

RADIOGRAFSKO ISPITIVANJE KOROZIJE I NASLAGA PRIMJENOM X I γ IZVORA ZRAČENJA

Bruno, **BREKA**, *TPK-Zavod d.d.*, Zagreb, *HRVATSKA*

bruno.breka@tpk-zavod.hr

SAŽETAK – U radu je dan pregled osnovnih tehnika i parametara radiografskog ispitivanja korozije i naslaga primjenom X i γ izvora zračenja, te uporabom radiografskog filma. Opisane su tangencijalna tehnika i tehnika dvostruke stijenke, i pripadajući im ispitni aranžmani koji se upotrebljavaju ovisno o zahtjevanim parametrima, a sukladne su normama HRN EN 16407-1 i HRN EN 16407-2.

Ključne riječi: mjerenje debljine stijenke, tehnika dvostruke stijenke, tangencijalna tehnika

RADIOGRAPHIC EXAMINATION OF CORROSION AND DEPOSITS USING X AND γ RADIATION SOURCES

ABSTRACT – The reliability and the safety of equipment in industrial plants are influenced by material degradation processes, such as corrosion, erosion, cavitation, deposits and blocking of pipes. These processes might reduce production, cause leaks, fires or unpredictable and costly shutdowns due to the repair and replacement of critical components. The condition of critical components in industrial plants can be monitored by the proper use of the NDT inspection methods even while the plant is in operation. A major inspection challenge is monitoring and the examination of insulated pipes. The common methods for detecting corrosion and deposits in insulated pipings involve double wall and tangential radiographic inspection. This paper reviews fundamental techniques and test arrangements of corrosion and deposit radiographic inspection using X and γ radiation sources, whose use depends on demands and is in accordance with HRN EN 16407-1 and 16407-2 standards.

Key words: thickness measurement, double wall radiographic inspection, tangential radiographic inspection

1. UVOD

Na pouzdanost i sigurnost industrijskih postrojenja uvelike utječu procesi degradacije materijala kao što su korozija, kavitacija i erozija, te nastajanje naslaga i taloga, koji mogu prouzročiti smanjenje produktivnosti postrojenja, propuštanja, požare ili nepredvidive i skupe zastoje zbog popravaka i/ili zamjene postojećih dijelova.

Primjenom metoda ispitivanja bez razaranja stanje navedenih kritičnih komponenti može se

pratiti i nadgledati, čak i za vrijeme rada postrojenja, što omogućava pravovremene preventivne radnje za slučajeve popravaka, zamjene dijelova komponenti, uklanjanja naslaga i taloga. Osim povećanja produktivnosti samog postrojenja, navedenim se smanjuje i rizik od havarije.

U današnjim industrijskim postrojenjima cjevovodi predstavljaju glavno transportno sredstvo tekućina i plinskih faza, te samim time postaju posebno područje interesa praćenja.

Prilikom praćenja stanja cjevovoda od posebne su važnosti praćenje protočnosti (kontrola količine taloga i naslaga) i debljine stijenke.

2. KOROZIJSKI PROCESI KAO JEDAN OD GLAVNIH INDUSTRIJSKIH PROBLEMA

Svi metali i legure (iznimka su neki plemeniti metali) podložni su degradaciji uslijed korozijskih procesa. Korozija materijala se definira kao degradacija materijala ili njegovih svojstava uslijed reakcije s okolinom. Korozijski procesi su kemijske i elektrokemijske prirode i uključuju transfer elektrona. Za to su potrebni katoda, anoda i elektrolit.



Anoda je uvijek ta koja je podložna korozijskim i oksidacijskim procesima. Iako je korozijske procese nemoguće u potpunosti izbjeći, oni se mogu pratiti kako ne bi došlo do ozbiljnih oštećenja. Osnovni pojavni oblici korozije na čelicima su:

- a) Opća – jednolična korozija
- b) Selektivna – lokalna korozija
 - Točkasta – jamičasta („pitting“) korozija
 - Kontaktna korozija
 - Interkristalna korozija
 - Napetosna korozija
 - Korozija u procjepu itd., [1]

Tipični primjeri korozije i naslaga u industrijskim cjevovodima prikazani su na **Slici 1**.



