

# Radarové meranie výšky hladiny v polymerizačných zásobníkoch RHODIA IY, a. s. vysokoteplotným radarom VEGAPULS 56K

Dušan Kiseľ, Peter Veľas

## Praktické skúsenosti z merania výšky hladiny pri teplotách 270 °C s radarom VEGA v RHODIA IY, a.s. Humenné

Meranie výšky hladiny je rovnako dôležité ako monitorovanie procesných parametrov, ako sú teplota a tlak pri optimalizácii procesov a šetrení výrobných nákladov. Avšak, ak sa má vyriešiť meranie v zložitých podmienkach, musia sa spojiť vo vzájomnom úsilí skúsenosti a ochota výrobcu snímačov a prevádzkovateľa.

Presné určenie obsahu zásobníka je veľmi dôležité v mnohých procesoch. Z tohto dôvodu sa v posledných rokoch radarová technológia uplatňuje ako štandardná metóda v mnohých oblastiach priemyslu. Uvedenie dvojvodičovej techniky a kontinuálne vylepšovanie spracovania signálu bolo jedným z hlavných dôvodov pri rozširovaní tejto metódy merania výšky hladiny. Radar sa teraz používa na meranie výšky v najrozličnejších aplikáciách, od najjednoduchších uskladňovacích tankov, dávkovacích zásobníkov s celým spektrom výrobkov alebo v zložitých reakčných zásobníkoch s miešadlami a príslušenstvom.

Radar je skratkou pre „Radio Detection and Ranging“ a charakterizuje proces, ktorý umožňuje lokalizovať a merať vzdialenosť objektov pomocou elektromagnetických vln. Na vysielanie týchto elektromagnetických vln sa používa anténa s ostrým uhlom vyžarovania. Keď vlny dopadnú na prekážku, sú viac alebo menej odrážané v závislosti od druhu materiálu (rozhodujúcou vlastnosťou je relatívna permitivita materiálu  $\epsilon_r$  – v zahraničnej literatúre označovaná ako dielektrická konštanta – DK) a opäť sú prijímané tou istou anténou. Tieto odrazené signály sú vyhodnotené a zobrazené na displeji. Pre spracovanie signálov sú najdôležitejšie signálne zosilňovače a vyhodnocovací softvér.

VEGA používa impulznú metódu spracovania radarových vln, pri ktorej je vysoko-

frekvenčná energia vysielaná v tvare impulzov o trvaní asi 1 ns = 10<sup>-9</sup> s. Potom sa vysielateľ na zlomok sekundy (~ 300 ns) vypne a prijíma odrazy ako prijímač.

Napriek veľkému progresu v spracovaní signálu sa nájdu časy od času aplikácie, kde aj radar má obmedzenia. V týchto prípadoch je know-how výrobcu snímačov a spolupráca s prevádzkovateľom obzvlášť dôležitá. Iba spojené úsilie umožňuje prekonať obmedzenia snímača a realizovať optimálne nastavenie pre danú aplikáciu.

## Charakteristické výhody radarovej technológie

Možnosti použitia radaru sú veľké a predstavujú novú kvalitu merania v porovnaní s inými technikami: Radarové merania sú extrémne spoľahlivé a presné, nie sú ovplyvňované zmenami tlaku alebo teploty, tvorbou plynov, zložením alebo hustotou materiálu, šumom, hlukom alebo turbulenciami. Radarový systém možno použiť kdekoľvek pri meraní kvapalín a sypkých materiálov, obzvlášť v kritických podmienkach, napr. v priestoroch s nebezpečenstvom výbuchu. Radarové meranie je absolútne bezdotykové meranie a senzor nemá dotyk na materiál. Výsledkom toho je, že meranie výšky pomocou radaru je jednoduché na inštaláciu, ľahké na obsluhu a čistenie. Inými slovami, často veľmi vysoké prevádzkové náklady iných meracích techník možno prakticky zanedbať, ak sa použije radar.

## Typické aplikácie v chemickom priemysle

Jeden príklad z chemického priemyslu: **Podstatná optimalizácia výroby spoločnosti Rhodia Industrial Yarns a.s. v Humennom pomocou radarového merania.**

Jedným zo svetových lídrov výroby syntetických vlákien je spoločnosť Rhodia Technical Fibers, do ktorej patrí závod

Rhodia Industrial Yarns a.s. v Humennom. Rhodia celosvetovo zamestnáva 27 000 zamestnancov a svoje výrobky predáva do 150 krajín sveta. Ročný obrat v roku 2001 dosiahol 7,279 miliardy euro. V Európe vyrába 34 000 ton Polyamidu 6., 20 000 ton Polyamidu 6.6 a 14 000 ton Polyesteru (10 000 ton ako joint venture).

