

Program

Digitalna transformacija robotiziranih tovarnih prihodnosti

DIGITOP

Rezultat 5.1:

Integracija proizvodnega sistema s strežnikom OPC UA

Projekt/RRP	DIGITOP/ RRP5, Aktivnost 5.1
Vrsta dokumenta	Poročilo
Verzija dokumenta	1.0
Sodelujoči partnerji	/
Avtorji	Dr. Krištof Debeljak, Dr. Janez Povh, Vinko Longar, Rok Struna
Datum priprave	30.09.2024

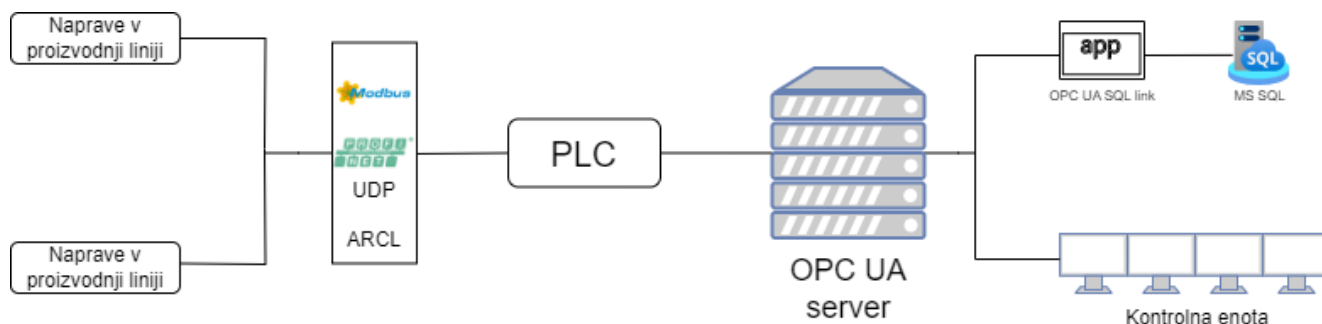
Kazalo

1	UVOD	3
2	RAZŠIRITEV OPC UA NA STROJE V LABTOP	4
2.1	INTEGRACIJA OPC UA V PROIZVODNJO LINIJO	4
2.1.1	<i>Modbus TCP CNC</i>	5
2.1.2	<i>Profinet</i>	6
2.1.3	<i>Prilagojena rešitev</i>	7
2.2	INTEGRACIJA OPC UA NA OSTALE STROJE V DELOVNEM OKOLJU	9
3	ZAJEM IN ANALIZA PODATKOV IZ DELOVNEGA OKOLJA	9
3.1	ZAJEM PODATKOV O PORABI ELEKTRIČNE ENERGIJE	10
3.1.1	<i>Modbus komunikacija z merilniki električne energije</i>	10
3.1.2	<i>OPCSQLlink aplikacija</i>	11
4	ZAKLJUČEK	13
5	BIBLIOGRAFIJA	14

1 Uvod

V okviru projekta DIGITOP izboljšujemo avtomatizacijo in optimizacijo proizvodnih procesov s pomočjo naprednih digitalnih tehnologij. Ena izmed tehnologij, ki omogoča integracijo, je strežnik OPC UA, ki zagotavlja standardizirano in varno komunikacijo med različnimi napravami in sistemi v proizvodnem okolju. Aktivnost 5.1 se osredotoča na širitev in integracijo OPC UA povezav za vse stroje in naprave v proizvodni liniji LabTOP, kot prikazuje Slika 1. Poleg povezovanja teh naprav smo v sistem vključili okoljske senzorje, ki omogočajo spremljanje parametrov, kot so temperatura, tlak, hrup, poraba energije in onesnaženost zraka.

Z integracijo OPC UA bo mogoče zbiranje podatkov v realnem času, kar bo omogočilo zmanjšanje stroškov in bolj optimiziran proizvodni proces. Ta pristop se sklada s smernicami Industrije 5.0, ki poudarja tesno sodelovanje med ljudmi in tehnologijo. Celostna integracija različnih naprav in senzorjev bo podpirala boljšo interakcijo med delavci in sistemi, s čimer bomo povečali prilagodljivost in človeško osredotočenost v proizvodnih procesih.



