IEC 60953-3

Edition 2.0 2022-07

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Rules for steam turbine thermal acceptance tests – Part 3: Thermal performance verification tests of retrofitted steam turbines

Règles pour les essais thermiques de réception des turbines à vapeur – Partie 3: Essais de vérification des performances thermiques des turbines à vapeur rénovées

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

COMMISSION ELECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ICS 27.040

ISBN 978-2-8322-3974-2

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

CONTENTS

FOREWORD 8
INTRODUCTION 10
1 Scope 13
1.1 General 13
1.2 Object 13
1.3 Matters to be considered in the contract 13
2 Normative references 13
3 Units, symbols, terms and definitions 14
3.1 General 14
3.2 Symbols, units 14
3.3 Subscripts, superscripts and definitions 14
3.4 Guarantee parameters 16
3.4.1 Guidance on guarantee parameters 16
3.4.2 Thermal efficiency 16
3.4.3 Heat rate 16
3.4.4 Thermodynamic efficiency 16
3.4.5 Steam rate 16
3.4.6 Main steam flow capacity 16
3.4.7 Power output 16
3.4.8 Guarantee values for extraction and mixed-pressure turbines 16
3.4.9 Thermal Load Capacity (for Nuclear applications) 16
3.5 Additional guarantee parameters 16
3.5.1 General 16
3.5.2 Cylinder isentropic efficiency – expansion in superheated region 16
3.5.3 Cylinder isentropic efficiency – expansion involving wet region 17
3.5.4 Pressure loss 19
3.5.5 Flow-passing capacity (FPC) 19
4 Guiding principles 19
4.1 Advance planning for test 19
4.2 Preparatory agreements and arrangements for tests 20
4.3 Planning of the test 20
4.3.1 Time for verification tests 20
4.3.2 Direction of acceptance tests 21
4.4 Preparation of the tests 21
4.4.1 Condition of the plant 21
4.4.2 Condition of the steam turbine 22
4.4.3 Condition of the condenser 22
4.4.4 Isolation of the cycle 22
4.4.5 Checks for leakage of condenser and feed water heaters 22
4.4.6 Cleanliness of the steam strainers 22
4.4.7 Checking of the test measuring equipment 22
4.5 Comparison measurements 22
4.6 Settings for test 23
4.6.1 Load settings 23
4.6.2 Special settings 23
4.7 Preliminary tests 23
4.8 Acceptance tests 23

4.8.1 Constancy of test conditions 23
4.8.2 Maximum deviation and fluctuation in test conditions 23
4.8.3 Duration of test runs and frequency of reading 23
4.8.4 Reading of integrating measuring instruments 23
4.8.5 Alternative methods 23
4.8.6 Recording of tests 23
4.8.7 Additional measurement 23
4.8.8 Preliminary calculations 23
4.8.9 Consistency and number of tests 24
4.9 Repetition of acceptance tests 24
4.10 Guidance on retrofit guarantees 24
4.10.1 General 24
4.10.2 Absolute guarantees 25
4.10.3 Relative guarantees 26
5 Measuring techniques and measuring instruments 27
5.1 Overview 27
5.1.1 Instrument accuracy requirements 27
5.1.2 Measuring instruments 27
5.1.3 Measuring uncertainty 27
5.1.4 Calibration of instruments 27
5.1.5 Alternative instrumentation 27
5.1.6 Consistency of pre- and post-retrofit tests 27
5.2 Measurement of power 27
5.2.1 Determination of mechanical turbine output 27
5.2.2 Measurement of boiler feed pump power 27
5.2.3 Determination of electrical power of a turbine generator 28
5.2.4 Measurement of electrical power 28
5.2.5 Electrical instrument connections 28
5.2.6 Electrical instruments 28
5.2.7 Instrument transformers 28
5.2.8 Determination of electrical power of pre- and post-retrofit tests 28
5.3 Flow measurement 28
5.3.1 Determination of flows to be measured 28
5.3.2 Measurement of primary flow 29
5.3.3 Installation and location of flow measuring devices 29
5.3.4 Calibration of primary flow devices for water flow 29
5.3.5 Inspection of flow measuring devices 29
5.3.6 Differential pressure measurements 30
5.3.7 Water flow fluctuation 30
5.3.8 Secondary flow measurements 30
5.3.9 Occasional secondary flows 31
5.3.10 Density of water and steam 31
5.3.11 Determination of cooling water flow of condenser 31
5.4 Pressure measurement (excluding condensing turbine exhaust pressure) 31
5.4.1 Pressures to be measured 31
5.4.2 Instruments 31
5.4.3 Main pressure measurements 31
5.4.4 Pressure tapping holes and connecting lines 31
5.4.5 Shut-off valves 32

5.4.6 Calibration of pressure measuring devices 32
5.4.7 Atmospheric pressure 32
5.4.8 Correction of readings 32
5.5 Condensing turbine exhaust pressure measurement 32
5.5.1 General 32
5.5.2 Plane of measurement 32
5.5.3 Pressure taps 32
5.5.4 Manifolds 32
5.5.5 Connecting lines 32
5.5.6 Instruments 32
5.5.7 Calibration 32
5.6 Temperature measurement 33
5.6.1 Points of temperature measurement 33
5.6.2 Instruments 33
5.6.3 Main temperature measurements 33
5.6.4 Feed train temperature measurements (including bled steam) 33
5.6.5 Condenser cooling water temperature measurement 33
5.6.6 Thermometer wells 33
5.6.7 Precautions to be observed in the measurement of temperature 33
5.7 Steam quality determination 33
5.7.1 General 33
5.7.2 Tracer technique 33
5.7.3 Condensing method 33
5.7.4 Constant rate injection method 33
5.7.5 Extraction enthalpy determined by constant rate injection method 33
5.7.6 Tracers and their use 34
5.7.7 Use of tracer techniques in retrofit applications 34
5.8 Time measurement 34
5.9 Speed measurement 34
6 Evaluation of tests 34
6.1 Preparation of evaluation 34
6.2 Computation of results 35
6.2.1 Calculation of average values of instrument readings 35
6.2.2 Correction and conversion of averaged readings 35
6.2.3 Checking of measured data 35
6.2.4 Thermodynamic properties of steam and water 36
6.2.5 Calculation of test results 36
7 Corrections of test results and comparison with guarantee 39
7.1 Guarantee values and guarantee conditions 39
7.1.1 Guarantee values and guarantee conditions specific to retrofits 39
7.2 Correction of initial steam flow capacity 40
7.3 Correction of output 40
7.3.1 Correction of maximum output 40
7.3.2 Correction of Output with specified initial steam flow 40
7.4 Correction of the thermal performance 40
7.5 Definition and application of correction values 40
7.6 Correction methods 40
7.6.1 General 40
7.6.2 Correction by heat balance calculation 40

