

Program

Digitalna transformacija robotiziranih tovarnih prihodnosti

DIGITOP

Rezultat D4.3:

Procesni model za raziskave napovedovanja porabe energije

Projekt/RRP	DIGITOP/RRP 4 - Aktivnost 4.3 Napovedovanje porabe energije – algoritem
Vrsta dokumenta	Poročilo o rezultatu D4.3
Verzija dokumenta	1.0
Sodelujoči partnerji	IJS-E2, ULFE-LAK
Avtorji	Dejan Gradišar, Viktor Govže, Miha Glavan, Gregor Černe, Andrej Zdešar
Datum priprave	31. 07. 2024

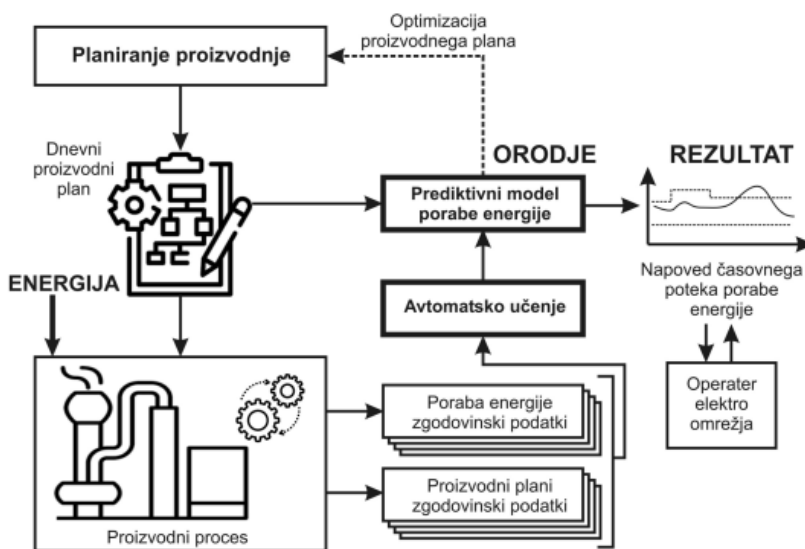
Kazalo

1	UVOD	3
2	KONCEPT NAPOVEDOVANJA IN UPRAVLJANJA PORABE Z ENERGIJO	4
2.1	FAZA 1: RAZVOJ MODELA	4
2.2	FAZA 2: UPORABA MODELA	4
2.2.1	OCENA ENERGETSKE USTREZNOSTI PROIZVODNIH PLANOV.....	5
2.2.2	UPOŠTEVANJE DODATNEGA ENERGETSKEGA ASPEKTA PRI KREIRANJU PLANSKE TABLE.....	5
2.2.3	DIMENZIONIRANJE LOKALNIH ENERGETSKIH KOMONENT IN NJIHOVO SPOTNO UPRAVLJANJE	6
3	ORODJE ZA GENERIRANJE PROCESNIH PODATKOV DIGITOP_DATAGEN	8
3.1	PREGLED ORODJA	8
3.1.1	STRUKTURA PAKETA DIGITOP_DATAGEN.....	8
4	PRIPRAVLJENI SCENARIJI ZA GENERIRANJE SINTETIČNIH PODATKOV	11
4.1.1	KOSOVNI PROIZVODNI PROCES	11
4.1.2	ŠARŽNI PROIZVODNI PROCES	13
4.1.3	PORABA POSLOVNO-STANOVANJSKIH PROSTOROV.....	14
5	ZAKLJUČKI	16
	BIBLIOGRAFIJA	16

1 Uvod

Cilj avtomatiziranega upravljanja z energijo, v okviru projekta DIGITOP, je napovedovanje in optimizacija porabe električne energije proizvodnih procesov na podlagi dnevnih proizvodnih planov. Aktivnosti znotraj DIGITOP projekta se osredotočajo na energetske intenzivne procese, ki proizvajajo različne izdelke in omogočajo fleksibilno razporejanje proizvodnih korakov.

Aktivnosti v RRp 4 predvidevajo razvoj energetskega modela proizvodnje iz zgodovinskih podatkov proizvodnega obratovanja. Razviti napovedni modeli porabe energije proizvodnih operacij bodo omogočali napoved dnevnih profilov porabe električne energije, kar je mogoče uporabiti za boljšo časovno porazdelitev proizvodnih korakov. To lahko pomaga operaterju omrežja uravnotežiti omrežje ali lokalno kar najbolje izkoristiti potencial obnovljivih virov energije. Energetski model je lahko uporabljen v treh glavnih scenarijih, ki so podrobneje predstavljeni v nadaljevanju.



Slika 1: Koncept avtomatiziranega upravljanja z energijo v okviru projekta DIGITOP

Za razvoj metodologije, ki bo omogočala identifikacijo energetskega modela iz proizvodnih podatkov je potrebno pridobiti različne demonstracijske primere podatkov. Na osnovi podatkov je mogoče testirati, prilagoditi in validirati razvito metodologijo. Pregled izhodišč za razvoj metodologijo je bil predstavljen v rezultatu [1].

Cilj tega dokumenta je bolje predstaviti zasledovani koncept ter predstaviti generator sintetičnih podatkov, ki je bil razvit za namene ustvarjanja večjih količin podatkov, ki bodo pomagali pri vzpostavitvi potrebne metodologije in pripravi ustreznih algoritmov za identifikacijo napovednih modelov profilov porabe električne energije.

