

Trockenkühler kombiniert mit Verdunstungskühlsystem

Neuentwicklung zur Verringerung des Energieverbrauchs

S. Filippini, U. Merlo,
LU-VE Group,
I-Uboldo

In Kälte/Klima- und Energie-Prozesskreisläufen wird häufig Luft als Medium für die Verflüssigung bzw. Kühlung eingesetzt. Auch wenn Luft weitestgehend unbegrenzt zur Verfügung steht, so hat deren Nutzung doch auch einige Nachteile: Große Temperaturschwankungen, niedrige Wärmetauschkoeffizienten, die Notwendigkeit großer Wärmetauscherflächen und auch großer Luftmengen. Um diese Nachteile zu eliminieren, hat LU-VE den „Emeritus“ entwickelt. Die Neuentwicklung vereint einen ventilatorbestückten Trockenkühler kombiniert mit zwei sequentiell betriebenen Verdunstungskühlsystemen. Dieser Artikel beschreibt das Funktionsprinzip des neuen Kühlers und beschreibt eine Fallstudie, in der Wasserkühlsysteme herkömmlicher Art mit einem System mit „Emeritus“-Rückkühlung verglichen werden.

Viele Prozesse, vornehmlich alle geschlossenen thermodynamischen Prozesse und auch viele industrielle Prozesse benötigen den Austausch von Wärme über eine Wärmesenke über die Umgebungsluft. Findet der Prozess bei niedrigen Umgebungstemperaturen statt, hat dieser naturgemäß den günstigsten Energieverbrauch. Besonders zutreffend ist dies für die Kondensation von Kältemitteln im Kältekreislauf und für Stromerzeugungsanlagen: Im ersten Fall wird der EER verbessert, im zweiten Fall wird der Prozesswirkungsgrad verbessert. Die beste Wärmesenke für diesen Prozess ist sicher Wasser aufgrund seiner hervorragenden Wärmeübertragungseigenschaften und der Verfügbarkeit mit in der Regel niedrigen

Temperaturen über das gesamte Jahr gesehen. Aus diesem Grund sind die meisten großen Kraftwerke in der Nähe von Flüssen, Seen oder in Meeresnähe angesiedelt, und wo es technisch möglich ist, wird Grundwasser zur Kühlung eingesetzt. Allerdings wird zunehmend, wenn die erforderlichen Wassermengen nicht zur Verfügung stehen, auch Umgebungsluft zur Kühlung eingesetzt. Bei einigen Prozessen kann das Medium direkt rückgekühlt werden. Hier sprechen wir von Direktverflüssigern. In anderen Fällen ist es angebracht, ein Zwischenmedium einzusetzen (Wasser/Sole); hier sprechen wir von Trockenkühlern. Trotz des Nachteils von zwei Wärmeübergängen haben Trockenkühler auch verschiedene Vorteile: Es bietet sich die Möglichkeit zu freier Kühlung in Klimasystemen an wie auch die Verringerung des Kältemittelinhalts von Kältekreisläufen. Auch können mit einem Kühlwassersystem mehrere Kälteaggregate versorgt werden, sogar mit unterschiedlichen Kältemitteln wie auch die einfache Nutzung des Kühlwassersystems auch bei Teillast der Kälteaggregate. Während Umgebungsluft den großen Vorteil der nahezu unbegrenzten Verfügbarkeit bietet, so hat diese doch auch einige Nachteile, wie folgt dargestellt:

- > Erhebliche Temperaturunterschiede sowohl im Tagesverlauf als auch im Jahresverlauf.
- > Niedrige Wärmetauschkoeffizienten verglichen mit denen von Flüssigkeiten, insbesondere Wasser.

> Geringere Dichte, was bedeutet hohe Luftmengen zu fördern.

Die Konsequenzen dieser Eigenschaften sind vielfältig und führen zu dem Umstand, dass, zumindest über einen bestimmten Zeitraum des Jahres, hohe Wärmetauschartemperaturen zu akzeptieren sind und große Wärmetauscherflächen erforderlich sind und große Luftmengen zu bewegen sind. Die Energieeffizienz des Prozesses ist ein Kompromiss bei gleichzeitiger Erhöhung des Platzbedarfs, der elektrischen Leistungsaufnahme der Ventilatoren, der Geräuschemission und des internen Volumens des benötigten Kühlmittelkreislaufs. Um diese Nachteile zu begrenzen, sind unterschiedliche Ansätze in der Entwicklung von modernen Trockenkühlern und Verflüssigern zu beobachten:

- a) Der Einsatz von zunehmend kompakter und effizienter Wärmetauscher-Matrizen durch die Entwicklung optimierter Lamellen (geprägt, geschlitzt) oder die Entwicklung zunehmend kleiner Rohrdurchmesser mit verbesserten Riffelrohrgeometrien.
- b) Der Einsatz von V-Kühlern, welche den Platzbedarf verringern.
- c) Der Einsatz von Ventilatoren mit verbesserter aerodynamischer Flügelgeometrie und zunehmend größerem Durchmesser mit Vorteilen im Bereich Effizienz und Geräuschminderung.
- d) Der Einsatz von elektronischen Motoren,

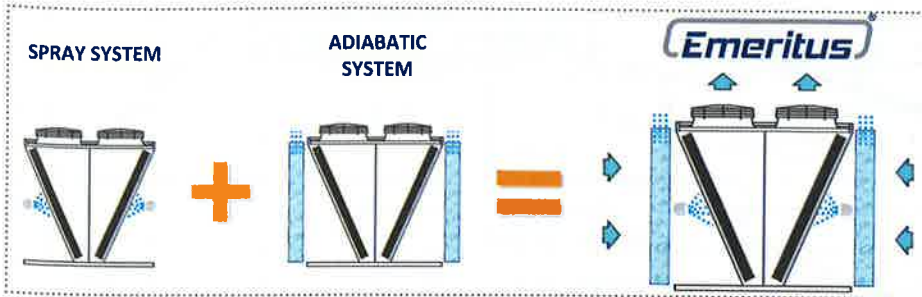


Abb. 1: Funktionsbild der „Emeritus“-Technologie: Sequentielle Verwendung von Wasser für Spray und Adiabatik

die einen hohen elektrischen Wirkungsgrad gewährleisten, auch im drehzahl-gesteuerten Betrieb und bei gleichzeitig hoher Leistung.
e) Der Einsatz von Diffusoren/Schalldämpfern, die bei gleicher Drehzahl die Effizienz erhöhen und den Schallpegel herabsetzen.

