

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fuel cell technologies –

Part 4-102: Fuel cell power systems for industrial electric trucks – Performance test methods

Technologies des piles à combustible –

Partie 4-102: Systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques – Méthodes d'essai des performances



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fuel cell technologies –

Part 4-102: Fuel cell power systems for industrial electric trucks – Performance test methods

Technologies des piles à combustible –

Partie 4-102: Systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques – Méthodes d'essai des performances

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.070

ISBN 978-2-8322-4125-7

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.

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 Symbols	11
5 Reference conditions	13
6 Heating value base	13
7 Test preparation	14
7.1 General.....	14
7.2 Data acquisition plan	14
8 Test setup	14
9 Instruments and measurement methods	16
9.1 General.....	16
9.2 Measurement instruments	16
9.3 Measurement points.....	17
9.4 Minimum required measurement systematic uncertainty.....	18
10 Test conditions	18
10.1 Laboratory conditions.....	18
10.2 Installation and operating conditions of the system	18
10.3 Indication of battery condition	18
10.4 Quality of test fuel.....	18
10.4.1 Hydrogen.....	18
10.4.2 Methanol solution	19
11 Fuel consumption test.....	19
11.1 Hydrogen fuel consumption test.....	19
11.1.1 General	19
11.1.2 Test method	19
11.1.3 Calculation of results	19
11.2 Methanol fuel consumption test.....	21
11.2.1 General	21
11.2.2 Test method	21
11.2.3 Calculation of average methanol fuel power input	21
12 Electrical power output test.....	22
12.1 General.....	22
12.2 Test method.....	22
12.3 Calculation of average electrical power output	22
12.4 Computation of electrical efficiency.....	23
13 Type tests on operational performance	23
13.1 Cold start maximum power output test	23
13.1.1 General	23
13.1.2 Test method	23
13.1.3 Processing of data	23
13.2 Power cycling electrical load test	23
13.2.1 General	23

13.2.2	Test method	23
13.2.3	Processing of data	24
13.3	Accessory load voltage spike test	24
13.3.1	General	24
13.3.2	Test method	24
13.3.3	Data processing.....	24
14	Power stability under the operation	24
14.1	General.....	24
14.2	Power delivered	24
14.3	Power absorbed.....	25
15	Type tests on environmental performance	25
15.1	General.....	25
15.2	Noise test	25
15.2.1	General	25
15.2.2	Test conditions	26
15.2.3	Test method	27
15.2.4	Processing of data	27
15.3	Exhaust gas test	27
15.3.1	General	27
15.3.2	Components to be measured	27
15.3.3	Test method	28
15.3.4	Processing of data	28
15.4	Discharge water test	30
15.4.1	General	30
15.4.2	Test method	30
16	Test reports	30
16.1	General.....	30
16.2	Title page.....	31
16.3	Table of contents	31
16.4	Summary report	31
Annex A (informative)	Heating values for hydrogen and methanol at reference conditions	32
Annex B (informative)	Guidelines for the contents of detailed and full reports	33
B.1	General.....	33
B.2	Detailed report	33
B.3	Full report	33
Bibliography		34
Figure 1	Fuel cell power systems for industrial electric trucks	10
Figure 2	Example of a test setup for hydrogen fuel	15
Figure 3	Example of a test setup for methanol fuel.....	16
Figure 4	Noise measurement points for fuel cell power systems.....	26
Table 1	Symbols and their meanings for electric/thermal performance	12
Table 2	Symbols and their meanings for environmental performance	13
Table 3	Power delivered measurements.....	25
Table 4	Power absorbed measurements	25

Table 5 – Compensation of readings against the effect of background noise.....	27
Table A.1 – Heating values for hydrogen and methanol at reference conditions	32

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-102:2017

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FUEL CELL TECHNOLOGIES –

**Part 4-102: Fuel cell power systems for industrial electric trucks –
Performance test methods**

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.

International Standard IEC 62282-4-102 has been prepared by IEC technical committee 105: Fuel cell technologies.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
105/635/FDIS	105/642/RVD

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

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 62282 series, under the general title *Fuel cell technologies*, can be found on the IEC website.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-102:2017

INTRODUCTION

This part of IEC 62282-4 provides consistent and repeatable test methods for the electric/thermal and environmental performance of fuel cell power systems for industrial electric trucks.

The IEC 62282-4 series deals with categories such as safety, performance, and interchangeability of fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APUs). Among the categories mentioned above, this document (IEC 62282-4-102) focuses on fuel cell power systems for industrial electric trucks because such an application is urgently demanded in the world.

This part of IEC 62282-4 describes type tests and their test methods only. No routine tests are required or identified, and no performance targets are set in this standard.

Fuel cells used in industrial electric trucks, such as forklift trucks, are hybrids and so operate in several different modes. Similarly, forklift trucks operate in different modes. The purpose of this document is to evaluate the fuel cell system in the various combinations of fuel cell modes and forklift truck modes. This document will break down these different modes and provide a framework for designing and evaluating a fuel cell system for use specifically in a forklift truck.

This part of IEC 62282-4 is to be used by manufacturers of fuel cell power systems used for industrial electric trucks and/or those who evaluate the performance of their systems for certification purposes.

Users of this document selectively execute test items that are suitable for their purposes from those described in this document. This document is not intended to exclude any other methods.

IECNORM.COM : Click to view the PDF of IEC 62282-4-102:2017

FUEL CELL TECHNOLOGIES –

Part 4-102: Fuel cell power systems for industrial electric trucks – Performance test methods

1 Scope

This document covers performance test methods of fuel cell power systems intended to be used for electrically powered industrial trucks.

The scope of this document is limited to electrically powered industrial trucks. Hybrid trucks that include an internal combustion engine are not included in the scope. The scope of this standard will be applicable to material-handling equipment, e.g. forklifts.

This document applies to gaseous hydrogen-fuelled fuel cell power systems and direct methanol fuel cell power systems for electrically powered industrial trucks.

The following fuels are considered within the scope of this standard:

- gaseous hydrogen, and
- methanol.

This document does not apply to reformer-equipped fuel cell power systems.

This document covers fuel cell power systems whose fuel source container is permanently attached to either the industrial truck or the fuel cell power system. A fuel source container of the detachable type is not permitted.

This document applies to DC type fuel cell power systems, with a rated output voltage not exceeding 150 V DC for indoor and outdoor use.

Fuel cell power systems intended for operation in potentially explosive atmospheres are excluded from the scope of this document.

This document does not cover the fuel storage systems using liquid hydrogen.

All systems with integrated energy storage systems are covered by this document. This includes systems, for example, batteries for internal recharges or recharged from an external source.

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.

IEC 61672-1, *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*

IEC 62282-3-201, *Fuel cell technologies – Part 3-201: Small stationary fuel cell power systems – Performance test methods for small fuel cell power systems*

IEC 62282-6-300, *Fuel cell technologies – Part 6-300: Micro fuel cell power systems – Fuel cartridge interchangeability*

ISO 9000, *Quality management series of standards*

ISO 14687-2, *Hydrogen fuel – Product Specification – Part 2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardisation at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1

noise level

sound pressure level produced by the fuel cell power system measured at a specified distance in all operation modes

Note 1 to entry: Expressed as decibels (dB) and measured as described in 15.2.

3.2

background noise level

sound pressure level of ambient noise at the measurement point

Note 1 to entry: This measurement is taken as described in 15.2 with the fuel cell power system in the cold state.

3.3

battery

electrochemical energy storage device that provides energy input to support parasitic loads and/or provides electrical energy output

Note 1 to entry: Back-up batteries for control software memory and similar applications are not included.

3.4

cold state

state of a fuel cell power system at ambient temperature with no power input or output

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 3.110.1]

3.5

discharge rate

mass of discharged exhaust gas component per unit of time

3.6

discharge water

water discharged from the fuel cell power system including waste water and condensate

Note 1 to entry: Discharge water does not constitute part of a thermal recovery system.

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 2.2, modified – Note 1 to entry added.]

3.7

fuel cell system electrical efficiency

ratio of the average electric power output of a fuel cell power system at a given duration to the average fuel power fed to the same fuel cell power system at the same duration

3.8

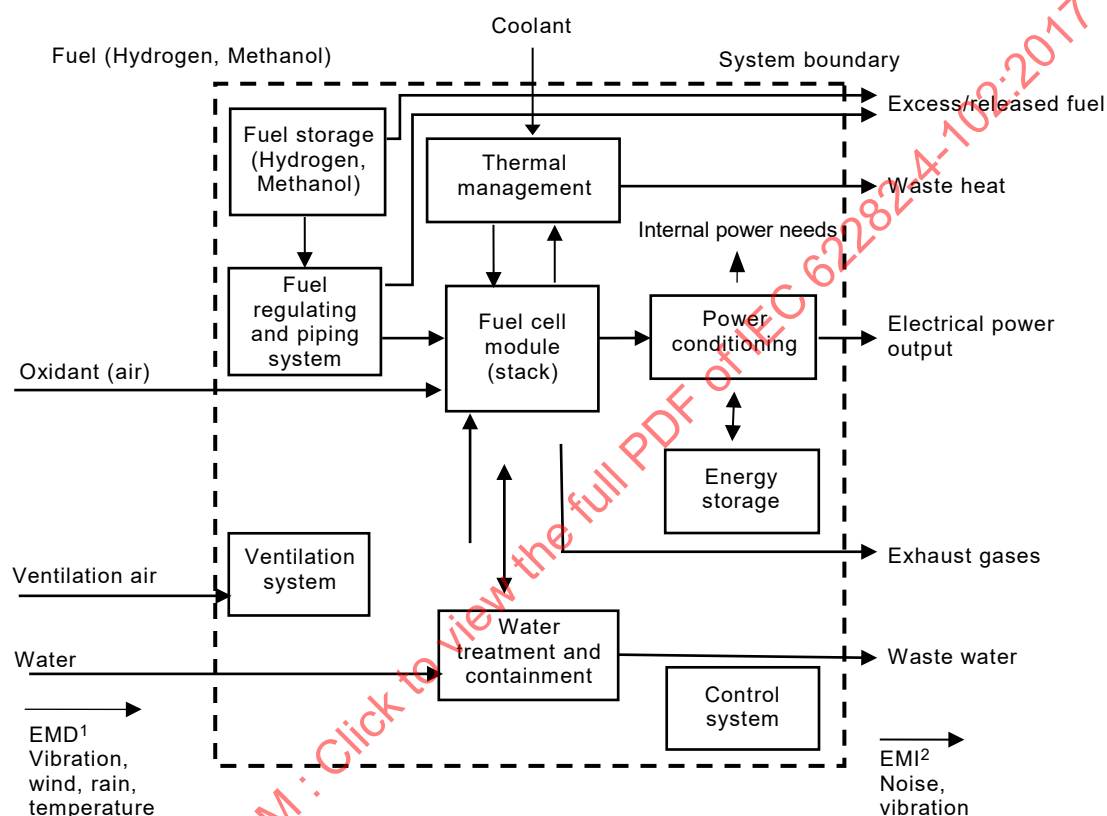
fuel cell power system

generator system that uses one or more fuel cell module(s) to generate electric power and heat

Note 1 to entry: See Figure 1 for a block diagram of a fuel cell power system.

Note 2 to entry: A fuel cell power system may contain all or some of the components shown in Figure 1. The fuel cell power system for use with industrial trucks will be in one of the forms as outlined in 3.9 and 3.10 of IEC 62282-4-101.

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 3.49, modified – New Note 1 to entry has been added, and existing Note 1 to entry has become Note 2 to entry with the addition of the second sentence.]



IEC

Key



Fuel cell power system including subsystems. The interface is defined as a conceptual or functional one instead of hardware such as a power package.



Subsystems; fuel cell module, fuel processor, etc. These subsystem configurations depend on the kind of fuel, type of fuel cell or system.



The interface points in the boundary to be measured for calculation data.

¹ EMD electromagnetic disturbance

² EMI electromagnetic interference

Figure 1 – Fuel cell power systems for industrial electric trucks

3.9

fuel input

amount of hydrogen or methanol supplied to the fuel cell power system

3.10**fuel power consumption**

amount of energy per time unit contained in the fuel consumed by the fuel cell power system

3.11**fuel consumption**

volume or mass of fuel consumed by the fuel cell power system under specified operating conditions

3.12**minimum electric power output**

minimum power output, at which a fuel cell power system is able to operate continuously at a steady state

3.13**rated power**

maximum continuous electric output power that a fuel cell power system (3.8) is designed to achieve under normal operating conditions specified by the manufacturer

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 3.85.4, modified – Note 1 to entry deleted]

3.14**auxiliary load**

power consumed by auxiliary machines and equipment such as balance of plant (BOP) necessary to operate a fuel cell power system

3.15**storage state**

condition of a fuel cell power system that is non-operational and possibly requiring, under conditions specified by the manufacturer, the input of thermal or electric energy in order to prevent deterioration of the components and/or energize the control systems and other components, and is ready for start-up

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 3.110.6, modified – Reference to an inert atmosphere has been deleted, "and/or energize control systems and other components, and is ready for start-up" has been added.]

