

## **Porovnanie výsledkov meraní s jednoneničovými a phased array sondami pri ultrazvukovej kontrole keramických izolátorov VVN.**

**Pavol Kučík**

Pri prenosovej sústave vysokého napätia 440 kV v Slovenskej republike dochádzalo v posledných rokoch k výrazne vyššiemu počtu havárií. Náklady spojené s prerušením dodávky elektrického prúdu a taktiež aj následným odstránením poruchy sú veľmi vysoké. Už v roku 1997 sa pristúpilo ku komplexnému hodnoteniu stavu tyčových keramických izolátorov na vedeniach VVN. Jednotlivými skúšobnými metódami a vzájomným porovnávaním dosiahnutých výsledkov sa malo dosiahnuť objektívne zhodnotenie doterajšieho stavu a posúdenia životnosti izolátorov na vedeniach.

Použitie nedeštruktívnej metódy ultrazvukom sa ukázalo ako najúčinnější metóda pri kontrole exponovaných tyčových izolátorov bez ich mechanického porušenia. Výsledky z ultrazvukovej kontroly napomohli užívateľovi s vysokou pravdepodobnosťou rozhodovanie o stave jednotlivých vedení a plánovaní výmen keramických izolátorov na jednotlivých líniiach vedenia VVN 440 kV.

### **Komplexná metodika kontroly izolátorov.**

Kontrola posudzovania stavu izolátorov sa zamerala na využitie nedeštruktívneho skúšania pomocou ultrazvuku, metalografickú analýzu, chemický rozbor a riešenie vzniku a šírenia priečných trhlín (tzv. lupienkového lomu) metódou konečných prvkov.

Komplexná faktografická analýza potvrdila, že prevádzková havária je v prevažnej časti sprevádzaná vrstevnatým lomom v časti armatúry izolátora. Pre prevádzkové havárie keramických izolátorov bol charakteristický lom pri okraji armatúry (zvyčajne hornej), do ktorej je izolátor zaliaty. Po vytavení zvyšku havarovaného izolátora z armatúry sa keramická hmota buď samovoľne alebo pri minimálnom mechanickom namáhaní delila na relatívne hrubé vrstvy.

Z havarovaných izolátorov boli po vytavení, pokiaľ to bolo možné, pripravené pozdĺžne rezy. V strednej časti havarovaných izolátorov bola zistená hustá sieť v objeme uzavretých trhlín, zatiaľ čo v obvodovej časti izolátorov bolo trhlín podstatne menej a zvyčajne prechádzali celým prierezom izolátora.

O možnosti relatívne dlhodobého porušovania keramických izolátorov svedčí i charakter a rozsah porušenia, viditeľný na pozdĺžnych rezoch zaliatej časti izolátorov, ktorý zodpovedá postupnému šíreniu defektnej časti v smere od konca izolátora k okraju armatúry. K finálnemu porušeniu izolátora pravdepodobne dochádza až po rozšírení defektného miesta do blízkosti okraja armatúry.

Všetky tieto skutočnosti vyústili do rozhodnutia venovať sa najmä využitiu kontroly izolátorov pomocou ultrazvuku aby sa odhalili skutočne poškodené izolátory.

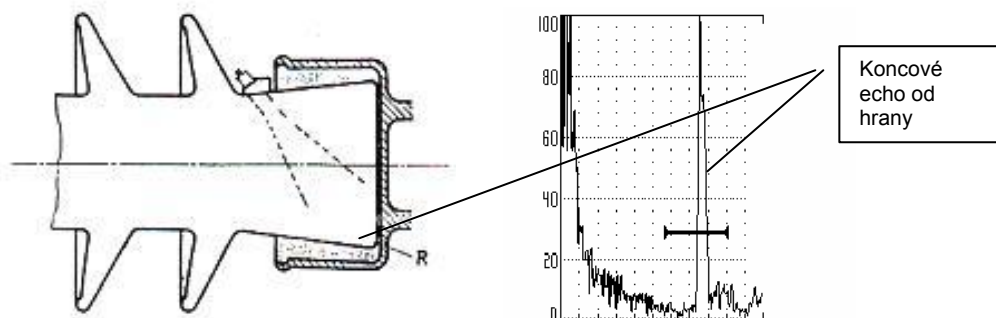
### **Spôsob ultrazvukovej kontroly izolátorov**

