsquared USA.

În figura alăturată este prezentată o imagine a detentorului E15H022A-SH.



Detentorul E15H022A-SH

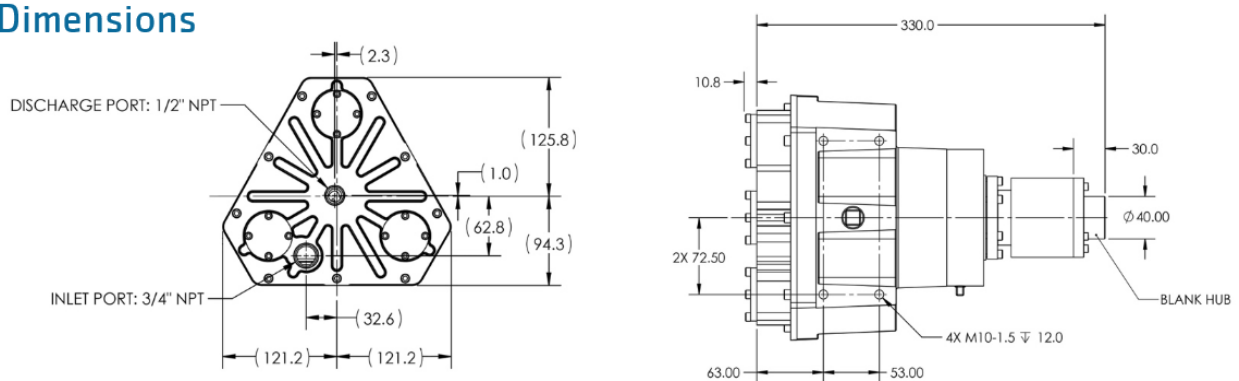
În tabelul alăturat sunt prezentate caracteristicile tehnice ale detentorului, conform fișei tehnice.

Caracteristicile tehnice ale detentorului

	SI	IMPERIAL	OPTIONAL CONFIGURATIONS
NOMINAL OUTPUT	1 kW _e	1.34 hp _e	Custom Flange Hub Shaft Dimensions
VOLUME RATIO		3.5	AVAILABLE ACCESSORIES
DISPLACEMENT	12 cm ³ /Rev.	0.73 in ³ /Rev.	220V, 50 Hz or 115V, 60 Hz AC Generator Expander-Generator Coupling Adaptor
MAX. SPEED		3,600 RPM	CUSTOM REQUIREMENTS
MAX. INLET PRESSURE	13.8 bar _a	200 psi _a	Qualified OEMs should consult Air Squared for custom configurations and application specific requirements. Contact info@airsquared.com.
MAX. INLET TEMP.	175°C	345°F	
AMBIENT TEMP. RANGE	-20°C - 40°C	0°F - 104°F	
NOMINAL SOUND LEVEL		55 dB(A)	
NET WEIGHT	9 kg	20 lb	
PORT CONFIGURATION		½" NPT (Inlet) ¾" NPT (Outlet)	
MEDIA		Refrigerant, Other	
PART NUMBER		E15H022A-A01	

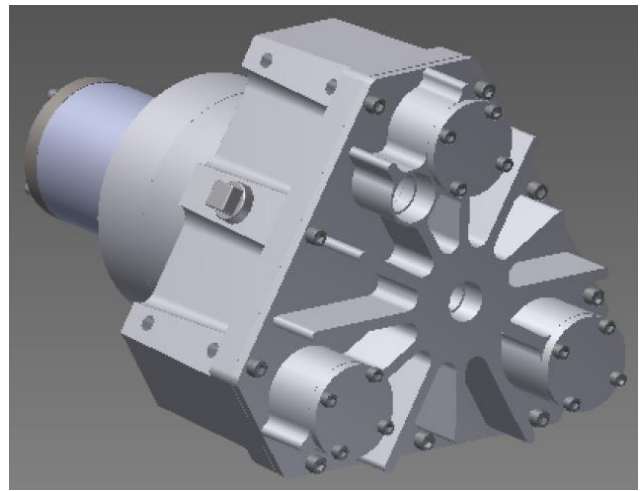
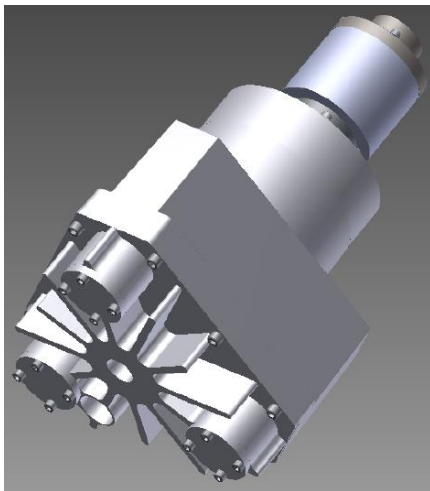
În figura alăturată sunt prezentate dimensiunile de gabarit ale detentorului.

