

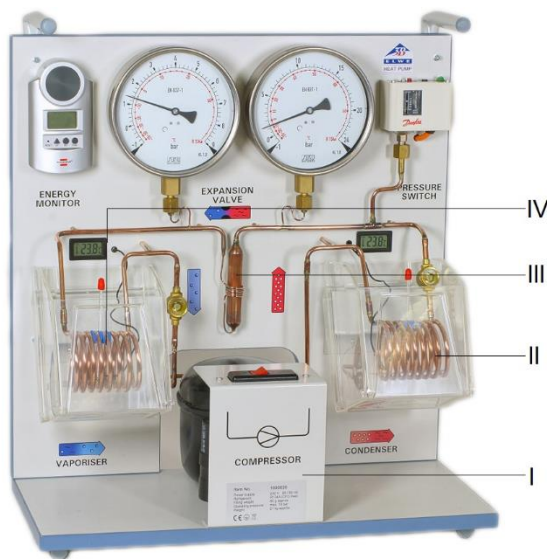
Wärmepumpe D

230 V, 50/60 Hz 1000820

115 V, 50/60 Hz 1000819

Bedienungsanleitung

05/19 JS/ALF/GH



- I Kompressor
- II Verflüssiger
- III Entspannungsventil
- IV Verdampfer

1. Beschreibung

Die Wärmepumpe D dient zur anschaulichen Darstellung der Funktionsweise eines Kältschranks bzw. einer elektrischen Kompressionswärmepumpe. Sie besteht aus einem Kompressor (Verdichter) mit Antriebsmotor, einem Verflüssiger, einem Entspannungsventil und einem Verdampfer und ist als Luft-Wasser- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpe einsetzbar.

Ihre Komponenten sind durch Kupferrohre zu einem geschlossenen System verbunden auf einem Grundbrett aufgebaut und können dank der übersichtlichen Anordnung unmittelbar mit der Abfolge der Zustandsänderungen im Kreisprozess der Wärmepumpe in Verbindung gebracht werden. Verdampfer und Verflüssiger sind als Kupferrohrwendeln ausgebildet und tauchen in je einen Wasserbehälter ein, der als Reservoir zur Bestimmung der aufgenommenen bzw. abgegebenen Wärme dient. Zwei Digitalthermometer er-

möglichen die hierzu notwendige Temperaturmessung in den beiden Wasserbehältern.

Um den Aggregatzustand des Arbeitsmittels beobachten zu können, ist die Wärmepumpe hinter dem Verdampfer und hinter dem Verflüssiger mit einem Schauglas ausgestattet. Zwei große Manometer zeigen den Druck jeweils vor und hinter dem Entspannungsventil an. In den Netzspannungsanschluss integriert ist ein digitaler Energiemesser zur Bestimmung der Betriebsdauer, der Netzspannung, der aktuellen Leistungsaufnahme und der elektrischen Arbeit. Ein Überdruck-Schutzschalter trennt die Wärmepumpe bei einem Überdruck von 15 bar vom Netz.

Die Wärmepumpe D wird in zwei Ausführungen geliefert. Die Wärmepumpe mit der Artikelnummer 1000820 ist für eine Netzspannung von 230 V ($\pm 10\%$), 50 Hz ausgelegt, die Wärmepumpe mit der Artikelnummer 1000819 für 115 V ($\pm 10\%$), 60 Hz.

2. Sicherheitshinweise

Die Wärmepumpe D entspricht den Sicherheitsbestimmungen für elektrische Mess-, Steuer-, Regel- und Laborgeräte nach DIN EN 61010 Teil 1 und ist nach Schutzklasse I aufgebaut. Sie ist für den Betrieb in trockenen Räumen vorgesehen, die für elektrische Betriebsmittel geeignet sind.

Bei bestimmungsgemäßem Gebrauch ist der sichere Betrieb des Gerätes gewährleistet. Die Sicherheit ist jedoch nicht garantiert, wenn das Gerät unsachgemäß bedient oder unachtsam behandelt wird.

Wenn anzunehmen ist, dass ein gefahrloser Betrieb nicht mehr möglich ist (z.B. bei sichtbaren Schäden), ist das Gerät unverzüglich außer Betrieb zu setzen.

In Schulen und Ausbildungseinrichtungen ist der Betrieb des Gerätes durch geschultes Personal verantwortlich zu überwachen.

- Vor Erstinbetriebnahme überprüfen, ob der aufgedruckte Wert für die Netzanschlussspannung den örtlichen Anforderungen entspricht.
- Vor Inbetriebnahme das Gerät und die Netzleitung auf Beschädigungen untersuchen und bei sichtbaren Schäden das Gerät außer Betrieb setzen und gegen unbeabsichtigten Betrieb sichern.
- Gerät nur an Steckdosen mit geerdetem Schutzleiter anschließen.

Überhitzungsgefahr: Der Kompressor der Wärmepumpe wird im Betrieb sehr heiß.

- Freie Luftzirkulation um den Kompressor nicht behindern.
- Kompressor nicht thermisch isolieren.
- Einen Reset des Überdruckschalters frühestens 10 min nach dessen Ansprechen durchführen.

Das Arbeitsmittel in der Wärmepumpe steht auch bei ausgeschaltetem Kompressor unter Überdruck.

- Gerät nur an den Tragegriffen transportieren.
- Kupferleitungen auf keinen Fall verbiegen und beschädigen.

Das Arbeitsmittel darf nicht in flüssiger Phase in den Kompressor gelangen, da dieser überlastet würde. Das Schmiermittel aus dem Kompressor darf nicht in den Kühlkreislauf gelangen.

- Wärmepumpe immer senkrecht aufbewahren, transportieren und betreiben.
- Wärmepumpe vor Inbetriebnahme mindestens 7 h senkrecht stehen lassen, falls sie gekippt wurde.
- Wärmepumpe nur im Originalkarton aufrecht stehend auf der Einwegpalette verschicken.

3. Komponenten

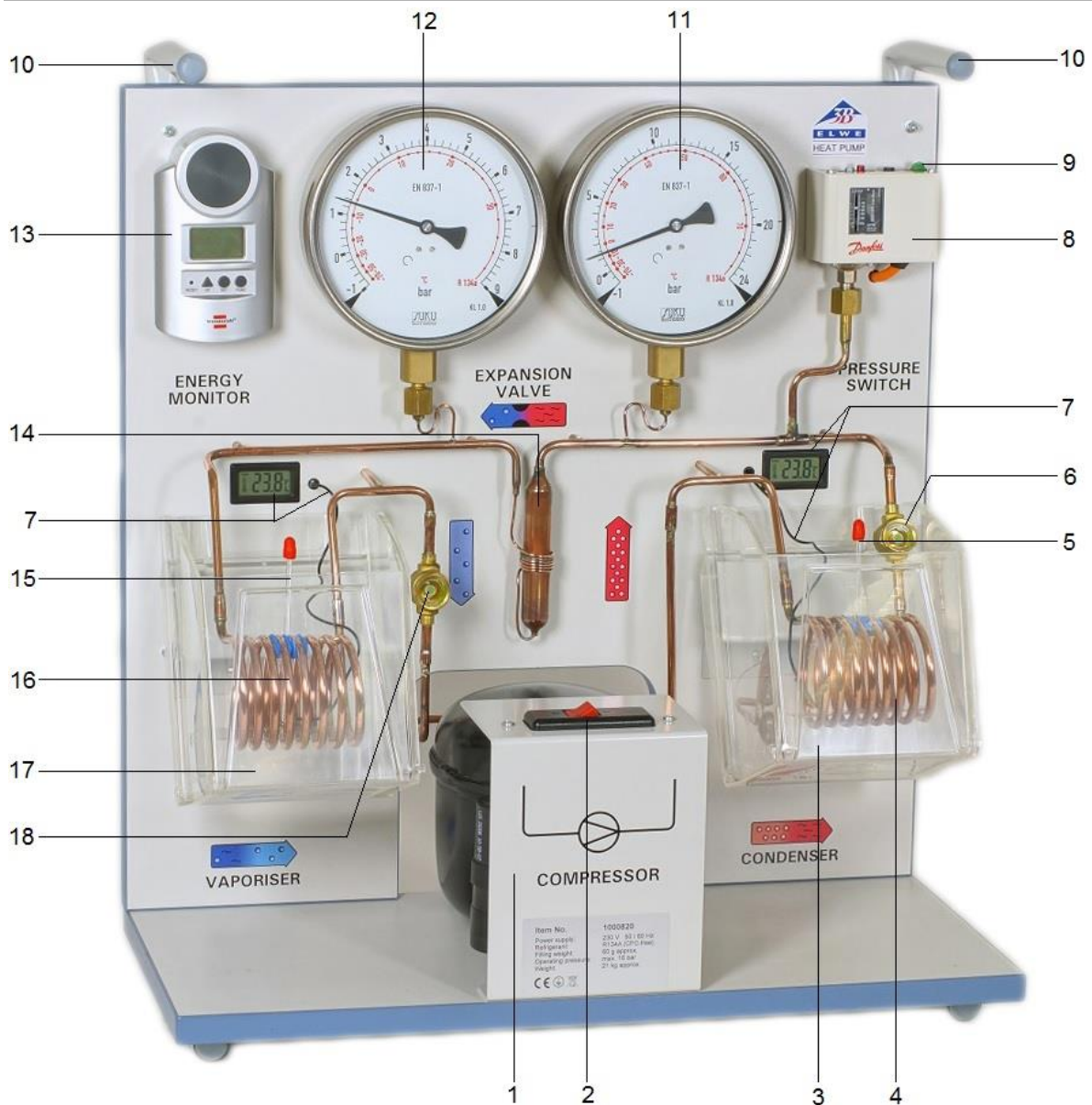


Fig. 1 Komponenten der Wärmepumpe

- | | |
|---|------------------------------------|
| 1 Kompressor | 11 Manometer für Hochdruckseite |
| 2 Schalter für Kompressor | 12 Manometer für Niederdruckseite |
| 3 Wasserbehälter um Verflüssiger | 13 Energiemonitor |
| 4 Verflüssigerwendel | 14 Entspannungsventil |
| 5 Rührer, verflüssigerseitig | 15 Rührer, verdampferseitig |
| 6 Schauglas, verflüssigerseitig | 16 Verdampferwendel |
| 7 Digitalthermometer mit Temperaturfühler | 17 Wasserbehälter um Verdampfer |
| 8 Überdruck-Schutzschalter | 18 Schauglas, verdampferseitig |
| 9 Reset für Schutzschalter | Netzanschlusskabel (auf Rückseite) |
| 10 Tragegriffe | |

4. Zubehör

Zur Temperaturmessung an verschiedenen Stellen der Kupferleitung eignet sich der „Temperatursensor NTC mit Messklemme“ (1021479), da er mit gutem Wärmeübergang direkt an die Kupferleitung angeklemt werden kann. Er wird verwendet in Verbindung mit dem Datalogger „VinciLab“ (1021477).

5. Technische Daten

Kompressorleistung:	120 W, abhängig vom Betriebszustand
Arbeitsmittel:	R 134A (Tetrafluorethan C ₂ H ₂ F ₄)
Siedetemperatur:	-26°C bei 1 bar
Wasserbehälter:	je 2000 ml
Manometer:	160 mm Ø, bis 9 bar (Niederdruckseite, Saugleitung), bis 24 bar (Hochdruckseite, Druckleitung)
Schutzschalter:	schaltet bei 15 bar ab
Thermometer:	
Messtemperatur:	-20°C bis 110°C
Auflösung:	0,1°C
Genauigkeit:	±1°C
Messintervall:	ca. 10 s
Betriebsspannung:	aus zwei Knopfzellen LR44
Netzanschluss:	115 V, 60 Hz bzw. 230 V, 50 Hz
Abmessungen:	750 x 350 x 540 mm ³
Masse:	ca. 21 kg

6. Bedienung

6.1 Wasserbehälter füllen

- Wasserbehälter mit Wasser füllen und mit der niedrigen Kante voran unter die Verdampfer- bzw. Verflüssigerwendel schieben.
- Wasserbehälter drehen, so dass die hohe Kante zur Rückwand zeigt.
- Wasserbehälter anheben, zur Rückwand kippen und in das Halteblech einhängen.

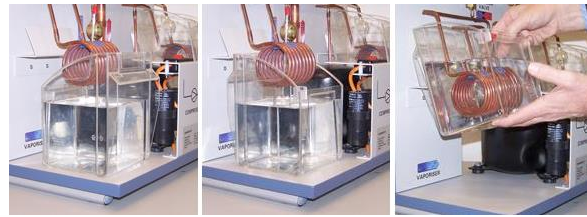


Fig. 3 Anbringen des Wasserbehälters an der Wärmepumpe
Links: Wasserbehälter mit niedriger Kante zur Wärmepumpe
Mitte: Wasserbehälter gedreht, mit niedriger Kante nach vorn zeigend
Rechts: Wasserbehälter wird ins Halteblech eingehängt

6.2 Inbetriebnahme

- Wärmepumpe vor Inbetriebnahme mindestens 7 h senkrecht stehen lassen, falls sie gekippt wurde.
- Zur Inbetriebnahme die beiden Wasserbehälter füllen und die Wärmepumpe ans Netz anschließen.
- Kompressor einschalten.

Hinweis: Der Energiemesser arbeitet auch bei ausgeschaltetem Kompressor.

7. Kreisprozess der Wärmepumpe

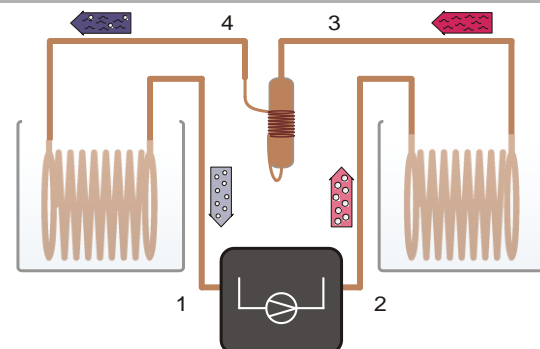


Fig. 4 Schematische Darstellung der Wärmepumpe mit Kompressor (1→2), Verflüssiger (2→3), Expansionsventil (3→4) und Verdampfer (4→1)

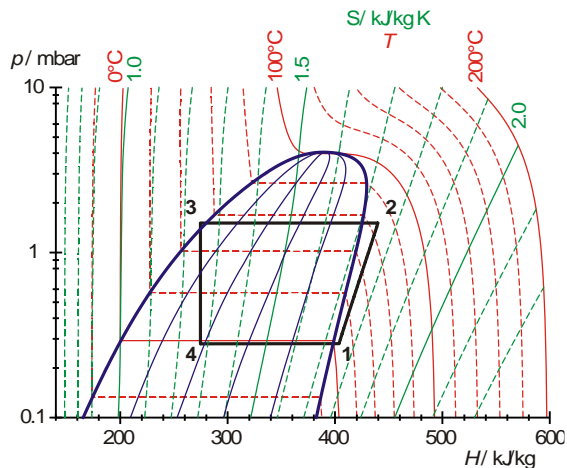


Fig. 5 Darstellung des idealisierten Kreisprozesses der Wärmepumpe im Mollier-Diagramm (siehe Abschnitt 8.2)

Der Kreisprozess der Wärmepumpe wird idealisiert in die vier Schritte Kompression (1→2), Verflüssigung (2→3), gedrosselte Entspannung (3→4) und Verdampfung (4→1) unterteilt:

Kompression:

Das gasförmige Arbeitsmittel wird vom Kompressor angesaugt, ohne Entropieänderung ($s_1 = s_2$) von p_1 auf p_2 komprimiert und dabei überhitzt. Die Temperatur steigt von T_1 auf T_2 . Die mechanische Verdichtungsarbeit pro Masseneinheit ist $\Delta w = h_2 - h_1$.

Verflüssigung:

Im Verflüssiger kühlt das Arbeitsmittel stark ab und kondensiert. Die frei werdende Wärme (Überhitzungswärme und Kondensationswärme) erwärmt das umgebende Reservoir auf die Temperatur T_2 . Sie beträgt pro Masseneinheit $\Delta q_2 = h_2 - h_3$.

Gedrosselte Entspannung:

Das kondensierte Arbeitsmittel gelangt zum Entspannungsventil, um dort gedrosselt (d.h. ohne mechanische Arbeit) auf niedrigeren Druck entspannt zu werden. Dabei nimmt auch die Temperatur ab, da Arbeit gegen die molekularen Anziehungskräfte im Arbeitsmittel verrichtet werden muss (Joule-Thomson-Effekt). Die Enthalpie bleibt konstant ($h_4 = h_3$).

Verdampfung:

Im Verdampfer verdampft das Arbeitsmittel unter Aufnahme von Wärme vollständig. Dies führt zur Abkühlung des umgebenden Reservoirs auf die Temperatur T_1 . Die aufgenommene Wärme pro Masseneinheit ist $\Delta q_1 = h_1 - h_4$.

Das verdampfte Arbeitsmittel wird zur erneuten Kompression wieder vom Kompressor angesaugt.

Hinweis:

Das entspannte Kältemittel verdampft und entzieht dem linken Reservoir Wärme.

Unter idealen Bedingungen führt das Rohrsystem vom Verdampfer über das Schauglas bis zum Verdichter rein gasförmiges Kältemittel.

Mit sinkender Wassertemperatur nimmt die Wärmeaufnahme über die Verdampferwendel ab und infolge dessen können im linken Schauglas Tropfen von Kältemittel sichtbar werden.

Dies hat praktisch keinen Einfluss auf die Funktion der Wärmepumpe, sollte jedoch durch ständiges Umwälzen des Wassers auf ein Minimum reduziert werden.

Für die Bestimmung der Leistungszahl sollte in einem eingeschränkten Temperaturfenster gearbeitet werden:

Starttemperatur ca. 20°C bis 25°C, Abbruchtemperatur im linken Reservoir ca. 10°C bis 12°C.

8. Experimentierbeispiele

8.1 Wirkungsgrad des Kompressors

Der Wirkungsgrad η_{co} des Kompressors ergibt sich aus dem Verhältnis der Wärmemenge ΔQ_2 , die dem Warmwasserreservoir pro Zeiteinheit Δt zugeführt wird, zur Antriebsleistung P des Kompressors. Sie nimmt mit wachsender Temperaturdifferenz zwischen Verflüssiger und Verdampfer ab.

$$\eta_{co} = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T_2}{P \cdot \Delta t}$$

c = spezifische Wärmekapazität von Wasser
 m = Masse des Wassers.

Zur Bestimmung des Wirkungsgrades:

- Wärmepumpe ans Netz anschließen.
- Wasserbehälter mit je 2000 ml Wasser befüllen und in das Halblech einsetzen.
- Kompressor einschalten und ca. 10 min laufen lassen, so dass er seine Betriebstemperatur erreicht.
- Wasser erneuern und Temperaturfühler in die Wasserbehälter geben.
- Während des gesamten Experiments das Wasser in den Behältern immer gut umrühren.
- Anfangstemperaturen in beiden Wasserbehältern messen und notieren.

- Zur Zeitmessung RESET-Taste am Energiemessgerät drücken und beim Loslassen den Kompressor einschalten.
- In festen Zeitabständen die Betriebsdauer, die aktuell aufgenommene Leistung und die Temperaturen in den beiden Wasserbehältern ablesen und notieren.

Hinweis: Nach automatischem Abschalten des Kompressors durch den Überdruck-Schutzschalter die Zeit ablesen und bei erneutem Start, die Zeitmessung fortsetzen.

8.2 Darstellung im Mollier-Diagramm

Der idealisierte Kreisprozess lässt sich im Mollier-Diagramm durch Messung der Drücke $p(3)$ und $p(4)$ vor und hinter dem Entspannungsventil und der Temperatur $T(1)$ vor dem Kompressor bestimmen:

$T(1)$ und $p(4)$ legen Punkt 1 im Mollier-Diagramm fest (siehe Fig. 5). Der Schnittpunkt der zugehörigen Isentropen mit der Horizontalen $p(3) = \text{const.}$ ergibt Punkt 2. Der Schnittpunkt der Horizontalen mit der Siedelinie führt zu Punkt 3 und das Lot auf die Horizontale $p(4) = \text{const.}$ zu Punkt 4.

Die zusätzliche Messung der Temperaturen $T(2)$, $T(3)$, und $T(4)$ gibt einen erweiterten Einblick in die in der Wärmepumpe ablaufenden Prozesse:

So stimmt die extern gemessene Temperatur $T(4)$ innerhalb der Messgenauigkeit mit der Temperatur überein, die der Temperaturskala des zugehörigen Manometers abgelesen wird. Diese Temperaturskala beruht auf der Dampfdruckkurve des Arbeitsmittels. Also zeigt die Messung, dass das Arbeitsmittel hinter dem Entspannungsventil ein Gemisch aus Flüssigkeit und Gas ist.