3.16**test duration**

time interval in which data points required for the computation of test results are recorded

4 Symbols

The symbols and their meanings used in this part of IEC 62282-4 are given in Table 1 for electric/thermal performance and in Table 2 for environmental performance, with the appropriate units.

Table 1 – Symbols and their meanings for electric/thermal performance

Symbol	Definition	Unit
M, m	Molar mass, mass	
M_{mf}	Molar mass of fuel	g/mol
p	Pressure	
p_0	Reference pressure (101,325 kPa (abs))	kPa (abs)
p_f	Average fuel pressure	kPa (abs)
P, dP	Power, power change rate	
P_n	Average net electric power output	kW
P_{inf}	Average fuel power input	kJ/s
E	Input energy	
E_{fm}	Input energy of fuel (mass and volume)	kJ/kg
E_{inf}	Total fuel input energy	kJ
q_m	Mass flow rate	
q_{mf}	Average mass flow rate of fuel	kg/s
q_v	Volumetric flow rate	
q_{vf}	Average volumetric flow rate of fuel under the test conditions	l/min
q_{vf0}	Average volumetric flow rate of fuel under reference conditions	l/min
H	Heating value	
H_{f0}	Heating value of fuel on a molar basis under reference conditions	kJ/mol
t	Time	
Δ_t	Test duration	s
T	Temperature	
T_0	Reference temperature (273,15 K)	K
T_f	Average fuel temperature	K
ΔT	Temperature difference between heat recovery fluid output and input	K
V	Volume, molar volume	
V_{m0}	Reference molar volume of ideal gas (22,414 l/mol) (at reference temperature $T_0 = 273,15$ K and pressure $p_0 = 101,325$ kPa)	m ³ /mol
W	Electric energy	
W_{out}	Electric energy output	kW·h
η	Efficiency	
η_e	Electric efficiency	%
η_{th}	Heat recovery efficiency	%
η_{total}	Overall energy efficiency	%

Table 2 – Symbols and their meanings for environmental performance

Symbol	Definition	Unit
Φ	Volume fraction	
$\varphi_{B,meas}$	the measured volume fraction of each component	vol % or ml/m ³
$\varphi_{B,corr}$	the corrected volume fraction of each component	vol % or ml/m ³
$\varphi_{at(O_2)}$	the measured O ₂ (oxygen) volume fraction in atmosphere at air inlet in dry state	vol %
$\Phi_{ex(O_2)}$	measured O ₂ volume fraction in dry exhaust gas	vol %
$\varphi_{ex(CO)corr}$	the corrected CO volume fraction in dry exhaust gas	ml/m ³
$\varphi_{ex(THC)corr}$	the corrected THC volume fraction in dry exhaust gas	ml/m ³ C equivalent
Γ	Mass concentration	
$\gamma_{ex(CO)}$	the CO mass concentration in dry exhaust gas	mg/m ³
$\gamma_{ex(THC)}$	the THC mass concentration in dry exhaust gas	mg/m ³
ε	Emission	
ε_{CO}	the mass of CO emission per unit energy of input fuel	mg/kW·h
ε_{THC}	the mass of THC per unit energy of fuel input	mg/kW·h
α	Atom ratio	
α_{THC}	the hydrogen to carbon atom ratio of the THC in the exhaust gas.	
H	Heating value	

5 Reference conditions

The reference conditions are specified as follows:

- reference temperature: $T_0 = 273,15$ K (0 °C);
- reference pressure: $p_0 = 101,325$ kPa (abs).

6 Heating value base

Except if otherwise specified, the given heating value of fuel shall be the low heating value (LHV) or similar.

NOTE 1 The heating values of hydrogen and methanol (LHV and HHV) are given in Annex A.

In cases where LHV is applied for the calculation of energy efficiency, it is not necessary to add the initialism LHV, as shown below:

$$\eta_e, \eta_{th}, \text{ or } \eta_{total} = XX \%$$

If the higher heating value (HHV) is applied, the initialism HHV shall be added to the value of energy efficiency as follows:

$$\eta_e, \eta_{th}, \text{ or } \eta_{total} = XX \% \text{ (HHV)}$$

7 Test preparation

7.1 General

This clause describes typical items that shall be considered prior to the implementation of a test. For each test, an effort shall be made to minimize uncertainty by selecting high-precision instruments and planning the tests carefully with attention to detail. Detailed test plans shall be prepared by the parties to the test using this part of IEC 62282-4 as their basis. A written test plan shall be prepared.

The following items shall be considered for the test plan:

- 1) objective;
- 2) test specifications;
- 3) test personnel qualifications;
- 4) quality assurance standards (ISO 9000 series of standards or other equivalent standards);
- 5) target uncertainty;
- 6) identification of measurement instruments (refer to Clause 9);
- 7) estimated range of test parameters;
- 8) data acquisition plan.

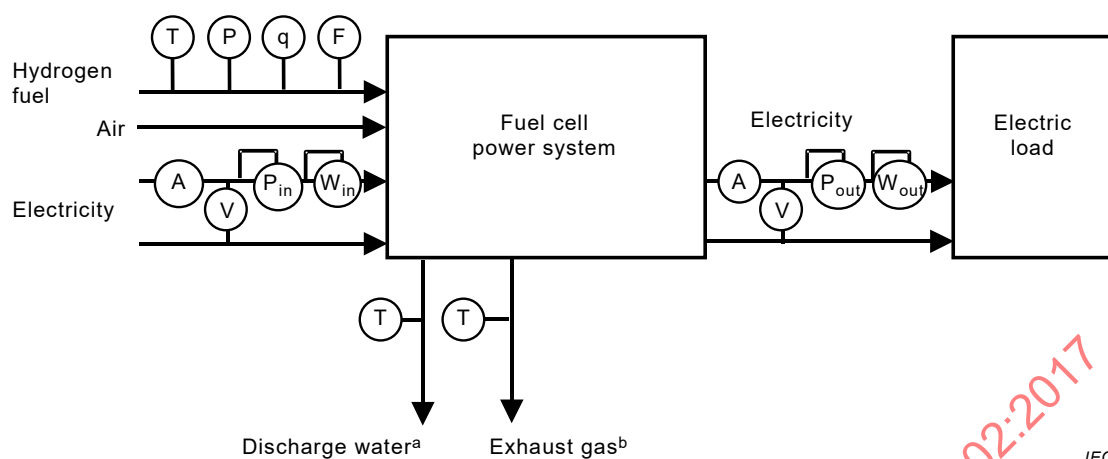
7.2 Data acquisition plan

In order to meet the target uncertainty, proper duration and frequency of readings shall be defined and data recording equipment shall be prepared before the performance test.

Automatic data acquisition using a personal computer or similar is preferable.

8 Test setup

Figure 2 and Figure 3 illustrate examples of test setups that are required to conduct fuel cell power system testing with hydrogen fuel and methanol fuel, respectively, which are described in this document. An electric load is connected to a fuel cell power system.



IEC

^a To collecting device to measure volume (or weight), pH, BOD, COD

^b To collecting device to analyze components

(A) ammeter

(V) voltmeter

(T) thermometer

(P) pressure gauge

(q) flowmeter

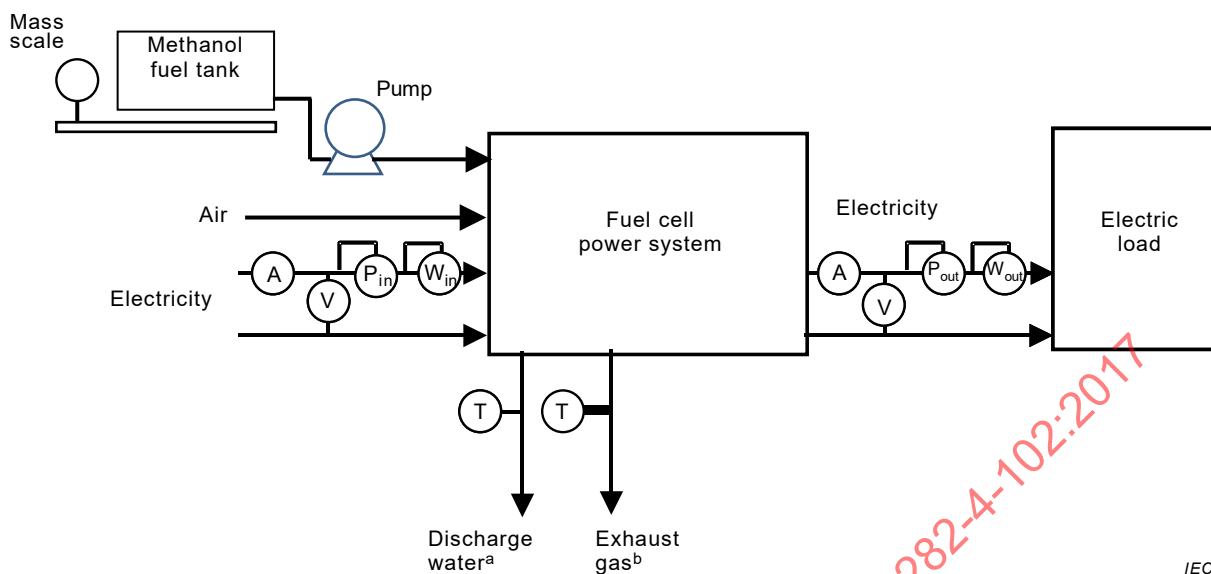
(F) integrating flowmeter

(P) electric power meter

(W) integrating electric power meter (electric energy meter)

Figure 2 – Example of a test setup for hydrogen fuel

NOTE See explanations of the symbols in Figure 2.



^a To collecting device to measure volume (or weight), pH, BOD, COD

^b To collecting device to analyse components

Figure 3 – Example of a test setup for methanol fuel

9 Instruments and measurement methods

9.1 General

Measurement instruments and measurement methods shall conform to the relevant International Standards. They shall be selected to meet the measurement range specified by the manufacturer and the required accuracy of measurements.

9.2 Measurement instruments

Measurement instruments are listed according to their intended use:

- apparatus for measuring voltage spikes: oscilloscope, high-frequency analysers;
- apparatus for measuring the electric power input and output, and electric energy input and output:
 - electric power meters, electric energy meters, voltmeters, ammeters.
- apparatus for measuring fuel input:
 - flowmeters, integrating flowmeters, weight meters, pressure sensors, temperature sensors.
- apparatus for measuring ambient conditions:
 - barometers, hygrometers, and temperature sensors.
- apparatus for measuring the noise level:
 - sound level meters as specified in IEC 61672-1 or other measuring instruments of equivalent or better accuracy.
- apparatus for measuring concentrations of the exhaust gas components:
 - oxygen analyzer (e.g. based on paramagnetic, electrochemical or zirconium oxide sensors);
 - carbon dioxide analyzer (e.g. GC-MS or based on infrared absorption sensor);

- carbon monoxide analyzer (e.g. based on nondispersive infrared or electrochemical sensor).
- g) apparatus for determining the discharge water:
 - graduated cylinder (for volume measurement), temperature sensor, pH meters, BOD probes.

NOTE 1 BOD means Biochemical Oxygen Demand, COD stands for Chemical Oxygen Demand, and THC is Total Hydrocarbon.

9.3 Measurement points

Measurement points for the different parameters are described below.

- a) Hydrogen fuel flow rate:
place a flowmeter for fuel on the fuel supply line to the fuel cell power system to measure the fuel flow rate.
- b) Hydrogen integrated fuel input:
place an integrating flowmeter for fuel on the fuel supply line to the fuel cell power system to measure the fuel input. The integrating flowmeter shall combine a flowmeter that measures the fuel flow rate.
- c) Methanol fuel input weight:
place a weight meter under the fuel tank to measure the weight of fuel and tank together. Methanol fuel input weight is measured by subtracting the weight after the test from that before the test.
- d) Fuel temperature:
connect a thermometer or a thermocouple immediately downstream of the fuel flowmeter.
- e) Fuel pressure:
place a pressure meter immediately downstream of the fuel flowmeter to measure the gauge pressure of fuel.
- f) Electric power output:
connect an electrical power meter to the electrical power output terminal of the fuel cell power system and close to the system boundary.
- g) Electric energy output:
connect an electrical energy meter to the electrical power output terminal of the fuel cell power system and close to the system boundary. The electrical energy meter shall incorporate an electrical power meter that indicates electrical power output.
- h) Fuel composition:
the fuel used during the tests shall be sampled and analyzed on its composition.
- i) Atmospheric pressure:
place an absolute pressure meter adjacent to the fuel cell power system where it will not be affected by ventilation, air intake or exhaust of the fuel cell power system.
- j) Atmospheric temperature:
place a thermometer adjacent to the fuel cell power system where the thermometer will not be affected by ventilation, air intake or exhaust of the fuel cell power system.
- k) Atmospheric humidity:
place a hygrometer adjacent to the fuel cell power system where the hygrometer will not be affected by ventilation, air intake or exhaust of the fuel cell power system.
- l) Noise level:
refer to 15.2.
- m) Exhaust gas:

place one or more exhaust gas collecting probes combined with a temperature sensor in the exhaust stream at the exhaust gas outlet (refer to Figure 2 and Figure 3).

n) Discharge water:

place a discharge water reservoir combined with a temperature sensor at the discharge water outlet.