História spoločnosti Rhodia Industrial Yarns a.s. v Humennom sa datuje od roku 1956 položením základného kameňa bývalého Chemlonu, v ktorom sa v roku 1962 začalo vyrábať priemyselné vlákno polyamid 6. V roku 1993 vznikol spoločný podnik Chemlon, a.s. s francúzskou spoločnosťou Rhône-Poulenc. Rok 1998 je významným medzníkom pri rozširovaní spoločnosti RHODIA, a to úplným odkúpením Chemlon a.s. v Humennom, dnes Rhodia Industrial Yarns a.s. a prevzatím Stilon S.A., Gorzow (Poľsko). V roku 2000 bola kúpená firmou Rhodia aj spoločnosť Tolaram Fibres v Daugavpils (Lotyšsko). V roku 2001 sa vytvára Rhodia Technical Fibers splynutím dvoch skupín: Industrial Yarns a Performance Fibers. Rhodia sa tak stala vedúcim výrobcom syntetických vlákien pre technické aplikácie.

Rhodia Industrial Yarns, a.s. dosiahla v roku 2000 obrat viac ako 2,7 miliardy Sk a podobne v roku 2001 to bolo 2,65 miliardy Sk. Rok 2001 bol v znamení posilnenia si pozície humenského podniku v rámci medzinárodného zoskupenia RIY vzhľadom na výsledky dosiahnuté v kvalite, produktivite a dosiahnutých variabilných nákladoch. Pre rok 2002 si stanovila plán prekročiť magickú hranicu obratu 3 miliardy Sk.

Takmer neuveriteľným sa javí projekt výroby umelého hodvábu čínskym cisárom už v roku 1664. Skutočná história výroby priemyselných vlákien sa datuje však až od roku 1884 keď Earl Hilaire Bernigaud de Chardonnet vyvinul umelý hodváb a predstavil ho ako nitrocelulóзовé vlákno na výstave v Paríži v roku 1889. Medzníkom sa



stáva rok 1925, kedy nemecký profesor Hermann Staudinger demonštruje existenciu makromolekúl. Vďaka jeho objavu sa nové syntetické vlákna začali vyrábať polymerizáciou. V roku 1933 sa začala výroba polyamidu 6.6 (Nylon®) v laboratóriách firmy Du Pont de Nemours. Polyamide 6 (Perlon®) sa začal vyrábať v roku 1938 a v rovnakom roku aj polyamide 11 (Rilsan®). Rhodia už v roku 1941 začína vyrábať svoj prvý polyamid bobbin v Lyone. V roku 1941 po vstupe USA do 2. svetovej vojny sa začali nylónové vlákna používať na výrobu padákov, šnúr, stanov alebo ťažko namáhaných pneumatík (nákladné autá, bombardéry a stíhacie lietadlá). V 50-tych rokoch sa presadzuje použitie umelých vlákien v textilnom priemysle a posledných tridsať rokov má výroba a použitie polyamidu stále stúpajúcu tendenciu 2,5 až 3 % ročne. Súčasná ročná výroba dosahuje 5,5 milióna ton, s pomerom 42 % polyamid 6.6 a 52 % polyamid 6.

Vo výrobe polyamidu sa zmiešavajú rozličné základné zložky v reaktore, kde prebiehajú chemické reakcie za podmienok vysokej teploty a definovaných tlakov. Počas tohto procesu dochádza ku polymerizácii kvapaliny a nastávajú zmeny fyzikálnych vlastností miešanej. Tieto zmeny a procesné podmienky merania neumožňujú veľmi presné meranie výšky hladiny. Ak by sa použilo diferenčné meranie tlakovými snímačmi, tak premenlivá hustota spôsobuje chybu merania alebo je toto meranie veľmi komplikované minimálne zásahom do tlakovej nádoby a vysokou teplotou.

