

Výběr vhodné metody k přesnému a spolehlivému měření polohy hladiny sypkých látek

Autor, aplikační inženýr ze společnosti Emerson Process Management, v článku pojednává o obtížích provázejících měření polohy hladiny sypkých látek v nádobách a silech a hodnotí některé z dostupných měřících metod z hlediska jejich použitelnosti v různých typech úloh.

Zážitky při výběru vhodné metody měření polohy hladiny (výšky násypu) sypkých látek v nádobách a silech mohou být pro mnoho uživatelů dosti frustrující. Měřený materiál se často chová způsobem, který měření polohy jeho hladiny velmi znesnadňuje a vede k nespolehlivým výsledkům. V mnoha úlohách je třeba převést naměřené hodnoty polohy hladiny na údaj hmotnosti materiálu v nádobě, takže přesnost výsledků měření závisí také na rovnoměrnosti hustoty měřeného materiálu a přesnosti, s jakou jsou známy geometrické i jiné charakteristiky zásobníku.

Tradičním nástrojem k měření polohy hladiny v průmyslu jsou mechanická a nověji elektromechanická zařízení vzdáleně připomínající známou hračku jo-jo. Jejich základem je závaží zavěšené na lanku a spouštěné v určených časech odshora směrem k povrchu měřeného materiálu. Zařízení vypočítává polohu hladiny materiálu podle délky lanka odvinutého do okamžiku, kdy se závaží dostane do kontaktu s povrchem materiálu. Protože odvíjecí mechanismus je v kontaktu s pracovním prostředím v zásobníku, tato zařízení vyžadují pravidelnou údržbu vystavující obsluhu při práci např. na vysokých silech apod. značnému riziku.

Je-li třeba měřit spojitě, nabízí se na výběr několik různých metod umožňujících pokrýt velmi široké spektrum úloh měření polohy hladiny sypkých látek ve veškerém průmyslu. V závislosti na povaze úlohy lze použít radar s vedenou vlnou nebo bezkontaktní radar, dále ultrazvukovou, akustickou nebo laserovou techniku či siloměry. Mimoto je možné ve speciálních případech, kdy nic jiného nefunguje, použít radioizotopové měřící metody.

Proč je tak obtížné měřit pevné látky?

Vlastnostmi sypkých látek, které znesnadňují měření polohy jejich hladiny a množství, jsou zejména obecně nerovný povrch navršene-

ného materiálu, mnohdy prašná povaha a nehomogenita látek a také jejich spíše malá poměrná permitivita. V úvahu je třeba brát i některé významné provozní vlivy. Nahlédnuto podrobněji jde o následující.



Obr. 1. Sypké látky mohou být různě zrnité – od jemných prášků přes písek a oblázky až po velké kusy horniny (na ilustračním obrázku v kompozici s akustickým hladinoměrem značky Rosemount)

Sklon povrchu

Povrch skladované sypké látky je v průběhu plnicích a vyprazdňovacích cyklů jen málokdy rovný nebo horizontální. Sypké materiály většinou mají tendenci vršit se pod násypkou a vytvářet prohlubně a převisy nad výsypkou. Jejich sypný úhel, a tudíž sklon povrchu ovlivňující způsob odrazu měřících signálů, bude jiný při plnění nádoby a jiný při jejím vyprazdňování. Při strmých sklonech povrchu látky se z důvo-

du ztráty signálu nedoporučuje používat ultrazvukové snímače.

Prach

Jednou z nejčastějších příčin problémů s měřením polohy hladiny sypkých látek jsou účinky prachu tvořícího se a vířícího při plnění zásobníku. Mnohé materiály vytvářejí v síle velká množství prachu, který může být na překážku správné funkci ultrazvukových nebo laserových přístrojů. Přítomný prach ovlivňuje intenzitu měřícího signálu a následně spolehlivost měření. Výsledkem je, že ultrazvukové a laserové přístroje jsou pro některé látky nepoužitelné.

