

3Smart analiza i demonstracija rada na EPHZHB zgradi

Prof. dr. sc. Mario Vašak, Anita Martinčević, dr.sc. Nikola Hure, Danko Marušić,
dr. sc. Hrvoje Novak, Arpad Racz, Prof. dr. sc. Vladimir Jovanović

Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva
Sveučilište u Debrecenu
Sveučilište u Beogradu Mašinski fakultet

mario.vasak@fer.hr

Javno predstavljanje 3Smart pilota u Bosni i Hercegovini

18. srpnja 2019.



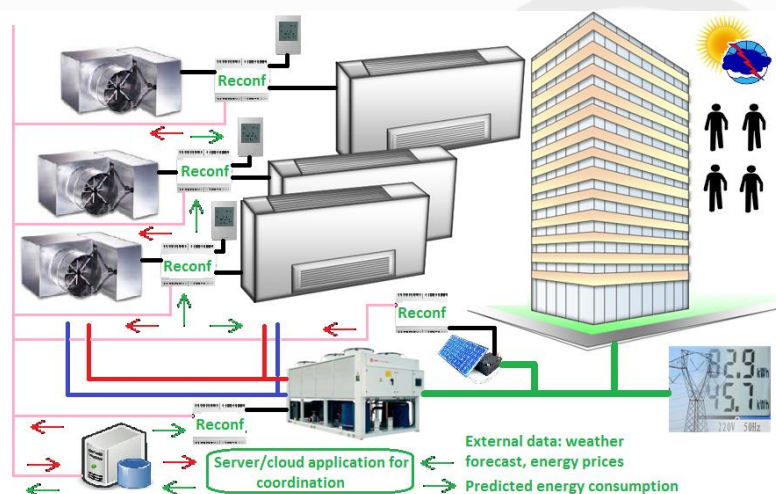
UNIVERSITY OF ZAGREB
FACULTY OF
ELECTRICAL
ENGINEERING
AND COMPUTING

Project sufinanciran sredstvima Europske unije

Planiranje optimalnog rada zgrade

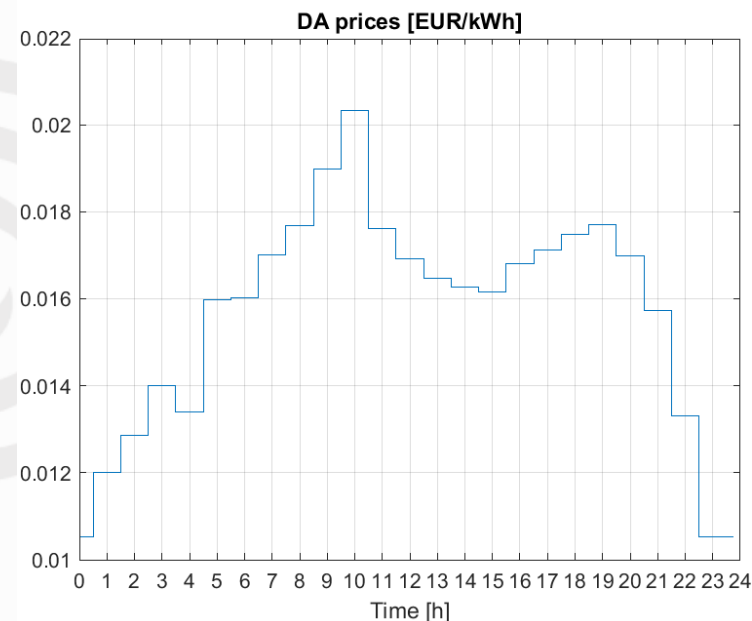
– Mogućnost planiranja optimalnog rada zgrade za karakteristične dane

- Procjena isplativosti intervencija na pojedinim razinama te dobitaka uslijed njihove koordinacije
- Planiranje optimalnog iznosa snage fleksibilnosti za interakciju s mrežom (**odgovor potražnje**)