7.6.3 Correction by use of correction curves prepared by the manufacturer 41
7.6.4 Tests to determine correction values 41
7.7 Variables to be considered in the correction of specific turbine cycles 41
7.7.1 Scope of corrections 41
7.7.2 Turbines with regenerative feed-water heating 41
7.7.3 Turbines which have no provision for the addition or extraction of steam after partial expansion 41
7.7.4 Turbines with steam extraction for purposes other than feed-water heating (extraction turbines) 41
7.7.5 Other types of turbine 41
7.8 Guarantee comparison 41
7.8.1 Tolerance and weighting 41
7.8.2 Guarantee comparison with locus curve 41
7.8.3 Guarantee comparison with guarantee point 41
7.8.4 Guarantee comparison for turbines with throttle governing 41
7.8.5 Guarantee comparison for extraction turbines 41
7.8.6 Additional consideration for retrofit guarantee comparison 42
7.9 Deterioration of turbine performance (ageing) 42
7.9.1 Timing to minimise deterioration 42
7.9.2 Correction with comparison tests 42
7.9.3 Correction without comparison tests 42
7.9.4 Deterioration of performance of retrofitted components 42
8 Measuring uncertainty 43
8.1 General 43
8.2 Determination of measuring uncertainty of steam and water properties 43
8.2.1 Pressure 43
8.2.2 Temperature 43
8.2.3 Enthalpy and enthalpy difference 43
8.3 Calculation of measuring uncertainty of output 43
8.3.1 Electrical measurement 43
8.3.2 Mechanical measurement 43
8.3.3 Additional uncertainty allowance because of unsteady load conditions 43
8.4 Determination of measuring uncertainty of mass flow 44
8.4.1 Measuring uncertainty of mass flow measurements 44
8.4.2 Measuring uncertainty of multiple measurements of primary flow 44
8.4.3 Uncertainty allowance for cycle imperfections 44
8.5 Calculation of measuring uncertainty of results 44
8.5.1 General 44
8.5.2 Measuring uncertainty of thermal efficiency 44
8.5.3 Measuring uncertainty of thermodynamic efficiency 44
8.5.4 Uncertainty of corrections 44
8.5.5 Guiding values for the measuring uncertainty of results 44
8.6 Example uncertainty calculation 44
Annex A (normative) Feedwater heater leakage and condenser leakage tests 45
A.1 Feedwater heater leakage tests 45
A.2 Condenser leakage tests 45
Annex B (normative) Evaluation of multiple measurements, compatibility 46
Annex C (normative) Mass flow balances 47
C.1 General 47

C.2 Flows for further evaluations (informative) 47
Annex D (informative) Short-statistical definition of measuring uncertainty and error propagation in acceptance test 48
Annex E (informative) Temperature variation method 49
E.1 Description of the problem 49
E.2 Possibility to determine the leakage flow 49
E.3 Applied example 49
Annex F (normative) Measuring uncertainty of results – retrofit application 50
Annex G (informative) Retrofit improvement calculation – numerical examples (fossil and nuclear) 53
G.1 General 53
G.2 Example of retrofitting a fossil-fired reheat turbine 53
G.2.1 General 53
G.2.2 HP cylinder retrofitting 57
G.2.3 LP cylinder retrofitting with relative guarantee on heat rate(treated separately from the HP case) 58
G.2.4 Effect of retrofit on associated plant performance 59
G.3 Example of retrofitting a nuclear turbine 65
G.3.1 General 65
G.3.2 Retrofit scenario and testing procedure 66
G.3.3 Correction curves 66
G.3.4 Application of correction curves 67
G.3.5 Comparison of the measured values to the guarantees 69
Annex H (informative) Uncertainty calculation – numerical examples (fossil and nuclear) 78
H.1 General 78
H.2 Fossil case study 78
H.2.1 General 78
H.2.2 Evaluation 79
H.3 Nuclear case study 90
H.3.1 General 90
H.3.2 Evaluation 90

Figure 1 – Isentropic efficiency of the HP cylinder 17
Figure 2 – LP turbine expansion line 18
Figure G.1 – HP cylinder expansion 54
Figure G.2 – LP cylinder expansion 55
Figure G.3 – Original heat balance diagram (or base line) 60
Figure G.4 – Correction curves 61
Figure G.5 – Pre-retrofit test 62
Figure G.6 – Pre-retrofit test: HP cylinder replaced 63
Figure G.7 – Pre-retrofit test: LP cylinder replaced 64
Figure G.8 – Leaving loss curve 65
Figure G.9 – Correction curve of heat rate due to live steam pressure 70
Figure G.10 – Correction curve of heat rate due to thermal power 71
Figure G.11 – Correction curve of heat rate due to exhaust pressure 71
Figure G.12 – Correction curve of heat rate due to quality of live steam 72

Figure G.13 – Correction curve of heat rate for Δp of the moisture separator/reheaters 72
Figure G.14 – Correction curve of heat rate due to temperature of the reheat steam 73
Figure G.15 – Correction curve of heat rate due to quality of steam after the moisture separator 73
Figure G.16 – Curve of live steam pressure before the valves of the turbine as a function of thermal power 74
Figure G.17 – Baseline heat balance 75
Figure G.18 – Guarantee heat balance 76
Figure G.19 – Post-retrofit test re-calculated heat balance 77
Figure H.1 – Instrumentation for a fossil plant 81
Figure H.2 – Instrumentation for a nuclear plant 92

Table 1 – Maximum deviations and fluctuations in operating conditions from specified and relative data 21
Table 2 – Guarantee alternatives 25
Table 3 – Apportionment of unaccounted leakages 36
Table 4 – Typical effects of cylinder efficiency on heat rate 43
Table G.1 – Main parameters of the heat balances (Figure G.17 to Figure G.19) 68
Table G.2 – Comparison between guaranteed and post-test re-calculated heat balance 68
Table G.3 – Measured and corresponding calculated values from the post-test 69
Table G.4 – Corrections due to differences between measured and calculated values (from post re-calculated heat balance, Figure G.19) 69
Table G.5 – Summary of corrections 70
Table H.1 – Assumed total measured variable uncertainty for pressure, temperature and generator output 78
Table H.2 – Uncertainty percentage of calculated results at different flow measurement uncertainty levels for a fossil plant 80
Table H.3 – Uncertainty percentage of calculated results at different correlation levels for a fossil plant 80
Table H.4 – Heat Rate uncertainty of a fossil plant 82
Table H.5 – HP isentropic efficiency uncertainty of a fossil plant 84
Table H.6 – IP isentropic efficiency uncertainty of a fossil plant 86
Table H.7 – LP isentropic efficiency uncertainty of a fossil plant 88
Table H.8 – Uncertainty percentage of calculated results at different flow measurement uncertainty levels for a nuclear plant 91
Table H.9 – Uncertainty percentage of calculated results at different correlation levels for a nuclear plant 91
Table H.10 – Heat Rate uncertainty of a nuclear plant 93
Table H.11 – HP isentropic efficiency uncertainty of a nuclear plant 95
Table H.12 – LP isentropic efficiency uncertainty of a nuclear plant 97

