

Sonda vírivých prúdov typu– X / X-array probe/ použitie a aplikácie

Pavol Kučík, Ing., SloVCert s.r.o., Bratislava

Pre detekciu chýb v trubkách parogenerátorov sa od šesťdesiatych rokov používajú prevažne vírivoprúdové sondy typu “bobbin“ a k nim sa v rokoch osemdesiatych pridalo i použitie rotačných sond. Pri rotačných sondách jednotlivá cievka rotuje v rozsahu 360° a zároveň je zasúvaná v pozdĺžnej osi rýchlosťou posuvu cca 2,5 až 15,3 mm/sek. Pri tejto rýchlosti je spoľahlivo skenovaný celý povrch a je spoľahlivo lokalizovaná chyba. Technológia rotačných sond nahradila v niektorých prípadoch použitie sondy typu “bobbin” pretože bola schopná charakterizovať morfológiu chyby.

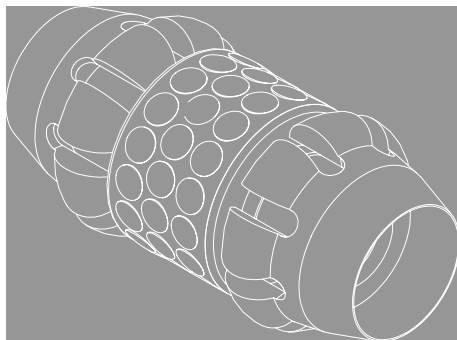
So vzrastajúcou dobou používania parogenerátorov vzrastá aj počet vzniku degradácií v materiále čo kladie nároky na presnosť a spoľahlivosť. Naopak ale narastá tlak na inšpekčné organizácie aby skrátili dobu kontroly, zvýšili presnosť meraní, znižovali náklady kontrol. Z tohto dôvodu náhrada použitia rotačných vírivoprúdových sond je veľmi zaujímavá. Nová vírivoprúdová X-sonda – zložená z polí cievok, kde sa mechanická rotácia cievok nahrádza elektronickou rotáciou polí cievok sa javí ako veľmi pozitívnym a inovatívnym krokom. Táto sonda bola vyvinutá v spolupráci firiem AECL (Atomic Energy of Canada), EDF (Electricité de France), NEL (Nuclear Engineering of Japan) a R/D Tech Québec.

Čo je to X-sonda ?

Sonda zobrazená na obr.1 pozostáva z páru diferenciálnych “bobin” cievok umiestnených v čelnej špičke a zoskupenia 48 vysielacích/prijímacích cievok umiestnených v strednej časti – tzv .



Obr.1 - X-sonda vírivých prúdov

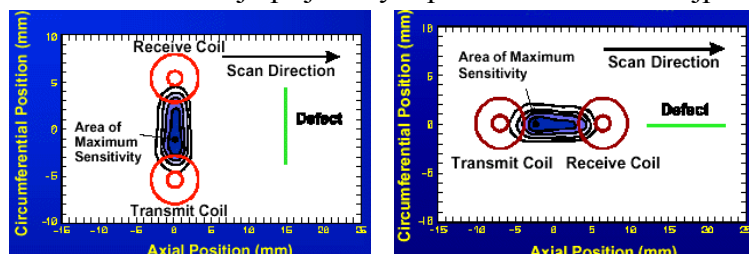


Obr. 2 – rozloženie cievok

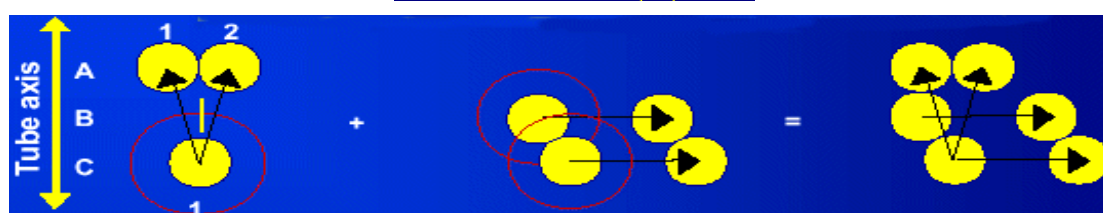
Všetky vysielacie/prijímacie cievky sú rozmiestnené v 3 obvodových pásoch po 16 cievok (Obr.2), ktoré tvoria telo sondy. Tieto sondy produkujú 32 snímacích kanálov v pozdĺžnom a priečnom smere snímania. V sonde je vstavaný elektronický obvod, ktorý nezávisle napája jednotlivé cievky a zosilňuje meracie kanály.

