

Otevřené bezdrátové systémy pro závody s kontinuálními technologickými procesy

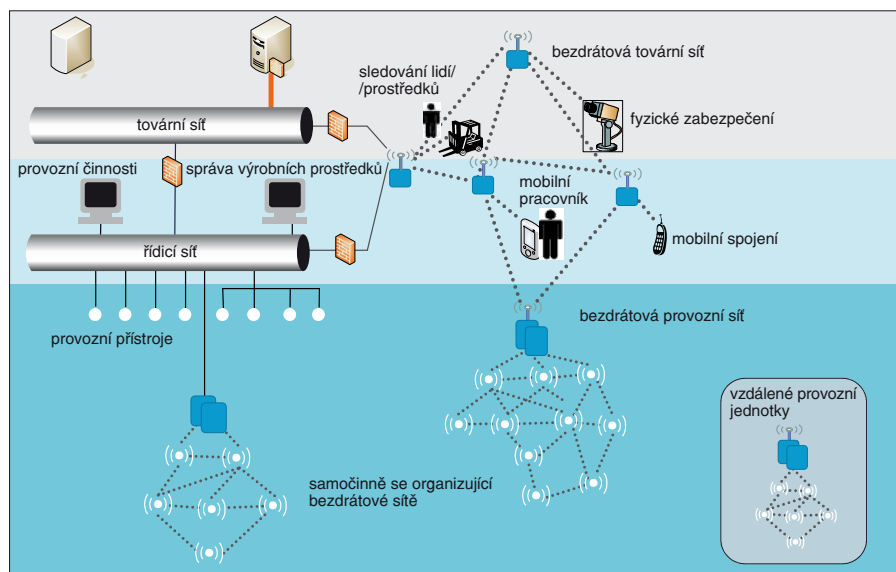
S použitím bezdrátové techniky lze dokonaleji a efektivněji řídit spojité technologické procesy i provozy a závody, v nichž jsou provozovány. Jsou-li k dispozici vhodné prostředky a strategie jejich použití odpovídající danému podnikatelskému záměru, lze výhody bezdrátové techniky začít bez obav využívat okamžitě, s možností budoucího rozšíření systému podle potřeby. Obojí, prostředky i strategie pro celý závod, nyní nabízí společnost Emerson Process Management v rámci svého nejnovějšího otevřeného konceptu *Smart Wireless Architecture*, přestaveného v Evropě na konci listopadu 2007.

Bezdrátová technika v toku inovací

Žádná nová technika, byť sebezpěratnější, nepřinesla dosud do oblasti řízení technologických procesů změnu jen samotnou svojí existencí. Do popředí zájmu se dostala a ocenění došla vždy jen proto, že umožnila realizovat nové, dříve nedostupné funkce. Například nástup mikroprocesorů a digitální

Jen typických příkladů lze uvést desítky (to ovšem není tématem tohoto článku).

Vněst do průmyslového prostředí významný pokrok v uvedeném směru nyní slibují metody bezdrátového přenosu číslicových dat, tj. bezdrátová technika. Do jaké míry a jak rychle se prosadí, bude záviset, podobně jako u předchozích novinek, na její schopnosti snadno a hospodárně rozšířit a spravovat tok



Obr. 1. Smart Wireless Architecture spojuje provozní a tovární bezdrátovou síť

komunikace vedl ke vzniku distribuovaných řídicích systémů (DCS) a přemístění části inteligence do provozních zařízení, přičemž je možné přenášet nejen hodnoty technologických veličin, ale také údaje o současném i očekávaném stavu zařízení i řízeného procesu. Dodatečné informace umožnily uživatelům současně pružněji řídit provozní činnosti, zvýšit provozní bezpečnost a snížit náklady na provoz i úpravy a modernizace, a tím přímo skokově zvýšit výkonnost jejich závodů. Přes dosavadní inovace zůstává ale i v současné „digitální továrně“ mnoho možných zlepšení ležet ladem. Cenné údaje, které by umožnily dále zvýšit produktivitu, zůstávají nevyužity, protože získat je by bylo příliš nákladné nebo to není technicky realizovatelné.

dat a informací v závodě (továrně). Očekává se, že bezdrátová technika rozšíří možnosti v oblasti sběru dat, a tím napomůže zdokonalit řízení procesů a správu výrobních aktiv, že umožní pracovníkům (lidským „aktivům“) pracovat ve větším bezpečí a s větší produktivitou a že nabídne méně nákladné způsoby vykonávání činností souvisejících s chodem závodu jako takového, od zabezpečení před nežádoucími vniknutím po sledování pohybu lidí i prostředků.