9.4 Minimum required measurement systematic uncertainty

The following systematic measurement uncertainties of the equipment are recommended. They are given in percentage of measured/calculated values or as absolute values:

- electric power: $\pm 1 \%$;
- electric energy: $\pm 1 \%$;
- fuel gas flow rate: $\pm 1 \%$;
- integrated gas flow: $\pm 1 \%$;
- time: $\pm 0,5 \%$;
- liquid fuel mass: $\pm 1 \%$ of the mass to be determined (not including the tare weight) as in IEC 62282-3-201;
- relative humidity: $\pm 5 \%$;
- absolute pressure: $\pm 1 \%$;
- fuel gas and discharge water temperature: $\pm 1 \text{ K}$;
- exhaust gas temperature: $\pm 4 \text{ K}$.

10 Test conditions

10.1 Laboratory conditions

Unless otherwise specified, performance shall be tested in the environment specified below:

- temperature: $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- humidity: $65 \% \pm 20 \%$ relative humidity;
- pressure: between 91 kPa (abs) and 106 kPa (abs).

For each test run, the laboratory conditions shall be measured during the test. As air quality shall affect fuel cell system performance, laboratory air composition (CO_2 , CO, SO_2 and so forth) shall be reported with the test result.

10.2 Installation and operating conditions of the system

The fuel cell power system shall be assembled and operated in accordance with the manufacturer's installation instructions prior to the start of the tests.

10.3 Indication of battery condition

For the systems with batteries, the battery SOC shall be constant at the beginning and at the end of the test duration.

10.4 Quality of test fuel

10.4.1 Hydrogen

Hydrogen fuel used for the tests shall have the quality given in Table 1 of ISO 14687-2.

10.4.2 Methanol solution

Methanol for preparing methanol solution which is used for the tests shall be consistent with the specification given in 5.5.2 of IEC 62282-6-300:2012.

Water mixed with methanol shall be ion-exchanged water with electrical conductivity of less than 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Methanol concentration in methanol solution shall be specified by the manufacturer.

11 Fuel consumption test

11.1 Hydrogen fuel consumption test

11.1.1 General

This test is for measuring the hydrogen fuel input at rated power output.

This test shall be carried out concurrently with the electrical power output test in Clause 12.

11.1.2 Test method

- 1) Operate the system at the rated power output for more than 30 min before starting the test.
NOTE Energy storage in the system reaches nominal state of charge after 30 min of operation.
- 2) For systems including electrochemical batteries, operate the system at rated power output for more than 30 min and until a known nominal state of charge is reached before starting the test.
- 3) Start the test while keeping the system operating at the nominal electric output power.
- 4) Measure the fuel temperature, fuel pressure, and integrated fuel input flow (in volume or in mass). Each measurement shall be taken for a minimum of 60 min.

11.1.3 Calculation of results

11.1.3.1 Calculation of average hydrogen fuel input rate

The average hydrogen fuel input rate shall be described either as the volumetric flow rate at reference conditions, q_{Vf0} in l/min, or as the mass flow rate, q_{mf} in kg/s. It shall be calculated according to the following procedure.

1) Volumetric flow rate

- a) The average volumetric flow rate of fuel under the test conditions, q_{Vf} in l/min, shall be obtained by dividing the integrated volumetric flow over the test duration by the test duration.

$$q_{Vf} = q_{iV} / \Delta_t \quad (1)$$

where

- q_{Vf} is the average volumetric flow rate of fuel under the test conditions (l/min);
- q_{iV} is the total volumetric fuel flow over the test duration (l);
- Δ_t is the test duration (min).

- b) The average volumetric flow rate of fuel under the reference conditions, q_{Vf0} in l/min, shall be calculated with the following formula. The average values of fuel temperature and pressure obtained during the test duration shall be used.

$$q_{Vf0} = q_{Vf} \times (T_0 / T_f) \times (p_f / p_0) \quad (2)$$

where

- q_{Vf0} is the average volumetric flow rate of fuel under reference conditions (l/min);
- q_{Vf} is the average volumetric flow rate of fuel under test conditions (l/min);
- T_0 is the reference temperature (273,15K);
- p_0 is the reference pressure (101,325 kPa (abs));
- T_f is the average fuel temperature during test duration (K);
- p_f is the average fuel pressure during test duration (kPa (abs)).

2) Mass flow rate

The average mass flow rate of fuel under the test conditions, q_{mf} in kg/s, shall be obtained by dividing the integrated mass flow over the test duration by the test duration.

$$q_{mf} = q_{imf} / \Delta_t \quad (3)$$

where

- q_{mf} is the average mass flow rate of fuel under the test conditions (kg/s);
- q_{imf} is the integrated mass flow over the test duration (kg);
- Δ_t is the test duration (s).

11.1.3.2 Calculation of average hydrogen fuel power input

The average hydrogen fuel power input, Q_{inf} in kJ/s, shall be calculated either for volumetric flow rate or for mass flow rate according to the following procedure. The average values of fuel temperature and pressure obtained during the test duration shall be used.

1) Volumetric flow rate

- a) The energy of fuel per unit volume at reference conditions, E_{fv} in kJ/l, shall be calculated with the following formula:

$$E_{fv} = H_{f0} / M_0 \quad (4)$$

where

- E_{fv} is the input energy of the fuel per unit volume (kJ/l);
- H_{f0} is the heating value of hydrogen fuel on a molar basis under reference conditions (241,72 kJ/mol);
- M_0 is the reference molar volume of ideal gas (22,4 l/mol) (at the reference temperature for this document, $T_0 = 273,15$ K).

NOTE 1 In general, fuel consumption energy and heating values are based on the low heating value (LHV).

- b) The average fuel power input, Q_{inf} in kJ/s, shall be calculated with the following formula:

$$Q_{inf} = q_{Vf0} \times E_{fv} / 60 \quad (5)$$

where

- Q_{inf} is the average fuel power input (kJ/s);
- q_{Vf0} is the average volumetric flow rate of fuel under reference conditions (l/min);
- E_{fv} is the energy input of the fuel per unit volume (kJ/l).

NOTE 2 The specific enthalpy and pressure energy of hydrogen fuel, which are considered in the calculation of fuel consumption energy in IEC 62282-3-201, are ignored in the calculation of fuel consumption energy described above because they are negligible values in fuel cell power systems for forklift trucks that are operated at low temperature and at low pressure.

2) Mass flow rate

- a) The input energy of fuel per unit mass, E_{fm} in kJ/kg, shall be calculated with the following formula:

$$E_{fm} = H_{f0} / M_{mf} \quad (6)$$

where

E_{fm} is the input energy of fuel per unit mass (kJ/kg);

H_{f0} is the heating value of fuel under reference conditions (kJ/mol);

M_{mf} is the molar mass of fuel (g/mol).

- b) The average fuel power input, Q_{inf} in kJ/s, shall be calculated with the following formula:

$$Q_{inf} = q_{mf} \times E_{fm} \quad (7)$$

where

Q_{inf} is the average fuel power input (kJ/s);

E_{fm} is the input energy of fuel per unit mass (kJ/kg);

q_{mf} is the average mass flow rate of fuel (kg/s).

11.2 Methanol fuel consumption test

11.2.1 General

This test is for measuring the methanol fuel input at rated power output. If operation at partial loads of 50 %, of 75 % and/or the minimum electrical power output are specified by the manufacturer, these operating points shall be measured as well.

This test shall be carried out concurrently with the electrical power output test in Clause 12.

11.2.2 Test method

- 1) Operate the system at the nominal electrical power output for more than 30 min before starting the test.
- 2) For systems including batteries, operate the system at the rated power output for more than 30 min and until a known nominal state of charge is reached before starting the test.
- 3) Start the test while keeping the system operating at the nominal electrical power output. If such an operation is specified by manufacturer, repeat the tests at partial load, 50 % and 75 % of nominal output, and/or minimum output.
- 4) Measure the mass of the fuel tank or of the entire system, including the fuel tank, at the start.
- 5) Continue the test for a minimum of 3 h. If fuel is to be supplied intermittently, the total test duration shall be 20 times the duration of the fuel supply or 3 h, whichever is longer.
- 6) Measure the mass of the fuel tank or of the entire system, including the fuel tank, at the end of the test.

11.2.3 Calculation of average methanol fuel power input

Total methanol fuel input energy over the test duration, E_{inf} in kJ, shall be calculated by the following formula:

$$E_{inf} = (A - B) \times H_{fl} \times W_B \quad (8)$$

where

E_{inf} is the total fuel input energy (kJ);

- A is the mass at the start of test (kg);
 B is the mass at the end of test (kg);
 H_{fl} is the heating value of methanol (kJ/kg);
 W_B is the mass fraction of methanol.

Average fuel power input, Q_{inf} in kJ/s, shall be calculated as follows:

$$Q_{inf} = \frac{E_{inf}}{\Delta_t} \quad (9)$$

where

- Q_{inf} is the average fuel power input (kJ/s);
 E_{inf} is the total fuel input energy (kJ);
 Δ_t is the test duration (s).

NOTE In general, fuel input energy and heat values are based on the low heating value (LHV).

12 Electrical power output test

12.1 General

This test is for measuring the average electrical output at the rated power output. If operation at partial loads of 50 %, of 75 % and/or the minimum electrical power output are specified by the manufacturer, these operating points shall be measured as well.

This test shall be carried out concurrently with the fuel consumption test in Clause 11.

12.2 Test method

- 1) Operate the system at the nominal electrical power output for more than 30 min before starting the test.
- 2) For systems including batteries, operate the system at the rated power output for more than 30 min and until a known nominal state of charge is reached before starting the test.
- 3) Start the test while keeping the system operating at the nominal electrical power output. If such an operation is specified by manufacturer, repeat the test at partial loads of 50 % and of 75 % of the nominal output, and/or the minimum output.
- 4) Measure the electrical energy output during the test period. The test shall be conducted for at least 3 h. If fuel is to be supplied intermittently, the total test duration shall be 20 times the duration of the fuel supply or 3 h, whichever is longer.

12.3 Calculation of average electrical power output

The average electrical power output shall be calculated with the following formula:

$$P_n = \frac{W_{out}}{\Delta_t} \cdot 3600 \quad (10)$$

where

- P_n is the average electrical power output (kW);
 W_{out} is the electrical energy output during the test period (kWh);
 Δ_t is the test duration (s).

12.4 Computation of electrical efficiency

Electrical efficiency is computed on the basis of calculated values given in Clauses 11 and 12.

Electrical efficiency, η_e in %, shall be calculated with the following formula:

$$\eta_e = \frac{P_n}{Q_{inf}} \times 100 \quad (11)$$

where

η_e is the electrical efficiency (%);

P_n is the average electric power output (kW) (refer to 12.3);

Q_{inf} is the average fuel power input (kJ/s) (refer to 11.1.3.2 and 11.2.3).

13 Type tests on operational performance

13.1 Cold start maximum power output test

13.1.1 General

The purpose of this test is to determine the fuel cell's ability to maintain the maximum electrical power load immediately after start-up. One scenario will be tested on the fuel cell after it has been in a pre-generation state for a period of time. Another scenario will be tested after running at nominal load for a period of time, powering down the fuel cell, then powering up the fuel cell with the maximum continuous load connected.

13.1.2 Test method

- 1) To condition the system prior to the test, operate the system at the nominal electrical power output for more than 30 min before starting the test.
- 2) The fuel cell system shall be powered down and cooled down to the ambient temperature. Connect the maximum rated electrical load, specified by manufacturer, to fuel cell system. Power on the fuel cell system as per the manufacturer's recommendations.
- 3) Operate the system at the maximum electrical power output for the manufacturer's specified time or for 1 h (whichever is shorter). Power down the fuel cell system completely as per the manufacturer's specifications. Connect the maximum rated electrical load to fuel cell system specified by the manufacturer. Within 2 min, power up the fuel cell system as per the manufacturer's recommendations.

13.1.3 Processing of data

When powering up the fuel cell system with loads, if the system disconnects power to the load, the time duration that the load is without power shall be recorded. If any warning lights on the system, such as a low-battery indicator illuminate, these shall also be recorded in the report.

13.2 Power cycling electrical load test

13.2.1 General

The purpose of this test is to stress the fuel cell system by cycling an electrical load connected to the system in a similar manner to how the load in an electric industrial truck shall vary.