Použitie kapacitnej elektródy je taktiež vylúčené z dôvodu zmeny elektrických vlastností meraného materiálu, ako sú permitivita (veľmi nízka hodnota) a okrem toho elektróda by bola mimoriadne namáhaná vysokou teplotou. Použitie ultrazvukového snímača je principiálne možné alebo je prakticky vylúčené vysokou teplotou a vytváraním vrstiev plynov v zásobníku (kde je okrem výparov polyméru je aj pretlak N<sub>2</sub>), ktoré spôsobujú zmeny rýchlosti šírenia zvukových vln.

Rádiometrické meranie výšky hladiny nie je obľúbený, ale všeobecne dostatočne spoľahlivý princíp merania a bol často jediným možným spôsobom merania v minulosti. Pre prevádzkovateľa predstavuje tento spôsob



Obr.1 Osadenie snímača na Polykolone

sob vysoké servisné náklady a náklady na údržbu, okrem vysokých nákladov na samotný snímač a jeho oživenie. Navyše okolo rádiometrického snímača sa musí zaistiť bezpečná zóna s nalepením varovných tabuliek a musí byť určený a zaškolený bezpečnostný technik pre radiačnú ochranu. Po vyčerpaní žiariča sa tento musí demonstovať a zneškodniť čo predstavuje ďalšie, nie malé náklady.

### Problém merania výšky a jeho riešenie

Problém môže nastať pri meraní pomocou rádiometrickej metódy v polymerizačných zásobníkoch. Počas procesu sa mení hustota a permitivita materiálu. Základom rádiometrického merania, ktoré sa používa je útlm radioaktívnych lúčov prechodom cez merané médium. Keďže meranie je realizované cez steny zásobníka základné utlmenie žiarenia je väčšie ako útlm od materiálu. Scintilačný detektor počítá gama žiarenie, ktoré prestúpi cez zásobník od žiariča ku detektoru na opačnej strane zásobníka. Ak sa mení hustota materiálu mení sa aj útlm a to vnáša chybu do merania.

VEGA prináša nový štandard pre tento typ merania a uvádza na trh stále nové generácie radarových snímačov, ktoré sa vyznačujú jednoduchým užívateľským vyhotovením s dvojvodičovým zapojením.

Pre zistenie obmedzení radaru boli zrealizované meracie testy systému s inštalovaním radarového snímača VEGAPULS 56K v podniku RIY, a.s. Humenné. Takyto radarový snímač už je inštalovaný v jednej polymerizačnej kolóne a zaisťuje presné meranie výšky hladiny.

Požiadavky inštalovať radarový snímač na ďalšej polymerizačnej kolóne vyplynula z potreby nahradiť pôvodný systém merania výšky hladiny. Spoločnosť Rhodia IY Slovakia, a.s. používala doposiaľ na meranie výšky polyméru plavákový snímač, ktorý prenášal pohyb plaváka na systém klapka dýza v rozsahu 0,2 – 1 bar. Zmena tlaku sa vyhodnotila na zmenu výšky hladiny v rozsahu asi 50 cm. Snímač bol zastaraný a často poruchový. Požiadavkou na nový snímač bolo meranie v podstatne väčšom meracom rozsahu, podľa možnosti viac ako 1 m a odolnosť voči náročným technologickým podmienkam: teplota +300 °C a agresívna atmosféra.

Polymerizačná kolóna pozostáva zo zásobníka o priemere 2000 mm. V zásobníku je sústava vertikálnych rúrkovnic v troch vrstvách. Plnenie materiálu sa realizuje napúšťaním zhora zásobníka. Obsah zásobníka je cez plášť ohrievaný sústavou so zmesou dinylových pár. Plášť je tepelne izolovaný minerálnou vlnou.

Polymerizačná reakcia prebieha v polymerizačnej kolóne a to za prítomnosti iniciato-

ra polymerizačnej reakcie, ktorým je voda s účinkom zvýšenej tzv. reakčnej teploty nad 200 °C.

Prvé osadenie snímača PUSL 56K (obr. 1) bolo realizované na existujúcu prírubu po demontovanom plavákovom snímači hladiny. Nakoľko výška nastavca príruby presahovala dĺžku kuželovej antény radarového snímača, bol vo vzdialenosti asi 50 – 80 cm od príruby zaznamenaný silný elektromagnetický šum a z dôvodu veľmi slabých odrazových vlastností materiálu nebolo možné merať aktuálnu výšku hladiny, ktorá bola vo vzdialenosti asi 70 cm od príruby snímača. Falošné odrazy vznikajúce v nastavci nebolo možné potlačiť ani výkonným programom na nastavovanie radarových snímačov VEGA VVO. Z literatúry je známe, že permitivita  $\epsilon_r$  polyamidu je v rozsahu od 1,4 do 3, čo je veľmi nízka hodnota a je na hranici možnosti merania pomocou radaru.

