

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

**Fuel cell technologies –
Part 6-101: Micro fuel cell power systems – Safety – General requirements**

**Technologies des piles à combustible –
Partie 6-101: Systèmes à micropiles à combustible – Sécurité – Exigences
générales**

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-6-101:2024



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2024 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 Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 once a month by email.

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: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews, graphical symbols and the glossary. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 500 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 25 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

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.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications, symboles graphiques et le glossaire. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 500 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 25 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Fuel cell technologies –

Part 6-101: Micro fuel cell power systems – Safety – General requirements

Technologies des piles à combustible –

Partie 6-101: Systèmes à micropiles à combustible – Sécurité – Exigences générales

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.070

ISBN 978-2-8322-8158-1

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
1.1 General.....	8
1.2 Fuels and technologies covered.....	8
1.3 Equivalent level of safety	9
2 Normative references	9
3 Terms and definitions	10
4 Safety principles.....	14
4.1 General.....	14
4.2 Chemical safety principles	14
4.3 Materials considerations	15
4.4 Mechanical safety	15
4.4.1 General	15
4.4.2 Micro fuel cell power system.....	16
4.4.3 Fuel cartridge	17
4.5 Electrical safety	17
4.5.1 General	17
4.5.2 Shock hazard	17
4.5.3 Fire hazard	17
4.5.4 Electric components and attachments.....	17
4.6 Hazard analysis and risk assessment.....	17
4.7 Functional safety	17
5 General safety requirements.....	18
5.1 General.....	18
5.1.1 Cartridge	18
5.1.2 Fuel quantity limits.....	18
5.2 Chemical safety requirements	18
5.3 Material requirements	19
5.3.1 General	19
5.3.2 Micro fuel cell power systems	20
5.3.3 Parts exposed to moisture, fuel or by-products	20
5.3.4 Elastomeric materials	21
5.3.5 Polymeric materials	21
5.4 Mechanical design requirements	21
5.4.1 General	21
5.4.2 Micro fuel cell power system.....	22
5.4.3 Fuel cartridge	22
5.4.4 Fuel valves and connections.....	23
5.5 Electrical requirements	24
5.5.1 Shock hazard	24
5.5.2 Fire hazard	24
5.5.3 Output terminal area	24
5.5.4 Electric components and attachments.....	24
5.5.5 Electrical conductors and wiring	24
5.5.6 Requirements related to potential ignition sources.....	25

5.6	Hazard analysis and risk assessment.....	26
5.7	Functional safety requirements	26
5.7.1	General	26
5.7.2	Software or electronics controls.....	27
5.8	Small parts	27
6	Abnormal operating and fault conditions testing and requirements.....	27
6.1	General.....	27
6.2	Abnormal operation – Electromechanical components.....	27
6.3	Abnormal operation of micro fuel cell power systems with integrated batteries	28
6.4	Abnormal operation – Simulation of faults based on hazard analysis.....	28
7	Instructions and warnings for micro fuel cell power systems and fuel cartridges.....	28
7.1	General.....	28
7.2	Minimum markings required on the fuel cartridge	28
7.3	Minimum markings required on the micro fuel cell power system.....	29
7.4	Additional information required either on the fuel cartridge or on accompanying written information or on the micro fuel cell power system	29
7.5	Technical documentation	29
8	Type tests for micro fuel cell power systems and fuel cartridges	30
8.1	General.....	30
8.2	General leakage and gas loss measurement protocols.....	32
8.2.1	General protocols	32
8.2.2	Tests	32
8.2.3	Protocol for performing concentration-based measurements	32
8.2.4	Protocols for the assessment of point-source hydrogen gas loss	35
8.2.5	Liquid leak detector test protocol	37
8.2.6	Water immersion test protocol	37
8.2.7	Mass loss measurement protocols	38
8.2.8	Methods for the detection of accessible hazardous liquids.....	38
8.2.9	Protocol for gas loss test for devices to be used in close proximity to user's mouth or nose	38
8.3	Type tests.....	40
8.3.1	Pressure differential tests	40
8.3.2	Vibration test	42
8.3.3	Temperature cycling test	43
8.3.4	High-temperature exposure test.....	44
8.3.5	Drop test	44
8.3.6	Compressive loading test.....	45
8.3.7	External short-circuit test.....	46
8.3.8	Surface, component and exhaust gas temperature test.....	47
8.3.9	Long-term storage test.....	47
8.3.10	High-temperature connection test	47
8.3.11	Connection cycling tests	48
8.3.12	Gas loss tests.....	50
Annex A (informative)	Background and rationale for type tests.....	52
Bibliography		54
Figure 1	– Micro fuel cell power system block diagram.....	9
Figure 2	– Ingestion gauge	27

Figure 3 – Gas loss test apparatus	34
Figure 4 – Operational gas loss concentration testing apparatus.....	39
Figure 5 – Temperature cycling.....	44
Table 1 – Technology specific parts	8
Table 2 – Scenarios and control volumes.....	14
Table 3 – Guidelines for determining leakage and gas loss limits for mitigating hazards	15
Table 4 – Gas loss limits for concentration-based testing.....	19
Table 5 – List of type tests.....	30
Table 6 – Laboratory conditions.....	31
Table A.1 – Purpose of tests.....	52

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-6-101:2024

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FUEL CELL TECHNOLOGIES –**Part 6-101: Micro fuel cell power systems –
Safety – General requirements****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) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 62282-6-101 has been prepared by IEC technical committee 105: Fuel cell technologies. It is an International Standard.

This first edition, together with the other parts of the IEC 62282-6-1XX series, cancels and replaces IEC 62282-6-100:2010 and IEC 62282-6-100:2010/AMD1:2012.

This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to IEC 62282-6-100:2010 and IEC 62282-6-100:2010/AMD1:2012:

- a) A new structure has been set up: IEC 62282-6-101 covers the general safety requirements common to all fuel types whereas IEC 62282-6-102 and subsequent parts of the IEC 62282-6-1XX series cover particular requirements for specific fuel types based on the requirements given in IEC 62282-6-101.

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

Draft	Report on voting
105/1010/FDIS	105/1023/RVD

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

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

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

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

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

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

NOTE The attention of National Committees is drawn to the fact that equipment manufacturers and testing organizations may need a transitional period following publication of a new, amended or revised IEC publication in which to make products in accordance with the new requirements and to equip themselves for conducting new or revised tests.

It is the recommendation of the committee that the content of this publication be adopted for implementation nationally not earlier than 12 months from the date of publication.

INTRODUCTION

IEC 62282-6-100 has been restructured to make it more user friendly.

The new IEC 62282-6-1XX series consists of IEC 62282-6-101 and subsequent parts of the IEC 62282-6-1XX series which will replace IEC 62282-100 on a case-by-case basis. Until subsequent specific parts of the IEC 62282-6-1XX series are completed, a suitable transition period will apply.

IEC 62282-6-101 covers general safety requirements common to all fuel types.

IEC 62282-6-102 and subsequent parts in the IEC 62282-6-1XX series will cover detailed requirements for specific fuel cartridges based on the requirements of IEC 62282-6-101, as shown in Table 1: Technology specific parts.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-6-101:2024

FUEL CELL TECHNOLOGIES –

Part 6-101: Micro fuel cell power systems – Safety – General requirements

1 Scope

1.1 General

- a) This part of IEC 62282 covers micro fuel cell power systems and fuel cartridges that are wearable or easily carried by hand, providing direct current outputs that do not exceed 60 V DC and power outputs that do not exceed 240 VA. Portable fuel cell power systems that provide output levels that exceed these electrical limits are covered by IEC 62282-5-100.
- b) Externally accessible circuitry is therefore considered to be ES1 energy source as defined in IEC 62368-1, and as limited power source if further compliance with IEC 62368-1:2023, Annex Q is demonstrated. Micro fuel cell power systems that have internal circuitry exceeding 60 V DC or 240 VA are addressed with the separate criteria of IEC 62368-1.
- c) This document covers micro fuel cell power systems and fuel cartridges. This document establishes the requirements for micro fuel cell power systems and fuel cartridges to ensure a reasonable degree of safety for normal use, reasonably foreseeable misuse, and cargo and consumer transportation and storage of such items. Fuel cartridges refilled by the manufacturer or by trained technicians are covered by this document. The fuel cartridges covered by this document are not intended to be refilled by the consumer.
- d) Micro fuel cell power systems and fuel cartridges that are covered by this document are not intended for use in hazardous areas as defined by IEC 60079-10-1.

1.2 Fuels and technologies covered

- a) A micro fuel cell power system block diagram is shown in Figure 1.
- b) This document, including all annexes, apply to micro fuel cell power systems and fuel cartridges as defined in 1.1 above.
- c) Clause 4 to Clause 8 cover the general safety requirements for all micro fuel cell power systems. IEC 62282-6-101 together with the appropriate technology specific parts shown in Table 1 cover the requirements for the specific technologies in the IEC 62282-6-1XX series.

Table 1 – Technology specific parts

Specific technology supplement standard	Title
IEC 62282-6-106	Fuel cell technologies – Part 6-106: Micro fuel cell power systems – Safety – Indirect Class 8 (corrosive) compounds
IEC 62282-6-107	Fuel cell technologies – Part 6-107: Micro fuel cell power systems – Safety – Indirect water reactive (Division 4.3) compounds

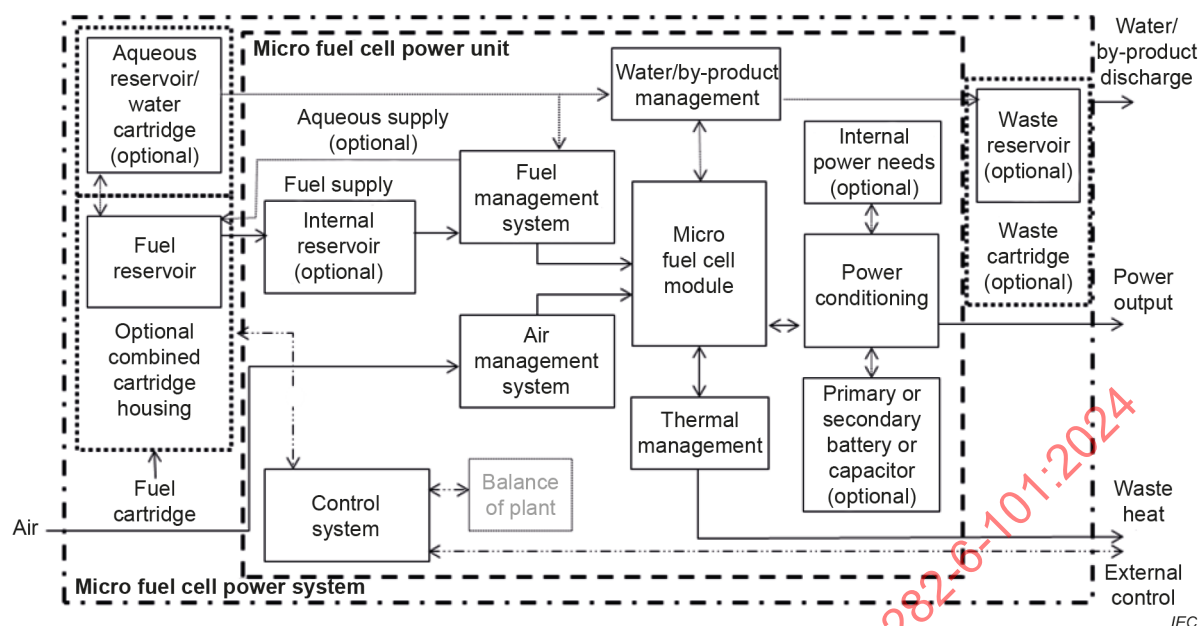


Figure 1 – Micro fuel cell power system block diagram

1.3 Equivalent level of safety

- The requirements of this document are not intended to constrain innovation. The manufacturer can consider fuels, materials, designs or constructions not specifically dealt with in this document. These alternatives can be evaluated as to their ability to yield levels of safety equivalent to those specified in this document.
- It is understood that all micro fuel cell power systems and fuel cartridges comply with applicable country and local requirements including, but not limited to, those concerning transportation, child-resistance and storage, where required.

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 60086-4, *Primary batteries – Part 4: Safety of lithium batteries*

IEC 60086-5, *Primary batteries – Part 5: Safety of batteries with aqueous electrolyte*

IEC 60730-1:2022, *Automatic electrical controls – Part 1: General requirements*

IEC 61032:1997, *Protection of persons and equipment by enclosures – Probes for verification*

IEC 62133 (all parts), *Secondary cells and batteries containing alkaline or other non-acid electrolytes – Safety requirements for portable sealed secondary cells, and for batteries made from them, for use in portable applications*

IEC 62281, *Safety of primary and secondary lithium cells and batteries during transport*

IEC 62368-1:2023, *Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements*

IEC 62282-6-300:2012, *Fuel cell technologies – Part 6-300: Micro fuel cell power systems – Fuel cartridge interchangeability*

ISO 175, *Plastics – Methods of test for the determination of the effects of immersion in liquid chemicals*

ISO 188, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Accelerated ageing and heat resistance tests*

ISO 1817, *Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of the effect of liquids*

ISO 7010:2019, *Graphical symbols – Safety colours and safety signs – Registered safety signs*

ISO 11114-4, *Transportable gas cylinders – Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents – Part 4: Test methods for selecting steels resistant to hydrogen embrittlement*

ISO 16000-3, *Indoor air – Part 3: Determination of formaldehyde and other carbonyl compounds in indoor and test chamber air – Active sampling method*

ISO 16000-6, *Indoor air – Part 6: Determination of organic compounds (VVOC, VOC, SVOC) in indoor and test chamber air by active sampling on sorbent tubes, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS FID*

ISO 16017-1, *Indoor, ambient and workplace air – Part 1: Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography – Part 1: Pumped sampling*

United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods: Model Regulations Twentieth revised edition, Manual of Tests and Criteria: Seventh revised edition, available at https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev7/Manual_Rev7_E.pdf (viewed 2023-08-08)

3 Terms and definitions

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

ISO and IEC maintain terminology databases for use in standardization at the following addresses:

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

3.1

air management system

set of components that can be used to control air properties, if necessary, to support the micro fuel cell power system operation

3.2

attached cartridge

fuel cartridge, which has its own enclosure that connects to the device powered by the micro fuel cell power system

3.3**aqueous reservoir**

optional reservoir within a fuel cartridge which contains an aqueous solution used in fuel processing

Note 1 to entry: Any hazards associated with aqueous solutions should be addressed in the hazard analysis and risk assessment or in a fuel specific standard.

3.4**control system**

set of components of the micro fuel cell power system that coordinates properties of the micro fuel cell power system and reactants using any combination of the following to effect proper micro fuel cell power system start-up, operation and shutdown, when necessary: electrical, mechanical, or digital inputs, outputs, software, or functions

3.5**corrosive liquid**

aqueous solution with a pH < 3,5 or pH > 10,5 or any liquid which can cause the full thickness destruction of skin after not more than 60 min exposure when observed after 14 days, or which otherwise meets the criteria of UN class 8 materials

3.6**exterior cartridge**

fuel cartridge, which has its own enclosure that forms a portion of the enclosure of the device powered by the micro fuel cell power system

3.7**flammable liquid**

liquid meeting the criteria for inclusion in UN Class 3 "flammable liquids" (i.e. having a flash point of not more than 60,5 °C)

3.8**flammable gas**

gas meeting the criteria for inclusion in UN division 2.1 "flammable gas" (i.e. any material which is a gas at 20 °C or less and at a pressure of 101,3 kPa which is ignitable at 101,3 kPa when in a mixture of 13 % or less by volume with air; or has a flammable range at 101,3 kPa with air of at least 12 % regardless of the lower limit)

3.9**fuel**

energy containing material used directly from the cartridge or indirectly, after processing and conversion, in the electrochemical reaction of the fuel cell

3.10**fuel cartridge**

article that stores fuel

3.11**fuel cell**

electrochemical device that converts the chemical energy of a fuel and an oxidant to electrical energy (DC power), heat and reaction products

3.12**fuel cell power system**

system that uses a fuel cell to generate electric power and heat

Note 1 to entry: A fuel cell power system is composed of all or some of the systems shown in Figure 1.

3.13

fuel management system

optional set of components used to control fuel or hydrogen properties (e.g. concentration, flow rate, purity, temperature, humidity or pressure), if necessary to support the micro fuel cell power system operation or the storage of generated reactants or both

Note 1 to entry: Not all micro fuel cell power systems will include all functions. Some micro fuel cell power systems will include additional functions.

3.14

gas loss

hazardous gas emission, as determined in accordance with 4.2 and 5.2

3.15

hazardous substance

any solid, liquid or gas which meets the criteria for being hazardous as defined in 4.2 and 5.2

3.16

internal reservoir

structure in a micro fuel cell power system that stores fuel and cannot be removed but not including fuel lines or fittings not intended to provide sustained fuel storage

3.17

insert cartridge

fuel cartridge, which has its own enclosure and is installed within the enclosure of the device powered by the micro fuel cell power system

3.18

in-service cartridge

fuel cartridge representative of fuel cartridges put into use and then removed from a system

Note 1 to entry: For systems that allow removal of a fuel cartridge from the system at any time during operation, an in-service cartridge would be a fuel cartridge that has been put into operation such that approximately half of the initial fuel charge has been utilized and the cartridge allowed to stabilize; for systems that include a lock-out mechanism to prevent removal of a cartridge during operation, an in-service cartridge shall mean the fuel cartridge in the state in which it is removable from the system.

3.19

leakage

accessible hazardous solid or hazardous liquid substance (fuel, hazardous fuel by-products, electrolyte, or hazardous liquid fuel) outside the micro fuel cell power system or fuel cartridge

3.20

limited power source

electrical supply either isolated from a mains supply or supplied by a battery or other device (i.e. fuel cell power unit) where the voltage, current and power levels are either inherently or non-inherently limited to levels that do not result in an electric shock or fire hazard as defined in IEC 62368-1

Note 1 to entry: An inherently limited power source does not rely on a current-limiting device to meet limited power requirements although it may rely on an impedance to limit its output. However, a non-inherently limited power source relies upon a current-limiting device such as a fuse to meet limited power requirements.

3.21

maximum developed pressure

maximum gauge pressure seen inside the fuel cartridge under operation, transport and storage

EXAMPLE Pressure at the maximum temperature (at least 70 °C in accordance with 8.3.4) to which the cartridge can be exposed during operation, transport and storage.

3.22**micro fuel cell module**

assembly incorporating one or more fuel cells and, if applicable, additional components, which is intended to be integrated into a micro fuel cell power system

3.23**micro fuel cell power system**

micro fuel cell power unit and associated fuel cartridges that is wearable or easily carried by hand

3.24**micro fuel cell power unit**

fuel cell based electric generator providing a DC voltage that does not exceed 60 V and a continuous net electrical power that does not exceed 240 VA

Note 1 to entry: The micro fuel cell power unit does not include a fuel cartridge.

3.25**non-operating**

turned "off" or no longer operational

3.26**primary battery**

non-rechargeable battery

3.27**rated power**

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

Note 1 to entry: The rated power is expressed in W.

3.28**refilling valve**

component of the non-user-refillable fuel cartridge that allows refilling the fuel cartridge only by trained technicians

3.29**satellite cartridge**

fuel cartridge that is intended to be connected to and removed from the micro fuel cell power system to transfer fuel to the internal reservoir inside the micro fuel cell power system

3.30**shut-off valve**

component of a fuel cartridge that controls the release of fuel

3.31**toxic material**

any material having a toxic hazard rating of 2 (medium) or higher, in the Sax's dangerous properties of industrial materials 11th Edition, or related reference guide

3.32**waste cartridge**

cartridge that stores waste and by-products from the micro fuel cell power system

3.33**water reactive material**

material meeting the criteria for UN division 4.3 "water reactive materials" (e.g. materials which react with water to evolve dangerous quantities of flammable gas)

4 Safety principles

4.1 General

The micro fuel cell power system, when coupled to the fuel cartridge or fuelled in accordance with the manufacturer's instructions, shall be designed and constructed to avoid credible risk of hazardous leakage, fire or explosion posed by the micro fuel cell power system itself or gases, vapours, liquids or other substances produced or used by the micro fuel cell power system.

To prevent a fire or explosion hazard within the micro fuel cell power system, the manufacturer shall eliminate potential ignition source(s) within areas where fuel is present (or can be potentially released).

Table 2 – Scenarios and control volumes

Scenario	Control volume parameters
Consumer transport (airplane) or storage	Overhead bin 0,28 m ³ (10 cu ft) ^a 0 ACH 3 samples 24 h
General consumer use	10 m ³ ACH 1 sample (see Table 4, footnotes) ^b
Close proximity	Near mouth, nose, or eyes
^a For the purposes of consumer transport or storage, "impermissible gas loss" limits have been chosen based on a scenario of devices in an enclosed space with no ventilation. The space chosen has a volume of 0,28 m³, or approximately 10 cubic feet. The criterion has been specified so that a concentration of greater than 25 % of the lower flammability limit (LFL) is not permitted to develop over a twenty-four hour (24 h) period, if three devices are in the enclosed space. For example, this criterion is applied for non-operating micro fuel cell power systems. ^b For the purposes of general consumer use, the "operating" emission rate limit was based on 10 m³ ACH, selected as the product of the reference volume times the air changes per hour (ACH) because it covers the reasonably foreseeable environments where micro fuel cell power systems will be used. The interior space in a small car and the minimum volume per person on a commercial aircraft is 1 m³. The minimum ACH used on a passenger aircraft is 10 and the lowest ventilation setting in cars is 10 ACH. Homes and offices can have ACH levels as low as 0,5 but the per-person volume is over 20 m³, so a product of 10 is conservative.	

4.2 Chemical safety principles

Components such as fuel piping, fuel plenums, reservoirs, fuel cartridges or similar enclosures shall be used to contain flammable, toxic, reactive or corrosive materials.

The following safety criteria shall be used to ensure no release of hazardous substances to the environment:

- Users shall not be exposed to accessible flammable, toxic, water reactive or corrosive liquids and solids.
- Flammable gasses or vapours shall not exceed 25 % of the lower flammability limit (LFL) within the applicable control volume nor be capable of sustaining a flame.
- No mass loss shall be allowed to occur (see 8.2.7).
- Toxic or hazardous gasses or vapours shall not exceed acceptable short-term exposure limits for transient exposures nor acceptable long-term nor time-averaged exposure limits provided for extended exposures.

NOTE Examples of transient exposure limits include the short-term exposure limits (STEL) set by the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) (STEL, for transient exposures); examples of long-term exposure limits include permissible exposure limits (PEL) set by the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) (PELs, for time-weighted average (TWA) exposures).

Table 3 – Guidelines for determining leakage and gas loss limits for mitigating hazards

Gas or vapours			
Flammable		Toxic	Corrosive
Shall not exceed 25 % of the LFL for time-averaged exposure within the control volume nor be capable of sustaining a flame for short-term transient exposure.		Shall not exceed TWA, PEL or similar for long-term or time-averaged exposure; nor STEL, or similar as applicable for short-term transient exposure.	See toxic guidelines.
Liquid or solid			
Flammable	Toxic	Corrosive	Water reactive
Not accessible by user.	Not accessible by user.	Not accessible by user.	Not accessible by user and no uncontrolled access to water.

4.3 Materials considerations

Micro fuel cell power systems are expected to be exposed to a number of environmental conditions over the manufacturer-defined life span of the product such as vibration, shock, varying humidity levels and corrosive environments. Materials employed in the micro fuel cell power system shall be resistant to these environmental conditions.

4.4 Mechanical safety

4.4.1 General

4.4.1.1 Structural integrity

Micro fuel cell power systems and cartridges shall have a safe construction that is resistant to dropping, vibration, crushing, environmental changes such as temperature, and atmospheric pressure fluctuations during normal use, reasonably foreseeable misuse, and consumer transportation of such items.

Mechanical components shall be designed to withstand the following possible fault conditions:

- internal pressurization of cartridges;
- internal pressurization of fuel containing components of micro fuel cell power systems, if such components are intended to contain fuel at greater than atmospheric pressure;
- differential pressure conditions chosen to simulate passenger aircraft cabin depressurization;
- differential pressure conditions chosen to simulate aircraft cargo hold pressurization conditions.

Micro fuel cell power systems and cartridges shall be designed to ensure:

- 1) no leakage of hazardous substances during transport (see Table 2);
- 2) safety and integrity under normal operating conditions.

The micro fuel cell power system or unit shall be designed to mitigate the risk of explosion, even if fuel or hydrogen leaks from or inside the micro fuel cell power system or unit.

4.4.1.2 Connection mechanisms

Connection mechanisms, including the connection between a detachable fuel cartridge and the micro fuel cell power system, and the electrical connection between the micro fuel cell power system and the device that it powers, shall be designed such that they cannot be attached at a wrong location or in an incomplete state in such a way that leakage, gas loss or danger of electrical shock results.

4.4.1.3 Pointed or sharp parts

An edge projection or corner of a micro fuel cell power system and a fuel cartridge shall not be sufficiently sharp to result in a risk of injury to persons during intended use or user maintenance.

4.4.2 Micro fuel cell power system

4.4.2.1 Piping and tubing (including fuel lines)

Piping and tubing shall be suitable for their intended use; this includes but is not limited to accounting for pressure to be contained, material compatibility and environmental considerations such as temperature, corrosion, vibration.

Fuel lines shall be suitable for their intended use, and shall contain fuel without leakage or gas loss during normal use, reasonably foreseeable misuse, and consumer transportation; this includes, but is not limited to, accounting for pressure to be contained, material compatibility and environmental considerations such as temperature, corrosion, vibration.

Due care should be exercised in selecting materials in order to prevent brittle-type fracture where necessary; where, for specific reasons, brittle material has to be used, appropriate measures shall be taken.

Materials shall be sufficiently chemically resistant to the fluid contained in the piping; the chemical and physical properties necessary for operational safety shall not fall below the minimum required within the planned lifetime of the equipment; material performance due to ageing shall not fall below the minimum requirements.

Design conditions shall be determined with due consideration of the following:

- a) design pressure and required pressure containment or relief;
- b) design temperature and design minimum temperature, including consideration of internal or external insulation (if any), solar radiation and heating or cooling;
- c) ambient effects, including fluid cooling effects, fluid expansion effects, atmospheric icing, and low ambient temperature;
- d) dynamic effects, including impact, vibration and forces due to pressurization, let-down or discharge of fluids;
- e) weight effects, including live loads and dead loads;
- f) thermal expansion and contraction effects, including thermal loads due to restraints, loads due to temperature gradients and loads due to differences in expansion characteristics;
- g) effects of support, anchor and terminal movements;
- h) reduced ductility effects;
- i) cyclic effects;
- j) air condensation effects.

4.4.2.2 Moving parts

Moving parts of a micro fuel cell power system shall not pose a potential injury to persons.

4.4.3 Fuel cartridge

Fuel cartridges shall be designed to contain fuel without leakage or gas loss during normal use, reasonably foreseeable misuse, and consumer transportation, including requirements consistent with those specified in the United Nations Model Regulations on the transport of dangerous goods.

In the case where a pressure relief device or similar means is provided, the pressure relief device shall be designed to contain fuel without leakage or gas loss during normal use, reasonably foreseeable misuse, and consumer transportation. A pressure relief device shall also be designed to relieve pressure in a cartridge in a controlled manner, to prevent rupture of the cartridge.

NOTE Rupture means structural failure of a cartridge resulting in the sudden release of stored energy.

4.5 Electrical safety

4.5.1 General

Micro fuel cell power systems shall meet the applicable electrical requirements of IEC 62368-1 and the supplemental requirements in this document.

4.5.2 Shock hazard

Micro fuel cell power systems shall be designed to minimize likelihood of painful effects and injury due to electric current passing through the human body.

4.5.3 Fire hazard

Micro fuel cell power systems shall be designed to reduce the risk of fire due to electrical causes.

4.5.4 Electric components and attachments

Electric components and attachments shall have sufficient electrical ratings for use within the micro fuel cell power system.

4.6 Hazard analysis and risk assessment

The manufacturer shall perform a hazard analysis and risk assessment to identify hazards, estimate and evaluate risks, and apply appropriate techniques to reduce risks to acceptable levels for the micro fuel cell power system.

4.7 Functional safety

As identified in the hazard analysis and risk assessment, a micro fuel cell power system shall automatically and safely suspend operation of the micro fuel cell power system when a situation arises that interferes with the continued safe operation of the micro fuel cell power system. Protection functions shall be provided with the micro fuel cell power system as deemed necessary. Moreover, these protection functions shall be able to operate during both start-up and shutdown of the micro fuel cell power system. Either active or passive means of risk mitigation may be implemented to provide these functions.

5 General safety requirements

5.1 General

5.1.1 Cartridge

5.1.1.1 General

The maximum volumetric capacity in the fuel cartridge shall not exceed 1 l.