13.2.2 Test method

- 1) Operate the system at the nominal electrical power output for more than 30 min before starting the test.
- 2) Operate the system at the nominal electrical power output for 15 min, then operate the system at the maximum electrical power specified by manufacturer for 15 min. Repeat this

cycle for 8 h. If the fuel cell system disconnects power to the load during this cycling and when the system reconnects to the load shall be recorded in the report.

13.2.3 Processing of data

When the fuel cell system is being cycled, if the system disconnects power to the load, or if any warning lights on the system, such as a low-battery indicator illuminate, these shall be recorded in the report. The time of the event shall be recorded, as well as the duration of the event.

13.3 Accessory load voltage spike test

13.3.1 General

The purpose of this test is to determine if the fuel cell system clamps inductive spikes caused by using a contactor to power external loads.

13.3.2 Test method

- 1) Connect the inductive load to a fuel cell system (such as a fan).
- 2) Spikes shall be measured at the electrical power output where the customer's cable connects to the system output.
- 3) Power up the fuel cell system as per the manufacturer's recommendation. Record the fuel cell's system electrical voltage. Voltage spikes greater than + 5 % of the fuel cell's power system's nominal voltage are unacceptable. Voltage spikes greater than 2 V below 0 V are unacceptable. The duration of the spikes shall also be recorded in the report.

13.3.3 Data processing

- 1) The inductive load used shall be recorded in the report. The load shall be lower than the manufacturer's specifications.
- 2) When powering up the fuel cell system with a load, voltage spikes greater than 2 V above the fuel cell's nominal voltage or spikes greater than 2 V below 0 V shall be recorded in the report. The voltage spike magnitude and the duration shall also be recorded in the report.

14 Power stability under the operation

14.1 General

The purpose of this test is to determine the stability of the power output of the fuel cell's power system when driving the truck in a real-life situation.

14.2 Power delivered

The truck manufacturer shall specify the current and voltage delivery requirements of the industrial truck at various intervals as necessary in order to maintain acceptable truck performance.

The fuel cell power system shall be operated at rated power output for 30 min for warming-up, and the battery shall be checked to have reached target SOC state before starting the test

The truck shall be operating at the intervals TD_1 , TD_2 , TD_3 with the times given in column ID_{min} and with no-load (zero current) conditions. Additional intervals shall be added by the manufacturer. These are not a definition of the truck's application requirements; they define the requirements of the truck's control system.

The values requested in Table 3 shall be recorded during the operation of the truck.

Table 3 – Power delivered measurements

Intervals	ID_{min} (A)	VD_{max} (V)	VD_{min} (V)
TD ₁	Rated current at 5 s stated by the fuel cell manufacturer		
TD ₂	Rated current at 30 s stated by the fuel cell manufacturer		
TD ₃	Rated current at 1 h stated by the fuel cell manufacturer		
TD ₀	0		

14.3 Power absorbed

The truck manufacturer shall specify the current and voltage absorption requirements of the industrial truck at various time durations as necessary in order to maintain acceptable truck performance.

Warm-up the fuel cell power system shall be made prior to the test. The test shall be started at the target SOC on electrical storage device

The truck shall be operating at the intervals TA₁, and TA₂ with the times given in column IA_{min}. Additional intervals shall be added by the truck manufacturer. These are not a definition of the truck's application requirements; they define the requirements of the truck's control system.

The values requested in Table 4 shall be recorded during the operation of the truck.

Table 4 – Power absorbed measurements

Intervals	IA_{min} (A)	VA_{max} (V)	VA_{min} (V)
TA ₁	Rated current at 5 s stated by the truck manufacturer		
TA ₂	Rated current at 30 s stated by the truck manufacturer		

Battery condition (state of charge and temperature upon measurement) shall be recorded.

15 Type tests on environmental performance

15.1 General

The type tests on environmental performance include:

- noise test (15.2); and
- exhaust gas test (15.3).

15.2 Noise test

15.2.1 General

This test is conducted to measure the level of noise generated from the system with the apparatus for measuring listed in 9.2 d) at each operation phase from start-up, the rated power output, the minimum electrical power output (if such operation is specified by the manufacturer and desired by the user), up until shutdown. The rated power output is specified by the manufacturer.

15.2.2 Test conditions

15.2.2.1 Reference planes

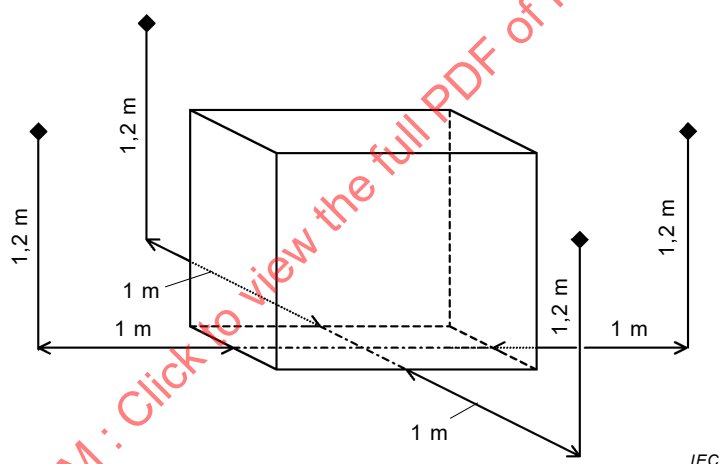
The reference planes shall be set at 1 m away from the four sides (front, back, left, and right) of the fuel cell power system. If this is not feasible, they shall be set at 50 cm away, and the test report shall expressly state this.

Any protrusions or projections on the fuel cell power system surfaces shall be ignored if they are deemed to have no significant effects on the surface noise, and the power system surfaces are conceptually simplified in accordance with ISO 6798.

15.2.2.2 Measurement points

Measurements shall be taken at four points, namely in two directions on the front-back centre line, and two directions on the right-left centre line of the fuel cell power system. The measurement points shall be located on the reference plane at a height of 1,2 m from the bottom of the power system (see Figure 4).

The sound level meter microphone shall be perpendicularly oriented with respect to the reference planes.



Key

- ◆ Measurement points

Figure 4 – Noise measurement points for fuel cell power systems

15.2.2.3 Effect of background noise

It is desirable to have a difference of 10 dB or more in the noise meter readings between when there is noise to be measured and when there is no noise. If the difference in readings is 3 dB or more but less than 10 dB, the readings can be adjusted according to Table 5 to estimate the noise level when the fuel cell power system is the only noise source.

Table 5 – Compensation of readings against the effect of background noise

Unit dB

Difference in readings with and without the subject noise (dB)							
	3	4	5	6	7	8	9
Compensation value (dB)	–3	–2		–1			

15.2.2.4 Effect of sound reflection

When there is a large reflecting body near the microphones or the sound source, measurement errors will occur as sounds reflected from the reflecting body add to the sound from the source. Before taking measurements, it is desirable to remove, to the greatest extent possible, any objects that reflect sounds. If that is not possible under the measurement conditions, state this in the test report.

15.2.3 Test method

- 1) Measure the background noise level with the system to be measured in the cold state.
- 2) Start up the system from its cold state or storage state.
- 3) Raise the output to the rated power output, and wait until at least 30 min passes after reaching rated power output. Continue to operate the system at the rated power output for another 1 h or more.
- 4) If a minimum electrical power output operation is specified by the manufacturer and measurement is desired by the user, set the system to minimum electrical power output and wait until at least 30 min afterwards. Continue to operate the system at the rated power output for another 1 h or more.
- 5) Shut down the system.
- 6) Measure the noise level from start-up to shutdown. The frequency of measurement shall be 1 s intervals. Readings shall be rounded off to the nearest whole number (e.g. 45,7 becomes 46).
- 7) Measure the background noise level after shutdown is complete and verify that they do not deviate from each other.

15.2.4 Processing of data

- 1) The effect of background noise shall be corrected as explained in 15.2.2.3.
- 2) The following shall be reported as representative noise level values:
 - the maximum noise level throughout all operation phases and the operation phase in which the maximum value was generated;
 - the mean value of noise levels for 1 h of operation at rated power.

15.3 Exhaust gas test**15.3.1 General**

The exhaust gas test applies only to direct methanol fuel cells. This test is for measuring the volume fraction of each component in the exhaust gas from the direct methanol fuel cell power system. It is used to calculate the following values during start-up time, the rated electrical output power phase and shutdown time:

- the mass concentrations of CO and THC (g/m³) (15.3.4.3);
- the masses of CO and THC per unit energy of fuel input (g/kW·h) (15.3.4.4).

15.3.2 Components to be measured

The components and values to be measured shall be as follows:

- carbon monoxide (CO);
- total hydrocarbons (THC);
- oxygen (O₂).

15.3.3 Test method

- a) Use care when putting the sampling probe(s) entirely into the exhaust stream. Ensure that the sampling probe(s) do not block the exhaust duct. The probe(s) shall be placed close to the exhaust gas outlet of the fuel cell power system, either inside of the exhaust gas evacuation duct for closed exhaust ventilation systems, or directly at the outlet of the exhaust gas for open exhaust ventilation systems. If the exhaust ducting is large in size, take readings at the centre of the exhaust duct and at representative points in a grid across the exhaust duct and average the readings.
- b) For open exhaust gas ventilation systems, use care to place the probe(s) in way that prevents the mixing of the sample gas with ambient air.
- c) During measurements, ensure that condensation on the temperature sensor is avoided. Condensation on the sensor will invalidate the readings.
- d) Start up the system from its cold state or storage state and wait until the rated electrical output power is reached. Wait until at least another 30 min passes after reaching the rated electrical output power.
- e) Continue to operate the system at the rated electrical output power for another 3 h or more, then shut down the system.
- f) Measure the volume fraction of each component in the exhaust gas (in vol % or ml/m³), fuel flow (in volume or mass flow), fuel pressure and temperature, room temperature and humidity from start-up to shutdown. The frequency of data collection shall be 15 s or less.

15.3.4 Processing of data

15.3.4.1 General

The corrected volume fraction at dry and air-free condition (15.3.4.2) shall be used in the following calculations:

- the mass concentrations of CO and THC (g/m³) (15.3.4.3);
- the masses of CO and THC per unit energy of input fuel (g/kW·h) (15.3.4.4).

The calculated values which shall be reported are indicated in 15.3.4.5 and 15.3.4.6.

15.3.4.2 Correction to volume fraction at dry and air-free condition

The measured volume fraction of each component (in ml/m³) in the exhaust gas shall be corrected to the volume fraction at dry and air-free condition with the following equation using the measured O₂ volume fraction in dry exhaust gas:

$$\varphi_{B,corr} = \varphi_{B,meas} \cdot \frac{\varphi_{at,O_2}}{\varphi_{at,O_2} - \varphi_{ex,O_2}} \quad (12)$$

where

- $\varphi_{B,corr}$ is the corrected volume fraction of each component (vol % or ml/m³);
- $\varphi_{B,meas}$ is the measured volume fraction of each component (vol % or ml/m³);
- $\varphi_{at,(O_2)}$ is the measured O₂ volume fraction in atmosphere at air inlet in dry state (vol %, in case of fresh air, $\varphi_{at,(O_2)} \approx 21$ %);
- $\varphi_{ex,(O_2)}$ is measured O₂ volume fraction in dry exhaust gas (vol %).

15.3.4.3 Mass concentration of each component

15.3.4.3.1 CO mass concentration

The CO mass concentration shall be calculated with the following equation:

$$\gamma_{\text{ex,CO}} = \varphi_{\text{ex,CO),corr}} \times 1,252 \quad (13)$$

where

- $\gamma_{\text{ex(CO)}}$ is the CO mass concentration in dry exhaust gas (mg/m³);
- $\varphi_{\text{ex(CO),corr}}$ is the corrected CO volume fraction in dry exhaust gas (ml/m³);
- 1,252 is the value for the CO density (kg/m³).

15.3.4.3.2 THC mass concentration

The THC mass concentration shall be calculated with the following equation:

$$\gamma_{\text{ex(THC)}} = \varphi_{\text{ex(THC),corr}} \times (0,537 + \alpha_{\text{THC}} \times 0,045) \quad (14)$$

where

- $\gamma_{\text{ex(THC)}}$ is the THC mass concentration in dry exhaust gas (mg/m³);
- $\varphi_{\text{ex(THC),corr}}$ is the corrected THC volume fraction in dry exhaust gas (ml/m³, C equivalent);
- α_{THC} is the hydrogen to carbon atom ratio of the THC in the exhaust gas;
- 0,537 is C atomic weight divided by molar volume at standard condition (kg/m³);
- 0,045 is H atomic weight divided by molar volume at standard condition (kg/m³).

NOTE The standard condition is 0 °C and 101,325 kPa (1 atm).

