

application note



Intuitionsbasierter wissenschaftlicher Ansatz

WO

Im Labor durchgeführte Tests

- Carter Retail Equipment (UK)

Auf dem Feld durchgeführte Tests

- Eurospar-Supermarkt in X (ITA)

WAS

Vergleich zwischen Proportionalventilen und PWM-Ventilen:

- Qualität der Regelung
- Energieeinsparung

WARUM

- Für eine quantitative und qualitative Gegenüberstellung der verschiedenen Regelungsmerkmale der beiden Drosselorgane mit praktischen Nachweisen in Realanlagen und im Labor

E²V und PWM:

Vergleich zwischen proportionalen Expansionsventilen und Impulsventilen

Das Expansionsventil wird in der Gewerbekälte zur Versorgung des Verdampfers von Kühlmöbeln und Kühlräumen eingesetzt.

Das Drosselorgan hat die Aufgabe, für die korrekte Überhitzung am Verdampferauslass zu sorgen.

Auch rein intuitionsmäßig dürfte sich eine präzisere Regelung vorteilhaft auf den Energieverbrauch, auf die Regelungsqualität und auf die Stabilität/Sicherheit des gesamten Kältekreislaufes auswirken.

Geleitet von dieser Intuition hat CAREL auf wissenschaftlicher Basis eine Reihe von Fakten und zweckdienlichen Überlegungen gesammelt, die zum Verständnis der realen positiven Wirkungen einer Proportionalregelung gegenüber der Pulsweitenmodulation beitragen sollten.

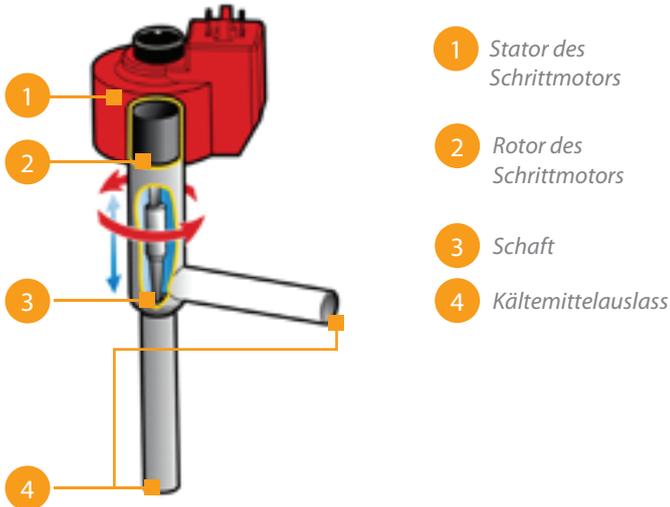
In diesem Dokument werden die in unseren Labors erzielten Ergebnisse an Realanlagen vorgestellt, die durch einige, auch unabhängig von Drittkörperschaften durchgeführte Prüfungen untermauert wurden.



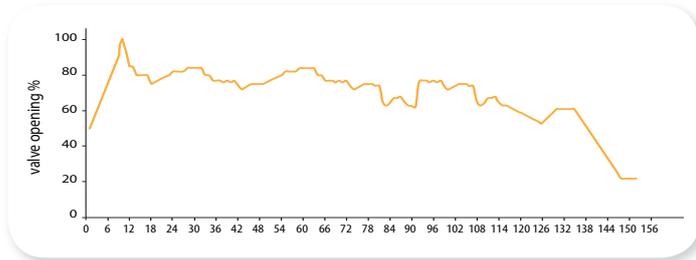
E²V-Schrittventil

Stufenlose Leistungsregelung

- Der Treiber des elektronischen Ventils liefert dem Stator ein Niederspannungssignal, um den Rotor im Uhrzeigersinn und entgegen dem Uhrzeigersinn zu drehen.
- Der interne Mechanismus wandelt die Drehbewegung in eine Axialverschiebung des Schaftes um.
- Die Position des Schaftes verändert den Kältemitteldurchflussbereich.
- Der Kältemittelfluss wird präzise und stufenlos geregelt.