2 Koncept napovedovanja in upravljanja porabe z energijo

2.1 Faza 1: Razvoj modela

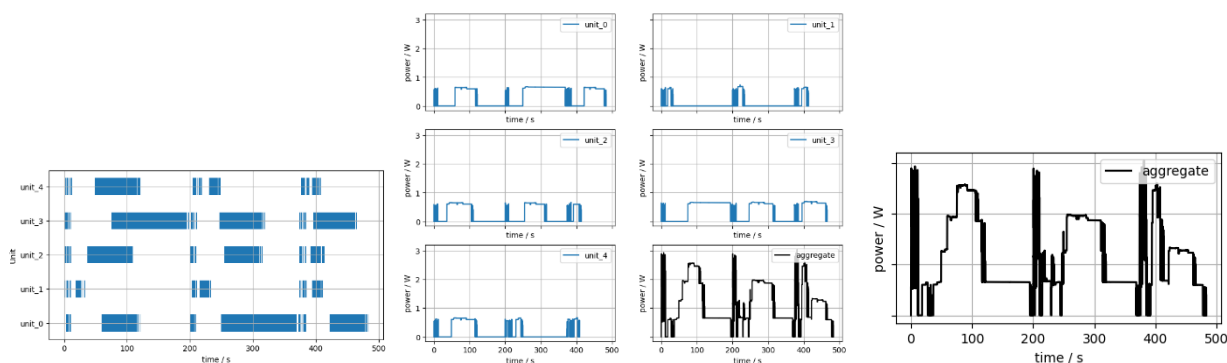
Koncept razvoja napovednega modela porabe električne energije temelji na uporabi razpoložljivih zgodovinskih podatkih, ki se tipično beležijo v proizvodnem informacijskem sistemu MES (ang. Manufacturing Execution System) in sistemu za upravljanje energije EMS (ang. Energy Management System). Kot najpomembnejše je potrebno pridobiti podatke o tem: (i) kakšne so zakonitosti proizvodnega procesa (t.j. proizvodni časi operacij in tipi izdelkov), (ii) kakšen proizvodni plan se je v določenem obdobju izvajal ter (iii) informacijo o tem kakšen je bil v tem obdobju časovni profil porabe (bodisi ločeno po strojih ali agregirano za celotno linijo).

Algoritmi, ki bodo razviti v okviru aktivnosti RRP 4, morajo na osnovi zbranih podatkov identificirati napovedne modele, ki bodo sposobni dovolj natančno napovedati profil porabe za posamezno operacijo in specifičen izdelek. Postopek bo vključeval:

- Razvoj algoritmov za disagregacijo porabe energije na ravni posameznih operacij (če ni merjena poraba ločeno po proizvodni operaciji).
- Razvoj modelov, ki bodo identificirali vzorce porabe in znali povezati variacijo operacij in delovnih pogojev z variacijo spremembe profila porabe.
- Validacijo modelov z uporabo dodatnih podatkovnih nizov za zagotavljanje natančnosti.

2.2 Faza 2: Uporaba modela

Ko je napovedni model razvit, ga lahko uporabimo za optimizacijo porabe energije. Postopek uporabe modela je ilustriran na Slika 2. Na podlagi časovnega plana dela in razvrstitve proizvodnih operacij na Gantogramu, lahko z modelom določimo profil porabe energije po napravah in/ali izdelkih. Iz tega pa lahko nato določimo tudi napoved skupnega časovnega profila porabe energije.



Slika 2: Proizvodni plan (levo), profili porabe posameznih operacij (sredina) in rezultirajoča napoved agregiranega profila porabe

Pridobljeni energetske modeli imajo tri različne možnosti uporabe:

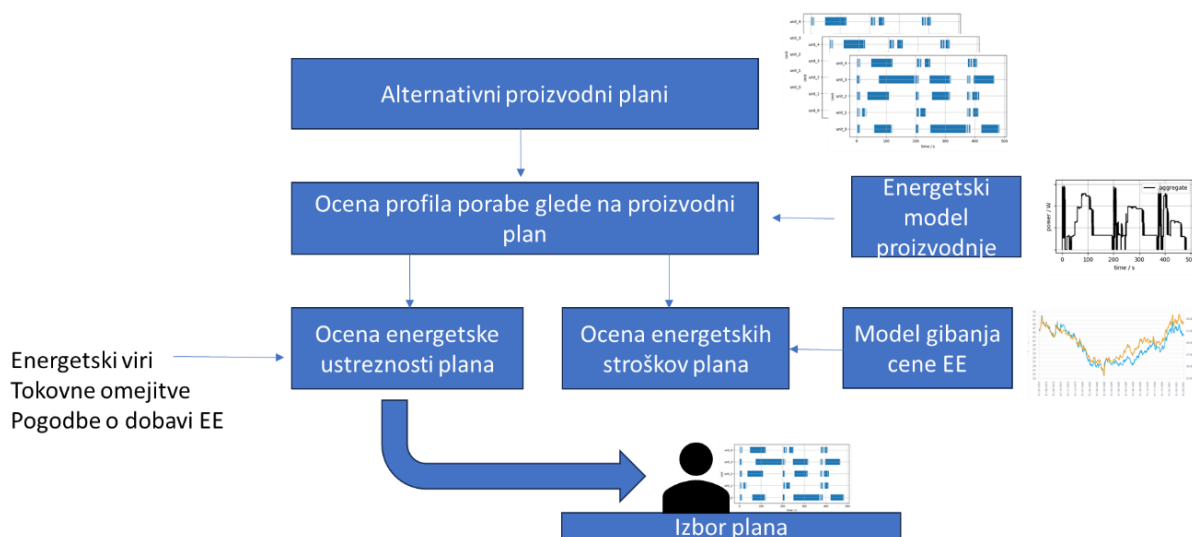
1. Ocena energetske ustreznosti planov proizvodnje

2. Upoštevanje dodatnega energetskega aspekta pri kreiranju planske table
3. Dimenzioniranje lokalnih energetskih komponent in njihovo sprotno upravljanje

V okviru aktivnosti RRp4 in RRp8 se bomo fokusirali predvsem na ocenjevanje energetske ustreznosti planov proizvodnje.

