



Interne Indirecte Visuele Inspectie van Drukvaten (with translation)



Quasset BV
Seinstraat 4
1223 DA Hilversum
The Netherlands
Tel: +31 35 820 0288
quasset.com
info@quasset.com

timothy.bl
paulina.g

om;wim.van
om

Quasset B.V.
4/7/2022

Document Titel : Interne Indirecte Visuele Inspectie van Drukpaten (with translation)

Versie : 1.0

Document no : 22021

Klant : KINT

Klantencontact : Casper Wassink

Datum : 2 november 2022

Auteur : Wim van Hoorn

Status : Openbaar

Gecontroleerd door : Tjibbe Bouma, Casper Wassink


Goedgekeurd door : Casper Wassink

Table of Contents

LIJST VAN AFKORTINGEN	IV
1 INLEIDING/INTRODUCTION	1
1.1 Achtergrond/Background	1
1.2 Projectopzet/Project design	3
2 RELEVANTE DOCUMENTEN/RELEVANT DOCUMENTS	4
2.1 EN 13018	6
2.2 EN 13927	7
2.3 HOIS Recommended Practice for Remote Internal Inspection of Pressure Vessels (HOIS-RP-058 Issue Draft 1)	7
2.4 Results of the HOIS NII and IVI trials on two ex-service pressure vessels (HOIS(15)R1)	9
2.5 HOIS Guidance on Image Quality for UAV/UAS based external remote visual inspection in the oil & gas industry (HOIS-G-005)	10
2.6 ASME BPVC	11
2.7 API 510	12
2.8 API RP 572	13
2.9 API RP 571	15
2.10 HOIS RP 103 for NII of Pressure Vessels	16
2.11 SPRINT Robotics – comparison of Robotic and Human Inspection of Pressure vessels	16
2.12 SPRINT Robotics Guidelines for Robotic Inspection of Pressure Vessels V1	17
2.13 US Reliability assessment RVI ML18228A516	18
2.14 An Assessment of Visual Testing NUREG/CR-6860	19
3 HUIDIGE STAND VAN DE TECHNIEK / STATE OF THE ART	20
3.1 Robotica / Robotics	20

3.2	Boroscope	24
3.3	Camera op een stok	25
4	RVI VAN DRUKVATEN – INTERNATIONALE PRAKTIJK / RVI OF PRESSURE VESSELS – INTERNATIONAL PRACTICE	26
4.1	Aanbod van RVI voor drukvaten / Availability of RVI for pressure vessels	26
4.2	Bepalen van afmetingen / Determination of dimensions	27
4.3	Normen en standaarden / Codes and standards	27
4.4	Richtlijnen voor RVI van drukvaten / Guidance on RVI of pressure vessels	27
5	CONCLUSIES	29
	APPENDIX A FRAMEWERK VOOR EEN RICHTLIJN	31
	APPENDIX B OVERIGE LITERATUUR	34
B.1	KTA 2101 – versie 2015-11	34
B.2	KTA 2102 – versie 2017-11	34
B.3	KTA 3211.4 – versie 2017-11	34
B.4	KTA 3401.4 versie 2017-11	35
B.5	ENIQ Roadmap	35
B.6	ENIQ Discussion document in-service inspectie van reactordrukvat in kernindustrie	36
B.7	HOIS Inspection Manual (HOIS-R-037)	37
B.8	C20-03 REMOTE DIGITAL VISUAL INSPECTION PHASE 1 (HOIS-R-034)	37
B.9	Graphical Guidance on Human Factors Affecting External Visual Inspection (HOIS-G-057)	37
B.10	Human factors guidance (HF-NDT) for visual inspection for external corrosion (HOIS -G-007)	37

Lijst van afkortingen / List of abbreviations

Afkorting / Abbreviation	Betekenis / Meaning
BWR	Boiling Water Reactor
CML	Condition Monitoring Location
COD	Crack Opening Dimension
DVI	Directe Visuele Inspectie
EC	Eddy Current
FCP	False Call Probability
GVI	General Visual Inspection
ISI	In-Service Inspection (na eerste ingebruikname tot definitieve uitgebruikstelling) / (after first commissioning until final decommissioning)
IVI 	Indirecte Visuele Inspectie of Internal Visual Inspection Om verwarring te voorkomen, worden in dit rapport de volgende afkortingen gebruikt: <ul style="list-style-type: none"> • RVI (Remote Visual Inspection) = Indirecte Visuele Inspectie • IVI = Internal Visual Inspection zie ook het tekstkader op de volgende bladzijde
IVT	Indirect Visueel Onderzoek
JIP	Joint Industry Project
KINT	Nederlandse Vereniging voor Kwaliteitstoezicht Inspectie en Niet-destructieve Technieken
LiDAR	Light Detection And Ranging
NDO	Niet-Destructief Onderzoek
NDT	Niet-Destructief Testen
NII	Non-Intrusive Inspection
POD	Probability Of Detection
PRD	PraktijkRegels voor Drukvaten
RBI	Risk-Based Inspection
RDVI	Remote Digital Visual Inspection
RI-ISI	Risk-Informed In-Service Inspection
RII	Remote Internal Inspection
RPV	Reactor Pressure Vessel
RVI	Remote Visual Inspection (= Indirecte Visuele Inspectie, zie ook bij IVI)
RVT	Remote Visual Testing
U.S.NRC	United States Nuclear Regulatory Commission
UT	Ultrasonic Testing

Termen en Afkortingen in een internationale wereld

Dit is een Nederlandstalig document, dus er komen Nederlandstalige termen en afkortingen in voor. Tegelijkertijd wordt er vaak gebruik gemaakt van, geciteerd uit of verwezen naar buitenlandse literatuur, veelal in de Engelse taal. Daardoor is er sprake van een potentieel conflict waar het gaat om de voor dit project belangrijkste afkorting:

IVI = Indirecte Visuele Inspectie, maar ook:
IVI = Internal Visual Inspection.

Om eenduidigheid te scheppen, worden *in dit document* de volgende termen en afkortingen gehanteerd met betrekking tot visuele inspectie:

IVI = Internal Visual Inspection

RVI = Remote Visual Inspection. In de literatuur kan 'remote' twee betekenissen hebben:

- de inspecteur is *niet* in de nabijheid van het te inspecteren object, maar op een geheel andere locatie, en kijkt mee met de inspectie via een netwerkverbinding. In het Nederlands wordt dit ook wel Inspectie Op Afstand (IOA) genoemd
- de inspecteur is *wel* bij het te inspecteren object aanwezig, maar zijn zicht op de te inspecteren locatie is indirect, via bijvoorbeeld een camera of boroscoop. Voor deze wijze van inspecteren kan bijvoorbeeld gekozen worden om menselijke betreding van een besloten ruimte te vermijden of

Terms and Abbreviations in an International World

This is a Dutch document, so it contains Dutch terms and abbreviations. At the same time, use is often made of, quoted from, or referenced to foreign literature, often in the English language. As a result, there is a potential conflict regarding the key abbreviation for this project:

IVI = Indirect Visuele Inspectie (TN: a term in the Dutch PRD regulation), but also:
IVI = Internal Visual Inspection.

For the sake of clarity, the following terms and abbreviations are used in this document with regard to visual inspection:

IVI = Internal Visual Inspection

RVI = Remote Visual Inspection. In literature, 'remote' can have two meanings:

- the inspector *is not* in the vicinity of the object to be inspected, but at a completely different location, and monitors the inspection via a network connection. In Dutch this is also called Inspection At Distance.
- the inspector *is present* at the object to be inspected, but his view of the location to be inspected is indirect, for example via a camera or boroscope. This method of inspection can be chosen, for example, to avoid human entry into a confined space or to obtain a view of a location that is difficult to access.

zicht op een moeilijk bereikbare locatie te verkrijgen

In deze laatste betekenis worden de term Remote Visual Inspection en de afkorting RVI gebruikt. Dit komt overeen met de Nederlandstalige term Indirecte Visuele Inspectie (en zijn afkorting IVI, die dus in dit rapport vermeden wordt).

CVI = Close Visual Inspection, waarbij de inspecteur dichtbij (< 60 cm) de te inspecteren locatie is (of daarmee gelijkwaardig, als het om indirecte inspectie gaat)

GVI = General Visual Inspection, waarbij de afstand van de inspecteur op de te inspecteren locatie groter is dan 60 cm (of daarmee gelijkwaardig, als het om indirecte inspectie gaat)

RII = Remote Internal Inspection (dus zonder de inspectiemethode te beperken tot 'visueel')

In this latter sense, the term Remote Visual Inspection and the abbreviation RVI are used. This corresponds to the Dutch term Indirect Visual Inspection (and its abbreviation IVI, which is therefore avoided in this report).

CVI = Close Visual Inspection, where the inspector is close (< 60 cm) to the location to be inspected (or equivalent, if it concerns indirect inspection)

GVI = General Visual Inspection, where the inspector's distance from the site to be inspected is greater than 60 cm (or equivalent, if it is an indirect inspection)

RII = Remote Internal Inspection (i.e. without limiting the inspection method to 'visual')

1 Inleiding/Introduction

1.1 Achtergrond/Background

Over het algemeen is menselijke betreding van drukvaten, met als doel het vaststellen van de integriteit van het vat, een onderdeel van een periodieke drukvatinspectie. Het betreden van drukvaten brengt echter personele veiligheidsrisico's met zich meebrengen. Bovendien kan het geschikt maken van een drukvat voor betreding een dure en technisch complexe zaak zijn.

Het is al langere tijd gebruikelijk om bij drukvaten waarvoor betreding niet mogelijk is, visuele inspectie uit te voeren met camera's die via toegangsopeningen (*nozzles*, mangaten) in het vat worden gestoken. Voortschrijdende technologische ontwikkeling op het gebied van Niet-Destructief Onderzoek, robotica en dataverwerking/analyse heeft het arsenaal van mogelijkheden sterk uitgebreid, waardoor steeds meer drukvaten in aanmerking zouden kunnen komen voor interne inspectie zonder menselijke betreding. De verwachting is dat dit aanzienlijk risico-verlagend, en soms kostenbesparend kan zijn.