Die extern gemessene Temperatur $T(3)$ weicht dagegen von der auf dem Manometer der Hochdruckseite abgelesenen Temperatur ab. Das Arbeitsmittel enthält hier keine Gasanteile sondern ist vollständig flüssig.

Zur externen Temperaturmessung zu empfehlen ist (siehe 4. Zubehör):

Temperatursensor NTC mit Messklemme	1021797
VinciLab	1021477
Coach 7 Lizenz	

8.3 Theoretische Leistungszahl

Die theoretische Leistungszahl des idealisierten Kreisprozesses lässt sich aus den im Mollier-Diagramm abgelesenen spezifischen Enthalpien h_1 , h_2 und h_3 berechnen:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

8.4 Massestrom des Arbeitsmittels

Sind die Enthalpien h_2 und h_3 des idealisierten Kreisprozesses sowie die dem Warmwasserreservoir pro Zeitintervall Δt zugeführte Wärmemenge ΔQ_2 bestimmt, so lässt sich der Massestrom des Arbeitsmittels abschätzen.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

9. Energiemesser



Fig. 6 Energiemesser

Taste	Funktion
Rückstelltaste RESET	Mit spitzem Gegenstand zur Löschung aller Daten im Speicher drücken, einschließlich Uhrzeit und Programmierungen
Aufwärtstaste UP	Uhrzeit, Preis und Preisprogramme zusammen mit Einstelltaste SET einstellen
Einstelltaste SET	Uhrzeit, Preis und Preisprogramme zusammen mit Aufwärtstaste UP einstellen
Funktionstaste FUNC	Anzeigemodus umschalten

Einstellung der Uhrzeit:

- Taste FUNC drücken bis CLOCK unten rechts im Display angezeigt wird.

- Taste SET solange drücken bis die Stunden blinken. Stunden mit der Taste UP einstellen und mit SET bestätigen. Dann im gleichen Verfahren die Minuten einstellen.

Messfunktionen anzeigen:

- Taste FUNC jeweils kurz drücken um folgende Informationen anzeigen zu lassen: Stromaufnahme, Wattzahl, Verbrauch.

10. Mollier-Diagramm

Zur Darstellung des Kreisprozesses einer Kompressions-Wärmepumpe verwendet man häufig das Mollier-Diagramm des Arbeitsmittels. Darin ist der Druck p gegen die spezifische Enthalpie h des Arbeitsmittels aufgetragen (die Enthalpie ist ein Maß für den Wärmehalt des Arbeitsmittels, sie wird im Allgemeinen mit wachsendem Druck und mit zunehmendem Gasanteil größer).

Außerdem werden die Isothermen ($T = \text{const.}$) und Isentropen ($S = \text{const.}$) sowie der relative Masseanteil der flüssigen Phase des Arbeitsmittels angegeben. Links von der sogenannten Siedelinie ist das Arbeitsmittel vollständig kondensiert. Rechts von der sogenannten Taulinie liegt das Arbeitsmittel als überhitzter Dampf und innerhalb beider Linien als Flüssigkeits-Gas-Gemisch vor. Die beiden Linien berühren sich im kritischen Punkt.

Siehe Fig.7 auf Seite 8.

11. Batteriewechsel

- Abdeckung auf der Rückseite des Thermometers öffnen und die leeren Batterien entnehmen.
- Batterien ersetzen. Dabei auf die richtige Polarität achten.
- Abdeckung wieder schließen.
- Vor längeren Pausen Batterien entnehmen.
- Leere Batterien nicht im Hausmüll entsorgen. Geltende gesetzlichen Vorschriften einhalten (D: BattG; EU: 2006/66/EG).

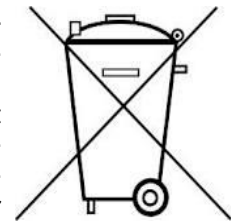
12. Aufbewahrung, Pflege und Wartung

Die Wärmepumpe ist wartungsfrei.

- Wärmepumpe an einem sauberen, trockenen und staubfreien Platz aufbewahren.
- Vor der Reinigung Wärmepumpe von der Stromversorgung trennen.
- Zum Reinigen ein weiches, feuchtes Tuch benutzen.

13. Entsorgung

- Für eventuelle Reparaturen, Rücksendung etc. muss die Wärmepumpe im Originalkarton aufrecht stehend auf der Einwegpalette verschickt werden. Deshalb Originalkarton und Einwegpalette nicht entsorgen.
- Sofern die Wärmepumpe selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Es sind die lokalen Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einzuhalten.
- Leere Batterien nicht im Hausmüll entsorgen. Geltende gesetzlichen Vorschriften einhalten (D: BattG; EU: 2006/66/EG).



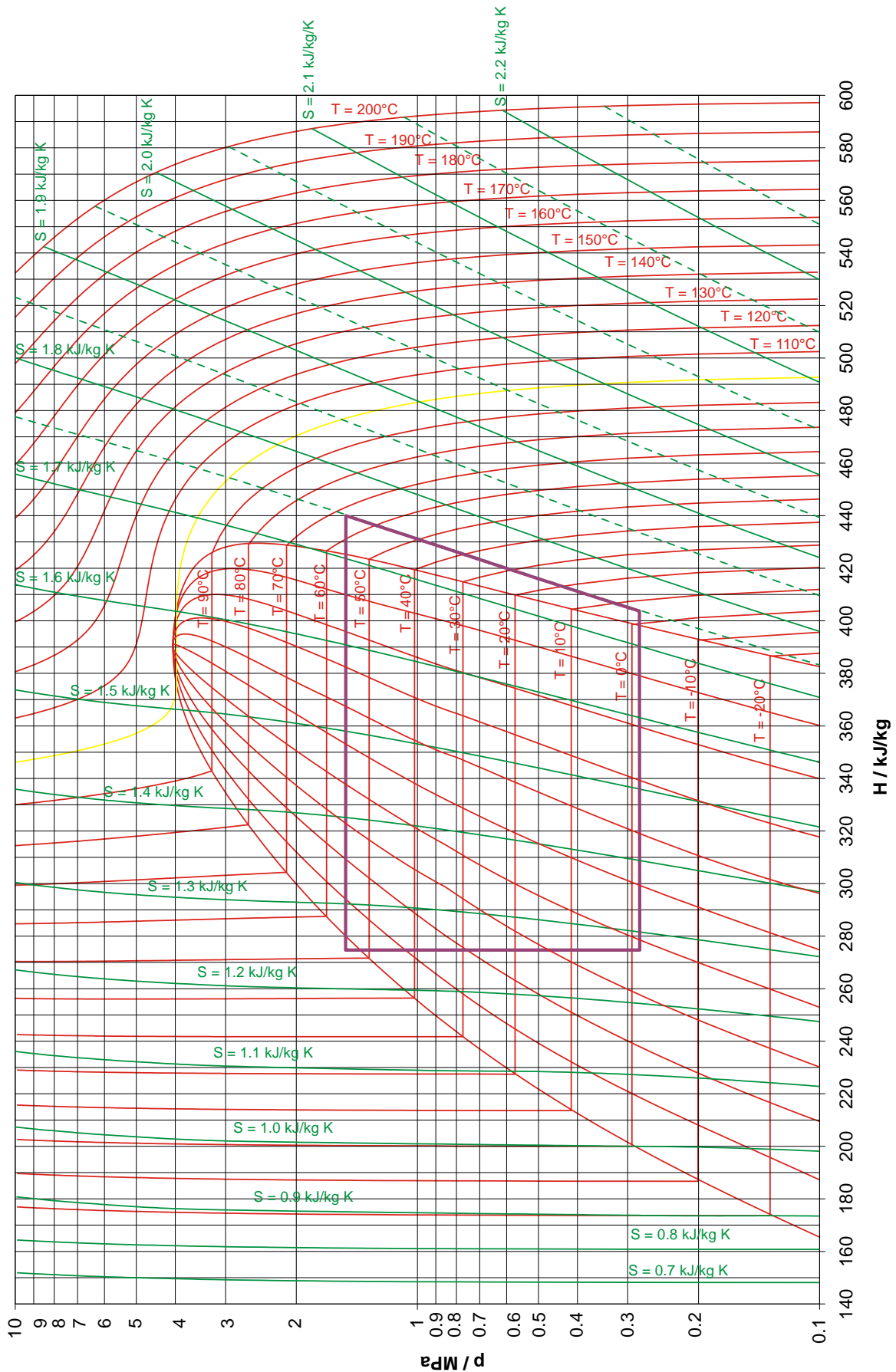


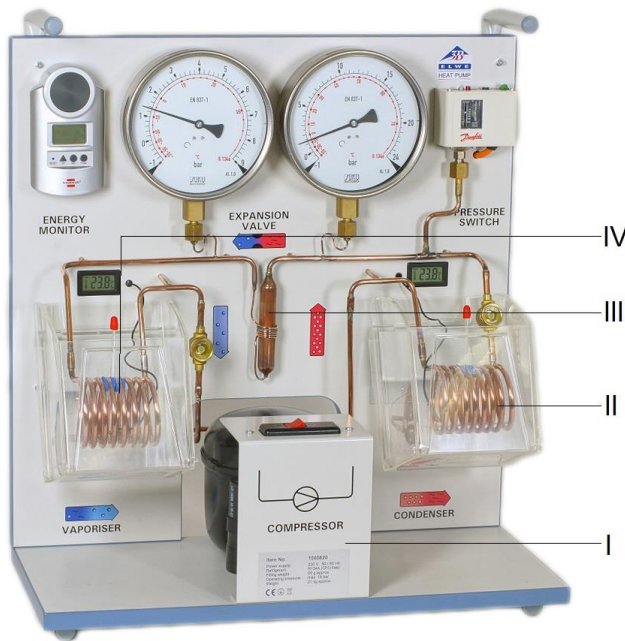
Fig. 7 Mollier-Diagramm

Heat Pump D

230 V, 50/60 Hz 1000820
115 V, 50/60 Hz 1000819

Instruction sheet

05/19 JS/ALF/GH



- I Compressor
- II Condenser
- III Expansion valve
- IV Evaporator

1. Description

The Heat Pump D is a demonstration model for showing how refrigerators and electrical compression heat pumps work. It consists of a compressor with a drive motor, a condenser, an expansion valve and an evaporator and can be operated as a water-air or water-water heat pump.

The components are connected in a closed system by copper pipes and mounted on a base board, and the clear layout makes it possible to directly relate the sequence of changes of state to the cyclic operation of the heat pump. Evaporator and condenser are constructed as copper tubing spirals and each of them is submerged in water filled containers serving as heat reservoirs for determining the heat absorbed or emitted. Two digital thermometers allow the necessary temperature measurements to be made in both water reservoirs.

Two observation windows are provided for observing the state of aggregation of the refrigerant after the evaporator and after the condenser. Two large manometers indicate the pressure before and after the safety valve. The mains connector incorporates a digital energy meter for determining the period of operation, the mains voltage, the current power consumption and the amount of electrical work done. A protective overpressure switch disconnects the compressor motor from the circuit when overpressure reaches 15 bars.

The heat pump D is available for two different mains voltages. 1000820 is designed for 230 V ($\pm 10\%$), 50 Hz mains supplies, while the 1000819 model is for 115 V ($\pm 10\%$), 60 Hz supplies.

2. Safety instructions

The Heat Pump D conforms to all safety regulations for electrical measuring, control, monitoring and laboratory equipment, as specified under DIN EN 61010, Section 1, and the equipment has been designed to meet protection class I. It is intended for operation in a dry environment, suitable for the operation of electrical equipment and systems.

Safe operation of the equipment is guaranteed, provided it is used correctly. However, there is no guarantee of safety if the equipment is used in an improper or careless manner.

If it may be assumed for any reason that non-hazardous operation will not be possible (e.g. visible damage), the equipment should be switched off immediately and secured against any unintended use.

In schools and other educational institutions, the operation of the power supply unit must be supervised by qualified personnel.

- Before using the heat pump for the first time, confirm that the specifications printed on the label are compatible with the local mains voltage.
- Before using the heat pump, check the device and the mains lead for any damage. In the event of any visible damage, switch off the unit immediately and secure it against unintended use.
- The device may only be connected to the mains via a socket that has an earth connection.

Risk of overheating: the heat pump's compressor can get very hot during operation.

- Do not hinder the free circulation of air around the compressor.
- Do not thermally insulate the compressor.
- After shut-down by the overpressure cut-out switch wait for 10 minutes to press the green reset button.

The fluid upon which the heat pump acts (the refrigerant) remains under pressure even if the compressor is switched off.

- Carry the heat pump only at the carrying handles.
- Do not, under any circumstances, bend or damage the copper piping.

The refrigerant in its liquid phase must not get into the compressor. This would overload the compressor. It is imperative that no lubricant from the compressor enter into the cooling circuit.

- Always keep the heat pump in an upright position during storage, transport and operation.
- Make sure you let the equipment stand upright for at least 7 h before initial use if it was tipped over.
- Post heat pump in original box only standing upright on its one-way pallet.

3. Components

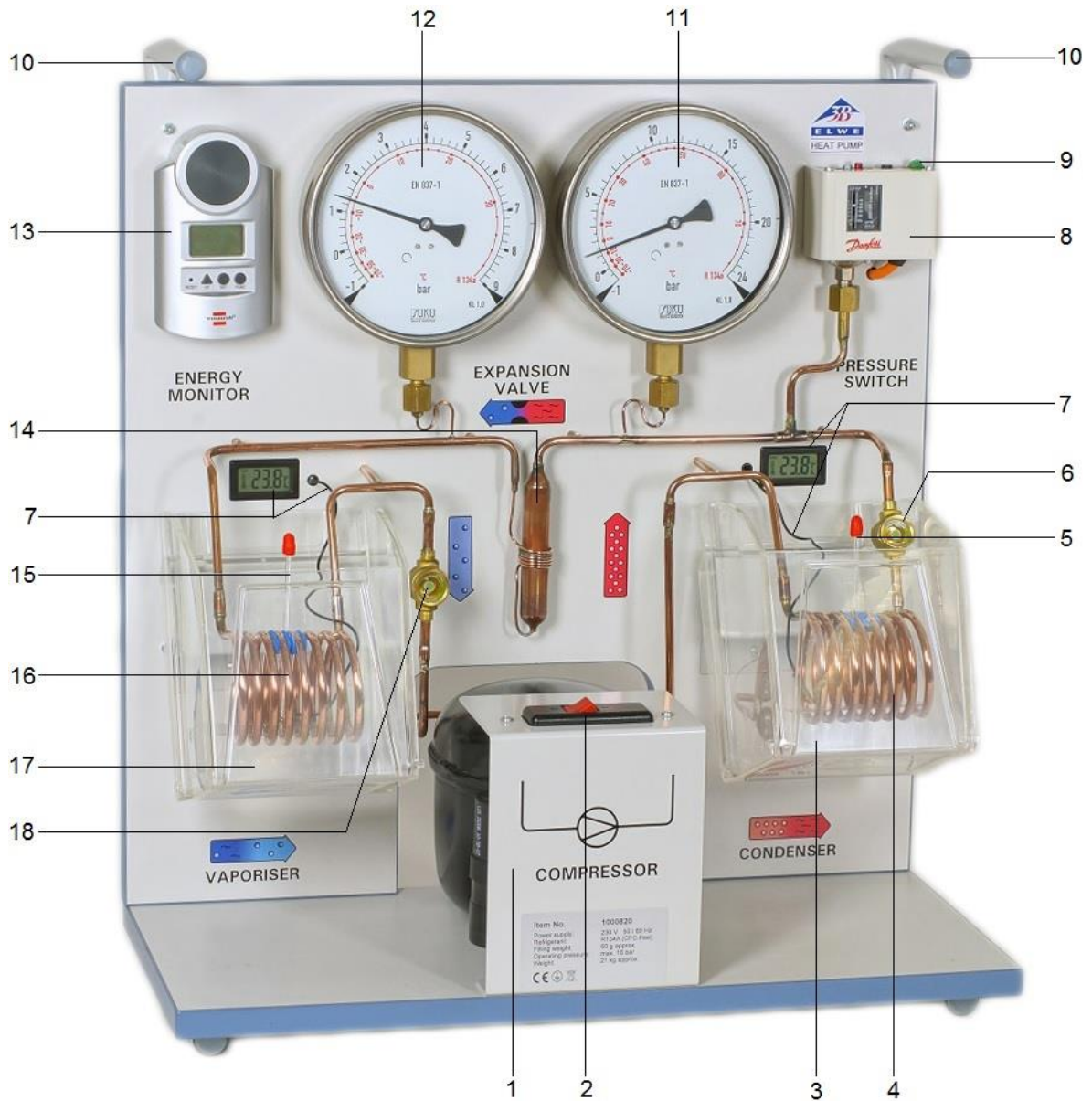


Fig. 1 Components of the heat pump

- | | |
|---|---|
| 1 Compressor | 11 Manometer for the high-pressure side |
| 2 On/off switch for compressor | 12 Manometer for the low-pressure side |
| 3 Water reservoir around condenser | 13 Energy monitor |
| 4 Condenser coil | 14 Expansion valve |
| 5 Stirrer for condenser | 15 Stirrer for evaporator |
| 6 Viewing window in condenser | 16 Evaporator coil |
| 7 Digital thermometer with temperature sensor | 17 Water reservoir around evaporator |
| 8 Overpressure cut-out switch | 18 Viewing window in evaporator |
| 9 Reset switch | Mains connection (on the backside) |
| 10 Carrying handles | |

4. Accessories

A temperature NTC sensor with measurement terminal (1021797) is ideal for measuring the temperature at various places along the copper piping, since it can be clamped directly to the copper and provides good thermal conduction between the pipe and the sensor. It can be used in conjunction with the “VinciLab” datalogger (1021477).

5. Technical data

Compressor power:	120 W, dependent on operating state
Refrigerant:	R 134A (tetrafluoroethane $C_2H_2F_4$)
Boiling point:	-26°C at 1 bar
Water reservoirs:	2000 ml each
Manometer:	160 mm diam., up to 9 bars (low-pressure side, suction intake), up to 24 bars (high-pressure side, pressure pipe)
Excess pressure cut-off:	disconnects compressor from the mains at 15 bars
Thermometer:	
Measurable temperatures:	-20°C to 110°C
Resolution:	0.1°C
Accuracy:	±1°C
Measurement intervals:	10 s approx.
Powered by two LR44 button batteries	
Power supply:	115 V, 60 Hz or 230 V, 50 Hz
Dimensions:	750 x 350 x 540 mm ³
Weight:	approx. 21 kg

6. Operation

6.1 Filling the water containers

- Fill up the water containers with water and move them with the low edge first under the evaporator and the condenser.
- Turn the beakers in such a way that the high edge points to the back wall.
- Lift up the beakers and mount them into the retaining plates.

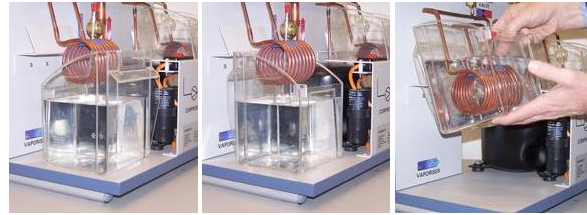


Fig. 3 Connection of the water reservoirs to the heat pump
Left: reservoir with its lower edge facing the pump
Centre: reservoir turned with its lower edge facing the front
Right: reservoir suspended in holding plate

6.2 Configuration

- Allow the heat pump to stand upright for at least 7 h before using it if it was tipped over.
- To start the pump, fill the two water reservoirs and connect the pump to the mains.
- Turn on the compressor.

Note: the energy meter works even when the compressor is switched off.