### Ak je požadovaná čo najmenšia minimálna vzdialenosť

Požiadavka na presné meranie hladiny aj vo vzdialenosti asi 50 cm od príruby snímača nebola teda splnená. Existovali dve riešenia: predĺženie antény pomocou predĺžovacieho kusa cez nastavca do priestoru zásobníka alebo realizácia meracej rúry. Výrobca odporúčal použiť meraciu rúru vyhotovenú až po hladinu polyméru. Prevádzkovateľ zvolil alternatívu predĺžovacieho kusa, ktorým sa vylúčil kontakt materiálu s anténou (aby sa predišlo prípadnému nalepovaniu polyméru na anténu). Nová inštalácia snímača pozostávala z jeho demontáže a predĺženia antény. Je potrebné pripomenúť, že všetky operácie sa museli realizovať za plnej prevádzky výroby čo vyžadovalo mimoriadnu opatrnosť, aby nedošlo ku prevádzkovej havárii a poškodeniu zdravia servisného personálu.

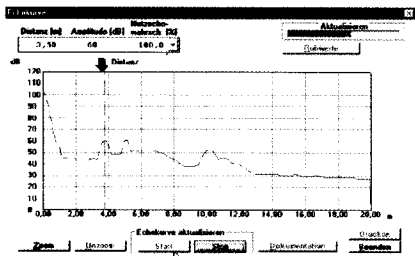
Žiaľ, ani toto usporiadanie antény nevyriešilo meranie výšky polyméru, nakoľko práve v mieste spojenia predĺžovacieho kusa a antény bol vyhodnotený silný falošný odraz, ktorý rovnako znemožnil meranie hladiny.

Poslednou alternatívou bolo použitie meracej rúry, ktorá plní funkciu antény.

Rúrové antény sú voľbou v zásobníkoch, ktoré sú mechanicky zložité alebo kde je povrch materiálu s veľkými turbulenciami. Rovnako aj u materiálov s malou dielektrickou konštantou ( $\epsilon_r = 1,6$  to 3) možno realizovať spoľahlivé meranie smerovaním radarového signálu v meracej rúre.

Vytvorená meracia rúra má dĺžku 1 m a bola pripojená na prírubu snímača namiesto pôvodnej kuželovej antény. V tomto usporiadaní snímač bude presne merať najmä v požadovanom meracom rozsahu do 1 m od príruby snímača. Výmena antény bola





Obr.2 Nastavovacie okno programu VVO

realizovaná pracovníkmi Rhodie IY, a.s. veľmi rýchlo.

Pred zahájením merania boli v prvom kroku zaznamenané interferencie pri zníženej hladine polyméru od tzv. rúrkovnice (sústavy vertikálnych rúr) v programe VVO v menu učenia sa falošných odrazov. Potom čo sa technici presvedčili, že radar pracuje spoľahlivo a bezpečne doplnili zásobník meraným materiálom a začali skúšku. Posúdenie miesta odrazov hladiny, resp. falošných odrazov je veľmi pohodlné pomocou programu VVO. Na obr. 2 je okno nastavovacieho programu VVO.

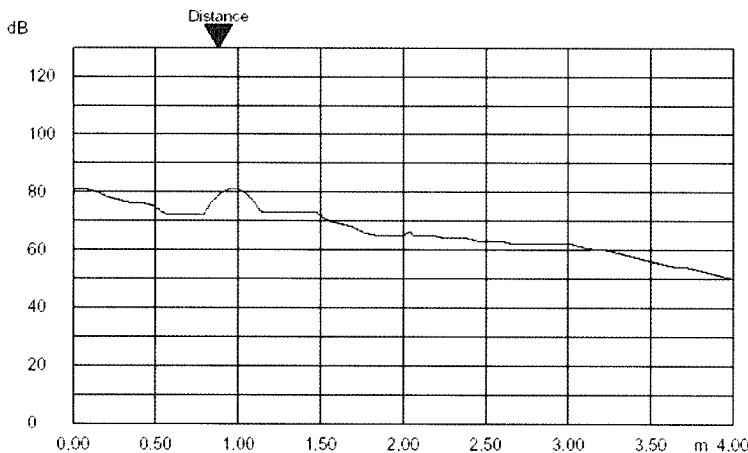
Počas prvého štartu systém zaznamenával krivky odrazov pre neskoršiu analýzu akýchkoľvek porúch, ktoré sa mohli vyskytnúť. Počas skúšky sa zistilo, že výsledky boli nad očakávanie lepšie a meranie bolo spoľahlivé v celom procese merania. Navyše PULS 56K umožnil realizovať meranie podstatne bližšie ku prírubke a teda bol vyriešený problém s maximálnym plnením zásobníka. Na obr. 3 je zobrazený priebeh odrazu hladiny polyméru v polymerizačnej kolóne po ustálení sa hladiny v prevádzkovej polohe. Odraz od hladiny je