Om de nieuwe technische mogelijkheden verantwoord in te kunnen zetten, is het noodzakelijk om te komen tot breed gedragen en geaccepteerde richtlijnen voor interne drukvatinspectie als alternatief voor menselijke betreding.

KINT stelt zich ten doel om te komen tot een geformaliseerde werkwijze (richtlijn) voor interne visuele drukvatinspectie

In general, human entry into pressure vessels for the purpose of establishing vessel integrity is part of a periodic pressure vessel inspection. However, entering pressure vessels poses personnel safety risks. Moreover, making a pressure vessel suitable for entry can be an expensive and technically complex matter.

It has long been customary for pressure vessels to which entry is not possible to carry out visual inspections with cameras that are inserted into the vessel through access openings (*nozzles*, manholes). Advancing technological development in Non-Destructive Testing, robotics and data processing/analysis has greatly expanded the arsenal of possibilities, allowing more and more pressure vessels to qualify for internal inspection without human entry. This is expected to be significantly risk-reducing and sometimes cost-effective.

To be able to use the new technical possibilities responsibly, it is necessary to arrive at widely supported and accepted guidelines for internal pressure vessel inspection as an alternative to human entry.

KINT aims to arrive at a formalized method (guideline) for internal visual pressure vessel inspection without human entry

zonder menselijke betreding (Indirecte Visuele Inspectie). Deze richtlijn zal minimumeisen en randvoorwaarden formuleren voor het uitvoeren van dit type inspectie, teneinde de kwaliteit van het onderzoek en daarop gebaseerde conclusies te waarborgen.

Het doel is om te komen tot een breed gedragen document, in gezamenlijkheid door de Nederlandse industrie en toezichthoudende instanties op te stellen en te valideren, middels een *Joint Industry Project* (JIP).

De basisvragen die in dit project beantwoord moeten worden, zijn:

- Welke prestaties moeten geleverd worden ten behoeve van de inspectie?
- Hoe kan het behalen van dat niveau het best gezekerd worden?
- Hoe dienen de data geïnterpreteerd te worden?

Hoewel het onderwerp van inspectie in dit project drukapparatuur betreft, wordt verwacht, dat de uitkomsten van het project ook zullen kunnen worden toegepast op andere apparatuur klassen.

(Indirect Visual Inspection). This guideline will formulate minimum requirements and preconditions for carrying out this type of inspection, in order to guarantee the quality of the examination and conclusions based on it.

The aim is to arrive at a widely supported document, jointly drawn up and validated by the Dutch industry and supervisory authorities, through a Joint Industry Project (JIP).

The basic questions to be answered in this project are:

- What performance must be delivered for the purpose of the inspection?
- How can achieving that performance be best ensured?
- How should the data be interpreted?

Although the subject of inspection in this project is pressure equipment, it is expected that the results of the project will also be applicable to other equipment classes.

1.2 Projectopzet/Project design

De opzet van project “KINT Richtlijnen voor Indirecte Visuele Inspectie van drukvaten” bestaat uit meerdere fasen:

Fase 1

1. Opstellen van een rapport (dit rapport) dat:
 - a. een beknopte beschrijving geeft van de huidige stand van de techniek, en
 - b. relevante documenten rond dit thema identificeert en in een literatuurlijst samenvat.
 - c. de huidige internationale praktijk rond interne drukvatinspectie zonder menselijke betreding in kaart brengt,
2. Houden van een workshop om te komen tot een breed gedragen *scope of work* en budget voor een JIP die ten doel heeft Nederlandse conceptrichtlijnen op te stellen en te valideren middels praktijkgevallen, *pilots* of andere vormen van onderbouwing.
3. Het realiseren van een concept projectvoorstel voor een JIP.

Fase 2 en verder

1. Opstellen van conceptrichtlijnen voor RVI in drukvaten.
2. Uitvoeren van de bovengenoemde JIP waarin de conceptrichtlijnen verbeterd en gevalideerd worden.

The design of the project “KINT Guidelines for Indirect Visual Inspection of Pressure Vessels” consists of several phases:

Phase 1

1. Prepare a report (this report) which:
 - provides a brief description of the current state of the art, and
 - identifies relevant documents on this theme and summarizes them in a bibliography.
 - maps the current international practice of internal pressure vessel inspection without human entry,
2. Organizing a workshop to arrive at a widely supported scope of work and budget for a JIP that aims to draw up and validate Dutch draft guidelines through practical cases, pilots or other forms of substantiation.
3. Drafting a project proposal for a JIP.
 - Creating draft guidelines for RVI of pressure vessels.
 - Performing the above-mentioned JIP in which the draft guidelines are improved and validated.

2 Relevante documenten/Relevant documents

Dit hoofdstuk geeft een korte beschrijving van voor dit project relevante documenten. Het doel hiervan is de voor dit project relevante informatie voor zover al elders beschreven, te verzamelen. Hierdoor kan optimaal geprofiteerd worden van werk dat al verricht is en ervaringen die zijn opgedaan.

De bespreking van de meeste documenten wordt vergezeld van een commentaar dat in een kader is weergegeven.

This chapter provides a brief description of documents relevant to this project. The purpose of this is to collect the information relevant to this project, insofar as it has already been described elsewhere. This makes it possible to take full advantage of work that has already been done and experiences that have been gained.

The discussion of most documents is accompanied by a boxed commentary.

PRD 3.2

PraktijkRegels Drukvaten (PRD) katern 3.2 geeft een beschrijving van inspectiemethoden en technieken (en de bijbehorende procedures) voor keuringen en inspecties van drukapparatuur vallend onder het Warenwetbesluit drukapparatuur.

Paragraaf 4 richt zich op visueel onderzoek, en levert als zodanig de eerste referentie voor de nieuw te ontwikkelen richtlijn voor indirect visueel onderzoek. Paragraaf 12 bevat een richtlijn voor de aanvaarding van andere inspectietechnieken, en levert een referentie voor *hoe* de te ontwikkelen richtlijn getest kan worden.

De voor dit document belangrijkste punten uit paragraaf 4 van PRD 3.2 zijn:

- Direct visueel onderzoek wordt door een inspecteur gedaan

Practice Rules for Pressure Vessels (PRD) section 3.2 provides a description of inspection methods and techniques (and the associated procedures) for tests and inspections of pressure equipment covered by the Pressure Equipment Product Act (Warenwetbesluit drukapparatuur).

Section 4 focuses on visual examination, and as such provides the first reference for the new guideline to be developed for indirect visual examination. Section 12 contains a guideline for the acceptance of other inspection techniques, and provides a reference for *how* the guideline to be developed can be tested.

The most important points from paragraph 4 of PRD 3.2 for this document are:

- Direct visual examination is done by an inspector

- Het gezichtsvermogen van de inspecteur moet aan de desbetreffende eisen uit ISO 9712 voldoen.
- De NL-CBI/NL-KvG/IvG is verantwoordelijk voor het controleren van de kwaliteit van de uitvoering van het onderzoek.
- Indirect visueel onderzoek moet worden uitgevoerd door een inspecteur en een onderzoeker. De gewenste toegankelijkheid en benaderbaarheid liggen vast in het herbeoordelingsplan en de onderzoekprocedure.
- Voor zover het visueel onderzoek plaatsvindt met optische hulpmiddelen, is daarvoor een procedure vereist.
- De te volgen onderzoeksprocedures moeten door de verantwoordelijke van de NL-CBI/NL-KvG/IvG zijn geaccepteerd. Voor het opstellen van de procedures kan gebruik worden gemaakt van geschikte normen zoals EN 13018 en EN 13927.

De belangrijkste punten uit paragraaf 12 zijn:

- De toegepaste inspectietechniek moet aan een simulatieproef worden onderworpen.
- De uitvoerend onderzoeker moet aantoonbare kennis hebben van de onderzoeksmethode en inzicht hebben in het object dat onderzocht gaat worden.
- De gewenste oppervlaktegesteldheid moet bij de voorbereiding van het onderzoek worden betrokken.

- The inspector's eyesight must meet the relevant requirements of ISO 9712.
- The NL-CBI/NL-KvG/IvG (i.e. notified body) is responsible for checking the quality of the execution of the examination.
- Remote internal visual examination shall be performed by an inspector and an examiner. The desired accessibility and approachability are laid down in the reassessment plan and the investigation procedure.
- Insofar as the visual examination is carried out with optical aids, a procedure is required.
- The investigation procedures to be followed must be accepted by the person responsible for the NL-CBI/NL-KvG/IvG. Appropriate standards such as EN 13018 and EN 13927 can be used to draw up the procedures.

The main points from paragraph 12 are:

- The applied inspection technique must be subjected to a simulation test.
- The executing examiner must have demonstrable knowledge of the examination method have knowledge about the object to be examined.
- The desired surface condition must be taken into account in the preparation of the examination.

- Al naar gelang de eisen van het onderzoek moeten ook de toegankelijkheid en de afstand tot het object worden bepaald.

- Depending on the requirements of the examination, accessibility and distance to the object must also be determined.

2.1 EN 13018

Deze Europese standaard beschrijft de algemene principes voor visueel testen, zowel direct als indirect, ter beoordeling of een product aan gestelde eisen voldoet.

Er worden eisen genoemd, te stellen aan het gezichtsvermogen van de inspecteur: dat moet in overeenstemming zijn met ISO 9712, en voor algemene visuele inspectie (GVI) getest worden volgens EN ISO 8596 met een testscore van 0.63 (*Visual Acuity Grade 0.63*).

Dit is een kort en algemeen document, waaraan voor het hier-beschreven project verdere invulling gegeven moet worden.

This European standard describes the general principles for visual testing, both direct and indirect, to assess whether a product meets requirements.

Requirements are stated for the visual acuity of the inspector: it must be in accordance with ISO 9712, and for general visual inspection (GVI) tested according to EN ISO 8596 with a test score of 0.63 (*Visual Acuity Grade 0.63*).