5.1.1.2 Quantity limits

The maximum quantity of fuel stored in the fuel cartridge shall not be more than:

solids	1 000 g;
liquids	1 000 ml;
hydrogen	100 g;
liquefied flammable gas	1 000 ml.

NOTE Quantity limits have in general been selected to be consistent with limited quantity allowances provided for cargo transport in the United Nations Recommendations on the Transport of Dangerous Goods Model Regulations. Depending upon the type and hazard class of fuel, or mode of transport, more stringent limits can apply. National and international transport regulations, as well as the International Civil Aviation Organization's Technical Instructions for the safe transport of dangerous goods by air, contain applicable limits associated with carriage of fuel cartridges on-board passenger aircraft.

5.1.1.3 Fuel cartridge fill requirement

The fuel cartridge design and fuel fill amount shall allow fuel expansion without leakage to a fuel cartridge at a temperature of 70 °C in the case of the fuel cartridge alone and when the fuel cartridge is constrained by the micro fuel cell power system or a comparable test fixture. An appropriate head space can be required to allow for possible expansion of the fuel; this can result in less fuel than permitted by 5.1.1.1 given the 1 l maximum volumetric capacity of the fuel cartridge. The maximum discharge pressure of the fuel from the satellite cartridge shall not exceed the manufacturer's specified value.

5.1.2 Fuel quantity limits

The maximum quantity of fuel stored in the micro fuel cell power unit shall not be more than:

solids	200 g;
liquids	200 ml;
hydrogen	25 g;
liquefied flammable gas	200 ml.

NOTE Quantity limits have in general been selected to be consistent with limits – for both systems and cartridges – imposed in Part 8 of the International Civil Aviation Organization's Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air Power system fill requirement

The micro fuel cell power system design and fuel fill amount shall allow fluid expansion without leakage to a micro fuel cell power system at a temperature of 55 °C in the case of the micro fuel cell power system alone filled with fluid and when the micro fuel cell power system is constrained by the fuel cartridge.

5.2 Chemical safety requirements

The following Table 4 provides reference limits for emissions and gas loss measurements that may be applied as relevant in each fuel specific part of the IEC 62282-6-1XX series.

Volatile organic carbon compounds that can be emitted during operation of the micro fuel cell power system but that are not listed in Table 4 shall be identified in each fuel specific part of

the IEC 62282-6-1XX series or the hazard analysis and risk assessment, or both; and shall be identified in gas loss rate limits for operating and non-operating devices based on the principles expressed in 4.1 and 4.2.

Table 4 – Gas loss limits for concentration-based testing

Constituent	Concentration limit ^a (Operating devices)	Gas loss rate limit ^b (Operating devices)	Gas loss rate limit ^c (Non-operating devices)
Non-hazardous aqueous solutions	Unlimited for pH between 3,5 and 10,5	Unlimited for pH between 3,5 and 10,5	Unlimited for pH between 3,5 and 10,5
Methanol	0,26 g/m ³	2,6 g/h	0,08 g/h (no fuel vapour loss)
Formic acid	0,009 g/m ³	0,09 g/h	0,018 g/h (no fuel vapour loss)
Hydrogen	0,8 g/m ³	0,8 g/h total 0,016 g/h from single point leak ^d	0,003 2 g/h total (impermissible H ₂ gas loss)
Butane	1,9 g/m ³	0,9 g/h	0,045 g/h
Formaldehyde ^e	0,000 1 g/m ³	0,000 6 g/h	0,000 6 g/h
CO	0,029 g/m ³	0,290 g/h	0,290 g/h
CO ₂	9 g/m ³	60 g/h	60 g/h
Methyl formate	0,245 g/m ³	2,45 g/h	0,4 g/h
^a The concentration limit for chemical compounds of interest shall be based on internationally recommended values. All toxicity based limits listed in this Table 4 are based on long-term, time-averaged limits, for instance TWA for ICSC's occupational limit. The gas loss rate limit shall be obtained using similar computation as used in this Table 4 to ensure that overall gas loss rates do not exceed time-averaged limits for the constituent of interest. For such constituents, short-term increases in gas loss rate may be permissible, provided that the transient rate does not exceed the short-term exposure limit for that constituent, for instance STEL, and the overall gas loss rate does not exceed the time-averaged rate specified in this Table 4. ^b The "operating" emission rate limit was based on 10 m³ ACH, selected as the product of the reference volume times the air changes per hour (ACH) because it covers the reasonably foreseeable environments where micro fuel cell power systems will be used. The interior space in a small car and the minimum volume per person on a commercial aircraft is at 1 m³. The minimum ACH used on a passenger aircraft is 10 and the lowest ventilation setting in cars is 10 ACH. Homes and offices may have ACH levels as low as 0,5 but the per-person volume is over 20 m³, so a product of 10 is conservative. ^c The non-operating limits have been chosen based on a scenario of devices in an enclosed space with no ventilation. The space chosen has a volume of 0,28 m³, or approximately 10 cubic feet. The criterion has been specified so that a concentration of greater than 25 % of the LFL is not permitted to develop over a twenty-four hour (24 h) period if three devices are in the enclosed space. For example, this criterion is applied for the determination of a maximum gas-loss rate based on the emission of flammable constituents from non-operating micro fuel cell power systems. Note that the control volume for non-operating systems should not be applied using toxicity limits, as the core principle of this enclosed space is that of a storage space, not one that a person can spend time in. For the determination of non-operating limits for constituents with both flammable and toxic properties, the lower of the flammability based limit for the "non-operating" control volume and the toxicity based limit for the "operating" control volume shall apply. ^d 0,016 g/h reflects an emission rate lower than the limit reported by Swain, et al, (Proceedings of the 2001 DOE Program Review; NREL/CP-570-30535; M.R. Swain and M.N. Swain, Codes and Standards Analysis, 2001 (USA); available at: http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/30535bc.pdf) wherein "no hole was able to support a hydrogen flame at less than 3.5 cc/min." (3.5 cc/min ≈ 0,018 g/h). This value was chosen in conformance with the guidelines in Table 3. ^e The WHO guideline limit is 0,000 1 g/m³. Background levels are 0,000 03 g/m³. The emission limit cannot push the background level above the guideline limit.			

5.3 Material requirements

5.3.1 General

The materials and coating shall be resistant to degradation under normal transportation and normal usage conditions over the manufacturer-defined life span of the product.

A fuel cartridge shall be resistant to corrosion in its usage environment.

Guidance on the compatibility of materials with gases is given in ISO 11114-1 and ISO 11114-2.

If hydrogen can be present in the system or cartridge, the materials used shall be compatible for use with hydrogen. Recognized test methods, such as those specified in ISO 11114-4, shall be used to select metallic materials resistant to hydrogen embrittlement where required for pressure or structural integrity. Consideration shall be given to the impact that temperature can have on hydrogen embrittlement.

Guidance on the selection of suitable materials is found in ISO 16111:2018, Annex A.

5.3.2 Micro fuel cell power systems

5.3.2.1 Environmental requirements

Micro fuel cell power systems are expected to be exposed to a number of environmental conditions over the manufacturer-defined life span of the product such as vibration, shock, varying humidity levels and corrosive environments. The materials employed in the micro fuel cell power system shall be resistant to these environmental conditions. If a micro fuel cell power system is to be used in service where specific environmental conditions are beyond those accounted for in the required tests of this document, then additional testing shall be performed to verify safety under those environmental conditions.

5.3.2.2 Flammability requirements

The micro fuel cell power system shall be constructed so that propagation of fire and potential for ignition is mitigated. The material selection shall comply with IEC 62368-1:2023, 6.3 and 6.4, with the following exceptions:

Micro fuel cell stack membranes and catalysts are not required to have flammability ratings.

Other materials within the micro fuel cell stack which comprise less than 30 % of the total micro fuel cell stack mass are considered to be of limited quantity and are permissible without flammability ratings.

5.3.3 Parts exposed to moisture, fuel or by-products

Metallic and non-metallic materials used to construct internal or external parts of the micro fuel cell power system, in particular those exposed directly or indirectly to moisture, fuel or by-products in either a gas or liquid form as well as all parts and materials used to seal or interconnect the same, for example welding consumables, shall be suitable for all physical, chemical and thermal conditions which are reasonably foreseeable under the normal transportation and usage conditions within the manufacturer-defined life span of the product and for all the test conditions specified in Clause 8; in particular, they shall be designed to retain their mechanical stability under normal use.

- they shall be sufficiently resistant to the chemical and physical action of the fluids that they contain and to environmental degradation;
- the chemical and physical properties necessary for operational safety shall not be significantly affected within the manufacturer-defined life span of the product; specifically, when selecting materials and manufacturing methods, due account shall be taken of the material's corrosion and wear resistance, electrical conductivity, impact strength, ageing resistance, the effects of temperature variations, the effects arising when materials are put together (e.g. galvanic corrosion), and the effects of ultraviolet radiation;
- where conditions of erosion, abrasion, corrosion or other chemical attack can arise, adequate measures shall be taken to

- minimize that effect by appropriate design, for example additional thickness, or by appropriate protection, for example the use of liners, cladding materials or surface coatings, taking due account of normal use;
- permit replacement of parts which are most affected; and
- draw attention, in the manual referred to in Clause 7, to type and frequency of inspection and maintenance measures necessary for continued safe use; where appropriate, it shall be indicated which parts are subject to wear and the criteria for replacement.

5.3.4 Elastomeric materials

Elastomeric materials such as gaskets and tubing in contact with fuels shall be resistant to deterioration when in contact with those fuels and shall be suitable for the temperatures that they are exposed to during normal use. Compliance shall be determined by ISO 188 and ISO 1817.

5.3.5 Polymeric materials

Polymeric materials in contact with fuels shall be resistant to deterioration when in contact with those fuels and shall be suitable for the temperature they are exposed to during normal use. Compliance shall be determined by ISO 175.

5.4 Mechanical design requirements

5.4.1 General

5.4.1.1 Structural integrity

Cartridges and systems shall be capable of withstanding the following:

- Internal pressurization of cartridges to a minimum of 100 kPa internal gauge pressure plus normal working pressure at 22 °C or two times the normal working pressure of the fuel cartridge at 55 °C, whichever is greater, without leakage or gas loss. Compliance shall be determined by the fuel cartridge internal pressurization test in 8.3.1.2.
- Internal pressurization of fuel containing components of micro fuel cell power systems, if such components are intended to contain fuel at greater than atmospheric pressure, to two times the gauge pressure of the components at 55 °C. Pressure testing of these fuel containing components shall be performed with any purge valves or pressure relief devices disengaged. Compliance shall be determined by the micro fuel cell power system internal pressurization test in 8.3.1.3.
- Differential pressure of 89,7 kPa (simulating exposure to typical ambient atmospheric pressure at 15 000 m/50 000 ft of 11,6 kPa absolute) for 1 h. Compliance shall be determined by the micro fuel cell power system pressure differential tests in 8.3.1.
- Differential pressure of 33,3 kPa (simulating exposure to a 68 kPa absolute external pressure, typical of aircraft cargo hold spaces) for 6 h. Compliance shall be determined by the micro fuel cell power system pressure differential tests in 8.3.1.

5.4.1.2 Connection mechanisms

Connection mechanisms, including the connection between a detachable fuel cartridge and the micro fuel cell power system, and the electrical connection between the micro fuel cell power system and the device that it powers, shall be designed such that they cannot be attached at a wrong location or in an incomplete state in such a way that leakage, gas loss or danger of electrical shock results.

5.4.1.3 Pointed or sharp parts

Design and construction of micro fuel cell power systems and cartridges shall meet the definition of either MS1 or MS2 mechanical energy source classifications and shall comply with the corresponding applicable requirements of IEC 62368-1:2023, Clause 8.

5.4.2 Micro fuel cell power system

5.4.2.1 Piping and tubing (including fuel lines)

Compliance of fluid containment systems, within the micro fuel cell power system, with the internal pressurization and pressure differential pressure requirements of 5.4.1 shall be determined by type testing in accordance with the pressure tests in 8.3.1.

Where micro fuel cell power systems are designed for internal pressures over 100 kPa gauge, they shall be designed and constructed in accordance with the principles specified in 4.4.2.1. Compliance shall be verified by type testing in accordance with Clause 8.

Micro fuel cell power systems designed for operation below 100 kPa gauge not qualifying as pressurized systems, such as low-pressure water hoses, plastic tubing, or other connections to atmospheric or low-pressure tanks and similar containers, shall be constructed of suitable materials, and their related joints and fittings shall be designed and constructed with adequate strength and leakage resistance to prevent unintended releases.

Unions shall be designed to be leak-tight using sealing methods resistant to the fluid transported and the ambient conditions of use.

All components, in particular piping and tubing, shall be provided with sufficient capability to resist pressure and other load weight, and there shall be no danger of contamination or leakage of the line contents. Compliance is determined by 8.3.1 and 8.3.6.

All components, in piping and tubing, shall be designed to withstand freezing and avoid breakage. Compliance is determined by 8.3.3 and 8.3.5.

Flammable, toxic and corrosive fluids shall be kept within a closed containment system such as within fuel piping, in a reservoir, a fuel cartridge or similar enclosure. Compliance shall be verified by type testing in accordance with Clause 8.

5.4.2.2 Moving parts

Such design and construction shall meet the definition of either MS1 or MS2 mechanical energy source classifications and shall comply with the corresponding applicable requirements of IEC 62368-1:2023, Clause 8.

5.4.3 Fuel cartridge

Fuel cartridges shall conform to the following requirements.

There shall be no leakage from the fuel cartridge in the temperature range of $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Compliance shall be determined by type testing in accordance with the temperature cycling test, 8.3.3 and the high-temperature exposure test, 8.3.4.

Compliance of fuel cartridges with the internal pressurization and pressure differential pressure requirements of 5.4.1.1 shall be determined by type testing in accordance with pressure testing, 8.3.1.

For normal use, reasonably foreseeable misuse, and consumer transportation of a fuel cartridge with a micro fuel cell power system by a consumer, means to prevent (hazardous) leakage or gas loss prior to, during, and after connection or transfer of fuel or fluid to the micro fuel cell power system shall be provided. Compliance is checked by the connection cycling test, 8.3.11.

A fuel cartridge shall be provided with a means to prevent mis-connection that would result in leakage of fuel or gas loss when it is installed in a micro fuel cell power system. Compliance is checked by the connection cycling test, 8.3.11.

In the case where a pressure relief device or similar means is provided, it shall satisfy the performance requirement for each applicable type test, with no leakage or gas loss. In particular, any pressure relief device shall pass the internal pressure test of 8.3.1 without leakage or gas loss. The pressure relief device shall be set to activate above the maximum developed pressure during normal operation (e.g. pressure at maximum temperature) and below the minimum burst pressure (100 kPa gauge or three times the maximum developed pressure, whichever is greater).

A fuel cartridge, including the fuel cartridge interface to the micro fuel cell power system, and including the fuel supply connection, shall have a construction sufficient to withstand normal use and reasonably foreseeable misuse generated by vibration, heat, pressure, being dropped or otherwise subjected to a mechanical shock, etc. Compliance is checked by:

- pressure differential tests, 8.3.1;
- vibration test, 8.3.2;
- temperature cycling test, 8.3.3;
- high-temperature exposure test, 8.3.4;
- drop test, 8.3.5;
- compressive loading test, 8.3.6;
- long-term storage test, 8.3.9;
- high-temperature connection test, 8.3.10;
- connection cycling tests, 8.3.11.

5.4.4 Fuel valves and connections

5.4.4.1 General

The structure at the connection to the fuel cartridge shall not allow leakage or gas loss.

The fuel cartridge valves shall operate as intended without the use of tools and without excessive force necessary to connect or disconnect.

This Subclause 5.4.4 applies to all shut-off valves, filling valves, relief valves, refilling valves, including all fuel cartridge types.

The operating and pressure containing parts of the shut-off valve and relief valve assemblies shall be rated or designed to last the manufacturer-defined life span of the product under normal conditions.

The valves shall not be susceptible to unintended actuation, or manual actuation by a consumer not using tools, that results in fuel leakage. Compliance shall be checked using test probe 11 of IEC 61032:1997 and a force of 9,8 N.

5.4.4.2 Fuel supply connections

There shall be no leakage or gas loss during storage, connection, disconnection or transferring of fuel from the fuel cartridge to the micro fuel cell power system.

The fuel supply connectors provided on the fuel cartridge shall have a construction that prevents leakage or gas loss when not attached to a micro fuel cell power system during normal usage, reasonably foreseeable misuse, and consumer transportation. Compliance is checked by the drop test, 8.3.5, and the connection cycling test, 8.3.11.

The valves or connections shall have means to prevent leakage or gas loss through normal use, reasonably foreseeable misuse, and storage of the fuel cartridge.

A satellite cartridge shall be constructed to prevent leakage or gas loss when connected to the micro fuel cell power system.

5.5 Electrical requirements

5.5.1 Shock hazard

Micro fuel cell power systems shall comply with ES1 conditions specified in IEC 62368-1 at the output. Internal elements of the micro fuel cell power system shall comply with ES1 or ES2 conditions.

5.5.2 Fire hazard

Micro fuel cell power systems shall be equipped with safeguards to reduce the risk of fire due to electrical causes, complying with the requirements for PS1, PS2, or PS3 circuits specified in IEC 62368-1. Further reduction of the risk of fire due to ignition of potentially flammable liquids or gases shall further comply with the requirements in this document.

Micro fuel cell power systems shall comply with the requirements for TS1 or TS2 classifications of IEC 62368-1:2023, Clause 9. High-temperature gases (up to 70 °C) discharged through the micro fuel cell power system housing should be cooled to a safe temperature before discharging the housing.

A micro fuel cell power system may be equipped with a means of detecting gas loss described in Table 4, and shutting down the micro fuel cell power system prior to exceeding the concentration limit.

Internal wiring and insulation in general shall not be exposed to fuel, oils, grease or similar substances, unless the insulation has been evaluated for contact with these substances.

5.5.3 Output terminal area

The output terminal area shall be designed to prevent accidental contact with human hands. This restriction does not apply to the following types of output terminal areas:

- a) an output terminal area for which, when in its attached state, there is no risk of accidental human contact;
- b) an output terminal area for which the output voltage and current are inherently limited in compliance with IEC 62368-1:2023, Table Q.1; or an overcurrent protection device limits the output in compliance with IEC 62368-1:2023, Table Q.2.

5.5.4 Electric components and attachments

If batteries are used in the micro fuel cell power system then they shall comply with IEC 62368-1:2023, Annex M and the following safety standards, as applicable:

IEC 60086-4, IEC 60086-5, IEC 62133 (all parts) and IEC 62281.

5.5.5 Electrical conductors and wiring

- a) Internal and external wiring in PS2 and PS3 circuits shall comply with IEC 62368-1:2023, 6.5.
- b) Electric components and wiring shall be laid out so as to minimize thermal effects.
- c) The covering of the wires shall not become damaged during normal carrying, usage, or during periods of non-operation.
- d) The conductor used in the wiring shall be as short as possible, and if necessary, locations shall be provided with insulation, protected from heat, immobilized, or provided with other treatment.

- e) In the case where exposed lead wires or terminals that connect to the micro fuel cell power system exterior are attached incorrectly, the micro fuel cell power system either will not operate or will operate without any abnormality.
- f) Except in the following cases, exposed lead wires or terminals that connect to the exterior of the micro fuel cell power system shall be distinguishable by assigned numbers, letters, symbols, colours, etc.:
 - 1) The wires or terminals have different physical shapes to prevent incorrect connection.
 - 2) There are only two lead wires or terminals, and interchanging those wires or terminals has no effect on the micro fuel cell power system operation.
- g) Wireways shall be smooth and free from sharp edges.
- h) Wires shall be protected so that they do not come into contact with burrs, or be subjected to pinching during assembly, and the like, which can cause damage to the insulation of conductors.
- i) Insulated wires that pass through holes shall be protected to prevent abrasion or cutting damage. Compliance is checked by inspection.

5.5.6 Requirements related to potential ignition sources

To prevent a fire or explosion hazard within the micro fuel cell power system, the manufacturer shall either eliminate potential unintentional ignition source(s) within areas where fuel is present (or can be potentially released) or shall ensure that immediate and controlled oxidation of fuel occurs through the use of a catalytic reactor.

Potential unintentional ignition sources shall be eliminated by one or more of the following.

- The surface temperatures shall not exceed 80 % of the auto-ignition temperature, expressed in degrees Celsius, of the flammable gas or vapour. If this temperature is less than or equal to the TS1 or TS2 temperature limits specified in IEC 62368-1, this limit governs.
- Equipment containing materials or components capable of catalysing the reaction of flammable fluids with air shall be capable of suppressing the propagation of the reaction from the equipment to the surrounding flammable atmosphere.
- Electrical equipment or components, if subjected to contact with fuel, shall be suitable for the area in which they are installed.
- The potential for static discharge sufficient to cause ignition shall be eliminated by proper material selection and proper bonding and grounding.
- Electrical components like fuses, other overcurrent protection devices, sensors, electric valves and solenoids, when operating under their intended conditions, shall not produce thermal effects, arcs or sparks capable of igniting a flammable release of gas.
- With the micro fuel cell power system operating under its intended conditions, the temperature of wiring material including printed wiring on circuit boards shall not increase to the point where it acts to ignite a flammable release of gas.
- In the event of the micro fuel cell power system operating under the abnormal operating conditions of an electrical overload, printed wiring on "open" circuit boards shall not produce an arc or thermal effect capable of igniting a flammable release of gas.
- Immediate and controlled oxidation shall be ensured by the following:
 - a) Catalytic reactors designed to safely control oxidation are acceptable. The temperature within such reactors may be greater than the auto-ignition temperature of the fluid. If the catalytic reactor deviates from proper operating conditions, as defined by the manufacturer, the micro fuel cell power system shall be automatically transferred into a safe state.
 - b) Whether operating under intended conditions or during an abnormal condition like running overload or locked rotor, the temperature of the motor shall not increase to the point where it acts to ignite a flammable release of gas.

- c) Motor parts such as the motor brush, thermal overload device or other make or break component(s), which act to interrupt a circuit even if the interruption is transient in nature, shall not cause a hazard by producing an arc or thermal effect capable of igniting a flammable release of gas.

5.6 Hazard analysis and risk assessment

Hazard analysis and risk assessment, or equivalent methods, shall be conducted by the manufacturer to identify hazards, estimate and evaluate risks, and apply appropriate techniques to reduce risks to acceptable levels for the micro fuel cell power system. In addition, the hazard analysis and risk assessment shall identify faults which can have safety related consequences and the design features that serve to mitigate those faults through a fault analysis such as a failure mode and effects analysis (FMEA) or fault tree analysis (FTA).

Examples of potential hazards and hazardous conditions include, but are not limited to:

- leakage of corrosive or toxic liquid fuel;
- emission of toxic gas (including those not otherwise listed in Table 4);
- fire or explosion;
- refilling of non-user refillable fuel cartridges, if anticipated by the manufacturer or trained technicians;
- in-service cartridges, if applicable (e.g. a liquid cartridge potentially having less structural integrity when half full then fully filled or ensuring safety of a cartridge technology when disconnected from a system after activation);
- effects of moisture and relative humidity.

Guidance for the hazard analysis and risk assessment, plus fault analysis can be found in the following informative references:

- ISO 12100;
- IEC 31010;
- IEC 60812;
- IEC 61025.

5.7 Functional safety requirements

5.7.1 General

If protection functions are provided with the micro fuel cell power system as identified in 5.7, and they rely on the use of electrical, electronic, or programmable electronic safety-related systems, they shall comply with appropriate functional safety requirements. Examples of protection functions include, but are not limited to:

- detection of short-circuit conditions;
- detection of electrical overloading.

Appropriate functional safety requirements shall include the assessment of single fault conditions of the controller or control circuit. Single fault conditions shall not compromise safety. Examples of standards that may be used to assess functional safety include, but are not limited to:

- IEC 60730-1:2022, Annex H;
- IEC 60335-1:2020, Clause 19 and Annex R;
- IEC 61508 (all parts);
- IEC 62061;
- ISO 13849-1.

5.7.2 Software or electronics controls

For devices that use electronic controllers or control systems, the system software and electronic circuitry relied upon as the primary safety means as determined by the hazard analysis and risk assessment safety analysis of 5.6, shall comply with IEC 60730-1:2022, Annex H.

Micro fuel cell power systems using electronic controllers shall conform to the following.

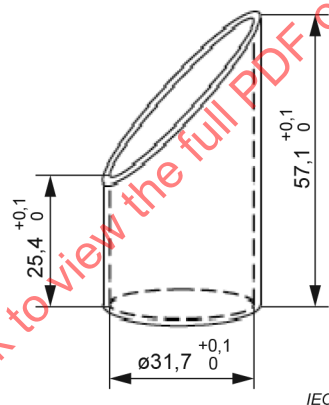
- During the course of normal usage, in case of any single controller malfunction, safety shall not be compromised.
- During the course of normal usage, safety shall not be compromised in cases where any single portion of the control circuit fails.

5.8 Small parts

Small fuel cartridges that can pass through the ingestion gauge of Figure 2, shall have:

- a marking "KEEP AWAY FROM CHILDREN / CHOKING HAZARD";
- additional warning instructions regarding small parts hazards, in addition to those specified in 7.5.

Dimensions in millimetres



NOTE This gauge defines a swallowable component. Further information is available in ISO 8124-1.

Figure 2 – Ingestion gauge

6 Abnormal operating and fault conditions testing and requirements

6.1 General

Each micro fuel cell power system or unit shall be designed so that the risk of fire, explosion, leakage, or other hazards identified in the hazard analysis and risk assessment required by 5.6, due to mechanical or electrical overload or failure, internal leakage or due to abnormal operation or careless use, is limited as far as practicable.

6.2 Abnormal operation – Electromechanical components

Where a hazard is likely to occur, electromechanical components other than motors are checked for compliance by the following fault tests.

- Mechanical movement shall be locked in the position most likely to result in failure while the component is energized normally.
- In the case of a component, which is normally energized intermittently, a fault shall be simulated in the drive circuit to cause continuous energizing of the component.

- c) The duration of each test shall be in accordance with the following:
- 1) For micro fuel cell power system components whose failure to operate is not apparent to the consumer, the test duration shall be as long as necessary to establish steady conditions or up to the interruption of the circuit due to other consequences of the simulated fault condition, whichever is shorter.
 - 2) For other micro fuel cell power system components, the test duration shall be 5 min or up to the interruption of the circuit due to a failure of the component (for example, burnout).

6.3 Abnormal operation of micro fuel cell power systems with integrated batteries

Systems that include integrated batteries shall be tested in accordance with the procedures specified in IEC 62368-1:2023, M.3.2, and shall meet the requirements specified in IEC 62368-1:2023, M 3.3.

6.4 Abnormal operation – Simulation of faults based on hazard analysis

The following faults shall be simulated consistent with 5.6:

- a) Any abnormal conditions deemed necessary, based on 5.6, to evaluate the protection parameters provided for the micro fuel cell power system, e.g. over-temperature protection, short-circuit, stack voltage.
- b) Short-circuit, disconnection or overloading of all relevant components and parts unless they are contained within a fire enclosure that complies with all requirements for fire enclosures including materials, as specified in IEC 62368-1:2023, 6.4.8.

NOTE An overload condition is any condition between rated power and the maximum current condition up to short-circuit.

- c) Temperatures in excess of the over-temperature protection circuitry to ensure the safety of the micro fuel cell power system.

In addition, abnormal test results shall not lead to shock (4.5.2) or fire hazard (4.5.3) or gas loss (5.2).

Outcomes shall comply with IEC 62368-1.

7 Instructions and warnings for micro fuel cell power systems and fuel cartridges

7.1 General

All micro fuel cell power systems and fuel cartridges shall be accompanied by appropriate safety information (instructions, warnings, or both) communicating the intended safe transportation, use, storage, maintenance and disposal of the product, including warnings regarding adequate ventilation of storage.

If space does not permit all markings on the fuel cartridge, markings corresponding to a) through f) in 7.2 may be on the smallest unit package, or on a package insert. The fuel cartridge shall also be marked with the appropriate signal word ("CAUTION", "WARNING" or "DANGER") and the general warning sign (W001 specified in ISO 7010:2019) plus the text: "(See accompanying warning information.)"

Fuel cartridges and micro fuel cell power systems shall only be marked as complying with IEC 62282-6-101 if they comply with both this document and the corresponding fuel specific part of the IEC 62282-6-1XX series.

7.2 Minimum markings required on the fuel cartridge

As a minimum, the following shall be marked on the fuel cartridge:

- a) Text that indicates the hazards of the fuel contained (e.g. flammable, toxic, corrosive, water-reactive), as applicable, according to the following format: CONTENTS ARE [identify the hazard here], DO NOT DISASSEMBLE.
- b) AVOID CONTACT WITH CONTENTS.
- c) KEEP AWAY FROM CHILDREN.
- d) DO NOT EXPOSE TO TEMPERATURES ABOVE 50 °C OR OPEN FLAMES OR IGNITION SOURCES.
- e) FOLLOW USAGE INSTRUCTIONS.
- f) IN THE CASE OF INGESTION OF FUEL OR CONTACT WITH THE EYES, SEEK MEDICAL ATTENTION.
- g) Trademark or manufacturer name or both, model designation and traceability required by the manufacturer.
- h) Composition and amount of fuel.
- i) Text or marking that indicates that the fuel cartridge complies with IEC 62282-6-101.

