



**EUROVENT 9/2 - 92**

**THERMAL PERFORMANCE ACCEPTANCE  
TESTING OF MECHANICAL DRAUGHT  
STANDARDIZED WATER COOLING TOWERS**

**ESSAIS DE RECEPTION DES PERFORMANCES  
THERMIQUES DES TOURS DE REFRIGERATION  
STANDARDS A TIRAGE MECANIQUE**

**WÄRMETECHNISCHE ABNAHMEMESSUNGEN  
AN ZWANGSBELÜFTETEN  
STANDARDISIERTEN NASSKÜHLTURMEN**

**PROVE DI COLLAUDO DELLE PRESTAZIONI  
TERMICHE DI TORRI DI RAFFREDDAMENTO  
STANDARD A TIRAGGIO MECCANICO**

---

**EUROVENT**

**THERMAL PERFORMANCE ACCEPTANCE  
TESTING OF MECHANICAL DRAUGHT  
STANDARDIZED WATER COOLING TOWERS**

**ESSAIS DE RECEPTION DES PERFORMANCES  
THERMIQUES DES TOURS DE REFRIGERATION  
STANDARDS A TIRAGE MECANIQUE**

**WÄRMETECHNISCHE ABNAHMEMESSUNGEN  
AN ZWANGSBELÜFTETEN  
STANDARDISIERTEN NASSKÜHLTURMEN**

**PROVE DI COLLAUDO DELLE PRESTAZIONI  
TERMICHE DI TORRI DI RAFFREDDAMENTO  
STANDARD A TIRAGGIO MECCANICO**

# EUROVENT

*First Edition 1992*

This document has been prepared by EUROVENT WG 9 "COOLING TOWERS" with the participation of the following members:

P. ANDREWS	United Kingdom	A.E. BANDA	Netherlands
S. BECIRSPAHIC	France	R. CICUTO	Italy
J. COLLINS	United Kingdom	N. DE CARDENAS	Spain
A. FONTANA	Italy	P. GALLINO	Italy
W. GOHL	Germany	H. HONEKAMP	Germany
P. IRLINGER	France	M. KNOPF	Germany
R. MACLEOD-SMITH	United Kingdom	G. MAGER	Belgium
K. MENZEL	Germany	M. MOLTONI	Italy
G. MORETTI	Italy	R. NAVARRO	Spain
R. NIESSEN	Germany	V. PENATI	Italy
J.A. ROMBOUTS	Belgium	B. SHRIVER	United States
W. TESCHE	Germany	H. WOODS	United Kingdom

Published by EUROVENT Technical Secretariat

15 rue Montorgueil

75001 PARIS

Tel. (1) 33 40 26 00 85

Fax (1) 33 40 26 01 26

## **AIMS AND OBJECTIVES**

Founded in 1959, the European Committee of Air Handling and Air conditioning Equipment Manufacturers, EUROVENT, is made up of 10 national trade associations representing the manufacturers of air handling equipment in Europe :

Belgium - Germany - Spain - France - Great Britain -  
Italy - Norway - Netherlands - Portugal - Sweden - Finland

EUROVENT has the aim, on a European level, to facilitate closer ties between the companies of the profession, to promote all desirable and possible exchanges between European manufacturers, and to contribute to an improvement of the profession.

EUROVENT represents the profession in relations with the European authorities and the International Organizations.

## **DEFINITION ET BUTS**

Fondé en 1959, le Comité Européen des Constructeurs de Matériel aéraulique, EUROVENT, rassemble 10 associations professionnelles nationales représentatives des constructeurs de matériel aéraulique en Europe :

Belgique - Allemagne - Espagne - France - Grande Bretagne  
Italie - Norvège - Pays-Bas - Portugal - Suède - Finlande

EUROVENT se propose de faciliter sur le plan européen un rapprochement des entreprises de la profession, d'aider à tous les échanges souhaitables et possibles entre les constructeurs européens et de contribuer à une amélioration des conditions d'exploitation des marchés et au développement général de la profession.

EUROVENT représente la profession auprès des autorités européennes et des organismes internationaux.

## **AUFGABEN UND ZIELE**

Das 1959 gegründete Europäische Komitee der Hersteller von lufttechnischen Geräten und Anlagen, EUROVENT, umfasst 10 nationale Fachverbände, die die Hersteller in Europa repräsentieren.

Belgien - Deutschland - Spanien - Frankreich - Grossbritannien  
Italien - Norwegen - Niederlande - Portugal - Schweden - Finnland

EUROVENT hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Annäherung zwischen den Firmen auf europäischer Ebene zu erleichtern, beim wünschenswerten und möglichen Erfahrungsaustausch zwischen den europäischen Herstellern zu helfen, die Marktbedingungen zu verbessern und zu einer allgemeinen Förderung des Fachbereiches beizutragen.

EUROVENT vertritt die Interessen des Berufszweiges gegenüber den europäischen Behörden und den internationalen Organisationen.



**THERMAL PERFORMANCE ACCEPTANCE TESTING OF MECHANICAL DRAUGHT  
STANDARDIZED WATER COOLING TOWERS**

**Contents**

	Page
<b>I. Field of application and scope</b>	<b>6</b>
1.1 Field of application	6
1.2 Scope	6
1.3 Subject of the thermal performance acceptance	6
<b>2. Performance curves</b>	<b>7</b>
2.1 Performance curves format	7
2.2 Performance curves parameters	7
<b>3. Measuring procedures and instrumentation</b>	<b>8</b>
3.1 General	8
3.2 Measurements	9
3.2.1. Temperatures	9
3.2.1.1. Water temperatures	
3.2.1.2. Hot water temperature	
3.2.1.3. Cold water temperature	
3.2.1.4. Wet bulb temperature	
3.2.2. Water flow	12
3.2.3. Fan power	12
3.2.4. Cooling tower pumping head	13
3.2.5. Temperature and flow of make up and blow down	14

<b>4.</b>	<b>Acceptance tests</b>	<b>14</b>
4.1.	Contractual agreements	14
4.1.1.	General	14
4.1.2.	Time of the acceptance tests	14
4.1.3.	Management of the acceptance tests	14
4.1.4.	Costs, provision of measuring equipment and personnel	15
4.2.	Preparation of the acceptance tests	15
4.2.1.	Number and arrangement of the measuring points	15
4.2.2.	Conditions of the plant	16
4.3.	Execution of the acceptance tests	16
4.3.1.	Pre-conditions	16
4.3.2.	Trial measurements	17
4.3.3.	Acceptable deviations of operating conditions	17
4.3.4.	Operating conditions during the test	18
4.3.5.	Frequency of readings	18
4.3.6.	Test duration	19
4.3.7.	Validity of test results	20
<b>5.</b>	<b>Assessment of test results in view of guaranteed performance data</b>	<b>21</b>
5.1	Assessment of test results	21
5.2.	Comparison with guaranteed performance data	21
<b>6.</b>	<b>Test tolerance</b>	<b>22</b>
6.1.	Error created by non-measurable systematic deviations of operating parameters	22
6.1.1.	Influence of wet bulb measurement uncertainties	22
6.1.2.	Influence of cooling range measurement uncertainties	22
6.1.3.	Influence of fan power measurement uncertainties	23
6.1.4.	Influence of water flow rate measurement uncertainties	23
6.2.	Determination of measuring equipment tolerances	23

6.3. Error caused by non-measurable systematic deviations of operating parameters	24
6.4. Determination of errors caused by random deviation of test results and temporary oscillation of the operating parameters	24
6.5. Determination of the test tolerance	26
<b>7. Test report</b>	<b>26</b>
<b>8. Symbols</b>	<b>27</b>
<b>9. Example</b>	<b>29</b>

Appendix A : Performance curves

Appendix B : Position of measuring points for cooling towers

Appendix C : Example of a test report

Appendix D : Example of test result analysis and calculation of test tolerance



## 1 - FIELD OF APPLICATION AND SCOPE

### 1.1. Field of application

This standard applies to thermal performance acceptance testing of standardized mechanical draught water cooling towers.

The standard refers to preparation, execution and analysis of acceptance tests and should already be recognized as integral part of the contract. Deviations from the rules laid out below as well as additions need special agreement and should be documented.

The standard is intended for use by :

Suppliers

Purchasers

Owners

Experts

Testing agencies.

### 1.2. Scope

The thermal and hydraulic performance data of the cooling tower specified in the contract between the supplier and the purchaser can be verified by an acceptance test.

Terms like "guarantee", "values", and "acceptance" used in this standard shall be understood in a technical but not in a legal or commercial sense.

Legal and commercial consequences that might result from achieving or not achieving the contractually agreed performance are not part of this standard.

### 1.3. Subject of the thermal performance acceptance

The cooling tower outlet water temperature at the guaranteed condition ( $t_{wG}$ ,  $z_G$ ,  $m_G$ ,  $F_{pG}$ ,  $\Delta P_{i0}^*$ ) must be lower or equal to a specific value. For thermal performance acceptance tests additional performance data (performance curves) must be provided by the cooling tower supplier prior to the test. These additional data define the area around the guaranteed point and indicate the area in which acceptance testing is permitted (see paragraph 4.3.3.)

\*  $\Delta P_{i0}$  will only be evaluated if specifically required by the contract .

## 2. PERFORMANCE CURVES

### 2.1. Performance curves format

Performance curves must be submitted in a way that they describe the relation between the cold water temperature ( $t_c$ ) and wet bulb temperature ( $t_w$ ) for a variation of flow (m) range (z) and fan power ( $F_p$ ) at constant fan speed and pitch.

Performance curves should be presented in the format shown in Appendix A, however other formats are acceptable providing they give the same information.

Curves must allow to make readings to a precision of 0,1 K. The area in which acceptance tests are permitted must be indicated as per paragraph 4.3.3.

### 2.2. Performance curve parameters

The face value of the cold water temperature ( $t_{cF}$ ) shall be shown in function of following parameters:

- wet bulb temperature
- hot water flow rate
- hot water temperature or cooling range
- fan power

### 3. MEASURING PROCEDURES AND INSTRUMENTATION

#### 3.1. General

Following quantities shall be measured in acceptance tests :

hot water flow rate (m)

hot water temperature ( $t_h$ )

cold water temperature ( $t_c$ ) entering wet bulb temperature

fan power ( $t_w$ )

wind velocity ( $V_w$ )

If required also :

- pumping head ( $\Delta P_{io}$ )

- temperature ( $t_m$ ) and flow ( $m_m$ ) of the make up water

The measuring procedures described here shall comply with accepted standards.

A summary of the instrumentation needed is given in Appendix B "Position of measuring points on cooling towers".

All measuring equipment must have been calibrated. Instruments shall be checked prior to test. The deviations found shall be considered in the assessment of the results.

The measuring band of the instruments shall be selected so that minimal measuring errors occur. Acceptable tolerances are specified in table 6. Counting water flow measuring instruments are acceptable, upon condition that they are backed up by additional instantaneous measurements to verify that water flow fluctuations remain within the permitted limits stated in paragraph 4.3.4.

Measuring equipment, its calibration and location shall be in accordance with accepted standards.

## 3.2. Measurements

### 3.2.1. Temperatures

The temperatures to be measured are the hot water temperature  $t_h$ , the cold water temperature  $t_c$ , the entering wet bulb temperature  $t_w$  and if applicable also the temperature of the make-up water  $t_m$ .

Calibrated measuring instruments shall be used such as:

- liquid thermometers
- platinum resistance thermometers
- thermocouples
- thermistors
- quartz thermometers

The indicator or recorder of the thermometer shall have a graduation of not more than 0.1 K readable to 0.05 K and shall have been calibrated and checked prior to test to an accuracy of +/- 0.05 K.

#### 3.2.1.1. Water temperatures

The measuring instruments shall be as specified above.

The locations of the temperature measurement stations shall be such that true averages are determined.

#### 3.2.1.2. Hot water temperature

A suitable location for the measuring equipment for the hot water temperature is the common supply conduit to the tower or its water distribution system.

#### 3.2.1.3. Cold water temperature

The cold water temperature must reflect the true average temperature of the water leaving the cooling tower and care must be taken to eliminate all possibility of temperature stratification at the point of measurement. If the cold water

temperature is measured at the pump discharge in a well in the pump discharge piping, the measured temperature must be corrected for the effects of pressure and throttling as follows:

$$\Delta t_p = 0,00239 (P_h - P_c) (1 - \eta_p) / \eta_p$$

Note : Unless the static head between the water level in the tower basin and the centerline of the pump suction is significant or the pipe run is quite long,  $P_c$  can be assumed to be 0kPa without any significant loss of accuracy.

If the test is run with make-up water introduced to the system upstream of the cold water measurement station, e.g. in the tower basin, the measured cold water temperature must be corrected for the effect of the make-up using a heat balance calculation taking into account the temperature and flow rate of the make-up.

#### 3.2.1.4. Wet bulb temperature

The entering wet bulb temperature shall be measured using mechanically aspirated instruments of sufficient number and location to ensure measured temperatures accurately reflect the true wet bulb temperature entering the cooling tower. The instruments shall meet the following requirements:

- a) the indicator or recorder shall be graduated in increments of not more than 0.1 K
- b) The temperature-sensitive element shall be accurate to +/- 0.05 K
- c) The temperature-sensitive element shall be shielded from direct sunlight or from other significant sources of radiant heat. The shielding device shall be close to the surrounding dry bulb temperature.
- d) The temperature-sensitive element shall be covered with a wick that is continuously fed from a reservoir of distilled water.

- e) The temperature of the distilled water used to wet the wick shall be at approximately the wet bulb temperature being measured. This may be obtained in practice by allowing adequate ventilated wick between the water supply and the temperature-sensitive element.
  
- f) The wick shall fit snugly over the temperature-sensitive element and extend at least two centimeters past the element over the stem. It shall be kept clean while in use.
  
- g) The air velocity over the temperature-sensitive element shall be maintained between 3 and 6 m/s.

### 3.2.2. Water flow

The flow rate of the hot water supply shall be measured. It is only admissible to carry out a similar measurement in the cold water pipe if local conditions do not permit a measurement in the hot water pipe. In this case a mass balance calculation should be made to correct the measured cold water flow for any change of specific volume/gravity at the measured temperatures. The location of the flow measurement station should be such that no water is added or removed between the measurement station and the cooling tower inlet.

Flowmeters must be installed according to accepted standards. Acceptable flow measuring devices with their typical linearity are listed below:

Flow measurement method	Typical linearity as % of flow
Throttling measurement devices	depending on differential pressure measurement
Pitot or Prandtl tubes	+/- 1 - +/- 3
Turbine meters	+/- 0.50 - +/- 1,0
Electro-magnetic measuring equipment	+/- 0.50 - +/- 4
Ultrasonic measuring equipment	+/- 0.10 - +/- 1
Counters (only if flow is constant)	depends on type of counter

Table I : Typical linearity for different flow measurements

For the acceptance tests, all these devices must have a basic accuracy of +/- 1.5 % guaranteed by the works and certified by an independent inspection agency.

If the measurement is carried out using permanently installed service measuring equipment then the parties involved shall mutually agree to a measuring tolerance for the water flow measurement prior to the test being performed. This measuring tolerance may not, however, exceed 3 %.

### 3.2.3. Fan power

Only the electrical power used by the fan motors shall be measured.

Power input shall be determined by measurement of the voltage, current, and power factor or by measurement of the power input. When it is necessary to measure fan motor power input at some point distant from the motor, provision must be made to account for line losses between the point of measurement and the motor.

If the performance guarantee is based on driver output, efficiencies stated by the manufacturer of the driver may be used.

The power measuring instrument shall be calibrated by a recognized, independent laboratory to an accuracy of at least +/- 1.5% prior to test.

Fan power measurement	Typical tolerance range as % of fan power
Watt meter	1 - 5 %
Volt / Amp meter	3 - 8 %

Table 2 : Typical tolerances for different power measurements

#### 3.2.4. Cooling tower pumping head

Tower pumping head ( $\Delta P_{io}$ ) is the total pressure difference between the contractual tower inlet and outlet.

$$\Delta P_{io} = (P_{si} + P_{di} + \rho gh_i) - (P_{so} + P_{do} + \rho gh_o)$$

with  $\rho gh$  the gravity pressure term or

$$\Delta P_{io} = (P_{si} + P_{di}) - (P_{so} + P_{do}) + H$$

where :

H = the geometrical height difference in terms of pressure.

In most cases, inlet and outlet cross sections are similar, therefore in these cases the simplified equation:

$$\Delta P_{io} = (P_{si} - P_{so}) + H \text{ can be used}$$



### **3.2.5. Temperature and flow of make up and blow down**

For these measurements the procedures described for measuring the water temperatures and the circulating water flow can be used.

## **4. ACCEPTANCE TESTS**

### **4.1. Contractual agreements**

#### **4.1.1. General**

Purchaser and supplier must agree on acceptance testing at the time when the contract is signed.

A list of measuring parameters and points is given in Appendix B.

Should it not be possible to install the measuring points according to the rules, the contractual partners must reach a mutual agreement.

#### **4.1.2. Time of the acceptance test**

Acceptance tests should be conducted after a period of operation under heat load (preferably 400 hours) and not later than 12 months after start-up, at climate conditions, range and water flow, which are close to the guaranteed conditions. (See paragraph 4.3.3. table 4).

#### **4.1.3. Management of the acceptance tests**

Management of the acceptance test procedure and program, for example reference testing of selected cells in a multi-cell installation, must be agreed between purchaser and supplier. Each of the contractual parties have the right to witness/participate in the test.

#### 4.1.4. Costs, provision of measuring equipment and personnel

The parties of the contract or their representatives should agree in due time on the provision of measuring instruments and the required personnel.

Settlement of the costs must be specified in the contract. This also applies to comparison or repeat tests as well as to the consultation of third parties.

#### 4.2. Preparation of the acceptance tests

To measure the most important parameters, it is recommended to install special fittings and/or immersion shells, so that the acceptance test can be carried out without interference of the operational measuring devices.

##### 4.2.1. Number and arrangement of the measuring points

Number and arrangement of the measuring points is according to Table 3 and the schematic in Appendix B, and taking into account local restrictions. Arrangement of measuring points need be executed according to recognized standards.

No.	Quantity	Minimum number M	Arrangement
1	Water flow m	M=1 for each feed pipe	as per accepted standard
2	Hot water temp. $t_h$	M=1 for each feed pipe	in the main flow through the feed pipes
3	Cold water temp. $t_c$	$M \geq 2$ for each outlet	at basin outlet or pump discharge see paragraph 3.2.1.3
4	Wet bulb temp. $t_w$	$M \geq \left[ \frac{A}{m^2} \right]^{0.4}$ but not less than 1 station per air inlet face A = face air entry ( $m^2$ ) $M \geq 2$	Maximum distance from cooling tower air inlet 2 m, evenly distributed to ensure test average is an accurate representation of the true average entering wet bulb temperature
5	Fan power $F_p$	M = 1	direct on the motor or in the control room
6	Pump head $\Delta P_{io}$	M = 1	see paragraph 3.2.4.

Table 3 : recommended number and arrangement of measuring points

#### **4.2.2. Condition of the plant**

Before execution of the acceptance test the cooling tower must be inspected to ensure it operates properly. In particular it must be ensured that :

- all functional components are undamaged and operational.
- fill pack and eliminators are free of debris, settlements and biological growth.
- the water distribution is clean and not clogged.
- cooling water and air supply do not have any leaks.
- the intake and discharge air flows are unimpeded.

It must be assured that the quality and composition of the cooling water is as specified in the order and that particularly the water is free of oil and grease.

In case of multi-cell cooling towers, water flow rates to individual cells must be balanced properly. Proper balancing can be assessed by adjusting flows such that spray pressures (pressure at cooling tower inlets) or water levels in the hot water distribution basins are equal.

Prior to testing it must be reported to the persons assigned to run the test and the manufacturer that the cooling tower is ready for acceptance testing.

#### **4.3. Execution of the acceptance tests**

##### **4.3.1. Pre conditions**

Prior to acceptance testing following conditions must be fulfilled:

- The plant must be in acceptable condition.
- All necessary acceptance documents must be available.
- All relevant measuring instruments in the cooling loop must be accessible.
- Exterior influences such as influence of sun radiation on thermometers must be eliminated, for example by sun shields.

#### 4.3.2. Trial measurements

Opportunity to run a trial test must be given to the persons assigned to run the acceptance test prior to the acceptance test itself. This is to allow a check of the instruments as well as training of people taking the readings.

A trial test could be accepted as acceptance test provided all conditions of this standard were fulfilled.

#### 4.3.3. Acceptable deviations of operating conditions

If the conditions of the guaranteed point ( $t_{wG}$ ,  $z_G$ ,  $m_G$ ,  $F_{pG}$ ) cannot be achieved during the acceptance test, deviations should not exceed the values indicated in table 4. Tests should be arranged so that valid readings can be taken consecutively.

Quantity	Deviation from guaranteed conditions
Entering wet bulb temperature $t_w$	+ 5 / - 10 K but $t_w \geq + 4^\circ\text{C}$
Range $z$	+ / - 20 %
Water flow $m$	+ / - 10 %
Heat load	+ / - 20 %
Fan power $F_p$	
- with speed control or adjustable blades	+ / - 5 %
- fans with no controls	+ / - 20 %

**Table 4 : Maximum deviations from guaranteed values admitted during the acceptance tests.**

Mean wind velocity shall not exceed 3,5 m/s during the measuring period.

If wind velocity is close to this value, it can be decided to measure it continuously; in that case, gusts of more than 7 m/s shall not occur more than 10 times within an hour or more than one minute (cumulative value).

Wind velocity shall be measured at a height of 1.0 m to 1.5 m above the basin curb elevation, and where possible in an open and unobstructed location to the windward of the equipment at a horizontal distance sufficient to eliminate the influence of the upstream effects of the equipment.

Wind measurements are done with a rotating cup or rotating vane anemometer; general direction of wind may be determined by using a vane-type device.

If in exceptional cases the validity limits cannot be maintained, the acceptance test results shall only be considered to be valid, if the contractual partners can make an agreement on the calculated influence of the deviating operating and climate conditions.

#### **4.3.4. Operating Conditions during the test**

The operating conditions should be constant during the test period. The entering wet bulb temperature may fluctuate but may not change by more than 1 K per hour.

During the measurement period it has to be ensured that the test conditions do not vary by more than:

+/- 5% for the thermal load

+/- 5% for the water flow

+/- 5% for the cooling tower range

*Note:* The conditions are dependent upon each other but individually must not exceed these limits.

#### **4.3.5. Frequency of readings**

The measurements must be taken at regular intervals and all readings must be recorded. The choice of time intervals generally relates to the constancy of the test conditions in as much that for more constant conditions longer time intervals may be chosen. The recommended frequency of readings per measurement station are listed in table 5.

Measurement Station	Recommended frequency each hour per station	Unit	Record to the nearest
Wet bulb temperature	12	°C	0.05
Cold water temperature	12	°C	0.05
Hot water temperature	12	°C	0.05
Water flow (see note 1)	3 (note 1)	See note 2	
Pumping head *	1	kPa	2
Fan power	1	See note 2	
Wind velocity	6	M/s	1
Make up temperature *	2	°C	0.05
Make up flow *	2 (note 1)	See note 2	
Blow down temperature *	2	°C	0.05
Blow down flow *	2 (Note 1)	See note 2	
(* if applicable)			

**Table 5 : Recommended frequency of reading**

**Note 1 :** When water flow measurement time is excessive, such as when Pitot or Prandtl tubes are used, it may not be possible to achieve the recommended frequency specified in the table. In such case one flow measurement is acceptable, providing repetitive measurements at a sample point (for example at the center of the water pipe) are taken to ensure water flow variations which may occur during the test are recorded and do not exceed the allowable limits of paragraph 4.3.4.

**Note 2 :** Type of units to be recorded depend on measurement methods actually used. Recording must be in line with precision of instruments.

#### 4.3.6. Test duration

The test duration must be chosen so that, taking into account the fluctuation of air temperatures and the scatters of operating parameters, a sufficient number (min. 10) of valid readings can be obtained.

The time period shall be minimum 1 hour but not more than 8 hours.

For mechanical draught, standardized cooling towers the thermal lag time is rather small (i.g. 2 min) and in general need not be considered. But if this time interval determined by the following equation is greater than two minutes, the test time period shall be lengthened by a like amount, and the test averages shall be based on compensating time spans, so that the readings chosen will represent true tower performance.

$$S_1 = \frac{Q_B}{60(m + m_b)}$$

Whereas  $S_1$  = thermal lag time (minutes)

$Q_B$  = average water volume in cold water basin during the test (l)

$m$  = hot water flow (l/s)

$m_b$  = blow down flow (l/s)

Where the thermal lag exceeds 5 min., assume that the period of the cold water temperature readings lays an equivalent time behind the period of the other readings.

#### 4.3.7. Validity of test results

Fluctuations of load, temporary periods of bad weather, failure of instrumentation, or other incidents may require elimination of certain readings from the test data. If readings occur that are outside the limits of 4.3.3. or 4.3.4., the test should be continued until a minimum of one hour of uninterrupted data can be taken, all falling within the limits of 4.3.3. and 4.3.4.

## 5. ASSESSMENT OF TEST RESULTS IN VIEW OF GUARANTEED PERFORMANCE DATA

### 5.1. Assessment of test results

After completion of the data-taking, the people assigned to do the test, the cooling tower owner or his representative, together with the cooling tower supplier, decide which span of readings shall be used in the final assessment, based on the requirements of Section 4.3. All readings must be used though isolated anomalous readings resulting from faulty instrumentation or other similar causes may be eliminated from the assessment, providing all other data indicate that the test is valid per 4.3.3. and 4.3.4., and a minimum of ten valid readings remains for the assessment.

### 5.2. Comparison with the guaranteed performance data

Using the measured values the face value of the cold water  $t_{cfk}$  is found from the performance curves for each reading and the difference between the measured cold water temperature  $t_{ck}$  and the face value  $t_{cfk}$

$$\Delta t_k = t_{ck} - t_{cfk}$$

and the arithmetic average of all  $\Delta t_k$  for all measuring periods is calculated

$$\Delta t_A = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \Delta t_k$$

The guaranteed condition has been achieved, if  $\Delta t_A < 0$ . Taking into account measurement errors the guaranteed condition is achieved, if

$$0 < \Delta t_A \leq \delta t_t = \delta t_m = \delta t_b$$

The deviation  $\delta t_t$  is the sum of the error of the results of  $\delta t_m$  (calculated according to paragraph 6.5) and the base tolerance  $\delta t_b$ . The base tolerance takes into account influences on the operation of the cooling tower (for example meteriology, water quality etc.) which analytically have not been considered and is set at 0.2 K.



## 6. TEST TOLERANCE

To compare the guaranteed cold water temperature with the measured cold water temperature, the tolerances of the temperature measurement must be taken into account. In addition, deviations forthcoming from the measuring tolerances of wet bulb temperature, range, water flow rate and fan power must be considered, since the cold water temperature depends on these quantities. The relationship of these quantities to the cold water temperature can generally be found in the performance curves.

Errors can occur through systematic non-measurable deviations during the test and through temporary fluctuations of the quantity to be measured.

### 6.1. Error created by non-measurable systematic deviations of operating parameters

The measurement errors of the individual parameters have influence on the determination of the cold water temperature. An example will demonstrate how these influences can be determined. An example of performance curves used for this purpose is shown in Appendix A.

#### 6.1.1. Influence of wet bulb measurement uncertainties $\Phi_w$

The influence factor  $\Phi_w$  indicates the change in cold water temperature  $\Delta t_c$  for a given variation of the wet bulb temperature  $\Delta t_w$ , providing all other influencing parameters, water flow rate, fan power and range are according to guaranteed conditions.

The variation of  $\Delta t_w$  must be selected so, that a relation between  $t_w$  and  $t_c$  is close to linear. (see Appendix A for example)

#### 6.1.2 Influence of cooling range measurement uncertainties $\Phi_z$

The influence factor  $\Phi_z$  indicates the change of cold water temperature  $\Delta t_c$  for a given variation of the range  $\Delta z$ , providing the water flow rate and fan power are at guaranteed conditions and the wet bulb temperature is the average measured value. The variation of  $\Delta z$  must be +/- 1 K.

(see Appendix A for example)

### 6.1.3. Influence of fan power measurement uncertainties $\Phi_F$

The influence factor  $\Phi_F$  indicates the change of cold water temperature  $\Delta t_c$  for a given variation of the fan power  $\Delta F_p$  (in %), providing the water flow rate and range are at guaranteed conditions and the wet bulb temperature is the average measured value. Variations of  $\Delta F_p$  must be +/- 10 %.

(see Appendix A for example)

### 6.1.4. Influence of water flow rate measurement uncertainties $\Phi_m$

The influence factor  $\Phi_m$  indicates the change of cold water temperature  $\Delta t_c$  for a given variation of the water flow rate  $\Delta m$  (in %), providing fan power and range are at guaranteed conditions and the wet bulb temperature is at the average measured value. Variations of  $\Delta m$  must be +/- 10 %.

(see Appendix A for example)

## 6.2. Determination of measuring equipment tolerances

The measuring tolerances for different instruments are indicated in section 3. The values actually to be used must be defined by the contractual parties prior to the measurement and should not exceed the values shown in table 6.

Quantity	Acceptable tolerance of instrumentation
Wet bulb temperature	$\varepsilon_{t_w}$ 0.1 K
Water temperature	$\varepsilon_t$ 0.1 K
Water flow rate	$\varepsilon_m$ 3 %
Fan power	$\varepsilon_{Fp}$ 3 %

**Table 6 : Measuring equipment tolerances acceptable for the test**

For the individual instruments the systematic deviations  $\varepsilon_x$  must be determined from the operation guidelines for the instruments used or can be taken from table 6.

The applicable tolerances ( $\varepsilon_x$ ) are combined with the influence factors  $\Phi$  found in chapter 6.1. and allow the calculation of the error caused by non-measurable systematic deviations of the operating parameters.

### **6.3. Error caused by non-measurable systematic deviations of operating parameters**

The error  $\delta t_s$  of the comparison due to systematic non-measurable influences can be calculated as follows:

$$\delta t_s = \sqrt{(\Phi_w \times \varepsilon_{t_w})^2 + (\Phi_z \times 2\varepsilon_t)^2 + (\Phi_m \times \varepsilon_m)^2 + (\Phi_{Fp} \times \varepsilon_{Fp})^2 + (\varepsilon_{t_c})^2}$$

The tolerance of the measurement of the cold water temperature  $\varepsilon_{t_c}$  naturally is applied directly in the result.

### **6.4. Determination of errors caused by random deviation of test results and temporary oscillation of the operating parameters**

Random events cause that the differences  $\Delta t_k$  between measured and guaranteed cold water temperature, calculated according to subclause 5.2., fluctuate around the average  $\Delta t$  calculated from all measuring periods.

A measure for this fluctuation is the empirical standard deviation

$$S_{\Delta t_k} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{k=1}^k (\Delta t_a - \Delta t_k)^2}$$

The measuring tolerance  $\delta t_r$  caused by random deviation of measuring results and temporary oscillations of the measured quantities with the level of confidence for a probability of 95% must be found using the equation below. Values of the  $S_t$  distribution according to Student can be found in table 7.

$$\delta t_r = \frac{S_t(k)}{\sqrt{k}} S_{\Delta t_k}$$

k	$S_t(k)$	k	$S_t(k)$
2	12.710	16	2.131
3	4.303	17	2.120
4	3.182	18	2.110
5	2.776	19	2.101
6	2.571	20	2.093
7	2.447	21	2.086
8	2.365	22	2.080
9	2.306	23	2.074
10	2.262	24	2.069
11	2.228	25	2.064
12	2.201	26	2.060
13	2.179	27	2.056
14	2.160	28	2.052
15	2.145	29	2.048

Table 7 : Distribution according to Student for a level of confidence of 95%.

### 6.5. Determination of the test tolerance

The test tolerance  $\delta t_m$  is the result of the tolerances caused by systematic  $\delta t_s$  and random  $\delta t_r$  deviations and can be calculated as follows:

$$\delta t_m = \sqrt{\delta t_s^2 + \delta t_r^2}$$

The test tolerance  $\delta t_T$  is found by adding the base tolerance  $\delta t_B$

$$\delta t_T = \delta t_m + \delta t_B$$

## 7. TEST REPORT

The test report should include following information:

- a) Place, date
- b) Manufacturer of the cooling tower
- c) Main dimensions (drawing, sketch)
- d) Guarantee clauses with documents
- e) Report on how the measurements were made
- f) Results of the measurement (in form of tables, reports and graphs) and the test analysis.
- g) Declaration on whether the guarantee was fulfilled.

