

Program

Digitalna transformacija robotiziranih tovarnih prihodnosti

DIGITOP

Rezultat 9.2:

Implementacija integriranega sistema MES+ERP in osnovnega digitalnega dvojčka

Projekt/RRP	DIGITOP/ RRP9, Aktivnost 9.2
Vrsta dokumenta	Poročilo
Verzija dokumenta	1.0
Sodelujoči partnerji	DATALAB d.d., Rudolfovo
Avtorji	Dr. Krištof Debeljak, Dr. Janez Povh, Vinko Longar, Rok Struna, Jasna Rihter
Datum priprave	31.07.2025

Kazalo

1	UVOD	3
2	OBSTOJEČI ERP SISTEM	4
2.1	POMANJKLIVOSTI OBSTOJEČEGA SISTEMA	4
3	POSODOBLJENI ERP SISTEM.....	4
3.1	AVTOMATIZACIJA UPRAVLJANJA Z DELOVNI NALOGI PREKO OPC UA POVEZAVE	7
3.2	VZDRŽEVANJE ORODIJ.....	8
3.3	VZDRŽEVANJE RESURSOV.....	9
3.4	UPRAVLJANJE SERVISNIH DELOVNIH NALOGOV (SE IN MF LICENCE) V PANTHEON-U	10
4	IMPLEMENTACIJA OSNOVNEGA DIGITALNEGA DVOJČKA	12
4.1	PREDSTAVITEV LINIJE ZA AVTOMATSKO POLNLENJE VREČK	12
4.2	PREGLED PODATKOV PRIDOBLENIH IZ EPR/MES SISTEMA	13
4.3	MODELIRANJE PROCESA V ANYLOGIC.....	14
4.4	UPORABA UMETNE INTELIGENCE ZA PREDIKATIVNO VZDRŽEVANJE IN UPRAVLJANJE ENERGIJE	14
5	BIBLIOGRAFIJA.....	15

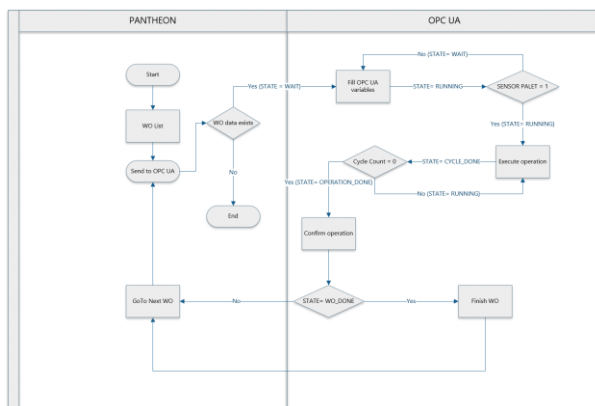
1 UVOD

Aktivnost 9.2, ki temelji na znanju in izkušnjah pridobljenih v Aktivnosti 5.1. projekta DIGITOP se osredotoča na integracijo sistema MES in ERP ter povezovanje s strežnikom OPC UA v podjetju Biostile d.o.o., ki že uporablja ERP Pantheon.

Projekt DIGITOP je usmerjen v izboljšanje avtomatizacije in optimizacije proizvodnih procesov s pomočjo naprednih digitalnih tehnologij, pri čemer strežnik OPC UA omogoča standardizirano in varno komunikacijo med različnimi napravami in sistemi v proizvodnem okolju. V sklopu aktivnosti smo nadgradili trenutni ERP Pantheon sistem, nameščen v podjetju Biostile. Integracija posodobljenega sistema MES+ERP bo omogočila številne prednosti, vključno z odpravo nepotrebnih podatkovnih baz ter zagotavljanjem točnih in ažurnih informacij po celotni organizaciji. Ta integracija bo omogočala zmanjšanje napak, boljši vpogled v količino zalog ter optimizirano upravljanje ponudbe in povpraševanja v realnem času. Integracija se sklada s smernicami Industrije 5.0, ki temelji na tesno sodelovanje med ljudmi in tehnologijo ter celostno povezovanje različnih naprav in senzorjev, kar omogoča boljšo interakcijo med delavci in sistemi.

Delo na tej aktivnosti poteka predvsem v podjetju Biostile, ki je uporabnik ERP sistema, ter razvojni partner v projektu DIGITOP.

Novi MES sistem v celoti podpira realizacijo naročil, kar vključuje planiranje, sledenje in analizo naročil skozi celoten proizvodni proces. Omogoča tudi učinkovito upravljanje proizvodnih tokov, sledljivost izdelkov ter pravočasno izpolnjevanje naročil. Zagotovljena je celovita sledljivost v okviru MES sistema, vključno s funkcionalnostmi, kot so dodajanje kosov v obstoječ delovni nalog, spreminjanje delovnega naloga med operacijo in terminiranje. S tem je omogočeno natančno sledenje napredku naročil ter izboljšano upravljanje proizvodnih procesov. Novi MES sistem omogoča popolnoma avtomatizirano planiranje aktivnosti vzdrževanja, kar vključuje načrtovanje in usklajevanje vzdrževalnih del ter optimizacijo razporeda vzdrževanja glede na razpoložljivost opreme in proizvodne potrebe. Avtomatizirano vzdrževanje pripomore k preprečevanju nepotrebnih zastojev v proizvodnji, zmanjšanju okvar na opremi ter povečanju razpoložljivosti proizvodnih sredstev. Cilj te integracije je poenostaviti proizvodne procese, zagotoviti boljši vpogled v proizvodno okolje ter prispevati k večji učinkovitosti celotnega proizvodnega okolja.



Slika 1: Kontekst uporabe PA OPC UA modula

2 OBSTOJEČI ERP SISTEM

Podjetje uporablja kompleksni proizvodni sistem, ki temelji na licenci MF Pantheon. Proizvodni proces večinoma poteka po naročilu kupcev, pri čemer se uporablja modul Naročila v kombinaciji z modulom Blago, ki je namenjen materialnemu poslovanju, upravljanju zalog in sledenju blagovnih tokov.

Tehnološki postopek se začne s pripravo osnovne kosovnice, ki vključuje materiale, polizdelke ter operacije z ustreznimi normativi. Na podlagi teh podatkov se ob prejemu naročila oblikuje proizvodni plan, ki po preverbi materialne bilance in terminiranja vodi do generiranja proizvodnih delovnih nalogov. V okviru teh nalogov se nato evidentira poraba materiala in opravljeno delo.

Vendar pa se ti podatki v sistem večinoma vnašajo naknadno, kar pomeni, da ni možnosti spremljanja dejanskega stanja proizvodnje v realnem času. Ključna omejitev trenutnega sistema je tudi nepovezanost proizvodne linije z ERP sistemom. Zato bi uvedba integriranega MES sistema predstavljala pomembno izboljšavo, saj bi omogočila digitalno sledenje proizvodnim procesom v realnem času, višjo stopnjo avtomatizacije ter natančnejše in zanesljivejše planiranje.