K tomu, aby byl naplno využit naznačený potenciál bezdrátové techniky především ke spokojenosti provozovatelů spojených výroby, je nutný komplexní přístup všech zainteresovaných. Výchozí pohled na celou problematiku doplněný stručnou charakteristi-

kou prostředků, které pro tuto oblast nabízí, poskytuje společnost Emerson Process Management ve [3].

Bezdrátová technika v moderním závodě

Přínosy z bezdrátové techniky budou maximální při jejím hromadném využití v mnoha rozmanitých úlohách přenosu informace. Přes jejich rozmanitost lze příležitosti k využití bezdrátové techniky v závodě rozdělit do tří základních kategorií, a to na základě primárního účelu úlohy, tj. podle hlavního předmětu zájmu. Tím mohou být:

- *technologické a provozní informace* včetně podrobných údajů o závodě a hmotných aktivech, celé šíře diagnostických dat a informací „spoza zdí“ závodu,
- *produktivita pracovní síly* včetně operátorů a údržbářů na vzdálených pracovištích či pohybujících se po závodě, automatizovaného řízení operací a spojení s mobilními pracovníky,
- *manažerské řízení závodu* včetně fyzického zabezpečení objektů závodu, sledování a dohledu s použitím videozařízení a sledování pohybu osob i hmotných předmětů.

Oblast technologických a provozních informací

Čím více informací je k dispozici o technologickém procesu, hmotných aktivech a celkovém chodu závodu, tím bezpečnější a výnosnější může být dané podnikání. Větší množství dostatečně kvalitně naměřených hodnot znamená více příležitostí ke snížení provozních nákladů a ke zvyšování kvality výrobků a výkonnosti a dostupnosti výrobního zařízení.

Jsou zde i mnohé další legislativní požadavky ohledně bezpečnosti a vlivů na životní prostředí, vznikající až poté, co už bylo zařízení postaveno. Závody tudíž musí usilovat o přístup k technologickým datům a diagnostickým informacím, které jim mohou pomoci dosáhnout shody s legislativou.

Proč tedy nejsou závody více „proměřeny“? Velmi často nad přínosy určitého měřicího místa převládá náklady nebo technická obtížnost. To je známá slabá stránka tradičních kabelových vedení.

Bezdrátová technika odstraňuje tyto překážky a umožňuje dosáhnout bezprecedentního přístupu k datům, která dosud byla z ekonomických či technických důvodů nedostupná (výčet příkladů ponecháváme na čtenářově vlastní zkušenosti a fantazii).

Důležité je, že možnost přístupu k doplňkovým datům není omezena jen na techno-

logické proměnné, ale platí i pro informace o samotných přístrojích a technologickém zařízení obecně.

V provozech v současné době jsou miliony inteligentních přístrojů s rozhraním HART a nabídkou diagnostických funkcí. V mnoha závodech však neexistuje infrastruktura, kte-

mít podobný význam, jaký mají pro současné obchodníky a manažery mobilní telefony a digitální osobní organizéry.

I za běžného provozu není nijak neobvyklé, že se po velkém závodě pohybují až stovky pracovníků, často daleko od svých mateřských řídicích pracovišť, údržbářských dílen



Obr. 2. Společnost Emerson nabízí velký výběr bezdrátových provozních přístrojů a prediktivní software AMS™ v sadě SmartPack™ Wireless Starter Kit

rá by data ve formátu HART mohla zpracovat. Jelikož je trvale digitálně sledován pouze zlomek těchto přístrojů, je potenciální zisk z použití takovéto plošné diagnostiky jistě hodný pozornosti.

Při použití bezdrátové techniky nemusí žádný údaj zůstat nepovšimnut. Například zmíněné přístroje s rozhraním HART lze doplnit bezdrátovým adaptérem pro přenos diagnostické informace do velínu nebo na pracoviště údržby, kde podle nich příslušní pracovníci vykonají potřebný servisní zásah. Technologický signál 4 až 20 mA se dále vede kabelem.