- 1 Stator des Schrittmotors
- 2 Rotor des Schrittmotors
- 3 Schaft
- 4 Kältemittelauslass

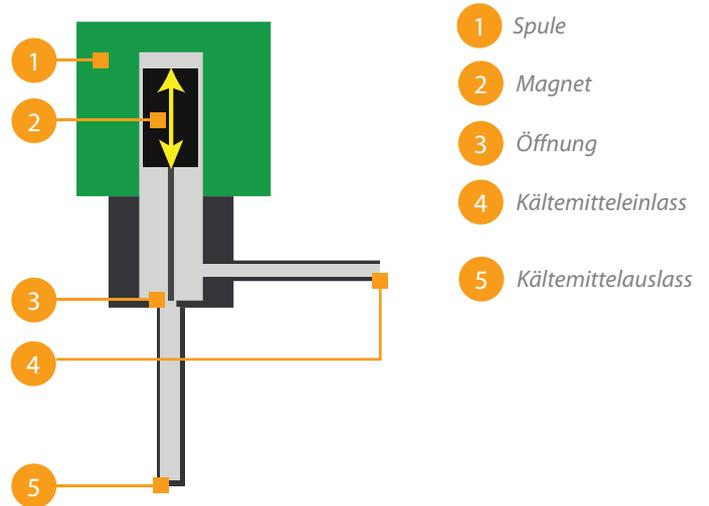


Schema des Funktionsprinzips eines allgemeinen proportionalen Expansionsventils. Der Vorteil der proportionalen E²V-Ventile von CAREL liegt in der reinen Axialbewegung anstelle der Drehbewegung des Regelschaftes. Das Schrittmotorventil regelt den Kältemittelfluss präzise und stufenlos in Abhängigkeit der Anlagenanforderungen.

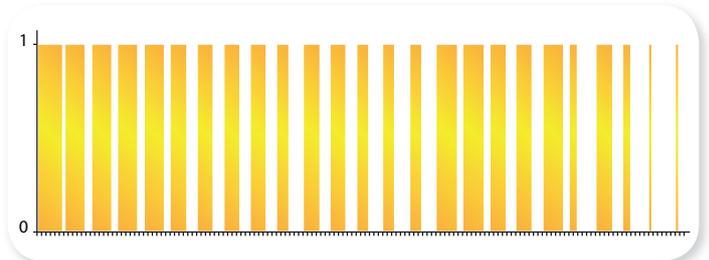
PWM-Ventil (Pulsweitenmodulation)

Impulsfluss-Modulation

- Der Treiber liefert der Spule ein Spannungssignal und moduliert die Impulsdauer (Sekunden).
- Der Magnet bewegt sich in Abhängigkeit des Anregungszustandes der Spule.
- Die mit dem Magnet gekoppelte Reglerklappe öffnet oder schließt den Durchlass komplett.
- Die Modulation eines "mittleren Flusses" erfolgt anhand der Regelung der Öffnungs- und Schließperioden.



- 1 Spule
- 2 Magnet
- 3 Öffnung
- 4 Kältemittleinlass
- 5 Kältemittelauslass



Schema des Funktionsprinzips eines allgemeinen PWM-Expansionsventils. Ein PWM-Ventil kann nur eine Variation des "mittleren Flusses" in einem Zeitfenster von einigen Sekunden erzielen. Der Ist-Fluss beträgt nur 100% oder 0%.

Vorteile der Proportionalregelung



Stabilere Überhitzungsregelung: Betrieb mit niedrigeren Sollwerten und Erzielung einer besseren Verdampferleistung. Dies führt zu einem möglichen höheren Verdampfungsdruck und folglich zur Reduzierung der Verdichtungsenergie.



Breiterer Regelungsbereich: Ein proportionales EEV-Ventil wirkt den Verflüssigungs- und Verdampfungsdruckänderungen besser entgegen und passt sich an Laständerungen an. Dasselbe Ventil kann in Anlagen mit unterschiedlichen Kapazitäten und Kältemitteln arbeiten und den Wahl- und Austauschprozess weniger kritisch gestalten.



