



# Radarové snímače výšky hladiny – fakty a mýty

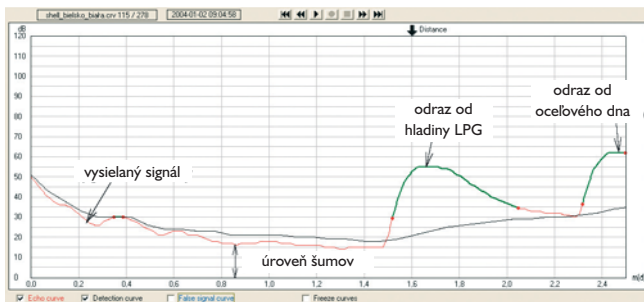
Medzi mnohými metódami merania výšky hladiny sa v posledných rokoch vynímajú bezdotykové metódy – vyznačujúce sa jednoduchou montážou, pružnosťou z hľadiska konštrukcie, neprenášajúce mechanické namáhania na konštrukciu snímača a použiteľné na meranie kvapalín aj sypkých materiálov.

Obzvlášť veľkej pozornosti sa teší radarové meranie výšky hladiny v zásobníkoch využívajúce princíp odrazu elektromagnetických vln. V súčasnosti možno v každom špecializovanom časopise nájsť články a reklamy, ktoré veľmi vychvalujú túto metódu, ale aj také, ktoré sú k nej v podstate kritické. Vychádzajúc z týchto rozdielnych pohľadov som si predsavzal predstaviť v tomto článku niekoľko všeobecných informácií o radarovej technológii a vyvrátiť niektoré mýty vytvorené kritikmi tejto metódy merania.

Treba zdôrazniť, že nejde o obchodnú prezentáciu, ale predovšetkým o moje osobné skúsenosti získané oživovaním a servisovaním viac ako 400 radarových snímačov za posledných 12 rokov. Častočne používam aj informácie čerpané z odbornej literatúry týkajúcej sa morskej navigácie, riadenia leteckej prevádzky alebo vojenských aplikácií.

## Základy

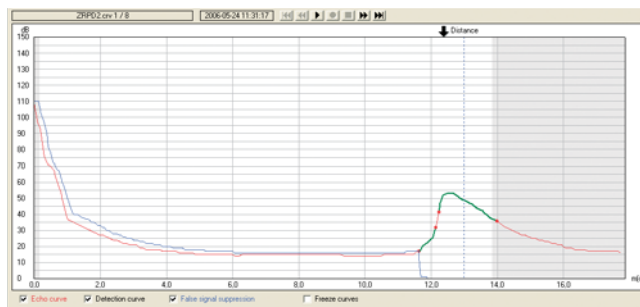
Nevyhnutným predpokladom diskusie na tému radarových snímačov je znalosť fyzikálnych princípov, ktoré sa pri meraní výšky hladiny využívajú. Radarové zariadenia využívajú elektromagnetické vlnenie, teda presne také isté ako televízia, rádio, bezdrôtový internet, mikrovlnné rúry, atď. Existuje však jeden zásadný rozdiel: radary pracujú vo vyšších frekvenciách, t. j. od 6 do 26 GHz. Štandardom sa stali zariadenia s „pevným“ rozsahom frekvencií (bez modulácie), pretože frekvencie 6 GHz alebo 26 GHz nevyžadujú povolenie na individuálne použitie (podobne ako napr. siete WiFi – 2,4 GHz).



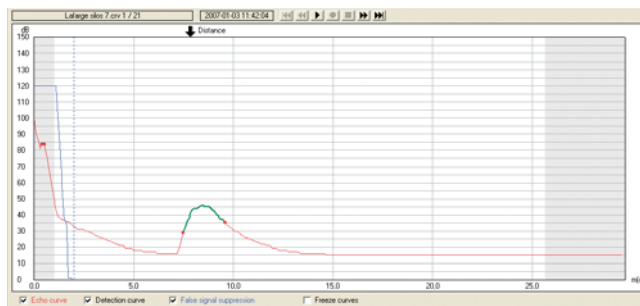
Obraz typických radarových odrazov

Vďaka tomu sa môžu inštalovať aj zvonku zásobníkov, napr. na meranie výšky hladiny v otvorenom kanáli/v rieke, v plastových zásobníkoch, na pohyblivých dopravných pásoch pri otvorených skládkach, v antiko-líznych prijímačoch atď.