## 8. SYMBOLS

<b>Symbol</b>	<b>Description</b>	<b><u>Dimension</u></b>
$t_w$	Wet bulb temperature	°C
$t_{wG}$	Guaranteed wet bulb temperature	°C
$t_{wk}$	Wet bulb temperature measured at reading k	°C
$t_h$	Hot water temperature	°C
$t_{hk}$	hot water temperature measured at reading k	°C
$t_c$	Cold water temperature	°C
$t_{cg}$	Guaranteed cold water temperature	°C
$t_{ck}$	Cold water temperature at reading k	°C
$t_{cfk}$	Face value of cold water temperature at conditions found at reading k from performance curves	°C
$t_m$	Temperature of the make up water	°C
Z	Range ( $t_h - t_c$ )	K
$Z_G$	Guaranteed range	K
$Z_k$	Range calculated for reading k ( $t_{hk} - t_{ck}$ )	K
$\Delta t_p$	Temperature increase due to pump energy	K
$\Delta t_k$	Difference between measured cold water temperature ( $t_{ck}$ ) and face value ( $t_{cfk}$ ) for reading k	K
$\Delta t_a$	Arithmetic average of all $\Delta t_k$	K
k	Reading indication	
m	Hot water flow	l/s
$m_G$	Guaranteed hot water flow	l/s
$m_k$	Hot water flow measured at reading k	l/s
$m_m$	Make up water flow	l/s
$m_b$	Blow down water flow	l/s
$F_p$	Fan motor power	kW
$F_{pG}$	Guaranteed fan motor power	KW

$P_h$	Pump discharge pressure	kPa
$P_c$	Pump suction pressure	kPa
$P_{si}$	Static pressure at contractual tower inlet	kPa
$P_{di}$	Dynamic pressure at contractual tower inlet	kPa
$\rho gh_j$	Gravity pressure contractual inlet	KPa
$P_{so}$	Static pressure at contractual outlet	kPa
$P_{do}$	Dynamic pressure at contractual outlet	kPa
$\rho gh_o$	Gravity pressure at contractual outlet	kPa
$H$	Difference between contractual inlet and outlet gravity terms	kPa
$\Delta p_{io}$	Total pressure difference between contractual tower inlet and outlet	kPa
$\eta_p$	Pump efficiency	
$s_l$	Thermal lag	min
$Q_b$	Average volume of water basin	l
$V_w$	Wind velocity	m/S
$\delta t_t$	Test tolerance including systematic and random deviations and base tolerance	K
$\delta t_m$	Measurement result error	K
$\delta t_b$	Base tolerance	K
$\delta t_s$	Error due to systematic non-measurable influences	K
$\delta t_r$	Error caused by random deviations	K
$\Phi_w$	Wet bulb influence factor	K/°C
$\Phi_z$	Range influence factor	K/°C
$\Phi_F$	Fan power influence factor	K/ %
$\Phi_m$	Water flow influence factor	K/ %
$\epsilon_x$	Measuring tolerance for measuring equipment x	
$S_t$	Student number	

## 9. EXAMPLE

Cooling tower type : xyz

Number of cells : 2

Hot water entries : 1 per cell

Cold water outlets : 1 for two cells

### Design data :

- water flow  $m = 2 \times 34,7 \text{ l/s}$
- hot water temp.  $t_h = 30^\circ\text{C}$
- cold water temp.  $t_c = 24^\circ\text{C}$
- wet bulb temp.  $T_w = 19^\circ\text{C}$
- fan power  $F_p = 2 \times 10 \text{ kW}$

Note : In this example evaluation of pumping head is not included.

### Used instrumentation :

- Temperatures
  - water mercury thermometers with 0,1 K gradation
  - wet bulb temp. aspiration psychrometer with 0,1 K gradation
- Water flow: Pitot tube ( $\varepsilon = 2 \%$ )
- Fan power, motor amps Watt meter at switch board.

### Measuring locations :

- water flow 1 measuring point in each feeder pipe
- hot water temperature 1 measuring point in each feeder pipe
- cold water temperature 2 measuring points in common suction line
- wet bulb temperature 1 m in front of air entry, 4 x at each air entry side

Test protocol in Appendix C and result analysis in Appendix D.



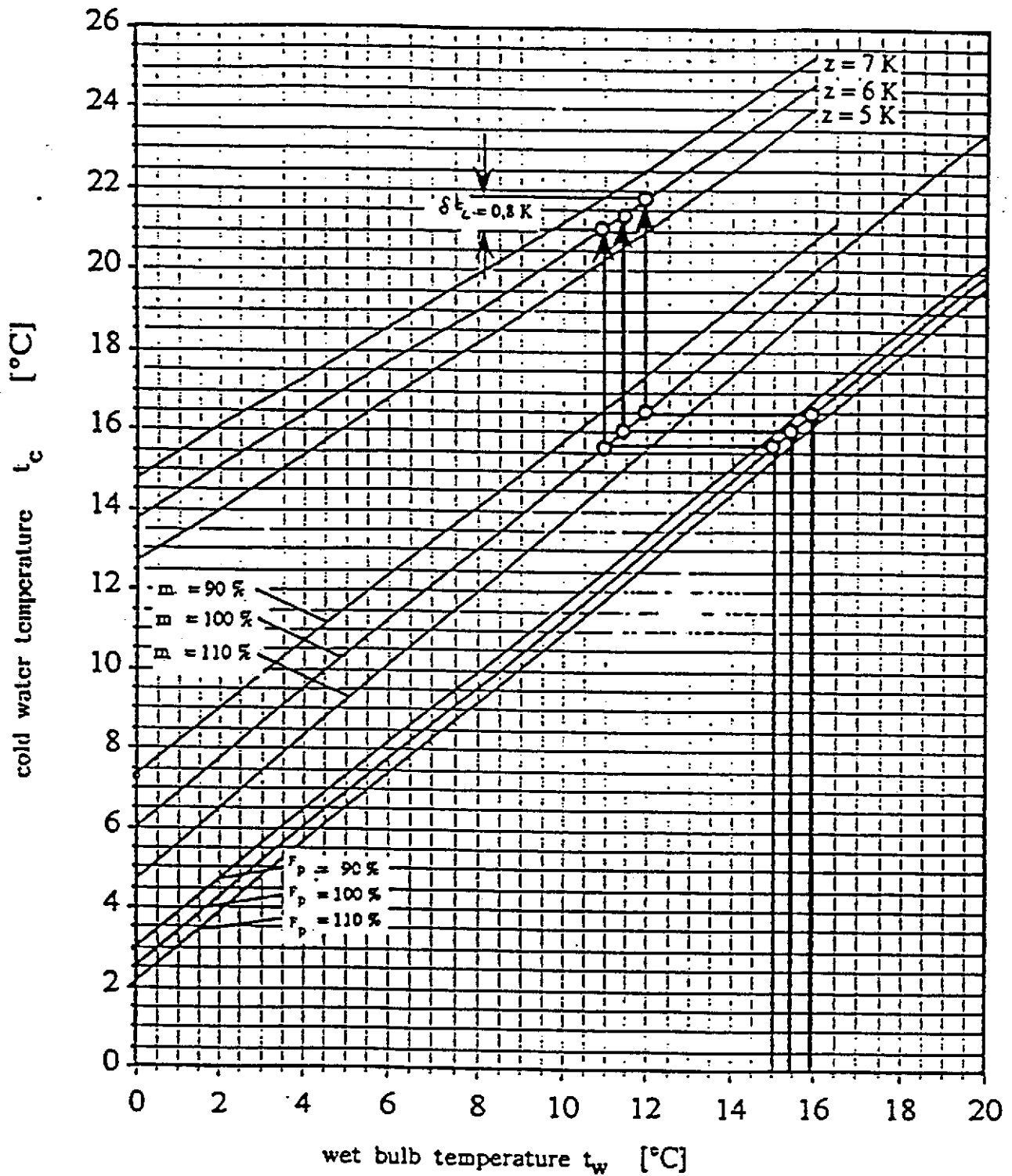


FIGURE A.1. Performance curve with example to find the change of the cold water temperature  $t_c$  due to changes of the influencing factor "wet bulb temperature"

$t_w$ .

With :  $t_w = 15.5 \pm 0.5$  °C; and  $z = 6 \text{ K}$ ;  $F_p = 100\%$ ;  $m = 100\%$  constant, the result is:

$$\Delta t_w = \frac{\delta t_c}{\delta t_w} = \frac{0.8 \text{ K}}{1^\circ \text{C}} \rightarrow \Phi_w = 0.8 \frac{\text{K}}{^\circ \text{C}}$$

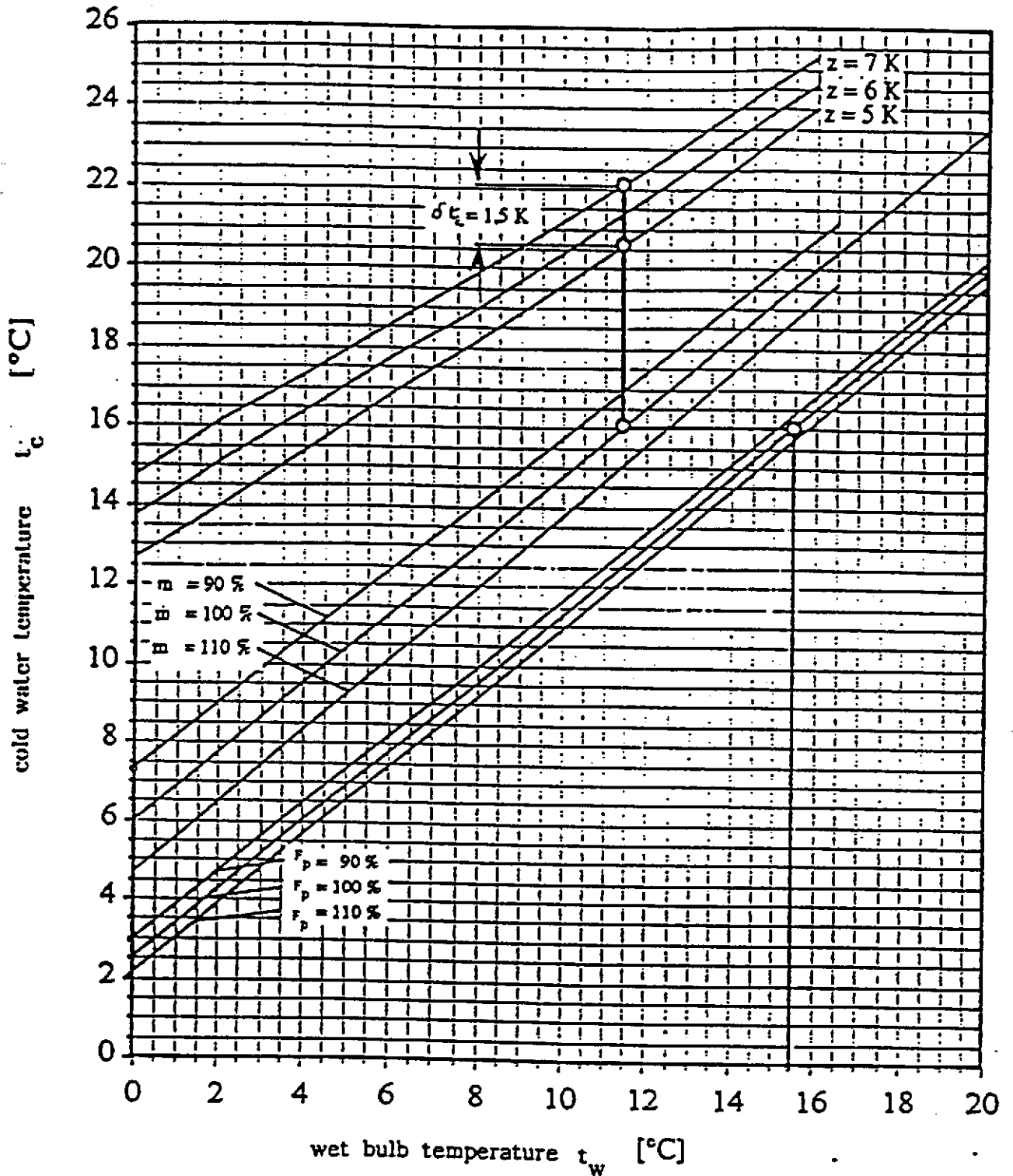


FIGURE A.2. Performance curve with example to find the change of the cold water temperature  $t_c$  due to changes of the influence factor "range  $z$ "

With :  $z = 6 \pm 1$  K; and  $t_w = 15.5$  °C;  $F_p = 100\%$ ,  $m = 100\%$  constant, the result is:

$$\Delta z = \frac{\delta t_c}{\delta z} = \frac{1.5 \text{ K}}{2^\circ \text{C}} \rightarrow \Phi z = 0.75 \frac{\text{K}}{^\circ \text{C}}$$

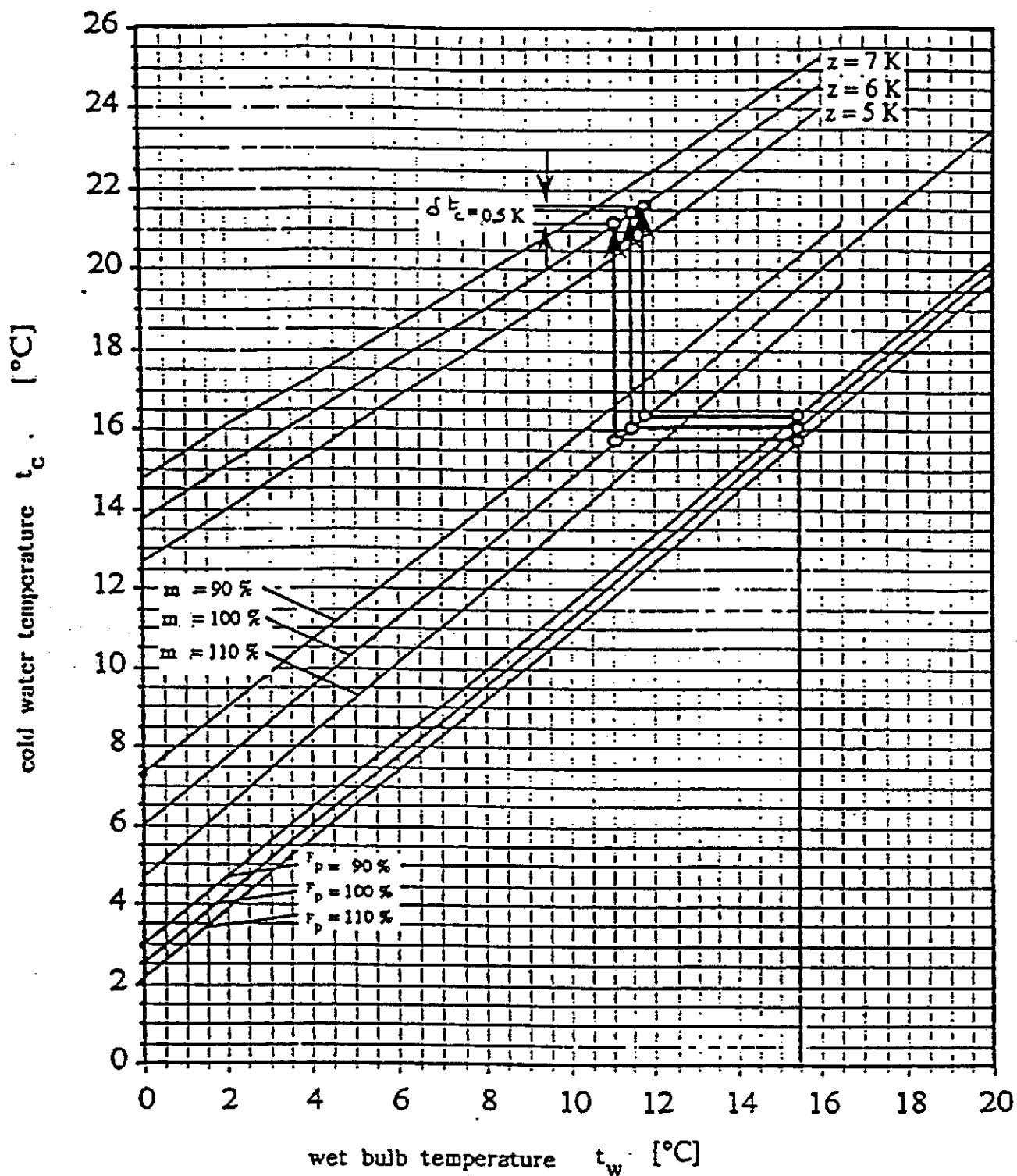


FIGURE A.3. Performance curve with example to find the change of the cold water temperature  $t_c$  due to changes of the influencing factor "fan power  $F_p$ ".  
 With  $F_p = 100 \pm 10\%$ ; and  $t_w = 15.5^\circ\text{C}$ ;  $z = 6\text{ K}$ ,  $m = 100\%$ , the result is:

$$\Delta F_p = \frac{\delta t_c}{\delta F_p} = \frac{0.5\text{ K}}{20\%} \rightarrow \Phi_F = 0.025 \frac{\text{K}}{\%}$$

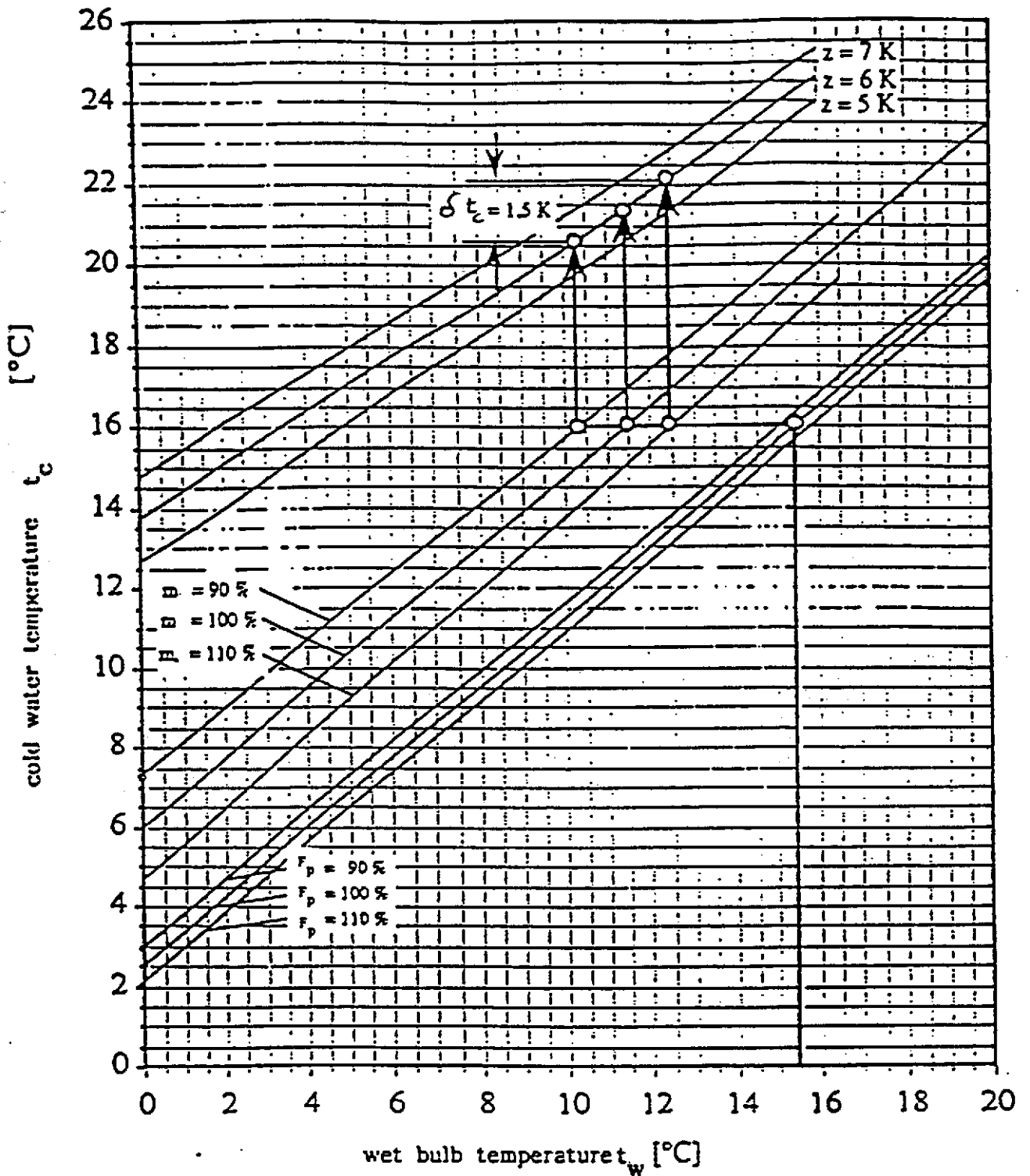


FIGURE A.4. Performance curve with example to find the change of the cold water temperature  $t_c$  due to the change of the influencing factor "water flow  $m$ "  
 With  $m = 100 \pm 10\%$ ; and  $t_w = 15.5^\circ\text{C}$ ;  $z = 6\text{ K}$ ;  $F_p = 100\%$  constant, the result is:

$$\Delta m = \frac{\delta t_c}{\delta m} = \frac{1.5\text{ K}}{20\%} \rightarrow \Phi m = 0.075 \frac{\text{K}}{\%}$$

## APPENDIX B

## POSITION OF MEASURING POINTS FOR COOLING TOWERS

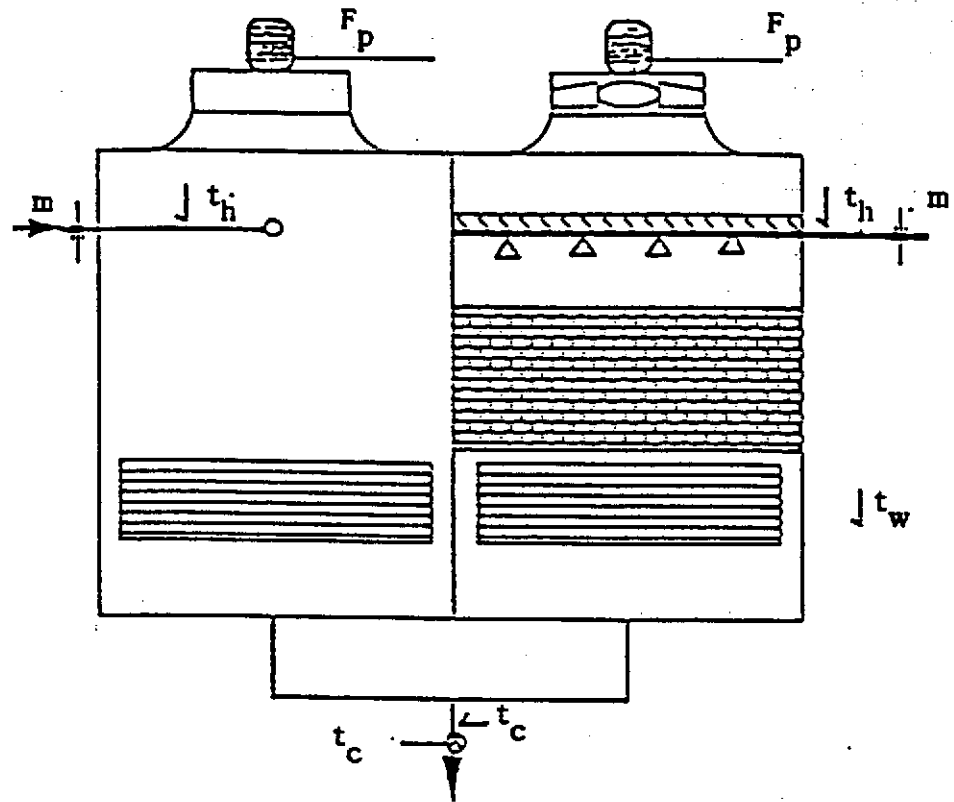


FIGURE B.2. Position of measuring points for a mechanical draught water cooling tower with two cells

List of measuring points

<u>Symbol</u>	<u>Quantity</u>
$t_w$	Wet bulb temperature
$m$	hot water flow
$t_h$	hot water temperature
$t_c$	cold water temperature
$F_p$	fan power



APPENDIX D  
EXAMPLE OF A TEST RESULT ANALYSIS AND CALCULATION  
OF TEST TOLERANCE

Model : xyz  
Location :  
Supplier :  
Date :  
Tested by :

Remarks

Designation	Symbol	Unit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Reading	k														
Face value of cold water temp.	$t_{CF}$	°C	21.0	21.1	21.3	21.4	21.5	21.7	21.6	21.8	21.9	21.9	21.9	21.9	21.8
Diff. nom.value/measured value	$\Delta t_k$	K	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Av. difference for all readings	$\Delta t_t$	K	0.300												
Test Tolerance															
Instrumentation tolerances															
Wet bulb temperature	$\xi t_w$	K	0.1												
Water temperature	$\xi t$	K	0.1												
Water flow	$\xi m$	%	2												
Fan power	$\xi F$	%	3												
Error caused by systematic deviations of measuring results (from performance curve)															
Wet bulb temperature	$\phi_w$	K/°C	0.8												
Range	$\phi_z$	K/°C	0.75												
Water flow	$\phi_m$	K/%	0.075												
Fan power	$\phi_F$	K/%	0.025												
Error caused by systematic deviations of measuring results															
Wet bulb temperature	$\xi_w$	K	0.08												
Range	$\xi_t$	K	0.15												
Water flow	$\xi_m$	K	0.15												
Fan power	$\xi_F$	K	0.075												
Tot. val. due to systematic dev.	$\delta t_s$	K	0.259												
Error caused by random deviations of measurement results and temporary fluctuations of influencing factors															
Standard deviations	$S_4 t_k$	K	0.082												
Factor for 95% (acc. to Student)	$S_t(K)$	I	2.179												
Tolerance	$\delta t_r$	K	0.05												
Sum of tolerances	$\approx \delta t_m$	K	0.264												

$$t_t = \delta t_m \cdot \delta t_b$$

$$= 0.264 K \cdot 0.2 K$$







# **ESSAIS DE RECEPTION DES PERFORMANCES THERMIQUES DES TOURS DE REFRIGERATION STANDARDS A TIRAGE MECANIQUE**

## **Table des Matières**

- 1.            Domaine d'application et objectifs**
- 1.1.        Domaine d'application
- 1.2.        Objectif
- 1.3.        Objet des essais de réception
- 2.            Courbes de performance**
- 2.1.        Format des courbes de performance
- 2.2.        Paramètres des courbes de performance
- 3.            Procédures de mesure et instrumentation**
- 3.1.        Généralités
- 3.2.        Mesures
- 3.2.1.      Températures
- 3.2.1.1.    Températures de l'eau
- 3.2.1.2.    Température de l'eau chaude
- 3.2.1.3.    Température de l'eau froide
- 3.2.1.4.    Température humide de l'air
- 3.2.2.      Débit d'eau
- 3.2.3.      Puissance de ventilation
- 3.2.4.      Hauteur de pompage
- 3.2.5.      Température et débit de l'appoint et de la purge

- 4. **Essais de réception**
  - 4.1. Accords entre les parties
    - 4.1.1. Généralités
    - 4.1.2. Date des essais de réception
    - 4.1.3. Organisation des essais de réception
    - 4.1.4. Coûts, fourniture du matériel d'essai et personnel
  - 4.2. Préparation des essais de réception
    - 4.2.1. Nombre et emplacement des points d'essai
    - 4.2.2. Etat de fonctionnement de la tour de réfrigération
  - 4.3. Exécution des essais de réception
    - 4.3.1. Conditions préliminaires
    - 4.3.2. Mesures d'essais préliminaires
    - 4.3.3. Déviations tolérées des conditions de fonctionnement
    - 4.3.4. Conditions d'opération durant l'essai
    - 4.3.5. Fréquence des mesures
    - 4.3.6. Durée du test
    - 4.3.7. Validation des résultats d'essai
- 5. **Validation des résultats d'essais pour la garantie des performances**
  - 5.1. Validation des résultats d'essais
  - 5.2. Comparaison avec les performances garanties
- 6. **Tolérance d'essai**
  - 6.1. Erreur engendrée par les déviations systématiques non mesurables des paramètres de fonctionnement
    - 6.1.1. Influence des incertitudes de mesure de la température humide de l'air
    - 6.1.2. Influence des incertitudes de mesure de l'écart eau chaude/eau froide
    - 6.1.3. Influence des incertitudes de mesure de la puissance de ventilation
    - 6.1.4. Influence des incertitudes de mesure du débit d'eau

- 6.2. Détermination des tolérances des instruments de mesure
- 6.3. Erreur engendrée par les déviations systématiques non mesurables des paramètres de fonctionnement
- 6.4. Détermination des erreurs dues à la déviation aléatoire des résultats d'essais ainsi qu'aux oscillations dans le temps des paramètres de fonctionnement
- 6.5. Calcul de la tolérance des essais
- 7. **Rapport d'essai**
- 8. **Symboles**
- 9. **Exemple**

- Annexe A* : *Courbes de performance*
- Annexe B* : *Position des points de mesure sur les tours de réfrigération*
- Annexe C* : *Exemple de rapport d'essai*
- Annexe D* : *Exemple d'interprétation des résultats d'essais et calcul de la tolérance d'essai*



## **1. DOMAINE D'APPLICATION ET OBJECTIFS**

### **1.1. Domaine d'application**

Cette norme s'applique aux essais thermiques de réception des tours de réfrigération standards à tirage forcé.

Cette norme définit la préparation, l'exécution et l'analyse des essais de réception et doit être considérée comme faisant partie intégrante du contrat d'achat. Toute modification ou addition des règles définies ci-après doit faire l'objet d'un accord entre les parties concernées et doit être étayée par des documents.

La norme est destinée aux :

- fournisseurs,
- acheteurs,
- propriétaires,
- experts,
- agences d'essai.

### **1.2. Objectif**

Les données thermiques et hydrauliques de la tour de réfrigération, spécifiées dans le contrat entre le fournisseur et l'acheteur, peuvent être vérifiées par un essai de réception.

Les termes comme "garantie" et "réception" utilisés dans cette norme doivent être compris selon leur sens technique ; ils n'ont de valeur ni légale ni commerciale. Les conséquences légales ou commerciales qui pourraient résulter du respect ou du non-respect des performances contractuelles ne font pas partie de cette norme.

### **1.3. Objet des essais de réception**

La température d'eau froide de la tour de réfrigération aux conditions garanties ( $t_{wG}$ ,  $z_G$ ,  $m_G$ ,  $F_{pG}$ ,  $\Delta P_{io}^{*1}$ ) doit être inférieure ou égale à une valeur spécifique. Des courbes de performance, qui serviront aux essais de réception, doivent être fournies avant les essais par le constructeur des tours de réfrigération. Ces courbes définissent les zones autour du point de garantie et indiquent les zones dans lesquelles les tests de réception sont autorisés (voir paragraphe 4.3.3.).

## **2. COURBES DE PERFORMANCE**

### **2.1. Format des courbes de performance**

Les courbes de performance doivent être fournies de telle sorte qu'elles donnent la relation entre la température d'eau froide ( $t_c$ ) et la température humide de l'air ( $t_w$ ) pour des variations de débit d'eau ( $m$ ), d'écart de température ( $z$ ) et de puissance de ventilation ( $F_p$ ) à vitesse de rotation du ventilateur et angle de calage constants.

---

<sup>1\*</sup>  $\Delta P_{io}$  ne sera calculé que si cela est spécifié dans le contrat.

Les courbes de performance peuvent être présentées selon l'exemple donné en annexe A. D'autres présentations sont également possibles si elles donnent les mêmes informations.

Les courbes doivent permettre la lecture avec une précision de 0,1 K. Les zones dans lesquelles les essais de réception sont permis doivent être indiquées (voir paragraphe 4.3.3.).

## 2.2. Paramètres des courbes de performance

La valeur de catalogue de la température d'eau froide ( $t_{er}$ ) doit être représentée en fonction des paramètres suivantes :

- température de l'air humide,
- débit d'eau à refroidir,
- température d'eau chaude ou écart de température,
- puissance de la ventilation.

## 3. PROCEDURES DE MESURE ET INSTRUMENTATION

### 3.1. Généralités

Les valeurs suivantes doivent être mesurées lors des essais de réception :

- débit d'eau chaude ( $m$ ),
- température d'eau chaude ( $t_h$ ),
- température d'eau froide ( $t_c$ ),
- température humide de l'air d'entrée ( $t_w$ ),
- puissance ventilation ( $F_p$ ),
- vitesse du vent ( $V_w$ ).