7. Heat pump cycle

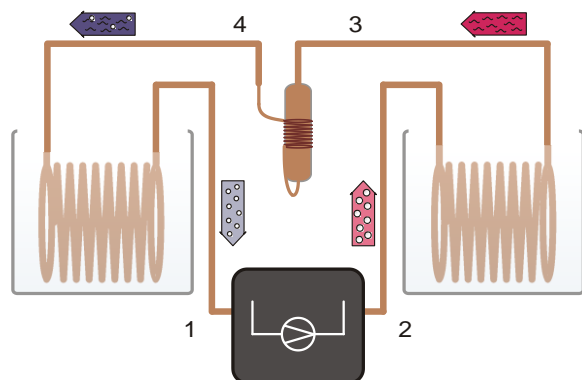


Fig. 4 Schematic diagram of the heat pump with compressor (1→2), condenser (2→3), expansion valve (3→4) and evaporator (4→1)

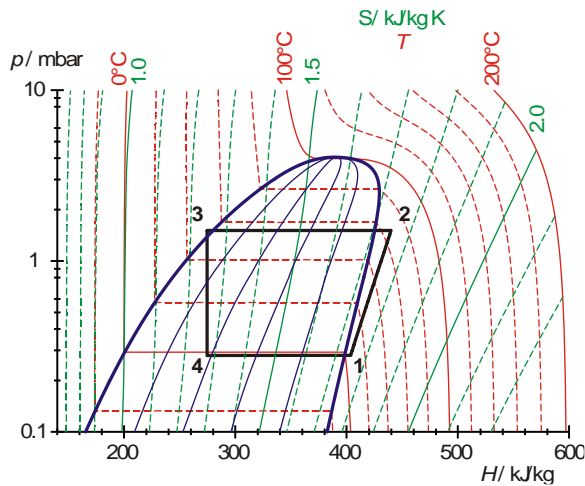


Fig. 5 Mollier diagram of ideal heat cycle (see section 8.2)

The idealised version of the heat pump cycle involves four steps: compression (1→2), liquefaction (2→3), controlled expansion (3→4) and vapourisation (4→1):

Compression:

The gaseous refrigerant is sucked in by the compressor without changing the entropy ($s_1 = s_2$). It is then compressed from pressure p_1 to p_2 which causes excess heat to be generated. The temperature rises from T_1 to T_2 . The mechanical work done per unit mass is $\Delta w = h_2 - h_1$.

Liquefaction:

The fluid cools sharply inside the condenser causing it to liquefy. The heat emitted by this process (latent heat) heats up the surrounding reservoir to temperature T_2 . The change in heat per unit mass is $\Delta q_2 = h_2 - h_3$.

Controlled expansion:

The condensed refrigerant reaches the expansion valve where it is allowed to expand to a lower pressure without any mechanical work being done. This results in a drop in temperature since work needs to be done against the force of attraction between refrigerant molecules (Joule-Thomson effect). Enthalpy remains constant ($h_4 = h_3$).

Vaporisation:

In the evaporator, the refrigerant absorbs heat and vaporises completely. This causes the surrounding reservoir to cool to a temperature T_1 . The heat absorbed per unit mass is $\Delta q_1 = h_1 - h_4$.

The vaporised refrigerant is sucked back in again by the compressor to start the compression process anew.

Note:

The expanded refrigerant evaporates and withdraws heat from the left reservoir.

Under ideal conditions, the pipe system carries pure gaseous refrigerant from the evaporator via the sight glass to the compressor.

As the water temperature decreases, the heat absorption via the evaporator coil decreases. Therefore as a result drops of refrigerant can become visible in the left sight glass.

This has practically no influence on the function of the heat pump, but should be reduced to a minimum by constantly stirring the water.

For the determination of the coefficient of performance, a limited temperature window should be used:

Start temperature approx. 20°C to 25°C, termination temperature in the left reservoir approx. 10°C to 12°C.

8. Example experiments

8.1 Efficiency of the compressor

The efficiency of the compressor η_{co} is given by the ratio of the change in energy ΔQ_2 provided to the warm water reservoir per unit time Δt , to the power P supplied to the compressor to perform its work. It decreases as the temperature difference between the condenser and the evaporator increases.

$$\eta_{co} = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T_2}{P \cdot \Delta t}$$

c = specific heat capacity of water and
 m = mass of water.

Determining the efficiency:

- Connect the heat pump to the mains supply.
- Fill up the water containers with 2000 ml water and mount them into the retaining plates.
- Allow the compressor to run for about 10 minutes before starting the experiment until it reaches its operating temperature.
- Then fill up the water containers again and insert the two temperature sensors into the water containers.
- Stir the water in the containers thoroughly throughout the experiment.
- Determine and note the initial temperature in both water containers.
- In order to measure time, press the RESET-button on the energy meter and turn the compressor as you release it.
- Read off the power consumed so far and the temperatures in the two water reservoirs at regular intervals and make a note of them.

Note: After the compressor has automatically been switched off by the excess pressure safety switch, read off the time and then add it to the time measured when you have restarted.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

8.2 Mollier diagram

An ideal cycle can be represented by a Mollier diagram by measuring pressures $p(3)$ and $p(4)$ before and after the expansion valve and the temperature $T(1)$ before the compressor:

$T(1)$ and $p(4)$ determine point 1 of the Mollier diagram (see Fig. 5). The intersection of the corresponding isentropes with the horizontal line $p(3) = \text{constant}$ defines point 2. The intersection of the horizontal with the line representing the boiling point gives point 3, then a perpendicular down to the horizontal $p(4) = \text{const.}$ provides point 4.

Additionally, measuring temperatures $T(2)$, $T(3)$ and $T(4)$ provides an extra insight into the processes taking place inside the heat pump:

The temperature $T(4)$ measured externally is in agreement with the overall temperature read from the temperature scales of the corresponding manometer to within the precision of the equipment. This temperature scale is based on the curve representing work done by the refrigerant. The measurement therefore shows that the refrigerant beyond the expansion valve is in a mixture of liquid and gaseous states.

The externally measured temperature $T(3)$, however, differs from the temperature read from the manometer on the high-pressure side. The refrigerant at this point contains no gas content. It is entirely liquid.

The following equipment is recommended for taking external measurements (see section 4. accessories):

Temperature sensor NTC with measurement terminal	1021797
VinciLab	1021477
Coach 7 License	

8.3 Theoretical efficiency

The theoretical efficiency of the ideal cycle can be calculated from specific enthalpies h_1 , h_2 and h_3 , which can be read directly from the Mollier diagram:

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

8.4 Mass flow rate of refrigerant

Once the enthalpies h_2 and h_3 for the ideal cycle are known as well as the amount of heat ΔQ_2 supplied to the water reservoir in a time interval Δt , then it is possible to estimate the mass flow rate of the refrigerant.

9. Energy monitor



Fig. 6 Energy monitor

Key	Function
Reset button RESET	Press with pointed object to clear all data in memory including current time and all programs
UP button	Set current time, price, price programs in combination with SET button
SET button	Set current time, price, price programs in combination with UP button
FUNC button	Toggle display mode

Setting the time:

- Press the FUNC button until CLOCK appears at the bottom right of the display.
- Hold down the SET button until the hours flash. Set the hours using the UP button and confirm this by pressing SET. Proceed in the same way to set the minutes

Display measuring functions:

- Briefly press the FUNC button to display the following information in turn: current consumption, watts, consumption.

10. Mollier diagram

Mollier diagrams for a refrigerant are often used to demonstrate the operating cycle for a compression heat pump. They plot the pressure p against the specific enthalpy h for the refrigerant (enthalpy is a measure of heat content in the refrigerant and always increases with increasing pressure and gas content).

In addition the isotherms ($T = \text{const.}$) and isentropes ($S = \text{const.}$) are given as well as the relative mass content of the liquid phase. Left of the so-called boiling line, the refrigerant is fully liquefied. To the right of the so-called saturated vapour line, the refrigerant will exist as overheated vapour. Between the lines the refrigerant will be in a mixture of liquid and gas states. Both lines intersect at the critical point.

See Fig.7 on page 8.

11. Changing the battery

- Remove the cover at the rear of the thermometer and take out the flat batteries.
- Insert new batteries, making sure that their polarity is correct.
- Close the cover again afterwards.
- During prolonged periods of disuse, remove the batteries.
- Do not dispose of the batteries in the regular household garbage. Follow the applicable legal regulations (UK: Waste Batteries and Accumulators Regulations, EU: 2006/66/EC).

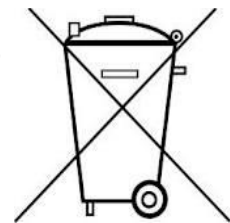
12. Storage, care and maintenance

The heat pump is maintenance-free.

- Keep the heat pump in a clean, dry and dust-free place.
- Before cleaning the equipment, disconnect it from its power supply.
- Use a soft, damp cloth to clean it.

13. Disposal

- For any necessary repairs, returns etc., the heat pump needs to be packaged in its original box standing upright on its one-way pallet. For this reason you should not dispose of the original box or pallet.
- Should you need to dispose of the heat pump itself, never throw it away in normal domestic waste. Local regulations for the disposal of electrical equipment will apply.
- Do not dispose of the batteries in the regular household garbage. Follow the applicable legal regulations (UK: Waste Batteries and Accumulators Regulations, EU: 2006/66/EC).



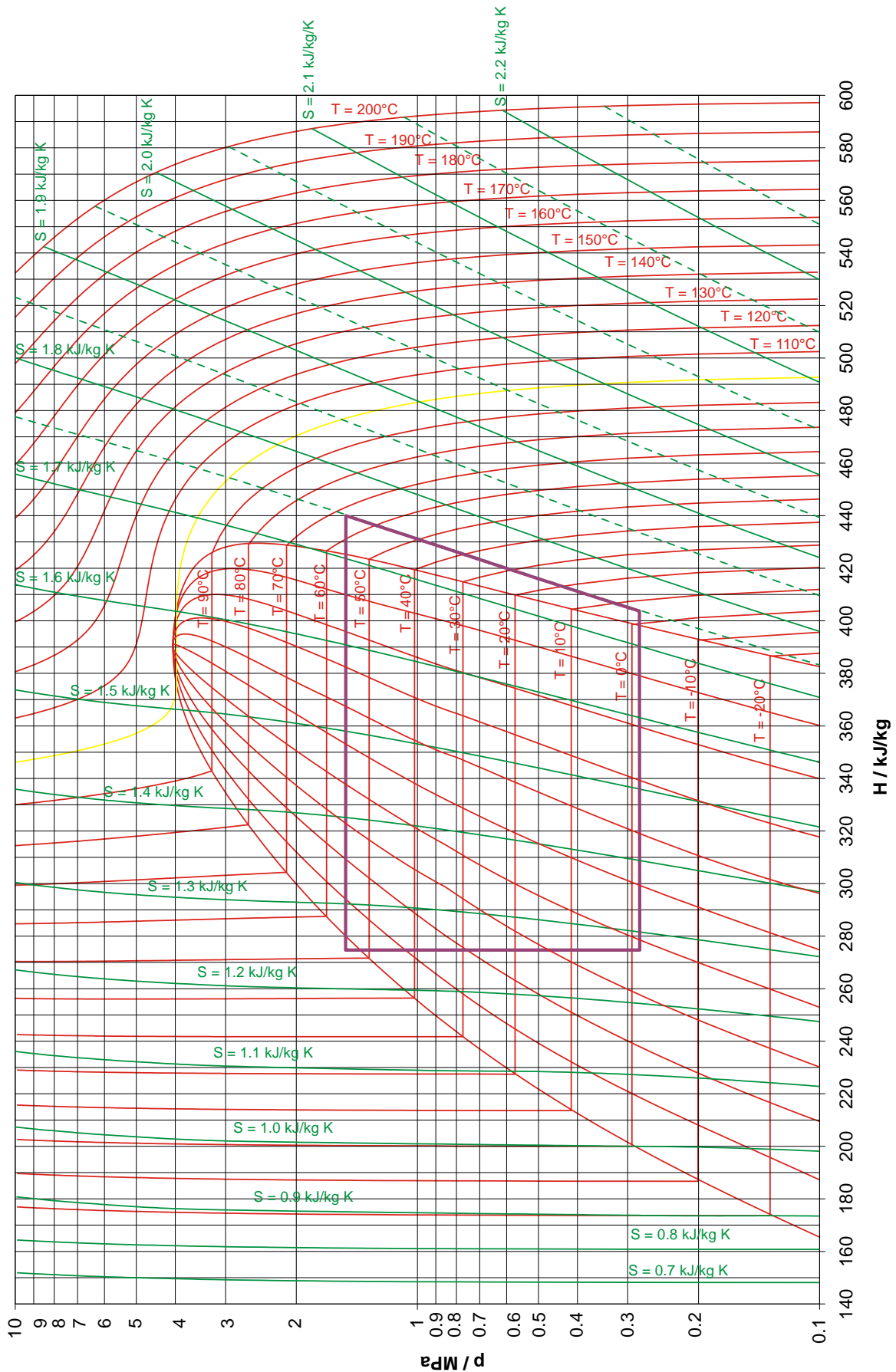


Fig. 7 Mollier diagram

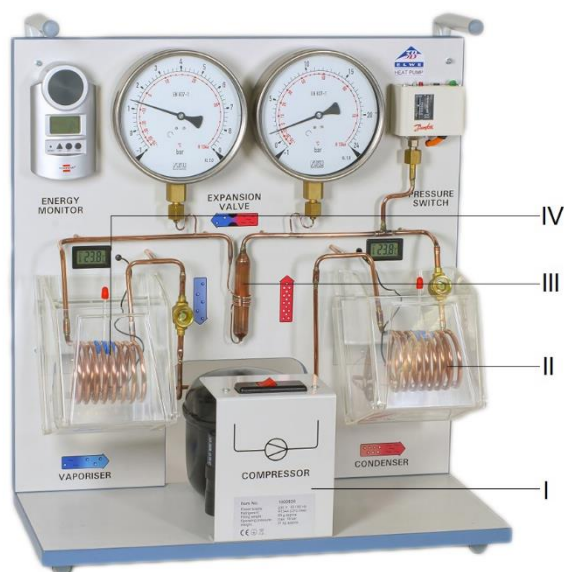
Pompe à chaleur D

230 V, 50/60 Hz 1000820

115 V, 50/60 Hz 1000819

Instructions d'utilisation

05/19 JS/ALF/GH



- I Compresseur
- II Condenseur
- III Soupape d'expansion
- IV Évaporateur

1. Description

La pompe à chaleur D sert à illustrer le fonctionnement d'un réfrigérateur ou d'une pompe à chaleur de compression électrique. Elle est constituée d'un compresseur avec un moteur d'entraînement, d'un condenseur, d'une soupape d'expansion et d'un évaporateur, et peut être utilisée comme pompe à chaleur air-eau ou eau-eau.

Ses composants sont reliés par un système fermé de tubes en cuivre, montés sur une plaque de base et peuvent, grâce à leur agencement transparent, être directement mis en rapport avec la succession de changements d'état dans le cycle de la pompe thermique. Constitués de serpentins en cuivre, l'évaporateur et le condenseur sont plongés dans un réservoir d'eau faisant office de réservoir thermique pour déterminer la chaleur absorbée ou dégagée. Deux thermomètres numériques, permettent de déterminer la température respective des deux réservoirs.

Afin de pouvoir observer l'état d'agrégation du fluide frigorigène, la pompe à chaleur est équipée de deux regards, un derrière l'évaporateur et un derrière le condenseur. Deux grands manomètres indiquent la pression avant et après la soupape d'expansion. L'alimentation comprend un dynamomètre permettant de déterminer la durée de service, la tension du secteur, la puissance actuellement absorbée et le travail électrique. Un disjoncteur de surpression coupe le moteur à compresseur du secteur en cas de surpression de 15 bars.

La pompe à chaleur D existe en deux modèles. La pompe à chaleur 1000819 est prévue pour une tension secteur de 115 V ($\pm 10\%$) 60 Hz et la pompe à chaleur 1000820 pour une tension secteur de 230 V ($\pm 10\%$) 50 Hz.

2. Consignes de sécurité

La pompe à chaleur D est conforme aux directives de sécurité relatives aux appareils électriques de mesure, de commande et de régulation ainsi qu'aux appareils de laboratoire conformément à la norme DIN EN 61010 Partie 1 et répond à la classe de protection I. Elle est conçue pour une utilisation dans des endroits secs adaptés aux matériels électriques.

Une utilisation conforme à la destination garantit un emploi de l'appareil en toute sécurité. La sécurité n'est cependant pas garantie si l'appareil fait l'objet d'un maniement inapproprié ou s'il est manipulé avec imprudence.

S'il s'avère que son utilisation ne peut plus se faire sans danger (par ex. dans le cas d'un endommagement visible), l'appareil doit être immédiatement mis hors service.

L'utilisation de l'appareil dans les écoles et centres de formation doit être contrôlée par du personnel qualifié, sous la responsabilité de ce dernier.

- Avant une première mise en service, vérifier si la tension secteur indiquée est conforme aux exigences locales.
- Avant toute mise en service, vérifier que la pompe à chaleur et le câble du secteur sont bien exempts de tout endommagement et mettre l'appareil hors service en le protégeant contre une marche involontaire en cas de pannes de fonctionnement ou de dommages visibles.
- Ne branchez la pompe à chaleur qu'à des prises de courant avec mise à la terre du neutre.

Risque de surchauffe : En service, le compresseur de la pompe à chaleur peut être très chaud.

- Ne pas gêner la libre circulation de l'air autour du compresseur.
- Ne pas isoler thermiquement le compresseur.
- Ne lancer une réinitialisation du disjoncteur de surpression qu'au moins 10 minutes après son démarrage.

Le fluide frigorigène à l'intérieur des pompes à chaleur reste en surpression, même lorsque le compresseur est arrêté.

- Toujours utiliser les poignées pour transporter l'appareil.
- Ne jamais tordre et détériorer les tubes en cuivre.

Le fluide frigorigène ne doit pas atteindre le compresseur en phase liquide car cela risquerait de le surcharger.

Le lubrifiant issu du compresseur ne doit pas pénétrer dans le circuit de refroidissement.

- Toujours ranger, transporter et utiliser la pompe à chaleur en position verticale.
- Si l'appareil a été basculé, le laisser reposer au moins 7 heures avant de l'utiliser.
- N'envoyer la pompe à chaleur que dans le carton d'origine en position debout sur la palette jetable.

3. Composants

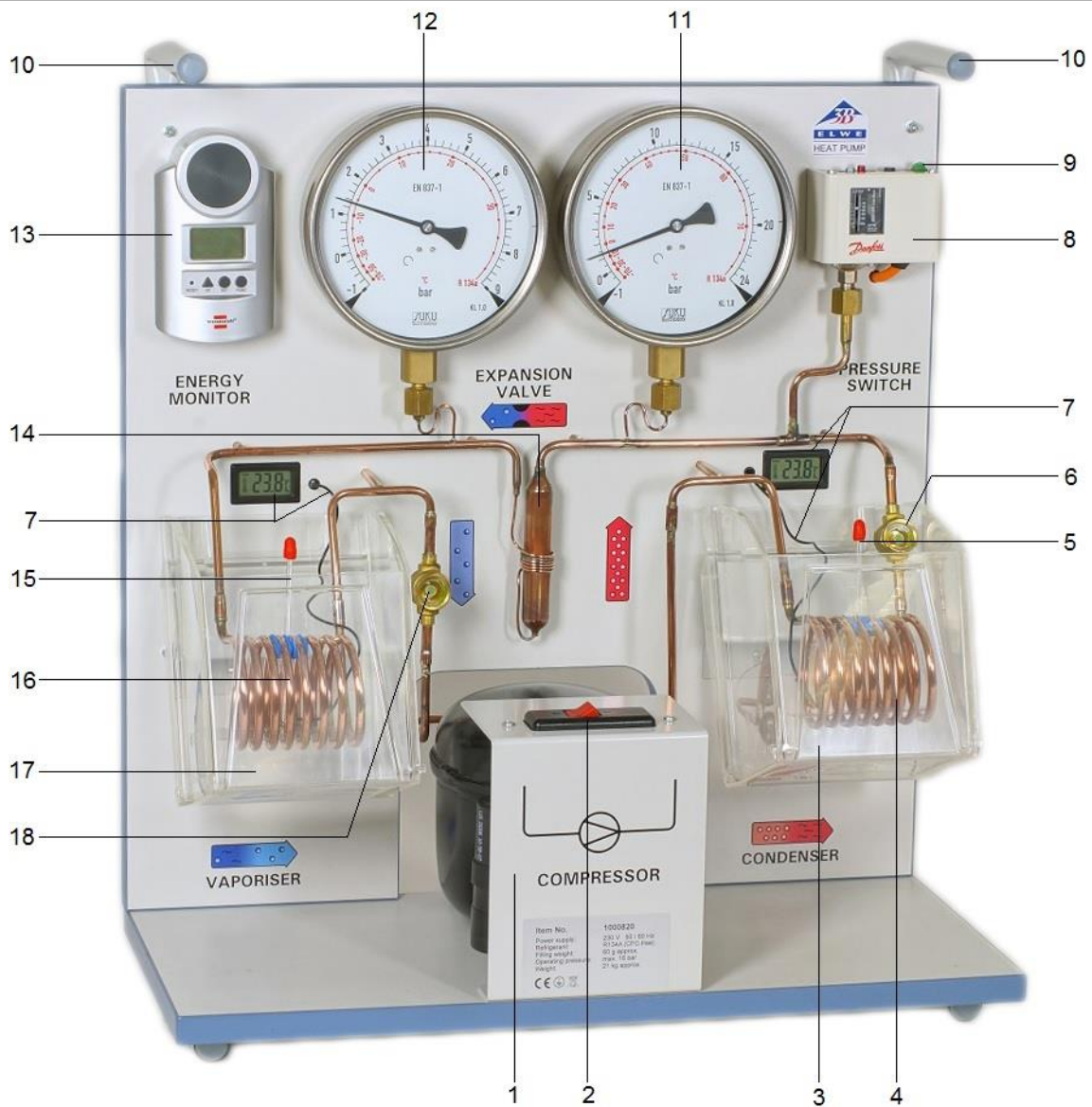


Fig. 1 Composants de la pompe à chaleur

- | | |
|---|--|
| 1 Compresseur | 11 Manomètre côté haute pression |
| 2 Interrupteur du compresseur | 12 Manomètre côté basse pression |
| 3 Réservoir d'eau autour du condenseur | 13 Contrôleur d'énergie |
| 4 Serpentin du condenseur | 14 Soupape d'expansion |
| 5 Agitateur, côté condenseur | 15 Agitateur, côté évaporateur |
| 6 Regard, côté condenseur | 16 Filament spiralé de l'évaporateur |
| 7 Thermomètre numérique avec capteur de température | 17 Réservoir d'eau autour de l'évaporateur |
| 8 Disjoncteur de surpression | 18 Regard, côté évaporateur |
| 9 Bouton de réenclenchement du disjoncteur | Câble d'alimentation (à l'arrière) |
| 10 Poignées de transport | |

4. Accessoires

La "sonde de température NTC avec pince de mesure" (1021797) permet de réaliser des mesures à différents emplacements des tubes en cuivre, car elle peut être directement fixée sur les tubes en cuivre avec un bon transfert de chaleur. Elles s'utilisent avec l'interface « VinciLab (1021477) » de saisie et d'évaluation de données.