Ako sonda pracuje ?

Spôsob ako sú konfigurované jednotlivé vysielačie a prijímacie cievky v sonde je zrejme z nižšie uvedených obrázkov. Tok vírivých prúdov je emitovaný jednou vysielačou cievkou v rade C1 a tento je prijímaný v pozdĺžnom smere najprv cievkou A1 a potom taktiež cievkou



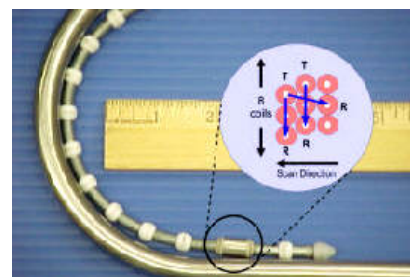
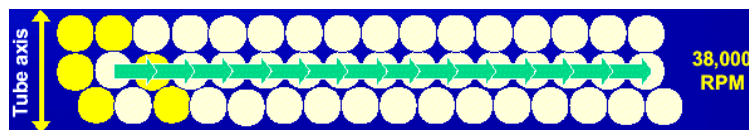
A2. Zároveň je tok vírivých prúdov emitovaný cievkou B1, resp. C1 prijímaný cievkou B3 resp. C3 v priečnom smere. Nehomogenity, trhliny prerušenia súvislosti materiálu ovplyvnia tok



Obr. 3 Kombinácia tokov vírivých prúdov v X-sonde

vírivých prúdov čo sa prejaví v prijímacej cievke ako zmena amplitúdy a fázy prijímaného signálu.

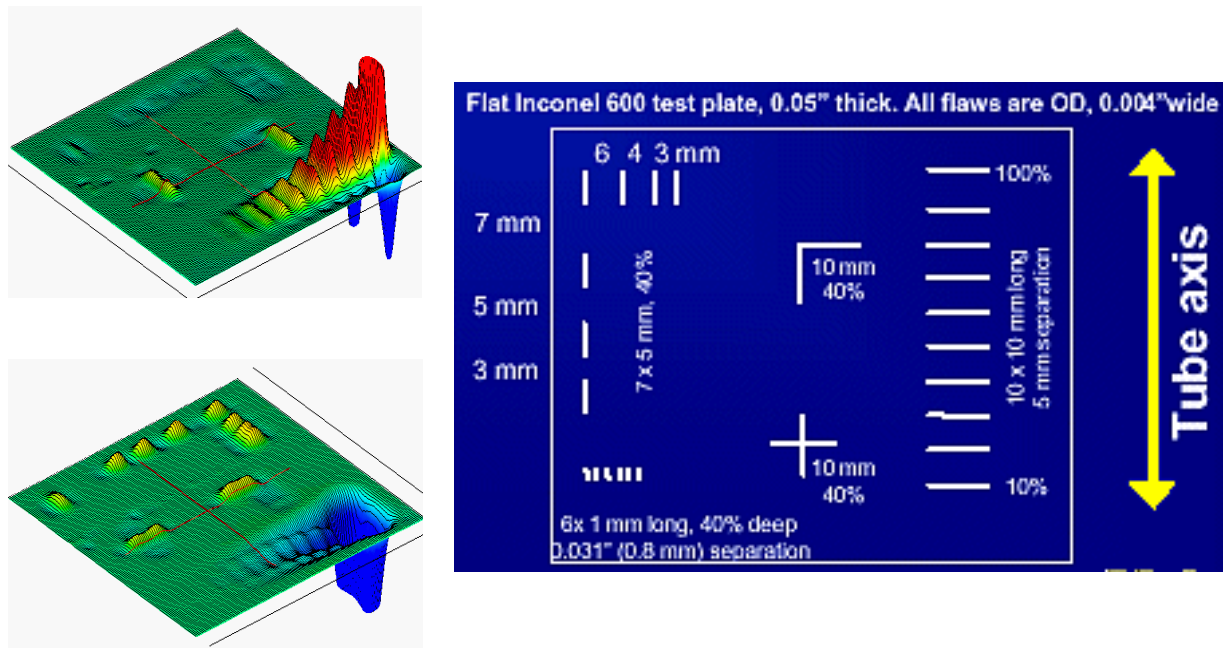
Pretože vysielačie aj prijímacie je riadené elektronickým obvodom, postupne sa budia s časovým odstupom jednotlivé vysielačie cievky umiestnené po obvode sondy. Pretože po celom obvode sondy je 2x 16 vysielačích cievok v jednom rade je možné snímať 16 dvojicami cievok v pozdĺžnom smere a 16 dvojicami cievok v priečnom smere t.j. spolu 32 meracích kanálov. Elektronicky sa v podstate vytvorí rotácia vírivoprúdových polí a rýchlosť otáčania takéhoto poľa je 38 000 otáčok za minútu.