2.1 Pomanjkljivosti obstoječega sistema

Ena izmed ključnih pomanjkljivosti obstoječega sistema je neuporaba sistema MES, kar podjetju onemogoča pridobivanje podatkov o stanju proizvodnje v realnem času. Zaradi časovnega zamika pri vnosu podatkov ti ne odražajo dejanskega stanja v proizvodnem procesu, kar negativno vpliva na natančnost in učinkovitost planiranja proizvodnje ter na stabilnost proizvodnega cikla. Poleg tega podjetje nima vzpostavljenega sistematičnega pristopa k evidentiranju in upravljanju vzdrževanja strojev. Posledica tega so lahko nepredvideni zastoji v proizvodnji, zmanjšana zanesljivost načrtovanja ter povečano tveganje za zamude pri dobavi izdelkov.

3 POSODOBLJENI ERP SISTEM

Z nadgradnjo obstoječega sistema je podjetje odpravilo prej omenjenih ključnih pomanjkljivosti. Nepovezanost proizvodne linije z ERP sistemom, pomanjkanje podatkov v realnem času ter nesistematično vodenje vzdrževanja so predstavljali resno oviro pri optimizaciji proizvodnih procesov. Novi integrirani sistem, ki vključuje MES in nadgrajeni ERP, predstavlja temelj digitalne transformacije podjetja in omogoča uresničevanje načel industrije 5.0.

Posodobljeni ERP sistem (verzija Pantheon in Pantheon WEB 4200) je nameščen na:

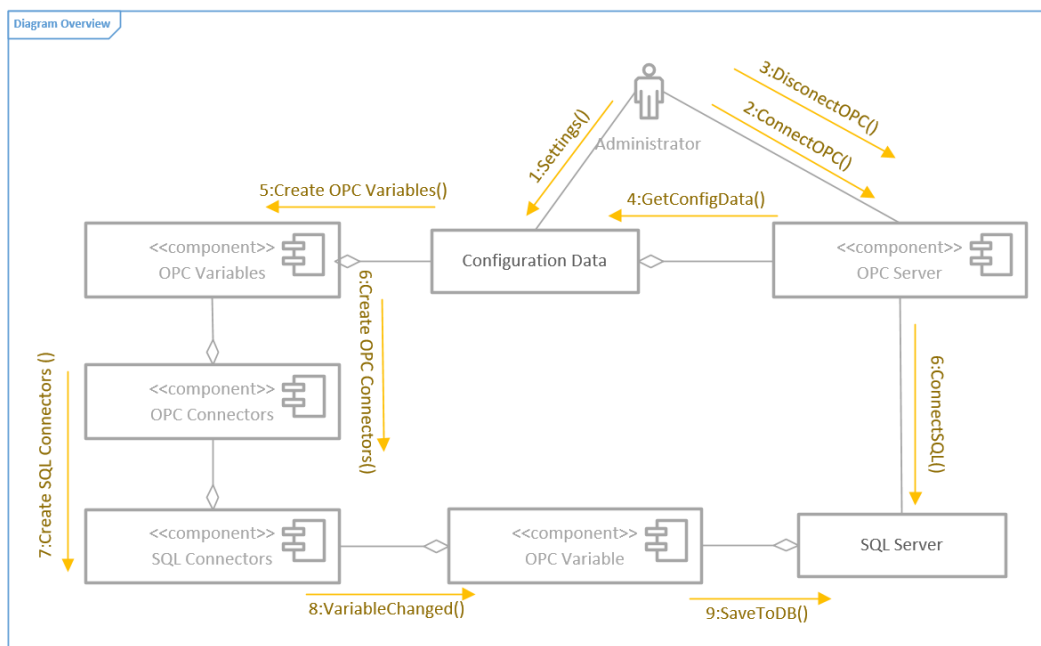
- testna instalacija BIOSTILE baza 10.203.80.14 (DIGITOP)
- API: <http://localhost:9001/swagger/index.html>

Nadgrajeni sistem omogoča digitalno povezavo med proizvodno linijo in ERP rešitvijo Pantheon, kar omogoča sprotno zajemanje podatkov neposredno iz strojev in delovnih postaj. Informacije o porabi materiala, realizaciji delovnih nalogov ter statusih strojev in robotov se avtomatsko zapisujejo v sistem v realnem času. To zagotavlja natančen in ažuren vpogled v proizvodne procese, kar bistveno izboljšuje planiranje, vodenje in nadzor nad izvajanjem naročil.

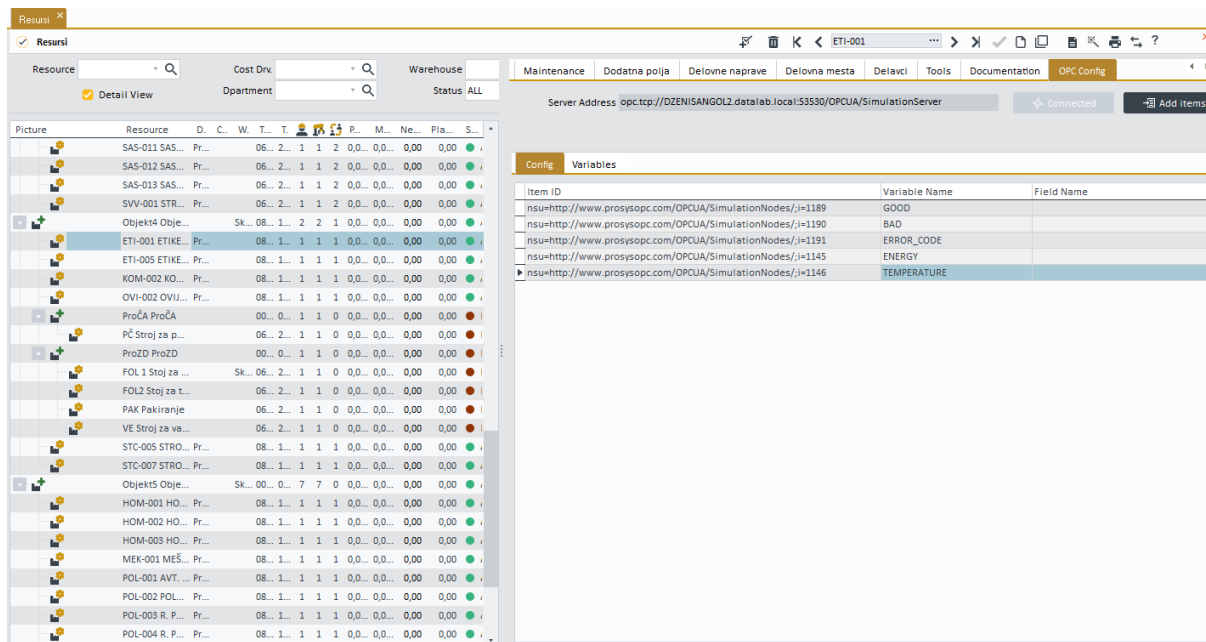
Poleg tega sistem omogoča zbiranje, analizo in interpretacijo proizvodnih podatkov, kar podpira stalno optimizacijo procesov, zmanjševanje napak ter povečanje produktivnosti in operativne fleksibilnosti. Na podlagi zbranih podatkov se izvaja tudi napredno načrtovanje preventivnega vzdrževanja, s čimer se bistveno zmanjšuje tveganje za nenačrtovane izpade opreme in s tem povezane zamude v dobavi.

