

Využitie techník TOFD a phased array pri skúšaní zvarov dlhodobovo prevádzkovaných tlakových nádob

Ing. M.Kováčik, Ing. R. Hyža SlovCert Bratislava

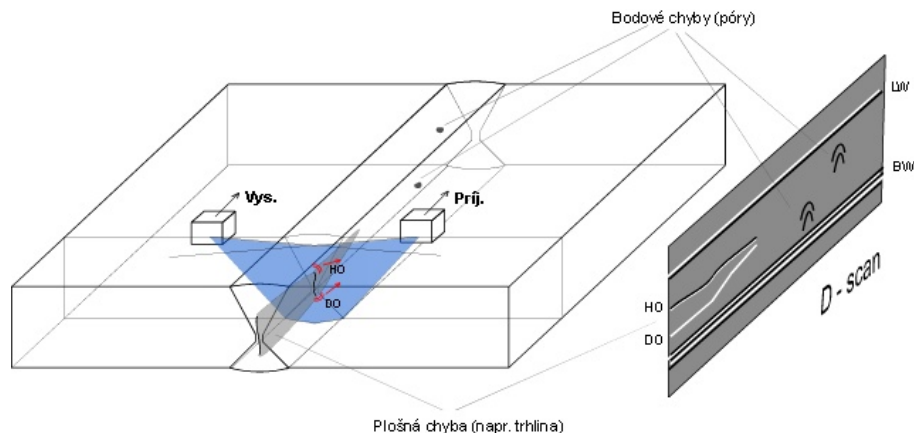
Úvod

Jednou z požiadaviek pri nedeštruktívnom skúšaní dlhodobovo prevádzkovaných tlakových zariadení je, aby použitá NDT metóda bola schopá včas zistiť rozvoj defektov vo zvarových spojoch a skontrolovať oblasti, kde boli neprípustné defekty vo zvaroch odstránené. V prípade nádob s väčšou hrúbkou steny sa zvary skúšajú ultrazvukovou metódou, v našich podmienkach bohužiaľ zatiaľ stále veľmi často realizovanou ako manuálne skúšanie s analógovým, v lepšom prípade digitálnym ultrazvukovým prístrojom a vyhodnotením nálezov založeným na hodnotení amplitúdy ech metódou AVG prípadne pomocou kriviek DAC. Ako najbežnejší spôsob opravy chybných úsekov zvarov tlakových nádob sa používa vybrúsenie neprípustnej chyby s plynulým prechodom do okolitého základného materiálu. Miesto výbrusu sa potom pravidelne kontroluje, aby sa zistilo, či opäť nedochádza k iniciácii defektov. Keďže je pôvodná geometria v oblasti výbrusu narušená, vznikajú pri skúšaní klasickou ultrazvukovou technikou tvarové echá veľkej amplitúdy, ktoré sťažujú interpretáciu a vyhodnotenie echogramu a často vedú k mýlnym záverom. Podstata problému je pritom v tom, že klasická ultrazvuková technika je predovšetkým založená na hodnotení maximálnej amplitúdy signálu a ignoruje difrakčné javy, pričom práve tie prezrádzajú, či došlo k rozvoju defektu, alebo nie.

Novšie ultrazvukové skúšobné techniky a netradičné spôsoby hodnotenia nálezov založené na difrakcii ultrazvukových vln naproti tomu poskytujú informácie, ktoré môžu byť z hľadiska posúdenia rozvoja defektov významné. V našom príspevku chceme poukázať na možnosti ktoré pri interpretácii nálezov vo zvaroch dlhodobovo prevádzkovaných tlakových nádob ponúkajú techniky TOFD a phased array.

Princíp TOFD

Podstata skúšania metódou TOFD je v použití dvoch sond, z ktorých jedna pracuje ako vysielač a druhá ako prijímač. Aby sa dosiahla vysoká rozlišovacia schopnosť, používajú sa sondy vyššej frekvencie s krátkym impulzom. Majú malý priemer meniča, čím sa dosiahne široký zväzok a teda dostatočne veľká inšpekčná zóna pokrývajúca takmer celý prierez zvaru. Využíva sa pozdĺžna vlna. Pri usporiadaní znázornenom na Obr.1 sa z vysielača do prijímača dostane najprv tzv. laterálna vlna, šíriaca sa pri skúšobnom povrchu, potom difrakčná vlna emitovaná horným okrajom chyby, nasledovaná difrakčnou vlnou od spodného okraja chyby a nakoniec echo odrazené od vnútorného povrchu.