This is a short and general document, which needs to be expanded upon for the project described here.



Figuur 1. Snellen chart



Figure 2. Snellen chart

2.2 EN 13927

Deze Europese standaard¹ beschrijft algemene eisen voor apparatuur die gebruikt wordt voor visuele inspectie. Verificatie van de apparatuur is hier een onderdeel van.

Gebruik van apparatuur bij de uitvoering van visuele inspectie is nodig als:

- Objecten welke visueel of ten gevolge van omgevingsfactoren niet toegankelijk zijn, visueel geïnspecteerd moeten worden;
- De testgevoeligheid niet voldoende is;
- Een afbeelding vereist is.

Ook dit is een kort en algemeen document, waaraan voor het hier-beschreven project verdere invulling gegeven moet worden.

This European standard¹ describes general requirements for equipment used for visual inspection. Verification of the equipment is part of this standard.

Use of equipment in the performance of visual inspection is necessary if:

- Objects that are visually inaccessible or inaccessible due to environmental factors must be visually inspected;
- The sensitivity of visual inspection without aids is not sufficient;
- An image is required.

This is also a short and general document, which needs to be expanded upon for the project described here.

2.3 HOIS Recommended Practice for Remote Internal Inspection of Pressure Vessels (HOIS-RP-058 Issue Draft 1)

HOIS is bezig een *Recommended Practice* te schrijven voor *Remote Internal Inspection* (RII) en heeft een eerste conceptversie ter review vrijgegeven aan een beperkt publiek. In grote lijnen komen de volgende onderwerpen aan bod:

- Beoordeling van de algemene integriteitskarakteristieken: apparatuur type, ontwerp en materialen en het operationele ontwerp;
- Beoordeling van de actuele integriteitskarakteristieken:

HOIS is in the process of writing a Recommended Practice for Remote Internal Inspection (RII) and has released a first draft for review to a limited audience. Broadly speaking, the following topics are covered:

- Assessment of the general integrity characteristics: equipment type, design and materials and the operational design;
- Assessment of actual integrity characteristics: operational history,

¹ Het document zelf was niet beschikbaar. De beschrijving is gebaseerd op een samenvatting / The document itself was not available. The description is based on a summary

operationele geschiedenis, actuele degradatiemechanismen, inspectiehistorie;

- Beslissingsproces m.b.t. geschiktheid voor RII als zelfstandige inspectie of als aanvulling op NII of IVI: zijn de verwachte degradaties te onderzoeken met RII-technieken, toegankelijkheid etc.;
- RII voor 'First In-Service Inspection' (FISI);
- Ontwikkeling van RII-plan en bereik (*scope*), inspectiemethoden;
- Inspectie-gerelateerde activiteiten in en rond het vat, inclusief voorbereidingen, rapportage, data-management en demobilisatie;
- Analyse en evaluatie van de inspectie, inclusief de beoordeling achteraf of RII voldeed aan de gestelde eisen;
- Bepaling van het (nieuwe) inspectie-interval
- RII in aanvulling op NII
- NII in aanvulling op RII
- RII om uitstel van IVI te rechtvaardigen

Dit document heeft een significante overlap met de richtlijnen die KINT in dit project wil ontwikkelen. Er lijken² twee belangrijke verschillen te zijn tussen beide (beoogde) documenten:

- De HOIS *Recommended Practice* gaat, behalve over visuele inspectie, ook over andere inspectietechnieken, zoals UT, Eddy

current degradation mechanisms, inspection history;

- Decision process regarding suitability for RII as an independent inspection or as a supplement to NII or IVI: are the expected degradations to be investigated with RII techniques, accessibility, etc.;
- RII for 'First In-Service Inspection' (FISI);
- Development of RII plan and scope, inspection methods;
- Inspection-related activities in and around the vessel, including preparation, reporting, data management and demobilization;
- Analysis and evaluation of the inspection, including the retrospective assessment of whether RII met the requirements;
- Determination of the (new) inspection interval
- RII in addition to NII
- NII in addition to RII
- RII to justify postponement of IVI

This document has a significant overlap with the guidelines that KINT wants to develop in this project. There seem² to be two important differences between the two (intended) documents:

- In addition to visual inspection, the HOIS Recommended Practice also covers other inspection techniques, such as UT, Eddy Current, Structured

² Deze uitspraak is gebaseerd op het eerste concept van het HOIS document en de voornemens van het KINT zoals verwoord tijdens de vergaderingen / This statement is based on the first draft of the HOIS document and the intentions of the KINT as expressed during the meetings

Current, Structured Light, fotogrammetrie en laser-inspectie. Het detailniveau is mogelijk lager;

- De mate en diepte van onderzoek ter validatie van het HOIS-document lijkt aanzienlijk geringer³ dan wat KINT momenteel voor ogen lijkt te hebben.

Light, photogrammetry, and laser inspection. The level of detail may be lower;

- The extent and depth of research to validate the HOIS document appears to be considerably less³ than what KINT currently appears to be envisioning.

Gezien de overlap, is het het overwegen waard te onderzoeken of het mogelijk is de Nederlandse richtlijn te ontwikkelen in lijn met, maar ook als een verdieping van, de HOIS *Recommended Practice*, passend bij de Nederlandse context. Dit vergroot ook het internationale draagvlak in de aanloop naar internationale regelgeving. Daarnaast kan wellicht ook in de validatiefase van de Nederlandse conceptrichtlijn informatie-uitwisseling plaatsvinden met HOIS.

Given the overlap, it is worth considering whether it is possible to develop the Dutch guideline in line with, but also as a deepening of, the HOIS *Recommended Practice*, appropriate to the Dutch context. This also increases international support in the run-up to international regulations. In addition, information exchange with HOIS may also take place in the validation phase of the Dutch draft guideline.

2.4 Results of the HOIS NII and IVI trials on two ex-service pressure vessels (HOIS(15)R1)

Dit is het verslag van een uitgebreid project om kwantitatieve gegevens te verschaffen met betrekking tot de effectiviteit en prestaties van verschillende IVI en NII-onderzoeksmethoden. Het onderzoek is gedaan aan twee uit gebruik genomen drukvaten met verschillende defect- en indicatietypen. Verschillende bedrijven hebben IVI en NII-onderzoek gedaan aan de vaten met hen ter beschikking staande methoden en daarover gerapporteerd.

This is the report of a comprehensive project to provide quantitative data regarding the effectiveness and performance of various IVI and NII research methods. The investigation was carried out on two decommissioned pressure vessels with different defect and indication types. Several companies have conducted IVI and NII research on the vessels using the methods available to them and reported on it.

³ Deze uitspraak is gebaseerd op het ter beschikking staande HOIS document waarin onderzoek wordt beschreven ter onderbouwing van de *Recommended Practice* / This statement is based on the available HOIS document in which research is described to substantiate the *Recommended Practice*

Interessant is de conclusie dat NII, met name in geval van wanddikteafname ten gevolge van corrosie, er beter in slaagt kwantitatieve en consistente gegevens te genereren dan IVI. De door NII gegenereerde data zouden daarom ook geschikter zijn voor het schatten van de corrosiesnelheid.

Interestingly, the conclusion is that NII, especially in case of wall thickness reduction due to corrosion, is more successful in generating quantitative and consistent data than IVI. The data generated by NII would therefore also be more suitable for estimating the corrosion rate.

2.5 HOIS Guidance on Image Quality for UAV/UAS based external remote visual inspection in the oil & gas industry (HOIS-G-005)

Dit betreft een HOIS-richtlijn voor te eisen beeldkwaliteit van foto- en videoapparatuur waar die gebruikt worden voor externe 'remote' visuele inspectie door middel van een drone (UAV/UAS). De richtlijn richt zich op drie toepassingen: CVI, coatinginspectie en flare tip/stack-inspectie.

This concerns a HOIS guideline for the required image quality of photo and video equipment where they are used for external 'remote' visual inspection by means of a drone (UAV/UAS). The guideline focuses on three applications: CVI, coating inspection and flare tip/stack inspection.

Hoewel de gekozen toepassingen verschillen van interne inspectie van drukvaten, kan dit document wel een referentie bieden bij de ontwikkeling van richtlijnen in het kader van het onderhavige KINT-project.

Although the chosen applications differ from internal inspection of pressure vessels, this document can provide a reference in the development of guidelines in the context of the present KINT project.

2.6 ASME BPVC

De ASME BPVC (Boiler and Pressure Vessel Code) Section V bevat (tenminste) twee paragrafen die relevant zijn voor indirecte visuele inspectie:

- *T-952 Direct Visual Examination*
Direct visual examination may usually be made when access is sufficient to place the eye within 600 mm of the surface to be examined and at an angle not less than 30 ° to the surface to be examined. Mirrors may be used to improve the angle of vision, and aids such as a magnifying glass may be used to assist examinations. Illumination (natural or supplemental white light) for the specific part, component, vessel, or section thereof being examined is required. The minimum light intensity at the examination surface/site shall be 1000 lux. The light source, technique used, and light level verification is required to be demonstrated one time, documented, and maintained on file.
- *T-953 Remote Visual Examination*
In some cases, remote visual examination may have to be substituted for direct examination. Remote visual examination may use visual aids such as mirrors, telescopes, borescopes, fiber optics, cameras, or other suitable instruments. Such systems shall have a resolution capability and light intensity at least equivalent to that obtainable by direct visual observation.

The ASME BPVC (Boiler and Pressure Vessel Code) Section V contains (at least) two paragraphs relevant to indirect visual inspection:

- *T-952 Direct Visual Examination*
Direct visual examination may usually be made when access is sufficient to place the eye within 600 mm of the surface to be examined and at an angle not less than 30 ° to the surface to be examined. Mirrors may be used to improve the angle of vision, and aids such as a magnifying glass may be used to assist examinations. Illumination (natural or supplemental white light) for the specific part, component, vessel, or section thereof being examined is required. The minimum light intensity at the examination surface/site shall be 1000 lux. The light source, technique used, and light level verification is required to be demonstrated one time, documented, and maintained on file.
- *T-953 Remote Visual Examination*
In some cases, remote visual examination may have to be substituted for direct examination. Remote visual examination may use visual aids such as mirrors, telescopes, borescopes, fiber optics, cameras, or other suitable instruments. Such systems shall have a resolution capability and light intensity at least equivalent to that obtainable by direct visual observation.