Samotné radarové signály prach neovlivňuje, ovšem anténu bezkontaktních radarových hladinometrů je třeba chránit před ulpíváním prachu na jejím povrchu, např. použitím obalu z teflonu, který má nepřilnavé vlastnosti. K odstraňování prachu z povrchu snímačů uvnitř zásobníků se také často používá jejich ofukování vzduchem.

Akustické přístroje používají nízkofrekvenční impulzní signály, které nejsou citlivé na prach, hluk vznikající při plnění, vlhkost ani teplotu prostředí v zásobníku. Při použití vibrujících membrán, bránících ulpění jakýchkoliv prachových částic na trychtýřových anténách, je mimoto lze provést i jako samočisticí.

Druhy médií

Měřených sypkých látek existuje mnoho různých druhů s velmi rozmanitými fyzikálními vlastnostmi. Například co do velikosti zrn může jít o jemné materiály tvořené částicemi s rozměry řádu jednotek mikrometrů a dále přes písek, obiloviny, granule a oblázky až po šterka a hrubé kamení (obr. 1).

Tvarově mohou být částice oblé nebo s ostrými hranami. Části přístroje přicházející do styku s abrazivními materiály – jako např. sondy radarů s vedenou vlnou – budou vyžadovat pravidelnou údržbu.

Lehké provzdušněné látky pohlcují zvuk, což má negativní vliv na výkonnost ultrazvukových a akustických hladinometrů. Některé materiály jsou hygroskopické – snadno pohlující či vázající na sebe vlhkost –, což může mít za následek jejich spékání a hromadění se v zásobníku. Tendence k hromadění, a tím k tvorbě mostů, dutin a strmých svahů, mají především hrubší materiály.

Vlastnosti produktů typu obilí se případ od případu liší podle druhu plodiny a obsahu vody. Stanovit odpovídající hustotu obilí,

kteřá by umožnila z naměřené polohy hladiny přesně určit jeho skutečný objem a hmotnost, je proto obtížné.

Poměrná permitivita

Poměrná permitivita (dielektrická konstanta) mnoha sypkých látek je dosti malá. U radarových metod měření je poměrná permitivita důležitým ukazatelem určujícím intenzitu signálu odraženého od povrchu látky zpět k přístroji. Je-li poměrná permitivita měřené látky velmi malá (tj. menší než dvě), může být nezbytné použít radar s vedenou vlnou zpracovávající měřicí signál způsobem umožňujícím překonat jeho malou intenzitu.

Objemová hmotnost

Při sledování zásob sypkých látek je důležité znát hmotnost materiálu uloženého v zásobníku. Proto je důležitou charakteristikou látky její objemová (sypaná) hmotnost, obvykle uváděná v kilogramech na krychlový metr. Spojitě měřící snímače polohy hladiny při zadání objemové hmotnosti převedou naměře-



Obr. 2. Radarový hladinoměr s vedenou vlnou: převodník typu Rosemount 5300 s namontovanou sondou a její zakončení (reflektometrický, GWR, TDR)

nou vzdálenost od čidla snímače k povrchu materiálu na objem a hmotnost měřené látky. Jakákoliv chyba v zadání objemové hmotnosti se tudíž projeví chybným určením objemu a hmotnosti materiálu uloženého v zásobníku.

Tahové síly

Tahové síly představují specifický problém týkající se radarů s vedenou vlnou, u nichž tíha materiálu v zásobníku může způsobit vznik tahové síly schopné přetrhnout lanovou sondu snímače nebo prostřednictvím sondy zatížit střechu sila až ke zhroutilí. Přestože jde o problém týkající se zejména nádob s výškou větší než 15 m, je nutné takové situace zabránit. Dále je třeba vzít v úvahu,



Obr. 3. Bezkontaktní radarový snímač polohy hladiny agresivních a abrazivních materiálů typu Rosemount 5402

že při nerovnoměrném rozložení hmotnosti materiálu v zásobníku se mohou pružné sondy radarů s vedenou vlnou vychýlit směrem k ostatním konstrukcím existujícím v zásobníku, čímž mohou vzniknout falešné cíle.