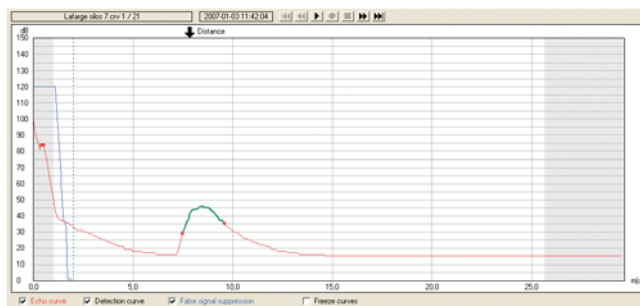
Radar je v skutočnosti veľmi presným meradlom schopným merať nepredstaviteľne malé úseky času, počas ktorých vysielaná vlna dopadá na povrch meraného média, odráža sa a vracia späť k prijímaču (vzdialenosť 1 m prekoná elektromagnetická vlna za 8 ns). Radarové vlny sa šíria vo všetkých plynch, ale aj v kvapalinách a tuhých látkach (dochádza v nich k silnému útlmu) v prípade, že sú dielektrikami (teda nevedú elektrický prúd).



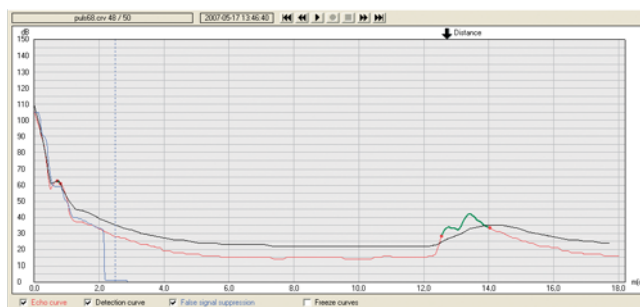
Obraz odrazov od popola



Obraz odrazov od cementu



Obraz odrazov od vápna (v aplikácii odsierania spalin)



Obraz odrazov od drevných štiepok (vlhkosť < 3 %)



Už prvé poznatky v 19. storočí ukázali, že vlny sa odrážajú od prekážok a že stupeň ich odrazu nezávisí od tvrdosti povrchu (ako v prípade ultrazvukových vln), ale od konštanty nazývanej permitivita – dielektrická konštanta (v anglickej literatúre DK – dielectric constant). Túto konštantu možno ľahko vysvetliť: určuje, kolkokrát narastie kapacita kondenzátora vyplneného vzduchom po vyplnení priestoru medzi elektródami ľubovoľným materiálom (v prípade vodivých látok je 1 elektróda izolovaná).

Dielektrická konštanta vyjadruje, koľko energie je materiál schopný odraziť. Tak napr. vodivé kvapaliny a ocel odrážajú 100 % na nich dopadajúcej energie, voda má  $\epsilon_r$  (DK) = 80, ale už stlačený zemný plyn LPG má  $\epsilon_r$  = 2, popol má  $\epsilon_r$  = 3 a suché drevné štiepky majú  $\epsilon_r$  = 2,3 – odrážajú len niekoľko percent dopadajúcej energie.

Ako vidno na obrázku odrazov pri meraní výšky hladiny kvapalného zemného plynu LPG, ktorý odráža sotva 4 % vlnenia, nepredstavuje to v súčasnosti žiaden problém. Úspechy v elektronike umožňujú aj meranie materiálov, ktoré odrážajú len 2 – 3 % energie.

Ešte pred 6 rokmi sa nedala merať výška hladiny suchých drevných štiepok, perlitu alebo plastového granulátu a pred niekoľkými rokmi môj kolega „pohorel“ aj na tradičnom zásobníku s mazutom. V súčasnosti ostáva výzvou už len niekoľkou materiálov, napr. penový polystyrén, kvapalné materiály na výrobu PET, celulóza či sklo na výrobu svetlôdov (ale nie črepy!). 99 % materiálov, ako je popol, vápno, sadra, cement, mazut, benzín, drevné štiepky, sklenené črepy, perlit, granuláty PP alebo PE, už päť rokov nepredstavuje problém pri radarovom meraní výšky.