In dit geval wordt dus eenvoudigweg gesteld dat als directe visuele inspectie vanwege toegankelijkheid niet mogelijk is, indirecte visuele inspectie uitgevoerd mag worden. De eisen ten aanzien van (afbeeldings-)resolutie en verlichting zijn gelijk aan die geldend voor directe visuele inspectie. Qua verlichting wordt er alleen een eis gesteld aan de intensiteit, waarbij bijvoorbeeld het belang van egale verlichting, belichting onder een hoek en manipulatie van de verlichting genegeerd wordt.

De eisen te stellen aan de hele keten van het afbeeldende systeem inclusief de verlichting dienen door de werkgroep uitgewerkt te worden, waarbij de uiteindelijke kwaliteit van de beoordeling van het afgebeelde oppervlak als leidraad genomen dient te worden.

In this case it is simply stated that if direct visual inspection is not possible due to accessibility, indirect visual inspection may be performed. The requirements for (image) resolution and lighting are the same as for direct visual inspection. In terms of lighting, there is only a requirement for the intensity, whereby, for example, the importance of uniform lighting, lighting at an angle and manipulation of the lighting is ignored.

The requirements to be imposed on the entire chain of the imaging system, including the lighting, must be worked out by the working group, whereby the final quality of the assessment of the imaged surface must be taken as a guideline.

2.7 API 510

API 510 richt zich op o.a. In-Service inspectie (ISI) van drukvaten. De volgende relevante onderwerpen komen aan bod:

- Aanbevelingen van de producent
- Inspectieplan
- RBI
- Voorbereiding. Er wordt een aantal voorbereidende bewerkingen van het binnenoppervlak genoemd 'die mogelijk nodig kunnen zijn', zonder verdere aanwijzingen te geven
- Degradatiemechanismen (opsomming en verwijzing naar relevante paragrafen in API 571)
- Algemene typen van inspectie (intern, *on-stream*, extern,

API 510 focuses on, among other things, In-Service inspection (ISI) of pressure vessels. The following relevant topics are covered:

- Manufacturer's recommendations
- Inspection plan
- RBI
- Preparation. A number of preparatory operations of the inner surface are mentioned "which may be required", without giving further indications
- Degradation mechanisms (listing and reference to relevant paragraphs in API 571)
- General types of inspection (internal, on-stream, external, wall

wanddikte, CUI). Ten aanzien van interne inspectie zonder betreding van het vat stelt deze code dat:

- interne inspectie vanaf een mangat alleen toegestaan is als het vat te klein is voor betreding.

Waarschijnlijk wordt hiermee bedoeld: directe visuele inspectie vanaf het mangat, waardoor dus een afstand gecreëerd wordt die groter is dan aanbevolen.

- indirecte visuele inspectie (*remote visual inspection*) gebruikt mag worden voor beoordeling van het interne oppervlak. Dat is weinig specifiek.

- Lasinspectie
- Flensinspectie.

Hoewel dit document zich uitgebreid richt op onder andere algemene ISI van drukvaten, bevat het geen tot weinig specifieke aanwijzingen ten aanzien van visuele inspectie.

thickness, CUI). With regard to internal inspection without entering the vessel, this code states that:

- Internal inspection from a manhole is only allowed if the vessel is too small for entry.

This probably means: direct visual inspection from the manhole, thus creating a distance that is greater than recommended.

- indirect visual inspection (*remote visual inspection*) may be used to assess the internal surface. That's not very specific.

- Weld inspection
- Flange inspection.

Although this document focuses extensively on, among other things, general ISI of pressure vessels, it contains little to no specific instructions regarding visual inspection.

2.8 API RP 572

API RP 572 richt zich op inspectie van drukvaten, en bevat o.a. relevante achtergrond met betrekking tot drukvaten (constructie, materialen enz.). Verder:

- Inspectieplan. Voor specifieke degradatiemechanismen wordt verwezen naar API 571
- Frequentie en *scope* van inspectie
- Voorbereidingen en te gebruiken gereedschappen voor schoonmaken, inspectie, rapportage

API RP 572 focuses on pressure vessel inspection, and includes relevant background related to pressure vessels (construction, materials etc.). Furthermore:

- Inspection plan. For specific degradation mechanisms, reference is made to API 571
- Frequency and scope of inspection
- Preparations and tools to use for cleaning, inspection, reporting

- Inspectiemethoden, hun selectie, eventuele *follow-up* inspectie en de beperkingen van de methoden; inclusief visuele inspectie
- Inspectie van wand
- Inspectie van lassen
- Inspectie van componenten, inclusief '*linings*'
- Mechanische schade en detectie daarvan
- Testen: hamer, druk/vacuüm
- Conditiebepaling en reparatie
- Aanvullende achtergrondinformatie betreffende diverse soorten druktoestellen (in appendices)

De waarde van dit document is vooral dat het een algemene inspectie-achtergrond schetst, echter zonder op indirecte visuele inspectie in te gaan.

- Inspection methods, their selection, possible follow-up inspection and the limitations of the methods; including visual inspection
- Wall Inspection
- Welding Inspection
- Inspection of components, including linings
- Mechanical damage and its detection
- Testing: hammer, pressure/vacuum
- Condition determination and repair
- Additional background information on various types of pressure equipment (in appendices)

The value of this document is mainly that it outlines a general inspection background, but without going into indirect visual inspection.

2.9 API RP 571

Detailbehandeling van alle (?) relevante/voorkomende faalmechanismen. Per faalmechanisme worden de volgende punten behandeld:

- Beschrijving van het faalmechanisme en de resulterende schade
- Daarvoor gevoelige materialen
- Kritische factoren
- Gevoelige apparatuur
- Uiterlijk/morfologie van de schade
- Hoe manifestatie van het betreffende faalmechanisme te voorkomen
- Inspectie en *monitoring*; inspectietechnieken voor de identificatie van het faalmechanisme
- Gerelateerde mechanismen
- Referentiedocumenten

De waarde van dit document voor de ontwikkeling van een richtlijn voor RVI is vooral de uitgebreide beschrijving van relevante faalmechanismen, faalvormen en hun morfologie. Dit kan een rol spelen bij het opstellen van de te stellen eisen aan te gebruiken (afbeeldende) apparatuur, en bij het ontwikkelen van een beslissingsschema om te bepalen of de te onderzoeken drukapparatuur in aanmerking komt voor RVI.

Detailed treatment of all (?) relevant/occurring failure mechanisms. The following points are discussed for each failure mechanism:

- Description of the failure mechanism and the resulting damage
- Susceptible materials
- Critical Factors
- Susceptible equipment
- Appearance/morphology of the damage
- How to prevent manifestation of the respective failure mechanism
- Inspection and monitoring; inspection techniques for the identification of the failure mechanism
- Related Mechanisms
- Reference documents

The value of this document for the development of a guideline for RVI is mainly the extensive description of relevant failure mechanisms, failure forms and their morphology. This can play a role in drawing up the requirements for (imaging) equipment to be used, and in developing a decision scheme to determine whether the pressure equipment to be examined qualifies for RVI.

2.10 HOIS RP 103 for NII of Pressure Vessels

Non-Intrusive Inspection (NII) van drukvaten. Onderwerpen die aan bod komen zijn onder andere:

- Beslissingsproces om te selecteren tussen NII of interne visuele inspectie.

Dit gedeelte van het document zou als voorbeeld kunnen dienen voor het te ontwikkelen beslissingsproces waaruit volgt of een vat zich leent voor indirecte visuele inspectie en, zo ja, een handvat geeft voor de selectie van de te gebruiken apparatuur

- Inspectieplan en scope
- Evaluatie van de inspectie (*conformance*, analyse)
- Inspectie-interval
- Toepassen van NII om uitstel van interne visuele inspectie te onderbouwen

Non-Intrusive Inspection (NII) of pressure vessels. Topics covered include:

- Decision process to select between NII or internal visual inspection.

This section of the document could serve as an example for the decision-making process to be developed to determine whether a vessel lends itself to indirect visual inspection and, if so, provides a guideline for the selection of equipment to be used

- Inspection plan and scope
- Evaluation of the inspection (*conformance*, analysis)
- Inspection interval
- Apply NII to substantiate deferral of internal visual inspection

2.11 SPRINT Robotics – comparison of Robotic and Human Inspection of Pressure vessels

Case study van de vergelijking van menselijke interne inspectie van een drukvat met diverse vormen van robotische interne inspectie. Met name kwalitatieve vergelijking van inspectieprocessen, resultaten en rapportage, maar ook vergelijking van benodigde *offlinetijden* voor voorbereiding, inspectie en weer ingebruikname.

Case study comparing human internal inspection of a pressure vessel with various forms of robotic internal inspection. In particular qualitative comparison of inspection processes, results and reporting, but also comparison of time during which the equipment was taken *offline* for preparation, inspection and recommissioning.

Dit document richt zich voornamelijk op aspecten die van belang zijn voor de ontwikkeling van use cases. Vooral daar waar procedurele en praktische aspecten worden vergeleken, kan het document van waarde zijn voor dit project.

This document mainly focuses on aspects that are important for the development of use cases. Especially where procedural and practical aspects are compared, the document can be of value for this project.