15.3.4.4 Mass of each component per unit energy of input fuel

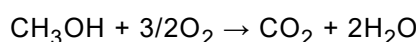
15.3.4.4.1 Mass of CO per unit energy of input fuel

The mass of CO emission per unit energy of input fuel (mg/kW·h) shall be calculated with the following equation:

$$\varepsilon_{\text{CO}} = \varphi_{\text{ex(CO),corr}} \times \left(\frac{22,4 \times 10^{-3}}{H_{f0}} \right) \times 1,252 \times 3\,600 \quad (15)$$

where

- ε_{CO} is the mass of CO emission per unit energy of input fuel (mg/kW·h);
- $\varphi_{\text{ex(CO),corr}}$ is the corrected CO volume fraction in dry exhaust gas (ml/m³);
- H_{f0} is the molar heating value of methanol (kJ/mol);
- $22,4 \times 10^{-3}$ is the theoretical dry exhaust gas volume (CO₂) per 1 mol of methanol input according to the following reaction (m³/mol);



- 1,252 is the value for the CO density (kg/m³);
- 3 600 is the conversion factor of kJ into kW·h.

15.3.4.4.2 Mass of THC per unit energy of input fuel

The mass of THC emissions per unit energy of input fuel (mg/kW·h) shall be calculated with the following equation:

$$\varepsilon_{\text{THC}} = \varphi_{\text{ex,THC,corr}} \times \left(\frac{22,4 \times 10^{-3}}{H_{f0}} \right) \times (0,537 + \alpha_{\text{THC}} \times 0,045) \times 3\,600 \quad (16)$$

where

- ε_{THC} is the mass of THC per unit energy of fuel input (mg/kW·h);
- $\varphi_{\text{ex(THC),corr}}$ is the corrected THC volume fraction in dry exhaust gas (ml/m³);
- H_{f0} is the molar heating value of methanol (kJ/mol);
- α_{THC} is the hydrogen to carbon atom ratio of the THC in the exhaust gas.

15.3.4.5 Averaging the data

The mean mass concentration and the mean mass per unit input fuel energy for each measured harmful component during the rated power output operation (for 1 h starting from 30 min after the rated power output is reached) shall be calculated by averaging the mass concentration and the mass per unit input fuel energy respectively.

The mean mass concentration and the mean mass per unit of input fuel energy shall be recorded with annex notes that include average electrical power output, average room temperature, and average humidity.

15.3.4.6 Averaging the temperature of exhaust gas

The average exhaust gas temperature measured at the rated power output shall be recorded.

15.4 Discharge water test

15.4.1 General

This test is for measuring the quality of discharge water from the fuel cell power systems throughout all phases of operation from start-up, rated power output to shutdown. The rated power output is specified by the manufacturer.

15.4.2 Test method

- 1) After installing a device for collecting the discharge water, start the fuel cell power system.
- 2) The discharge water shall be collected and pooled together from start-up to shutdown through the rated power output for 3,5 h, or one hydrogen tank content, whichever comes first.
- 3) Measure the following items:
 - total amount of discharge water (time duration of operation shall be recorded);
 - temperature of discharge water;
 - pH;
 - biochemical oxygen demand (BOD) when necessary;
 - chemical oxygen demand (COD) when necessary.

It is recommended to refer to ISO 10523 for pH measurement, ISO 5815 for BOD measurement, and ISO 6060 for COD measurement.

16 Test reports

16.1 General

Test reports shall accurately, clearly, and objectively present sufficient information to demonstrate that all the objectives of the tests have been attained. Minimum requirement for the test report shall be a title page, a table of contents and a summary report. For fuel cell systems

tested in compliance with this part of IEC 62282-4, the summary report shall be made available to interested parties.

More information obtained under Clauses 11 and 12 can be provided with a detailed report and/or a full report for internal purpose. Guidelines for the contents of the detailed report and the full report are given in Annex B.

16.2 Title page

The title page shall present the following information:

- a) report identification number (optional);
- b) type of report (summary, detailed, or full);
- c) authors of the report;
- d) entity conducting the tests;
- e) date of report;
- f) location of the tests;
- g) titles of the tests;
- h) date and time of the tests;
- i) fuel cell power system identification code and the manufacturer's name.

16.3 Table of contents

The table of contents shall present the titles of chapters, clauses, subclauses, etc. in the report with the page numbers in an orderly sequence.

16.4 Summary report

The summary report shall include the following information:

- 1) objective of the test;
- 2) description of the test, equipment, and instruments;
- 3) all test results;
- 4) confidence for each test result;
- 5) conclusions as appropriate;
- 6) discussion of the tests and their results (i.e., comments and observations);
- 7) results of fuel analyses.

Annex A

(informative)

Heating values for hydrogen and methanol at reference conditions

Table A.1 – Heating values for hydrogen and methanol at reference conditions

	Component	Lower heating value on a molar basis kJ/mol	Higher heating value on a molar basis kJ/mol	Lower heating value on a mass basis MJ/kg	Higher heating value on a mass basis MJ/kg
1	Hydrogen	241,72	286,15	119,91	141,95
2	Methanol	676,22	765,09	21,1	23,88
NOTE These values were extracted from Table 3 and Table 4 of ISO 6976:1995 /Cor3:1999.					

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-102:2017

Annex B (informative)

Guidelines for the contents of detailed and full reports

B.1 General

It is recommended that the detailed report and/or the full report are created to record sufficient information to demonstrate that all the objectives of the tests have been attained.

Each type of report shall add the title page and the table of contents, and the title page shall contain the same information as that described in 16.2.

B.2 Detailed report

The detailed report shall include the following information in addition to the information contained in the summary report:

- 1) type, specifications, and operating configuration of the fuel cell power system and the process flow diagram showing the test boundary;
- 2) description of the arrangements, location, and operating conditions of the equipment and instruments;
- 3) calibration results of instruments;
- 4) reference to the calculation method;
- 5) tabular and graphical presentation of the results.

NOTE The detailed discussion of uncertainty analysis can be found in Annex A of IEC 62282-3-200.

B.3 Full report

The full report shall include the following information in addition to the information contained in the detailed report:

- 1) copies of original data sheets;
- 2) original data sheets shall include the following information in addition to the measurement data:
 - date and time of the test run;
 - model and serial number and measurement accuracy of instruments used for the test;
 - ambient test conditions;
 - name and qualifications of person(s) conducting the test;
 - full and detailed uncertainty analysis.

Bibliography

IEC/TS 62282-1, *Fuel cell technologies – Part 1: Terminology*

IEC 62282-3-200, *Fuel cell technologies – Part 3-200: Stationary fuel cell power systems – Performance test methods*

IEC 62282-4-101, *Fuel cell technologies – Part 4-101: Fuel cell power systems for propulsion other than road vehicles and auxiliary power units (APU) – Safety of electrically powered industrial trucks*

ISO 5815 (all parts), *Water quality – Determination of biochemical oxygen demand after n days (BOD_n)*

ISO 6060, *Water quality – Determination of the chemical oxygen demand*

ISO 6798, *Reciprocating internal combustion engines – Measurement of emitted airborne noise – Engineering method and survey method*

ISO 6976, *Natural gas – Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition*

ISO 10523, *Water quality – Determination of pH*

ASTMD-1152/97, *Specification for methanol*

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-102:2017

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-102:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	39
INTRODUCTION	41
1 Domaine d'application	42
2 Références normatives	42
3 Termes et définitions	43
4 Symboles	46
5 Conditions de référence	48
6 Base du pouvoir calorifique	48
7 Préparation aux essais	49
7.1 Généralités	49
7.2 Plan d'acquisition des données	49
8 Montage d'essai	49
9 Appareils de mesure et méthodes de mesure	51
9.1 Généralités	51
9.2 Appareils de mesure	51
9.3 Points de mesure	52
9.4 Incertitudes de mesure systématiques minimales exigées	53
10 Conditions d'essai	53
10.1 Conditions de laboratoire	53
10.2 Conditions d'installation et de fonctionnement du système	53
10.3 Indication de l'état des batteries	53
10.4 Qualité du combustible d'essai	54
10.4.1 Hydrogène	54
10.4.2 Solution de méthanol	54
11 Essai de consommation de combustible	54
11.1 Essai de consommation du combustible hydrogène	54
11.1.1 Généralités	54
11.1.2 Méthode d'essai	54
11.1.3 Calcul des résultats	54
11.2 Essai de consommation du combustible méthanol	56
11.2.1 Généralités	56
11.2.2 Méthode d'essai	56
11.2.3 Calcul de la puissance moyenne du combustible méthanol en entrée	57
12 Essai de puissance électrique de sortie	57
12.1 Généralités	57
12.2 Méthode d'essai	58
12.3 Calcul de la puissance électrique moyenne de sortie	58
12.4 Calcul du rendement électrique	58
13 Essais de type sur les performances opérationnelles	58
13.1 Essai de puissance de sortie maximale au démarrage à froid	58
13.1.1 Généralités	58
13.1.2 Méthode d'essai	59
13.1.3 Traitement des données	59
13.2 Essai de cycle de charge électrique d'alimentation	59

13.2.1	Généralités	59
13.2.2	Méthode d'essai	59
13.2.3	Traitement des données	59
13.3	Essai de pointe de tension des charges accessoires	59
13.3.1	Généralités	59
13.3.2	Méthode d'essai	59
13.3.3	Traitement des données	60
14	Stabilité de puissance pendant le fonctionnement	60
14.1	Généralités	60
14.2	Puissance délivrée	60
14.3	Puissance absorbée	61
15	Essais de type sur les performances environnementales	61
15.1	Généralités	61
15.2	Essai de bruit	61
15.2.1	Généralités	61
15.2.2	Conditions d'essai	61
15.2.3	Méthode d'essai	62
15.2.4	Traitement des données	63
15.3	Essai de gaz d'échappement	63
15.3.1	Généralités	63
15.3.2	Composants à mesurer	63
15.3.3	Méthode d'essai	63
15.3.4	Traitement des données	64
15.4	Essai d'eau d'écoulement	66
15.4.1	Généralités	66
15.4.2	Méthode d'essai	66
16	Rapports d'essai	67
16.1	Généralités	67
16.2	Page de titre	67
16.3	Sommaire	67
16.4	Rapport résumé	67
Annexe A (informative)	Pouvoirs calorifiques de l'hydrogène et du méthanol aux conditions de référence	68
Annexe B (informative)	Lignes directrices sur le contenu des rapports détaillé et complet	69
B.1	Généralités	69
B.2	Rapport détaillé	69
B.3	Rapport complet	69
Bibliographie		70
Figure 1	– Systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques	45
Figure 2	– Exemple de montage d'essai pour combustible hydrogène	50
Figure 3	– Exemple de montage d'essai pour combustible méthanol	51
Figure 4	– Points de mesure du bruit pour systèmes à piles à combustible	62
Tableau 1	– Symboles et signification correspondante pour les performances électriques/thermiques	47

Tableau 2 – Symboles et signification correspondante pour les performances environnementales.....	48
Tableau 3 – Mesurages de la puissance délivrée	60
Tableau 4 – Mesurages de la puissance absorbée.....	61
Tableau 5 – Correction des valeurs lues par rapport à l'effet du bruit de fond	62
Tableau A.1 – Pouvoirs calorifiques de l'hydrogène et du méthanol aux conditions de référence	68

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-102:2017

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

Partie 4-102: Systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques – Méthodes d'essai des performances

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. À 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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62282-4-102 a été établie par le comité d'études 105 de l'IEC: Technologies des piles à combustible.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
105/635/FDIS	105/642/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62282, publiées sous le titre général *Technologies des piles à combustible*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. À cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-102:2017

INTRODUCTION

La présente partie de l'IEC 62282-4 fournit des méthodes d'essai cohérentes et reproductibles pour les performances électriques/thermiques et environnementales des systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques.

La série IEC 62282-4 traite d'aspects tels que la sécurité, les performances et l'interchangeabilité des systèmes à piles à combustible utilisés pour la propulsion autres que les véhicules routiers et les groupes auxiliaires de puissance (GAP). Parmi les catégories mentionnées ci-dessus, le présent document (IEC 62282-4-102) porte sur les systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques car de telles applications font l'objet d'une très forte demande au niveau mondial.

La présente partie de l'IEC 62282-4 ne décrit que les essais de type et leurs méthodes d'essai. Elle ne spécifie aucune exigence pour les essais individuels de série et n'établit aucun objectif de performance.

Les piles à combustible utilisées sur les chariots de manutention électriques tels que les chariots élévateurs à fourche sont hybrides et fonctionnent par conséquent dans plusieurs modes différents. De même, les chariots élévateurs à fourche fonctionnent dans plusieurs modes différents. Le présent document a pour objet d'évaluer le système à piles à combustible dans les différentes combinaisons de modes de fonctionnement des piles à combustible et des chariots élévateurs à fourche. Le présent document décompose ces différents modes et propose un cadre de conception et d'évaluation d'un système à piles à combustible destiné spécifiquement aux chariots élévateurs à fourche.