Slika 1 Primjeri korozije i naslaga u cjevovodima

Uobičajene metode otkrivanja i mjerenja područja zahvaćenih korozijom su:

- Radiografsko ispitivanje korozije i naslaga primjenom X i γ izvora zračenja,
- Ultrazvučno mjerenje debljine stijenke.

3. PROCJENA DEBLJINE STIJENKE I KOLIČINE NASLAGA UPORABOM RADIOGRAFSKIH TEHNIKA

U načelu, za mjerenje debljine stijenke i procjenu količine naslaga u cijevima primjenjuju se dvije seradiografske tehnike:

- 1) Tehnika dvostruke stijenke,
- 2) Tangencijalna tehnika

3.1. Tehnika dvostruke stijenke

Prema normi HRN EN 16407-2, tehnika dvostruke stijenke definira se prema dvjema klasama radiografskih tehnika - osnovnoj (DWA) i poboljšanoj (DWB).

Poboljšane tehnike koriste se kada je zahtjevana veća osjetljivost, npr. procjena lokalizirane jamičaste korozije.

Kod provođenja ispitivanja tehnikom dvostruke stijenke, kvaliteta slike radiograma određuje se primjenom klasičnih žičanih indikatora. Ovisno o ispitnom aranžmanu i izolaciji, indikatori mogu biti postavljeni na stranu izvora ili na stranu filma.

Ovisno o vanjskom promjeru cijevi, koriste se dva ispitna aranžmana:

- Dvostruka stijenka–jednostruka slika (**Slika 2**)
- Dvostruka stijenka–dvostruka slika (**Slika 3**)

Tehnika dvostruke stijenke–jednostruke slike koristi se za veće vanjske promjere cijevi, dok se tehnika dvostruke stijenke–dvostruke slike koristi za manje promjere (< 150 mm). Obje se tehnike mogu koristiti za cijevi s i bez izolacije.

Izbor klase filma i folija provodi se prema normi HRN EN ISO 11699-1.

U odnosu na normu HRN EN ISO 17636-1,

prema kojoj se na temelju prozračavane debljine (w) odabire izvor zračenja, norma HRN EN 16407-2 koristi pojam ukupne efektive prozračavane debljine (w_{tot}). Ukupna efektiva prozračavana debljina definirana je kao ukupna ekvivalentna debljina metalnog materijala u smjeru centralne radijacijske zrake, koja je dobivena izračunom na bazi nominalne debljine, a dopušta prisutnost medija u cijevi i izolacije. Izbor izvora zračenja provodi se prema normi EN ISO 16407-2 / **Tablica 1**.

Ovisno o klasi radiografske tehnike i ispitnom aranžmanu, proračunava se udaljenost izvor-film.

