# IEC 62231

Edition 1.0 2006-02

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

## Composite station post insulators for substations with a.c. voltages greater than 1 000 V up to 245 kV – Definitions, test methods and acceptance criteria

## Isolateurs supports composites rigides à socle destinés aux postes à courant alternatif de tensions supérieures à 1 000 V jusqu'à 245 kV – Définitions, méthodes d'essai et critères d'acceptation

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 29.080.10

ISBN 2-8318-8562-0

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

# SOMMAIRE

AVANT-PROPOS ..... 6
INTRODUCTION ..... 10

1 Domaine d'application et objet ..... 14
2 Références normatives ..... 14
3 Termes et définitions ..... 16
4 Identification ..... 22
5 Conditions d'environnement ..... 24
6 Informations relatives au transport, au stockage et à l'installation ..... 24
7 Classification des essais ..... 24
7.1 Essais de conception ..... 24
7.2 Essais de type ..... 28
7.3 Essais sur prélèvement ..... 28
7.4 Essais individuels ..... 28
8 Essais de conception ..... 28
8.1 Généralités ..... 28
8.2 Essais sur les interfaces et connexions des armatures d'extrémité ..... 30
8.3 Essais de charge du noyau assemblé ..... 30
8.4 Essais du matériau des ailettes et du revêtement ..... 36
8.5 Essais du matériau du noyau ..... 36
9 Essais de type ..... 36
9.1 Vérification des dimensions ..... 36
9.2 Essais électriques ..... 36
9.3 Essais mécaniques ..... 40
10 Essais sur prélèvements ..... 44
10.1 Règles générales ..... 44
10.2 Vérification des dimensions (E1 + E2) ..... 44
10.3 Vérification de la galvanisation (E1 + E2) ..... 44
10.4 Vérification des charges mécaniques spécifiées (E1) ..... 46
10.5 Procédure pour un nouvel essai ..... 46
11 Essais individuels ..... 48
11.1 Identification du support isolant rigide à socle ..... 48
11.2 Examen visuel ..... 48
11.3 Essai de la charge de traction ..... 48

Annexe A (informative) Notes sur les charges et essais mécaniques ..... 52
Annexe B (informative) Détermination du moment de flexion équivalent causé par des charges de (traction) de compression et de flexion combinées ..... 56
Annexe C (informative) Exemple de montage d'essai de charge de torsion ..... 60
Annexe D (normative) Tolérances de forme et de position ..... 62
Annexe E (informative) Notes sur l'essai de compression et de flambage ..... 68

Bibliographie ..... 70

# CONTENTS

FOREWORD ..... 7
INTRODUCTION ..... 11

1 Scope and object ..... 15
2 Normative references ..... 15
3 Terms and definitions ..... 17
4 Identification ..... 23
5 Environmental conditions ..... 25
6 Information on transport, storage and installation ..... 25
7 Classification of tests ..... 25
7.1 Design tests ..... 25
7.2 Type tests ..... 29
7.3 Sample tests ..... 29
7.4 Routine tests ..... 29
8 Design tests ..... 29
8.1 General ..... 29
8.2 Tests on interfaces and connections of end fittings ..... 31
8.3 Assembled core load tests ..... 31
8.4 Tests on shed and housing material ..... 37
8.5 Tests on the core material ..... 37
9 Type tests ..... 37
9.1 Verification of dimensions ..... 37
9.2 Electrical tests ..... 37
9.3 Mechanical tests ..... 41
10 Sample tests ..... 45
10.1 General rules ..... 45
10.2 Verification of dimensions (E1 + E2) ..... 45
10.3 Galvanizing test (E1 + E2) ..... 45
10.4 Verification of the specified mechanical loads (E1) ..... 47
10.5 Re-testing procedure ..... 47
11 Routine tests ..... 49
11.1 Identification of the station post insulator ..... 49
11.2 Visual examination ..... 49
11.3 Tensile load test ..... 49

Annex A (informative) Notes on the mechanical loads and tests ..... 53
Annex B (informative) Determination of the equivalent bending moment caused by combined cantilever and compression (tension) loads ..... 57
Annex C (informative) Example of torsion load test arrangement ..... 61
Annex D (normative) Tolerances of form and position ..... 63
Annex E (informative) Notes on the compression and buckling test ..... 69