Si nécessaire :

- hauteur de pompage ( $\Delta P_{io}$ ),
- température ( $t_m$ ) et débit de l'eau d'appoint ( $m_m$ ).

Les mesures ci-dessus doivent être réalisées selon les normes correspondantes.

Un résumé de l'instrumentation nécessaire est donnée en annexe B "position des points de mesure sur les tours de réfrigération".

Tout instrument de mesure doit être calibré et vérifié avant les essais. Les déviations qui ont été remarquées doivent être considérées dans l'exploitation des résultats.

La plage de mesure des instruments doit être sélectionnée de telle sorte que l'erreur de mesure soit minimum. Les tolérances acceptées sont spécifiées à la table 6.

Les instruments de mesure de débit d'eau de type compteur sont acceptés s'ils sont, en parallèle, contrôlés par une mesure instantanée additionnelle afin de vérifier que les variations de débit restent dans les limites tolérées données dans le paragraphe 4.3.4.

Les équipements de mesure ainsi que leur calibrage et leur position doivent être en accord avec les normes correspondantes.

### 3.2. Mesures

#### 3.2.1. Températures

Les températures à mesurer sont la température d'eau chaude  $t_h$ , la température d'eau froide  $t_c$ , la température humide de l'air  $t_w$  et, si possible, la température de l'appoint  $t_m$ .

Les instruments calibrés donnés en exemple ci-dessous peuvent être utilisés :

- thermomètres à colonne liquide,
- thermomètres à résistance platine,
- thermocouples,
- thermistances,
- thermomètres au quartz.

L'échelle d'indication ou d'enregistrement du thermomètre doit avoir une graduation de 0,1 K au maximum, lisible à 0,05 K. Le thermomètre doit être calibré et contrôlé avant les essais avec une précision de  $\pm 0,05$  K.

##### 3.2.1.1. Températures de l'eau

Les instruments de mesures doivent correspondre à la liste donnée ci-dessus. Le positionnement de ces instruments doit être effectué de telle sorte que les moyennes déterminées soient correctes.

##### 3.2.1.2. Température de l'eau chaude

La conduite d'alimentation de la tour ou le système de distribution d'eau chaude est un emplacement correct des instruments de mesure de température de l'eau chaude.

##### 3.2.1.3. Température de l'eau froide

La température de l'eau froide doit représenter une moyenne réelle et correcte de la température de l'eau en sortie de tour de réfrigération. Il convient de prendre des précautions afin d'éliminer toute stratification des températures au point de mesure. Si la température de l'eau froide est mesurée en sortie de pompe, par le biais d'un doigt de gant dans la conduite, la température mesurée doit être corrigée en raison des effets de compression, comme suit :

$$\Delta t_p = 0,00239 (P_h - P_c) (1 - \eta_p) / \eta_p$$



Nota : On peut considérer, sans commettre d'erreur importante, que  $P_c = 0\text{kPa}$  si la distance entre le niveau d'eau dans le bassin d'eau froide et l'axe de la pompe n'est pas trop importante et si la conduite entre le bassin et la pompe n'est pas trop longue.

Si l'appoint est effectué en amont des points de mesure, c'est-à-dire par exemple dans le bassin d'eau froide, il convient de corriger la température mesurée par l'effet de l'appoint en effectuant un bilan thermique prenant en compte le débit d'eau d'appoint ainsi que sa température.

#### 3.2.1.4. La température humide

La température humide de l'air entrant doit être mesurée en utilisant des psychromètres à aspiration mécanique en nombre suffisant. Ils doivent être situés de telle sorte que la mesure représente une valeur réelle et correcte de la vraie température humide de l'air aspiré dans la tour de réfrigération.

L'instrument doit vérifier les caractéristiques suivantes :

- a) L'échelle de mesure de l'instrument ou de l'enregistreur ne doit pas être composée d'incrémentes supérieurs à 0,1 K
- b) La précision de mesure de l'élément sensible doit être au maximum de  $\pm 0,05\text{ K}$
- c) L'élément sensible de mesure doit être protégé des rayons du soleil par un écran ou de toute autre source importante de chaleur radiante. L'écran doit être à une température proche de celle de l'air ambiant.
- d) L'élément sensible de mesure doit être recouvert d'une chaussette continuellement humidifiée à partir d'un réservoir d'eau distillée.
- e) La température de l'eau distillée utilisée pour humidifier la chaussette doit être proche de la température humide de l'air. Ceci peut être obtenu en pratique en utilisant une longueur de chaussette suffisante entre la source d'eau et l'élément sensible de mesure.
- f) La chaussette doit épouser parfaitement la forme de l'élément sensible et déborder de deux centimètres. La chaussette doit être maintenue propre durant les mesures.
- g) La vitesse de l'air autour de l'élément sensible de mesure doit être comprise entre 3 et 6 m/s.

#### 3.2.2. Débit d'eau

Le débit d'eau chaude doit être mesuré. Il est cependant admissible d'effectuer des mesures similaires dans la conduite d'eau froide si les conditions locales d'installation ne permettent pas la mesure dans la conduite d'eau chaude. Dans ce cas, il est possible de calculer le débit d'eau chaude en effectuant un calcul de correction sur les masses volumiques en fonction des températures. Il convient de vérifier qu'aucun débit d'eau n'est ajouté ou retiré entre le point de mesure et l'entrée de la tour.

Les débitmètres de mesure doivent être installés conformément aux règles de l'art dans les normes correspondantes. Une liste des débitmètres utilisables ainsi que leur linéarité type est donnée ci-dessous :

Méthode de mesure de débit	Linéarité type en % du débit
Instruments à étranglement	dépend de la différence de pression mesurée
Tubes de Pitot ou de Prandtl	$\pm 1$ $\pm 3$
Turbines	$\pm 0,15$ $\pm 1,0$
Equipement électromagnétique	$\pm 0,50$ $\pm 4$
Equipement à ultrasons	$\pm 0,10$ $\pm 1$
Compteur (si débit constant)	dépend du type de compteur

*Tableau 1 : Linéarité type pour différents appareils de mesure de débit*

Tout instrument de mesure utilisé lors des tests doit avoir une précision de  $\pm 1,5$  % garantie par le fabricant et certifié par un laboratoire indépendant.

Si la mesure est effectuée en utilisant un appareil installé définitivement sur le circuit d'eau, les parties concernées définissent, d'un commun accord, la tolérance de mesure. Cette tolérance de mesure doit être définie avant les essais et ne doit pas excéder  $\pm 3$  %.

### 3.2.3. Puissance de ventilation

La puissance électrique ( $F_{pe}$ ) consommée par les moteurs entraînant les ventilateurs doit être mesurée.

La mesure de puissance doit être définie par la mesure des intensité, voltage et du facteur de puissance ou par une mesure directe de puissance.

Si la mesure de puissance s'effectue à un endroit éloigné des moteurs, il convient de prendre en compte les pertes en ligne entre le point de mesure et le moteur.

Si les performances garanties ( $F_{pe}$ ) sont données en puissance arbre moteur, le passage puissance électrique/mécanique s'effectue en considérant le rendement indiqué par le constructeur du moteur.

L'appareillage de mesure doit être calibré avant les essais par un laboratoire indépendant avec une précision de  $\pm 1,5$  %.

Mesure de la puissance de ventilation	Tolérance type en % de puissance de ventilation
Wattmètre	1 - 5 %
Volt - ampèremètre	3 - 8 %

*Tableau 2 : Tolérances types pour différentes mesures de puissance*

### 3.2.4. Hauteur de pompage

La hauteur de pompage de la tour de réfrigération ( $\Delta P_{io}$ ) représente la différence de pression totale entre les entrées et sorties contractuelles de la tour.

$$\Delta P_{io} = (P_{si} + P_{di} + \delta gh_i) - (P_{so} + P_{do} + \delta gh_o)$$

où  $\delta gh$  est la pression potentielle

$$OU \quad \Delta P_{io} = (P_{si} + P_{di}) - (P_{so} + P_{do}) + H$$

où  $H$  est la différence de hauteur géométrique en terme de pression.

Dans la plupart des cas, les surfaces d'entrée et de sortie d'eau sont similaires. On peut donc utiliser la formule simplifiée suivante :

$$\Delta P_{io} = (P_{si} - P_{so}) + H$$

### 3.2.5. Température et débit de l'appoint et de la purge

On peut utiliser les procédures de mesure des températures et des débits d'eau de l'eau de circulation.

## 4. ESSAIS DE RECEPTION

### 4.1. Accords entre les parties

Le fournisseur et l'acheteur doivent définir les modalités des essais de performance lors de la signature du contrat.

Une liste de paramètres à mesurer est donnée en annexe B.

Les deux parties concernées définissent d'un commun accord le positionnement des points de mesure dans le cas où il n'est pas possible de suivre les règles de l'art.

#### 4.1.2. Date des essais de réception

Les essais de réception doivent être effectués après une certaine période de fonctionnement sous charge thermique (de préférence 400 heures) ; ils ne doivent pas être effectués au-delà de 12 mois à compter de la mise en service. Les essais doivent être réalisés aux conditions d'ambiance, d'écart et de débit proches des conditions de garantie (voir paragraphe 433 tableau 4).

#### 4.1.3. Organisation des essais de réception

L'organisation du programme d'essais ainsi que les essais, comme par exemple le choix des cellules testées dans le cas d'une installation comportant plusieurs cellules, doivent être définies d'un commun accord entre l'acheteur et le fournisseur. Chaque partie concernée par le contrat a le droit d'assister ou de participer à ces essais.

#### 4.1.4. Coûts, fourniture du matériel d'essai et du personnel

Les parties concernées par le contrat ou leurs représentants doivent, d'un commun accord, définir le personnel requis pour les essais ainsi que la fourniture du matériel de mesure.

La définition des coûts, de même que les comparaisons ou répétitions d'essais ainsi que la consultation d'une tierce partie doivent être spécifiés dans le contrat.

#### 4.2. Préparation des essais de réception

Afin de mesurer les paramètres les plus importants, il est vivement recommandé d'installer des dispositifs spéciaux et/ou des doigts de gants, de telle sorte que les essais de réception puissent être réalisés sans influencer les instruments de mesure en place.

#### 4.2.1. Nombre et emplacement des points d'essais

Le nombre et la situation des points de mesure sont définis dans le tableau 3 et l'annexe B ; ils doivent tenir compte des possibilités dues aux conditions locales. Le positionnement des mesures se fait conformément aux règles de l'art définies dans les normes concernées.

n°	Quantité	Minimum	Nombre
1	Débit d'eau m	M = 1 pour chaque conduite	en accord avec les normes correspondantes
2	Température d'eau chaude t <sub>b</sub>	M = 1 pour chaque conduite	dans les conduites d'entrée
3	Température d'eau froide t <sub>c</sub>	M ≥ 2 pour chaque sortie	à la sortie du bassin (voir paragraphe 3.2.1.3.)
4	Température humide de l'air t <sub>w</sub>	$M \geq \left(\frac{A}{m^2}\right)^{0.4}$ avec au moins une station par entrée d'air A = surface d'entrée d'air (m <sup>2</sup> ) M ≥ 2	A une distance maximum de 2 m entre l'entrée de la tour et le point de mesure.  Distribution effectuée de telle sorte que la température moyenne de l'air mesurée représente la valeur moyenne et vraie de la température humide de l'air.
5	Puissance de ventilation F <sub>p</sub>	M = 1	En direct sur le moteur ou en salle de commande
6	Hauteur de pompage ΔP <sub>to</sub>	M = 1	voir paragraphe 3.2.4.

Tableau 3 : positionnement et nombre des points de mesure recommandés

#### 4.2.2. Etat de fonctionnement de la tour de réfrigération

La tour de réfrigération doit être inspectée avant les essais de réception afin de vérifier que celle-ci fonctionne correctement.

Il convient de vérifier en particulier que :

- \* tous les équipements sont en bon état et opérationnels,
- \* les surfaces d'échange et séparateurs de goutte sont exempts de débris et pollutions biologiques,
- \* le système de distribution d'eau est propre et non obturé,
- \* la tour de réfrigération et sa source d'air ne présentent pas de fuite,
- \* l'entrée et la sortie d'air ne sont pas obstrués.

Il doit être vérifié que la qualité et la composition de l'eau à refroidir est conforme aux spécifications du contrat. L'eau doit être en particulier exempte d'huile et de graisse.

Dans le cas des tours de réfrigération à plusieurs cellules, il est nécessaire d'équilibrer les débits d'eau. Cet équilibrage peut être réalisé en ajustant des débits de telle sorte que les pressions de dispersion (pression à l'entrée des cellules) ou les niveaux d'eau dans les bassins d'alimentation soient égaux.

Il est nécessaire d'informer les personnes qui conduisent les essais ainsi que celles qui y assistent que la tour est préparée pour les essais de réception.

#### 4.3. Exécution des essais de réception

##### 4.3.1. Conditions préliminaires

Avant de réaliser les essais, il convient de vérifier les points suivants :

- \* l'unité doit être en état de fonctionnement,
- \* tous les documents nécessaires à la réception doivent être disponibles,
- \* tous les instruments de mesure doivent être accessibles,
- \* les effets ambiants comme la radiation solaire sur les thermomètres doivent être éliminés (écrans).

##### 4.3.2. Mesures d'essais

Le personnel qui a la charge des essais a la possibilité de réaliser un test préliminaire avant l'essai de réception. Ceci permet la vérification des instruments ainsi que d'entraîner ce personnel aux spécificités des mesures.

Un essai préliminaire peut être accepté comme essai de réception si les conditions de cette norme sont respectées.

### 4.3.3. Déviations tolérées des conditions de fonctionnement

Si les conditions nominales de fonctionnement ( $t_{wG}$ ,  $z_G$ ,  $m_G$ ,  $F_{p0}$ ) ne peuvent être atteintes lors des essais de réception, les déviations ne doivent pas dépasser les valeurs indiquées dans le tableau 4. Les essais doivent permettre des mesures valides consécutives.

Quantité	Déviations par rapport aux conditions nominales
Température humide de l'air entrant $t_w$	+ 5 / - 10 K mais $t_w \geq + 4^\circ\text{C}$
Ecart de température $z$	$\pm 20 \%$
Débit d'eau	$\pm 10 \%$
Charge thermique	$\pm 20 \%$
Puissance de ventilation $F_p$	
* avec pales à angle de calage ajustable ou variateur de vitesse	$\pm 5 \%$
* pas d'ajustement possible	$\pm 20 \%$

Tableau 4 : déviations maximales admises par rapport aux conditions nominales durant l'essai de réception.

La vitesse moyenne du vent ne doit pas excéder 3,5 m/s durant la période d'essai.

Si la vitesse du vent est proche de cette valeur, il peut être décidé d'effectuer une mesure continue. Dans ce cas, les rafales de vent supérieures à 7 m/s ne doivent pas dépasser une fréquence de 10 par heure ou représenter en valeur cumulative une durée supérieure à 1 minute.

La vitesse du vent doit être mesurée à une hauteur de 1 à 1,5 m au-dessus de la margelle du bassin d'eau froide. La mesure doit être effectuée si possible dans une zone libre et non obstruée, à l'amont des cellules et à une distance qui élimine les effets amont de l'équipement.

La mesure du vent est réalisée au moyen d'anémomètres à coupelles ou à hélices ; la direction du vent peut être déterminée à l'aide d'une girouette.

Si, dans certains cas exceptionnels, il n'est pas possible d'effectuer l'essai dans les conditions de validité précédentes, les essais de réception peuvent cependant être acceptés si les différentes parties contractuelles arrivent à un accord mutuel concernant l'influence des déviations de fonctionnement et climatologiques.

#### 4.3.4. Conditions d'opération durant l'essai

Les conditions opératoires doivent être constantes durant les essais. La température humide de l'air peut fluctuer, mais ne doit pas varier de plus d'un degré K par heure.

Durant la période des essais, il doit être vérifié que les conditions de fonctionnement restent dans la plage suivante :

± 5 % pour la charge thermique,

± 5 % pour le débit d'eau,

± 5 % pour l'écart de température.

Nota : ces conditions dépendent les unes des autres, mais ne doivent pas dépasser individuellement les valeurs ci-dessus.

#### 4.3.5. Fréquence des mesures

Les mesures doivent être effectuées à intervalles réguliers et toute lecture doit être enregistrée.

Le choix de l'intervalle de temps est fonction de la stabilité des conditions d'essais. Des intervalles de temps plus longs peuvent être choisis si les conditions sont stables.

Les fréquences de mesure recommandées par station de mesure sont listées en tableau 5.

Station de mesure	Fréquence recommandée par heure et par station	Unité	Arrondi à
Température humide de l'air	12	°C	0,05
Température de l'eau froide	12	°C	0,05
Température de l'eau chaude	12	°C	0,05
Débit d'eau (voir note 1)	3 (note 1)	voir note 2	
Hauteur de pompage	1	kPa	2
Puissance de ventilation	1	voir note 2	
Vitesse du vent	6	m/s	1
Température de l'eau d'appoint *	2	°C	0,05
Débit de l'eau d'appoint *	2 (note 1)	voir note 2	
Température de la purge *	2	°C	0,05
Débit de l'eau de purge *	2 (note 1)	voir note 2	

\* si applicable

Tableau 5 : fréquence de lecture recommandée



Note 1 : Il est possible de ne pas pouvoir atteindre la fréquence de mesure recommandée dans le tableau lors des mesures de débit d'eau utilisant un tube de Pitot ou de Prandtl.

Dans ce cas, une seule mesure de débit peut être réalisée. Il convient cependant de répéter une mesure type (à un endroit test comme par exemple au centre de la conduite) afin que les variations de débit d'eau lors des essais soient enregistrées et n'excèdent pas les valeurs permises données dans le § 434.

Note 2 : le type d'unité enregistrée dépend des méthodes de mesure employées ; l'enregistrement doit être en accord avec la précision des mesures.

#### 4.3.6. Durée du test

La durée des essais doit être déterminée de telle sorte que, en tenant compte des variations des conditions de fonctionnement et des fluctuations de la température d'air, un nombre suffisant de mesures valables soit obtenu (10 mesures minimum). La durée des essais doit être au minimum de 1 heure, le maximum est de 8 heures.

Dans le cas des tours de réfrigération standards, il n'est pas nécessaire de tenir compte du retard thermique car celui-ci est relativement faible (2 minutes). Si le retard thermique déterminé à l'aide de l'équation suivante est supérieur à 2 minutes, il convient de prolonger les essais de cette même valeur. Les moyennes d'essais doivent être effectuées en tenant compte de ce retard, de telle sorte que les lectures représentent la performance réelle de la tour.

$$S_1 = \frac{Q_B}{60 (m + m_p)}$$

où :

$S_1$  = retard thermique (minutes)

$Q_B$  = volume moyen d'eau durant les essais dans le bassin d'eau froide

$m$  = débit d'eau chaude (l/s)

$m_p$  = débit d'eau de purge (l/s)

Si le retard thermique  $S_1$  dépasse 5 minutes, on considère que la mesure de température d'eau froide correspond aux mesures des autres paramètres effectuées au temps précédant  $S_1$ .

#### 4.3.7. Validation des résultats d'essai

Certaines mesures peuvent être éliminées des résultats d'essai en raison de variations de charge thermique, de période de mauvais temps ou de défauts d'instrument. Si des mesures sont hors des limites données dans les § 4.3.3. et 4.3.4., l'essai doit être poursuivi sur une période d'au moins 1 heure de telle sorte que toutes les mesures soient dans les limites définies des § 4.3.3. et 4.3.4.

## 5. VALIDATION DES RESULTATS D'ESSAIS POUR LA GARANTIE DES PERFORMANCES

### 5.1. Validation des résultats d'essais

Le choix des périodes de mesure utilisées pour l'exploitation finale des résultats se fait selon les critères donnés en section 4.3. Ce choix est effectué par le personnel en charge des essais, le propriétaire de la tour ou son représentant et le fournisseur de la tour.

Toutes les mesures sont utilisées pour l'exploitation des résultats. Il est cependant nécessaire d'éliminer celles qui présentent des anomalies dues à des défauts d'instrumentation ou d'autres causes similaires. Toutes les mesures doivent indiquer que l'essai est validé selon les sections 4.3.3. et 4.3.4.. Un minimum de 10 lectures validées doit être disponible pour l'exploitation.

### 5.2. Comparaison avec les performances garanties

La température d'eau froide du catalogue  $t_{cFk}$  est déterminée pour chaque mesure à partir des courbes de performance et des valeurs mesurées.

On calcule la différence entre la température d'eau froide mesurée  $t_{ck}$  et la température de fonctionnement contractuelle du catalogue  $t_{cFk}$  ainsi que la moyenne arithmétique pour toute la période de mesure

$$\Delta t_k = t_{ck} - t_{cFk}$$

$$\Delta t_a = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K \Delta t_k$$

La condition de garantie est atteinte si  $\Delta t_a < 0$

En tenant compte des erreurs de mesures, la condition de garantie est atteinte si :

$$0 < \delta t_a \leq \delta t_t = \delta t_m + \delta t_b$$

La déviation  $\delta t_t$  consiste en la somme des erreurs des résultats  $\delta T_m$  (calculé selon le paragraphe 6.5.) et la tolérance de base  $\delta t_b$ .

Cette tolérance de base tient compte des influences sur le fonctionnement de la tour de réfrigération qui n'ont pas été considérées de façon analytique (par exemple météorologie, qualité de l'eau etc.).

Cette tolérance est fixée à 0,2 K.

## **6. TOLERANCE D'ESSAI**

Afin de comparer la température d'eau froide garantie avec la température mesurée, il est nécessaire de tenir compte des tolérances de mesure de cette température. La température d'eau froide dépend des paramètres suivants : température humide de l'air, écart, débit d'eau et puissance de ventilation. Il est donc également nécessaire de considérer les tolérances de mesure des paramètres précédents. Les courbes de performance donnent les relations entre les paramètres cités précédemment et la température d'eau froide.

Des erreurs de mesure peuvent apparaître durant les essais ; elles sont dues aux déviations systématiques non mesurables et aux fluctuations dans le temps des quantités mesurées.

### **6.1. Erreur engendrée par les déviations systématiques non mesurables des paramètres de fonctionnement**

Les erreurs de mesure des paramètres de fonctionnement influencent la détermination de la température d'eau froide. L'exemple montre comment déterminer l'influence de ces paramètres. Un exemple de courbes de performances utilisées dans ce but est donnée en annexe A.

#### **6.1.1. Influence des incertitudes de mesure de la température humide de l'air $\phi_w$**

Le facteur  $\phi_w$  représente la variation de la température d'eau froide  $\Delta t_c$  engendrée par un changement de la température humide de l'air  $\Delta t_w$ . Cette variation est déterminée avec les autres paramètres influant, débit, écart et puissance de ventilation à leurs valeurs nominales.

La variation de  $\Delta t_w$  doit être choisie de telle sorte que la relation entre  $t_w$  et  $t_c$  soit proche de la linéarité (voir annexe A pour exemple).

#### **6.1.2. Influence des incertitudes de mesure de l'écart eau chaude/eau froide $\phi_z$**

Le facteur  $\phi_z$  donne la variation de la température d'eau froide  $\Delta t_c$  engendrée par un changement de l'écart de réfrigération  $\Delta_z$ . Cette variation est déterminée avec le débit d'eau et la puissance de ventilation à leurs valeurs nominales, la température humide de l'air étant égale à la moyenne des mesures.

La plage de variation de  $\Delta_z$  doit être de  $\pm 1$  K (voir annexe A pour exemple).

#### **6.1.3. Influence des incertitudes de mesure de la puissance de ventilation $\phi_F$**

Le facteur  $\phi_F$  donne la variation de la température d'eau froide  $\Delta t_c$  engendrée par le changement de la puissance de ventilation  $\Delta F_p$  (en %). Cette variation est déterminée avec le débit d'eau et l'écart de réfrigération à leurs valeurs nominales. La température humide de l'air étant égale à la moyenne des mesures.

La plage de variation de  $\Delta F_p$  doit être de  $\pm 10$  % (voir annexe A pour exemple).

#### **6.1.4. Influence des incertitudes de mesure du débit d'eau $\phi_m$**

Le facteur  $\phi_m$  donne la variation de la température d'eau froide  $\Delta t_c$  engendrée par le changement du débit d'eau  $\Delta_m$  (en %). Cette variation est déterminée avec la puissance de ventilation et l'écart à leurs valeurs nominales, la température humide de l'air étant égale à la moyenne des mesures.

La plage de variation de  $\Delta_m$  doit être de  $\pm 10$  % (voir annexe A pour exemple).

### 6.2. Détermination des tolérances des instruments de mesure

Les tolérances de mesure des différents instruments sont indiqués en section 3. Les valeurs utilisées doivent être définies par les parties contractuelles avant les essais et ne doivent pas dépasser les valeurs données en tableau 6.

Quantité	Tolérance acceptable de l'instrumentation
Température humide de l'air	$\epsilon_w$ 0.1 K
Températures d'eau	$\epsilon_t$ 0.1 K
Débit d'eau	$\epsilon_m$ 3 %
Puissance de ventilation	$\epsilon F_p$ 3 %

*Tableau 6 : Tolérances acceptables des instruments de mesure pour les essais*

Les déviations systématiques  $\epsilon_x$  des instruments de mesure sont déterminées par les manuels d'utilisation des instruments ou à partir du tableau 6.

Les tolérances  $\epsilon_x$  sont combinées avec les facteurs  $\phi$  déterminés au chapitre 6.1. Ceci permet le calcul de l'erreur causée par les déviations systématiques non mesurables des conditions opératoires.

### 6.3. Erreur engendrée par les déviations systématiques non mesurables des paramètres de fonctionnement

L'erreur  $\delta t_s$ , causée par les variations systématiques non mesurables des conditions opératoires peut être calculée comme suit :

$$\delta t_s = \sqrt{(\Phi_w \times \epsilon_w)^2 + (\Phi_z \times 2\epsilon_z)^2 + (\Phi_m \times \epsilon_m)^2 + (\Phi F_p \times \epsilon F_p)^2 + (\epsilon_t)^2}$$

La tolérance de mesure de la température d'eau froide  $\epsilon_t$  est appliquée directement dans le calcul.

### 6.4. Détermination des erreurs dues à la déviation aléatoire des résultats d'essais ainsi qu'aux oscillations dans le temps des paramètres de fonctionnement

Les phénomènes aléatoires entraînent une fluctuation des différences  $\Delta t_s$  entre les températures d'eau froide mesurées et calculées (voir § 5.2.) autour de la valeur moyenne  $\Delta t$  calculée pour toutes les mesures.

L'écart type représente une mesure de cette fluctuation.

$$S_{\Delta t_i} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{k=1}^k (\Delta t - \Delta t_k)^2}$$

La tolérance de mesure  $\delta t_r$ , causée par les déviations aléatoires des résultats de mesure et les oscillations dans le temps des quantités mesurées, est calculée avec une limite de confiance pour une probabilité de 95 % par l'équation ci-dessous.

Les valeurs  $S_t$  de la distribution selon Student sont données dans le tableau 7.

$$\delta t_r = \frac{S_t(k)}{\sqrt{k}} S_{\Delta t_i}$$

k	$S_t(k)$	k	$S_t(k)$
2	12.170	16	2.131
3	4.303	17	2.120
4	3.182	18	2.110
5	2.776	19	2.101
6	2.571	20	2.093
7	2.447	21	2.086
8	2.365	22	2.080
9	2.306	23	2.074
10	2.262	24	2.069
11	2.228	25	2.064
12	2.201	26	2.060
13	2.179	27	2.056
14	2.160	28	2.052
15	2.145	29	2.048

Tableau 7 : Distribution selon Student pour un niveau de confiance égale à 95 %

### **6.5. Calcul de la tolérance des essais**

La tolérance des essais est composée des tolérances causées par les déviations systématiques et aléatoires et se calcule de la façon suivante :

$$\delta t_m = \sqrt{\delta t_s^2 + \delta t_r^2}$$

La tolérance globale  $\delta_t$  se calcule en ajoutant la tolérance de base  $\delta t_b = 0,2 \text{ K}$ .

### **7. RAPPORT D'ESSAI**

Le rapport d'essai doit comprendre les informations suivantes :

- a) place et date
- b) fabricant de la tour de réfrigération
- c) dimensions principales (plan, dessin)
- d) garanties avec documents
- e) moyens et méthodes utilisés pour les mesures
- f) résultats des mesures (sous forme de tableau, rapport et graphes) et analyse de l'essai,
- g) déclaration du respect des garanties.

Symboles	Description	Unité
$t_w$	Température humide de l'air	°C
$t_{wG}$	Température humide nominale de l'air	°C
$t_{wk}$	Température humide de l'air de la mesure k	°C
$t_h$	Température d'eau chaude	°C
$t_{hk}$	Température de l'eau chaude de la mesure k	°C
$t_c$	Température d'eau froide	°C
$t_{cG}$	Température d'eau froide nominale	°C
$t_{ck}$	Température de l'eau froide de la mesure k	°C
$t_{cFk}$	Température contractuelle de l'eau froide aux conditions de la mesure k d'après les courbes de performance	°C
$t_m$	Température de l'eau d'appoint	°C
$z$	Ecart ( $t_h - t_c$ )	K
$z_G$	Ecart nominal	K
$z_k$	Ecart de température de la mesure k ( $t_{hk} - t_{ck}$ )	K
$\Delta r_p$	Augmentation de la température de l'eau froide due à l'énergie transmise par la pompe	K
$\Delta t_k$	Différence de température entre la valeur mesurée ( $t_{ck}$ ) et la valeur contractuelle ( $t_{cFk}$ ) de la mesure k	K
$\Delta t_a$	Moyenne arithmétique des différences $\Delta t_k$	K
$k$	Indice de la mesure	
$m$	Débit d'eau chaude	l/s
$m_G$	Débit d'eau chaude nominal	l/s
$m_k$	Débit d'eau chaude pour la mesure k	l/s
$m_m$	Débit de l'appoint d'eau	l/s
$m_b$	Débit de la purge d'eau	l/s
$F_p$	Puissance de ventilation	kW
$F_{pG}$	Puissance de ventilation nominale	kW
$P_{ei}$	Pression statique à l'entrée contractuelle de la tour	kPa
$P_{di}$	Pression dynamique à l'entrée contractuelle de la tour	kPa
$\delta gh_i$	Pression potentielle à l'entrée contractuelle de la tour	kPa
$P_{eo}$	Pression statique à la sortie contractuelle de la tour	kPa
$P_{do}$	Pression dynamique à la sortie contractuelle de la tour	kPa
$\delta gh_o$	Pression potentielle à la sortie contractuelle de la tour	kPa
$H$	Différence de pression potentielle entre l'entrée et la sortie contractuelles de la tour	kPa

Symboles	Description	Unité
$\Delta P_{io}$	Différence de pression totale entre l'entrée et la sortie contractuelles de la tour	kPa
$\eta_p$	Rendement de la pompe	
$S_1$	Retard thermique	min
$Q_b$	Volume moyen du bassin d'eau froide	ℓ
$V_w$	Vitesse du vent	m/s
$\delta_t$	Tolérance incluant les déviations systématiques et aléatoires et la tolérance de base	K
$\delta_{tm}$	Erreur de mesure	K
$\delta_{tb}$	Tolérance de base	K
$\delta_{ts}$	Erreur due aux variations systématiques non mesurables	K
$\delta_{tr}$	Erreur due aux déviations aléatoires	K
$\phi_w$	Influence de la température humide de l'air sur la température d'eau froide	K/K
$\phi_z$	Influence de l'écart de température sur la température d'eau froide	K/K
$\phi_F$	Influence de la puissance de ventilation sur la température d'eau froide	K / %
$\phi_m$	Influence du débit d'eau chaude sur la température d'eau froide	K / %
$\epsilon_x$	Tolérance de mesure de l'appareil de mesure x	
$S_i$	Nombre de Student	

### 9. EXEMPLE

Tour de réfrigération de type	xyz
Nombre de cellules	2
Entrées d'eau chaude	1 par cellule
Sorties d'eau froide	1 pour 2 cellules

#### Données nominales du design :

Débit d'eau	$m = 2 \times 34,7 \text{ ℓ/s}$
Température de l'eau chaude	$t_h = 30^\circ\text{C}$
Température de l'eau froide	$t_c = 24^\circ\text{C}$
Température humide de l'air	$t_w = 19^\circ\text{C}$
Puissance de ventilation	$F_p = 2 \times 10 \text{ kW}$

Nota : dans cet exemple, l'évaluation de la hauteur de pompage n'est pas considérée.