Möglichkeiten des Einsatzes von Wasser zur Verbesserung des Wärmetauschs

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten des Einsatzes von Wasser zur Verbesserung des Wärmetauschs von Verflüssigern und Trockenkühlern:

a) Die erste Möglichkeit besteht in der adiabatischen Abkühlung der Luft durch Befeuchten, bei welcher die relative Feuchte der Eintrittsluft angehoben wird, um die Lufttemperatur der eintretenden Luft abzusinken und die Temperaturdifferenz zum Medium zu erhöhen. Um den Prozess der Befeuchtung zu verbessern, wird die Luft durch eine Befeuchtermatte geleitet, die durch Wasseraufgabe von oben benetzt wird und in der die Luft durch eine wabenförmige Konstruktion geleitet wird, um eine

optimale Befeuchtung zu gewährleisten. Die Luft wird im Kreuzstrom durchgeleitet, was einen intensiven Kontakt zwischen Luft und Wasser herstellt. Ein großer Vorteil dieses Systems ist die Möglichkeit, unaufbereitetes Wasser zu verwenden ohne Einschränkung der Betriebszeiten für den Nassbetrieb. Ein weiterer Vorteil ist der einfache Aufbau des Systems und die geringen Kosten für die Befeuchtermatten.

b) Die zweite Möglichkeit besteht darin, Wasser direkt auf die gegen Beläge und Korrosion behandelte Wärmetauschoberfläche zu sprühen. In diesem Fall wird die Wärme durch die Verdunstung auf der Lamelle des Wärmetauschers transportiert, welche wiederum in der Folge die Wärme des Mediums aus den Rohren aufnehmen kann. Die Erfahrung zeigt, dass bei Verwendung von entmineralisiertem Wasser keine Einschränkungen der Nassbetriebszeit erforderlich sind, während bei Einsatz von enthärtetem Wasser die Betriebszeit im Nassbetrieb beschränkt werden muss. In beiden Fällen wird jeweils nur ein Teil des Wassers für den Wärmetauschprozess verwendet, während der andere Teil unge-

nutzt versprüht wird oder ggf. gesammelt und dem Prozess wieder zugeführt wird. In der hier vorgestellten Variante wird das unverdampfte Wasser aus dem Sprühsystem zurückgewonnen und für die Benetzung der Befeuchtermatten verwendet. Die von LU-VE entwickelte Lösung (zum Patent angemeldet: 7.10.2016) vereint die Nutzung von Wasser zur Kühlung für beide der oben beschriebenen Prozesse: Aufbereitetes Wasser wird auf den Wärmetauscher versprüht und das verbleibende, unverdampfte Überschusswasser wird zur Benetzung auf die Befeuchtermatten aufgegeben. Die Kombination beider Prozesse hintereinander (Luft wird zuerst durch die Befeuchtermatten geleitet, dann durch den Wärmetauscher; Wasser wird zuerst auf den Wärmetauscher gesprüht, dann auf das Befeuchtermattensystem aufgegeben) verbessert sowohl den Wärmeaustausch und verringert zusätzlich den Wasserverbrauch.

Vergleich der Nennleistungen verschiedener Konfigurationen eines Rückkühlers mit optimierter Ventilatorumdrehzahl

Vergleich bei ΔT_1 positiv (7 K)

(ΔT_1 = Temperaturdifferenz zwischen Luft-eintrittstemperatur und Medieneintrittstemperatur)

Betrachten wir einen groß dimensionierten Rückkühler in drei Konfigurationen:

1. Einen Trockenkühler als V-Kühler mit 22 Ventilatoren, Durchmesser 910 mm, Wärmetauscher mit vier Rohrreihen, Lamellenabstand 2,1 mm, Länge 12.800 mm, Höhe 2550 mm

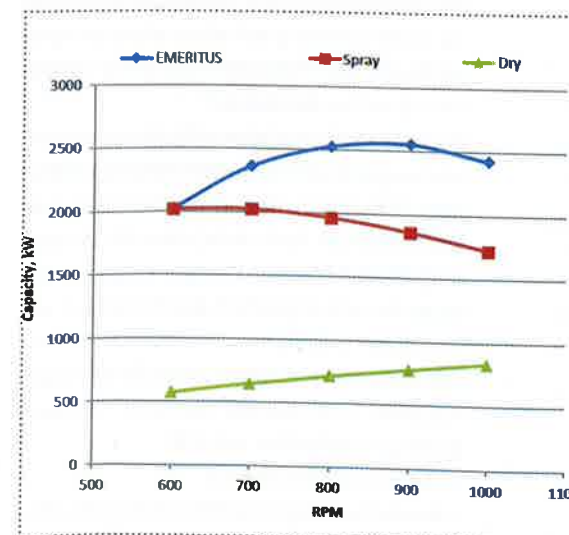


Abb. 2: Variation der thermischen Leistung in Abhängigkeit von der Lüfterdrehzahl; Vergleich von „trockenen“ Wärmetauschern, aktueller „Spray“-Lösung und der neuen „Emeritus“-Technologie