Slika 1: Arhitektura OPC UA znotraj proizvodnega sistema

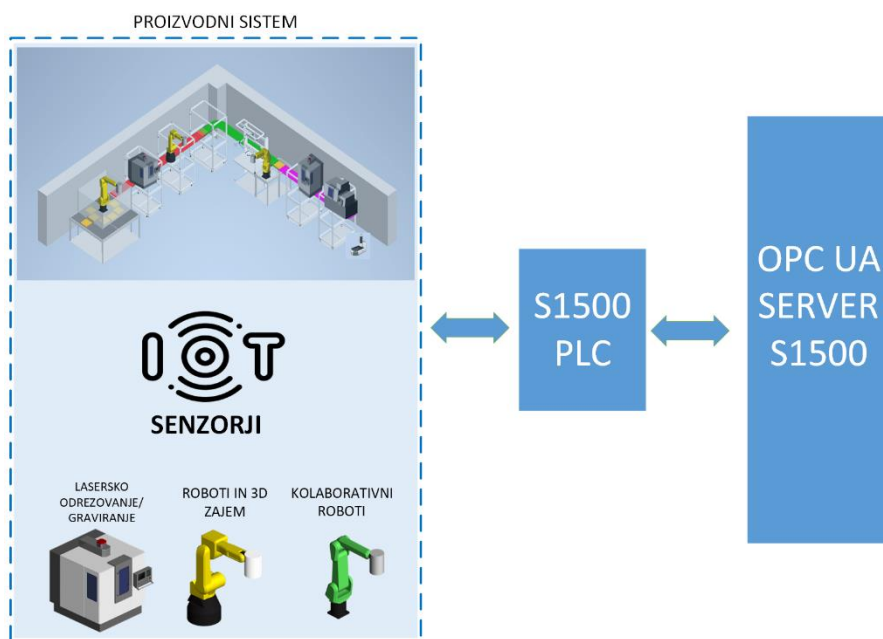
Na dolgi rok bo integracija pomagala pri razvoju pametnih tovarn, kjer bodo vse komponente, od strojev do senzorjev, delovale usklajeno. Pridobljeni podatki iz različnih virov bodo omogočili optimizacijo in izboljšanje proizvodnih procesov, kar bo podjetjem omogočilo, da postanejo bolj konkurenčna in učinkovita v dinamičnem poslovnem okolju.

2 Razširitev OPC UA na stroje v LabTOP

OPC UA komunikacijski protokol omogoča varno in zanesljivo izmenjavo podatkov med različnimi napravami in aplikacijami v omreženem industrijskem okolju, kar je pomembno za digitalizacijo proizvodnih procesov znotraj Industrije 4.0. V raziskavi »Performance Analysis of OPC UA for industrial Interoperability toward Industry 4.0« je bilo ugotovljeno, da OPC UA nudi neodvisno platformo, ki omogoča prenos podatkov s proizvodnih tal na upravljavski nivo, kar omogoča enotno komunikacijo med različnimi heterogenimi napravami [1]. Poleg tega je protokol zelo prilagodljiv in primeren za prihodnje nadgradnje v pametne vgrajene naprave. Glede na potrebe po učinkoviti komunikaciji tudi naprav brez PLC krmilnikov, kot so 3D tiskalniki in skenerji, je OPC UA odličen protokol, saj podpira različne modele komunikacije, vključno z binarnim kodiranjem za aplikacije z omejeno pasovno širino in zmožnostjo zagotavljanja varnosti prek šifriranja in podpisovanja podatkov [2]. Dodajanje merilnikov električne energije na naprave, ki ne uporabljajo PLC, omogoča spremljanje njihovega stanja na podlagi porabe energije in s tem izboljšuje optimizacijo delovnih procesov ter zmanjšuje operativne težave.