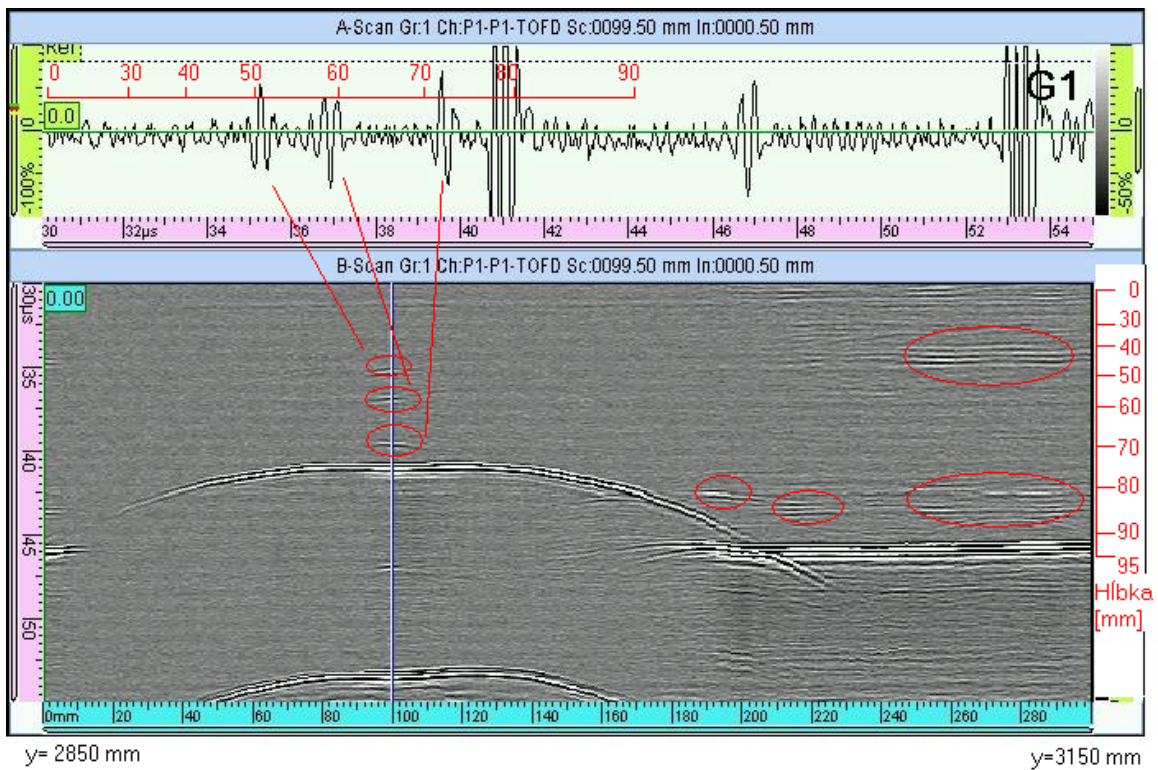
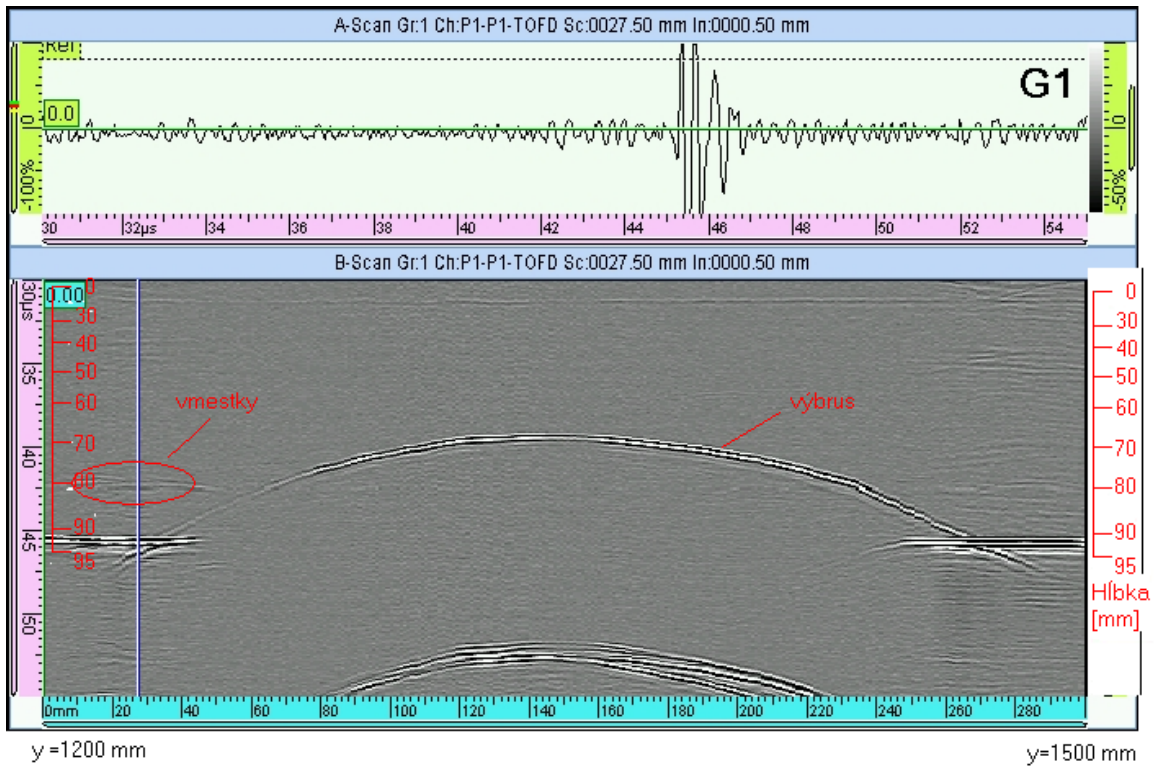
Obr.1 Princíp TOFD