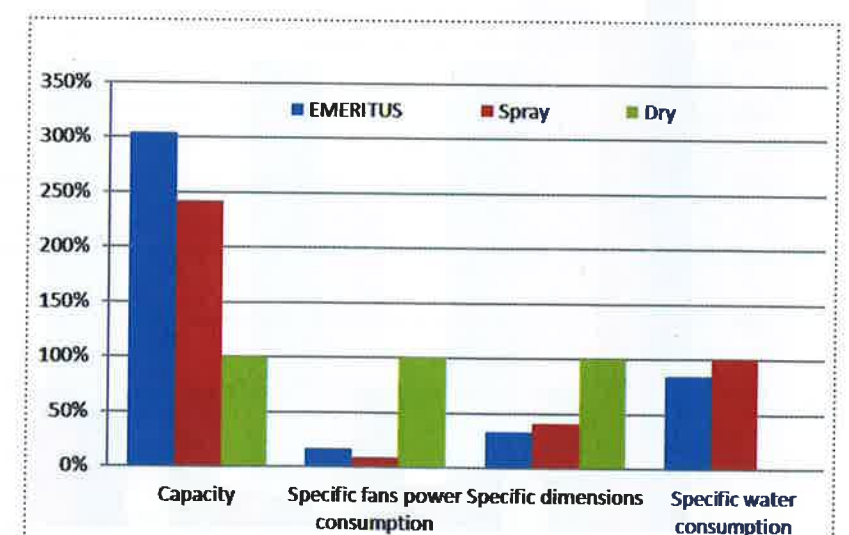


Abb. 3: Vergleiche zwischen den drei Versionen: Die Prozentangaben beziehen sich auf die trockene Lösung mit Ausnahme des spezifischen Wasserverbrauchs, der sich auf das aktuelle „Spray“-Modell bezieht.



Der „Emeritus“

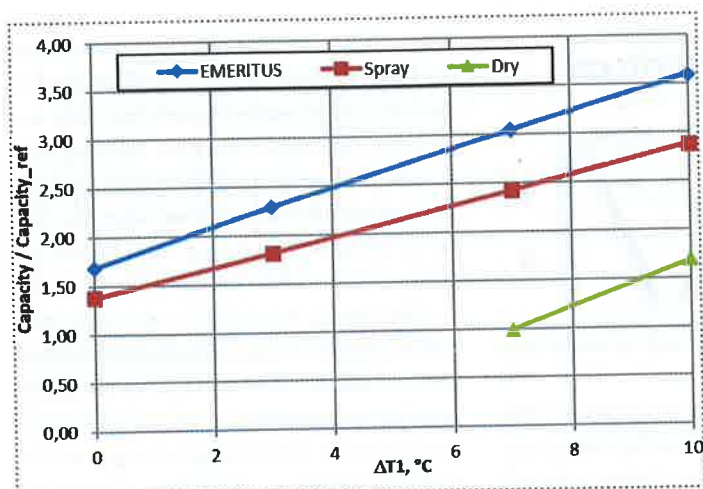


Abb. 4: Änderung der thermischen Leistung bei Variation von ΔT_1 ; Die Leistungen sind im Vergleich zum Referenzfall dimensionslos ($\Delta T_1 = 7 \text{ K}$, trockene Lösung)

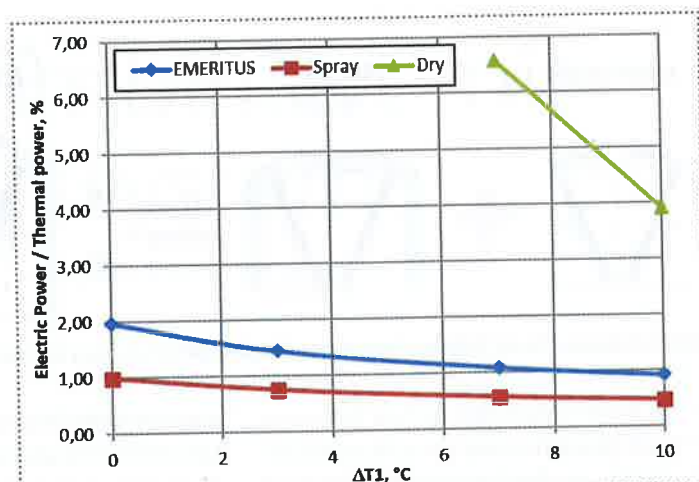


Abb. 5: Spezifischer Energieverbrauch/thermische Leistung als Funktion des ΔT_1

- Ein ähnliches Modell wie oben jedoch mit Spray-System zur Benetzung des Wärmetauschers mit optimierter Wasserbeaufschlagung (ca. $3,8 \text{ m}^3/\text{h}$ bzw. 175 kg/h per Modul) und einem Wärmetauscher mit vier Rohrreihen Tiefe sowie beschichteten Aluminium-Magnesium-Lamellen gewellt, Lamellenabstand $2,0 \text{ mm}$ (Aktuelle Spray-Technologie)
- Ein ähnliches Modell wie oben jedoch sowohl mit Spray-System als auch mit adiabatischem Befeuchtermatten-System. Die Nominalwassermenge Spray ist, wie im oberen Fall, $3,8 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Befeuchtung des adiabatischen Mattensystems wird aus dem Überschusswasser des Spray-Systems gespeist.