Uvedená a jí podobné možnosti otevírají cestu k velkému množství různorodých úloh – od nepřetržitého sledování stavu bezpečnostních tlakových ventilů, kdy cílem je vyhnout se únikům znečišťujících látek a následným pokutám, po sledování postupu koroze potrubí a nádob nebo vibrační mechanických zařízení apod. A protože bezpečnost v závodě je vždy na prvním místě, má znalost skutečného stavu co největšího počtu zařízení v závodě z tohoto pohledu kritický význam.

Možnosti jsou téměř neomezené. Stačí si jen vzpomenout na všechno, co kdy bylo třeba měřit, ale nebylo možné obhájit potřebné výdaje. S příchodem bezdrátové techniky je šance to dokázat.

Oblast produktivity pracovní síly

V současné době, kdy provozovatelé kontinuálních výroby čelí naléhavému problému stárnutí zaměstnanců a ztrácejí nahromaděné zkušenosti, může pro budoucí generaci pracovníků v závodech bezdrátová technika

nebo kanceláří. Nová vlna bezdrátových nástrojů může výrazně zvýšit jejich produktivitu tím, že jim umožní okamžitý přístup k informacím, pro které by jinak museli daleko jít nebo jet nebo pro jejich vyhledání připravit o cenný čas jiného pracovníka.

Například operátoři technologických zařízení nyní díky technickému pokroku sledují a ovládají svěřené zařízení z bezpečných a pohodlných řídicích pracovišť. Přesto však občas musí jít do provozů. Některé společnosti běžně posílají své operátory na obhlídku, aby na vlastní oči viděli, jak závod pracuje. Efektivita těchto lidí může být výrazně vyšší při použití odolného bezdrátového PC, umožňujícího jim spojit se na dálku s řídicími systémy nebo systémy pro správu aktiv, okamžitě hlásit, čeho jsou v provozu svědky a pohotově zajistit nápravu.

Jsou-li operátoři v provozu, může se stát, že na řídicím pracovišti chybí někdo, kdo by sledoval výstražná hlášení. Jsou-li ovšem po závodě rozmístěny bezdrátové přístupové body, mohou operátoři při použití bezdrátového PC nebo podobného nástroje získat odkudkoliv přístup ke kritickým informacím o řízeném procesu, k historickým datům, grafům a různým klíčovým funkcím, které se běžně nacházejí v řídicí místnosti nebo jinde v závodě. Z místa, kde právě jsou, mohou takto i sledovat a potvrzovat výstražná hlášení.

Nové bezdrátové metody mohou také zlepšit komunikaci mezi pracovníky. V provozech se ke komunikaci na krátké vzdálenosti již často používá starší technika ručních radiostanic (*walkie-talkie*). Zcela jinou úroveň co do dosahu i „inteligence“ komunikace ovšem nabízí kombinace širokopásmové bezdrátové

sítě pokrývající celý areál závodu s internetovou telefonii (VoIP). Například lze všesměrově posílat zprávy určitým týmům podle adres IP radiostanic jednotlivých pracovníků. Když zákazníci porovnávají tradiční kabelové veřejné telefonní sítě, často zjistí, že vyjdou mnohem draž než vybudování bezdrátové infrastruktury podporující VoIP. Další výhodou použití bezdrátového přístupu je, že se současně získá základna umožňující řešit i úlohy vyžadující pokrytí sítí WiFi.

Bezdrátový systém může být užitečný také údržbářům. Bezdrátové ruční komunikátory a podobné přístroje jim dovolí z místa, kde se právě nacházejí, přistupovat k pracovním příkazům, instrukcím apod. i bezprostředně sledovat zařízení a hlásit výsledky kontrol, zkoušek a oprav.

Mají-li být použitelné v prostředí průmyslových závodů, musí být prostředky a metody pro bezdrátovou komunikaci pracovníků patřičně odolné, včetně elektromagnetické kompatibility. Rovněž musí být určeny pro příslušné kmitočtové pásmo a schopny koexistovat s informačními toky určenými k řízení, které přicházejí z provozních bezdrátových sítí a mají vyšší prioritu.

