

Implementacija uporabniškega vmesnika za interakcijo s sistemom za podporo pri odločanju operaterja elektroobločne peči v okolju Siemens MindSphere

Kristjan Cuznar

Mentor: as. dr. Simon Tomažič

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana

kristjancuznar0@gmail.com

Implementation of a user interface for interaction with the decision support system for electric arc furnace operators in the Siemens MindSphere environment

The Electric Arc Furnace Operator Decision Support System, through a developed user interface, enables the provision of efficient and highly informative data to assist the process operator in decision making. The system is based on the use of advanced analytical techniques and models based on historical and real-time data collected by the system. In this paper, special attention is paid to the development and implementation of a graphical user interface in the Siemens MindSphere Cloud Service for the interactive operation with the developed operator support system. The operator is thus provided with a graphical user interface to monitor the status of the process and receive suggestions for improvement based on current and historical data and selected settings, resulting in process optimization and lower operating costs.

Kratek pregled prispevka

Sistem za podporo pri odločanju operaterja elektroobločne peči preko razvitega uporabniškega vmesnika omogoča učinkovito in informirano podajanje informacij, preko katerih se operaterju procesa pomaga pri sprejemanju odločitev. Sistem temelji na uporabi naprednih analitičnih tehnik in modelov, ki se nanašajo na zgodovinske in realnočasovne podatke, ki jih zbira sistem. V članku se posebno pozornost posveti razvoju ter implementaciji grafičnega uporabniškega vmesnika v oblaci storitvi Siemens MindSphere za interaktivno upravljanje z razvitim sistemom za podporo operaterju. Operaterju je torej na voljo grafični uporabniški vmesnik, s pomočjo katerega lahko spremlja stanje procesa ter na podlagi trenutnih in zgodovinskih podatkov ter izbranih nastavitev prejema predloge za izboljšave, kar vodi k optimizaciji procesa ter nižjim stroškom obratovanja.

1 Uvod

Z razmahom digitalizacije in tehnologije interneta stvari, so se pojavile nove priložnosti za izboljšanje procesov in povečanje učinkovitosti v industriji. Razvoj in implementacija algoritmov ter sistemov, ki operaterjem procesov ponujajo učinkovito podporo pri sprejemanju odločitev, temelječe na zgodovinskih in/ali realnočasovnih podatkih in naprednih modelih, predstavlja možnost za izboljšanje procesnega delovanja in s tem povečanje učinkovitosti. Takšni sistemi lahko spremljajo stanje procesov in s pomočjo naprednih analitičnih tehnik ter algoritmov omogočajo učinkovito sprejemanje odločitev, ki vodijo k izboljšanju rezultatov. Prednosti teh sistemov so očitne, saj operaterjem procesov zagotavljajo ključne informacije za učinkovito upravljanje procesa, hkrati pa tudi pomagajo pri optimizaciji procesov in zmanjševanju stroškov.

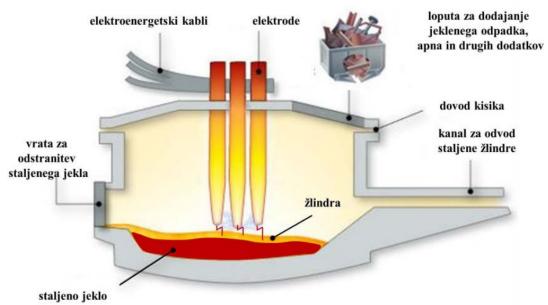
Predstavljeno delo se nanaša na eno izmed tematik, ki jih obravnava mednarodni projekt INEVITABLE [1], katerega cilj je optimizacija in izboljševanje proizvodnih procesov z uporabo digitalnih tehnologij.

Članek je razdeljen na pet poglavij. Naslednje poglavje grobo opisuje proces, za katerega so razvita nadalje opisana orodja. V tretjem poglavju je predstavljen sistem za podporo pri odločanju ter platforma, na kateri temelji predlagana rešitev. Četrto poglavje podrobnejše predstavi celovito rešitev ter pripadajoče grafične uporabniške vmesnike. Zaključki so podani v zadnjem poglavju.