2.2.1 Ocena energetske ustreznosti proizvodnih planov

V tem scenariju ugotavljamo, kakšen profil porabe energije bi povzročil določen proizvodni plan. Planer proizvodnje lahko ovrednoti alternativne proizvodne plane in izbere najprimernejšega. Pri ocenjevanju profila porabe upoštevamo proizvodni plan, energetski model proizvodnje in model gibanja cene električne energije.



Slika 3: Ocenjevanje energetske ustreznosti planov proizvodnje

Na ta način bi bilo mogoče:

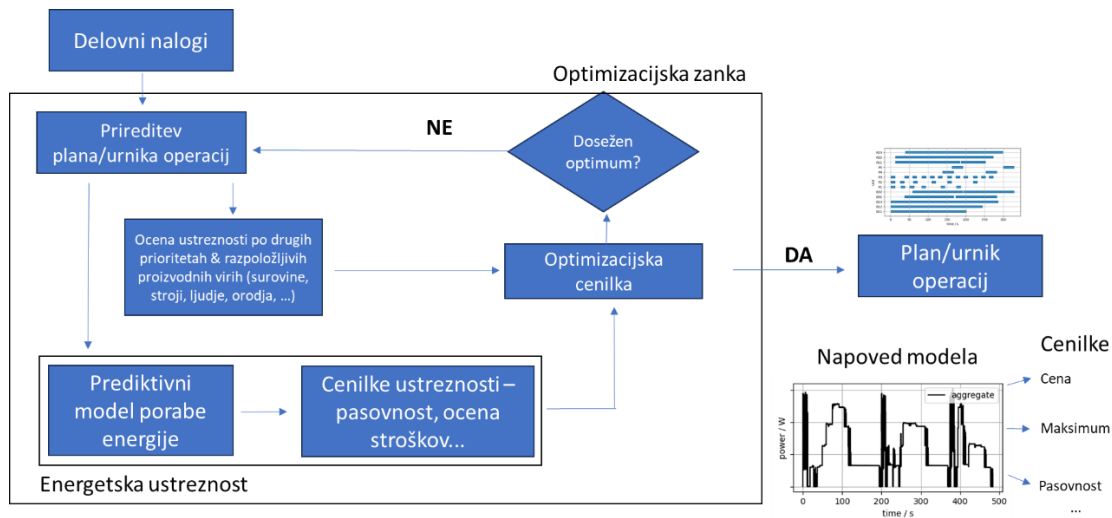
- Predvideti potencialne energetske presežke ali primanjkljaje.
- Analizirati vpliv različnih proizvodnih planov na skupno energetsko učinkovitost.
- Identificirati energetsko najbolj učinkovito proizvodno strategijo.

2.2.2 Upoštevanje dodatnega energetskega aspekta pri kreiranju planske table

V tem scenariju sistem s pomočjo optimizacijskega algoritma sam poišče optimalen proizvodni plan. Optimizacijska cenilka poleg zahtev glede dobave in razpoložljivosti energetskih virov upošteva tudi zahteve za energetsko ustreznost.

Ta scenarij omogoča:

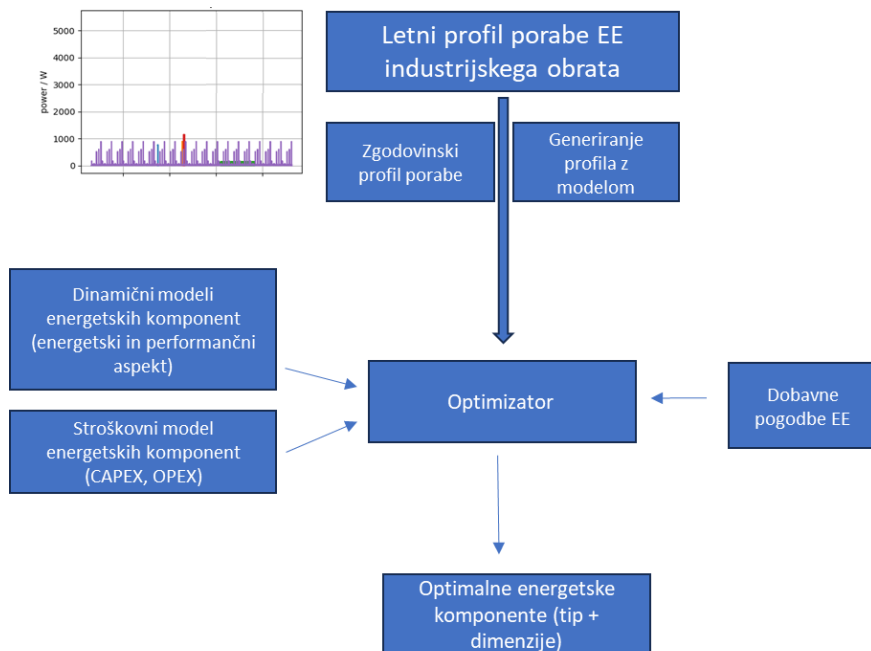
- Zmanjšanje stroškov energije s prilagajanjem proizvodnih planov trenutnim energetskim cenam.
- Izboljšanje celotne učinkovitosti proizvodnega procesa.
- Povečanje fleksibilnosti pri odzivanju na nepredvidene energetske izzive.



Slika 4: Uporaba napovednega modela pri postavljanju optimalnega plana

2.2.3 Dimenzioniranje lokalnih energetskih komponent in njihovo sprotno upravljanje

Z razvitim modelom porabe električne energije in energetskimi modeli za različne komponente, lahko načrtujemo in dimenzioniramo nove energetske komponente za obstoječ industrijski obrat. V ta namen bi bilo potrebno razviti optimizator, ki bi upošteval napovedi porabe energije, stroškovni model energetskih komponent ter dobavne pogodbe in pomagal določiti optimalne parametre novih komponent.