Obr. 4 Elektronické riadenie vysielačích a prijímacích sond v X-sonde

Takýmto spôsobom fungovania X-sondy sa zabezpečí dostatočná citlivosť na chyby pozdĺžne a priečne po celom obvode a to bez mechanickej rotácie cievok. Cievky uložené po obvode totiž ponúkajú vysokú citlivosť sondy na zistenie chýb v smeroch kolmých na seba naraz a dávajú dostatočný počet údajov na zobrazenie celej snímanej plochy.

Aké chyby touto sondou možno zaznamenať je deklarované na nižšie uvedených obrázkoch pri záznamoch merania na kalibračnej platni:



Obr. 5 – Záznam merania na kalibračnej platni

Vlastnosti sondy:

- Vynikajúce rozlíšenie pozdĺžnych a priečných indikácií, alebo krížiacich sa chýb
- Korektné rozlíšenie paralelných chýb uložených v tesnej blízkosti – niekedy dosť často zamieňaných s obvodovými chybami
- Umožňuje charakterizovať vplyv šumu a redukovať citlivosť na zmeny teploty
- Zlepšuje charakteristiku vplyvu lift-off (rozšírenia steny, ovalita, stlačenie steny) a vplyvu podperných konštrukcií alebo usadenín.
- Efekt oddialenia sondy „lift-off „ má vplyv len na amplitúdu ale nie na fázu snímaného signálu.
- Nastavenie citlivosti sondy sa vykoná automaticky pre každú cievku/ kanál
- Sonda je vhodná pre vysoké rýchlosti merania trubiek - pretože dokáže vyvinúť omnoho vyššiu rýchlosť rotácie poľa , je možné ju použiť pre snímanie s rýchlosťou až 0,5 m / sek.
- Nemá mechanické diely pre rotáciu poľa, tým jej životnosť je cca viac ako 20 násobne vyššia ako u rotačných sond
- Výrazne znižuje inšpekčný čas a expozičnú dávku

Analýza dát

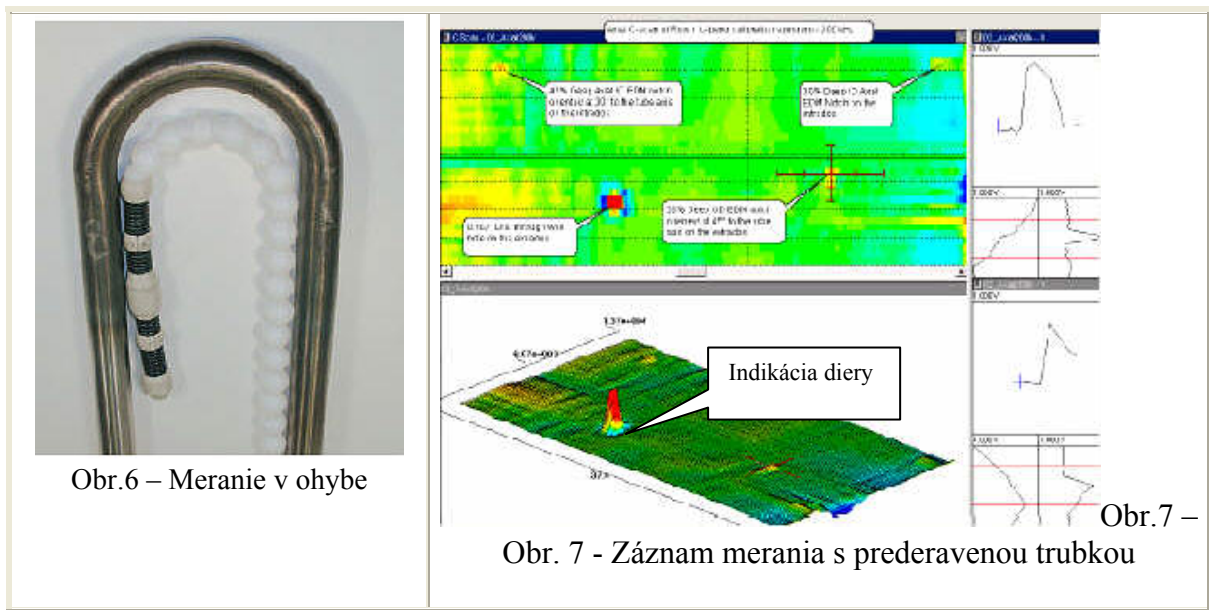
Analýza snímaných dát uvedenou sondou je jednoduchá aj vďaka tomu, že je možné si zobrazit' zaznamenaný signál z každej prijímacej cievky (tzv. strip chart). Skladaním dát z jednotlivých cievok je možné analyzovať v plošnom C-zobrazení zvlášť záznam pre pozdĺžne orientované a zvlášť pre priečne orientované chyby. Takto sa eliminuje prekrytie záznamov z jednotlivých kanálov a tým sa zníži i počet chybných hodnotení. Pri sonde možno použiť 4 rôzne meracie frekvencie, pričom pre každú frekvenciu je možné si prepínať merací mód pre