5. Caractéristiques techniques

Puissance du compresseur :	120 W, en fonction du régime
Frigorigène :	R 134A (Tétrafluoroéthane $C_2H_2F_4$)
Température d'ébullition :	-26°C à 1 bar
Réservoirs thermiques :	de 2 000 ml chacun
Manomètre :	160 mm Ø, jusqu'à 9 bars (côté basse pression, conduite d'aspiration), jusqu'à 24 bars (côté haute pression, conduite de refoulement)
Disjoncteur :	se coupe à 15 bars
Thermomètre :	
Température de mesure :	-20°C à 110°C
Résolution :	0,1°C
Précision :	±1°C
Intervalle de mesure :	env. 10 s
Utilisation avec deux piles bouton LR44	
Tension secteur :	115 V, 60 Hz ou 230 V, 50 Hz
Dimensions :	750 x 350 x 540 mm ³
Masse :	env. 21 kg

6. Manipulation

6.1 Remplir les réservoirs d'eau.

- Remplir les réservoirs d'eau et les glisser respectivement, l'arête inférieure en avant, sous le serpentin de l'évaporateur ou du condenseur.

- Tourner les réservoirs d'eau de façon à ce que l'arête supérieure soit orientée vers la paroi arrière.
- Soulever les réservoirs d'eau, les basculer vers la paroi arrière et les emboîter dans la tôle de fixation.

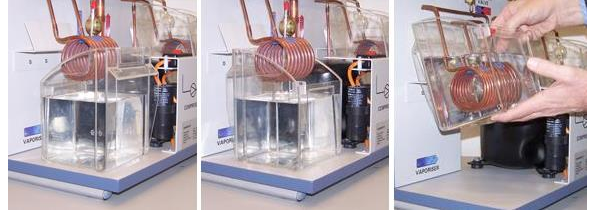


Fig. 3 Montage du réservoir d'eau sur la pompe à chaleur
A gauche : Réservoir d'eau avec arête inférieure orientée vers la pompe à chaleur
Au centre : Réservoir d'eau pivoté et arête inférieure orientée vers l'avant
A droite : Réservoir d'eau emboîté dans la tôle de fixation

6.2 Mise en service

- Si la pompe à chaleur a été basculée, la laisser reposer au moins 7 heures avant de l'utiliser.
- Avant la mise en service, remplir les deux réservoirs d'eau et brancher la pompe à chaleur sur le secteur.
- Mettre le compresseur en marche.

Précision : Le dynamomètre fonctionne également lorsque le compresseur est arrêté.

7. Cycle de la pompe à chaleur

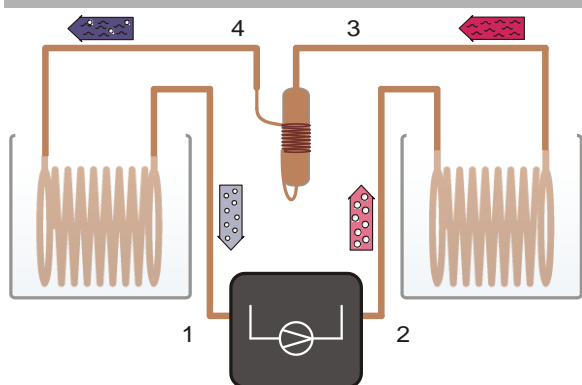


Fig. 4 Représentation schématique de la pompe à chaleur avec compresseur (1→2), condenseur (2→3), soupape d'expansion (3→4) et évaporateur (4→1)

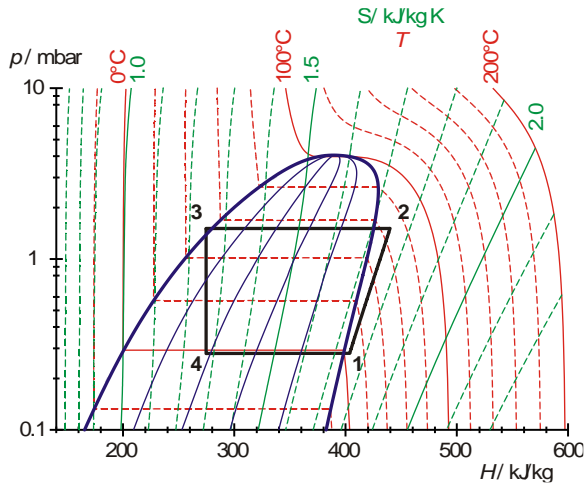


Fig. 5 Représentation du cycle idéal de la pompe à chaleur dans le diagramme de Mollier (cf. paragraphe 8.2)

Le cycle de la pompe à chaleur est divisé en quatre phases : compression (1→2), condensation (2→3), expansion adiabatique (3→4) et évaporation (4→1) :

Compression :

Le fluide de travail gazeux est aspiré par le compresseur, est comprimé de p_1 à p_2 sans modifier l'entropie ($s_1 = s_2$) et surchauffé. La température passe de T_1 à T_2 . La condensation mécanique par unité de masse correspond à $\Delta w = h_2 - h_1$.

Condensation :

Dans le condenseur, le fluide refroidit considérablement et condense. La chaleur libérée (chaleur de surchauffe et chaleur de condensation) augmente la température du réservoir jusqu'à T_2 . Elle s'élève par unité de masse à $\Delta q_2 = h_2 - h_3$.

Expansion adiabatique :

Le fluide condensé atteint la soupape d'expansion, où sa pression est réduite par expansion adiabatique (c'est à dire sans intervention mécanique). La température diminue également, car un travail doit être effectué contre les forces d'attraction intermoléculaires du fluide (Effet Joule-Thompson). L'enthalpie reste constante ($h_4 = h_3$).

Évaporation :

Dans l'évaporateur, le fluide de travail s'évapore totalement par absorption de chaleur. Ceci entraîne le refroidissement du réservoir à la température T_1 . La chaleur absorbée par unité de masse est égale à $\Delta q_1 = h_1 - h_4$.

Le fluide évaporé est aspiré par le compresseur pour subir une nouvelle compression.

Remarque :

Le fluide frigorigène expansé s'évapore et retire la chaleur du réservoir gauche.

Dans des conditions idéales, le système de tuyauterie transporte le réfrigérant gazeux pur de l'évaporateur au compresseur en passant par le voyant.

Lorsque la température de l'eau diminue, l'absorption de chaleur par le serpentin de l'évaporateur diminue et, par conséquent, des gouttes de réfrigérant peuvent devenir visibles dans le voyant gauche.

Cela n'a pratiquement aucune influence sur le fonctionnement de la pompe à chaleur, mais doit être réduit au minimum en faisant circuler constamment l'eau.

Pour la détermination du coefficient de performance, une fenêtre de température limitée devrait être utilisée :

Température de départ env. 20°C à 25°C, température de terminaison dans le réservoir gauche env. 10°C à 12°C.

8. Exemples d'expériences

8.1 Rendement du compresseur

Le rendement η_{co} du compresseur est le résultat du rapport entre la quantité de chaleur ΔQ_2 amenée au réservoir d'eau chaude par unité de temps Δt et la puissance d'entraînement P du compresseur. Plus l'écart de température entre le condenseur et l'évaporateur est grand et plus elle diminue.

$$\eta_{co} = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T_2}{P \cdot \Delta t}$$

c = Capacité thermique de l'eau et
 m = masse de l'eau.

Pour déterminer le rendement :

- Brancher la pompe à chaleur.
- Remplir chaque réservoir d'eau avec 2000 ml d'eau et les emboîter dans la tôle de fixation.
- Mettre le compresseur en marche et le laisser tourner env. 10 minutes pour qu'il atteigne sa température de service.
- Remplacer l'eau et placer les deux capteurs de température dans les réservoirs d'eau.
- Bien remuer l'eau des réservoirs tout au long de l'expérience.
- Mesurer et noter la température de départ des deux réservoirs d'eau.
- Pour le mesurage du temps, appuyez sur la touche RESET du mesureur d'énergie et allumez le compresseur au moment de la relâcher.

- A intervalles réguliers, relever et noter la durée de service, la puissance absorbée et les températures des deux réservoirs d'eau.

Remarque : Une fois que le compresseur a été automatiquement éteint par le disjoncteur de surpression, relevez le temps mesuré et continuez la mesure à la prochaine mise en marche.

8.2 Représentation dans le diagramme de Mollier

Le cycle idéal peut être déterminé dans le diagramme de Mollier par une mesure des pressions $p(3)$ et $p(4)$ avant et après la soupape d'expansion et par une mesure de la température $T(1)$ avant le compresseur :

$T(1)$ et $p(4)$ définissent le point 1 dans le diagramme de Mollier (cf. Fig. 5). L'intersection des isentropes avec les droites horizontales $p(3) = \text{constante}$ donne le point 2. L'intersection des droites horizontales avec la ligne d'ébullition donne le point 3 et la perpendiculaire à la droite horizontale $p(4) = \text{constante}$ donne le point 4.

La mesure complémentaire des températures $T(2)$, $T(3)$, et $T(4)$ donne un aperçu plus large des cycles qui se sont déroulés dans la pompe à chaleur :

La température externe $T(4)$ correspond à la température relevée sur l'échelle thermométrique du manomètre correspondant. Cette échelle thermométrique repose sur la courbe de tension de vapeur du fluide. Cette mesure montre également que le fluide après la soupape d'expansion est un mélange de liquide et de gaz.

La température externe mesurée $T(3)$ diffère de la température relevée sur le manomètre côté haute pression. Le fluide ne contient aucune partie gazeuse et est totalement liquide.

Pour mesurer la température externe, il est recommandé d'utiliser (cf. 4. Accessoires) :

Une sonde de température NTC
avec pince de mesure 1021797
VinciLab 1021477
Licence Coach 7

8.3 Coefficient de performance théorique

Le coefficient de performance théorique du cycle idéal peut être calculé à partir des enthalpies spécifiques relevées dans le diagramme de Mollier h_1 , h_2 et h_3 :

$$\eta_{th} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

8.4 Courant massique du fluide

Si les enthalpies h_2 et h_3 du cycle idéal, ainsi que la quantité d'eau ΔQ_2 amenée au réservoir d'eau

chaude par intervalle de temps Δt sont déterminées, il est possible d'en déduire le courant massique du fluide.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

9. Contrôleur d'énergie



Fig. 6 Contrôleur d'énergie

Touche	Fonction
Touche de remise à zéro RESET	Enfoncez la touche avec un objet pointu pour supprimer toutes les données de la mémoire, y compris l'heure et les réglages programmés
Touche d'avancement UP	Réglez l'heure, le prix et les programmes de prix en même temps avec la touche d'avancement UP
Touche de réglage SET	Réglez l'heure, le prix et les programmes de prix en même temps avec la touche de réglage SET
Touche de fonction FUNC	Changez le mode d'affichage

Réglage de l'heure :

- Appuyez sur la touche FUNC jusqu'à ce que « CLOCK » apparaisse en bas à droite sur l'afficheur.
- Appuyez sur la touche SET jusqu'à ce que les heures clignotent. Réglez les heures avec la

touche UP et confirmez avec la touche SET. Procédez de la même façon pour le réglage des minutes.

Affichage des fonctions de mesure :

- Appuyez brièvement sur la touche FUNC pour faire afficher les informations suivantes : Courant absorbé, nombre de watts, consommation batterie.

10. Diagramme de Mollier

Pour représenter le cycle d'une pompe à chaleur à compression, on utilise souvent le diagramme Mollier du fluide. Ce diagramme représente la pression p du fluide par rapport à son enthalpie spécifique h (l'enthalpie est une mesure du pouvoir calorifique du fluide, une augmentation de la pression et de la partie gazeuse entraîne généralement une augmentation de l'enthalpie).

Le diagramme de Mollier représente également les isothermes ($T = \text{const.}$) et les isentropes ($S = \text{const.}$) ainsi que la concentration massique relative de la phase liquide du fluide. A gauche de la ligne d'ébullition le fluide est totalement condensé. A droite de la courbe de rosée, le fluide se présente sous forme de vapeur surchauffée et à l'intérieur des deux lignes sous forme de mélange liquide et gazeux. Les deux lignes se rencontrent au point critique.

Voir Fig. 7 en page 7.

11. Changement de pile

- Retirer le couvercle à l'arrière du thermomètre et retirer les piles vides.
- Remplacez les piles. Respectez la polarité correcte.
- Refermer le couvercle.
- Si vous n'utilisez pas l'instrument pendant un certain temps, retirez les piles.
- Ne jetez jamais les piles usagées dans les ordures ménagères ! Veillez à respecter les prescriptions obligatoires en vigueur (FR : Piles et batteries usagées, UE : 2006/66/CE).

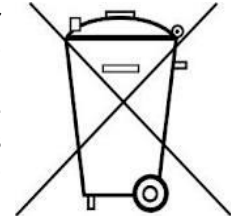
12. Rangement, entretien et nettoyage

La pompe à chaleur est sans entretien.

- Ranger la pompe à chaleur dans un endroit propre, sec et à l'abri de la poussière.
- Débrancher la pompe à chaleur avant le nettoyage.
- Utiliser un chiffon doux et humide.

13. Traitement des déchets

- Pour d'éventuels retours, réparations, etc., la pompe à chaleur doit être envoyée dans le carton d'origine en position debout sur la palette jetable. C'est pourquoi, ne pas mettre au rebut le carton d'origine et la palette jetable.
- Si la pompe à chaleur doit être jetée, ne pas le jeter dans les ordures ménagères. Il est important de respecter les consignes locales relatives au traitement des déchets électriques.
- Ne jetez jamais les piles usagées dans les ordures ménagères ! Veillez à respecter les prescriptions obligatoires en vigueur (FR : Piles et batteries usagées, UE : 2006/66/CE).



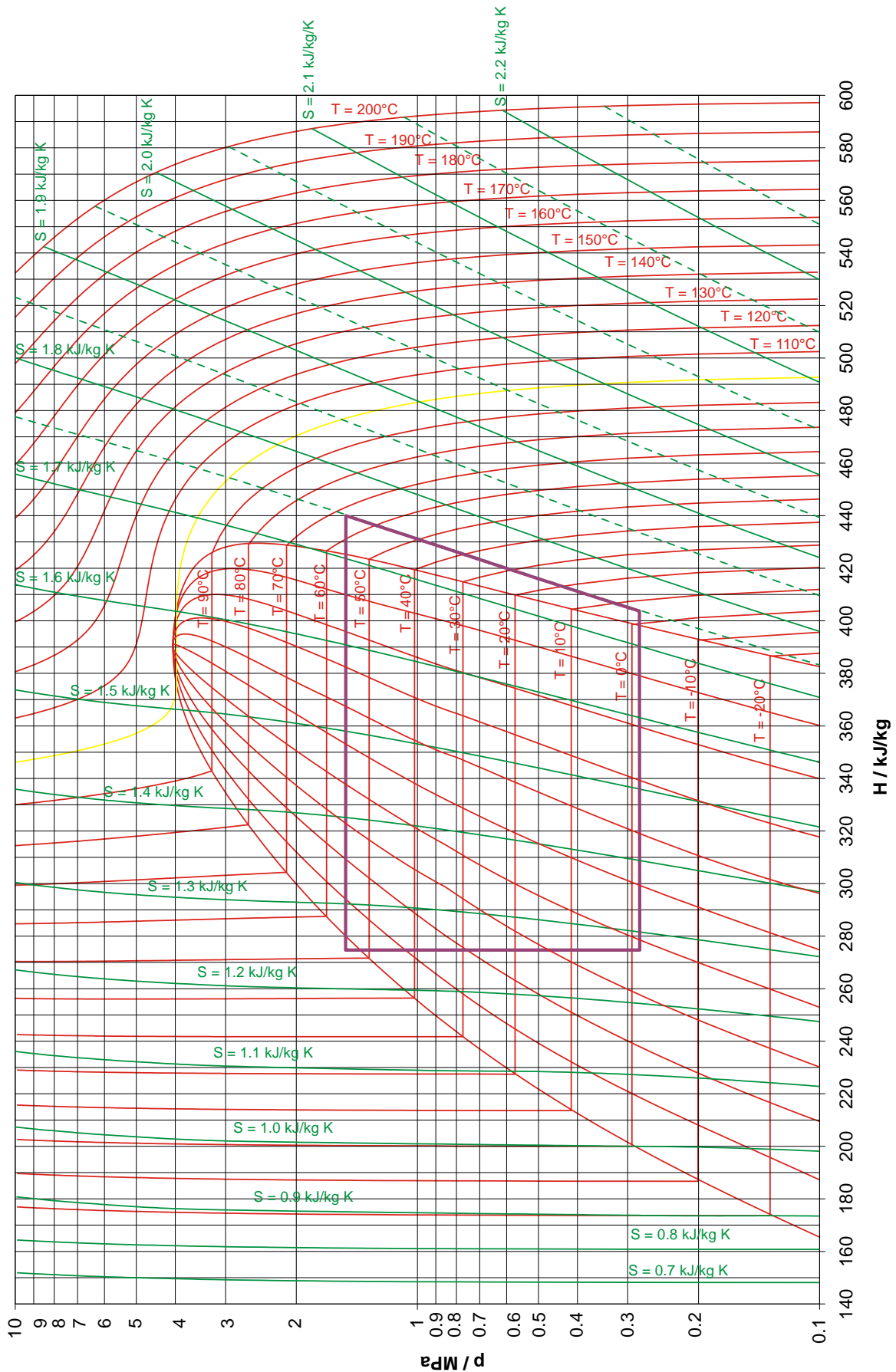


Fig. 7 Diagramme de Mollier

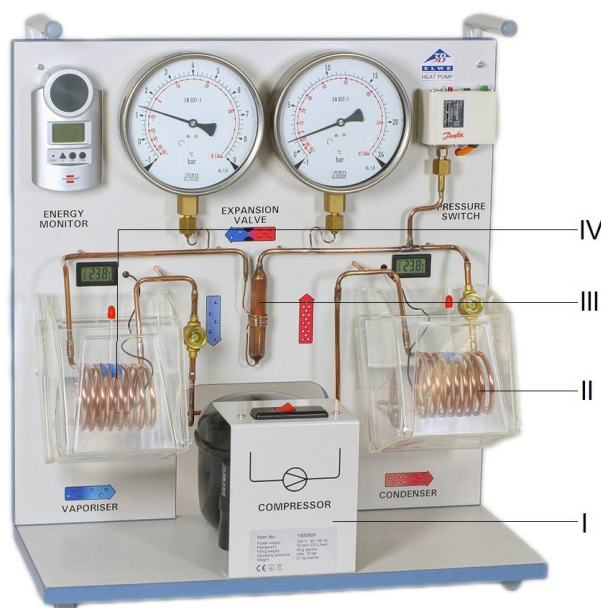
Pompa di calore D

230 V, 50/60 Hz 1000820

115 V, 50/60 Hz 1000819

Istruzioni per l'uso

05/19 JS/ALF/GH



- I Compressore
- II Condensatore
- III Valvola di espansione
- IV Evaporatore

1. Descrizione

La pompa di calore D serve ad illustrare in modo chiaro il funzionamento di un frigorifero o di una pompa di calore elettrica a compressione. Essa è costituita da un compressore con motore di azionamento, un condensatore, una valvola di espansione e un evaporatore ed è utilizzabile come pompa di calore aria-acqua o acqua-acqua.