2 Elektroobločna peč

Elektroobločna peč [2] oz. EOP (angl. *Electric Arc Furnace – EAF*) je vrsta peči, ki se uporablja za recikliranje odpadnega jekla. Za staljenje odpadnega jekla uporablja električni oblok, ki pri visokih temperaturah prevaja električni tok skozi zrak ali plazmo, kar povzroči staljenje jekla. Postopek deluje pri temperaturah med 4000 in 6000 K, kar omogoča, da se staljeno jeklo preoblikuje v nove izdelke. Shematsko je prikazana na sliki 1.

Recikliranje jekla z EOP je ključnega pomena iz več razlogov. Prvič, jeklo, ki je široko upora-



Slika 1: Shematski prikaz elektroobločne peči [3].

bljen material, se lahko reciklira brez poslabšanja kakovosti. Drugič, uporaba EOP v postopku recikliranja je energetsko učinkovitejša in zahteva manj surovin v primerjavi z osnovnimi kisikovimi pečmi (angl. *Basic Oxygen Furnace – BOF*). Poleg tega se ocenjuje, da približno 30 % celotne svetovne proizvodnje jekla poteka v EOP. To podpira pomen EOP v industriji recikliranja jekla in njihov vpliv na zmanjšanje porabe energije in ohranjanje naravnih virov.

3 Sistem za podporo pri odločanju

Sistem za podporo pri odločanju za proces EOP je namenjen za pomoč operaterju pri sprejemanju učinkovitih odločitev glede delovanja procesa. Na osnovi arhivskih in uporabniško definiranih vhodov sistem operaterju zagotavlja relevantne informacije, ki jih potrebuje za izboljšanje procesa. Razviti sta bili dve podporni orodji, in sicer *EOP Simulator*, ki je namenjeno za simulacijo procesa EOP ter *EOP Optimizator*, ki je namenjeno za optimizacijo porabe električne energije v EOP. Podrobnejše sta opisani v nadaljevanju.

Obe orodji za podporo pri odločanju operaterjev sta implementirani na lokalnem strežniku Siemens Edge, kar omogoča medsebojno komunikacijo med lokalnim in oblăčnim grafičnim uporabniškim vmesnikom (angl. *Graphical User Interface – GUI*) preko MQTT protokola. Taka implementacija uporabniku daje možnost izbire med uporabo lokalne (Node-Red) ali oblăčne (MindSphere Visual Flow Creator – VFC) različice GUI. Zaenkrat je predvideno, da s simulatorjem hkrati upravlja en uporabnik.

3.1 Siemens MindSphere

Siemens Mindsphere [4] je vodilna rešitev industrijskega interneta stvari (angl. *Industrial Internet of Things – IIoT*) v oblaku, ki podpira celoten ekosistem IIoT. MindSphere z napredno analitiko in umetno inteligenco združuje podatke iz povezanih izdelkov, obratov in sistemov za optimizacijo delovanja, ustvarjanje kakovostnejših izdelkov in uvajanje novih poslovnih modelov.

Storitev MindSphere omogoča tudi izvajanje in obdelavo podatkov na robu (angl. *edge computing*), kar zagotavlja njihovo realno-časovno obdelavo in hitro odzivanje na spremembe. Obenem se podatki iz roba prenašajo v oblak za daljšo obdobje shranjevanja in kasnejše ter bolj obsežne analize.