7.3 Minimum markings required on the micro fuel cell power system

As a minimum, the following shall be marked on the micro fuel cell power system:

- a) Text that indicates the hazards of the fuel utilized (e.g. flammable, toxic, corrosive, water-reactive), as applicable, according to the following format: CONTENTS ARE [identify the hazard here], DO NOT DISASSEMBLE.
- b) AVOID CONTACT WITH CONTENTS.
- c) DO NOT EXPOSE TO TEMPERATURES ABOVE 50 °C OR OPEN FLAMES OR IGNITION SOURCES.
- d) FOLLOW USAGE INSTRUCTIONS.
- e) IN THE CASE OF INGESTION OF FUEL OR CONTACT WITH THE EYES, SEEK MEDICAL ATTENTION.
- f) Trademark or manufacturer name or both, model designation and traceability required by the manufacturer.
- g) Composition of fuel.
- h) Maximum capacity of fuel in the internal reservoir, if applicable.
- i) Text or marking that indicates that the micro fuel cell power system complies with IEC 62282-6-101.
- j) Electrical output (voltage, current, rated power).

7.4 Additional information required either on the fuel cartridge or on accompanying written information or on the micro fuel cell power system

As a minimum, usage instructions shall include the following:

- a) safety instructions and warnings;
- b) text or markings indicating that the micro fuel cell power system complies with IEC 62282-6-101;
- c) identification of the fuel cartridge(s) that are acceptable for use with the micro fuel cell power systems;
- d) minimum and maximum operating and storage temperatures.

7.5 Technical documentation

In addition to the information required by 7.4, each product shall be accompanied by a user information manual, which shall include the following technical documentation:

- a) instructional information that educates the end-user in the proper use, function and disposal of the fuel cartridge and micro fuel cell power system;
- b) information that identifies the manufacturer of the micro fuel cell power system, including company name, address, telephone number, and website;
- c) listing of all the warnings and instructions affixed to the micro fuel cell power system or fuel cartridge. Additional information further explaining or enhancing those warnings and instructions may be provided in the manual;
- d) instructions that the micro fuel cell power system shall be used and stored in a well-ventilated area;
- e) warnings associated with small parts in accordance with 5.8, if applicable.

The manufacturer of the micro fuel cell power system and fuel cartridges shall specify the type and relevant characteristics of the fuel and, if applicable, the quality and relevant characteristics of the fuel to be employed with the micro fuel cell power system. This information shall be provided as part of the documentation provided with the micro fuel cell power system.

The micro fuel cell power systems shall specify the fuel cartridge(s) that are intended for use with them. This information shall be provided as part of the documentation provided with the micro fuel cell power system.

If a micro fuel cell power system is intended to be used with a satellite cartridge, the manufacturer shall specify the maximum allowable discharge pressure from a compatible satellite cartridge. This information shall be provided as part of the documentation provided with the micro fuel cell power system.

8 Type tests for micro fuel cell power systems and fuel cartridges

8.1 General

- a) Clause 8 specifies type tests for both micro fuel cell power systems and fuel cartridges that simulate conditions of normal use, transport, and reasonably foreseeable misuse.
- b) Annex A describes the purpose of each type test described in this document (see Table A.1).
- c) Table 5 lists the type tests that shall be performed, and the test samples on which each test shall be performed.

Table 5 – List of type tests

Test reference	Test item	Test sample
8.3.1	Pressure differential tests	Unused fuel cartridge In-service fuel cartridge Micro fuel cell power system
8.3.2	Vibration test	Unused fuel cartridge In-service fuel cartridge Micro fuel cell power system
8.3.3	Temperature cycling test	Unused fuel cartridge In-service fuel cartridge Micro fuel cell power system
8.3.4	High-temperature exposure test	Unused fuel cartridge In-service fuel cartridge

Test reference	Test item	Test sample
8.3.5	Drop test	Unused fuel cartridge In-service fuel cartridge Micro fuel cell power system
8.3.6	Compressive loading test	Unused fuel cartridge In-service fuel cartridge Micro fuel cell power system
8.3.7	External short-circuit test	Micro fuel cell power system
8.3.8	Surface, component and exhaust gas temperature test	Micro fuel cell power system
8.3.9	Long-term storage test	Unused fuel cartridge In-service fuel cartridge
8.3.10	High-temperature connection test	Unused fuel cartridge and micro fuel cell power system In-service fuel cartridge and micro fuel cell power system
8.3.11	Connection cycling tests	Unused fuel cartridge and micro fuel cell power system
8.3.12	Gas loss tests	Micro fuel cell power system
Where multiple types of test samples are listed for a specific type test, that type test shall be performed on each of the types of test samples listed. Test sequence: The tests of 8.3.2 and 8.3.3 shall be conducted sequentially for testing the same fuel cartridges. The tests of 8.3.1, 8.3.2 and 8.3.3 shall be done sequentially for testing the same micro fuel cell power systems. Reuse of samples: Fuel cartridges and micro fuel cell power systems may be reused at the manufacturer's discretion if their reuse does not compromise the individual test. If a micro fuel cell power system is intended to be connected to a fuel cartridge during operation, then the type test shall be performed on the micro fuel cell power system with the associated fuel cartridge connected. For clarification, this is intended to include satellite cartridges.		

- d) Laboratory conditions are specified in Table 6, unless otherwise explicitly specified elsewhere in Clause 8.

Table 6 – Laboratory conditions

Item	Condition
Laboratory temperature	Laboratory temperature is "room temperature" (22 °C ± 5 °C).
Laboratory room atmosphere, for micro fuel cell power system testing only	The laboratory atmosphere contains not more than 0,2 % carbon dioxide and not more than 0,002 % carbon monoxide. The laboratory atmosphere contains at least 18 % oxygen but not more than 21 % oxygen.

- e) The test sample shall be conditioned at laboratory temperature for a minimum of 3 h prior to each test being performed.
- f) **WARNING** – These type tests use procedures that can result in harm if adequate precautions are not taken. Tests should only be performed by qualified and experienced technicians using adequate protection.
- g) In addition to the type tests specified in Table 5, for satellite cartridges (containing liquid fuels) and micro fuel cell power systems designed to use satellite cartridges (containing liquid fuels), the following additional type tests from IEC 62282-6-300:2012, 4.4 shall be performed with the satellite cartridge connected to the micro fuel cell power system: cartridge compression test, cartridge tensile test, cartridge torsion test, cartridge bending test.

8.2 General leakage and gas loss measurement protocols

8.2.1 General protocols

The general protocols for performing concentration-based measurements, protocols for the assessment of point source gas loss, liquid leak detector test protocol, water immersion test protocol, mass loss measurement protocols and methods for the detection of accessible liquids for assessing compliance with leakage, gas loss, and emission requirements throughout this document are included in 8.2.2 through 8.2.9 below for reference and for use as appropriate in the fuel specific parts of the IEC 62282-6-1XX series.

8.2.2 Tests

8.2.2.1 General

Following each type test, all test samples shall be checked for leakage and gas loss in accordance with the following procedures.

8.2.2.2 Leakage and gas loss test procedures for fuel cartridges

- 1) Perform a visual inspection of all possible leak locations for leakage as specified in the relevant fuel specific clause of this document.
- 2) Perform any necessary additional checks for leakage as specified in the relevant fuel specific clause of this document.
- 3) Check for gas loss.

8.2.2.3 Leakage and gas loss test procedures for micro fuel cell power systems

- 1) Perform a visual inspection of all possible leak locations for leakage as specified in the relevant fuel specific clause of this document.
- 2) Perform any necessary additional checks for leakage as specified in the relevant fuel specific clause of this document.
- 3) Perform gas loss testing in accordance with a suitable protocol as specified in the relevant fuel specific clause of this document with the micro fuel cell power system or unit turned off ("DEVICE OFF")
- 4) Turn on the micro fuel cell power system and run for 10 min $\pm$ 30 s. Check whether fire or explosion occurs.
- 5) Perform gas loss testing in accordance with a suitable protocol as specified in the relevant fuel specific clause of this document with the micro fuel cell power system or unit turned on ("DEVICE ON"), regardless of whether or not the micro fuel cell power system is operational. If the device is not operational, the gas loss rate limit for non-operating devices shall be met.

8.2.3 Protocol for performing concentration-based measurements

8.2.3.1 General

This Subclause 8.2.3 provides general guidance on how to use concentration-based measurements to assess gas loss rates.

8.2.3.2 Test set-up and validation

This procedure may be adjusted, or a substitute procedure used, provided that verification and validation work demonstrates equivalent performance. Verification and validation of the method shall be conducted and demonstrate the following performance:

- a) Demonstrate the repeatable and reliable measurement of the constituent concentration at the gas loss rate limit specified for that constituent in Table 4 or an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2. If a specific constituent is not included in Table 4, a limit shall be assigned in the fuel specific part of this document consistent with the principles expressed in 4.2.

- b) In cases where transient excursions above the time-averaged rate can occur (e.g. system purge) and where a transient threshold applies, in addition to a time-averaged limit, demonstrate the repeatable and reliable measurement of a relevant change in gas loss rate from the allowed time-averaged rate to a rate not more than the allowed transient rate when control testing is conducted. In such cases the sample cycle duration shall be sufficient to verify that the short-term gas loss rate limit is not exceeded.

As an example of testing for a transient gas loss rate threshold, when testing for hydrogen gas loss, the apparatus shall reliably detect when a rate changes from $\leq 0,003 \text{ 2 g/h}$ (impermissible hydrogen gas loss rate) to $\geq 0,016 \text{ g/h}$ (transient gas loss rate).

When conducting this test, the following points are relevant:

- Micro fuel cell power systems emit water vapour and under certain conditions this water vapour can condense. This condensation is not considered gas loss or leakage if the condensate is not a hazardous substance.
- Instruments suitable for measuring constituent concentration include mass spectrometers, gas chromatographs, or other suitable instruments calibrated to measure the constituents of interest at the appropriate concentration. Other instruments may also be used, provided that their performance is sufficient to reliably detect and measure the constituents of interest at the applicable limits. Suitable alternative instruments, for flammable gas or vapours, include flammable gas or vapour detectors calibrated for the appropriate concentration.
- If necessary, blank measurements to account for background gas or vapour concentrations in the air used for the test should be made.

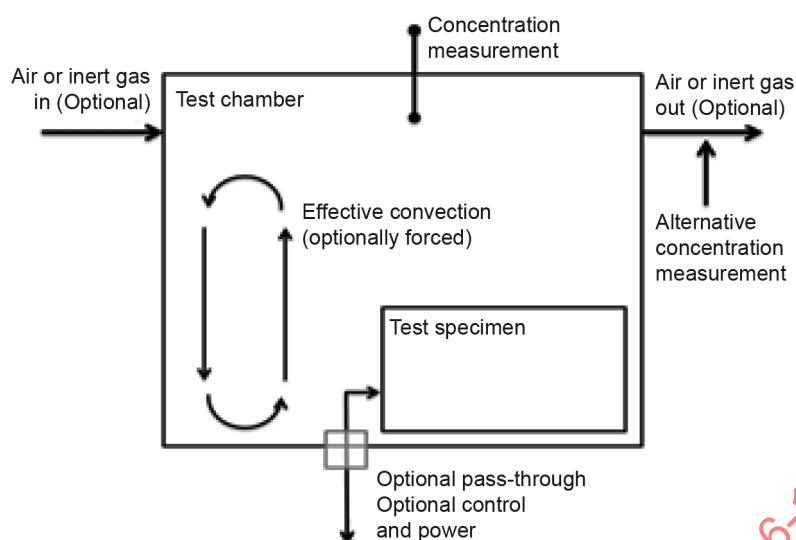
8.2.3.3 Test apparatus

The test apparatus shall include:

- the test sample (fuel cartridge, in-service fuel cartridge, or micro power fuel cell system);
- an enclosed test chamber, optionally with air-tight conduits for power, control lines, sensors, etc.;
- a means of sampling gas concentration within the chamber.

The test apparatus may additionally include:

- a controlled flow air or inert gas inlet supply;
- a gas outlet;
- a means for achieving rapid convection (mixing) within the test chamber.



IEC

Figure 3 – Gas loss test apparatus

The chamber (and air-flow rate, if applicable) should be sized based on convenience and on maintaining a test volume that allows constituents at the gas loss rate limits to be reliably detected. A fully sealed or a flow-through test chamber may be used to perform the concentration-based testing, provided that uniform distribution throughout the chamber is achieved. If uniform mixing cannot be achieved through diffusion, a fan or other suitable mixing method shall be used to ensure uniform distribution of all constituents throughout the chamber.

Lower flow rates and smaller chamber volumes will improve measurement resolution (gas loss, if occurring, will remain at higher concentrations); however, care should be taken to ensure the chamber is large enough to avoid exceeding 25 % of the LFL of any constituent within the chamber at any time during the test.

8.2.3.4 Test procedure

- Perform this protocol while operating the micro fuel cell power system at rated power inside the test chamber shown in Figure 3.
- Record the concentrations of the chemical compounds of interest.
- Compare the maximum measured gas loss rate to the gas loss rate limit of chemical compounds of interest. If the gas loss rate is not less than the gas loss rate limit, the micro fuel cell power system fails the test and no further testing is required.
- For micro fuel cell power systems where hydrogen can be present, if the gas loss rate measured is greater than 0,016 g/h but less than the maximum allowable emission rate as defined in 5.2, hydrogen point source gas loss detection testing in accordance with 8.2.3 shall be performed.

For a flow-through chamber calculate the gas loss rate of chemical compounds of interest being emitted by multiplying the maximum stabilized concentration of each constituent by the simultaneous total airflow through the system. The total airflow through the system is determined by adding the steady-state variable flow air pump flow rate through the system to the simultaneous sample flow rate or by measuring the inlet airflow rate.

NOTE The total airflow into the chamber is equal to the sum of the airflow rates out of the chamber. Therefore, the airflow rate at the inlet of the chamber is equal to the airflow rate at the outlet of the chamber plus the sampling flow rate. The two values both represent the total airflow rate through the chamber, and either can be used to calculate the gas loss rate.

$$E_r = C_{\text{air}} \times R_{\text{air}}$$

where

E_r is the rate of gas loss from the sample;

R_{air} is the rate of airflow through the chamber;

C_{air} is the concentration of gas in the sampled airflow.

For a sealed chamber, the gas loss rate shall be calculated based on the differential between adjacent concentration measurements averaged over time between measurements. In this case:

$$E_r = \frac{C_{n+1} - C_n}{t_{n+1} - t_n} \times V_c$$

where

E_r is the rate of gas loss from the sample;

V_c is the free (gas) volume of the test chamber;

t_n is the time at which the previous sample was taken;

t_{n+1} is the time at which the current sample was taken;

C_n is the concentration at time t_n ;

C_{n+1} is the concentration at time t_{n+1} .

The maximum calculated gas loss rate shall be used to determine compliance. If the device is not operational, the gas loss rate limit for non-operating devices shall be met.

For concentration-based measurements at sub-ambient pressures this test protocol may be applied, using the sealed chamber methodology. Following the low external pressure test period, the chamber shall be returned to ambient pressure using air or inert gas of known purity. Allow the atmosphere in the chamber to stabilize or provide suitable mixing, then sample the chamber concentration.

8.2.4 Protocols for the assessment of point-source hydrogen gas loss

8.2.4.1 General

This Subclause 8.2.4 provides general guidance on how to assess point-source gas loss rates.

8.2.4.2 Test set-up and validation

An appropriate procedure specific to the test article shall be agreed between the manufacturer and testing authority.

The verification and validation of the procedure shall be conducted and demonstrate the repeatable and reliable measurement of the point-source gas loss rate limit specified for hydrogen in Table 4, or an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.

When conducting this test, the following points are relevant:

- Micro fuel cell power systems emit water vapour and under certain conditions this water vapour can condense. This condensation is not considered gas loss or leakage if the condensate is not a hazardous substance.
- If necessary, blank measurements to account for background gas or vapour concentrations in the air used for the test should be made.
- A safe work space such as a fume hood free of combustible or flammable materials (other than the test article), along with shielding and personnel protective equipment, or equivalent,

sufficient to protect the operator should uncontrolled combustion occur; the work space should also use the minimum airflow past the sample consistent with safe operation and have a low relative humidity; measures shall be taken to ensure that compliance with the safety principles of 4.2 at any potential gas loss location is not suppressed by experimental conditions.

Subclause 8.2.4.3 provides an example of an instrumentally based point-source hydrogen gas loss concentration detection method. Other methods of assessing point-source hydrogen gas loss may be employed, such as water immersion or detection by flame, provided that the method is verified and validated as required by 8.2.4.2.

8.2.4.3 Test apparatus and procedure

A suitable apparatus and procedure shall be agreed between the manufacturer and testing authority in accordance with 8.2.4.2.

The following is provided as an example of an instrumentally based point-source hydrogen gas loss concentration detection method. Suitability of this test method or any other test method shall be confirmed by the manufacturer through the verification and validation work required by 8.2.4.2.

This example test comprises the following elements:

- The article under test (a micro fuel cell power system fuelled in accordance with the manufacturer's specifications, a fuel cartridge, or an in-service fuel cartridge, as applicable).
- A point source hydrogen gas detector capable of detecting hazardous hydrogen gas loss. This detector may be either a mass spectrometer, a hand-held hydrogen gas detector, or other instrument suitable for measuring small quantities of hydrogen gas from a point source that is at least as accurate, if not more so, than the aforementioned instruments. The detector shall be tuned to detect a level of hydrogen gas that is at 25 % of the LFL. The response of the aforementioned detectors is commonly slow, with a response time of many seconds, thus high sweep speeds can cause underestimation of the hydrogen gas concentration. It is important that the sweep speed be slow enough to accurately measure the hydrogen gas concentration.
- The testing shall be conducted in a space with no substantial air movement. The measured wind speed 10 cm above the micro fuel cell power system or unit shall not exceed 0,02 m/s.

To conduct a scan for point-source gas loss:

- a) Systematically sweep the entire surface of the test article with the point-source hydrogen gas detector.
- b) The point-source hydrogen gas detector shall sweep the test article at a distance not more than 3 mm normal to the surface of the test article. Consecutive linear sweeps shall not be more than 8 mm apart along the surface of the test article.
- c) An effective method for completing these sweeps would be to attach a standoff to the sensor that ensures that a spacing of 3 mm from the test article is maintained at all times. A pen or other marking utensil attached to the standoff can be used to identify swept areas and ensure that the distance between sweeps does not exceed 8 mm.
- d) The sensor should always face directly downward, and the test article should be moved beneath it such that the surface directly below the sensor is always horizontal.

If no points are found where the hydrogen gas concentration is greater than 25 % of the LFL, the test is complete and the article shall be considered to have passed.

When some point-source sweeps show a large region of 25 % of the LFL or greater in the initial linear sweeps, recording the measured concentration values will assist in determining the starting point of secondary spiral sweeps. Point sources are presumed to be where local maximum values exist in the distribution of measured concentration values.

If any points are detected to have a hydrogen gas concentration of 25 % of the LFL or greater, a second test shall be conducted to determine that no point source has a hydrogen gas concentration of 25 % of the LFL or greater. If a second test is required:

- a) Perform the sweep with a sensor height adjusted to 6,5 mm above the test article.
- b) Conduct a spiral sweep, originating from the point where the detection of 25 % of the LFL or greater of hydrogen gas occurred during the initial linear sweep. The spiral sweep shall have a spacing of 1 mm or less between sweeps, and shall spiral out to a radial distance of at least 4 mm and far enough to detect the maximum hydrogen gas level from that particular source.

If the spiral sweep at 6,5 mm above the test article detects a maximum concentration of hydrogen gas that is 25 % of the LFL or greater, the test article fails the test. If the spiral sweep does not detect any hydrogen concentrations of 25 % of the LFL or greater, the test article passes the test.

For fuel cartridges containing hydrogen, if point-source testing in accordance with this Subclause 8.2.4.3 is performed following the test protocol of 8.2.4.2 or 8.2.4.3, to ensure there is no release of hazardous materials to the environment, the test protocol of 8.2.4.2 or 8.2.4.3 shall be repeated one hour after completion of this point-source test.

NOTE The above example was developed based on a specific set of test conditions to detect a 0,016 g/h flow of hydrogen through a 0,5 mm diameter circular orifice in a horizontally oriented flat plate with a smooth surface. Differing point-source gas loss conditions such as orifice geometries or orientations or surface contours or finishes can yield invalid results.

8.2.5 Liquid leak detector test protocol

- a) The measurement of gas loss shall be performed using a liquid leak detector (bubble forming) solution or other equivalent means, such as a water immersion test, on all possible leak locations of the test specimen.
- b) If bubbles are observed, hydrogen point-source gas loss detection testing in accordance with 8.2.4, or an equivalent method shall be performed to ensure there is no release of hazardous substances to the environment.
- c) If point-source testing is performed, the liquid leak detector test of 8.2.5 step a) shall be repeated one hour after completion of the point-source test. If bubbles due to (hazardous) gas loss are observed, the test specimen fails the test.

8.2.6 Water immersion test protocol

8.2.6.1 General

- a) For fuel cell cartridges containing solid, water reactive fuel, a water immersion test shall be performed by immersing the entire fuel cartridge containing solid fuel in at least one metre of laboratory temperature water for 30 min.
- b) If bubbles are observed, hydrogen point-source gas loss detection testing in accordance with 8.2.4, or an equivalent method, shall be performed to ensure there is no release of hazardous substances to the environment.
- c) If point-source testing is performed, the water immersion test of 8.2.6.1, step a) shall be repeated one hour after completion of the point source test. If bubbles due to leakage are observed, the fuel cartridge fails the leakage test.

8.2.6.2 Elevated temperature water immersion test protocol

Fuel cartridges subjected to a water immersion test shall be bubble-tight. The temperature of the water and the duration of the test shall be such that the internal pressure in the cartridge reaches that which would be reached at 55 °C. No leakage or permanent deformation may occur, except that a plastic cartridge may be deformed through softening provided there is no leakage.

8.2.7 Mass loss measurement protocols

8.2.7.1 Standard mass loss protocol

- a) Prior to the type test, measure the initial mass M_0 and initial time t_0 .
- b) Within 10 min of completing the type test, perform a visual inspection for accessible hazardous liquids in accordance with 8.2.8.
- c) Within 20 min of completing the type test, measure and record mass M_1 and time t_1 .
- d) Calculate the mass loss using the following calculation:

$$\text{Mass loss} = \frac{M_1 - M_0}{t_1 - t_0}$$

- e) Wait $2 \text{ h} \pm 10 \text{ min}$ at $22 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ after t_1 then perform a visual inspection for accessible hazardous liquids in accordance with 8.2.8. Measure and record mass M_2 and time t_2 .
- f) Calculate the mass loss using the following calculation:

$$\text{Mass loss} = \frac{M_2 - M_1}{t_2 - t_1}$$

NOTE 1 It is possible for a micro fuel cell power system that does not have a fuel shut-off to have a higher mass loss than the gas loss limit, without the fuel escaping to the environment. This occurs due to crossover generating water that evaporates. The crossover effect can be compensated by using appropriate methods. For example, tests can be run in a humidity chamber to avoid mass loss due to water evaporation.

NOTE 2 If desired, an empty cartridge can be included in the test and then used to normalize cartridge mass changes due to water absorption or loss.

8.2.7.2 Alternative mass loss measurement protocols

Alternative mass loss measurement protocols can be required for type tests of longer duration where a single mass loss measurement following the type test is not sufficient to determine compliance with the relevant passing criteria. In these cases, mass loss measurements may be recorded periodically or continuously throughout the type test at a frequency sufficient to accurately assess compliance.

8.2.8 Methods for the detection of accessible hazardous liquids

Leakage shall be checked visually. Any drops of accessible hazardous liquid on the exterior of the test specimen are indications of leakage.

For test specimens containing hazardous liquids, all accessible external surfaces shall be wiped with an indicating paper to check for leakage on all possible leak locations. In addition, invert the fuel cartridge and the fuel port over the indicating paper in such a way that the fuel port points downward toward the indicating paper and look for signs of leakage; if any accessible hazardous liquid is found, the test fails.

For test specimens containing Class 8 (corrosive) materials, pH paper shall be used as the indicating paper to aid in the visual check for leakage. Any detection of a substance with a pH lower than 3,5 or greater than 10,5 is an indication of leakage.

8.2.9 Protocol for gas loss test for devices to be used in close proximity to user's mouth or nose

8.2.9.1 General

This Subclause 8.2.9 provides general guidance on how to use concentration-based measurements to assess gas loss rates from an operating system to be used in close proximity (10 cm or less) to a consumer's mouth or nose.

8.2.9.2 Test set-up and validation

This procedure may be adjusted, or a substitute procedure used, provided that verification and validation work demonstrate equivalent performance. Verification and validation of the method shall be conducted and demonstrate the following performances:

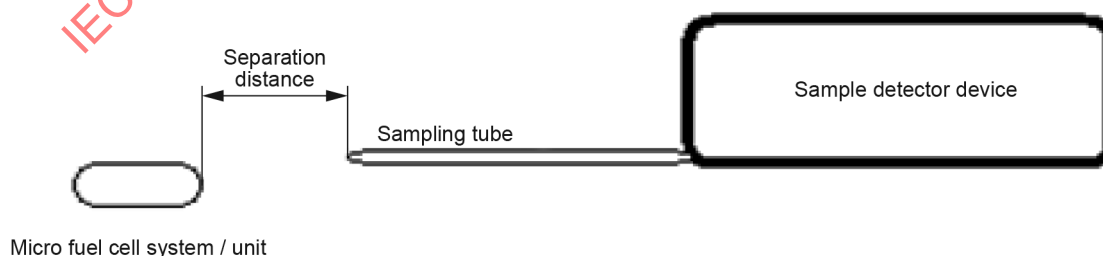
- Demonstrate the repeatable and reliable measurement of the constituent concentration at the gas loss rate limit specified for that constituent in Table 4 or an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2. If a specific constituent is not included in Table 4, a limit shall be assigned in the fuel specific part of this document consistent with the principles expressed in 4.2.
- Demonstrate the repeatable and reliable measurement, in cases where a transient threshold applies in addition to a time-averaged limit, of a relevant change in gas loss rate from the allowed time-averaged rate to a rate not more than 10 % above the allowed transient rate, within 1 min of a change in rate when control testing is conducted.

When conducting this test, the following points are relevant:

- Micro fuel cell power systems emit water vapour and under certain conditions this water vapour can condense. This condensation is not considered gas loss or leakage if the condensate is not a hazardous substance.
- Instruments suitable for measuring constituent concentration include mass spectrometers, gas chromatographs, or other suitable instruments calibrated to measure the constituents of interest at the appropriate concentration. For example, the concentration of CO and CO₂ gas can be measured by a non-dispersive infrared absorption analyser; these analytical instruments shall comply with ISO 16000-3, ISO 16000-6 and ISO 16017-1. Other instruments may also be used, provided that their performance is sufficient to reliably detect and measure the constituents of interest at the applicable limits. Suitable alternative instruments, for flammable gas or vapours, include flammable gas or vapour detectors calibrated for the appropriate concentration.
- If necessary, blank measurements to account for background gas or vapour concentrations in the air used for the test should be made.

8.2.9.3 Test apparatus

Testing shall be done in a large open room using a gas loss testing apparatus such as that shown in Figure 4. For this testing, the air sampling tube shall extend to a separation distance (SD) from the micro fuel cell power system that is representative of the typical distance between the consumers' mouth or nose and the breathing zone of a consumer (the distance from the micro fuel cell power system to a consumer's mouth or nose when in use, or 10 cm or less) for gas loss concentration limit testing.



IEC

Figure 4 – Operational gas loss concentration testing apparatus

Gas losses can be composed of one or more of the gases shown in Table 4, and other hazardous gases, which are potentially exhausted from a micro fuel cell power system.

8.2.9.4 Test procedure

- Gas loss concentration testing of micro fuel cell power systems shall be done in a room which volume is 5 m³ to 25 m³. The air exchange rate of the room shall be in the range of 0,5 ACH to 1 ACH. An air screen can be used to keep still the air condition around the test apparatus. It is the intent of this test to approximate and to measure the expected gas loss concentrations near a consumer's mouth or nose in still air. The air in the room shall be sampled prior to testing to ensure accuracy and to avoid false non-compliant results. Ensure that materials in the room or in the sampling system do not contribute gasses (that is, contaminants) to the test. Prior to testing, a system check for contamination without the micro fuel cell power system in place is recommended to avoid false non-compliant results.
- Gas loss concentrations from the micro fuel cell power system shall be sampled using the operational gas loss concentration testing apparatus shown in Figure 4. For gas loss concentration testing, the air sampling tube shall extend to a separation distance (SD) from the micro fuel cell power system that is representative of the breathing zone of a consumer (the distance from the micro fuel cell power system to a consumer's mouth or nose when in use).
The inner diameter of the sample tube shall be 12 mm ± 1 mm, unless otherwise agreed between the manufacturer and testing authority.
- The sampling rate for the close proximity gas loss concentration measurements shall be 15 l/min continuously, which represents the breathing rate of an adult human being.