I vari componenti sono montati su una pedana e collegati mediante tubi in rame a formare un sistema chiuso. La disposizione razionale consente una lettura immediata del ciclo termodinamico della pompa di calore. L'evaporatore e il condensatore sono tubi di rame a spirale immersi in due diversi contenitori riempiți con acqua che fungono da serbatoi per la determinazione del calore assorbito o rilasciato. Due termometri digitale consentono la misurazione della temperatura nei due contenitori.

Per poter osservare lo stato di aggregazione del mezzo di lavoro, la pompa di calore è dotata, dietro l'evaporatore e dietro il condensatore, di vetri spia. Due grandi manometri mostrano la pressione rispettivamente prima e dopo la valvola di espansione. Il misuratore di energia integrato nel collegamento alla tensione di rete permette di determinare la durata di esercizio, la tensione di rete, l'assorbimento di potenza attuale e il lavoro elettrico. Un interruttore di protezione da sovrappressione scollega la pompa di calore dalla rete in caso di una sovrappressione di 15 bar.

La pompa di calore D è disponibile in due versioni. La pompa di calore 1000819 è progettata per una tensione di rete di 115 V ($\pm 10\%$) 60 Hz, 1000820 per 230 V ($\pm 10\%$) 50 Hz.

2. Norme di sicurezza

La pompa di calore D risponde alle disposizioni di sicurezza per apparecchi elettrici di misura, di comando, di regolazione e da laboratorio della norma DIN EN 61010 parte 1 ed è realizzato in base alla classe di protezione I. L'apparecchio è pensato per l'utilizzo in ambienti asciutti, adatti per strumenti elettrici.

Un utilizzo conforme garantisce il funzionamento sicuro dell'apparecchio. La sicurezza non è tuttavia garantita se l'apparecchio non viene utilizzato in modo appropriato o non viene trattato con cura.

Se si ritiene che non sia più possibile un funzionamento privo di pericoli, l'apparecchio deve essere messo immediatamente fuori servizio (ad es. in caso di danni visibili).

Nelle scuole e negli istituti di formazione, il personale istruito è responsabile del controllo dell'uso dell'apparecchio.

- Prima di utilizzare la pompa di calore per la prima volta, verificare che il valore riportato indicante la tensione di alimentazione corrisponda ai requisiti locali.
- Prima della messa in funzione controllare che l'apparecchio e il cavo di alimentazione non presentino danni; in caso di disturbi nel funzionamento o danni visibili mettere l'apparecchio fuori servizio e al sicuro da ogni funzionamento involontario.
- Collegare l'apparecchio solo a prese con conduttore di protezione collegato a terra.

Pericolo di surriscaldamento: Durante il funzionamento, il compressore della pompa di calore si scalda notevolmente.

- Assicurarsi che l'aria circoli liberamente intorno al compressore.
- Non isolare termicamente il compressore.
- Non resettare l'interruttore di sovrappressione prima che siano trascorsi almeno 10 min dal rispettivo intervento.

Il mezzo di lavoro della pompa di calore rimane in sovrappressione anche a compressore spento.

- Trasportare l'apparecchio servendosi unicamente delle apposite maniglie di trasporto.
- Non piegare né danneggiare in alcun modo i tubi di rame.
- Il mezzo di lavoro non deve giungere alla fase liquida nel compressore in quanto si verificherebbe un sovraccarico. Il lubrificante del compressore non deve penetrare nel circuito di raffreddamento.
- Riporre, trasportare e utilizzare la pompa di calore sempre in posizione verticale.
- In caso di ribaltamento, prima di mettere in funzione l'apparecchio tenerlo in posizione verticale per almeno 7 h.
- Spedire la pompa di calore utilizzando esclusivamente l'imballo di cartone originale e avendo cura di sistemarla in verticale sul pallet monouso.

3. Componenti

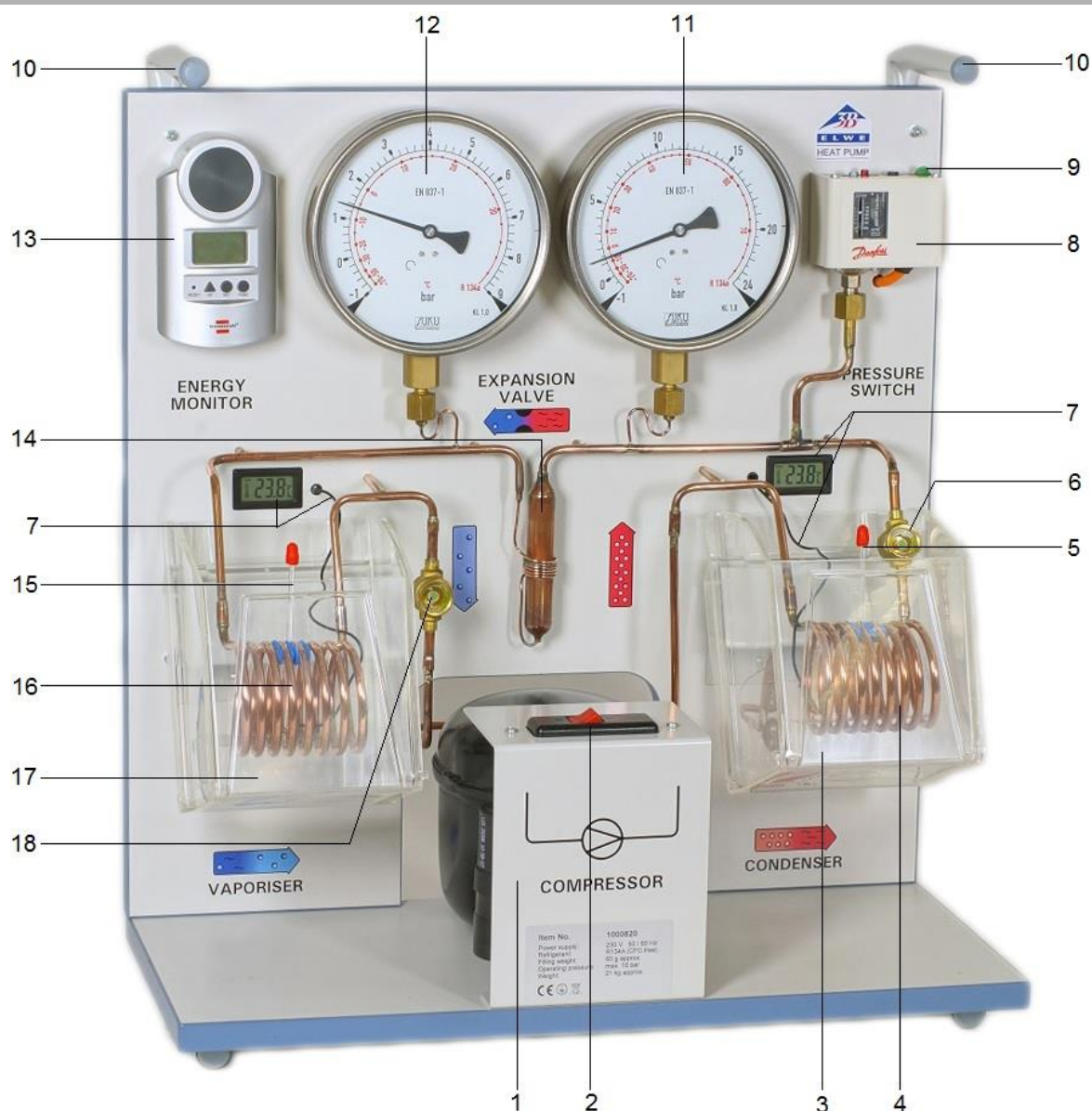


Fig. 1 Componenti della pompa di calore

- | | | | |
|----|--|----|---|
| 1 | Compressore | 11 | Manometro di alta pressione |
| 2 | Interruttore compressore | 12 | Manometro di bassa pressione |
| 3 | Contenitore acqua condensatore | 13 | Monitor energia |
| 4 | Spirale condensatore | 14 | Valvola di espansione |
| 5 | Agitatore, lato condensatore | 15 | Agitatore, lato evaporatore |
| 6 | Vetro spia, lato condensatore | 16 | Spirale evaporatore |
| 7 | Termometro digitale con sensore di temperatura | 17 | Contenitore acqua evaporatore |
| 8 | Interruttore di protezione da sovrappressione | 18 | Vetro spia, lato evaporatore |
| 9 | Tasto reset per interruttore di protezione | | Cavo di allacciamento alla rete (retro) |
| 10 | Maniglie di trasporto | | |

4. Accessori

Per la misurazione della temperatura nei diversi punti della linea di rame è indicata la “Sonda di temperatura NTC a morsetto” (1021797), poiché può essere fissata direttamente alla linea garantendo un buon passaggio di calore. Si utilizza in combinazione con il registratore di dati “VinciLab (1021477)”.

5. Dati tecnici

Potenza del compressore: 120 W, a seconda dello stato di esercizio

Refrigerante: R 134A
(tetrafluoretano $C_2H_2F_4$)

Temperatura di ebollizione:- 26°C a 1 bar

Serbatoi temperatura: ogni 2000 ml

Manomètre: 160 mm Ø, fino a 9 bar (lato bassa pressione, tubo di aspirazione) fino a 24 bar (lato alta pressione, tubo di mandata)

Manometro: si disinserisce a 15 bar

Termometro:

Temp. di misurazione: da -20°C a 110°C

Risoluzione: 0,1°C

Precisione: ±1°C

Intervallo di misurazione: ca. 10 s

Funzionamento tramite due celle pulsante LR44

Tensione di alimentazione: 115 V, 60 Hz o
230 V, 50 Hz

Dimensioni: 750 x 350 x 540 mm³

Massa: ca. 21 kg

6. Comandi

6.1 Riempimento dei contenitori dell'acqua.

- Riempire i contenitori con acqua e collocarli sotto la spirale rispettivamente dell'evaporatore e del condensatore appoggiando il lato basso al pannello posteriore.

- Ruotare i contenitori fino a portare il lato alto in corrispondenza del pannello posteriore.
- Sollevare i contenitori, inclinarli contro il pannello posteriore e agganciarli alla lamiera di supporto.

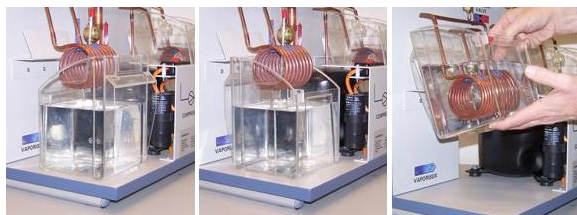


Fig. 3 Fissaggio del contenitore dell'acqua alla pompa di calore
A sinistra: Contenitore con lato più basso rivolto verso la pompa
Al centro: Contenitore ruotato, con il lato basso rivolto verso il fronte
A destra: Il contenitore viene agganciato alla lamiera di supporto

6.2 Messa in funzione

- In caso di ribaltamento, prima di mettere in funzione la pompa di calore tenerla in posizione verticale per almeno 7 h.
- Per la messa in funzione, riempire i due contenitori con acqua e collegare la pompa di calore alla rete.
- Avviare il compressore.

Nota: Il misuratore di energia funziona anche a compressore spento.

7. Ciclo della pompa di calore

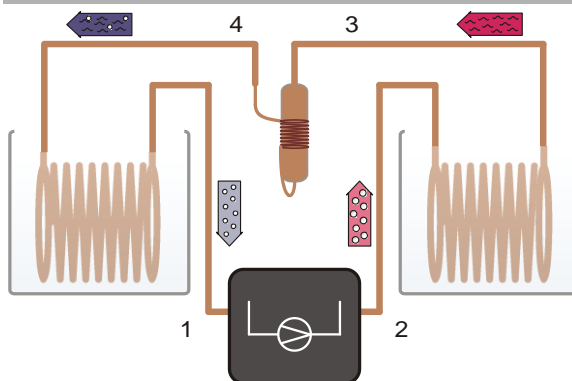


Fig. 4 Rappresentazione schematica della pompa di calore con compressore(1→2), condensatore (2→3), valvola di espansione (3→4) ed evaporatore (4→1)

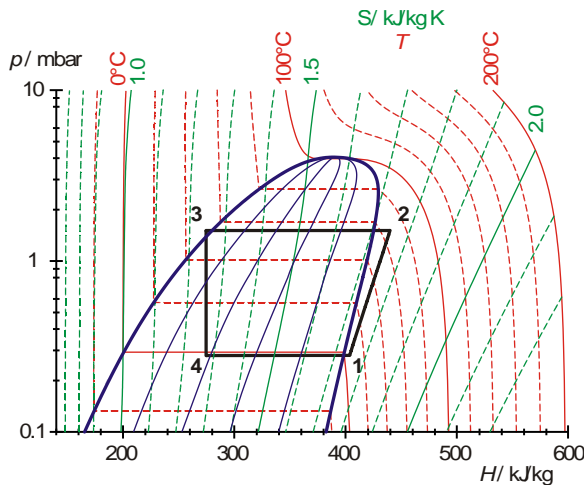


Fig. 5 Rappresentazione del ciclo idealizzato della pompa di calore nel diagramma di Mollier (ved. paragrafo 8.2)

Il ciclo della pompa di calore è suddiviso in maniera idealizzata in quattro fasi: compressione (1→2), condensazione (2→3), espansione con strozzamento (3→4) ed evaporazione (4→1).

Compressione:

Il mezzo di lavoro allo stato gassoso viene aspirato dal compressore lasciando l'entropia invariata ($s_1 = s_2$), compresso da p_1 a p_2 e surriscaldato. La temperatura sale da T_1 a T_2 . Il lavoro meccanico di compressione per unità di massa è $\Delta w = h_2 - h_1$.

Condensazione:

Nel condensatore, il mezzo di lavoro si raffredda e condensa. Il calore liberato (calore di surriscaldamento e calore di condensazione) riscalda il serbatoio circostante alla temperatura T_2 . Si ha quindi $\Delta q_2 = h_2 - h_3$ per unità di massa.

Espansione con strozzamento:

Il mezzo condensato giunge alla valvola di espansione dove, con strozzamento (cioè senza lavoro meccanico), si ritrova in un ambiente con pressione inferiore e si espande. Anche la temperatura diminuisce poiché è necessario compiere un certo lavoro contro le forze molecolari di attrazione presenti nel mezzo (effetto Joule-Thomson). L'entalpia rimane costante ($h_4 = h_3$).

Evaporazione:

Nell'evaporatore, con l'assorbimento di calore, il mezzo di lavoro evapora completamente. Ciò causa il raffreddamento del serbatoio circostante alla temperatura T_1 . Il calore assorbito per unità di massa è $\Delta q_1 = h_1 - h_4$.

Il mezzo evaporato viene ri aspirato dal compressore per una nuova compressione.

Nota:

Il refrigerante espanso evapora e sottrae calore dal serbatoio sinistro.

In condizioni ideali, il sistema di tubazioni trasporta il refrigerante gassoso puro dall'evaporatore al compressore attraverso il vetro spia.

Con il diminuire della temperatura dell'acqua, l'assorbimento di calore attraverso la batteria dell'evaporatore diminuisce e di conseguenza le gocce di refrigerante possono diventare visibili nel vetro spia sinistro.

Ciò non ha praticamente alcuna influenza sul funzionamento della pompa di calore, ma dovrebbe essere ridotto al minimo grazie alla costante circolazione dell'acqua.

Per la determinazione del coefficiente di prestazione si deve utilizzare una finestra di temperatura limitata:

Temperatura d'inizio 20°C - 25°C, temperatura di termine nel serbatoio di sinistra 10°C - 12°C.

8. Esempi di esperimento:

8.1 Rendimento del compressore

Il rendimento η_{co} del compressore è ricavato dal rapporto fra la quantità di calore ΔQ_2 , alimentata al serbatoio di acqua per unità di tempo Δt , e potenza P del compressore. Diminuisce all'aumentare della differenza di temperatura fra condensatore ed evaporatore.

$$\eta_{co} = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T_2}{P \cdot \Delta t}$$

c = capacità termica specifica dell'acqua e m = massa dell'acqua.

Per determinare il rendimento:

- Collegare la pompa di calore alla rete.
- Riempire entrambi i contenitori con 2000 ml di acqua e fissarli alla lamiera di supporto.
- Avviare il compressore e farlo funzionare circa 10 min fino al raggiungimento della temperatura d'esercizio.
- Cambiare l'acqua e inserire i due sensori di temperatura nel contenitore dell'acqua.
- Durante tutto l'esperimento, mescolare costantemente l'acqua nei contenitori.
- Misurare e annotare le temperature iniziali di entrambi i contenitori.
- Per misurare il tempo premere il tasto RESET sul misuratore di energia e, al rilascio, avviare il compressore.
- Ad intervalli fissi rilevare ed annotare la durata di esercizio, la potenza attuale assorbita e le temperature di entrambi i contenitori.

Nota: Dopo l'arresto automatico del compressore

per mezzo dell'interruttore di protezione da sovrappressione leggere il tempo e, al successivo avvio, proseguire la misurazione del tempo.

8.2 Rappresentazione nel diagramma di Mollier

Il ciclo idealizzato è determinabile nel diagramma di Mollier mediante la misurazione delle pressioni $p(3)$ e $p(4)$ prima e dopo la valvola di espansione nonché della temperatura $T(1)$ prima del compressore:

$T(1)$ e $p(4)$ stabiliscono il Punto 1 nel diagramma di Mollier (ved. Fig. 5). Il punto d'intersezione delle isoentropiche con l'orizzontale $p(3) = \text{cost.}$ determina il Punto 2. Il punto d'intersezione dell'orizzontale con la linea di ebollizione determina il Punto 3 e la perpendicolare sull'orizzontale $p(4) = \text{cost.}$ il Punto 4.

La misurazione supplementare delle temperature $T(2)$, $T(3)$ e $T(4)$ fornisce una panoramica allargata dei processi in corso nella pompa di calore:

La temperatura $T(4)$ misurata all'esterno coincide, nei limiti della precisione di misurazione, con la temperatura rilevata dalla scala termica del rispettivo manometro. Tale scala termica è basata sulla curva della pressione di vapore del mezzo di lavoro. Dalla misurazione emerge dunque che il mezzo di lavoro prima della valvola di espansione è costituito da una miscela di liquido e gas.

La temperatura misurata esternamente $T(3)$ si discosta invece da quella rilevata sul manometro lato alta pressione. Il mezzo di lavoro non contiene in questo caso alcuna percentuale di gas, ma è completamente liquido.

Per quanto concerne la misurazione esterna della temperatura, si consiglia (ved. 4. Accessori):

Sonda di temperatura NTC a morsetto	1021797
VinciLab	1021477
Coach 7 Lizenza	

8.3 Efficienza teorica

L'efficienza teorica del ciclo idealizzato si può calcolare dalle entalpie specifiche rilevate nel diagramma di Mollier h_1 , h_2 e h_3 :

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

8.4 Corrente di massa del mezzo di lavoro

Stabilite le entalpie h_2 e h_3 del ciclo idealizzato nonché la quantità di calore ΔQ_2 apportata al serbatoio dell'acqua per intervallo di tempo Δt , è

possibile definire la corrente di massa del mezzo di lavoro.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

9. Misuratore di energia



Fig. 6 Misuratore di energia

Tasto	Funzione
Tasto di ripristino RESET	Premere con un oggetto appuntito per cancellare tutti i dati nella memoria, compresi ora e programmazioni
Tasto UP	Impostare ora, prezzo e gamme di prezzo insieme al tasto di programmazione SET
Tasto di programmazione SET	Impostare ora, prezzo e gamme di prezzo insieme al tasto UP
Tasto funzione FUNC	Cambiare modalità di visualizzazione

Impostazione dell'ora:

- Premere il tasto FUNC fino a quando sul display non compare in basso a destra la dicitura CLOCK.
- Tenere premuto il tasto SET fino a quando le ore iniziano a lampeggiare. Impostare le ore con il tasto UP e confermare con SET. Nell'ambito della stessa procedura, impostare quindi i minuti.

Visualizzazione funzioni di misura:

- Premere brevemente il tasto FUNC per visualizzare rispettivamente le seguenti informazioni: assorbimento di corrente, numero di watt, consumo.

10. Diagramma di Mollier

Per rappresentare il ciclo di una pompa di calore a compressione si utilizza spesso il diagramma di Mollier del mezzo di lavoro. Vi è riportata la pressione p raffrontata all'entalpia specifica h del mezzo di lavoro (l'entalpia è una misura che esprime il contenuto termico del mezzo, in genere aumenta all'aumentare della pressione e della percentuale di gas).