Oblast manažerského řízení závodu

Metody bezdrátové lokalizace osob a předmětů, bezdrátového dohledu nad objekty a jejich zajištění a zabezpečení při použití videozařízení apod. podstatně změnil způsob fungování kancelářských budov, nemocnic, skladů a obchodů. Tytéž prostředky mohou řešit i potřeby v provozním prostředí závodu, typicky např. při zlepšování bezpečnosti a zabezpečení, neboť umožňují snadno získat informace lépe objasňující, o co vlastně jde (popř. šlo). Například tam, kde by bylo příliš obtížné, nákladné nebo nebezpečné vykopat příkop pro kabel, je snadné a ekonomické instalovat bezdrátové videokamery.

Mnohde se již bezdrátová technika k dokonalejšímu zabezpečení závodů využívá. S použitím bezdrátových uzavřených televizních okruhů a osobních průkazů se štítky RFID se realizují nejrůznější systémy inteligentního zabezpečení s funkcemi sahajícími od omezování přístupu do určitých oblastí s odstupňováním podle úrovně zabezpečení, přes lokalizaci pokusů o překročení pravidel až např. po podporu při hledání potenciálních slabých míst a zdokonalování zabezpečovacích systémů. Bezdrátově lze také sledovat určitá nebezpečná zařízení, kdy cílem je zmenšit riziko, kterému je vystavena jeho obsluha.

Prostředky pro bezdrátovou lokalizaci umožňují rychle nalézt a sledovat pohyb záso- b, cenných předmětů i pracovníků pohybujících se uvnitř i vně závodu. Velmi výrazně lze zkrátit dobu potřebnou na jejich vyhledání, což může být velmi výhodné při velkých změnách, mimořádných událostech a při nové výstavbě. K vyšší bezpeč-

Tab. 1. Nabízená a připravovaná zařízení pro síť Smart Wireless (typově)

| Status (X1/07) | Provozní přístroje | Integrace systému |
|----------------|--|--|
| na trhu | tlak průtok hladina teplota diskrétní spínač | 1420 Wireless Gateway AMS Device Manager Native Interface ROC Oil & Gas Wireless Gateway |
| připravované | vibrace koroze (spolupráce) modernizační modul HART indikátor polohy ventilu přepínač teplot směrovač | Delta V Native Wireless I/O |

nosti a produktivitě práce významně přispívá i možnost rychle lokalizovat každého pracovníka.

Koncepce, která pracuje pro uživatele

K maximálnímu využití všech výhod a možných přínosů již naznačených řešení je nutný solidní základ v podobě bezdrátové sítě a celkové infrastruktury. Proto společnost Emerson Process Management (Emerson) vyvinula koncept umožňující libovolnému závodu s kontinuální výrobou bezdrátové rozšíření na dvou základních úrovních:

- technologické, tj. technologických zařízení a procesů, pro kterou jsou určeny *provozní bezdrátové sítě (wireless field network)*,
- závodu, tj. na úrovních podpory produktivity pracovníků a manažerského řízení závodu, kde se uplatňují *tovární bezdrátové sítě (wireless plant network)*.

Uvedený koncept s označením *Smart Wireless Architecture* integruje světy kabelů a bezdrátový v jedinou společnou rozšířitelnou infrastrukturu pomáhající optimalizovat veškeré úlohy sběru a přenosu dat a řízení používané při chodu závodu (obr. 1). Jeho zavedením společnost Emerson dále pokračuje ve svém komplexním pojetí měřicí a řídicí techniky pro spojitou výrobu. V podstatě „odvázala“ od kabelů svůj osvědčený koncept digitálního závodu PlantWeb® a umožňuje nyní využít jeho prediktivní a další funkce také v oblastech, kde to dosud z fyzikálních nebo ekonomických příčin nebylo možné.

Důležité je, že jde o přístup výhradně používající otevřené standardy, takže uživatel není ve svém výběru vázán na specifickou techniku nebo na jednotlivého dodavatele. Na všech úrovních bezdrátových sítí je také věnována patřičná pozornost informační bezpečnosti, garantované použitím spolehlivých kryptografických standardů.