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

_____

RULES FOR STEAM TURBINE THERMAL ACCEPTANCE TESTS –

Part 3: Thermal performance verification tests of retrofitted steam turbines

FOREWORD

1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60953-3 has been prepared by subcommittee WG11/MT14: Thermal Acceptance Test, of IEC technical committee 5: Steam turbines. It is an International Standard.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2001. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

a) The Reference Standard has changed from IEC 60953-2 to IEC 60953-0 and therefore all changes made in IEC 60953-0 are relevant to this revised Supplementary Standard;
b) Further detailed guidance is given for guarantee types in Clause 4.10;
c) Annex H – Measuring uncertainty of results has been revised to more closely align with the ISO/IEC Guide 98: Uncertainty of measurement;
d) Annex K – Tracer technique has been deleted;
e) Annex L – Temperature variation method has been moved to IEC 60953-0.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
5/249/FDIS	5/252/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This part of IEC 60953 is to be read in conjunction with IEC 60953-0, and the words 'verification test' are to be read in place of 'acceptance test'. IEC 60953-0 is taken as a Reference Standard.

A list of all parts in the IEC 60953 series, published under the general title *Rules for steam turbine thermal acceptance tests*, can be found on the IEC website.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

INTRODUCTION

Retrofitting steam turbines in an existing power plant frequently involves an improvement of performance. IEC 60953-0, which defines the rules for steam turbine thermal acceptance tests in power plants, does not cater for all the requirements specific to retrofit projects. It has, therefore, been deemed necessary to draw up a Supplementary Standard (this document) for guidance on the thermal acceptance tests of retrofitted steam turbines.

However, a large number of the provisions and recommendations of IEC 60953-0 are still applicable to retrofits and, therefore, in order to avoid a repetitive and bulky document, only the retrofit-specific addenda will be found in this document.

Although this document is intended to apply to the retrofit of large condensing steam turbines, it can nevertheless be used for other types and sizes of turbines to define the basis of a specific procedure to be agreed upon by the parties involved.

The rules given in this document cover all hardware change in the steam turbine equipment. Changes to other hardware components (e.g. boiler, feedwater heaters, etc.) are not covered by this document, although these changes may affect the thermodynamic cycle.

The purpose of this document is to cover the retrofit of steam turbine components which influence the efficiency of the power plant and are subject to a performance guarantee. Many different situations are likely to be encountered: for example, the replacement of steam valves, the replacement of part of the turbine blading, of a rotor, of a complete module, etc. The guarantee values will depend on the retrofit considered and are subject to agreement between the parties involved in the contract. This document helps the parties determine the most appropriate parameters that characterise the retrofit and that could be used as guaranteed values.

A major difficulty in retrofit projects is the choice of parameters to be guaranteed. Although the original manufacturer will generally favour a relative improvement guarantee, another vendor who does not necessarily know all the details of the equipment installed may prefer to have an absolute guarantee value for the retrofitted equipment. This document gives guidance on the parameters to be guaranteed. Once the guaranteed values are established, they may need to be re-evaluated after a pre-retrofit performance test. This document provides such rules required for the verification of the guaranteed values.

The many variations of possible retrofits make it difficult to cover all cases comprehensively but a few detailed examples illustrating the application of this document are presented in the annexes.

The structure and clause numbering of this document follow that of IEC 60953-0. Subclauses found in this document supersede the whole of the equivalent subclause in IEC 60953-0. Subclause numbering has been extended whenever new items have been included.

The main differences between this document and IEC 60953-0 are listed below.

Clause 1: Scope

Specifically, this document requires the definitions of new options regarding guarantees. It is possible to guarantee parameters typical of the retrofitted equipment (turbine cylinder efficiency, pressure drop in valve chest, etc.). IEC 60953-0 defines absolute guarantees that are not suitable for specifying improvements between initial and retrofitted equipment, and therefore, relative guarantee values are introduced in this document.

This document reviews the contractual provisions, which can vary from one case to another, on account of the wide range of feasible retrofits. These will be subject to an agreement between the parties involved at the time the guarantees are defined i.e. during the formulation of the contract prior to the performance of the verification tests.

Clause 3: Units, symbols, terms and definitions

This document includes new concepts and terms associated with the retrofit situation

Clause 4: Guidance on guarantees

This document includes the definition of guarantees which can be offered, either additionally or in lieu of those of IEC 60953-0. A guide matrix has been included to allow the parties involved to choose the parameters to be guaranteed, as appropriate to the project.

The guarantees provided by the manufacturer can be

a) Guarantees of absolute values
   - Turbine thermal efficiency or heat rate;
   - turbine thermodynamic efficiency or steam rate or power output at specified steam flow conditions;
   - main steam flow-passing capacity and/or maximum power output;
   - internal efficiency of turbine sections.
b) Guarantees of relative values
   - Improvement of turbine thermal efficiency or heat rate;
   - improvement of thermodynamic efficiency or steam rate or power output at specified steam flow;
   - improvement of main steam flow-passing capacity and/or maximum power output;
   - improvement of internal efficiency of turbine sections.

Clause 4: Guiding principles

The majority of the guiding principles contained in IEC 60953-0 are also applicable to the retrofit situation. Amendments or addenda to this clause mainly cover the precautions to be taken when tests are to be run before and after the retrofit, and address the reference to be taken when a guarantee on improvement in performance is offered.

Special attention is directed to the problems of isolation of the cycle, and allowable deviations of measured quantities which can greatly affect the interpretation of results.

Clause 5: Measuring techniques and measuring instruments

In the case of retrofit projects, rigid rules cannot be formulated for measuring techniques and instruments. The instruments are to be chosen to suit the requirements of the installation and the guarantee value to be verified. Guidance is given in Annex H on the sensitivity of the parameters guaranteed to the accuracy of the individual measurements, so that the most appropriate choice of instrumentation can be made.

Since flow is among the most important measurements, this document gives guidance on the necessity to fit additional flow-measuring devices. Methods which allow simultaneous measurement and comparison of primary flows are recommended in this document. The use of flow measurement methods using tracers can be an alternative if the method has shown to be reliable and has been agreed by the parties to the test.

