

Sondy radarowe Fakty i mity

Wśród wielu metod pomiaru poziomu, w ostatnich latach wyróżniają się szczególnie metody bezkontaktowe – łatwe w montażu, elastyczne pod względem zakresu, nieprzenoszące obciążeń mechanicznych na konstrukcję zbiornika, stosowane zarówno na cieczach, jak i materiałach sypkich.

Szczególnym zainteresowaniem cieszy się metoda radarowa do pomiaru wypełnienia zbiornika przy wykorzystaniu zjawiska odbicia fal elektromagnetycznych.

Prawie w każdym specjalistycznym czasopiśmie można znaleźć reklamy, które zarówno bardzo zachwalają tę metodę, jak i takie, które poddają ją całkowitej krytyce. Z uwagi na powyższe różnice poglądowe, w artykule postanowiłem przedstawić „garść” ogólnych informacji na temat technologii radarowej, obalając tym samym liczne mity kreowane przez krytyków tej metody. Warto zaznaczyć, iż podstawą artykułu nie są materiały marketingowe, lecz przede wszystkim moje osobiste doświadczenie zdobyte przy uruchamianiu lub serwisowaniu około 400 sond radarowych w przeciągu ostatnich 12 lat. Czasami opieram się także na informacjach zaczerpniętych z literatury fachowej dotyczącej urządzeń do nawigacji morskiej, kierowania ruchem lotniczym czy zastosowań wojskowych.

Podstawy

Niezbędnym elementem dyskusji na temat sond radarowych jest poznanie zasad fizycznych na jakich opiera się pomiar. Urządzenia radarowe wykorzystują promieniowanie elektromagnetyczne, czyli dokładnie takie same jak telewizja, radio, bezprzewodowy Internet, sieci komórkowe itd. Jest jednak jedna zasadnicza różnica: częstotliwość radarów znajduje się w wyższym przedziale tj. od 6 do 26 GHz. Standardem stały się urządzenia o „sztywnym” zakresie częstotliwości (bez modulacji), ponieważ częstotliwości 6 GHz oraz 26 GHz nie wymagają indywidualnego uzyskiwa-

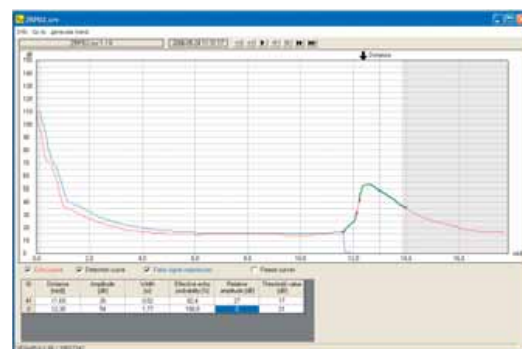
nia zezwolenia na wykorzystanie częstotliwości (podobnie jak np. sieci WiFi – 2,4 GHz). Dzięki temu, mogą być instalowane na zewnątrz zbiorników np.: do pomiaru poziomu w kanale otwartym/rzece, w zbiornikach z tworzywa sztucznego, suwnicach do pomiaru wysokości przemy, w czujnikach antykolizyjnych itp.

Radar tak naprawdę jest bardzo precyzyjnym czasomierzem, zdolnym do pomiaru nieprawdopodobnie małych odstępów czasu, w którym wyemitowana fala dociera do powierzchni medium, odbija się i powraca do odbiornika (1 m przestrzeni fala pokonuje w 8 ns).