**Instruments de mesure :**

Températures :	
* de l'eau	thermomètre au mercure avec graduation de 0,1 K
* humide de l'air	psychromètre à aspiration avec thermomètres gradués en 0,1 K
Débit d'eau	Tube de Pitot ( $\epsilon = 2 \%$ )
Puissance de ventilation	Wattmètre sur tableau de contrôle

**Positionnement des mesures :**

Débit d'eau	1 point de mesure dans chaque conduite d'entrée
Température d'eau chaude	1 point de mesure dans chaque conduite d'entrée
Température d'eau froide	2 points de mesure dans la conduite commune
Température humide de l'air	1 m à l'entrée d'air, 1 sonde sur chaque entrée d'air

Protocole d'essai en annexe C et résultats d'analyse en annexe D.

**ANNEXE A****EXEMPLES DE COURBES DE PERFORMANCE**

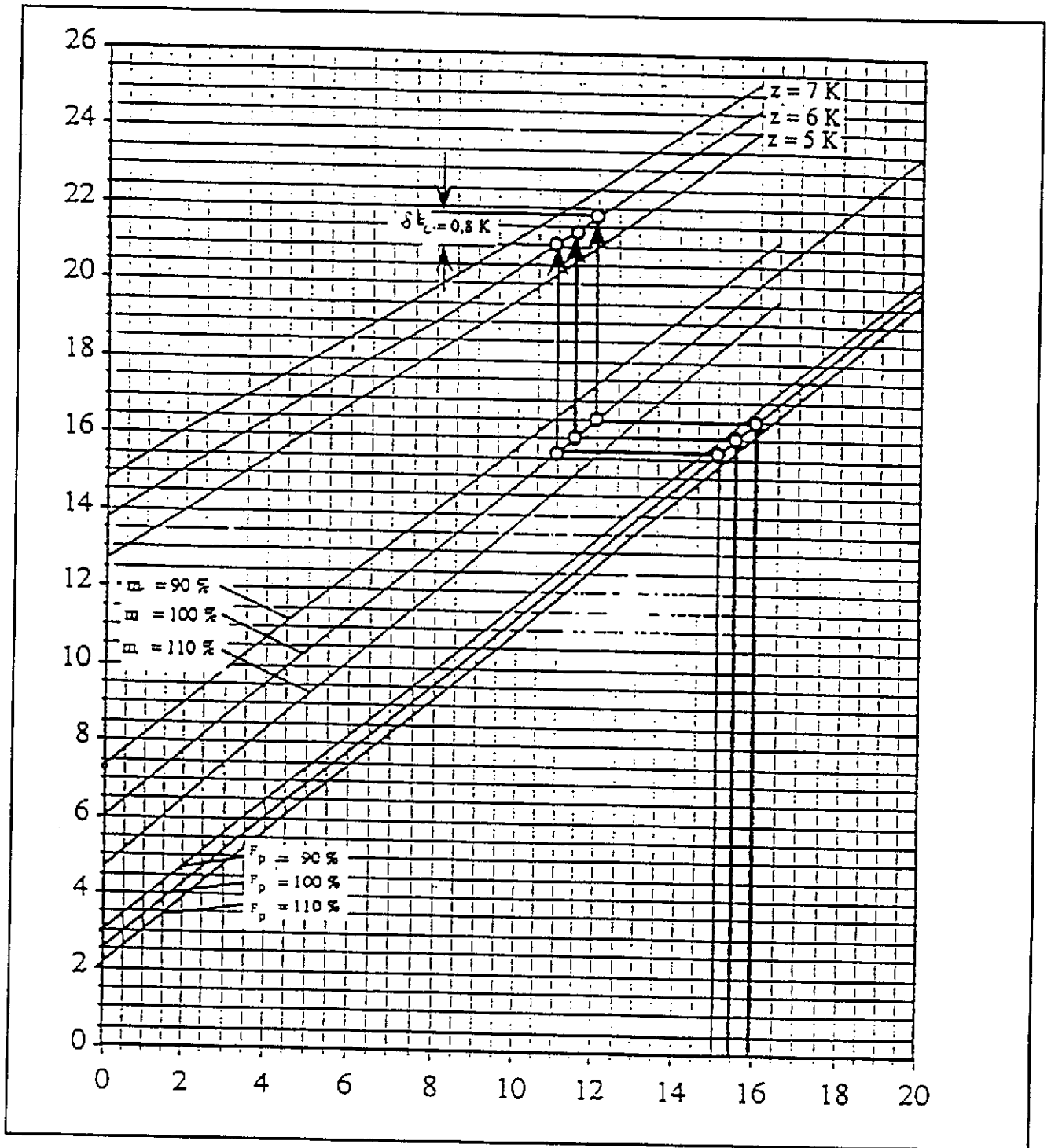


Figure A1 : courbe de performance sur laquelle est déterminée l'influence de la variation de la température humide de l'air  $t_w$  sur la température d'eau froide.

avec  $t_w = 15.5 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $z = 6 \text{ K}$  -  $F_p = 100 \%$  -  $m = 100 \%$  constant.

Le résultat est donc égal à :

$$\Delta t_w = \frac{\delta t_c}{\delta t_w} = \frac{0,8 \text{ K}}{1 \text{ }^\circ\text{C}} \rightarrow \Phi_w = 0,8 \frac{\text{K}}{\text{ }^\circ\text{C}}$$

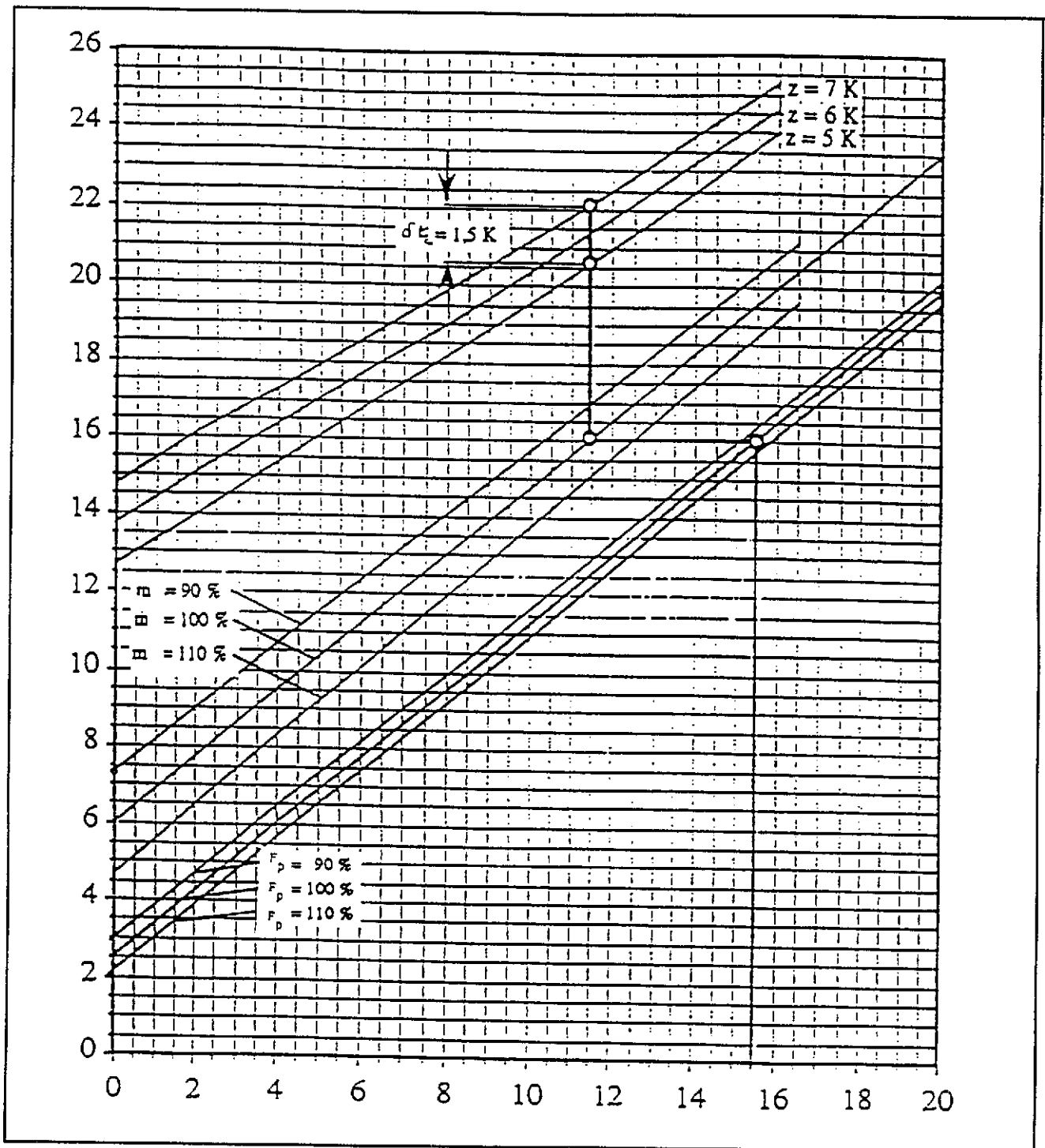


Figure A2 : courbe de performance sur laquelle est déterminée l'influence de la variation de l'écart eau chaude/eau froide sur la température d'eau froide

avec  $t_w = 15.5^\circ\text{C}$  et  $z = 6\text{ K} \pm 1\text{ K}$  -  $F_p = 100\%$  -  $m = 100\%$  constant.

Le résultat est donc égal à :

$$\Delta z = \frac{\delta t_c}{\delta z} = \frac{1,5\text{ K}}{2^\circ\text{C}} \rightarrow \Phi z = 0,75 \frac{\text{K}}{^\circ\text{C}}$$

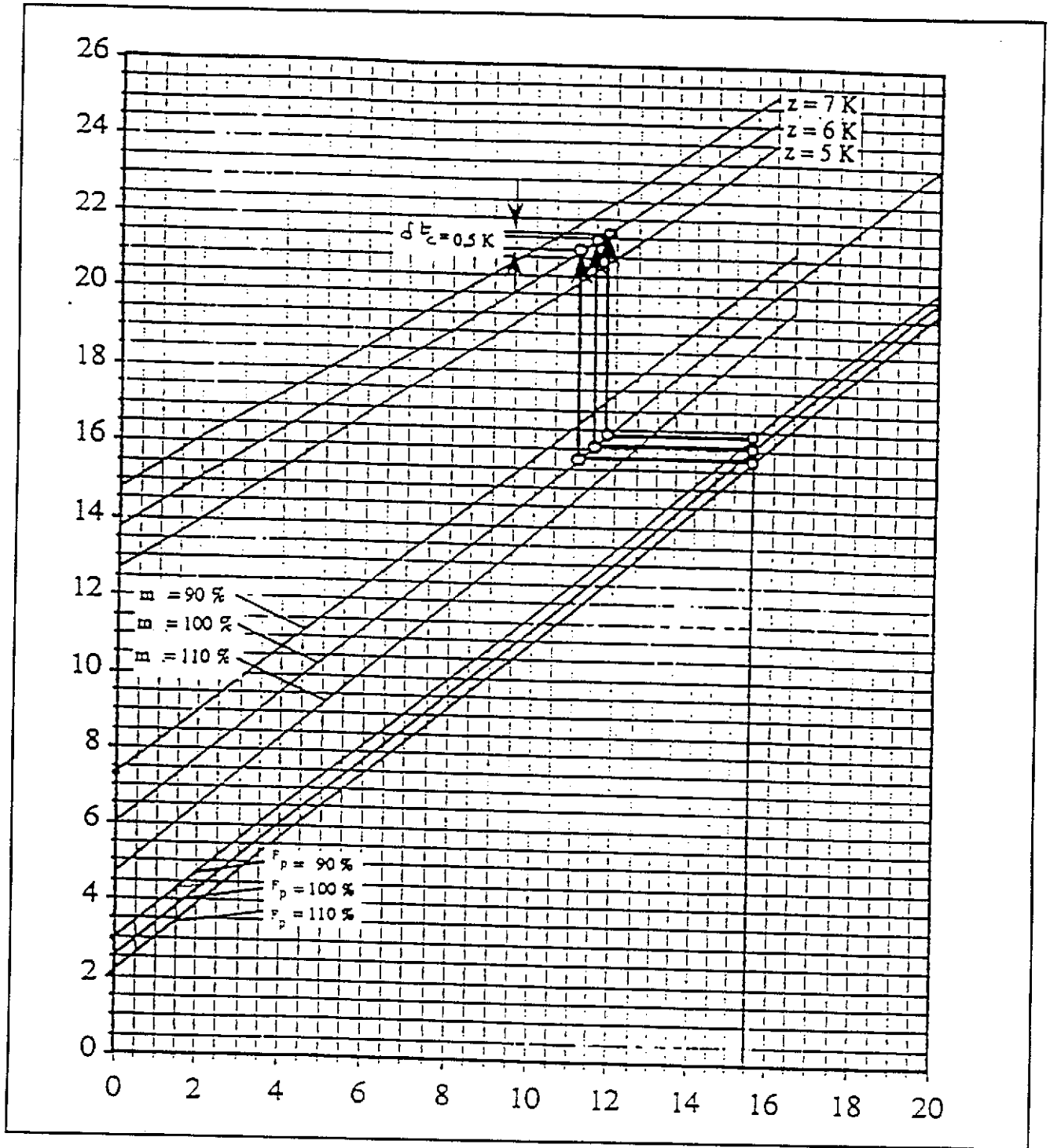


Figure A3 : courbe de performance sur laquelle est déterminée l'influence de la puissance de ventilation sur la température d'eau froide

avec  $t_w = 15.5^\circ\text{C}$  et  $z = 6 \text{ K} \pm 1 \text{ K}$  -  $F_p = 100 \pm 10 \%$  -  $m = 100 \%$

Le résultat est donc égal à :

$$\Delta F_p = \frac{\delta t_c}{\delta F_p} = \frac{0,5 \text{ K}}{20\%} \rightarrow \Phi F = 0,025 \frac{\text{K}}{\%}$$

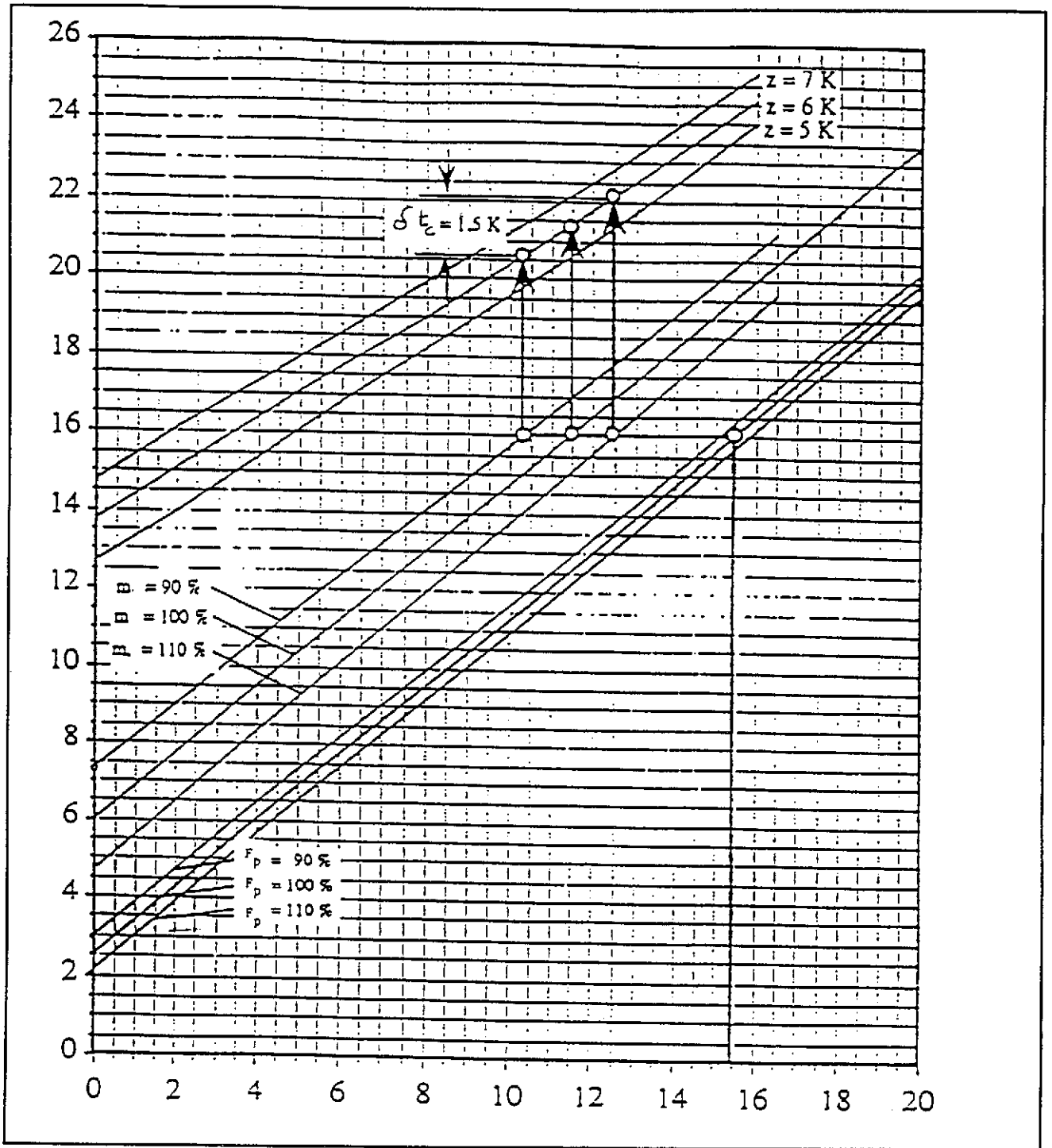


Figure A4 : courbe de performance sur laquelle est déterminée l'influence du débit d'eau sur la température d'eau froide

avec  $t_w = 15.5^\circ\text{C}$  et  $z = 6 \text{ K}$  -  $F_p = 100 \%$  constant -  $m = 100 \pm 10 \%$

Le résultat est donc égal à :

$$\Delta m = \frac{\delta t_c}{\delta m} = \frac{1,5 \text{ K}}{20\%} \rightarrow \Phi m = 0,075 \frac{\text{K}}{\%}$$

**ANNEXE B****POSITION DES POINTS DE MESURE  
SUR LES TOURS DE REFRIGERATION**

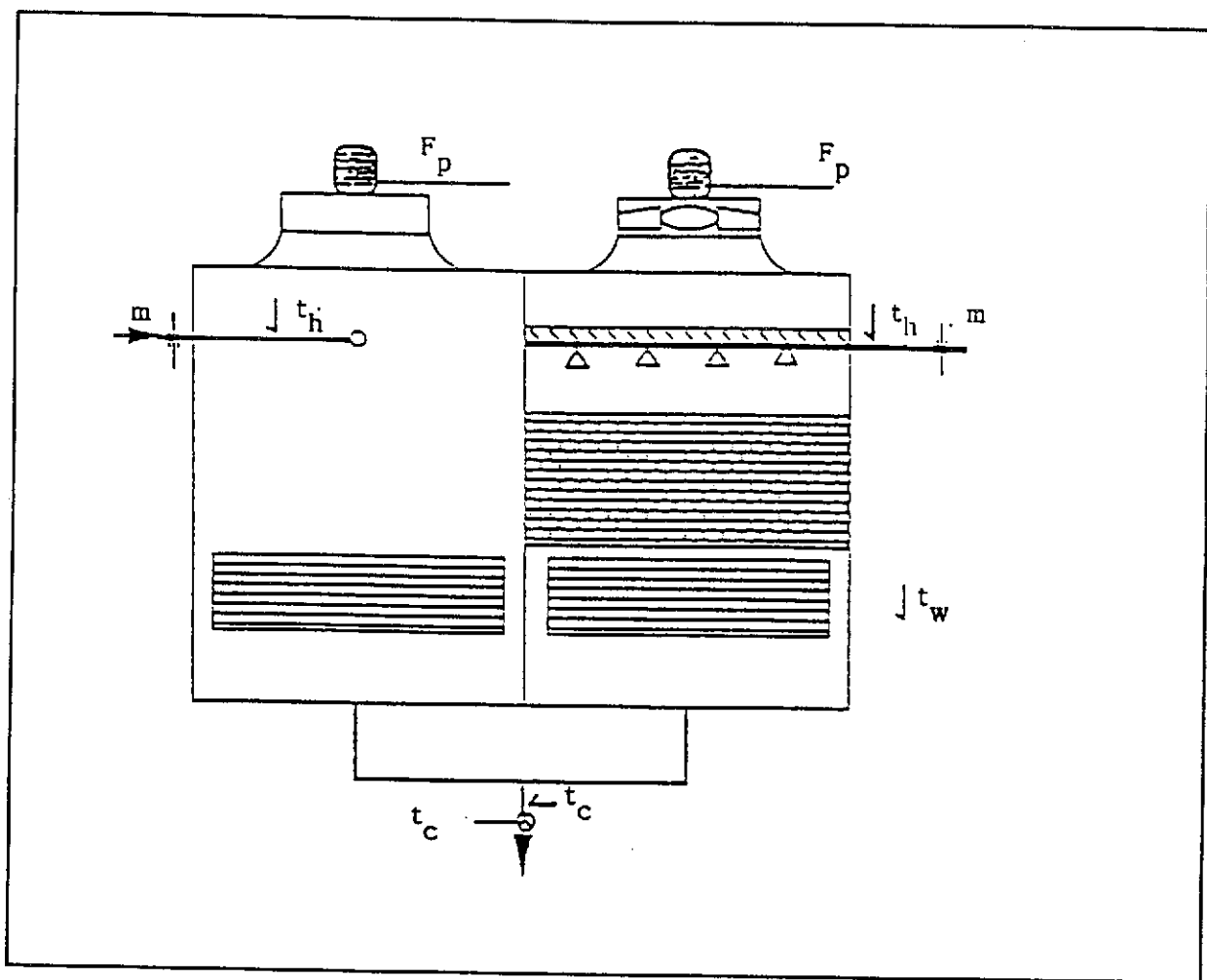


Figure B 2 : Positionnement des points de mesure sur une tour à tirage mécanique composée de 2 cellules

#### Points de mesure

Symbole	Quantité
$t_w$	Température humide de l'air
$m$	Débit d'eau chaude
$t_h$	Température d'eau chaude
$t_c$	Température d'eau froide
$F_p$	Puissance de ventilation





**ANNEXE D**  
**EXEMPLE DE RESULTATS D'ESSAIS ET CALCUL DE LA TOLERANCE D'ESSAI**

Modèle : xyz  
 Situation :  
 Fournisseur :  
 Date :  
 Testée par :

Remarques :

Désignation	Symbole	Unité	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Lecture	k		22.2	22.3	22.3	22.3	22.4	22.5	22.4	22.4	22.5	22.6	22.7	22.7	22.6
Température contractuelle de l'eau froide	$t_{ef}$	°C	22.2	22.3	22.3	22.3	22.4	22.5	22.4	22.4	22.5	22.6	22.7	22.7	22.6
Différence entre la valeur nominale et la valeur mesurée	$\Delta t_k$	K	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Différence moyenne de l'ensemble des mesures	$\Delta t_l$	K	0.300												
Tolérance d'essai															
Tolérance des instruments															
Température de l'air humide	$\epsilon t_w$	K	0.1												
Température d'eau	$\epsilon t$	K	0.1												
Débit d'eau	$\epsilon m$	%	2												
Puissance de ventilation	$\epsilon F$	%	3												
<b>Erreur due aux déviations systématiques des résultats de mesure (d'après les courbes de performance)</b>															
Température humide de l'air	$\phi_w$	K / °C	0.8												
Ecart	$\phi_i$	K / °C	0.75												
Débit d'eau	$\phi_m$	K / %	0.075												
Puissance de ventilation	$\phi_F$	K / %	0.025												
<b>Erreur due aux déviations systématiques des résultats de mesure (influence sur l'eau froide)</b>															
Température air humide	$\epsilon_w, \phi_w$	K	0.08												
Ecart	$\epsilon_i, \phi_i$	K	0.15												
Débit d'eau	$\epsilon_m, \phi_m$	K	0.15												
Puissance de ventilation	$\epsilon_F, \phi_F$	K	0.075												
Valeur totale due aux déviations systématiques	$\delta t_s$	K	0.259												
<b>Erreur causée par les variations aléatoires des résultats de mesure et des oscillations des paramètres de fonctionnement</b>															
Ecart type	$SA \Delta t_s$	K	0.073												
Facteur 95 % (Student)	$T_s$	1	2.179												
Tolérance	$\delta t_t$	K	0.04												
Somme des tolérances	$\delta t_m$	K	0.262												

**Tolérance globale :  $\delta t_t = \delta t_m + \delta t_b = 0.262 K + 0.2 K = 0.462 K$**







**WÄRMETECHNISCHE ABNAHMEMESSUNGEN AN ZWANGSBELÜFTETEN,  
STANDARDISIERTEN NASSKÜHLTÜRME**

	<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
<b>1.</b>	<b>Geltungsbereich und Zweck</b>	<b>3</b>
1.1.	Geltungsbereich	3
1.2.	Zweck	3
1.3.	Gegenstand der wärmetechnischen Gewährleistung	3
<b>2.</b>	<b>Kennfelder</b>	<b>4</b>
2.1.	Aufbau der Kennfelder	4
2.2.	Parameter der Kennfelder	4
<b>3.</b>	<b>Messverfahren und Messgeräte</b>	<b>5</b>
3.1.	Allgemeines	5
3.2.	Messungen	5
3.2.1.	Temperaturmessungen	5
3.2.1.1.	Wassertemperaturen	5
3.2.1.2.	Warmwassertemperatur	6
3.2.1.3.	Kaltwassertemperatur	6
3.2.1.4.	Feuchtkugeltemperatur	6
3.2.2.	Wassermenge	7
3.2.3.	Leistungsbedarf	8
3.2.4.	Pumpenförderhöhe	8
3.2.5.	Temperatur und Durchfluss von Frischwasser und Abschlämmung	8
<b>4.</b>	<b>Abnahmemessungen</b>	<b>9</b>
4.1.	Vertragliche Vereinbarungen	9
4.1.1.	Allgemeines	9
4.1.2.	Zeitpunkt von Abnahmemessungen	9
4.1.3.	Durchführung von Abnahmemessungen	9
4.1.4.	Kosten, Gestellung von Messgeräten und Personal	9
4.2.	Vorbereitung von Abnahmemessungen	9
4.2.1.	Anzahl und Anordnung der Messpunkte	9
4.2.2.	Zustand der Anlage	10

4.3.	Durchführung von Abnahmemessungen	11
4.3.1.	Vorbedingungen	11
4.3.2.	Versuchsmessung	11
4.3.3.	Zulässige Abweichung von Betriebsbedingungen	11
4.3.4.	Betriebsbedingungen während des Versuchs	12
4.3.5.	Häufigkeit der Ablesungen	12
4.3.6.	Versuchsdauer	13
4.3.7.	Gültigkeit der Messergebnisse	14
<b>5.</b>	<b>Auswertung der Messergebnisse und Gewährleistungsnachweis</b>	<b>15</b>
5.1.	Auswertung der Messergebnisse	15
5.2.	Vergleich mit zugesicherten Werten	15
<b>6.</b>	<b>Unsicherheit des Ergebnisses</b>	<b>16</b>
6.1.	Unsicherheit durch nicht erfassbare systematische Abweichung der Einflussgrößen	16
6.1.1.	Einfluss der Unsicherheit bei Messung der Feuchtkugeltemperatur	16
6.1.2.	Einfluss der Unsicherheit bei Messung der Kühlzonenbreite	16
6.1.3.	Einfluss der Unsicherheit bei Messung der Ventilatorleistung	16
6.1.4.	Einfluss der Unsicherheit bei Messung der Wassermenge	16
6.2.	Bestimmung der Unsicherheit der Messeinrichtung	17
6.3.	Unsicherheit aufgrund nicht erfassbarer systematischer Abweichungen der Messergebnisse	17
6.4.	Bestimmung der Unsicherheit aufgrund zufälliger Abweichungen der Messergebnisse und zeitlicher Schwankungen der Messgrößen	17
6.5.	Bestimmung der Unsicherheit des Ergebnisses	18
<b>7.</b>	<b>Abnahmebericht</b>	<b>19</b>
<b>8.</b>	<b>Formelzeichen</b>	<b>20</b>
<b>9.</b>	<b>Beispiel</b>	<b>23</b>
Anhang A :	Darstellung von Kennfeldern	
Anhang B :	Messtellenplan für Kühltürme	
Anhang C :	Beispiel für Abnahmeprotokoll	
Anhang D :	Beispiel zur Auswertung der Messergebnisse und zur Bestimmung der Unsicherheit der Ergebnisse	

## 1. GELTUNGSBEREICH UND ZWECK

### 1.1. Geltungsbereich

Diese Richtlinie gilt für wärmetechnische Abnahmemessungen an standardisierten, zwangsbelüfteten Nasskühltürmen. Die Festlegungen betreffen die Vorbereitung, Durchführung und Auswertung der Abnahmemessungen. Sie sollten bereits im Liefervertrag berücksichtigt und als verbindlich anerkannt werden. Abweichungen von diesen Regeln sowie Ergänzungen sind gesondert zu vereinbaren.

Diese Richtlinie wendet sich an :

- Lieferer
- Besteller
- Betreiber
- Sachverständige
- Genehmigungsbehörden

### 1.2. Zweck

Die im Vertrag zwischen Lieferer und Besteller zugesicherten thermischen und hydraulischen Eigenschaften des Nasskühlturms sollen durch Abnahmemessungen nachgewiesen werden. Die Begriffe "Gewährleistung", "Werte" und "Abnahme" sind in dieser Richtlinie im technischen und nicht im juristischen oder kaufmännischen Sinne zu verstehen.

Juristische und kaufmännische Folgerungen aus einer Erfüllung oder Nichterfüllung der in einem Vertrag zugesicherten Werte sind nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

### 1.3. Gegenstand der wärmetechnischen Gewährleistung

Der Kühlturm muss in einem Gewährleistungspunkt ( $t_{wG}$ ,  $z_G$ ,  $m_G$ ,  $F_{pG}$ ,  $\Delta P_{i0}$  \*) eine bestimmte Kaltwassertemperatur erreichen oder unterschreiten. Für wärmetechnische Abnahmemessungen muss ein Kennfeld vorhanden sein. Das für den Kühlturm gegebene Kennfeld enthält vor allem den um den Gewährleistungspunkt liegenden Bereich, in dem die Abnahmemessungen durchgeführt werden dürfen (siehe Abschnitt 4.3.7.)

\* Die Beurteilung von  $\Delta P_{i0}$  erfolgt nur dann, wenn dies im Vertrag speziell aufgenommen ist.



## 2. KENNFELDER

### 2.1. Aufbau der Kennfelder

Die vorgelegten Kennfelder müssen die Relation zwischen der Kaltwassertemperatur ( $t_c$ ) und der Feuchtkugeltemperatur ( $t_w$ ) bei variierender Wassermenge ( $m$ ), Kühlzonenbreite ( $z$ ) und variierender Ventilatorleistung ( $F_p$ ) bei konstanter Ventilatorleistung und Schaufelstellung beschreiben.

Es wird empfohlen Kennfelder in der im Anhang A gezeigten Form vorzulegen. Andersgeartete Kennfelder sind zulässig, wenn sie die gleiche Information enthalten.

Kennfelder müssen eine Ablesegenauigkeit von 0,1 K ermöglichen. Der Bereich, in dem die Abnahmemessungen durchgeführt werden dürfen, ist nach Abschnitt 4.3.3. im Kennfeld einzugrenzen.

### 2.2. Parameter der Kennfelder

Der Sollwert der Kaltwassertemperatur soll in Abhängigkeit von folgenden Größen dargestellt werden:

- Feuchtkugeltemperatur
- Warmwassermenge
- Warmwassertemperatur oder Kühlzonenbreite
- Leistungsbedarf der Ventilatoren.

### 3. MESSVERFAHREN UND MESSGERÄTE

#### 3.1. Allgemeines

Bei Abnahmemessungen sind folgende Größen zu messen :

- Warmwassermenge (m)
- Warmwassertemperatur ( $t_h$ )
- Kaltwassertemperatur ( $t_c$ )
- Feuchtkugeltemperatur am Lufteintritt ( $t_w$ )
- Leistungsbedarf der Ventilatoren ( $F_p$ )
- Windgeschwindigkeit ( $V_w$ )

Im Bedarfsfall sind zu messen:

- Pumpenförderhöhe ( $\Delta P_{io}$ )
- Temperatur ( $t_m$ ) und Menge ( $m_m$ ) des Zusatzwassers

Normen oder Regelwerke, die für ein hier eingesetztes Messverfahren bestehen, sind anzuwenden. Einen Überblick über die Instrumentierung gibt der Messtellenplan im Anhang B.