Na obrázkoch vidno, že permitivita drevných štiepok je vyššia ako v prípade vápna alebo popola; vápno je určite trochu vlhké, keď tak dobre odráža vlnenie.

### Rušivé vplyvy na elektromagnetické vlnenie

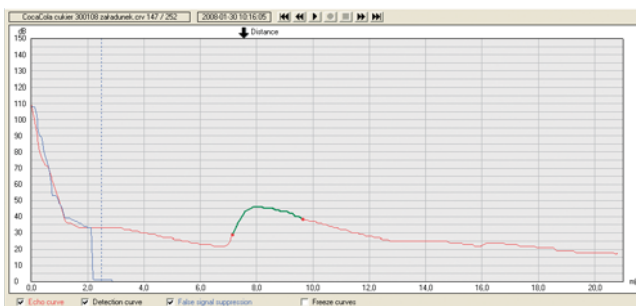
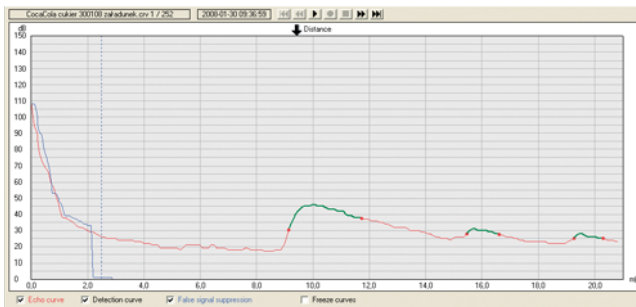
Dôvod, ktorý viedol armádu k používaniu „centimetrových“ elektromagnetických vln (dĺžka vlny, ktorú využívajú radary, je najčastejšie od 1 do 5 cm), je vo výkone vysieláčov: znížený výkon 650 W navigačného radaru TRN-311 zo 70. rokov minulého storočia umožňoval detekciu v rozsahu 45 km.

Snímače, ktoré sa používajú na meranie výšky hladiny do rozsahu 70 m, sa „uspokojujú“ s výkonom 80 mW (výkon jedného impulzu je do 0,7 mW, na porovnanie laserová dióda na merací rozsah do 30 m vyžaduje impulzný výkon 45 W). Navyše radarový lúč možno jednoducho smerovať pomocou antény v tvare paraboly alebo kužeľovej antény vyrobenej z nehrdzavejúcej ocele.



VEGAPULS 68 s parabolickou a kužeľovou anténou

V mnohých reklamách na iné prístroje sa stretávame s formuláciami typu: „zaprášenie spôsobuje problémy pri meraní radarom“ alebo „nemožno aplikovať v prostrediach so silným zaprašéním“. Môže to



Ako vidno, intenzita signálu vo vzdialenosti 8 m klesla presne o 0 dB

vytvárať pochybnosti o použiteľnosti radarov: pri lokalizácii predmetov alebo lietadiel počas atmosférických porúch alebo pri meraní výšky hladiny sypkých materiálov. Takého predstavy vytvára veľmi silná absorpcia (pohlcovanie) svetelného lúča v prachu alebo hmle.

Podľa mojich skúseností a informácií z odbornej literatúry je to v skutočnosti úplne opačne. Tu sú dva obrázky z časového záznamu odrazov počas pneumatického plnenia zásobníka práškovým cukrom: jeden pred plnením a druhý počas transportu cukru z autocisterny.

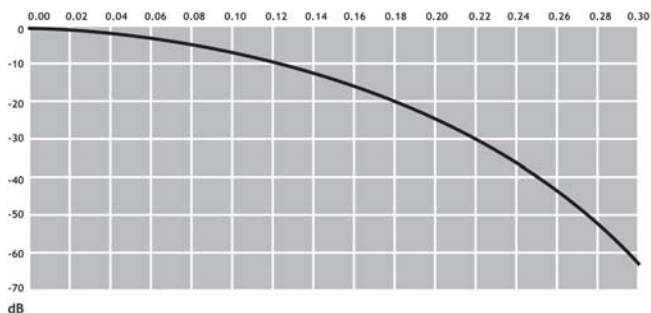
Odpoveď na otázku, prečo nenastalo rozptýlenie signálu, možno nájsť v množstve publikácií, napr. s tematikou navigácie alebo vojenských aplikácií. V knihe „Radar v Žegludze Morskiej“ sa uvádza, že „pieskové búrky vyskytujúce sa v istých pásoch pri Červenom mori, Perzskom zálive (...), ktoré sa zmyslom javia podobne ako hmla, znižujú dosah radarov (okolo 50 km) len v nepatrnom stupni“, a Jarosław Szostka navyše tvrdí, že v rozsahu do 30 GHz sa prakticky neprejavuje vplyv hmly, snehu a aerosólov. Tieto stanoviská sú v úplnom protiklade k názorom zo spomínaných reklám.