Dimensions



Dimensiunile de gabarit ale detentorului (în mm)

Cu ajutorul dimensiunilor de gabarit din fisa tehnică, a fost realizat modelul 3D al detentorului, prezentat în figurile alăturate.



Modelul 3D al detentorului

Pompa

Pompa este cu pistoane, de tip 2SF22ELS, produsă de compania Cat Pumps USA.

În figura alăturată este prezentată o imagine a pompei.



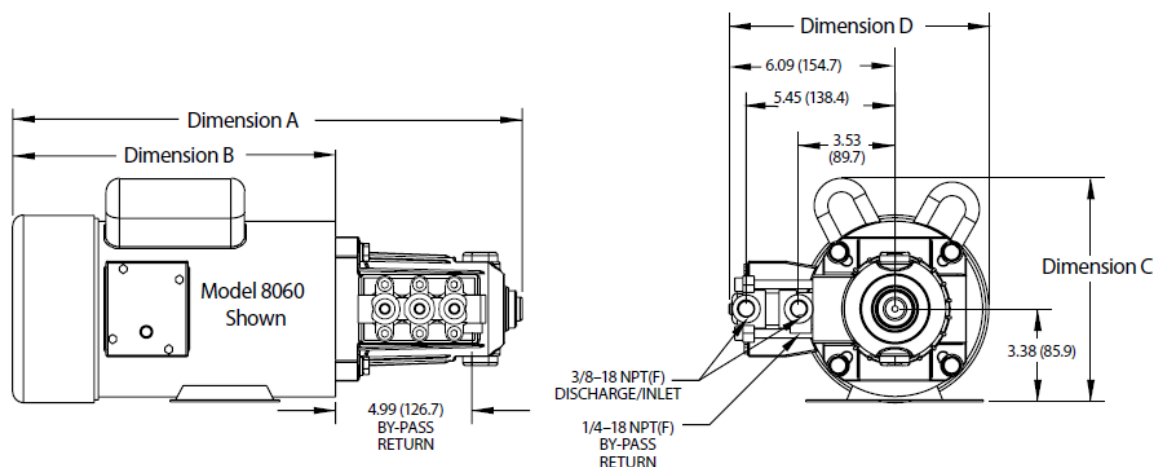
Pompa cu pistoane 2SF22ELS

În tabelul alăturat sunt prezentate caracteristicile tehnice ale pompei.

Caracteristicile tehnice ale pompei

SPECIFICATIONS	U.S.	Metric	U.S.	Metric
	Measure	Measure	Measure	Measure
	2SF10ES		2SF20ES	
Flow	1.0gpm	3.8 lpm	2.0gpm	7.6 lpm
Max. Discharge Pressure	2000 psi	138 bar	2000 psi	138 bar
Max. RPM	3450 rpm	3450 rpm	3450 rpm	3450 rpm
Stroke	0.071"	1.8 mm	0.122"	3.1 mm
	2SF22ELS		2SF22ES	
Flow	2.2 gpm	8.3 lpm	2.2 gpm	8.3 lpm
Max. Discharge Pressure	2000 psi	138 bar	2000 psi	138 bar
Max. RPM	1725 rpm	1725 rpm	3450 rpm	3450 rpm
Stroke	0.248"	6.3 mm	0.132"	3.35 mm

În figura alăturată sunt prezentate dimensiunile de gabarit ale pompei cu motorul electric montat.