Alle Messgeräte müssen kalibriert sein und werden vor dem Versuch überprüft. Die zulässigen Messtoleranzen sind in Tabelle 6 angegeben.

Zählende Wassermengenmessgeräte sind zugelassen, sofern durch zusätzliche Messung von Augenblickswerten nachgewiesen wird, dass sich Schwankungen in den im Abschnitt 4.3.4. angegebenen Grenzen halten.

Die Auswahl, Anordnung und Kalibrierung von Messgeräten erfolgt nach anerkannten Normen oder Regelwerken.

#### 3.2. Messungen

##### 3.2.1. Temperatur

Zu messen sind die Warmwassertemperatur ( $t_h$ ), die Kaltwassertemperatur ( $t_c$ ), die Feuchtkugeltemperatur am Lufteintritt ( $t_w$ ) und gegebenenfalls ebenso die Temperatur des Zusatzwassers ( $t_m$ ).

Zur Messung sind geeichte Instrumente einzusetzen, z.B.:

- Flüssigkeits-Thermometer
- Platin-Widerstandsthermometer
- Thermoelemente
- Thermistoren
- Quartzthermometer

Die Anzeige, bzw. Gradeinteilung der Thermometer muss eine Mindestgenauigkeit von 0,1 K haben und eine Ablesegenauigkeit von 0,05 K zulassen. Die Messgeräte sind vor dem Versuch auf eine Genauigkeit von +/- 0,05 K zu kalibrieren und zu überprüfen.

##### 3.2.1.1. Wassertemperaturen

Es werden Messgeräte, wie oben beschrieben verwendet. Die Anordnung der Temperaturmesstellen erfolgt so, dass echte Mittelwerte erreicht werden.

### 3.2.1.2. Warmwassertemperatur

Die Temperatur des Warmwassers wird im Zulauf zum Kühlturm oder in der Wasserverteilung des Kühlturms gemessen.

### 3.2.1.3. Kaltwassertemperatur

Die Kaltwassertemperaturmessung muss den Temperaturmittelwert des den Kühlturm verlassenden Kaltwassers ermitteln. In diesem Sinne ist dafür zu sorgen, dass Temperaturschichtungen an der Messtelle nicht auftreten. Wenn die Kaltwassertemperatur in einer Hülse am Pumpenausstritt gemessen wird, muss die gemessene Temperatur, wie folgt korrigiert werden:

$$\Delta t_p = 0,00239 (p_h - p_c) (1 - \eta_p) / \eta_p$$

Bemerkung: Wenn die statische Höhe zwischen Wannenwasserniveau im Kühlturm und Mittellinie der Pumpe nicht aussergewöhnlich hoch ist und wenn keine aussergewöhnlich lange Rohrleitung vorhanden ist, kann ohne wesentlichen Verlust von Genauigkeit angenommen werden, dass  $P_c = 0$  kPa ist.

Wenn während des Versuchs Zusatzwasser oberhalb (in Strömungsrichtung gesehen) der Kaltwassermesstelle z.B. in der Wanne eingespeist wird, muss der Einfluss auf die Kaltwassertemperatur, durch eine Wärmebilanzrechnung unter Berücksichtigung von Temperatur und Menge des Frischwassers, ermittelt werden.

### 3.2.1.4. Feuchtkugeltemperatur

Die Feuchtkugeltemperatur der Eintrittsluft wird mit zwangsbelüfteten Feuchtkugelthermometern gemessen. Anzahl und Anordnung der Thermometer sind so zu wählen, dass ein für den Zustand der Ansaugluft repräsentativer Mittelwert ermittelt wird. Die verwendeten Feuchtkugelthermometer müssen folgenden Erfordernissen entsprechen:

- a) Die Anzeigegenauigkeit bzw. Gradeinteilung des Thermometers muss mindestens 0,1 K sein.
- b) Die Genauigkeit des Thermometers muss mindestens +/- 0,05 K sein.
- c) Die Thermometer müssen vor direkter Sonnenstrahlung und anderen Wärmequellen abgeschirmt werden. Die Temperatur der Abschirmung soll in etwa der der Umgebungstemperatur entsprechen.
- d) Der Temperaturfühler muss durch einen Docht kontinuierlich mit destilliertem Wasser befeuchtet werden.
- e) Die Temperatur des zur Befeuchtung verwendeten destillierten Wassers muss in etwa der Feuchtkugeltemperatur entsprechen. Dies kann erreicht werden indem man den Docht zwischen Temperaturfühler und Wasservorrat ausreichend lang wählt.

- f) Der Docht muss sich eng an den Temperaturfühler schliessen und mindestens zwei Zentimeter über das Fühlerende hinausragen. Die verwendeten Dochte müssen sauber sein.
- g) Die Luftgeschwindigkeit über dem Temperaturfühler muss zwischen 3 und 6 m/s gehalten werden.

### 3.2.2. Wassermenge

Es soll die Warmwassermenge bestimmt werden. Messungen der Kaltwassermenge sind nur dann zulässig, wenn aus praktischen Gründen eine Warmwassermengenmessung nicht vorgenommen werden kann. In diesem Fall muss eine Wassermassenstrombilanzrechnung vorgenommen werden, in der die Kaltwassermenge für eventuelle Unterschiede der Dichte bzw. des spezifischen Volumens bei den gemessenen Temperaturen korrigiert wird. Die Anordnung der Messtelle erfolgt so, dass zwischen Messtelle und Kühlturmeintritt kein Wasser aus dem System entnommen oder zugefügt wird.

Durchflussmessgeräte müssen nach anerkannten Normen oder Regelwerken installiert werden. Zulässige Geräte mit Angabe ihrer typischen Linearität werden in nachstehender Tabelle genannt.

Durchflussmessverfahren	Typische Linearität in % des Durchflusses
Drosselmessgeräte	je nach Genauigkeit der Differenzdruckmessung +/- 1,0 - +/- 3,0
Pitot- oder Prandtlrohr	+/- 0,15 - +/- 1,0
Induktive Verfahren	+/- 0,5 - +/- 4,0
Ultrasonische Verfahren	+/- 0,1 - +/- 1,0
Zählende Messgeräte (nur wenn Durchfluss konstant ist)	je nach Genauigkeit des Zählers

**Tabelle 1 : Typische Linearität für verschiedene Durchflussmessverfahren**

Für Abnahmemessungen muss eine Mindestgenauigkeit von +/- 1,5% durch den Hersteller des Messgeräts garantiert sein, welche durch eine unabhängige Prüfstelle bestätigt sein muss.

Wenn die Messung mit permanent installierten Messgeräten durchgeführt wird, müssen sich die Vertragsparteien vor dem Versuch über die für die Durchflussmessung anzusetzende Toleranz einigen. Diese Toleranz darf jedoch den Wert von 3% nicht überschreiten.

### 3.2.3. Leistungsbedarf der Ventilatoren

Es soll nur die elektrische Leistungsaufnahme der Antriebsmotoren gemessen werden. Die Leistungsaufnahme kann über Messungen von Spannung, Strom und Leistungsfaktor oder auch direkt ermittelt werden. Wenn die Leistung in einiger Entfernung vom Motor gemessen wird, müssen die entsprechenden Leitungsverluste in Rechnung gebracht werden.

Bezieht sich die vertragliche Zusicherung auf die Leistungsaufnahme an der Ventilatorwelle, wird der vom Hersteller angegebene Wirkungsgrad des Antriebs in Rechnung gebracht.

Die zur Leistungsmessung verwendeten Geräte müssen durch eine anerkannte unabhängige Prüfstelle vor dem Versuch auf eine Genauigkeit von +/- 1,5% kalibriert werden.

Leistungsmessungen	Typische Messtoleranz in % der Leistung
Wattmeter	1 - 5 %
Volt/Amp. Meter	3 - 8 %

Tabelle 2 : Typische Messtoleranz für verschiedene Leistungsmessverfahren

### 3.2.4. Pumpenförderhöhe

Die Pumpenförderhöhe des Kühlturms ist die Gesamtdruckdifferenz zwischen dem vertraglich vereinbarten Kühlturm Ein- und Austritt.

$$\Delta P_{io} = (P_{si} + P_{di} + \int gh_i) - (P_{so} + P_{do} + \int gh_o)$$

worin  $\int gh$  der geodätische Druckanteil ist, oder

$$\Delta P_{io} = (P_{si} + P_{di}) - (P_{so} + P_{do}) + H \text{ wenn}$$

H = die geometrische Höhendifferenz als Druck angegeben ist.

In den meisten Fällen sind die Rohrquerschnitte am Ein- und Austritt gleichgross. In diesen Fällen kann die vereinfachte Formel

$$\Delta P_{io} = (P_{si} - P_{so}) + H \text{ verwendet werden.}$$

### 3.2.5. Temperatur und Menge von Zusatzwasser und Abschlammung

Für diese Messungen können die oben beschriebenen Temperatur- und Wassermengenmessverfahren verwendet werden.

## **4. ABNAHMEMESSUNGEN**

### **4.1. Vertragliche Vereinbarungen**

#### **4.1.1. Allgemeines**

Zwischen Besteller und Lieferer sind bereits bei Vertragsabschluss Vereinbarungen über die Abnahmemessungen zu treffen. Einen Überblick über Messgrößen und Messtellen gibt Anhang B. Sofern es nicht möglich ist, die Messtellen nach den Regeln einzurichten, müssen die Vertragspartner sich entsprechend einigen.

#### **4.1.2. Zeitpunkt von Abnahmemessungen**

Abnahmemessungen sollten nach einer gewissen Betriebsperiode unter Wärmebelastung (vorzugsweise 400 Stunden) jedoch nicht später als 12 Monate nach Inbetriebnahme erfolgen und zwar möglichst bei klimatischen Verhältnissen, der Kühlzonenbreite und der Wassermenge, die der Gewährleistung zugrunde gelegt sind (siehe auch Abschnitt 4.3.3. Tabelle 4).

#### **4.1.3. Durchführung von Abnahmemessungen**

Die Art der Durchführung der Abnahmemessung sowie das Messprogramm, z.B. Referenzmessungen an bestimmten Zellen einer Mehrzellenkühlurmanlage, muss zwischen Lieferer und Besteller vereinbart werden. Jede der Vertragsparteien hat das Recht an der Messung teilzunehmen, bzw. diese zu überwachen.

#### **4.1.4. Kosten, Gestellung von Messgeräten und Personal**

Die Vertragspartner bzw. deren Beauftragte sollten sich frühzeitig über die Gestellung der für die Abnahmemessungen erforderlichen Messinstrumente und über das einzusetzende Personal einigen. Die Übernahme der Kosten ist vertraglich zu regeln. Dies gilt auch für Vergleichs- und Wiederholungsmessungen und die Hinzuziehung von Dritten.

### **4.2. Vorbereitung von Abnahmemessungen**

Bei den wichtigsten Messgrößen wird empfohlen, für die Messgeräte besondere Anschlussmöglichkeiten wie Stutzen und Tauchhülsen vorzusehen, damit die Abnahmemessungen durchgeführt werden können, ohne dass die Anzeige der Betriebsmessgeräte beeinträchtigt wird.

#### **4.2.1. Anzahl und Anordnung der Messpunkte**

Die Anzahl und Anordnung der Messpunkte erfolgt nach Tabelle 1 und Anhang B unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten. Die Anordnung der einzelnen Messpunkte erfolgt gemäss anerkannten Normen und Regelwerken.

Nr.	Messgrösse	Mindestzahl M	Anordnung
1.	Wassermenge m	M = 1 je Zulaufleitung	gemäss anerkannter Norm
2.	Warmwassertemperatur $t_h$	M = 1 je Zulaufleitung	in der Kernströmung der Zuläufe
3.	Kaltwassertemperatur $t_c$	$M \geq 2$ je Ablauf	im Beckenauslauf oder am Pumpenausstritt siehe Abschnitt 3.2.1.3
4.	Feuchtkugeltemperatur $t_w$	$M \geq \left( \frac{A}{m^2} \right)^{0.4}$ jedoch nicht weniger als eine Messtelle pro Lufteintritt A = Luftansaugfläche (m <sup>2</sup> ) $M \geq 2$	maximaler Abstand vom Kühlturm-Lufteintritt 2 m, gleichmässige Verteilung der Messtellen, so dass die Messdaten repräsentativ für die Feuchtkugeltemperatur der Eintrittsluft sind
5.	Leistungsbedarf der Ventilatoren $F_p$	M = 1	Direkt am Motor oder in der Schaltwarte
6.	Pumpenförderhöhe $\Delta P_{io}$	M = 1	siehe Abschnitt 3.2.4.

Tabelle 3 : Empfohlene Anzahl und Anordnung der Messtellen

#### 4.2.2. Zustand der Anlage

Vor dem Beginn der Abnahmemessungen muss überprüft werden, ob der Kühlturm einwandfrei betrieben wird.

Hierbei ist insbesondere sicherzustellen, dass:

- die Funktionsteile unbeschädigt und betriebsbereit sind
- die Kühleinbauten und Tropfenabscheider frei von Verschmutzungen, Ablagerungen und Bewuchs sind
- die Wasserverteilung keine Verschmutzungen oder Verstopfungen aufweist
- die Kühlluft und Wasserzuführung keine Undichtigkeiten erkennen lassen.

Es muss weiterhin sichergestellt sein, dass das Kühlwasser in Qualität und Zusammensetzung den gegebenenfalls in der Bestellung zugrundegelegten Daten entspricht und dass es insbesondere frei von Ölen und Fetten ist. Bei mehrzelligen Kühlturmanlagen ist sicherzustellen, dass die Wassermenge über die einzelnen Zellen richtig verteilt ist.

Die richtige Verteilung der Wassermengen kann erreicht werden indem man die den Zellen zugeführten Mengen so einstellt, das die Sprühdruöcke (Druck am Kühlturmeintritt) bzw. die Wasserniveaus in den Warmwasserverteilwannen gleich sind.

Der abnahmebereite Zustand des Kühlturms ist den Personen, die den Test durchführen sowie dem Lieferer rechtzeitig vor Beginn der Messung zu melden.

### 4.3. Durchführung von Abnahmemessungen

#### 4.3.1. Vorbedingungen

Vor dem Beginn der Abnahmemessung müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Der abnahmebereite Zustand der Anlage liegt vor.
- Alle erforderlichen Unterlagen liegen vor.
- Alle relevanten Messgeräte des Kühlkreislaufs müssen erfasst werden können.
- Fremdeinflüsse sind auszuschliessen, z.B. Abschirmung von Thermometern vor Sonnenstrahlen.

#### 4.3.2. Versuchsmessung

Den mit der Durchführung der Abnahmemessung Beauftragten ist vor Versuchsbeginn die Möglichkeit zu Probemessungen zu geben, bei denen die Messgeräte überprüft und das Ablesepersonal unterwiesen werden können. Eine Probemessung kann nachträglich bei gegenseitigem Einverständnis als Abnahmemessung gelten, sofern alle in dieser Richtlinie geltend gemachten Bedingungen erfüllt waren.

#### 4.3.3. Zulässige Abweichung von Betriebsbedingungen

Können die Bedingungen des Gewährleistungspunkts ( $t_{wG}$ ,  $z_G$ ,  $m_G$ ,  $F_{pG}$ ) bei der Abnahmemessung nicht eingestellt werden, dürfen die Abweichungen die in Tabelle 4 angegebenen Werte nicht überschreiten. Die Abnahmemessung ist weiterhin so vorzunehmen, dass die Messdaten ohne Unterbrechung erfasst werden können.

Messgrösse	Zulässige Abweichungen vom Garantiepunkt
Feuchtkugeltemperatur am Lufteintritt $t_w$	+5/-10K jedoch $t_w \geq + 4^\circ\text{C}$
Kühlzonenbreite $z$	+/- 20 %
Wassermenge $m$	+/- 10 %
Wärmemenge	+/- 20 %
Leistungsbedarf der Ventilatoren $F_p$	
- bei Drehzahlregelung oder verstellbaren Schaufeln	+/- 5%
- bei nicht regelbaren Ventilatoren	+/- 20 %

**Tabelle 4** : Höchstzulässige Abweichungen von den Bedingungen des Gewährleistungspunktes während der Abnahmemessungen



Die mittlere Windgeschwindigkeit darf während der Messperiode 3,5 m/s nicht überschreiten. Liegt die aktuelle Luftgeschwindigkeit dicht bei diesem Wert, wird empfohlen die Luftgeschwindigkeit regelmässig zu überwachen. In diesem Fall dürfen Windböen mit Geschwindigkeiten von mehr als 7 m/s nicht mehr als zehnmal in einer Stunde auftreten oder länger als eine Minute dauern. (Richtlinie ist kumulativ).

Die Windgeschwindigkeit wird in einer Höhe von 1 bis 1,5 m oberhalb des Wannensrandes in einer möglichst freien Stelle in Windrichtung zum Gerät gemessen. Der Abstand vom Gerät wird so gewählt, dass sich keine Einflüsse von der Saugluftströmung auf die Messung ergeben.

Die Windgeschwindigkeit wird mit einem Flügelradanemometer gemessen. Die Windrichtung kann mit einer Windfahne bestimmt werden.

Falls in Ausnahmefällen die Gültigkeitsgrenzen nicht eingehalten werden können, ist das Ergebnis der Abnahmemessung nur dann verbindlich, wenn sich die Vertragspartner über den zahlenmässigen Einfluss der abweichenden Betriebs- und Witterungsbedingungen einigen.

#### **4.3.4. Betriebsbedingungen während des Versuchs**

Die Betriebsbedingungen sollten während der Messung konstant sein. Die Feuchtkugeltemperatur am Lufteintritt kann schwanken, jedoch dürfen die Schwankungen nicht grösser als 1 K innerhalb von einer Stunde sein. Für die anderen Betriebsbedingungen dürfen während der Messung folgende Grenzen nicht überschritten werden:

+/- 5 % für die Wärmebelastung

+/- 5 % für die Wassermenge

+/- 5 % für die Kühlzonenbreite

Bemerkung : Die obenen genannten Betriebsparameter hängen voneinander ab, dürfen aber die genannten Grenzen individuell nicht überschreiten.

#### **4.3.5. Häufigkeit der Ablesungen**

Die Messdaten sind in regelmässigen Zeitabständen abzulesen und aufzunehmen. Die Wahl des Zeitabstandes ist weitgehend von der Konstanz der Betriebsbedingungen abhängig und zwar in dem Sinne, dass bei konstanteren Verhältnissen längere Zeitintervalle gewählt werden können.

Die empfohlene Häufigkeit der Ablesungen wird in Tabelle 5 angegeben.

Messtelle	Empfohlene Ablesehäufigkeit pro Stunde	Ablesung in	Abrundung auf
Feuchtkugeltemperatur	12	°C	0,05
Kaltwassertemperatur	12	°C	0,05
Warmwassertemperatur	12	°C	0,05
Wassermenge (siehe Bem. 1)	3 (Bem. 1)	(Bem. 2)	
Pumpenförderhöhe *	1	kPa	2
Leistungsbedarf der Ventilatoren	1	(Bem. 2)	
Windgeschwindigkeit	6	m/s	1
Temperatur des Frischwassers *	2	°C	0,05
Frischwassermenge *	2 (Bem. 1)	(Bem. 2)	
Temperatur des Abschlammwassers *	2	°C	0,05
Abschlammwassermenge *	2 (Bem. 1)	(Bem. 2)	
(* falls erforderlich)			

**Tabelle 5 : Empfohlene Häufigkeit der Ablesungen**

Bem. 1 : Wenn der Zeitaufwand zur Messung der Wassermenge erheblich ist, (z.B. bei Verwendung von Pitot oder Prandtl Rohren), ist es unter Umständen nicht möglich die in der Tabelle angegebene Ablesehäufigkeit zu erreichen. In solchen Fällen ist es zulässig nur eine Wassermengenmessung vollständig durchzuführen und während des Versuchs lediglich eine Überwachung an einer repräsentativen Stelle des Rohrquerschnitts durchzuführen, um sicherzustellen, dass eventuell während des Versuchs auftretende Änderungen der Wassermenge bemerkt und die im Abschnitt 4.3.4. angegebenen Maximalabweichungen nicht überschritten werden.

Bem. 2 : Die abzulesende Einheit hängt von der Art der Messung ab. Die Abrundung der Messwerte erfolgt gemäss der Genauigkeit der verwendeten Messgeräte.

#### 4.3.6. Versuchsdauer

Die Versuchsdauer ist so anzusetzen, dass unter Berücksichtigung der Schwankungen von Lufttemperaturen und Betriebsbedingungen eine ausreichende Anzahl (min. 10) von gültigen Messdaten ermittelt werden kann. Die Versuchsdauer sollte minimal 1 Stunde sein, jedoch 8 Stunden nicht überschreiten.

Bei zwangsbelüfteten Serienkühltürmen ist die thermische Trägheit sehr gering (ca. 2 min.) und bedarf aus diesem Grunde im allgemeinen keiner besonderen Beachtung. Wenn jedoch das anhand nachstehender Formel ermittelte Zeitintervall grösser als zwei Minuten ist, sollte die Periode zwischen zwei Ablesungen entsprechend verlängert werden. Bei der Berechnung von Mittelwerten ist die ermittelte Zeitverzögerung zu berücksichtigen, damit sich ein wahres Bild der vorhandenen Kühlturmleistung ergibt.

$$S_1 = \frac{Q_B}{60 (m + m_b)}$$

worin  $S_1$  = thermische Trägheit (Zeitverzögerung in Minuten)

$Q_B$  = Kaltwasservolumen in der Wanne während des Versuchs (Mittelwert) in Litern

$m$  = Warmwassermenge (l/s)

$m_b$  = Abschlämmwassermenge (l/s)

Wenn die thermische Trägheit grösser als 5 Minuten ist, sind die Kaltwassertemperaturen in Bezug auf die anderen Ablesungen mit der jeweilig ermittelten Verzögerung abzulesen.

#### 4.3.7. Gültigkeit der Messergebnisse

Schwankungen der Wärmebelastung, zeitliche Schlechtwetterperioden, Ausfall von Messinstrumenten oder andere Störungen können dazu führen, dass bestimmte Messreihen nicht ausgewertet werden können. Wenn Messergebnisse ausserhalb der in den Abschnitten 4.3.3. und 4.3.4. Grenzen liegen, muss die Abnahmemessung verlängert werden, bis die kontinuierliche Aufnahme von nach den Abschnitten 4.3.3. und 4.3.4. gültigen Messdaten während einer Stunde möglich ist.

## 5. AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE UND GEWAHRLEISTUNGSNACHWEIS

### 5.1. Auswertung der Messergebnisse

Nach Beendigung der Messdatenaufnahme wird vom Besteller oder seinem Vertreter, sowie den Personen, die den Versuch durchgeführt haben und dem Lieferer gemäss Abschnitt 4.3. entschieden, welche Messperiode für die endgültige Auswertung heranzuziehen ist. Alle Messwerte der vereinbarten Periode müssen bei der Auswertung berücksichtigt werden, wobei es jedoch zulässig ist, offensichtlich falsche Einzelwerte, die auf Ausfall oder Beschädigung von Messinstrumenten oder ähnliche Gründe zurückzuführen sind, aus der Beurteilung auszuklammern. Dies jedoch nur unter der Voraussetzung, dass aus den verbleibenden Daten hervorgeht, dass die in den Abschnitten 4.3.3. und 4.3.4. festgelegten Randbedingungen während des Versuchs erfüllt waren und mindestens 10 gültige Werte zur Auswertung vorhanden sind.

### 5.2. Vergleich mit den zugesicherten Werten

Anhand der Messdaten wird aus den Kennfeldern der Sollwert der Kaltwassertemperatur  $t_{cFk}$  für jede Messreihe bestimmt und die Differenz  $\Delta t_k$  zwischen der gemessenen Kaltwassertemperatur  $t_{ck}$  und dem Sollwert  $t_{cFk}$  berechnet.

$$\Delta t_k = t_{ck} - t_{cFk}$$

Danach wird der arithmetische Mittelwert aller  $t_k$  für alle Messreihen berechnet.

$$\Delta t_a = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k \Delta t_k$$

Der Gewährleistungsnachweis ist uneingeschränkt erbracht, wenn  $\Delta t_a \leq 0$ .  
Es ist unter Inanspruchnahme der Messunsicherheit erbracht, wenn

$$0 < \Delta t_a \leq \delta t_t = \delta t_m + \delta t_b$$

Die gültige Abweichung  $\delta t_t$  ist die Summe aus der Unsicherheit des Ergebnisses  $\delta t_m$  (nach Abschnitt 6.5. ermittelt) und der Basistoleranz  $\delta t_b$ ; diese berücksichtigt analytisch nicht erfasste Einflüsse auf das Betriebsverhalten des Kühlturms (z.B. Meteorologie, Kühlwasserqualität usw.) und wird mit 0,2 K beziffert.

## 6. UNSIKERHEIT DES ERGEBNISSES

Für den Vergleich zwischen gewährleisteter und gemessener Kaltwassertemperatur müssen die Messunsicherheiten der Temperaturmessung berücksichtigt werden. Hierzu kommen die Abweichungen, die sich aus der Bestimmung der Feuchtkugeltemperatur, der Kühlzonenbreite, oder Wassermenge und der Ventilatorleistung ergeben, da die Kaltwassertemperatur von diesen Einflussgrößen abhängig ist. Die Art der Abhängigkeit kann üblicherweise dem Kennfeld entnommen werden.

Die Messunsicherheiten können durch systematische, jedoch nicht erfassbare Abweichungen während der Messungen und durch zeitliche Schwankungen der Messgrößen entstehen.

### 6.1. Unsicherheit durch nicht erfassbare systematische Abweichung der Einflussgrößen

Die Messabweichungen der einzelnen Einflussgrößen haben Rückwirkung auf die Bestimmung der Kaltwassertemperatur. Die Bestimmung dieser Einflüsse wird an einem Beispiel unter Verwendung des im Anhang A gegebenen Beispiels für Kennfelder gezeigt.

#### 6.1.1. Einfluss der Unsicherheit bei Messung der Feuchtkugeltemperatur $\Phi_w$

Der Einflussfaktor  $\Phi_w$  gibt die Änderung der Kaltwassertemperatur  $\Delta t_c$  für eine gegebene Änderung der Feuchtkugeltemperatur  $\Delta t_w$  für den Fall an, dass alle anderen Einflussfaktoren, Wassermenge, Ventilatorleistung und Kühlzonenbreite den Garantiebedingungen entsprechen.

Die Änderung  $\Delta t_w$  wird so gewählt, dass die Beziehung zwischen  $t_w$  und  $t_c$  annähernd linear ist. (Siehe Beispiel Anhang A)

#### 6.1.2. Einfluss der Unsicherheit bei der Messung der Kühlzonenbreite $\Phi_z$

Der Einflussfaktor  $\Phi_z$  gibt die Änderung der Kaltwassertemperatur  $\Delta t_c$  für eine gegebene Änderung der Kühlzonenbreite  $\Delta z$  für den Fall an, dass alle anderen Einflussfaktoren, Wassermenge und Ventilatorleistung den Garantiebedingungen entsprechen und die Feuchtkugeltemperatur dem gemessenen Mittelwert entspricht. Die Änderung  $\Delta z$  ist mit +/- 1 K gegeben. (Siehe Beispiel Anhang A).

#### 6.1.3. Einfluss der Unsicherheit bei der Messung der Ventilatorleistung $\Phi_F$

Der Einflussfaktor  $\Phi_F$  gibt die Änderung der Kaltwassertemperatur  $\Delta t_c$  für eine gegebene Änderung der Ventilatorleistung  $\Delta F_p$  (in %) für den Fall an, dass Wassermenge und Kühlzonenbreite den Garantiebedingungen entsprechen und die Feuchtkugeltemperatur dem gemessenen Mittelwert entspricht. Die Änderung  $\Delta F_p$  ist mit +/- 10% gegeben. (Siehe Beispiel Anhang A).

#### 6.1.4. Einfluss der Unsicherheit bei Messung der Wassermenge $\Phi_m$

Der Einflussfaktor  $\Phi_m$  gibt die Änderung der Kaltwassertemperatur  $\Delta t_c$  für eine gegebene Änderung der Wassermenge  $\Delta m$  (in %) für den Fall an, dass Ventilatorleistung und Kühlzonenbreite den Garantiebedingungen entsprechen und die Feuchtkugeltemperatur dem gemessenen Mittelwert entspricht. Die Änderung  $\Delta F_p$  ist mit +/- 10% gegeben. (Siehe Beispiel Anhang A).

## 6.2. Bestimmung der Unsicherheit der Messeinrichtung

Die Toleranzen für verschiedene Messinstrumente sind im Abschnitt 3 angegeben. Die bei der Auswertung anzusetzenden Toleranzen müssen vor Beginn des Versuchs zwischen den Vertragsparteien übereingekommen werden, sie sollten jedoch die in Tabelle 6 angegebenen Werte nicht überschreiten.

Messgrösse	Zulässige Toleranz	
Feuchtkugeltemperatur	$\xi t_w$	0,1 K
Wassertemperaturen	$\xi t_c$	0,1 K
Wassermenge	$\xi m$	3 %
Ventilatorleistung	$\xi F_p$	3 %

Tabelle 6 : Zulässige Messtoleranzen

Die entsprechenden Toleranzen  $\xi_x$  sind in den Beschreibungen der verwendeten Messgeräte angegeben oder können gegebenenfalls aus obenstehender Tabelle entnommen werden.

Die jeweiligen Toleranzen ( $\xi_x$ ) werden mit den Einflussfaktoren  $\Phi$  (siehe Abschnitt 6.1.) kombiniert, woraus die Unsicherheit aufgrund nicht erfassbarer systematischer Abweichungen der Messergebnisse errechnet wird.

## 6.3. Unsicherheit aufgrund nicht erfassbarer systematischer Abweichungen der Messergebnisse

Die Unsicherheit  $\delta t_s$  des Vergleichs aufgrund systematischer, jedoch nicht erfassbarer Einflüsse wird berechnet nach:

$$\delta t_s = \sqrt{(\Phi t_w \times \xi t_w)^2 + (\Phi_z \times 2 \xi t_c)^2 + (\Phi_m \times \xi m)^2 + (\Phi F_p \times \xi F_p)^2 + (\xi t_c)^2}$$

wobei die Unsicherheit bei der Messung der Kaltwassertemperatur  $\xi t_c$  naturgemäss direkt in das Ergebnis eingeht.