Napredne funkcionalnosti vključujejo tudi orodja za simulacijo in planiranje proizvodnje, ki omogočajo natančno oceno zmogljivosti, terminiranja in materialne bilance že v fazi priprave delovnih nalogov. Sistem tako omogoča agilno prilagajanje spremembam na trgu in povečano odzivnost na specifične zahteve kupcev, kar krepi konkurenčnost podjetja v hitro spreminjajočem se industrijskem okolju.

Slika 2 in Slika 3 prikazuje delovanje nadgrajenega ERP sistema in tok informacij ter postopek konfiguracije z integracijo OPC UA modula, ki omogoča povezovanje različnih komponent sistema. OPC UA modul je integriran v Pantheon v modulu Resursi. Administrator najprej nastavi parametre povezave in konfigurira spremenljivke ter nato vzpostavi povezavo z OPC strežnikom z uporabo funkcije »ConnectOPC«, s čimer omogoči komunikacijo med sistemom in proizvodnimi stroji. V primeru napake lahko administrator povezavo prekine z uporabo funkcije »DisconnectOPC«. Ko je povezava vzpostavljena, sistem pridobi konfiguracijske podatke z metodo »GetConfigData«, ki ustvari podatkovno strukturo za ustvarjanje OPC spremenljivk in komponent OPC UA konektorja. Te spremenljivke se nato povežejo s postavkami (ItemID) iz OPC UA strežnika. V naslednjem koraku se za vsak OPC konektor ustvarijo komponente SQLConnector, ki omogočajo povezave med OPC spremenljivkami in ustreznimi polji v bazi podatkov v skladu s konfiguracijskimi nastavitvami. Sistem nato vzpostavi povezavo s SQL strežnikom z uporabo funkcije »ConnectSQL«, kar omogoča varno shranjevanje podatkov, pridobljenih iz proizvodnih strojev. Ob spremembi vrednosti spremenljivk (»VariableChanged«) sistem samodejno shrani nove podatke v bazo (»SaveToDB«).

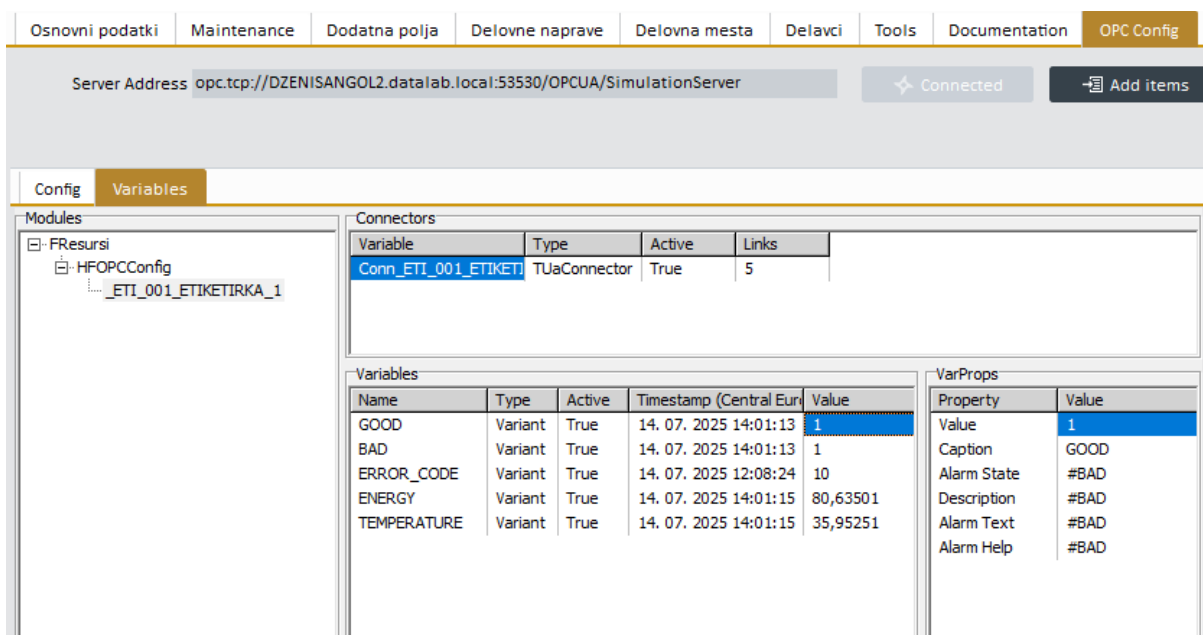


Slika 2: Diagram komponent



Slika 3: Konfiguracija OPC UA spremenljivki na resursih

Na sliki 4 je slednje in prikaz povezanih spremenljivk v podjetju, katere vrednosti se prenašajo in obdelajo v Pantheonu.



Slika 4: Sledenje OPC UA spremenljivk virov v realnem času

3.1 Avtomatizacija upravljanja z Delovni nalogi preko OPC UA povezave

Nadgradnja ERP sistema v prinaša izboljšave v upravljanju delovnih nalogov z dodatnimi možnostmi:

- zajemanja več kosov znotraj enega delovnega naloga,
- hkratno upravljanje večih delovnih nalogov,
- ročnega zaključevanja delovnih nalogov preko Web Terminala,
- izbire posamične operacije za izvajanje, možnost evidentiranja slabih kosov z njihovimi vzroki ter možnost upravljanja delovnih nalogov ki vsebujejo materiale ali polizdelke ali izdelke vodene po serijski številki.