Elektrostatické výboje a elektromagnetické rušení

V některých případech, např. při měření polohy hladiny plastových granulátů, se může vytvořit elektrostatický náboj následovaný popř. elektrostatickým výbojem. Aby byla ochráněna citlivá elektronika v měřicích přístrojích, je důležité zajistit kvalitní uzemnění. Mimoto musí být přístroje konstruovány tak, aby dokázaly elektrostatický náboj zvládnout a odvést nadbytečnou energii mimo vlastní elektroniku. Takové uspořádání může pomoci i jako ochrana před elektromagnetickým rušením ze sousedních elektrických zařízení, které může způsobovat problémy u nádrží z nekovových materiálů.

Přehled měřicích metod

Ekonomické a hodnověrné spojitě měření polohy hladiny sypkých látek se současně a do budoucna požadovanou kvalitou lze zajistit jen při vhodném použití následujících moderních metod (přístrojů), a to zejména radarových a akustických.

Radar s vedenou vlnou

Snímač polohy hladiny na principu radaru s vedenou vlnou (reflektometrický hladinoměr; *Guided Wave Radar – GWR*; princip

Time Domain Reflection – TDR, obr. 1) je pro svou schopnost přesně a spolehlivě měřit polohu hladiny v nádržích a nádobách široce využíván v nejrůznějších průmyslových odvětvích se spojitou i nespojitou výrobou. Převodník počítá vzdálenost od čidla snímače k povrchu měřeného média, jde tedy o přímé měření ve směru shora dolů. Protože reflektometrický hladinoměr nepracuje s odrazem radarového paprsku od rovného povrchu, funguje velmi dobře při měření mnoha práškových a zrnitých materiálů včetně např. plastů, poléťavého popílku, cementu, písku, cukru a obilnin. Přístroje tohoto typu mají také krátkou dobu odezvy při změně polohy hladiny, takže jsou vhodné k použití při zpětnovazebním řízení a v úlohách spjatých s funkcí bezpečnosti.

Reflektometrický hladinoměr využívá mikrovlnné impulzy s malou energií vysíla-



Obr. 4. Detailní pohled na akustický snímač Rosemount 5708 3D Solids Scanner, umožňující měřit polohu hladiny, objem a hmotnost kusových i práškových materiálů

né podél elektricky vodivé sondy, které se po dosažení povrchu měřeného média zčásti odrazí nazpět, směrem k vlastnímu snímači. V převodníku je měřena doba, která uplyne od vyslání budicího impulzu do přijetí odraženého impulzu. Z této „doby letu“ impulzu mikroprocesor v převodníku přesně vypočítá vzdálenost k povrchu měřené látky. Protože jde o přístroj bez mechanicky pohyblivých částí, klesají náklady na údržbu a nevznikají problémy s falešnými naměřenými hodnotami, které mohou být příčinou vzniku potenciálně nebezpečných situací.

K docílení většího dosahu reflektometrických hladinoměrů při měření materiálů s malou poměrnou permitivitou jsou nabízeny metody umožňující měřit i tehdy, kdy je

odražený signál velmi slabý. Například metoda *Direct Switch Technology* od společnosti Emerson poskytuje odražený signál dvakrát až pětikrát silnější, než je obvyklé u radarů s vedenou vlnou jiných výrobců. Větší odstup signálu od šumu znamená, že přístroj lépe zvládá obtížné měřicí podmínky, jako např. měření velkých vzdáleností a materiálů s malou poměrnou permitivitou.