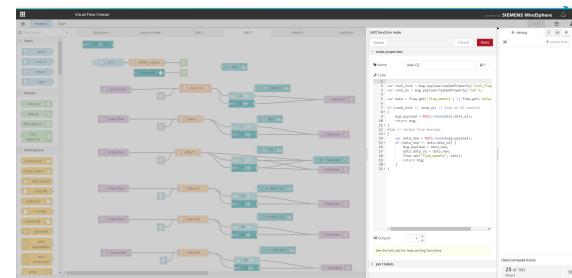
MindSphere omogoča upravljanje, analizo in izkoriščanje podatkov za optimizacijo proizvodnje, povečanje učinkovitosti in izboljšanje storitev. Vključuje tudi aplikacije za predvidevanje okvar, nadzor kakovosti, upravljanje zalog in druge aplikacije, ki so potrebne za izboljšanje poslovnih procesov. To vključuje tudi različne aplikacije in storitve za obdelavo podatkov, ki jih lahko uporabniki uporabijo za izboljšanje svojih poslovnih procesov.

3.1.1 Visual Flow Creator

Ena izmed omenjenih aplikacij je tudi VFC, ki je posebej razvita za IoT in omogoča vizualni pretok podatkov. VFC je izpeljanka programskega orodja Node-Red in temelji na t.i. vozliščih (angl. *nodes*). Ta vozlišča predstavljajo preproste, vnaprej določene funkcionalne enote, ki lahko sprejemajo, obdelujejo in prenašajo podatke. Vozlišča se lahko medsebojno povezujejo in dodajajo na delovno območje, kar omogoča hitro in preprosto konfiguracijo zapletenih tokov podatkov (angl. *data flow*).

Vizualno oz. grafično programiranje omogoča hitrejši razvoj in implementacijo prototipne rešitve. Ena od prednosti uporabe VFC je tudi združljivost s platformo Node-Red, kar pomeni, da je program možno razviti in preizkušati v Node-Red na lokalnem računalniku, po testiranju pa se z mi-

nimalnimi korekcijami program uvozi v oblечно okolje VFC. Slika 2 prikazuje primer zasnove uporabniškega vmesnika v okolju VFC.



Slika 2: Primer pretoka podatkov v okolju VFC.

3.1.2 Izmenjava podatkov

Izmenjava podatkov v celoti temelji na protokolu MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). MQTT “objavi-naroči” (angl. *publish-subscribe*) odprtokodni protokol [5] zagotavlja enostavno in zanesljivo komunikacijo med napravami. Razvit je bil za uporabo v industrijskih aplikacijah in IoT s ciljem učinkovite izmenjave podatkov. Protokol podpira tudi različne kategorije storitev, vključno z minimalno kakovostjo storitve (angl. *Quality of Service – QoS*) in ohranjanjem stanja povezave, kar zagotavlja zanesljiv prenos podatkov, tudi pri omejenih virih naprave ali mrežne povezave.

Primer izmenjave podatkov preko MQTT protokola v okolju VFC, je prikazan na sliki 3. MQTT sporočilo z določeno temo (angl. *topic*) se preko vhodnega vozlišča “Subscriber” pretvori v objekt tipa “json” ter preko funkcije preoblikuje v ustrezeno obliko za prikaz v spustnem seznamu “Internal code”. Sporočilo se za namen potrditve v okolje modela EOP pošlje preko izhodnega vozlišča “Publisher” z vnaprej določeno temo. Prav tako se skozi to vozlišče pošlje vsakršno novo izbiro operaterja na spustnem seznamu.



Slika 3: Primer pretoka podatkov za komunikacijo preko MQTT.

3.1.3 Pomnjenje podatkov

Siemens MindSphere VFC, v primerjavi z Node-Red, ne omogoča pomnjenja podatkov v nekaterih vozliščih, ki predstavljajo grafične elemente. V ta namen je bil razvit pretok, ki skrbi za prikaz ter pomnenje najnovejših podatkov. Za začetni prikaz, se inicializirajo privzete vrednosti ter se shranijo v pomnilnik. Za vsako tako vozlišče pa je implementiran algoritem 1.