8.3 Type tests

8.3.1 Pressure differential tests

8.3.1.1 General

These tests ensure compliance with 5.4.1 to verify cartridge and system integrity at both elevated and differential pressures.

For cartridges, internal pressurization testing in accordance with 8.3.1.2 to 100 kPa internal gauge pressure plus normal working pressure at 22 °C or two times the normal working pressure at 55 °C, whichever is greater, is required to ensure no leakage or gas loss.

For micro fuel cell power systems, internal pressure testing of fuel containing components that contain fuel above atmospheric pressure is required in accordance with 8.3.1.3.

For micro fuel cell power systems, pressure differential testing in accordance with 8.3.1 at a low external pressure of 68 kPa and 11,6 kPa external absolute pressure is required.

8.3.1.2 Fuel cartridge internal pressurization test

- a) Test sample: six fuel cartridge bodies and six fuel cartridge valves. Fuel cartridge bodies and valves should be tested separately.
- b) Purpose: to ensure cartridge integrity and no leakage under the effects of high internal fuel cartridge pressure.
- c) Test procedure:

For the internal pressurization test, the fuel cartridge body and the fuel cartridge valve shall be tested separately.

- 1) Using a fluid medium recommended by the manufacturer, pressurize the fuel cartridge body to an internal pressure of 100 kPa internal gauge pressure plus normal working pressure at 22 °C or two times the normal working pressure of the fuel cartridge at 55 °C, whichever is greater. The rate at which the cartridge is pressurized shall not exceed a rate of 60 kPa/s.
- 2) Maintain the maximum pressure for 30 min at laboratory temperature, monitor the pressure and check for accessible fluid medium.

- 3) Using a suitable fluid medium, pressurize the closed fuel cartridge valve to 100 kPa gauge pressure plus the normal working pressure of the cartridge at 22 °C or two times the normal working pressure of the fuel cartridge at 55 °C, whichever is greater. The rate at which the valve is pressurized shall not exceed a rate of 60 kPa/s.
 - 4) Maintain the maximum pressure for 30 min at laboratory temperature, monitor the pressure and check for accessible fluid medium.
- d) Passing criteria: no accessible fluid test medium and no sudden drop of pressure during the course of the test. A relief valve is exempted from this requirement.

NOTE The 30-min requirement is consistent with the requirements from International Civil Aviation Organization (ICAO) regulations.

8.3.1.3 Micro fuel cell power system internal pressurization tests

This test is only required for components of micro fuel cell power systems that contain fluids at greater than atmospheric pressure. For clarification this testing may be performed with pressure relief devices or purge valves blanked off or excluded.

- a) Test sample: three sets of any components of a micro fuel cell power system designed to contain fuel or other fluids at greater than atmospheric pressure.
- b) Purpose: to ensure structural integrity of pressure containing components of the micro fuel cell power system.
- c) Test procedure:
 - 1) Using a suitable fluid medium, pressurize the components to an internal pressure of two times the maximum gauge pressure of the components at 55 °C or two times the maximum discharge pressure of fuel from the fuel cartridge at 55 °C, whichever is greater. The pressure rise shall not exceed a rate of 60 kPa/s.
 - 2) Maintain the maximum pressure for 30 min at laboratory temperature, monitor the pressure and check for accessible fluid medium using an appropriate procedure as specified in the corresponding fuel specific part of the IEC 62282-6-1XX series (IEC 62282-6-106, IEC 62282-6-107 or a future part as applicable).
- d) Passing criteria: no accessible fluid test medium and no sudden drop of pressure during the course of the test

8.3.1.4 Micro fuel cell power system pressure differential tests

8.3.1.4.1 Micro fuel cell power system 68 kPa absolute low external pressure test

- a) Test sample: three micro fuel cell power systems with unused (and freshly activated, if necessary) cartridges installed. If the micro fuel cell power system is designed to use satellite cartridges it shall be fuelled in accordance with the manufacturer's specifications.
- b) Purpose: to simulate the effects of high internal pressure or low external pressure.
- c) Test procedure:
 - 1) The test sample shall be stored at a low external pressure of 68 kPa absolute pressure for 6 h at laboratory temperature.
 - 2) Check for leakage and gas loss in step 1).
 - 3) After the test sample is placed at normal atmospheric pressure, turn on the micro fuel cell power system and run for 10 min.
 - 4) Check whether fire or explosion occurs.
 - 5) Turn off the micro fuel cell power system.
 - 6) Check for gas loss including the emission test in accordance with 8.2.2.

If comprehensive checks for leakage or gas loss require disassembly of the micro fuel cell power system (e.g. to check for leakage from an internal reservoir), portions of testing requiring disassembly can be performed once at the end of 8.3.3. System level testing are still performed at step 6).

d) Passing criteria:

- no fire or flame at any time;
- no explosion at any time;
- leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2;
- if the micro fuel cell power system does not operate and the gas loss rate limits for non-operating devices are not exceeded, the test result is acceptable.

8.3.1.4.2 Micro fuel cell power system 11,6 kPa absolute low external pressure test

This test is required for all micro fuel cell power systems.

- a) Test sample: three micro fuel cell power systems with unused (and freshly activated, if necessary) cartridges installed. If the micro fuel cell power system is designed to use satellite cartridges it shall be fuelled in accordance with the manufacturer's specifications.
- b) Purpose: to simulate the effects of high internal pressure or low external pressure.
- c) Test procedure:
 - 1) The test sample shall be stored at a low external pressure of 11,6 kPa absolute pressure for 1 h at laboratory temperature.
 - 2) Check for leakage and gas loss in step 1).
 - 3) After the test sample is placed in the normal atmospheric pressure, turn on the micro fuel cell power system and run for 10 min.
 - 4) Check whether fire or explosion occurs.
 - 5) Turn off the micro fuel cell power system.
 - 6) Check for gas loss including the emission test in accordance with 8.2.2.
- d) Passing criteria: no fire or flame at any time, no explosion at any time. Leakage or gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2. If the micro fuel cell power system does not operate and the gas loss rate limits for non-operating devices are not exceeded, the test result is acceptable. During the 1 h test at 11,6 kPa absolute external pressure, the gas loss (at steps 1) and 2)) shall be less than the fuel specific limit for the 11,6 kPa absolute external pressure test.

For the 11,6 kPa pressure test, the time constant for developing the gas loss limit is based on a 1 h period for flammable gases instead of a 24 h period; consequently, in each of the fuel specific parts of the IEC 62282-6-1XX series (IEC 62282-6-106, IEC 62282-6-107 or a future part as applicable), a separate limit will be specified. For example, for hydrogen the limit becomes 0,08 g/h instead of 0,003 2 g/h and for methanol it becomes 2 g/h instead of 0,08 g/h.

8.3.2 Vibration test

- a) Test sample: six unused fuel cartridges, six in-service fuel cartridges and three micro fuel cell power systems used for the test in 8.3.1.4.1 or three micro fuel cell power systems fuelled in accordance with the manufacturer's specifications, used for the test in 8.3.1.4.1, and connected to a fuel cartridge.
- b) Purpose: to simulate the effects of normal transportation vibration.
- c) Test procedure:
 - 1) The test sample shall be firmly secured to the platform of the vibration machine without distorting the sample in such a manner as to properly transmit the vibration.
 - 2) The vibration shall be a sinusoidal waveform with a logarithmic sweep between 7 Hz and 200 Hz and back to 7 Hz traversed in 15 min.
 - 3) This cycle shall be repeated 12 times for a total of 3 h for each of three mutually perpendicular mounting positions of the test samples.
 - 4) The logarithmic frequency sweep is as follows: from 7 Hz a peak acceleration of $9,8 \text{ m/s}^2$ is maintained until 18 Hz is reached. The amplitude is then maintained at 0,8 mm (1,6

mm total excursion) and the frequency increased until a peak acceleration of $78,4 \text{ m/s}^2$ occurs (approximately 50 Hz). A peak acceleration of $78,4 \text{ m/s}^2$ is then maintained until the frequency is increased to 200 Hz.

- 5) Check each test specimen for leakage and gas loss in accordance with 8.2.
- 6) For the micro fuel cell power system, turn on the micro fuel cell power system and run for 10 min.
- 7) Check whether fire or explosion occurs.
- 8) Turn off the micro fuel cell power system.
- 9) Check for leakage and gas loss including the emission test in accordance with 8.2.

If comprehensive checks for leakage and gas loss require disassembly of the micro fuel cell power system (e.g. to check for leakage from an internal reservoir), portions of testing requiring disassembly may be performed once at the end of 8.3.3. System level testing is still performed at step 9).

- d) Passing criteria for the fuel cartridge: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.
- e) Passing criteria for the micro fuel cell power system: no fire or flame at any time, no explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2. If the micro fuel cell power system does not operate and the gas loss rate limits for non-operating devices are not exceeded, the test result is acceptable.

8.3.3 Temperature cycling test

- a) Test sample: six unused fuel cartridges used for the test in 8.3.2, six in-service fuel cartridges used for the test in 8.3.2. Three micro fuel cell power systems used for the test in 8.3.2 or three micro fuel cell power systems fuelled in accordance with the manufacturer's specifications used for the test in 8.3.2.
- b) Purpose: to simulate the effects of low-temperature and high-temperature exposure and the effects of extreme temperature change.
- c) Test procedure:
 - 1) For a fuel cartridge, two fuel cartridge orientations shall be tested – valve up and valve down. For a micro fuel cell power system, only one orientation is required to be tested.
 - 2) See Figure 5 for the temperature profile to be used.
 - 3) Place the test sample in a temperature-controlled test chamber and increase the chamber temperature from laboratory temperature to a minimum of $55 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ within 1 h and keep it at a minimum of $55 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ for a minimum of 4 h.
 - 4) Decrease the chamber temperature to $22 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ within 1 h and keep it at $22 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ for $1 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$ then decrease the chamber temperature to a maximum of $-40 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ within 2 h and keep it at a maximum of $-40 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ for a minimum of 4 h.
 - 5) Increase the chamber temperature to $22 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ within 2 h and keep it at $22 \text{ °C} \pm 5 \text{ °C}$ for $1 \text{ h} \pm 5 \text{ min}$.
 - 6) Steps 3) through 5) shall be done twice.
 - 7) Check each test specimen for leakage and gas loss in accordance with 8.2.
 - 8) For the micro fuel cell power system, turn on the micro fuel cell power system and run for 10 min.
 - 9) Check whether fire or explosion occurs.
 - 10) Turn off the micro fuel cell power system.
 - 11) Check for leakage and gas loss including the emission test in accordance with 8.2.
- d) Passing criteria for the fuel cartridge: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall be within allowable limits as specified in the corresponding fuel specific part of the IEC 62282-6-1XX series (IEC 62282-6-106, IEC 62282-6-107 or a future part as applicable).

- e) Passing criteria for the micro fuel cell power system: no fire or flame at any time, no explosion at any time. Leakage, gas loss, and emissions, shall be within allowable limits as specified in the corresponding fuel specific part of the IEC 62282-6-1XX series (IEC 62282-6-106, IEC 62282-6-107 or a future part as applicable). If the micro fuel cell power system does not operate but emissions do not exceed the limits for non-operating systems, the emission test result is acceptable.

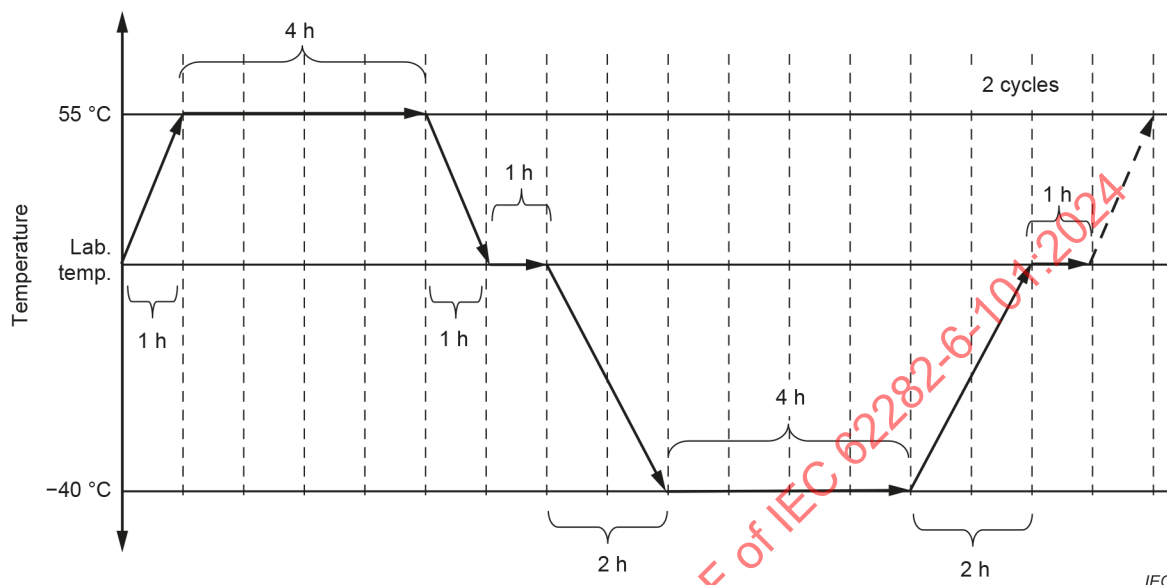


Figure 5 – Temperature cycling

8.3.4 High-temperature exposure test

- Test sample: six unused fuel cartridges and six in-service fuel cartridges.
- Purpose: to simulate the effects of a fuel cartridge left in high-temperature environments.
- Test procedure:
 - Two orientations shall be tested – valve up and valve down.
 - Place the test sample in a temperature-controlled test chamber that is at a minimum temperature of $70\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ and allow the chamber temperature to recover to a minimum of $70\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ and maintain that temperature for at least 4 h with the sample in the chamber.
 - Remove the test sample to laboratory temperature.
 - Check for leakage and gas loss in accordance with 8.2.
- Passing criteria: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2

8.3.5 Drop test

- Test sample: six unused fuel cartridges, six in-service fuel cartridges and three fuelled micro fuel cell power systems. If a micro fuel cell power system is intended to be used with a satellite cartridge, it shall be tested as fuelled in accordance with the manufacturer's specifications and connected to its satellite cartridge.
- Purpose: to simulate the effects of an inadvertent drop.
- Test procedure:
 - The test sample shall be dropped on a horizontal surface that consists of hardwood at least 13 mm thick, mounted on two layers of plywood each 18 mm to 20 mm thick, all supported on a concrete or equivalent non-resilient floor from a predetermined height. An equivalent or harder non-resilient floor (e.g. bare concrete) may be used instead of the specified horizontal surface.

- 2) The height of the drop shall be:
 - i) 1 200 mm $\pm$ 10 mm: in the case of a micro fuel cell power system;
 - ii) 1 500 mm $\pm$ 10 mm: in the case of a fuel cartridge of more than 200 ml;
 - iii) 1 800 mm $\pm$ 10 mm: in the case of a fuel cartridge of up to 200 ml.
- 3) For the fuel cartridge, the drop test shall be carried out in four drop orientations with the same sample.
- 4) For the micro fuel cell power system, one micro fuel cell power system may be used for all four drop orientations, or more than one micro fuel cell power system may be used in subsequent drops, at the discretion of the manufacturer. Prior to dropping each micro fuel cell power system, a cartridge shall be installed and the system shall be operated for 10 min $\pm$ 30 s, and shall be left in operation for the drops.
- 5) For all tests, drop orientations shall be:
 - i) valve up;
 - ii) valve down;
 - iii) two other mutually perpendicular orientations.
- 6) After each drop, check each test specimen for leakage and gas loss in accordance with 8.2.
- 7) For the micro fuel cell power system, turn on the micro fuel cell power system and run for 10 min $\pm$ 1 min.
- 8) Check whether fire or explosion occurs.
- 9) Turn off the micro fuel cell power system.
- 10) Check for leakage and gas loss including the emission test in accordance with 8.2.
- d) Passing criteria for fuel cartridge: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall be within allowable limits as specified in the corresponding fuel specific part of the IEC 62282-6-1XX series (IEC 62282-6-106, IEC 62282-6-107 or a future part as applicable).
- e) Passing criteria for the micro fuel cell power system: no fire or flame at any time, no explosion at any time. Leakage, gas loss, and emissions, shall be within allowable limits as specified in the corresponding fuel specific part of the IEC 62282-6-1XX series (IEC 62282-6-106, IEC 62282-6-107 or a future part as applicable). If the micro fuel cell power system does not operate but emissions do not exceed the limits for non-operating systems, the emission test result is acceptable. If the micro fuel cell power system is still operational, protective circuitry specified by the hazard analysis and risk assessment as part of the safety systems shall still be fully functional. There shall be no exposure of hazardous parts.

8.3.6 Compressive loading test

8.3.6.1 Micro fuel cell power system

- a) Test sample: three fuelled micro fuel cell power systems. If a micro fuel cell power system is intended to be used with a satellite cartridge, it shall be tested as fuelled in accordance with the manufacturer's specifications and connected to its satellite cartridge.
- b) Purpose: to simulate the effects of the forces reasonably encountered due to something heavy being placed on the micro fuel cell power system.
- c) Test procedure:
 - 1) The micro fuel cell power system test sample shall be placed between two flat hardwood blocks of 254 mm (10 in) long, 101,6 mm (4 in) wide and 12,7 mm (1/2 in) thick, using $\pm$ 3,175 mm ($\pm$ 1/8 inch) tolerance, equipped with suitable force applicator(s) capable of exerting a compressive force on the sample of 245 N $\pm$ 9,8 N.
 - 2) A compressive force shall be applied to the sample gradually at a rate of less than or equal to 12,7 mm/min (1/2 in/min).
 - 3) A compressive force of 245 N $\pm$ 9,8 N shall be applied to the stationary sample for 5 s.

- 4) The test shall be carried out in three mutually perpendicular orientations as a rule. If the sample does not stand on its own, it is not necessary to be tested in that orientation.
- 5) Check for leakage and gas loss in accordance with 8.2.
- 6) Turn on the micro fuel cell power system and run for 10 min.
- 7) Check whether fire or explosion occurs.
- 8) Turn off the micro fuel cell power system.
- 9) Check for leakage and gas loss including the emission test in accordance with 8.2.
- d) Passing criteria: no fire or flame at any time, no explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2. If the micro fuel cell power system does not operate and the gas loss rate limits for non-operating devices are not exceeded, the test result is acceptable.

8.3.6.2 Fuel cartridge

- a) Test sample: six unused fuel cartridges and six in-service fuel cartridges.
- b) Purpose: to simulate the effects of the forces reasonably encountered due to something heavy being placed on the fuel cartridge.
- c) Test procedure:
 - 1) The fuel cartridge test sample shall be placed between two flat hardwood blocks of 254 mm (10 in) long, 101,6 mm (4 in) wide and 12,7 mm (1/2 in) thick, using $\pm 3,175$ mm ($\pm 1/8$ in) tolerance, equipped with suitable force applicator(s) capable of exerting a compressive force on the sample of $981 \text{ N} \pm 9,8 \text{ N}$.
 - 2) A compressive force shall be applied to the sample gradually at a rate of less than or equal to 12,7 mm/min (1/2 in/min).
 - 3) A compressive force of $981 \text{ N} \pm 9,8 \text{ N}$ shall be applied to the stationary sample for 5 s.
 - 4) Fuel cartridge orientations shall be selected on the basis of likely stable resting positions when accidentally dropped (e.g. those orientations having the lowest centres of gravity with respect to the resting surface). It is acceptable to test only one surface of a prismatic fuel cartridge that is sufficiently cubic and the curved surface of a cylindrical fuel cartridge with a longitudinal axis length longer than twice the diameter.
 - 5) Check for leakage and gas loss in accordance with 8.2.
- d) Passing criteria: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.

8.3.7 External short-circuit test

- a) Test sample: three micro fuel cell power systems fuelled in accordance with the manufacturer's specifications or with an unused (and freshly activated, if necessary) fuel cartridge installed.
- b) Purpose: to simulate the effects of an external short-circuit.
- c) Test procedure:
 - 1) The external short-circuit test shall be done separately both with the power switch in the "ON" position and with the power switch in the "OFF" position.
 - 2) Each test sample shall be short-circuited by connecting the positive and negative terminals of the micro fuel cell power system with wires having a maximum resistance load of $0,1 \text{ } \Omega$ for at least 5 min.
 - 3) Check whether fire or explosion occurs.
 - 4) Check for leakage and gas loss including the emission test in accordance with 8.2.
- d) Passing criteria: no fire or flame at any time, no explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2. If the micro fuel cell power system does not operate and the gas loss rate limits for non-operating devices are not exceeded, the test result is

acceptable. Exterior surfaces shall not exceed temperatures in IEC 62368-1:2023, Table 37 during or after external short-circuit testing.

The external short-circuit test may be done sequentially with the surface, component and exhaust gas temperature test using the same sample.

8.3.8 Surface, component and exhaust gas temperature test

- a) Test sample: three micro fuel cell power system fuelled in accordance with the manufacturer's specifications or with an unused (and freshly activated, if necessary) fuel cartridge installed.
- b) Purpose: to ensure that no surfaces or exhaust gas of the micro fuel cell power unit exceed associated thermal limits during operation.
- c) Test procedure:
 - 1) Temperatures shall be measured until temperatures stabilize within $\pm 2^\circ\text{C}$ for 5 min.
 - 2) This test shall be conducted at the manufacturer's rated ambient operating temperature.
 - 3) The temperature of the bare surface of micro fuel cell power systems operating at rated power shall be measured using infrared camera(s), thermocouples, or other suitable means.
 - 4) The micro fuel cell power system shall be positioned for normal operation so that the exhaust gases are unimpeded.
 - 5) The temperature of exhaust gases shall be measured at a distance of 1 cm from the exhaust vent of the micro fuel cell power system operating at rated power.
 - 6) During the test, thermal cut-outs and overload devices shall not operate.
- d) Passing criteria: the surface temperature of the micro fuel cell power system parts where persons can touch easily shall comply with IEC 62368-1 for type TS1 or TS2 thermal energy sources as specified in 5.5.2 and 5.5.6. The temperature at 1 cm from the exhaust vent of the operating micro fuel cell power system shall be less than 70°C .

For components and electrical wiring in the micro fuel cell power system not shown in IEC 62368-1:2023, Table 37, their temperatures shall not exceed the maximum temperature for which the components and wiring are rated. Safety related components shall be identified by the risk assessment.

This test may be done sequentially with the external short-circuit test using the same sample.

8.3.9 Long-term storage test

- a) Test sample: six unused fuel cartridges and six in-service fuel cartridges.
- b) Purpose: to simulate the effects of long-term storage at elevated temperature.
- c) Test procedure:
 - 1) Place the test sample for at least 28 days in a temperature chamber at $50^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.
 - 2) Check for leakage and gas loss during step 1) in accordance with 8.2.
- d) Passing criteria: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2

8.3.10 High-temperature connection test

- a) Test sample: six unused fuel cartridges and six in-service fuel cartridges and one micro fuel cell power system or a suitable test fixture with a micro fuel cell power system valve. The test fixture shall have a configuration representative of the micro fuel cell power system geometry.
- b) Purpose: to simulate the effects of mating and un-mating of the fuel cartridge to the micro fuel cell power system when the fuel cartridge is at an elevated temperature.
- c) Test procedure:

- 1) Place the fuel cartridge test sample into a temperature-controlled test chamber that is at a minimum temperature of $50\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ for at least 4 h.
- 2) The micro fuel cell power system or test fixture with the micro fuel cell power system valve is kept at laboratory temperature.
- 3) Remove the test sample from the chamber, activate if necessary, and connect the fuel cartridge to the micro fuel cell power system or test fixture with the micro fuel cell power system valve within 5 min of removal from the chamber.
- 4) Check for leakage and gas loss upon connection in accordance with 8.2.
- 5) Disconnect the fuel cartridge and check for leakage and gas loss in accordance with 8.2.
- d) Passing criteria: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed limits as specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.

If the fuel cartridge cannot be connected using normal force but meets the above passing criteria the test results are acceptable.

8.3.11 Connection cycling tests

8.3.11.1 General

The tests described in 8.3.11 do not apply to cartridges designed for "single use" and that have a "lock-out mechanism" to prevent the user from inserting a used cartridge.

8.3.11.2 Fuel cartridge

8.3.11.2.1 Insert cartridge, exterior cartridge or attached cartridge

- a) Test sample: an unused insert cartridge, exterior cartridge or attached cartridge and a micro fuel cell power system fuelled in accordance with the manufacturer's instructions or a suitable test fixture with a micro fuel cell power system valve and fuelled in accordance with the manufacturer's instructions. The test fixture shall have a configuration representative of the micro fuel cell power system geometry and shall have the ability to simulate fluid flow from the fuel cartridge.
- b) Purpose: to simulate the effects of mating and un-mating of the fuel cartridge to the micro fuel cell power system.
- c) Test procedure:
 - 1) Prepare the cartridge for use in the micro fuel cell power system.
 - 2) Connect the fuel cartridge to the micro fuel cell power system or micro fuel cell power system valve and check for leakage and gas loss upon connection.
 - 3) Operate the micro fuel cell power system or otherwise simulate fluid flow from the fuel cartridge for at least 1 min.
 - 4) Turn off the micro fuel cell power system or stop simulated fluid flow from the fuel cartridge, and disconnect the cartridge.
 - 5) Connect, operate or otherwise simulate fluid flow for at least 1 min, and disconnect the fuel cartridge eight more times for a total of nine connections and disconnections.
 - 6) Connect the fuel cartridge and check for leakage and gas loss upon connection and then operate the micro fuel cell power system or otherwise simulate fluid flow from the fuel cartridge for at least 1 min.
 - 7) Turn off the micro fuel cell power system or stop simulated fluid flow from the fuel cartridge.
 - 8) Disconnect the fuel cartridge and check for leakage and gas loss.
If the fluid transferred from the fuel cartridge is a liquid, the gas loss check at steps 2) and 6) are not required.
- d) Passing criteria: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.

8.3.11.2.2 Satellite cartridge

- a) Test sample: an unused satellite fuel cartridge and a micro fuel cell power system or a suitable test fixture with a micro fuel cell power system valve fuelled in accordance with the manufacturer's instructions. The test fixture shall have a configuration representative of the micro fuel cell power system geometry and shall have the ability to simulate fluid flow from the fuel cartridge.
- b) Purpose: to simulate the effects of mating and un-mating of the fuel cartridge to the micro fuel cell power system.
- c) Test procedure:
 - 1) Prepare the cartridge for use in the micro fuel cell power system.
 - 2) Connect the fuel cartridge to the micro fuel cell power system or micro fuel cell power system valve and check for leakage and gas loss upon connection.
 - 3) Initiate or simulate fluid flow from the fuel cartridge for at least 1 min.
 - 4) Stop fluid flow from the fuel cartridge, disconnect the fuel cartridge and check for leakage and gas loss.
 - 5) Connect, initiate or simulate fluid flow, and disconnect the fuel cartridge 48 more times for a total of 49 connections and disconnections.
 - 6) Connect the fuel cartridge and check for leakage and gas loss upon connection and then to the micro fuel cell power system or micro fuel cell power system valve and initiate or simulate fluid flow from the fuel cartridge.
 - 7) Disconnect the fuel cartridge and check for leakage and gas loss. If the fluid transferred from the fuel cartridge is a liquid the gas loss check at steps 2) and 6) are not required. The gas loss check at step 7) is required; where mass based measurement is used, the initial mass reading shall be taken following the final disconnection.
- d) Passing criteria: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.

8.3.11.3 Micro fuel cell power system

- a) Test sample: a micro fuel cell power system fuelled in accordance with the manufacturer's instructions, and a minimum of two unused fuel cartridges, which are named as the first unused fuel cartridge and a final unused fuel cartridge, respectively, and an additional 98 fuel cartridges or suitable test fixtures with fuel cartridge valves. The test fixture shall have a configuration representative of the fuel cartridge valve geometry and material.
- b) Purpose: to simulate the effects of mating and un-mating of the fuel cartridge to the fuel cell power unit and ensure no leakage both at initial use and after suitable ageing of the micro fuel cell power system connection.