Clause 6: Evaluation of tests

This document gives details of the evaluation of additional guarantees applicable to retrofit projects. Specific rules are also given for unaccounted leakages in retrofit applications.

Clause 7: Correction of test results and comparison with guarantee

The methods of correction defined in IEC 60953-0 are also applicable to this document but are supplemented by specific rules which apply to the new types of guarantee. For delayed testing, guidance is given on ageing considerations.

This clause also covers the validation of the performance values which are used as a reference for determining improvement guarantee values: an amendment to the guarantee value is acceptable when the pre-retrofit tests have revealed that the actual condition of the turbine undergoing retrofit is different from the specified condition.

The retrofit of the steam turbine, or any part of it, may have consequences on the balance of the plant (feedheaters, condenser, boiler). If the retrofit affects conditions beyond the interface, then the manufacturer may be required to indicate the consequences of the modification on adjacent equipment items.

Clause 8: Measuring uncertainty

This clause of IEC 60953-0 is supplemented by provisions for special cases encountered in retrofit projects in Annex G and Annex H. The examples can be used as reference basis.

Annexes:

Annexes A to E of IEC 60953-0:2022 apply.

In this document, three new annexes (Annex F to Annex H) are added.

Annex F deals with uncertainties for retrofit applications and completes the information given in Annex D of IEC 60953-0:2022.

Annex G and Annex H give examples of performance and uncertainty calculations for several retrofit applications, within fossil-fuel and nuclear power plants.

Matters to be considered in the contract:

Some matters in these rules have to be considered at an early stage. Deviations are to be identified and agreement reached between the parties before signing the contract. Such matters are dealt with in the following subclauses:

Clause (subclause)	Paragraph	Remark
Introduction	6	Specific procedure and guarantee value
1.2	2	Guarantee definition
4.10	All paragraphs	
4.1	1 and 4	
4.3.1	3	
7.1.1	Last paragraph	
7.3	–	Guarantee comparison
7.9.4	–	Deterioration of performance of retrofitted components

RULES FOR STEAM TURBINE THERMAL ACCEPTANCE TESTS –

Part 3: Thermal performance verification tests of retrofitted steam turbines

1 Scope

1.1 General

This part of IEC 60953 establishes a Supplementary Standard for thermal verification tests of retrofitted steam turbines.

The rules given in this document follow the guidance given in IEC 60953-0, but contain amendments and supplements regarding guarantees and verification of the guarantees by thermal acceptance tests on retrofitted steam turbines.

General principles for the preparation, performance, evaluation, comparison with guaranteed values and the determination of the measurement uncertainties of verification tests are given in this document.

This document is applicable only when the retrofit involves some hardware change in the steam turbine equipment. Conversely, any modification on the cycle or any retrofit of other equipment of the power plant (e.g. boiler, feedwater heaters, etc.) is not covered by this document.

1.2 Object

The purpose of this document is to establish appropriate guaranteed parameters, to verify these guarantees and to determine measurement uncertainty.

The guarantees with their provisions should be formulated completely and without contradiction (see 3.4 of IEC 60953-0:2022 and 3.5 of this document). The verification tests may also include such measurements as are necessary for corrections according to the conditions of the guarantee and checking of the results.

1.3 Matters to be considered in the contract

Subclause 1.3 of IEC 60953-0:2022 applies.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies. applies.

IEC 60953-0:2022, *Rules for steam turbine thermal acceptance tests – Part 0: Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines.*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS 107
INTRODUCTION 109
1 Domaine d'application 113
1.1 Généralités 113
1.2 Objet 113
1.3 Points à examiner dans le contrat 113
2 Références normatives 113
3 Unités, symboles, termes et définitions 114
3.1 Généralités 114
3.2 Symboles et unités 114
3.3 Indices, exposants et définitions 114
3.4 Paramètres garantis 116
3.4.1 Recommandations relatives aux paramètres garantis 116
3.4.2 Rendement thermique 116
3.4.3 Consommation spécifique de chaleur 116
3.4.4 Rendement thermodynamique 116
3.4.5 Consommation spécifique de vapeur 116
3.4.6 Débit de vapeur principal 116
3.4.7 Puissance électrique fournie 116
3.4.8 Valeurs garanties pour les turbines à prélèvements et à pression mixte 116
3.4.9 Capacité de charge thermique (pour applications nucléaires) 116
3.5 Paramètres garantis supplémentaires 117
3.5.1 Généralités 117
3.5.2 Rendement isentropique du corps – détente en zone surchauffée 117
3.5.3 Rendement isentropique du corps – détente en zone humide 118
3.5.4 Perte de charge 119
3.5.5 Capacité d'absorption de débit (FPC, *Flow-Passing Capacity*) 120
4 Principes directeurs 120
4.1 Dispositions à prendre avant l'essai 120
4.2 Accords et dispositions préparatoires en vue des essais 121
4.3 Planification de l'essai 121
4.3.1 Délai pour la réalisation des essais de vérification 121
4.3.2 Réalisation des essais de réception 122
4.4 Préparation des essais 122
4.4.1 Etat de l'installation 122
4.4.2 Etat de la turbine à vapeur 122
4.4.3 Etat du condenseur 122
4.4.4 Isolement du cycle 122
4.4.5 Vérifications de la fuite des réchauffeurs de condenseur et d'eau alimentaire 123
4.4.6 Propreté des filtres à vapeur 123
4.4.7 Contrôle des instruments de mesure utilisés pendant l'essai 123
4.5 Mesures comparatives 123
4.6 Paramétrages en vue de l'essai 123
4.6.1 Paramètres de charge 123
4.6.2 Paramètres spéciaux 124
4.7 Essais préliminaires 124