Algoritem 1 Pomnjenje podatkov grafičnih elementov

```
če init ali osvezi potem
  če zapomnjena_vrednost potem
    vrni zapomnjena_vrednost
  drugače
    vrni privzeta_vrednost
  konec če
drugače
  zapomnjena_vrednost ← nova_vrednost
  vrni zapomnjena_vrednost
konec če
```

3.1.4 Personalizirani interaktivni grafični elementi

Glede na zasnovno idejo uporabniškega vmesnika, je bilo potrebno implementirati več personaliziranih vozlišč, ki predstavljajo ustrezne interaktivne grafične elemente, saj Siemens MindSphere VFC v osnovi ne podpira vseh vozlišč, ki so za ta namen na voljo v npr. Node-Red.

Kot rešitev manjše podpore skupnosti oz. želje po prilagojenih komponentah, je možna uporaba t.i. "front-end stack" HTML/CSS/JS, s pomočjo katerega lahko kreiramo poljubne interaktivne grafične elemente. V našem primeru so bili s takim pristopom razviti naslednji elementi:

- spustni seznam z možnostjo izbire več elementov,
- vhodno/izhodne tabele, ki omogočajo tako prikaz kot urejanje posameznih polj, po spremembah pa pošljejo informacije EOP modelu,
- drsniki s poljubno resolucijo za nastavljanje vplivnih parametrov.

3.1.5 Primerjava MindSphere VFC in Node-Red

Povzetek primerjave med Siemens MindSphere VFC in Node-Red, kjer + predstavlja boljšo, - pa slabšo oceno, je podan v tabeli 1.

Tabela 1: Primerjava med VFC in Node-Red

	VFC	Node-Red
Prilagodljivost	+	+
Podpora skupnosti	-	+
Upravljanje dostopa	+	-
Privzeta varnost	+	-
Cena	-	+
Prenosljivost	-	+
Povezljivost	+	+

Glede na agregirano primerjavo obeh platform, bi lahko zaključili, da z nekaj modifikacijami – predvsem na področju varnosti in upravljanju dostopov – v vseh pogledih pretehta odločitev izbire Node-Red.

4 Rezultati

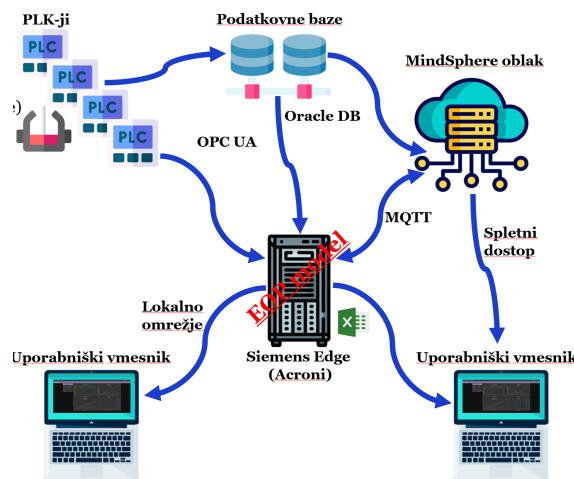
V sledečem poglavju je predstavljena celovita rešitev oz. sistem za podporo pri odločanju operaterja, ki vključuje dve orodji – *EOP Simulator* ter *EOP Optimizer*.

4.1 EOP Simulator

Namen orodja *EOP Simulator* je "offline" simulacija procesa EOP z uporabo arhivskih ali uporabniško definiranih vhodnih podatkov, z namenom analize delovanja sistema v različnih scenarijih, testiranja različnih obratovalnih strategij oz. praks (receptov) ter preverjanjem njihovega vpliva na učinkovitost delovanja EOP.

Orodje omogoča simulacijo delovanja EOP, pri čemer je mogoče vse ključne vhode spremenjati ter s tem opazovati spremembe na delovanje EOP. Prav tako orodje omogoča primerjavo simuliranih rezultatov za poljubno število šarž, s čimer je omogočena neposredna primerjava rezultatov ter opazovanje odstopanj med njimi glede na spremembe vhodov, ki jih je naredil uporabnik.