Weniger Vibrationen in den Leitungen: Ein PWM-Ventil kann in den Leitungen und im Kältemittelfluss Vibrationen bewirken, welche die Anlagen beschädigen oder beeinträchtigen, oder die zum Einbau von dickeren Rohrleitungen mit höheren Kosten auch aufgrund der spezifischen Verankerungen zwingen könnten.



Keine Geräusentwicklung in der Anlage: Im Unterschied zu den PWM-Ventilen kommt es im Normalbetrieb zu keiner Geräusentwicklung.



Niedrige Arbeitsspannungen: Verminderter Wartungsaufwand und reduzierte Vorkehrungen gegen die Vereisung.

Labortests

Carter Retail Equipment hat diverse Labortests durchgeführt, um ein E²V18-Proportionalventil von CAREL mit einem PWM-Ventil zu vergleichen.

Die Tests wurden in Verwendung eines Kühlmöbels im mittleren Plusbereich durchgeführt. Dieses wurde so umgestaltet, dass die Drosselung in den beiden Ventilen abwechselnd erfolgte: Beim Betrieb eines Ventils wurde die Leitung des anderen anhand eines Magnetventils ausgeschlossen. Auf diese Weise konnten jeweils dieselben Testbedingungen gewährleistet werden.

Der Zweck der Prüfungen bestand in der Messung des Entnahmefaktors bei gleicher Produkttemperatur. Dieser entspricht der Kühlleistung, die erforderlich ist, um dieselbe Wirkung auf das auf niedriger Temperatur zu konservierende Produkt zu erzielen, bzw. der Kältemittelmenge, die zur Erlangung derselben Kühlleistung nötig ist. Das Kühlmöbel wurde abwechselnd alle 24 Stunden mit dem Proportionalventil bzw. dem PWM-Ventil betrieben. Der Kältemitteldurchfluss wurde mit einem Coriolis-Durchflussmesser gemessen.

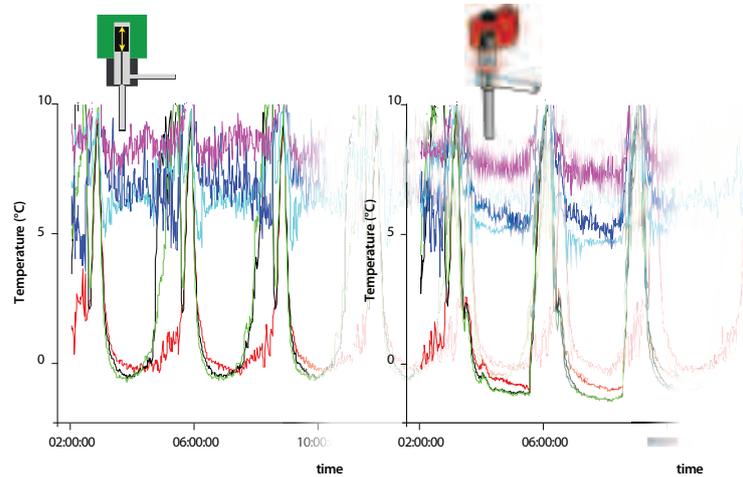


Für die Labortests von CARTER Refrigeration verwendetes Kühlmöbel

Eisbildung

Aus den Aufzeichnungen geht ein unterschiedliches Verhalten der Lufttemperaturen hervor, was auch auf eine wahrscheinlich andere Eisbildung auf dem Kühlregister zurückzuführen ist.

Während des Proportionalventil-Betriebs sind keine besonderen Abweichungen oder Anstiege der Regeltemperaturen oder Erhöhungen der Abtauzeiten zu erkennen.