MODEL	8050	8052	8055	8057	8060	8062	8125
Dimension A	18.2	18.2	20.0	18.7	18.7	19.2	19.1
Dimension B	11.3	11.3	13.1	11.8	11.8	12.3	12.2
Dimension C	8.4	8.4	8.3	9.0	8.1	8.1	9.6
Dimension D	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.7

Dimensiunile de gabarit ale pompei cu motorul electric montat
(dimensiunile din paranteze sunt în mm)

Vaporizatorul

Vaporizatorul este de tip schimbător de căldură cu plăci brazate, de tip B8LASH N-Wx50/1P-SC-M (4x3/4" & 16), produs de compania SWEP Suedia.

Tipul vaporizatorului și dimensiunile racordurilor, sunt prezentate în figura alăturată.



SWEP International AB
Box 105, Hjalmar Brantings väg 5
SE-261 22 Landskrona, Sweden
www.swep.net

SSP G7 - (v 7.0.3.47)
Date : 2015-11-04

PreHeater 1

Heat Exchanger : B8LASH N-Wx50/1P-SC-M (4x3/4" & 16)

Art No : 16435-050

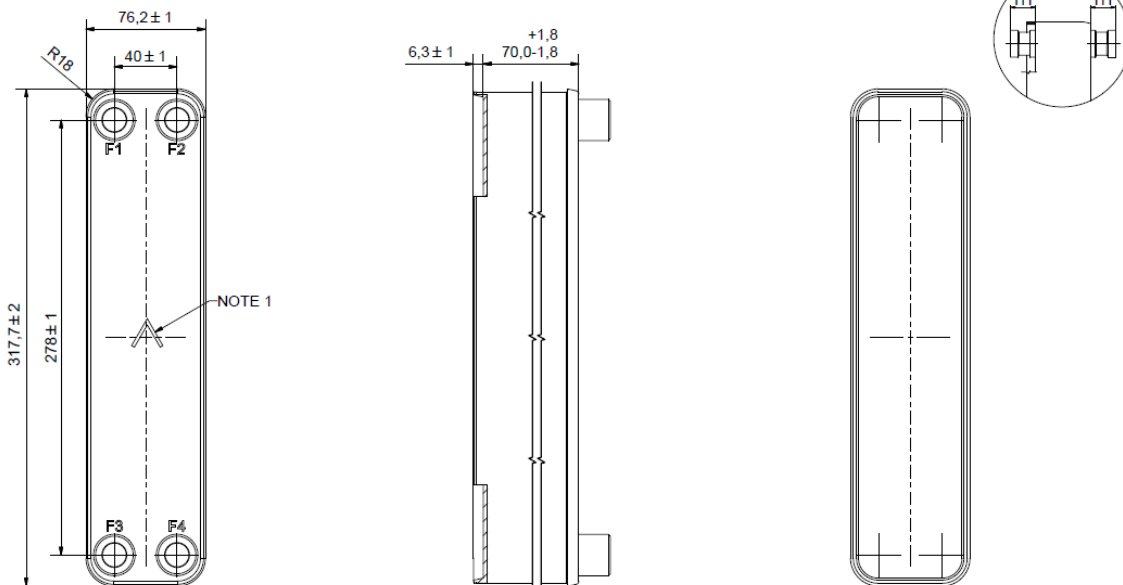
Connection Data

F1 -	ISO-G 3/4" & SOLDER 16(20)
F2 -	ISO-G 3/4" & SOLDER 16(20)
F3 -	ISO-G 3/4" & SOLDER 16(20)
F4 -	ISO-G 3/4" & SOLDER 16(20)

Connection Locations

Fluid Side 1 : R245fa
Fluid Side 2 : Water

În figura alăturată sunt prezentate dimensiunile geometrice ale vaporizatorului.