Podstatným faktorom pri útlme akéhokoľvek vlnenia je vlnová dĺžka, na ktorej zariadenie pracuje, s ohľadom na veľkosť častíc, napr. zrníčka piesku, prachu alebo častičky vodnej pary. Ak je dĺžka vlny niekoľkonásobne väčšia ako priemer častičiek, rozptyl vlnenia je taký slabý, že pri rozsahu merania pod desať kilometrov ho ťažko vôbec identifikovať. Situácia je presne opačná, ak je dĺžka vlny podobná alebo menšia ako priemer častičiek, napr. laser má vlnovú dĺžku 1  $\mu\text{m}$  a častičky vodnej pary majú priemer minimálne 10  $\mu\text{m}$ . V takom prípade sa vlnenie úplne rozptýli alebo úplne odrazí od častičky: napr. laser sa neodporúča používať v prípade výskytu hmly alebo silného zaprašenia počas pneumatického plnenia, ale je ideálny na meranie výšky stúpajúcich oblakov, čo nie je schopný určiť žiaden radar.

Z obrázka miery útlmu elektromagnetických vln vyplýva, prečo potrebujú zariadenia s dĺžkou vlny 1  $\mu\text{m}$  (laser) na vysielanie 50 000-krát väčšiu energiu ako tranzistor emitujúci elektromagnetické vlny s 10 000-krát väčšou vlnovou dĺžkou.

Inou výhodou elektromagnetických vln je prakticky zanedbateľná zmena rýchlosti šírenia vlny pri zmene teploty: je to presne 0,26 % pri zmene o 1 000 °C – (na porovnanie ultrazvuková vlna má zmenu rýchlosti až 1,6 % na 10 °C).

To sa však nedá povedať o pôsobení tlaku. Zmena rýchlosti radarovej vlny na úrovni 0,029 % pri tlaku 1 bar pri meraní sypkých materiálov či kvapalín v typových zásobníkoch ešte nie je výrazná. V špeciálnych aplikáciách, napr. v energetike, kde sa meranie môže realizovať pri vy-



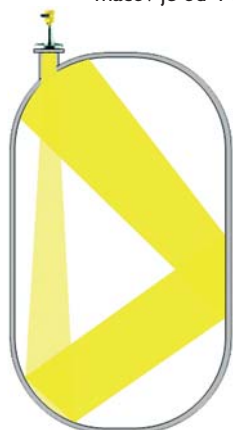
$$\text{útlm elektromagnetických vln} = \frac{\text{priemer častice}}{\text{dĺžka radarovej vlny}}$$

**Miera útlmu elektromagnetických vln**

sokom tlaku nasýtenej vodnej pary, však chyba merania vzrastie na 2 % pri tlaku 10 bar, 8 % pri 50 bar a pri tlaku 160 bar je chyba až 40 % (hoci pri vzduchu je pri tomto tlaku chyba len 3 % a pri vodíku 2 %). Problémom sú v tomto prípade špecifické vlastnosti vodnej pary, ktorá spôsobuje výrazný pokles rýchlosti šírenia elektromagnetickej vlny pri veľmi vysokých tlakoch.

**Falošné odrazy – problém alebo mýtus?**

Typickým javom vystupujúcim pri meraniach výšky hladiny pomocou radarových alebo ultrazvukových snímačov sú falošné alebo viacnásobné odrazy. Časť radarového lúča sa vysiela iným smerom, ako je dno zásobníka, alebo napr. v smere do stien. Vysielací uhol radarových snímačov je od 4 do 30° v závislosti od antény.



**Odrazy radarových vln v kovovom zásobníku**

Odraz signálu od samotnej steny nie je žiadnym problémom, pretože v súlade s princípmi šírenia vlnenia, ktoré sa vracia do prijímača, sa vyhodnocujú výlučne odrazy od predmetov, ktorých povrch je približne v kruhovom zväzku.