4.8 Essais de réception 124
4.8.1 Constance des conditions d'essai 124
4.8.2 Ecart maximal et fluctuation maximale des conditions d'essai 124
4.8.3 Durée des essais et fréquence des relevés 124
4.8.4 Lecture de l'intégration des appareils de mesure 124
4.8.5 Autres méthodes 124
4.8.6 Enregistrement des essais 124
4.8.7 Mesurage supplémentaire 124
4.8.8 Calculs préliminaires 124
4.8.9 Cohérence et nombre d'essais 124
4.9 Répétition des essais de réception 124
4.10 Recommandations relatives aux garanties de rénovation 124
4.10.1 Généralités 124
4.10.2 Garanties absolues 126
4.10.3 Garanties relatives 127
5 Techniques de mesure et appareils de mesure 128
5.1 Vue d'ensemble 128
5.1.1 Exigences de précision des appareils 128
5.1.2 Appareils de mesure 128
5.1.3 Incertitude de mesure 128
5.1.4 Etalonnage des appareils 128
5.1.5 Autres instruments 128
5.1.6 Cohérence entre les essais avant et après rénovation 128
5.2 Mesurage de la puissance 129
5.2.1 Détermination de la puissance mécanique en sortie de turbine 129
5.2.2 Mesurage de la puissance de la pompe d'alimentation de la chaudière 129
5.2.3 Détermination de la puissance électrique d'un groupe turboalternateur 129
5.2.4 Mesurage de la puissance électrique 129
5.2.5 Branchements électriques des appareils 129
5.2.6 Appareils électriques 129
5.2.7 Transformateurs de mesure 129
5.2.8 Détermination de la puissance électrique lors des essais avant et après rénovation 129
5.3 Mesurage du débit 130
5.3.1 Détermination des débits à mesurer 130
5.3.2 Mesurage du débit principal 130
5.3.3 Installation et emplacement des débitmètres 130
5.3.4 Etalonnage des dispositifs de mesure du débit principal pour le débit d'eau 131
5.3.5 Examen des débitmètres 131
5.3.6 Mesurages de pression différentielle 131
5.3.7 Fluctuation du débit d'eau 131
5.3.8 Mesurage des débits secondaires 131
5.3.9 Débits secondaires occasionnels 132
5.3.10 Masse volumique de l'eau et de la vapeur 133
5.3.11 Détermination du débit d'eau de refroidissement du condenseur 133
5.4 Mesurage de la pression (à l'exclusion de la pression d'échappement des turbines à condensation) 133
5.4.1 Pressions à mesurer 133

5.4.2 Appareils 133
5.4.3 Mesurages de la pression principale 133
5.4.4 Pression des orifices de soutirage et des conduites de raccordement 133
5.4.5 Vannes d'arrêt 133
5.4.6 Etalonnage des dispositifs de mesure de la pression 133
5.4.7 Pression atmosphérique 133
5.4.8 Correction des relevés 134
5.5 Mesurage de la pression d'échappement d'une turbine à condensation 134
5.5.1 Généralités 134
5.5.2 Plan de mesure 134
5.5.3 Prises de pression 134
5.5.4 Distributeurs 134
5.5.5 Conduites de raccordement 134
5.5.6 Appareils 134
5.5.7 Etalonnage 134
5.6 Mesurage de la température 134
5.6.1 Points de mesure de la température 134
5.6.2 Appareils 134
5.6.3 Mesurages de la température principale 134
5.6.4 Mesurages de la température du train d'alimentation (y compris la vapeur soutirée) 134
5.6.5 Mesurage de la température de l'eau de refroidissement du condenseur 135
5.6.6 Sondes thermométriques 135
5.6.7 Précautions à prendre lors des mesurages de la température 135
5.7 Détermination du titre de la vapeur 135
5.7.1 Généralités 135
5.7.2 Technique des traceurs 135
5.7.3 Méthode de la condensation 135
5.7.4 Méthode d'injection à vitesse constante 135
5.7.5 Enthalpie au soutirage, déterminée par méthode d'injection à vitesse constante 135
5.7.6 Les traceurs et leur utilisation 135
5.7.7 Utilisation des traceurs dans les applications de rénovation 136
5.8 Mesurage du temps 136
5.9 Mesurage de la vitesse 136
6 Evaluation des essais 136
6.1 Préparation de l'évaluation 136
6.2 Calcul des résultats 137
6.2.1 Calcul des valeurs moyennes des relevés effectués avec les appareils de mesure 137
6.2.2 Correction et conversion des moyennes relevées 137
6.2.3 Vérification des données mesurées 137
6.2.4 Propriétés thermodynamiques de la vapeur et de l'eau 138
6.2.5 Calcul des résultats d'essais 138
7 Correction des résultats d'essais et comparaison à la garantie 141
7.1 Valeurs garanties et conditions de garantie 141
7.1.1 Valeurs garanties et conditions de garantie spécifiques des rénovations 141
7.2 Correction du débit de vapeur initial 142
7.3 Correction de la puissance fournie 142

7.3.1 Correction de la puissance maximale fournie 142
7.3.2 Correction de la puissance fournie avec le débit de vapeur initial spécifié 142
7.4 Correction des performances thermiques 142
7.5 Définition et application des valeurs de correction 142
7.6 Méthodes de correction 142
7.6.1 Généralités 142
7.6.2 Correction par calcul du bilan thermodynamique 143
7.6.3 Correction à l'aide de courbes de correction élaborées par le constructeur 143
7.6.4 Essais pour déterminer les valeurs de correction 143
7.7 Variables à prendre en compte dans la correction de cycles de turbine spécifiques 143
7.7.1 Domaine d'application des corrections 143
7.7.2 Turbines avec réchauffage de l'eau alimentaire 143
7.7.3 Turbines qui n'ont pas de dispositions pour l'ajout ou le soutirage de vapeur après une détente partielle 143
7.7.4 Turbines à soutirage de vapeur pour des usages autres que le réchauffage de l'eau alimentaire (turbines à prélèvements) 143
7.7.5 Autres types de turbines 143
7.8 Comparaison à la garantie 143
7.8.1 Tolérance et pondération 143
7.8.2 Comparaison à la garantie à l'aide d'une courbe de points réels 143
7.8.3 Comparaison à la garantie à l'aide d'un point garanti 143
7.8.4 Comparaison à la garantie pour les turbines avec réglage par étranglement de la vapeur 143
7.8.5 Comparaison à la garantie pour les turbines à prélèvements 143
7.8.6 Mesure supplémentaire pour la comparaison à la garantie de la rénovation 144
7.9 Dégradation des performances de la turbine (vieillissement) 144
7.9.1 Délai pour réduire le plus possible la dégradation 144
7.9.2 Correction avec essais de comparaison 144
7.9.3 Correction sans essais de comparaison 144
7.9.4 Dégradation des performances des composants rénovés 144
8 Incertitude de mesure 145
8.1 Généralités 145
8.2 Détermination de l'incertitude de mesure des propriétés de vapeur et d'eau 145
8.2.1 Pression 145
8.2.2 Température 145
8.2.3 Enthalpie et différence d'enthalpie 145
8.3 Calcul de l'incertitude de mesure de la puissance fournie 145
8.3.1 Mesurage électrique 145
8.3.2 Mesurage mécanique 145
8.3.3 Marge d'incertitude supplémentaire en raison de conditions de charge instables 146
8.4 Détermination de l'incertitude de mesure du débit massique 146
8.4.1 Mesurage de l'incertitude relative aux mesures du débit massique 146
8.4.2 Mesurage de l'incertitude relative à plusieurs mesurages du débit principal 146
8.4.3 Marge d'incertitude pour les imperfections du cycle 146
8.5 Calcul de l'incertitude de mesure des résultats 146