2.1 Integracija OPC UA v proizvodnjo linijo

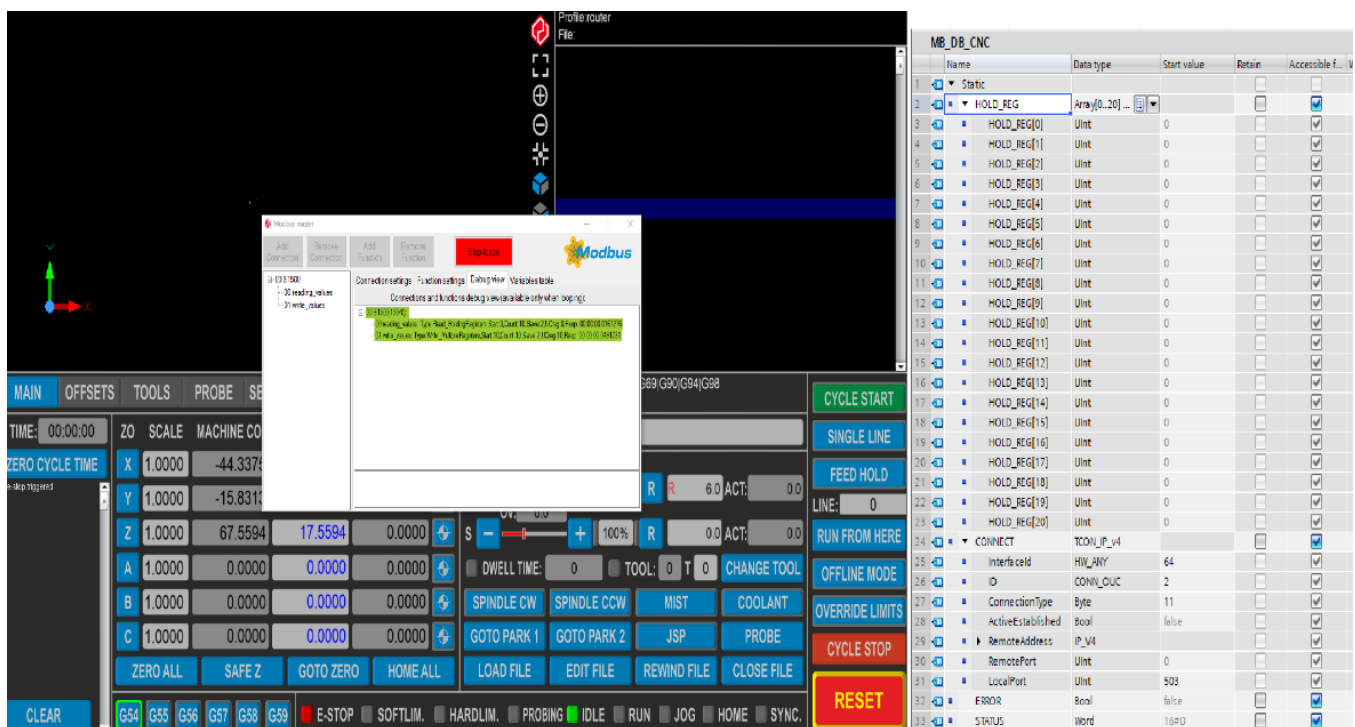
Za vzpostavitev potrebne komunikacije prek OPC UA z proizvodno linijo je bilo treba povezati vse stroje v liniji na PLC krmilnik, kot to prikazuje Slika 2. Upravljanje PLC krmilnika je bilo izvedeno v programskem okolju Siemens TIA Portal, kjer je bila za vsako napravo na krmilniku izdelana specifična logika delovanja, prilagojena glede na naloge, ki jih je bilo treba izvesti. Ker vsak stroj uporablja svoj komunikacijski protokol, je bilo povezovanje z PLC krmilnikom različno za vsak posamezen naprav, kar je zahtevalo prilagoditve pri konfiguraciji komunikacijskih kanalov in integraciji protokolov.



Slika 2: Komunikacija proizvodnega sistema

2.1.1 Modbus TCP CNC

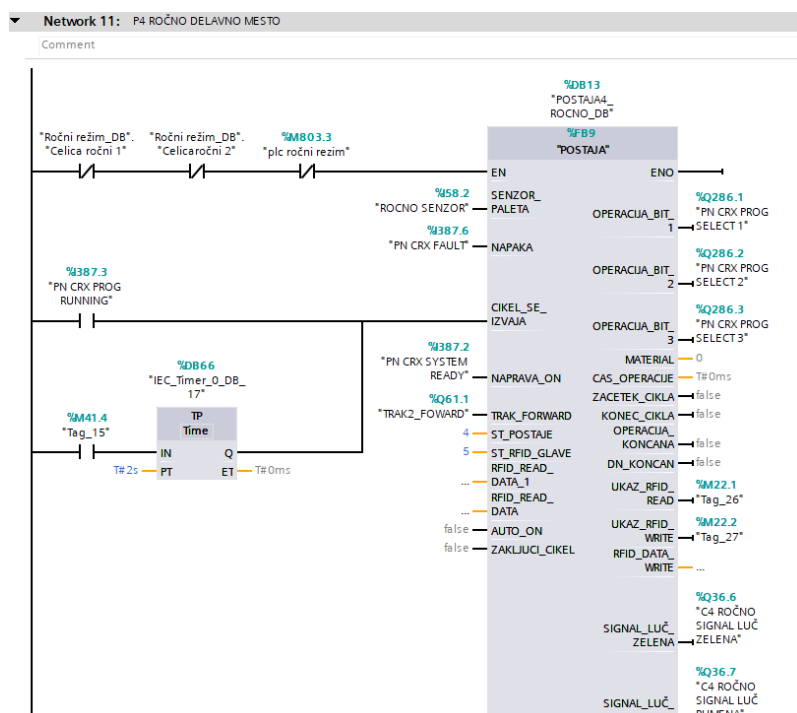
Modbus TCP je industrijski komunikacijski protokol, zasnovan za komunikacijo med napravami v avtomatiziranih okoljih, ki deluje prek TCP/IP omrežja. Protokol uporablja model master-slave (ali klient-strežnik), kjer enota (npr. CNC krmilnik) pošilja zahteve drugim napravam, kot v našem primeru PLC krmilniku [3]. V kontekstu Slike 3, kjer je prikazana uporaba Modbus TCP za komunikacijo s CNC strojem, so *holding registers* namenjeni za izmenjavo podatkov med PLC krmilnikom in CNC napravo. Ti registri hranijo podatke, ki jih lahko prebere ali napiše tako klient kot strežnik, kar omogoča nadzorovanje parametrov in stanja stroj kot to predstavlja. CNC stroj komunicira z Modbus TCP krmilnikom prek holding in input registrov, kjer input registri omogočajo zgolj branje podatkov, holding registri pa omogočajo tako branje kot pisanje. Vsak register ima določen naslov in se uporablja za specifične funkcije, kot so nalaganje programa, zagon programa itd.