Sondy sa pri skúšaní vedú iba pozdĺž zvaru, takže kontinuálnym snímaním A-scanov pri pohybe sond (používa sa neusmernené - VF zobrazenie) sa vytvorí obraz rozloženia defektov po priereze a dĺžke zvaru - tzv D-scan. TOFD má voči klasickej odrazovej metóde niekoľko výhod:

- hĺbkový rozmer defektu sa vypočíta zo rozdielu časov príchodu vln emitovaných horným a dolným okrajom defektu a nie na základe amplitúdy signálu
- keďže sa nehodnotí amplitúda signálu, kolísanie akustickej väzby nemá veľký vplyv na hodnotenie.
- ľahko sa mechanizuje, pretože na snímanie pohybu sond stačí jednoosový enkodér

Príklad: Skúšanie úseku zvarového spoja opravovaného vybrúsením neprípustných chýb

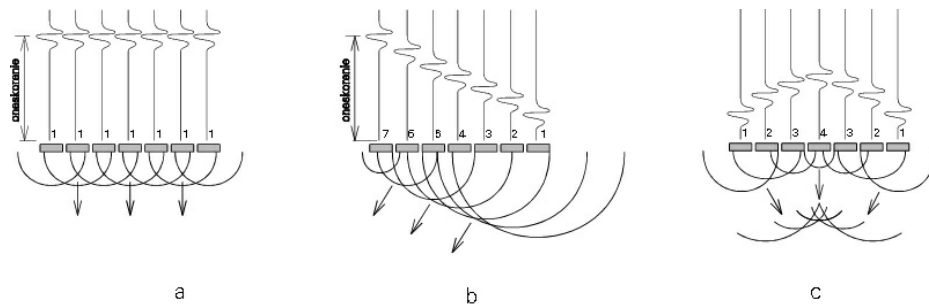
Obvodový zvar tlakovej nádoby hrúbke steny plášťa 92 mm, prevádzkovej viac ako 25 rokov, bol pravidelne pri odstavkách skúšaný klasickou manuálnou ultrazvukovou technikou. Raz za štyri roky bola nádoba otvorená a bolo možné vykonať kontrolu aj metódou magnetickou práškovou. Touto metódou boli zistené neprípustné defekty, ktoré boli následne odstránené brúsením. Výbrusy po defektoch boli počas nasledovných rokov, kontrolované zvonka ultrazvukom, pretože nádobu nebolo dovolené z prevádzkovo ekonomických dôvodov otvoriť každý rok. Štandardne sa kontrola vykonávala manuálne ultrazvukovou odrazovou metódou s vyhodnocovaním nálezov metódou AVG podľa skúšobného predpisu výrobcu. Pri poslednej kontrole zvarov bola okrem klasickej ultrazvukovej metódy použitá aj metóda TOFD. Na obr. 2 je porovnanie záznamov TOFD v miestach dvoch výbrusov. V prvom prípade (hore) je výbrus čistý - bez nálezu. V druhom prípade - dole sú jase viditeľné krátke indikácie. Poznávame, že pri skúšaní klasickou technikou boli v oboch prípadoch zaznamenané iba silné tvarové echá od dna a stien výbrusu.