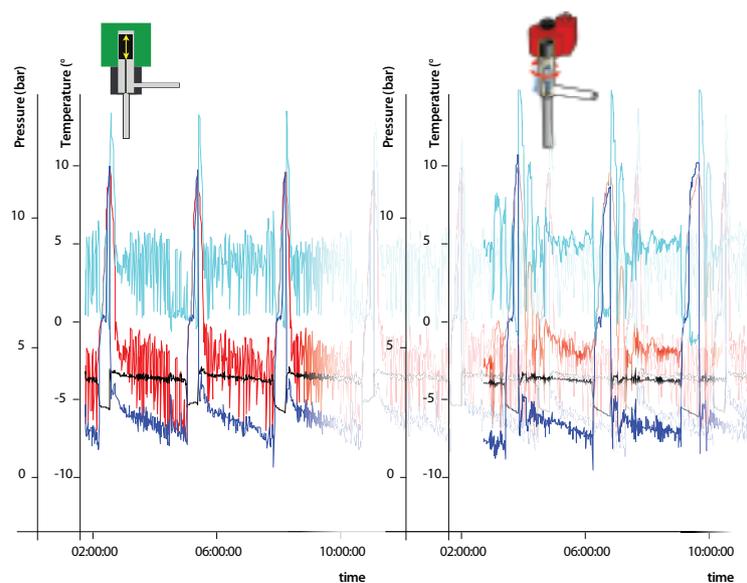


■ Air off left	■ Air off center	■ Air off right
■ Air on left	■ Air on center	■ Air on right

Stabile Überhitzungsregelung

Das Proportionalventil hält die Überhitzung stabil und relativ schwankungsfrei.

Dies ist auf den stabilen Kältemittelfluss zurückzuführen und bringt eine gute und effiziente Kühlmöbeltemperaturregelung mit sich.

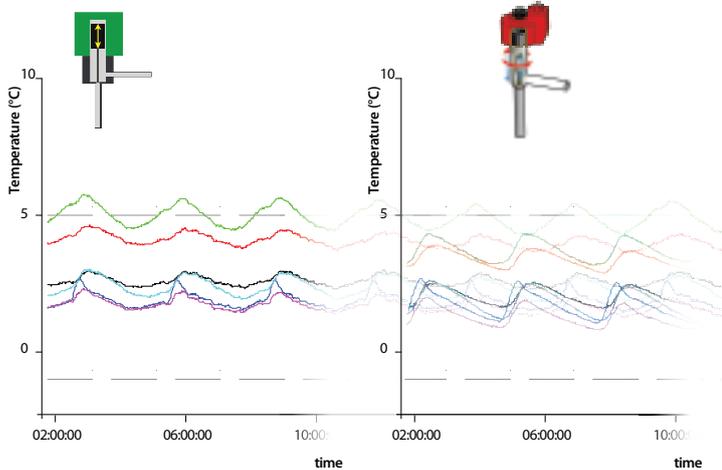


■ suction temperature	■ suction pressure
■ superheat	■ evaporator temperature



Produktkonservierungstemperatur

Dem Diagramm zufolge halten sich die mittleren Temperaturen der Kühlmöbelprodukte während der Proportionalregelung im optimalen Regelungsbereich.



■	Air off left	■	Air off center	■	Air off right
■	Air on left	■	Air on center	■	Air on right

Analyse der Ergebnisse

Descrizione	PWM	CAREL E2V-18
Maximale Produkttemperatur	6,2 °C	6,4 °C
Entnahmeverhältnis	2,59 kW	2,34 kW
Verdampfungstemperatur	-6,6 °C	-6,7 °C
Verbrauch (100%= PWM)	100%	90%
Energieeinsparung mit E ² V	10%	

Diese Labortests bestätigen unter den gegebenen Bedingungen einen höheren Wirkungsgrad der Proportionalventile im Vergleich zu den PWM-Ventilen.

Sie liefern außerdem interessante Überlegungsanstöße zur Art der Steuerung, zur Qualität der Regelung und zur Qualität der Lebensmittelkonservierung.