## 6.4. Bestimmung der Unsicherheit aufgrund zufälliger Abweichungen der Messergebnisse und zeitlicher Schwankungen der Messgrössen

Zufällige Ereignisse haben zur Folge, dass die nach Abschnitt 5.2. berechneten Differenzen  $\Delta t_k$  zwischen gemessener und gewährleisteter Kaltwassertemperatur um ihren über alle Messreihen gebildeten Mittelwert  $t$  schwanken. Mass für diese Schwankung ist die empirische Standardabweichung

$$s_{\Delta t_k} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{k=1}^k (\Delta t_a - \Delta t_k)^2}$$

Als Messunsicherheit  $\delta t_r$  aufgrund zufälliger Abweichungen der Messergebnisse und zeitlicher Schwankungen der Messgrößen ist der Vertrauensbereich für eine Wahrscheinlichkeit von 95% zu bilden. Die Werte der  $S_t$  Verteilung nach Student können aus Tabelle 7 entnommen werden.

$$\delta t_r = \frac{S_t(k)}{\sqrt{k}} \cdot S_{4t_k}$$

k	$S_t(k)$	k	$S_t(k)$
2	12.710	16	2.131
3	4.303	17	2.120
4	3.182	18	2.110
5	2.776	19	2.101
6	2.571	20	2.093
7	2.447	21	2.086
8	2.365	22	2.080
9	2.306	23	2.074
10	2.262	24	2.069
11	2.228	25	2.064
12	2.201	26	2.060
13	2.179	27	2.056
14	2.160	28	2.052
15	2.145	29	2.048

Tabelle 7 : Verteilung nach Student für eine Wahrscheinlichkeit von 95 %

### 6.5. Bestimmung der Unsicherheit des Ergebnisses

Die Unsicherheit des Ergebnisses ( $\delta t_m$ ) ergibt sich nun aus den Unsicherheiten aufgrund der systematischen ( $\delta t_s$ ) und zufälligen ( $\delta t_r$ ) Abweichungen und kann berechnet werden nach:

$$\delta t_m = \sqrt{\delta t_s^2 + \delta t_r^2}$$

Die Gesamtunsicherheit  $\delta t_t$  erhält man unter Hinzuziehung der Basistoleranz  $\delta t_b$

$$\delta t_t = \delta t_m + \delta t_b$$

## 7. ABNAHMEBERICHT

Der Abnahmebericht soll folgende Angaben erhalten:

- a) Ort, Datum
- b) Hersteller des Kühlturms
- c) Hauptabmessungen (Zeichnung, Skizze)
- d) Wortlaut der Gewährleistung mit Unterlagen
- e) Durchführung und Ablauf der Messungen
- f) Ergebnisse der Messungen (in Form von Tabellen, Protokollen und graphischen Darstellungen) und deren Auswertung.
- g) Erklärung zur Erfüllung der Gewährleistung



## 8. FORMELZEICHEN

<u>Symbol</u>	<u>Physikalische Bedeutung</u>	<u>Einheit</u>
$t_w$	Feuchtkugeltemperatur	°C
$t_{wG}$	Feuchtkugeltemperatur bei Gewährleistungsbedingungen	°C
$t_{wk}$	gemessene Feuchtkugeltemperatur in Messreihe k	°C
$t_h$	Warmwassertemperatur	°C
$t_{hk}$	gemessene Warmwassertemperatur in Messreihe k	°C
$t_c$	Kaltwassertemperatur	°C
$t_{cG}$	gewährleistete Kaltwassertemperatur	°C
$t_{ck}$	gemessene Kaltwassertemperatur in Messreihe k	°C
$t_{cFk}$	Sollwert der Kaltwassertemperatur aus Kennfeld für Messwerte der Messreihe k	°C
$t_m$	Temperatur des Zusatzwassers	°C
$z$	Kühlzonenbreite ( $t_h - t_c$ )	K
$z_G$	Kühlzonenbreite bei Gewährleistungsbedingungen	K
$z_k$	Berechnete Kühlzonenbreite für Messreihe k ( $t_{hk} - t_{ck}$ )	K
$\Delta t_P$	Temperaturanstieg durch Pumpenarbeit	K
$\Delta t_k$	Differenz zwischen gemessener Kaltwassertemperatur ( $t_{ck}$ ) und Sollwert ( $t_{cFk}$ ) für Messreihe k	K
$\Delta t_a$	Arithmetischer Mittelwert aller $\Delta t_k$	K
$k$	Index Messreihe	
$m$	Warmwassermenge	l/s
$m_G$	Warmwassermenge bei Gewährleistungsbedingungen	l/s

<u>Symbol</u>	<u>Physikalische Bedeutung</u>	<u>Einheit</u>
$m_k$	gemessene Warmwassermenge für Messreihe k	l/s
$m_m$	Frischwassermenge	l/s
$m_b$	Abschlämmwassermenge	l/s
$F_p$	Leistungsbedarf des Ventilatormotors	kW
$F_{pG}$	Leistungsbedarf des Ventilatormotors bei Gewährleistungsbedingungen	kW
$P_h$	Druck an Pumpendruckseite	kPa
$P_c$	Druck an Pumpensaugseite	kPa
$P_{si}$	statischer Druck am vertraglichen Kühlturmeintritt	kPa
$P_{di}$	dynamischer Druck am vertraglichen Kühlturmeintritt	kPa
$\int gh_i$	geodätischer Druck am vertraglichen Kühlturmeintritt	kPa
$P_{so}$	statischer Druck am vertraglichen Kühlturmaustritt	kPa
$P_{do}$	dynamischer Druck am vertraglichen Kühlturmaustritt	kPa
$\int gh_o$	geodätischer Druck am vertraglichen Kühlturmaustritt	kPa
H	Differenz zwischen $\int gh_i$ und $\int gh_o$	kPa
$\Delta P_{io}$	Gesamtdruckdifferenz zwischen vertraglichem Kühlturmeintritt und -austritt (Pumpenförderhöhe)	kPa
p	Wirkungsgrad Pumpe	
$S_l$	thermische Trägheit (Zeitverzögerung)	min.
$Q_b$	mittlere Wassermenge in der Wanne	l
$V_w$	Windgeschwindigkeit	m/s

<u>Symbol</u>	<u>Physikalische Bedeutung</u>	<u>Einheit</u>
$\int t_t$	Unsicherheit des Messergebnisses unter Einbeziehung aller Einzeltoleranzen	K
$\int \dot{m}$	Unsicherheit des Messergebnisses unter Einbeziehung systematischer und zufälliger Abweichungen	K
$\int t_b$	Basistoleranz	K
$\int t_s$	Unsicherheit aufgrund nicht erfassbarer systematischer Abweichungen	K
$\int t_r$	Unsicherheit aufgrund nicht erfassbarer zufälliger Abweichungen	K
$\Phi_w$	Einflussfaktor Feuchtkugeltemperatur	K/°C
$\Phi_z$	Einflussfaktor Kühlzonenbreite	K/°C
$\Phi_F$	Einflussfaktor Leistungsbedarf	K/%
$\Phi_m$	Einflussfaktor Wassermenge	K/%
$\xi_x$	Messtoleranz für Messgerät x	
$S_t$	Studentzahl	

## 9. BEISPIEL

Kühlturmtyp	xyz
Anzahl der Zellen	2
Warmwasserzulauf	1 x pro Zelle
Kaltwasserablauf	1 x für 2 Zellen

### Auslegungsdaten :

- Wassermenge	$m = 2 \times 34,7 \text{ l/s}$
- Warmwassertemperatur	$t_h = 30^\circ\text{C}$
- Kaltwassertemperatur	$t_c = 24^\circ\text{C}$
- Feuchtkugeltemperatur	$t_w = 19^\circ\text{C}$
- Ventilatorantrieb Leistungsaufnahme	$F_p = 2 \times 10 \text{ kW}$

Bem. : In diesem Beispiel wird die Pumpenförderhöhe nicht betrachtet.

### Verwendete Messeinrichtungen :

#### Temperaturen:

- Wasser	Quecksilberthermometer mit 1/10 Grad-Einteilung
- Feuchtkugel-Temperatur	Aspirationspsychrometer mit 1/10 Grad-Einteilung

Wassermenge Pitot Rohr ( $\xi = 2 \%$ )

Ventilatorleistung Wattmeter am Schaltschrank

#### Messorte

Wassermenge	1 Messstelle in jedem Zulaufrohr
Warmwassertemperatur	1 Messstelle in jedem Zulaufrohr
Kaltwassertemperatur	2 Messstellen im gemeinsamen Ablaufrohr
Feuchtkugeltemperatur	1 m vor Lufteintritt, an jedem Lufteintritt eine Messstelle

Messprotokoll im Anhang C und Auswertung siehe Anhang D

## ANHANG A

### Beispiel der Darstellung von Kennfeldern

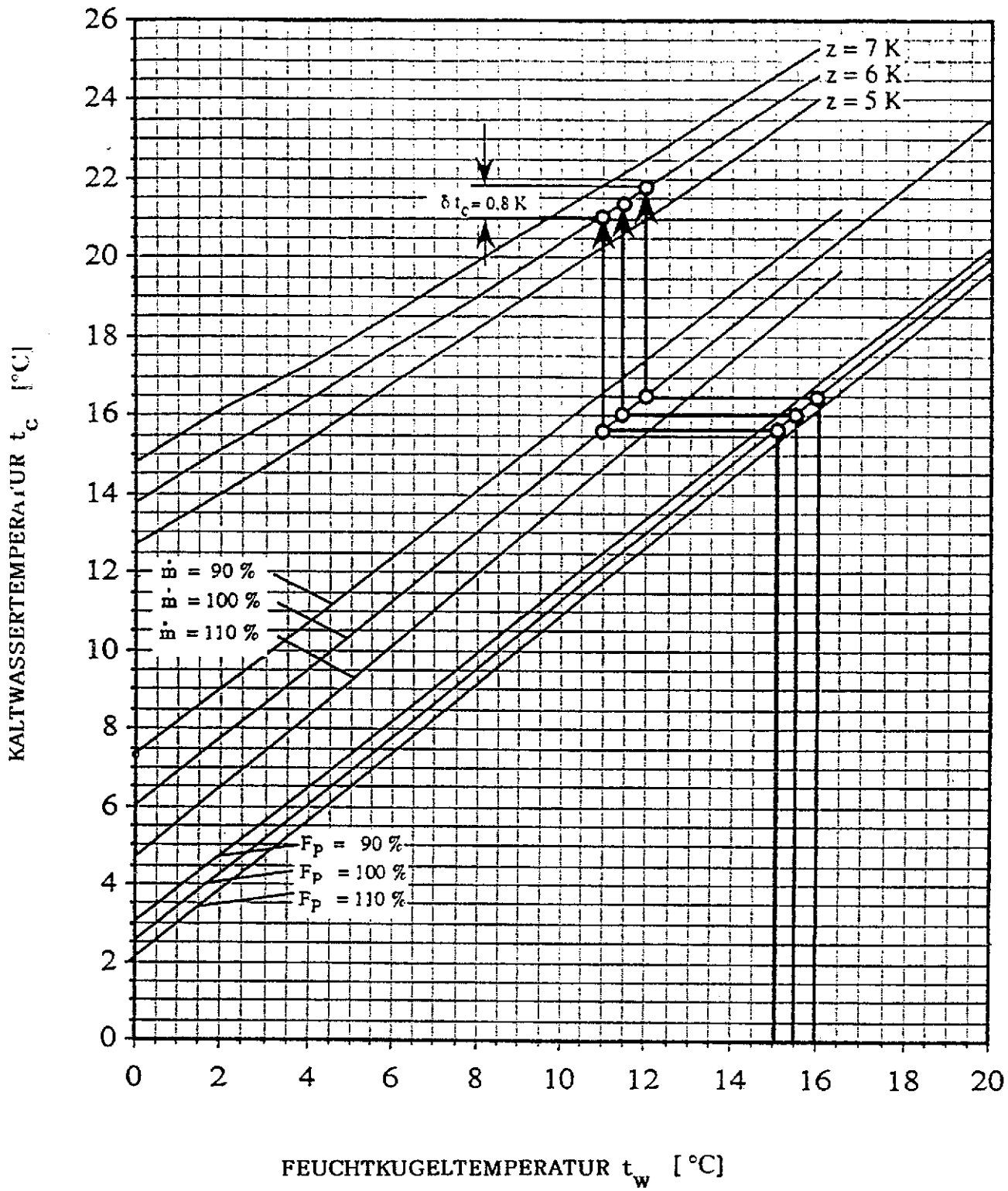


Bild A.1. Kennfeld mit Beispiel zur Ermittlung der Abweichung der Kaltwassertemperatur  $t_c$  als Folge von Abweichungen der Einflussgrösse "Feuchtkugeltemperatur  $t_w$ ".

Mit:  $t_w = 15,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$ ; und  $z = 6\text{K}$ ;  $F_p = 100\%$ ;  $m = 100\%$  konstant folgt:

$$\Delta t_w = \frac{\delta t_c}{\delta t_w} = \frac{0,8 \text{ K}}{1^\circ\text{C}} \rightarrow \Phi_w = 0,8 \frac{\text{K}}{^\circ\text{C}}$$

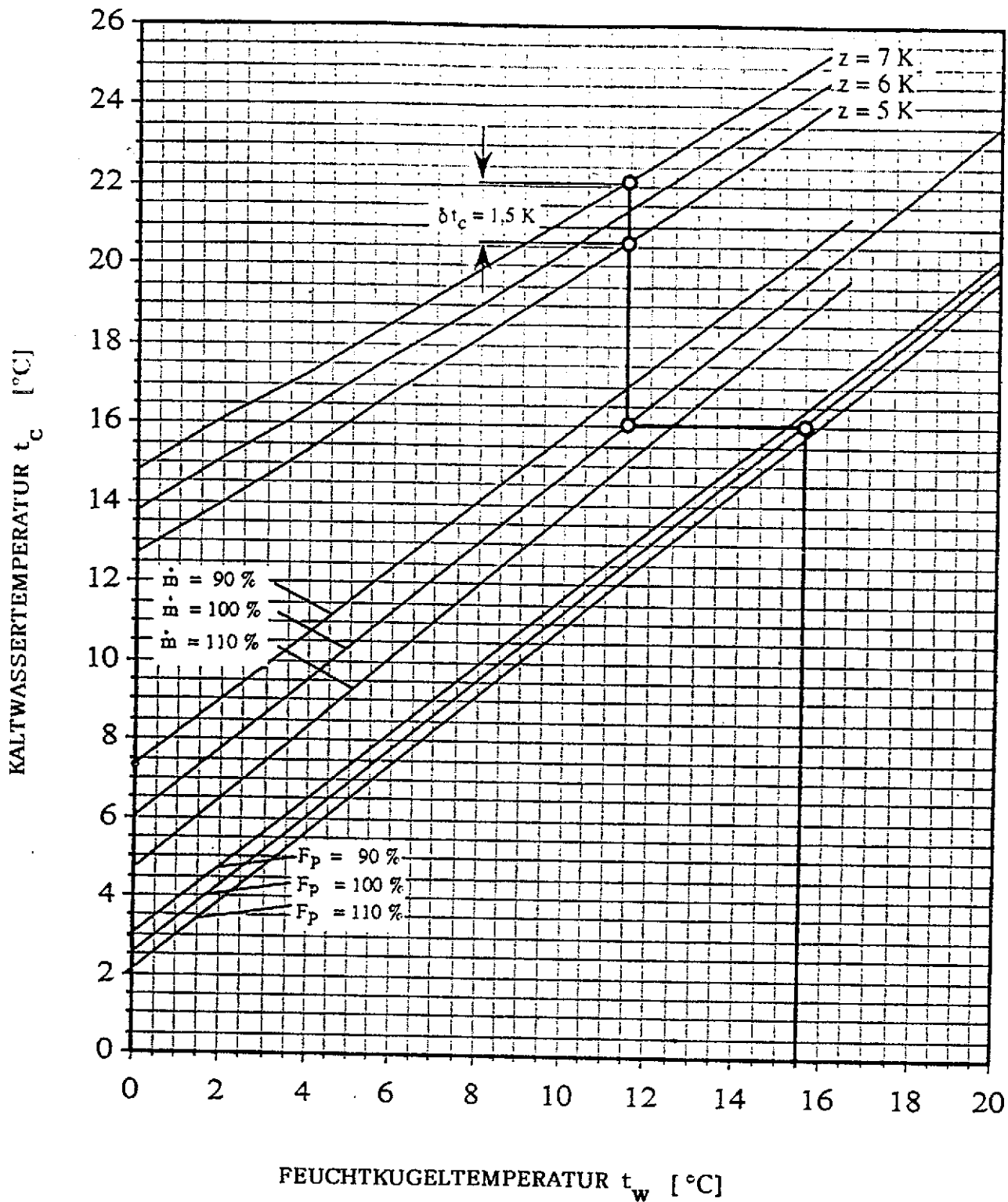


Bild A.2. Kennfeld mit Beispiel zur Ermittlung der Abweichung der Kaltwassertemperatur  $t_c$  als Folge von Abweichungen der Einflussgrösse "Kühlzonenbreite  $z$ "

Mit:  $z = 6 \pm 1\text{K}$ ; und  $t_w = 15,5^\circ\text{C}$ ;  $F_p = 100\%$ ;  $m = 100\%$  konstant, folgt:

$$\Delta z = \frac{\delta t_c}{\delta z} = \frac{1,5\text{K}}{2^\circ\text{C}} \rightarrow \Phi_z = 0,75 \frac{\text{K}}{^\circ\text{C}}$$

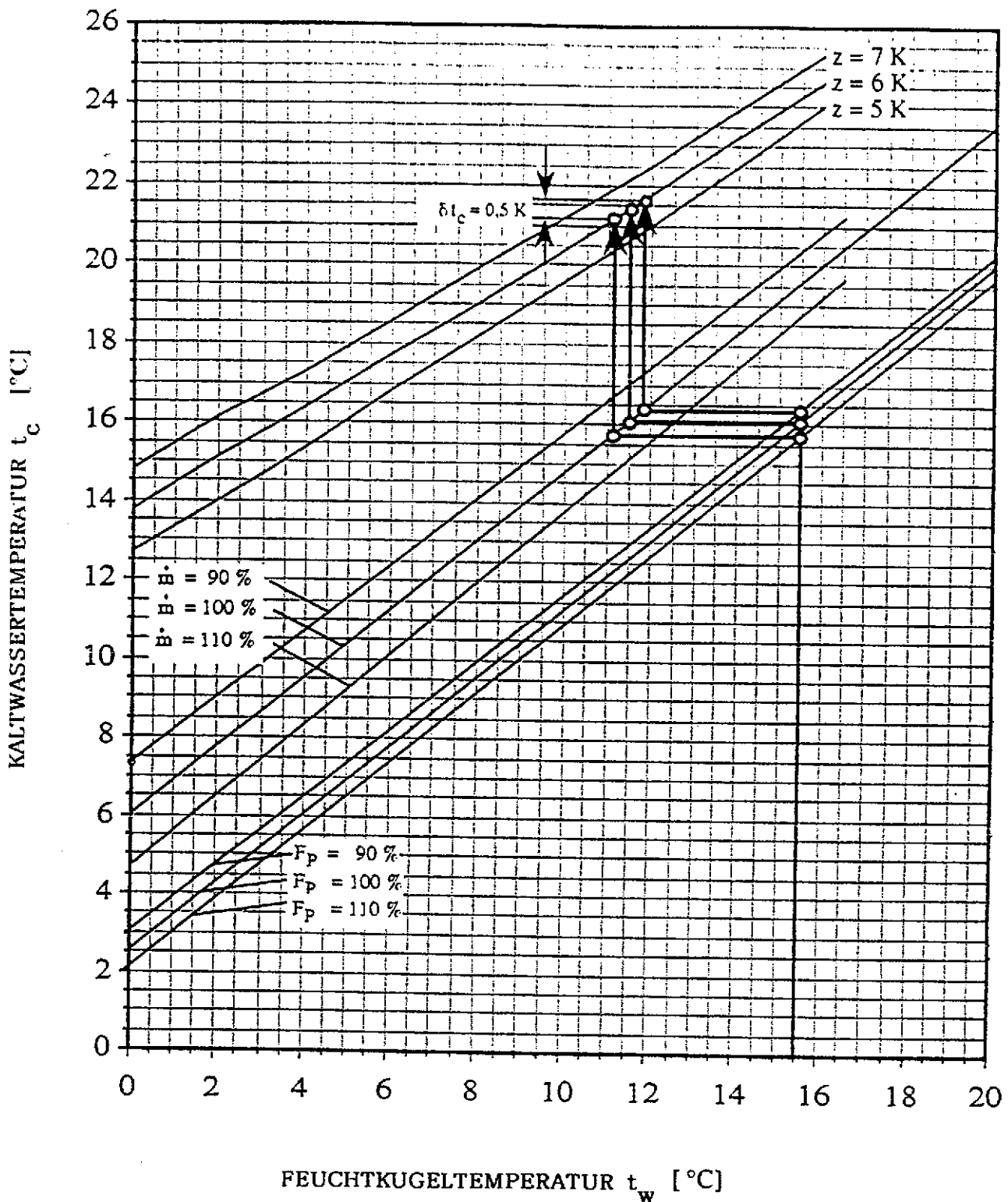


Bild A.3. Kennfeld mit Beispiel zur Ermittlung der Abweichung der Kaltwassertemperatur  $t_c$  als Folge von Abweichungen der Einflussgrösse "Ventilatorleistung  $F_p$ ".

Mit:  $F_p = 100 \pm 10\%$ ; und  $t_w = 15,5^\circ\text{C}$ ;  $z = 6\text{K}$ ;  $m = 100\%$  konstant, folgt:

$$\Delta F_p = \frac{\delta t_c}{\delta F_p} = \frac{0,5 \text{ K}}{20 \%} \rightarrow \Phi_F = 0,025 \frac{\text{K}}{\%}$$



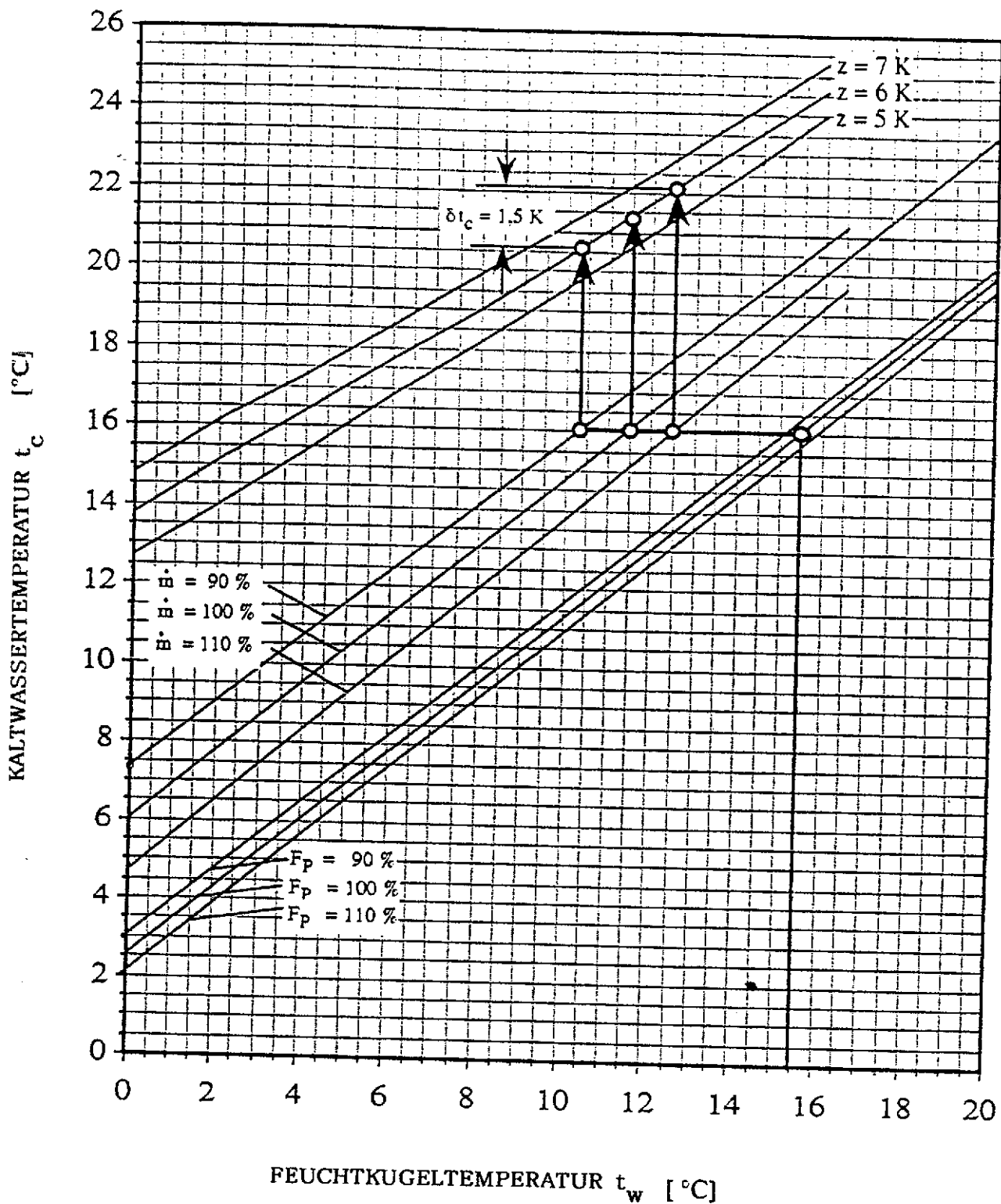


Bild A.4. Kennfeld mit Beispiel zur Ermittlung der Abweichung der Kaltwassertemperatur  $t_c$  als Folge von Abweichungen der Einflussgröße "Wassermenge  $m$ ".

Mit:  $m = 100 \pm 10\%$ ; und  $t_w = 15,5^\circ\text{C}$ ;  $z = 6\text{ K}$ ;  $F_p = 100\%$  konstant, folgt:

$$\Delta m = \frac{\delta t_c}{\delta m} = \frac{1,5\text{ K}}{20\%} \rightarrow \Phi m = 0,075 \frac{\text{K}}{\%}$$

## ANHANG B

### Messstellenplan für Kühltürme

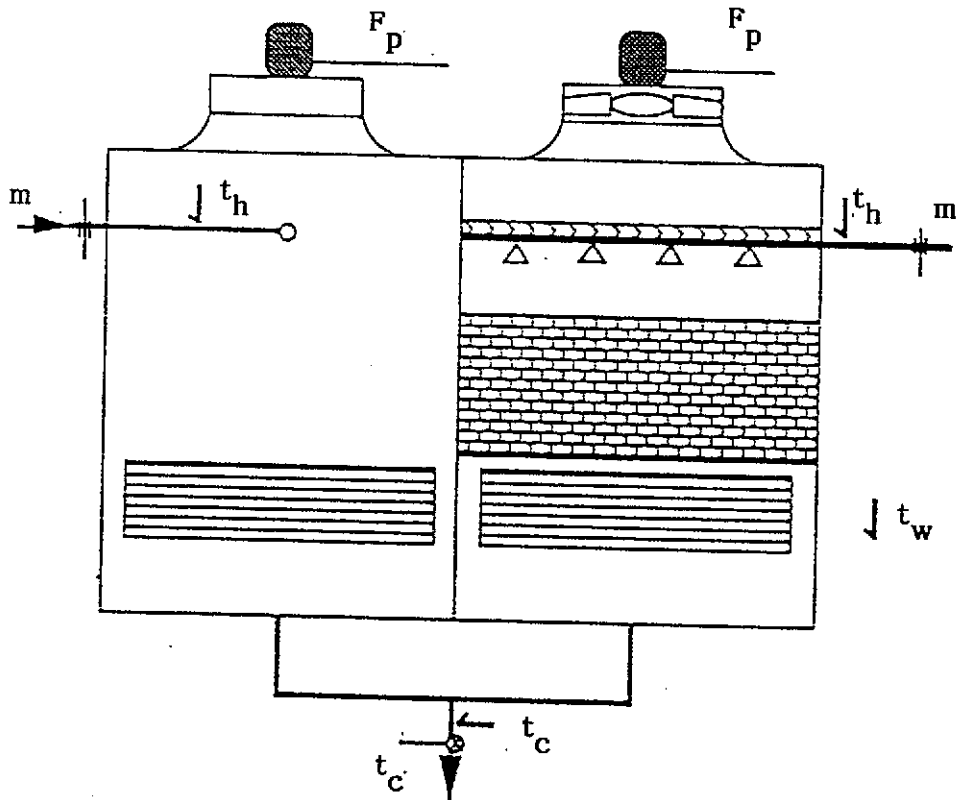


Bild B.2. Messstellenplan für einen Ventilator-Nasskühlturm, z.B. mit zwei Zellen

#### Messstellenverzeichnis

<u>Bezeichnung</u>	<u>Messgröße</u>
$t_w$	Feuchtkugeltemperatur am Lufteintritt
$m$	Warmwassermenge
$t_h$	Warmwassertemperatur
$t_c$	Kaltwassertemperatur
$F_p$	Leistungsbedarf der Ventilatoren



B. BEISPIEL ZUR AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE  
UND ZUR BESTIMMUNG DER UNSICHERHEIT DES ERGEBNISSES

Kühlurmtyp : xyz  
Standort :  
Hersteller :  
Datum :  
Prüfer :

Bemerkungen

Bezeichnung	Symbol	Einheit	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Messperiode	k														
Sollwert der Kaltwassertemp.	$t_{CF}$	°C	21.0	21.1	21.3	21.4	21.5	21.7	21.6	21.6	21.8	21.9	21.9	21.9	21.8
Abweichung Sollwert-Messwert	$\Delta t_k$	K	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Mittlere Abw. über alle Ablesungen	$\Delta t_t$	K	0.300												
Unsicherheit des Ergebnisses															
Unsicherheit der Messinstrumente															
Feuchtkugeltemperatur	$\xi_{t_w}$	K	0.1												
Wassertemperatur	$\xi_t$	K	0.1												
Wassermenge	$\xi_m$	%	2												
Ventilatorleistung	$\xi_F$	%	3												
Unsicherheit durch systematische Abweichung der Einflussgrößen (Einflussfaktoren aus Kennfeld)															
Feuchtkugeltemperatur	$\phi_w$	K/°C	0.8												
Kühlzonenbreite	$\phi_z$	K/°C	0.75												
Wassermenge	$\phi_m$	K/%	0.075												
Ventilatorleistung	$\phi_F$	K/%	0.025												
Unsicherheit durch systematische Abweichung der Messergebnisse															
Feuchtkugeltemperatur	$\xi_w \phi_w$	K	0.08												
Kühlzonenbreite 2 x	$\xi_t \phi_z$	K	0.15												
Wassermenge	$\xi_m \phi_m$	K	0.15												
Ventilatorleistung	$\xi_F \phi_F$	K	0.075												
Gesamtunsicherheit durch syst. Abweichungen	$\delta t_s$	K	0.259												
Unsicherheit aufgrund zufälliger Abweichungen der Messergebnisse und zeitlicher Schwankungen der Messgrößen															
Standardabweichungen	$S_4 t_k$	K	0.082												
Faktor für 95% (nach Student)	$S_t(K)$	I	2.179												
Unsicherheit	$\delta t_r$	K	0.05												
Summe aller Unsicherheiten	$= \delta t_m$	K	0.264												

$$\delta t_t = \delta t_m + \delta t_b$$

$$= 0.264 \text{ K} + 0.2 \text{ K}$$

$$= 0.464 \text{ K}$$







PROVE DI COLLAUDO DELLE PRESTAZIONI TERMICHE DI TORRI  
DI RAFFREDDAMENTO STANDARD A TIRAGGIO MECCANICO

S O M M A R I O

1. CAMPO DI APPLICAZIONE E SCOPO
  - 1.1. Campo di applicazione
  - 1.2. Scopo
  - 1.3. Oggetto delle prove di accettazione
  
2. CURVE DELLE PRESTAZIONI
  - 2.1. Formato delle curve
  - 2.2. Parametri delle curve
  
3. PROCEDURE E STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO
  - 3.1. Generalità
  - 3.2. Misurazioni
    - 3.2.1. Temperature
      - 3.2.1.1. Temperature dell'acqua
      - 3.2.1.2. Temperatura dell'acqua calda
      - 3.2.1.3. Temperatura dell'acqua fredda
      - 3.2.1.4. Temperatura al bulbo umido
    - 3.2.2. Portata d'acqua
    - 3.2.3. Potenza dei ventilatori
    - 3.2.4. Prevalenza di pompaggio della torre di raffreddamento
    - 3.2.5. Temperatura e portata del reintegro e dello spurgo
  
4. PROVE DI COLLAUDO
  - 4.1. Accordi contrattuali
    - 4.1.1. Generalità
    - 4.1.2. Tempo limite per le prove di collaudo
    - 4.1.3. Gestione delle prove di collaudo



- 4.1.4. Costi, messa a disposizione degli strumenti di misura e del personale
- 4.2. Preparazione delle prove di collaudo
  - 4.2.1. Numero e sistemazione dei punti di misura
  - 4.2.2. Condizioni dell'impianto
- 4.3. Svolgimento delle prove di collaudo
  - 4.3.1. Condizioni preliminari
  - 4.3.2. Misurazioni preliminari
  - 4.3.3. Deviazioni consentite dalle condizioni di progetto
  - 4.3.4. Condizioni operative durante la prova
  - 4.3.5. Frequenza delle letture
  - 4.3.6. Durata della prova
  - 4.3.7. Validità dei risultati della prova
- 5. VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA PROVA IN FUNZIONE DEI DATI DI PRESTAZIONE GARANTITI
  - 5.1. Valutazione dei risultati della prova
  - 5.2. Confronto con i dati di prestazione garantiti
- 6. TOLLERANZA DELLA PROVA
  - 6.1. Errore causato da deviazioni sistematiche non misurabili dei parametri di funzionamento
    - 6.1.1. Influenza delle incertezze di misurazione del bulbo umido
    - 6.1.2. Influenza delle incertezze di misurazione del salto termico dell'acqua
    - 6.1.3. Influenza delle incertezze di misurazione della potenza assorbita dal ventilatore
    - 6.1.4. Influenza delle incertezze di misurazione della portata d'acqua
  - 6.2. Determinazione delle tolleranze degli strumenti di misura
  - 6.3. Calcolo dell'errore causato da deviazioni sistematiche non misurabili dei parametri di funzionamento

6.4. Determinazione degli errori dovuti a deviazioni casuali dei risultati delle misure ed all'oscillazione temporanea dei parametri di funzionamento

6.5. Determinazione della tolleranza della prova

7. RELAZIONE DI PROVA

8. SIMBOLOGIA

9. ESEMPIO

Appendice A: curve delle prestazioni

Appendice B: posizione dei punti di misura nelle torri di raffreddamento

Appendice C: esempio di una relazione di prova

Appendice D: esempio di analisi di risultati di prova e calcolo della tolleranza della prova



## 1. CAMPO DI APPLICAZIONE E SCOPO

### 1.1. Campo di applicazione

Queste norme si applicano alle prove di collaudo di torri di raffreddamento d'acqua a tiraggio meccanico standardizzate.