Slika 3: Modbus komunikacija z PLC

2.1.2 Profinet

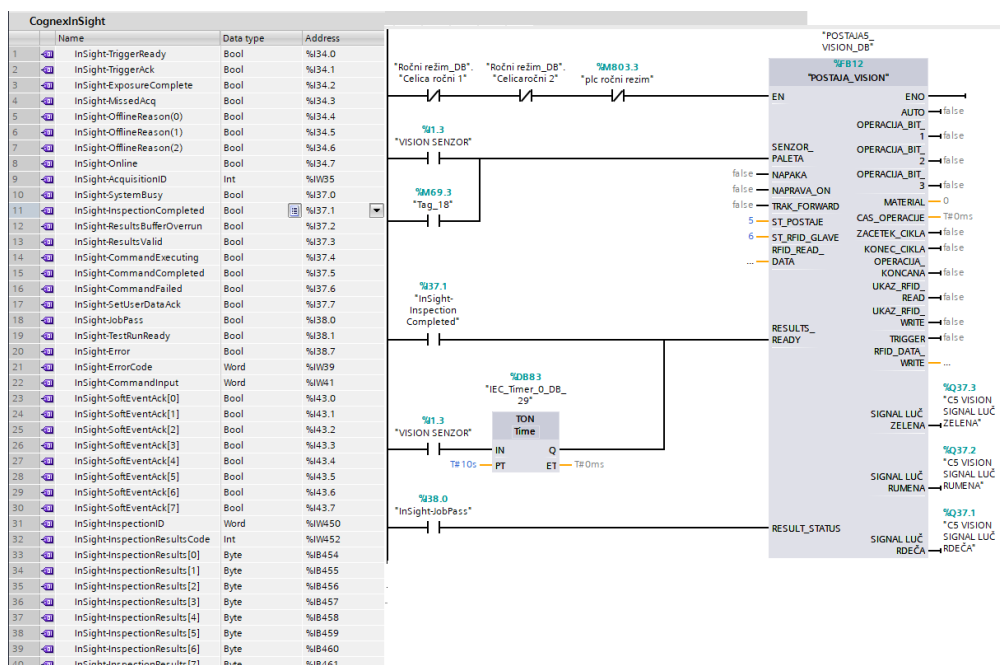
Profinet je eden najbolj razširjenih industrijskih Ethernet protokolov, ki omogoča hitro in zanesljivo komunikacijo med kontrolerji in napravami v avtomatiziranih industrijskih procesih. V naši proizvodnji, kjer uporabljamo robote Fanuc CRX, Yaskawa GP7 in ABB IRB1100, Profinet zagotavlja realnočasovno komunikacijo. Profinet podpira komunikacijo v realnem času (RT) in izkroni realni čas (IRT), kar omogoča natančno sinhronizacijo robotov in njihovo hitro odzivnost pri nalogah [4]. Na prikazani Slika 4 je prikazan del avtomatiziranega sistema, ki uporablja Profinet komunikacijo za upravljanje ročne postaje in robotov Fanuc CRX v delovnem ciklu.



Slika 4: PLC Fanuc CRX

Poleg že omenjenih robotov Fanuc CRX, Yaskawa GP7 in ABB IRB1100, v naši proizvodnji preko Profinet protokola upravljamo tudi zbiralke signalov naprav Turck I/O TBEN-S1-4DIP-4DOP ter zbiralke signalov za varnost IO 6XTurck_tben_l1_fdio. Te zbiralke I/O module za Ethernet vsebujejo štiri digitalni PNP vhodi in štiri digitalni PNP izhodi, ki podpirajo hitrost prenosa podatkov do 100 Mbps in zagotavljajo hitro delovanje v industrijskem okolju [5]. Vsaka proizvodna celica ima svojo zbiralko signalov naprav ter zbiralko signalov varnosti. Na zbiralko signalov naprav so priključeni senzorji, pnevmatski cilindri, trakovi, vakumski ejektorji nameščeni na ABB IRB1100 in Yaskawa GP7 ter kolaborativni griper, nameščen na robotih Fanuc CRX. Na zbiralko signalov varnosti pa so povezane varnostne zaves, muting senzorji, varnostna magnetna stikala za vrata celic ter reset in start tipke. Poleg vsega tega je tudi prek profineta na PLC povezana Cognex InSight 7800 kamera, katero uporabljamo kot strojni vid za pregled izdelkov. Na sliki 5 je prikazan način, kako Cognex InSight kamera komunicira s PLC-jem prek Profinet. Kamera posreduje različne statusne signale, kot so *InSight-Inspection Completed* in *InSight-JobPass*, ki jih PLC prejme in obdeluje, da zagotovi pravilno delovanje in nadaljnjo avtomatizacijo postopkov.