La présente partie de l'IEC 62282-4 doit être utilisée par les fabricants de systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques et/ou par les responsables chargés de l'évaluation des performances de leurs systèmes à des fins de certification.

Les utilisateurs du présent document exécutent de manière sélective, parmi les éléments d'essai décrits dans le présent document, ceux qui sont adaptés à leurs objectifs. Le présent document n'a pas pour objet d'exclure toute autre méthode d'essai.

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

Partie 4-102: Systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques – Méthodes d'essai des performances

1 Domaine d'application

Le présent document concerne les méthodes d'essai des performances des systèmes à piles à combustible destinés à être utilisés sur des chariots de manutention électriques.

Le domaine d'application du présent document se limite aux chariots de manutention électriques. Les chariots hybrides qui comportent un moteur à combustion interne ne relèvent pas du domaine d'application. Le domaine d'application de la présente norme couvre les matériels de manutention, par exemple les chariots élévateurs à fourche.

Le présent document s'applique aux systèmes à piles à combustible utilisant de l'hydrogène gazeux et à ceux utilisant du méthanol direct pour les chariots de manutention électriques. Les combustibles suivants relèvent du domaine d'application de la présente norme:

- hydrogène gazeux, et
- méthanol

Le présent document ne s'applique pas aux systèmes à piles à combustible équipés de reformeurs.

Le présent document concerne les systèmes à piles à combustible dont le conteneur de source de combustible est fixé à demeure, soit au chariot de manutention, soit au système à piles à combustible. Un conteneur de source de combustible de type amovible n'est pas autorisé.

Le présent document s'applique aux systèmes à piles à combustible de type à courant continu, d'une tension de sortie assignée maximale de 150 V en courant continu pour utilisation à l'intérieur et à l'extérieur.

Les systèmes à piles à combustible prévus pour être utilisés dans des atmosphères explosibles sont exclus du domaine d'application du présent document.

Le présent document ne concerne pas les systèmes de stockage de combustible utilisant de l'hydrogène liquide.

Le présent document s'applique à tous les systèmes équipés de systèmes de stockage d'énergie intégrés. Ces derniers comprennent des systèmes, par exemple des batteries pour recharge interne ou rechargés par une source externe.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte 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 61672-1, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 1: Spécifications*

IEC 62282-3-201, *Technologies des piles à combustible – Partie 3-201: Systèmes à piles à combustible stationnaires – Méthodes d'essai des performances pour petits systèmes à piles à combustible*

IEC 62282-6-300, *Technologies des piles à combustible – Partie 6-300: Systèmes à micro-piles à combustible – Interchangeabilité de la cartouche de combustible*

ISO 9000, *Systèmes de management de la qualité – Principes essentiels et vocabulaire*

ISO 14687-2, *Carburant hydrogène – Spécification de produit – Partie 2: applications des piles à combustible à membrane d'échange de protons (MEP) pour les véhicules routiers*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

3.1

niveau de bruit

niveau de pression acoustique produit par le système à piles à combustible mesuré à une distance spécifiée et dans tous les modes de fonctionnement

Note 1 à l'article: Exprimé en décibels (dB) et mesuré comme décrit en 15.2.

3.2

niveau de bruit de fond

niveau de pression acoustique d'un bruit ambiant au point de mesure

Note 1 à l'article: Ce mesurage est effectué comme décrit en 15.2 avec le système à piles à combustible à l'état froid.

3.3

batterie

dispositif électrochimique de stockage de l'énergie qui fournit l'énergie d'entrée nécessaire pour traiter des charges parasites et/ou l'énergie électrique produite

Note 1 à l'article: Les batteries de sauvegarde pour la mémoire des logiciels de contrôle et des applications similaires ne sont pas incluses.

3.4

état froid

état d'un système à piles à combustible, à la température ambiante, lorsqu'il ne reçoit pas d'énergie ou qu'il n'en produit pas

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 3.110.1]

3.5

taux de rejet

débit massique de composant de gaz d'échappement rejeté par unité de temps

3.6

eau d'écoulement

eau qui s'écoule du système à piles à combustible, y compris l'eau résiduelle et le condensat

Note 1 à l'article: L'eau d'écoulement ne fait pas partie du système de récupération de la chaleur.

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 2.2, modifiée – Note 1 à l'article ajoutée.]

3.7

rendement électrique du système à piles à combustible

rapport de la puissance électrique de sortie moyenne d'un système à piles à combustible sur une durée donnée et de la puissance moyenne du combustible fournie au même système à piles à combustible sur la même durée

3.8

système à piles à combustible

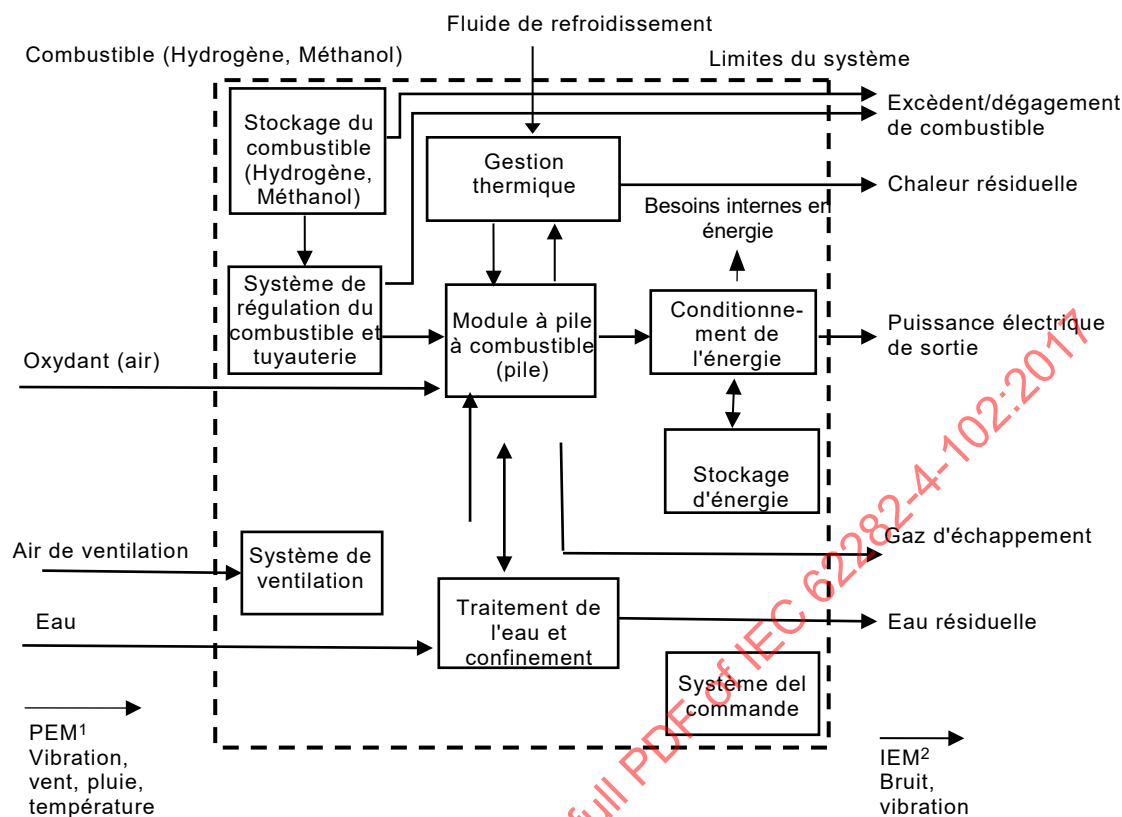
système générateur qui utilise un ou plusieurs modules à piles à combustible pour produire de l'énergie électrique et de la chaleur

Note 1 à l'article: La Figure 1 présente un schéma de principe d'un système à piles à combustible.

Note 2 à l'article: Un système à piles à combustible peut comporter tous les éléments représentés à la Figure 1 ou certains d'entre eux. Le système à piles à combustible destiné à être utilisé avec des chariots de manutention est représenté sous l'une des formes indiquées en 3.9 et en 3.10 de l'IEC 62282-4-101.

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 3.49, modifiée – Une nouvelle Note 1 à l'article a été ajoutée et modifiée, la Note 1 à l'article existante a été transformée en Note 2 à l'article avec l'ajout de la seconde phrase.]

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-4-102:2017



IEC

Légende



Système à piles à combustible composé de sous-systèmes. L'interface est définie comme étant une interface conceptuelle ou fonctionnelle, plutôt qu'un élément matériel comme une centrale énergétique.



Sous-systèmes; module à piles à combustible, système de traitement de combustible, etc. Ces configurations de sous-systèmes dépendent du type de combustible, du type de pile à combustible ou de système.



Points d'interface de la limite à mesurer pour obtenir les données calculées

¹ PEM perturbations électromagnétiques

² IEM interférences (brouillage) électromagnétiques

Figure 1 – Systèmes à piles à combustible pour chariots de manutention électriques

3.9 entrée de combustible

quantité d'hydrogène ou de méthanol fournie au système à piles à combustible

3.10 consommation de la puissance du combustible

quantité d'énergie par unité de temps contenue dans le combustible, consommée par le système à piles à combustible

3.11 consommation de combustible

volume ou masse de combustible consommé(e) par le système à piles à combustible dans des conditions de fonctionnement spécifiées

3.12

puissance électrique minimale en sortie

puissance électrique minimale, à laquelle le système à piles à combustible est capable de fonctionner de façon continue et stable

3.13

puissance assignée

puissance de sortie électrique continue maximale, dans les conditions normales de fonctionnement spécifiées par le fabricant, pour laquelle un système à piles à combustible (3.8) est dimensionné

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 3.85.4, modifiée – Note 1 à l'article supprimée]

3.14

charge auxiliaire

puissance consommée par les machines et équipements auxiliaires, tels que des organes auxiliaires (BOP – balance of plant) nécessaires pour faire fonctionner un système à piles à combustible

3.15

état de stockage

état d'un système à piles à combustible qui n'est pas en fonctionnement et qui peut impliquer, sous certaines conditions spécifiées par le fabricant, un apport d'énergie thermique ou électrique pour éviter la dégradation des composants et/ou pour alimenter en énergie les systèmes de commande et d'autres composants, et qui est prêt pour le démarrage

[SOURCE: IEC/TS 62282-1:2013, 3.110.6, modifiée – La notion d'une atmosphère inerte a été supprimée, "et/ou pour alimenter en énergie les systèmes de commande et d'autres composants, et qui est prêt pour le démarrage" a été ajoutée.]

3.16

durée d'essai

laps de temps au cours duquel les points de données exigés pour le calcul des résultats d'essai sont enregistrés

4 Symboles

Les symboles utilisés dans la présente partie de l'IEC 62282-4 sont indiqués dans le Tableau 1 pour les performances électriques/thermiques et dans le Tableau 2 pour les performances environnementales avec leur signification et les unités appropriées.

**Tableau 1 – Symboles et signification correspondante
pour les performances électriques/thermiques**

Symbole	Définition	Unité
M, m	Masse molaire, masse	
M_{mf}	Masse molaire du combustible	g/mol
p	Pression	
p_0	Pression de référence (101,325 kPa(abs))	kPa(abs)
p_f	Pression moyenne du combustible	kPa(abs)
P, dP	Puissance, taux de variation de puissance	
P_n	Puissance électrique nette moyenne en sortie	kW
P_{inf}	Puissance moyenne du combustible en entrée	kJ/s
E	Energie d'entrée	
E_{fm}	Energie d'entrée du combustible (par unité de masse et de volume)	kJ/kg
E_{inf}	Energie d'entrée totale du combustible	kJ
q_m	Débit massique	
q_{mf}	Débit massique moyen de combustible	kg/s
q_v	Débit volumétrique	
q_{vf}	Débit volumétrique moyen de combustible dans les conditions d'essai	l/min
q_{vf0}	Débit volumétrique moyen de combustible dans les conditions de référence	l/min
H	Pouvoir calorifique	
H_{f0}	Pouvoir calorifique du combustible sur une base molaire dans les conditions de référence	kJ/mol
t	Temps	
Δt	Durée d'essai	s
T	Température	
T_0	Température de référence (273,15 K)	K
T_f	Température moyenne du combustible	K
ΔT	Différence de température entre la sortie et l'entrée de fluide d'énergie thermique récupérée	K
V	Volume, volume molaire	
V_{m0}	Volume molaire de référence de gaz parfait (22,414 l/mol) (à la température de référence $T_0 = 273,15$ K et à la pression $p_0 = 101,325$ kPa)	m ³ /mol
W	Énergie électrique	
W_{out}	Énergie électrique de sortie	kW·h
η	Rendement	
η_e	Rendement électrique	%
η_{th}	Rendement de l'énergie thermique récupérable	%
η_{total}	Rendement énergétique global	%

**Tableau 2 – Symboles et signification correspondante
pour les performances environnementales**

Symbole	Définition	Unité
Φ	Fraction volumique	
$\varphi_{B, meas}$	Fraction volumique mesurée de chaque composant	vol % ou ml/m ³
$\varphi_{B, corr}$	Fraction volumique corrigée de chaque composant	vol % ou ml/m ³
$\varphi_{at(O_2)}$	Fraction volumique en O ₂ (oxygène) mesurée dans l'atmosphère à l'entrée d'air sec	vol %,
$\Phi_{ex(O_2)}$	Fraction volumique en O ₂ mesurée dans un gaz d'échappement sec	vol %
$\varphi_{ex(CO)corr}$	Fraction volumique en CO corrigée dans un gaz d'échappement sec	ml/m ³
$\varphi_{ex(THC)corr}$	Fraction volumique en THC (hydrocarbures totaux) corrigée dans un gaz d'échappement sec	ml/m ³ équivalent en C
Γ	Concentration massique	
$\gamma_{ex(CO)}$	Concentration massique en CO (monoxyde de carbone) dans un gaz d'échappement sec	mg/m ³
$\gamma_{ex(THC)}$	Concentration massique en THC dans un gaz d'échappement sec	mg/m ³
ε	Emission	
ε_{CO}	Masse d'émission de CO par unité d'énergie de combustible d'entrée	mg/kW·h
ε_{THC}	Masse de THC par unité d'énergie de combustible d'entrée	mg/kW·h
α	Rapport atomique	
α_{THC}	Rapport atomique entre l'hydrogène et le carbone de THC dans le gaz d'échappement	
H	Pouvoir calorifique	

5 Conditions de référence

Les conditions de référence sont spécifiées comme suit:

- température de référence: $T_0 = 273,15 \text{ K}$ (0 °C);
- pression de référence: $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ (abs).