Společnost Emerson také vyvinula metodu tzv. promítání konce sondy (*Probe End Projection – PEP*), umožňující spolehlivě

ku svažujících se povrchů, malé poměrné permitivity a velkých rychlostí plnění zásobníku lze překonat použitím speciálně vyvinutého softwaru a vyhodnocovacích algoritmů schopných využít některé unikátní vlastnosti signálů odražených od hladiny.

Ultrazvuková technika

S ultrazvukovými přístroji, třebaže je k měření polohy hladiny sypkých látek lze použít, jsou z jejich podstaty spjaty určité

trychtýřové antény, které zjišťují nejen vzdálenost k jednotlivým bodům na povrchu materiálu v zásobníku, ale také směr, z nějž ten který odražený signál přichází. Digitální signálový procesor vzorkuje a analyzuje přijaté signály, vypočítává z nich přesnou bodovou trojrozměrnou (3D) mapu celého povrchu materiálu uloženého v zásobníku a vytváří trojrozměrné zobrazení skutečného rozložení produktu v zásobníku vhodné k vizualizaci na vzdálených počítačových monitorech (obr. 5). Při znalosti rozměrů zásobníku lze poté snadno určit objem materiálu v něm uloženého.

Přístroje řady Rosemount 5708 3D Solids Scanner cestou zmapování jeho povrchu spojitě měří objem uloženého materiálu. Jako takové jsou ideálním nástrojem k měření množství sypkých látek v silech, velkých otevřených nádobách, komorách pro skladování zrnitých materiálů, na hromadách pod otevřeným nebem a ve velkoskladech. Lze jimi měřit téměř libovolný druh materiálu včetně obilí, vápna, cementu, práškových plastů, nenasadno měřitelného polévatého popílku a materiálů s malou poměrnou permitivitou. Díky svým samočisticím schopnostem vyžadují i při provozu v mimořádně prašných prostředích jen minimální údržbu.

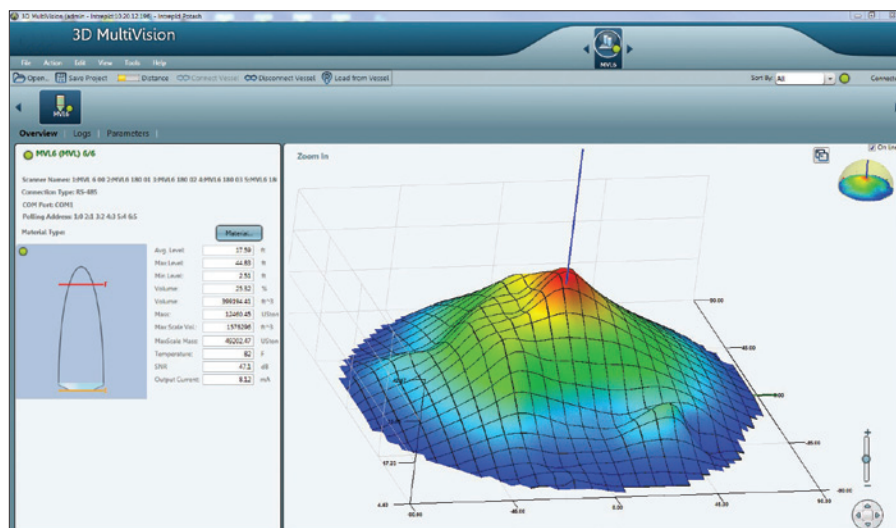
Laserové metody

Laserové snímače polohy hladiny využívají velmi úzký paprsek laserového světla soustředěný na malou plochu. Jsou mimořádně přesné a mohou mít velký měřicí dosah. Jsou tudíž vhodné k použití zejména v úlohách vyžadujících znalost polohy hladiny v jednom určitém místě, např. nad výsypkou sila. Operátoři tak vědí, zda je zásobník schopen na povel dodat požadovaný materiál.