Primer prikazuje Slika 5. Ta funkcionalnost omogoča proizvodni liniji, da izdela več enot v okviru enega procesa, kar povečuje fleksibilnost in učinkovitost serijske proizvodnje. S sistemom, ki podpira zgoraj navedene dodatne možnosti upravljanja delovnih nalogov, podjetje pridobi večji nadzor nad proizvodnjo in sledenjem zalog, kar zmanjšuje potrebo po večkratnih nastavitvah in zagonih posameznih procesov. Poleg tega sistem omogoča natančnejše sledenje napredku proizvodnje in učinkovito beleženje podatkov v realnem času. To je ključnega pomena za optimizacijo operacij, saj omogoča vpogled v proizvodne vzorce, zgodovino porabe materialov in časovne zahteve za vsako fazo proizvodnje. Z integracijo teh podatkov v MES in ERP sistem lahko podjetje doseže boljše usklajevanje proizvodnih nalogov in učinkovitejše upravljanje z viri, kar vodi k nižjim stroškom in zmanjšani napaki v celotnem proizvodnem procesu. Z izbiro delovnega naloga in klikom na gumb Start se začne samodejno ustvarjanje delovnega naloga, tj. podatki o delovnem nalogu se pošljejo prek vmesnika OPC UA proizvodnim strojem. Levi del tabele prikazuje podatke o delovnem nalogu, tj. položaje operacij, medtem ko desni del v realnem času prikazuje podatke, ki jih prejemo od proizvodnih strojev. V spodnjem delu lahko spremljamo vse spremenljivke OPC UA strežnika za vsak stroj, ki izvaja delovni nalog.

Registracija dela sa OPC UA														
Delavec: 70069														
OPCUA Config OPC UA Log														
Key View	Event Type	EventTime	UM	Oper Time	Open Qty	Good Qty	Bad Qty	No	Operation Description	Resurs ID	Resurs Name	Action buttons	Progress	Good
25-6P1-000175	Začetek opera	09.07.2025 14:41:21	MIN	117:36:33	50	652	363	36	DO-ETIKETIRANJE	ETI-001	ETIKETIRKA 1	Pause End	100 %	0
25-6P1-000277	Začetek opera	09.07.2025 14:41:21	MIN	117:36:33	380	580	0	12	DO-KAPSULIRANJE	KAP-006	KAPSULIRKA 6	Pause End	100 %	0
Prekinitiv Stop Transfer														
Osvetli podatke Potrdi Potrdi prevzem														
Prenos opravljenega dela														
I	Delavec	Poobl oseba	DN	Poz.	Zap.	Operacija	Priority	Resurs	S...	Datum	Začetek	Konec	Hold ups	
1	Administrator		25-6P1-000175	36	1	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		09.07.2025	09.07.2025 11:32	09.07.2025	Holdup ID	Name
2	Administrator		25-6P1-000277	12	1	DO-KAPSULIRANJE	0 - Primarni resur	KAP-006		09.07.2025	09.07.2025 11:32	09.07.2025	Vnos novega zapisa	
3	No / None		25-6P1-000175	36	1	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		19.06.2025	19.06.2025 15:28	19.06.2025	<Ni podatkov>	
4	No / None		25-6P1-000175	36	2	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		19.06.2025	19.06.2025 15:40	19.06.2025		
5	No / None		25-6P1-000175	36	3	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		03.07.2025	03.07.2025 12:46	03.07.2025		
6	No / None		25-6P1-000175	36	4	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		03.07.2025	03.07.2025 13:08	03.07.2025		
7	No / None		25-6P1-000277	12	1	DO-KAPSULIRANJE	0 - Primarni resur	KAP-006		19.06.2025	19.06.2025 15:40	19.06.2025		
8	No / None		25-6P1-000566	12	1	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		19.06.2025	19.06.2025 15:29	19.06.2025		
9	No / None		25-6P1-000566	12	2	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		19.06.2025	19.06.2025 15:43	19.06.2025		
10	No / None		25-6P1-000566	12	3	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		03.07.2025	03.07.2025 12:47	03.07.2025		
11	No / None		25-6P1-000566	12	4	DO-ETIKETIRANJE	0 - Primarni resur	ETI-001		09.07.2025	03.07.2025 13:08	03.07.2025		
													3,00000 0,00000	

Connected: opc.tcp://DZENISANGOL2.datalab.local:53530/OPCUA/SimulationServer

Slika 5: Glavno okno OPC UA modula v Pantheonu

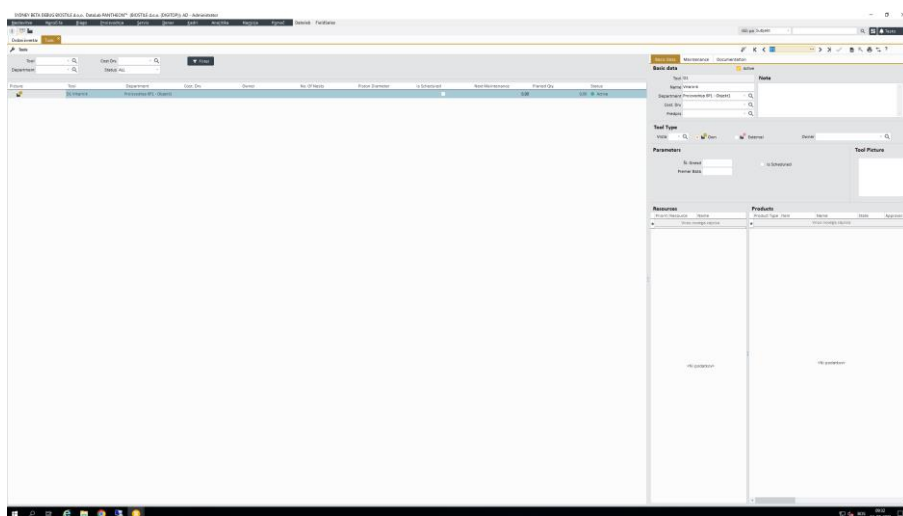
3.2 Vzdrževanje orodij

Upravljanje vzdrževanja orodij v PANTHEON-u je namenjeno preprečevanju nepotrebnih zastojev v proizvodnji v podjetju zaradi nedelovanja strojev.

Vzdrževanje orodij vsebuje sledeče funkcionalnosti:

- vnos novih orodij in vodil za evidenco orodij,
- načrtovanje vzdrževalnih posegov na orodjih,
- določanje možnosti obveščanja o vzdrževalnih posegih na orodjih,
- kreiranje in spremljanje samostojnih delovne naloge za menjavo orodij načrtovane ali izredne menjave,
- kreiranje servisnih delovnih nalogov na osnovi načrtovanih vzdrževalnih posegov orodij,
- spremljanje in obdelava napak vzdrževalnih posegov,
- dodajanje orodja v dnevni plan,
- vodenje potrebne dokumentacije, povezane z orodji.