Für alle Konfigurationen gelten die gleichen Betriebsbedingungen:

- Umgebungsluft: Trockenkugelmitteltemperatur = $33 \text{ }^\circ\text{C}$, rel. Feuchte = $42,1 \%$ (Typische Sommerbedingungen in Mailand, Italien).
- Medium: Wasser, Temperatur $40\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$.

Die Wahl des Betriebspunktes für diesen ersten Vergleich fiel aufgrund der Möglichkeit, alle drei Konfigurationen miteinander zu vergleichen und gleichzeitig die Vorteile des Gebrauchs von Wasser zur Verdunstungskühlung darzustellen. Anschließend werden wir die Möglichkeiten der Verdunstungskühlung für Bedingungen bei $\Delta T_1 < 0 \text{ K}$ aufzeigen. Alle Geräte sind mit EC-Ventilatoren mit einer maximalen Drehzahl von 1000 1/min. ausgestattet. Die Abhängigkeit der Leistung der Geräte von

der Drehzahl der Ventilatoren ist unterschiedlich je nach Konfiguration, wie in Abbildung 2 gezeigt. Man kann feststellen, dass der reine Trockenkühler eine Leistungskurve mit direkter Abhängigkeit von der Drehzahl hat, während bei den Verdunstungskühlern eine Drehzahlbegrenzung eine Leistungsverbesserung bewirkt (Optimum für reines Spray-System ca. 750 rpm und für „Emeritus“ ca. 900 rpm). Die physikalische Erklärung dieses Phänomens liegt in einer verbesserten Aufnahme und Verweildauer des zu verdampfenden Wassers auf der Wärmetauscheroberfläche.

In Abb. 3 ist der Vergleich der drei Konfigurationen bei optimierter Ventilatorendrehzahl nach Abb. 2 zusammengestellt.

Die erste Balkengruppe zeigt die Wärmetauscherleistung im Vergleich zur Leistung des trockenen Rückkühlers. Man sieht deutlich die Leistungserhöhung durch den Einsatz von Wasser. Wie erwartet, zeigt das Gerät mit der Kombination von Spray und Adiabatik die beste Leistung mit einer etwa dreifach größeren Wärmetauscherleistung verglichen zum Trockenkühler.

Die zweite Balkengruppe zeigt die spezifische Leistungsaufnahme zur Wärmetauscherleistung ($\text{kW}_{\text{el}}/\text{kW}_{\text{th}}$), immer im Vergleich zum Trockenkühler. Man sieht, dass die Einsparung an elektrischer Energie sogar größer ist als die Leistungserhöhung im Nassbetrieb – dank der reduzierten Ventilatorendrehzahl. Die dritte Balkengruppe zeigt die Verringerung von – bei gleicher Leistung – einigen wichtigen Variablen, wie z.B.:

- Platzbedarf (footprint);
- Anzahl benötigter Ventilatoren (oder Module);
- Materialgewicht (Kupfer und Aluminium) des Wärmetauschers und des Rahmens (Stahl).

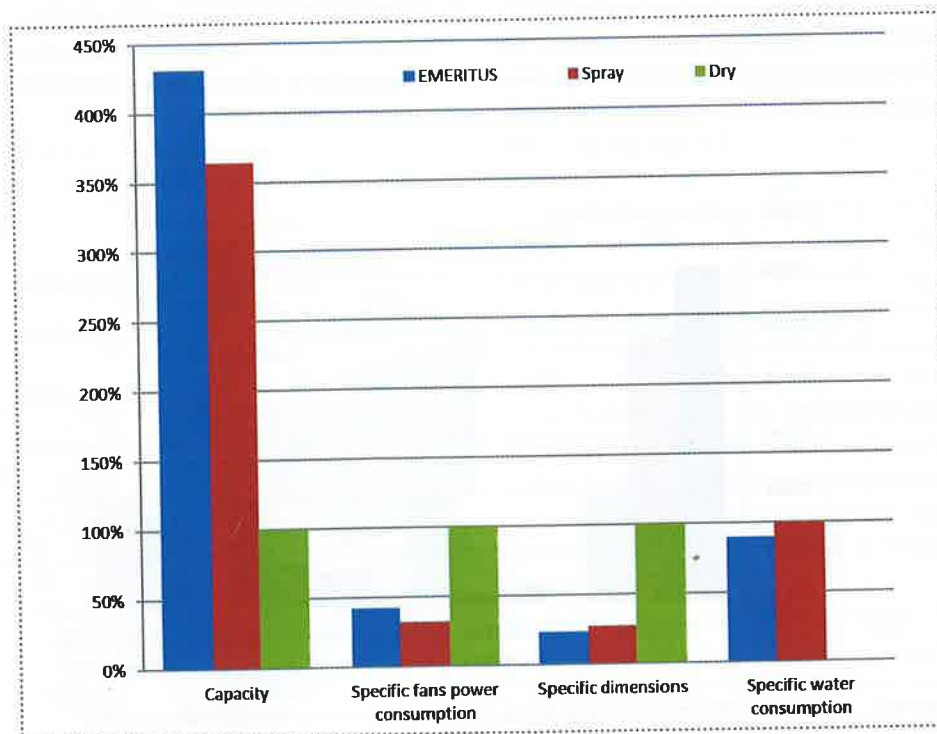


Abb. 6: Vergleich verschiedener Lösungen ($\Delta T_1 = 7 \text{ K}$, Schalleistung gleich)

- Transportgewicht und -volumen des Geräts
- Kältemittel- oder Mediumfüllmenge.