Sono indicate le isoterme ($T = \text{cost.}$) e le isoentropiche ($S = \text{cost.}$), così come la percentuale relativa di massa della fase liquida del mezzo di lavoro. A sinistra della cosiddetta linea di ebollizione, il mezzo di lavoro è completamente condensato. A destra della cosiddetta linea di condensazione, il mezzo di lavoro è presente sotto forma di vapore surriscaldato e, fra le due linee, in forma di miscela liquido-gas. Le due linee si toccano nel punto critico.

Ved. Fig. 7 a pag. 8.

11. Sostituzione della batteria

- Rimuovere il coperchio situato sul retro del termometro e rimuovere le batterie scariche.
- Sostituire le batterie. Prestare attenzione alla corretta polarità.
- Richiudere il vano batteria.
- Rimuovere le batterie in caso di inutilizzo prolungato.
- Non gettare le batterie esaurite nei rifiuti domestici. Rispettare le disposizioni legali applicabili (IT: Recepita con D.Lgs. 188/2008, EU: 2006/66/EG).

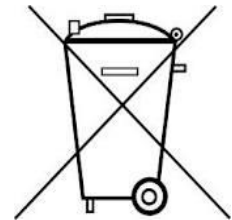
12. Conservazione, cura e manutenzione

La pompa di calore non richiede manutenzione.

- Conservare la pompa di calore in un luogo pulito, asciutto e privo di polvere.
- Prima della pulizia, scollegare la pompa di calore dall'alimentazione.
- Per la pulizia utilizzare un panno morbido e umido.

13. Smaltimento

- In caso di riparazioni, reso, ecc. la pompa di calore deve essere spedita utilizzando esclusivamente l'imballo di cartone originale e avendo cura di sistemarla in verticale sul pallet monouso. Si raccomanda pertanto di non smaltire né l'imballo di cartone originale né il pallet monouso.
- Non gettare la pompa di calore nei rifiuti domestici. Per lo smaltimento delle apparecchiature elettriche, rispettare le disposizioni vigenti a livello locale.
- Non gettare le batterie esaurite nei rifiuti domestici. Rispettare le disposizioni legali applicabili (IT: Recepita con D.Lgs. 188/2008, EU: 2006/66/EG).



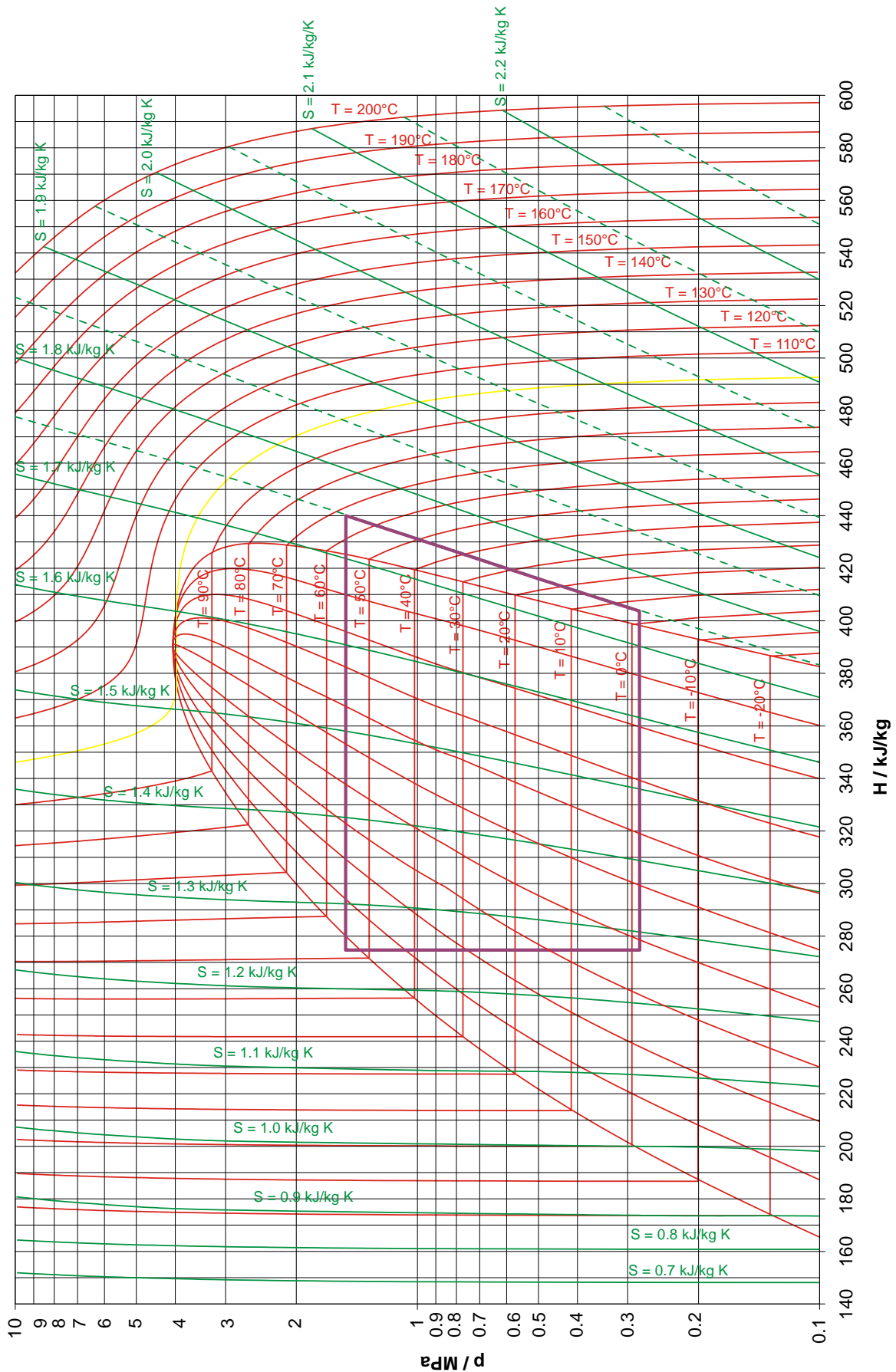


Fig. 7 Diagramma di Mollier

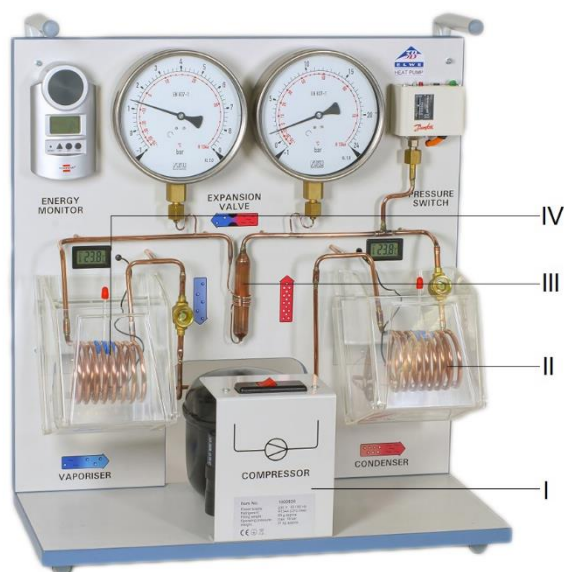
Bomba de calor D

230 V, 50/60 Hz 1000820

115 V, 50/60 Hz 1000819

Instrucciones de uso

05/19 JS/ALF/GH



- I Compresor
- II Condensador - Licuefactor
- III Válvula de expansión
- IV Evaporador

1. Descripción

La bomba de calor D sirve para la representación clara y sencilla del funcionamiento de un refrigerador resp. de una bomba de calor de compresión de mando eléctrico. La bomba de calor se compone de un compresor (Licuefactor) con motor de accionamiento, de un condensador, de una válvula de expansión y de un evaporador además se puede aplicar como una bomba de calor Aire-Agua o de Agua-Agua.

Sus componentes se encuentran enlazadas entre sí por medio de conductores de tubos de cobre, creando un sistema cerrado montado sobre una placa base y gracias a la ordenación clara y sencilla se puede relacionar conceptualmente con la secuencia de los cambios de fase existentes en el proceso cíclico de la bomba de calor. El evaporador y el condensador o licuefactor se encuentran sumergidos en sendos recipientes o depósitos de agua, los cuales sirven como colectores o depósitos para la determinar el calor entregado o absorbido. Dos termómetros digital hacen

posible la medición necesaria de las temperaturas en ambos recipientes de agua.

Para poder observar el estado físico del fluido de trabajo durante el proceso, la bomba de calor está dotada de sendas mirillas después del evaporador y del condensador. Dos manómetros grandes muestran las presiones correspondientemente antes y después de la válvula de expansión. En la conexión de acometida a la red se encuentra un medidor digital de energía, para determinar el tiempo de servicio, de la tensión de la red, de la absorción de potencia actual y del trabajo eléctrico. Un interruptor de protección de sobrepresión separa la bomba de calor de la red, en caso de una sobrepresión de 15 bar.

La bomba de calor D se entrega en dos versiones. La bomba de calor 1000819 está dimensionada para una tensión de red de 115 V ($\pm 10\%$) 60 Hz resp. 1000820 para 230 V ($\pm 10\%$) 50 Hz.

2. Aviso de seguridad

La bomba de calor D corresponde a las regulaciones de seguridad para dispositivos eléctricos de medición, de mando, de control y de laboratorio, estipuladas por la norma DIN EN 61010, parte 1, y ha sido montada según la clase de protección I. Está prevista para el servicio en recintos secos, convenientes para los medios de servicio eléctricos.

Su uso correcto, acorde con las prescripciones, garantiza el servicio seguro del equipo. Sin embargo, la seguridad no queda garantizada si el dispositivo se usa incorrectamente o se manipula sin el cuidado necesario.

Si es de suponer que ya no es posible un funcionamiento libre de peligro (por ejemplo, por daños visibles), se debe poner el equipo fuera de servicio inmediatamente.

En escuelas e instalaciones educativas, el funcionamiento del equipo debe ser supervisado responsablemente por personal instruido al respecto.

- Antes de la primera puesta en marcha, se debe comprobar si el valor impreso corresponde a las exigencias locales de tensión.
- Antes de poner en marcha el aparato se debe examinar si existen daños en la bomba de calor o en la conexión a la red y, en caso de fallos en el funcionamiento o daños visibles, se debe poner el equipo fuera de servicio asegurándolo contra una puesta en marcha involuntaria.
- El aparato se debe conectar sólo en enchufes con un conductor de protección conectado a la tierra.

Peligro de recalentamiento: Durante el funcionamiento el compresor de la bomba de calor se calienta mucho.

- No se debe obstruir la libre circulación del aire alrededor del compresor.
- El compresor no se debe aislar térmicamente.
- Una puesta a cero del interruptor de sobrepresión sólo se debe hacer diez minutos después de que haya reaccionado.

El fluido de trabajo en la bomba de calor se encuentra bajo sobrepresión aunque el compresor se encuentre desconectado.

- El aparato se debe transportar sólo tomándolo por las asa de transporte.
- En ningún caso se deben doblar o dañar los conductos de cobre.

El fluido de trabajo no debe llegar nunca en su fase líquida al compresor, porque en este caso se tiene el peligro de sobrecarga el compresor.

El lubricante del compresor no debe entrar en el ciclo de refrigeración.

- La bomba de calor se guarda, se transporta y se pone en funcionamiento sólo en posición vertical.
- Antes de ponerlo en funcionamiento debe estar por lo menos 7 horas en posición vertical, en caso de que se haya volcado.
- Envíe la bomba de calor solo en su caja original y en posición vertical en el palé desechable.

3. Componentes

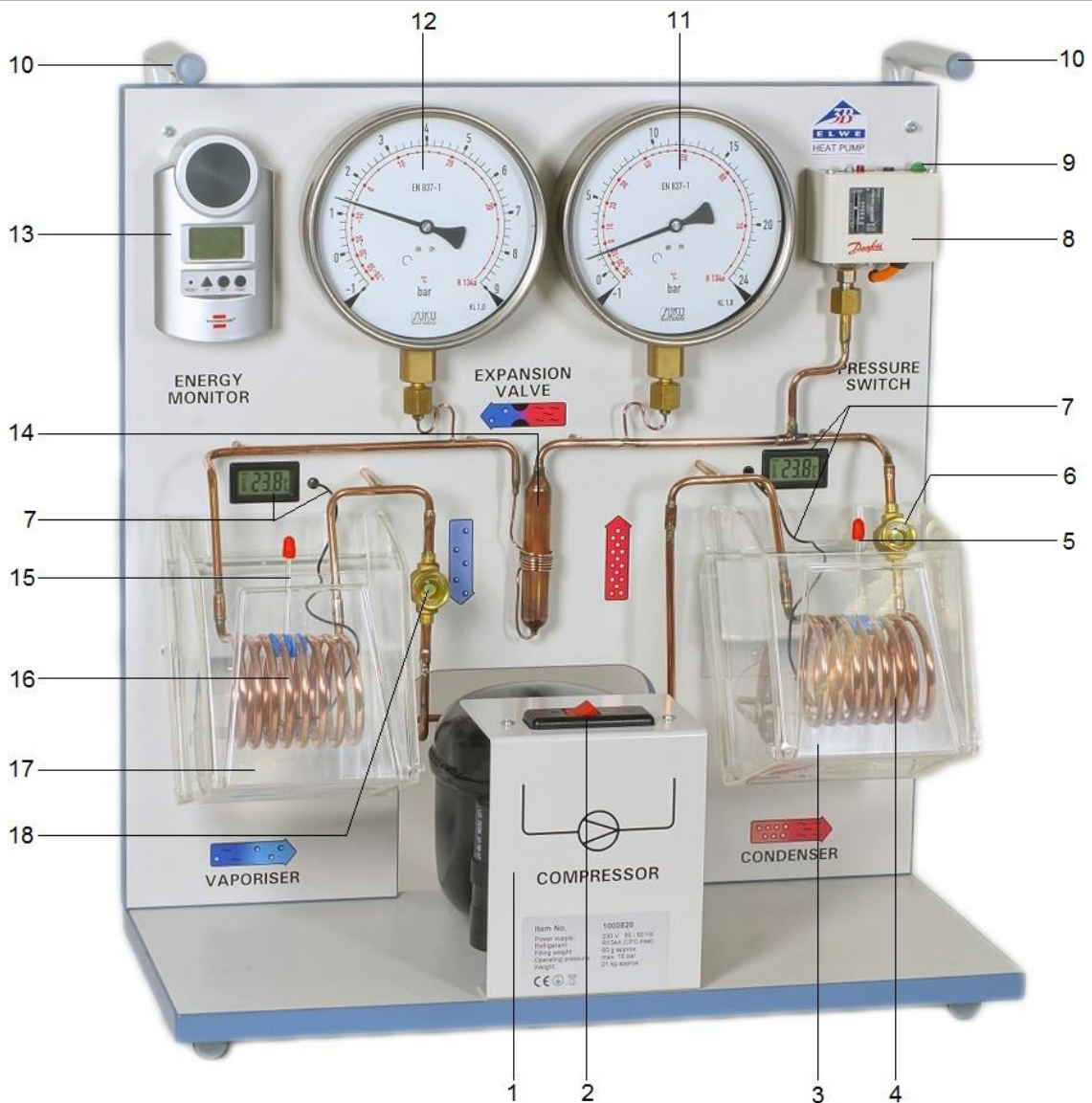


Fig. 1 Componentes de la bomba de calor

- | | |
|---|--|
| 1 Compresor | 11 Manómetro del lado de alta presión |
| 2 Interruptor para el compresor | 12 Manómetro del lado de baja presión |
| 3 Depósito de agua alrededor del condensador | 13 Monitor de energía |
| 4 Espiral del condensador | 14 Válvula de expansión |
| 5 Agitador del lado del condensador | 15 Agitador del lado del evaporador |
| 6 Mirilla del lado del condensador | 16 Espiral del evaporador |
| 7 Termómetro digital con sensor de temperatura | 17 Recipiente de agua alrededor del evaporador |
| 8 Interruptor de protección contra sobrepresión | 18 Mirilla del lado del evaporador |
| 9 Puesta a cero el interruptor de protección | Cable de acometida a la red (al reverso) |
| 10 Asa de transporte | |

4. Accesorios

Para la medición de la temperatura en diferentes puntos a lo largo de los conductores de tubo de cobre es apropiado el "Sensor de temperatura NTC con pinza de medida" (1021797), porque éste se puede acoplar directamente en el conductor de cobre y tiene una buena transmisión del calor. El sensor se utiliza junto con el ataloger "VinciLab (1021477)".

5. Datos técnicos

Potencia del compresor:	120 W, dependiendo del estado de trabajo
Agente frigorífico:	R 134 ^a (Tetrafluor-etileno C ₂ H ₂ F ₄)
Temperatura de ebullición:	-26°C con 1 bar de presión
Depósitos de agua:	c/u 2000 ml
Manómetro:	160 mm Ø, hasta 9 bar (Lado de baja presión, conducto de aspiración), hasta 24 bar (Lado de alta presión, Conducto de presión)
Interruptor de protección:	desconecta con 15 bar
Termómetro:	
Temperatura de medida:	de -20°C hasta 110°C
Resolución:	0,1°C
Exactitud:	±1°C
Intervalo de medición:	aprox. 10 s
Operación con dos baterías botones LR44	
Tensión de trabajo:	115 V, 60 Hz resp. 230 V, 50 Hz
Dimensiones:	750 x 350 x 540 mm ³
Masa:	aprox. 21 kg

6. Servicio

6.1 Llenado de los depósitos de agua.

- Se llena el depósito de agua con el borde bajo hacia adelante y se desliza por debajo de la espiral del evaporador resp. del licuefactor.
- Se gira el depósito de agua así que el borde alto muestre hacia la pared posterior vertical.
- Se levanta el depósito de agua, se vuelca hacia la pared posterior vertical y se cuelga en la chapa soporte.

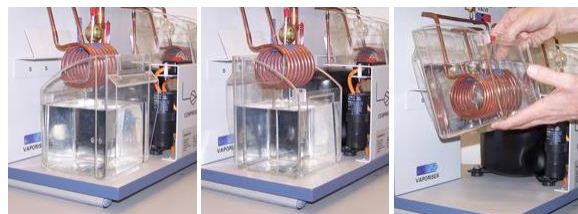


Fig. 3 Colocación del depósito de agua en la bomba de calor
Izquierda: Depósito de agua con el borde bajo hacia la bomba de calor
Centro: Depósito de agua girado, con el borde bajo mostrando hacia adelante
Derecha: Depósito de agua se cuelga en la chapa soporte

6.2 Puesta en funcionamiento

- Antes de poner en funcionamiento la bomba de calor debe estar en posición vertical por lo menos 7 horas, en caso de que se haya volcado.
- Para la puesta en funcionamiento se llenan los dos depósitos de agua y la bomba de calor se conecta a la red eléctrica.
- Se conecta el compresor.

Observación: El medidor de energía también trabaja estando el compresor desconectado.

7. Proceso cíclico de la bomba de calor

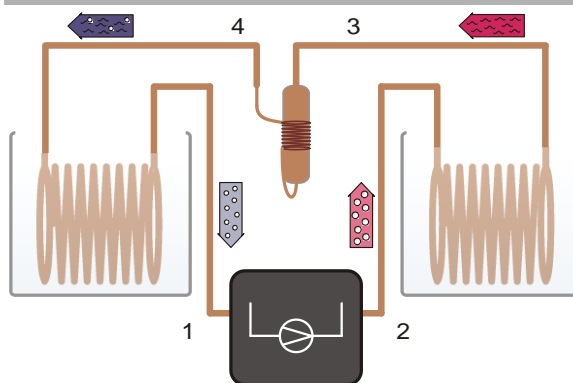


Fig. 4 Representación esquemática de la bomba de calor con Compresor (1→2), Licuefactor (2→3), Válvula de expansión (3→4) y evaporador (4→1)

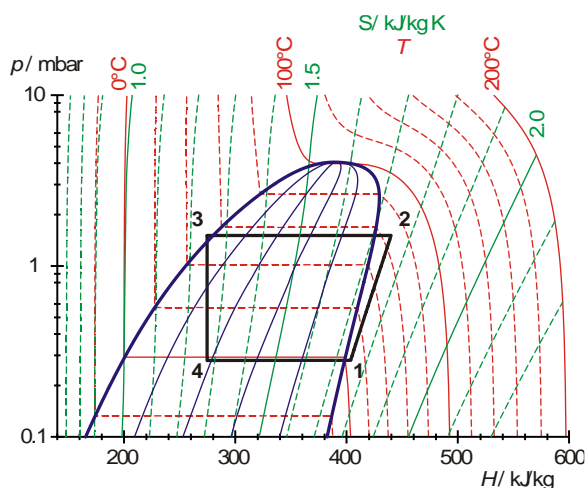


Fig. 5 Representación del proceso cíclico idealizado de la bomba e calor en el diagrama de Mollier (ver parágrafo 8.2)

El proceso cíclico de la bomba de calor se idealiza dividido en los cuatro pasos: Compresión (1→2), Licuefacción (2→3), expansión estrangulada (3→4) y evaporación (4→1):

Compresión:

El fluido de trabajo en estado de gaseoso es aspirado por el compresor y comprimido de una presión p_1 a una p_2 , sin cambio de entropía ($s_1 = s_2$) y se recalienta en el proceso. La temperatura aumenta de T_1 a T_2 . El trabajo mecánico de compresión por unidad de masa es $\Delta w = h_2 - h_1$.