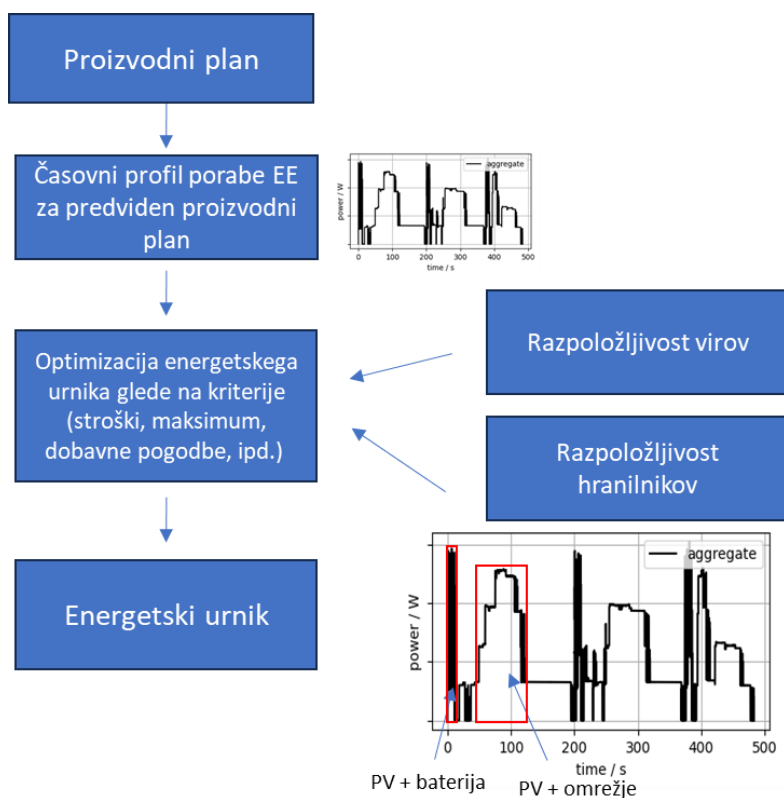


Slika 5: Dimenzioniranje lokalnih energetskih komponent

V nadaljevanju bi lahko naslavljali tudi soroden problem v primeru, ko imamo na razpolago časovni profil porabe električne energije za predviden proizvodni plan. Z optimizatorjem energetskega urnika bi glede na kriterije, kot so stroški, maksimalna moč odjema, dobavne pogodbe in podobno, določili optimalni energetski urnik. Pri tem bi lahko upoštevali razpoložljivost lastnih virov, kot so sončna energija in hranilniki toplotne ter električne energije.

Ta scenarij omogoča:

- Optimizacijo uporabe lokalnih energetskih virov in zmanjšanje odvisnosti od zunanjih virov energije.
- Boljše upravljanje z energijo v realnem času glede na dinamične spremembe v proizvodnem procesu.
- Povečanje trajnostnega izkoriščanja obnovljivih virov energije.



Slika 6: Optimizacija energetskega urnika

3 Orodje za generiranje procesnih podatkov `digitop_datagen`

Za razvoj algoritmov in metod za identifikacijo napovednih modelov porabe električne energije so potrebni reprezentativni podatki. Da bi olajšali razvoj in imeli večji vpogled v izvor podatkov ter omogočili lažje testiranje in primerjavo pristopov, smo vzpostavili okolje, ki na podlagi prototipov profilov porabe osnovnih operacij generira sintetične podatke.

Pripravljen orodje za generiranje sintetičnih podatkov `digitop_datagen` [2] omogoča pripravo podatkov o porabi električne energije za različne proizvodne scenarije na podlagi danega proizvodnega plana.

Profil porabe električne energije posameznih operacij so definirani na podlagi privzetih meritev in/ali ocen njihove porabe. Osnovni profili posameznih operacij pa so nato združeni glede na proizvodni plan in zaporedje operacij / proizvodni recept. Orodje omogoča generiranje večje količine sintetičnih podatkov, s katerimi je mogoče razvijati in preskušati algoritme za obdelavo zgodovinskih podatkov, testirati orodja in metode za disagregacijo moči porabe ter pristope za razvoj napovednih modelov porabe za posamezen tip izdelka.

3.1 Pregled orodja

Orodje `digitop_datagen` je bilo razvito v okolju Python in omogoča definiranje nalog, operacij na profilih ter izvajanje teh nalog znotraj enot (unit). V tem poglavju bomo predstavili osnovne module paketa in pokazali enostaven primer uporabe.

Osnova orodja so predpostavljeni profili porabe posameznih operacij (modul `Task`) ter urnik proizvodnje. Orodje omogoča vključitev normalne variacije profila porabe, kot tudi vključitev variacije odvisne od lastnosti izdelka (modul `Operation`). Na podlagi parametrizacije problema je mogoče tudi definirati zaporedne korake in proizvodno pot izdelka skozi osnovne operacije proizvodnega procesa (modul `Unit`). Na koncu pa orodje na podlagi proizvodnega urnik, prototipov porabe posameznih operacij in nastavljenih variacij porabe ovrednoti profil skupne porabe celotnega proizvodnega procesa (modul `Unit`).

3.1.1 Struktura Paketa `digitop_datagen`

Orodje `digitop_datagen` temelji na uporabi več knjižnic in modulov, ki omogočajo njegovo delovanje. Osnovni moduli, ki sestavljajo orodje so predstavljeni v naslednji tabeli.