Feldtests

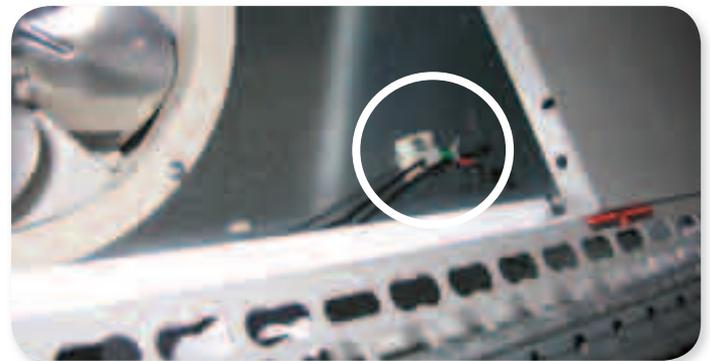
Zur Bewertung der unterschiedlichen Verhaltensweisen des CAREL-E²V-Ventils und eines PWM-Ventils wurde ein Supermarkt mit einer "Doppeltechnologie"-Anlage ausgerüstet.

Die ASPIAG-Verkaufsstelle in Azzano X (italienische Provinz PN) erstreckt sich über eine Fläche von 1.500 m² und hat eine installierte Nutzleistung von 100 kW im mittleren Plusbereich sowie von 50 kW im Tiefkühlbereich. Der Supermarkt arbeitet mit 21 Kühlstellen im mittleren Plusbereich und mit 13 Tiefkühlstellen.

Für die Tests wurde die verwendeten Expansionsventile bei gleichen Außen- und Innenbedingungen der Verkaufsstelle täglich abgewechselt.



Parallelinstallation der E²V- und PWM-Ventile



Alle Fühler wurden zur Messung desselben Temperatur- und Druckwertes dupliziert



Der Schaltschrank wurde so umdisponiert, dass eine Umschaltung von der PWM- auf die E²V-Technologie manuell oder über den PlantVisorPRO-Supervisor erfolgen konnte

Zur Erlangung von perfekt vergleichbaren Ergebnissen wurde der Leitungsabschnitt mit dem installierten Expansionsventil dupliziert. Zwei über den PlantVisor-PRO-Supervisor ansteuerbare Magnetventile schlossen für die Umschaltung der Expansionstechnologie abwechselnd einen der beiden Leitungsabschnitte aus. In jedem Kühlmöbel wurden die Fühler für jede der beiden Steuerungen sehr nahe aneinander installiert, um mögliche Messinkongruenzen zu vermeiden. In jedem Kühlmöbel waren die folgenden Fühlerpaare vorhanden:

- Zulufttemperatur
- Ablufttemperatur
- Abtautemperatur
- Saugdruck
- Saugtemperatur.

Prüfmethode

Die Prüfmethode zielte auf die Erlangung von vergleichbaren Daten ab. Alle Ventilsteuerungsparameter wurden kohärent eingestellt (Sollwert, Alarmer, Abtaungen), um einen Betrieb unter gleichen Bedingungen zu garantieren.

Die Regelparameter der Kälteanlagen wurden während des Betriebs mit den beiden Technologien identisch beibehalten.

Die Technologieumschaltung fand im 24-Stunden-Intervall statt, um so weit wie möglich ähnliche Klimabedingungen zu gewährleisten.

Die Messproben wurden alle 5 Minuten entnommen.

Eurospar-Supermarkt (ASPIAG) in Azzano X

Anlagendaten

- Oberfläche: 1.500 m²
- Kühlmöbel im mittleren Plusbereich: 15
- Tiefkühlmöbel: 11
- Kühlräume im mittleren Plusbereich: 6
- Tiefkühlräume: 2

Verbundkälteanlage im mittleren Plusbereich:

- 3 Verdichter insgesamt
- 1 drehzahlgesteuerter Verdichter (35 – 100%)
- Gesamtleistung 100 kW
- Verflüssigungsregister mit 6 drehzahlgesteuerten Ventilatoren

Tiefkühlverbundanlage:

- 3 Verdichter insgesamt
- 1 drehzahlgesteuerter Verdichter (35 – 100%)
- Gesamtleistung 50 kW
- Wärmetauscher für Unterkühlung
- Verflüssigungsregister mit 4 drehzahlgesteuerten Ventilatoren