Die vierte Balkengruppe zeigt den spezifischen Wasserverbrauch des „Emeritus“ im Vergleich zur herkömmlichen Spray-Version auf. Im Besonderen wird aufgezeigt, dass (bei gleichem absolutem Wasserverbrauch) die neue „Emeritus“-Lösung einen geringeren spezifischen Wasserverbrauch hat durch Erhöhung der Wärmetauscherleistung. Die Schalleistungsreduktion im Vergleich zur Trockenkühlung bei einer festen auszutauschenden Wärmeleistung wird ebenfalls betrachtet. In allen Fällen gibt es eine signifikante Verringerung des Schallpegels, sowohl aufgrund der geringeren Anzahl von Geräten (und daher von Ventilatoren) als auch wegen der geringeren Ventilatorendrehzahl.

Vergleich bei Variation des ΔT_1

Während sich die in den vorhergehenden Abbildungen gezeigten Vergleiche auf eine bestimmte Betriebsspezifikation beziehen, wird in den folgenden Abbildungen unter Beibehaltung der gleichen Umgebungsbedingungen des unmittelbar vorhergehenden Falles der Vergleich auf unterschiedliche Betriebsbedingungen ausgedehnt, insbesondere durch Variieren der Wassertemperatur am Eintritt zum Wärmetauscher im Bereich von $33\text{--}43 \text{ }^\circ\text{C}$. Jeder der Punkte in den folgenden Tabellen zeigt als Betriebspunkt die Ventilatorendrehzahl, die die ausgetauschte Wärmeleistung maximiert, nachdem die Leistung mit einem Diskretisierungsschritt von 100 Upm bewertet wurde. Beträgt die Leistungszunahme weniger als 2% , wenn die Anzahl der Umdrehungen um 100 U/min erhöht wird, wird der Arbeitspunkt bei einer niedrigeren Umdrehungszahl bevorzugt. Die Überlegenheit der Lösungen, die Wasser verwenden, ist im gesamten Bereich offensichtlich: Zum Beispiel kann die Lösung, die Befeuchtermatten und Spray kombiniert, bei $\Delta T_1 = 0 \text{ K}$ keine thermische Leistung bereitstellen, die derjenigen der trockenen Apparatur bei $\Delta T_1 = 10 \text{ K}$ gleicht. Diese Überlegenheit wird auch durch die Ergebnisse in Abb. 5 bestätigt, die den spezifischen Leistungsverbrauch beim Variieren von ΔT_1 zeigt. Während der trockene Fall einen signifikanten Anstieg des elektrischen Verbrauchs bei der Reduktion des ΔT_1 zeigt, geschieht dies bei der besprühten Maschine nicht. Für diese ist es in der Tat bei niedrigem ΔT_1 vorzuziehen, die Drehzahl der Ventilatoren zu reduzieren und von der erhöhten Verdampfungseffizienz zu profitieren, die bei der Verringerung der Luftgeschwindigkeit auftritt.

Ein weiteres signifikantes Merkmal ist der spezifische Wasserverbrauch. Die mit Befeuchtermatten ausgestattete Maschine hat einen spezifischen Verbrauch, der niedriger ist als der der besprühten Lösung (-15%). Die Rückgewinnung des Wassers, das versprüht und nicht verdampft wird, um die Befeuchtermatten mit Energie zu versorgen, ermöglicht dank der folgenden Erhöhung der Wärmeleistung eine Verringerung des spezifischen Wasserverbrauchs.

Vergleiche bei gleicher thermischer Leistung und Schalleistung

In den vorangegangenen Diagrammen stellen wir eine Hypothese für den Betrieb von Geräten dar, bei der die Ventilatoren mit einer für jede Konfiguration optimierten Drehzahl betrieben werden, einer Drehzahl, die je nach Lösung deutlich verschieden ist. Wenn die Varianten mit gleicher Gesamtschalleistung gegenübergestellt werden, (im konkreten Fall 85 dB(A) pro Maschine), muss für jede Lösung die Ventilatorgeschwindigkeit so eingestellt werden, dass sie der Zielschalleistung entspricht, wiederum bei gleichen Betriebsbedingungen und gleicher Wärmeleistung. Die folgenden Abbildungen zeigen die gleichen Größenordnungen wie zuvor für $\Delta T_1 = 7 \text{ K}$ (Abbildung 6) und $0 \text{ }^\circ\text{C}$ (Abbildung 7). Im ersten Fall wurde wie im vorherigen Fall der Trockenmodus (100% der Leistung) angenommen. Im zweiten Fall, in dem der Trockenapparat nicht angenommen werden kann, wurde die leistungsfähigste Vorrichtung (die Kombination von Befeuchtermatten und Sprühsystem) angenommen. Die Abbildung zeigt noch einmal die bemerkenswerten Vorteile, die durch die Verwendung von Wasser ermöglicht werden: Insbesondere ermöglicht die leistungsfähigste Lösung (adiabatisches Panel + Spray) eine Verringerung um das Vierfache der spezifischen Abmessungen im Vergleich zum Trockenkühler bei gleichem Schall und Leistung. Die Abbildung zeigt auch, wie die Kombination von Befeuchtermatte und Spray es ermöglicht, den spezifischen Wasserverbrauch des Kühlers (mit allen daraus resultierenden Vorteilen) auf Werte von ungefähr 20% zu reduzieren.

Beispielanwendung Klimaanlage

Unter den vielen Arten von Trockenkühleranwendungen betrachten wir den folgenden Fall und heben die Vorteile der Lösungen hervor, die die Leistung durch Verwendung von Wasser erhöhen.