Provozní bezdrátové sítě

K použití na technologické úrovni nabízí společnost Emerson síť *Smart Wireless*, v praxi ověřenou samočinně se organizující síť s volnou topologií (*mesh*) využívající nedávno standardizovaný protokol Wireless HART. Každé zařízení v samočinně se organizující síti může pracovat jako směrovač pro okolní sousedící zařízení, takže zprávy se předávají

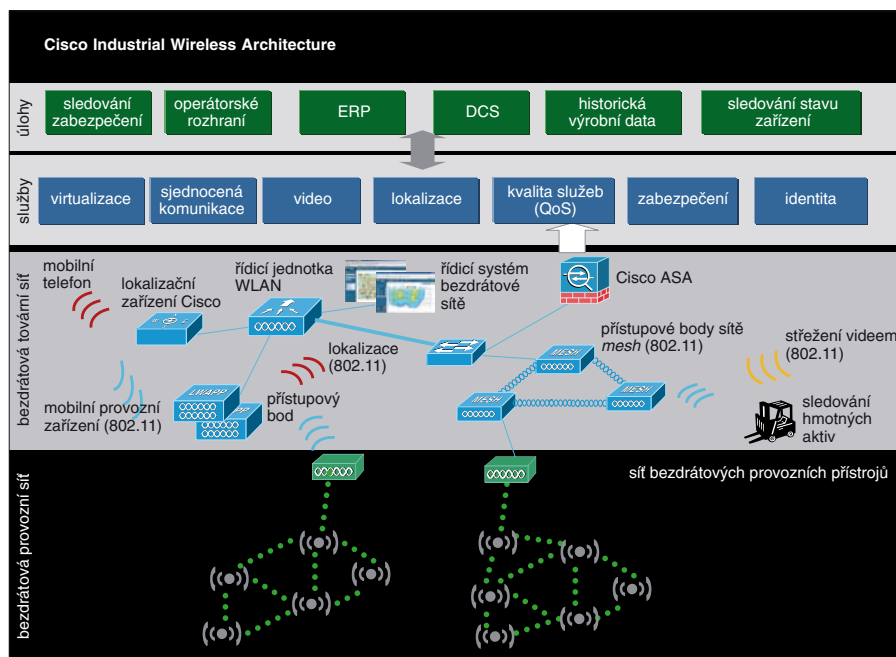
postupně od zařízení k zařízení, dokud se nedostanou k zařízení, pro něž jsou určeny. Síť typu *mesh* je z principu redundantní, nevyžaduje přímou viditelnost mezi zdrojem a příjemcem zprávy a samočinně se vyrovnává se změnami konfigurace (přidání nebo odebrání uzlu sítě) i provozních podmínek, umožňuje minimalizovat spotřebu energie apod. Náklady na instalaci bezdrátově připojených provozních zařízení mohou být až o 90 % nižší než při použití kabelů. Více se o těchto sítích lze dozvědět např. v [1], [2].

Zakoupit lze i standardní balíček pro práci s pěti až jedním stem bezdrátových přístrojů (obr. 2).

Tovární bezdrátové sítě

Tovární bezdrátové sítě podle konceptu *Smart Wireless Architecture* jsou otevřené, jsou založeny na komerčních standardech jako IEEE 802.11 (WiFi), nově přicházejícím standardu 802.11s (WiFi *mesh*) a 802.16 (WiMAX), široce podporovaných množstvím snadno a levně dostupných zařízení.

Aby nabídla prostředky na skutečně špičkové úrovni, navázala společnost Emerson v oblasti tovární sítě velmi těsnou spolupráci s firmou Cisco Systems, Inc., předním dodavatelem otevřených bezdrátových sítí. V rámci svého konceptu *Smart Wireless Architecture* nyní využívá koncept *Cisco Unified Wireless Architecture* v jeho průmyslové podobě *Cisco Industrial Wireless Architecture* (obr. 3). Společnost Emerson využívá prostředky podle konceptu *Unified Wireless Architecture* k pokrytí závodu bez-



Obr. 3. Koncept Cisco Industrial Wireless Architecture všestranně podporuje bezdrátové komunikace v průmyslovém závodě (s vazbou na provozní síť Smart Wireless v dolní části obrázku; zdroj: Cisco)

Fyzickou vrstvu sítí *Smart Wireless* představují rádiová pojítka podle standardu IEEE 802.15.4 s přepínáním kanálů, odolná proti téměř jakémukoliv rušení a schopná koexistence s ostatními bezdrátovými sítěmi v závodě. Síť *Smart Wireless* jsou ve značné míře rozšířitelné a umožňují vzorkovat signály po jedné sekundě s malou latencí. V praxi prokazují spolehlivost přenosu dat lepší než 99,9 %.