3.1.1. Dvostruka stijenka-jednostruka slika, [6]:

Za osnovne tehnike DWA

$$SDD \geq \frac{d \cdot x \cdot b}{0,6 \text{ mm}} \quad (1)$$

SDD – udaljenost izvor-film

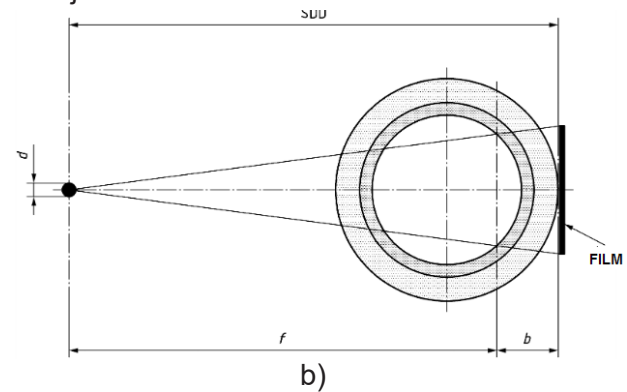
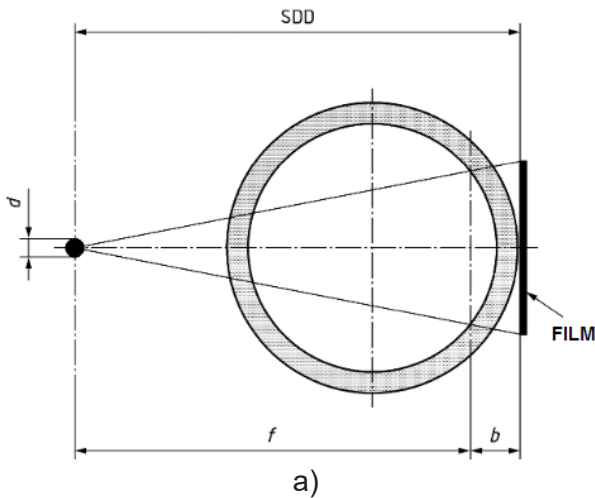
b - udaljenost između stijenke cijevi na strani izvora i filma

d – veličina izvora u mm

Za poboljšane tehnike DWB

$$SDD \geq \frac{d \cdot x \cdot b}{0,3 \text{ mm}} \quad (2)$$

Vrijednosti geometrijske neoštine (0,6 i 0,3 mm) odnose se na projekciju stijenke cijevi bližoj filmu.

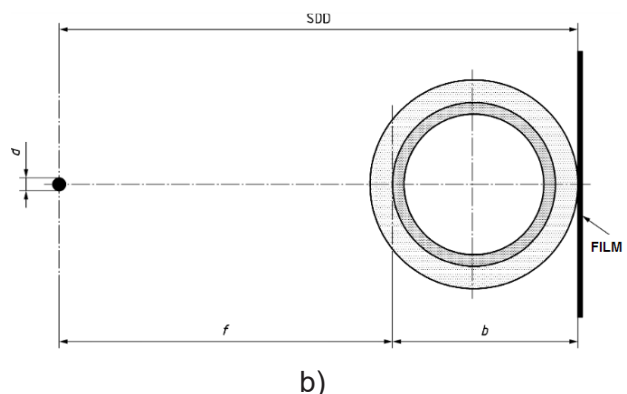
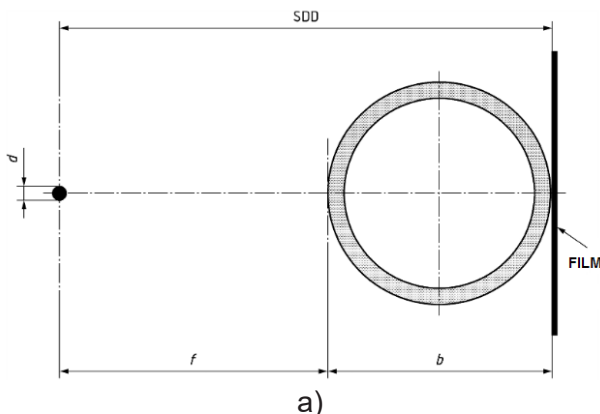


Slika 2 Ispitni aranžman Dvostruka stijenka-jednostruka slika [6]; a) cijev bez izolacije; b) cijev sa izolacijom

3.1.2. Dvostruka stijenka-dvostruka slika:

Za izračunavanje udaljenosti izvor-film kod tehnike dvostruke stijenke-dvostruke slike, također se koriste navedene formule (1) i (2).

Treba uzeti u obzir kako se udaljenost b različito tretira kod tehnika jednostruke i dvostruke stijenke, te izračunavanje navedene dimenzije mora biti u skladu sa **Slikama 2 i 3**.



Slika 2 Ispitni aranžman Dvostruka stijenka-dvostruka slika, [6]; a) cijev bez izolacije; b) cijev s izolacijom

Ako se tehnika dvostruke stijenke-dvostruke slike koristi u kombinaciji s tangencijalnom tehnikom, udaljenost izvor-centralna os cijevi mora biti uzeta u obzir. Za daljnje proračune uzima se veća vrijednost od dviju navedenih.