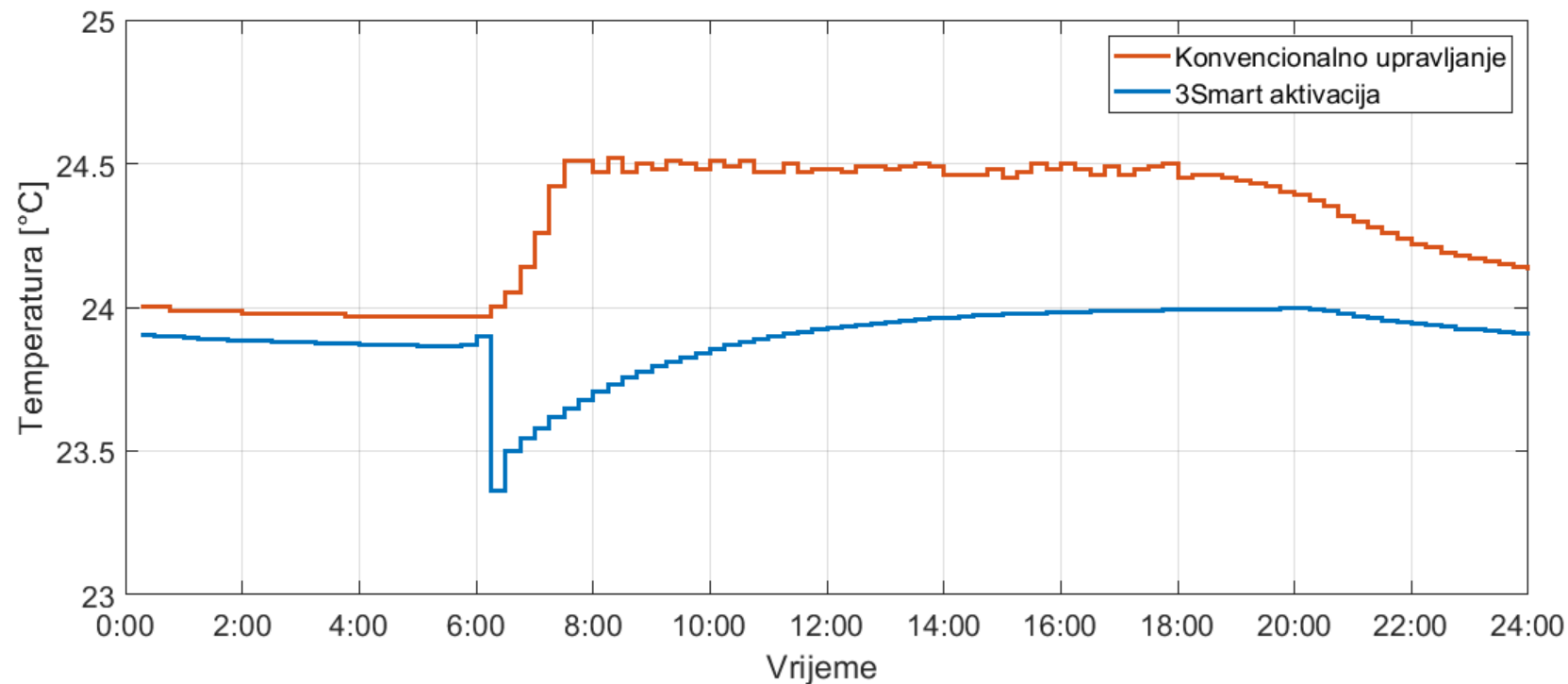


Analiza rada 3Smart sustava

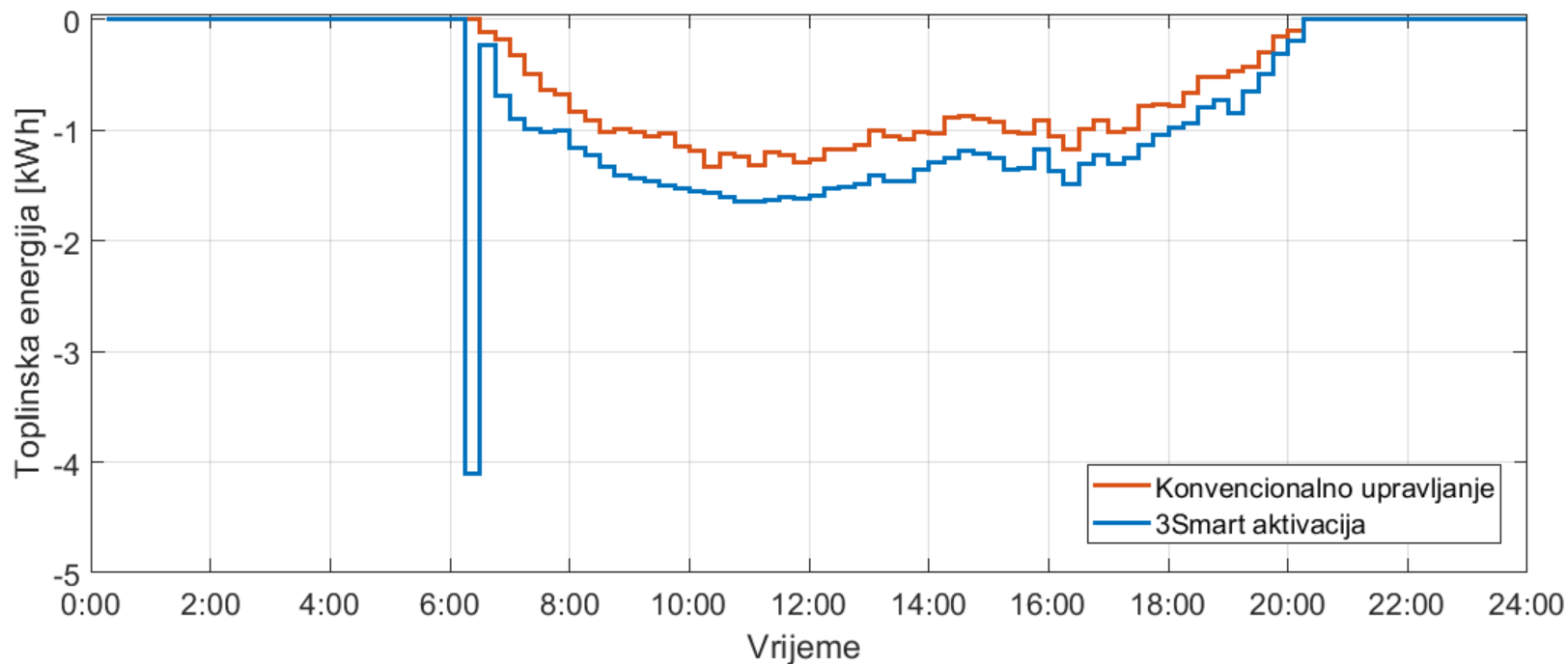
- Uvjeti: sunčan radni dan u srpnju
- Pitanja:
 - Koji je optimalan način dnevnog rada zgrade?
 - Kada i koliko rashladiti pojedinu zonu, kada i koliko hladiti medij, kada i koliko puniti/prazniti bateriju
 - Uz koju ponuđenu fleksibilnost je trošak zgrade najmanji?
 - Koliko je optimalan način bolji od uobičajenog rada zgrade?
- Intervali fleksibilnosti:
 - 13:00-13:30
 - 13:45-16:00
- Cijene fleksibilnosti
 - rezervacija: 0.0021 EUR/kW/15 min
 - aktivacija: 0.0084 EUR/kWh
 - penal: 0.0168 EUR/kWh



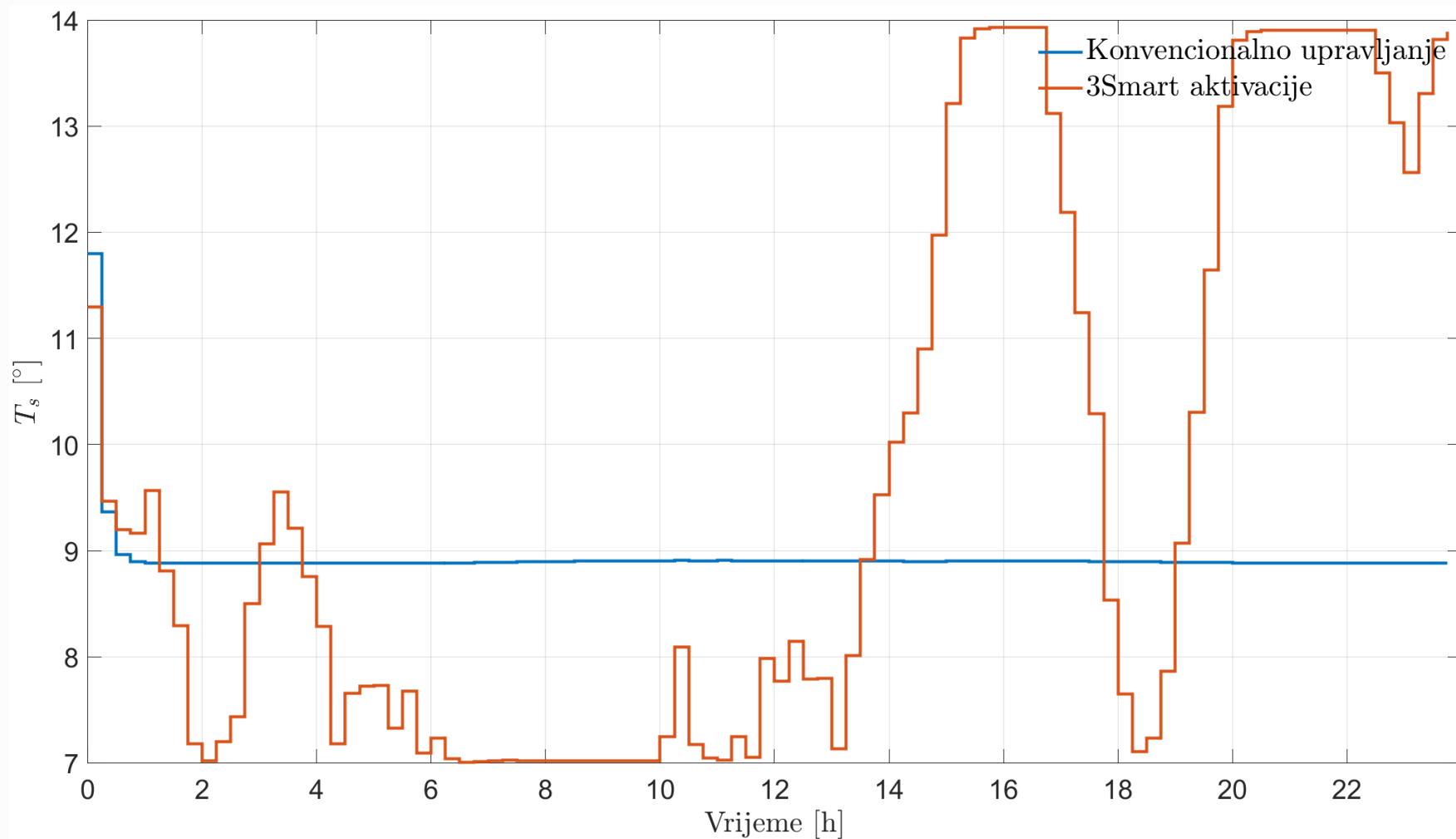
Analiza rada 3Smart sustava – razina zona (1)