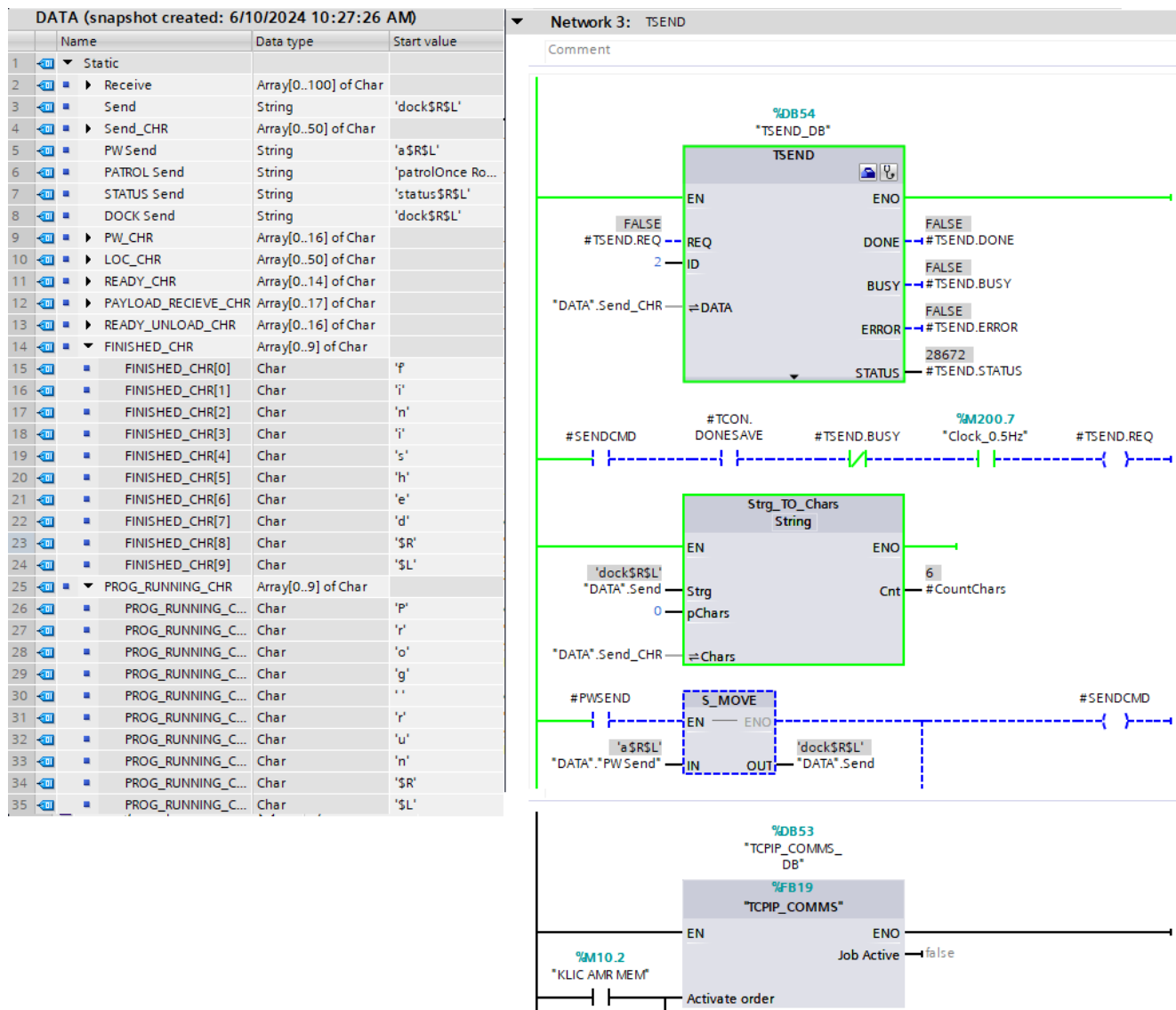
Vsak signal je povezan z določenim naslovom in statusom, ki se izmenjuje prek Profinet komunikacije, kar omogoča sinhronizacijo optičnega sistema z ostalimi napravami v proizvodni liniji.