Metalografickou analýzou sa zistilo, že dôsledkom interakcie viacerých vplyvov pri prevádzke u niektorých izolátorov vznikajú rozovreté a dlhé trhliny, ktoré siahajú od okraja izolátora až do strednej časti prierezu, prechádzajú tieto celou hrúbkou izolátora uzavretého v armatúre až sa pretrhnú. Toto šírenie alebo rozvinutie trhlín sme nazvali tzv. „lupienkový lom“.

Z tohto vyššie spomínaného dôvodu sa začala orientovať kontrola pomocou ultrazvuku prevažne na zatmelené konce izolátora a zisťovanie stavu zatmeleného konca.

Na meranie sa používa špeciálna uhlová jednoneničová sonda, 4-5 MHz, ktorá je prispôbena zakriveniu izolátora, jeho priemeru a zabezpečuje šírenie ultrazvukového signálu pod uhlom v rozmedzí  $40^{\circ}$  –  $45^{\circ}$  a nasledovný odraz od zatmelenej okrajovej hrany. K meraniam bol použitý

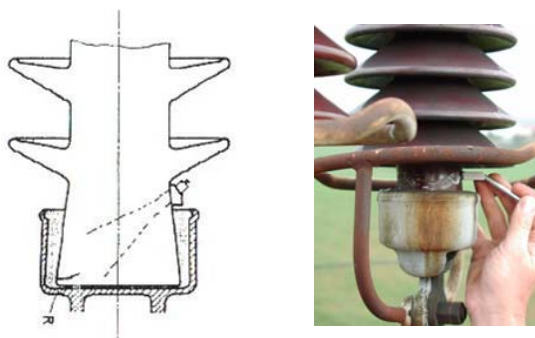
klasický prenosný ultrazvukový defektoskop Epoch III alebo Epoch IV. Princíp merania je zrejмый z nižšie uvedených obrázkov.



Obr. 1 - Záznam ultrazvukovej kontroly izolátora bez chyby

### **Kontrola izolátorov priamo na stožiaroch.**

Nakoľko bola plánovaná preizolácia niektorých vedení, pristúpili sme ku kontrole ultrazvukom priamo na zavesených izolátoroch na vypnutom vedení VVN. Princíp merania je zrejмый z nižšie uvádzaného obrázku.



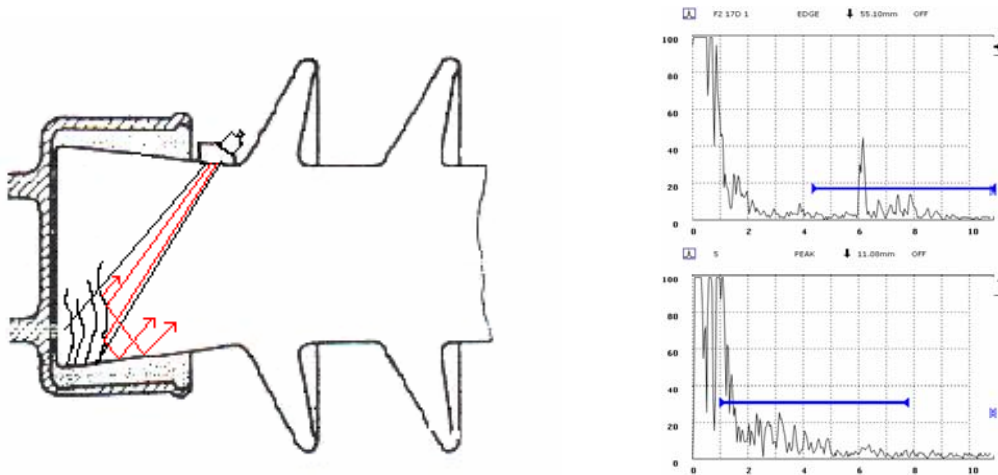
Obr. 2 – Detail merania na vedení

Kontrolu sme vykonávali s vysokozdvížnej plošiny alebo aj priamo z lanových závesov. Merania nám odhalili niekoľko izolátorov s rozvinutým lupienkovým lomom, čo sa potvrdilo neskôr aj po ich rozrezaní.