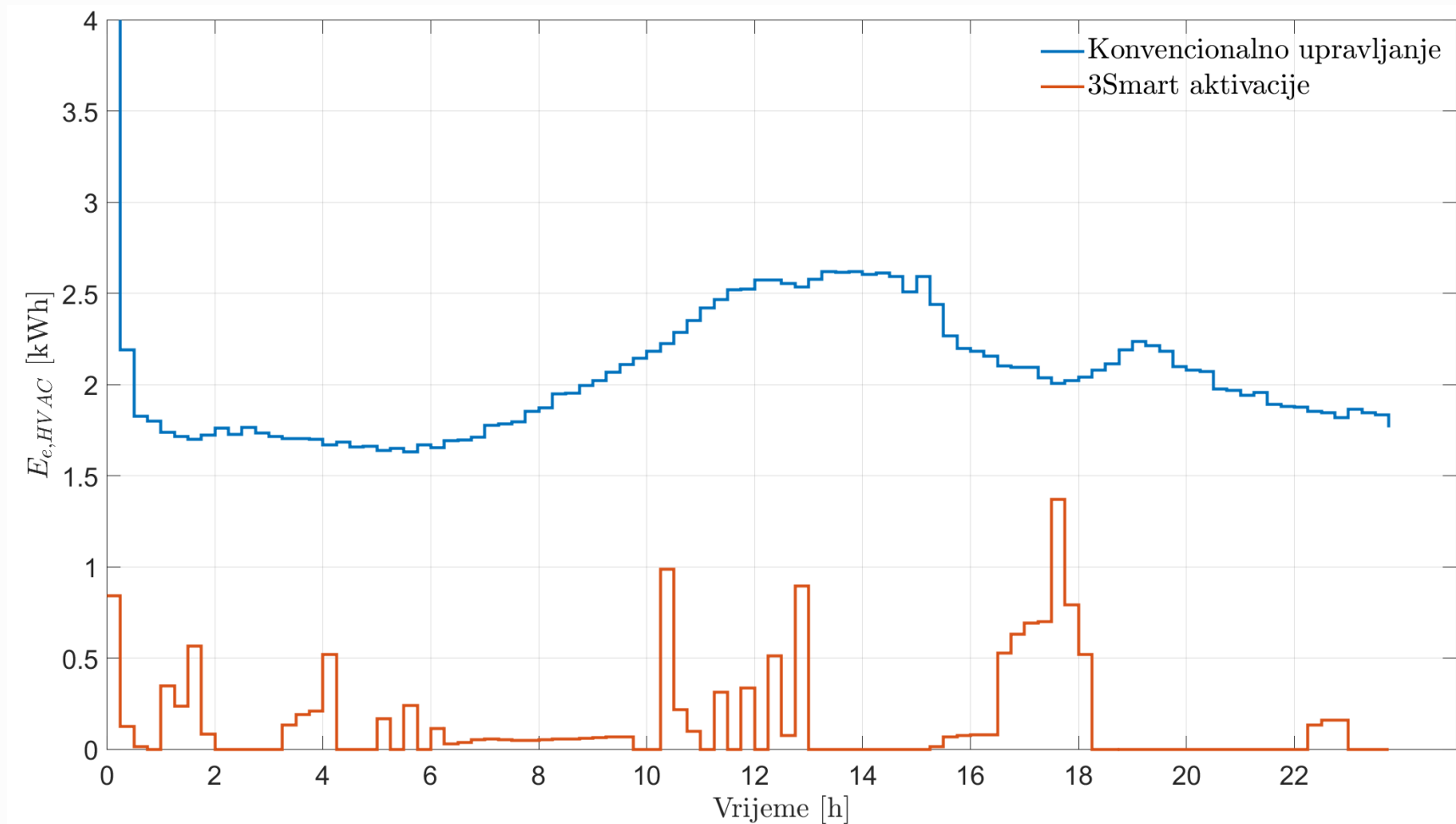
Analiza rada 3Smart sustava – razina zona (3)



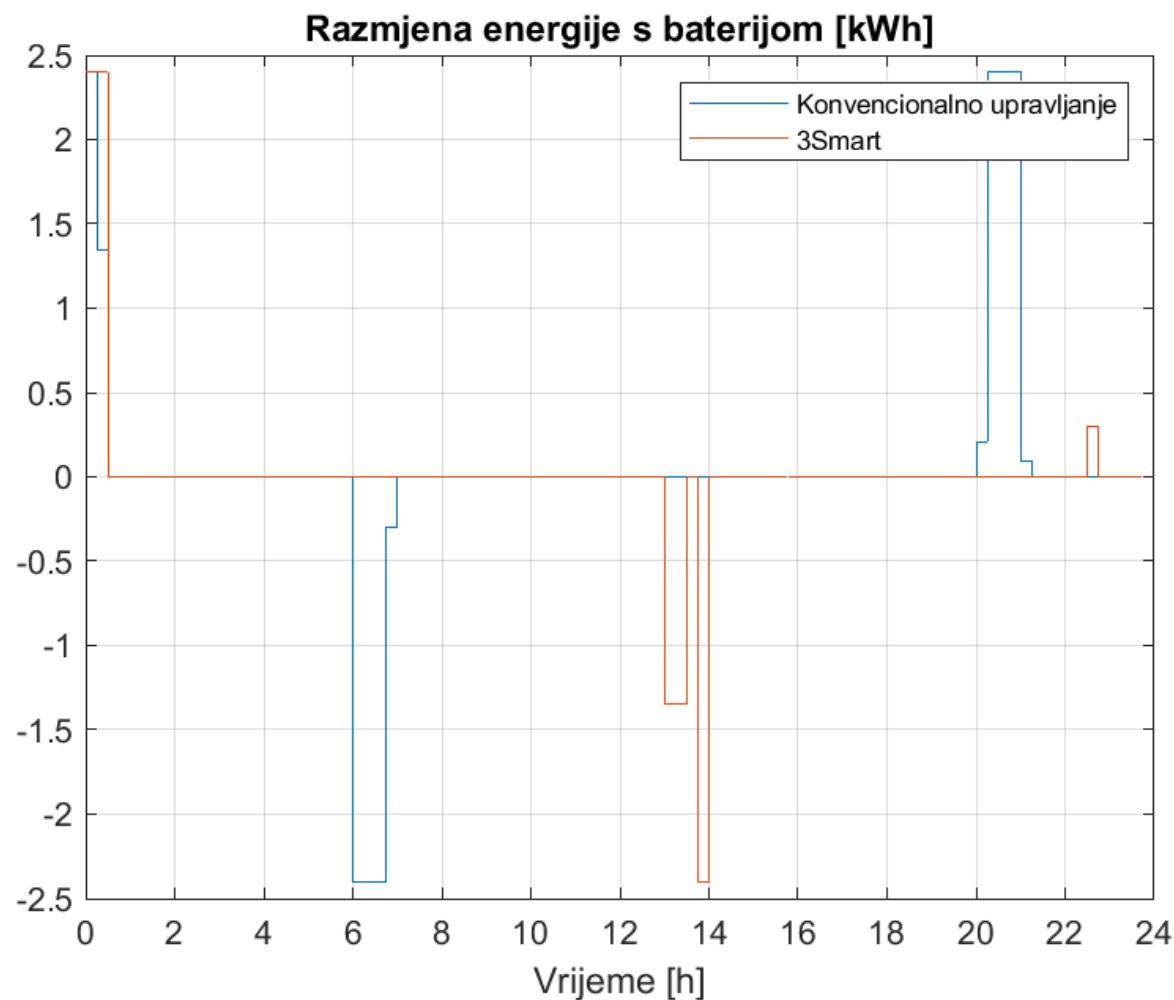
Analiza rada 3Smart sustava – HVAC razina (1)