Slika 5: CognexInSight PLC

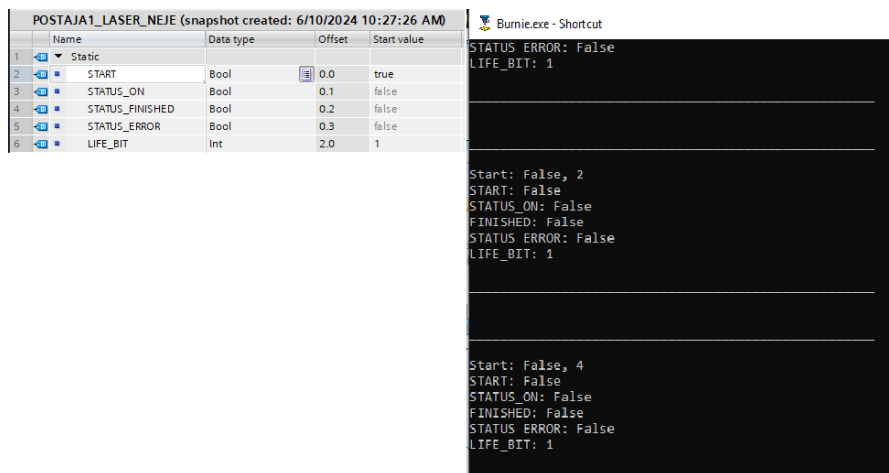
2.1.3 Prilagojena rešitev

V sklopu prilagojene rešitve smo morali za nekatere naprave uporabiti specifične metode, da bi zagotovili ustrezno komunikacijo. Za voziček Omron LD60, namenjen transportu, smo vzpostavili komunikacijo z uporabo ARCL (Advanced Robotics Command Language). ARCL je preprost, tekstovno zasnovan komunikacijski protokol, ki omogoča nadzor in spremljanje stanja robota. V tem primeru pošiljamo podatke o stanju vozička iz TCP/IP strežnika robota na Siemensov strežnik TCP/IP v obliki tekstovnih sporočil, kar omogoča enostavno integracijo z obstoječim sistemom, kot to prikazuje Slika 6.



Slika 6: PLC AMR

V proizvodni liniji imamo tudi dva laserska rezalnika, za katera je bilo treba razviti prilagojeno vrsto komunikacije. Za ta namen smo razvili aplikacijo, imenovano "Burnie", napisano v programskem jeziku C#. Namen te aplikacije je omogočiti komunikacijo med laserjem in PLC krmilnikom prek UDP (User Datagram Protocol) protokola. UDP omogoča, da se podatki pošiljajo brez zamud, ki so posledica preverjanja napak in ponovnega pošiljanja, kar je pogosto pri TCP protokolu. V našem primeru aplikacija "Burnie" uporablja UDP za hitro in učinkovito izmenjavo podatkov med laserjem in PLC krmilnikom kot to predstavlja Slika 7. Ta način komunikacije omogoča hitrejši prenos podatkov v primerjavi s TCP.



Slika 7: Burnie aplikacija

2.2 Integracija OPC UA na ostale stroje v delovnem okolju

Za integracijo OPC UA na naprave izven glavne proizvodne linije, kot so 3D tiskalniki, skenerji in druge naprave brez lastnih krmilnikov, smo implementirali rešitev, ki temelji na spremljanju električne porabe. Uporabili smo merilnike električne energije za pridobivanje natančnih informacij o delovanju teh naprav. Na ta način lahko prek spremljanja porabe energije določimo njihov trenutni status — na primer, ali so naprave vklopljene, delujejo s polno zmogljivostjo ali pa so v stanju pripravljenosti. Merilniki električne energije so povezani z OPC UA sistemom. Ko se poraba energije na napravi spremeni, lahko iz teh podatkov sklepamo na različna stanja naprave, kot so aktivnost, neaktivnost ali morebitna napaka. Ta rešitev omogoča enostavno spremljanje in optimizacijo delovanja naprav, tudi tistih, ki niso neposredno vključene v PLC krmilnike ali avtomatizirane procese. Poleg tega omogoča enostavno integracijo naprav, ki nimajo naprednih komunikacijskih vmesnikov, s preostalimi komponentami pametne tovarne.

3 Zajem in analiza podatkov iz delovnega okolja

Zajem in analiza podatkov nam omogočata vzpostavitev optimalnih delovnih pogojev za proizvodne linije in zaposlene. S sistematičnim spremljanjem zbranih podatkov identificiramo in odpravljamo težave ali pomanjkljivosti v proizvodnji, kar zaposlenim zagotavlja boljše delovne pogoje in posledično izboljšuje produktivnost. Pogosta dejavnika, ki vplivata na počutje delavcev, sta kakovost zraka in raven hrupa. Slaba kakovost zraka lahko povzroča glavobole, utrujenost, težave s koncentracijo in draženje dihalnih poti [6], medtem ko visoka raven hrupa prispeva k trajni izgubi sluha, povečanemu stresu in motnjam spanja. Raziskave ugotavljajo, da hrup lahko zmanjša koncentracijo delavcev za do 66% [7]. Za nadzor teh pogojev smo v delovnem okolju namestili senzorje zraka Senspuck Pure battery SPU10, ki merijo pritisk, onesnaženost, vlažnost in temperaturo, ter Dayton Audio OmniMic V2 za merjenje hrupa. Pomembno v delovnem okolju je tudi upravljanje z porabo električne energije, saj lahko z integracijo upravljanja energije z delovnim nalogom izkoristimo nihanja na energetskih trgih [8], kar vodi do zmanjšanja stroška porabe energije. V ta namen smo