Pro síť *Smart Wireless* jsou nyní (v listopadu 2007) v rámci konceptu Emerson *Smart Wireless Solutions* k dispozici, popř. připravována k uvedení na trh, zařízení podle tab. 1.

drátovou místní sítí (WLAN), po celém závodě dostupnou, velmi dobře zabezpečenou a integrovanou do již existující infrastruktury IT v závodě (díky této integraci není nutné budovat komplexní překryvnou bezdrátovou síť). Hlavními stavebními prvky této sítě jsou odolné přístupové body řady Cisco 1500 Series pro bezdrátové sítě s volnou strukturou a software Cisco Wireless Control System pro správu bezdrátové sítě. Společnost Emerson dále ve spolupráci s firmou Cisco nabízí podporu mobilních pracovníků, internetovou telefonii, sledování osob a předmětů a práci s videozařizeními.

Začít lze okamžitě

Bezdrátová technika dosud byla spíše na okraji zájmu provozovatelů kontinuálních výroby, kteří se obávali malé spolehlivosti, nedostatečného zabezpečení a problémů s napájením. Tyto obavy jsou při současném stavu techniky jak rádiového spojení, tak i samotných přístrojů, již liché. V podstatě neexistuje důvod, proč s použitím bezdrátové techniky v oblasti řízení kontinuálních technologických procesů otálet.

Výhodnou pro první pokusy je, že nejdříve o hierarchický model a vynaložené úsilí ani náklady přitom nemusí být velké. Lze začít odkudkoliv v závodě podle priorit určených uživatelem. První vyřešená úloha, i malá, poskytne cenné zkušenosti, které při úvahách o případném širším zavedení bezdrátové techniky v dalších částech závodu jistě přijdou vhod.

Projektování, instalace i obsluha bezdrátových systémů by měly být co nejsnazší.

I to přispívá k jejich celkové efektivitě; při vzniku konceptů Smart Wireless Solutions i Smart Wireless Architecture nebylo toto hledisko rozhodně opomenuto. Současně dizíve *Emerson Services and Solutions* a *Cisco Advanced Services* spojují své síly a nabízejí v oboru bezdrátové techniky velké množství různých služeb, od poradenství, přes projektování a záruční i pozáruční servis až po zajištění veškeré péče o bezdrátovou síť po celý její životní cyklus.

Závěr

Společnost Emerson Process Management uvedla přibližně před rokem na trh bezdrátovou provozní síť Smart Wireless, kterou rozšiřuje dosah svého osvědčeného konceptu digitálního závodu PlantWeb do míst, kam z ekonomických nebo fyzikálních důvodů nelze zavést kabely. V rámci konceptu Smart Wireless Solutions nyní do této sítě postupně přidává další provozní přístroje. Současně

realizuje svůj koncept Smart Wireless Architecture, v jehož rámci spojuje provozní bezdrátovou síť Smart Wireless s tovární bezdrátovou sítí širokého použití na bázi otevřených komunikačních standardů, kterou dodává ve spolupráci s firmou Cisco.

Další informace lze získat na <http://www.EmersonProcess.com/SmartWireless>, popř. přímo u společnosti Emerson Process Management, s. r. o. (kontakt lze nalézt v inzerátu na druhé straně obálky).

Literatura:

- [1] BARTOŠÍK, P.: *Proč bezdrátové snímáče?* Automa, 2007, roč. 13, č. 3. s. 64–65.
- [2] *Bezdrátové sítě v průmyslové praxi.* Automa, 2007, roč. 13, č. 6. s. 28–29.
- [3] *Putting wireless to work in process operations.* White paper 070914, Emerson Process Management, September 2007.