Procjena debljine stijenke kod tehnika dvostruke stijenke zasniva se na promjeni zacrnjenja, stoga se zahtijeva korištenje referentnog bloka koji obuhvaća debljine, promjere i vrste materijala slične ispitnom objektu.

3.2. Tangencijalna tehnika

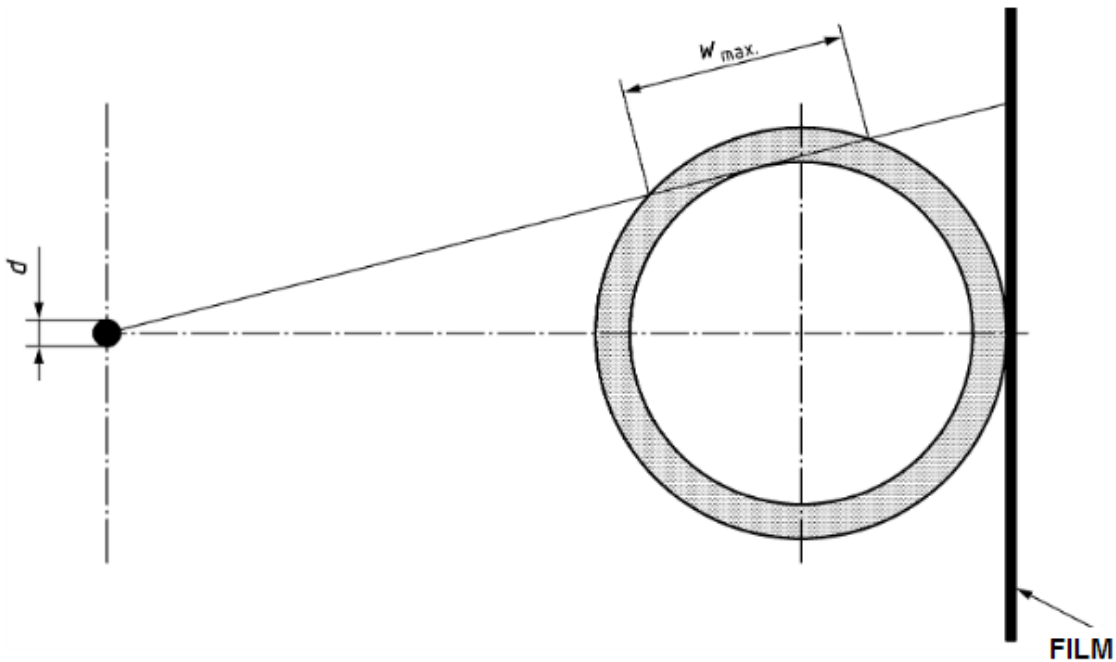
U skladu s normom HRN EN 16407-1 tangencijalna tehnika se definira prema dvjema klasama radiografskih tehnika - osnovne (TA) i poboljšane (TB).

Osnovna tehnika koristi se za procjenu debljine stijenke i općenito za pregled stanja cijevi, dok se poboljšana tehnika koristi kada je zahtijevana povećana osjetljivost za pregled određenih pozicija.

Kod tangencijalne tehnike za određivanje kvalitete radiograma nisu dopušteni žičani, kao ni stepeničasti indikatori s provrtom. Za određivanje kvalitete radiograma koriste se isključivo dvostruki žičani indikatori.

Norma HRN EN 16407-1 nalaže korištenje sljedećih tehnika snimanja:

- Izvor zračenja postavljen na središnju os cijevi,
- Izvor zračenja smaknut u odnosu na središnju os cijevi.



Slika 4 Tangencijalna tehnika - maksimalna prozračena debljina w_{max} [5]

Izbor klase filma i folija provodi se prema normi HRN EN ISO 11699-1.

Ovisno o klasi radiografske tehnike i ispitnom aranžmanu, proračunava se udaljenost izvor-film.