Bibliography ..... 71

Figure 1 – Essai de précontrainte thermomécanique – Cycles types ..... 50
Figure B.1 – Charges combinées appliquées aux supports isolants rigides à socle ..... 58
Figure D.1 – Parallélisme, coaxialité et concentricité ..... 62
Figure D.2 – Décalage angulaire des trous de fixation: Exemple 1 ..... 64
Figure D.3 – Décalage angulaire des trous de fixation: Exemple 2 ..... 64
Figure D.4 – Tolérances conformes à la pratique de dessin normalisée ..... 66

Tableau 1 – Essais à effectuer après les modifications de conception ..... 26
Tableau 2 – Nombre d'échantillons pour les essais sur prélèvements ..... 44

Figure 1 – Thermal-mechanical pre-stressing test – Typical cycles ..... 51
Figure B.1 – Combined loads applied to station post insulators ..... 59
Figure D.1 – Parallelism, coaxiality and concentricity ..... 63
Figure D.2 – Angular deviation of fixing holes: Example 1 ..... 65
Figure D.3 – Angular deviation of fixing holes: Example 2 ..... 65
Figure D.4 – Tolerances according to standard drawing practice ..... 67

Table 1 – Tests to be carried out after design changes ..... 27
Table 2 – Number of samples for sample tests ..... 45

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

_____

# ISOLATEURS SUPPORTS COMPOSITES RIGIDES À SOCLE DESTINÉS AUX POSTES À COURANT ALTERNATIF DE TENSIONS SUPÉRIEURES À 1 000 V JUSQU'À 245 kV – DÉFINITIONS, MÉTHODES D'ESSAI ET CRITÈRES D'ACCEPTATION

## AVANT-PROPOS

1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62231 a été établie par le sous-comité 36C: Isolateurs pour sous-stations, du comité d'études 36 de la CEI: Isolateurs.

La présente version bilingue, publiée en 2006-04, correspond à la version anglaise.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 36C/159/FDIS et 36C/160/RVD.

Le rapport de vote 36C/160/RVD donne toute information sue le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

# COMPOSITE STATION POST INSULATORS FOR SUBSTATIONS WITH AC VOLTAGES GREATER THAN 1000 V UP TO 245 kV – DEFINITIONS, TEST METHODS AND ACCEPTANCE CRITERIA

## 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62231 has been prepared by subcommittee 36C: Insulators for substations, of IEC technical committee 36: Insulators.

This bilingual version, published in 2006-04, corresponds to the English version.

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

| FDIS | Report on voting |
|---|---|
| 36C/159/FDIS | 36C/160/RVD |

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

The French version of this standard has not been voted upon.

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

La présente Norme internationale doit être lue conjointement avec la CEI 62217:2005, *Polymeric insulators for indoor and outdoor use with a nominal voltage >1 000 V – General definitions, test methods and acceptance criteria* (disponible en anglais seulement).

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «http://webstore.iec.ch» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

This standard is to be read in conjunction with IEC 62217:2005*, Polymeric insulators for indoor and outdoor use with a nominal voltage >1 000 V – General definitions, test methods and acceptance criteria.*

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

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

# INTRODUCTION

Les isolateurs support composites rigides à socle sont constitués d'un noyau isolant plein cylindrique réalisé en fibres imprégnées de résine, portant la charge mécanique et protégés par un revêtement élastomère; les charges étant transmises au noyau par des armatures métalliques. En dépit de ces caractéristiques communes, les matériaux utilisés et les détails de construction utilisés par différents fabricants peuvent être différents.

Certains essais ont été groupés en tant que "essais de conception" à réaliser une seule fois pour des isolateurs de même classe de conception. Les essais de conception sont réalisés afin d'éliminer les conceptions, les matériaux et les technologies de fabrication d'isolateurs non adaptés aux applications haute tension. L'influence du temps sur les propriétés électriques et mécaniques de l'isolateur complet composite rigide à socle et ses composants (matériau du noyau, matériau du revêtement, interfaces, etc.) a été prise en considération dans la spécification des essais de conception afin d'assurer une durée de vie satisfaisante dans des conditions de service normales.

L'approche pour les essais mécaniques sous des charges de flexion utilisées dans la présente norme est basée sur la CEI 61952. Cette approche utilise le concept d'une limite d'endommagement qui est la contrainte maximale qui peut être développée dans l'isolateur avant le début des dommages. Des travaux sont en cours pour valider la technique d'émission acoustique pour déterminer le début des dommages.

Dans certains cas, des isolateurs supports composites rigides à socle peuvent être soumis à une combinaison de charges. Afin de fournir des lignes directrices, l'Annexe B explique la manière de calculer le moment de flexion équivalent dans les isolateurs résultant de la combinaison de flexion, des charges de traction et de compression.