Obr.3 – Meranie ultrazvukom na vedení z vysokozdvížnej plošiny a z lanových závesov

Použitie jednoneničovej uhlovej sondy so zbrúsením predšádky do polomeru vonkajšieho obvodu izolátora v mnohých prípadoch veľmi spoľahlivo odhalilo chyby alebo indikácie typu rozvinutého lupienkového lomu ako je to na obr. 4., kde to potvrdilo následné rozrezanie, obr. 5. Rozvinutá sieť trhlín neumožňuje odraz od hrany, preto koncové echo vymizne a objavujú sa náznaky poruchových ech od lomových plôch. Tieto ale nemusia byť vhodne orientované a vtedy sa echá neobjavia.

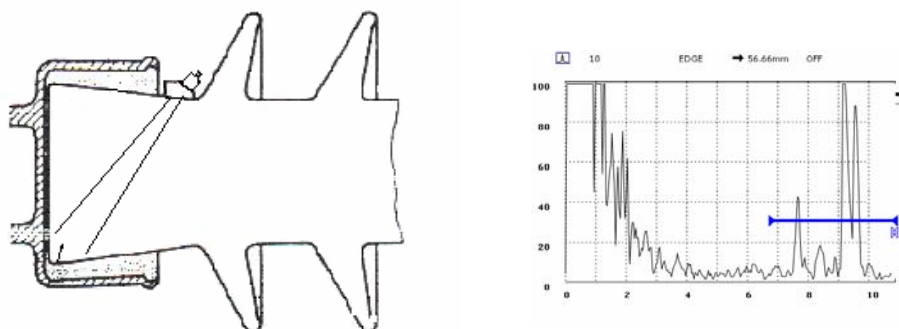


Obr. 4 – Záznamy pri rozvinutom lupienkovom lome

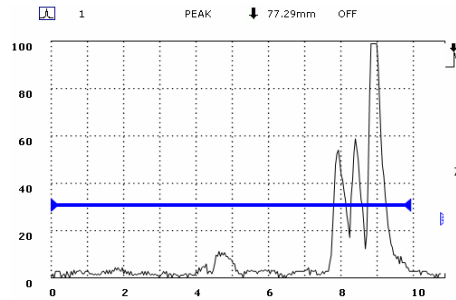
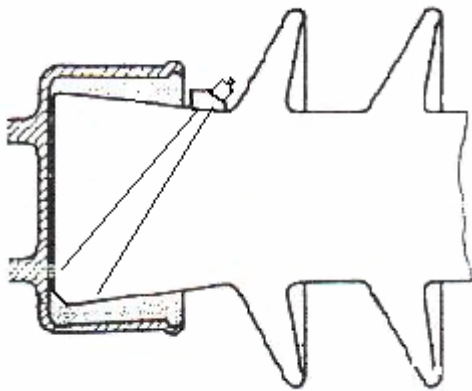


Obr. 5 – Rozvinutý lupienkový lom

Vyskytli sa prípady izolátorov, kde chyby neboli jednoznačne identifikované. Išlo o zle zbrúsenie hrany na zatmelenom konci izolátorov, obr. 6 alebo len lokálne vylúpenia zatmeleného konca, obr. 7.



Obr. 6 – Záznam začínajúceho lupienkového lomu



Obr. 7 – Záznam zbrúsenej hrany alebo vylúpenia hrany

Tieto chyby, ktoré sa prejavujú satelitným echom, v blízkosti koncového echa od hrany, potvrdilo opäť až následné rozrezanie izolátorov obr. 8.