3.2.1. Izvor zračenja postavljen na središnju os cijevi:

Za osnovne tehnike TA, gdje je izvor zračenja postavljen na središnju os cijevi (**Slika 5**), udaljenost izvor-film se odabire prema većoj vrijednosti od dviju izračunatih [5]:

$$SDD \geq PDD + 3,5xD_e \quad (4)$$

Objektive tehnike mogu se koristiti za izolirane i neizolirane cijevi.

Kod tehnike gdje je izvor zračenja smaknut u odnosu na centralnu os cijevi, centralna zraka radijacije mora biti postavljena okomito na stijenkicu koja predstavlja područje interesa. Film se postavlja tako da je ortogonalan s centralnom zrakom radijacije.

Prema normi HRN EN 16407-1 / **Tablica 1**, izvor zračenja se određuje prema maksimalnoj prozračenoj debljini (w_{max}). Maksimalna prozračena debljina (**Slika 4**) definirana je kao maksimalna debljina materijala cijevi koja je dobivena kao tangenta na unutarnji promjer cijevi, a izračunava se formulom:

$$w_{max} = \sqrt{t(D_e - t)} \quad (3)$$

gdje su

t – nominalna debljina stijenke cijevi

D_e – vanjski promjer cijevi

$$SDD \geq \frac{dxPDD}{0,6 \text{ mm}} \quad (5)$$

SDD – udaljenost izvor-film

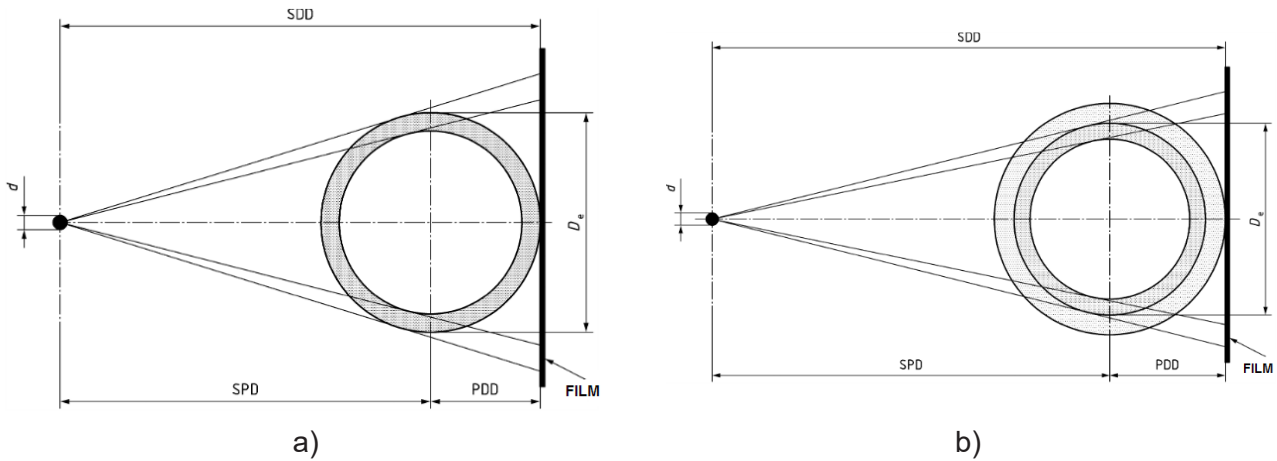
PDD – udaljenost između središnje osi cijevi i filma

b - udaljenost između stijenke cijevi na strani izvora i filma

d – veličina izvora u mm

Za poboljšane tehnike TB [5]:

