

# Industrijske mrežne rešitve za pametne tovarne

Simon Vrbnjak  
Lapp, d. o. o.  
Limbuška cesta 2, 2341 Limbuš  
info@lappslovenia.com

## *Network components for industrial Ethernet systems*

For communication between machines and appliances, we need network connections, which must ensure stability and efficiency in all possible criteria that are conditioned by the industry. On the market at the moment there are three main standards – Fieldbus, Ethernet and Sydicate.

## *Kratek pregled prispevka*

Prva industrijska revolucija je bila na osnovi mehanizacije, ki je izkoriščala vodo in paro. Naslednji korak je predstavljala množična proizvodnja, montažne linije in prva elektrifikacija. Po letu 1950 smo prešli v dobo računalništva in avtomatiziranih procesov. Danes pa se že pogovarjamo o pametnih tovarnah. Povezujemo računalniške sisteme, ki nadzorujejo fizične elemente. Daljinsko vodimo in nadzorujemo proizvodnjo, predvidevamo čase okvar itd. Da bi uspešno integrirali pametno tovarno potrebujemo zanesljive mrežne povezave. Na trgu so trije glavni standardi – Fieldbus, Ethernet in Sydecate, katere delimo na več podskupin. V tem prispevku bomo namenili največ poudarka na Ethernet, kot naslednik Fieldbusa.

## 1 Uvod

Prva industrijska revolucija je bila na osnovi mehanizacije, ki je izkoriščala vodo in paro. Naslednji korak je predstavljala množična proizvodnja, montažne linije in prva elektrifikacija. Po letu 1950 smo prešli v dobo računalništva in avtomatiziranih procesov. Danes pa se že pogovarjamo o pametnih tovarnah. Povezujemo računalniške sisteme, ki nadzorujejo fizične elemente. Daljinsko vodimo in nadzorujemo proizvodnjo, predvidevamo čase okvar itd. Da bi uspešno integrirali pametno tovarno potrebujemo zanesljive mrežne povezave. Na trgu so trije glavni standardi – Fieldbus, Ethernet in Sydecate, katere delimo na več podskupin. V tem prispevku bomo namenili največ poudarka na Ethernet, kot naslednik Fieldbusa.

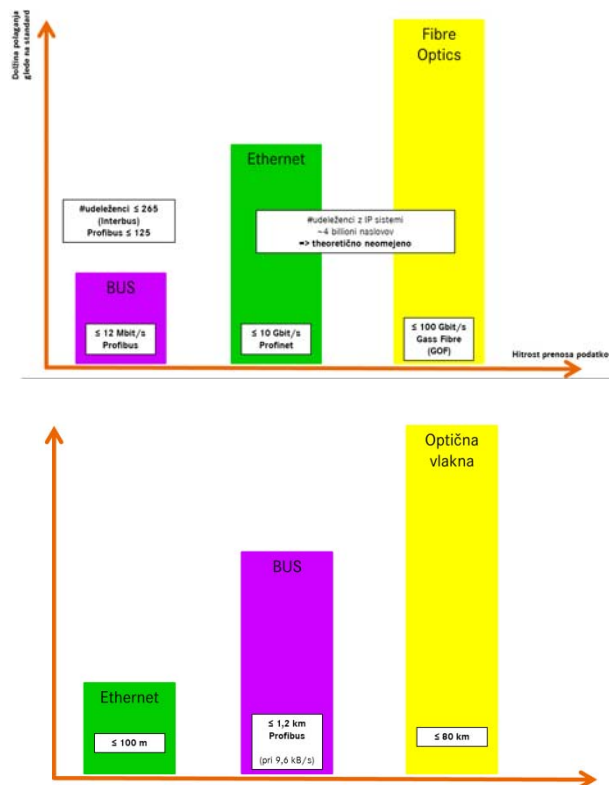
## 2 Standardi

Fieldbus	Ethernet	Syndicate
Profibus	Profinet	PI (PNO)
DeviceNet / ControlNet	EtherNet/IP	ODVA
CANopen	EtherCAT / Powerlink	CIA / ETG / EPSG
SERCOS II	SERCOS III	SERCOS international
CC-Link	CC-Link IE Field	CLPA
Modbus-RTU	Modbus-TCP	Modbus IDA