2.12 SPRINT Robotics Guidelines for Robotic Inspection of Pressure Vessels V1

Een richtlijndocument dat de volgende onderwerpen behandelt:

- Introductie op gebied van drukvaten en belangrijkste foutmechanismen
- Beschrijving van conventionele drukvatinspectie
- Beschrijving van interne robotische inspectie, inclusief beperkingen van huidige robotische systemen
- Checklist voor robotische inspectie
- Robotische inspectiemethoden

A guidance document that covers the following topics:

- Introduction to Pressure Vessels and Main Failure Mechanisms
- Description of conventional pressure vessel inspection
- Description of internal robotic inspection, including limitations of current robotic systems
- Robotic Inspection Checklist
- Robotic Inspection Methods

Dit document geeft nuttige achtergrondinformatie voor het inspectieproces, de voorbereiding en motivatie voor te maken keuzes, maar is waarschijnlijk te weinig specifiek voor gebruik als leidraad voor een RVI richtlijn⁴.

This document provides useful background information for the inspection process, the preparation and motivation for choices to be made, but is probably too little specific for use as a guideline for an RVI guideline⁴.

⁴ SPRINT Robotics heeft de ambitie aan deze richtlijn een vervolg te geven. Gezien de overlap met het in dit document besproken KINT rapport, zou, onder andere om budget-technische redenen, samenwerking gezocht kunnen worden. / SPRINT Robotics has the ambition to follow up on this guideline. In view of the overlap with the KINT report discussed in this document, cooperation could be sought, among other things for budgetary reasons.

2.13 US Reliability assessment RVI ML18228A516

Publicatie van US Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC)

De focus ligt in dit document op *Remote Visual Testing* (RVT) tijdens InService Inspection. Gezien de toepassing (kerncentrales), ligt de focus op scheurvorming en belangrijk componentfalen. Het doel van het document is de prestatie van commercieel toegepaste RVT methoden en procedures te bepalen.

Tests zijn gedaan in een *Round Robin* opzet om *Probability of Detection* (POD) en *False Call Probability* (FCP) te bepalen, en hoe die beïnvloed worden door scheurbreedte, scheurlengte en oppervlakteconditie.

Alle tests zijn gedaan op kunstmatige test samples.

Dit document richt zich op parameters die van invloed zijn op de visuele detectie van scheuren, en kan daardoor een belangrijke basis leggen onder de te ontwikkelen richtlijn voor RVI. Er wordt in dit document geen aandacht besteed aan corrosie in al zijn vormen, iets wat voor de olie- en gasindustrie ook van groot belang is.

Publication of US Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC)

The focus in this document is on *Remote Visual Testing* (RVT) during In-Service Inspection. Given the application (nuclear power plants), the focus is on cracking and major component failure. The purpose of the document is to determine the performance of commercially applied RVT methods and procedures.

Tests were done in a *Round Robin* format to determine *Probability of Detection* (POD) and *False Call Probability* (FCP), and how they are affected by crack width, crack length and surface condition.

All tests were done on artificial test samples.

This document focuses on parameters that influence the visual detection of cracks, and can therefore provide an important basis for the RVI guideline to be developed. Corrosion in all its forms, which is also of great importance to the oil and gas industry, is not addressed in this document.

2.14 An Assessment of Visual Testing NUREG/CR-6860

Publicatie van de US Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC)

Het document bespreekt visuele scheurdetectie voor de nucleaire industrie. Het document richt zich op voor de nucleaire industrie relevante scheurtypen, elk met een eigen morfologie. De morfologie is van invloed op de POD. Een belangrijke rol wordt gespeeld door de zogenaamde *Crack Opening Dimension* (COD). Volgens optische overwegingen is de mens in staat om 75 µm dikke draden te onderscheiden, maar de detectiegrens ligt aanzienlijk lager.

Visuele inspectie van nucleaire installaties wordt uitgevoerd volgens de richtlijn "EPRI guidelines for VT-1 tests on nuclear components (BWR Vessel and Internals Project-3 1995)". Deze beschrijven onder andere hoe de afmetingen van indicaties gemeten dienen te worden en hoe het oplossend vermogen van de visuele apparatuur getest moet worden. Als testobject wordt daarbij een gekruist lijnenpaar met een dikte van 12 µm gebruikt. De POD hangt echter af van vele parameters, zoals het contrast.

Ook bij dit document ligt de focus op scheurdetectie in de nucleaire industrie, waardoor belangrijke aspecten voor de Olie en Gasindustrie niet worden behandeld.

Publication of the US Nuclear Regulatory Commission (U.S.NRC)

The document discusses visual crack detection for the nuclear industry. The document focuses on crack types relevant to the nuclear industry, each with its own morphology. Morphology affects the POD. An important role is played by the so-called *Crack Opening Dimension* (COD). According to optical considerations, humans are able to distinguish 75 µm thick wires, but the detection limit is considerably lower.

Visual inspection of nuclear installations is carried out according to the guideline "EPRI guidelines for VT-1 tests on nuclear components (BWR Vessel and Internals Project-3 1995)". These describe, among other things, how the dimensions of indications should be measured and how the resolving power of the visual equipment should be tested. A crossed line pair with a thickness of 12 µm is used as the test object. However, the POD depends on many parameters, such as the contrast.

This document also focuses on crack detection in the nuclear industry, which means that important aspects for the Oil and Gas industry are not covered.

3 Huidige stand van de techniek / State of the art

In dit hoofdstuk wordt de huidige stand van de techniek voor RVI gekenschetst. Dit is geen uitputtend overzicht.

This chapter outlines the current state of the art for RVI. This is not an exhaustive overview.

3.1 Robotica / Robotics

Enkele voorbeelden van gebruikte robotica zijn:

Some examples of robotics used are:



Figuur 3. Driewielige crawler

- **Crawler.** Meestal gaat het om vierwielige, soms twee- of driewielige, voertuigjes die zijn uitgerust met magneetwielletjes, en daardoor in staat zijn zich langs het gehele binnenoppervlak van het drukvat te bewegen (uitgezonderd geometrische beperkingen, zoals te nauwe doorgangen). Ze zijn vaak uitgerust met een zoomcamera van hoge kwaliteit en optioneel van een *structured light* systeem of 3D *laser scanning* systeem ter bepaling van het profiel van het oppervlak, of UT, voornamelijk ter bepaling van de lokale wanddikte. Nauwkeurige lokalisatie (1-2 cm) kan plaatsvinden door middel van LiDAR. Sommige



Figure 8. Three-wheeled crawler

- **Crawler.** Usually these are four-wheeled, sometimes two- or three-wheeled vehicles, which are equipped with magnetic wheels, and are therefore able to move along the entire inner surface of the pressure vessel (with the exception of geometrical limitations, such as passages that are too narrow). They are often equipped with a high-quality zoom camera and optionally with a *structured light* system or 3D *laser scanning* system to determine the surface profile, or UT, mainly to determine the local wall thickness. Accurate localization (1-2 cm) can be achieved by means of LiDAR. Some of these robots have the option of

van deze robots hebben de mogelijkheid voor het monteren van een borstelhulpstuk voor licht schoonmaakwerk. Gekoppelde *Digital Twin* software kan tijdens de inspectie nauwkeurige plaatsreferentie geven en daarbij toegang bieden aan historische gegevens, zoals operationele gegevens en resultaten van voorgaande inspecties. Bovendien wordt zulke software gebruikt voor *offline data viewing*, interpretatie en rapportage.

De voordelen zijn onder andere: flexibiliteit (qua inspectietechnieken), de manoeuvreerbaarheid, toegang tot (voor een mens) moeilijk of niet bereikbare locaties, de nauwkeurige positionering, de zeer goede camera's en de automatische vastlegging van data en positiegegevens.

Als nadelen kunnen genoemd worden: ze zijn vrij langzaam (niet/nauwelijks sneller dan een menselijke inspecteur) en ze zijn minder flexibel ten aanzien van bijvoorbeeld het hanteren van hulpstukken (zoals voor schoonmaak).

- **Drone.** Met drones kan een zeer snelle inspectie worden uitgevoerd met een vaste camera, maar ze beschikken



Figuur 4. Drone voor kleine ruimten

mounting a brush attachment for light cleaning work. Linked *Digital Twin* software can provide accurate location reference during the inspection while providing access to historical data such as operational data and results of previous inspections. In addition, such software is used for *offline data viewing*, interpretation and reporting.

The advantages include: flexibility (in terms of inspection techniques), manoeuvrability, access to locations that are difficult or inaccessible for humans, accurate positioning, very good cameras and the automatic recording of data and position data.

Disadvantages can be mentioned: they are quite slow (not/barely faster than a human inspector) and they are less flexible with regard to, for example, the handling of accessories (such as for cleaning).

- **Drone.** Drones can perform very fast inspections with a fixed camera, but they do not (yet) have additional



Figure 9. Drone for confined spaces

(nog) niet over aanvullende inspectietechnieken of schoonmaakgereedschap⁵.

Voordelen: ze zijn zeer snel: een inspectie van een eenvoudig drukvat kan in minder dan 10 minuten voltooid zijn.

Nadelen: ze zijn weinig flexibel (alleen visuele inspectie, soms uitgebreid met UT wanddiktemeting) en beschikken niet over schoonmaakhulpmiddelen. De beeldkwaliteit valt weleens tegen, o.a. ten gevolge van beperkingen in de belichting en beeldschermresolutie.

- **Snake robot.** Snake robots beschikken altijd over een inspectie-camera en optioneel over een UT of EC sensor en beschikken soms over schoonmaakgereedschap.



Figuur 5. Snake robot

Voordelen: ze zijn redelijk flexibel.

Nadelen: ze zijn langzaam, hebben een beperkt bereik en zijn zeer zwaar, waardoor er vaak een kraan

inspection techniques or cleaning tools.

Advantages: They are very fast: an inspection of a simple pressure vessel can be completed in less than 10 minutes.

Disadvantages: they are not very flexible (only visual inspection, sometimes extended with UT wall thickness measurement) and do not have cleaning aids. The image quality is sometimes disappointing, partly due to limitations in exposure and screen resolution.

- **Snake robot.** Snake robots always have an inspection camera and optionally a UT or EC sensor and sometimes have cleaning tools.



Figure 10. Snake robot

Pros: They are quite flexible.