Les essais de pollution, spécifiés dans la CEI 60507 et dans la CEI 61245, ne sont pas inclus dans ce document, leur applicabilité aux isolateurs supports composites rigides à socle n'ayant pas été prouvée. Ces essais de pollution réalisés sur des isolateurs composites n'ont pas de corrélation avec l'expérience obtenue en service. Des essais de pollution spécifiques aux isolateurs composites sont à l'étude.

Il n'a pas été considéré utile de spécifier un essai d'arc de puissance comme obligatoire. Les paramètres d'essai sont multiples et peuvent posséder des valeurs très différentes en fonction des configurations du réseau et des supports et de la conception des dispositifs de protection contre l'arc. Il convient de prendre en considération l'effet thermique des arcs de puissance dans la conception des armatures métalliques. Des dommages critiques sur les armatures métalliques, provenant de l'amplitude et de la durée du courant de court-circuit peuvent être évités par des dispositifs de protection contre les arcs conçus de manière appropriée. Cependant, la présente norme n'exclut pas la possibilité d'un essai d'arc de puissance suivant un accord entre l'utilisateur et le fabricant. La CEI 61467 fournit des détails des essais d'arc de puissance en courant alternatif des chaînes d'isolateurs équipées.

Les charges (mécaniques) impulsionnelles dans les postes sont généralement provoquées par des courts-circuits. Les supports isolants sont affectés par des forces du fait de l'interaction des courants circulant dans les conducteurs/les jeux de barre supportés par les isolateurs.

La charge impulsionnelle ou la charge de crête peut être évaluée en utilisant les lignes directrices figurant dans la série CEI 60865.

# INTRODUCTION

Composite station post insulators consist of a cylindrical solid insulating core made of resin impregnated fibres, bearing the mechanical load, protected by an elastomer housing, the loads being transmitted to the core by metal fittings. Despite these common features, the materials used and the construction details employed by different manufacturers may be different.

Some tests have been grouped together as "design tests" to be performed only once for insulators of the same design. The design tests are performed in order to eliminate insulator designs, materials and manufacturing technologies not suitable for high-voltage applications. The influence of time on the electrical and mechanical properties of the complete composite station post insulator and its components (core material, housing material, interfaces, etc.) has been considered in specifying the design tests in order to ensure a satisfactory lifetime under normal service conditions.

The approach for mechanical testing under bending loads used in this Standard is based on IEC 61952. This approach uses the concept of a damage limit that is the maximum stress that can be developed in the insulator before damage begins to occur. Work is underway to validate the acoustic emission technique to determine the inception of damage.

In some cases, station post insulators can be subjected to a combination of loads. In order to give some guidance, Annex B explains how to calculate the equivalent bending moment in the insulators resulting from the combination of bending, tensile and compression loads.

Pollution tests, as specified in IEC 60507 and IEC 61245, are not included in this document, their applicability to composite station post insulators having not been proven. Such pollution tests performed on composite insulators do not correlate with experience obtained from service. Specific pollution tests for composite insulators are under consideration.

It has not been considered useful to specify a power arc test as a mandatory test. The test parameters are manifold and can have very different values depending on the configurations of the network and the supports and on the design of arc-protection devices. The heating effect of power arcs should be considered in the design of metal fittings. Critical damage to the metal fittings, resulting from the magnitude and duration of the short-circuit current can be avoided by properly designed arc-protection devices. This standard, however, does not exclude the possibility of a power arc test by agreement between the user and the manufacturer. IEC 61467 gives details of a.c. power arc testing of insulator sets.

Impulse (mechanical) loads in substation are typically caused by short-circuits. Post insulators are affected by forces due to the interaction of the currents circulating in conductors/busbars supported by insulators.

The impulse load or peak load may be evaluated using guidance found in the IEC 60865 series.

Des travaux sont en cours au sein du groupe de travail du CIGRE ESCC (Effets des courants de court-circuit) pour examiner les charges impulsionnelles provoquées par les courants de court-circuit dans les postes. L'objectif de ces travaux est d'introduire un nouveau concept: le facteur ESL (facteur de charge statique équivalent) qui dépend de la fréquence. La charge de crête réelle peut être remplacée, dans une première approximation, par la charge de crête multipliée par le facteur ESL. Cette nouvelle valeur peut être utilisée comme la CFMC dans ce document pour la détermination de la résistance à la flexion.

Les perturbations radioélectriques et les essais de l'effet couronne ne sont pas spécifiés dans la présente norme étant donné que les RIV et la performance de l'effet de couronne ne sont pas des caractéristiques du seul isolateur.