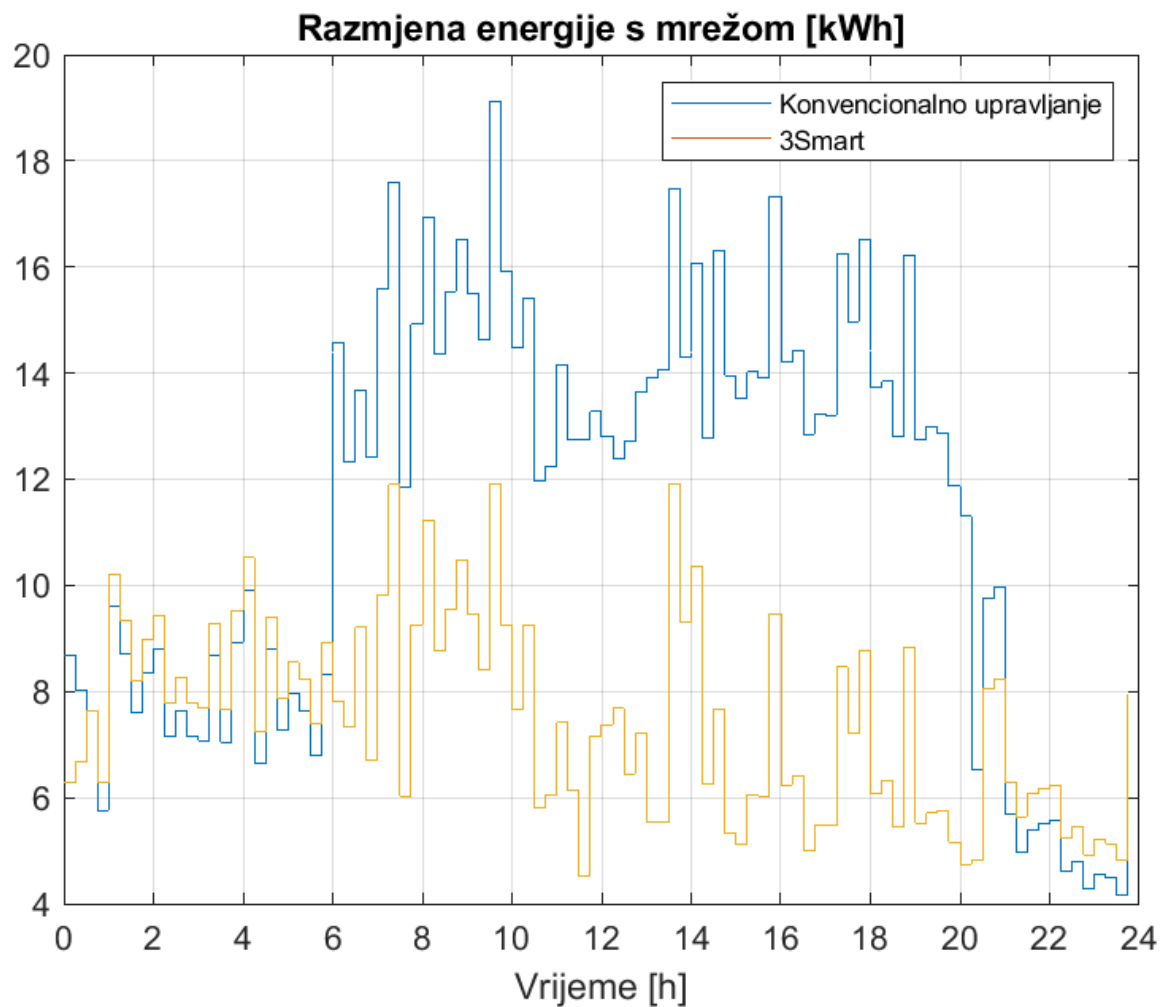
Analiza rada 3Smart sustava – HVAC razina (2)