CAREL-Steuerungen

Verbundkälteanlagen: pRack pR100

Kühlmöbel/Kühlräume: MPXPRO step3

Expansionsventile: E²V

Supervisor: PlantVisorPRO Touch Hyper



Prüfmethode

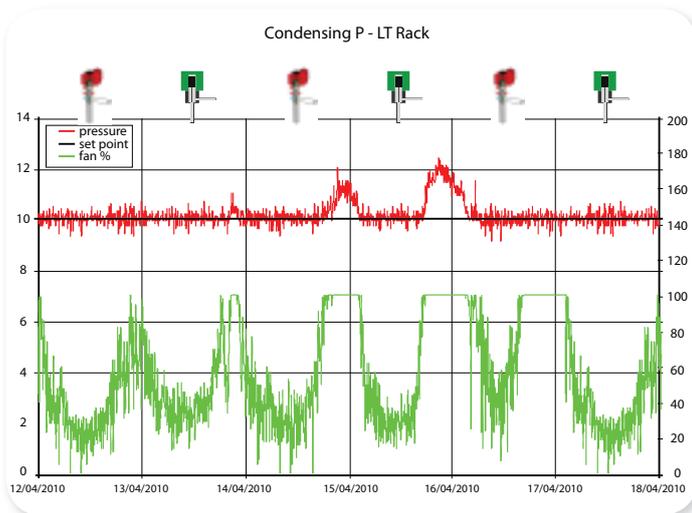
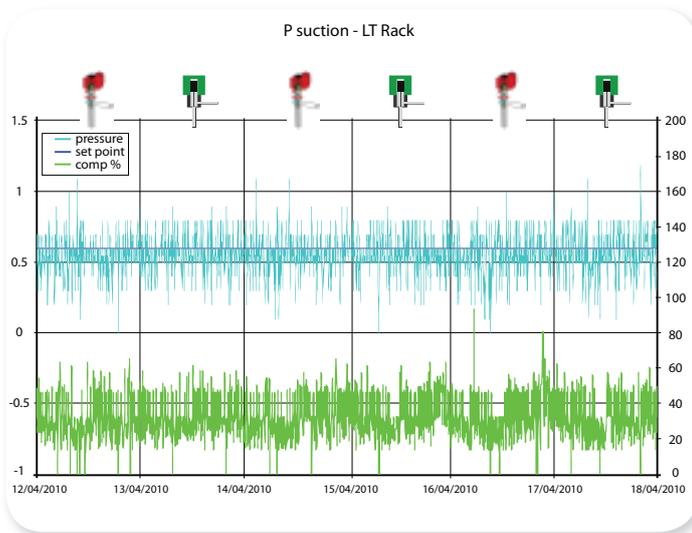
Die Tests im Supermarkt von Azzano X erstreckten sich insgesamt über zehn Monate, einige davon dienten dem Vergleich zwischen dem E²V-Ventil und dem PWM-Ventil.

Die hier angeführten Diagramme beziehen sich auf Prüfungen an einigen Tagen, an denen praktisch konstante Klimabedingungen herrschten.

Vergleichbare Testbedingungen

Wie aus dem Diagramm hervorgeht, waren die Druckbedingungen an den PWM- und E²V-Betriebstagen praktisch identisch.

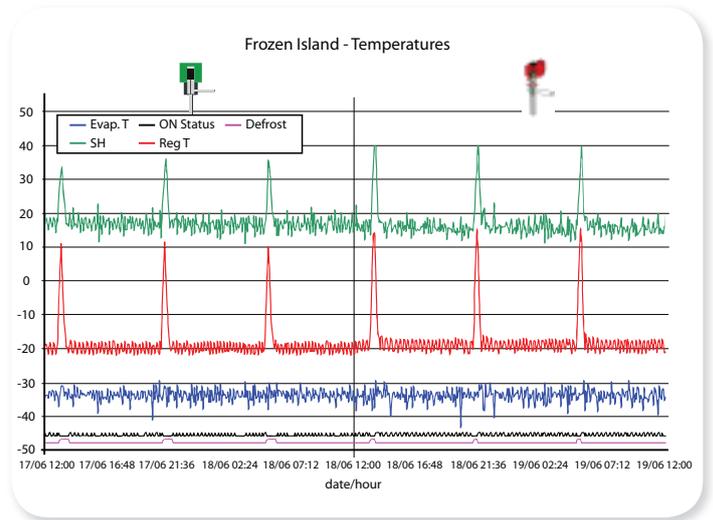
Der Verlauf der Verdichter- und Ventilatorenleistungen war an diesen Tagen ebenso stabil.