Les isolateurs support comportant un corps creux composite ne sont pas considérés dans cette norme. La CEI 61462 fournit des détails des essais des isolateurs composites comportant un corps creux dont beaucoup peuvent être appliqués à de tels supports isolants rigides à socle.

Work is in progress in CIGRE ESCC (Effects of Short-Circuit Currents) task force to review impulse loads caused by short-circuit currents in substations. The aim of this work is to introduce a new concept: the ESL factor (Equivalent Static Load factor) which is frequency dependent. The actual peak load may be replaced, in a first approximation, by the peak load times the ESL factor. This new value may be used as the MDCL in this document for the determination of the cantilever strength.

Radio interference and corona tests are not specified in this standard since the radio interference and corona performances are not characteristics of the insulator alone.

Composite hollow core station post insulators are currently not dealt with in this standard. IEC 61462 gives details of tests on hollow core composite insulators, many of which can be applied to such station post insulators.

# ISOLATEURS SUPPORTS COMPOSITES RIGIDES À SOCLE DESTINÉS AUX POSTES À COURANT ALTERNATIF DE TENSIONS SUPÉRIEURES À 1 000 V JUSQU'À 245 kV – DÉFINITIONS, MÉTHODES D'ESSAI ET CRITÈRES D' ACCEPTATION

## 1 Domaine d'application et objet

La présente Norme internationale s'applique aux supports isolants composites rigides à socle constitués d'un noyau isolant plein cylindrique supportant les charges mécaniques réalisé en fibres imprégnées de résine, d'un revêtement (à l'extérieur du noyau plein isolant) réalisée en matériau élastomère (par exemple du silicone ou de l'éthylène-propylène) et des armatures d'extrémité fixées au noyau isolant. Les supports isolants composites rigides à socle relevant de la présente norme sont soumis aux charges de flexion, de torsion, de traction et de compression. Ils sont destinés aux postes à courant alternatif de tensions supérieures à 1 000 V jusqu'à 245 kV.

L'objet de cette norme est le suivant:

– définir les termes utilisés,

– prescrire des méthodes d'essai,

– prescrire des critères d'acceptation ou de rejet.

La présente norme ne comprend pas de d'exigences traitant du choix des isolateurs pour des conditions de service spécifiques.

## 2 Références normatives

Les documents référencés ci-après sont indispensables pour l'application de ce document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, c'est l'édition la plus récente du document référencé (y compris tous ses amendements) qui s'applique.

CEI 60050(471), *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Chapitre 471: Isolateurs*

CEI 60060-1, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et prescriptions générales relatives aux essais*

IEC 60168:1994, *Essais des supports isolants d'intérieur et d'extérieur, en matière céramique ou en verre, destinés à des installations de tension nominale supérieure à 1 000 V*

CEI 62217: *Polymeric insulators for indoor and outdoor use with a nominal voltage greater than 1000 V – General definitions, test methods and acceptance criteria* (disponible en anglais seulement)

ISO 1101, *Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement*

ISO 3452, *Essais non destructifs – Contrôle par ressuage – Principes généraux*

# COMPOSITE STATION POST INSULATORS FOR SUBSTATIONS WITH AC VOLTAGES GREATER THAN 1 000 V UP TO 245 kV – DEFINITIONS, TEST METHODS AND ACCEPTANCE CRITERIA

## 1 Scope and object

This International Standard applies to composite station post insulators consisting of a load bearing cylindrical insulating solid core made of resin impregnated fibres, a housing (outside the insulating solid core) made of elastomer material (e.g. silicone or ethylene-propylene) and end fittings attached to the insulating core. Composite station post insulators covered by this standard are subjected to cantilever, torsion, tension and compression loads. They are intended for substations with a.c. voltages greater than 1 000 V up to 245 kV.

The object of this standard is

– to define the terms used,

– to prescribe test methods,

– to prescribe acceptance or failure criteria.

This standard does not include requirements dealing with the choice of insulators for specific operating conditions.

## 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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 60050-471, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Chapter 471: Insulators*

IEC 60060-1, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60168:1994, *Tests on indoor and outdoor post insulators of ceramic material or glass for systems with nominal voltages greater than 1 000 V*

IEC 62217, *Polymeric insulators for indoor and outdoor use with a nominal voltage greater than 1000 V – General definitions, test methods and acceptance criteria*

ISO 1101, *Technical drawings – Geometrical tolerancing – Tolerancing of form, orientation, location and run-out – Generalities, definitions, symbols, indications on drawings*

ISO 3452, *Non-destructive testing – Penetrant inspection – General principles*