6 Base du pouvoir calorifique

Sauf spécification contraire, le pouvoir calorifique du combustible doit être le pouvoir calorifique inférieur (PCI) ou un pouvoir calorifique similaire.

NOTE 1 Les pouvoirs calorifiques de l'hydrogène et du méthanol (PCI et PCS) sont donnés à l'Annexe A.

Lorsque le pouvoir calorifique inférieur (PCI) est appliqué pour le calcul du rendement énergétique, il n'est pas nécessaire d'ajouter le «sigle PCI», comme indiqué ci-dessous:

$$\eta_e, \eta_{th}, \text{ ou } \eta_{total} = XX \%$$

Si le pouvoir calorifique supérieur (PCS) est appliqué, le «sigle PCS» doit être ajouté à la valeur du rendement énergétique comme suit:

$$\eta_e, \eta_{th}, \text{ or } \eta_{total} = XX \% \text{ (PCS)}$$

7 Préparation aux essais

7.1 Généralités

Cet article décrit les éléments types qui doivent être pris en compte avant de réaliser un essai. Pour chaque essai, l'incertitude doit, dans toute la mesure du possible, être réduite le plus possible en choisissant des appareils à haute précision et en planifiant soigneusement et minutieusement les essais. Les parties concernées par l'essai doivent préparer des plans d'essai détaillés en se fondant sur la présente partie de l'IEC 62282-4. Un plan d'essai écrit doit être préparé.

Les éléments suivants doivent être pris en compte pour le plan d'essai:

- 1) objectif;
- 2) spécifications d'essai;
- 3) qualifications du personnel d'essai;
- 4) normes d'assurance qualité (série de normes ISO 9000 ou autres normes équivalentes);
- 5) incertitude cible;
- 6) identification des appareils de mesure (voir l'Article 9);
- 7) plage estimée de paramètres d'essai;
- 8) plan d'acquisition des données.

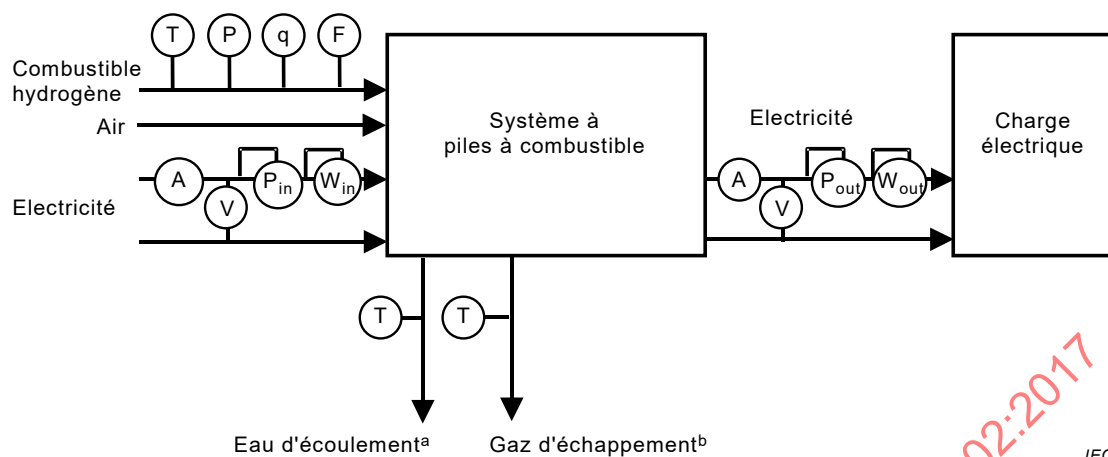
7.2 Plan d'acquisition des données

Pour déterminer de manière satisfaisante l'incertitude cible, la durée et la fréquence appropriées des valeurs lues doivent être définies et des enregistreurs de données doivent être préparés avant l'essai de performance.

L'acquisition automatique des données à l'aide d'un ordinateur personnel ou d'un appareil similaire est préférable.

8 Montage d'essai

La Figure 2 et la Figure 3 donnent des exemples de montage d'essai qui sont exigés pour soumettre le système à piles à combustible à l'essai avec le combustible hydrogène et méthanol respectivement qui sont décrits dans le présent document. Une charge électrique est connectée à un système à piles à combustible.



IEC

^a Vers le dispositif de collecte pour déterminer le volume (ou poids), pH, BOD, COD

^b Vers le dispositif de collecte pour l'analyse des composants

(A) ampèremètre

(V) voltmètre

(T) thermomètre

(P) manomètre

(q) débitmètre

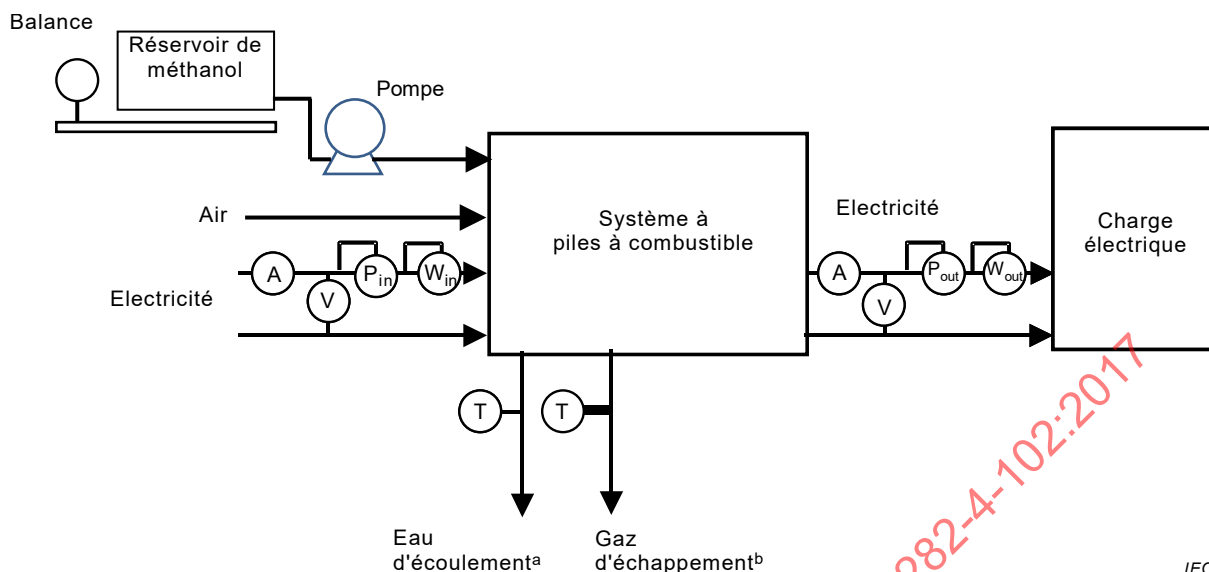
(F) compteur totalisateur

(P) wattmètre

(W) wattmètre totaliseur (compteur d'énergie électrique)

Figure 2 – Exemple de montage d'essai pour combustible hydrogène

NOTE Voir les explications des symboles à la Figure 2.



^a Vers le dispositif de collecte pour mesurer le volume (ou poids), pH, BOD, COD

^b Vers le dispositif de collecte pour l'analyse des composants

Figure 3 – Exemple de montage d'essai pour combustible méthanol

9 Appareils de mesure et méthodes de mesure

9.1 Généralités

Les appareils de mesure et les méthodes de mesure doivent être conformes aux Normes Internationales applicables. Ils doivent être choisis pour satisfaire à l'étendue de mesure spécifiée par le fabricant et à l'exactitude de mesure exigée.

9.2 Appareils de mesure

Les appareils de mesure sont indiqués en fonction de leur utilisation prévue:

- a) appareils de mesure des pointes de tension: oscilloscope, analyseurs haute fréquence;
- b) appareils de mesure de la puissance électrique en entrée et en sortie, et de l'énergie électrique en entrée et en sortie:
 - wattmètres, compteurs d'énergie électrique, voltmètres, ampèremètres.
- c) appareils de mesure de l'entrée de combustible:
 - débitmètres, compteurs totaliseurs, balances, capteurs de pression, capteurs de température.
- d) appareils de mesure des conditions ambiantes:
 - baromètres, hygromètres et capteurs de température.
- e) appareils de mesure du niveau de bruit:
 - sonomètres tels que spécifiés dans l'IEC 61672-1 ou autres appareils de mesure d'exactitude équivalente ou supérieure.
- f) appareils de mesure des concentrations des composants des gaz d'échappement:
 - analyseur d'oxygène (par exemple, basé sur des capteurs paramagnétiques, électrochimiques ou d'oxyde de zirconium);
 - analyseur de dioxyde de carbone (par exemple, CG-SM ou basé sur des capteurs d'absorption dans l'infrarouge);

- analyseur de monoxyde de carbone (par exemple, basé sur des capteurs non dispersifs dans l'infrarouge ou électrochimiques).
- g) appareils de détermination de l'eau d'écoulement:
- éprouvette graduée (pour le mesurage du volume), capteur de température, appareils de mesure du pH, sondes de BOD.

NOTE 1 BOD signifie Demande biochimique en oxygène, COD signifie Demande chimique en oxygène et THC représente les Hydrocarbures totaux.

9.3 Points de mesure

Les points de mesure pour les différents paramètres sont indiqués ci-dessous.

- a) Débit du combustible hydrogène:
placer un débitmètre de combustible sur la conduite d'alimentation en combustible du système à piles à combustible pour mesurer le débit de combustible.
- b) Entrée de combustible hydrogène intégré:
placer un compteur totaliseur de combustible sur la conduite d'alimentation en combustible du système à piles à combustible pour mesurer l'entrée de combustible. Le compteur totaliseur doit comporter un débitmètre qui mesure le débit de combustible.
- c) Poids de l'entrée de combustible méthanol:
placer une balance sous le réservoir de combustible pour mesurer le poids total du combustible et du réservoir. Le poids de l'entrée de combustible méthanol est mesuré en soustrayant le poids obtenu après l'essai de celui obtenu avant l'essai.
- d) Température du combustible:
connecter un thermomètre ou un thermocouple juste en aval du débitmètre de combustible.
- e) Pression du combustible:
placer un appareil de mesure de la pression juste en aval du débitmètre de combustible pour mesurer la pression manométrique du combustible.
- f) Puissance électrique de sortie:
connecter un wattmètre à la borne de sortie de la puissance électrique du système à piles à combustible et à proximité des limites du système.
- g) Énergie électrique de sortie:
connecter un compteur d'énergie électrique à la borne de sortie de la puissance électrique du système à piles à combustible et à proximité des limites du système. Le compteur d'énergie électrique doit comporter un wattmètre qui indique la puissance électrique de sortie.
- h) Composition du combustible:
la composition du combustible utilisé pendant les essais doit être échantillonnée et analysée.
- i) Pression atmosphérique:
placer un appareil de mesure de la pression absolue à côté du système à piles à combustible et de manière à ce qu'il ne soit pas affecté par la ventilation, la prise ou l'évacuation d'air du système à piles à combustible.
- j) Température de l'air:
placer un thermomètre à côté du système à piles à combustible et de manière à ce qu'il ne soit pas affecté par la ventilation, la prise ou l'évacuation d'air du système à piles à combustible.
- k) Humidité de l'air:
placer un hygromètre à côté du système à piles à combustible et de manière à ce qu'il ne soit pas affecté par la ventilation, la prise ou l'évacuation d'air du système à piles à combustible.
- l) Niveau de bruit:

voir 15.2.

m) Gaz d'échappement:

placer une ou plusieurs sondes de collecte de gaz d'échappement avec un capteur de température dans le flux d'échappement à l'orifice de sortie des gaz d'échappement (voir la Figure 2 et la Figure 3).

n) Eau d'écoulement:

placer un réservoir d'eau d'écoulement avec un capteur de température à l'orifice de sortie de l'eau d'écoulement.