Le norme si riferiscono alla preparazione, esecuzione ed analisi delle prove di collaudo e dovrebbero essere riconosciute già come parte integrante del documento contrattuale.

Deviazioni dalle norme di seguito esposte così come aggiunte necessitano di uno speciale accordo e dovranno essere documentate.

Le norme si intendono ad uso di:

- Fornitori
- Committenti
- Proprietari
- Esperti
- Enti di prova

### 1.2. Scopo

I dati di resa termica ed idraulica della torre di raffreddamento specificati nel contratto tra fornitore e committente possono essere verificati con un collaudo.

Termini quali "garanzia", "valori" e "accettazione" usati in queste norme dovranno essere intesi da un punto di vista tecnico ma non da un punto di vista legale o commerciale.

Le conseguenze legali e commerciali che potessero derivare dal conseguimento o meno della resa concordata contrattualmente non formano parte di questo documento.

### 1.3. Oggetto delle prove di accettazione

La temperatura dell'acqua in uscita dalla torre di raffreddamento alle condizioni garantite ( $t_{wg}$ ,  $Z_g$ ,  $m_g$ ,  $F_{pg}$ ,  $\Delta P_{10}$ \*) deve essere inferiore o uguale ad uno specifico valore. Per le prove di collaudo devono essere messi a disposizione dal fornitore prima del collaudo stesso dati integrativi di resa (curve delle prestazioni). Questi dati aggiuntivi definiscono l'area attorno al punto garantito ed indicano l'area nella quale il collaudo di accettazione è consentito (vedere paragrafo 4.3.3.).

\*  $\Delta P_{10}$  sarà preso in considerazione solo se richiesto dal contratto.

## 2. CURVE DELLE PRESTAZIONI

### 2.1. Formato delle curve

Le curve devono essere presentate in modo da rappresentare la relazione tra temperatura dell'acqua fredda ( $t_c$ ) e temperatura al bulbo umido ( $t_w$ ) al variare della portata ( $m$ ), del salto termico ( $z$ ) e della potenza del ventilatore ( $F_p$ ) a velocità ed inclinazione delle pale del ventilatore costanti.

Le curve devono essere rappresentate con la tipologia raffigurata nell'Appendice A, in ogni caso altre raffigurazioni sono accettabili sempre che diano le stesse informazioni.

Le curve devono permettere di effettuare letture con una precisione di 0.1 K. Il campo nel quale è consentito il collaudo deve essere indicato come detto al paragrafo 4.3.3.

### 2.2. Parametri delle curve

Il dato del valore della temperatura dell'acqua fredda deve essere correlato ai seguenti parametri:

- temperatura al bulbo umido
- portata acqua da raffreddare
- temperatura acqua calda o salto termico
- potenza ventilatore

### 3. PROCEDURE E STRUMENTAZIONE DI CONTROLLO

#### 3.1. Generalità

Nelle prove di accettazione si dovranno misurare le seguenti grandezze:

- portata dell'acqua calda ( $m$ )
- temperatura dell'acqua calda ( $t_h$ )
- temperatura dell'acqua fredda ( $t_c$ )
- temperatura a bulbo umido dell'aria entrante ( $t_w$ )
- potenza dei ventilatori ( $F_p$ )
- velocità del vento ( $V_w$ )

Quando è il caso anche:

- prevalenza di pompaggio ( $\Delta P_{io}$ )
- temperatura ( $t_m$ ) e portata ( $m_m$ ) dell'acqua di reintegro

Le procedure di misurazione qui descritte si dovranno armonizzare alle norme accettate.

Un sommario della strumentazione necessaria è riportato nell'Appendice B "Posizione dei punti di misura nelle torri di raffreddamento".

Tutti gli strumenti di misura devono essere testati e calibrati prima della prova. Le deviazioni trovate dovranno essere conteggiate nella valutazione dei risultati.

La scala di misura degli strumenti dovrà essere scelta in modo da minimizzare gli errori di misurazione. Le tolleranze accettabili sono indicate nella Tabella 6.

Per la misurazione della portata d'acqua sono ammissibili strumenti a contatore, ma a condizione che siano integrati da misure addizionali istantanee al fine di verificare che le fluttuazioni di portata d'acqua rimangano entro i limiti ammessi indicati al paragrafo 4.3.4.

Gli strumenti di misura, la loro calibrazione e collocazione dovranno essere in accordo con norme accettate.

#### 3.2. Misurazioni

##### 3.2.1. Temperature

Le temperature da misurare sono la temperatura dell'acqua calda  $t_h$ , la temperatura dell'acqua fredda  $t_c$ , la temperatura a bulbo umido dell'aria entrante  $t_w$  e, nei casi applicabili, la temperatura dell'acqua di reintegro  $t_m$ .

Dovranno essere usati strumenti di misura calibrati come:

- termometri a liquido
- termometri a resistenza al platino
- termocoppie
- termistori
- termometri al quarzo

L'indicatore o il registratore del termometro dovrà avere una graduazione non superiore a 0.1 K leggibile sino a

0.05 K e dovrà essere stato calibrato prima della prova con accuratezza di  $\pm 0.05$  K

3.2.1.1. Temperature dell'acqua

Gli strumenti di misura dovranno essere conformi a quanto specificato sopra. Le stazioni di misura delle temperature dovranno essere collocate in modo da far rilevare valori medi significativi.

3.2.1.2. Temperatura dell'acqua calda

Un'adatta collocazione dell'apparecchio di misura dell'acqua calda è la tubazione comune di adduzione alla torre o il suo sistema di distribuzione dell'acqua.

3.2.1.3. Temperatura dell'acqua fredda

La temperatura dell'acqua fredda deve riflettere la vera temperatura media dell'acqua uscente dalla torre di raffreddamento e occorre prestare attenzione ad eliminare ogni possibilità di stratificazione della temperatura a livello del punto di misura. Se la temperatura dell'acqua fredda viene rilevata allo scarico della pompa, per gli effetti della pressione e dello strozzamento il valore di temperatura rilevato deve essere corretto come segue:

a) Se il termometro è collocato in un pozzo posto nella tubazione di scarico della pompa

$$\Delta t_p = 0.00239 (P_h - P_c) (1 - \eta_p) / \eta_p$$

Nota: A meno che la pressione statica fra il pelo libero dell'acqua nella vasca di raccolta e l'asse dell'aspirazione della pompa sia significativa o che il percorso del tubo sia piuttosto lungo,  $P_c$  può essere assunto 0 kPa senza alcuna perdita significativa di accuratezza.

Se la prova è condotta immettendo l'acqua di reintegro a monte della stazione di misura della torre, ad esempio nel bacino di raccolta della torre, il valore misurato di temperatura dell'acqua fredda deve essere corretto per effetto di detto reintegro mediante un calcolo di bilancio termico prendendo in considerazione la temperatura e la portata del reintegro.

3.2.1.4. Temperatura a bulbo umido

La temperatura a bulbo umido dell'aria entrante deve essere misurata usando strumenti ad aspirazione meccanica in numero e collocazioni sufficienti per garantire che il valore di temperatura misurato rifletta accuratamente la vera temperatura a bulbo umido dell'aria entrante nella

torre di raffreddamento. Gli strumenti dovranno rispondere ai seguenti requisiti:

- a) L'indicatore o il registratore dovrà essere graduato con suddivisioni non superiori a 0,1 K.
- b) Il sensore di temperatura dovrà avere un'accuratezza di  $\pm 0.05$  K.
- c) Il sensore di temperatura dovrà essere schermato dalla luce solare diretta o da altre fonti significative di calore radiante. Il dispositivo schermante avrà una temperatura vicina a quella ambiente a bulbo secco.
- d) Il sensore di temperatura sarà coperto con uno stoppino alimentato in continuo da un serbatoio di acqua distillata.
- e) La temperatura dell'acqua distillata usata per inumidire lo stoppino dovrà essere circa alla stessa temperatura di quella a bulbo umido in corso di misura. Ciò può essere in pratica ottenuto mettendo uno stoppino adeguatamente ventilato tra il serbatoio dell'acqua ed il sensore di temperatura.
- f) Lo stoppino dovrà adattarsi agevolmente sopra il sensore di temperatura e sporgere almeno due centimetri oltre lo stelo del sensore. Durante l'uso dovrà essere tenuto pulito.
- g) La velocità dell'aria sopra il sensore di temperatura dovrà essere mantenuta tra 3 e 6 m/s.

### 3.2.2. Portata d'acqua

Occorrerà misurare il valore della portata dell'acqua calda in arrivo. Viene ammesso di misurare la portata nella tubazione dell'acqua fredda solo se le condizioni locali impediscono di effettuare la misura nel condotto dell'acqua calda. In tal caso occorrerà effettuare un bilancio in termini di massa per correggere la misura della portata dell'acqua fredda in funzione di ogni variazione di peso/volume specifico alle temperature misurate. La collocazione del punto di misura della portata sarà tale che non siano possibili aggiunte o perdite d'acqua tra il punto di misura e l'ingresso nella torre di raffreddamento.

I misuratori di portata dovranno essere installati in accordo a norme accettate. Dispositivi misuratori di portata accettabili con la loro tipica linearità sono elencati nella seguente Tabella 1:



Metodo di misurazione portata	Linearità tipica come % della portata
Strumenti di misura a farfalla	dipendente dalla misura del differenziale di pressione
Tubi di Pitot o di Prandtl	$\pm 1.0$ - $\pm 3.0$
Contatori a turbina	$\pm 0.15$ - $\pm 1.0$
Apparecchi di misura elettromagnetici	$\pm 0.50$ - $\pm 4.0$
Apparecchi di misura a ultrasuoni	$\pm 0.10$ - $\pm 1.0$
Contatori (solo se la portata é costante)	dipendente dal tipo di contatore

Tabella 1: Linearità tipica per differenti misuratori di portata

Per le prove di accettazione tutti questi dispositivi devono avere un'accuratezza di base  $\pm 1.5\%$  garantita dal fabbricante e certificata da un'agenzia di ispezione indipendente.

Se la misurazione viene eseguita usando apparecchiature di misura installate per servizio in modo permanente, le parti coinvolte dovranno accordarsi, prima di eseguire la prova, sulla tolleranza della misurazione nel rilevamento della portata. Tale tolleranza della misurazione non può tuttavia eccedere 3%.

### 3.2.3. Potenza dei ventilatori

Dovrà essere misurata solo la potenza elettrica assorbita dai motori dei ventilatori. La potenza assorbita sarà determinata direttamente o mediante la misurazione del voltaggio, della corrente e del fattore di potenza. Quando é necessario misurare la potenza assorbita dai motori dei ventilatori in qualche punto distante dai motori, occorre tener conto delle perdite di linea tra il punto di misurazione ed i motori.

Se la garanzia delle prestazioni é basata sulla potenza resa all'albero, si possono usare le efficienze dichiarate dal costruttore del motore.

Lo strumento usato per misurare la potenza dovrà essere calibrato prima della prova da un laboratorio indipendente accettato, con una accuratezza di almeno  $\pm 1.5\%$ .

Misurazione della potenza ventilatori	Campo tipico di tolleranza come % della potenza ventilatori
Wattmetro	1 - 5 %
Voltmetro / amperometro	3 - 8 %

Tabella 2: Tolleranze tipiche per diverse misurazioni della potenza.

#### 3.2.4. Prevalenza di pompaggio della torre di raffreddamento

La prevalenza di pompaggio della torre ( $\Delta P_{io}$ ) é la differenza totale di pressione tra l'entrata e l'uscita contrattuali della torre.

$$\Delta P_{io} = (P_{si} + P_{di} + \delta gh_i) - (P_{so} + P_{do} + \delta gh_o)$$

dove  $\delta gh$  = pressione di gravità o anche

$$\Delta P_{io} = (P_{si} + P_{di}) - (P_{so} + P_{do}) + H$$

dove H = differenza di altezza geometrica in termini di pressione.

Nella maggior parte dei casi le sezioni di passaggio in ingresso ed in uscita sono simili e allora si può usare l'equazione semplificata:

$$\Delta P_{io} = (P_{si} - P_{so}) + H$$

#### 3.2.5. Temperatura e portata del reintegro e dello spurgo

Per queste misurazioni si possono utilizzare le stesse procedure descritte per le misurazioni delle temperature dell'acqua e della portata d'acqua circolante.

#### 4. PROVE DI COLLAUDO

##### 4.1. Accordi contrattuali

###### 4.1.1. Generalità

L'acquirente ed il fornitore devono concordare sulla prova di collaudo quando firmano l'ordine.

Una lista dei parametri e dei punti di misura é riportata nell'Appendice B.

Qualora non fosse possibile installare i punti di misura secondo le norme, le parti devono definire un comune accordo.

###### 4.1.2. Tempo limite per le prove di collaudo

Le prove di collaudo devono essere preferibilmente effettuate dopo un periodo di funzionamento sotto carico termico (di preferenza 400 ore) e non oltre 12 mesi dall'avviamento, a condizioni climatiche, di salto termico e di portata che siano vicine a quelle garantite (vedere paragrafo 4.3.3. - Tabella 4).

###### 4.1.3. Gestione delle prove di collaudo

La gestione della procedura e del programma delle prove di collaudo, per esempio prove di riferimento su celle selezionate in una installazione a piú celle, deve essere concordata tra fornitore e cliente. Ciascuna delle parti ha il diritto di presenziare e/o partecipare al collaudo.

###### 4.1.4. Costi, messa a disposizione degli strumenti di misura e del personale

Le parti od i loro rappresentanti devono concordare a tempo debito sulla messa a disposizione degli strumenti di misura e del personale necessario.

L'attribuzione dei costi deve essere specificata nell'ordine.

Questo si applica anche a prove comparative o ripetute, come pure a consulenze di terzi.

##### 4.2. Preparazione delle prove di collaudo

Per misurare i parametri piú importanti, si raccomanda di installare accessori e protezioni speciali, allo scopo di eseguire le prove senza interferenze degli apparecchi di misura operativi.

###### 4.2.1. Numero e sistemazione dei punti di misura

Il numero e la sistemazione dei punti di misura devono essere secondo la Tabella 3 e lo schema nell'Appendice B, e tener conto dei vincoli locali. La sistemazione dei punti di misura deve essere eseguita secondo standards riconosciuti.

N.	Grandezza	Numero minimo M	Sistemazione
1.	Portata d'acqua m	M=1 per ciascun tubo di alimentazione	Secondo gli standard accettati
2.	Temperatura dell'acqua calda $t_h$	M=1 per ciascun tubo di alimentazione	Nel flusso principale attraverso i tubi di alimentazione
3.	Temperatura dell'acqua fredda $t_c$	M≥2 per ciascuna uscita	All'uscita del bacino o allo scarico della pompa, vedi paragrafo 3.2.1.3.
4.	Temperatura al bulbo umido dell'aria $t_w$	$M \geq \left( \frac{A}{m^2} \right)^{0,4}$ ma non meno di una stazione per ciascun ingresso d'aria A=Superficie frontale di ingresso d'aria ( $m^2$ ) M≥2	Massima distanza dall'ingresso aria della torre 2 m, uniformemente distribuita per assicurare che la media della prova è un'accurata rappresentazione della vera temperatura a bulbo umido media dell'aria entrante.
5.	Potenza assorbita dal ventilatore $F_p$	M=1	Diretta sul motore o nella sala di controllo
6.	Prevalenza di pompaggio $\Delta P_{10}$	M=1	Vedi paragrafo 3.2.4.

Tabella 3: Numero e sistemazioni raccomandate dei punti di misura

#### 4.2.2. Condizioni dell'impianto

Prima dello svolgimento delle prove di collaudo occorre ispezionare la torre di raffreddamento per assicurarsi che funzioni in modo appropriato.

In particolare occorre assicurarsi che:

- tutti i componenti funzionali siano integri e funzionanti
- il pacco di scambio ed i separatori siano liberi da detriti, depositi e formazioni biologiche
- il sistema di distribuzione sia pulito e non intasato
- non ci siano fughe nell'alimentazione di acqua ed aria
- l'entrata e lo scarico dell'aria siano liberi.

Occorre assicurarsi che la qualità e la composizione dell'acqua da raffreddare sia come specificato nell'ordine, e che in particolare l'acqua non contenga oli e grassi.

Nel caso di torri a più celle, le portate unitarie devono essere correttamente bilanciate. La bilanciatura può essere assicurata operando sui flussi in modo che le pressioni di spruzzatura (pressione agli ingressi della torre) od i livelli nel bacino di distribuzione dell'acqua calda siano uguali.

Prima di effettuare le prove occorre notificare alle persone incaricate delle prove ed al costruttore che la torre é pronta per il collaudo.

#### 4.3. Svolgimento delle prove di collaudo

##### 4.3.1. Condizioni preliminari

Prima delle prove occorre che siano soddisfatte le seguenti condizioni:

- L'impianto deve essere in condizioni accettabili.
- Tutti i necessari documenti di collaudo devono essere disponibili.
- Tutti gli strumenti di misura del circuito di raffreddamento devono essere accessibili.
- Le influenze esterne quali l'irraggiamento solare sui termometri devono essere eliminate, ad esempio con schermi.

##### 4.3.2. Misurazioni preliminari

Occorre dare al personale addetto alle misure la possibilità di fare una prova preliminare, prima della prova ufficiale stessa.

Questo permette di saggiare sia gli strumenti sia l'addestramento del personale addetto alle loro letture.

Una prova preliminare può essere accettata come prova di collaudo, se soddisfa a tutte le condizioni della presente norma.

##### 4.3.3. Deviazioni consentite dalle condizioni di progetto

Se non si possono ottenere le condizioni dei punti garantiti ( $t_{wg}$ ,  $z_g$ ,  $m_g$ ,  $F_{pg}$ ) durante la prova di collaudo, le deviazioni non dovrebbero superare i valori indicati nella Tabella 4. Le prove devono essere effettuate in modo che le letture valide possano essere rilevate consecutivamente.

Grandezza	Deviazione dalle condizioni garantite
Temperatura a bulbo umido in ingresso $t_w$	+5/-10 K ma $t_F \geq +4^\circ\text{C}$
Salto termico $z$	+ / - 20%
Portata d'acqua $m$	+ / - 10%
Carico termico	+ / - 20%
Potenza assorbita dai ventilatori $F_p$	
- con controllo della velocità o a pale regolabili	+ / - 5%
- senza controlli	+ / - 20%

Tabella 4: Massime deviazioni dai valori garantiti ammesse durante le prove di collaudo.

Durante il periodo delle misurazioni la velocità media del vento non deve superare i 3.5 m/s.

Se la velocità del vento è vicina a questo valore, si può decidere di misurarla in continuo; in tal caso, le folate di più di 7 m/s non devono verificarsi più di 10 volte all'ora o per più di un minuto (valore cumulativo).

La velocità del vento sarà misurata ad una quota di 1.0 - 1.5 m sopra il bordo superiore del bacino di raccolta, e se possibile in posizione aperta e non ostruita, sopravvento all'apparecchiatura e a una distanza in orizzontale sufficiente ad eliminare gli effetti sull'apparecchiatura posta sottovento.

Le misure del vento saranno fatte con anemometro a ventola od a turbina; la direzione del vento può essere determinata usando uno strumento a banderuola.

Se in casi eccezionali non si potessero mantenere i limiti di validità, la prova di collaudo verrà considerata valida solo se le parti troveranno un accordo sul calcolo dell'influenza delle deviazioni dalle condizioni operative e climatiche.

#### 4.3.4. Condizioni operative durante la prova

Le condizioni operative devono rimanere costanti durante il periodo di prova. La temperatura al bulbo umido in ingresso può fluttuare, ma non può cambiare più di 1 K all'ora.

Durante il periodo di misura occorre assicurarsi che le condizioni di prova non varino più di:

- ± 5% per il carico termico
- ± 5% per la portata d'acqua
- ± 5% per il salto termico

Nota: Le condizioni sono dipendenti tra loro, ma individualmente non possono superare detti limiti.

#### 4.3.5. Frequenza delle letture

Occorre effettuare le misure ad intervalli regolari e registrare tutte le letture.

La scelta degli intervalli di tempo é generalmente correlata alla costanza delle condizioni di prova, in modo che a condizioni piú costanti possono essere scelti intervalli di tempo piú lunghi.

La frequenza raccomandata di letture per ogni stazione di misura é indicata nella Tabella 5.

Misura	Frequenza raccomandata per ora e stazione	Unità di misura	Accuratezza richiesta
Temperatura al bulbo umido	12	°C	0,05
Temperatura acqua fredda	12	°C	0,05
Temperatura acqua calda	12	°C	0,05
Portata acqua (Vedi Nota 1)	3 (Nota 1)	vedere	Nota 2
Prevalenza di pompaggio*	1	kPa	2
Potenza assorbita dal ventilatore	1	vedere	Nota 2
Velocità vento	6	m/s	1
Temperatura reintegro*	2	°C	0,05
Portata reintegro*	2 (Nota 1)	vedere	Nota 2
Temperatura spurgo*	2	°C	0,05
Portata spurgo*	2 (Nota 1)	vedere	Nota 2
(* Se applicabile)			

Tabella 5: Frequenza raccomandata delle letture

Nota 1: Quando il tempo di misura della portata é eccessivo, per esempio se si usa il tubo di PITOT o di PRANDTL, potrebbe non essere possibile rispettare la frequenza raccomandata dalla tabella. In tal caso é accettabile una sola misura di portata, a condizione che si facciano misure ripetute in un punto campione (per esempio al centro del tubo del-

l'acqua), per assicurare che le variazioni di portata che possono verificarsi durante la prova siano registrate e non superino i limiti ammessi nel paragrafo 4.3.4.

Nota 2: Le unità di misura da registrare dipendono dal metodo di misura adottato.  
La registrazione deve essere in linea con la precisione degli strumenti.

#### 4.3.6. Durata della prova

La durata della prova deve essere scelta in modo che, tenendo conto della fluttuazione delle temperature dell'aria e delle dispersioni dei parametri di funzionamento, si possa ottenere un numero sufficiente di letture valide (min. 10).

La durata sarà minimo di un'ora, ma non più di otto ore. Per le torri standardizzate a tiraggio meccanico il ritardo termico è piuttosto piccolo (< 2 min.) e non va generalmente considerato.

Ma se questo intervallo di tempo, determinato dall'equazione seguente, è maggiore di due minuti, il tempo di prova sarà allungato di una simile quantità, e le medie della prova saranno basate su intervalli compensati, in modo che le letture scelte rappresentino le vere prestazioni della torre.

$$S_1 = \frac{Q_B}{60(m + m_b)} \quad \text{Ove:}$$

$S_1$  = Ritardo termico (min.)

$Q_B$  = Volume medio dell'acqua nel bacino dell'acqua fredda durante la prova (l)

$m$  = Portata in ingresso (l/s)

$m_b$  = Portata di spurgo (l/s)

Qualora il ritardo termico superi i 5 minuti, si assume che l'intervallo di lettura della temperatura dell'acqua fredda si sposti di un tempo equivalente oltre l'intervallo delle altre letture.

#### 4.3.7. Validità dei risultati della prova

Le fluttuazioni della potenza termica, i periodi temporanei di tempo cattivo, i cedimenti della strumentazione, o altri accidenti possono richiedere l'eliminazione di alcune letture dai dati di prova. Se succedesse che le letture siano al di fuori dei limiti dei paragrafi 4.3.3. o 4.3.4., la prova dovrebbe essere continuata fino ad ottenere un minimo di un'ora di dati ininterrotti, tutti all'interno dei limiti dei paragrafi 4.3.3. e 4.3.4.



5. VALUTAZIONE DEI RISULTATI DELLA PROVA IN FUNZIONE DEI DATI DI PRESTAZIONE GARANTITI

5.1. Valutazione dei risultati della prova

Dopo aver completato la raccolta dei dati, le persone addette all'esecuzione della prova, il proprietario della torre di raffreddamento o un suo rappresentante ed il fornitore decidono quali letture dovranno essere considerate per la valutazione finale, secondo quanto prescritto alla sezione 4.3.

Si devono usare tutte le letture effettuate, anche se si possono eliminare dalla valutazione letture isolate anomale determinate da strumentazione difettosa o altre simili cause, purché tutti i dati rimanenti consentano di ritenere valida la prova conformemente a 4.3.3. e a 4.3.4., e che rimanga un minimo di dieci letture valide per la valutazione.

5.2. Confronto con i dati di prestazione garantiti

Usando i valori misurati, il valore nominale della temperatura dell'acqua fredda  $t_{cFK}$  si ricava, per ogni lettura, dalle curve di capacità e dalla differenza tra la temperatura dell'acqua fredda misurata  $t_{ck}$  e il valore nominale  $t_{cFK}$

$$\Delta t_k = t_{ck} - t_{cFK}$$

e la media aritmetica di tutti i  $\Delta t_k$  di tutti i periodi di misura si calcola:

$$\Delta t_a = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^k \Delta t_k$$

Le condizioni garantite si sono verificate se  $\Delta t_a < 0$ . Considerando comunque gli errori di misurazione possiamo dire che le condizioni garantite sono state raggiunte se:

$$0 < \Delta t_a \leq \delta t_e = \delta t_m + \delta t_b$$

Lo scarto  $\delta t_e$  è uguale alla somma dell'errore dei risultati di  $\delta t_m$  (calcolati secondo il paragrafo 6.5.) e la tolleranza di base  $\delta t_b$ . La tolleranza di base considera quei parametri di funzionamento della torre di raffreddamento (qualità dell'acqua, condizioni metereologiche, ecc.) che non possono essere valutati analiticamente ed è fissata al valore di 0.2 K.

## 6. TOLLERANZA DELLA PROVA

Per confrontare la temperatura garantita dell'acqua fredda con quella misurata, bisogna tener conto delle tolleranze insite nella misura della temperatura. In aggiunta occorre considerare le incertezze relative alle misure della temperatura a bulbo umido, del salto termico dell'acqua, della portata d'acqua e della potenza assorbita dei motori dei ventilatori, poiché la temperatura dell'acqua fredda dipende da tali grandezze. La relazione tra queste grandezze e la temperatura dell'acqua fredda è generalmente rilevabile nelle curve di capacità.

Errori possono aver luogo sia a causa di deviazioni sistematiche non misurabili che per oscillazioni temporanee della grandezza da misurare.

### 6.1. Errore causato da deviazioni sistematiche non misurabili dei parametri di funzionamento

Gli errori di misura dei singoli parametri hanno influenza sulla determinazione della temperatura dell'acqua fredda. Un esempio potrà mostrare come determinare queste influenze (vedi a tale proposito un esempio di curve di capacità in Appendice A).

#### 6.1.1. Influenza delle incertezze di misurazione della temperatura a bulbo umido $\Phi_w$

Il fattore d'influenza  $\Phi_w$  indica la variazione di temperatura dell'acqua fredda  $\Delta t_c$  al variare della temperatura del bulbo umido  $\Delta t_w$ , a condizione che tutti gli altri parametri - portata d'acqua, potenza assorbita dal ventilatore e salto termico - rispecchino le condizioni garantite.

La variazione di  $\Delta t_w$  deve essere scelta in modo che il rapporto tra  $t_w$  e  $t_c$  sia pressoché lineare.

(Vedi esempio in Appendice A)

#### 6.1.2. Influenza delle incertezze di misurazione del salto termico dell'acqua $\Phi_z$

Il fattore d'influenza  $\Phi_z$  indica la variazione della temperatura dell'acqua fredda  $\Delta t_c$  al variare del salto termico  $\Delta z$ , a condizione che portata d'acqua e potenza assorbita dai ventilatori rispecchino le condizioni garantite e che la temperatura a bulbo umido corrisponda al valore medio misurato. La variazione di  $\Delta z$  deve essere  $\pm 1$  K.

(Vedi esempio in Appendice A)

#### 6.1.3. Influenza delle incertezze di misurazione della potenza assorbita dal ventilatore $\Phi_F$

Il fattore d'influenza  $\Phi_F$  indica la variazione della temperatura dell'acqua fredda  $\Delta t_c$  al variare della potenza assorbita dal ventilatore  $\Delta F_F$  (in %), a condizio-

ne che la portata d'acqua ed il salto termico rispecchino le condizioni garantite e che la temperatura a bulbo umido corrisponda al valore medio misurato. Le variazioni di  $\Delta F_p$  devono essere  $\pm 10\%$ .

(Vedi esempio in Appendice A)

6.1.4. Influenza delle incertezze di misurazione della portata d'acqua  $\Phi_m$

Il fattore d'influenza  $\Phi_m$  indica la variazione della temperatura dell'acqua fredda  $\Delta t_c$  al variare della portata d'acqua  $\Delta m$  (in %), a condizione che potenza assorbita dal ventilatore e salto termico rispecchino le condizioni garantite e che la temperatura a bulbo umido corrisponda al valore medio misurato. Le variazioni di  $\Delta m$  devono essere  $\pm 10\%$ .

(Vedi esempio in Appendice A)

6.2. Determinazione delle tolleranze degli strumenti di misura

Le tolleranze di misura dei diversi strumenti sono indicate al Capitolo 3. I valori da considerare devono essere definiti da entrambe le parti contrattuali prima della misurazione e non devono eccedere quelli indicati nella Tabella 6.

Grandezza	Tolleranza accettabile degli strumenti
Temperatura a bulbo umido dell'aria	$\epsilon t_w$ 0.1 K
Temperature dell'acqua	$\epsilon t$ 0.1 K
Portata d'acqua	$\epsilon m$ 3%
Potenza assorbita dal ventilatore	$\epsilon F_p$ 3%

Tabella 6: Tolleranze accettabili degli strumenti di misura

Per i singoli strumenti gli scarti sistematici  $\epsilon_x$  devono essere determinati dai manuali tecnici degli strumenti utilizzati, oppure possono essere presi dalla Tabella 6.

Le tolleranze degli strumenti di misura  $\epsilon_x$  sono combinate con i fattori d'influenza  $\Phi$  indicati nel paragrafo 6.1. e consentono il calcolo dell'errore causato da sistematiche deviazioni non misurabili dei parametri di funzionamento.

6.3. Calcolo dell'errore causato da deviazioni sistematiche non misurabili dei parametri di funzionamento

L'errore  $\Delta t_c$  determinato dalle influenze sistematiche non misurabili può essere calcolato come segue:

$$\delta t_s = \sqrt{(\Phi_w \times \epsilon t_w)^2 + (\Phi_z \times 2 \epsilon t)^2 + (\Phi_m \times \epsilon m)^2 + (\Phi_F \times \epsilon F_p)^2 + (\epsilon t_c)^2}$$

Naturalmente, la tolleranza di misura della temperatura dell'acqua fredda e  $t_c$  viene applicata direttamente al risultato.

6.4. Determinazione degli errori dovuti a deviazioni casuali dei risultati delle misure ed all'oscillazione temporanea dei parametri di funzionamento

Eventi casuali possono far si che le differenze  $\Delta t_k$  tra la temperatura dell'acqua fredda misurata e quella garantita, calcolata in accordo paragrafo 5.2., oscillino intorno al valore medio  $\Delta t$  calcolato da tutti i periodi di misurazione. La misura di questa fluttuazione é la deviazione standard:

$$S_{\Delta t_k} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{k=1}^k (\Delta t - \Delta t_k)^2}$$

La tolleranza di misura  $\delta t_r$  dovuta allo scostamento causale dei risultati delle misure ed all'oscillazione temporanea delle grandezze misurate, con il livello di affidabilità per una probabilità del 95%, può essere trovata con la formula seguente:

$$\delta t_r = \frac{S_{\Delta t_k}(k)}{\sqrt{k}} S_{\Delta t_k}$$

I valori della distribuzione di  $S_{\Delta t_k}$  secondo Student sono presentati nella Tabella 7.

k	$S_{\Delta t_k}(k)$	k	$S_{\Delta t_k}(k)$
2	12.710	16	2.131
3	4.303	17	2.120
4	3.182	18	2.110
5	2.776	19	2.101
6	2.571	20	2.093
7	2.447	21	2.086
8	2.365	22	2.080
9	2.306	23	2.074
10	2.262	24	2.069
11	2.228	25	2.064
12	2.202	26	2.060
13	2.179	27	2.056
14	2.160	28	2.052
15	2.145	29	2.048

Tabella 7: Distribuzione secondo Student per un livello di affidabilità del 95%.