8.5.1 Généralités 146
8.5.2 Mesurage de l'incertitude sur le rendement thermique 146
8.5.3 Mesurage de l'incertitude relative au rendement thermodynamique 146
8.5.4 Incertitude sur les corrections 146
8.5.5 Valeurs indicatives pour l'incertitude de mesure des résultats 146
8.6 Exemple de calcul d'incertitude 146
Annexe A (normative) Essais de fuites des réchauffeurs d'eau alimentaire et de fuites du condenseur 147
A.1 Essais de fuites des réchauffeurs d'eau alimentaire 147
A.2 Essais de fuites du condenseur 147
Annexe B (normative) Evaluation de mesures multiples – Compatibilité 148
Annexe C (normative) Bilans de débits massiques 149
C.1 Généralités 149
C.2 Débits pour évaluations complémentaires (informatif) 149
Annexe D (informative) Définition statistique courte de la mesure de l'incertitude et de la propagation des erreurs lors des essais de réception 150
Annexe E (informative) Méthode de la variation des températures 151
E.1 Description du problème 151
E.2 Possibilité de déterminer le débit de fuite 151
E.3 Exemple appliqué 151
Annexe F (normative) Incertitude de mesure des résultats – Application aux rénovations 152
Annexe G (informative) Calculs de rénovations – Exemples numériques (centrales conventionnelle et nucléaire) 155
G.1 Généralités 155
G.2 Exemple de rénovation d'une turbine conventionnelle à resurchauffe 155
G.2.1 Généralités 155
G.2.2 Rénovation du corps HP 160
G.2.3 Rénovation du corps BP avec garantie relative sur la consommation spécifique de chaleur (traité séparément du cas HP) 160
G.2.4 Effet de la rénovation sur les performances des équipements associés 161
G.3 Exemple de rénovation d'une turbine nucléaire 169
G.3.1 Généralités 169
G.3.2 Scénario de la rénovation et procédure d'essai 169
G.3.3 Courbes de correction 170
G.3.4 Application des courbes de correction 170
G.3.5 Comparaison entre les valeurs mesurées et les valeurs garanties 172
Annexe H (informative) Calculs d'incertitude – Exemples numériques (centrales conventionnelle et nucléaire) 182
H.1 Généralités 182
H.2 Etude de cas d'une centrale conventionnelle 183
H.2.1 Généralités 183
H.2.2 Evaluation 183
H.3 Etude de cas d'une centrale nucléaire 210
H.3.1 Généralités 210
H.3.2 Evaluation 210

Figure 1 – Rendement isentropique du corps HP 117
Figure 2 – Ligne de détente de la turbine BP 119

Figure G.1 – Ligne de détente du corps HP 156
Figure G.2 – Ligne de détente du corps LP 157
Figure G.3 – Diagramme du bilan thermodynamique d'origine (ou référence) 163
Figure G.4 – Courbes de correction 164
Figure G.5 – Essai avant rénovation 165
Figure G.6 – Essai avant rénovation: après remplacement du corps HP 166
Figure G.7 – Essai avant rénovation: après remplacement du corps BP 167
Figure G.8 – Courbe de pertes restantes 168
Figure G.9 – Courbe de correction de la consommation spécifique de chaleur due à la pression de vapeur vive 174
Figure G.10 – Courbe de correction de la consommation spécifique de chaleur due à la puissance thermique 175
Figure G.11 – Courbe de correction de la consommation spécifique de chaleur due à la pression d'échappement 175
Figure G.12 – Courbe de correction de la consommation spécifique de chaleur due au titre de la vapeur vive 176
Figure G.13 – Courbe de correction de la consommation spécifique de chaleur pour le Δp des sécheurs-surchauffeurs 176
Figure G.14 – Courbe de correction de la consommation spécifique de chaleur due à la température de vapeur surchauffée 177
Figure G.15 – Courbe de correction de la consommation spécifique de chaleur due à la qualité de la vapeur en aval du sécheur 177
Figure G.16 – Courbe de la pression de vapeur vive en amont des vannes de la turbine en fonction de la puissance thermique 178
Figure G.17 – Bilan thermodynamique de référence 179
Figure G.18 – Bilan thermodynamique garanti 180
Figure G.19 – Bilan thermodynamique recalculé lors de l'essai après rénovation 181
Figure H.1 – Instrumentation pour une centrale conventionnelle 186
Figure H.2 – Instrumentation pour une centrale nucléaire 212

Tableau 1 – Ecarts et fluctuations maximaux admissibles en conditions d'exploitation par rapport aux données spécifiées et relatives 121
Tableau 2 – Différentes possibilités de garanties 126
Tableau 3 – Répartition des fuites non comptabilisées 138
Tableau 4 – Effets types du rendement des corps sur la consommation spécifique de chaleur 145
Tableau G.1 – Paramètres principaux des bilans thermodynamiques (Figure G.17 à Figure G.19) 171
Tableau G.2 – Comparaison entre le bilan thermodynamique recalculé après rénovation et le bilan garanti 172
Tableau G.3 – Valeurs mesurées et valeurs calculées correspondantes à partir du bilan après rénovation 172
Tableau G.4 – Corrections dues aux écarts entre les valeurs mesurées et les valeurs calculées (à partir du bilan thermodynamique recalculé après rénovation, Figure G.19) 173
Tableau G.5 – Récapitulatif des corrections 174
Tableau H.1 – Hypothèse d'incertitude variable totale mesurée pour la pression, la température et la puissance de l'alternateur 182

Tableau H.2 – Pourcentage d'incertitude sur les résultats calculés pour différents niveaux d'incertitude sur les mesures de débit dans le cas d'une centrale conventionnelle 184
Tableau H.3 – Pourcentage d'incertitude sur les résultats calculés pour différents niveaux de corrélation dans le cas d'une centrale conventionnelle 185
Tableau H.4 – Incertitude sur la consommation spécifique de chaleur d'une centrale conventionnelle 187
Tableau H.5 – Incertitude sur le rendement isentropique du corps HP d'une centrale conventionnelle 192
Tableau H.6 – Incertitude sur le rendement isentropique du corps IP d'une centrale conventionnelle 198
Tableau H.7 – Incertitude sur le rendement isentropique du corps LP d'une centrale conventionnelle 204
Tableau H.8 – Pourcentage d'incertitude sur les résultats calculés pour différents niveaux d'incertitude sur la mesure de débit dans le cas d'une centrale nucléaire 211
Tableau H.9 – Pourcentage d'incertitude sur les résultats calculés pour différents niveaux de corrélation dans le cas d'une centrale nucléaire 211
Tableau H.10 – Incertitude sur la consommation spécifique de chaleur d'une centrale nucléaire 213
Tableau H.11 – Incertitude sur le rendement isentropique du corps HP d'une centrale nucléaire 219
Tableau H.12 – Incertitude sur le rendement isentropique du corps LP d'une centrale nucléaire 225