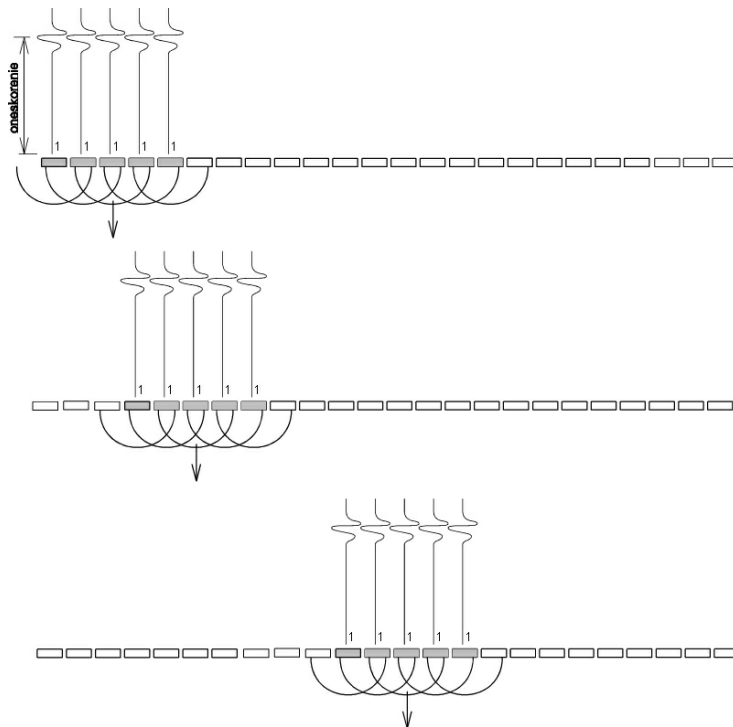
Obr 2. TOFD záznamy zvaru v miestach výbrusov.

Princíp skúšania sondami s fázovanou sústavou meničov - phased array

Sondy s fázovanou sústavou meničov umožňujú elektronicky vychyľovať ultrazvukový zväzok (Obr.3b) a prípadne ho fokusovať (Obr.3c). Takto je možné prezvčať určitý uhlový sektor materiálu. Pokiaľ je počet meničov sondy dosť veľký je možné na vytvorenie zväzku použiť iba určitý počet meničov (napr. 16 zo 128) a postupným budením zväzok elektronicky posúvať pozdĺž apertúry sondy. Tak sa dá bez nutnosti pohybu sondy realizovať B-scan, čiže zobrazenie prierezu prezvčovaného materiálu v určitom dĺžkovom úseku (Obr.4).



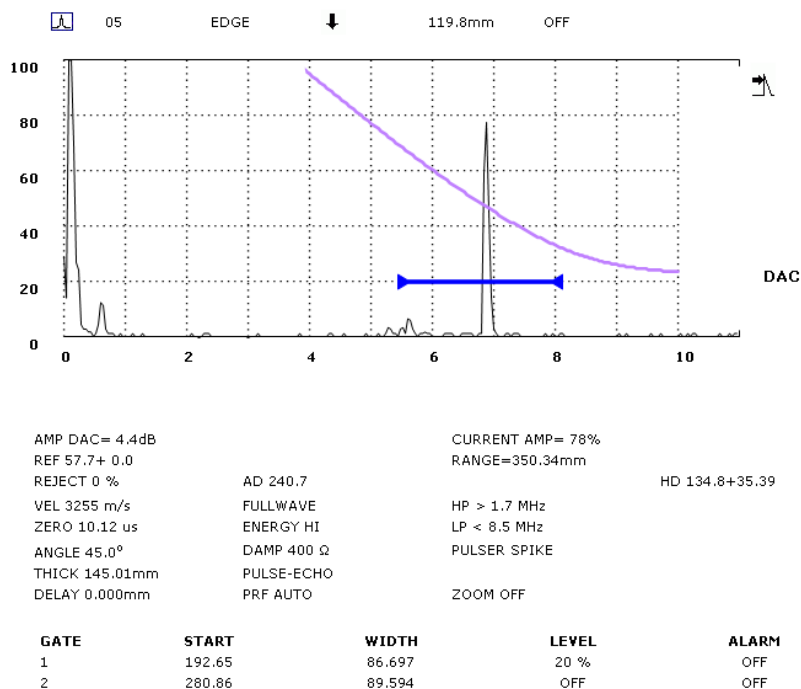
Obr.3 Vychyľovanie a tvarovanie ultrazvukového zväzku technikou phased array