Analiza rada 3Smart sustava -- razina mikromreže



Analiza rada 3Smart sustava – razina mikromreže, bez fotonaponskog sustava

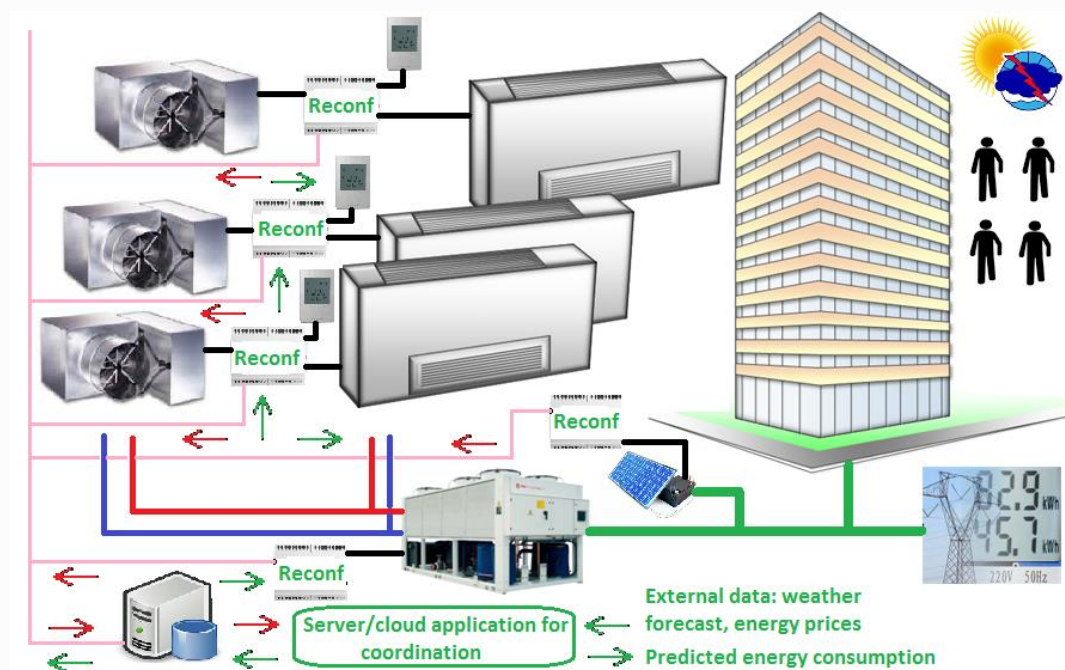


Demonstracija modula u radu na EPHZHB zgradi

Usluga koordinacije i odgovora potražnje

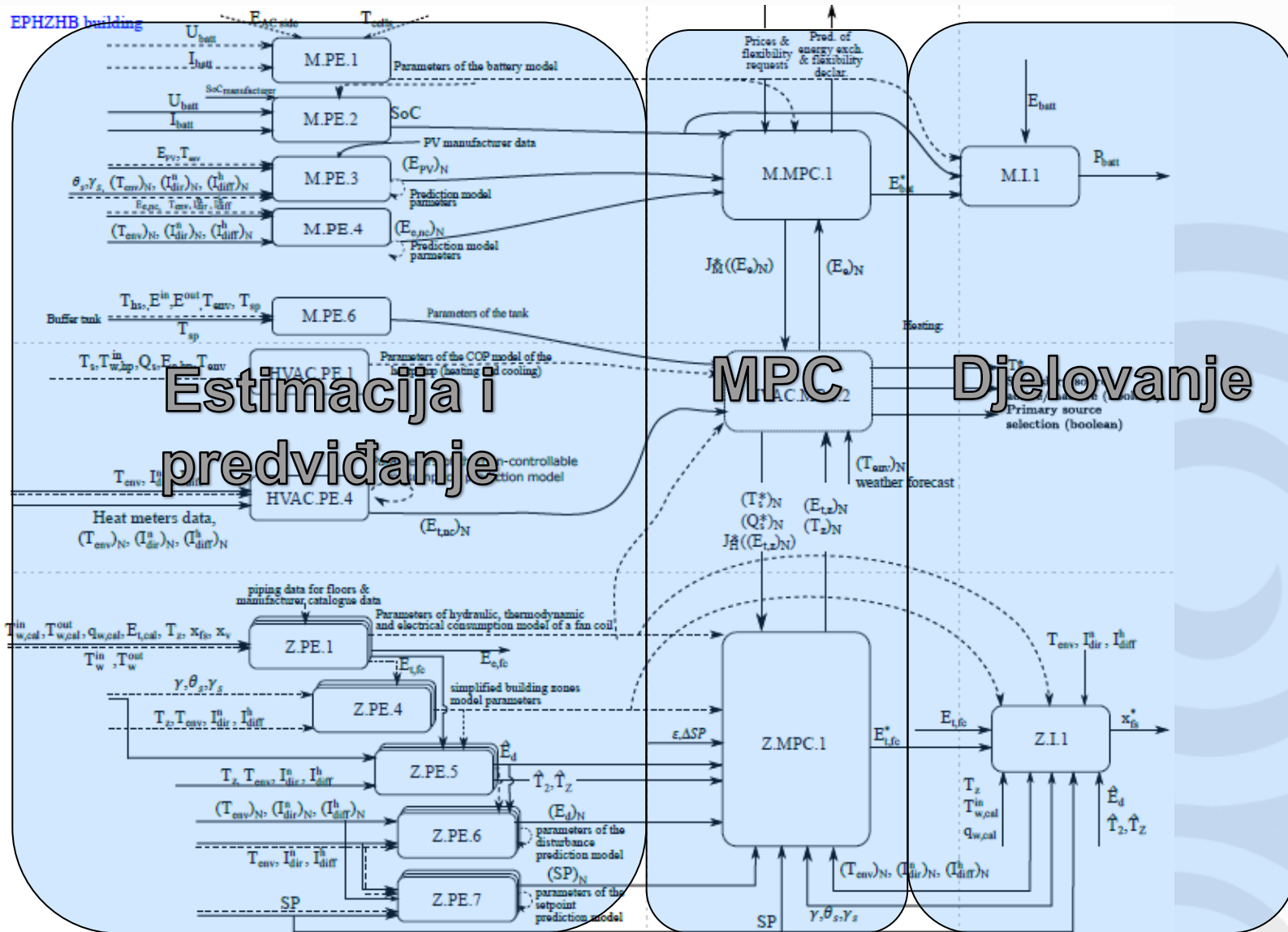
– Modularnost koordinacijske usluge

- Programski moduli za različite funkcionalne razine u zgradi



- Međusobno koordinirani u bilo kojoj konfiguraciji

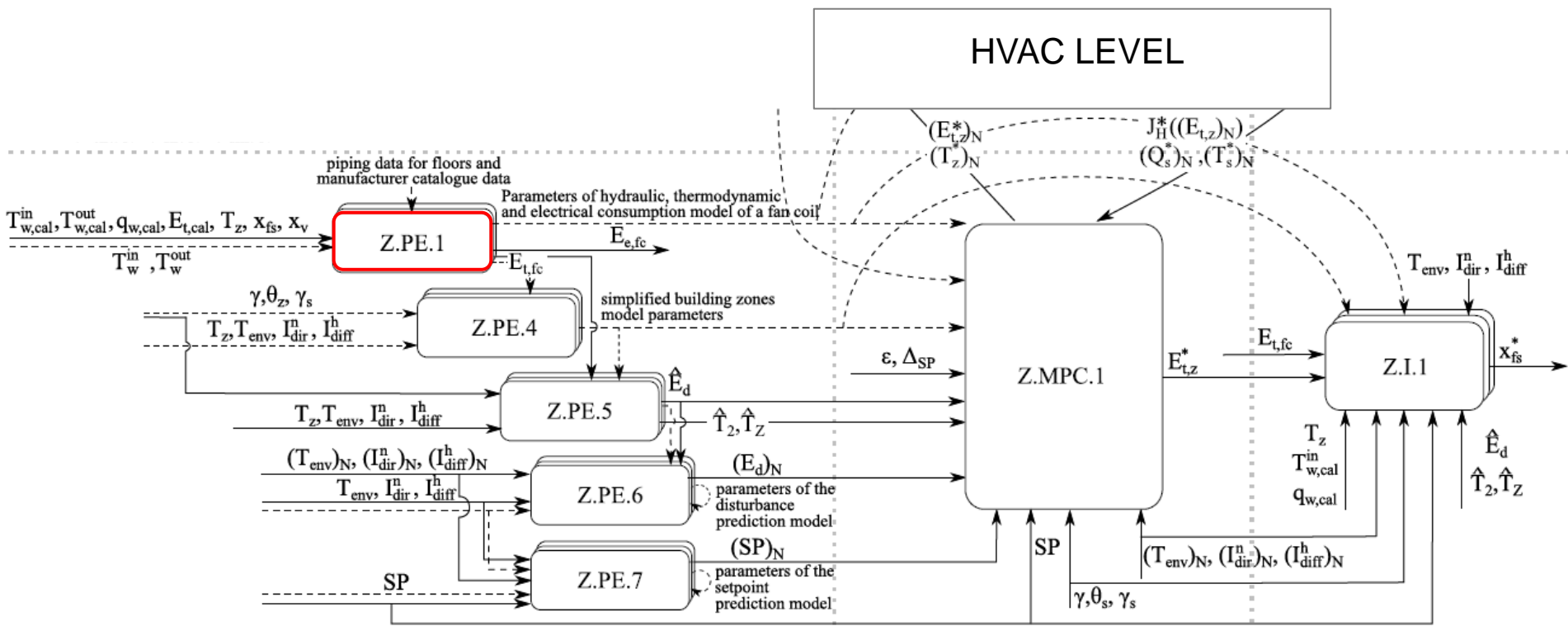
Organizacija 3Smart alata na EPHZHB zgradi



Razina zona

Z.PE.1 – offline

(fan coil identification submodule)



Z.PE.1 – offline

(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU MODELA VENTILOKONVEKTORA)

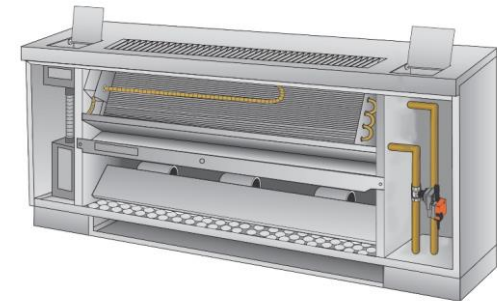
Pokretanje samo jednom

- Identifikacija **hidrauličkog modela instalacija**

Medium flow measurement from
the considered duct calorimeter →
Valve position →

Hydraulic fan coil
model

Medium flow through the fan coil



- Identifikacija **termodinamičkog modela ventilokonvektora**

Supply water temperature (calorimeter) →
Return medium temperature →
Fan state →
Valve position →
Medium flow through the coil →
Zone temperature →