Deleži trga:

	2014		2015		2016		2017		2018	
	Delež	Rast	Delež	Rast	Delež	Rast	Delež	Rast	Delež	Rast
<b>Fieldbus</b>	71 %	9 %	66 %	8 %	58 %	7 %	48 %	4 %	42 %	6 %
<b>Ethernet</b>	29 %	15 %	34 %	17 %	38 %	20 %	46 %	22 %	52 %	22 %
<b>Wireless</b>	-	-	-	-	4 %	30 %	6 %	32 %	6 %	32 %

Vir: HMS



Slika 1: Hitrosti prenosa in dovoljena dolžina polaganja glede na standard.

Za najbolj zanesljivega predhodnika Etherneta velja Profibus, ki je klasični serijski Fieldbus protokol, medtem ko Profinet predstavlja industrijski Ethernet protokol. Oba spadata v skupino mrežnih povezav za komunikacijo industrijskih naprav, ki komunicirajo med seboj ali med različnimi delovnimi polji oz. med podmrežami. Ker se uporabljata v industrijskem okolju morata biti odporna na prah, vlago, elektromagnetne vplive (EMC), itd. Hitrost PROFINET-a je okoli 1Gbit/s ali 100 Mbit/s, medtem ko PROFIBUS ne preseže hitrosti 12 Mbit/s. Maksimalno število naprav povezanih s PROFINET protokolom je 265 - praktično neomejeno, medtem ko se s PROFIBUS protokolom lahko povežemo z do največ 126 napravami.

Oba protokola sta produkt iste organizacije, zato obstajajo podobnosti v inženirskih konceptih, vključno z uporabo datotek GSD za določitev strojne opreme vsake naprave. Datoteke GSD za PROFIBUS so datoteke ASCII, medtem ko so za PROFINET to XML datoteke. Uporabnik ima s prehodom iz

PROFIBUS na PROFINET koristi tudi zaradi podobnosti.

Prehod iz RS-485 v Ethernet predstavlja premik k sodobnejši tehnologiji in ga bomo v prihodnosti srečevali povsod.

Z napredkom komercialnega Etherneta napreduje tudi PROFINET. Ob prihodu PROFINET-a je bila hitrost prenosa podatkov 100Mbit/s, danes pa lahko PROFINET deluje enako enostavno tudi na Gigabit Ethernet-u (ali hitreje).

Z uporabo Ethernet baze dobimo večjo pasovno širino, večjo velikost sporočil (paketov) in neomejen naslovni prostor. Čeprav po specifikacijah PROFINET ne omejuje naslovnega prostora, bodo posamezni krmilniki imeli omejitve na podlagi njihovega procesorja in pomnilnika.

Eden od razlogov zakaj je PROFINET hitrejši je uporaba modela ponudnik/potrošnik (provider / customer). Vsako vozlišče lahko komunicira kjerkoli to potrebuje. Ker so omrežja Ethernet zdaj stikalna omrežja, v njih ne prihaja do trkov. PROFIBUS je dosegel omrežje brez trkov z uporabo pristopa poveljnik (master)/suženj (slave); poveljnik je vedno odgovoren za mrežo, vozlišča pa komunicirajo le, ko so pozvana.

Za povezavo z drugimi omrežji so posamezna podjetja ustvarila prehode (gateway) za prevode. PROFINET pa je naredil korak naprej in definiral proxy-je. Proxy-ji so kot prehodi, ki prevajajo eno omrežje na drugo, vendar so za razliko od klasičnih prehodov, opredeljeni v odprtem standardu.

Sporočila PROFIBUS se lahko prenašajo brezžično, vendar zahtevajo lastniške radijske postaje istega proizvajalca na obeh straneh. PROFINET, ki je standardni Ethernet, pa enostavno uporablja WiFi in Bluetooth. Za lažje razumevanje kdaj uporabiti enega namesto drugega, so nastale tako imenovane cone, kjer rjava cona pomeni, da se uporablja PROFIBUS, zelena cona pa da se uporablja PROFINET.