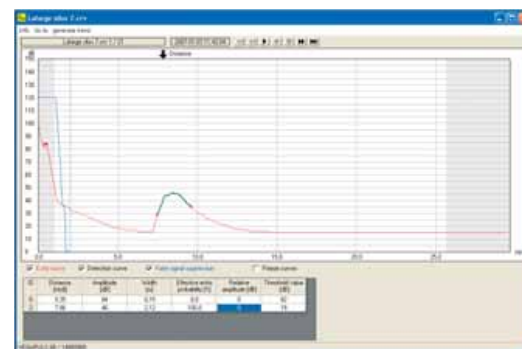
Promieniowanie radarowe rozchodzi się we wszystkich gazach, próżni jak i również cieczach i ciałach stałych (ale ulega w nich silnemu tłumieniu), pod warunkiem że są one dielektrykami (czyli nie przewodzą prądu elektrycznego). Już pierwsze doświadczenia XIX wieku wykazały, że fale odbijają się po napotkaniu przeszkody, jednak stopień ich odbicia nie jest uzależniony od twardości powierzchni (jak w falach ultradźwiękowych) lecz od pewnego współczynnika, zwanego stałą dielektryczną (w skrócie DK). Pojęcie to jest bardzo proste do zrozumienia: określa ile razy wzrośnie pojemność elektryczna kondensatora wypełnionego wstępnie powietrzem, po wypełnieniu przestrzeni między elektrodami dowolną inną substancją (w przypadku ciał przewodzących 1 elektroda jest izolowana). Stała dielektryczna określa również ilość energii, którą jest w stanie dany materiał odbić. I tak np.: cieczy przewodzące i stal odbijają 100% padającej na nie energii (woda DK = 80), ale już

gaz LPG (DK=2), popiół lotny (DK=3) czy suche drewno (DK=2,3) odbijają zaledwie kilka procent energii.

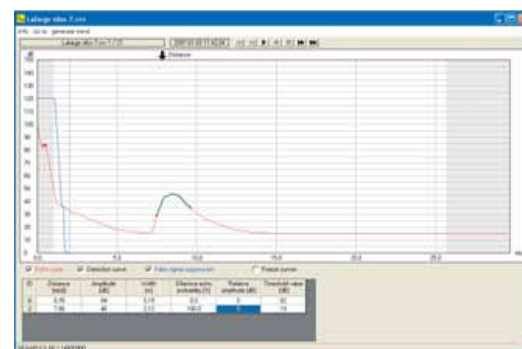
Jak widać na wykresie echa, pomiar gazu LPG, który odbija zaledwie 4% promieniowania nie stanowi w dniu dzisiejszym żadnego problemu. Postęp w elektronice pozwala na pomiar mediów, które odbijają tylko 2-3% energii. Jeszcze 6 lat temu nie było możliwości pomiaru su-



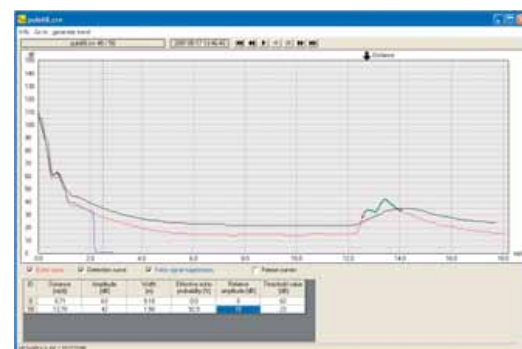
Widok echa od popiołu



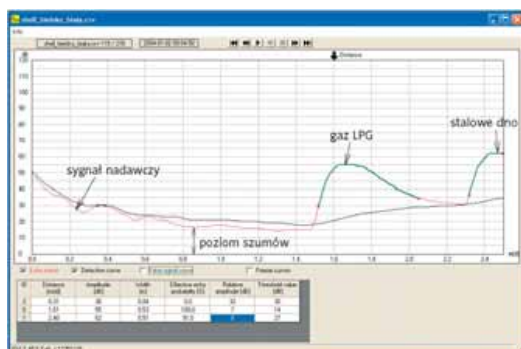
Widok echa od cementu



Widok echa od wapna (IOS)



Widok echa od drewna (wilgotność < 3 %)



Widok typowego echa radarowego



czego drewna, perlitu czy tworzyw sztucznych, a kilkanaście lat temu mój kolega „poległ” na zwykłym zbiorniku z mazutem. Dzisiaj wyzaniem pozostaje tylko kilka mediów np.: styropian czy prażony polistyren, płynne tworzywo z PET, celuloza, szkło do produkcji światłowodów (ale nie stłuczka!). 99% pozostałych materiałów jak popiół, wapno, gips, cement, mazut, benzyna, drewno, stłuczka szklana, perlit, granulaty PP lub PE – od pięciu lat nie stanowią już wyzwania.