namestili senzorje HIQ PM1-E-D-CT za merjenje porabe električne energije na strojih v našem prostoru. Vsi zbrani podatki se shranjujejo v podatkovno bazo, kar nam omogoča nadaljnje izboljšave delovnega okolja.

3.1 Zajem podatkov o porabi električne energije

V laboratoriju LabTOP so na stroje v proizvodni liniji nameščeni merilniki energije, ki začnejo beležiti porabo ob zagonu proizvodnje. Ta zagon se sproži prek delovnega naloga, kot prikazuje Slika 8. Delovni nalog je povezan z OPC UA strežnikom. Ko delovni nalog sproži proizvodno linijo, merilniki energije na posameznih strojih beležijo trenutno porabo energije. Meritve se beležijo vsako sekundo, kar omogoča zbiranje velike količine podatkov, ki se shranjujejo v MS SQL. Upravljanje podatkovne baze izvaja namensko razvita aplikacija, katera uporaba je shranjevanje trenutne električne porabe v podatkovno bazo. Shranjeni podatki so namenjeni razvoju predikativnih modelov, ki nam pomagajo optimizirati delovanje proizvodne linije, izboljšati energetske učinkovitost in zmanjšati obratovalne stroške. Z natančnimi podatki o delovanju strojev med obratovanjem lahko prepoznamo možnosti za optimizacijo procesov.

OPC UA Server variables

Work order: 24-6HD-000089

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

KOLICINA

1 O-Objekt

OPC UA variable values

Automatic refresh

Every 10 s

DELNOVNI_NALOG

DN

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

100

SERIJSKA_STEVIKA

12481

KOLICINA

1

Start

Finish

OPC UA Server variables

24-6HD-000089

IZDELEK_ID

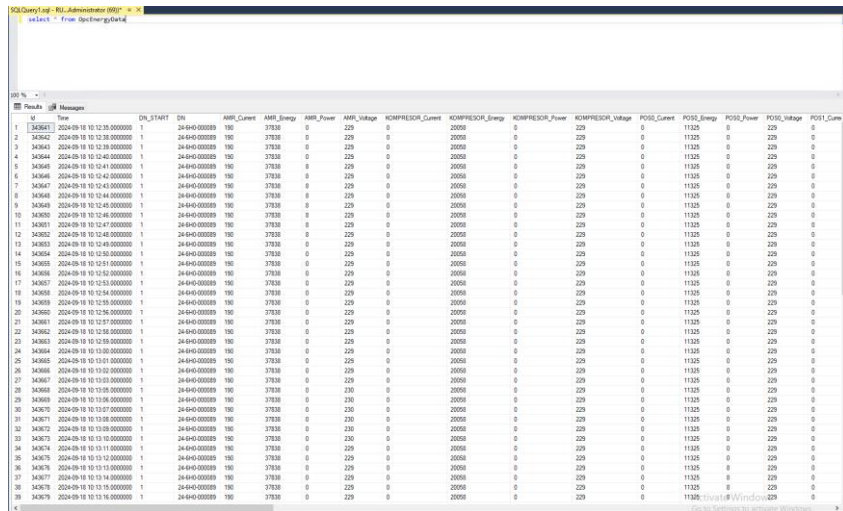
100

Slika 8: Razpis delovnega naloga

3.1.1 Modbus komunikacija z merilniki električne energije

Podatki o porabi energije se zbirajo preko komunikacijskega protokola MODBUS, ki omogoča izmenjavo podatkov med merilniki in centralnim sistemom. Na Sliki 9 je prikazana implementacija MODBUS komunikacije, kjer so podatki iz merilnikov prebrani preko MODBUS strežnika, konfiguriranega v Siemens TIA portalu. MODBUS strežnik omogoča pridobivanje trenutnih podatkov o porabi energije s posameznih strojev. Na podlagi teh podatkov se vsako sekundo shranjuje trenutna poraba energije v MS SQL podatkovno bazo. Visoka frekvenca zapisovanja podatkov nam omogoča da natančno sledimo porabi trenutne energije za vsako napravo v proizvodni liniji, kar omogoča nadzor energetske potrebe in prilagajanje procesov za doseganje optimalne učinkovitosti.