Proces upravljanja in vzdrževanja orodij v sistemu PANTHEON v podjetju Biostile vključuje standardne funkcionalnosti ter dodatne možnosti za podrobno spremljanje in vzdrževanje orodij. Slika 8 prikazuje uporabniški vmesnik za orodja, ki je razdeljen na več razdelkov, vključno z zavihki za osnovne podatke (npr. naziv orodja, oddelek, vrsta orodja), parametre, resurse, izdelke, vzdrževanje ter dokumentacijo. Uporabniki lahko iščejo in filtrirajo orodja po različnih kriterijih. Uporabnik lahko kreira delovni nalog za menjavo orodja, kar je koristno predvsem pri bolj zahtevnih menjavah kjer je smiselno spremljanje stroškov menjave orodja. Za načrtovanje uporabe orodij v dnevnem planu je dodana možnost izbire orodja, ki omogoča filtriranje po različnih lastnostih, vključno z resursi in izdelki. Nadaljnje izboljšave sistema vključujejo dodajanje nastavitvev v administracijski konzoli za lažje upravljanje osnovnih sredstev in možnost prilagoditve z dodatnimi polji. Dopolnjen je tudi šifrant vrst dokumentov, kar omogoča vključitev orodij v načrtovanje v dnevnem planu ter omogoča kreiranje servisnega delovnega naloga in delovnega naloga za menjavo orodja. Sistem vključuje možnosti za različne vrste izpisov kar omogoča uporabnikom pregled in upravljanje podatkov na različnih ravneh. Avtorizacije in prilagoditve za servisne delovne naloge so urejene skladno s klasičnimi delovnimi nalogi, kar zagotavlja enoten nadzor in varnost pri upravljanju vzdrževalnih procesov.



Slika 6: Seznam orodij z Vzdrževanjem

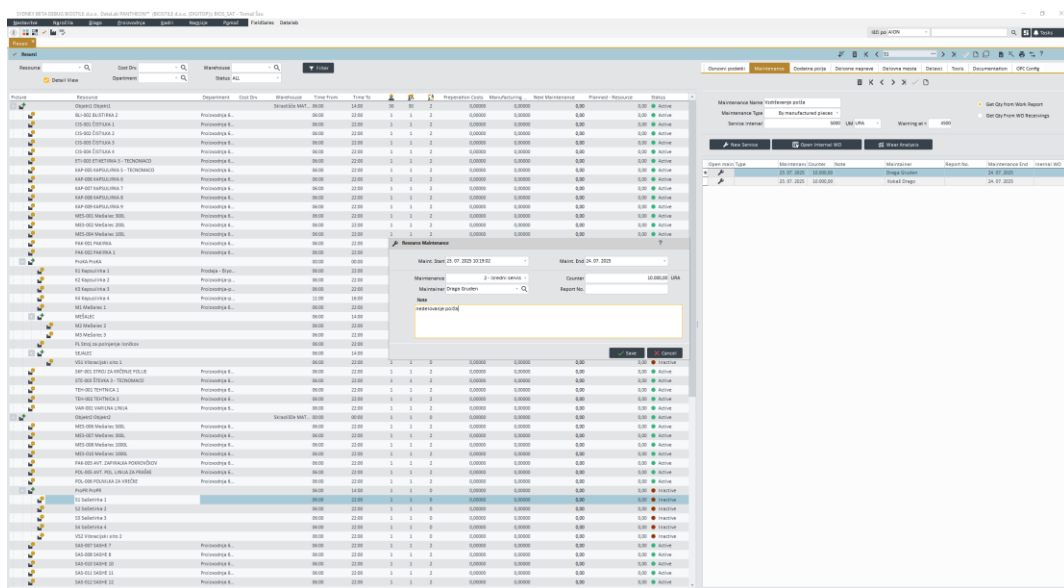
3.3 Vzdrževanje resursov

Upravljanje vzdrževanja resursov v PANTHEON-u je namenjeno preprečevanju nepotrebnih zastojev v proizvodnji zaradi nedelovanja strojev. Sliki 9 in 10 predstavljata proces vzdrževanje resursov v podjetju.

Vzdrževanje resursov v PANTHEON-u vsebuje funkcionalnosti, kjer bo uporabnik lahko:

- načrtoval vzdrževalne posege na resursih,
- vodil evidenco vzdrževalnih posegov,
- določal možnosti obveščanja o vzdrževalnih posegih na resursih,
- kreiral servisne delovne naloge na osnovi načrtovanih in izrednih vzdrževalnih posegov,
- spremljal obrabo resursov,
- spremljal in obdeloval napake vzdrževalnih posegov,
- vodil dokumentacijo vezano na vzdrževalne posege,
- spremljal resurse v vzdrževalnih posegih preko dnevnega plana

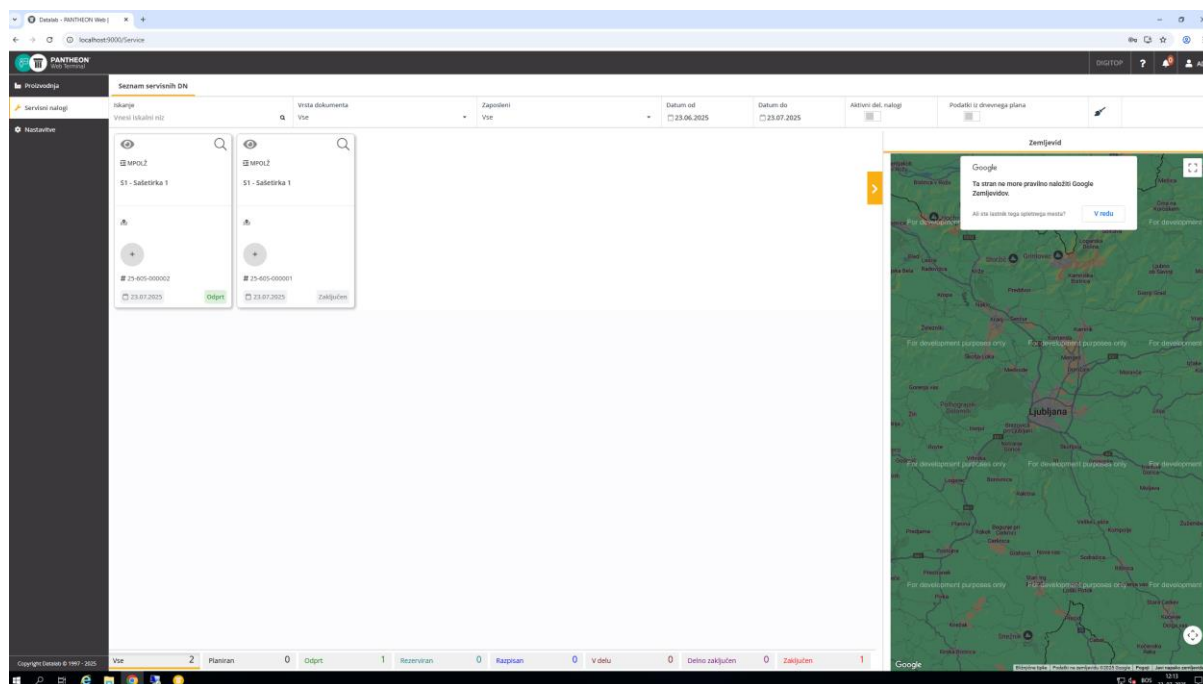
Slika 11 prikazuje uporabniški vmesnik v podjetju Biostile namenjen za vzdrževanje resursov v podjetju. V sistemu PANTHEON se za upravljanje vzdrževanja resursov uvajajo posebne funkcionalnosti in uporabniški vmesnik. Uporabniki imajo na voljo zavihek Vzdrževanje, kjer lahko dodajajo nova vzdrževanja, določajo tipe vzdrževanja (glede na število izdelanih kosov ali delovne ure) ter nastavljajo intervale servisiranja in opozorila. Ob kliku na Novo vzdrževanje se odpre okno za vnos novih vzdrževalnih nalogov, z možnostjo določanja začetka in konca vzdrževanja, vrste vzdrževanja, vzdrževalca, števca, delovnih ur in opomb. Za kreiranje servisnega delovnega naloga je na voljo obrazec, ki vsebuje ključne podatke, kot so naročnik, vrsta servisa, prioriteta raven, oddelek, stroškovni nosilec in drugi parametri. Dodatne možnosti vključujejo kopiranje orodij in pravil iz kosovnice ter kreiranje dnevnika.