pozdĺžne alebo priečne orientované chyby trubiek. Celá analýza však vyžaduje použiť vysokovýkonný viackanálový systém TC 7700 a software MultiView, pri ktorom sa používa na prenos nameraných dát vysoká rýchlosť prenosu dát.

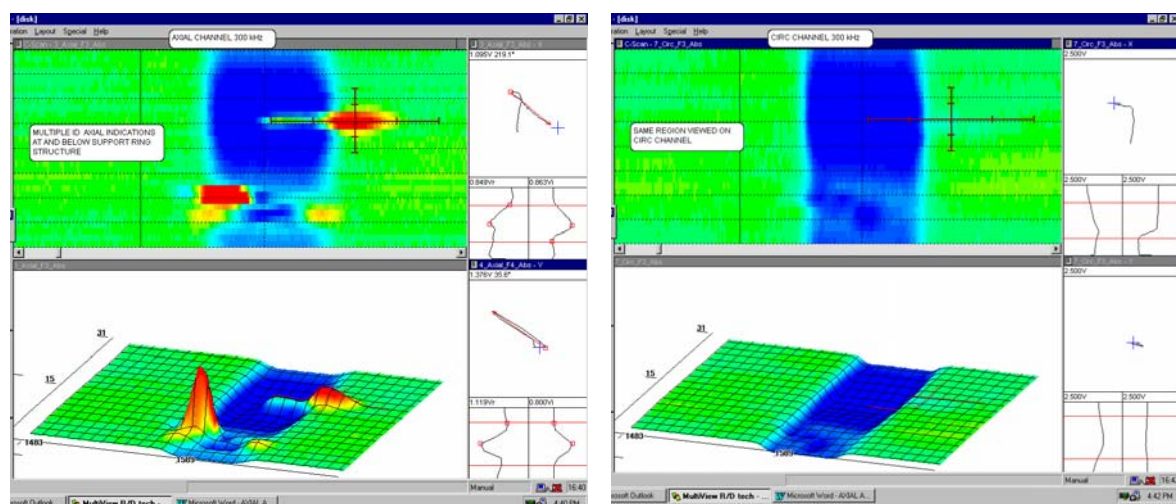
Príklady a aplikácie.

Použitie X-sondy pre meranie v ohyboch trubiek parogenerátorov typu CANDU

- Vhodné aj pre najmenšie polomery zakrivenia
- Nedochoádza k nadmernému oteru sondy ako u rotačných sond
- Vysoká rýchlosť merania



Záznam merania vnútorných pozdĺžnych korózných trhlín na parogenerátorových trúbkach pri podperách