The first fuel cartridge (No. 1) and final fuel cartridge (No. 100) are inspected; the other 980 cycles are only to age the micro fuel cell power system.
- c) Test procedure:
 - 1) Prepare the first unused cartridge for use in the micro fuel cell power system.
 - 2) Connect the first unused fuel cartridge (No. 1) to the micro fuel cell power system and check for leakage and gas loss upon connection.
 - 3) Operate the micro fuel cell power system for at least 1 min.
 - 4) Turn off the micro fuel cell power system and disconnect the first fuel cartridge.
 - 5) Connect, operate and disconnect the first fuel cartridge nine more times for a total of ten connections and disconnections.
 - 6) Check for leakage and gas loss for the first fuel cartridge and the micro fuel cell power system.
 - 7) To age the components connected between the micro fuel cell power system and the fuel cartridge, connect and disconnect the 98 fuel cartridges (from No. 2 until No. 99) or test fixtures 980 more times for a total of 990 connections and disconnections. The fuel

cartridge or the test fixture shall be checked for wear after each set of 10 connections and disconnections. If wear, which can compromise operation of the micro fuel cell power system connection, is observed on the cartridge or the test fixture by the 10 cycle set, then it shall be replaced. In no case shall the micro fuel cell power system be replaced.

- 8) Prepare the final unused cartridge for use in the micro fuel cell power system.
- 9) Connect, operate and disconnect the final unused fuel cartridge nine more times for a total of 999 connections and disconnections.
- 10) Connect the final unused fuel cartridge to the micro fuel cell power system and check for leakage and gas loss upon connection.
- 11) Operate the micro fuel cell power system for at least 1 min.
- 12) Turn off the micro fuel cell power system.
- 13) Check for leakage and gas loss including the emission test in accordance with 8.3.12.

If the fluid transferred from the fuel cartridge is a liquid, the gas loss check is not required in steps 1), 6), 9), 12) and 13).

- d) Passing criteria: no fire or flame at any time. No explosion at any time. Leakage and gas loss shall not exceed the limits specified in Table 4 or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.

8.3.12 Gas loss tests

8.3.12.1 General gas loss test

This test is required for all micro fuel cell power systems.

- a) Test sample: a micro fuel cell power system fuelled in accordance with the manufacturer's specifications.
- b) Purpose: to confirm that, under operating conditions, constituent gas loss of any substance from a micro fuel cell power system does not exceed the limits specified in Table 4.
- c) Test procedure:
 - Perform the test protocol of 8.2.2 while operating the micro fuel cell power system at rated power.
 - Record the concentrations of the chemical compounds of interest.
 - Gas loss measurements shall be time-weighted, averaged over a certain time duration which is representative of the normal operation at rated power of the micro fuel cell power system and the equipment that it powers. For systems which demonstrate stable operation, a single measurement shall be used; otherwise, measurements shall be made at start-up, during stable operation, and during shutdown.

For measurements made at start-up, during stable operation, and during shutdown, the chamber concentration shall be sampled on a regular basis throughout the test. Sampling shall be performed at a frequency sufficient to characterize the emission or gas loss behaviour of the test sample throughout its operational cycle (i.e. the life time of one fuel cartridge operated at rated power output). For example, every 15 min for the first hour, every 30 min for the next three hours and every one hour after that to a typical duration of operation and every 15 min for the final hour of expected operation.

- d) Passing criteria:

The maximum gas loss rate for each of the constituents of interest shall not exceed the gas loss rate limit as specified in Table 4, or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.

If the device is not operational, the gas loss rate limit for non-operating devices shall be met.

8.3.12.2 Gas loss test for devices to be used in close proximity to consumer's mouth or nose

This test is only required for micro fuel cell power systems that are intended to be used in close proximity (10 cm or less) to a consumer's mouth or nose.

- a) Test sample: a micro fuel cell power system fuelled in accordance with the manufacturer's specifications.
- b) Purpose: to confirm that, under operating conditions, constituent gas loss of any substance from a micro fuel cell power system does not exceed the limits specified in Table 4.
- c) Test procedure:

- Perform the test protocol of 8.2.9.
- Record the concentrations of the chemical compounds of interest.
- Gas loss measurements shall be time-weighted averaged over a time duration which is representative of the normal operation at rated power of the micro fuel cell power system and the equipment that it powers. For systems which demonstrate stable operation, a single measurement shall be used; otherwise, measurements shall be made at start-up, during stable operation, and during shutdown.

For measurements made at start-up, during stable operation, and during shutdown, the chamber concentration shall be sampled on a regular basis throughout the test. Sampling shall be performed at a frequency sufficient to characterize the emission or gas loss behaviour of the test sample throughout its operational cycle (i.e. the life time of one fuel cartridge operated at rated power output). For example, every 15 min for the first hour, every 30 min for the next three hours and every one hour after that to a typical duration of operation and every 15 min for the final hour of expected operation.

- d) Passing criteria:

- The maximum gas loss rate for each of the constituents of interest shall be not exceed the gas loss rate limit as specified in Table 4, or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.
- In addition to meeting the gas loss rate limit above, the maximum constituent concentration for each of the constituents of interest shall not exceed the concentration limit specified in Table 4, or shall meet an equivalent level of safety to the principles expressed in 4.2.

Annex A (informative)

Background and rationale for type tests

Table A.1 – Purpose of tests

Ref no.	Test	Samples	Purpose
8.3.1	Pressure differential tests	Cartridges and systems	
8.3.1.2	100 kPa ΔP (or $2 \times P$ at 55 °C), internal pressure	Cartridge	To ensure the cartridge integrity and no leakage under high internal cartridge pressure.
8.3.1.3	$2 \times P$ at 55 °C or $2 \times$ maximum discharge pressure of cartridge, internal pressure	Components inside the system designed to contain fuel or other fluids above atmospheric pressure	To ensure the structural integrity of pressure containing components of the micro fuel cell power system.
8.3.1.4.1	68 kPaA ^a ΔP ; 6 h	System	To simulate the transport in the cargo hold of commercial aircraft over an average flight duration. Cargo holds are held at 68 kPaA. The average flight duration is considered to be 6 h. This test is performed in sequence with the vibration and temperature cycling tests to simulate the full effects of transporting a system. For systems that would require disassembly to complete leakage testing (e.g. for internal reservoirs containing hydrogen above ambient pressure, which is required to be bubble tested) the leak testing may be performed after all three tests are completed instead of after each test.
8.3.1.4.2	11,6 kPaA ΔP ; 1 h	System	To simulate an aircraft cabin depressurization event. This test uses the same pressure as Test T.1 in the UN Manual of Tests and Criteria: Altitude Simulation, for lithium ion batteries, which holds batteries at 11,6 kPaA or less for at least six hours at ambient temperature to simulate air transport under low-pressure conditions.
8.3.2	Vibration test	Cartridge (new and used) System	To simulate vibrations expected during transport. This vibration spectrum is a standard vibration spectrum commonly seen during transport. This test is performed in sequence with the 11,6 kPaA low external pressure and temperature cycling tests, for systems, and in sequence with the temperature cycling test for cartridges. This test is consistent with Test T.3 in the UN Manual of Tests and Criteria: Vibration, for lithium ion batteries.
8.3.3	Temperature cycle test (–40 °C to +55 °C, 1 h holds at each temperature, two complete hot-cold cycles)	Cartridge (new and used) System	To simulate temperatures expected during transport conditions. This test is performed in sequence with the low external pressure and vibration tests for the system, and the vibration test for the cartridges. NOTE The requirement for the equivalent lithium battery test (T.2) is 6 h at 75 °C, then 6 h at –40 °C, and is repeated 10 times.
8.3.4	High-temperature exposure (+70 °C, 4 h)	Cartridge (new and used)	To simulate the effects of a fuel cartridge left in a high-temperature environment, for example, the dashboard of a car.

Ref no.	Test	Samples	Purpose
8.3.5	Drop test (1,2 m for the system, 1,5 m for cartridges > 200 ml, 1,8 m for cartridges < 200 ml)	Cartridge (new and used) System	To simulate the effects of dropping a cartridge or system. The 1,2 m drop approximates the height of an average table, while the 1,8 m drop test was specifically requested by transport regulators to simulate dropping a cartridge from an overhead bin on an aircraft. Since cartridges with a volume greater than 200 ml are not permitted in the passenger cabin of aircraft in accordance with Part 8 of the ICAO Technical Instructions, a lower drop height is permitted for larger volume cartridges.
8.3.6	Compressive loading test	Cartridge (new and used) System	Intended to simulate forces encountered due to something heavy being placed on the cartridge or system. Cartridge limits are based on the concept of a cartridge being stepped on by an adult male; system limits are less due to the reduced likelihood of the system being left on the floor and stepped on.
8.3.7	External short-circuit test	System	To simulate the effects of an external short-circuit.
8.3.8	Surface, component, and exhaust gas temperature test	System	To ensure that no surfaces of the micro fuel cell power unit exceed associated thermal limits during operation.
8.3.9	Long-term storage test (50 °C)	Cartridge (new and used)	To simulate the effects of long-term storage at elevated temperatures, for example the storage of cartridges in a warehouse environment.
8.3.10	High-temperature connection test	Cartridge (new and used) + unit	To simulate the effects of mating and un-mating of the fuel cartridge to the micro fuel cell power unit or micro fuel cell power unit valve with the fuel cartridge at an elevated temperature (e.g. taking a cartridge off the dashboard of a car and inserting it into the room temperature system).
8.3.11	Connection cycling test	Cartridge + unit	To simulate the effects of mating and un-mating of the fuel cartridge to the micro fuel cell power unit or system. Systems or units are anticipated being connected to multiple times, so 1 000 cycles are specified. Disposable cartridges are subjected to 10 connection/disconnection cycles, while satellite cartridges are subjected to 50 connection/disconnection cycles.
8.3.12	Emission test	System	Test used to ensure there are no hazardous emissions from an operating system. This test procedure is further used for the purpose of leakage and emission testing following each type test to ensure that systems, and cartridges as appropriate, continue to conform to appropriate emission or gas loss limits under both operating and non-operating conditions.
^a kPaA = kilopascal – absolute (pressure).			

Bibliography

IEC 31010, *Risk management – Risk assessment techniques*

IEC 60050-426, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 426: Explosive atmospheres*, available at <http://www.electropedia.org>

IEC 60335-1:2020, *Household and similar electrical appliances – Safety – Part 1: General requirements*

IEC 60812, *Failure modes and effects analysis (FMEA and FMECA)*

IEC 61025, *Fault tree analysis (FTA)*

IEC 61508 (all parts), *Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems*

IEC 62061, *Safety of machinery – Functional safety of safety-related control systems*

IEC 62282-5-100, *Fuel cell technologies – Part 5-100: Portable fuel cell power systems – Safety*

ISO 8124-1:2022, *Safety of toys – Part 1: Safety aspects related to mechanical and physical properties*

ISO 11114-1, *Gas cylinders – Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents – Part 1: Metallic materials*

ISO 11114-2, *Gas cylinders – Compatibility of cylinder and valve materials with gas contents – Part 2: Non-metallic materials*

ISO 12100, *Safety of machinery – General principles for design – Risk assessment and risk reduction*

ISO 13849-1, *Safety of machinery – Safety-related parts of control systems – Part 1: General principles for design*

ISO 15649, *Petroleum and natural gas industries – Piping*

ISO 16111:2018, *Transportable gas storage devices – Hydrogen absorbed in reversible metal hydride*

International Civil Aviation Organization's Technical Instructions, available at <https://store.icao.int/en/technical-instructions-for-the-safe-transport-of-dangerous-goods-by-air-doc-9284> [viewed 2023-08-08]

Sax's dangerous properties of industrial materials 11th Edition, available at <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/ja041002c> [viewed 2023-08-08]

Swain, et al, Proceedings of the 2001 DOE Program Review; NREL/CP-570-30535; M.R. Swain and M.N. Swain, Codes and Standards Analysis, 2001 (USA), available at: <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/30535bc.pdf> [viewed 2023-08-08]

UN Manual of Tests and Criteria, available at <https://unece.org/about-manual-tests-and-criteria> [viewed 2023-08-08]

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-6-101:2024

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	59
INTRODUCTION.....	61
1 Domaine d'application	62
1.1 Généralités	62
1.2 Combustibles et technologies traités.....	62
1.3 Niveau de sécurité équivalent	63
2 Références normatives	63
3 Termes et définitions	64
4 Principes de sécurité	68
4.1 Généralités	68
4.2 Principes de sécurité chimique.....	69
4.3 Considérations relatives aux matières et matériaux.....	70
4.4 Sécurité mécanique	70
4.4.1 Généralités.....	70
4.4.2 Système à micropile à combustible	71
4.4.3 Cartouche de combustible	72
4.5 Sécurité électrique.....	72
4.5.1 Généralités.....	72
4.5.2 Danger de choc	72
4.5.3 Danger d'incendie.....	73
4.5.4 Composants électriques et fixations.....	73
4.6 Analyse des dangers et évaluation des risques	73
4.7 Sécurité fonctionnelle	73
5 Exigences générales de sécurité	73
5.1 Généralités	73
5.1.1 Cartouche.....	73
5.1.2 Quantités limites de combustible	74
5.2 Exigences de sécurité chimique	74
5.3 Exigences relatives aux matières et matériaux.....	76
5.3.1 Généralités.....	76
5.3.2 Systèmes à micropiles à combustible	76
5.3.3 Parties exposées à l'humidité, au combustible ou aux sous-produits.....	77
5.3.4 Élastomères	77
5.3.5 Matériaux polymères	77
5.4 Exigences de conception mécanique	78
5.4.1 Généralités.....	78
5.4.2 Système à micropile à combustible	78
5.4.3 Cartouche de combustible	79
5.4.4 Vannes de combustible et connexions	80
5.5 Exigences électriques	81
5.5.1 Danger de choc	81
5.5.2 Danger d'incendie.....	81
5.5.3 Zone de la borne de sortie.....	81
5.5.4 Composants électriques et fixations.....	82
5.5.5 Conducteurs et câblage électriques	82
5.5.6 Exigences relatives aux sources d'inflammation potentielles.....	82

5.6	Analyse des dangers et évaluation des risques	83
5.7	Exigences de sécurité électrique	84
5.7.1	Généralités	84
5.7.2	Commandes logicielles ou électroniques	85
5.8	Petites pièces	85
6	Essais et exigences des conditions anormales de fonctionnement et de défaut	85
6.1	Généralités	85
6.2	Fonctionnement anormal – Composants électromécaniques	86
6.3	Fonctionnement anormal des systèmes à micropiles à combustible avec batteries intégrées	86
6.4	Fonctionnement anormal – Simulation de défauts d'après l'analyse des dangers	86
7	Instructions et avertissements pour les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible	86
7.1	Généralités	86
7.2	Marquages minimaux exigés sur la cartouche de combustible	87
7.3	Marquages minimaux exigés sur le système à micropile à combustible	87
7.4	Informations supplémentaires exigées sur la cartouche de combustible, sur les informations écrites d'accompagnement ou sur le système à micropile à combustible	88
7.5	Documentation technique	88
8	Essais de type pour les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible	88
8.1	Généralités	88
8.2	Protocoles généraux de mesurage des fuites et des pertes de gaz	90
8.2.1	Protocoles généraux	90
8.2.2	Essais	90
8.2.3	Protocole de réalisation de mesurages basés sur la concentration	91
8.2.4	Protocoles d'évaluation de la perte de gaz hydrogène depuis une source ponctuelle	94
8.2.5	Protocole d'essai des détecteurs de fuite liquide	97
8.2.6	Protocole d'essai d'immersion dans l'eau	97
8.2.7	Protocoles de mesurage de perte de masse	97
8.2.8	Méthodes de détection des liquides dangereux accessibles	98
8.2.9	Protocole d'essai de perte de gaz pour les dispositifs à utiliser très près de la bouche ou du nez de l'utilisateur	98
8.3	Essais de type	100
8.3.1	Essais de pression différentielle	100
8.3.2	Essai de vibrations	103
8.3.3	Essai de cycles de températures	104
8.3.4	Essai d'exposition à température élevée	105
8.3.5	Essai de chute	106
8.3.6	Essai de charge de compression	107
8.3.7	Essai de court-circuit externe	108
8.3.8	Essai de température de surface, de composant et de gaz d'échappement	109
8.3.9	Essai de stockage de longue durée	109
8.3.10	Essai de connexion à température élevée	110
8.3.11	Essais de cycles de connexion	110
8.3.12	Essais de perte de gaz	113

Annexe A (informative) Contexte et justification des essais de type	115
Bibliographie.....	118
Figure 1 – Schéma de principe d'un système à micropile à combustible.....	63
Figure 2 – Calibre d'ingestion	85
Figure 3 – Appareillage d'essai de perte de gaz.....	92
Figure 4 – Appareillage d'essai de la concentration de perte de gaz en fonctionnement	99
Figure 5 – Cycles de températures	105
Tableau 1 — Parties spécifiques aux technologies.....	62
Tableau 2 – Scénarios et volumes de contrôle	69
Tableau 3 – Lignes directrices pour la détermination des limites de fuite et de perte de gaz en vue d'atténuer les dangers	70
Tableau 4 – Limites de perte de gaz pour les essais basés sur la concentration	75
Tableau 5 – Liste des essais de type	89
Tableau 6 – Conditions de laboratoire.....	90
Tableau A.1 – Objet des essais	115

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-6-101:2024

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

**Partie 6-101: Systèmes à micropiles à combustible –
Sécurité – Exigences générales**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique 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'IEC attire l'attention sur le fait que la mise en application du présent document peut entraîner l'utilisation d'un ou de plusieurs brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à l'applicabilité de tout droit de propriété revendiqué à cet égard. À la date de publication du présent document, l'IEC n'avait pas reçu notification qu'un ou plusieurs brevets pouvaient être nécessaires à sa mise en application. Toutefois, il y a lieu d'avertir les responsables de la mise en application du présent document que des informations plus récentes sont susceptibles de figurer dans la base de données de brevets, disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 62282-6-101 a été établie par le comité d'études 105 de l'IEC: Technologies des piles à combustible. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette première édition, conjointement avec les autres parties de la série de normes IEC 62282-6-1XX, annule et remplace l'IEC 62282-6-100:2010 et l'IEC 62282-6-100:2010/A1:2012.

Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'IEC 62282-6-100:2010 et à l'IEC 62282-6-100:2010/A1:2012:

- a) une nouvelle structure a été établie: l'IEC 62282-6-101 couvre les exigences générales de sécurité communes à tous les types de combustibles, tandis que l'IEC 62282-6-102 et les parties suivantes de la série IEC 62282-6-1XX couvrent les exigences particulières pour des types de combustibles spécifiques sur la base des exigences données dans l'IEC 62282-6-101.

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

Projet	Rapport de vote
105/1010/FDIS	105/1023/RVD

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

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62282, publiée sous le titre général *Technologies des piles à combustible*, se trouve sur le site Web de l'IEC.

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

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

NOTE L'attention des Comités Nationaux est attirée sur le fait que les fabricants d'appareils et les organismes d'essai peuvent avoir besoin d'une période transitoire après la publication d'une nouvelle publication IEC, ou d'une publication amendée ou révisée, pour fabriquer des produits conformes aux nouvelles exigences et pour adapter leurs équipements aux nouveaux essais ou aux essais révisés.

Le comité recommande que le contenu de cette publication soit entériné au niveau national au plus tôt 12 mois après la date de publication.

INTRODUCTION

L'IEC 62282-6-100 a été restructurée pour la rendre plus conviviale.

La nouvelle série IEC 62282-6-1XX comprend l'IEC 62282-6-101 et les parties suivantes de la série IEC 62282-6-1XX, destinées à remplacer l'IEC 62282-100 au cas par cas. Une période de transition appropriée est prévue jusqu'à ce que les parties spécifiques suivantes de la série IEC 62282-6-1XX soient achevées.

L'IEC 62282-6-101 couvre les exigences générales de sécurité communes à tous les types de combustibles.

L'IEC 62282-6-102 et les parties suivantes de la série IEC 62282-6-1XX sont destinées à couvrir les exigences détaillées applicables aux cartouches de combustible spécifiques, basées sur les exigences de l'IEC 62282-6-101, comme indiqué dans le Tableau 1: Parties spécifiques aux technologies.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62282-6-101:2024

TECHNOLOGIES DES PILES À COMBUSTIBLE –

Partie 6-101: Systèmes à micropiles à combustible – Sécurité – Exigences générales

1 Domaine d'application

1.1 Généralités

- a) La présente partie de l'IEC 62282 couvre les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible qui sont portatifs ou qui peuvent être facilement portés à la main et qui fournissent une tension de sortie en courant continu ne dépassant pas 60 V en courant continu et une puissance de sortie ne dépassant pas 240 VA. Les systèmes à piles à combustible portatifs qui fournissent des tensions de sortie supérieures à ces limites électriques relèvent de l'IEC 62282-5-100.
- b) Les circuits accessibles de l'extérieur sont alors considérés comme des sources d'énergie ES1 telles que définies dans l'IEC 62368-1, et comme des sources à puissance limitée, si la conformité à l'Annexe Q de l'IEC 62368-1:2023 est démontrée par la suite. Les systèmes à micropiles à combustible dont les circuits internes dépassent 60 V en courant continu ou 240 VA sont traités avec les critères distincts de l'IEC 62368-1.
- c) Le présent document traite des systèmes à micropiles à combustible et des cartouches de combustible. Le présent document établit les exigences pour les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible, afin d'assurer un degré de sécurité raisonnable pour l'utilisation normale, le mauvais usage raisonnablement prévisible, ainsi que le transport et le stockage de tels éléments par le consommateur et par cargo. Les cartouches de combustible rechargées par le fabricant ou par des techniciens formés sont couvertes par le présent document. Les cartouches de combustible couvertes par le présent document ne sont pas destinées à être rechargées par le consommateur.
- d) Les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible couverts par le présent document ne sont pas destinés à être utilisés dans des emplacements dangereux tels que définis par l'IEV 426-03-01.

1.2 Combustibles et technologies traités

- a) Un schéma de principe de système à micropile à combustible est représenté à la Figure 1.
- b) Le présent document, y compris les annexes, s'appliquent aux systèmes à micropiles à combustible et aux cartouches de combustible tels que définis en 1.1 ci-dessus.
- c) Les Articles 4 à 8 traitent des exigences générales de sécurité pour tous les systèmes à micropiles à combustible. L'IEC 62282-6-101 ainsi que les parties spécifiques aux technologies correspondantes indiquées dans le Tableau 1 couvrent les exigences relatives aux technologies spécifiques de la série IEC 62282-6-1XX.

Tableau 1 – Parties spécifiques aux technologies

Normes complémentaires relatives aux technologies	Titre
IEC 62282-6-106	Technologies des piles à combustible – Partie 6-106: Systèmes à micropiles à combustible – Sécurité – Composés (corrosifs) indirects de classe 8
IEC 62282-6-107	Technologies des piles à combustible – Partie 6-107: Systèmes à micropiles à combustible – Sécurité – Composés hydorréactifs indirects (division 4.3)

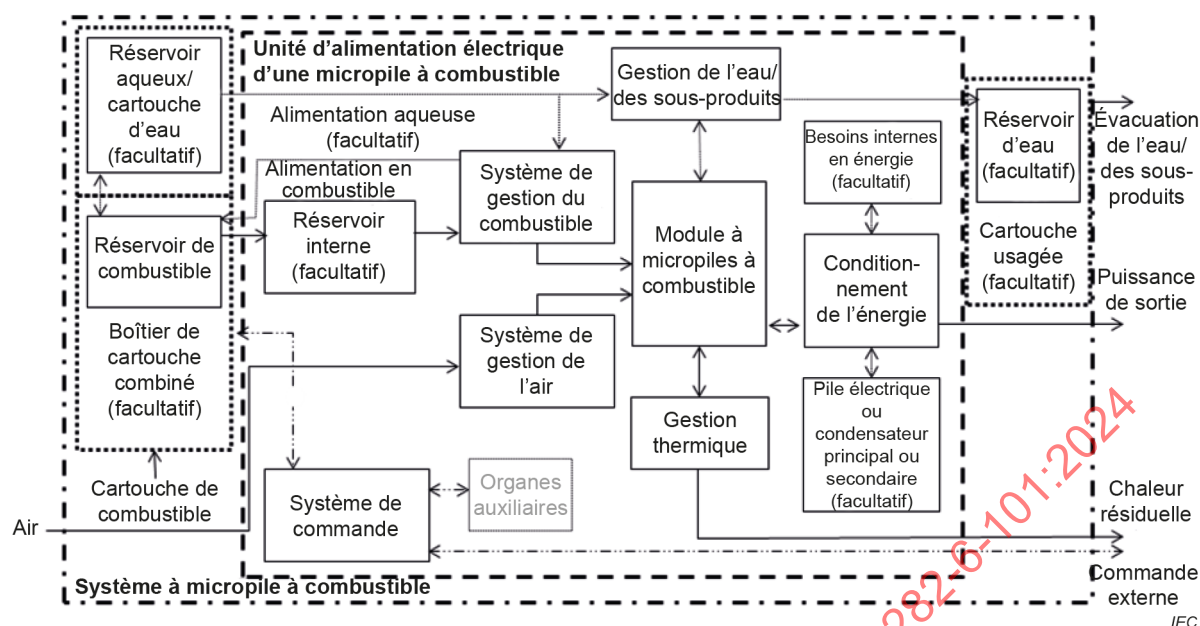


Figure 1 – Schéma de principe d'un système à micropile à combustible

1.3 Niveau de sécurité équivalent

- Les exigences du présent document n'ont pas vocation à limiter l'innovation. Le fabricant peut prendre en considération des combustibles, des matériaux, des matières, des conceptions ou des constructions qui ne sont pas spécifiquement traités dans le présent document. Ces alternatives peuvent être évaluées selon leur aptitude à fournir des niveaux de sécurité équivalents à ceux spécifiés dans le présent document.
- Il est entendu que tous les systèmes à micropiles à combustible et cartouches de combustible sont conformes aux exigences locales et nationales, y compris, entre autres, à celles relatives au transport, à la protection des enfants et au stockage, le cas échéant.

2 Références normatives

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

IEC 60086-4, *Piles électriques – Partie 4: Sécurité des piles au lithium*

IEC 60086-5, *Piles électriques – Partie 5: Sécurité des piles à électrolyte aqueux*

IEC 60730-1:2022, *Dispositifs de commande électrique automatiques – Partie 1: Exigences générales*

IEC 61032:1997, *Protection des personnes et des matériels par les enveloppes – Calibres d'essai pour la vérification*

IEC 62133 (toutes les parties), *Accumulateurs alcalins et autres accumulateurs à électrolyte non acide – Exigences de sécurité pour les accumulateurs portables étanches, et pour les batteries qui en sont constituées, destinés à l'utilisation dans des applications portables*

IEC 62281, *Sécurité des piles et des accumulateurs au lithium pendant le transport*

IEC 62368-1:2023, *Équipements des technologies de l'audio/vidéo, de l'information et de la communication – Partie 1: Exigences de sécurité*

IEC 62282-6-300:2012, *Technologies des piles à combustible – Partie 6-300: Systèmes à micro-piles à combustible – Interchangeabilité de la cartouche de combustible*

ISO 175, *Plastiques – Méthodes d'essai pour la détermination des effets de l'immersion dans des produits chimiques liquides*

ISO 188, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Essais de résistance au vieillissement accéléré et à la chaleur*

ISO 1817, *Caoutchouc vulcanisé ou thermoplastique – Détermination de l'action des liquides*

ISO 7010:2019, *Symboles graphiques – Couleurs de sécurité et signaux de sécurité – Signaux de sécurité enregistrés*

ISO 11114-4, *Bouteilles à gaz transportables – Compatibilité des matériaux et des robinets avec les contenus gazeux – Partie 4: Méthodes d'essai pour le choix des aciers résistants à la fragilisation par l'hydrogène*

ISO 16000-3, *Air intérieur – Partie 3: Dosage du formaldéhyde et d'autres composés carbonylés dans l'air intérieur et dans l'air des chambres d'essai – Méthode par échantillonnage actif*

ISO 16000-6, *Air intérieur – Partie 6: Dosage des composés organiques (COTV, COV, COSV) dans l'air intérieur et l'air de chambre d'essai par prélèvement actif sur tubes à sorbant, désorption thermique et chromatographie en phase gazeuse avec détection MS ou MS-FID*

ISO 16017-1, *Air intérieur, air ambiant et air des lieux de travail – Échantillonnage et analyse des composés organiques volatils par tube à adsorption/désorption thermique/chromatographie en phase gazeuse sur capillaire – Partie 1: Échantillonnage par pompage*

Nations Unies, *Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses: Règlement type (vingtième édition révisée), Manuel d'épreuves et de critères: septième édition révisée*, disponible à l'adresse:
https://unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev7/Manual_Rev7_F.pdf
 (consulté le 8 août 2023)

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

3.1

système de gestion de l'air

ensemble de composants pouvant être utilisés pour contrôler les propriétés de l'air, si nécessaire, afin de soutenir le fonctionnement du système à micropile à combustible

3.2

cartouche fixée

cartouche de combustible, ayant sa propre enveloppe qui est connectée au dispositif alimenté par le système à micropile à combustible

3.3

réservoir aqueux

réservoir facultatif à l'intérieur d'une cartouche de combustible qui contient une solution aqueuse utilisée pour le traitement du combustible

Note 1 à l'article: Il convient que tout danger associé à des solutions aqueuses soit traité dans l'analyse des dangers et l'évaluation des risques ou dans une norme spécifique aux combustibles.