Resource	Location	Status	Maintenance Type	Start Date	End Date	Description
BU-001 BU-001-001	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-002	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-003	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-004	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-005	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-006	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-007	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-008	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-009	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-010	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-011	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-012	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-013	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-014	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-015	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-016	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-017	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-018	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-019	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-020	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-021	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-022	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-023	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-024	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-025	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-026	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-027	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-028	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-029	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-030	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-031	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-032	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-033	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-034	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-035	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-036	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-037	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-038	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-039	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-040	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-041	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-042	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-043	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-044	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-045	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-046	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-047	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-048	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-049	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-050	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-051	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-052	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-053	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-054	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-055	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-056	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-057	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-058	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-059	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-060	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-061	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-062	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-063	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-064	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-065	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-066	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-067	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-068	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-069	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-070	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-071	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-072	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-073	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-074	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-075	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-076	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-077	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-078	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-079	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-080	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-081	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-082	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-083	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-084	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-085	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-086	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-087	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-088	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-089	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-090	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-091	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-092	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-093	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-094	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-095	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-096	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-097	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-098	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-099	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance
BU-001 BU-001-100	BU-001	Active	Preventive	2023-01-01	2023-01-01	Preventive maintenance

Slika 7: vzdrževanja resursov

Uporabniški vmesnik v podjetju Biostile je namenjen kreiranju servisnih delovnih nalogov. Za vnos novega naloga je na voljo strukturiran obrazec, ki vključuje ključne podatke, kot so naročnik, vrsta servisa, stopnja prioritete, odgovorni oddelek, stroškovni nosilec ter drugi parametri, ki omogočajo natančno klasifikacijo in sledenje vzdrževalnih aktivnosti. **Nadaljnje izboljšave sistema**, kot prikazuje slika 15, vključujejo možnost sprotnega poročanja o opravljenem delu in porabi materiala ter spremljanje izvedbe posameznega servisnega delovnega naloga v realnem času. Ključna prednost nadgrajenega sistema je tudi **mobilna podpora**, ki omogoča, da zaposleni upravljajo s svojimi servisnimi nalogi kar preko mobilnih naprav. S tem imajo neposreden dostop do podrobnosti naloga, možnost poročanja opravljenega časa prek funkcije *start-stop*, kot tudi evidentiranja porabljenega materiala neposredno s terena. Poleg tega lahko zaposleni preko interaktivne mape spremljajo napredek pri izvajanju servisnih nalogov svojih sodelavcev, kar omogoča boljšo koordinacijo dela, hitrejše odzive in večjo preglednost nad skupinskim izvajanjem nalog.



Slika 9: Prikaz servisnih delovnih nalogov v WEB

Prednosti novega sistema za upravljanje vzdrževanja vključujejo:

Večjo operativno učinkovitost, saj se servisni nalogi dodeljujejo natančno, na podlagi prioritet in razpoložljivosti virov. **Spremljanje izvajanja nalog v realnem času**, kar omogoča proaktivno ukrepanje in zmanjšuje administrativne zamude. **Natančno poročanje o porabi časa in materiala**, kar prispeva k boljši stroškovni kontroli in analizi učinkovitosti. **Dostopnost preko mobilnih naprav**, kar omogoča delo na terenu brez potrebe po dodatni obdelavi podatkov v pisarni. **Povečana transparentnost ekipnega dela**, saj je mogoče spremljati napredek tudi drugih članov ekipe. **Izboljšano planiranje in izvedba preventivnega vzdrževanja**, saj digitalni zapisi omogočajo napredno analitiko in identifikacijo ponavljajočih se okvar.

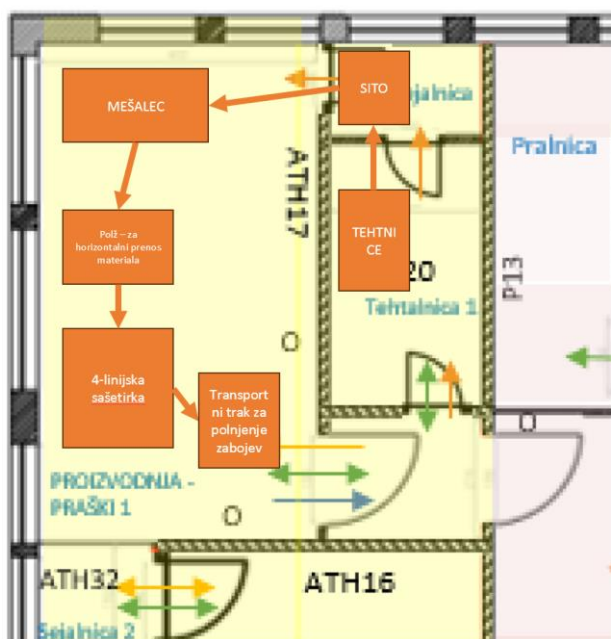
Sistemska integracija teh funkcionalnosti v širši ERP in MES okvir predstavlja pomemben korak v smeri pametnega vzdrževanja (*smart maintenance*), večje digitalne zrelosti podjetja in dolgoročne optimizacije proizvodno-servisnih procesov.

4 IMPLEMENTACIJA OSNOVNEGA DIGITALNEGA DVOJČKA

4.1 Predstavitev linije za avtomatsko polnjenje vrečk

Pred začetkom aktivnosti pri vzpostavitvi osnovnega digitalnega dvojčka smo opravili terenski ogled proizvodnje v podjetju Biostile. Na podlagi analize procesov smo kot najprimernejšega izbrali postopek avtomatskega polnjenja vrečk. Za ta proces so na voljo podatki o obdelovalnih časih delovnih nalogov, v prihodnje pa bomo vključili še meritve porabe električne energije, ki so pomembne za razvoj naprednega digitalnega dvojčka. Cilj izdelave digitalnega dvojčka je natančno simulirati delovanje polnilne linije z namenom detekcije izboljšav polnilne linije.