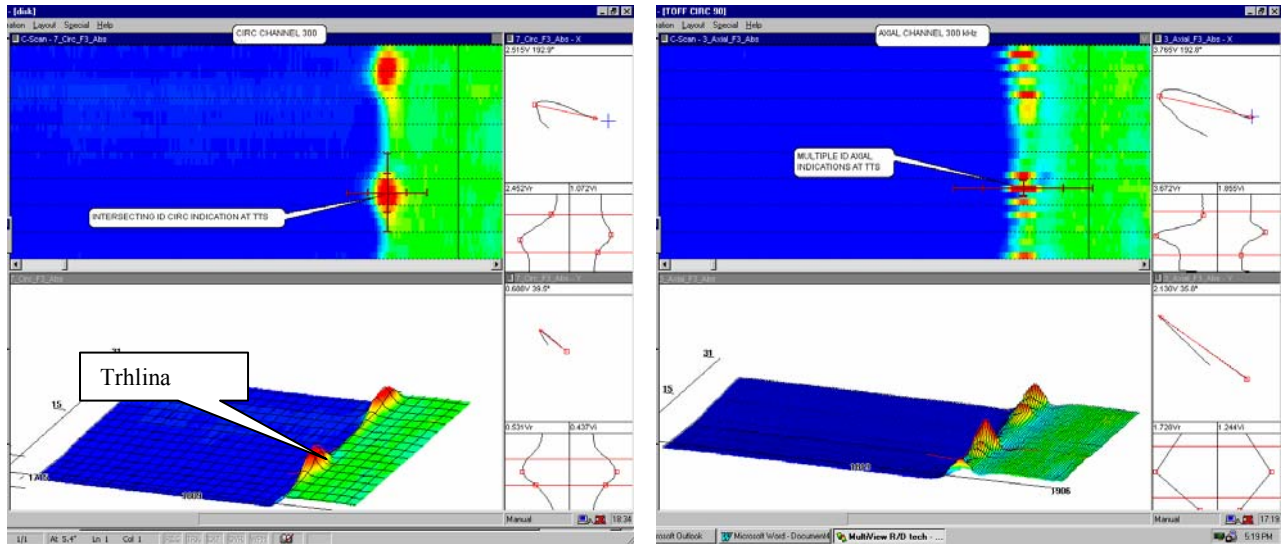


a) meranie pozdĺžnych indikácií

b) meranie obvodových indikácií

Obr.8 – Záznam merania na PG trubke s podperou

Záznam merania obvodových trhlín pri ukončení trubkovnice parogenerátora

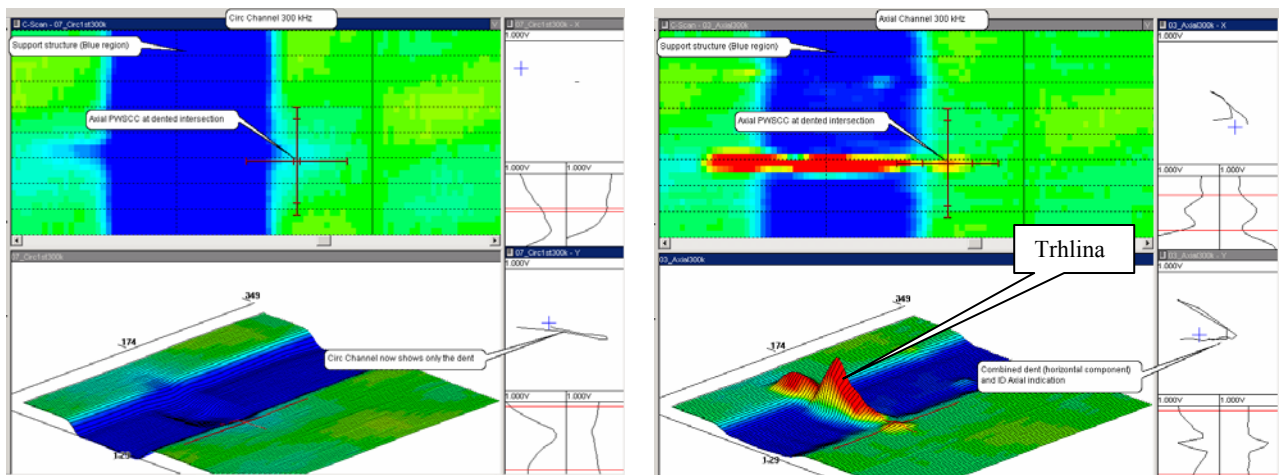


a) meranie obvodových indikácií

b) meranie pozdĺžnych indikácií

Obr.9 – Záznam merania na trubke v trubkovici

Záznam merania pozdĺžnych trhlín vzniknutých vplyvom korózných napätí pri v primárnom chladiacom okruhu