3.4

système de commande

ensemble de composants du système à micropile à combustible qui coordonnent les propriétés du système à micropile à combustible et des produits réactifs en utilisant toute combinaison des éléments suivants pour initier le démarrage, le fonctionnement et l'arrêt corrects du système à micropile à combustible, si nécessaire: entrées ou sorties électriques, mécaniques ou numériques, logiciels ou fonctions

3.5

liquide corrosif

solution aqueuse de $\text{pH} < 3,5$ ou de $\text{pH} > 10,5$ ou tout liquide qui peut provoquer une destruction de la peau sur toute son épaisseur après une exposition maximale de 60 min, lorsque l'aspect est observé après 14 jours, ou qui satisfait par ailleurs aux critères des matières de la classe 8 des Nations Unies

3.6

cartouche externe

cartouche de combustible, ayant sa propre enveloppe qui forme une partie de l'enveloppe du dispositif alimenté par le système à micropile à combustible

3.7

liquide inflammable

liquide satisfaisant aux critères d'inclusion dans la classe 3 des Nations Unies "Liquides inflammables" (c'est-à-dire dont le point d'éclair est inférieur ou égal à $60,5\text{ }^{\circ}\text{C}$)

3.8

gaz inflammable

gaz satisfaisant aux critères d'inclusion dans la division 2.1 des Nations Unies "Gaz inflammables" (c'est-à-dire toute matière gazeuse qui, à $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ou moins et à une pression de $101,3\text{ kPa}$, est inflammable en mélange à 13 % [volume] ou moins avec l'air ou a une plage d'inflammabilité avec l'air à $101,3\text{ kPa}$ d'au moins 12 %, quelle que soit la limite inférieure d'inflammabilité)

3.9

combustible

matière contenant de l'énergie utilisée directement à partir de la cartouche ou indirectement, après traitement et conversion, dans la réaction électrochimique de la pile à combustible

3.10

cartouche de combustible

article qui stocke du combustible

3.11

pile à combustible

dispositif électrochimique convertissant l'énergie chimique d'un combustible et d'un oxydant en énergie électrique (courant continu), chaleur et produits de réaction

3.12**système à pile à combustible**

système qui utilise une pile à combustible pour produire de l'énergie électrique et de la chaleur

Note 1 à l'article: Un système à pile à combustible est composé de tout ou partie des systèmes représentés à la Figure 1.

3.13**système de gestion du combustible**

ensemble de composants facultatifs utilisés pour contrôler les propriétés du combustible ou de l'hydrogène (par exemple la concentration, le débit, la pureté, la température, l'humidité ou la pression), si nécessaire, afin de soutenir le fonctionnement du système à micropile à combustible, le stockage des réactifs produits ou les deux

Note 1 à l'article: Tous les systèmes à micropiles à combustible n'intègrent pas toutes les fonctions. Certains systèmes à micropiles à combustible intègrent des fonctions supplémentaires.

3.14**perte de gaz**

émission de gaz dangereux, telle que déterminée conformément à 4.2 et 5.2

3.15**substance dangereuse**

solide, liquide ou gaz qui satisfait aux critères de dangerosité définis en 4.2 et 5.2

3.16**réservoir interne**

structure dans un système à micropile à combustible, qui emmagasine les combustibles et qui ne peut être retirée, mais qui ne comprend pas les conduites ou les raccords qui ne sont pas destinés à assurer un stockage prolongé des combustibles

3.17**cartouche insérable**

cartouche de combustible, ayant sa propre enveloppe et qui est installée à l'intérieur de l'enveloppe du dispositif alimenté par le système à micropile à combustible

3.18**cartouche en service**

cartouche de combustible représentative des cartouches de combustible mises en service puis retirées d'un système

Note 1 à l'article: Pour les systèmes qui permettent de retirer une cartouche de combustible du système à tout moment pendant le fonctionnement, une cartouche en service serait une cartouche de combustible qui a été mise en service de sorte qu'environ la moitié de la charge de combustible initiale a été utilisée et que la cartouche a pu se stabiliser; pour les systèmes qui comprennent un mécanisme de verrouillage pour empêcher le retrait d'une cartouche pendant le fonctionnement, une cartouche en service doit désigner la cartouche de combustible dans l'état où elle peut être retirée du système.

3.19**fuite**

substance solide ou liquide dangereuse (combustible, sous-produits dangereux d'un combustible, électrolyte ou combustible liquide dangereux) accessible depuis l'extérieur du système à micropile à combustible ou de la cartouche de combustible

3.20**source à puissance limitée**

alimentation électrique isolée d'un réseau d'alimentation ou fournie par une batterie ou autre dispositif (c'est-à-dire une unité d'alimentation électrique d'une pile à combustible), pour laquelle les niveaux de tension, de courant et de puissance sont limités, par construction ou non, aux niveaux qui n'entraînent pas de risque de choc électrique ni de danger de feu, comme défini dans l'IEC 62368-1

Note 1 à l'article: Une source à puissance limitée par construction ne repose pas sur un dispositif de limitation de courant pour satisfaire aux exigences de puissance limitée, bien qu'elle puisse reposer sur une impédance pour limiter sa sortie. Néanmoins, une source à puissance non limitée par construction repose sur un dispositif de limitation de courant, tel qu'un fusible, pour satisfaire aux exigences de puissance limitée.

3.21**pression développée maximale**

pression manométrique maximale observée à l'intérieur de la cartouche de combustible en cours de fonctionnement, de transport et de stockage

EXEMPLE La pression à la température maximale (au moins 70 °C selon 8.3.4) à laquelle la cartouche peut être exposée en cours de fonctionnement, de transport et de stockage.

3.22**module de micropile à combustible**

assemblage incluant une ou plusieurs piles à combustible et, le cas échéant, des composants supplémentaires, qui est destiné à être intégré dans un système à micropile à combustible

3.23**système à micropile à combustible**

unité d'alimentation électrique d'une micropile à combustible et cartouches de combustible associées, qui sont portatifs ou qui peuvent être facilement portés à la main

3.24**unité d'alimentation électrique d'une micropile à combustible**

générateur électrique reposant sur une pile à combustible fournissant une tension en courant continu qui ne dépasse pas 60 V et une puissance électrique nette continue qui ne dépasse pas 240 VA

Note 1 à l'article: L'unité d'alimentation électrique d'une micropile à combustible ne comprend pas de cartouche de combustible.

3.25**en non-fonctionnement**

en position "off" ("désactivée") ou qui n'est plus en fonctionnement

3.26**pile électrique**

batterie non rechargeable

3.27**puissance assignée**

puissance de sortie électrique continue maximale, dans les conditions normales de fonctionnement spécifiées par le fabricant, pour laquelle un système à pile à combustible est conçu

Note 1 à l'article: La puissance assignée est exprimée en W.

3.28**vanne de rechargement**

composant de la cartouche de combustible non rechargeable par l'utilisateur, permettant le rechargement de la cartouche de combustible uniquement par des techniciens formés

3.29**cartouche satellite**

cartouche de combustible destinée à être connectée au système à micropile à combustible et à être retirée de ce dernier, afin de transférer le combustible dans le réservoir interne situé à l'intérieur du système à micropile à combustible

3.30**vanne d'arrêt**

composant d'une cartouche de combustible qui contrôle le rejet de combustible

3.31**matière toxique**

toute matière ayant une évaluation de danger toxique de 2 (moyenne) ou supérieure, dans l'ouvrage *Sax's dangerous properties of industrial materials*, 11^e édition, ou dans un guide de référence correspondant

3.32**cartouche usagée**

cartouche qui emmagasine les déchets et les sous-produits provenant du système à micropile à combustible

3.33**matière hydorréactive**

matière satisfaisant aux critères de la division 4.3 des Nations Unies "Matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables" (par exemple matières qui, au contact de l'eau, dégagent des quantités dangereuses de gaz inflammable)

4 Principes de sécurité**4.1 Généralités**

Le système à micropile à combustible, lorsqu'il est couplé à la cartouche de combustible ou alimenté conformément aux instructions du fabricant, doit être conçu et construit pour éviter tout risque crédible de fuite dangereuse, feu ou d'explosion posé par le système à micropile à combustible à proprement parler ou par les gaz, les vapeurs, les liquides ou d'autres substances produites ou utilisées par le système à micropile à combustible.

Pour éviter un danger de feu ou d'explosion à l'intérieur du système à micropile à combustible, le fabricant doit éliminer la ou les sources d'inflammation potentielles dans les zones où le combustible est présent (ou peut être potentiellement dégagé).

Tableau 2 – Scénarios et volumes de contrôle

Scénario	Paramètres de volume de contrôle
Transport (aérien) ou stockage par le consommateur	Porte-bagages supérieur 0,28 m ³ (10 pieds cubes) ^a 0 ACH 3 échantillons 24 h
Utilisation par le grand public	10 m ³ ACH 1 échantillon (voir Tableau 4 et notes de bas de page) ^b
Proximité	Proximité de la bouche, du nez ou des yeux
^a Pour le transport ou le stockage par le consommateur, les limites de "pertes non admissibles de gaz" ont été choisies sur la base d'un scénario de dispositifs dans un espace clos non ventilé. L'espace choisi a un volume de 0,28 m³ (ou environ 10 pieds cubes). Le critère a été spécifié de telle sorte qu'une concentration supérieure à 25 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LII) n'est pas autorisée à se développer sur une période de vingt-quatre heures (24 h), si trois dispositifs sont dans l'espace clos. Par exemple ce critère s'applique aux systèmes à micropiles à combustible en non-fonctionnement. ^b Pour un usage général par le consommateur, la limite du taux d'émission "en fonctionnement" était basée sur la valeur 10 m³ ACH, choisie comme le produit du volume de référence par les renouvellements d'air par heure (ACH, air changes per hour), parce qu'elle couvre les environnements raisonnablement prévisibles dans lesquels les systèmes à micropiles à combustible sont utilisés. L'espace intérieur d'une petite voiture et le volume minimal par personne sur un avion commercial sont à 1 m³. L'ACH minimal utilisé à bord d'un aéronef de passagers est de 10 et le réglage de ventilation le plus faible dans les voitures est de 10 ACH. Les maisons et les bureaux peuvent présenter des niveaux d'ACH aussi bas que 0,5, mais le volume par personne est supérieur à 20 m³, et donc un produit de 10 est satisfaisant.	

4.2 Principes de sécurité chimique

Les composants tels que les tuyauteries de combustible, les plénums de combustible, les réservoirs, les cartouches de combustible ou les enveloppes similaires doivent être utilisés pour contenir les matières inflammables, toxiques, réactives ou corrosives.

Les critères de sécurité suivants doivent être utilisés pour assurer l'absence de dégagement de substances dangereuses dans l'environnement:

- les utilisateurs ne doivent pas être exposés à des liquides et solides accessibles inflammables, toxiques, hydroréactifs ou corrosifs;
- les gaz ou vapeurs inflammables ne doivent pas dépasser 25 % de la limite inférieure d'inflammabilité (LII) dans le volume de contrôle applicable ni pouvoir entretenir une flamme;
- aucune perte de masse ne doit se produire (voir 8.2.7);
- les gaz ou vapeurs toxiques ou dangereux ne doivent pas dépasser les limites acceptables d'exposition à court terme pour les expositions transitoires, ni les limites acceptables d'exposition à long terme et moyennes pondérées dans le temps prévues pour des expositions prolongées.

NOTE Les exemples de limites d'exposition transitoires incluent les limites d'exposition à court terme (STEL, *Short-Term Exposure Limit*) définies par l'*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*, ou ACGIH (STEL pour les expositions transitoires); les exemples de limites d'exposition à long terme incluent les limites d'exposition admissibles (PEL, *Permissible Exposure Limit*) de l'*Occupational Safety and Health Administration*, ou OSHA (PEL pour les expositions moyennes pondérées dans le temps [TWA, *Time Weighted Average*]).

Tableau 3 – Lignes directrices pour la détermination des limites de fuite et de perte de gaz en vue d'atténuer les dangers

Gaz ou vapeurs			
Inflammables		Toxiques	Corrosifs
Ne doivent pas dépasser 25 % de la LII pour une exposition moyenne pondérée dans le temps dans le volume de contrôle, ni pouvoir entretenir une flamme pour une exposition transitoire à court terme.		Ne doivent pas dépasser la TWA, la PEL ou toute autre limite similaire pour une exposition à long terme ou moyenne pondérée dans le temps, ni la STEL ou toute autre limite similaire, suivant le cas, pour une exposition transitoire à court terme.	Voir lignes directrices concernant les matières toxiques.
Liquides ou solides			
Inflammables	Toxiques	Corrosifs	Hydroréactifs
Non accessible par l'utilisateur.	Non accessible par l'utilisateur.	Non accessible par l'utilisateur.	Non accessible par l'utilisateur et aucun accès non contrôlé à l'eau.

4.3 Considérations relatives aux matières et matériaux

Les systèmes à micropiles à combustible sont susceptibles d'être exposés à un certain nombre de conditions d'environnement pendant la durée de vie du produit définie par le fabricant, telles que les vibrations, les chocs, les niveaux d'humidité variables et les environnements corrosifs. Les matières et matériaux utilisés dans le système à micropile à combustible doivent résister à ces conditions d'environnement.

4.4 Sécurité mécanique

4.4.1 Généralités

4.4.1.1 Intégrité structurelle

Les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches doivent avoir une construction sûre, qui soit résistante à l'affaissement, aux vibrations, à l'écrasement, aux variations environnementales telles que la température, et aux fluctuations de pression atmosphérique au cours d'une utilisation normale, d'un mauvais usage raisonnablement prévisible et du transport par le consommateur de tels éléments.

Les composants mécaniques doivent être conçus pour résister aux conditions de défaut possibles suivantes:

- mise sous pression interne des cartouches;
- mise sous pression interne des composants des systèmes à micropiles à combustible contenant du combustible, si ces composants sont destinés à contenir du combustible à une pression supérieure à la pression atmosphérique;
- conditions de pression différentielle choisies pour simuler la dépressurisation de la cabine d'un aéronef de passagers;
- conditions de pression différentielle choisies pour simuler les conditions de pressurisation d'une cale d'avion.

Les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches doivent être conçus pour assurer:

- 1) l'absence de fuite de substances dangereuses pendant le transport (voir Tableau 2);
- 2) la sécurité et l'intégrité dans des conditions normales de fonctionnement.

Le système à micropile à combustible ou l'unité d'alimentation électrique de la micropile à combustible doit être conçu pour réduire le risque d'explosion, même en cas de fuite de combustible ou d'hydrogène en provenance du système à micropile à combustible ou à l'intérieur de ce dernier.

4.4.1.2 Mécanismes de connexion

Les mécanismes de connexion, y compris la connexion entre une cartouche de combustible amovible et le système à micropile à combustible, et la connexion électrique entre le système à micropile à combustible et le dispositif qu'il alimente, doivent être conçus de telle manière qu'ils ne puissent pas être fixés à un emplacement incorrect ou de façon incomplète, ce qui pourrait entraîner une fuite, une perte de gaz ou un danger de choc électrique.

4.4.1.3 Parties pointues ou saillantes

Les bords ou coins en saillie d'un système à micropile à combustible et d'une cartouche de combustible ne doivent pas être suffisamment saillants pour entraîner un risque d'accident corporel au cours de l'utilisation prévue ou de la maintenance effectuée par l'utilisateur.

4.4.2 Système à micropile à combustible

4.4.2.1 Tuyauteries et canalisations (y compris les conduites de combustible)

Les tuyauteries et canalisations doivent être adaptées à leur utilisation prévue. Cela inclut, sans s'y limiter, la prise en compte de la pression à contenir, la compatibilité des matières et matériaux et les considérations environnementales telles que la température, la corrosion et les vibrations.

Les conduites de combustible doivent être adaptées à leur utilisation prévue et contenir du combustible sans fuite ou perte de gaz au cours d'une utilisation normale, d'un mauvais usage raisonnablement prévisible et du transport par le consommateur. Cela inclut, sans s'y limiter, la prise en compte de la pression à contenir, la compatibilité des matières et matériaux et les considérations environnementales telles que la température, la corrosion et les vibrations.

Il convient de veiller à la sélection des matières et matériaux afin de prévenir les fractures de type fragile, si nécessaire. Lorsque, pour des raisons spécifiques, des matériaux ou matières fragiles doivent être utilisés, des mesures appropriées doivent être prises.

Les matières et matériaux doivent posséder une résistance chimique suffisante au fluide contenu dans la tuyauterie. Les propriétés chimiques et physiques nécessaires à un fonctionnement sans risque ne doivent pas être inférieures au minimum exigé pendant la durée de vie planifiée de l'équipement. Les performances des matières et matériaux dues au vieillissement ne doivent pas être inférieures aux exigences minimales.

Les conditions de conception doivent être déterminées en tenant dûment compte des éléments suivants:

- c) la pression de conception et le confinement ou le dégagement de pression exigé;
- d) la température de conception et la température minimale de conception, y compris la prise en compte de l'isolation interne ou externe (le cas échéant), le rayonnement solaire et le chauffage ou refroidissement;
- e) les effets ambiants, y compris les effets du refroidissement des fluides, les effets de la dilatation des fluides, le givrage atmosphérique et la basse température ambiante;
- f) les effets dynamiques, y compris les impacts, les vibrations et les forces dues à la pression, au délestage ou à la décharge des fluides;
- g) les effets de poids, y compris les charges actives et les charges mortes;
- h) les effets de dilatation et de contraction thermiques, y compris les charges thermiques dues aux contraintes, les charges dues aux gradients de température et les charges dues aux différences de caractéristiques de dilatation;
- i) les effets des mouvements du support, d'ancrage et des bornes;
- j) les effets de ductilité réduite;
- k) les effets cycliques;
- l) les effets de condensation de l'air.

4.4.2.2 Parties mobiles

Les parties mobiles d'un système à micropile à combustible ne doivent pas causer d'accidents corporels potentiels.

4.4.3 Cartouche de combustible

Les cartouches de combustible doivent être conçues pour contenir du combustible sans fuite ou perte de gaz au cours d'une utilisation normale, d'un mauvais usage raisonnablement prévisible et du transport par le consommateur, et doivent satisfaire à des exigences conformes à celles spécifiées dans le Règlement type pour le transport des marchandises dangereuses des Nations Unies.

Dans le cas où un dispositif limiteur de pression ou un dispositif analogue est prévu, le dispositif limiteur de pression doit être conçu pour contenir du combustible sans fuite ou perte de gaz au cours d'une utilisation normale, d'un mauvais usage raisonnablement prévisible et du transport par le consommateur. Un dispositif limiteur de pression doit également être conçu pour limiter la pression dans une cartouche de manière contrôlée, afin d'éviter la rupture de la cartouche.

NOTE La rupture désigne la défaillance structurelle d'une cartouche entraînant la libération soudaine de l'énergie stockée.

4.5 Sécurité électrique

4.5.1 Généralités

Les systèmes à micropiles à combustible doivent satisfaire aux exigences électriques applicables de l'IEC 62368-1 et aux exigences supplémentaires du présent document.

4.5.2 Danger de choc

Les systèmes à micropiles à combustible doivent être conçus pour réduire le plus possible la probabilité d'effets et de blessures douloureux dus au passage du courant électrique dans le corps humain.

4.5.3 Danger d'incendie

Les systèmes à micropiles à combustible doivent être conçus pour réduire le risque d'incendie dû à des causes électriques.

4.5.4 Composants électriques et fixations

Les composants électriques et les fixations doivent avoir des caractéristiques électriques assignées suffisantes pour être utilisés dans le système à micropile à combustible.

4.6 Analyse des dangers et évaluation des risques

Le fabricant doit effectuer une analyse des dangers et une évaluation des risques pour identifier les dangers, estimer et évaluer les risques, et appliquer des techniques appropriées pour réduire les risques à des niveaux acceptables pour le système à micropile à combustible.

4.7 Sécurité fonctionnelle

Comme indiqué dans l'analyse des dangers et l'évaluation des risques, un système à micropile à combustible doit suspendre automatiquement et en toute sécurité le fonctionnement du système à micropile à combustible lorsqu'une situation interfère avec le fonctionnement continu en toute sécurité du système à micropile à combustible. Des fonctions de protection doivent être fournies avec le système à micropile à combustible, si cela est jugé nécessaire. De plus, ces fonctions de protection doivent pouvoir fonctionner pendant le démarrage et l'arrêt du système à micropile à combustible. Des moyens actifs ou passifs d'atténuation des risques peuvent être mis en œuvre pour assurer ces fonctions.

5 Exigences générales de sécurité

5.1 Généralités

5.1.1 Cartouche

5.1.1.1 Généralités

La capacité volumétrique maximale dans la cartouche de combustible ne doit pas dépasser 1 l.

5.1.1.2 Quantités limites

La quantité maximale de combustible stockée dans la cartouche de combustible ne doit pas être supérieure aux valeurs suivantes:

solides	1 000 g;
liquides	1 000 ml;
hydrogène	100 g;
gaz inflammable liquéfié	1 000 ml.

NOTE En général, les quantités limites ont été choisies pour être compatibles avec les quantités limites prévues pour le transport par cargo dans les Recommandations relatives au transport des marchandises dangereuses, Règlement type, des Nations Unies. En fonction du type de combustible, de la classe de danger du combustible ou du mode de transport, des limites plus strictes peuvent s'appliquer. Les réglementations nationales et internationales applicables en matière de transport ainsi que les Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses de l'Organisation de l'aviation civile internationale contiennent des limites applicables associées au transport des cartouches de combustible à bord des aéronefs de passagers.

5.1.1.3 Exigence de remplissage des cartouches de combustible

La conception de la cartouche de combustible et la quantité de remplissage de combustible doivent permettre une dilatation du combustible sans fuite, à une température de cartouche de combustible de 70 °C dans le cas d'une cartouche de combustible seule et lorsque la cartouche de combustible est limitée par le système à micropile à combustible ou par un dispositif d'essai comparable. Un espace libre approprié peut être exigé pour permettre une dilatation éventuelle du combustible. Cela peut entraîner une réduction du combustible par rapport à 5.1.1.1, compte tenu de la capacité volumétrique maximale de 1 l de la cartouche de combustible. La pression de décharge maximale du combustible provenant de la cartouche satellite ne doit pas dépasser la valeur spécifiée par le fabricant.

5.1.2 Quantités limites de combustible

La quantité maximale de combustible stockée dans l'unité d'alimentation électrique d'une micropile à combustible ne doit pas être supérieure aux valeurs suivantes:

solides	200 g;
liquides	200 ml;
hydrogène	25 g;
gaz inflammable liquéfié	200 ml.

NOTE En général, les quantités limites ont été choisies pour être compatibles avec les limites, tant pour les systèmes que pour les cartouches, imposées dans la Partie 8 des Instructions techniques pour la sécurité du transport aérien des marchandises dangereuses de l'Organisation de l'aviation civile internationale. Exigence de remplissage du système à micropile

La conception du système à micropile à combustible et la quantité de remplissage de combustible doivent permettre une dilatation du fluide sans fuite, à une température du système à micropile à combustible de 55 °C dans le cas du système à micropile à combustible seul rempli de liquide et lorsque le système à micropile à combustible est limité par la cartouche de combustible.

5.2 Exigences de sécurité chimique

Le Tableau 4 ci-dessous donne les limites de référence pour les mesurages des émissions et des pertes de gaz qui peuvent s'appliquer selon le cas dans chaque partie spécifique aux combustibles de la série IEC 62282-6-1XX.

Les composés organiques volatils qui peuvent être émis pendant le fonctionnement du système à micropile à combustible, mais qui ne sont pas énumérés dans le Tableau 4 doivent être identifiés dans chaque partie spécifique aux combustibles de la série IEC 62282-6-1XX, dans l'analyse des dangers et l'évaluation des risques ou dans les deux, ainsi que dans les limites de taux de perte de gaz pour les dispositifs en fonctionnement et en non-fonctionnement établies sur la base des principes énoncés en 4.1 et 4.2.

Tableau 4 – Limites de perte de gaz pour les essais basés sur la concentration

Constituant	Limite de concentration ^a (dispositifs en fonctionnement)	Limite de taux de perte de gaz ^b (dispositifs en fonctionnement)	Limite de taux de perte de gaz ^c (dispositifs en non-fonctionnement)
Solutions aqueuses non dangereuses	Illimitée pour un pH compris entre 3,5 et 10,5	Illimitée pour un pH compris entre 3,5 et 10,5	Illimitée pour un pH compris entre 3,5 et 10,5
Méthanol	0,26 g/m ³	2,6 g/h	0,08 g/h (absence de perte de vapeur de combustible)
Acide formique	0 009 g/m ³	0,09 g/h	0 018 g/h (absence de perte de vapeur de combustible)
Hydrogène	0,8 g/m ³	0,8 g/h total 0,016 g/h à partir d'une seule fuite localisée ^d	0,003 2 g/h total (perte de gaz H ₂ non admissible)
Butane	1,9 g/m ³	0,9 g/h	0 045 g/h
Formaldéhyde ^e	0,000 1 g/m ³	0,000 6 g/h	0,000 6 g/h
CO	0 029 g/m ³	0 290 g/h	0 290 g/h
CO ₂	9 g/m ³	60 g/h	60 g/h
Formiate de méthyle	0 245 g/m ³	2,45 g/h	0,4 g/h

^a La limite de concentration pour les composés chimiques concernés doit être basée sur des valeurs recommandées au niveau international. Toutes les limites fondées sur la toxicité énumérées dans le présent Tableau 4 sont basées sur des limites à long terme moyennes, pondérées dans le temps (par exemple TWA pour la limite d'exposition professionnelle de l'ICSC). La limite de taux de perte de gaz doit être obtenue en utilisant un calcul similaire à celui utilisé dans le Tableau 4 pour s'assurer que les taux globaux de perte de gaz ne dépassent pas les limites moyennes pondérées dans le temps pour le constituant concerné. Pour de tels constituants, des augmentations à court terme du taux de perte de gaz peuvent être admises, sous réserve que le taux transitoire ne dépasse pas la limite d'exposition à court terme pour ce constituant (par exemple STEL) et que le taux global de perte de gaz ne dépasse pas le taux moyen pondéré dans le temps spécifié dans le présent Tableau 4.

^b La limite du taux d'émission "en fonctionnement" était basée sur la valeur 10 m³ ACH, choisie comme le produit du volume de référence par les renouvellements d'air par heure (ACH), parce qu'elle couvre les environnements raisonnablement prévisibles dans lesquels les systèmes à micropiles à combustible sont utilisés. L'espace intérieur d'une petite voiture et le volume minimal par personne sur un avion commercial sont à 1 m³. L'ACH minimal utilisé à bord d'un avion de passagers est de 10 et le réglage de ventilation le plus faible dans les voitures est de 10 ACH. Les maisons et les bureaux peuvent présenter des niveaux d'ACH aussi bas que 0,5, mais le volume par personne est supérieur à 20 m³, et donc un produit de 10 est satisfaisant.

^c Les limites en non-fonctionnement ont été choisies sur la base d'un scénario de dispositifs dans un espace clos non ventilé. L'espace choisi a un volume de 0,28 m³ (ou environ 10 pieds cubes). Le critère a été spécifié de telle sorte qu'une concentration supérieure à 25 % de la LII n'est pas autorisée à se développer sur une période de vingt-quatre heures (24 h), si trois dispositifs sont dans l'espace clos. Par exemple ce critère s'applique pour la détermination d'un taux maximal de perte de gaz basé sur l'émission de constituants inflammables provenant de systèmes à micropiles à combustible en non-fonctionnement. Il est à souligner qu'il convient de ne pas appliquer le volume de contrôle pour les systèmes en non-fonctionnement en utilisant des limites de toxicité, car le principe de base de cet espace clos est celui d'un espace de stockage, et non d'un espace dans lequel une personne est susceptible de passer du temps. Pour déterminer les limites en non-fonctionnement pour les constituants présentant des propriétés inflammables et toxiques, les valeurs les plus basses de limite d'inflammabilité pour le volume de contrôle "en non-fonctionnement" et de limite de toxicité pour le volume de contrôle "en fonctionnement" doivent s'appliquer.