Date	26.2.2002 19:13:58
Serial No.	11783743
Instrument name	VEGAPULS 56 K
Sensor-TAG No.	Sensor
Software version	4.01
STC-value	OFF

Notes  
posledné meranie

Measured distance 0.879 m

Distance [m]	Width [m]	Amplitude [dB]	False echo probability [%]	Effective echo probability [%]	Threshold value [dB]	Relative amplitude [dB]
0.89	0.53	81	0.0	100.0	72	0
1.84	0.21	66	0.0	84.3	64	15



Obr.3 Priebeh odrazov radarového snímača VEGAPULS 56 v meracej rúre

silný aj napriek malej hodnote relatívnej permitivity polyamidu a radar sleduje zmeny výšky hladiny presne a spoľahlivo. Na popise obrázku možno presné informácie o amplitúde odrazov a určení hlavného odrazu od hladiny vo vzdialenosti 0,879 m a dvojnásobného odrazu vo vzdialenosti 1,84 m.

### Vysokoteplotné radarové senzory pre meranie výšky hladiny

VEGA v kooperácii s najväčším americkým olejárskym a petrochemickým koncernom vyvinula vysokoteplotný radarový senzor pre bezdotykové meranie výšky hladiny kvapalín (obr. 4).

Radarové senzory používané na vysoké teploty majú prenos radarového signálu do zásobníka realizovaný prenosovým členom zo špeciálnej keramiky. Frekvencia radaru a typ materiálu prenosového člena určujú jeho presný geometrický tvar a chová sa v prvom rade ako presne ladený vlnovod. Pracuje ako zaostrujúca šošovka, keď radarový signál prechádza cez prenosový prvok do priestoru zásobníka pričom zaostruje signál do vysokofrekvenčného lúča. Dielektrická konštanta spojovacieho materiálu určuje jeho „index lomu“. Keramika sa vyznačuje extrémnou stabilitou tak chemickou, ako aj tepelnou.

Všetky časti senzora, ktoré prichádzajú do styku s procesom, sú vyhotovené z vysoko odol-

ných materiálov. To sa netýka iba materiálu príruby, ktorá je vyrobená s nehrdzavejúcej ocele (1.4571 alebo lepšej), ako skôr špeciálne vyvinutej keramiky ( $Al_2O_3$ ) a jej plynotesnosti, odolnosti voči tlaku a teplote.

Použitý stupňovitý tesniaci systém, ktorým sa keramika spája do kovového puzdra procesom podobným spájkovaniu, zaisťuje plynotesné spojenia na molekulárnej úrovni, bez ohrozenia tepelnými šokmi.

### Konštrukčné riešenie radarov VEGAPULS 56

Rúrová konštrukcia radarového snímača oddeľuje teplotne horúcu časť na procesnej prírubke od mikrovlnného modulu a vyhodnocovacej elektroniky, obr. 4.

Z dôvodu ochrany proti radiačnej zložke tepla (ak procesná teplota prekročí 200 °C) musí sa horná časť príruby až po prvý segment rúry obaliť s normálnou izoláciou zásobníka. Vysokoteplotné zásobníky tohto typu sú aj tak vždy izolované, takže procesnú časť senzora možno jednoducho zahmúť do izolácie zásobníka. Teplota 400 °C na procesnej strane príruby je znížená na 40 °C pri elektronike Radarom možno merať všetky materiály, ktorých permitivita  $\epsilon_r$  je vyššia ako 1,5 pretože dostatočne odražia radarové impulzy (poznámka: vzduch má permitivitu  $\epsilon_r = 1$ ).