Pomocí laserových zařízení lze při použití speciálních průhledů izolujících snímač od vnitřního prostředí v nádobě měřit i v podmínkách velkého tlaku či vysoké teploty měřeného média. Je ovšem třeba dávat pozor na úsady prachu a dalších nečistot na optice laserového snímače hladiny, které významně zeslabují intenzitu světelného signálu, a tím negativně ovlivňují výkonnost přístroje. K ochraně před tímto jevem a obecně k zajištění správné činnosti laserových hladinoměřů je důležitá jejich pravidelná údržba.

Speciální zařízení

Radioizotopové hladinoměry vysílají skrze materiál v nádobě kužel radioaktivního záření, které je obsahem nádoby zčásti pohlcováno. S tím, jak roste nebo klesá výška hladiny materiálu v nádobě, se nepřímo úměrně mění intenzita záření dopadajícího na detektor umístěný nad hladinou naproti zářiči. Protože měřicí zařízení zde nepřichází do styku s měřenou látkou, jsou radioizotopové hladinoměry ideální volbou pro úlohy vyznačující se agresivními a abrazivními médii a vysokými provozními tlaky a teplotami. Naproti



Obr. 5. Akustické skenery od společnosti Emerson poskytují prostorové zobrazení povrchu sypké látky

měřit i materiály s malou poměrnou permitivitou v případech, kdy je signál odražený od hladiny natolik slabý, že ho nelze detekovat. Základem metody PEP je skutečnost, že mikrovlny se v produktu šíří pomaleji než ve vzduchu. Sledováním polohy odrazu signálu od konce sondy může algoritmus vypočítat polohu hladiny i přesto, že odezva od hladiny je příliš slabá.

Bezkontaktní radar

O bezkontaktních radarových přístrojích (obr. 3) lze uvažovat jako o alternativě radarů s vedenou vlnou tehdy, kdy je třeba se vyhnout přímému kontaktu částí přístroje s měřeným médiem, např. jestliže agresivní nebo abrazivní látky mohou způsobit opotřebení či poškození sondy. Stejně jako u radaru s vedenou vlnou jde i u bezkontaktního radaru o přímé měření ve směru shora dolů, neboť je opět měřena vzdálenost od čidla přístroje k povrchu měřeného média. Signál vysílaný bezkontaktním radarem prochází atmosférou nad měřeným médiem a po odrazu od jeho hladiny se stejnou cestou vrací zpět k přístroji.

Bezkontaktní radarový hladinoměr ke své činnosti vyžaduje přímou viditelnost mezi přístrojem a měřeným povrchem a dosahuje dobrých výsledků spíše při přibližně vodorovném než při svažitém povrchu materiálu. Specifické problémy objevující se v důsled-

problémy s odrazem zvukové vlny od měřeného povrchu či se vznikem „falešných“ odezev. Určit ten „správný“ odraz, reprezentující aktuální polohu hladiny, může být za některých okolností velmi obtížné až nemožné. Ve výsledku ultrazvukové přístroje nejsou schopny měřit v podmínkách vyznačujících se prašným prostředím, proměnnou koncentrací par v prostoru, proměnným sypným úhlem a velkými kusy materiálu, překážkami uvnitř nádoby a tvorbou povlaků nebo shluků materiálu na površích uvnitř nádoby.

Přestože výkonnost, a tím i použitelnost ultrazvukových hladinoměřů díky konstrukčním zdokonalením a technickému pokroku v porovnání s minulostí vzrostly, ve většině úloh měření polohy hladiny sypkých látek napříč celým jejich širokým spektrem poskytou lepší výsledky novější metody – radarové a akustické.