Licuefacción:

En el licuefactor o compresor el fluido de trabajo se enfría fuertemente y se condensa. El calor liberado (calor de recalentamiento y calor de condensación) calienta el colector circundante a la temperatura T_2 . Este es de $\Delta q_2 = h_2 - h_3$ por unidad de masa.

Expansión estrangulada:

El fluido de trabajo condensado llega la válvula de expansión, donde es expandido en forma estrangulada (es decir, sin realizar trabajo mecánico) a una presión menor. En este proceso también se reduce la temperatura, porque se debe realizar trabajo en contra de las fuerzas de atracción moleculares en el fluido de trabajo (efecto Joule-Thompson) La entalpía permanece constante ($h_4 = h_3$).

Evaporación:

En el evaporador el fluido de trabajo se evapora totalmente absorbiendo calor. Esto conduce a un enfriamiento del recipiente o depósito circundante a la temperatura T_1 . El calor absorbido por unidad de masa es de $\Delta q_1 = h_1 - h_4$.

El fluido de trabajo es aspirado por el compresor para realizar una nueva compresión.

Observación:

El refrigerante expandido se evapora y retira el calor del depósito izquierdo.

En condiciones ideales, el sistema de tuberías transporta el refrigerante gaseoso puro desde el evaporador a través de la mirilla hasta el compresor.

A medida que la temperatura del agua disminuye, la absorción de calor a través del serpentín del evaporador disminuye y, como resultado, las gotas de refrigerante pueden hacerse visibles en el visor izquierdo.

Esto prácticamente no influye en el funcionamiento de la bomba de calor, pero debe reducirse al mínimo mediante la circulación constante del agua.

Para la determinación del coeficiente de rendimiento, debe utilizarse una ventana de temperatura limitada:

Temperatura de inicio aprox. 20°C a 25°C, temperatura de terminación en el depósito izquierdo aprox. 10° a 12°C.

8. Ejemplos experimentales

8.1 Rendimiento del compresor

El rendimiento η_{co} del compresor se obtiene de la relación de la cantidad de calor ΔQ_2 , que se le entrega al recipiente o depósito de agua caliente por unidad de tiempo Δt , con respecto a la potencia P de accionamiento del compresor. Éste disminuye al aumentar la diferencia de temperatura entre el condensador o licuefactor y el evaporador.

$$\eta_{co} = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T_2}{P \cdot \Delta t}$$

c = Capacidad calorífica específica del agua y m = Masa del agua.

Para la determinación del rendimiento:

- Se conecta la bomba de calor a la red eléctrica.
- Se llenan los depósitos de agua, cada uno con 2000 ml de agua y se colocan en las chapas soporte.
- Se conecta el compresor y se deja funcionar unos 10 min así que llegue a su temperatura de trabajo.
- Se renueva el agua y se colocan los sensores de temperatura en los depósitos de agua.
- Durante todo el experimento se agita siempre bien el agua en los depósitos.

- Se miden y anotan las temperaturas iniciales en los depósitos de agua.
- Para la medición del tiempo se pulsa la tecla RESET en el aparato de medida de la energía y al soltarla se conecta el compresor.
- En intervalos de tiempo fijo se leen y anotan, el tiempo de trabajo, la potencia absorbida actual y la temperatura en ambos depósitos de agua.

Observación: Tras la desconexión automática del compresor por medio del interruptor de protección de sobrepresión se lee el tiempo y con un reinicio, se continúa con la medición del tiempo.

8.2 Representación en el diagrama de de Mollier

El proceso cíclico idealizado se puede determinar en el diagrama de Mollier midiendo las presiones $p(3)$ y $p(4)$ antes y después de la válvula de expansión y la temperatura $T(1)$ antes del compresor:

$T(1)$ y $p(4)$ determinan el punto 1 en el diagrama de Mollier (ver fig 5). El punto de corte de la isentrópica con la horizontal $p(3) = \text{const.}$ determina el punto 2. El punto de corte de la horizontal con la línea de ebullición conduce el punto 3 y la vertical sobre la horizontal $p(4) = \text{const.}$ conduce al punto 4.

La medición adicional de las temperaturas $T(2)$, $T(3)$, y $T(4)$ proporciona una idea más amplia en los procesos que tienen lugar en la bomba de calor:

Así, dentro de la exactitud de medición, la temperatura $T(4)$ medida externamente concuerda con la temperatura que se puede leer en la correspondiente escala de temperatura del manómetro. Esta escala de temperatura se basa en la curva de presión de vapor del fluido de trabajo. Es decir que la medición muestra que el fluido de trabajo detrás de la válvula de expansión se trata de una mezcla de líquido y gas.

Por el contrario, la temperatura $T(3)$ medida externamente difiere de la temperatura leída en el manómetro en el lado de alta presión. El fluido de trabajo no contiene aquí ninguna componente de gas sino que está totalmente en fase líquida.

Para la medición de la temperatura externa se recomienda (ver 4 Accesorios):

Sensor de temperatura NTC
con pinza de medida 1021797
VinciLab 1021477
Licencia Coach7

8.3 Coeficiente de potencia teórico

El coeficiente de potencia teórico del proceso cíclico idealizado se puede calcular en base a las entalpías específicas h_1 , h_2 y h_3 leídas en el diagrama de Mollier:

$$\eta_{th} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

8.4 Corriente masiva del fluido de trabajo

Si se han determinado las entalpías h_2 y h_3 del proceso cíclico idealizado así como la cantidad de calor ΔQ_2 entregada al recipiente o depósito de agua caliente en el intervalo de tiempo Δt , así se puede estimar la corriente masiva del fluido de trabajo.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

9. Medidor de energía



Fig. 6 Medidor de energía

Tecla	Función
Tecla de restitución RESET	Pulsar con un objeto puntiagudo para borrar todos los datos en la memoria, inclusive, hora y programaciones .
Tecla – Hacia arriba UP	Ajustar, Hora, Precio y programas de precio conjuntamente, con la tecla de ajuste SET
Tecla de ajuste SET	Ajustar conjuntamente, Precio, Hora y programas de precio con la tecla "Hacia arriba" UP
Tecla de función FUNC	Conmutar el modo de indicación

Ajuste de la hora:

- Se pulsa la tecla FUNC hasta que se indique CLOCK abajo a la derecha en el Display.
- Se pulsa la tecla SET hasta que las horas parpadéen, se ajustan las horas con la tecla UP y se confirman con la tecla SET. Luego se procede igualmente con los minutos.

Indicación de las funciones de medición:

- La tecla FUNC se pulsa cada vez brevemente, para dejar indicar las siguientes informaciones: Entrada de corriente, Vatios, Consumo.

10. Diagrama de Mollier

Para la representación del proceso cíclico de una bomba de calor de compresión se utiliza frecuentemente el diagrama de Mollier del fluido de trabajo. Allí se trazan las curvas de presión p contra la entalpía específica del fluido de trabajo h (la entalpía es una medida para la capacidad calorífica por unidad de masa del fluido de trabajo, ésta por lo general aumenta al aumentar la presión de la componente de gas en el fluido de trabajo).

Además se indican las isotermas ($T = \text{const.}$) las isentrópicas ($S = \text{const.}$) así como la parte masiva del fluido de trabajo en fase líquida. A la izquierda de la llamada línea de ebullición el fluido de trabajo se encuentra totalmente en fase líquida, condensado. A la derecha de la llamada línea de condensación el fluido de trabajo se encuentra en forma de vapor recalentado, entre las dos líneas se presenta como una mezcla de gas – líquido. Las dos líneas se encuentran en el punto crítico.

Ver Fig. 7 en la Pag. 8.

11. Cambio de la batería

- Se retira la tapa protectora en el reverso del termómetro y retire las baterías planas.
- Se reemplaza las baterías, teniendo en cuenta la polaridad correcta.
- Se vuelve a cerrar la tapa protectora.
- En caso de no utilizar del aparato por largo tiempo se debe retirar las baterías.
- Nunca deseche las baterías descargadas en las basuras domésticas. Siga siempre las prescripciones legales del lugar de trabajo (Ley N° 24.051, de Residuos Peligrosos, EU: 2006/66/EG).

12. Almacenamiento, cuidado y mantenimiento

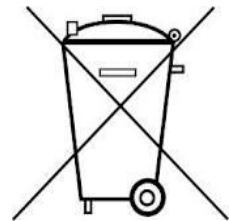
La bomba de calor es libre de mantenimiento.

- La bomba de calor se almacena en un lugar limpio, seco y libre de polvo.
- Antes de la limpieza el aparato se separa del suministro de corriente.
- Para limpiarlo se utiliza un trapo suave húmedo.

13. Desecho

- Para reparaciones eventuales, envío de retorno, etc., la bomba de calor se debe transportar en su caja original y en posición vertical en el palé desechar. Por esta razón, no deseche la caja original ni el palé.

- En caso de que el propio aparato se deba desechar como chatarra, no se debe deponer entre los desechos domésticos normales. Se deben cumplir las prescripciones locales para el desecho de chatarra eléctrica.



- Nunca deseche las baterías descargadas en las basuras domésticas. Siga siempre las prescripciones legales del lugar de trabajo (Ley N° 24.051, de Residuos Peligrosos, EU: 2006/66/EG).

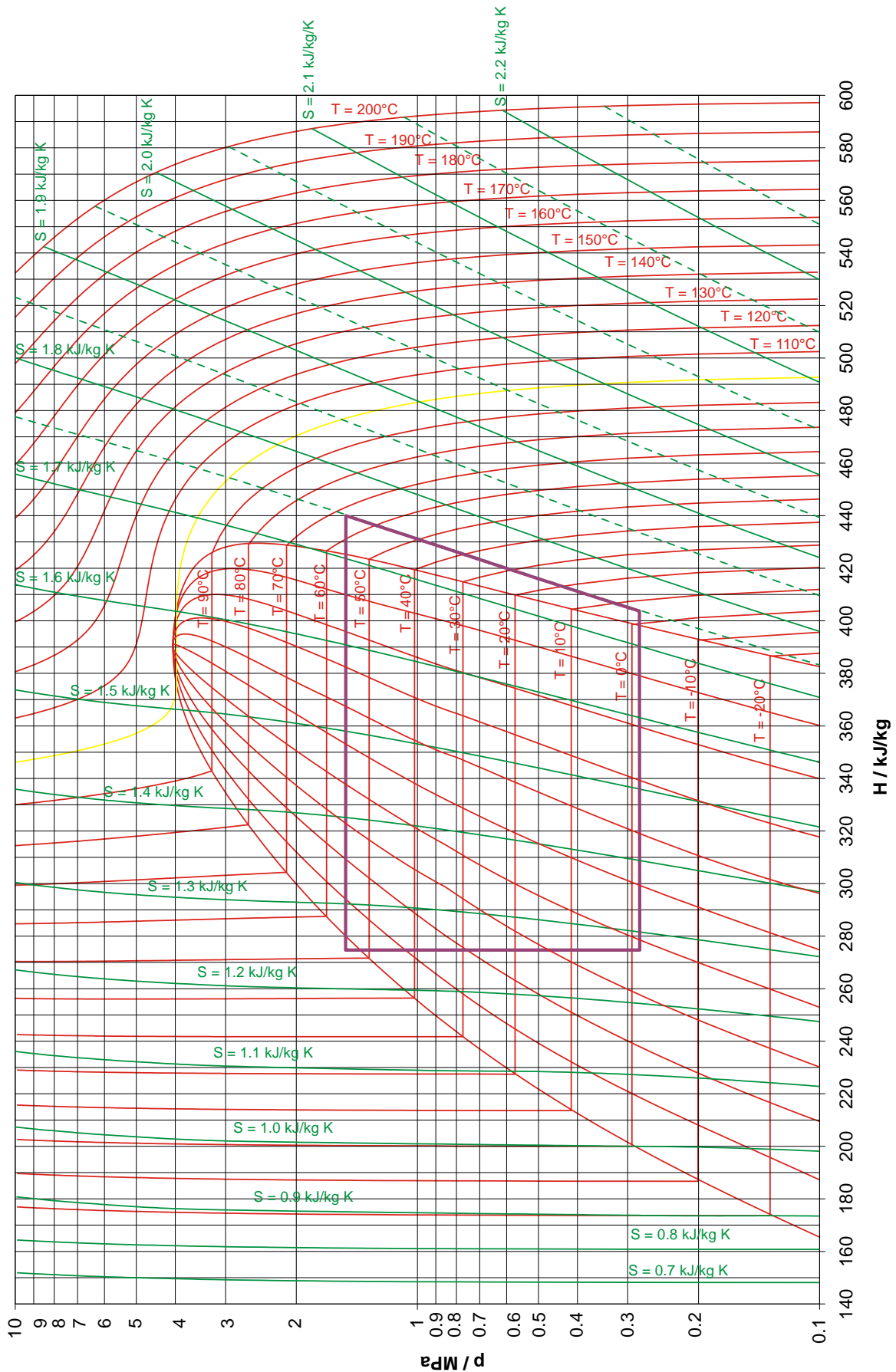


Fig. 7 Diagrama de Mollier

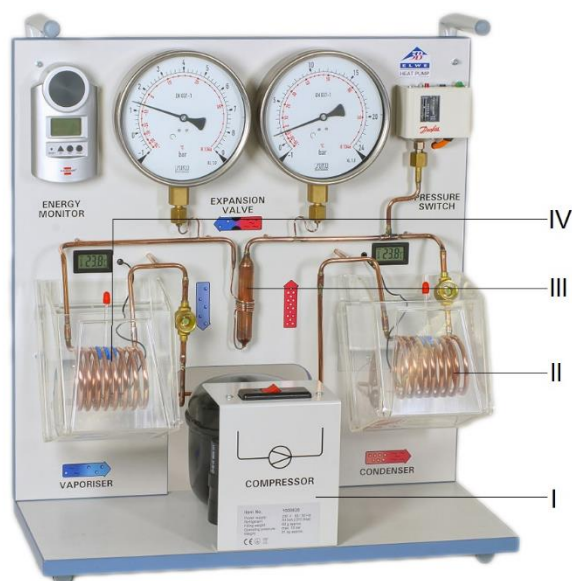
Bomba de calor D

230 V, 50/60 Hz 1000820

115 V, 50/60 Hz 1000819

Instruções de operação

05/19 JS/ALF/GH



- I Compressor
- II Liquefator
- III Válvula de expansão
- IV Vaporizador

1. Descrição

A bomba de calor D serve para a representação observável do modo de funcionamento de uma geladeira, ou seja, de uma bomba elétrica de calor por compressão. Ela é constituída por um compressor (densificador) com motor de marcha, um liquefator, uma válvula de expansão e um vaporizador e pode ser utilizada como bomba de calor ar-água ou água-água.

Seus componentes são conectados a um sistema fechado de tubos de cobre montados sobre uma placa base e por isto, graças a sua disposição clara, podem ser relacionados imediatamente com a seqüência de modificações das condições durante o processo circular da bomba de calor. O vaporizador e o liquefator são formados em espirais de tubos de cobre e mergulham em cada um dos recipientes, que foi destinado como reservatório para a determinação do calor absorvido, respectivamente, transmitido. Dois termômetros digitais permitem a necessária medição de

temperatura para isto nos dois recipientes de água.

Para poder observar a condição agregada do meio de trabalho, a bomba de calor é equipada com um vidro de observação no verso do vaporizador e no verso do liquefator. Dois grandes manômetros indicam a pressão tanto antes como após da válvula de expansão. Integrado a conexão de alimentação de tensão de rede existe um medidor de energia digital para a determinação da duração de operação, da tensão de rede, do recebimento atual de rendimento e do trabalho elétrico. Um interruptor de proteção contra pressão excessiva separa a bomba de calor da rede, em caso de uma pressão excessiva de 15 bar.

A bomba de calor D é fornecida em duas versões. A bomba de calor 1000819 está equipada para trabalhar com uma tensão de rede

de 115 V ($\pm 10\%$) 60 Hz, e 1000820 para 230 V ($\pm 10\%$) 50 Hz.

2. Indicações de segurança

A bomba de calor D conforma-se às regulamentações de segurança segundo DIN EN 61010 Parte 1 e é construída conforme a classe de segurança I. Está previsto para ser operada em ambiente seco e é apropriado para meios de operação elétricos.

Caso for utilizado conforme as indicações operacionais de segurança, está garantida a operação segura do aparelho. Esta segurança não estará garantida caso o aparelho seja operado de modo incorreto ou sem os necessários cuidados.

Caso seja determinado que um funcionamento sem perigo não seja mais possível (por exemplo, em caso de danificação do aparelho), deve-se imediatamente deixar de utilizar o mesmo.

Em escolas ou centros de formação a operação do aparelho deve ocorrer sob a responsabilidade de pessoas preparadas para a operação do aparelho.

- Antes da primeira utilização deve-se verificar se a tensão de rede impressa coincide com a tensão de rede e condições de fornecimento locais.
- Antes de conectar a bomba de calor à rede elétrica, controlar se esta e a conexão à rede estão livres de danos ou defeitos funcionais, e caso sejam observados disfunções ou danos visíveis, desligar imediatamente o aparelho e garantir que não seja operado por acidente.
- Só conectar a bomba de calor em tomada com condutor de proteção aterrado.

Perigo de sobreaquecimento: O compressor da bomba de calor aquece muito durante a operação.

- Não se deve impedir a circulação livre do ar em volta do compressor.
- Não se deve isolar termicamente ao compressor.
- Efetuar um 'reset' do interruptor de excesso de pressão o mais cedo após 10 min. da sua reação.
- O meio de trabalho na bomba de calor também se encontra baixa pressão excessiva com o compressor desligado.
- Transportar o aparelho somente com as asas de carga.
- Em nenhum caso torcer, nem danificar as linhas de cobre.

O meio de trabalho não deve chegar ao compressor na fase líquida, porque este seria sobrecarregado.

O lubrificante de dentro do compressor não pode chegar à circulação de esfriamento.

- Armazenar, transportar e operar a bomba de calor sempre na vertical.
- Antes de operar o aparelho deixar-lo parado verticalmente por pelo menos 7 horas, no caso que for virado.
- Enviar a bomba de calor somente na posição vertical na caixa original sobre o pálete descartável.