Tabela 1 Pregled osnovnih modulov orodja `digitop_datagen`

Modul	Namen	Funkcionalnost
Task	Definira naloge.	Modul <code>task</code> definira objekt <code>Task</code> , ki nosi informacije o nalogi in kako naj se ta izvede. Objekt <code>Task</code> ustvarimo z naslednjim ukazom: <code>task = tsk.Task()</code>

Modul	Namen	Funkcionalnost
		Nato definiramo profil porabe osnovne operacije. Profil naloge je definiran s .csv datoteko, kjer prvi stolpec predstavlja čas (t), drugi pa moč (P). Profil se nalogi dodeli z naslednjim ukazom: <pre>task.setRelProfilePath("profile_unitBox.csv")</pre> Nalogi lahko nastavimo čas začetka glede na urnik proizvodnje. Trajanje in končni čas sta določena iz profila porabe in njegovih modifikacij. <pre>task.setTStart(1) task.getDuration() task.getTEnd()</pre> Objekt lahko konfiguriramo bodisi ročno, bodisi prek YAML konfiguracijske datoteke.
Unit	Izvaja naloge in generira profile porabe moči.	Modul <code>unit</code> vsebuje objekt <code>Unit</code>, ki izvaja naloge (<code>Tasks</code>) in generira profile moči $P(t)$ za vse naloge. Enoto ustvarimo in izvedemo nalogo z naslednjimi ukazi: <pre>unit = unt.Unit() res = unit.doTask(task, np.random.default_rng(), dt=0.1)</pre> Za izvajanje več nalog lahko definiramo seznam nalog in ga dodelimo posamezni enoti: <pre>tasklist = [task] for i in range(1, 3): tmp = copy.copy(task) tmp.setTStart(tasklist[i-1].getTEnd() + np.random.rand()) tasklist.append(tmp) unit.setTaskList(tasklist)</pre> <pre>res = unit.doTasks(np.random.default_rng(), 0.01)</pre>
Operation	Omogoča izvajanje operacij na profilih.	Modul <code>operation</code> omogoča definiranje operacij nad profili, kot so ponovitve, dodajanje šuma in skaliranje. Operacije se lahko verižijo in izvajajo zaporedoma. Na voljo so naslednje operacije: - Večkratna ponovitev profila (Repeat), - Ponavljanje profila porabe do končnega časa (RepeatUntil), - Translacija (Add), - Skaliranje (Multiply),

Modul	Namen	Funkcionalnost
		- Dodajanje Gaussovega šuma (AddGaussianNoise).
Profile	Nudi funkcije za delo s profili.	Modul <code>profile</code> vsebuje funkcije za manipulacijo s profili porabe, kot so agregacija, nastavitve vzorčenja in zapisovanje profilov.
Environment	Vsebuje parametre, ki jih uporabljajo drugi moduli.	Modul <code>environment</code> vsebuje parametre, ki jih uporabljajo ostali moduli za svoje delovanje.
Utils	Ponuja različne pomožne funkcije.	Modul <code>utils</code> vsebuje različne pomožne funkcije za glavne module.

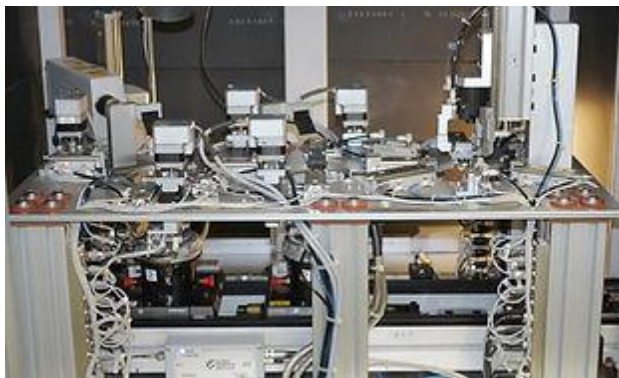
4 Pripravljeni scenariji za generiranje sintetičnih podatkov

Orodje `digitop_datagen` je neodvisno od tipa proizvodnega procesa in ga je mogoče uporabiti tako za kosovne kot tudi šaržne procese. Prilagoditev se izvede preko gradnje baze prototipnih operacij in definiranju njihovih profilov uporabe, definiranju strukture proizvodnega procesa, variacije profilov ter definiranju proizvodnih planov. Za namene aktivnosti v projektu DIGITOP je bila pripravljena konfiguracija orodja, ki omogočajo generiranje podatkov za tri različne tipe proizvodnih okolij:

- kosovni proizvodni proces,
- šaržni proizvodni proces in
- poraba stanovanjsko-poslovnih prostorov.

4.1.1 Kosovni proizvodni proces

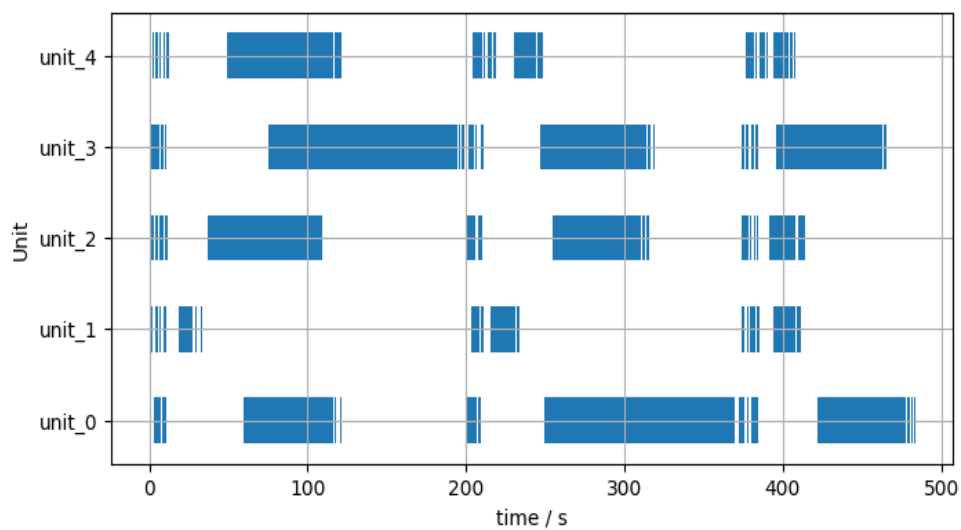
Za pripravo primera kosovnega proizvodnega procesa smo pridobili podatke o skupni porabi in porabi posameznih elektronskih komponent iz realne proizvodne linije, kjer se proizvajajo komponente za električna kolesa. Uporabili smo podatke, ki jih je zbral in uredil Stržinar s sod. [3] in se nanašajo na porabo aktuatorjev končne kontrole kvalitete na omenjeni proizvodni liniji. Meritve so bile pridobljene iz pripravljenega merilnega okolja, kjer so se zbirali: (i) podatki o oznakah faz proizvodnega procesa ter (ii) meritve porabe energije posameznih komponent v realnem času.