Struktura celovite rešitve orodja *EOP Simulator* je prikazana na sliki 4. Ključni gradniki celovite rešitve so model EOP, aplikacija za zbiranje in predhodno obdelavo *Edge Streaming Analytics* ter Node-Red, ki se izvajajo na robu, ter Mindsphere VFC, ki se izvaja v oblaku. Komunikacijski protokol za zajem podatkov s PLK je OPC UA, za interakcijo med modelom EOP in GUI pa je uporabljen MQTT. Do uporabniškega vmesnika je mogoče dostopati preko portala MindSphere (VFC) ali lokalno (Node-Red).



Slika 4: Struktura orodja *EOP Simulator*.

Grafični uporabniški vmesnik orodja *EOP Simulator* je prikazan na sliki 5.

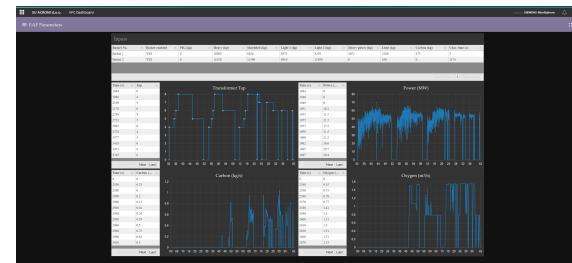
Prva stran GUI (slika 5a) vsebuje le ključne elemente, ki so potrebni za zagon simulacije, po-nastavitev parametrov, spustna polja za izbiro zgodovinskih podatkov (šarž) ter štiri grafe, ki prikazujejo temperature, mase, energije ter EOP profil transformatorja tekom procesa taljenja.

Druga stran (slika 5b) omogoča nastavljanje parametrov simulacije preko vhodno/izhodnih tabel. V zgornji tabeli "Inputs" uporabnik nastavlja mase založenih materialov po posameznih košarah, v tabelah, ki se nahajajo poleg grafov, pa profil za EOP transformator, profil dodatnega ogljika (C) ter profil dodatnega kisika (O_2).

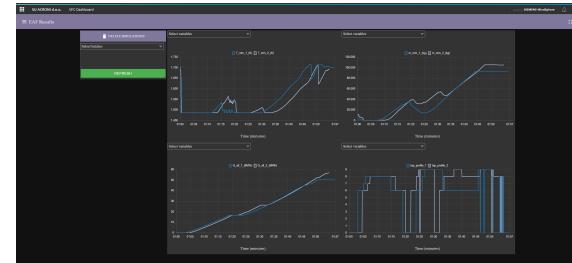
Tretja stran (slika 5c) pa je namenjena primerjavi rezultatov izvedenih simulacij pri spremenjanju vhodnih parametrov.



(a) Glavna (nadzorna) stran.



(b) Nastavitev parametrov simulacije.



(c) Primerjava rezultatov simulacij.

Slika 5: *EOP Simulator – GUI*.

4.2 EOP Optimizator

Namen orodja *EOP Optimizator* je "offline" optimizacija porabe električne energije v EOP z uporabo arhivskih ali uporabniško definiranih vhodnih podatkov. Orodje omogoča napoved optimiziranega vhodnega profila transformatorja, ki naj bi vodil do nižje porabe električne energije. Pri tem uporabnik definira štiri ključne vhode: težo založenega vložka, predviden vnos O_2 in C ter želeno temperaturo taline pri prebodu, orodje pa predlaga optimalni profil stopnje transformatorja za vsako založeno košaro, s čimer naj bi bila dosegena najnižja poraba električne energije.

Grafični uporabniški vmesnik orodja *EOP Optimizator*, s katerim je v celoti mogoče upravljati na eni strani, je prikazan na sliki 6.