Caracteristicile geometrice ale vaporozatorului

Condensatorul

Condensatorul este de tip schimbător de căldură cu plăci brazate, de tip B26H N-Wx30/1P-SC-M (9.65+22U+2x1"), produs de compania SWEP Suedia.

Tipul condensatorului și dimensiunile racordurilor, sunt prezentate în figura alăturată.



SWEP International AB
Box 105, Hjalmar Brantings väg 5
SE-261 22 Landskrona, Sweden
www.swep.net

SSP G7 - (v 7.0.3.47)
Date : 2015-11-04

CONDENSER 1

Heat Exchanger : B26H N-Wx30/1P-SC-M (9.65+22U+2x1")

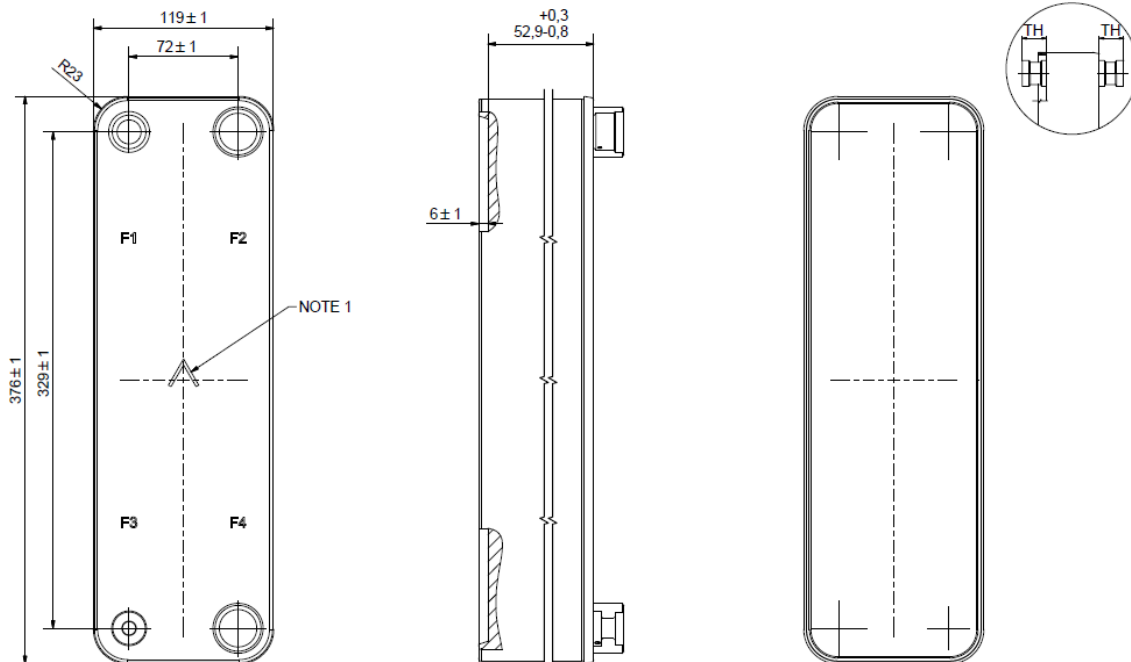
Art No : 15094-030

Connection Data F1 - SOLDER 22U AISI 304(20)
 F2 - ISO-G 1" A NON-CASTED(20)
 F3 - SOLDER 9.65 AISI 304(20)
 F4 - ISO-G 1" A NON-CASTED(20)

Connection Locations Side 1: F1/F3 (In / Out)
 Side 2: F4/F2 (In / Out)

Fluid Side 1 : R245fa
Fluid Side 2 : Water

În figura alăturată sunt prezentate dimensiunile geometrice ale condensatorului.



Referințe

Angelino M., Gaia M., Macchi E., - *A review of Italian activity in the field of Organic Rankine Cycles*, Proceedings of the international VDI-Seminar, Zürich, 10-12 September, (1984).

http://www.turboden.eu/en/public/downloads/ORC_fluid_selection.pdf

Badr O., O'Callaghan P W., Probert S.D. - *Performances of Rankine-Cycle Engines as Functions of their Expanders' Efficiencies*, Applied Energy 18, 15-27, (1984).