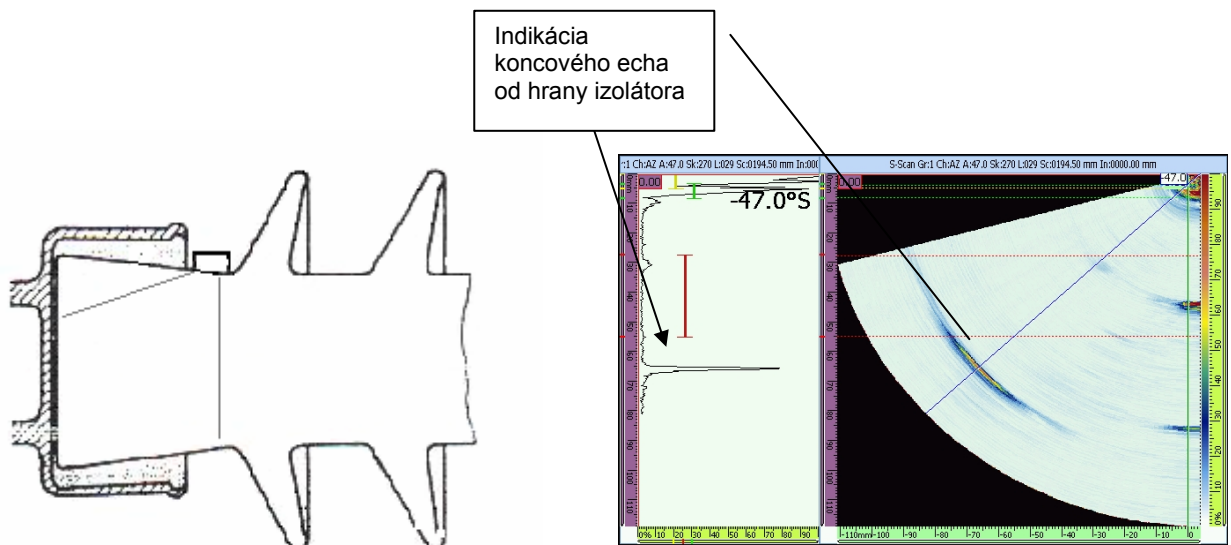


Obr. 8 – Začínajúci lupienkový lom č.263 a lokálne vylúpenie konca č.338/4

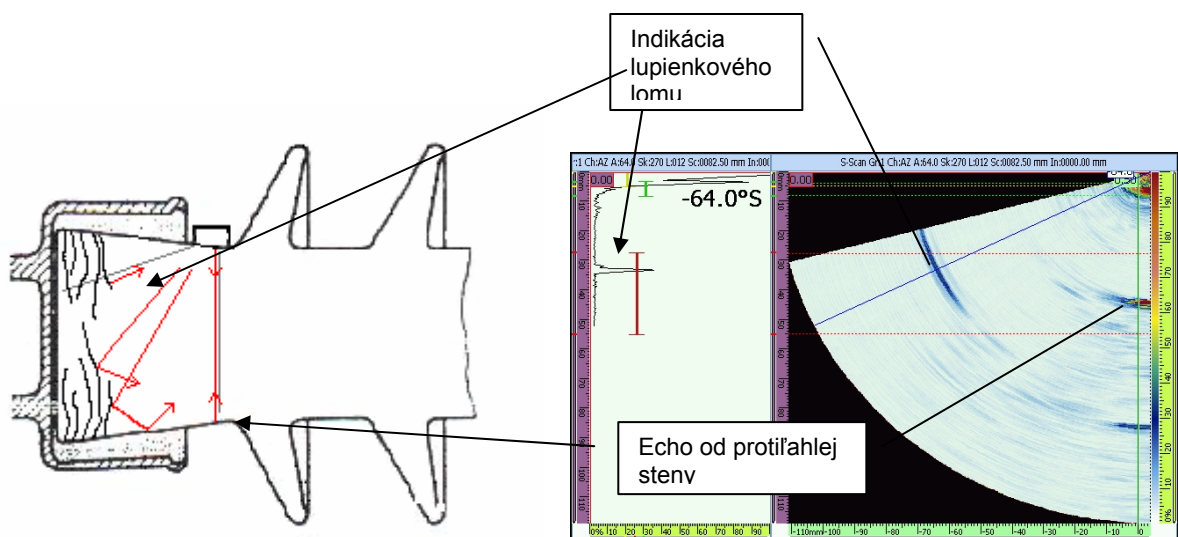
Pri záznamoch s jednomeničovou sondou sa často krát môže urobiť chyba a vyhodnotiť záznam ako neprípustný, čiže hodnotiť zavesený izolátor ako chybný s vyskytujúcim sa lupienkovým lomom. V opačnom prípade sa zasa môže podceňiť vyhodnotenie záznamu - kontroly a prehliadnuť začínajúci sa rozvoj lupienkového lomu.