Der Vergleich zwischen den verschiedenen Lösungen für die Wärmeübertragung an die Umgebung wurde für eine Klimaanlage in Mailand, Italien, durchgeführt, die nur im Sommer zwischen drei verschiedenen Lösungen betrieben wird:

- „Emeritus“ (Betrieb mit enthärtetem Wasser)
- Spray (Vorgängersystem zur neuen „Emeritus“-Baureihe)
- Trockenkühlung

Der Vergleich wird unter der Annahme der gleichen Grundfläche für alle Lösungen und

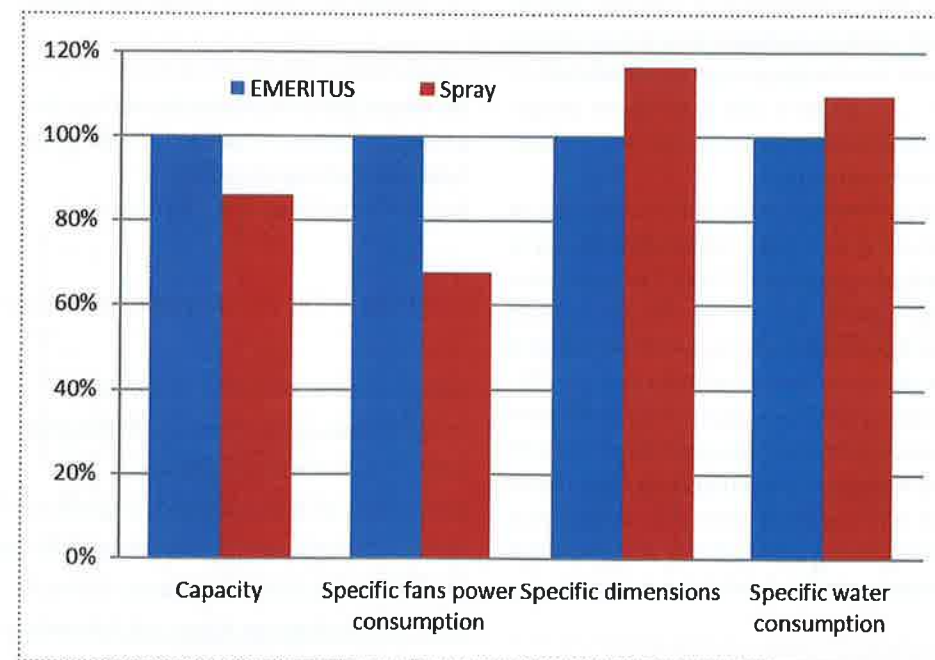


Abb. 7: Vergleich von „Emeritus“ und herkömmlichem Spraysystem ($\Delta T_1 = 0 \text{ K}$, Schalleistung gleich)

der gleichen Schallleistung durchgeführt (grundsätzlich wird immer derselbe Apparat verwendet, die gleichen Wärmetauscherregister, die gleichen Ventilatoren, das gleiche Steuersystem), wobei nur die Art der Lamellen variiert wird (geschlitzte Lamellen für die nicht besprühten Lösungen, gewellte Lamellen mit Schutzbeschichtung für die anderen) und das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein von Sprühsystemen und / oder adiabatischen Befeuchtermatten.

Annahmen für die verschiedenen Alternativen

Wir machen die folgenden Annahmen, die allen Lösungen gemeinsam sind, für die Bemessung unter Nennbedingungen:

- › $T_{\text{amb}} = 35^\circ\text{C}$, relative Luftfeuchtigkeit = 41 %
- › $T_{\text{eva}} = 3^\circ\text{C}$ (zum Kühlen von Kaltwasser 5-12 °C)

- › DT Überhitzung zum Verdampfer = 5 °C
- › DT-Unterkühlung zum Kondensator = 2 °C
- › Kühlleistung unter Nennbedingungen: 1900 kW

und die folgenden Betriebsarten:

- › T_{cond} = variabel, abhängig von den Betriebsbedingungen und dem Potential des Trockenkühlers, bis zu einem Mindestwert von 20 °C
- › Vom Nutzer benötigte Kühlleistung: lineare Abweichung in Abhängigkeit von der Umgebungstemperatur von 100 % bei 33 °C bis 40 % bei 23 °C;
- › Den Kühler bei Umgebungstemperatur unter 23 °C ausschalten;
- › Drehzahlsteuerung der elektrischen Ventilatoren und Wasserdurchflussrate wird von der Geräteregelel verwaltet.

Für die leistungsstärkste Lösung („Emeritus“) werden die folgenden Temperaturen unter Nennbedingungen angenommen:

- › $T_{\text{water}} = 30-35^\circ\text{C}$ (bei niedrigeren Umgebungstemperaturen sinken die Wassertemperaturen)

Der Kühlwasserdurchfluss in der Maschine ist konstant, womit die Leistungsänderung in Veränderungen des ΔT des Kühlwassereintritts und -austritts sichtbar werden. Bei anderen Konfigurationen (Spray und Trocken) sind die Wassertemperaturen unter den Nennbedingungen höher, aufgrund der geringeren Leistung, die diese Lösungen kennzeichnet. Die Kompressorleistung ist entsprechend der nominellen Kondensationstemperatur dimensioniert, die mit der Abnahme der Leistung des Trockenkühlers zunimmt.

Annahmen zum Kälteverdichter

Die Leistungsaufnahme des Kälteverdichters

Tabelle 1: Verdichter-Daten

Verflüssigungstemperatur, °C	60	50	40	30
COP	2,30	3,24	4,43	5,99

Tabelle 2: Gerätedaten

	EMERITUS	Spray	Trocken
ΔT_1 , K	7	10,4	23,8
Verflüssigungstemperatur, °C	45	48,4	61,8
RPM	715	620	720
Schallleistung, dB(A)	85	84,2	85
Kühlleistung, kW	2408	2460	2752
Elektroleistungsaufnahme Ventilator, kW	19,5	12,54	20,14
COP chiller	3,76	3,40	2,23
Gesamtleistungsaufnahme Kälteverdichter, kW	506	560	852

ist eine Funktion der Verdampferlast und der Kondensationstemperatur. Es wird eine Systemlösung mit einer hohen Anzahl von Verdichtern angenommen, die daher bei einer Last immer nahe dem Nennwert arbeiten. Das Verhältnis für den Verdichter bei Nennlast wird durch eine lineare Interpolation zwischen den Werten in der Tabelle ermittelt.