Disadvantages: They are slow, have limited reach and are very heavy, often requiring a crane to bring the

⁵ Drones die wel beschikken over de mogelijkheid van het uitvoeren van een UT wanddiktemeting of beperkt schoonmaakwerk zijn meestal te groot voor gebruik in een drukvat en vaak bedoeld voor voorraadtankinspectie. Dit is echter een gebied in ontwikkeling / Drones that do have the option of performing a UT wall thickness measurement or limited cleaning work are usually too large for use in a pressure vessel and often intended for storage tank inspection. However, this is an area under development

nodig is om de robot op de inspectielocatie te brengen. Ook vergen ze vrij veel manoeuvreerruimte voor de toegang tot het drukvat.

- **COBRA robot:** dit is een speciale *snake* robot met een bereik van 5 m en een



Figuur 6. CoBRA robot

diameter van slechts 9 mm. De COBRA is ontwikkeld voor toepassingen in bijvoorbeeld generatoren en vliegtuigmotoren. Zijn maximale bereik kan hij niet vrij in de lucht hangend bereiken. In plaats daarvan heeft hij 'onderweg' steun nodig van de constructie waarin geïnspecteerd moet worden.

Voordelen: zeer kleine toegang is voldoende. Deze robot kan eventueel ook branden (lassen) en coaten.

Nadelen: hij heeft steun 'onderweg' nodig, wat een beperking kan zijn.

- **Armrobot,** bestaande uit een aantal scharnierende segmenten. Armrobots beschikken altijd over een camera en soms over extra inspectiemiddelen, zoals een UT of EC-sensor.



Figuur 7. Arm robot

robot to the inspection site. They also require quite a lot of room to maneuver for access to the pressure vessel.

- **COBRA robot:** this is a special snake robot with a reach of 5 m and a diameter of only 9 mm. The



Figure 11. CoBRA robot

COBRA has been developed for applications in, for example, generators and aircraft engines. It cannot reach its maximum range while hanging in the air. Instead, it needs support "on the way" from the structure to be inspected.

Pros: very small entry is sufficient. This robot can also cut (with a torch) and apply coating.

Disadvantages: It needs support 'on the way', which can be a limitation.

- **Arm robot,** consisting of a number of hinged segments. Arm robots always have a camera and sometimes additional inspection means, such as a UT or EC sensor.



Figure 12. Arm robot

Voordelen: ze kunnen redelijk flexibel zijn.

Nadelen: ze zijn over het algemeen langzaam en soms zeer zwaar: er is vaak een kraan nodig om de robot op locatie te brengen.

Pros: They can be quite flexible.

Disadvantages: they are generally slow and sometimes very heavy: a crane is often needed to bring the robot to location.

3.2 Boroscope

Industriële boroscopen kunnen een diameter van enkele mm en een lengte van enkele meter hebben. Ze zijn uitgerust met een camera en optioneel zoom- en opnamefunctionaliteit.

Hun toepassing wordt o.a. beperkt door het onvermogen de vorm van de kabel actief, dynamisch te veranderen. De meestgebruikte vorm is de *videoscope*, waarbij het beeld met een camera wordt verkregen en elektronisch wordt doorgegeven.



Figuur 13. Videoscope

Voordelen: er is slechts een kleine toegangsopening vereist (bijvoorbeeld een *nozzle*). Door zijn eenvoud en handmanipulatie is hij snel.

Nadelen: een boroscope is alleen geschikt voor visuele inspectie. De manipulatie is moeizaam en beperkt (kijkpositie en -richting). De verlichtingsrichting valt altijd samen met de kijkrichting.

Industrial boroscopes can have a diameter of several mm and a length of several meters. They are equipped with a camera and optional zoom and recording functionality. Their application is limited, among other things,

by the inability to actively, dynamically change the shape of the cable. The most commonly used form is the videoscope, in which the image is obtained with a camera and transmitted electronically.



Figure 15. Videoscope

Advantages: only a small access opening is required (e.g. a nozzle). It is fast due to its simplicity and hand manipulation.

Disadvantages: A boroscope is only suitable for visual inspection. The manipulation is laborious and limited (viewing position and direction). The direction of illumination always coincides with the direction of view.

De Waygate 3D ViQ video probe combineert een boroscoop met een 3D laser *scanning* systeem, waarmee een 3D beeld van het oppervlak wordt verkregen.



Figuur 14 3D video probe

The Waygate 3D ViQ video probe combines a boroscope with a 3D laser scanning system, providing a 3D image of the surface.



Figure 16 3D video probe

3.3 Camera op een stok

Een 'camera op een stok' kan een simpele oplossing zijn voor visuele inspectie dichtbij een mangat of *nozzle*, eventueel in aanvulling op een robotische inspectie. De camera kan van hoge kwaliteit zijn. Er zijn vele varianten, o.a. met wisselende camera-kwaliteit, zoomcapaciteit, al-dan-niet PTZ etc. Soms kan een camera-op-een-stok systeem worden gecombineerd met LiDAR, waardoor de localisatie gegarandeerd kan worden, en het systeem kan worden gekoppeld aan een *digital twin* systeem.
 Voordelen: simpel, snel.
 Nadelen: vaak lastige positiebepaling (tenzij gecombineerd met een LiDAR-systeem). De stabiliteit kan een probleem zijn.

A 'camera on a stick' can be a simple solution for visual inspection close to a manhole or nozzle, possibly in addition to a robotic inspection. The camera may be of high quality. There are many variants, e.g. with varying camera quality, zoom capacity, whether or not PTZ etc. Sometimes a camera-on-a-stick system can be combined with LiDAR, so that the localization can be guaranteed, and the system can be linked to a digital twin system.
 Advantages: simple, fast.
 Disadvantages: often difficult positioning (unless combined with a LiDAR system).
 Stability can be an issue.

4 RVI van drukvaten – internationale praktijk /

RVI of pressure vessels – international practice

4.1 Aanbod van RVI voor drukvaten / Availability of RVI for pressure vessels

Inspectiebedrijven bieden RVI (of RVT: Remote Visual Testing, of RDVI: Remote Digital Video Inspection) aan voor allerlei toepassingen, inclusief *in-service* drukvatinspectie. Toepassingsgebieden zijn o.a. de petrochemische industrie, de farmaceutische industrie en de nucleaire industrie.

De meest genoemde hulpmiddelen zijn:

- Boroscope,
- Magnetische *crawler*,
- Camera op een stok, en
- Drone.

Meestal zijn de hulpmiddelen niet specifiek voor drukvatinspectie ontworpen, maar voor andere toepassingen, zoals rioolinspectie, en later toegepast voor drukvatinspectie. Met name *crawlers* worden dan, naast visuele inspectie, ook voor andere inspectiemethoden gebruikt, zoals UT onderzoek, wervelstroomonderzoek en 3D afbeeldingsmethoden⁶, en zelfs voor geheel andere activiteiten, zoals schoonmaken.

Inspection companies offer RVI (or RVT: Remote Visual Testing, or RDVI: Remote Digital Video Inspection) for a variety of applications, including in-service pressure vessel inspection. Areas of application include the petrochemical industry, the pharmaceutical industry and the nuclear industry.

The most frequently mentioned tools are:

- Boroscope,
- Magnetic crawler,
- Camera on a stick, and
- Drone.

Usually the tools are not specifically designed for pressure vessel inspection, but for other applications, such as sewer inspection, and later applied for pressure vessel inspection. In particular, crawlers are then used, in addition to visual inspection, for other inspection methods, such as UT research, eddy current research and 3D imaging methods, and even for completely different activities, such as cleaning.

⁶ Zoals Structured Light, LiDAR en 3D laser scanning

4.2 Bepalen van afmetingen / Determination of dimensions

Er wordt melding gemaakt van verschillende methoden voor het bepalen van afmetingen van bijvoorbeeld een defect:

- Vergelijking, waarbij het defect wordt vergeleken met een bekende structuur in beeld;
- Stereoscopie, gebaseerd op het bekijken; van een defect uit 2 verschillende richtingen en computerverwerking van kijkhoeken;
- Schaduwlengthebepaling;
- Verschillende 3D afbeeldingsmethoden⁶.

Several methods are mentioned for determining the dimensions of, for example, a defect:

- Comparison, comparing the defect to a known structure in the image;
- Stereoscopy, based on viewing; from a defect from 2 different directions and computer processing of viewing angles;
- Shadow length determination;
- Different 3D imaging methods.

4.3 Normen en standaarden / Codes and standards

Aanbieders van RVI melden soms dat hun inspecteurs gecertificeerd zijn volgens bepaalde standaarden, zoals API 510, maar verwijzingen naar specifieke procedures of certificering van de gebruikte apparatuur werden niet gevonden.

RVI providers sometimes report that their inspectors are certified to certain standards, such as API 510, but references to specific procedures or certification of the equipment used were not found.

4.4 Richtlijnen voor RVI van drukvaten / Guidance on RVI of pressure vessels

Er werden geen richtlijnen gevonden die zich op RVI van drukvaten richten. Een HOIS-richtlijn voor RII is in de conceptfase.

No guidelines were found that focus on RVI of pressure vessels. A HOIS guideline for RII is in the draft phase.

Alle gevonden verwijzingen naar richtlijnen voor RVI betroffen inspecties van gebouwconstructies en vergelijkbare toepassingen, waarbij de inspecteur in verband met coronamaatregelen bij voorkeur niet op de bouwplaats aanwezig zou zijn.

All references found to guidelines for RVI concerned inspections of building structures and similar applications, whereby the inspector would preferably not be present at the construction site in connection with corona measures.

Verwijzingen⁷ naar afbeeldingskwaliteit van optische hulpmiddelen maakten geen onderscheid tussen DVI en RVI, en bevatten uitsluitend eisen aan het oplossend vermogen (zoals zichtbaarheid van een lijn met een bepaalde dikte of het onderscheiden van twee parallelle lijnen met een bepaalde dikte en onderlinge afstand), en niet voor bijvoorbeeld kleurechtheid en contrast.