Na wykresach widzimy, że stała dielektryczna drewna jest zdecydowanie wyższa od wapna czy popiołu, wapno natomiast na pewno jest lekko zawilgoczone, gdyż... zbyt dobrze odbija promieniowanie.

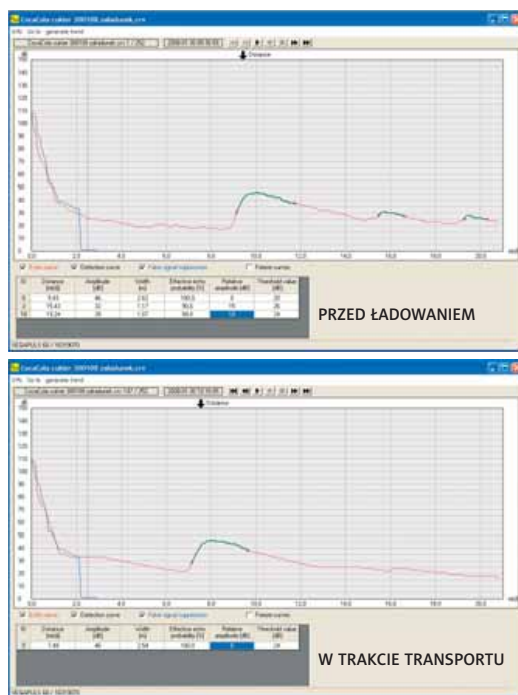
Wpływ zakłóceń na promieniowanie elektromagnetyczne

Aby lepiej wyobrazić sobie co skłoniło wojsko do wykorzystania „centymetrowych” fal elektromagnetycznych (długość fali, na której pracują radary to zazwyczaj od 1 do 5 cm), należy rozpatrzyć moc stosowanych nadajników: skromne zasilanie 650W radaru nawigacyjnego TRN-311 z lat 70-tych pozwalało na detekcję w zakresie 45 km. Urządzenia, które stosujemy do pomiaru w zakresie do 70 m „zadowolają” się poborem 80 mW (pojedynczy impuls to 0,7 mW, dla porównania dioda laserowa dla zakresu 30m posiada moc szczytową 45 W).

Dodatkowo, wiązkę radarową można łatwo ukierunkować za pomocą anteny w postaci talerza lub tuby z blachy kwasoodpornej.

W wielu reklamach innych urządzeń można spotkać sformułowania typu: „zapylenie powoduje problemy z radarem”, lub „niemożliwość ich zastosowania w środowiskach mocno zapyłonych”. Może to budzić wątpliwości na temat sensowności stosowania radarów np.: do lokalizacji statków czy samolotów w czasie opadów atmosferycznych czy do pomiaru poziomu materiałów sypkich. Sformułowania takie sugerują bardzo silne pochłanianie/rozproszenie wiązki przez pył lub mgłę.

Jest to całkowicie sprzeczne z moimi obserwacjami i literaturą specjalistyczną. Poniżej zamieszczam 2 ekrany z ciągłego zapisu echa w czasie ładowania pneumatycznego zbiornika z cukrem pudrem: jeden przed ładowaniem i drugi w trakcie transportu cukru z autocysterny.