Zgodovinske podatke, glede na katere se nastavijo vhodni parametri za optimizacijo, se izbere na enak način kot pri orodju *EOP Simulator*. Vho-



Slika 6: EOP Optimizer – GUI.

dni parametri, ki imajo sicer največji vpliv na porabo el. energije in jih uporabnik lahko nastavlja, so skupna predvidena količina vpihanega kisika ($O_2 [Nm^3]$), skupna predvidena količina dodanega ogljika med postopkom taljenja ($C [kg]$), želena temperatura taline pri odlivanju ($T [^\circ C]$) ter skupna masa založenega materiala po posameznih košarah (“Basket_i” [kg]).

Parametre lahko uporabnik z drsniki poljubno spreminja in glede na to opazuje vpliv na čas taljenja ter porabo električne energije oz. na profil stopnje transformatorja. Rezultat orodja, ki je razviden na osrednjem delu strani, tj. na grafičnih instrumentih in grafu, je predviden čas šarže (“Melting time”), predvidena poraba el. energije (“Consumption”), temperatura taline pri odlivanju (“Temperature”) in profil stopnje transformatorja, s katerim se dosežejo rezultati (“EAF profile”).

5 Zaključek

Celovita rešitev za podporo pri odločanju operaterja procesa EOP je bila uspešno razvita in implementirana. Orodji *EOP Simulator* in *EOP Optimizer* omogočata “offline” simulacijo in optimizacijo procesa EOP na podlagi arhivskih ali uporabniško definiranih vhodnih podatkov. Sistem operaterju zagotavlja relevantne informacije, ki mu pomagajo pri sprejemanju učinkovitih odločitev glede delovanja procesa. *EOP Simulator* omogoča simulacijo delovanja EOP in analizo delovanja sistema v različnih scenarijih ter testiranje različnih obratovalnih strategij, s čimer se lahko preverja učinkovitost delovanja EOP. *EOP Optimizer* pa omogoča optimizacijo porabe električne energije v EOP, kar lahko privede do nižje porabe električne energije in s tem nižjih stroškov

obratovanja.

Implementacija sistema na lokalnem strežniku Siemens Edge omogoča operaterju, da izbere med uporabo lokalne (Node-Red) ali oblačne (Mindsphere VFC) različice grafičnega uporabniškega vmesnika, kar zagotavlja večjo fleksibilnost. Prav tako je implementacija obeh različic omogočila primerjavo med obema platformama za vizualizacijo in upravljanje s podatki.

V prihodnosti bi sistem za podporo pri odločanju lahko nadgradili z dodajanjem novih funkcij, kot sta na primer “online” spremljanje procesa in optimizacija procesa EOP v realnem času. Vsekakor pa smo s tem projektom razvili uporabno rešitev, ki lahko pomaga pri izboljšanju učinkovitosti delovanja procesa EOP.

Zahvala

Delo je bilo izvedeno v okviru mednarodnega projekta INEVITABLE (“Optimization and performance improving in metal industry by digital technologies”) (GA No. 869815), ki je sofinanciran s strani Evropske komisije v okviru programa Obzorja 2020, SPIRE in v sklopu nacionalnega raziskovalnega programa Sistemi in vodenje, P2-0001.

Zahvala gre dr. Simonu Tomažiču za ideje pri sami implementaciji uporabniških vmesnikov ter pomoč pri nastajanju prispevka.

Literatura

- [1] Inevitable. Dosegljivo: <http://inevitable-project.eu/>. [Dostopano: 10. 2. 2023].
- [2] V. Logar. Theoretical and data-based modelling of the EAF processes, 2022.
- [3] P. Jurjav. peči v asfaltnih obrabnih plasteh. Dosegljivo: https://structum.si/uploads/media/Prirocnik_za_uporabo_zlindre.pdf. [Dostopano: 12. 2. 2023].
- [4] Siemens MindSphere. Dosegljivo: <https://siemens.mindsphere.io/content/mindsphere/en.html>. [Dostopano: 10. 2. 2023].
- [5] MQTT - The Standard for IoT Messaging. Dosegljivo: <https://mqtt.org/>. [Dostopano: 10. 2. 2023].