

6 PRIEMYSELNÝ ETHERNET

Ciele

- Pochopiť štruktúru systému na prenos údajov na spodných úrovniach riadenia podniku,
- oboznámiť sa s nárokmi na komunikačný systém na jednotlivých úrovniach,
- oboznámiť sa s používanými systémami na prenos údajov na týchto úrovniach.
- pochopiť princíp činnosti a architektúru priemyselnej komunikačnej siete PROFINet.

6.1 Úvod

Štandard *IEEE 802.3* špecifikuje lokálnu sieť (LAN) *Ethernet*. Pojem „lokálna sieť“ je možné interpretovať ako počítačovú sieť vytvorenú z obmedzeného počtu zariadení, ktoré sa nachádzajú v ohraničenom priestore. Ako je vidno z Obr.3.1 v kapitole 3: *Lokálne siete*, štandardy lokálnych sietí špecifikujú len fyzickú a linkovú vrstvu vo vrstvovom modeli OSI. Z toho vyplýva, že *IEEE 802.3* (*Ethernet*) určuje vlastnosti použitých komunikačných rozhraní (napr. elektrických alebo optických) a metódu riadenia prístupu na prenosové médium.

Štandard lokálnej siete *Ethernet* nebol navrhnutý pre používanie v priemysle na spodných úrovniach riadenia a nezohľadňuje potrebu prenosu údajov v reálnom čase. Vyplýva to z použitej prístupovej metódy *CSMA/CD* (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), ktorá vychádza z faktu, že zariadenia na LAN *Ethernet* používajú zdieľané prenosové médium, na ktoré môže v danej chvíli vysielat' údaje len jedno zariadenie. Ak zariadenie na sieti chce odoslať údaje inému zariadeniu, musí sledovať či momentálne nevysiela údaje iné zariadenie a ak nie, potom začne vysielat'. Môže sa stať, že niekoľko zariadení začne vysielat' údaje súčasne. Vznikne kolízia, ktorú zariadenia zaregistrujú, prestanú vysielat' a začnú znova vysielat' po zvolenom časovom intervale. Ku kolízii principiálne môže dôjsť aj potom. V zásade nie je možné predvídať ako dlho budú jednotlivé zariadenia čakať na prístup na prenosové médium (kým začnú úspešne vysielat' údaje) čo znamená, že *prístupová metóda CSMA/CD nie je deterministická*. Oblasť, v ktorej môže dochádzať ku kolíziám sa nazýva *kolízna doména* a je obmedzená z hľadiska maximálneho počtu zariadení aj geografického rozsahu.

6.2 Reálny čas v sieťach s priemyselným Ethernetom

Vzhľadom na prístupovú metódu CSM/CD je v ethernetovských sieťach možné požiadavky na *reálny čas*¹ splniť len za istých podmienok:

- *Segmentácia siete prepínačmi*, ktorá spôsobí rozdelenie siete na niekoľko častí, ktoré sú oddelené z hľadiska vznikajúcich kolízií. Takáto segmentácia môže byť realizovaná až na úroveň jednotlivých zariadení, ktoré sú prepojené výlučne prepínačmi. V takom prípade vôbec nedochádza ku kolíziám.
- *Použitie špeciálnych komunikačných protokolov* na prenos údajov v reálnom čase, ktoré môžu byť implementované na úrovni sieťovej až aplikačnej vrstvy a nahrádzajú štandardné internetové protokoly (viď vrstvový model Internetu na Obr.5.2 v kapitole 5.2: *Model OSI a Internet*).

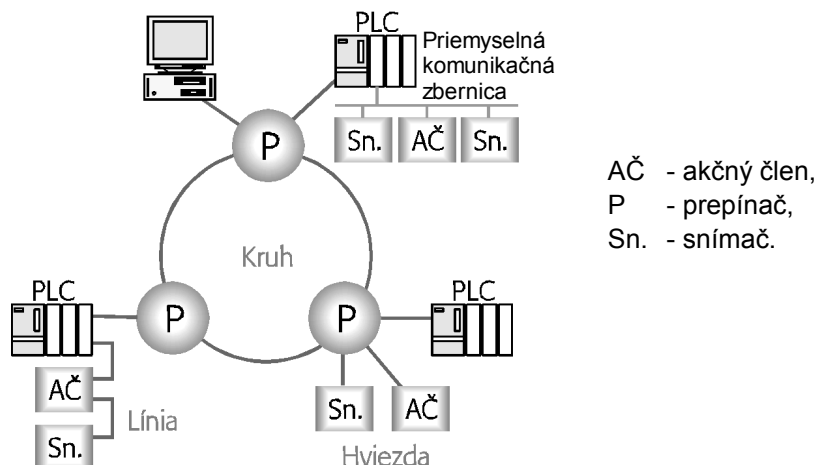
Druhá podmienka vyjadruje skutočnosť, že *priemyselný Ethernet* je komunikačný systém, ktorý *nepozostáva len z lokálnej siete, ale okrem LAN Ethernet má implementované aj funkcie nadradených vrstiev*, viď nižšie.

6.3 Komunikačné štruktúry priemyselného Ethernetu

Systémy s priemyselným Ethernetom môžu mať rôznu štruktúru. Pod štruktúrou budeme rozumieť topológiu siete, logickú štruktúru komunikačných spojení, ale aj metódy prenosu údajov.

6.3.1 Fyzická topológia

Zariadenia na sieti môžu byť prepojené na základe rôznych topológií. Na Obr.6.1 je príklad prepojenia zariadení v sieti s priemyselným Ethernetom.



Obr.6.1 Príklad prepojenia zariadení v sieti s priemyselným Ethernetom

V prvých ethernetovských sieťach sa používala *topológia zbernica*, v ktorej bol ako prenosové médium použitý koaxiálny kábel. V takomto prípade sa jednotlivé

¹ Pojem "reálny čas" je vysvetlený v kapitole 1.2.1: *Prenos údajov v reálnom a voľnom čase*.

zariadenia pripájajú paralelne ku spoločným vodičom. Pri prenose údajov medzi prepojenými zariadeniami môže dochádzať ku kolíziám. Takéto riešenie sa stále používa v niektorých sieťach Priemyselného Ethernetu.

Ďalšou, v súčasnosti najrozšírenejšou topológiou v oblasti lokálnych sietí, je *hviezda* – respektíve *strom*, kedy sú komunikujúce zariadenia prepojené prepojovacím zariadením, ktoré môže byť implementované na úrovni fyzickej, alebo linkovej vrstvy. V prípade, že je toto prepojovacie zariadenie implementované na úrovni fyzickej vrstvy, označuje sa ako *rozbočovač* (anglicky „hub“) a slúži na prenos signálov (elektrických alebo optických) medzi odosielateľom a potenciálnymi príjemcami správy. Ak sú komunikujúce zariadenia prepojené na to určeným zariadením pracujúcim na úrovni linkovej vrstvy, tak medzi týmito zariadeniami nemôže dochádzať ku kolíziám. Prepojovacie zariadenie pracujúce na úrovni linkovej vrstvy sa označuje *prepínač* (anglicky „switch“). Prepínače je možné použiť nielen na prepojenie jednotlivých zariadení, ale aj na prepojenie častí siete, ktoré nemusia mať topológiu hviezda, ale môžu mať inú topológiu – napríklad zbernica.

Okrem spomenutých topológií sa používa *liniová topológia*. Komunikujúce zariadenia sú vtedy prepojené postupnosťou opakovačov, alebo prepínačov ktoré v nich môžu byť integrované.

Uzavretím línie vzniká *topológia kruh*. V prípade poškodenia niektorého zariadenia v kruhu sa údaje prenášajú náhradnou trasou.

6.3.2 Logická topológia

Logická topológia komunikačného systému s Ethernetom je v maximálnej možnej miere nezávislá na fyzickej topológii. Vo väčšine prípadov sa predpokladá, že *každý partner komunikácie je schopný odoslať správu inému komunikačnému partnerovi, ale všetci ostatní partneri komunikácie môžu túto komunikáciu sledovať*. Čiže sieť sa chová ako keby mala fyzickú topológiu typu zbernica. V rozpore s týmto základným predpokladom je však použitie prepínačov, pretože prepínače odošlú prijaté rámce len určitej skupine komunikačných partnerov, ktorí sú pripojení na port prepínača, na ktorom je pripojený aj príjemca rámca.

Aby bol možný prenos správ všetkým účastníkom komunikácie, vybranej množine, alebo konkrétnemu partnerovi komunikácie, využívajú sa možnosti adresácie na úrovni sieťovej vrstvy – v ktorej sa pracuje s IP-adresami.

6.3.3 Metódy prenosu údajov v sieťach s priemyselným Ethernetom

Používané metódy prenosu údajov nie sú závislé na fyzickej a logickej topológii siete. Používajú sa tri metódy: klient/server, publisher/subscriber a producent/konzument. Každá z týchto metód má svoje výhody aj nevýhody a takisto aj svoju oblasť použitia.

Metóda prenosu údajov klient/server

Metóda klient/server umožňuje prenos medzi dvoma komunikačnými partnermi, kedy prenášané údaje nepožaduje žiadne iné zariadenie. Pri tejto metóde musí zariadenie požadujúce údaje, t.j. klient vyslať požiadavku zariadeniu, ktoré je zdrojom týchto údajov, čo je server. Po tejto požiadavke server odošle údaje zariadeniu, ktoré vystupuje vo funkcii klienta. Následne sa spojenie medzi zariadením klient a server zruší a pri opätovnom prenose údajov je ho nutné znova nadviazať.