- Pridobljeni podatki se shranjujejo v Microsoft SQL bazo podatkov. Ti podatki omogočajo spremljanje trenutnih operacij naprav ter vpogled v porabo energije in podatke iz delovnega okolja na različnih točkah proizvodnega sistema.



Slika 10: Shranjevanje podatkov MS SQL

Primer spremenljivk za shranjevanje podatkov o električni energiji so predstavljeni v Tabela 1. kateri so spremenljivke namenjene identifikaciji in času združene z ID, Session ID, časom, DN_START in DN, medtem ko so ponavljajoče se spremenljivke, kot so tok, energija, moč in napetost, namenjene spremljanju delovanja različnih naprav v proizvodnem procesu.

Tabela 1: Pridobljeni podatki z OPC UA

Ime področja	Vrsta podatka	Opis	Enota
Id	int	Unique identifier	
Time	DateTime	Timestamp	
DN_START	bool	Start Signal	
DN	string	Device name	
SessionId	int	Session identifier	

machine_Current	int	Current for machine	A
machine_Energy	int	Energy for machine	Wh
machine_Power	int	Power for machine	W
machine_Voltage	int	Voltage for machine	V

4 Zaključek

V okviru aktivnosti 5.1 projekta smo dosegli napredek pri integraciji OPC UA povezav za spremljanje in zbiranje podatkov iz različnih naprav, vključno z laserskimi stroji, 3D tiskalniki, skenerji ter drugimi senzorji v LabTOP. Integracija merilnikov električne energije je omogočila spremljanje stanja naprav, kjer lahko na podlagi porabe energije v realnem času prepoznamo trenutni operativni status naprav. Poleg tega je bila uspešno implementirana komunikacija ARCL za transportne sisteme ter MODBUS za merjenje porabe energije, kar je prispevalo k sinhronizaciji naprav v proizvodnem okolju. Razvili smo tudi aplikacijo OPCSQLlink, ki omogoča zbiranje in shranjevanje teh podatkov v SQL bazo podatkov. Ta podatkovna zbirka bo v prihodnosti ključna za razvoj naprednih prediktivnih modelov za optimizacijo porabe energije in napovedno vzdrževanje. V prihodnjih aktivnostih bomo gradili na tej osnovi z uvedbo digitalnega dvojčka (aktivnost 5.2), integracijo MES+ERP sistemov (aktivnost 5.3) ter razvojem AI modulov (aktivnost 5.4), ki bodo omogočili napovedno vzdrževanje, nadzor kakovosti in nadaljnjo optimizacijo porabe energije. V zaključnih fazah projekta (aktivnost 5.5) bomo vse te elemente povezali v izboljšan digitalni dvojček, ki bo omogočal celovito upravljanje in optimizacijo proizvodnih procesov, kar bo proizvajalcem omogočilo povečanje učinkovitosti, zmanjšanje izpada proizvodnje ter izboljšanje kakovosti izdelkov.

5 Bibliografija

- [1] M. Ladegourdie in J. Kua, „Performance Analysis of OPC UA for Industrial Interoperability towards Industry 4.0“, *IoT*, let. 3, št. 4, Art. št. 4, dec. 2022, doi: 10.3390/iot3040027.
- [2] M. Ladegourdie in J. Kua, „Performance Analysis of OPC UA for Industrial Interoperability towards Industry 4.0“, *IoT*, let. 3, št. 4, Art. št. 4, dec. 2022, doi: 10.3390/iot3040027.
- [3] U. Waseem, „Modbus TCP: A Comprehensive Guide to the Protocol and Its Applications“. Pridobljeno: 20. september 2024. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.wevolver.com/article/modbus-tcp>,
<https://www.wevolver.com/article/modbus-tcp>
- [4] „Profinet: Demystifying an Industrial Technology - Smowcode Blogs“. Pridobljeno: 20. september 2024. [Na spletu]. Dostopno na: <https://blog.smowcode.com/profinet-demystifying-an-industrial-technology/>
- [5] TURCK, „Compact Multiprotocol I/O Module for Ethernet - 4 Digital PNP Inputs and 4 Digital PNP Outputs 2 A“. Pridobljeno: 20. september 2024. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.turck.us/en/product/6814021>
- [6] „Indoor Air Quality - Overview | Occupational Safety and Health Administration“. Pridobljeno: 19. september 2024. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.osha.gov/indoor-air-quality>
- [7] „The Impact of Workplace Noise and Soundscapes on Employee Wellness“. Pridobljeno: 19. september 2024. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www.corporatewellnessmagazine.com/article/the-impact-of-workplace-noise-and-soundscapes-on-employee-wellness>
- [8] „Smart energy management for industrials“, Deloitte Insights. Pridobljeno: 19. september 2024. [Na spletu]. Dostopno na: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/power-and-utilities/smart-energy-management.html>