(Emerson Process Management)

Ethernet Powerlink – sériový přeborník v desetiboji

Při výběru komunikačního standardu rozhodují různé argumenty. Jejich priority jsou různé podle požadavků dané úlohy. Někteří uživatelé se rozhodují podle tří nebo čtyř hledisek, jiní jich mohou zvažovat sedm až osm. Ethernet Powerlink však v oblasti ethernetových sběrnic pracujících v reálném čase vede hned v deseti kritériích.

První kritérium: výzkum a vývoj

Uživatelé se nestarají o to, zda jsou ve vývoji uplatňovány výsledky nejnovějších výzkumných a vědeckých prací, dokud požadovaný výrobek není na trhu. Význam pro ně mají jen ty výsledky výzkumné práce, které se po zahájení sériové výroby uplatní v praxi. Výrobky, které využívají sběrnice s protokolem Ethernet Powerlink, jsou na trh dodávány od roku 2003, což dává uživatelům jistotu, že jde o vyzkoušený, po léta používaný standard. Specifikace protokolu Ethernet Powerlink byla postupně přizpůsobována požadavkům reálných úloh a v současné době vyvrála do podoby, která splňuje veškeré běžné požadavky průmyslové automatizace a zahrnuje dlouholeté zkušenosti z praxe.

Druhé kritérium: nezávislost daná otevřeností

Být na někom závislý znamená vzdát se možnosti ovládat své záležitosti – a to není

ideální výchozí bod pro výběr technických prostředků, které mají pro podnik strategický význam. Dostupnost z jiného zdroje je proto při rozhodování často tím kritériem, které je určující pro přijetí nebo odmítnutí navrhovaného řešení. Vzhledem k otevřenosti specifikace protokolu Ethernet Powerlink je zajištěno, že uživatelé mají možnost opatřit si téměř všechny komponenty z více zdrojů – včetně novinek, jejichž vývoj je rychlejší než u proprietárních sběrnic. Ethernet Powerlink je softwarový protokol určený speciálně pro průmyslové úlohy, který využívá hardware sběrnice Ethernet. Jeho komunikační mechanismy jsou standardizované, ale vlastní implementaci protokolu může každý navrhnout a udržovat podle vlastních pravidel. Dodavatelé softwaru nabízejí nástroje ulehčující práci při implementaci protokolu do konkrétního zařízení.

Třetí kritérium: kompatibilita s existujícími systémy

Mnozí konstruktéři strojů a výrobních linek dnes používají průmyslovou sběrnici CAN a protokol CANopen – za uplynulé roky vložili do vývoje produktů využívajících tuto sběrnici velké investice. Protokol Ethernet Powerlink v sobě CANopen integruje (tj. přebírá profily zařízení podle normy EN 50325-4), a otevírá tak uživatelům komunikačních systémů s protokolem CANopen velmi pohodlnou cestu do světa Ethernetu. Například

konstruktéři pohonů se mohou spolehnout na kombinovaný standardní profil CiA DSP 402/Ethernet Powerlink a velmi rychle začnou u svých zařízení s CAN používat komunikaci po Ethernetu. Je přitom zachována úplná kompatibilita – dokonce ani použití nejnovějších profilů CANopen nevyžaduje instalaci nové verze Powerlink V2, ale lze používat i starší verzi V1.

Čtvrté kritérium: rychlost jako u běžného Ethernetu

Ethernet, známý z „kancelářského“ světa, v současné době běžně dosahuje šířky pásma 1 Gb/s. Této šířky pásma mohou dosáhnout i uživatelé protokolu Ethernet Powerlink, jediným nutným krokem je změna hardware 100Mb sítě za hardware gigabitové sítě. Jak je to možné? Protokol Ethernet Powerlink využívá standardní hardware sběrnice Ethernet, a proto může čerpat z rychlého pokroku v jeho vývoji. Tisíce světových firem dodávajících výrobky pro běžné uživatele Ethernetu v domácnostech a kancelářích pracují na technickém vývoji svých zařízení a přísně přitom dbají na zpětnou kompatibilitu. Naproti tomu proprietární řešení komunikačních sítí založených na Ethernetu mnohdy vyžadují speciální elektronické součásti (zákaznické obvody ASIC), které je nutné pro každý případ zvlášť navrhnout a testovat.