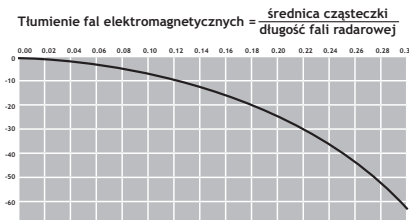


Jak widzimy, sygnał na dystansie 8 m spadł dokładnie o... 0 db

Odpowiedź na pytanie dlaczego nie nastąpiło rozproszenie sygnału można znaleźć w szeregu publikacji np.: z zakresu nawigacji lub wojskowości. W książce „Radar w Żegludze Morskiej” stwierdza się, że „...burze piaskowe występujące w pewnych strefach Morza Czerwonego, Zatoki Perskiej (...), które dla wzroku przedstawiają się podobnie jak mgła, redukują zasięg radarowy (ok. 50 km) tylko w nie-

znaczonym stopniu”¹, a Jarosław Szóstka zaznacza natomiast, iż w zakresie do 30 GHz praktycznie nie uwzględnia się wpływu mgły, śniegu i aerozoli.² Opinie te są zatem całkowicie sprzeczne ze sformułowaniami z wspomnianych reklam.

Decydującym czynnikiem przy tłumieniu jakiegokolwiek promieniowania ma stosunek długości fali, na której pracuje urządzenie, do wielkości cząsteczki np.: ziarenek piasku, pyłu lub cząsteczek pary wodnej. Jeśli długość fali jest wielokrotnie większa od średnicy cząsteczek, rozproszenie promieniowania jest tak słabe, że w przypadku zakresów pomiarowych poniżej dziesiątków kilometrów, jest trudne do zidentyfikowania. Sytuacja ma się dokładnie odwrotnie w przypadku kiedy długość fali jest porównywalna lub mniejsza od średnicy cząsteczek np.: laser wykorzystuje długość fali 1 µm, a cząsteczka pary wodnej ma rozmiar minimum 10 µm. W taki przypadku promieniowanie jest prawie całkowicie rozpraszane lub wręcz następuje odbicie promieniowania od cząsteczki np.: laser nie radzi sobie w przypadku mgły czy silnego zapylenia w czasie załadunku pneumatycznego, ale nadaje się świetnie do pomiaru wysokości pułapu chmur, czego nie jest w stanie określić żaden radar.



Poglądowy wykres tłumienia

Z wykresu wynika dlaczego urządzenie o długości fali 1 µm (laser) zasilane jest 50 000 większą energią niż tranzystor emitujący fale elektromagnetyczne o 10 000 większej długości.

Inną zaletą fal elektromagnetycznych jest praktycznie pomijalne zjawisko zmiany prędkości fali związane ze zmianami temperatury: jest to dokładnie 0,26% przy zmianę o 1000°C – (dla porównania – fala dźwiękowa aż 1,6% / 10°C). Nie da się jednak tego samego powiedzieć przy zmianie ciśnienia – wpływ na poziomie 0,029% na 1 bar mimo, iż nie ma znaczenia przy pomiarach materiałów sypkich czy pomiarach w typowych zbiornikach z cieczami, jednak musi być wzięty pod uwagę w specjalnych aplikacjach np.: w energetyce, gdzie pomiar przy dużych ciśnieniach nasyconej pary wodnej może powodować spore błędy – 2% przy 10 barach, 8% przy 50 barach ale przy 160 barach aż 40% (ale dla powietrza przy 160 barach tyl-

ko 3%, a wodoru 2%). Problemem w tym przypadku są specyficzne właściwości pary wodnej, która powoduje znaczny spadek prędkości fali elektromagnetycznej przy bardzo wysokich ciśnieniach.

Falszywe echa – problem czy mit?

Typowym zjawiskiem występującym przy pomiarach radarowych i ultradźwiękowych są fałszywe oraz wielokrotne odbicia. Część wiązki radarowej emitowana jest w innym kierunku niż dno zbiornika czyli np. w kierunku ścian. Kąt wiązki radaru wynosi od 4 do 30 stopni, w zależności od anteny. Odbicie sygnału od samej ściany nie jest żadnym problemem, ponieważ zgodnie z regułami promieniowania, które wróci do odbiornika pochodzi wyłącznie od elementów, których powierzchnia jest w przybliżeniu prostopadła do wiązki.

Problemem może być natomiast przypadek kiedy na ścianie znajdują się belki lub nawisy materiału, których kształt umożliwia odbicie fali w kierunku anteny. W takim przypadku obowiązuje następująca zasada – jeśli echo od produktu jest silniejsze od jakiegokolwiek echa fałszywego, to wystarczy przeprowadzić standardową procedurę „nauki fałszywego echa”, polegającą na zapisie i eliminacji wszystkich ech przy pustym zbiorniku.