Problémom však môže byť prípad, keď sa na bočnej stene nachádza výstupok alebo nános materiálu, ktorého tvar umožňuje odraz vln v smere k anténe. V takom prípade platí zásada: ak je odraz od materiálu silnejší ako akýkoľvek falošný odraz, stačí vykonať štandardnú procedúru „učenia sa falošných odrazov“, spočívajúcu v zápise a eliminácii všetkých odrazov v prázdnom zásobníku. Inou situáciou je,

ak je falošný odraz silnejší ako odraz od materiálu. Takáto situácia nastáva len vtedy, ak radar inštalujeme:

- bezprostredne nad vystupujúcou oceľovou konštrukciou,
- bezprostredne nad plniacim otvorom kvapaliny alebo sypkého materiálu,
- veľmi blízko steny, najčastejšie sotva 10 – 20 cm.

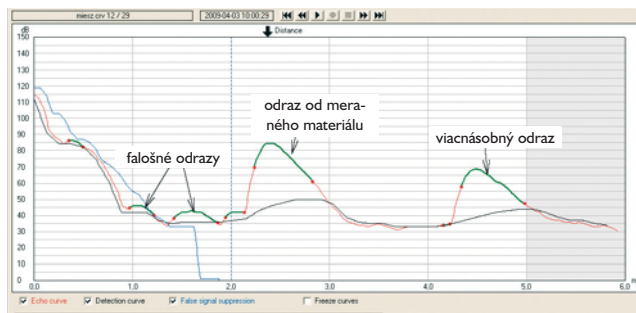
Problém sa objaví v prípade, ak do veľkého zásobníka nainštalujeme radar s anténou s malým priemerom, teda s veľmi širokým uhlom lúča.

V prípadoch, keď najsilnejší odraz je odraz falošný a procedúra eliminácie falošných odrazov je málo účinná, je riešením:

- zmena umiestnenia radaru,
- použitie antény s väčším priemerom, teda zúženie vysielacieho uhla lúča.

Druhým typom problémov sú viacnásobné odrazy, teda také, ktoré sa po odraze od meraného materiálu v skutočnosti vracajú k prijímaču až po viacnásobnom odraze (napr. od steny). Tento problém bol veľkou výzvou 80. rokov. V súčasnosti je jeho riešenie veľmi jednoduché: viacnásobné odrazy sa jednoducho eliminujú funkciou sčítania prvého odrazu, čo rieši 100 % aplikačných problémov.

Montážne návody alebo jednoduché základy fyziky stačia na to, aby sa vylúčili falošné odrazy spôsobené nesprávnou inštaláciou.



**Funkcia sčítania prvého odrazu**

Pri tejto príležitosti vždy zdôrazňujem, že nie sme schopní zmeniť zákony fyziky v smerovaní lúča a niekedy nemáme ani možnosť nainštalovať radarový snímač z dôvodu niektorých obmedzení: veľmi malé montážne prichytenie, nedostatok miesta na inštaláciu (veľmi blízko k stene) atď.

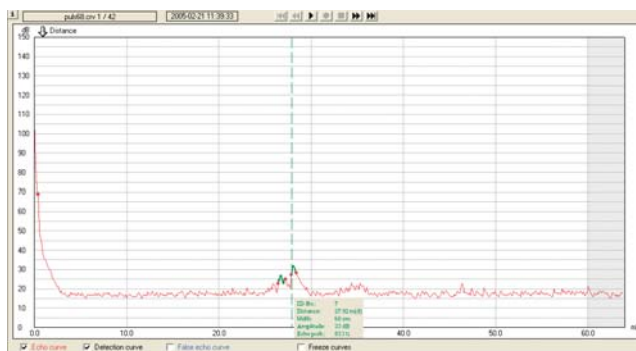
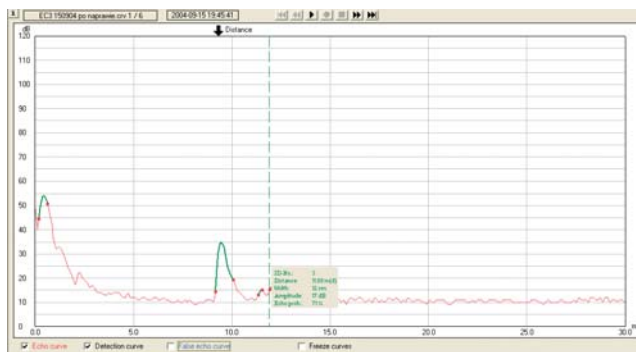
Rovnako treba pripomenúť, že aj veľmi úzky lúč má jeden nedostatok: snímač umiestnený blízko stredu zásobníka, v ktorom sa tvoria nasypacie a vyprázdňovacie kužele, realizuje len „bodové“ meranie výšky a to nie je pri určovaní množstva materiálu ideálne. Preto v prípade, keď nás viac zaujíma množstvo alebo hmotnosť materiálu, je výhodnejšie použiť anténu so širším lúčom (možno nastaviť automatické spriemerovanie výšky).