Táto metóda je vhodná na prenos údajov medzi dvomi zariadeniami, napríklad riadiacimi jednotkami (PLC a iné). Nie je príliš vhodná na prenos údajov zo snímačov, pretože pri prenose každej hodnoty – v každom komunikačnom cykle – je nutné aby zariadenie vo funkcii klienta (napr. PLC) vyslalo požiadavku zariadeniu vystupujúcemu vo funkcii servera (t.j. snímaču). Ak by hodnotu z daného snímača bolo potrebné preniesť do viacerých zariadení, tak by zaťaženie siete ešte vzrástlo.

Metóda prenosu údajov publisher/subscriber

Metóda publisher/subscriber umožňuje príjem prenášaných údajov viacerými partnermi komunikácie súčasne. Zariadenie vysielajúce údaje obsahuje zoznamy zariadení, ktorým sú tieto údaje určené. Každé zariadenie, ktoré chce prijímať údaje od zariadenia publisher, ho musí jednorazovo o to požiadať a až v dôsledku tejto žiadosti si ho zariadenie publisher zaradi do svojho zoznamu.

Metóda je vhodná na cyklický prenos časovo kritických údajov v regulačných slučkách.

Pri odosielaní správ sa môže použiť skupinová adresácia, na základe ktorej sú správy prijímané len tými účastníkmi komunikácie, ktorým je správa určená, alebo je správa opakovane odosielaná všetkým zariadeniam, ktoré o údaje v správe požiadali.

Metóda prenosu údajov producent/konzument

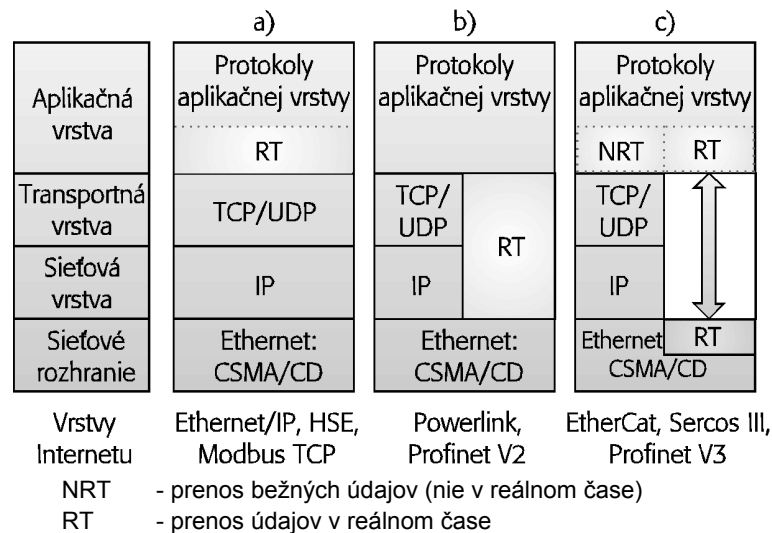
V metóde producent/konzument sa používa pri prenose správ skupinová adresácia, podobne ako v metóde publisher/subscriber. Rozdiel je však v tom, že žiadny partner komunikácie nemá vytvorený zoznam komunikačných partnerov, ktorým vysielajú, alebo od ktorých prijíma údaje.

Pri prenose sú údaje označené špeciálnym identifikátorom. Prvý konzument daných údajov odošle žiadosť o tieto údaje ich producentovi. Producent a konzument sa dohodnú na skupinovej adrese a identifikátore pre tieto údaje. Producent bude odteraz odosielať dané údaje na dohodnutú skupinovú adresu. V prípade, že o tieto údaje má záujem aj iný konzument, tento požiada o pridelenie skupinovej adresy a identifikátora údajov od producenta, alebo iného konzumenta.

Metódy publisher/subscriber a producent/konzument znižujú zaťaženie komunikačného systému vychádzajúceho z Ethernetu, avšak niekedy môžu klásť zvýšené nároky na pripojené zariadenia. Ide predovšetkým o vysielanie a príjem správ s globálnou a skupinovou adresáciou, ktoré nemusia byť schopné spracovať všetky zariadenia na sieti.

6.4 Architektúra systémov s priemyselným Ethernetom

Priemyselný Ethernet má implementované všetky vrstvy vrstvomého modelu Internetu. Na Obr.6.2 sú tri architektúry priemyselného Ethernetu, ktoré sa odlišujú úrovňou implementácie služieb zabezpečujúcich prenos údajov v reálnom čase.



Obr.6.2 Architektúry systémov s priemyselným Ethernetom

V architektúre a) sa bežné údaje aj údaje v reálnom čase prenášajú protokolmi TCP/UDP/IP. Výhodou tejto architektúry je možnosť komunikácie v rámci Internetu. Prenášané správy môžu prechádzať smerovačmi bez obmedzenia. Preto je možné vytvoriť automatizačné siete, ktoré obsiahnu ľubovoľné miesto na Zemi. Avšak nesie to so sebou zvýšené nároky na výkon a pamäť komunikačných kariet pripojených zariadení a samozrejme aj nedeterministické oneskorenia pri komunikácii.

Architektúry b), c) na prenos údajov reálnom čase nevyužívajú protokoly TCP/UDP/IP.

V architektúre b) sa na úrovni sieťového rozhrania používa štandardná LAN Ethernet, s prispôbením pre použitie v priemyselných podmienkach. Na prenos bežných údajov sa používajú protokoly TCP/UDP/IP. Na prenos údajov v reálnom čase sa používa špeciálny protokol sieťovej a transportnej vrstvy.

V architektúre c) sú realizované úpravy na úrovni sieťového rozhrania (v samotnej LAN Ethernet), čo umožňuje dosiahnuť synchronizáciu procesov na úrovni jednotiek mikrosekúnd, avšak komunikujúce zariadenia musia byť vybavené špeciálnymi sieťovými kartami a navzájom prepojené špeciálnymi prepínačmi.

6.5 Synchronizácia hodín komunikujúcich zariadení

Pri automatizácii distribuovaných systémov riadenia pohybu je nutné zabezpečiť synchronizáciu akčných členov a snímačov, a to znamená implementovať mechanizmus, ktorý túto synchronizáciu zabezpečí. Keďže LAN Ethernet nie je deterministická, presný okamih a doba prenosu údajov sú variabilné.

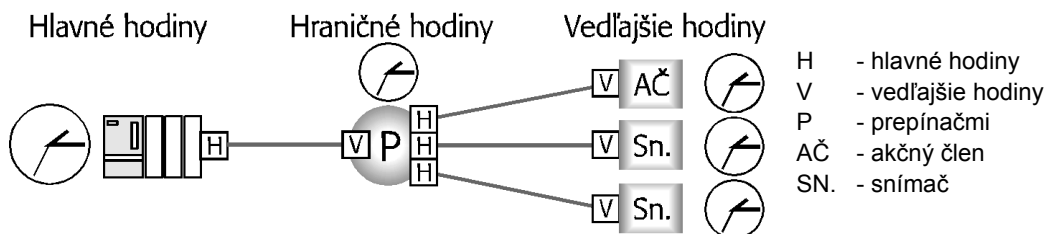
Tento problém je v zásade možné riešiť dvomi spôsobmi:

- 1.) Implementáciou mechanizmov pre časovo synchronizovaný prenos údajov.
- 2.) Synchronizáciou hodín komunikujúcich zariadení, vďaka čomu samotný prenos údajov nemusí byť synchronný, ale dôležitý je presný čas použitia prenášanej veličiny. Napríklad riadiaca jednotka viacosového systému odošle v rámci jedného komunikačného cyklu vypočítané akčné zásahy do pohonov, pričom tieto akčné zásahy sa aktivujú vo všetkých pohonoch súčasne a s

minimálnym časovým rozptylom. Pracovná skupina IEEE 1588 vyvíja algoritmus na synchronizáciu hodín komunikujúcich zariadení s rovnomenným označením, ktorý umožňuje dosiahnuť presnosť synchronizácie menšiu ako jedna mikrosekunda.

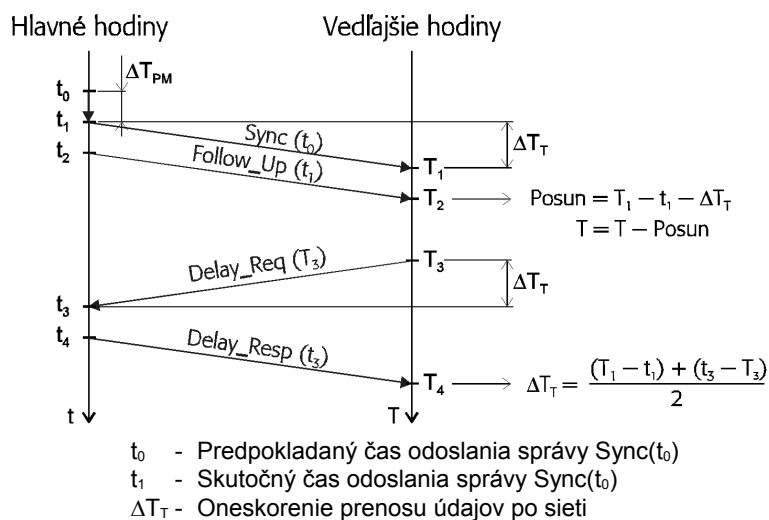
6.5.1 Princíp činnosti protokolu IEEE 1588

Protokol IEEE 1588 považuje sieť komunikujúcich zariadení za sieť hodín. Na základe najpresnejších hodín na sieti sa synchronizujú ostatné hodiny. Prepínač takisto reprezentuje hodiny, ktoré sú synchronizované z nadradených hodín a podľa hodín prepínača sa synchronizujú ďalšie zariadenia pripojené na ostatné porty prepínača. Túto situáciu reprezentuje Obr.6.3. Zariadenie vľavo reprezentuje referenčné – hlavné hodiny siete zariadení. Prepínač predstavuje vedľajšie hodiny voči hlavným hodinám, ale zároveň má funkciu hlavných hodín vo vzťahu k trom zariadeniam vpravo (snímače a akčný člen).