Akustická technika

Akustické přístroje měří vzdálenost vysláním pulzů nízkofrekvenčního vlnění, které se odráží od povrchu obsahu sila, zásobníku nebo kontejneru. Vzhledem k povaze akustického signálu, který se šíří mnoha směry, může být obtížné získat odraz od povrchu použitelný k měření. Akustické hladinoměrné systémy, jako je Rosemount 5708 3D Solids Scanner od společnosti Emerson (obr. 4), používají tři

tomu ovšem radioizotopové přístroje vyžadují speciální licence, školení personálu, sledování a vedení zvláštní dokumentace, což znamená větší provozní náklady. Vedle toho je třeba věnovat patřičnou pozornost i problematice jejich budoucí likvidace a souvisejícím nákladům.

V případech, kdy je třeba úředně certifikovaným způsobem měřit hmotnost, např. v potravinářství, farmacii, při dodávkách nerostných surovin atd., se obvykle používají siloměry a tenzometrická vázící zařízení. Jsou běžné při bilančních měřeních a uplatní se také všude tam, kde všechny ostatní metody selhaly. U siloměru je patrná tendence zabudovat je do zařízení již během jeho návrhu a montáže; ale mohou být přidány i dodatečně. Tyto měřicí systémy musí být konstruovány podle individuálních požadavků a často je obtížné je kalibrovat.

Shrnutí

Současná nabídka dostupných metod měření polohy hladiny sypkých látek je velmi široká. Má-li být pro jednotlivou úlohu vybráno vhodné – tj. přiměřeně přesné a co do nákladů přijatelné – měřicí zařízení, je třeba důkladně zvážit veškeré průvodní okolnosti. Například: Jaké má zásobník rozměry? Bude problémem prach v nádobě? Jakou mají měřená média odrazivost, malou, nebo velkou? Jestliže povrch sypké látky je typicky nerovný, poskytnete měření v jediném bodě dostatečně přesné výsledky?

Pro menší nádoby lze jako obecné vodítko doporučit radarové hladinoměry s vedenou vlnou, reprezentované v nabídce společnosti Emerson řadou přístrojů Rosemount 5300 Series. Jde o přístroje umožňující spojitě měřit polohu hladiny sypkých látek s velkou přesností a spolehlivostí. Díky malým rozměrům

mechanického připojení se snadno instalují a lze je přizpůsobit nádobám nejrůznějších typů a tvarů. Mají krátkou dobu odezvy, umožňující řešit i úlohy rychlého plnění nádob, a měřicí charakteristiky nezávislé na vlhkosti a na kolísání vlastností měřeného materiálu, např. hustoty a teploty. Důležité je ovšem vybrat správný typ sondy, přičemž je třeba věnovat zvláštní pozornost montáži do vysokých nádob či jde-li o měření agresivních nebo abrazivních médií.

Zvýšenou pozornost si zasluhují také sypké látky s malou poměrnou permitivitou, velká vzdálenost k povrchu média a přítomnost elektromagnetického rušení. Takové úlohy vyžadují použití přístrojů s vestavěnými podpůrnými technikami typu např. Probe End Projection (PEP), použité ve snímači Rosemount 5300. Metoda PEP umožňuje spolehlivě měřit i při jinak nedostatečné úrovni odraženého měřicího signálu.

V situacích, kde agresivní nebo abrazivní médium může způsobit opotřebení či poškození sondy radaru s vedenou vlnou, je třeba jako alternativu zvážit bezkontaktní radar. Protože ale odrazivost sypkých látek je v tomto případě malá, je velmi důležité správně vybrat a nainstalovat anténu. V bezkontaktním radarovém hladinoměru nejnovější generace Rosemount 5402 je použit software s algoritmy umožňujícími překonat specifické problémy provázející měření sypkých látek v souvislosti s jejich svažitými povrchy, malou poměrnou permitivitou a rušením signálu při velkých rychlostech plnění zásobníku.