a) meranie obvodových indikácií

b) meranie pozdĺžnych indikácií

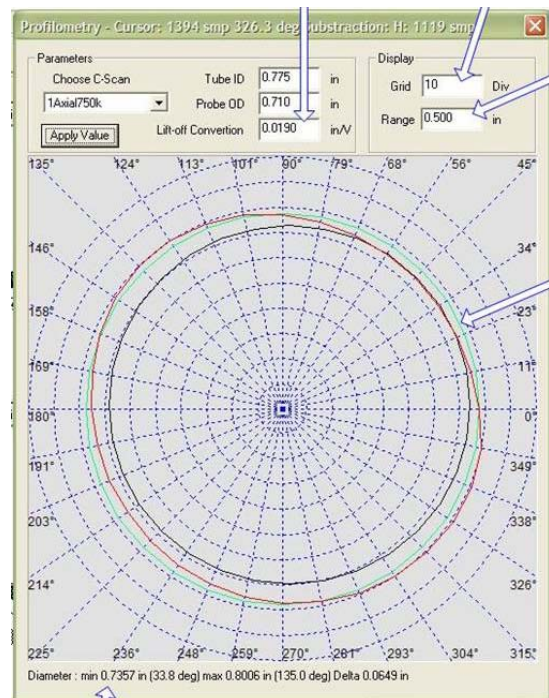
Obr.10 – Záznam merania na trubke v trubkovici

Meranie profilometrie trubiek

Ak X-sonda generuje absolútne kanály, lift-off môže byť meraný pre každý pár vysielacej a prijímacej cievky.

X-sonda počas zasunutia do trubky obsiahne celý vnútorný povrch a dokáže zaznamenať presnú pozíciu a vzdialenosť vnútorného a vonkajšieho povrchu trubky od jej osi. Výsledok tohto profilometrického merania umožnia lepšiu lokalizáciu indikácií s ohľadom na vnútorný/ vonkajší povrch napr. v ohyboch trubiek. Taktiež vďaka presnej profilometrii, môžu byť lepšie analyzované chyby vzhľadom na geometrické tvary v mieste indikácie.

Príklad záznamu merania profilometrie trubky je na priloženom obrázku.



Obr. 11 – Záznam merania profilu trubky

Použitá literatúra:

1. Palo Verde Experience with X-Probe; Douglas Hansen (Arizona Public Service); 19th EPRI Steam Generator NDE Workshop, Monterey, California, 9. Júl 2000
2. X-Probe™ ECT array: A high-Speed Replacement for Rotating Probes; Guy Lafontaine, Florian Hardy, Joe Renaud, Paul Malette (R/D Tech); 19th EPRI Steam Generator NDE Workshop, Monterey, California, 9.-12. Júl 2000
3. Field Experience and Detectability Test of High Performance ECT Array X-Probe in Japan; Yutaka HARADA, Kotaro MAEDA, Junri SHIMONE, Yasutada KISHI (NEL); 19th EPRI Steam Generator NDE Workshop, Monterey, California, 9.-12. Júl 2000
4. The Dream is Alive: Field Experience with the X-Probe at the Doël 2 NPP; Raymond De Graeve, Olivier Scauftaire (Laborelec); 19th EPRI Steam Generator NDE Workshop, Monterey, California, July 9-12, 2000
5. X-Probe™ : Eddy Current Array Probe as a High-Speed Alternative to Rotating Probes; Rich Guill, Gary Henry (EPRI); EPRI Centerlines Newsletter, Volume 10, No. II
6. X-Probe™ ECT array: A high-Speed Replacement for Rotating Probes, an update; Guy Lafontaine, Florian Hardy, Joe Renaud, Paul Malette (R/D Tech); 20th EPRI Steam Generator NDE Workshop, Orlando, Florida, Júl 2001
7. X-Probe™ ECT array: A high-Speed Replacement for Rotating Probes, an update; Guy Lafontaine, Florian Hardy, Joe Renaud, Paul Malette (R/D Tech); 20th EPRI Steam Generator NDE Workshop, Orlando, Florida, Júl 2001
8. X-Probe™ Experience and Capabilities; Barry Everett – Framatome ANP; 20th EPRI Steam Generator NDE Workshop, Orlando, Florida, Júl 2001
9. X-probe™, The year in review: Qualification and field trial experiences from the fall 2000 / spring 2001 inspection seasons; Joe Renaud (R/D Tech); 20th EPRI Steam Generator NDE Workshop, Orlando, Florida, Júl 2001
10. X-Probe™ Experience and Capabilities; Barry Everett (Framatome ANP); 2001 EPRI Steam Generator NDE Workshop