V rjavi coni se lahko še naprej dodaja vozlišča PROFIBUS, v kolikor pa se pojavi potreba po dodatni funkcionalnosti Ethernet-a, se lahko doda tudi majhen projekt PROFINET. V zeleni coni pa se uporablja izključno PROFINET, ki predstavlja prihodnost v industriji.

#### LEGENDA:

**ASCII** – American Standard Code for Information Interchange – razvil ga je ANSI

**Brownfield** – rjava cona je nadgradnja ali dodatek k obstoječi mreži in uporablja komponente predhodne mreže.

**Greenfield** – zelena cona je instalacija in konfiguracija mreže, kjer še do sedaj ni bilo nikakršne mreže, npr. nova pisarna.

**PROXY server** – v računalniških omrežjih je proxy strežnik tisti računalniški sistem ali aplikacija, ki deluje kot posrednik za zahteve strank, ki iščejo sredstva iz drugih strežnikov. Odjemalec se poveže s proxy strežnikom in zahteva določeno storitev, na primer datoteko, povezavo, spletno stran ali drug vir, ki je na voljo na drugem strežniku. Proxy strežnik pa oceni zapletenost zahteve, jo poenostavi in jo hkrati nadzira. Proxy-ji so nastali z namenom, da bi dodali strukturo in enkapsulacijo v porazdeljene sisteme. Danes večini spletnih pooblaščenec olajšujejo dostop do vsebin na svetovnem spletu, zagotavljajo anonimnost in se lahko uporabljajo za preprečitev blokiranja IP naslovov.

**GSD file** - datoteke GSD vsebujejo informacije o osnovnih zmožnostih naprave. Običajno so vse naprave že opremljene z datoteko GSD, v nasprotnem primeru pa se jo lahko prenese s spletne strani prodajalca.

Z datoteko GSD lahko sistemski integrator določi osnovne podatke, kot so možnosti komunikacije in razpoložljiva diagnostika.

Vir: <https://www.profibus.com/products/gsd-files/>

**Enkapsulacija** - metoda za protokole modularne komunikacije, ki logično ločuje funkcije v mreži. Članek vsebuje naslov, imena

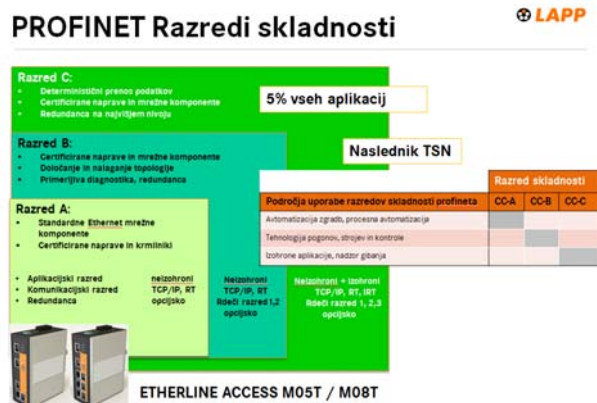
in priimke avtorjev, inštitucije in naslove avtorjev, kratek povzetek v angleškem in slovenskem jeziku, uvod, vsebino, slike, enačbe in sklicevanje na literaturo.

	PROFIBUS	PROFINET
Organizacija	PI	
Profili aplikacij	iste	
koncepti	Inženiring, GSDs	
Fizična plast	RS-485	Ethernet
Hitrost	12Mbit/s	1Gbit/s ali 100Mbit/s
Telegram	244 bytes	1440 bytes (ciklično)^
Prostor za naslove	126	Neomejeno
Tehnologija	Master/slave	provider/consumer
Povezljivost	PA + drugi*	Večino BUS-ov
Brezžično	mogoče*	IEEE 802.11, 15.1
Gibanje	32 osi	>150 osi
Stroj do stroj	Ne	Da
Vertikalna integracija	Ne	Da

^z več telegrami: do 2<sup>32</sup>-65 (aciklično)

\*ni v specifikaciji, vendar obstaja rešitev

## 2.1 Razlika med protokoloma PROFIBUS - PROFINET



Slika 2: Profinet razredi skladnosti.