^d 0,016 g/h reflète un taux d'émission inférieur à la limite déclarée par Swain et al (*Proceedings of the 2001 DOE Program Review*; NREL/CP-570-30535; M.R. Swain and M.N. Swain, *Codes and Standards Analysis*, 2001 (États-Unis), disponible à l'adresse: <http://www1.eere.energy.gov/hydrogenandfuelcells/pdfs/30535bc.pdf>, où "aucun trou n'a pu supporter une flamme d'hydrogène à moins de 3,5 cc/min" (3,5 cc/min ≈ 0,018 g/h). Cette valeur a été choisie conformément aux lignes directrices du Tableau 3.

^e La limite fixée par l'OMS est de 0,000 1 g/m³. Les niveaux de fond sont de 0,000 03 g/m³. La limite d'émission ne peut pas faire passer le niveau de fond au-dessus de la limite fixée.

5.3 Exigences relatives aux matières et matériaux

5.3.1 Généralités

Les matières, les matériaux et le revêtement doivent résister à la dégradation au cours des conditions normales de transport et d'utilisation, pendant la durée de vie du produit définie par le fabricant.

Une cartouche de combustible doit résister à la corrosion dans son environnement d'utilisation.

Les recommandations relatives à la compatibilité des matières et matériaux avec les gaz sont données dans l'ISO 11114-1 et l'ISO 11114-2.

Si de l'hydrogène peut être présent dans le système ou la cartouche, les matières et matériaux utilisés doivent être compatibles avec l'hydrogène. Des méthodes d'essai reconnues, telles que celles spécifiées dans l'ISO 11114-4, doivent être utilisées pour sélectionner des matières et matériaux métalliques résistants à la fragilisation par l'hydrogène, lorsque cela est exigé pour la pression ou l'intégrité structurelle. Il doit être tenu compte de l'impact que la température peut avoir sur la fragilisation par l'hydrogène.

Des recommandations relatives à la sélection des matières et matériaux appropriés se trouvent à l'Annexe A de l'ISO 16111:2018.

5.3.2 Systèmes à micropiles à combustible

5.3.2.1 Exigences environnementales

Les systèmes à micropiles à combustible sont susceptibles d'être exposés à un certain nombre de conditions d'environnement pendant la durée de vie du produit définie par le fabricant, telles que les vibrations, les chocs, les niveaux d'humidité variables et les environnements corrosifs. Les matières et matériaux utilisés dans le système à micropile à combustible doivent résister à ces conditions d'environnement. Si un système à micropile à combustible doit être utilisé en service, où les conditions d'environnement spécifiques sont au-delà de celles prises en compte dans les essais exigés du présent document, des essais supplémentaires doivent alors être effectués pour vérifier la sécurité dans ces conditions d'environnement.

5.3.2.2 Exigences d'inflammabilité

Le système à micropile à combustible doit être construit de manière à atténuer la propagation du feu et le potentiel d'inflammation. Le choix des matières et matériaux doit être conforme à l'IEC 62368-1:2023, 6.3 et 6.4, à l'exception de ce qui suit:

Il n'est pas exigé que les membranes des modules de micropile à combustible et les catalyseurs aient des caractéristiques assignées d'inflammabilité.

Les autres matières et matériaux à l'intérieur du module de micropile à combustible qui représentent moins de 30 % de la masse totale du module de micropile à combustible sont considérés comme une quantité limitée et sont admissibles sans tenir compte de leurs caractéristiques assignées d'inflammabilité.

5.3.3 Parties exposées à l'humidité, au combustible ou aux sous-produits

Les matières et matériaux métalliques et non métalliques utilisés pour construire des pièces extérieures ou intérieures du système à micropile à combustible, en particulier ceux étant exposés directement ou indirectement à l'humidité, au combustible ou aux sous-produits sous forme gazeuse ou liquide, ainsi que l'ensemble des pièces, matières et matériaux utilisés pour les souder ou les raccorder, par exemple les consommables pour le soudage, doivent être adaptés à toutes les conditions physiques, chimiques et thermiques raisonnablement prévisibles dans les conditions habituelles de transport et d'utilisation au cours de la durée de vie du produit définie par le fabricant, et à toutes les conditions d'essai spécifiées à l'Article 8. En particulier, ils doivent être conçus pour conserver leur stabilité mécanique dans les conditions d'utilisation normale.

- Ils doivent être suffisamment résistants à l'action chimique et physique des fluides qu'ils contiennent et à la dégradation environnementale.
- Les propriétés physiques et chimiques nécessaires à un fonctionnement sans risque ne doivent pas être considérablement affectées au cours de la durée de vie du produit définie par le fabricant. En particulier, lors du choix des matières, matériaux et méthodes de fabrication, la résistance à l'usure et à la corrosion, la conductivité électrique, la force d'impact, la résistance au vieillissement, les effets des variations de température, les effets de l'assemblage de certains matériaux et matières (par exemple la corrosion galvanique) et les effets du rayonnement ultraviolet doivent être pris en considération.
- Lorsque des conditions d'érosion, d'abrasion, de corrosion ou d'autres attaques chimiques sont possibles, des mesures appropriées doivent être prises pour:
 - réduire le plus possible cet effet à l'aide d'une conception appropriée, par exemple une épaisseur supplémentaire, ou par une protection adaptée, par exemple l'utilisation de coussinets, de matériaux de parement ou de revêtements de surface, en prenant en compte l'utilisation normale;
 - permettre le remplacement des pièces les plus affectées;
 - attirer l'attention, dans le manuel auquel il est fait référence à l'Article 7, sur le type et la fréquence des mesures d'inspection et de maintenance nécessaires pour une utilisation sûre et continue; le cas échéant, les pièces sujettes à l'usure et les critères pour un remplacement doivent être spécifiés.

5.3.4 Élastomères

Les matériaux élastomères tels que les joints et les tuyaux flexibles en contact avec les combustibles doivent résister à la détérioration lorsqu'ils sont en contact avec ces combustibles et doivent être adaptés aux températures auxquelles ils sont exposés au cours d'une utilisation normale. La conformité doit être déterminée par l'ISO 188 et l'ISO 1817.

5.3.5 Matériaux polymères

Les matériaux polymères en contact avec les combustibles doivent résister à la détérioration lorsqu'ils sont en contact avec ces combustibles et doivent être adaptés aux températures auxquelles ils sont exposés au cours d'une utilisation normale. La conformité doit être déterminée par l'ISO 175.

5.4 Exigences de conception mécanique

5.4.1 Généralités

5.4.1.1 Intégrité structurelle

Les cartouches et les systèmes doivent être capables de supporter ce qui suit:

- mise sous pression interne des cartouches à une pression manométrique interne d'au moins 100 kPa et à une pression normale de service à 22 °C ou à deux fois la pression normale de service de la cartouche de combustible à 55 °C, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée, sans fuite ou perte de gaz. La conformité doit être déterminée par l'essai de mise sous pression interne d'une cartouche de combustible en 8.3.1.2;
- mise sous pression interne des composants des systèmes à micropiles à combustible contenant du combustible, si ces composants sont destinés à contenir du combustible à une pression supérieure à la pression atmosphérique, à deux fois la pression manométrique des composants à 55 °C. Les essais sous pression de ces composants contenant du combustible doivent être effectués avec des robinets de purge ou des dispositifs limiteurs de pression désactivés. La conformité doit être déterminée par l'essai de mise sous pression interne du système à micropile à combustible en 8.3.1.3;
- pression différentielle de 89,7 kPa (simulant une exposition à une pression atmosphérique ambiante absolue type de 11,6 kPa à 15 000 m/50 000 pieds) pendant 1 h. La conformité doit être déterminée par les essais différentiels de pression du système à micropile à combustible en 8.3.1;
- pression différentielle de 33,3 kPa (simulant une exposition à une pression externe absolue de 68 kPa, typique des cales d'avion) pendant 6 h. La conformité doit être déterminée par les essais différentiels de pression du système à micropile à combustible en 8.3.1.

5.4.1.2 Mécanismes de connexion

Les mécanismes de connexion, y compris la connexion entre une cartouche de combustible amovible et le système à micropile à combustible, et la connexion électrique entre le système à micropile à combustible et le dispositif qu'il alimente, doivent être conçus de telle manière qu'ils ne puissent pas être fixés à un emplacement incorrect ou de façon incomplète, ce qui pourrait entraîner une fuite, une perte de gaz ou un danger de choc électrique.

5.4.1.3 Parties pointues ou saillantes

La conception et la construction de systèmes à micropiles à combustible et de cartouches doivent satisfaire à la définition des classifications des sources d'énergie mécanique MS1 ou MS2 ainsi qu'aux exigences applicables correspondantes de l'Article 8 de l'IEC 62368-1:2023.

5.4.2 Système à micropile à combustible

5.4.2.1 Tuyauteries et canalisations (y compris les conduites de combustible)

La conformité des systèmes de confinement de fluides, au sein du système à micropile à combustible, par rapport aux exigences de mise sous pression interne et de pression différentielle de 5.4.1, doit être déterminée par essais de type conformément aux essais de pression décrits en 8.3.1.

Lorsque des systèmes à micropiles à combustible sont conçus pour des pressions manométriques internes supérieures à 100 kPa, ils doivent être conçus et construits conformément aux principes spécifiés en 4.4.2.1. La conformité doit être vérifiée par des essais de type, conformément à l'Article 8.

Les systèmes à micropiles à combustible conçus pour un fonctionnement à une pression manométrique inférieure à 100 kPa non qualifiés comme systèmes sous pression, tels que les flexibles à eau basse pression, les canalisations en plastique ou autres raccords vers les réservoirs atmosphériques ou basse pression et les conteneurs similaires, doivent être construits avec des matières et matériaux appropriés, et leurs joints et fixations associés doivent être conçus et construits avec une force et une résistance aux fuites appropriées pour éviter les dégagements involontaires.

Les raccords-unions doivent être conçus pour être étanches en utilisant des méthodes d'étanchéification résistant au fluide transporté et aux conditions ambiantes d'utilisation.

Tous les composants, en particulier les tuyauteries et canalisations, doivent présenter une capacité suffisante pour résister à la pression et à d'autres charges, et il ne doit pas y avoir de danger de contamination ou de fuite du contenu des conduites. La conformité est déterminée par 8.3.1 et 8.3.6.

Tous les composants, dans les tuyauteries et canalisations, doivent être conçus pour résister au gel et éviter les ruptures. La conformité est déterminée par 8.3.3 et 8.3.5.

Les fluides inflammables, toxiques et corrosifs doivent être maintenus à l'intérieur d'un système de confinement fermé, comme dans une tuyauterie pour combustible, un réservoir, une cartouche de combustible ou une enveloppe similaire. La conformité doit être vérifiée par des essais de type, conformément à l'Article 8.

5.4.2.2 Parties mobiles

Cette conception et cette construction doivent satisfaire à la définition des classifications des sources d'énergie mécanique MS1 ou MS2 ainsi qu'aux exigences applicables correspondantes de l'Article 8 de l'IEC 62368-1:2023.

5.4.3 Cartouche de combustible

Les cartouches de combustible doivent être conformes aux exigences suivantes.

Il ne doit pas y avoir de fuite de la cartouche de combustible dans la plage de températures comprise entre -40°C et $+70^{\circ}\text{C}$. La conformité doit être déterminée par des essais de type conformes à l'essai de cycles de températures (8.3.3) et à l'essai d'exposition à température élevée (8.3.4).

La conformité des cartouches de combustible aux exigences de mise sous pression interne et de pression différentielle de 5.4.1.1 doit être déterminée par des essais de type conformément aux essais de pression décrits en 8.3.1.

Pour l'utilisation normale, le mauvais usage raisonnablement prévisible et le transport par un consommateur d'une cartouche de combustible avec un système à micropile à combustible, des dispositifs doivent être prévus pour éviter une fuite ou une perte de gaz [dangereuse] avant, pendant et après la connexion ou le transfert de combustible ou de fluide vers le système à micropile à combustible. La conformité est vérifiée par l'essai de cycles de connexion (8.3.11).

Une cartouche de combustible doit comporter des dispositifs pour empêcher une mauvaise connexion qui entraînerait une fuite de combustible ou une perte de gaz lorsqu'elle est installée dans un système à micropile à combustible. La conformité est vérifiée par l'essai de cycles de connexion (8.3.11).

Dans le cas où un dispositif limiteur de pression ou un dispositif analogue est prévu, il doit satisfaire à l'exigence de performance pour chaque essai de type applicable, sans fuite ni perte de gaz. En particulier, tout dispositif limiteur de pression doit satisfaire à l'essai de pression interne de 8.3.1 sans fuite ni perte de gaz. Le dispositif limiteur de pression doit être réglé pour s'activer au-dessus de la pression développée maximale en fonctionnement normal (par exemple pression à température maximale) et en dessous de la pression d'éclatement minimale (pression manométrique de 100 kPa ou trois fois la pression développée maximale, en prenant celle des deux valeurs qui est la plus élevée).

Une cartouche de combustible, y compris la connexion d'alimentation en combustible et l'interface entre la cartouche de combustible et le système à micropile à combustible, doit présenter une construction suffisamment solide pour résister à une utilisation normale et à un mauvais usage raisonnablement prévisible généré par les vibrations, la chaleur, la pression, les chutes ou les chocs mécaniques, etc. La conformité est vérifiée par:

- des essais de pression différentielle (8.3.1);
- un essai de vibrations (8.3.2);
- un essai de cycles de températures (8.3.3);
- un essai d'exposition à température élevée (8.3.4);
- un essai de chute (8.3.5);
- un essai de charge de compression (8.3.6);
- un essai de stockage de longue durée (8.3.9);
- un essai de connexion à température élevée (8.3.10);
- des essais de cycles de connexion (8.3.11).

5.4.4 Vannes de combustible et connexions

5.4.4.1 Généralités

La structure au niveau de la connexion à la cartouche de combustible ne doit pas permettre de fuite ou de perte de gaz.

Les vannes de cartouche de combustible doivent fonctionner comme prévu, sans l'utilisation d'outils et sans force excessive nécessaire pour la connexion ou la déconnexion.

Le présent paragraphe 5.4.4 s'applique à toutes les vannes d'arrêt, les vannes de remplissage, les vannes de détente, les vannes de rechargement, y compris tous les types de cartouches de combustible.

Les parties en fonctionnement et à l'épreuve de la pression des ensembles vanne d'arrêt et vanne de détente doivent être assignées ou conçues pour durer pendant la durée de vie du produit définie par le fabricant dans les conditions normales.

Les vannes ne doivent pas être sensibles à une manœuvre involontaire ou à une manœuvre manuelle par un consommateur n'utilisant pas d'outils, qui entraîne une fuite de combustible. La conformité doit être vérifiée à l'aide du calibre d'essai 11 de l'IEC 61032:1997 et d'une force de 9,8 N.

5.4.4.2 Connexions d'alimentation en combustible

Il ne doit pas y avoir de fuites ni de pertes de gaz au cours du stockage, de la connexion, de la déconnexion ou du transfert du combustible de la cartouche de combustible au système à micropile à combustible.

Les connecteurs d'alimentation en combustible prévus sur la cartouche de combustible doivent être construits de telle sorte qu'ils empêchent toute fuite ou perte de gaz lorsqu'ils ne sont pas fixés sur un système à micropile à combustible au cours d'une utilisation normale, d'un mauvais usage raisonnablement prévisible et du transport par le consommateur. La conformité est vérifiée par l'essai de chute (8.3.5) et l'essai de cycles de connexion (8.3.11).

Les vannes ou connexions doivent comporter des dispositifs pour empêcher toute fuite ou perte de gaz au cours d'une utilisation normale, d'un mauvais usage raisonnablement prévisible, et du stockage de la cartouche de combustible.

Une cartouche satellite doit être construite de manière à éviter les fuites ou pertes de gaz lorsqu'elle est connectée au système à micropile à combustible.

5.5 Exigences électriques

5.5.1 Danger de choc

Les systèmes à micropiles à combustible doivent satisfaire aux conditions ES1 spécifiées dans l'IEC 62368-1 en sortie. Les éléments internes du système à micropile à combustible doivent être conformes aux conditions ES1 ou ES2.

5.5.2 Danger d'incendie

Les systèmes à micropiles à combustible doivent être équipés de mesures de protection pour réduire le risque d'incendie dû à des causes électriques, conformément aux exigences pour les circuits PS1, PS2 ou PS3 spécifiées dans l'IEC 62368-1. Une réduction supplémentaire du risque d'incendie dû à l'inflammation de liquides ou de gaz potentiellement inflammables doit en outre satisfaire aux exigences du présent document.

Les systèmes à micropiles à combustible doivent satisfaire aux exigences pour les classifications TS1 ou TS2 de l'Article 9 de l'IEC 62368-1:2023. Il convient que les gaz à température élevée (jusqu'à 70 °C) rejetés par l'intermédiaire du boîtier du système à micropile à combustible soient refroidis à une température sûre avant tout rejet.

Un système à micropile à combustible peut être équipé d'un dispositif permettant de détecter une perte de gaz, comme décrit dans le Tableau 4, et d'arrêter le système à micropile à combustible avant que la limite de concentration ne soit dépassée.

Le câblage interne et l'isolation en général ne doivent pas être exposés au combustible, aux huiles, graisses ou substances similaires, à moins que l'isolation n'ait été évaluée pour un contact avec ces substances.

5.5.3 Zone de la borne de sortie

La zone de la borne de sortie doit être conçue pour empêcher un contact accidentel avec les mains. Cette restriction ne s'applique pas aux types suivants de zones de bornes de sortie:

- a) une zone de borne de sortie pour laquelle, lorsqu'elle est fixée, il n'y a aucun risque de contact humain accidentel;
- b) une zone de borne de sortie pour laquelle la tension et le courant de sortie sont limités par construction, conformément au Tableau Q.1 de l'IEC 62368-1:2023, ou pour laquelle un dispositif de protection contre les surintensités limite la sortie, conformément au Tableau Q.2 de l'IEC 62368-1:2023.

5.5.4 Composants électriques et fixations

Si des piles sont utilisées dans le système à micropile à combustible, elles doivent alors satisfaire à l'Annexe M de l'IEC 62368-1:2023 et aux normes de sécurité suivantes, suivant le cas:

IEC 60086-4, IEC 60086-5, IEC 62133 (toutes les parties) et IEC 62281.

5.5.5 Conducteurs et câblage électriques

- a) Le câblage interne et externe dans les circuits PS2 et PS3 doit être conforme à l'IEC 62368-1:2023, 6.5.
- b) Les composants et le câblage électriques doivent être structurés de façon à réduire le plus possible les effets thermiques.
- c) La protection des conducteurs ne doit pas être endommagée au cours de conditions normales de transport et d'utilisation ou au cours de périodes de non-fonctionnement.
- d) Le conducteur utilisé dans le câblage doit être aussi court que possible et, si nécessaire, des emplacements doivent être fournis avec l'isolation, protégés de la chaleur, immobilisés, ou fournis avec un autre traitement.
- e) Dans le cas où des bornes ou des conducteurs de connexion exposés connectés sur l'extérieur du système à micropile à combustible sont fixés de manière incorrecte, le système à micropile à combustible ne fonctionne pas ou fonctionne sans aucune anomalie.
- f) Sauf dans les cas suivants, des bornes ou des conducteurs de connexion exposés connectés sur l'extérieur du système à micropile à combustible doivent pouvoir être distingués par des nombres, des lettres, des symboles, des couleurs assignés, etc.:
 - 1) les bornes ou conducteurs de connexion ont différentes formes physiques pour empêcher une connexion incorrecte;
 - 2) il n'y a que deux bornes ou conducteurs de connexion, et le fait d'interchanger ces conducteurs ou bornes n'a aucun effet sur le fonctionnement du système à micropile à combustible.
- g) Les passages empruntés par les conducteurs doivent être lisses et ne doivent pas présenter d'arêtes vives.
- h) Les conducteurs électriques doivent être protégés de façon qu'ils n'entrent pas en contact avec des aspérités, ou qu'ils ne soient pas soumis à des pincements au cours de l'assemblage, et phénomènes similaires, pouvant endommager l'isolation des conducteurs.
- i) Les conducteurs isolés qui passent à travers des trous doivent être protégés pour éviter l'abrasion ou les dommages liés à la découpe. La conformité est vérifiée par examen.

5.5.6 Exigences relatives aux sources d'inflammation potentielles

Pour éviter un danger de feu ou d'explosion à l'intérieur du système à micropile à combustible, le fabricant doit soit éliminer la ou les sources d'inflammation accidentelles potentielles dans les zones où le combustible est présent (ou peut être potentiellement dégagé), soit s'assurer qu'une oxydation immédiate et contrôlée du combustible se produit par l'utilisation d'un réacteur catalytique.

Les sources d'inflammation accidentelles potentielles doivent être éliminées par un ou plusieurs des éléments suivants.

- Les températures en surface ne doivent pas dépasser 80 % de la température d'auto-inflammation, exprimée en degrés Celsius, du gaz ou de la vapeur inflammable. Si cette température est inférieure ou égale aux limites de température TS1 ou TS2 spécifiées dans l'IEC 62368-1, cette limite prévaut.
- Les équipements contenant des matières, des matériaux ou des composants capables de catalyser la réaction des fluides inflammables avec l'air doivent être capables d'arrêter la propagation de la réaction entre l'équipement et l'atmosphère inflammable environnante.
- Les matériels ou les composants électriques, s'ils sont soumis à un contact avec un combustible, doivent être adaptés à la zone dans laquelle ils sont installés.
- Le potentiel de décharge statique suffisant pour provoquer une inflammation doit être éliminé par un choix de matières et matériaux appropriés et par une liaison équipotentielle et une mise à la terre correctes.
- Les composants électriques tels que les fusibles, les dispositifs de protection contre les surintensités, les capteurs, les vannes et solénoïdes électriques lorsqu'ils fonctionnent dans les conditions pour lesquelles ils sont conçus, ne doivent pas être à l'origine d'effets thermiques, d'arcs ou étincelles susceptibles de produire un dégagement inflammable de gaz.
- Le système à micropile à combustible fonctionnant dans ses conditions prévues, la température du matériau de câblage, y compris le câblage imprimé sur les cartes de circuits, ne doit pas augmenter au point de pouvoir enflammer un dégagement de gaz inflammable.
- Dans le cas d'un fonctionnement du système à micropile à combustible dans les conditions anormales de fonctionnement d'une surcharge électrique, le câblage imprimé sur les cartes de circuits "ouverts" ne doit pas produire d'arc ni d'effet thermique capables d'enflammer un dégagement de gaz inflammable.
- L'oxydation immédiate et contrôlée doit être assurée par les éléments suivants:
 - a) les réacteurs catalytiques conçus pour contrôler l'oxydation sans risque sont acceptables. La température à l'intérieur de réacteurs de ce type peut être supérieure à la température d'auto-inflammation du fluide. Si le réacteur catalytique s'écarte des conditions de fonctionnement correctes, telles que définies par le fabricant, le système à micropile à combustible doit être mis automatiquement dans un état sûr;
 - b) que le moteur fonctionne dans les conditions prévues ou au cours d'une condition anormale telle qu'un fonctionnement en surcharge ou avec rotor bloqué, sa température ne doit pas augmenter au point de pouvoir enflammer un dégagement de gaz inflammable;
 - c) les parties du moteur telles que le balai de moteur, le dispositif de surcharge thermique ou un ou plusieurs autres composants d'établissement et de coupure, qui agissent pour couper un circuit, même si la coupure est transitoire par nature, ne doivent pas provoquer de danger en produisant un arc ou un effet thermique capable d'enflammer un dégagement de gaz inflammable.

5.6 Analyse des dangers et évaluation des risques

Une analyse des dangers et une évaluation des risques, ou des méthodes équivalentes, doivent être réalisées par le fabricant pour identifier les dangers, estimer et évaluer les risques, et appliquer des techniques appropriées pour réduire les risques à des niveaux acceptables pour le système à micropile à combustible. De plus, l'analyse des dangers et l'évaluation des risques doivent identifier les défauts qui peuvent avoir des conséquences sur la sécurité et les caractéristiques de conception qui servent à atténuer ces défauts au moyen d'une analyse de défaut telle qu'une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) ou d'une analyse par arbre de panne (AAP).

Voici une liste non exhaustive d'exemples de dangers potentiels et de conditions dangereuses:

- fuite de combustible liquide corrosif ou toxique;
- émission de gaz toxique (y compris ceux qui ne sont pas énumérés autrement dans le Tableau 4);
- incendie ou explosion;
- rechargement des cartouches de combustible non rechargeables par l'utilisateur, si elles sont anticipées par le fabricant ou par des techniciens formés;
- cartouches en service, le cas échéant (par exemple une cartouche liquide ayant potentiellement moins d'intégrité structurelle lorsqu'elle est à moitié pleine, puis entièrement remplie ou assurant la sécurité d'une technologie de cartouche lorsqu'elle est déconnectée d'un système après activation);
- effets de l'humidité et de l'humidité relative.

Des recommandations pour l'analyse des dangers et l'évaluation des risques, ainsi que pour l'analyse des défauts, peuvent être consultées dans les références informatives suivantes:

- ISO 12100;
- IEC 31010;
- IEC 60812;
- IEC 61025.

5.7 Exigences de sécurité électrique

5.7.1 Généralités

Si des fonctions de protection sont fournies avec le système à micropile à combustible, comme identifié en 5.7, et qu'elles dépendent de l'utilisation de systèmes de sécurité électriques, électroniques ou électroniques programmables, elles doivent satisfaire aux exigences de sécurité fonctionnelle appropriées. Les exemples de fonctions de protection incluent, sans toutefois s'y limiter:

- la détection des conditions de court-circuit;
- la détection des surcharges électriques.

Les exigences de sécurité fonctionnelle appropriées doivent inclure l'évaluation des conditions de premier défaut du régulateur ou du circuit de commande. Les conditions de premier défaut ne doivent pas compromettre la sécurité. Les exemples de normes qui peuvent être utilisées pour évaluer la sécurité fonctionnelle incluent, sans toutefois s'y limiter:

- IEC 60730-1:2022, Annexe H;
- IEC 60335-1:2020, Article 19 et Annexe R;
- IEC 61508 (toutes les parties);
- IEC 62061;
- ISO 13849-1.

5.7.2 Commandes logicielles ou électroniques

Pour les dispositifs qui utilisent des régulateurs ou des systèmes de commande électroniques, les logiciels systèmes et les circuits électroniques qui sont considérés comme les dispositifs de sécurité primaires comme déterminé par l'analyse des dangers et l'évaluation des risques de 5.6 doivent être conformes à l'IEC 60730-1:2022, Annexe H.

Les systèmes à micropiles à combustible utilisant des régulateurs électroniques doivent être conformes aux points suivants:

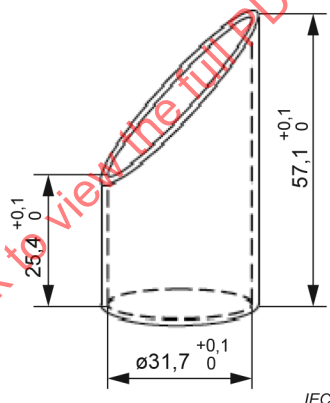
- a) au cours d'une utilisation normale, en cas de dysfonctionnement d'un seul régulateur, la sécurité ne doit pas être compromise;
- b) au cours d'une utilisation normale, la sécurité ne doit pas être compromise dans les cas où une partie quelconque du circuit de commande est défaillante.

5.8 Petites pièces

Les petites cartouches de combustible qui peuvent traverser le calibre d'ingestion de la Figure 2 doivent présenter:

- a) un marquage "GARDER HORS DE PORTÉE DES ENFANTS/RISQUE D'ÉTOUFFEMENT";
- b) des instructions d'avertissement supplémentaires concernant les dangers liés aux petites pièces, en plus de celles spécifiées en 7.5.

Dimensions exprimées en millimètres



NOTE Ce calibre définit un composant disponible. De plus amples informations sont disponibles dans l'ISO 8124-1.

Figure 2 – Calibre d'ingestion

6 Essais et exigences des conditions anormales de fonctionnement et de défaut

6.1 Généralités

Chaque système à micropile à combustible ou unité d'alimentation électrique de la micropile à combustible doit être conçu de sorte que les risques de feu, d'explosion, de fuite ou tous autres dangers identifiés dans l'analyse des dangers et l'évaluation des risques exigées en 5.6, dus à une surcharge mécanique ou électrique, à une défaillance, à une fuite interne, à un fonctionnement anormal ou à une utilisation négligente, soient limités autant que possible.

6.2 Fonctionnement anormal – Composants électromécaniques

Lorsqu'un danger risque de survenir, la vérification de la conformité des composants électromécaniques autres que les moteurs est effectuée par les essais de défauts ci-dessous.

- a) Les mouvements mécaniques doivent être bloqués dans la position la plus défavorable, alors que le composant est normalement alimenté.
- b) Dans le cas d'un composant normalement mis sous tension par intermittence, un défaut doit être simulé dans le circuit de commande pour entraîner la mise sous tension permanente du composant.
- c) La durée de chaque essai doit être conforme à ce qui suit:
 - 1) pour les composants du système à micropile à combustible dont le défaut de fonctionnement n'est pas évident pour l'utilisateur, l'essai doit être poursuivi aussi longtemps que nécessaire pour obtenir l'état d'équilibre ou jusqu'à l'interruption du circuit par suite d'autres conséquences des conditions de défaut simulées, selon ce qui se produit en premier lieu;
 - 2) pour les autres composants du système à micropile à combustible, la durée d'essai doit être de 5 min ou jusqu'à l'interruption du circuit par suite d'une défaillance du composant (destruction thermique par exemple).