3. Componentes

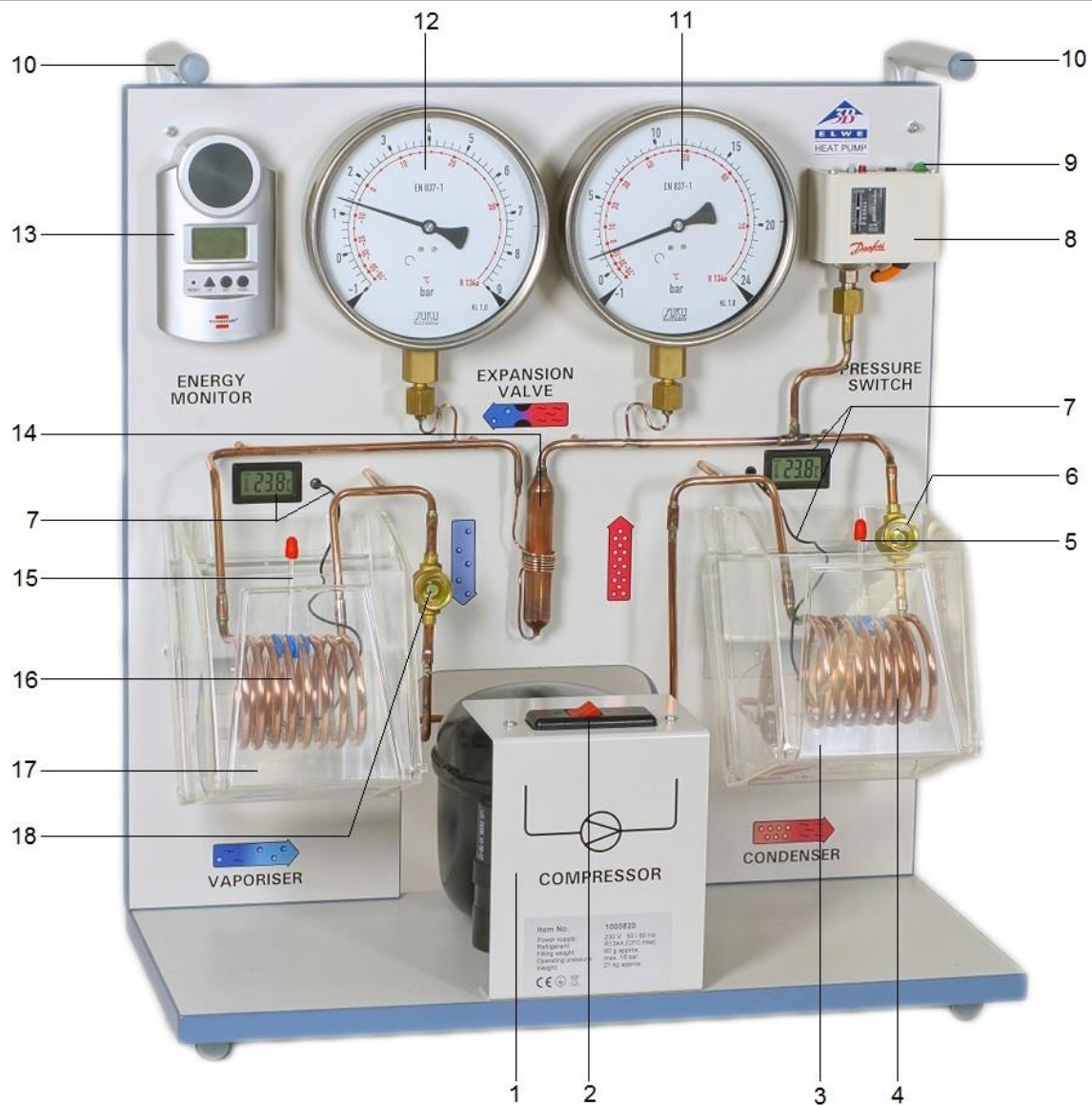


Fig. 1 Componentes da bomba de calor

- | | |
|--|--|
| 1 Compressor | 11 Manômetro do lado de alta pressão |
| 2 Interruptor para o compressor | 12 Manômetro do lado de baixa pressão |
| 3 Recipiente de água em volta do liquefator | 13 Monitor de energia |
| 4 Espiral do liquefator | 14 Válvula de expansão |
| 5 Misturador, do lado do liquefator | 15 Misturador, do lado do vaporizador |
| 6 Vidro de observação, do lado do liquefator | 16 Espiral do vaporizador |
| 7 Termômetro digital com sensor de temperatura | 17 Recipiente de água em volta do vaporizador |
| 8 Interruptor de proteção de pressão excessiva | 18 Vidro de observação, do lado do vaporizador |
| 9 Reset para o interruptor de proteção | Cabo de conexão à rede (no verso) |
| 10 Asas de transporte | |

4. Assessorios

Para a medição de temperatura em várias localidades da linha de cobre presta-se o “sensor de temperatura NTC com pregador de medição” (1021797), porque pode ser pregado com boa transferência de calor diretamente a linha de cobre. Ele é utilizado em conexão com o registrador de dados “VinciLab (1021477)”.

5. Dados técnicos

Potência do compressor:	120 W, dependendo das condições de serviço
Meio de resfriamento:	R 134A (Tetrafluoreteno $C_2H_2F_4$)
Temperatura de ebulição:	-26°C em 1 bar
Reservatórios de temperatura:	cada 2 000 ml
Manômetro:	160 mm Ø, até 9 bar (Lado da baixa pressão, condução de sucção), até 24 bar (lado da alta pressão, condução de pressão)
Interruptor de proteção:	desliga em 15 bar
Termômetro:	
Temperatura de medição:	-20°C até 110°C
Resolução:	0,1°C
Precisão:	±1°C
Intervalo de medição:	aprox. de 10 s com duas baterias LR44
Operação:	
Setor de tensão:	115 V, 60 Hz, respect. 230 V, 50 Hz
Dimensões:	750 x 350 x 540 mm ³
Massa:	aprox. 21 kg

6. Utilização

6.1 Encher o recipiente de água

- Encher o recipiente com água e empurrar-lo com o canto baixo para frente embaixo da espiral do vaporizador, respectivamente, da do liquefator.
- Girar o recipiente de água de tal maneira, para que o canto alto indique para a parede traseira.

- Alçar o recipiente de água, inclinar-lo para a parede traseira e pendurar-lo na chapa de suporte.

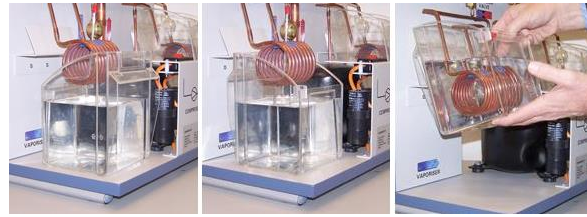


Fig. 3 Colocação do recipiente de água na bomba de calor
esquerda: o recipiente de água com o canto baixo para a bomba de calor
centro: o recipiente de água virado, indicando com o canto baixo para frente
direita: o recipiente de água é pendurado na chapa de suporte

6.2 Operação

- Deixar a bomba de calor parada verticalmente por pelo menos 7 horas, antes de operá-la, em caso que ela for virada.
- Para começar a operação encher os dois recipientes de água e conectar a bomba de calor a rede elétrica.
- Ligar o compressor.

Indicação: o medidor de energia também funciona com o compressor desligado.

7. Processo circular da bomba de calor

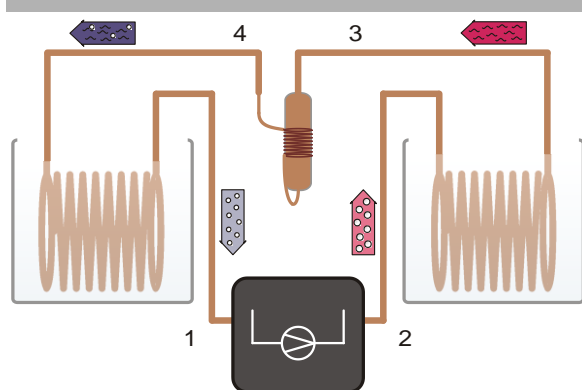


Fig. 4 Representação esquemática da bomba de calor com compressor (1→2), Liquefator (2→3), válvula de expansão (3→4) e vaporizador (4→1)

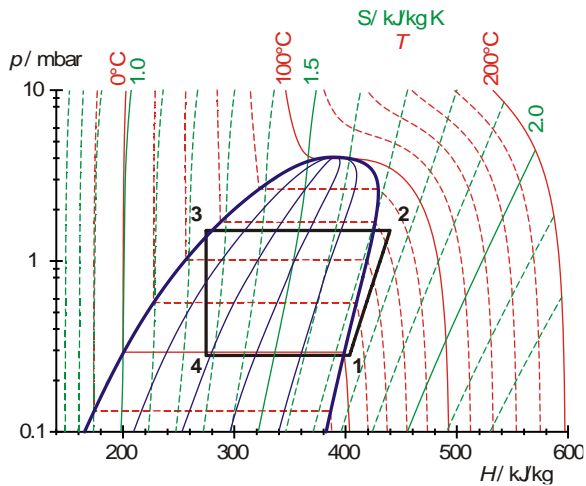


Fig. 5 Representação do processo circular idealizado da bomba de calor no diagrama de Mollier (ver secção 8.2)

O processo circular da bomba de calor idealizado é subdividido em quatro passos: compressão (1→2), liquidação (2→3), expansão estrangulada (3→4) e vaporização (4→1).

Compressão:

O meio de trabalho gasoso é aspirado pelo compressor, sem modificação de entropia ($s_1 = s_2$) comprimido de p_1 para p_2 e nisso é sobre aquecido. A temperatura sobe de T_1 para T_2 . O trabalho mecânico de compressão por cada unidade de massa é $\Delta w = h_2 - h_1$.

Liquidificação:

No liquefator o meio de trabalho resfria fortemente e condensa. O calor liberado (Calor de sobreaquecimento e calor de condensação) aquece o reservatório em volta para a temperatura T_2 . Ela monta por unidade de massa a $\Delta q_2 = h_2 - h_3$.

Expansão estrangulada:

O meio de trabalho condensado chega à válvula de expansão, para ali ser estrangulado (quer dizer, sem trabalho mecânico) para ser expandido a uma baixa pressão. Nisso a temperatura também diminui, porque o trabalho contra as forças moleculares de atração tem que ser realizado no meio de trabalho (Efeito de Joule-Thomson). A entalpia mantém-se constante ($h_4 = h_3$).

Vaporização:

No vaporizador o meio de trabalho vaporiza completamente com a recepção de calor. Isto leva ao resfriamento do reservatório em volta para a temperatura T_1 . O calor recebido por unidade de massa é $\Delta q_1 = h_1 - h_4$.

O meio de trabalho vaporizado é aspirado outra vez pelo compressor para uma nova compressão.

Orientação:

O refrigerante expandido evapora e retira calor do reservatório esquerdo.

Sob condições ideais, o sistema de tubulação transporta refrigerante gasoso puro do evaporador através do visor de líquido para o compressor.

À medida que a temperatura da água diminui, a absorção de calor através da serpentina do evaporador diminui e, como resultado, as gotas de refrigerante podem tornar-se visíveis no visor esquerdo.

Isto não tem praticamente nenhuma influência na função da bomba de calor, mas deve ser reduzido ao mínimo através da circulação constante da água.

Para a determinação do coeficiente de desempenho, deve ser utilizada uma janela de temperatura limitada:

Temperatura inicial aprox. 20°C a 25°C, temperatura final no reservatório esquerdo aprox. 10° a 12°C.

8. Exemplos de experiências

8.1 Rendimento do compressor

O rendimento η_{co} do compressor resulta da relação do volume de calor ΔQ_2 , que é fornecida ao reservatório de água quente por cada unidade de tempo Δt , para o rendimento de impulso P do compressor. Ele diminui com a diferença crescente da temperatura entre o liquefator e o vaporizador.

$$\eta_{co} = \frac{\Delta Q_2}{P \cdot \Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta T_2}{P \cdot \Delta t}$$

c = capacidade específica de calor da água e m = massa da água.

Para a determinação do rendimento:

- Ligar a bomba de calor à rede elétrica.
- Encher cada um dos recipientes de água com 2000 ml de água e encaixá-lo na chapa de suporte.
- Ligar o compressor e deixá-lo funcionar por aprox. 10 min., para que atinja a temperatura de operação.
- Renovar a água e encaixar os sensores de temperatura nos recipientes de água.
- Durante toda a experiência sempre mexer bem a água dos recipientes.
- Medir e anotar as temperaturas iniciais de ambos os recipientes.
- Para a medição do tempo, pressionar a tecla RESET no aparelho de medição de energia e, ao soltar, ligar o compressor.

- Em intervalos fixos de tempo ler e anotar a duração de operação, o rendimento atual recebida e as temperaturas nos dois recipientes de água.

Orientação: após o desligamento automático do compressor por meio do interruptor de segurança contra sobrepressão, ler o tempo e, em nova partida, prosseguir com a medição do tempo.

8.2 Representação no diagrama de Mollier

O processo circular idealizado pode-se determinar no diagrama de Mollier através das pressões $p(3)$ e $p(4)$ antes e após da válvula de expansão e a temperatura $T(1)$ antes do compressor:

$T(1)$ e $p(4)$ fixam o ponto 1 no diagrama de Mollier (ver Fig. 5). O ponto de cruzamento das isentrópicas correspondentes com as horizontais $p(3) = \text{constante}$ resulta no ponto 2. O ponto de cruzamento das horizontais com a linha de ebulição leva ao ponto 3 e a perpendicular sobre a horizontal $p(4) = \text{constante}$ para o ponto 4.

As medições adicionais das temperaturas $T(2)$, $T(3)$, e $T(4)$ dão uma idéia amplificada sobre os processos decorrendo na bomba de calor:

Assim coincide a temperatura $T(4)$ medida externamente, dentro da precisão de medição, com a temperatura lida na escala de temperatura do manômetro correspondente. Esta escala de temperatura se baseia sobre a curva de pressão de vapor do meio de trabalho. Portanto a medição indica que o meio de trabalho atrás da válvula de expansão é uma mistura de líquido e gás.

A temperatura medida externamente $T(3)$ desvia-se em comparação com a temperatura lida do lado de alta pressão do manômetro. Aqui o meio de trabalho não contém nenhuma parte gasosa, senão é completamente líquida.

Para a medição externa de temperatura é recomendável (ver 4. acessórios):

Sensor de temperatura NTC
com prendedor de medição 1021797
VinciLab 1021477
Licença Coach 7

8.3 Grandeza de rendimento teórico

A grandeza teórica de rendimento do processo circular idealizado pode-se calcular das entalpias específicas h_1 , h_2 e h_3 obtidas do diagrama de Mollier:

$$\eta_{th} = \frac{\Delta q_2}{\Delta w} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

8.4 Fluxo de massa do meio de trabalho

Se as entalpias h_2 e h_3 do processo circular idealizado, assim como o volume de calor ΔQ_2 transferido ao reservatório de água quente por cada intervalo de tempo Δt , são determinados, pode-se estimar o fluxo de massa do meio de trabalho.

$$\frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\Delta Q_2}{\Delta t} \cdot \frac{1}{h_2 - h_3}$$

9. Medidor de energia



Fig. 6 Medidor de energia

Tecla	Função
Tecla Redefinir RESET	Pressionar com objeto pontiagudo para deletar todos os dados armazenados, incluindo hora e programações
Tecla para cima UP	Ajustar hora, preço e programas de preço juntamente com a tecla de ajuste SET
Tecla de ajuste SET	Ajustar hora, preço e programas de preço juntamente com a tecla para cima UP
Tecla de função FUNC	Alterar modo de indicação

Ajuste da hora:

- Pressionar a tecla FUNC até que apareça CLOCK na parte inferior direita da tela.
- Pressionar a tecla SET até que as horas comecem a piscar. Ajustar as horas com a tecla UP e confirmar com SET. Então, ajustar os minutos da mesma forma.

Mostrar funções de medição:

- Pressionar respectivamente a tecla FUNC rapidamente para mostrar as informações a seguir: consumo de corrente, potência, consumo.

10. Diagrama de Mollier

Para a representação do processo circular de uma bomba de calor por compressão utiliza-se freqüentemente o diagrama de Mollier do meio de trabalho. Nele é anotada a pressão p contra a entalpia específica h do meio de trabalho (a entalpia é uma medida do conteúdo de calor do meio de trabalho, assim em geral ela incrementa com a pressão crescente e com o aumento da parte gasosa).

Fora disso, são indicados os isotérmicos ($T = \text{constante}$) e isentrópicos ($S = \text{constante}$), assim como a parte relativa de massa da fase líquida do meio de trabalho. Na esquerda da assim chamada linha de ebulição o meio de trabalho está completamente condensado. Na direita da assim chamada linha de degelo encontra-se o meio de trabalho como vapor superaquecido e por dentro das duas linhas como mistura de líquido-gás. Ambas as linhas cruzam-se no ponto crítico.

Ver Fig.7 na página 8.

11. Trocar a bateria

- Remover a tampa traseira do termômetro e remova as duas baterias planas.
- Substitua as baterias. Atentar para a polaridade correta.
- Fechar a tampa novamente.
- Em caso de armazenamento prolongado também retirar as baterias.
- Não dispor das baterias descarregadas no lixo caseiro. Devem ser observados os regulamentos legais vigentes (EU: 2006/66/EG).

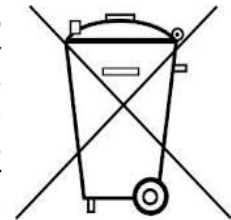
12. Armazenagem, cuidados e manutenção

A bomba de calor é livre de manutenção.

- Armazenar a bomba de calor em local limpo, seco e livre de pó.
- Antes da limpeza separar o aparelho da fonte de alimentação.
- Para a limpeza utilizar um pano suave e úmido.

13. Eliminação

- Para eventuais consertos, devolução, etc., a bomba de calor precisa ser enviada na posição vertical na caixa original sobre o pálete descartável. Por isto, não descartar a caixa original nem o pálete descartável.
- Em caso que o próprio aparelho deva ser descartado, então este não pertence ao lixo doméstico normal. É necessário cumprir com a regulamentação local para a eliminação de descarte eletrônico.
- Não dispor das baterias descarregadas no lixo caseiro. Devem ser observados os regulamentos legais vigentes (EU: 2006/66/EG).



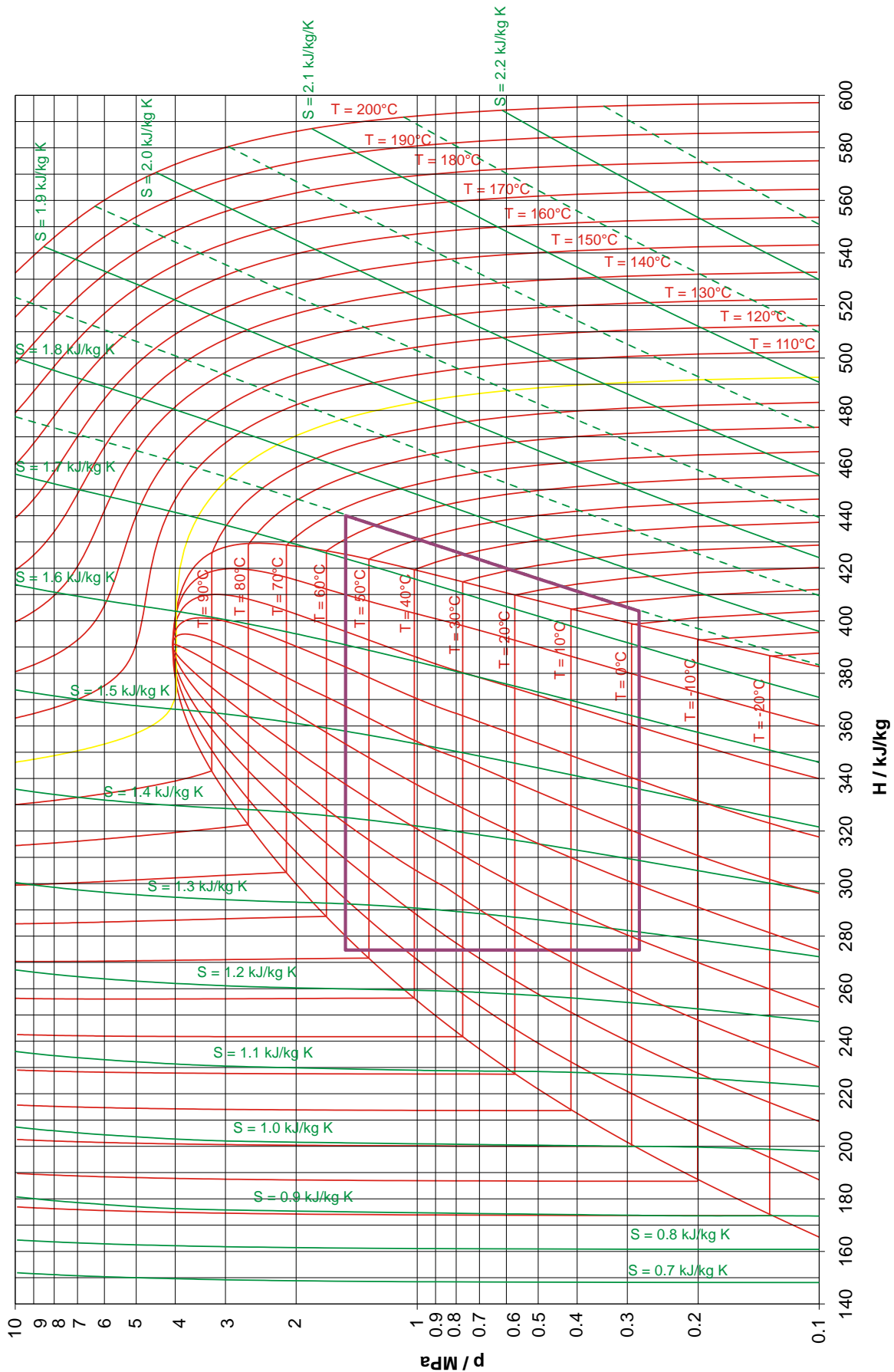


Fig. 7 Diagrama de Mollier