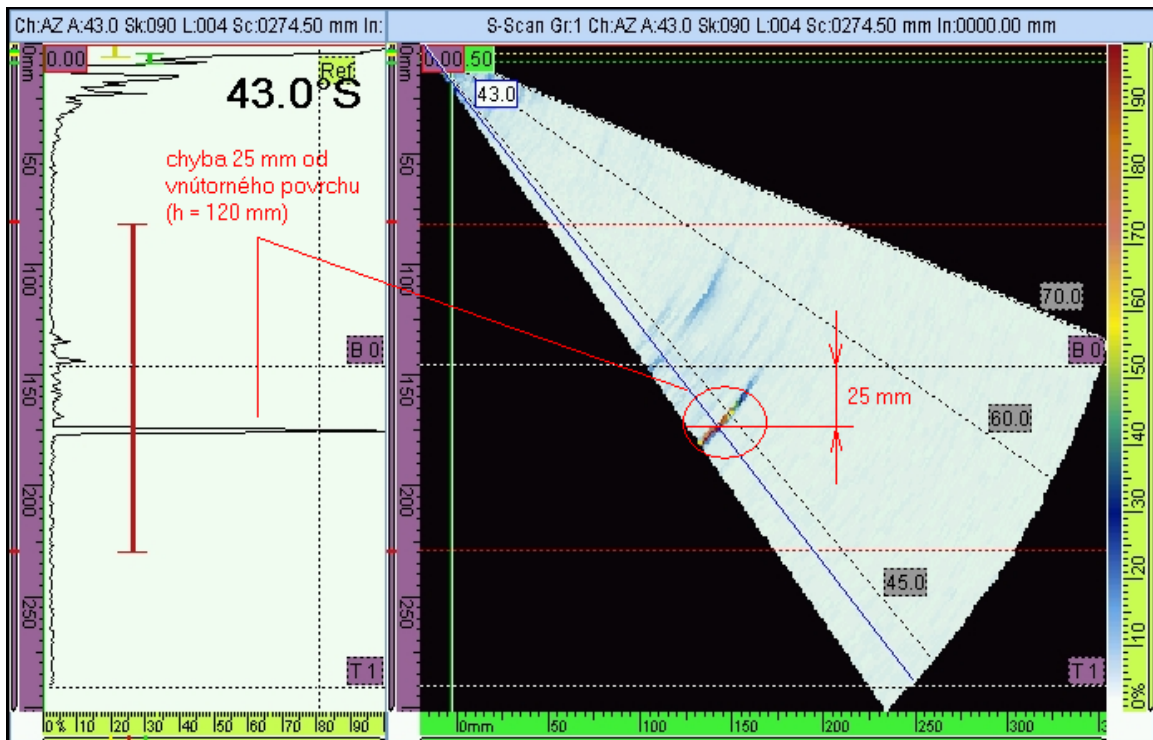
Obr.4 Vytvorenie posúvajúceho sa zväzku technikou phased array (Tzv Lineárny scan)