## 3 TCP/IP Transmission Control Protokol / internet Protocol - Internetni sklad protokolov

Osebek TCP sprejema uporabniške tokove podatkov od krajevnih procesov, jih razdeli v dele krajše od 64K zlogov (v praksi po navadi od 1.500 zlogov) in pošlje vsak kos kot en datagram IP. Vsak poslan paket ima svojo številko in je potrjen s strani prejemnika. Če je odsek za pošiljanje večji, kot je največja prenosna enota (MTU - Maximum Transmission Unit), se ta razbije na fragmente, ki so dovolj majhni za pošiljanje in so tudi oštevilčeni, na sprejemni strani pa se odsek obnovi iz prispelih delov. Za omrežja Ethernet je lahko največja prenosna enota velika 1.500 zlogov. Internetni sloj ne zagotavlja pravilnega prenosa datagramov. Za to skrbi TCP.

TCP je povezovalni protokol, zato se najprej vzpostavi povezava med odjemalcem in strežnikom. Pri povezavi se določijo odjemalčev IP naslov in vrata (vrata lahko zavzemajo vrednost od 1 do vključno 65535), ter strežnikov IP naslov in vrata, na katerih čaka na servis strežnika.

IP naslov povezan z določenimi vrati tvorita vtičnica (socket) in par odjemalčeve ter strežnikove vtičnice. S tem dobimo povezavo TCP, ki je edinstveno določena. Glava (header) paketa TCP vsebuje izvorni naslov IP in vrata,

ciljni naslov IP in vrata, zaporedno številko paketa, številko potrditve in kontrolne zastavice. Kontrolni zastavici, pomembni za gradnjo požarnega zidu, sta ACK in SYN.

Ethernet je po definiciji odprto omrežje, ki vsakomur omogoča, da kadarkoli prenaša (verjetnostni prenosni medij). Zgrajen je ob predpostavki, da vozlišča ne bodo hkrati prenašala paketov (razen, če se ne izkorišča previsoke pasovne širine). Ta koncept se imenuje "CSMA-CD" (Carrier Sense Multiple Access - Collision Detect), kar pomeni, da lahko vozlišča na več skupnih nosilcih dostopajo do medija in prenašajo kadar to želijo, hkrati pa so odgovorna za odkrivanje trkov in ponovni prenos lastniških podatkov, če se trki pojavijo.

Čeprav se zdi, da je to slaba podlaga za omrežje v realnem času, v resnici temu ni tako. Sodobna Ethernet omrežja namesto vozlišč uporabljajo omrežna stikala, kar odpravlja možnost trkov. Z uporabo stikal, PROFINET skladnosti razreda A in B lahko naprave uporabljajo standardno Ethernet infrastrukturo, s tem dosežejo čas cikla, ki je krajši od 1 milisekunde in tresenje približno 10-100µs. To je standardni komunikacijski kanal "Real-Time" (RT) PROFINET.

### LEGENDA:

TSN – Time sensitive Networking : IEEE 802.1

**Conformance class** - razredi skladnosti a,b,c

**RT** – Real time : realni čas

**IRT** – izohron Real Time: Izohroni realni čas

**Izohron** – interval, ki traja enako dolgo, npr.: izohroni svetlobni intervali

Članki so napisani v slovenščini, povzetek pa v angleščini in slovenščini na prvi strani prispevka.

## 4 Industrijski Ethernet-Požarni zid / NAT-usmerjevalnik

Industrijski usmerniki običajno nudijo mnogo funkcij, odvisno od aplikacije, vendar jih običajno uporabimo samo nekaj. Zelo

pomembno je, da minimiziramo potrebno delo za IP integracijo strojev v mrežah višjega nivoja.