6.3 Fonctionnement anormal des systèmes à micropiles à combustible avec batteries intégrées

Les systèmes comprenant des batteries intégrées doivent être soumis à essai conformément aux procédures spécifiées dans l'IEC 62368-1:2023, M.3.2, et doivent satisfaire aux exigences spécifiées dans l'IEC 62368-1:2023, M 3.3.

6.4 Fonctionnement anormal – Simulation de défauts d'après l'analyse des dangers

Les défauts suivants doivent être simulés conformément à 5.6:

- a) toutes conditions anormales jugées nécessaires, d'après 5.6, pour évaluer les paramètres de protection prévus pour le système à micropile à combustible, par exemple protection contre les températures excessives, courts-circuits, tension de la pile à combustible;
- b) court-circuit, déconnexion ou surcharge dans l'ensemble des composants et parties concernés, sauf s'ils sont contenus dans une enveloppe contre le feu qui satisfait à toutes les exigences relatives aux enveloppes contre le feu, y compris en ce qui concerne les matières et matériaux, comme spécifié dans l'IEC 62368-1:2023, 6.4.8;

NOTE Une condition de surcharge est une condition quelconque entre la puissance assignée et la condition de courant maximal, jusqu'au court-circuit.

- c) températures supérieures aux circuits de protection contre les températures excessives, pour assurer la sécurité du système à micropile à combustible.

De plus, des résultats d'essai anormaux ne doivent pas conduire à des chocs (4.5.2), à un danger d'incendie (4.5.3) ou à une perte de gaz (5.2).

Les conclusions doivent être conformes à l'IEC 62368-1.

7 Instructions et avertissements pour les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible

7.1 Généralités

Tous les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible doivent être accompagnés d'informations de sécurité appropriées (instructions, avertissements, ou les deux), indiquant le transport sûr prévu, l'utilisation, le stockage, la maintenance et la mise au rebut du produit, y compris des avertissements concernant une ventilation adéquate pour le stockage.

Si l'espace ne permet pas tous les marquages sur la cartouche de combustible, les marquages a) à f) en 7.2 peuvent figurer sur le plus petit emballage individuel ou sur une notice. La cartouche de combustible doit également porter les mentions d'avertissement appropriées ("ATTENTION", "AVERTISSEMENT" ou "DANGER") et le symbole d'avertissement général (W001 spécifié dans l'ISO 7010:2019) ainsi que le texte: "(Voir les informations d'avertissement ci-jointes.)".

Les cartouches de combustible et les systèmes à micropiles à combustible ne doivent être marqués comme conformes à l'IEC 62282-6-101 que s'ils satisfont au présent document et à la partie spécifique aux combustibles correspondante de la série IEC 62282-6-1XX.

7.2 Marquages minimaux exigés sur la cartouche de combustible

Au minimum, la cartouche de combustible doit porter les marquages suivants:

- a) texte indiquant les dangers du combustible contenu (par exemple inflammable, toxique, corrosif, hydroréactif), suivant le cas, au format suivant: CONTENU [identifier le danger ici], NE PAS DÉMONTER;
- b) ÉVITER TOUT CONTACT AVEC LE CONTENU;
- c) GARDER HORS DE PORTÉE DES ENFANTS;
- d) NE PAS EXPOSER À DES TEMPÉRATURES SUPÉRIEURES À 50 °C NI À DES FLAMMES NUES OU À DES SOURCES D'INFLAMMATION;
- e) SUIVRE LES INSTRUCTIONS D'UTILISATION;
- f) EN CAS D'INGESTION DE COMBUSTIBLE OU DE CONTACT AVEC LES YEUX, CONSULTER UN MÉDECIN;
- g) marque commerciale, nom du fabricant ou les deux, désignation du modèle et traçabilité exigée par le fabricant;
- h) composition et quantité de combustible;
- i) texte ou marquage indiquant que la cartouche de combustible est conforme à l'IEC 62282- 6-101.

7.3 Marquages minimaux exigés sur le système à micropile à combustible

Au minimum, le système à micropile à combustible doit porter les marquages suivants:

- a) texte indiquant les dangers du combustible utilisé (par exemple inflammable, toxique, corrosif, hydroréactif), suivant le cas, au format suivant: CONTENU [identifier le danger ici], NE PAS DÉMONTER;
- b) ÉVITER TOUT CONTACT AVEC LE CONTENU;
- c) NE PAS EXPOSER À DES TEMPÉRATURES SUPÉRIEURES À 50 °C NI À DES FLAMMES NUES OU À DES SOURCES D'INFLAMMATION;
- d) SUIVRE LES INSTRUCTIONS D'UTILISATION;
- e) EN CAS D'INGESTION DE COMBUSTIBLE OU DE CONTACT AVEC LES YEUX, CONSULTER UN MÉDECIN;
- f) marque commerciale, nom du fabricant ou les deux, désignation du modèle et traçabilité exigée par le fabricant;
- g) composition du combustible;
- h) capacité maximale du combustible dans le réservoir interne, le cas échéant;
- i) texte ou marquage indiquant que le système à micropile à combustible est conforme à l'IEC 62282-6-101;
- j) sortie électrique (tension, courant, puissance assignée).

7.4 Informations supplémentaires exigées sur la cartouche de combustible, sur les informations écrites d'accompagnement ou sur le système à micropile à combustible

Au minimum, les instructions d'utilisation doivent inclure ce qui suit:

- a) instructions et avertissements de sécurité;
- b) texte ou marquages indiquant que le système à micropile à combustible est conforme à l'IEC 62282-6-101;
- c) identification de la ou des cartouches de combustible qui sont acceptables pour une utilisation avec les systèmes à micropiles à combustible;
- d) températures minimales et maximales de fonctionnement et de stockage.

7.5 Documentation technique

Outre les informations exigées par 7.4, chaque produit doit être accompagné d'un manuel d'information utilisateur, qui doit comprendre la documentation technique suivante:

- a) des informations pédagogiques qui forment l'utilisateur final concernant l'utilisation, le fonctionnement et la mise au rebut corrects de la cartouche de combustible et du système à micropile à combustible;
- b) des informations qui identifient le fabricant du système à micropile à combustible, y compris la raison sociale, l'adresse, le numéro de téléphone et le site Web;
- c) la liste de tous les avertissements et de toutes les instructions apposés sur le système à micropile à combustible ou sur la cartouche de combustible. Des informations supplémentaires expliquant de façon plus détaillée ou mettant en évidence ces avertissements et instructions peuvent être fournies dans le manuel;
- d) des instructions selon lesquelles le système à micropile à combustible doit être utilisé et stocké dans une zone bien ventilée;
- e) les avertissements associés aux petites pièces conformément à 5.8, le cas échéant.

Le fabricant du système à micropile à combustible et des cartouches de combustible doit spécifier le type et les caractéristiques correspondantes du combustible et, le cas échéant, la qualité et les caractéristiques correspondantes du combustible à utiliser avec le système à micropile à combustible. Ces informations doivent être indiquées dans la documentation fournie avec le système à micropile à combustible.

Les systèmes à micropiles à combustible doivent spécifier la ou les cartouches de combustible qui sont destinées à être utilisées avec eux. Ces informations doivent être indiquées dans la documentation fournie avec le système à micropile à combustible.

Si un système à micropile à combustible est destiné à être utilisé avec une cartouche satellite, le fabricant doit spécifier la pression de décharge maximale admissible provenant d'une cartouche satellite compatible. Ces informations doivent être indiquées dans la documentation fournie avec le système à micropile à combustible.

8 Essais de type pour les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible

8.1 Généralités

- a) L'Article 8 spécifie des essais de type pour les systèmes à micropiles à combustible et les cartouches de combustible qui simulent des conditions d'utilisation normale, de transport et de mauvais usage raisonnablement prévisible.
- b) L'Annexe A décrit l'objet de chaque essai de type décrit dans le présent document (voir Tableau A.1).

- c) Le Tableau 5 énumère les essais de type qui doivent être réalisés et les échantillons d'essai sur lesquels chaque essai doit être effectué.

Tableau 5 – Liste des essais de type

Référence d'essai	Élément d'essai	Échantillon d'essai
8.3.1	Essais de pression différentielle	Cartouche de combustible inutilisée Cartouche de combustible en service Système à micropile à combustible
8.3.2	Essai de vibrations	Cartouche de combustible inutilisée Cartouche de combustible en service Système à micropile à combustible
8.3.3	Essai de cycles de températures	Cartouche de combustible inutilisée Cartouche de combustible en service Système à micropile à combustible
8.3.4	Essai d'exposition à température élevée	Cartouche de combustible inutilisée Cartouche de combustible en service
8.3.5	Essai de chute	Cartouche de combustible inutilisée Cartouche de combustible en service Système à micropile à combustible
8.3.6	Essai de charge de compression	Cartouche de combustible inutilisée Cartouche de combustible en service Système à micropile à combustible
8.3.7	Essai de court-circuit externe	Système à micropile à combustible
8.3.8	Essai de température de surface, de composant et de gaz d'échappement	Système à micropile à combustible
8.3.9	Essai de stockage de longue durée	Cartouche de combustible inutilisée Cartouche de combustible en service
8.3.10	Essai de connexion à température élevée	Cartouche de combustible inutilisée et système à micropile à combustible Cartouche de combustible en service et système à micropile à combustible
8.3.11	Essais de cycles de connexion	Cartouche de combustible inutilisée et système à micropile à combustible
8.3.12	Essais de perte de gaz	Système à micropile à combustible
Lorsque plusieurs types d'échantillons d'essai sont énumérés pour un essai de type spécifique, cet essai de type doit être réalisé sur chacun des types d'échantillons d'essai énumérés. Séquence d'essai: les essais de 8.3.2 et 8.3.3 doivent être réalisés de manière séquentielle pour les essais des mêmes cartouches de combustible. Les essais de 8.3.1, 8.3.2 et 8.3.3 doivent être réalisés de manière séquentielle pour les essais des mêmes systèmes à micropiles à combustible. Réutilisation des échantillons: les cartouches de combustible et les systèmes à micropiles à combustible peuvent être réutilisés à l'initiative du fabricant, si leur réutilisation ne compromet pas l'essai individuel. Si un système à micropile à combustible est destiné à être connecté à une cartouche de combustible en cours de fonctionnement, l'essai de type doit alors être réalisé sur le système à micropile à combustible avec la cartouche de combustible associée connectée. Par souci de clarté, cela est destiné à inclure les cartouches satellites.		

- d) Les conditions de laboratoire sont spécifiées dans le Tableau 6, sauf spécification contraire explicite à l'Article 8.

Tableau 6 – Conditions de laboratoire

Élément	Condition
Température de laboratoire	La température de laboratoire est la "température ambiante" (soit $22\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$).
Atmosphère de la pièce du laboratoire; pour les essais du système à micropile à combustible uniquement	L'atmosphère de la pièce du laboratoire ne contient pas plus de 0,2 % de dioxyde de carbone et pas plus de 0,002 % de monoxyde de carbone. L'atmosphère de la pièce du laboratoire contient au moins 18 %, mais pas plus de 21 %, d'oxygène.

- e) L'échantillon d'essai doit être conditionné à la température de laboratoire pendant au moins 3 h avant la réalisation de chaque essai.
- f) **AVERTISSEMENT** – Ces essais de type utilisent des procédures qui peuvent entraîner des dommages si des précautions appropriées ne sont pas prises. Il convient que les essais ne soient effectués que par des techniciens qualifiés et expérimentés utilisant une protection appropriée.
- g) En plus des essais de type spécifiés dans le Tableau 5, pour les cartouches satellites (contenant des combustibles liquides) et les systèmes à micropiles à combustible conçus pour utiliser des cartouches satellites (contenant des combustibles liquides), les essais de type supplémentaires suivants, tirés de l'IEC 62282-6-300:2012, 4.4, doivent être réalisés avec la cartouche satellite connectée au système à micropile à combustible: essai de compression de cartouche, essai de traction de cartouche, essai de torsion de cartouche, essai de pliage de cartouche.

8.2 Protocoles généraux de mesurage des fuites et des pertes de gaz

8.2.1 Protocoles généraux

Les protocoles généraux pour l'exécution des mesurages basés sur la concentration, les protocoles d'évaluation de la perte de gaz depuis une source ponctuelle, le protocole d'essai des détecteurs de fuite liquide, le protocole d'essai d'immersion dans l'eau, les protocoles de mesurage de perte de masse et les méthodes de détection des liquides accessibles pour évaluer la conformité aux exigences relatives aux fuites, aux pertes de gaz et aux émissions dans l'ensemble du présent document sont inclus de 8.2.2 à 8.2.9 ci-dessous pour référence et pour une utilisation appropriée dans les parties spécifiques aux combustibles de la série IEC 62282-6-1XX.

8.2.2 Essais

8.2.2.1 Généralités

Après chaque essai de type, l'absence de fuites et de pertes de gaz dans tous les échantillons d'essai doit être vérifiée conformément aux procédures suivantes.

8.2.2.2 Procédures d'essai de fuite et de perte de gaz pour les cartouches de combustible

- 1) Effectuer un examen visuel de tous les emplacements de fuite éventuels, comme spécifié dans l'article spécifique aux combustibles correspondant du présent document.
- 2) Effectuer les contrôles supplémentaires nécessaires pour détecter les fuites, comme spécifié dans l'article spécifique aux combustibles correspondant du présent document.
- 3) Vérifier l'absence de perte de gaz.

8.2.2.3 Procédures d'essai de fuite et de perte de gaz pour les systèmes à micropiles à combustible

- 1) Effectuer un examen visuel de tous les emplacements de fuite éventuels, comme spécifié dans l'article spécifique aux combustibles correspondant du présent document.
- 2) Effectuer les contrôles supplémentaires nécessaires pour détecter les fuites, comme spécifié dans l'article spécifique aux combustibles correspondant du présent document.
- 3) Effectuer des essais de perte de gaz conformément à un protocole approprié, comme spécifié dans l'article spécifique aux combustibles correspondant du présent document, en mettant hors tension le système à micropile à combustible ou l'unité d'alimentation électrique de la micropile à combustible ("DISPOSITIF EN POSITION OFF").
- 4) Mettre le système à micropile à combustible sous tension et le faire fonctionner pendant $10 \text{ min} \pm 30 \text{ s}$. Vérifier l'absence de feu ou d'explosion.
- 5) Effectuer des essais de perte de gaz conformément à un protocole approprié, comme spécifié dans l'article spécifique aux combustibles correspondant du présent document, en mettant sous tension le système à micropile à combustible ou l'unité d'alimentation électrique de la micropile à combustible ("DISPOSITIF EN POSITION ON"), que le système à micropile à combustible soit en fonctionnement ou non. Si le dispositif n'est pas en fonctionnement, la limite de taux de perte de gaz pour les dispositifs en non-fonctionnement doit être respectée.

8.2.3 Protocole de réalisation de mesurages basés sur la concentration

8.2.3.1 Généralités

Le présent paragraphe 8.2.3 fournit des recommandations générales sur la façon d'utiliser des mesurages basés sur la concentration pour évaluer les taux de perte de gaz.

8.2.3.2 Montage et validation d'essai

La présente procédure peut être ajustée ou une procédure de substitution peut être utilisée, à condition que les travaux de vérification et de validation démontrent des performances équivalentes. La vérification et la validation de la méthode doivent être effectuées et démontrer les performances suivantes:

- a) démontrer le mesurage répétable et fiable de la concentration du constituant à la limite du taux de perte de gaz spécifiée pour ce constituant dans le Tableau 4 ou un niveau de sécurité équivalent aux principes énoncés en 4.2. Si un constituant spécifique n'est pas inclus dans le Tableau 4, une limite doit être attribuée dans la partie spécifique aux combustibles du présent document, conformément aux principes énoncés en 4.2;
- b) dans les cas où des excursions transitoires supérieures au taux moyen pondéré dans le temps peuvent survenir (par exemple purge du système) et lorsqu'un seuil transitoire s'applique, en plus d'une limite moyenne pondérée dans le temps, démontrer le mesurage répétable et fiable d'une variation pertinente du taux de perte de gaz entre le taux moyen pondéré dans le temps autorisé et un taux ne dépassant pas le taux transitoire autorisé lors des essais de contrôle. Dans de tels cas, la durée du cycle d'échantillonnage doit être suffisante pour vérifier que la limite de taux de perte de gaz à court terme n'est pas dépassée.

À titre d'exemple d'essais pour un seuil de taux de perte de gaz transitoire, lors des essais de perte de gaz hydrogène, l'appareillage doit détecter de manière fiable lorsqu'un taux passe de $\leq 0,003 \text{ 2 g/h}$ (taux de perte de gaz hydrogène non admissible) à $\geq 0,016 \text{ g/h}$ (taux de perte de gaz transitoire).

Lors de cet essai, les points suivants sont pertinents:

- les systèmes à micropiles à combustible émettent de la vapeur d'eau et, dans certaines conditions, cette vapeur d'eau peut se condenser. Cette condensation n'est pas considérée comme une perte ou une fuite de gaz si le condensat n'est pas une substance dangereuse;
- les instruments adaptés pour la mesure de la concentration des constituants incluent les spectromètres de masse, les chromatographes en phase gazeuse ou d'autres instruments appropriés étalonnés pour mesurer les constituants concernés à la concentration appropriée. D'autres instruments peuvent également être utilisés, à condition que leurs performances soient suffisantes pour détecter et mesurer de manière fiable les constituants concernés aux limites applicables. Les autres instruments appropriés, pour les gaz ou vapeurs inflammables, incluent les détecteurs de gaz ou de vapeurs inflammables étalonnés pour la concentration appropriée;
- si nécessaire, il convient de réaliser des mesurages à blanc pour tenir compte des concentrations de fond en gaz ou en vapeur dans l'air utilisé pour l'essai.

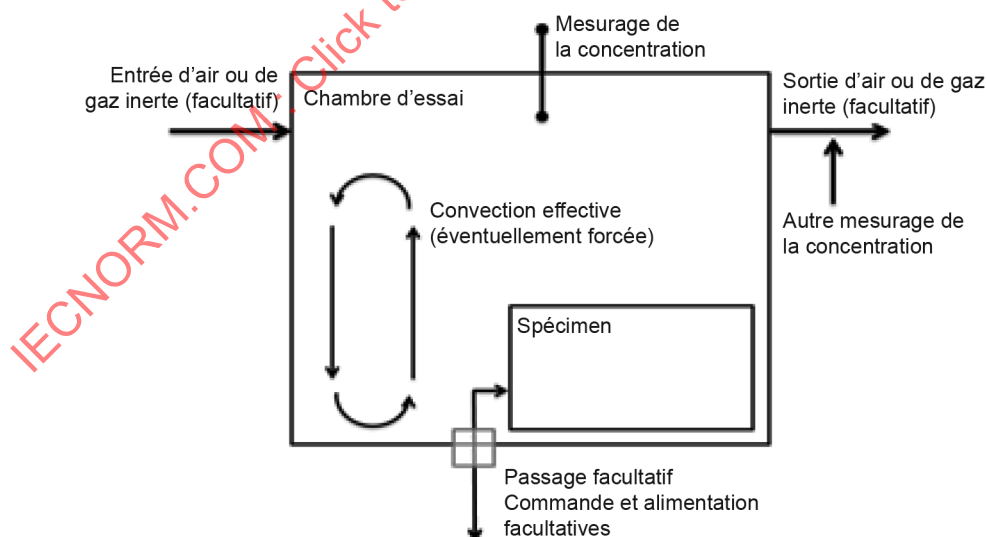
8.2.3.3 Appareillage d'essai

L'appareillage d'essai doit inclure:

- l'échantillon d'essai (cartouche de combustible, cartouche de combustible en service ou système à micropile à combustible);
- une chambre d'essai close, éventuellement avec des conduits étanches à l'air pour l'électricité, les lignes de commande, les capteurs, etc.;
- un dispositif d'échantillonnage de la concentration en gaz à l'intérieur de la chambre.

L'appareillage d'essai peut, en outre, inclure:

- une alimentation en air ou gaz inerte à débit contrôlé;
- une sortie de gaz;
- un dispositif pour obtenir une convection rapide (mélange) dans la chambre d'essai.



IEC

Figure 3 – Appareillage d'essai de perte de gaz

Il convient que la chambre (et le débit d'air, le cas échéant) soit dimensionnée de manière à être pratique et à assurer le maintien d'un volume d'essai permettant de détecter de manière fiable les constituants aux limites de taux de perte de gaz. Une chambre d'essai entièrement hermétique ou dynamique peut être utilisée pour réaliser les essais basés sur la concentration, à condition que la distribution soit uniforme dans l'ensemble de la chambre. Si un mélange uniforme ne peut pas être obtenu par diffusion, un ventilateur ou une autre méthode de mélange appropriée doit être utilisé pour assurer une distribution uniforme de tous les constituants dans la chambre.

Des débits plus faibles et des volumes de chambres inférieurs permettent d'améliorer la résolution des mesurages (la perte de gaz, le cas échéant, reste à des concentrations supérieures); il convient toutefois de veiller à ce que la chambre soit suffisamment grande pour éviter de dépasser 25 % de la LII de n'importe quel constituant dans la chambre à tout moment pendant l'essai.

8.2.3.4 Procédure d'essai

- Exécuter ce protocole lorsque le système à micropile à combustible fonctionne à la puissance assignée à l'intérieur de la chambre d'essai représentée à la Figure 3.
- Enregistrer les concentrations des composés chimiques concernés.
- Comparer le taux de perte de gaz maximal mesuré à la limite de taux de perte de gaz des composés chimiques concernés. Si le taux de perte de gaz n'est pas inférieur à la limite de taux de perte de gaz, le système à micropile à combustible échoue à l'essai et aucun autre essai n'est exigé.
- Pour les systèmes à micropiles à combustible dans lesquels de l'hydrogène peut être présent, si le taux de perte de gaz mesuré est supérieur à 0,016 g/h, mais inférieur au taux d'émission maximal admissible tel que défini en 5.2, des essais de détection de perte de gaz hydrogène depuis une source ponctuelle conformément à 8.2.3 doivent être effectués.

Pour une chambre dynamique, calculer le taux de perte de gaz des composés chimiques concernés émis en multipliant la concentration stabilisée maximale de chaque constituant par le débit d'air simultané total à travers le système. Le débit d'air total à travers le système est déterminé en ajoutant le débit en régime établi de la pompe à air à débit variable à travers le système au débit d'échantillon simultané ou en mesurant le débit d'air d'admission.

NOTE Le débit total d'air entrant dans la chambre est égal à la somme des débits d'air sortant de celle-ci. Par conséquent, le débit d'air à l'entrée de la chambre est égal au débit d'air à la sortie de la chambre plus le débit d'échantillonnage. Chacune des deux valeurs représente le débit d'air total à travers la chambre et l'une ou l'autre peut être utilisée pour calculer le taux de perte de gaz.

$$E_r = C_{\text{air}} \times R_{\text{air}}$$

où

E_r est le taux de perte de gaz provenant de l'échantillon;

R_{air} est le débit d'air à travers la chambre;

C_{air} est la concentration de gaz dans le débit d'air échantillonné.

Pour une chambre hermétique, le taux de perte de gaz doit être calculé en fonction du différentiel entre les mesurages de concentration adjacents moyens pondérés dans le temps. Dans ce cas:

$$E_r = \frac{C_{n+1} - C_n}{t_{n+1} - t_n} \times V_c$$

où

E_r est le taux de perte de gaz provenant de l'échantillon;

V_c est le volume libre (de gaz) de la chambre d'essai;

t_n est l'instant auquel l'échantillon précédent a été prélevé;

t_{n+1} est l'instant auquel l'échantillon actuel a été prélevé;

C_n est la concentration à l'instant t_n ;

C_{n+1} est la concentration à l'instant t_{n+1} .

Le taux de perte de gaz maximal calculé doit être utilisé pour déterminer la conformité. Si le dispositif n'est pas en fonctionnement, la limite de taux de perte de gaz pour les dispositifs en non-fonctionnement doit être respectée.

Pour les mesurages basés sur la concentration aux sous-pressions ambiantes, ce protocole d'essai peut s'appliquer, en utilisant la méthodologie de la chambre hermétique. Après la période d'essai à basse pression extérieure, la chambre doit revenir à la pression ambiante en utilisant de l'air ou du gaz inerte de pureté connue. Laisser l'atmosphère dans la chambre se stabiliser ou fournir un mélange approprié, puis échantillonner la concentration de la chambre.

8.2.4 Protocoles d'évaluation de la perte de gaz hydrogène depuis une source ponctuelle

8.2.4.1 Généralités

Le présent paragraphe 8.2.4 fournit des recommandations générales sur la façon d'évaluer les taux de perte de gaz depuis une source ponctuelle.

8.2.4.2 Montage et validation d'essai

Une procédure appropriée, spécifique à l'article sous à essai, doit faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'autorité responsable des essais.

La vérification et la validation de la procédure doivent être effectuées et doivent démontrer le mesurage fiable et répétable de la limite de taux de perte de gaz depuis une source ponctuelle spécifiée pour l'hydrogène dans le Tableau 4, ou un niveau de sécurité équivalent aux principes énoncés en 4.2.

Lors de cet essai, les points suivants sont pertinents:

- les systèmes à micropiles à combustible émettent de la vapeur d'eau et, dans certaines conditions, cette vapeur d'eau peut se condenser. Cette condensation n'est pas considérée comme une perte ou une fuite de gaz si le condensat n'est pas une substance dangereuse;
- si nécessaire, il convient de réaliser des mesurages à blanc pour tenir compte des concentrations de fond en gaz ou en vapeur dans l'air utilisé pour l'essai;
- un espace de travail sûr tel qu'une hotte aspirante exempte de matières ou matériaux combustibles ou inflammables (autres que l'article soumis à essai), ainsi que des équipements de blindage et de protection individuelle, ou équivalent, suffisants pour protéger l'opérateur en cas de combustion incontrôlée. Il convient également que l'espace de travail utilise, au niveau de l'échantillon, le débit d'air minimal compatible avec un fonctionnement sûr et qu'il présente une faible humidité relative. Des mesures doivent être prises pour s'assurer que la conformité aux principes de sécurité de 4.2 à un emplacement éventuel de perte de gaz n'est pas compromise par les conditions d'essai.

Le paragraphe 8.2.4.3 donne un exemple de méthode de détection de la concentration de perte de gaz hydrogène depuis une source ponctuelle, basée sur des instruments. D'autres méthodes d'évaluation de la perte de gaz hydrogène depuis une source ponctuelle peuvent être utilisées, telles que l'immersion dans l'eau ou la détection par flamme, à condition que la méthode soit vérifiée et validée comme exigé en 8.2.4.2.

8.2.4.3 Appareillage et procédure d'essai

Un appareillage et une procédure appropriés doivent faire l'objet d'un accord entre le fabricant et l'autorité responsable des essais conformément à 8.2.4.2.

Les informations ci-dessous sont fournies à titre d'exemple de méthode de détection de la concentration de perte de gaz hydrogène depuis une source ponctuelle, basée sur des instruments. L'adéquation de cette méthode d'essai ou de toute autre méthode d'essai doit être confirmée par le fabricant au moyen des travaux de vérification et de validation exigés en 8.2.4.2.

Cet exemple d'essai comprend les éléments suivants:

- l'article soumis à essai (un système à micropile à combustible alimenté conformément aux spécifications du fabricant, une cartouche de combustible ou une cartouche de combustible en service, suivant le cas);
- un détecteur de gaz hydrogène depuis une source ponctuelle capable de détecter une perte dangereuse de gaz hydrogène. Ce détecteur peut être un spectromètre de masse, un détecteur de gaz hydrogène portatif ou tout autre appareil adapté à la mesure de faibles quantités de gaz hydrogène à partir d'une source ponctuelle qui est au moins aussi précise, si ce n'est plus, que les appareils susmentionnés. Le détecteur doit être accordé pour détecter un niveau de gaz hydrogène qui se situe à 25 % de la LII. La réponse des détecteurs susmentionnés est généralement lente, le temps de réponse étant de plusieurs secondes, et donc des vitesses de balayage élevées peuvent causer une sous-estimation de la concentration de gaz hydrogène. Il est important que la vitesse de balayage soit suffisamment lente pour mesurer précisément la concentration de gaz hydrogène;
- l'essai doit être réalisé dans un espace sans circulation d'air importante. La vitesse mesurée du vent à 10 cm au-dessus du système à micropile à combustible ou de l'unité d'alimentation électrique de la micropile à combustible ne doit pas dépasser 0,02 m/s.