Príklad : Posúdenie chyby v úkose zvaru

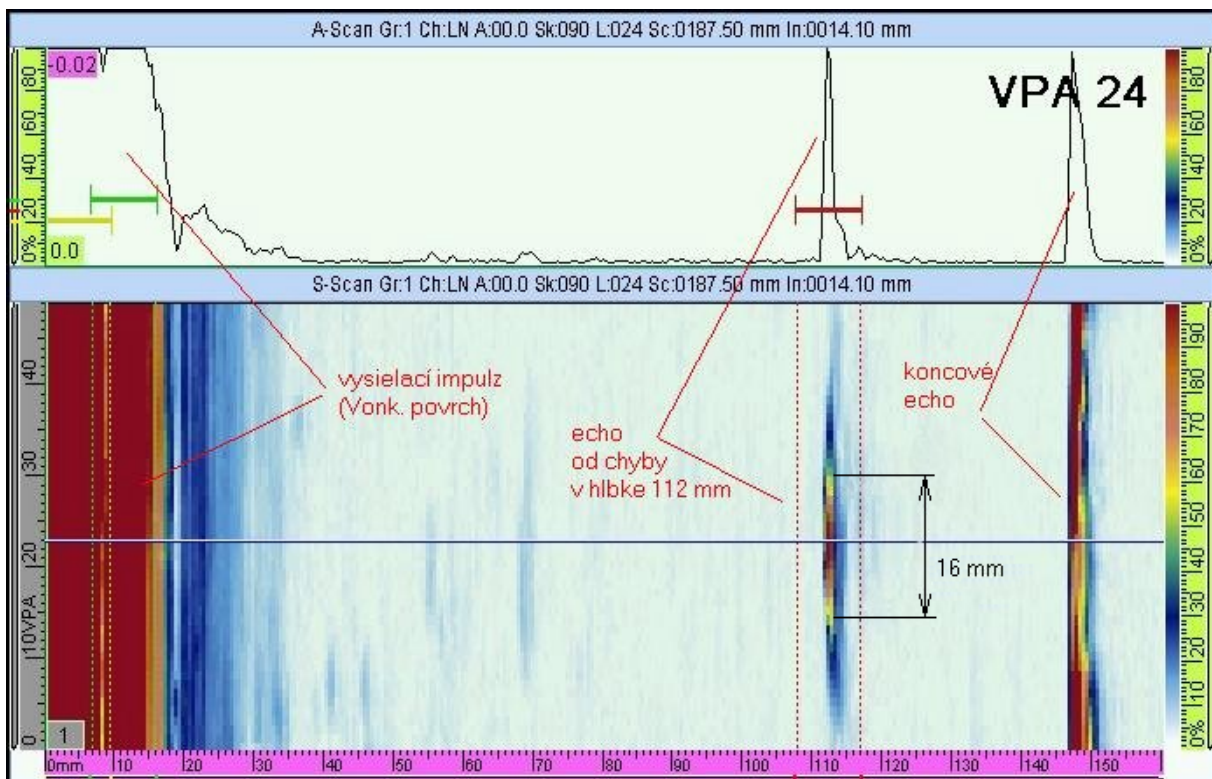
Zvary tlakovej nádoby o hrúbke steny plášťa 145 mm, ktorá je v súčasnosti v prevádzke viac ako 25 rokov boli pri pravidelných odstávkach skúšané ultrazvukom rovnakým postupom ako pri výrobe t.j. manuálne klasickou odrazovou metódou. Už pri výrobe bola v jednom zo zvarov zistená chyba, ktorej dĺžkový rozmer sa pohyboval tesne pod hranicou prípustnosti. Vzhľadom na tento fakt bol daný úsek zvaru v pravidelne pri odstávkach zariadenia skúšaný ultrazvukom s cieľom zistiť, či nedochádza k rozvoju defektu. Sledovanie defektu bolo dlhodobo vykonávané prostriedkami zopovedajúcimi danému stavu techiky, t.j. vzhľadom na rok výroby, manuálnym skúšaním s hodnotením amplitúdy a dĺžky defektu metódou poklesu o 6dB. Na Obr. 5 je echogram defektu v mieste max. amplitúdy pri skúšaní sondou typ WB frekvencie 2MHz podľa skúšobného postupu výrobcu. Na Obr.6 - Obr. 8 je ultrazvukový obraz toho istého defektu pri prezvučovaní technikou phased array.