References to image quality from optical aids did not distinguish between DVI and RVI, and included only resolving power requirements (such as visibility of a line of a certain thickness or distinguishing two parallel lines of a certain thickness and spacing), and not for example color fastness and contrast.

⁷ In standaarden, richtlijnen en procedures

5 Conclusies

In dit document wordt verslag gedaan van een vooronderzoek voor de ontwikkeling van Nederlandse richtlijnen voor indirecte inwendige inspectie van drukvaten. De volgende aspecten kwamen aan bod, elk met zijn belangrijkste conclusie:

1. Relevante documenten.
Er is een aantal documenten gevonden, waarvan de meest relevante zijn:
 - 'Hois RP for RII of Pressure Vessels', vanwege de overlap met de beoogde Nederlandse richtlijn
 - 'PRD 3.2', § 4 (visuele inspectie) en § 12 (richtlijn voor aanvaarding van nieuwe inspectietechnieken)
 - 'API RP 571', vanwege de uitgebreide detailbehandeling van alle relevante faalmechanismen en hun morfologie⁸
 - 'SPRINT Robotics Guidelines for Robotic Inspection of Pressure Vessels', met name vanwege de checklist voor robotische inwendige inspectie van drukvaten

2. Stand van de techniek. De belangrijkste resultaten waren:

This document reports on a preliminary study for the development of Dutch guidelines for indirect internal inspection of pressure vessels. The following aspects were discussed, each with its main conclusion:

1. Relevant documents.
A number of documents have been found, the most relevant of which are:
 - 'Hois RP for RII of Pressure Vessels', due to the overlap with the intended Dutch guideline
 - 'PRD 3.2', § 4 (visual inspection) and § 12 (guideline for acceptance of new inspection techniques)
 - 'API RP 571', because of the extensive detailed treatment of all relevant failure mechanisms and their morphology⁸
 - 'SPRINT Robotics Guidelines for Robotic Inspection of Pressure Vessels', in particular because of the checklist for robotic internal inspection of pressure vessels

2. State of the art. The main results were:

⁸ API RP 571 bevat ook informatie over NDO voor de genoemde faalmechanismen. Dat deel zal in de toekomst worden afgesplitst in een apart document: API RP 586

-
- | | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Een globaal overzicht van de huidige typen van apparatuur gebruikt voor RVI, als referentie voor de toepassing van de te ontwikkelen richtlijnen• De belangrijkste apparatuur bestaat uit crawlers, drones, div robotarmen, boroscope en een camera op een stok <p>3. De internationale praktijk is onderzocht, met als belangrijkste resultaten:</p> <ul style="list-style-type: none">• RVI wordt regelmatig aangeboden, maar meestal niet specifiek voor drukvaten• Er werden geen normen, standaarden, certificeringen, richtlijnen of <i>recommended practices</i> gevonden die de diepgang hebben die beoogd wordt in het KINT JIP. | <ul style="list-style-type: none">• A global overview of the current types of equipment used for RVI, as a reference for the application of the guidelines to be developed• The main equipment consists of crawlers, drones, various robotic arms, boroscope and a camera on a stick <p>3. International practice has been examined, with the main results:</p> <ul style="list-style-type: none">• RVI is offered regularly, but usually not specifically for pressure vessels• No norms, standards, certifications, guidelines or recommended practices were found that have the depth envisaged in the KINT JIP. |
|---|---|

Appendix A Framework voor een richtlijn

De volgende opzet voor een praktijkrichtlijn voor RVI van drukvaten is gebaseerd op o.a. PRD. Het is een lijst met te behandelen onderwerpen en soms enige toelichting.

1. Vakbekwaamheid (opleidingseisen, certificering, ervaring)
 - 1.1. Onderzoeker/operator/piloot
 - 1.2. Inspecteur
 - 1.3. Toezichthouder
 - 1.4. [Bediening van / omgaan met AI, *Digital Twins* etc. (zie ook 'bediening apparatuur')]
2. Informatie-inwinning/voorbereiding
 - 2.1. m.b.t. *asset*, incl. historie
 - 2.2. m.b.t. degradatiemechanismen
 - 2.3. RBI-berekeningen/uitkomsten
 - 2.4. Algemene (inleidende) inspectie
 - 2.5. Omzetten van bovenstaande in inspectieplan en specifieke inspectie
3. Bepalen van geschiktheid voor RVI (eventueel ook in de vorm van een beslissingsschema)
4. Oppervlaktestgesteldheid
 - 4.1. Oppervlak schoon, droog, vetvrij, vrij van significante hoeveelheden stof, roest etc.
 - 4.2. Ter beoordeling van operator/inspecteur (uitvoerend/toezichthoudend)
 - 4.3. Beschermende lagen of middelen noodzakelijk voor functie kunnen blijven zitten
 - 4.4. Inspectie van niet-schoongemaakte oppervlakken
5. Verificatie van werkomstandigheden:
 - 5.1. Explosieveiligheid (ATEX)
 - 5.2. Personele veiligheid:

The following set-up for a practical guideline for RVI of pressure vessels is based on, among other things, PRD. It is a list of topics to be covered and sometimes some explanation.

1. Professional competence (training requirements, certification, experience)
 - 1.1. Researcher/operator/pilot
 - 1.2. Inspector
 - 1.3. Supervisor
 - 1.4. [Operation of / dealing with AI, *Digital Twins* etc. (see also 'operating equipment')]
2. Information gathering/preparation
 - 2.1. regarding asset, including history
 - 2.2. with regard to degradation mechanisms
 - 2.3. RBI Calculations/Outcomes
 - 2.4. General (Preliminary) Inspection
 - 2.5. Converting the above into an inspection plan and specific inspection
3. Determining suitability for RVI (possibly also in the form of a decision diagram)
4. Surface Condition
 - 4.1. Surface clean, dry, free of grease, free of significant amounts of dust, rust, etc.
 - 4.2. At the discretion of operator/inspector (executive/supervisory)
 - 4.3. Protective layers or means necessary for function can remain in place
 - 4.4. Inspection of Uncleaned Surfaces
5. Verification of working conditions:
 - 5.1. Explosion protection (ATEX)
 - 5.2. Personnel security:

5.2.1. Werkveiligheid, o.a. toegang, stellingen etc.	5.2.1. Work safety, including access, racks, etc.
5.2.2. Aanwezigheid product (vloeistoffen, dampen, giftig, ventileren, monitoren, ...)	5.2.2. Presence of product (liquids, vapours, toxic, ventilate, monitors, ...)
5.3. Veiligheid voor de omgeving	5.3. Safety for the environment
5.4. Toegang voor apparatuur/robot (hijssapparatuur etc.)	5.4. Access for equipment/robot (lifting equipment etc.)
6. Apparatuur:	6. Equipment:
6.1. Selectie van apparatuur, o.a. gebaseerd op:	6.1. Selection of equipment, based on:
6.1.1. Mogelijke degradatiemechanismen	6.1.1. Possible degradation mechanisms
6.1.2. Oppervlaktetoestand object	6.1.2. Surface state object
6.1.3. Geometrische overwegingen:	6.1.3. Geometric Considerations:
6.1.3.1. Toetreding tot object (<i>nozzle</i> , mangat etc.)	6.1.3.1. Accession to object (<i>nozzle</i> , manhole etc.)
6.1.3.2. Toegang tot te onderzoeken locaties in object	6.1.3.2. Access to investigate locations in object
6.1.4. Geschiktheid van de apparatuur voor gebruik in het object: de apparatuur en hun gebruik mogen geen nadelig effect hebben op het object (coating etc.)	6.1.4. Suitability of the equipment for use in the object: the equipment and their use must not have any adverse effect on the object (coating etc.)
6.2. Technische eisen te stellen aan apparatuur (van de hele afbeeldende keten, inclusief verlichting)	6.2. Technical requirements for equipment (of the entire imaging chain, including lighting)
6.3. Apparatuurkwalificatie/certificatie	6.3. Equipment Qualification/Certification
6.4. Kalibratie / kalibratiecontrole	6.4. Calibration / Calibration Check
6.5. Instellen van de apparatuur	6.5. Setting up the equipment
7. Bediening apparatuur (zie ook punt Error! Reference source not found.):	7. Operating equipment (see also point 1):
7.1. Als AI bevat, dan moet de inspecteur/operator die kunnen bedienen, inclusief interpreteren van (deel)resultaten	7.1. If AI contains, then the inspector/operator must be able to operate it, including interpreting (partial) results
7.2. Als met <i>Digital Twin</i> wordt gewerkt, dan moet operator/inspecteur daarmee om kunnen gaan (bv kalibratie, lokalisatie, tagging etc)	7.2. When working with Digital Twin, the operator/inspector must be able to deal with it (e.g. calibration, localization, tagging, etc.)
	8. Internet access, if relevant for inspection