Inaczej wygląda sytuacja gdy echo fałszywe jest silniejsze od echa właściwego. Taka sytuacja występuje jednak tylko wtedy gdy radar zabudujemy:

- bezpośrednio nad stalową belką konstrukcyjną
- bezpośrednio nad wlotem strugi cieczy lub materiału sypkiego
- bardzo blisko ściany, najczęściej zaledwie 10-20 cm

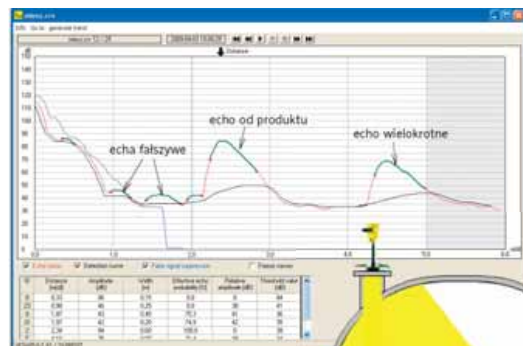
Problem pojawia się również gdy zainstalujemy w dużym zbiorniku radar z anteną o małej średnicy, czyli o bardzo szerokim kącie wiązki. W takich przypadkach – gdy najsilniejszym echem jest echo fałszywe – procedura eliminacji fałszywych ech jest mało skuteczna, a jedynym rozwiązaniem jest:

- zmiana lokalizacji radaru
- zastosowanie większej anteny czyli ograniczenie kąta promieniowania.

Drugim typem ech są echa wielokrotne, czyli takie, które przykładowo – po odbiciu się od materiału docierają do odbiornika po wcześniejszym odbiciu się od np.: ściany.

Problem ten był dużym wyzwaniem lat 80. Dzisiaj rozwiązanie tego problemu jest bardzo proste: echa wielokrotne z reguły eliminowane są prostą funkcją czytania pierwszego echa, co rozwiązuje 100% problemów aplikacyjnych.

Instrukcje obsługi oraz zwykłe podstawy fizyki wystarczą aby uniknąć błędów instalacyjnych powodujących silne echa fałszywe. Przy tej okazji należy zdawać so-



Funkcja czytania pierwszego echa

bie sprawę, że odbiorca nie jest w stanie w drodze przetargu zmienić praw fizyki i czasami żaden istniejący króciec na zbiorniku nie nadaje się do wykorzystania. Jednocześnie należy pamiętać, że bardzo mały kąt wiązki ma też jedną wadę: urządzenie zamiast uśredniać powstające stożki lub leje dla określenia pojemności materiału, wskazuje odczyt „punktowy”. Z uwagi na to, nie należy przesadzać i w przypadku gdy interesuje nas bardziej objętość lub masa materiału, zalecane jest stosowanie nieco „szerszej” wiązki (oprogramowanie automatycznie uśrednia poziom).