Obr.6.3 Vzťah hodín komunikujúcich zariadení podľa IEEE 1588

Proces synchronizácie hodín zahŕňa určenie posunu vedľajších hodín voči hlavným hodinám a oneskorenia prenosu údajov. Princíp algoritmu synchronizácie je na Obr.6.4. Sync, Follow_Up, Delay_Req a Delay_Resp sú správy prenášané medzi hlavnými a vedľajšími hodinami.



Obr.6.4 Princíp synchronizácie hodín komunikujúcich zariadení podľa protokolu IEEE 1588

Posun vedľajších hodín je korigovaný pravidelne s periódou 2 sekundy. Oneskorenie prenosu údajov je vyhodnocované nepravidelne a v dlhších časových intervaloch v rozsahu 4 až 60 sekúnd. Vyššie uvedený algoritmus môže byť implementovaný na úrovni vrstvy sieťového rozhrania, prípadne sieťovej, alebo aplikačnej vrstvy.

Dosiahnuteľná časová neistota („jitter“) v závislosti na úrovni implementácie je v tabuľke 1.

Tabuľka 1

Presnosť synchronizácie v závislosti na úrovni implementácie

Úroveň implementácie	Dosiahnuteľná presnosť
Aplikačná vrstva	100 μ s – 10 ms
Sieťová vrstva	10 μ s
Vrstva sieťového rozhrania	50 ns – 500 ns

6.6 Štandardy priemyselného Ethernetu

V rámci vývoja a používania siete Ethernet v priemyselnej praxi vzniklo viacero riešení. Medzinárodná elektrotechnická komisia (IEC) prijala návrhy na uznanie za štandard pre 10 ethernetových priemyselných protokolov. Tieto protokoly sú uvedené v tabuľke 2.

Tabuľka 2

Návrhy štandardov pre priemyselný Ethernet

Názov	Štandard IEC
EPA	IEC/PAS 62409
EtherCAT	IEC/PAS 62407
EtherNet/IP	IEC/PAS 62413
ETHERNET Powerlink	IEC/PAS 62408
MODBUS - RTPS	IEC/PAS 62030
P-NET on IP	IEC/PAS 62412
PROFINet IO	IEC/PAS 62411
SERCOS III	IEC/PAS 62410
TCnet	IEC/PAS 62406
Vnet/IP	IEC/PAS 62405

Nižšie sú uvedené základné vlastnosti týchto protokolov.

EPA

EPA (Ethernet for Plant Automation) vyvinula čínska firma Supcon a je štandardizovaný v normách IEC61158 a IEC61584-2. Na prenos údajov sa používajú protokoly TCP/UDP/IP, avšak linková vrstva je doplnená o mechanizmus zabezpečujúci prenos v reálnom čase. Prenos údajov je acyklický aj cyklický, s dĺžkou trvania komunikačného cyklu rádovo jednotiek milisekúnd. Takúto relatívne nízku dobu trvania komunikačného cyklu je možné dosiahnuť pomocou algoritmu synchronizácie hodín komunikujúcich zariadení IEEE 1588. Topológia: línia, hviezda, strom.

EtherCAT

EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) vyvinula nemecká firma Beckhoff a podporuje ju združenie ETG (EtherCAT Technology Group, <http://www.ethercat.org>). Dĺžka komunikačného cyklu je 30 μ s pre 1000 vstupných a výstupných binárnych signálov, alebo 100 μ s pre 100 servopohonov. Presnosť synchronizácie komunikujúcich zariadení algoritmom IEEE15888 je lepšia ako 1 μ s, pričom prenos údajov v reálnom čase je možné realizovať štandardnými ethernetovými kartami. EtherCAT podporuje zariadenia a aplikačné profily CANopen. Štandard CANopen definuje komunikačné profily, profily zariadení a aplikačné profily (viď kapitola „Aplikačná vrstva CAN“ v tretej časti seriálu). Prenosová rýchlosť v sieti EtherCAT je 100 Mbps. Topológia: línia, hviezda strom a ako prenosové médium sa používa krútená dvojlinka (káble CAT5+).

EtherNet/IP

EtherNet/IP² definovala firma Rockwell a podporujú ho združenia ODVA (Open DeviceNet Vendor Association, <http://www.odva.org>) a ControlNet International. Na úrovni aplikačnej vrstvy využíva protokol CIP (Control and Information Protocol), ktorý zastrešuje komunikačné siete Ethernet, ControlNet a DeviceNet. Umožňuje prenos vstupno-výstupných, diagnostických a konfiguračných údajov cez klasický Ethernet. Prenos údajov je acyklický aj cyklický, s dĺžkou trvania komunikačného cyklu 10 až 100 ms. Implementuje algoritmus synchronizácie hodín komunikujúcich zariadení podľa štandardu IEEE 1588 prostredníctvom nového objektu aplikačnej vrstvy CIPsync. Dosiaditeľná presnosť synchronizácie je lepšia ako 1 μ s. Prenosová rýchlosť je 10/100/1000 Mbps. Ako prenosové médium slúžia metalické a optické káble a možný je aj bezdrôtový prenos. Komunikácia s inými priemyselnými komunikačnými zbernicami sa uskutočňuje cez brány pre zbernice ControlNet a DeviceNet, ktoré používajú rovnaké protokoly aplikačnej vrstvy.

ETHERNET Powerlink (EPL)

ETHERNET Powerlink vyvinula rakúska firma Bernecker + Reiner (B&R) a podporuje ho združenie EPSG (Ethernet Powerlink Standardisation Group, <http://www.ethernet-powerlink.org>). Pôvodne bol uvedený na trh spolu s produktmi na riadenie pohybu. Dĺžka komunikačného cyklu je viac ako 0,1 ms a časová neistota synchronizácie komunikujúcich zariadení je menšia ako 1 μ s. Cyklický prenos údajov procesných veličín je realizovaný protokolom EPL, na acyklický prenos údajov (napr. parametre zariadení) sa využívajú protokoly UDP/IP. Aplikačná vrstva EPL je odvodená zo štandardu CANopen. Integrácia EPL a CANopen zlučuje profily, účinný prenos údajov a otvorenú komunikáciu s protokolmi TCP/UDP/IP. Prenosová rýchlosť 100 Mbps.

Modbus – RTPS

Modbus – RTPS³ predstavuje doplnenie komunikačného protokolu MODBUS/TCP o prenos údajov v reálnom čase. Modbus/TCP je odvodený z protokolu Modbus a bol vyvinutý firmou Modicon (Schnieder Electric) v roku 1979. Umožňuje jednoduché prepojenie zbernice Modbus so sieťou Ethernet. Minimálna doba odozvy s

² Ethernet/IPTM je obchodná značka združení ControlNet International Ltd. a ODVA. IP je skratka pre „Industrial Protocol“.

³ RTPS je skratka pre „Real-Time Publisher Subscriber“.

protokolom je 20 ms bez možnosti synchronizácie komunikujúcich zariadení. Prenosová rýchlosť 10/100 Mbps.

P-NET on IP

P-NET on IP vychádza z dánskej priemyselnej komunikačnej zbernice P-NET (ktorá bola štandardizovaná v roku 1996) a podporuje ju združenie IPUO (International P-NET User Organization, <http://www.p-net.org>). Špecifikácia P-NET on IP určuje len spôsob prepojenia existujúcej zbernice P-NET so sieťami s protokolmi UDP/IP, bez zvláštnych nárokov na realizáciu prenosu údajov v reálnom čase sieťou Ethernet.

PROFINet

PROFINet vyvinulo združenie PNO (Profibus Nutzer/User Organisation, <http://www.profibus.com>) so silnou podporou firmy Siemens a je k dispozícii od roku 2000. Prvá verzia PROFINet V1 zabezpečovala časovo nie kritickú komunikáciu (t.j. nie v reálnom čase) zariadení vyššej úrovne riadenia so zariadeniami na priemyselnej komunikačnej zbernici PROFIBUS DP, na ktorej sa realizoval prenos údajov v reálnom čase. Pri komunikácii sa využívali aj protokoly TCP/UDP/IP (preto sa *PROFINet V1* radí medzi štandardy priemyselného Ethernetu, ktoré využívajú protokoly spodných troch vrstiev Internetu). Druhá verzia *PROFINet V2* už umožňuje prenos údajov v reálnom čase pomocou špeciálneho protokolu, ktorý obchádza sieťovú a transportnú vrstvu. Prenos údajov je acyklický aj cyklický, s dĺžkou trvania komunikačného cyklu 5 až 10 ms. Možný je aj prenos údajov paralelným kanálom prostredníctvom protokolov TCP/IP, ale bez nárokov na reálny čas. V najnovšej verzii *PROFINet V3* je časť funkcií zabezpečujúcich prenos v reálnom čase implementovaná vo vrstve sieťového rozhrania, z čoho vyplýva, že na prepojenie jednotlivých zariadení sú potrebné špeciálne prepínače a komunikačné karty, čo nebolo nutné v predchádzajúcich verziách. Hardvérová podpora komunikácie v reálnom čase sa prejavila v skrátení dĺžky komunikačného cyklu na 1 ms, s možnosťou synchronizácie hodín komunikujúcich zariadení pri časovej neistote menšej ako 1 μs. Prenosová rýchlosť používaná v systémoch PROFINet je 10/100 Mbps. Komunikačné mechanizmy PROFINetu sa používajú v dvoch variantách PROFINetu. 1) *PROFINet IO* na prenos údajov medzi vstupno/výstupnými zariadeniami a riadiacou jednotkou (nahradza priemyselnú komunikačnú zbernicu PROFIBUS DP), ktorý zabezpečuje vyššie nároky na reálny čas. 2) *PROFINet CBA*⁴ na prepájanie technologických blokov. Ďalším rozšírením PROFINetu je zavedenie bezpečných mechanizmov komunikácie pomocou aplikačného profilu PROFIsafe.