Thermodynamic fan
coil model

Thermal energy exerted into zone

- Identifikacija **modela potrošnje električne energije** ventilokonvektora

Fan state →

Electrical energy
consumption model

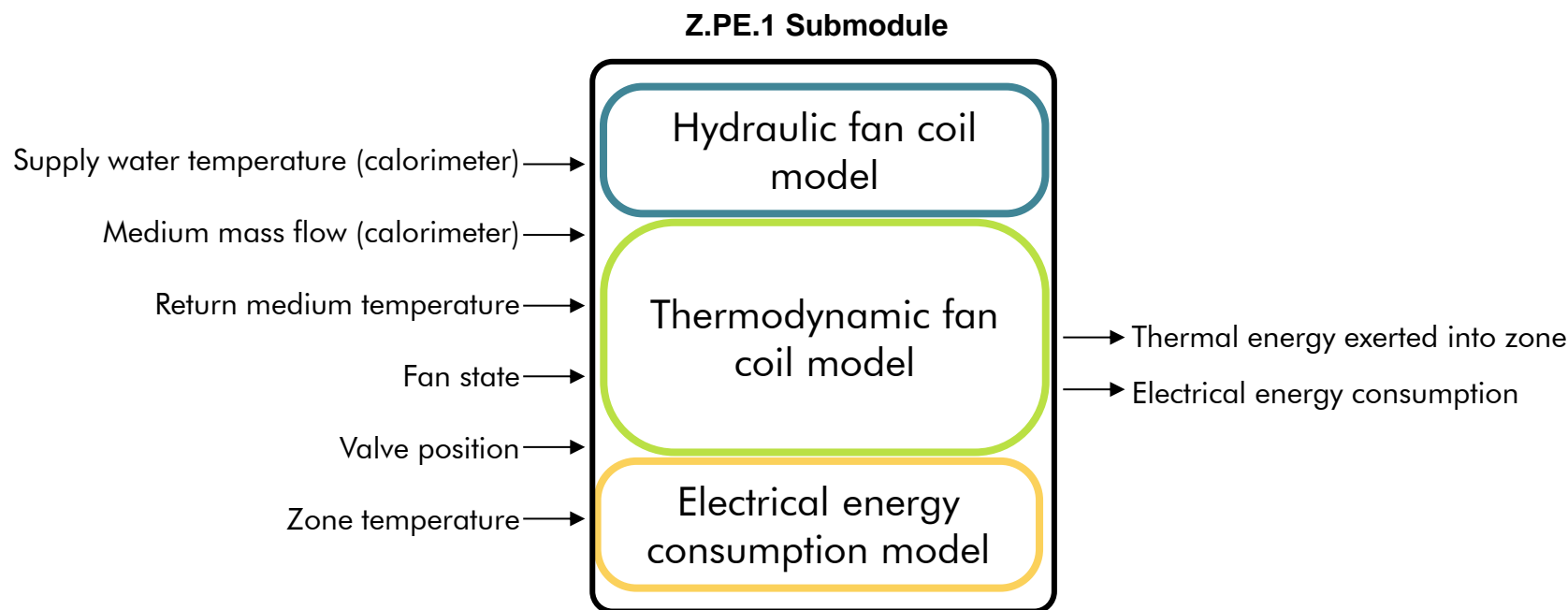
Electrical energy consumption

Z.PE.1 – online

(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU MODELA VENTILOKONVEKTORA)

- Pomoću **hidrauličkog**, **termodinamičkog** i **modela potrošnje električne energije** ventilokonvektora svaku minutu proračunava se toplinska energija ubačena u prostoriju i potrošnja električne energije ventilatora ventilokonvektora

Pokretanje svakih 1 min

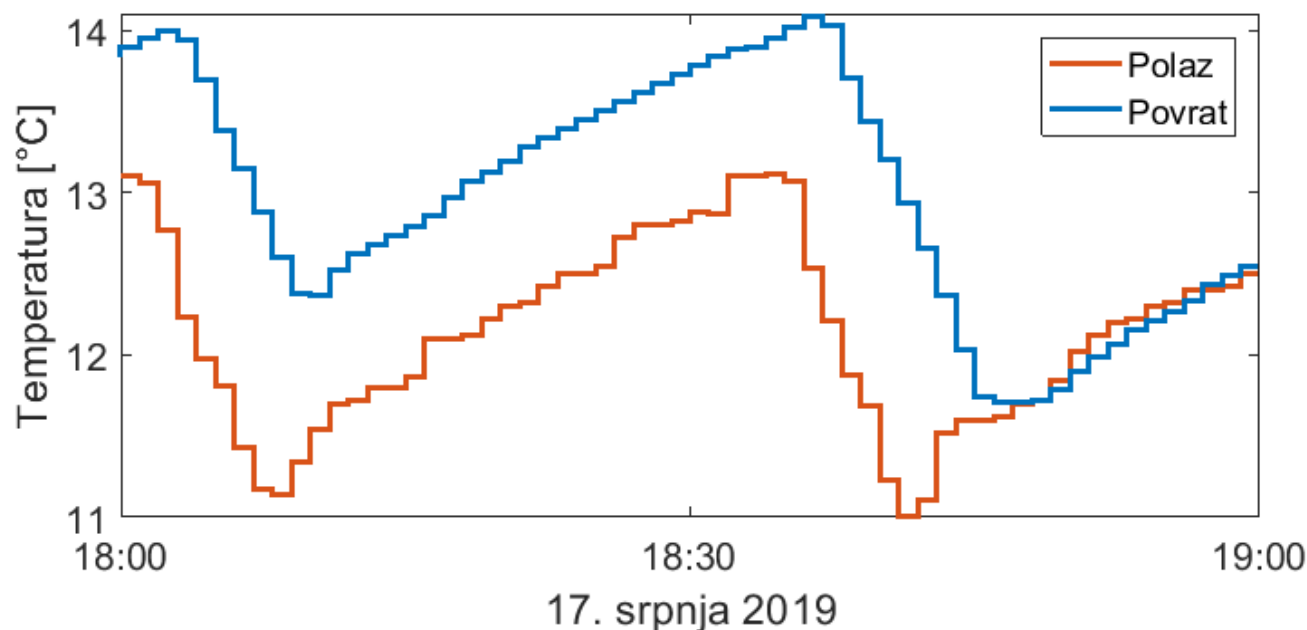


Z.PE.1 – online

(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU MODELA VENTILOKONVEKTORA)

- Pomoću **hidrauličkog**, **termodinamičkog** i **modela potrošnje električne energije** ventilokonvektora svaku minutu proračunava se toplinska energija ubačena u prostoriju i potrošnja električne energije ventilatora ventilokonvektora

ULAZ 1: trenutno mjerenje polazne i povratne temperature medija za grijanje/hlađenje



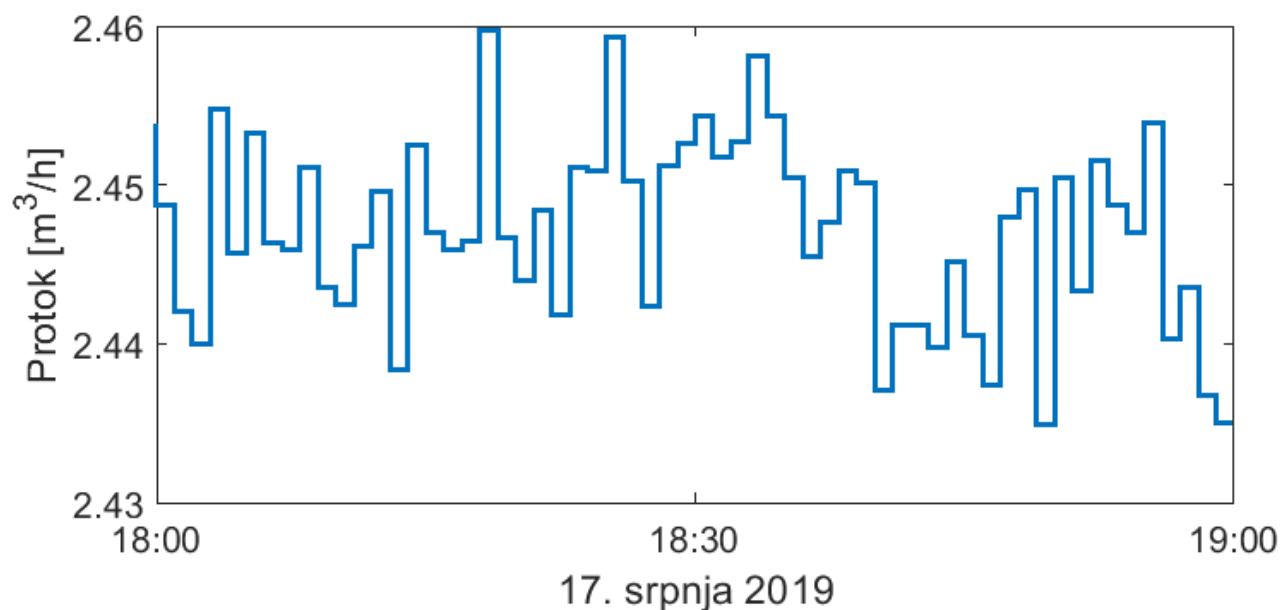
Z.PE.1 – online

(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU MODELA VENTILOKONVEKTORA)