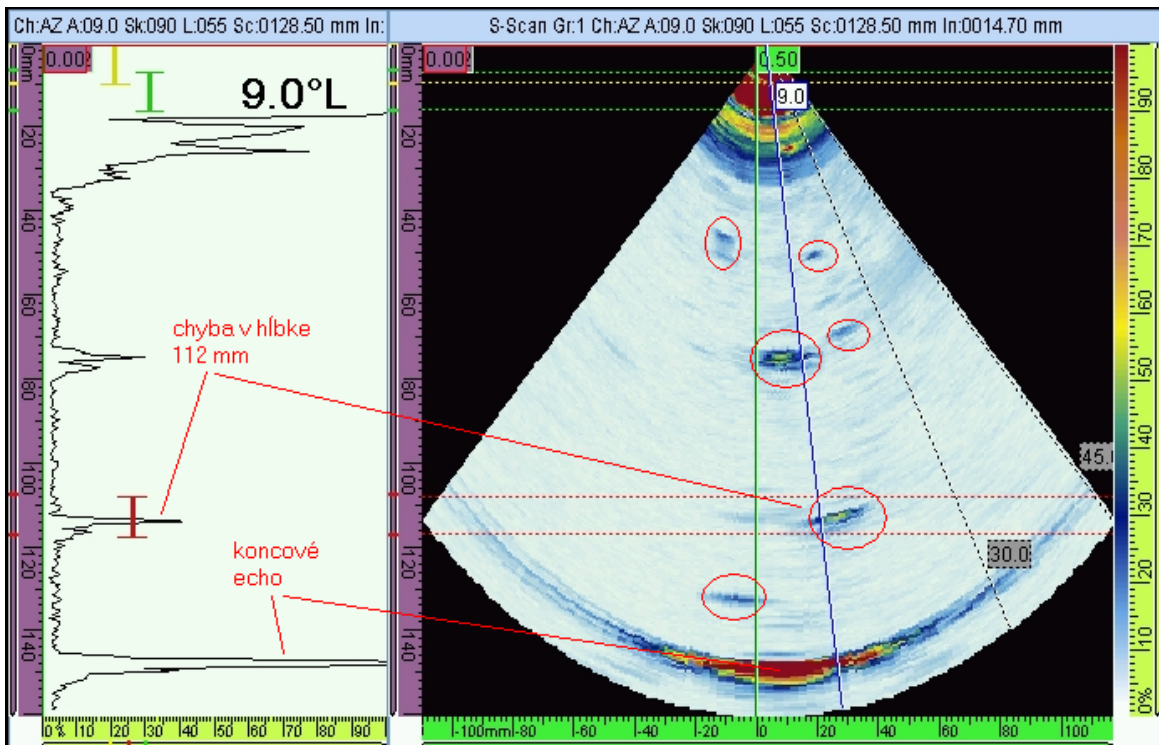
Obr.5 Chyba v úkose zvaru pri prezvučovaní štandardou technikou



Obr.6 Sektorový scan chyby z predošlého obrázku priečnou vlnou 2,25 MHz 40° - 70°



Obr.7 Tá istá zobrazená v B-scan sondou 5MHz phased array s apertúrou 50 mm.



Obr.8 Sektorový scan prierezom zvaru na rovnakom mieste.

Ako je na obrázkoch vidieť, v danom mieste zvaru nie je jediný defekt ako by sa zdalo z A-scanu na Obr.5 . Už pri sektorovom prezvučovaní priečnou vlnou 40° - 70° (Obr.6) je vidieť, že v danom mieste je viac hoci menších defektov. Podobne je to vidieť v B-scane (Obr.7) a najlepšie pri prezvučovaní pozdĺžnou vlnou 5MHz v sektore -45° až $+45^{\circ}$ (Obr.8). Je zrejmé, že v tomto prípade dáva skúšanie technikou phased lepšiu predstavu o rozložení defektov v skúšanom objeme. Ak je dĺžka defektu je kratšia ako apertúra sondy, je možné z lineárneho scanu (bez pohybu sondy) zistiť prípadný nárast rozmerov defektu skôr a presnejšie ako manuálne na základe merania výšky a dĺžky defektu z posunu sondy po skúšobnom povrchu. Nezanedbateľný je aj fakt, že v sektorovom obraze a B-scane možno pomerne ľahko na základe lokálnych farebných rozdielov identifikovať aj malé chyby a difrakčné echá, ktoré sú v A-scane ťažko rozoznateľné od šumu.

Záver

Ultrazvukové skúšobné techniky TOFD a phased array môžu byť veľmi užitočné najmä v situáciách, kedy sa rozhoduje o prípustnosti defektov spôsobených dlhodobou prevádzkou a kedy si klasickou skúšobnou technikou nie je možné vytvoriť dostatočne verný obraz defektov. Ukazuje sa, že pre účely materiálovej diagnostiky dlhodobo prevádzkovaných zariadení chemického priemyslu a energetiky sú oveľa vhodnejšie ako klasická ultrazvuková technika. Techniky phased array a TOFD, vrátane klasickej, dnes už viacerí výrobcovia integrujú do jediného prenosného a z batérií napájaného prístroja. Príkladom môže byť OMNISCAN MX firmy R/D Tech., ktorým boli vykonané aj merania opísané v tomto príspevku.