#### 6.5. Determinazione della tolleranza della prova

La tolleranza di misurazione ( $\delta t_m$ ) é il risultato delle tolleranze dovute a scostamenti sistematici ( $\delta t_s$ ) e casuali ( $\delta t_r$ ) e può essere calcolata come segue:

$$\delta t_m = \sqrt{\delta t_s^2 + \delta t_r^2}$$

La tolleranza totale della prova  $\delta t_e$  si trova aggiungendo la tolleranza di base  $\delta t_b$ :

$$\delta t_e = \delta t_m + \delta t_b$$

7. RELAZIONE DI PROVA

La relazione di prova dovrebbe comprendere le seguenti informazioni:

- a) luogo, data
- b) costruttore della torre di raffreddamento
- c) dimensioni principali (disegno, schizzo)
- d) clausole di garanzia e documenti inerenti
- e) relazione sul modo in cui sono state eseguite le misurazioni
- f) risultati delle misurazioni (sottoforma di tabelle, rapporti e grafici) ed analisi della prova
- g) dichiarazione sul soddisfacimento delle condizioni di garanzia.

## 8. SIMBOLOGIA

<u>Simbolo</u>	<u>Denominazione</u>	<u>Unità di misura</u>
$t_w$	Temperatura al bulbo umido	°C
$t_{wG}$	Temperatura al bulbo umido garantita	°C
$t_{wk}$	Temperatura al bulbo umido misurata nella lettura k	°C
$t_h$	Temperatura acqua calda	°C
$t_{hk}$	Temperatura acqua calda misurata nella lettura k	°C
$t_c$	Temperatura acqua fredda	°C
$t_{cG}$	Temperatura acqua fredda garantita	°C
$t_{ck}$	Temperatura acqua fredda misurata nella lettura k	°C
$t_{cFk}$	Valore nominale della temperatura acqua fredda desunta dalle curve di capacità alle condizioni trovate nella lettura k	°C
$t_m$	Temperatura dell'acqua di reintegro	°C
$z$	Salto termico ( $t_h - t_c$ )	K
$z_G$	Salto termico garantito	K
$z_k$	Salto termico risultante dalla lettura k ( $t_{hk} - t_{ck}$ )	K
$\Delta t_D$	Aumento della temperatura dovuta all'energia di pompaggio	K
$\Delta t_k$	Differenza fra la temperatura dell'acqua fredda misurata ( $t_{ck}$ ) e quella nominale ( $t_{cFk}$ ) alla lettura k	K
$\Delta t_a$	Media aritmetica di tutti i $\Delta t_k$	K
$k$	Indice di lettura	
$m$	Portata d'acqua calda	l/s
$m_G$	Portata d'acqua calda garantita	l/s
$m_k$	Portata d'acqua calda misurata nella lettura k	l/s
$m_m$	Portata dell'acqua di reintegro	l/s
$m_b$	Portata dell'acqua di spurgo	l/s
$F_P$	Potenza del motore del ventilatore	kW

$F_{PG}$	Potenza del motore del ventilatore garantita	kW
$P_h$	Pressione di scarico della pompa	kPa
$P_c$	Pressione di aspirazione della pompa	kPa
$P_{si}$	Pressione statica all'ingresso contrattuale della torre	kPa
$P_{di}$	Pressione dinamica all'ingresso contrattuale della torre	kPa
$\delta gh_i$	Pressione di gravità all'ingresso contrattuale	kPa
$P_{so}$	Pressione statica all'uscita contrattuale	kPa
$P_{do}$	Pressione dinamica all'uscita contrattuale	kPa
$\delta gh_o$	Pressione di gravità all'uscita contrattuale	kPa
$H$	Differenza fra pressione di gravità all'ingresso ed all'uscita contrattuale	kPa
$\Delta P_{i0}$	Differenza totale di pressione fra ingresso e uscita contrattuali della torre	kPa
$\eta_p$	Efficienza della pompa	
$S_i$	Intervallo termico	min
$Q_b$	Volume medio del bacino di raccolta dell'acqua	l
$V_w$	Velocità del vento	m/s
$\delta t_c$	Tolleranza della prova comprendente le deviazioni sistematiche e casuali e la tolleranza di base	K
$\delta t_m$	Errore di misurazione del risultato	K
$\delta t_b$	Tolleranza di base	K
$\delta t_s$	Errore dovuto ad influenze sistematiche non misurabili	K
$\delta t_r$	Errore dovuto a deviazioni casuali	K
$\Phi_w$	Fattore d'influenza del bulbo umido	K/°C
$\Phi_z$	Fattore d'influenza del salto termico	K/°C



$\Phi_F$	Fattore d'influenza della potenza dei ventilatori	K/ %
$\Phi_m$	Fattore d'influenza della portata d'acqua	K/ %
$\epsilon_x$	Tolleranza di misura per lo strumento di misura x	
$S_c$	Numero di Student	

9.

### ESEMPIO

Torre di raffreddamento tipo	: xyz
Numero di celle	: 2
Entrate acqua calda	: 1 per cella
Uscite acqua fredda	: 1 per le due celle

#### Dati di progetto:

- portata d'acqua	$m = 2 \times 34,7 \text{ l/s}$
- temperatura acqua calda	$t_h = 30^\circ\text{C}$
- temperatura acqua fredda	$t_c = 24^\circ\text{C}$
- temperatura al bulbo umido	$t_w = 19^\circ\text{C}$
- potenza ventilatore	$F_p = 2 \times 10 \text{ kW}$

Nota: in questo esempio la valutazione della prevalenza di pompaggio non é inclusa.

#### Strumenti utilizzati:

- Temperature	
- dell'acqua	termometri a bulbo di mercurio, con graduazioni di 0,1 K.
- al bulbo umido	psicrometro ad aspirazione, con graduazioni di 0,1 K.
- Portata d'acqua	tubo di Pitot ( $\epsilon = 2\%$ ).
- Potenza ventilatore	wattmetro sulla morsettiera.

#### Posizionamento delle misure:

- Portata d'acqua	1 punto di misura in ogni tubazione di alimentazione.
- Temperatura acqua calda	1 punto di misura in ogni tubazione di alimentazione.
- Temperatura acqua fredda	2 punti di misura sulla comune tubazione di uscita.
- Temperatura a bulbo umido	ad 1 m dalle bocche di entrata aria, 4 per ogni lato di entrata.

Rapporto di prova in Appendice C ed analisi dei risultati in Appendice D.

APPENDICE A

Curve delle prestazioni

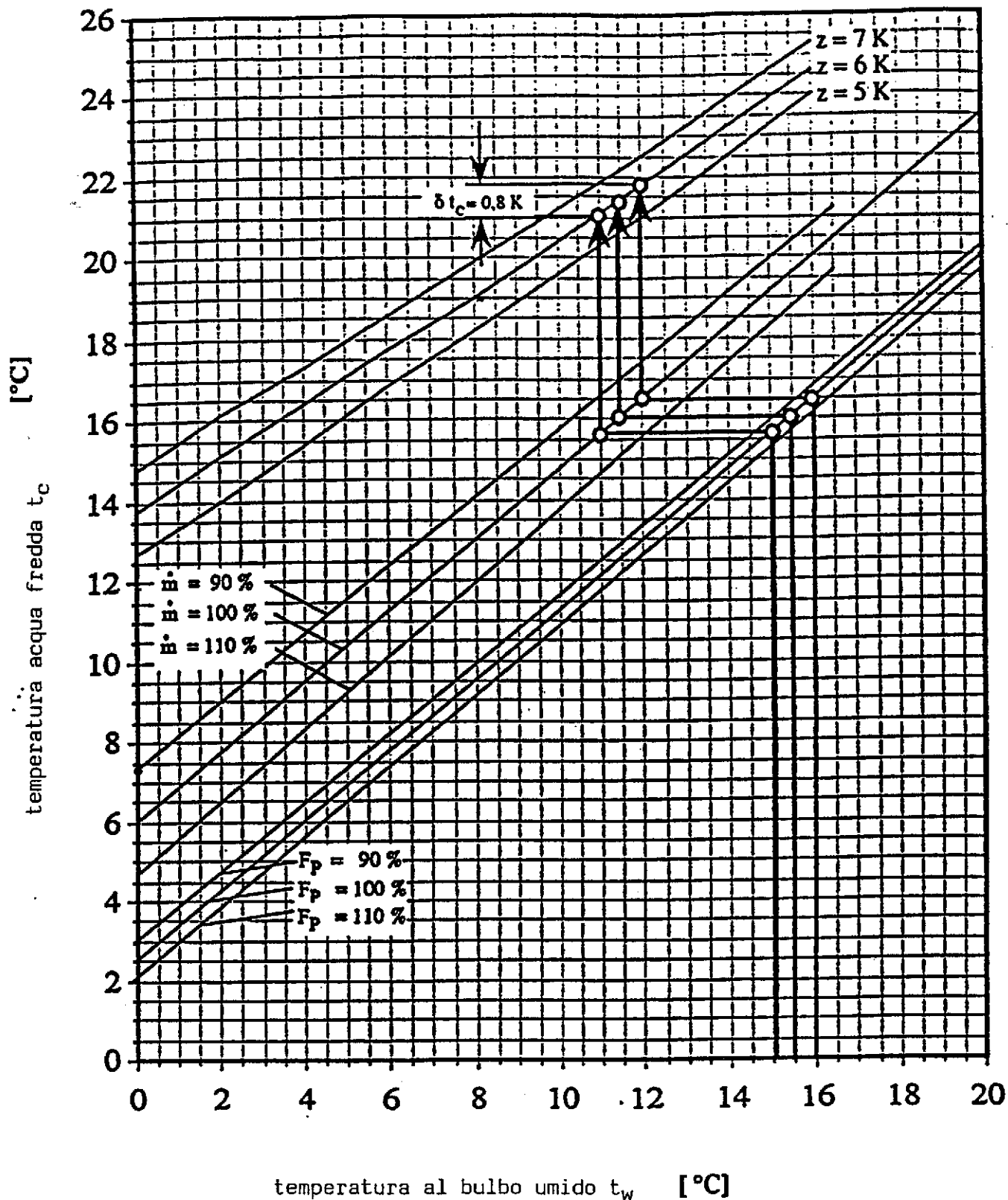


FIG. A.1.: Curva delle prestazioni con un esempio per determinare la variazione della temperatura dell'acqua fredda  $t_c$  in funzione del fattore "temperatura al bulbo umido  $t_w$ ".

Con:  $t_w = 15,5 \pm 0,5^\circ C$ ;  $z = 6 K$ ;  $F_p = 100\%$ ;  $m = 100\%$  costante, il risultato é:

$$\Delta t_w = \frac{\delta t_c}{\delta t_w} = \frac{0,8 K}{1^\circ C} \rightarrow \Phi_w = 0,8 \frac{K}{^\circ C}$$

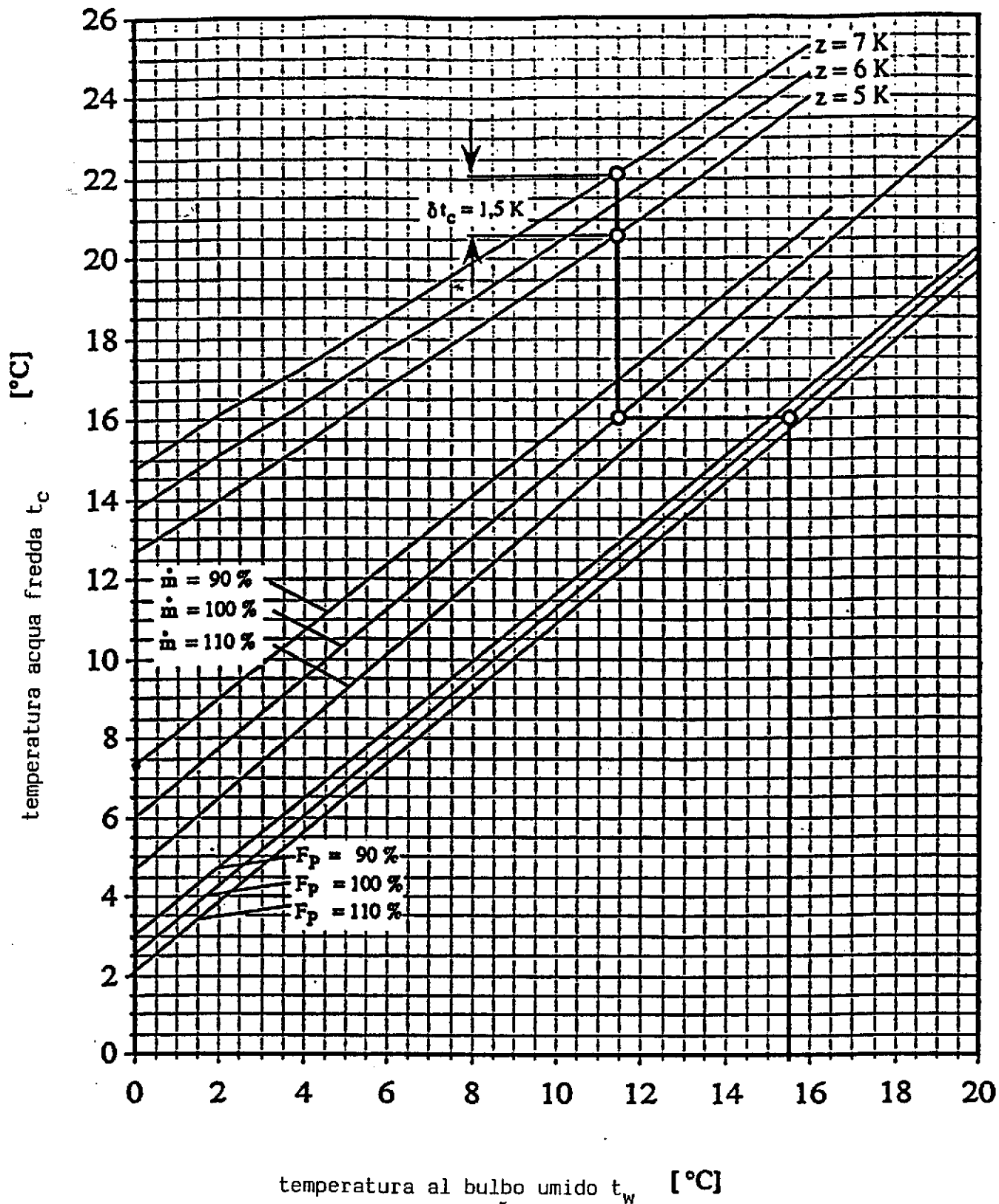


FIG. A.2.: Curva delle prestazioni con un esempio per determinare la variazione della temperatura dell'acqua fredda  $t_c$  in funzione del fattore "salto termico  $z$ ".  
 Con:  $z = 6 \pm 1\text{ K}$ ;  $t_w = 15,5^\circ\text{C}$ ;  $F_p = 100\%$ ;  $m = 100\%$  costante, il risultato é:

$$\Delta z = \frac{\delta t_c}{\delta z} = \frac{1,5\text{ K}}{2^\circ\text{C}} \rightarrow \Phi_z = 0,75 \frac{\text{K}}{^\circ\text{C}}$$

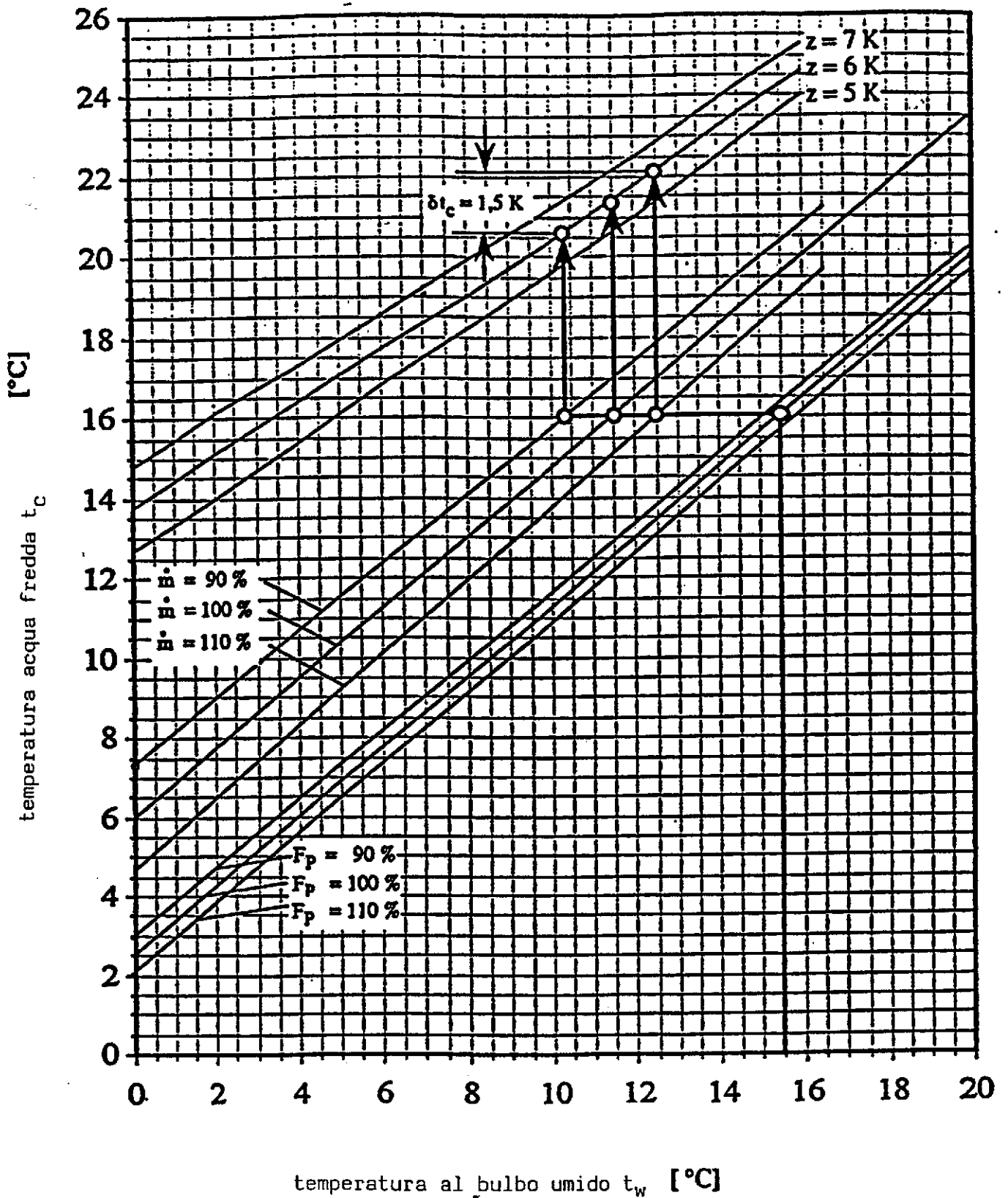


FIG. A.4.: Curva delle prestazioni con un esempio per determinare la variazione della temperatura dell'acqua fredda  $t_c$  in funzione della variazione del fattore "portata d'acqua  $m$ ".  
 Con:  $m = 100 \pm 10\%$ ;  $t_w = 15,5^\circ C$ ;  $z = 6 K$ ;  $F_p = 100\%$  costante, il risultato é:

$$\Delta m = \frac{\delta t_c}{\delta m} = \frac{1,5 K}{20\%} \rightarrow \Phi_m = 0,075 \frac{K}{\%}$$

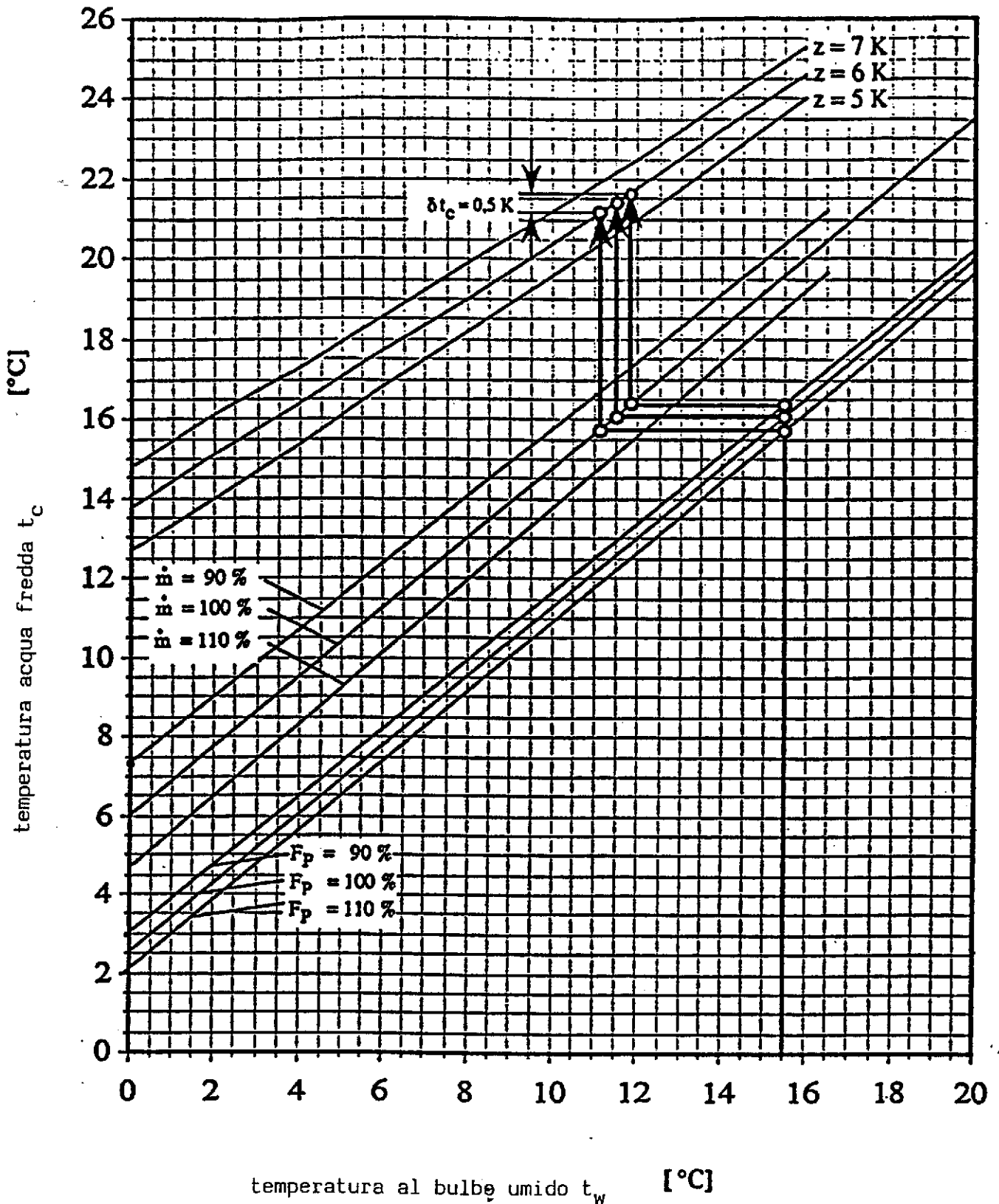


FIG. A.3.: Curva delle prestazioni con un esempio per determinare la variazione della temperatura dell'acqua fredda  $t_c$  in funzione della variazione del fattore "potenza del ventilatore  $F_p$ ".  
 Con  $F_p = 100\% \pm 10\%$ ;  $t_w = 15,5^\circ\text{C}$ ;  $z = 6K$ ;  $m = 100\%$  il risultato é:

$$\Delta F_p = \frac{\delta t_c}{\delta F_p} = \frac{0,5 K}{20\%} \quad \rightarrow \quad \Phi_F = 0,025 \frac{K}{\%}$$

APPENDICE B

POSIZIONE DEI PUNTI DI MISURA NELLE TORRI DI RAFFREDDAMENTO

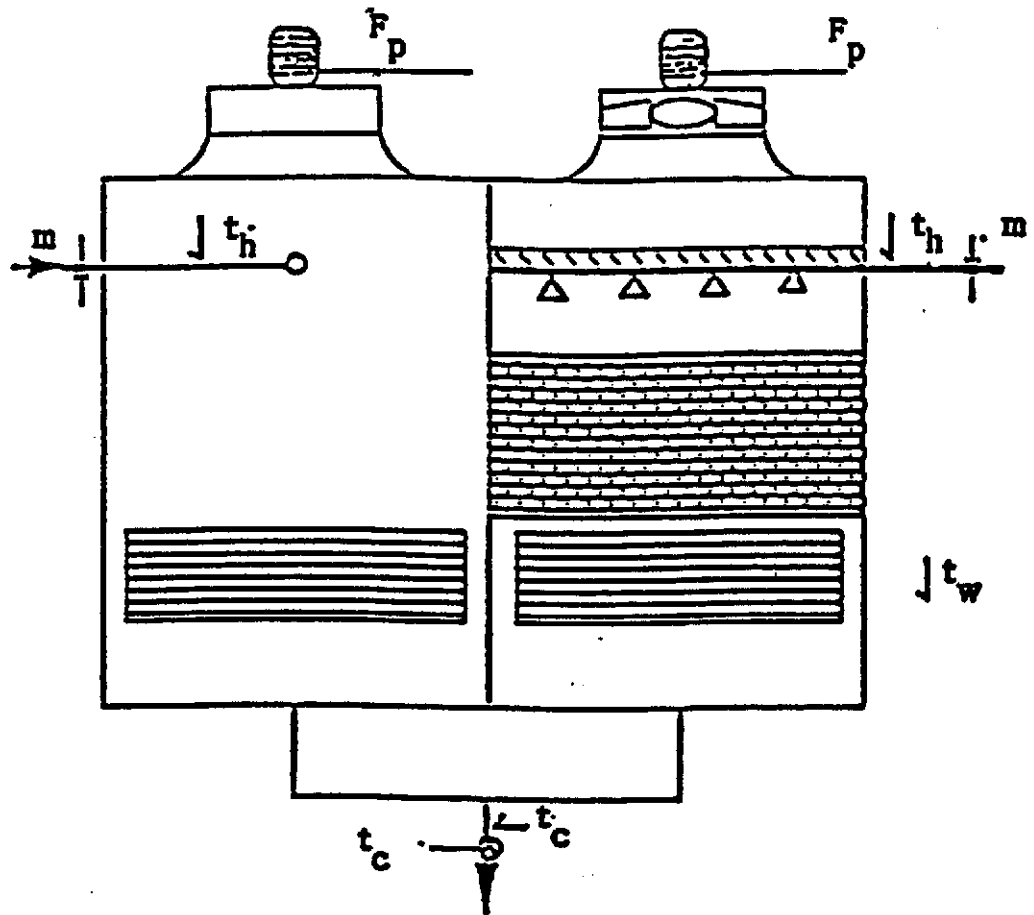


FIG. B.2. Posizione dei punti di misura in una torre di raffreddamento a tiraggio meccanico, a due celle

Elenco dei punti di misura

Simbolo

Grandezza

$t_w$	temperatura al bulbo umido dell'aria
$m$	portata dell'acqua calda
$t_h$	temperatura dell'acqua calda
$t_c$	temperatura dell'acqua fredda
$F_p$	potenza dei ventilatori





APPENDICE D  
ESEMPIO DI ANALISI DI RISULTATI DI PROVA E CALCOLO DELLA TOLLERANZA DELLA PROVA

Modello : xyz  
Località :  
Fornitore :  
Data :  
Provato da :

Note :

DENOMINAZIONE	SIMBOLO	UNITA'	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Letture n.	k														
Valore nom. temp. acqua fredda	$t_{CF}$	°C	21.0	21.1	21.3	21.4	21.5	21.7	21.6	21.6	21.8	21.9	21.9	21.9	21.8
Differ. val. nominale/val. misur.	$\Delta t_k$	K	0.2	0.1	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Differ. media di tutte le misure	$\Delta t_c$	K	0.300												
Tolleranza di prova															
Tolleranze degli strumenti															
temperatura al bulbo umido	$t_w$	K	0.1												
temperatura acqua	$t_c$	K	0.1												
portata acqua	$\xi_m$	%	2												
potenza ventilatori	$\xi_F$	%	3												
Errore causato da sistematiche deviazioni dei risultati di misurazione (dalla curva delle prestazioni)															
temperatura al bulbo umido	$\phi_w$	K/°C	0.8												
salto termico	$\phi_z$	K/°C	0.75												
portata acqua	$\phi_m$	K/%	0.075												
potenza ventilatori	$\phi_F$	K/%	0.025												
Errore causato da sistematiche deviazioni dei risultati di misurazione															
temperatura al bulbo umido	$\xi_w$	K	0.08												
salto termico	$\xi_t$	K	0.15												
portata acqua	$\xi_m$	K	0.15												
potenza ventilatori	$\xi_F$	K	0.075												
Valore tot. dovuto a deviaz. sist.	$\delta t_c$	K	0.259												
Errore causato da casuali deviazioni dei risultati di misurazione e fluttuazioni temporanee dei fattori influenzanti															
Deviazioni standard	$S_{At_k}$	K	0.082												
fattore per il 95%(secundg Student)	$S_t(K)$	I	2.179												
tolleranza	$\delta t_r$	K	0.05												
Somma delle tolleranze	$\delta t_m$	K	0.264												

$$\delta t_c = \delta t_m + \delta t_b$$

$$= 0.264 K + 0.2 K$$

$$= 0.464 K$$



**LIST OF THE MEMBER ASSOCIATIONS**

<p><b>BELGIUM</b>  <b>FABRIMETAL</b>                  21 rue des Drapiers - B 1050 BRUXELLES                  Tél. 32/2/5102311 - Fax : 32/2/5102301 -                  Tx 21078</p>	<p><b>ITALY</b>  <b>ANIMA</b>                  Associazione Nazionale Industria Meccanica Varia                  ed Affine                  Via Battistotti Sassi, 11 - IT-20133 MILANO                  Tel : 39/2/73971 - Fax : 39/2/7397316 -                  Tx 310392</p>
<p><b>GERMANY</b>  <b>Fachgemeinschaft Allgemeine Lufttechnik im                  VDMA</b>                  Postfach 710864 - D-6000 FRANKFURT/MAIN 71                  Tél. 49/69/6603227 - Fax : 49/69/6603511 -                  Tx : 411321</p>	<p><b>NORWAY</b>  <b>NVEF</b>                  Norsk Ventilasjon og Energiteknisk Forening                  Postboks 6697 St Olavs plass - 0129 OSLO                  Tel. 47 22 20 27 90 - Fax : 47 22 20 28 75</p>
<p><b>SPAIN</b>  <b>AFEC</b>                  Asociacion de Fabricantes de Equipos de                  Climatizacion                  Francisco Silvela, 69-1°C - ES.28028 MADRID                  Tel : 34/1/4027383 - Fax : 34/1/4027638</p>	<p><b>NETHERLANDS</b>  <b>VLA</b>                  Vereniging Fabrieken van Luchttechnische                  Apparaten                  Postbus 190 - NL-2700 AD ZOETERMEER                  Tel. 31/79/531258 - Fax : 31/79/531365 -                  Tx 32157</p>
<p><b>FRANCE</b>  <b>SYNDICAT DE L'AERAIQUE</b>                  Cedex 72 - FR 92038 PARIS LA DEFENSE                  Tél : 33/1/47176292 - Fax : 33/1/47176427 -                  Tx : 616064</p>	<p><b>SWEDEN</b>                  Föreningen Ventilation-Klimat-Miljö                  Box 17537 - SE - 118 91 STOCKHOLM                  Tel : 46/8/6160400 - Fax : 46/8/6681180</p>
<p><b>GREAT BRITAIN</b>  <b>HEVAC</b>                  Heating Ventilating and Air Conditioning                  Manufacturers Association                  Sterling House - 6 Furlong Road -                  GB-BUCKS SL 8 5DG                  Tel : 44/628/531186 or 7 - Fax : 44/628/810423</p>	<p><b>FINLAND</b>  <b>AFMAHE</b>                  The Association of Finnish Manufacturers of Air                  Handling Equipment                  Eteläranta 10 -                  FI-00130 HELSINKI                  Tel : 358/0/19231 - Fax : 358/0/624462 -                  Tx 124997</p>