Do systémov s PROFINetom je možné integrovať segmenty s priemyselnými komunikačnými zbernicami PROFIBUS, alebo INTERBUS prostredníctvom zariadení proxy.

SERCOS III

SERCOS je digitálne rozhranie medzi riadiacimi jednotkami a pohonmi, ktoré používa ako prenosové médium optické vlákna. Verzia SERCOS III je navrhnutá pre priemyselný Ethernet. Kvôli potrebe synchronizácie veľkého množstva pohonných osí, je prenos údajov v reálnom čase zabezpečený hardvérovo implementovaným komunikačným kanálom - pomocou FPGA (Field Programmable Gate Array). K dispozícii sú programové moduly komunikačných funkcií (SERCOS III IP) pre FPGA radu Xilinx Spartan-3 a Altera Cyclone II. Bez nárokov na reálny čas je možný prenos

⁴ CBA je skratka pre „Component Based Automation“.

údajov paralelným kanálom prostredníctvom TCP/UDP/IP. Minimálna dĺžka komunikačného cyklu je 31,25 μ s, ktorá sa dosahuje pri komunikácii riadiacej jednotky s ôsmimi pohonmi. Časová neistota synchronizácie pohonov je menšia ako 1 μ s. Prenosová rýchlosť 100 Mbps. Topológia: línia a kruh.

TCnet

Tcnet (Time-critical Control Network) vyvinula firma Toshiba. V porovnaní so štandardným Ethernetom, TCnet nepoužíva na prenos údajov v reálnom čase prístupovú metódu CSMA/CD, ale metódu DDM (Deterministic Ordered Multiple Access), ktorá zabezpečuje bezkolízny prístup na prenosové médium a determinizmus. Na prenos údajov v reálnom čase sú použité protokoly TCP/UDP/IP. Služby aplikačnej vrstvy pracujú so systémom spoločnej pamäte, ktorá je zdieľaná prostredníctvom siete TCnet. Údaje môžu byť medzi zariadeniami prenášané tromi rôznymi periódami = v troch rôznych komunikačných cykloch (rýchly, stredne rýchly a pomalý). Minimálna dĺžka komunikačného cyklu je 1 ms. Presnosť synchronizácie je 10 μ s. Topológia: línia, hviezda, strom.

VNET/IP

VNET/IP⁵ je komunikačný systém určený pre použitie v automatizácii procesov. Vyvinula ho firma Yokogawa v roku 2004. Nepodporuje ho žiadne združenie. Je určený pre použitie v systémoch CENTUM od firmy Yokogawa. Dĺžka komunikačného cyklu pri prenose údajov v reálnom čase je približne 10 ms. Prenosová rýchlosť 1 Gbps.

6.7 PROFnet

6.7.1 Komunikačné kanály PROFnetu

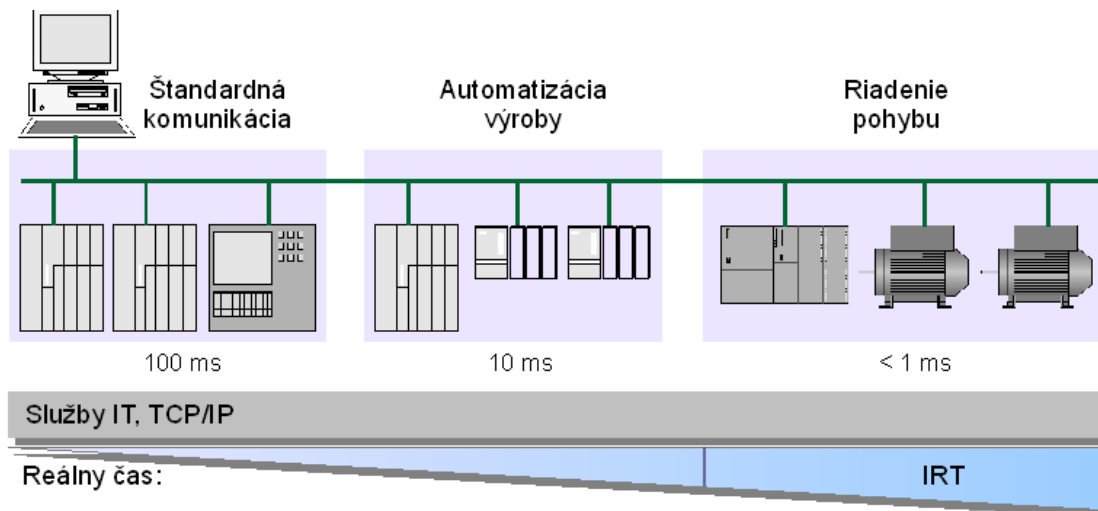
Rôzne oblasti aplikácií v priemyselnej automatizácii kladú široké spektrum nárokov na komunikačný systém. Vzhľadom na to vystupujú rôzne požiadavky na reálny čas a to od úloh bežiacich vo voľnom čase až po časovo kritické úlohy, ktoré musia splniť požiadavky synchronizmu. Pričom na zabezpečenie synchronizmu sa používa synchronizácia hodín komunikujúcich zariadení (viď kapitola Synchronizácia hodín komunikujúcich zariadení na strane 5).

1. Pre úlohy, ktoré nie sú časovo kritické, PROFnet používa komunikačný kanál TCP/IP a UDP/IP. Tento kanál sa uplatňuje pri parametrizácii a prenose diagnostických informácií zo zariadení, zisťovaní prepojenia zariadení a pri zriaďovaní komunikačného kanála pre používateľské údaje.
2. Komunikačný kanál RT pre aplikácie reálneho času. Na prenos údajov pre úlohy reálneho času sa používajú špeciálne protokoly sieťovej vrstvy, aplikačnej vrstvy a vrstvy sieťového rozhrania (pre PROFnet V3). Dosiahnuteľná dĺžka komunikačného cyklu je rádovo desiatky ms. Uplatní sa hlavne v oblasti automatizácie výroby.
3. Komunikačný kanál IRT (Isochronous Real Time = izochrónny reálny čas) na prenos údajov v systémoch s vysokými nárokmi na dĺžku komunikačného

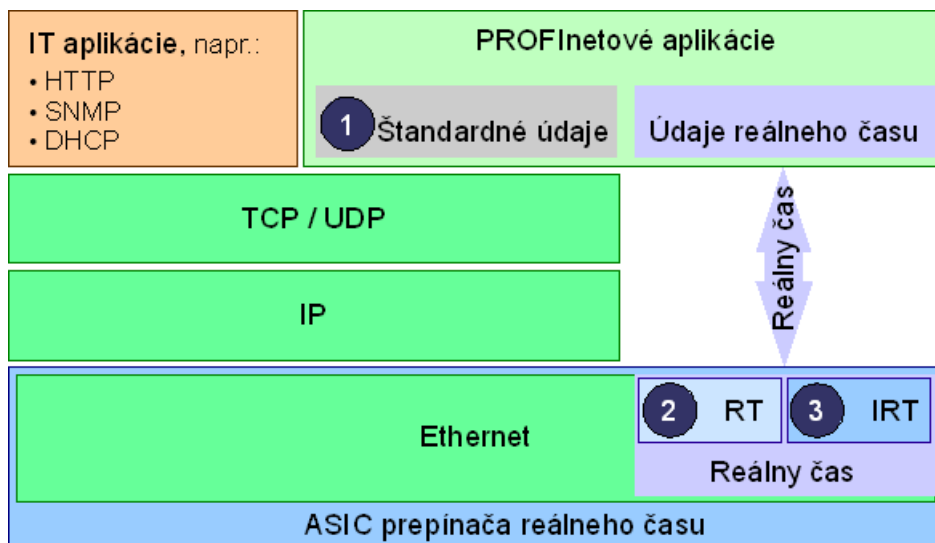
⁵ VNET je skratka pre „Virtual Network Protocol“

cyklu a synchronizáciu komunikujúcich zariadení. Dosiaditeľná dĺžka komunikačného cyklu je menej ako 1 ms.

Na Obr.6.5 sú ilustrované komunikačné možnosti vyššie uvedených komunikačných kanálov PROFInetu a na Obr.6.6 je vrstvomý model PROFInetu.



Obr.6.5 Komunikačné kanály PROFInetu



Obr.6.6 Vrstvomý model PROFInet V3 s označenými komunikačnými kanálmi

6.7.2 Decentralizované vstupy a výstupy s PROFInetom IO

PROFINet IO je variant siete PROFInet umožňujúci pripojenie modulov decentralizovaných vstupov a výstupov a takisto prepojenie riadiacich jednotiek s im podriadenými zariadeniami.