V podjetju Biostile imajo tri identične polnilne linije, ki jih interno imenujejo »linije za sašetiranje«. Na teh linijah se polnijo končni produkti (vrečke) z različnimi učinkovinami. Polnilna linija zajema več pol-avtomatskih naprav, ki jih poslučuje operator. Delo operaterja predstavlja tehtanje praška glede na zahtevano količino, sledi proces, kjer se učinkovina preseje skozi sito. Zaradi zagotavljanja homogenosti se učinkovina premeša v mešalcu, nato pa sledi vnos učinkovine v polž. Polž dovaja učinkovino do stroja za sašetiranje. Avtomatsko polnjenje vrečk se izvede na stroju za sašetiranje, ki ima 4 izhodne kanale te pa povezuje transportni trak s škatlami, kamor padejo končni produkti.



Slika 10: Floris linije za sašetiranje

4.2 Pregled podatkov pridobljenih iz EPR/MES sistema

Pred pričetkom modeliranja se je podrobno preučilo zgodovinske podatke o obdelavi delovnih nalogov na liniji za sašetiranje. Primer podatkov spodaj prikazuje izdelavo delovnih nalogov z predvidenimi količinami in dejansko proizvedenimi količinami za posamezen produkt. Iz podatkov je razvidno, da vrednosti proizvedenih kosov na minuto niha, kar lahko predstavlja, da je med izvajanjem delovnega naloga prišlo do zastojev oziroma napak. Prav tako so pridobljene vrednosti o času izdelave in količine skupne za celotno linijo, kar posledično pomeni, da so dejanski časi obdelave na posameznem stroju maskirani znotraj skupnega časa.

ResursID	ResursName	Product	WOKey	Plan Qty	Produced Qty	UM	Time (h)	Percent (%)	PCS/min
S1	Sašetirka 1	402-0034	256P200000197	31581.000000	33133.000000	KOS	8.000000	104.914347	69.027083
S1	Sašetirka 1	402-0018	256P200000184	31581.000000	31653.000000	KOS	8.000000	100.227985	65.943750
S1	Sašetirka 1	402-0018	256P200000183	31581.000000	30803.000000	KOS	7.500000	97.536493	68.451111
S1	Sašetirka 1	VITALITY VRECKA	256P200000181	19230	20303.000000	KOS	14.500000	105.579823	23.336781
S1	Sašetirka 1	VITALITY VRECKA	256P200000180	19230	19603.000000	KOS	15.500000	101.939677	21.078494
S1	Sašetirka 1	VITALITY VRECKA	256P200000179	19230	19603.000000	KOS	13.500000	101.939677	24.201234
S1	Sašetirka 1	402-0034	256P200000178	31581.000000	31903.000000	KOS	9.000000	101.019600	59.079629
S1	Sašetirka 1	402-0034	256P200000177	31581.000000	28603.000000	KOS	10.500000	90.570279	45.401587
S1	Sašetirka 1	402-0034	256P200000176	31581.000000	31903.000000	KOS	8.666700	101.019600	61.351687
S1	Sašetirka 1	402-0034	256P200000175	31581.000000	32093.000000	KOS	9.000000	101.621227	59.431481
S1	Sašetirka 1	402-0034	256P200000174	31581.000000	31903.000000	KOS	10.000000	101.019600	53.171666
S1	Sašetirka 1	402-0018	256P200000172	31581.000000	33003.000000	KOS	8.000000	104.502707	68.756250
S1	Sašetirka 1	402-0018	256P200000171	31581.000000	31903.000000	KOS	8.500000	101.019600	62.554901
S1	Sašetirka 1	402-0018	256P200000170	31581.000000	31903.000000	KOS	10.000000	101.019600	53.171666
S1	Sašetirka 1	COLLAGEN-VRECKA	256P200000167	31581	31713.000000	KOS	9.500000	100.417972	55.636842
S1	Sašetirka 1	COLLAGEN-VRECKA	256P200000166	31581	33003.000000	KOS	8.000000	104.502707	68.756250
S1	Sašetirka 1	COLLAGEN-VRECKA	256P200000165	31581	31903.000000	KOS	7.750000	101.019600	68.608602
S1	Sašetirka 1	COLLAGEN-VRECKA	256P200000164	31581	31903.000000	KOS	9.750000	101.019600	54.535042
S1	Sašetirka 1	COLLAGEN-VRECKA	256P200000163	31581	31903.000000	KOS	7.250000	101.019600	73.340229
S1	Sašetirka 1	VITALITY VRECKA	256P200000162	19230.000000	21003.000000	KOS	16.500000	109.219968	21.215151
S1	Sašetirka 1	VITALITY VRECKA	256P200000161	19230.000000	19603.000000	KOS	16.250000	101.939677	20.105641
S1	Sašetirka 1	VITALITY VRECKA	256P200000160	19230.000000	19603.000000	KOS	15.250000	101.939677	21.424043

Slika 11: Podatki iz EPR/MES sistema

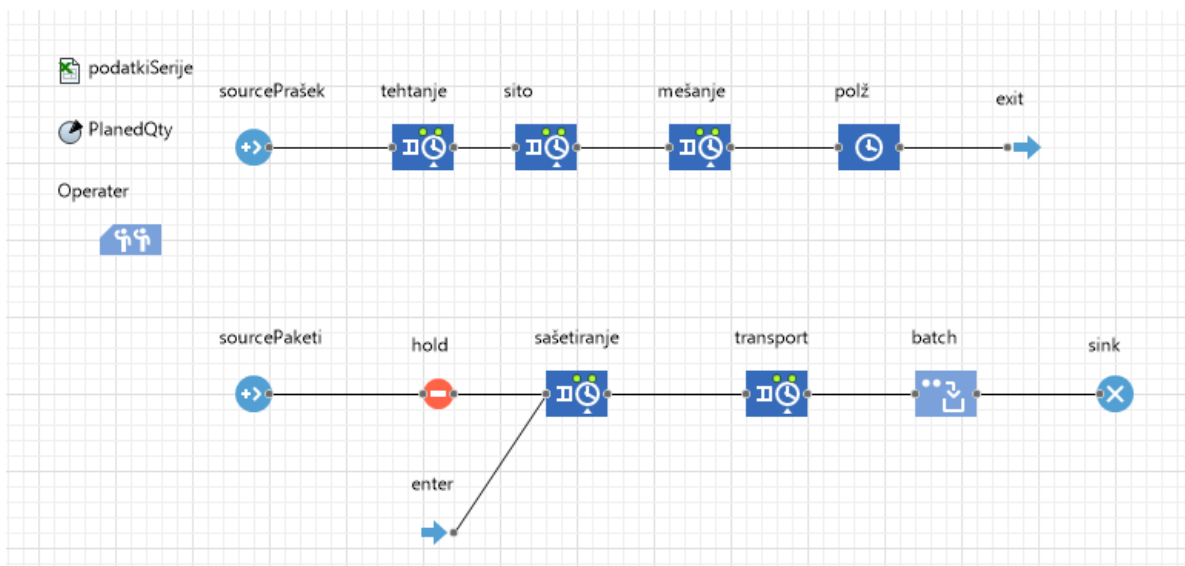
Pridobljeni podatki bi bili v tem primeru primerni zgolj za simuliranje celotne linije v smislu ene proizvodne celice. Za izdelavo podrobnejšega digitalnega dvojčka je bilo potrebno pridobiti dodatne podatke o obdelovalnih in pripravljalnih časih na posamezni postaji, kar omogoča boljši vpogled v sam proizvodni proces. Iz podjetja Biostile so nam priskrbeli podatke za en delovni nalog o pripravljalnem in obdelovalnem času na posameznih postajah.