Dimensionierung bei Nennbedingungen

Aus den vorherigen Annahmen ergeben sich die Werte in Tabelle 2.

Die Vorteile von wasserbenetzten Modellen gegenüber dem Trockenmodell zeigen sich in einem höheren COP und folglich in einer niedrigeren Gesamtleistung der Kompressoren und sind für das „Emeritus“-Modell am größten.

Ergebnisse der Jahressimulation

Bei einem Betrachtungshorizont über den gesamten Sommer ergeben sich die in Tabelle 3 enthaltenen Ergebnisse.

Aus den Tabellen ist ersichtlich, dass:

- › „Emeritus“ ermöglicht eine Energieeinsparung von mehr als 20 % im Vergleich zur trockenen Lösung.
- › Das Einsparpotential ist in Bezug auf die Verwaltungskosten etwas geringer, da die Betriebskosten im Zusammenhang mit der Nutzung von Wasser im Vergleich zu den Kosten für den Stromverbrauch, vor allem für den Kompressor, gering sind.
- › In absoluten Zahlen liegen die Einsparungen für die effizientere Lösung bei etwa 19.000 €/Jahr (eine Unterbewertung, da die Einsparungen durch den verringerten Stromverbrauch nicht berücksichtigt werden).
- › Hinsichtlich der Investitionen zu den höheren Kosten, die sich aus der Auswahl eines mit Befeuchtermatten ausgestatteten Modells ergeben, des Sprühsystems und der Überwachung der Wasserqualität (insgesamt für das betrachtete Modell ca. 15.000 €) und der Notwendigkeit der Installation einer Weichwasseranlage (geschätzt

Tabelle 3: Simulationsergebnisse

	EMERITUS	Spray	Trocken
Gesamtjahresbetriebskosten, €/kW/Jahr	49,4	51,2	59,4
Energieeinsparung im Vergleich zu Trockengerät	21,2 %	16,5 %	0
Jahresbetriebsstunden Nassbetrieb	2402	838	-
Verringerung der Betriebskosten im Vergleich zum Trockengerät	-16,9 %	-13,8 %	0
Jährliche Betriebskosten Kältemaschine, €/kW/Jahr	43,4	46,8	56,0
Jährliche Betriebskosten Ventilatoren, €/kW/Jahr	3,3	2,8	3,4
Jährliche Betriebskosten Wasser und Aufbereitung, €/kW/Jahr	2,6	1,6	0
Gesamtleistungsaufnahme Kälteverdichter, kW	506	560	852

9000 €) müssen wir die Einsparungen von der Verringerung der Größe (über 40 % kleiner), des Kompressors und seines Kondensators abziehen. Dies würde die zusätzliche Investition in die Lösung auf Werte reduzieren, die sich in kurzer Zeit, nämlich in nur einem Betriebsjahr, amortisieren könnten.

Simulationsdetails

Die folgenden Diagramme zeigen die wichtigsten Kurven. Die Werte beziehen sich auf die Kühlleistung des Projekts, die in allen Fällen 1900 kW beträgt.

Schlussfolgerungen

Die Analyse zeigt das Potenzial von wassergekühlten Systemen in Luft-Lamellen-Wärmetauschern. Während die Verwendung von Wasserspray auf dem Register oder die Verwendung von Befeuchtung mit adiabatischen Platten bekannte Anwendungen sind, ist die synergetische Verwendung beider Systeme (genannt „Emeritus“) eine neue Technologie. Die Ergebnisse unterstreichen die Verbesserung der Leistung und der jährlichen Energieeinsparungen dieser Lösung. Im Vergleich zur „trockenen“ Konfiguration ist die Leistung von „Emeritus“ ungefähr dreimal so groß, mit gleichem Footprint. Ebenso ist es mit „Emeritus“ möglich, die gleiche Kapazität des Trockensystems bei viel niedrigerem ΔT_1 zu erreichen, wodurch auf diese Weise eine signifikante Verringerung der Verflüssigungstemperatur der Kältemaschine erreicht wird. Eine Fallstudie wurde analysiert. Das Endergebnis ist eine Reduzierung des Gesamtstromverbrauchs von 21 % im Vergleich zu einer Trockenkühlungslösung. Mit dem „Emeritus“-Wärmetauscher kann das CO₂-System während des Jahres länger unterkritisch arbeiten gegenüber herkömmlichen Gaskühlern, was die CO₂-Systeme effizienter macht.

Referenzen

- 1) Ashrae Handbook (2009), Fundamentals
- 2) Ashrae Handbook (2010), Refrigeration
- 3) Lozza G., Merlo U. An experimental investigation of heat transfer and friction losses of interrupted and wavy fins for fin-and-tube heat exchangers. International Journal of Refrigeration 24 (2001) pp. 409-416
- 4) Wang CC, Recent progress on the air-side performance of Fin-tube Heat Exchangers, International Journal of Heat Exchanger 1524-5608/vol1 (2000), pp 49-76.