Parameter

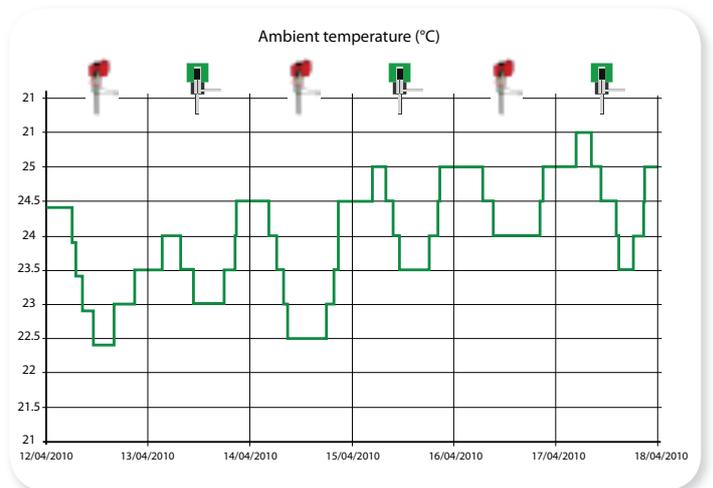
Das nachstehende Diagramm zeigt auf, dass die Zuluft- und Überhitzungssollwerte des Kühlmöbels in den E²V- und PWM-Ventilsteuerungen auf identischen Werten gehalten wurden.

Zu beobachten ist auch, dass die Abtauzeiten der beiden Technologien unverändert waren.



Raumtemperatur

Auch die durchschnittliche Temperatur blieb im untersuchten Zeitintervall nahezu konstant.



Prüfergebnisse

Zur Erlangung von vergleichbaren Daten wurden nur jene Zeitperioden ausgewertet, in denen die Außentemperatur ausreichend stabil war. Es wurden auch die Daten jener Zeiträume ausgesondert, in denen andere Tests durchgeführt wurden (siehe Success story Azzano X).

Die Datenanalyse bestätigt also allgemein die von Carter Refrigeration im Labor erzielten Resultate.

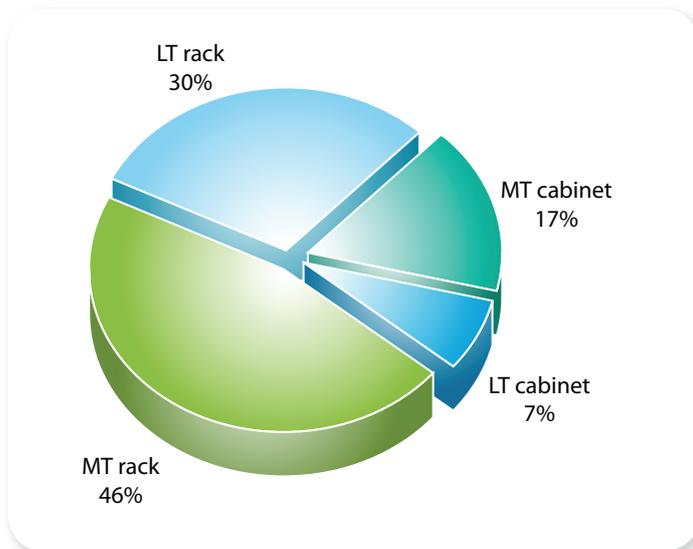
Eine präzisere und stufenlose Durchflussregelung in den Verdampfern reduziert die Ineffizienzen und erfordert eine geringere Kältemittelmenge bei gleicher Kühlleistung.

Die Präzision und Kontinuität in der Durchflussregelung führen in der getesteten Anlage außerdem zu einer wirksameren Verwendung des Kältemittels mit Energieeinsparquoten von 5%.