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

RÈGLES POUR LES ESSAIS THERMIQUES DE RÉCEPTION DES TURBINES À VAPEUR –

Partie 3: Essais de vérification des performances thermiques des turbines à vapeur rénovées

AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60953-3 a été établie par le sous-comité WG11/MT14: Essai thermique de réception, du comité d'études 5 de l'IEC: Turbines à vapeur. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2001. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

a) la norme de référence IEC 60953-2 a été remplacée par l'IEC 60953-0; toutes les modifications apportées à l'IEC 60953-0 sont donc pertinentes pour la présente norme supplémentaire révisée;

b) des recommandations plus précises sont fournies pour les types de garanties en 4.10;

c) à l'Annexe H, le mesurage de l'incertitude des résultats a été révisé pour s'aligner davantage sur le Guide 98 de l'ISO/IEC: Incertitude de mesure;

d) à l'Annexe K, la technique de mesure par traceurs a été supprimée;

e) à l'Annexe L, la méthode par la variation des températures a été déplacée dans l'IEC 60953-0.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
5/249/FDIS	5/252/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

La présente partie de l'IEC 60953 doit être lue conjointement avec l'IEC 60953-0, et le terme "essai de vérification" doit être lu en lieu et place du terme "essai de réception". L'IEC 60953-0 constitue la norme de référence.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60953, publiées sous le titre général *Règles pour les essais thermiques de réception des turbines à vapeur*, se trouve sur le site web de l'IEC.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

INTRODUCTION

La rénovation d'une turbine à vapeur installée dans une centrale thermique existante s'accompagne fréquemment d'une amélioration des performances. L'IEC 60953-0, qui définit les règles pour les essais thermiques de réception des turbines à vapeur de centrales thermiques, ne satisfait pas à l'ensemble des exigences spécifiques des projets de rénovation. Par conséquent, l'élaboration d'une norme supplémentaire (le présent document) a été jugée nécessaire afin de fournir des recommandations relatives aux essais thermiques de réception des turbines à vapeur rénovées.

Néanmoins, plusieurs dispositions et recommandations de l'IEC 60953-0 continuent à s'appliquer aux rénovations. Afin d'éviter un document redondant et volumineux, seuls les addenda spécifiques des rénovations sont donc indiqués dans le présent document.

Même s'il est prévu d'appliquer le présent document à la rénovation des turbines à vapeur à condensation de puissance élevée, celui-ci peut néanmoins être utilisé pour d'autres types et puissances de turbines afin de définir les principes de base d'une procédure spécifique, avec l'accord des parties concernées.

Les règles établies dans le présent document couvrent l'ensemble des rénovations de turbines à vapeur. La rénovation de tout autre composant de la centrale (par exemple chaudière, réchauffeurs alimentaires, etc.) n'est pas traitée dans le présent document, même si celui-ci peut avoir une incidence sur le cycle thermodynamique.

L'objectif du présent document est de traiter les projets de rénovation de turbines à vapeur qui ont une incidence sur le rendement de la centrale thermique et sont soumis à une garantie de performances. Différents cas peuvent être rencontrés, par exemple le remplacement des organes d'admission de la vapeur, le remplacement partiel des aubes de la turbine d'un rotor, d'un module complet, etc. Les valeurs de garantie dépendent de la rénovation examinée et sont soumises à l'approbation des parties signataires du contrat. Le présent document aide ces parties à déterminer les paramètres les plus appropriés qui caractérisent la rénovation et qui peuvent être utilisés comme valeurs de garantie.

La difficulté principale des projets de rénovation consiste à choisir les paramètres à garantir. Même si le constructeur d'origine privilégie généralement une garantie d'amélioration relative, un autre constructeur qui ne connaît pas nécessairement tous les détails des équipements installés peut préférer offrir une valeur de garantie absolue pour l'équipement rénové. Le présent document donne des recommandations relatives aux paramètres à garantir. Lorsque les valeurs de garantie sont établies, celles-ci peuvent nécessiter une réévaluation à l'issue d'un essai de performance avant rénovation. Le présent document fournit de telles règles exigées pour la vérification des valeurs garanties.

La variété des rénovations possibles rend difficile le traitement de l'ensemble des cas, mais quelques exemples détaillés présentent l'application de ce document et sont fournis dans les annexes.

La structure et la numérotation des articles du présent document suivent celles de l'IEC 60953-0. Chacun des paragraphes du présent document annule et remplace le paragraphe équivalent de l'IEC 60953-0. La numérotation des paragraphes a été étendue afin d'inclure les ajouts.

Les principales différences entre le présent document et l'IEC 60953-0 sont répertoriées ci-dessous.

Article 1: Domaine d'application

En raison de sa spécificité, le présent document a nécessité la définition de nouvelles options qui concernent les garanties. Il est possible d'assurer des paramètres caractéristiques de l'équipement rénové (rendement des corps de turbine, perte de charge dans les organes d'admission de la vapeur, etc.). L'IEC 60953-0 définit des garanties absolues qui ne permettent pas de spécifier les améliorations entre l'équipement initial et l'équipement rénové, c'est pourquoi la notion de garantie relative est introduite dans le présent document.

Les dispositions contractuelles, qui peuvent varier d'un cas à l'autre, sont réexaminées dans le présent document, étant donné les nombreuses possibilités de rénovations. Ces dispositions sont soumises à l'accord des parties concernées au moment où sont définies les garanties, c'est-à-dire au cours de l'élaboration du contrat, avant la réalisation des essais de vérification.

Article 3: Unités, symboles, termes et définitions

Le présent document inclut de nouveaux concepts et termes associés aux cas de rénovation.

Article 4: Recommandations relatives aux garanties

Le présent document définit les garanties qui peuvent être offertes, soit en supplément, soit en lieu et place de ceux de l'IEC 60953-0. Une matrice directive a été également incluse pour permettre aux parties concernées de choisir les paramètres à garantir, qui sont les plus appropriés en fonction du projet.