$$SDD \geq \frac{dxPDD}{0,3 \text{ mm}} \quad (6)$$

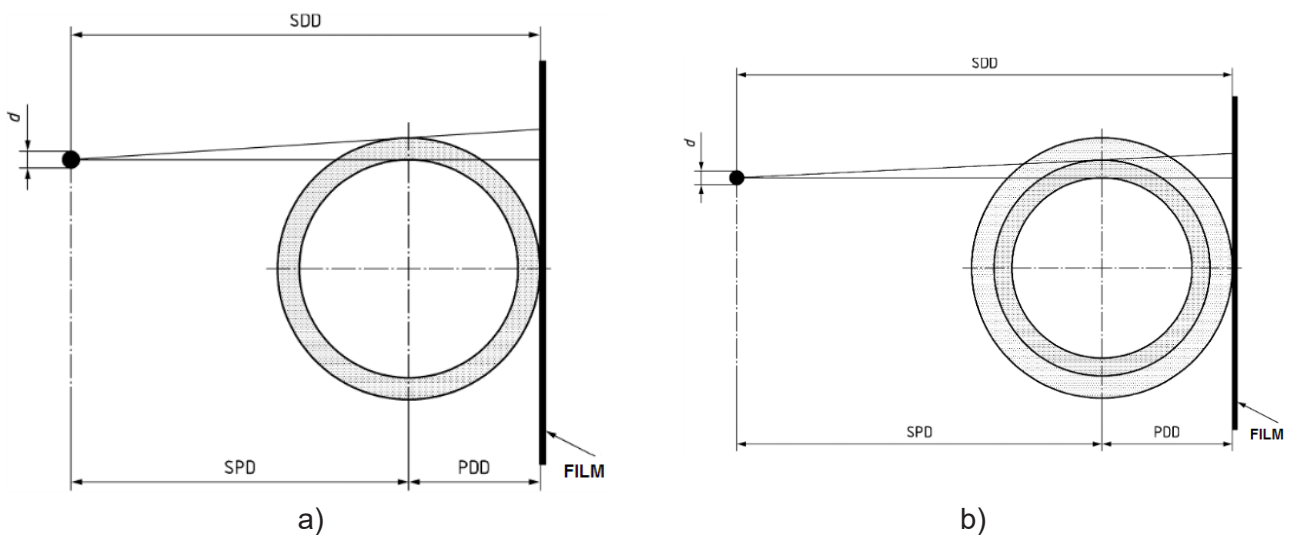


Slika 5 Tangencijalna tehnika – izvor zračenja na centralnoj osi cijevi [5]; a) cijev bez izolacije; b) cijev sa izolacijom

3.2.2. Izvor zračenja smaknut u odnosu na središnju os cijevi:

Za izračunavanje udaljenosti izvor-film gdje je izvor zračenja smaknut u odnosu na središnju

os cijevi (**Slika 6**) formula (4) nije primjenjiva. Izračunavanje se provodi prema formulama (5) i (6), [5].