Tým že uhlová sonda má veľmi malú plochu pre dostatočný posuv a pohyb v smere osi izolátora, taktiež aj smerovanie ultrazvukového zväzku na odrazovú hranu nie je vždy ideálne, pretože aj zatmelenie konca izolátora nie je v rovnakej dĺžke jeho konca.

Zavedením techniky phased array v ultrazvukovom skúšaní nám umožnilo odstrániť aj tieto problémy hlavne pri sporných záznamoch. Pri meraniach sme použili 16 meničovú sondu, 5 MHz a zariadenie Omniscan PA. Takouto sondou sme prakticky nemuseli posúvať v smere osi izolátora, len po jeho obvode. Popri tom sme však mali oveľa širší pohľad, priestorové zobrazenie stavu kontrolovaného objemu. Zvolili sme uhlový rozsah  $0^{\circ} - 75^{\circ}$  a rozlíšenie sme zvolili v krokoch po  $1^{\circ}$ .



Obr. 9 – Meranie a záznam neporušeného izolátora pomocou sondy phased array



Obr. 10 – Meranie a záznam izolátora s rozvinutým lupienkovým lomom pomocou sondy phased array

## Záver

Použitie ultrazvukovej kontroly sa pri testovaní keramických izolátorov ukázalo ako veľmi významný prínos pre možnosť správnej, jednoduchej a rýchlej detekcie chýb na zavesených izolátoroch vedení VVN. Umožňuje prevádzkovateľovi vykonávať kontrolu na zavesených izolátoroch bez ich porušenia a ponecháva ho posúdiť stav a rozhodnúť, či je nutné preizolovávať jednotlivé vedenia. Takáto možnosť dosiaľ nebola a preto dáva ultrazvuková kontrola do rúk prevádzkovateľa nový typ diagnostiky vedení.

Vznik lupienkového lomu sa zdá byť pre danú geometriu izolátora a armatúry prirodzeným mechanizmom porušenia ale nutne vyžaduje aj technologickú chybu z výroby. Vieme vysvetliť, že poškodenie sa vyvíjalo postupne a dlhodobo aj napriek tomu, že v keramike sa nepredpokladá ani

degradácia vlastností, ani klasický únavový mechanizmus porušovania, známy z kovových materiálov (pohyb dislokácií). Nie všetky izolátory tohto typu na vedení budú nutne padať alebo havarovať – padnú iba tie, kde je kritické vyosenie v nepriaznivom smere, poškodenie typu vylúpenia, zlého zatmelenia a i tieto len vplyvom istého počtu kritického zaťaženia (vietor, sneh, námraza a pod.)

Z hľadiska štatistického vyhodnotenia bola vykonaná v období 1997 -2004 ultrazvuková diagnostika **61 havárií. Z tohto sa potvrdilo v 56 prípadoch, že príčinou havárie bol lupienkový lom.**

Okrem spomínanej diagnostiky havarovaných izolátorov bolo podrobených hore uvedeným ultrazvukovým skúšobným metódam v rokoch 1997 až 2004 celkovo **2252 ks izolátorov** buď priamo na VVN vedeniach alebo na zvesených izolátoroch .

Z tohto celkového počtu sa našli celkovo **3% izolátorov**, ktoré mali rozvíjajúci sa alebo značne rozvinutý lupienkový lom. U ďalších **5,4 % izolátorov** sa potvrdilo poškodenie zatmeleného konca izolátora, čo môže mať značný vplyv na vznik a rozvoj rastu lupienkového lomu.

Len analýza chýb pomocou ultrazvuku phased array však zaznamenala 100% úspešnosť.

---