Usmernik s požarnim zidom/NAT se uporablja za aplikacije, ki prioriteto potrebujejo varnost mreže in prevod mrežnih naslovov (NAT – Network Address Translation). Tak usmernik ima integriran statusni inšpekcijski požarni zid s fleksibilnim dvosmernim paketnim filtriranjem (WAN/LAN vhodni in izhodni), s tem zanesljivo ščiti Industrijske IP mreže. S pomočjo funkcije 1:1 NAT in IP posredovanje/virtualno mapiranje lahko fleksibilno integriramo ekvivalentne IP podmreže brez potrebe po prilagajanju strojne mreže na višji produkcijski mreži. Novi usmerjevalnik je najbolj učinkovita izbira za integracijo sistemov z istim IP naslovnim prostorom.

## 5 Ethernet: Naslovi in promet



Open Systems Interconnection (OSI) Model povezal odprtih sistemov

	Nivo	Funkcija	Primer
Plast gostitelja	Plast 7 – Aplikacija	Dostop do storitev	HTTP, FTP, ...
	Plast 6 – Predstavitev	Šifriranje podatkov	ASCII, JPEG, ...
	Plast 5 – Seja	Nadzor seje	PAP (authentication)
	Plast 4 – Transport	Neposredna komunikacija med sorisnimi točkami	TCP/UDP
Plast medijev	Plast 3 – Mreža	Definicija usmerjanja in logičnih naslovov	IP
	Plast 2 – Podat. povezava	Fizično naslavljanje	MAC
	Plast 1 – Fizična povezava	Signal in kodiranje	Twisted Pair, Fiber

Plast 1 => podatkovni kabli (ETHERLINE in HITRONIC)

Plast 2 + Plast 3 => aktivne komponente (ETHERLINE ACCESS)

=>LAPP ponudnik industrijskih komunikacij  
Plast

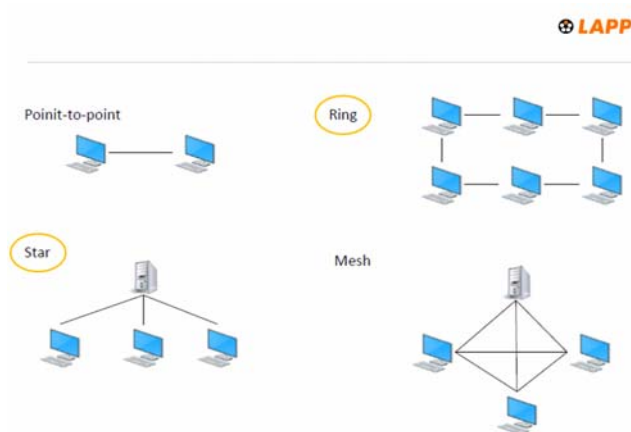
Slika 3: OSI model povezav odprtih sistemov.

Plast medijev (Media Layer):

MAC layer – Media Access Control layer

V odprtih OSI sistemih za komunikacijo, je MAC plast, ki ima dve podplasti, in sicer podatkovno in povezovalno plast nadzornega sloja. Omogoča fizično povezavo na mreži med več računalniki. Vsak računalnik ima svoj MAC naslov. Ethernet pa je protokol, ki dela v MAC layer-ju (plasti).

## 6 Topologije mrež



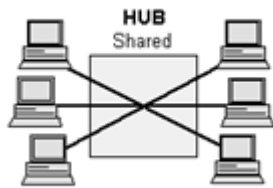
Slika 2: Topologija Ethernet mrež.

Za uresničitev vozlišč v omrežju Ethernet je treba uporabiti aktivne stikalne naprave.

### Hub (vozlišče)

Nivo: Plast 1

Uporaba: zelo redko (POWERLINK)



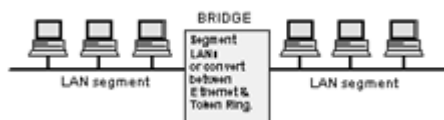
Slika 5: HUB.