PROCES	Tehtanje	Sito	Mešanje	Hor. Tr. - polž	Sašetriranje	Transportni trak
PRIPRAVLJALNI ČAS	45	10	20	10	60 min	5 min
ZAKLJUČNI ČAS	50	60	60	90	120 min	15 min

Tabela 1: Pripravljalni in obdelovalni čas

4.3 Modeliranje procesa v Anylogic

Za virtualizacijo proizvodnega procesa smo uporabili AnyLogic 9.8.5, ki podpira simulacijo diskretnih dogodkov, agentnih sistemov in kontinuiranih tokov. Ker je izbrani proces povsem diskreten smo posegli po Process Modeling Library (PML), ki vsebuje pripravljene bloke (Source, Queue, Service, Delay, ...) ter omogoča gradnjo tokovnega diagrama.



Slika 12: Simulacijska shema

Service bloki tehtanje, sito, mešanje in transport potrebujejo operaterja, ki je simuliran z blokom resource pool. Na liniji je pri izdelavi delovnega naloga prisoten en operater, ki posluhuje omenjene stroje za izvedbo operacij. Service bloki imajo nastavljene parametre, ki modelirajo obdelovalni in pripravljalni čas na posameznem stroju. Po končanem procesu na polžu, agent prestavi kontrolno spremenljivko v blok hold, ki sprost material naprej šele, ko je stroj pripravljen. V procesu sašetiranje agent razpade v n vrečk. Sledita transport in končni batch/sink, ki šteje izhodne embalažne enote.

Excel tabela podatkiSerie vsebuje podatke iz serije pcsPerMin, PlannedQty in Time. Ti podatki se normirajo na skupni čas, ter se multiplicirajo z performance faktorjem, ki je izračunan na več serij. Ta pristop nam omogoča simulacijo procesa, kljub pomanjkanju podatkov o izpadih na strojih. Kalibracija in validacija modela digitalnega dvojčka se je naredila glede na podatke iz EPR/MES sistema, kjer smo dosegli ~10% odstopanje pri simuliranju posameznega delovnega naloga.

4.4 NADALJNA NADGRADITEV SISTEMA: Uporaba umetne inteligence za predikativno vzdrževanje in upravljanje energije

Po vzpostavitvi posodobljenega ERP sistema, ki omogoča pridobivanje podrobnih in relevantnih podatkov iz proizvodnih procesov, je smiselno sistem še nadgraditi za dodatno optimizacijo in učinkovitost. Na podlagi zdaj

dostopnih podatkov lahko nadaljnje nadgraditve prinesejo nove možnosti, kot sta uporaba senzorjev za predikativno vzdrževanje strojev. Z vključitvijo umetne inteligence bi lahko samodejno analizirali proizvodne vzorce in optimizirali načrtovanje proizvodnje, kar bi izboljšalo uporabo virov, zmanjšalo čas prekinitev in povečalo prilagodljivost na tržne spremembe. Poleg tega bi sistem za upravljanje energije omogočal spremljanje in zmanjševanje porabe energije v realnem času, kar prispeva k trajnostni naravnosti podjetja in znižanju operativnih stroškov. S to dodatno nadgradnjo bi podjetje postavilo temelje za pametno proizvodno okolje, ki je v skladu s cilji industrije 5.0 ter zagotavlja večjo konkurenčnost in prilagodljivost.

5 BIBLIOGRAFIJA

1. DATALAB Tehnologije d.d., *Funkcionalne zahteve vzdrževanje orodij v PANTHEON*. [Interni dokument].
2. DATALAB Tehnologije d.d., *Funkcionalne zahteve vzdrževanje resursov v PA*. [Interni dokument].
3. DATALAB Tehnologije d.d., *Funkcionalne zahteve za servisni delovni nalog PANTHEON*. [Interni dokument].
4. DATALAB Tehnologije d.d., *Funkcionalne zahteve za servisni delovni nalog Web (PA)*. [Interni dokument].
5. DATALAB Tehnologije d.d., *Tehnična dokumentacija za servisne DN*. [Interni dokument].
6. DATALAB Tehnologije d.d., *Whitepaper - Predlagan gradnik nadzorne plošče*. [Interni dokument].
7. DATALAB Tehnologije d.d., *Whitepaper - Razvoj funkcionalnosti za prikaz analiz in podatkov proizvodnje v celostnem načinu*. [Interni dokument].
8. DATALAB Tehnologije d.d., *Dopolnitve Funkcionalne zahteve Vzdrževanje resursov v PA*
9. DATALAB Tehnologije d.d., *Funkcionalne zahteve za DN za menjavo orodja PANTHEON*
10. DATALAB Tehnologije d.d., *Funkcionalne zahteve za Servisni delovni nalog PANTHEON_SE*
11. DATALAB Tehnologije d.d., *Funkcionalne zahteve za Servisni delovni nalog SE Web (PA)*
12. DATALAB Tehnologije d.d., *Funkcionalne zahteve za Servisni delovni nalog Web (PA)dopolnitve*
13. DATALAB Tehnologije d.d., *OPC UA Module in Pantheon – Biostile*
14. DATALAB Tehnologije d.d., *Popis nameščenega sistema Digitop*
15. DATALAB Tehnologije d.d., *Tehnična dokumentacija za prikaz OEE in prikaz lastnosti po strojih*
16. DATALAB Tehnologije d.d., *Tehnična dokumentacija za servisne DN_SE*
17. The AnyLogic Company. (n.d.). AnyLogic Help – Official Documentation. Pridobljeno 18. julija 2025 s <https://anylogic.help>
18. Grigoryev, I. (2021). AnyLogic in Three Days: A Quick Course in Simulation Modeling (AnyLogic 8 ed.). The AnyLogic Company. Pridobljeno 18. julija 2025 s <https://www.anylogic.com/resources/books/free-simulation-book-and-modeling-tutorials>