Budowa radaru... kilka rzeczowych wskazówek

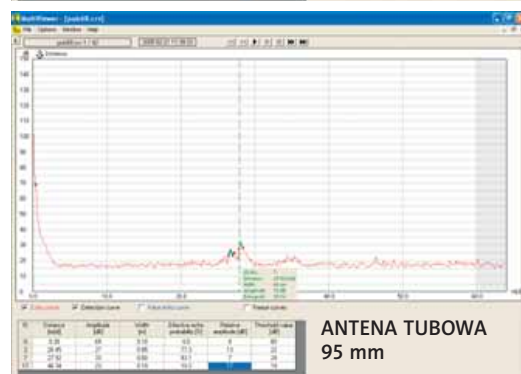
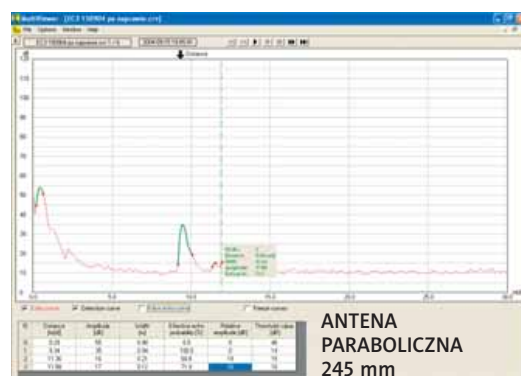
Radar ma tak naprawdę dwa elementy, które decydują o jego pewności działania: elektronikę i antenę. Każdy z tych elementów jest tak samo istotny i tylko razem stanowią „zgrany i pewny zespół”. Elektronika sond produkowana jest najczęściej w 2 wykonaniach: o słabszej mocy dla cieczy (powierzchnie prostopadłe) - nieco tańsza o dokładności 3 mm, oraz uniwersalna – o większej mocy dla dodatkowego skompensowania rozproszenia energii na stożkach materiałów sypkich lub pianie (zazwyczaj sygnał jest mocniejszy o 30 dB, czyli 1000 razy). Elektronika taka ma gorszą dokładność na poziomie 15 mm.

Generalnie z doбором elektroniki nie ma większego problemu. Odwrotnie z anteną, którą dobiera się do...istniejącego króćca. I tu tkwi wiele problemów, na podstawie

których niejedna osoba wysunęła już zbyt pochopne wnioski o możliwościach radarów. Często tłumaczę zainteresowanym, że pewność działania radaru określa jest przez... średnicę anteny. I tak, przy mediach przewodzących stosujemy dowolną antenę, pod warunkiem że jest odporna chemicznie na medium. W przypadku materiałów sypkich, dobór anteny poniżej 80 mm jest pozbawiony sensu. Dla bardzo lotnych materiałów przy załadunku pneumatycznym, polecam natomiast anteny minimum 100 mm lub 245 mm (parabola – zdecydowanie najlepsza antena, dla osób ceniących spokój).

W przypadku anten należy brać pod uwagę największy problem serwisowy: ich oblepienie lub kondensację pary wodnej (kondensacja me-

Odbicie echa



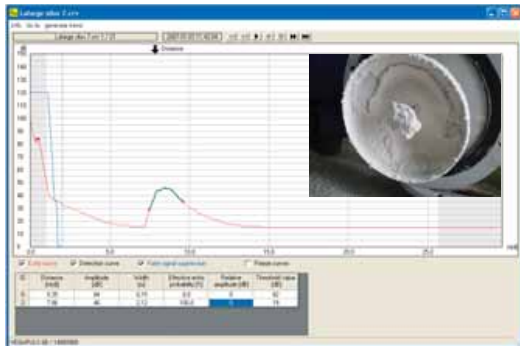
Próby widok echa przy zastosowaniu anten o różnej średnicy (czyli wzmacnieniu)

diów nieprzewodzących jest nieistotna).

Według mnie, 75% problemów serwisowych jest związane właśnie z problemem oblepienia.

Generalnie w przypadku oblepiających mediów zalecam:

- anteny paraboliczne: nawet przy bardzo silnym oblepieniu (1-3 cm) są w stanie jeszcze mierzyć – poniżej zbiornik z wapnem na IOS:



Pomiar w zbiorniku z wapnem w warunkach silnego oblepienia anteny

- anteny tubowe z układem nadmuchu sprężonego powietrza AKP (nie wilgotnego!)
- anteny z tzw. płaską anteną z teflonu lub innego tworzywa (w praktyce to zwykła antena tubowa z wypełnieniem).

W przypadku silnej kondensacji pary wodnej (np.: zbiorniki z wilgotnym węglem lub drewnem w okresie zimowym) najlepiej zastosować „płaską” antenę z teflonu o średnicy DN 80 lub DN 100. Przy wyeliminowaniu ech od skroplin na teflonie nie powinno być żadnych problemów. Odwrotnie, najgorszym rozwiązaniem jest w takim przypadku zwykła antena tubo-



Anteny tubowe z układem nadmuchu sprężonego powietrza

wa, która na 90% będzie sprawiać ciągłe problemy.