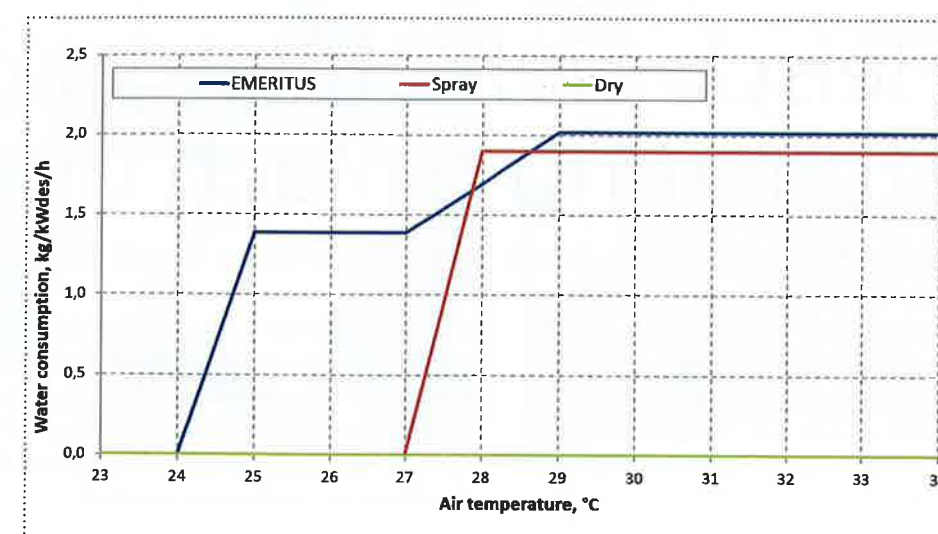


Abb. 8: Die Abbildung illustriert die Logik der Verwendung von Wasser für die verschiedenen Alternativen: Die gesprühten Lösungen verwenden Wasser auf dem Coil nur für Umgebungstemperaturen über 28 °C, um den Stundengrenzwert mit einem nassen Coil einzuhalten. Die Lösungen mit einem adiabatischen Panel erweitern den Wasserverbrauch auf bis zu 24 °C.

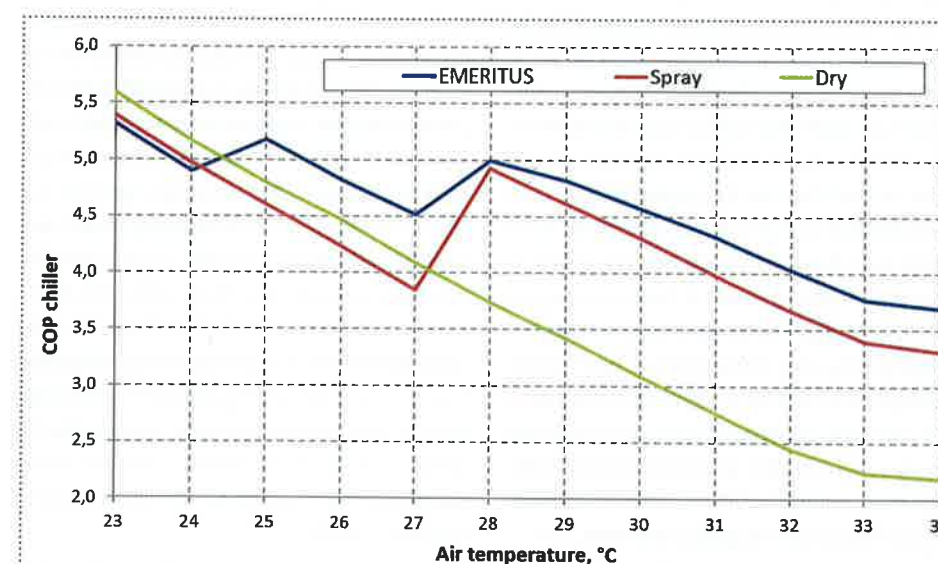


Abb. 9: Die Leistung der Kältemaschine COP zeigt, wie die „Emeritus“-Lösung dank der Reduzierung der Verflüssigungstemperatur in allen Betriebszuständen hervorragende Werte liefert.

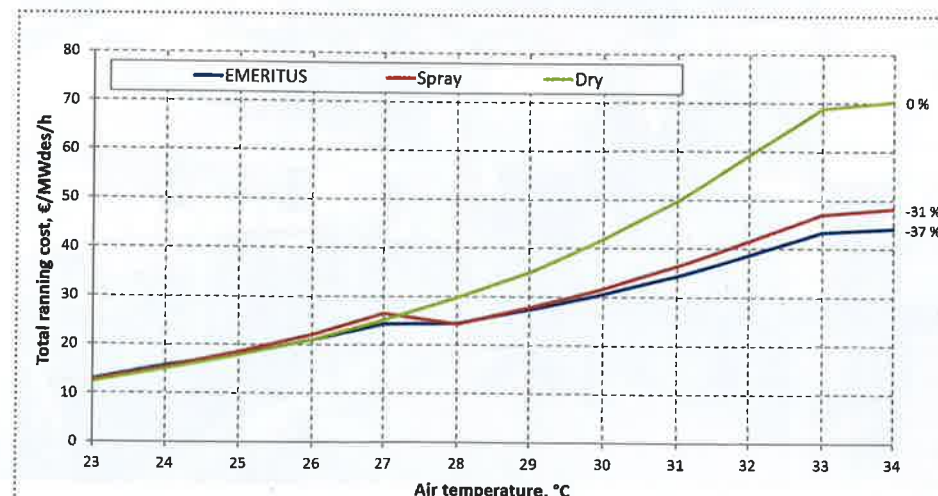


Abb. 10: Das Endergebnis in Bezug auf die Gesamtbetriebskosten ist in diesem Diagramm dargestellt: Bei allen Umgebungstemperaturen über 27 °C haben die Systeme, die das Coil besprühen, viel niedrigere Betriebskosten und das „Emeritus“-Modell bleibt das Beste.