- Pomoću **hidrauličkog**, **termodinamičkog** i **modela potrošnje električne energije** ventilokonvektora svaku minutu proračunava se toplinska energija ubačena u prostoriju i potrošnja električne energije ventilatora ventilokonvektora

ULAZ 1: trenutno mjerenje polazne i povratne temperature medija za grijanje/hlađenje

ULAZ 2: trenutno mjerenje protoka medija



Z.PE.1 – online

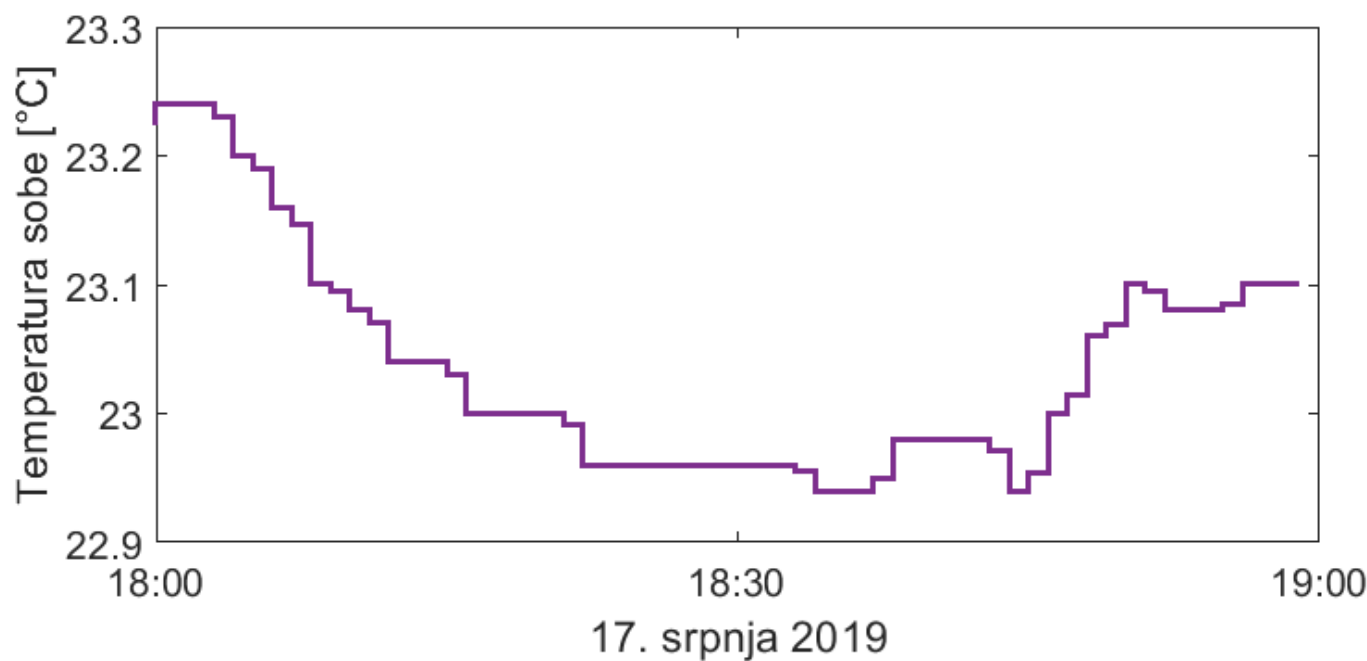
(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU MODELA VENTILOKONVEKTORA)

- Pomoću **hidrauličkog**, **termodinamičkog** i **modela potrošnje električne energije** ventilokonvektora svaku minutu proračunava se toplinska energija ubačena u prostoriju i potrošnja električne energije ventilatora ventilokonvektora

ULAZ 1: trenutno mjerenje polazne i povratne temperature medija za grijanje/hlađenje

ULAZ 2: trenutno mjerenje protoka medija

ULAZ 3: trenutno mjerenje temperature zraka u prostoriji



Z.PE.1 – online

(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU MODELA VENTILOKONVEKTORA)

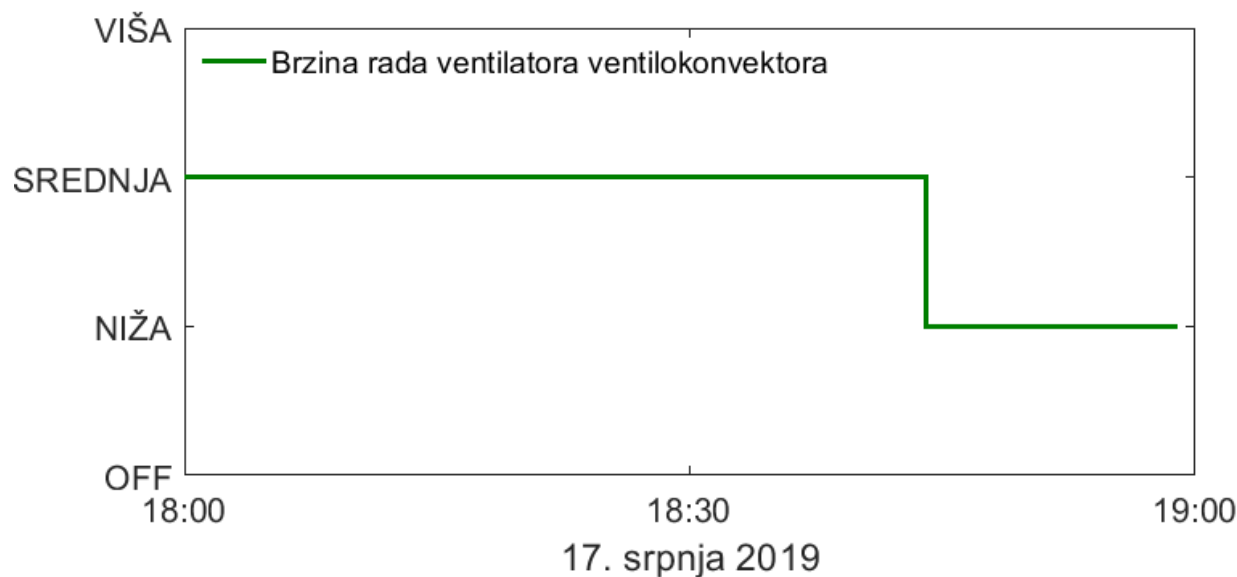
- Pomoću **hidrauličkog**, **termodinamičkog** i **modela potrošnje električne energije** ventilokonvektora svaku minutu proračunava se toplinska energija ubačena u prostoriju i potrošnja električne energije ventilatora ventilokonvektora

ULAZ 1: trenutno mjerenje polazne i povratne temperature medija za grijanje/hlađenje