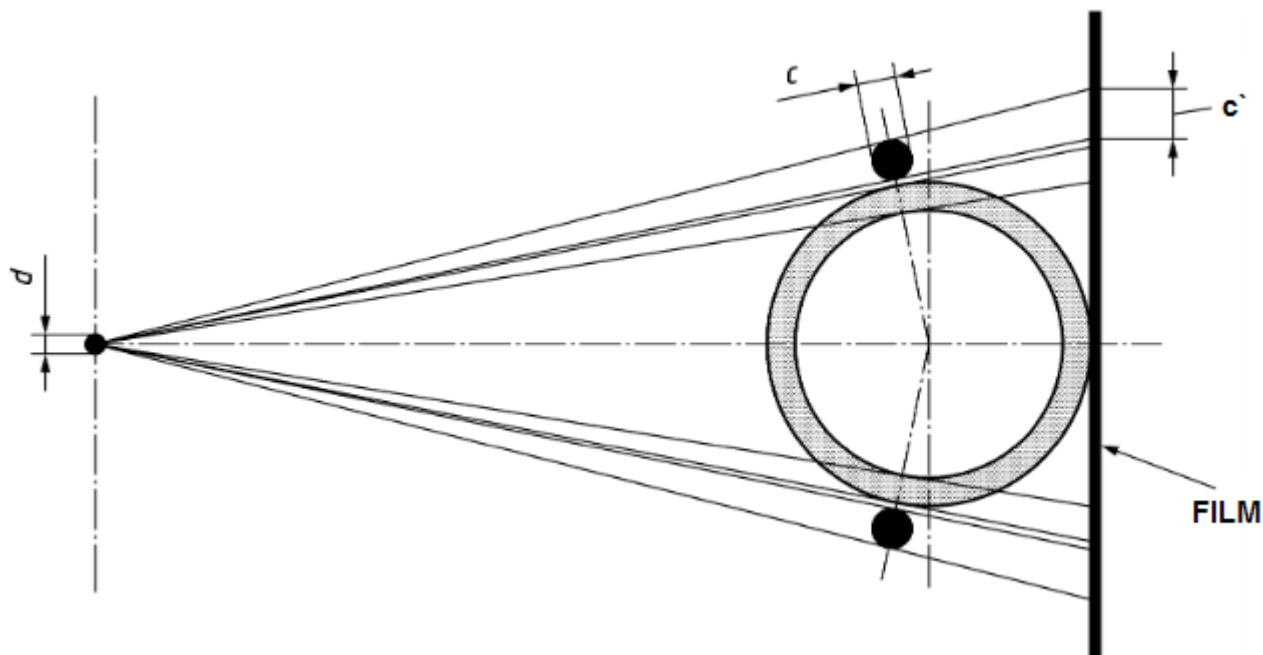


Slika 6 Tangencijalna tehnika – izvor zračenja smaknut u odnosu na centralnu os cijevi [5]; a) cijev bez izolacije; b) cijev sa izolacijom

Prilikom mjerenja debljine stijenke tangencijalnom radiografijom nužno je provesti kontrolu odabranih parametara ispitnih tehnika kako bi se odredio geometrijski efekt uvećanja slike i što točnije utvrdila debljina stijenke:

- Mjerenja i kontrola proračunatih udaljenosti,
- Mjerenje i usporedba vanjskog promjera cijevi D_e i vanjskog promjera cijevi na radiogramu,
- Mjerenje dimenzija komparatora

Dimenzijski komparatori (**Slika 7**) se koriste kada nije poznat vanjski promjer cijevi. Kao komparator najčešće se koristi kuglični ležaj poznatog promjera, koji se postavlja u blizini cijevi, na tangencijalnu os radijacijske zrake. Ukoliko je poznat vanjski promjer cijevi, točnije je primijeniti usporedbu vanjskog promjera cijevi D_e i vanjskog promjera cijevi na radiogramu, budući da se zbog položaj dimenzionalnog komparatora u ispitnom aranžmanu može očekivati i uvećana slika navedenog.



c – promjer komparatora

c' - projekcija promjera komparatora

Slika 7 Primjer primjene komparatora, [5]

4. ZAKLJUČAK

Degradacija osnovnog materijala cjevovoda uzrokovana korozivnim procesima i erozijom jedan je od najčešćih slučajeva zastoja u radu industrijskih postrojenja. Nadgledanjem i praćenjem, te primjenom metoda ispitivanja bez razaranja na kritičnim komponentama moguće je izbjeći skupe i nepredvidive zastoje.

Radiografskim ispitivanjem korozije i naslaga primjenom X i γ izvora zračenja moguće je vrlo precizno detektirati i izmjeriti korozivne procese i eroziju materijala. Jedna od glavnih značajki ove metode je mogućnost detekcije i mjerenja degradacije materijala bez uklanjanja izolacije.

5. LITERATURA

- [1] Filetin T., Kovačićek F., Indof J.: Svojstva i primjena materijala, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
- [2] Esih I., Dugi Z.: Tehnologija zaštite od korozije, Školska knjiga, Zagreb, 2001.
- [3] Burke W. S.: Application of tangential radiographic technique for evaluation of pipe system corrosion/erosion, Mat. Eval, 1989.
- [4] Grupa autora: Developments of protocols for corrosion and deposits evaluation in pipes by radiography, IAEA, 2005.
- [5] HRN EN 16407-1:2014
- [6] HRN EN 16407-2:2014
- [7] HRN EN ISO 17636-1:2014