**Konštrukcia radaru**

Radar pozostáva v skutočnosti z dvoch častí, ktoré rozhodujú o jeho kvalite: elektroniky a antény. Každá z týchto častí je veľmi dôležitá, ale len spolu tvoria „zohranú a nedeliteľnú dvojicu“.

Elektronika snímačov sa najčastejšie vyrába v dvoch verziách: s nižším výkonom pre kvapaliny (povrch je rovný) a s o niečo vyššou presnosťou ±3 mm, alebo univerzálna elektronika s väčším výkonom na doplnkovú kompenzáciu strát vysielanej energie na šikmých povrchoch sypkých materiálov alebo v pene (signál je zvyčajne silnejší o 30 dB, teda 1 000-krát oproti prvej verzii), pričom táto elektronika má trochu horšiu presnosť na úrovni ±15 mm.

Všeobecne nie sú pri výbere elektroniky väčšie problémy. Opak je pravdou pri anténe, ktorá sa vyberá podľa istého kľúča. A v tom spočíva veľa problémov, pre ktoré ne jeden človek vysloví záver o obmedze-



**Skúšobné okná odrazov získaných pri použití antén s rôznym priemerom (teda zosilnením)**

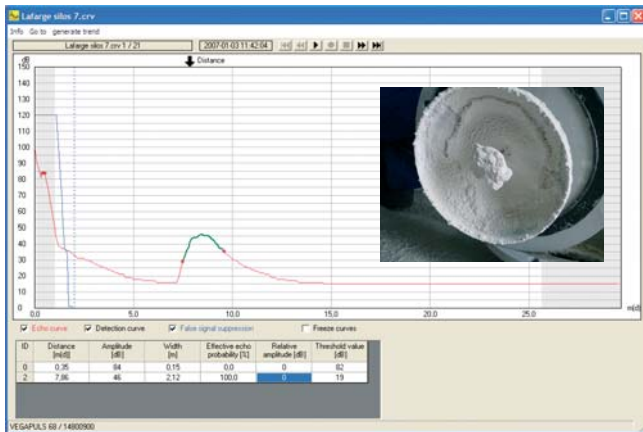


ných možnostiach použitia radarov. Používateľom sa často tvrdí, že presnosť radaru je daná priemerom antény. A potom v predkladaných materiáloch nachádzame odporúčané antény s upozornením, že sú vyrobené z nehrdzavejúcej ocele. V prípade sypkých materiálov výber antény s priemerom pod 80 mm nemá praktický význam.

Pri veľmi ľahkých materiáloch a pri pneumatickom plnení odporúčame anténu s minimálnym priemerom 100 mm alebo lepšie 245 mm (parabolická anténa – určite najlepšia anténa pre tých, ktorí oceňujú pokoj). V prípade antén treba pamätať na najväčší problém servisu: ich olepovanie pri kondenzácii vodnej pary (kondenzácia nevodivých médií nie je kritická).

Podľa mňa je 75 % servisných problémov spojených s problémom nalepovania na anténu. Všeobecne v prípade lepivých materiálov odporúčam používať:

- parabolické antény: dokonca aj pri veľmi silnom nalepení (1 – 3 cm) sú ešte schopné merať (tu je obrázok z merania vápna v aplikácii na odsírovanie spalín),



#### Meranie v zásobníku s vápnom v prípade silného olepovania antény

- kuželové antény – Horn s prefukovaním stlačeného vzduchu (nie vlhkého!),
- tzv. ploché antény z teflónu alebo iného materiálu (v praxi to býva kuželová anténa s výplňou).