Inne cechy radarów

O wyborze techniki radarowej – poza wymienionymi wcześniej zaletami (np.: brak wpływu zapylenia, par i mgieł, różnic temperatur itp.) – należy jeszcze wymienić:

- Wykonanie w technice 2-przewodowej, zarówno z wyjściem analogowym 4-20 mA, jak i standardami cyfrowymi Profibus PA i FieldBus Foundation
- Jako prawdopodobnie jedyna metoda posiada prawie wszystkie atesty:
 - ATEX do stref zagrożenia wybuchem na powierzchni (0 i 20) i górnicze (M2), zarówno w wersji iskrobezpiecznej Ex ia, jak i ognioszczelnej Ex d
 - SIL 2, przy redundancji SIL 3
 - Atesty morskie np.: GL, ABS, RINA itd.

- Atesty dla przemysłu spożywczego np.: EHEDG, FDA, 3A
- Atesty dopuszczające do pracy na wolnym powietrzu, bez stwarzania dodatkowych niebezpieczeństw dla ludzi (jak izotopy, lasery oraz niektóre silne głośnie ultradźwiękowe).
- Zgodność z technologią Field Device Tool, zrzeszającą już ponad 70 firm i organizacji, co pozwala korzystać z ogólnodostępnych, uniwersalnych i niezależnych od pojedynczego producenta programów konfiguracyjnych jak np. PACTWARE.
- Dostępne są również na rynku wysoko-specjalizowane urządzenia, które posiadają zatwierdzenie GUM (dokładność od



Antena płaska z PP

+/- 0.4 mm). Są one elementem układów do rozliczeń składów paliw płynnych.

Konkluzja

Technika radarowa jest w chwili obecnej najbardziej uniwersalną z technik pomiaru poziomu. Spotykana jest w każdej gałęzi przemysłu, od górnictwa podziemnego do farmacji. Umożliwia pomiar mediów o temperaturze od -200°C do 450°C, w zbiornikach próżniowych, ciśnieniowych (do 160 bar). Radary mogą mierzyć przez okna wziernikowe lub płaszcze zbiorników z tworzyw sztucznych (bez króćca!), w aplikacjach w przestrzeniach zagrożenia wybuchem, układach zabezpieczeń wymagających stosowania SIL. Należy jednak pamiętać, że jest to urządzenie techniczne, którego błędny dobór, instalacja lub eksploatacja może skutecznie zniweczyć wszystkie jego pozytywne cechy. Warto również pamiętać, że istnieją także aplikacje, w których optymalne może być zastosowanie innej techniki pomiarowej np.; radaru z falowodem, sondy pojemnościowej, pomiarów izotopowych itp.

Na zakończenie pozwolę sobie na drobną refleksję – mam nadzieję, że przytoczone informacje, których źródłem jest moje wieloletnie doświadczenie oraz specjalistyczna literatura, pozwolą osobom zainteresowanym pomiarami poziomu, na prawidłowy wybór określonej metody pomiarowej. Jestem świadom, iż w krótkim artykule nie byłem w stanie przedstawić wszystkich niuansów związanych z techniką radarową, ale mam nadzieję, że zawarte treści obalą pewne mity krążące na temat zalet i wad radarów.

¹ W. Kon, *Radar w żegludze morskiej*, Wydawnictwa Komunikacyjne, Warszawa 1955, s.71.

² J. Szóstka, *Mikrofales*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa 2006, s.207.



Autor artykułu
Robert Sowa

Ukończył studia na Wydziale Automatyki, Elektroniki i Informatyki Politechniki Śląskiej, kierunek Automatyka i Robotyka. Po ukończeniu studiów rozpoczął prace w Introlu.

Od 2006 r. zajmuje stanowisko kierownika działu pomiaru poziomu i bezkontaktowych pomiarów temperatury.

tel. 032/7890024

e-mail: poziomy@intrpol.pl