Množství materiálu nacházející se ve větších zásobnících a silech o výšce až 70 m lze velmi přesně měřit akustickými přístroji. Tyto spojitě poskytují údaj o objemu uložené látky získaný podrobným zmapováním jejího povrchu a mohou měřit materiály téměř všeho

druhu včetně obilí, minerálů, rud a cementových materiálů s velmi malou poměrnou permitivitou. Přístroje jako Rosemount 5708 3D Solids Scanner mapují nerovný povrch typický při skladování sypkých látek a mohou poskytovat údaj o celkovém objemu uložené látky a maximální, minimální a střední výšce spolu s 3D vizualizací jejího povrchu. Přístroj má samočisticí schopnosti, a tudíž i při mimořádně prašném pracovním prostředí vyžaduje jen minimální údržbu.

K použití v rozlehlých areálech velkoskladů sypkých materiálů lze zkombinováním většího počtu akustických hladinometrů vytvářet měřicí systémy umožňující přesně a spolehlivě řídit skladové a výrobní procesy v mnoha průmyslových oborech.

Závěr

Pečlivým výběrem nejhodnější měřicí metody je možné dosáhnout minimalizace požadavků na údržbu a současně nejdélejší možné doby hospodárného provozu měřicího zařízení. Většina dodavatelů nabízí široký výběr metod a zařízení a jejich produktoví specialisté a aplikační inženýři mají dostatek zkušeností s většinou z možných úloh umožňujících jim úspěšně provést budoucího uživatele všemi úskalími procesu výběru až k volbě zařízení, které je pro jeho úlohu nejhodnější.

Podle anglického originálu *Serneby, I.: Choosing the right technology for accurate and reliable solids level measurement*; překlad Karel Suchý, jazyková a typografická úprava redakce časopisu Automa; publikováno se souhlasem firmy Emerson Process Management, s. r. o.

*Ingemar Serneby,
Emerson Process Management*

► Konference OPC Day Europe 2015

Pátá konference OPC Day Europe se konala ve dnech 19. a 20. května v konferenčním centru firmy Microsoft v Paříži. Celkem se jí zúčastnilo 186 odborníků z 25 různých zemí světa. Účastníci hodnotili jednotlivé přednášky a za nejpřínosnější označili prezentaci Clemense Vasterse z hostitelské firmy Microsoft o integraci OPC UA a Azure IoT Services. Vysoko byla hodnocena i přednáška jeho kolegy Ericha Barnstedta o Windows 10, který představil IoT Core, nejmenší verzi tohoto operačního systému, poskytovanou vývojářům zdarma, a na živě ukázce předve-

dl komunikační zásobník ANSI C Stack, založený na serveru OPC UA.

Bernard Cubizolles z firmy GE vysvětlil, proč je OPC UA základem jejich celosvětové strategie rozvoje internetu věcí (IoT) a informoval posluchače o implementaci OPC UA Global Discovery Server (GDS), na světě první implementaci serveru založeného na části 12 specifikace OPC UA, který dokáže najať všechna zařízení OPC UA ve své komunikační síti a připojit je bez nutnosti jakékoliv konfigurace.

Účastníci se také dozvěděli o nové specifikaci komunikačního modelu PubSub (*publisher-subscriber*) s vylepšenou škálovatelností a flexibilitou pro budoucí aplikace IoT. Heiner Munz z firmy KUKA měl společně s Toddem Walterem z firmy National Instru-

ments přednášku o tom, že OPC UA v kombinaci s TSN (*Time Sensitive Networks*) může v budoucnu sloužit i ke komunikaci v reálném čase.

Společnost Siemens představila své pojetí německého konceptu Industrie 4.0, který se stále více stává úspěšným vývozním artiklem: její referenční model architektury pro Industrie 4.0 (RAMI4.0) uvádí doporučení, jakou techniku a software pro Industrie 4.0 používat – a OPC UA je jediný komunikační standard, který tento model doporučuje.

Konference OPC Day Europe se za dobu své existence stala dobře etablovanou akcí, která nejen poskytuje množství aktuálních informací, ale je i vhodnou příležitostí k četným diskusím. (Bk)