V prípade silnej kondenzácie vodnej pary (napr. v zásobníkoch s vlhkým uhlím alebo drevnými štiepkami počas zimy) je najlepšie používať antény s „rovinným“ teflónovým krytom s priemerom DN 80 alebo DN 100. Po eliminácii falošných odrazov od kvapiek vody na teflone by nemali nastať žiadne problémy. Naopak najhorším riešením je v takom prípade obvyklá kuželová anténa, ktorá na 90 % bude robiť dlhodobé problémy.



Kuželové antény s ofukom stlačeným vzduchom

#### Iné charakteristiky radarov

Pri voľbe radarových snímačov – okrem už skôr uvedených výhod (napr. necitlivosť na prášenie, pary, hmla, zmeny teploty atď.) si ešte treba vybrať vhodný výstup:

- vyhotovenie v 2-vodičovej technike s analógovým výstupom 4 – 20 mA alebo so štandardnými číslicovými výstupmi Profibus PA či FieldBus Foundation
- pravdepodobne ako jediná metóda merania výšky hladiny má radar skutočne všetky atesty:

- ATEX na použitie v prostredí s nebezpečenstvom výbuchu (0 a 20), v bankých aplikáciách (M2), vo vyhotovení iskrovo bezpečnom Ex ia aj tlakovo tesnom Ex d,
- klasifikáciu prístrojov podľa rizika (AK) a bezporuchovosti SIL 2, v prípade redundancie aj SIL 3,
- atesty pre lodný priemysel, napr. GL, ABS, RINA,
- atesty pre potravinárske aplikácie, napr. EHEDG, FDA, 3A,
- atesty na používanie v okolitom prostredí bez vytvárania iných dodatočných rizík pre ľudí (ako je to v prípade izotopov, laserov alebo niektorých silných ultrazvukových hlavic);
- zhoda s technológiou Field Device Tool, združujúca už viacej ako 70 firiem – výrobcov poľnej inštrumentácie, ktorá umožňuje využívať jednotný, univerzálny opis konfigurácie prístrojov nezávislý od výrobcu konfiguračného programu, napr. PACTWARE;
- na trhu sú k dispozícii aj špecializované prístroje, ktoré majú schválenie od metrologického úradu (presnosť od  $\pm 0,4$  mm) a sú základným prvkom presného merania pri skladovaní plyných palív.



Rovinná anténa z PP

#### Záver

Radarová technika je v súčasnosti najuniverzálnejšou technikou merania výšky hladiny. Stretávame sa s ňou v každej oblasti priemyslu od bankého až po farmaceutický. Umožňuje meranie výšky materiálov v rozsahu prevádzkových teplôt od  $-200$  do  $450$  °C, v zásobníkoch vákuových či pretlakových (do 160 bar). Radary možno používať na meranie cez priehľadové okná alebo cez steny zásobníkov vyrobených z plastu bez procesného otvoru, v aplikáciách v prostredí s nebezpečenstvom výbuchu pri zaistení bezpečnosti s požiadavkou na SIL. No jednako treba mať na pamäti, že je to technické zariadenie, ktorého nesprávny výber, inštalácia alebo používanie môže znehodnotiť všetky jeho prednosti.

Rovnako si treba pamätať, že existujú také aplikácie, v ktorých môžu byť optimálne použité iné techniky merania výšky hladiny, napr. radar s vlnovodom (na tyči/lane), kapacitné elektródy, rádioizotopové meranie atď.

Na záver mi dovoľte osobnú reflexiu: verím, že tieto informácie, ktoré vychádzajú z mojich dlhoročných osobných skúseností alebo zo špecializovanej literatúry, pomôžu osobám zaujímavým sa o meranie výšky hladiny pri správnom výbere vhodnej metódy. Som si vedomý, že v takom krátkom článku som nebol schopný uviesť všetky detaily týkajúce sa radarovej techniky, ale dúfam, že uvedené poznatky vyvrátili mýty o prednostiach a nedostatkoch radarov.

#### Literatúra

- [1] W. KON: Radar w Żegludze Morskiej. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacyjne 1955. s. 71.
- [2] J. SZOSTKA: Mikrofale. Warszawa: Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ 2006. s. 207.

Robert Sowa

e-mail: [poziomy@introl.pl](mailto:poziomy@introl.pl)

13