Les garanties fournies par le constructeur peuvent être:

a) des garanties de valeurs absolues:
   - rendement thermique ou consommation spécifique de chaleur de la turbine;
   - rendement thermodynamique, consommation spécifique de vapeur ou puissance de la turbine à des conditions de débit de vapeur spécifiées;
   - débit de vapeur principal et/ou puissance maximale;
   - rendement interne des différents corps de turbine;
b) des garanties de valeurs relatives:
   - amélioration du rendement thermique ou de la consommation spécifique de chaleur de la turbine;
   - amélioration du rendement thermodynamique, de la consommation spécifique de vapeur ou de la puissance à un débit de vapeur spécifié;
   - amélioration de la capacité d'absorption de débit de vapeur principal et/ou de la puissance maximale;
   - amélioration du rendement interne des différents corps de turbine.

Article 4: Principes directeurs

La plupart des principes directeurs contenus dans l'IEC 60953-0 sont également applicables aux cas de rénovation. Les modifications ou addenda à cet article concernent principalement les précautions à prendre lorsque les essais doivent être effectués avant et après la rénovation et font mention de la référence à utiliser lorsqu'une garantie d'amélioration de performance est proposée.

Une attention particulière est portée aux problèmes d'isolement du cycle et aux écarts acceptables des grandeurs mesurées qui peuvent avoir une incidence majeure sur l'interprétation des résultats.

Article 5: Techniques de mesure et appareils de mesure

Dans le cas de projets de rénovation, des règles strictes ne peuvent pas être établies pour les techniques et les appareils de mesure. Les appareils doivent être choisis en fonction des exigences de l'installation et de la valeur de garantie à vérifier. L'Annexe H fournit des recommandations sur la sensibilité des paramètres garantis à la précision des mesures individuelles de manière à pouvoir choisir les instruments les plus appropriés.

Etant donné que le débit est l'une des mesures les plus importantes, le présent document fournit des recommandations relatives à l'installation des dispositifs de mesure de débit supplémentaires. Il est recommandé d'utiliser des méthodes du présent document, qui permettent de réaliser simultanément des mesurages et des comparaisons des débits principaux. L'application de méthodes de mesure du débit à l'aide de traceurs peut constituer une variante si la méthode s'est avérée fiable et a été approuvée par les parties concernées par l'essai.

Article 6: Evaluation des essais

Le présent document fournit des précisions sur l'évaluation des garanties supplémentaires applicables aux projets de rénovation. Des règles particulières sont également données pour tenir compte des fuites non comptabilisées dans les rénovations.

Article 7: Correction des résultats d'essais et comparaison à la garantie

Les méthodes de correction définies dans l'IEC 60953-0 sont également applicables au présent document, mais elles sont enrichies par des règles spécifiques qui gèrent les nouveaux types de garanties. En ce qui concerne les essais différés, des recommandations sont données sur les problèmes de vieillissement.

Le présent article traite également de la validation des valeurs de performance utilisées comme référence pour déterminer les garanties d'amélioration: un amendement de la garantie est acceptable lorsque les essais avant rénovation ont révélé que l'état réel de la turbine était différent de l'état spécifié.

La rénovation de la turbine à vapeur, ou de toute partie de celle-ci, peut avoir des répercussions sur les autres composants de la centrale thermique (réchauffeurs alimentaires, condenseur, chaudière). Si la rénovation a une incidence sur les conditions de fonctionnement d'équipements adjacents, il peut être demandé au constructeur d'indiquer les conséquences de ces modifications.

Article 8: Incertitude de mesure

L'article de l'IEC 60953-0 est complété par des dispositions relatives aux cas particuliers rencontrés dans le cadre de projets de rénovation à l'Annexe G et à l'Annexe H. Les exemples peuvent être utilisés comme base de référence.

Annexes:

Les Annexes A à E de l'IEC 60953-0:2022 s'appliquent.

Le présent document contient trois nouvelles annexes (Annexe F à Annexe H).

L'Annexe F traite des incertitudes dans les applications de rénovation et complète les informations données dans l'Annexe D de l'IEC 60953-0:2022.

L'Annexe G et l'Annexe H donnent des exemples de calculs de performances et d'incertitude pour plusieurs applications de rénovation, dans des centrales thermiques conventionnelles et nucléaires.

Points à examiner dans le contrat:

Certains points de ces règles doivent être examinés dès la phase initiale du contrat. Les écarts doivent être identifiés et faire l'objet d'un accord entre les parties avant la signature du contrat. Ces points sont traités dans les paragraphes suivants:

Article (paragraphe)	Alinéa	Remarques
Introduction	6	Procédures particulières et valeurs garanties
1.2	2	Définition des garanties
4.10	Tous les alinéas	
4.1	1 et 4	
4.3.1	3	
7.1.1	Dernier alinéa	
7.3	–	Comparaison à la garantie
7.9.4	–	Dégradation des performances des composants rénovés

RÈGLES POUR LES ESSAIS THERMIQUES DE RÉCEPTION DES TURBINES À VAPEUR –

Partie 3: Essais de vérification des performances thermiques des turbines à vapeur rénovées

1 Domaine d'application

1.1 Généralités

La présente partie de l'IEC 60953 établit une norme supplémentaire pour les essais de vérification thermique des turbines à vapeur rénovées.

Les règles établies dans le présent document suivent les recommandations de l'IEC 60953-0, mais contiennent des amendements et des ajouts qui concernent les garanties et leur vérification par des essais thermiques de réception réalisés sur les turbines à vapeur rénovées.

Le présent document établit les principes généraux pour la préparation, la réalisation, l'évaluation, la comparaison par rapport aux valeurs garanties et la détermination des incertitudes de mesure lors des essais de vérification.

Le présent document ne s'applique que lorsque la rénovation implique le remplacement de tout ou partie de la turbine à vapeur. Réciproquement, toute modification du cycle ou toute rénovation d'un autre équipement de la centrale thermique (par exemple chaudière, réchauffeurs alimentaires, etc.) n'est pas couverte par le présent document.

1.2 Objet

L'objectif du présent document est d'établir les paramètres de garantie appropriés, de définir la méthode de vérification de ces garanties et de déterminer l'incertitude de mesure.

Il convient de formuler les garanties et leurs dispositions dans leur intégralité et sans contradictions (voir 3.4 de l'IEC 60953-0:2022 et 3.5 du présent document). Les essais de vérification peuvent également inclure, si nécessaire, des mesurages pour appliquer les corrections conformément aux conditions de la garantie et vérifier les résultats.

1.3 Points à examiner dans le contrat

Le 1.3 de l'IEC 60953-0:2022 s'applique.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60953-0:2022, *Règles pour les essais thermiques de réception des turbines à vapeur – Partie 0: Plage de précision étendue pour différents types et dimensions de turbines*