**Hub-i ne analizirajo naslovov.** Promet je vedno posredovan vsem portom. Udeleženci mreže morajo vedno paziti na naslove in trke med seboj.

### Bridge = logical entity (Most = logična entiteta)

Nivo: Plast 2

Uporaba: Implementirano s stikali / usmerniki



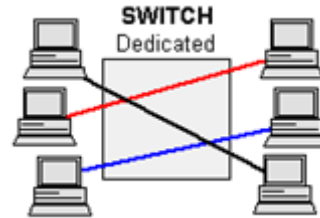
Slika: 6 Most.

Poveže dva mrežna segmenta ali mrežo na plasti 2.

## Stikalo => ETHERLINE ACCESS

Nivo: Plast 2

Uporaba: Stikala uporablja večina klasičnih Ethernet mrež



Slika 7: Stikala.

Stikala **analizirajo MAC naslove** in posredujejo promet na port z MAC naslovom. Da bi to storili, si morajo "zapomniti" MAC naslove povezanih naprav. To se naredi tako, da se MAC naslove naprav pozicionira v interno Lookup tabelo.

### Plast 3 Stikalo = IP Usmernik (Router)

Nivo: Plast 3

Uporaba: V večjih in kompleksnejših mrežah



Slika 8: Usmernik.

Usmerniki **analizirajo MAC in IP naslove** in so sposobni posredovati (usmeriti) promet na naprave z dodeljenimi IP naslovi, tudi kadar je naprava v drugem segmentu ali razredu podomrežja.

## 7 Neupravljana in upravljana stikala podjetja LAPP

### 7.1 ETHERLINE ACCESS U5T / U8T

Lastnosti:

- razpon temperature -10 do 60°C
- 9.6 do 60 VDC Dvojni vhodi moči (widerange dual power inputs)\*

- Nabor industrijskih certifikatov (CE, FCC, UL508, DNV, GL)\*
- **IP 30**
- **Robustno kovinsko ohišje in DIN-sponka za pritrditev na letev**
- Brez ventilatorja
- **Zaščita pred nevihtami oddajanja (BSP – Broadcast Storm Protection)\***
- Do 8 hitrih Ethernet portov

Prednosti:

- Dolgoročna durabilnost
- Visokonapetostne flukcijske tolerance in dostopnost
- Visoka stopnja MTBF (Mean Time Between Failures)
- Industrijski dizajn
- Ni potrebe po vzdrževanju
- Zaščita pred »nevihto oddajanj« (Broadcast Storm Protection - **BSP**)

Koristi:

- **Industrijska zanesljivost**
- **Dostopnost omrežja**



Slika 9: Upravljanje stikalo.

## 7.2 ETHERLINE ACCESS M5T / M8T

Lastnosti:

- razpon temperature -10 do 60°C
- Redundančni vhodi za napajanje
- Visoka EMC zaščita (IEEE 1613 Class 2 complaint)\*
- **Pametna mreža, ki se sama "popravi" - redundanca (< 20 ms)**

- **Hitri zagon (<10s)**
- **Različni uporabniku prijazni vmesniki : DIP-switch, Web console, Telnet, CLI**
- Podpira različne industrijske protokole
- Do 8 hitrih Ethernet portov

Prednosti:

- Dolgoročna durabilnost
- Visoka stopnja MTBF
- Industrijski razred za različne naloge tudi v kritičnih aplikacijah
- Višja toleranca pri nihanju napetosti
- Naprava se zažene in pripravi pred vsemi ostalimi napravami v sistemu
- Preprosta nastavitve topologije redundance
- Prihranek časa pri vgradnji/instalaciji in vzdrževanju
- Prilagodljiva uporaba
- Visoke hitrosti prenosov, ki omogoča prenos videa, glasu, podatkov,.. preko enega omrežja

Koristi:

- **Najboljši v svojem razredu**
- **Zanesljiv in zmogljiv**
- **Napredna učinkovitost**
- **Maksimalna fleksibilnost**



Slika 10: Upravljanje stikalo.

## 8 Literatura

- [1] LAPP interno