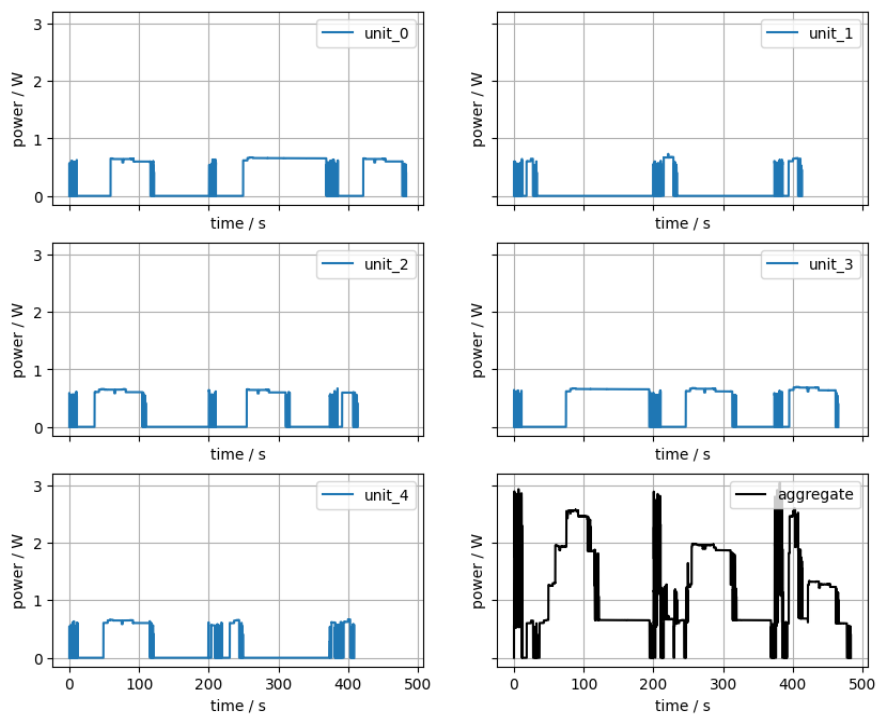
Slika 7: Kosovna proizvodna linija za merjenje končne kvalitete DC motorjev

Na podlagi pridobljenih osnovnih profilov operacij in njihove naravne variacije pri izdelavi enega tipa izdelkov smo z uporabo orodja `digitop_datagen` pripravili okolje, ki omogoča generiranje novih agregiranih proizvodnih podatkov, kjer imamo lahko več vzporednih proizvodnih operacij. Na ta način je mogoče iz generiranih sintetičnih podatkov testirati orodja disagregacije proizvodnih profilov in modeliranje naravnih variacij profilov znanih operacij proizvodnje.

Primer scenarija, kjer vzporedno deluje več proizvodnih procesov prikazujeta Slika 8 in Slika 9.



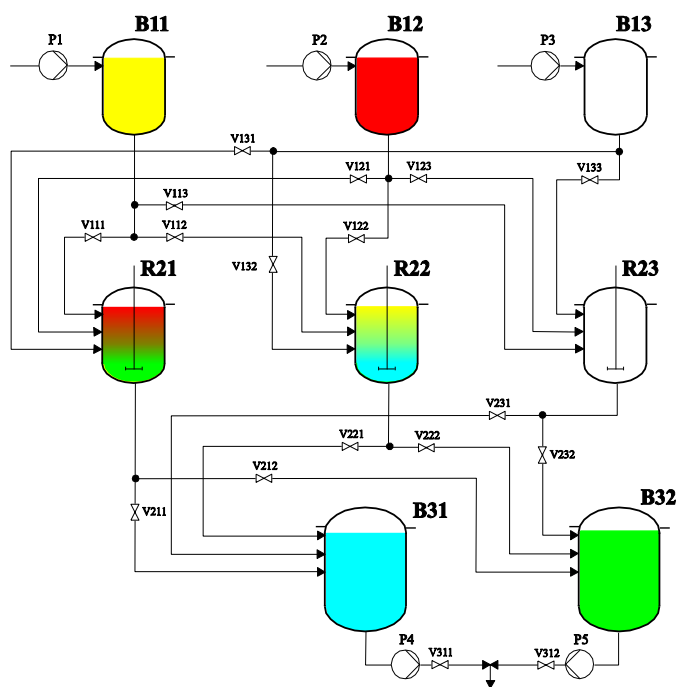
Slika 8: Časovni prikaz vklopov posameznih naprav



Slika 9: Časovni profili moči za posamezne naprave in agregirana porabe (graf desno spodaj).