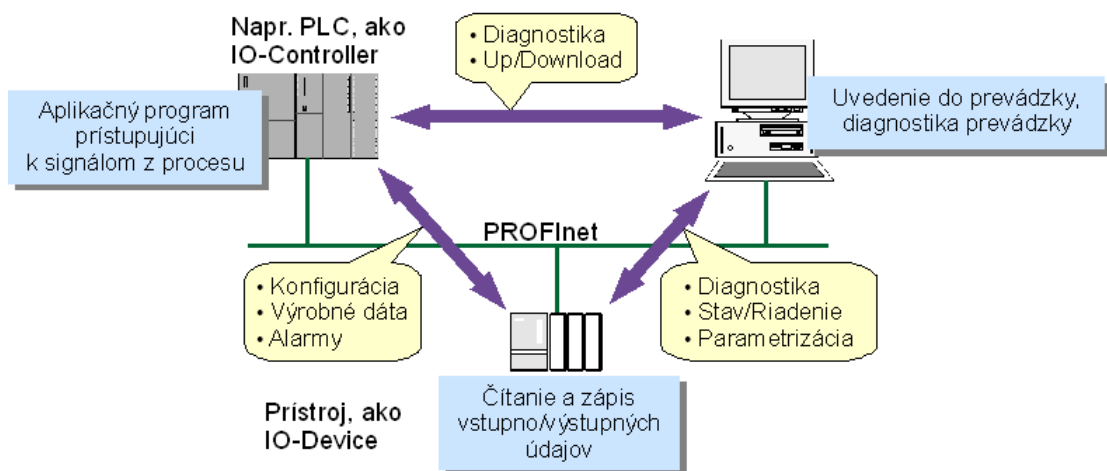
V sieti PROFInet IO sa vyskytujú tri typy zariadení:

- *PROFINet IO-Controller (Riadiaca jednotka PROFInet IO)*. Vykonáva riadenie časti technologického procesu prostredníctvom jedného, alebo viacerých prevádzkových prístrojov a zariadení. Ako PROFInet IO-Controller môže slúžiť programovateľný logický automat, riadiaca jednotka distribuovaného riadiaceho systému, alebo riadiaci počítač.

- *PROFINet IO-Supervisor (Dohliadacia jednotka PROFINet IO)*. Zvyčajne inžinierske pracovisko (počítač), ktorý má dočasný prístup k zariadeniam na sieti PROFINet IO pri inštalácii systému a jeho uvádzaní do prevádzky.
- *PROFINet IO-Device (Zariadenie siete PROFINet IO)*. Prevádzkový prístroj alebo zariadenie nachádzajúce sa v blízkosti technologického procesu (alebo vo výrobe). Je konfigurované zo zariadenia IO-Controller, alebo IO-Supervisor. Údaje z PROFINet IO-Device sa periodicky prenášajú do zariadenia IO-Controller. Jedno zariadenie typu IO-Device môže nadväzovať komunikačné spojenia s viacerými zariadeniami typu IO-Controller a IO-Supervisor.

V protokole PROFINet IO sa na prenos údajov používa metóda producent/konzument (viď kapitola 6.3.3: Metódy prenosu údajov v sieťach s priemyselným Ethernetom).

Na Obr.6.7 je uvedené prepojenie a komunikačné vzťahy medzi zariadeniami pre PROFINet IO.



Obr.6.7 Komunikačné cesty medzi rôznymi typmi zariadení v PROFINet IO

6.7.3 Distribuovaná automatizácia s PROFINetom CBA

PROFINet CBA predstavuje koncepciu pre priemyselnú automatizáciu spĺňajúca požiadavku konštruktérov a operátorov, ktorou je na výrobcovi nezávislý inžiniering. Jeho dôležitým aspektom je aj bezproblémová integrácia existujúcich priemyselných komunikačných zberníc.

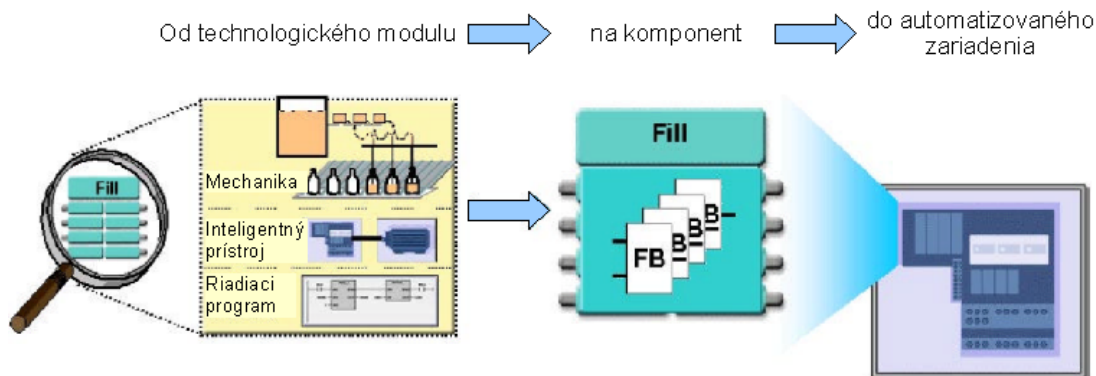
PROFINet CBA vychádza z objektovo orientovaného modelovania technologických modulov. Podľa tohto modelu sú stroje a systavy zoskupené do štruktúry technologických modulov. Funkcionalita týchto technologických modulov je opísaná v unifikovaných komponentoch PROFINet. K týmto komponentom PROFINet je možné pristupovať prostredníctvom unifikovaných rozhraní.

Na Obr.6.8 je naznačený postup od technologického modulu ku komponentu PROFINet, ktorý je v programovej podobe uložený v prevádzkovom prístroji.

Programovanie algoritmov riadenia a konfigurácia jednotlivých technologických modulov sú oddelené od konfigurácie celého systému. Inžiniering systému pozostáva z troch fáz:

- vytvorenie komponentov (t.j. obrazov technologických modulov),
- zriadenie prepojení,

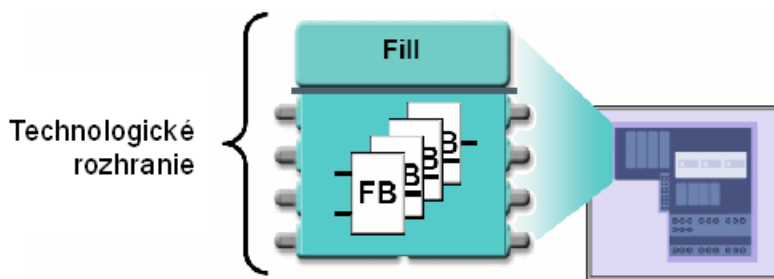
- zavedenie informácií o prepojení do zariadení PROFINet.



Obr.6.8 Komponent PROFINet predstavuje autonómnu časť automatizovaného systému

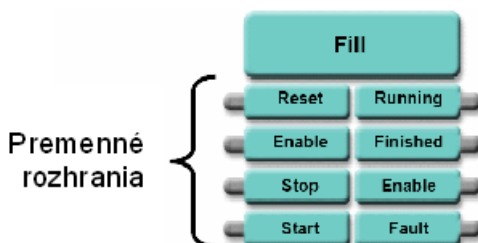
Vytvorenie komponentov

Komponenty PROFINet vytvára výrobca stroja, alebo zariadenia. Pričom programovanie a konfigurácia jednotlivých zariadení je vykonaná pomocou špecifických konfiguračných nástrojov výrobcu zariadenia. Následne je riadiaci program stroja zapúzdrený do komponentov PROFINet, ktoré reprezentujú technologický modul (alebo stroj). Komponenty PROFINet obsahujú technologické rozhranie tohto technologického modulu (stroja).



Obr.6.9 Komponent PROFINet predstavuje technologické rozhranie

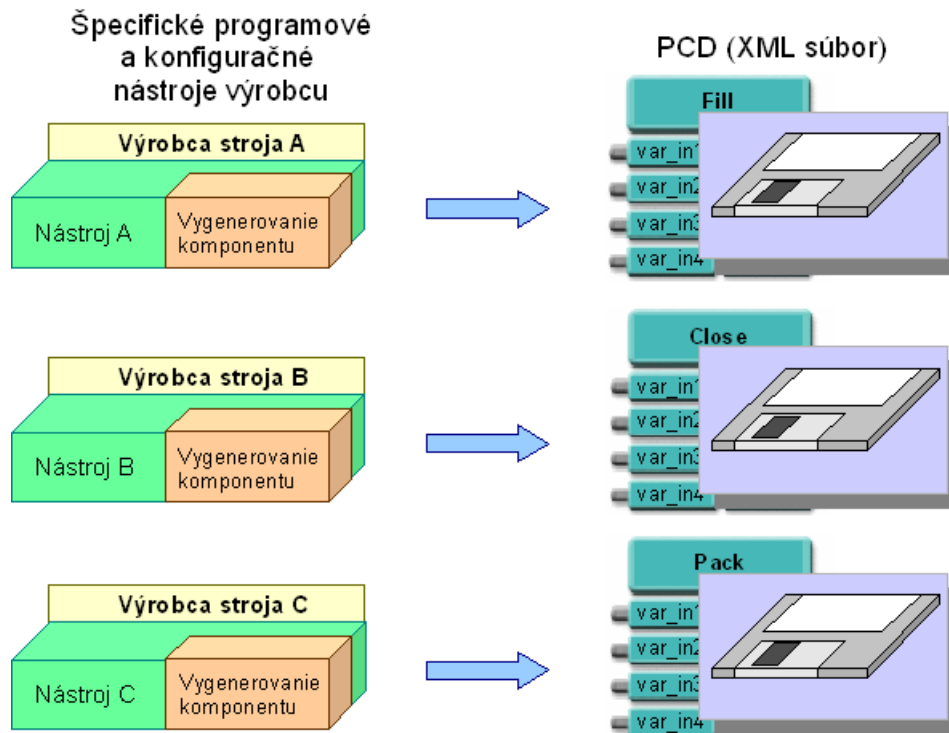
Výrobca technologického modulu (stroja) definuje premenné tohto rozhrania. Náležia medzi ne len tie premenné, ktorých hodnoty je nutné vysielat' do, alebo prijímat' z iných technologických modulov, prípadne ich použiť na vizualizáciu a diagnostiku. Na Obr.6.10 je príklad komponentu PROFINet so vstupnými a výstupnými premennými rozhrania.



Obr.6.10 Rozhranie komponentu PROFINet obsahuje množinu vstupných a výstupných premenných

Následne výrobca vytvorí opis komponentu PROFINet, tzv. PCD (PROFINet Component Description) vo forme xml súboru, v ktorom sú opísané jeho funkcie

a objekty. Pri tvorbe PCD sa používajú špecifické konfiguračné a programovacie nástroje výrobcu.