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0306261984900424>

Badr O., O'Callaghan P W., Probert S.D. - *Rankine-Cycle Systems for Harnessing Power from Low-Grade Energy Sources*, Applied Energy 36, 263-292, (1990).

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030626199090002U>

Georges E., Declaye S., Dumont O., Quoilin S., Lemort V. - *Design of a small-scale organic Rankine cycle engine used in a solar power plant*, International Journal of Low-Carbon Technologies, 8, 134-141, (2013).

<http://ijlct.oxfordjournals.org/content/early/2013/05/11/ijlct.ctt030.abstract>

Harada K.J. - *Development of a Small Scale Scroll Expander*, PhD. Thesis, (2010).

<http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/handle/1957/18837>

Jradi M, Jinxing Li, Liu H., Riffat S. - *Micro-scale ORC-based combined heat and power system using a novel scroll expander*, International Journal of Low-Carbon Technologies, 9, 9-99, (2014).

<http://ijlct.oxfordjournals.org/content/early/2014/02/19/ijlct.ctu012.full>

Klein S.A. - *Engineering equation solver*, F-Chart software, (2011).

http://www.fchart.com/assets/downloads/ees_manual.pdf

Lemort V., Declaye S., Quoilin S. - *Experimental characterization of a hermetic scroll expander for use in a micro-scale Rankine cycle*, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineer: Part A: Journal of Power and Energy, 126-136, (2011).

<http://pia.sagepub.com/content/early/2011/11/09/0957650911413840.full.pdf>

Lemort V., Guillaume L., Legros A., Declaye S., Quoilin S. - *A comparison of piston, screw and scroll expanders for small scale Rankine cycle systems*, Proceedings of the 3rd International Conference on Microgeneration and Related Technologies, (2013).

<http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/147369>

Meyer D., Wong C., Engel F., Krumdieck S. - *Design And Build Of A 1 Kilowatt Organic Rankine Cycle Power Generator*, Proceedings of 35th New Zealand Geothermal Workshop, Rotura, New Zealand, 17-20 November, (2013).

http://www.geothermal-energy.org/pdf/IGAstandard/NZGW/2013/Meyer_Final.pdf

Nusiaputra Y.N., Wiemer H.J., Kuhn D. - *Thermal-Economic Modularization of Small, Organic Rankine Cycle Power Plants for Mid-Enthalpy Geothermal Fields*, Energies 7, 4221-4240, (2014).

<http://www.mdpi.com/1996-1073/7/7/4221>

Orosz M., Mueller A., Quoilin S., Hemond, H.F. - *Small Scale Solar ORC system for distributed power*, Proc. of the Solar Paces Conference, (2009).

<http://orbi.ulg.ac.be/bitstream/2268/24847/1/12156-Orosz.pdf>

Orosz M., Mueller A., Dechesne B.J., Hemond, H.F. - Geometric Design of Scroll Expanders Optimized for Small Organic Rankine Cycles, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 135, (2013).

http://web.mit.edu/hemond/www/docs/geometric_design.pdf

Quoilin S., Lemort V., Lebrun J. - *Experimental study and modeling of an Organic Rankine Cycle using scroll expander*, *Applied Energy* 87, 1260–1268, (2010).

<http://libra.msra.cn/Publication/26457555/experimental-study-and-modeling-of-an-organic-rankine-cycle-using-scroll-expander>

Quoilin S., VanDenBroek M., Declaye S., Dewallef P., Lemort V. - *Techno-economic survey of Organic Rankine Cycle (ORC) systems*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 22, 168–186, (2013).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.028>

Siva Reddy V., Kaushik S.C., Ranjan K.R., Tyagi S.K. - State-of-the-art of solar thermal power plants-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 258–273, (2013).

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113004140>

Zanelli R., Favrat D. - *Experimental Investigation of a Hermetic Scroll Expander-Generator*, *International Compressor Engineering Conference*, Paper 1021, (1994).

<http://docs.lib.purdue.edu/icec/1021>