4.1.2 Šaržni proizvodni proces

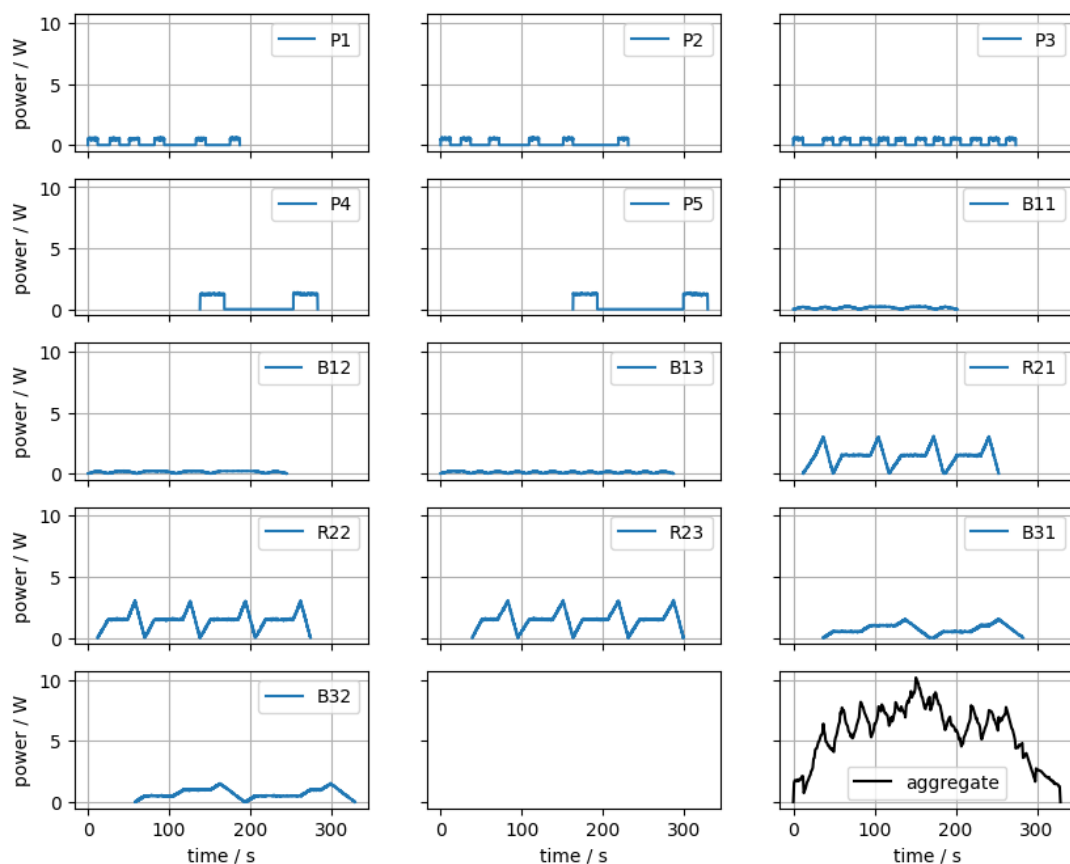
Za generiranje sintetičnih podatkov šaržnega procesa smo uporabili simulator eksperimentalnega šaržnega procesa, ki so ga za raziskave zgradili raziskovalci iz Univerze v Dortmundu [4]. Šaržni proces predstavljen na spodnji sliki (**Slika 10**) je sestavljen iz treh nivojev.



Slika 10: Večnamenski šaržni sistem

Pri izvedbi smo upoštevali naslednje zakonitosti in omejitve sistema, kot so definirane v prispevku [4]. Za vsako od električnih komponent (grelniki, mešala, ...) smo predpostavili poenostavljene profile porabe električne energije ter definirali njihovo normalno variacijo preko nastavitev orodja `digitop_datagen`.

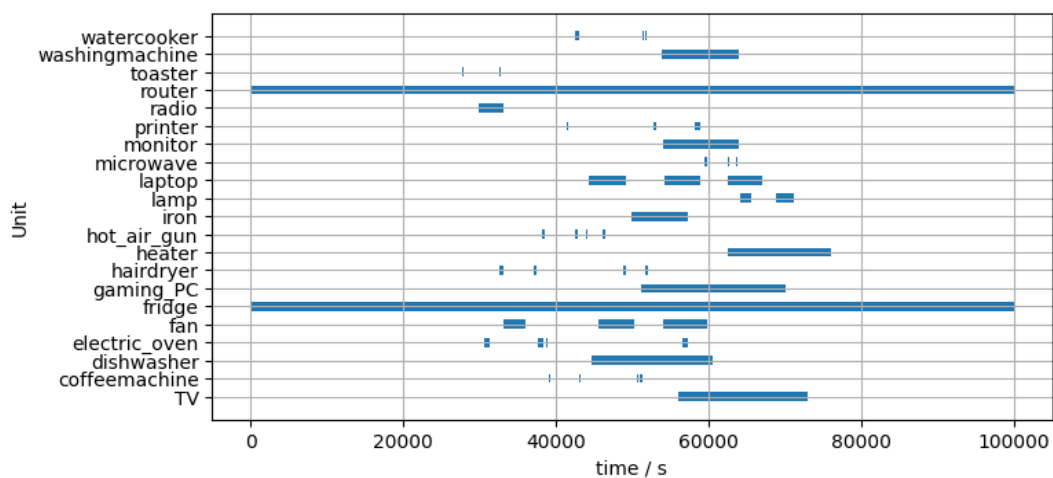
Osredotočili smo se na scenarij, kjer se zahteva priprav 6 šarž modre in 6 šarž zelene surovine. Glede na določen delovni plan, lahko na osnovi tega določimo tudi predviden agregiran profil porabe električne energije. Delovni plani so bili vzeti iz [5].