Obr.6.11 Výrobca technologického modulu vytvorí pre svoje zariadenie komponent PROFInet s definovanými premennými rozhrania a XML súbor s opisom komponentu

Zriadenie prepojení

Prepájanie technologických modulov sa realizuje na úrovni prepájania komponentov PROFInet, ktoré vytvoril vyššie uvedeným postupom výrobca technologického modulu. Na prepájanie komponentov sa používajú univerzálne programové nástroje, ktoré umožňujú v grafickej forme vytvárať spojenia medzi komponentami rôznych výrobcov. V zásade ide o prepojenie premenných rozhrania komponentov PROFInet.

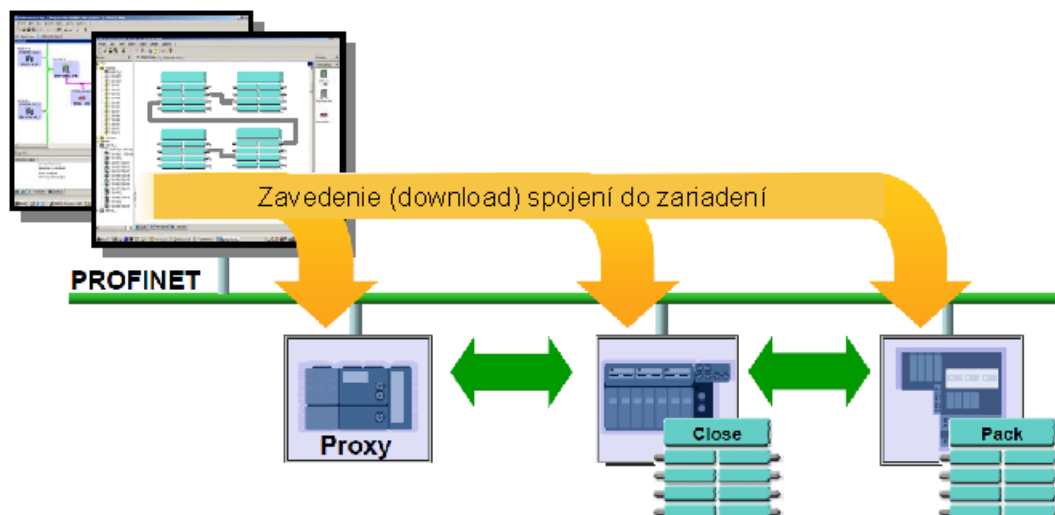
Výhodou je, že pri inštalácii systému nie je potrebné programovať komunikáciu medzi jednotlivými zariadeniami.

Zavedenie informácií o prepojení do zariadení PROFInet

Do pamäte každého komponentu je následne zavedená informácia o jeho komunikačných partneroch, vzťahoch a premenných, ktorých hodnoty majú byť prenášané.

Automaticky sú zriadené spojenia medzi komunikačnými partnermi a takisto sú automaticky prenášané údaje. Každý konzument (príjemca určitej informácie) obdrží pri konfigurácii informácie o patričnom komunikačnom spojení.

Na zriadenie komunikačných spojení sa využívajú protokoly TCP/IP a UDP/IP. Na prenos údajov v reálnom čase sa používa komunikačný kanál RT (viď kanál č.2 na Obr.6.6).



Obr. 6.12 Informácie o komunikačných spojeniach sú pomocou univerzálneho konfiguračného nástroja zavedené do jednotlivých zariadení

6.7.4 Prvky siete PROFINet

Kabeláž pre PROFINet

Káble pre použitie v priemysle môžu byť vystavené extrémnemu mechanickému namáhaniu a vyžadujú si špeciálnu konštrukciu. *Kabeláž pre PROFINet môže byť realizovaná metalickými vodičmi, alebo optickými vláknami.* Niektoré typy káblov, tzv. *hybridné káble*, obsahujú aj prídavné napájacie vodiče na napájanie pripojených zariadení.

Káble s metalickými vodičmi sú realizované formou tienenej krútenej dvojlinky, ktorá spĺňa minimálne požiadavky kategórie 5, normy IEC 11801. Prierez žíl vodičov kábla je AWG 22⁶. Maximálna dĺžka segmentu je 100 m a prenosová rýchlosť 100 Mbps. Káble sú ukončené konektormi typu RJ45 alebo okrúhlymi konektormi typu M12, s krytím IP 20 až IP 67.



Obr. 6.13 Konektory PROFINet pre metalické káble typu RJ45 s krytím (zľava doprava): IP20, IP67 a hybridný konektor s krytím IP67

⁶ AWG znamená „American Wire Gauge“. Určuje prierez žily vodiča. V prípade AWG 22 je prierez žily 0,324 mm² a odpor vodiča 54,8 Ω/km.

Poznámka:

Tabuľka 3

Zapojenie pinov konektorov RJ45 a M12 pre PROFINet

Konektor		Farba vodiča	Signál
RJ 45	M12		
Pin číslo	Pin číslo		
1	1	Biela-oranžová	TX+
2	3	Oranžová	TX-
3	2	Biela-zelená	RX+
6	4	Zelená	RX-

PROFINet môže používať *jednovidové a mnohovidové optické káble*. Prenos údajov je realizovaný dvoma optickými vláknami podľa štandardu 100BASE-FX, pri prenosovej rýchlosti *100 Mbps*. Optické rozhrania zodpovedajú špecifikáciám ISO/IEC 9314-3 (mnohovidové vlákna) alebo ISO/IEC 9314-4 (jednovidové vlákna). Maximálna dĺžka segmentu siete s mnohovidovými vláknami je *2 km*, pre segmenty s jednovidovými vláknami je to *14 km*.

Prepínače pre PROFINet

Prepínače pre PROFINet sú navrhované pre sieť *Fast Ethernet* (100 Mbps, IEEE 802.3u) a *prenos plným duplexom*. Okrem toho dokážu prenášať *telegramy s vyznačenou prioritou* podľa štandardu IEEE 802.1Q.

Možné je tiež použitie bežných kancelársky prepínačov, ak vyhovujú požiadavkám pre použitie v priemyselných aplikáciách. Avšak prepínače priemyselného Ethernetu sú po mechanickej aj elektrickej stránke konštruované tak, aby boli použiteľné v náročných priemyselných podmienkach. Okrem iného to znamená, že musia spĺňať aj *požiadavky EMC* kladené na zariadenie v priemyselnom prostredí.

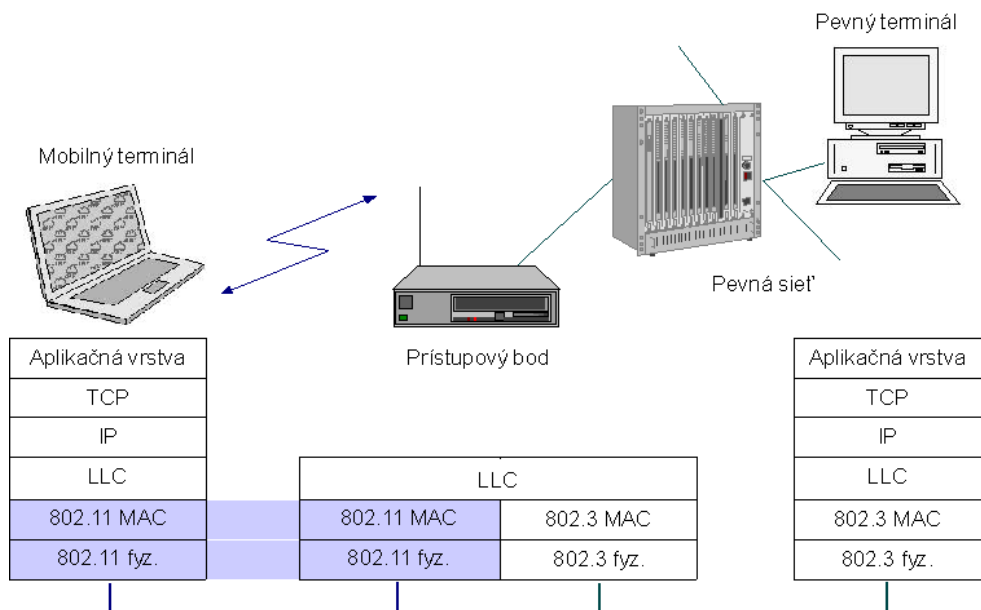
Bezdrôtový PROFINet

Protokoly PROFINet je v súčasnosti možné prenášať bezdrôtovo na základe štandardov pre bezdrôtové siete *WLAN 802.11* a *Bluetooth* (IEEE 802.15.1). *Priepustnosť* takýchto sietí je *ale podstatne nižšia* ako v „káblových“ verziách.

Poznámka:

Štandard IEEE 802.11 opisuje fyzickú vrstvu a prístupovú metódu bezdrôtových sietí (viď Obr. 6.14). Nadradené vrstvy a podvrstvy linkovej vrstvy LLC môžu používať rôzne komunikačné protokoly. Z toho vyplýva aj možnosť prenosu RT rámcov PROFINet. Maximálna prenosová rýchlosť v sieťach WLAN je 6 Mbps (802.11b) a 25 Mbps (802.11g)⁷ s polovičným duplexom. Preto nie je možné dosiahnuť takú rýchlosť prenosu údajov reálneho času ako v sieťach PROFINet s pevným prenosovým médium.

⁷Štandard IEEE 802.11 bol postupne vyvíjaný v rôznych verziách, ktoré sa okrem iného odlišujú dosiahnuteľnou prenosovou rýchlosťou a prístupovou metódou. Tieto verzie štandardu IEEE 802.11 sa označujú malými písmenami (*a až i*).