Vďaka používaným štandardným prírubám od DN 50 do DN 250 je antény

systém senzora prispôsobiteľný pre rozličné materiály a podmienky merania. Senzory sa vyznačujú spoľahlivosťou, presnosťou a dlhodobou stabilitou, reprodukovateľnosťou analógového alebo číslicového signálu.

### Charakteristické vlastnosti VEGAPULS 56

#### Aplikácie

- meranie výšky hladiny kvapalín a sypkých materiálov
- možnosť merať všetky takmer vodivé materiály a látky s permitivitou  $\epsilon_r > 1,5$
- bezdotykové meranie v meracom rozsahu 0...20 m

#### Dojvodičová technológia

- napájanie a výstup pomocou jednej dvojvodičovej linky
- 4...20 mA analógový výstup alebo číslicový výstup

#### Antény

- kuželová anténa z nehrdzavejúcej ocele a keramikou špičkou
- rúrová anténa s keramikou špičkou

### Presné a spoľahlivé

- rozlíšenie merania 1 mm
- necitlivý na hluk, pary, prach, zloženie plynov a vrstvenie plynov v zásobníkoch
- necitlivý na zmenu hustoty a teploty meraných materiálov
- meranie pri tlakoch od vákua do 6,4 MPa (64 bar) a teplote materiálu do 400 °C (s aktívnym chladením aj nad 1000 °C)

### Komunikácia

Radarové senzory VEGAPULS 56 môžu byť zapojené do akejkoľvek požadovanej siete a na všetky bus systémy. Senzory majú analógový a číslicový display a môžu byť ovládané podľa výberu pomocou kontrolných odoberateľných modulov MINICOM, HART komunikátorov alebo pomocou užívateľského jednoduchého nastavovacieho PC programu VEGA VVO. Umožňujú nastavenie z akéhokoľvek miesta továrne, napr. na signálovom vedení senzora, vo veľine alebo na radiacej konzole továrne. Najväčšou prednosťou je flexibilita a bezpečnosť obzvlášť v Ex zónach. Extrémne rýchla procesorová jednotka precízne vyhodnocuje zbierané dáta. Špičkové senzory majú inteligentnú fuzzy-logiku počítačovej architektúry so samoučiacou aplikačnou databázou s historickou pamäťou.

### Jednoduchá kalibrácia - dokonca bez potreby plnenia zásobníkov

Vylepšené vyhodnotenie signálu pomocou nastavovacieho programu VVO (Vega Visual Operating) umožňuje kalibráciu VEGA snímačov oveľa jednoduchšie. Zložitosť nastavovania radaru, ktorá vyplýva zo snahy ich urobiť ho univerzálnymi snímačom vo všetkých aplikáciách je podstatne znížená zadaním voľby použitia. Toto zahŕňa napr. také vlastnosti, ako sú konfigurácia zásobníka, typ kvapaliny, procesné podmienky, atď. Prevádzka a kalibrácia sa stáva skutočne jednoduchou aj pre náročné aplikácie. Zásobník už nemusí byť naplnený (alebo môže zostať naplnený). A to šetrí čas aj náklady.

### Optimalizácia procesu merania výšky hladiny

V príspevku bol diskutovaný proces optimalizácie výroby prostredníctvom presného a spoľahlivého merania obsahu zásobníka. Uvedeným spôsobom bol optimalizovaný proces polymerizácie, pretože bol lepšie využitý objem zásobníka nastal nárast produkcie. Aj napriek nákladom na presné meranie výšky dosiahlo sa vysoká kvalita produkcie za prijateľnú cenu.

Na príklade sme demonštrovali ako môžu skúsenosti a ochota kooperácie viesť ku tímovej práci medzi výrobcou snímačov a prevádzkovateľom alebo s jeho oddelením merania, regulácie a riadenia TP pri hľadaní výhod radarových snímačov aj v sťažených prevádzkových podmienkach. Radarové senzory majú vynikajúcu presnosť, sú spoľahlivé, bezpečné, jednoducho sa inštalujú a čistia a vyžadujú iba minimálnu údržbu.

Výkonné senzory sú základnou požiadavkou pre určité merania ale spolupráca ľudí je rozhodujúcim bodom pri riešení takýchto problémov.

**Ing. Dušan Kiseľ, CSc.**

**K - TEST, s. r. o.**  
**Letná 40, 042 60 Košice**

**Ing. Peter Veľas**

**RHODIA IY, a. s.**  
**Chemlonská 1, 066 01 Humenné**

23