Dies wirkt sich direkt auf den Stromverbrauch der Verbundkälteanlagen aus, wie das Tortendiagramm zeigt.

Gesamtleistungsaufnahme der Anlage / Betriebsstunden		Energieeinsparung
E ² V	PWM	
33,5 kW	35,1 kW	-4,5%

4,5% energy saving: distribution



Schlussfolgerungen

Die Labortests (Carter Refrigeration) und Feldtests (Interspar Azzano X) lassen schlussfolgern, dass auch in der Gewerbekälte ein Proportionalventil dem PWM-Ventil allgemein vorzuziehen ist.

Neben den Vorteilen des breiteren Regelungsbereiches, der minderen Geräuschentwicklung und der besseren Überhitzungsregelung lässt sich auch eine Energieeinsparung erzielen, die in den hier analysierten Prüfungen quantifiziert wurde.

Das PWM-Ventil ist nicht imstande, in jedem Moment den Kältemitteldurchfluss zu garantieren, den die Kühlstelle benötigt, um den korrekten Überhitzungswert beizubehalten, was wahrscheinlich auf den Impulsbetrieb der Modulation zurückzuführen ist.

Dies führt wiederum zu einem höheren Entnahmefaktor, das heißt zu einem größeren Bedarf an Kältemittel für die Erzeugung der Kühlleistung. Das E²V-Ventil regelt den Kältemitteldurchfluss dagegen in jedem Moment stufenlos.



retail sistema-Lösungen von CAREL für die proportionale Überhitzungsregelung

Die CAREL-Technologie der Proportionalexpansion ist mit der neuen Generation der Steuerungen und Ventile verwendbar, die auch in ihrer Einsatzfähigkeit verfeinert wurde.

MPXPRO STEP3 mit Ultracap-Technologie

Stufenlose Regelung jetzt auch in der Gewerbekälte ohne den Bedarf von Magnetventilen oder einer externen Spannungsversorgung.



EVD EVO

Das Potenzial der stufenlosen Regelung auch in einer unabhängigen Lösung.



E²V SMART

Die neue Generation der E²V-Proportionalventile bis zu 40 kW, die für eine einfachere Installation und Wartung inspizierbar sind, jetzt auch mit Schauglas und internem mechanischem Filter.



EXV sistema-Simulator

Für eine praktische Vorführung der Unterschiede in den Regelungstechniken. An unseren Messeständen oder in Ihrer nächst gelegenen CAREL-Filiale.

Der Simulator ist ein einfacher Kältekreislauf mit transparenten Wärmetauschern und drei verschiedenen Expansionsventilen: E²V-Ventil, PWM-Ventil und mechanisches Thermostatventil. Die Arbeit der verschiedenen Ventile und deren Auswirkungen auf die Überhitzung und den Anlagenbetrieb kann also "greifbar" sowohl direkt in den transparenten Wärmetauschern als auch am Bildschirm beobachtet werden.



Headquarters ITALY

CAREL INDUSTRIES HQs
Via dell'Industria, 11
35020 Brugine - Padova (Italy)
Tel. (+39) 0499 716611
Fax (+39) 0499 716600
carel@carel.com

Sales organization

CAREL Asia - www.carel.com
CAREL Australia - www.carel.com.au
CAREL China - www.carel-china.com
CAREL Deutschland - www.carel.de
CAREL France - www.carelfrence.fr
CAREL Iberica - www.carel.es
CAREL India - www.carel.in

Affiliates

CAREL HVAC/R Korea - www.carel.com
CAREL Russia - www.carelrussia.com
CAREL South Africa - www.carelcontrols.co.za
CAREL Sud America - www.carel.com.br
CAREL U.K. - www.careluk.co.uk
CAREL U.S.A. - www.carelusa.com

CAREL Czech & Slovakia - www.carel-cz.cz
CAREL Korea (for retail market) - www.carel.co.kr
CAREL Ireland - www.carel.com
CAREL Thailand - www.carel.co.th
CAREL Turkey - www.carel.com.tr