Obr.6.14 Príklad prepojenia bezdrôtovej siete podľa štandardu IEEE 802.11 s LAN Ethernet podľa štandardu IEEE 802.3 (súčasť poznámky)

6.7.5 Zabezpečenie siete PROFINet

Súčasný trendy v automatizácii podmieňujú nárast používania LAN Ethernet v priemyselnej automatizácii, možnosť vzdialenej údržby prostredníctvom Internetu a spájanie výrobných sietí s kancelárskymi sieťami. Tieto faktory však zvyšujú potenciálne nebezpečenstvo nežiadúceho zásahu do prenosu údajov a uchovaných dát z tretej strany (útoky hackerov, manipulácia s údajmi a špionáž, vírusy, červy a pod.).

Pretože koncepcie zabezpečenia z oblasti kancelárií nevyhovujú špeciálnym požiadavkám pre automatizáciu, bolo potrebné vyvinúť takéto koncepcie pre zabezpečenie údajov v automatizačnej technike.

Koncepcia zabezpečenia siete PROFINet spĺňa požiadavky na riadenie prístupu, šifrovanie dát, autentifikáciu a záznam udalostí týkajúcich sa bezpečnosti.

Možnosti ohrozenia

Bezpečnosť v automatizácii má zaručiť funkčnosť, spoľahlivú prevádzku a ochranu podniku a výrobného procesu. V automatizovaných systémoch môžu potenciálne hrozby pochádzať zo strany Internetu (t.j. vonkajšieho prostredia), ale takisto do nich môžu preniknúť z vnútra, cez podnikovú sieť.

Proti hrozbám z Internetu sa je možné brániť inštaláciou firewallov⁸. Takisto je ale nutné obmedziť prístup z podnikovej siete, aby nedochádzalo k zahľteniu výrobných sietí (t.j. sietí na riadiacej úrovni a nižšie).

⁸ Firewall je sieťové zariadenie a/alebo softvér, ktorého úlohou je oddeliť sieť s rôznymi prístupovými právami (typicky napr. Internet a podnikovú sieť) a kontrolovať tok dát medzi týmito sieťami. Kontrola údajov prebieha na základe aplikovania pravidiel, ktoré určujú podmienky a akcie. Podmienky sa stanovujú pre údaje, ktoré možno získať z dátového toku (napr. zdrojová, cieľová adresa, zdrojový alebo cieľový port a rôzne iné). Úlohou firewallu je vyhodnotiť podmienky a ak je podmienka splnená, vykoná sa akcia. Dve základné akcie sú "povoliť dátový tok" a "zamietnuť dátový tok".

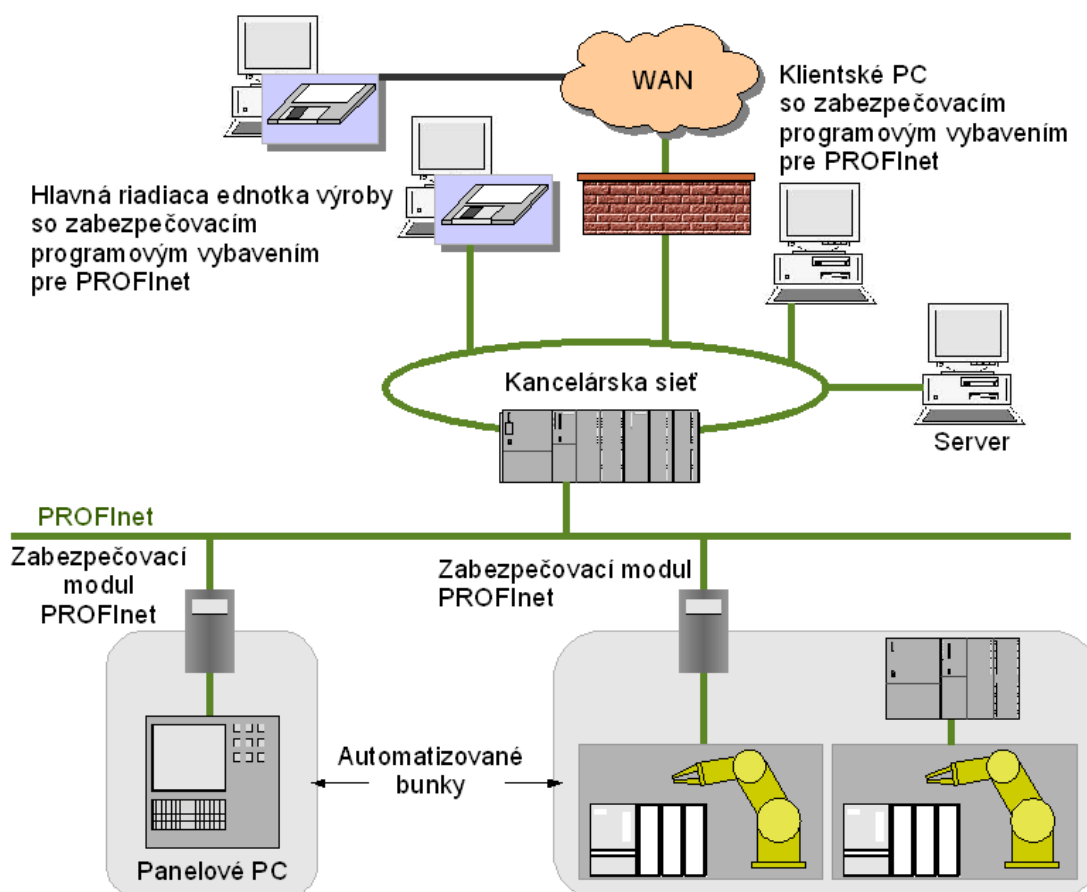
Väčšina firiem pokladá z hľadiska bezpečnosti za najväčšiu hrozbu škodlivé programy typu vírusov, červov a trójskych koňov. Tieto programy sa môžu šíriť tak rýchlo, že ani niekoľko úrovní firewallov nedokáže poskytnúť bezpečnú ochranu, pretože bezpečnostné záplaty operačných systémov a aktualizácie antivírusových programov sú k dispozícii zvyčajne jeden až dva dni po vzniku hrozby.

Kvôli maximálnemu zníženiu bezpečnostných rizík je nutné oddeliť výrobnú sieť od zvyšnej časti podniku.

Väčšina existujúcich koncepcií zabezpečenia priemyselných sietí sa orientuje na ochranu pred hrozbami z Internetu a ohrozeniu z podnikovej siete sa venujú len čiastočne.

Koncepcia zabezpečenia siete PROFINet

Základom koncepcie zabezpečenia siete PROFINet je vhodná *segmentácia automatizačnej siete*. Na úrovni automatizácie sa vytvárajú bezpečné bunky. Uzly siete určitej bunky sú chránené špeciálnymi zabezpečovacími sieťovými prvkami (napríklad prepínačmi, alebo inými zabezpečovacími prostriedkami), ktoré riadia tok údajov z/do bunky a kontrolujú prístupové práva. *Povolený je len autorizovaný prenos údajov*. Na zabezpečené automatizované zariadenia je možný prístup z klientského PC len pomocou špeciálneho programového vybavenia.



Obr. 6.15 Koncepcia zabezpečenia siete PROFINet vychádza z rozdelenia siete na úrovni automatizácie na segmenty

⁹ Pod výrobnú sieťou sa rozumejú siete na úrovni automatizácie, ktoré umožňujú komunikáciu medzi jednotlivými zložkami automatizovaného výrobného systému.

Údaje prenášané medzi zabezpečenými bunkami, alebo medzi klientmi a uzlami bunky, je možné chrániť taktiež šifrovaním pred odpočúvaním a manipuláciou s nimi. Šifrovanie údajov môže byť užitočné predovšetkým pri komunikácii cez nezabezpečené siete, ako je napríklad vzdialený prístup cez Internet počas údržby.

Koncepcia zabezpečenia siete PROFINet umožňuje nasledovné:

- *Ochrana zariadení, ktoré nemajú implementované zabezpečovacie funkcie.* Pred možnými útokmi a inými hrozbami sú automaticky chránené všetky zariadenia v bunke.
- *Ochrana viacerých zariadení súčasne.* (Vyplýva z predchádzajúceho bodu.)
- *Prenos údajov v reálnom čase a zároveň zabezpečenie prenášaných údajov.* V rámci bunky je možný prenos údajov v reálnom čase bez ovplyvňovania mechanizmami zabezpečenia. Prístup k zariadeniam nachádzajúcim sa v bunke je kontrolovaný len na vstupe do bunky.
- *Integrovaná ochrana pred škodlivými programami* (vírmi, červami a trójskymi koňmi).
- *Ochrana podradených priemyselných komunikačných zberníc.* Podradené priemyselné komunikačné zbernice sú pripojené na PROFINet pomocou zariadení proxy.

6.7.6 Aplikačné profily PROFINetu

Aplikačné profily predstavujú spoločné špecifikácie výrobcov a používateľov zariadení, ktoré sa týkajú charakteristických vlastností a chovania zariadení a systémov. Takáto unifikácia má nasledovné výhody v rôznych oblastiach:

Prevádzkový operátor: existencia certifikovaných zariadení, ktoré zodpovedajú určitým profilom umožňuje dosiahnuť nezávislosť na výrobcov jednotlivých zariadení, a to pri zachovaní pôvodnej funkcionality.

Integrácia a inštalácia systému: používanie certifikovaných zariadení zaručuje vysoký stupeň konformity a interoperabilitu.

Projektovanie: vďaka unifikácii základnej funkcionality zariadení prináša so sebou zjednotenie terminológie a zjednodušenie výberu produktu.

Výrobca zariadenia: unifikácia použitia a zväčšenie rozsahu použiteľnosti daného zariadenia v rôznych automatizovaných systémoch.