- | | |
|--|---|
| <p>8. Internettoegang, indien relevant voor inspectie</p> <p>9. Taken, bevoegdheden, verantwoordelijkheden: lijst met taken/stappen + per stap: welke organisatie en functie uitvoert/verantwoordelijk is (operator/piloot, inspecteur, toezichthouder, eigenaar/operator van het object)</p> <p>9.1. Splitsen in keuring en herkeuring?</p> <p>9.2. Baseer op DVT</p> <p>10. Lokalisatie: nauwkeurigheden, referentie (origin)</p> <p>11. Interpretatie van waarnemingen en data, o.a.:</p> <p>11.1. Foutdetectie en identificatie van fouttype</p> <p>11.2. Foutgroottebepaling</p> <p>11.3. Evt. aanvullende karakteristieken</p> <p>11.4. Verificatie van bevindingen</p> <p>Zijn de DVI criteria direct om te zetten naar RVI criteria, of zijn aanvullende onderwerpen of technieken nodig?</p> <p>12. Diversen:</p> <p>12.1. Rapportage:</p> <p>12.1.1. m.b.t. apparatuur/settings</p> <p>12.1.2. Welke informatie vast te leggen</p> <p>12.1.3. Inspectie-uitkomsten en interpretatie</p> <p>12.1.4. Illustraties</p> <p>12.2. Data vastleggen en opslag/ter beschikking stellen: welke data (ruwe data, alleen bewerkte data? Settings, etc.), hoe/waarop opslaan etc.</p> <p>12.3. Eigendom data</p> | <p>9. Tasks, authorities, responsibilities: list of tasks/steps + per step: which organization and function performs/is responsible (operator/piloot, inspector, supervisor, owner/operator of the object)</p> <p>9.1. Split into inspection and re-inspection?</p> <p>9.2. Based on DVT</p> <p>10. Localization: accuracies, reference (origin)</p> <p>11. Interpretation of observations and data, including:</p> <p>11.1. Error Detection and Error Type Identification</p> <p>11.2. Error Sizing</p> <p>11.3. possibly additional characteristics</p> <p>11.4. Verification of findings</p> <p>Can the DVI criteria be converted directly into RVI criteria, or are additional subjects or techniques required?</p> <p>12. Miscellaneous:</p> <p>12.1. Reporting:</p> <p>12.1.1. regarding equipment/settings</p> <p>12.1.2. What information to record</p> <p>12.1.3. Inspection results and interpretation</p> <p>12.1.4. Illustrations</p> <p>12.2. Capturing data and storing/providing it: which data (raw data, only processed data? Settings, etc.), how/what to store, etc.</p> <p>12.3. Ownership data</p> |
|--|---|

Appendix B Overige literatuur

Deze appendix bevat een lijst van overige literatuur die al verzameld was, maar niet, of niet voldoende, relevant bleek voor dit project.

This appendix contains a list of other literature that had already been collected, but which turned out to be not, or not sufficiently, relevant for this project.

B.1 KTA 2101 – versie 2015-11

Document: 1201_doku_www_2015_11.pdf

Onderwerp: Duitse Kerncentrale normen

Betreft: Regelwijziging van document “KTA 2101 – versie 2009 – 11”: “Eisen aan het gebruikshandboek”

Relevante inhoud: geen

Document: 1201_doku_www_2015_11.pdf

Subject: German Nuclear Power Plant Standards

Topic: Rule change of document “KTA 2101 – version 2009 – 11”: “User manual requirements”

Relevant content: none

B.2 KTA 2102 – versie 2017-11

Document: 1202_doku_www_2017_11.pdf

Onderwerp: Duitse Kerncentrale normen

Betreft: Regelwijziging van oorspronkelijke versie KTA 2102: “Vereisten voor de testhandleiding”

Relevante inhoud: geen

Document: 1202_doku_www_2017_11.pdf

Subject: German Nuclear Power Plant Standards

Topic: Rule change from original version KTA 2102: “Requirements for the test manual”

Relevant content: none

B.3 KTA 3211.4 – versie 2017-11

Document:
3211_4_doku_www_2017_11.pdf

Document:
3211_4_doku_www_2017_11.pdf

Onderwerp: Duitse Kerncentrale normen

Betreft: Regelwijziging oorspronkelijk document betreffende: "In-service inspecties en operationele monitoring van drukdragende componenten van systemen buiten het primaire circuit"

Het document gaat met name over ontwerp- en gebruikscriteria, zoals materiaalgebruik en operationele omstandigheden

Subject: German Nuclear Power Plant Standards

Topic: Rule change original document regarding: "In-service inspections and operational monitoring of pressure-bearing components of systems outside the primary circuit"

In particular, the document deals with design and use criteria, such as material use and operational conditions

B.4 KTA 3401.4 versie 2017-11

Document:
3401_4_doku_www_2017_11.pdf

Het document gaat met name over ontwerp en constructie van de stalen/betonnen reactoromhulling. Heel oppervlakkig over testen.

Relevante inhoud: geen

Document:
3401_4_doku_www_2017_11.pdf

In particular, the document deals with the design and construction of the steel/concrete reactor enclosure. Very superficial about testing.

Relevant content: none

B.5 ENIQ Roadmap

Document: eniq roadmap 38621483.pdf

European Network for Inspection and Qualification

Het document presenteert de koers die ENIQ wil varen om aan zijn doelen te voldoen. ENIQ is voornamelijk actief op het gebied van in-service inspectie van nucleaire installaties d.m.v. NDT en kwalificatie van NDT-systemen en "Risk-Informed in-service inspection (RI ISI)".

Op zich bevat het document geen relevante informatie, maar er kan voor het veldwerk en de opzet en verwerking daarvan gebruik worden gemaakt van ENIQ-methoden.

Document: eniq roadmap 38621483.pdf

European Network for Inspection and Qualification

The document presents the course ENIQ intends to take to meet its goals. ENIQ is mainly active in the field of in-service inspection of nuclear installations by means of NDT and qualification of NDT systems and "Risk-Informed in-service inspection (RI ISI)".

The document itself does not contain any relevant information, but ENIQ methods can be used for the fieldwork and its design and processing.

Het is te overwegen om het EniQ netwerk te benaderen om als reviewer van rapporten van het JIP op te treden

You should consider approaching the EniQ network to act as a reviewer of JIP reports

B.6 ENIQ Discussion document in-service inspectie van reactordrukvat in kernindustrie

Document: ENIQ_report_35.pdf

Titel: “ENIQ TGR discussion document on the role of in-service inspection of the reactor pressure vessel” (in nuclear power plants)

TGR = Task Group on Risk; concerning RI-ISI

Het document richt zich op ISI in kernreactoren, en dan primair op piping, maar kan ook worden toegepast op reactordrukvat. In de kernreactoren hebben RPV (Reactor Pressure Vessel) geen redundantie qua veiligheid, dus zijn het meest kritisch in een drukwaterreactor of een kokendwaterreactor. Dit heeft o.a. gevolgen voor ontwerp en inspectie. De ontwerpeisen zijn daarom zeer hoog, resulterend in een zeer kleine kans op falen. De gevolgen van een faalgebeurtenis zijn echter weer hoog, wat het *risico* (kans x gevolgen) toch weer significant kan maken. Inschatting van kans en gevolgen moeten de inspectie-eisen leveren, met name of (elementen van) een RPV in het ISI-programma moet worden opgenomen.

Een deel van het document gaat over de regeling in Zweden, waar RI-ISI sinds 1995 verplicht is. Aanvankelijk werd een kwalitatieve benadering gevolgd. Later werd daar een kwantitatieve benadering aan toegevoegd.

Document: ENIQ_report_35.pdf

Title: “ENIQ TGR discussion document on the role of in-service inspection of the reactor pressure vessel” (in nuclear power plants)

TGR = Task Group on Risk; concerning RI-ISI

The document focuses on ISI in nuclear reactors, primarily piping, but can also be applied to reactor pressure vessels. In the nuclear reactors, RPV (Reactor Pressure Vessel) have no redundancy in safety, so are most critical in pressurized water reactor or boiling water reactor. This has consequences for design and inspection, among other things. The design requirements are therefore very high, resulting in a very small chance of failure. However, the consequences of a failure event are high again, which can make the risk (probability x consequences) significant again. Assessment of the probability and consequences must provide the inspection requirements, in particular whether (elements of) an RPV must be included in the ISI programme.

Part of the document is about the scheme in Sweden, where RI-ISI has been mandatory since 1995. Initially, a qualitative approach was followed. Later, a quantitative approach was added.

Gebaseerd op veldstudies werden RPV-elementen aangewezen die aan ISI onderworpen dienen te worden, o.a. 100% van de rondnaden en 2-3% van de langsnaden (alleen de kruispunten met de rondnaden).

Based on field studies, RPV elements to be subjected to ISI were identified, including 100% of the circumferential seams and 2-3% of the longitudinal seams (only the intersections with the circumferential seams).

B.7 HOIS Inspection Manual (HOIS-R-037)

Dit document bevat 'quick guide' samenvattingen van tien HOIS Recommended Practice en richtlijn documenten.

This document contains quick guide summaries of ten HOIS Recommended Practice and guideline documents.

B.8 C20-03 REMOTE DIGITAL VISUAL INSPECTION PHASE 1 (HOIS-R-034)

Dit document brengt verslag uit van het verzamelen van informatie in het kader van het ontwikkelen van de HOIS Recommended Practice voor (wat toen was) Remote Digital Visual Inspection (RDVI) van drukvaten, en nu heet Remote Internal Inspection van drukvaten.

This paper reports on the gathering of information as part of developing the HOIS Recommended Practice for (what was then) Remote Digital Visual Inspection (RDVI) of pressure vessels, and is now called Remote Internal Inspection of Pressure Vessels.

B.9 Graphical Guidance on Human Factors Affecting External Visual Inspection (HOIS-G-057)

HOIS heeft een aantal richtlijnen gepubliceerd met betrekking tot hoe menselijke factoren ('human factors') een (negatieve) rol kunnen spelen in NDT en hoe die invloed kan worden verminderd. Dit document verschaft een aantal grafische hulpmiddelen die gebruikt kunnen worden bij het in beeld brengen van die rol en mitigatie van de gevolgen.

HOIS has published a number of guidelines on how human factors can play a (negative) role in NDT and how that influence can be reduced. This document provides a number of graphical tools that can be used in mapping that role and mitigating the consequences.

B.10 Human factors guidance (HF-NDT) for visual inspection for external corrosion (HOIS -G-007)

Dit rapport geeft richtlijnen met betrekking tot het mitigeren van negatieve effecten van menselijke factoren ('human factors')

This report provides guidance on mitigating the negative effects of human factors on the reliability of visual inspection for

op de betrouwbaarheid van visuele inspectie voor externe corrosie en coatingschade aan offshore-installaties.

external corrosion and coating damage on offshore installations.

Quasset BV
Seinstraat 4
1223 DA Hilversum
The Netherlands
Tel: +31 35 820 0288

quasset.com
info@quasset.com

Copyright:

2022

This document may be printed and distributed in its entirety but no part may be reproduced or used for commercial purposes without the permission of Quasset B.V. Proper referencing and acknowledgement should be made when distributing and sharing content of this document.