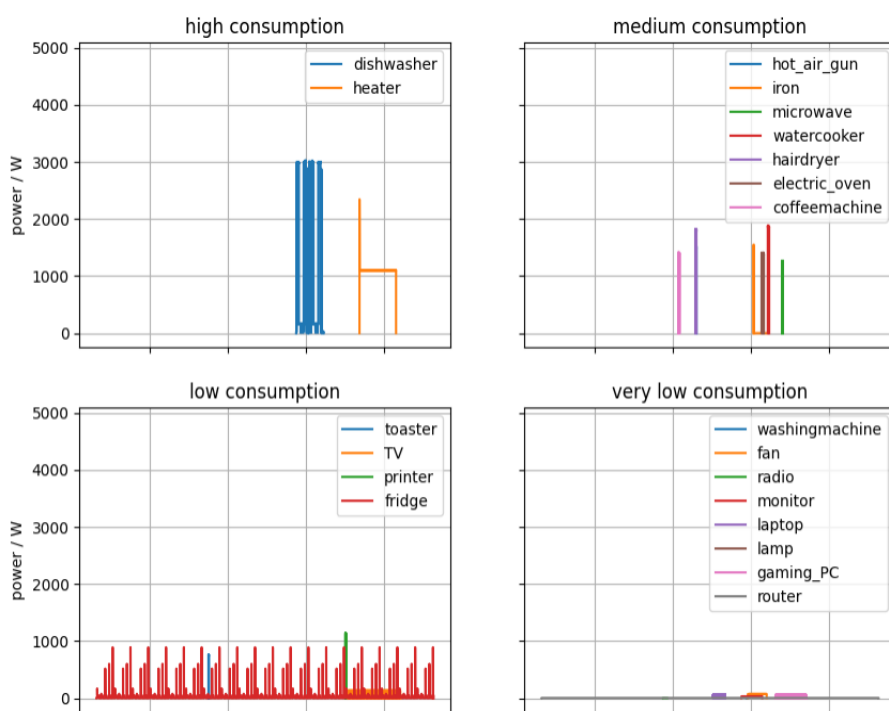
Slika 11: Časovni profili moči za posamezne naprave in agregirana porabe (graf desno spodaj).

4.1.3 Poraba poslovno-stanovanjskih prostorov

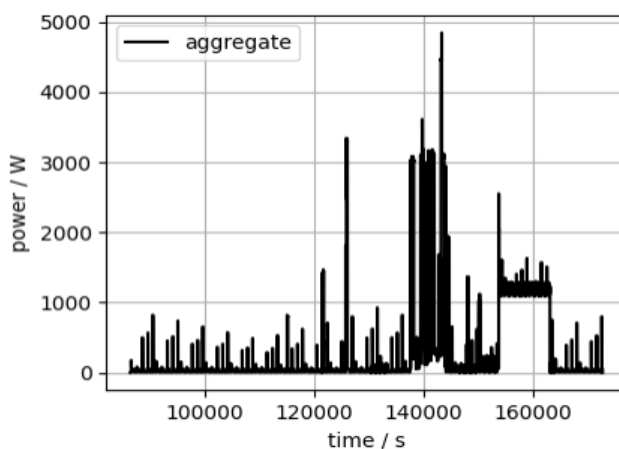
Na osnovi prispevka predstavljenega v [6], smo pripravili primer, kjer smo obravnavali primer porabe električne energije v poslovno-stanovanjskih prostorih. Uporabili smo scenarij vklopov posameznih naprav, ki je predstavljen z Gantogramom, predstavljenim na **Slika 12**.



Slika 12: Časovni prikaz vklopov posameznih naprav.



Slika 13: Časovni profili moči za posamezne naprave (zgornji 4 grafi)



Slika 14: Časovni profili agregirane porabe (spodnja slika)

5 Zaključki

V okviru aktivnosti RRp 4.2 je bilo razvito orodje `digitop_datagen`, s katerim lahko generiramo sintetične podatke o energetskih razmerah v določenem proizvodnem okolju. Take podatke potrebujemo za razvoj, validacijo in primerjavo različnih pristopov modeliranja napovednih modelov porabe različnih okolij v proizvodnji in študijo optimizacijskih postopkov.

V podporo aktivnostim za razvoj in testiranje različnih algoritmov smo pripravili tri različne scenarije, ki omogočajo generiranje sintetičnih podatkov pri katerih je poznano ozadje in pogoji pod katerimi so bili podatki generirani. Pripravljeni so bili naslednji scenariji: (i) kosovni proizvodni proces, (ii) šaržni proizvodni proces in (iii) stanovanjsko-poslovni prostori. V naslednjem koraku bodo generirani reprezentativni podatkovni seti, ki bodo osnova za primerjavo različnih pristopov.

Bibliografija

- [1] G. Černe s sod., Rezultat D4.1: Stanje raziskav na področju napovedovanja porabe enegije, DIGITOP, januar 2024.
- [2] Govže, Viktor (2024), “digitop_datagen”, GitLab, Link: https://repo.ijs.si/digitop-energy/digitop_datagen
- [3] Stržinar, Žiga; Pregelj, Boštjan; Petrovčič, Janko; Škrjanc, Igor; Dolanc, Gregor (2024), “Pneumatic Pressure and Electrical Current Time Series in Manufacturing”, Mendeley Data, V3, doi: 10.17632/ypzswzhzh9.3
- [4] N. Bauer (2000). A demonstration plant for the control and scheduling of multi-product batch operations. Tech. report - VHS case study 7. University of Dortmund. Dortmund.
- [5] Gradišar, D., & Mušič, G. (2007). Automated Petri-net modelling based on production management data. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 13(3), 267–290. <https://doi.org/10.1080/13873950600834082>
- [6] Klemenjak C, Kovatsch C, Herold M, Elmenreich W. A synthetic energy dataset for non-intrusive load monitoring in households. *Sci Data*. 2020 Apr 2;7(1):108. doi: 10.1038/s41597-020-0434-6.