9.4 Incertitudes de mesure systématiques minimales exigées

Les incertitudes de mesure systématiques suivantes sont recommandées pour les appareils. Elles sont exprimées en pourcentage des valeurs mesurées/calculées ou sous forme de valeurs absolues.

- puissance électrique: $\pm 1 \%$;
- énergie électrique: $\pm 1 \%$;
- débit du combustible gazeux: $\pm 1 \%$;
- débit de gaz intégré: $\pm 1 \%$;
- temps: $\pm 0,5 \%$;
- masse du combustible liquide: $\pm 1 \%$ de la masse à déterminer (la tare étant exclue)" comme dans l'IEC 62282-3-201;
- humidité relative: $\pm 5 \%$;
- pression absolue: $\pm 1 \%$;
- température du combustible gazeux et de l'eau d'écoulement: $\pm 1 \text{ K}$;
- température du gaz d'échappement: $\pm 4 \text{ K}$.

10 Conditions d'essai

10.1 Conditions de laboratoire

Sauf spécification contraire, les performances doivent être vérifiées par essai dans l'environnement spécifié ci-dessous:

- température: $20 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$;
- humidité: humidité relative de $65 \% \pm 20 \%$;
- pression: entre 91 kPa (abs) et 106 kPa (abs).

Les conditions de laboratoire doivent être mesurées pendant l'essai pour chaque session d'essai. Dans la mesure où la qualité de l'air doit affecter les performances du système à piles à combustible, la composition de l'air de laboratoire (CO_2 , CO , SO_2 , etc.) doit être consignée avec le résultat d'essai dans le rapport d'essai.

10.2 Conditions d'installation et de fonctionnement du système

Le système à piles à combustible doit être monté et mis en fonctionnement conformément aux instructions d'installation du fabricant avant le démarrage des essais.

10.3 Indication de l'état des batteries

Pour les systèmes équipés de batteries, l'état de charge (SOC) des batteries doit être constant au début et à la fin de l'essai.

10.4 Qualité du combustible d'essai

10.4.1 Hydrogène

La qualité du combustible hydrogène utilisé pour les essais doit correspondre à la valeur indiquée dans le Tableau 1 de l'ISO 14687-2.

10.4.2 Solution de méthanol

Le méthanol servant à préparer la solution de méthanol utilisée pour les essais doit être conforme à la spécification indiquée en 5.5.2 de l'IEC 62282-6-300:2012.

L'eau mélangée avec le méthanol doit être de l'eau à échange d'ions d'une conductivité électrique inférieure à 1 $\mu\text{S/cm}$.

La concentration de méthanol dans la solution de méthanol doit être spécifiée par le fabricant.

11 Essai de consommation de combustible

11.1 Essai de consommation du combustible hydrogène

11.1.1 Généralités

Cet essai permet de mesurer l'entrée de combustible hydrogène à la puissance de sortie assignée

Cet essai doit être effectué simultanément avec l'essai de puissance électrique de sortie indiqué à l'Article 12.

11.1.2 Méthode d'essai

- 1) Faire fonctionner le système à la puissance de sortie assignée pendant plus de 30 min avant de commencer l'essai.

NOTE Le stockage d'énergie dans le système atteint l'état nominal de charge après un fonctionnement de 30 min.

- 2) Pour les systèmes comportant des batteries électrochimiques, faire fonctionner le système à la puissance de sortie assignée pendant plus de 30 min et jusqu'à atteindre un état de charge nominal connu, avant de commencer l'essai.
- 3) Commencer l'essai tout en maintenant le système en fonctionnement à la puissance électrique de sortie nominale.
- 4) Mesurer la température du combustible, la pression du combustible et le débit d'entrée de combustible intégré (en volume ou en masse). Chaque mesurage doit être effectué pendant au moins 60 min.

11.1.3 Calcul des résultats

11.1.3.1 Calcul du débit moyen de combustible hydrogène en entrée

Le débit moyen de combustible hydrogène en entrée doit être exprimé soit sous la forme du débit volumétrique aux conditions de référence, q_{Vf0} en l/min, soit sous la forme du débit massique, q_{mf} en kg/s. Il doit être calculé selon la procédure suivante:

- 1) Débit volumétrique
 - a) Le débit volumétrique moyen du combustible dans les conditions d'essai, q_{Vf} en l/min, doit être obtenu en divisant le débit volumétrique intégré pendant la durée de l'essai par la durée de l'essai.

$$q_{Vf} = q_{iV} / \Delta_t \quad (1)$$

où

q_{vf} est le débit volumétrique moyen du combustible dans les conditions d'essai (l/min);

q_{iv} est le débit volumétrique total du combustible pendant la durée de l'essai (l);

Δ_t est la durée de l'essai (min).

- b) Le débit volumétrique moyen du combustible dans les conditions de référence, q_{vf0} en l/min, doit être calculé au moyen de la formule suivante. Les valeurs moyennes de température et de pression du combustible obtenues pendant la durée de l'essai doivent être utilisées:

$$q_{vf0} = q_{vf} \times (T_0/T_f) \times (p_f/p_0) \quad (2)$$

où

q_{vf0} est le débit volumétrique moyen du combustible dans les conditions de référence (l/min);

q_{vf} est le débit volumétrique moyen du combustible dans les conditions d'essai (l/min);

T_0 est la température de référence (273,15 K);

p_0 est la pression de référence (101,325 kPa (abs));

T_f est la température moyenne du combustible pendant la durée de l'essai (K);

p_f est la pression moyenne du combustible pendant la durée de l'essai (kPa (abs)).

2) Débit massique

Le débit massique moyen du combustible dans les conditions d'essai, q_{mf} en kg/s, doit être obtenu en divisant le débit massique intégré pendant la durée de l'essai par la durée de l'essai.

$$q_{mf} = q_{imf} / \Delta_t \quad (3)$$

où

q_{mf} est le débit massique moyen du combustible dans les conditions d'essai (kg/s);

q_{imf} est le débit massique intégré pendant la durée de l'essai (kg);

Δ_t est la durée de l'essai (s).

11.1.3.2 Calcul de la puissance moyenne du combustible hydrogène en entrée

La puissance moyenne du combustible hydrogène en entrée, Q_{inf} en kJ/s, doit être calculée soit pour un débit volumétrique, soit pour un débit massique, selon la procédure suivante. Les valeurs moyennes de température et de pression du combustible obtenues pendant la durée de l'essai doivent être utilisées.

1) Débit volumétrique

- a) L'énergie d'entrée du combustible par unité de volume aux conditions de référence, E_{fv} en kJ/l, doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$E_{fv} = H_{f0} / M_0 \quad (4)$$

où

E_{fv} est l'énergie d'entrée du combustible par unité de volume (kJ/l);

H_{f0} est le pouvoir calorifique du combustible hydrogène par mole dans les conditions de référence (241,72 kJ/mol);

M_0 est le volume molaire de référence du gaz parfait (22,4 l/mol) (à la température de référence pour le présent document, $t_0 = 273,15$ K).

NOTE 1 En règle générale, l'énergie de consommation et les pouvoirs calorifiques du combustible sont fondés sur le pouvoir calorifique inférieur (PCI).

- b) La puissance moyenne du combustible en entrée, Q_{inf} en kJ/s, doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$Q_{inf} = q_{vf0} \times E_{fv} / 60 \quad (5)$$

où

Q_{inf} est la puissance moyenne du combustible en entrée (kJ/s);

q_{vf0} est le débit volumétrique moyen du combustible dans les conditions de référence (l/min);

E_{fv} est l'énergie d'entrée du combustible par unité de volume (kJ/l).

NOTE 2 L'enthalpie spécifique et l'énergie de pression du combustible hydrogène qui sont prises en compte dans le calcul de l'énergie de consommation du combustible dans l'IEC 62282-3-201, sont ignorées dans le calcul de l'énergie de consommation du combustible décrit ci-dessus puisqu'il s'agit de valeurs négligeables dans les systèmes à piles à combustible pour chariots élévateurs à fourche qui fonctionnent à basse température et basse pression.

2) Débit massique

- a) L'énergie d'entrée du combustible par unité de masse, E_{fm} en kJ/kg, doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$E_{fm} = H_{f0} / M_{mf} \quad (6)$$

où

E_{fm} est l'énergie d'entrée du combustible par unité de masse (kJ/kg);

H_{f0} est le pouvoir calorifique du combustible dans les conditions de référence (kJ/mol);

M_{mf} est la masse molaire du combustible (g/mol).

- b) La puissance moyenne du combustible en entrée, Q_{inf} en kJ/s, doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$Q_{inf} = q_{mf} \times E_{fm} \quad (7)$$

où

Q_{inf} est la puissance moyenne du combustible en entrée (kJ/s);

E_{fm} est l'énergie d'entrée du combustible par unité de masse (kJ/kg);

q_{mf} est le débit massique moyen du combustible (kg/s).

11.2 Essai de consommation du combustible méthanol

11.2.1 Généralités

Cet essai permet de mesurer l'entrée de combustible méthanol à la puissance de sortie assignée. Si le fonctionnement en charge partielle de 50 %, 75 % et/ou la puissance électrique de sortie minimale sont indiqués par le fabricant, ces modes de fonctionnement doivent être également mesurés.

Cet essai doit être effectué simultanément avec l'essai de puissance électrique de sortie indiqué à l'Article 12.

11.2.2 Méthode d'essai

- 1) Faire fonctionner le système à la puissance électrique de sortie nominale pendant plus de 30 min avant de commencer l'essai.

- 2) Pour les systèmes comportant des batteries, faire fonctionner le système à la puissance de sortie assignée pendant plus de 30 min et jusqu'à atteindre un état de charge nominal connu, avant de commencer l'essai.
- 3) Commencer l'essai tout en maintenant le système en fonctionnement à la puissance électrique de sortie nominale. Si un tel fonctionnement est spécifié par le fabricant, répéter les essais en charge partielle de 50 % et 75 % de la puissance de sortie nominale et/ou de la puissance de sortie minimale.
- 4) Mesurer la masse du réservoir de combustible ou celle de l'ensemble du système, y compris le réservoir de combustible, au début de l'essai.
- 5) Poursuivre l'essai pendant au moins 3 h. Si le combustible doit être fourni par intermittence, la durée totale de l'essai doit être de 20 fois la durée de l'alimentation en combustible, ou de 3 h, selon la durée la plus longue.
- 6) Mesurer la masse du réservoir de combustible ou celle de l'ensemble du système, y compris le réservoir de combustible, à la fin de l'essai.

11.2.3 Calcul de la puissance moyenne du combustible méthanol en entrée

L'énergie d'entrée totale du combustible méthanol pendant la durée d'essai, E_{inf} en kJ, doit être calculée au moyen de la formule suivante:

$$E_{\text{inf}} = (A - B) \times H_{\text{fl}} \times W_{\text{B}} \quad (8)$$

où

E_{inf} est l'énergie d'entrée totale du combustible (kJ);

A est la masse au début de l'essai (kg);

B est la masse à la fin de l'essai (kg);

H_{fl} est le pouvoir calorifique du méthanol (kJ/kg);

W_{B} est la fraction massique du méthanol.

La puissance moyenne du combustible en entrée, Q_{inf} en kJ/s, doit être calculée au moyen de l'équation suivante:

$$Q_{\text{inf}} = \frac{E_{\text{inf}}}{\Delta_t} \quad (9)$$

où

Q_{inf} est la puissance moyenne du combustible en entrée (kJ/s);

E_{inf} est l'énergie d'entrée totale du combustible (kJ);

Δ_t est la durée de l'essai (s).

NOTE En règle générale, l'énergie d'entrée du combustible et le pouvoir calorifique du combustible sont fondés sur le pouvoir calorifique inférieur (PCI).

12 Essai de puissance électrique de sortie

12.1 Généralités

Cet essai permet de mesurer la sortie électrique moyenne à la puissance de sortie assignée. Si le fonctionnement en charge partielle de 50 %, 75 % et/ou la puissance électrique de sortie minimale sont spécifiés par le fabricant, ces modes de fonctionnement doivent être également mesurés.

Cet essai doit être effectué simultanément avec l'essai de consommation de combustible indiqué à l'Article 11.