Aplikačné profily siete PROFINet sú rozdelené do dvoch skupín (podobne ako aplikačné profily PROFIBUS):

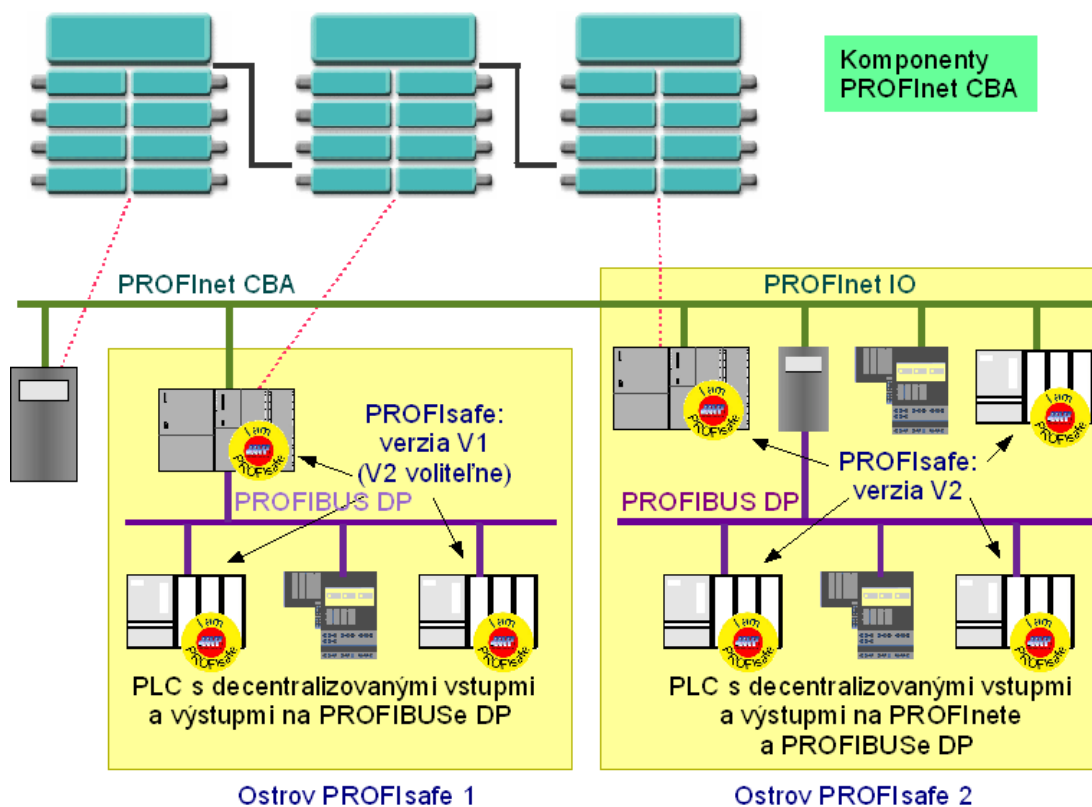
- *Všeobecné aplikačné profily*, ktoré sú určené pre rôzne typy aplikácií. Sem patrí napríklad profil PROFIsafe.
- *Špecifické aplikačné profily*, ktoré sú určené pre konkrétny typ aplikácií. Do tejto skupiny patria profily PROFIdrive, Encoder, PA Devices a iné.

Aplikačný profil PROFIsafe pre sieť PROFINet

V systémoch s decentralizovanými vstupmi a výstupmi mohli byť donedávna úlohy týkajúce sa bezpečnosti¹⁰ v oblasti automatizácie výroby a technologických procesov,

¹⁰ V cudzojazyčnej literatúre sa bezpečnosť systémov označuje pojmom „safety“.

realizované výlučne klasickou technológiou (analogové a binárne signály) na inej úrovni, alebo decentrálne – pomocou špeciálnych zberníc.



Obr. 6.16 Aplikačný profil PROFIsafe je možné použiť v priemyselných komunikačných systémoch PROFIBUS a PROFInet

PROFIsafe definuje spôsob ako môžu bezpečnostné zariadenia (núdzové spínače, systémy na ochranu pred pretečením a iné) prenášať informácie týkajúce sa takejto bezpečnosti cez komunikačnú sieť. Takýto prenos má byť dostatočne bezpečný na to, aby mohol byť použitý v úlohách s kategóriami bezpečnosti CAT 4¹¹, AK 6¹², alebo SIL 3¹³ (SIL je skratka pre Safety Integrity Level). Implementuje bezpečnú komunikáciu pomocou špeciálneho protokolu a špecifického formátu prenášaných údajov.

PROFIsafe berie do úvahy všetky možné poruchy, ktoré sa môžu vyskytnúť pri sériovom prenose údajov. Ide napríklad o oneskorenia, stratu alebo opakovanie údajov, nesprávne poradie, nesprávna adresácia, alebo falšovanie údajov.

¹¹ Norma EN 954, s názvom „Safety of machines – safety-related parts of controllers“, definuje 5 kategórií bezpečnostných systémov, s označením CAT B, CAT 1 až CAT 4. CAT B a CAT 1 reprezentujú najnižšie požiadavky.

¹² Nemecká norma DIN V 19250 definuje 8 tried bezpečnostných systémov, s označením AK 1 až AK 8. AK 1 reprezentuje najnižšie požiadavky.

¹³ Medzinárodná norma IEC 61508, s názvom „Functional Safety of Electrical/Electronic/Programable Electronic Safety related Systems“ uvádza štyri triedy bezpečnostných systémov s označením SIL 1 až SIL 4, pričom SIL 1 reprezentuje najnižšie požiadavky. Pre každú triedu je definovaná pravdepodobnosť výskytu poruchy systému a pravdepodobnosť výskytu jednej nebezpečnej poruchy za hodinu.

Aplikačný profil PROFIsafe bol špecifikovaný na základe spolupráce s výrobcami, používateľmi, štandardizačnými organizáciami a skúšobňami (TÜV, BGIA). Opiera sa o existujúce normy, obzvlášť IEC 61508.

6.8 Súhrn

Vzhľadom na množstvo priemyselných komunikačných protokolov s Ethernetom je zrejmé, že lokálna sieť Ethernet je akceptovaná aj v oblasti priemyselnej automatizácie. Systémy vychádzajúce z Ethernetu sú použiteľné jednak v oblasti automatizácie procesov a výroby, ale aj v aplikáciách riadenia pohybu. Ethernetové systémy v porovnaní s priemyselnými komunikačnými zbernicami: 1) umožňujú jednoduchú integráciu s vyššími úrovňami riadenia podniku – systém komunikačných sietí je homogénny, 2) majú väčšiu šírku pásma na komunikáciu s väčším počtom automatizačných zariadení a na väčšej rozlohe, 3) umožňujú rýchlejšiu komunikáciu v reálnom čase s presnosťou synchronizácie použiteľnou aj v aplikáciách riadenia pohybu, 4) sú doplnené o nové funkcie podporujúce MES (Manufacturing Executing System), aktualizáciu mikroprogramového vybavenia zariadení online a konfiguráciu zariadení cez Internet.

6.9 Literatúra

- [1] Bélai, I.: Komunikácia v priemyselnej automatizácii (5). AT&P Journal, č. 8, roč. 14, august 2007. str. 57-58.
- [2] Bélai, I.: Komunikácia v priemyselnej automatizácii (6). AT&P Journal, č. 9, roč. 14, august 2007. str. 81-82.
- [3] Dietrich, R.: Industrial Ethernet – from the Office to the Machine worldwide, Vol. I. HARTING Electric GmbH & Co. KG, Espelkamp. 2004.
- [4] Djiev, S.: [Industrial Networks for Communication and Control](http://anp.tu-sofia.bg/djiev/PDF%20files/Industrial%20Networks.pdf). Apríl 2007. <http://anp.tu-sofia.bg/djiev/PDF%20files/Industrial%20Networks.pdf>
- [5] Gillespie, G.: Zavedenie bezpečnosti do prevádzkových riadiacich sietí (1). AT&P Journal, č. 11, roč. 10, november 2003, str. 22-24.
- [6] Gleim, U.: Real Time Systems. Máj, 2002. http://www.usenix.org/event/jvm02/full_papers/gleim/gleim_html/node2.html
- [7] Havle, O.: [Použití Internetu v průmyslové praxi](http://www.automa.cz). Automa, č. 6, 2001. <http://www.automa.cz>
- [8] Johnsen, L.: Content Distribution in AD Hoc Networks. Norwegian University of Science and Technology. 2006. http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_no_ntnu_diva-1052-1__fulltext.pdf
- [9] PNO: PROFInet Technology and Application. PROFIBUS International Support Center, Karlsruhe, Germany. Október 2006.
- [10] Softing: Profinet. Október 2004. http://www.raster-products.nl/downloads/Softing_PROFInet_Oct04.pdf

- [11] VASS, J.: Aspekty funkčnej bezpečnosti. Automa, 2003, roč. 9, č. 2, str. 18-21.
- [12] Weczerek, J.: Wireless can become a part of the machinery. The Industrial Ethernet Book. No. 35, november 2006. <http://ethernet.industrial-networking.com/articles/articledisplay.asp?id=1496>
- [13] Zurawski, R.: [Industrial Communication Technology Handbook](#). Taylor & Francis, 2005. ISBN 0-8493-3077-7.

6.10 Kontrolné otázky

1. Ktoré topológie sa používajú v sieťach s priemyselným Ethernetom?
2. Aké metódy prenosu údajov sa používajú v sieťach s priemyselným Ethernetom?
3. Uveďte tri základné architektúry systémov s priemyselným Ethernetom.
4. Na úrovni ktorej vrstvy modelu Internetu je možné implementovať algoritmus IEEE 1588?
5. Vymenujte a charakterizujte tri komunikačné kanály PROFINetu.
6. Stručne charakterizujte PROFINet IO a PROFINet CBA. Uveďte rozdiely medzi nimi.