ULAZ 2: trenutno mjerenje protoka medija

ULAZ 3: trenutno mjerenje temperature prostorije

ULAZ 4: trenutno mjerenje brzine ventilatora ventilokonvektora



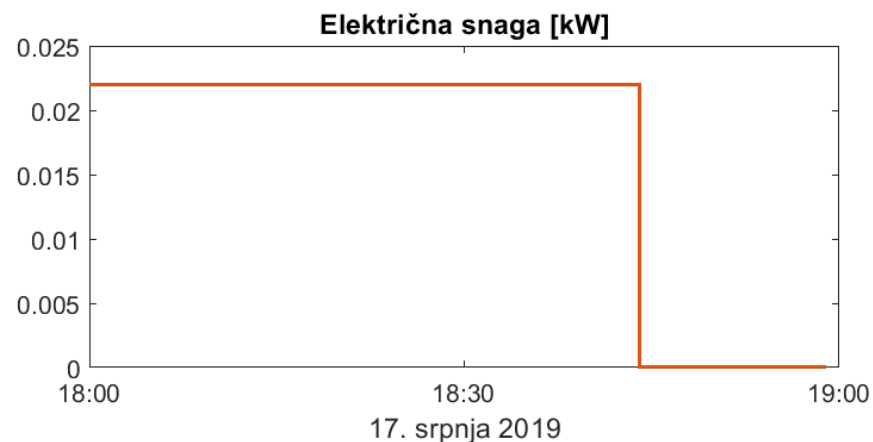
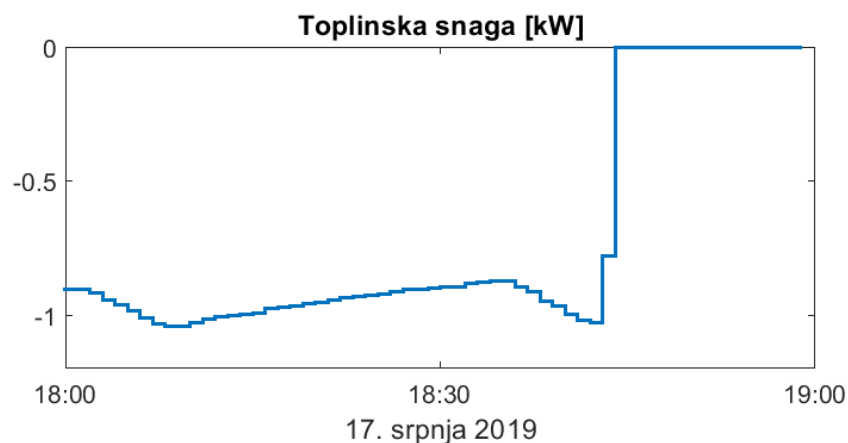
Z.PE.1 – online

(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU MODELA VENTILOKONVEKTORA)

- Pomoću **hidrauličkog**, **termodinamičkog** i **modela potrošnje električne energije** ventilokonvektora svaku minutu proračunava se toplinska energija ubačena u prostoriju i potrošnja električne energije ventilatora ventilokonvektora

IZLAZ 1: toplinska energija ubačena u prostoriju

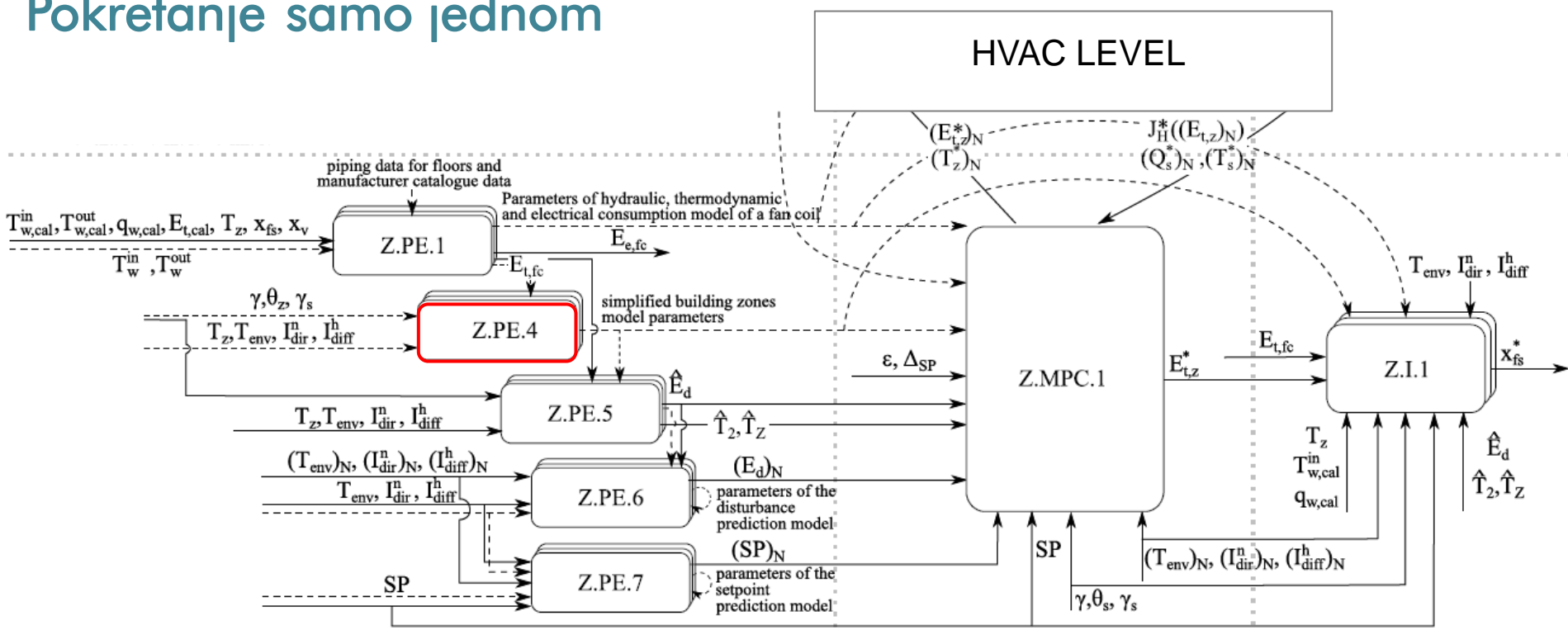
IZLAZ 2: potrošnje električne energije ventilokonvektora



Zone PE 4

(identification of the simplified building thermodynamic model)

Pokretanje samo jednom

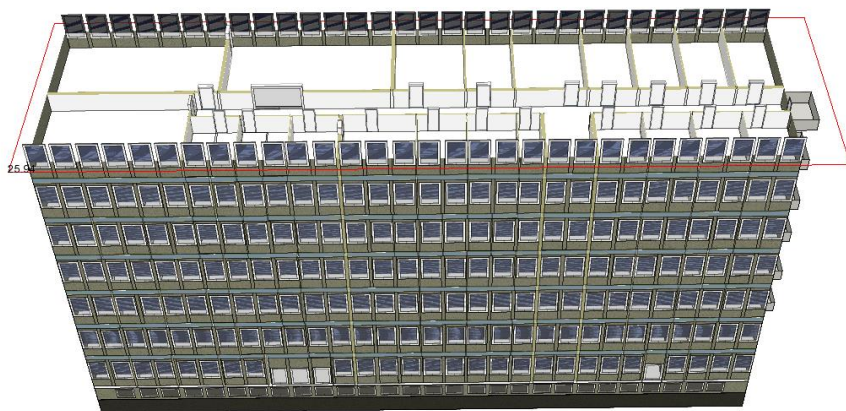


Zone PE 4

(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU POJEDNOSTAVLJENOG MATEMATIČKOG MODELA ZGRADE)

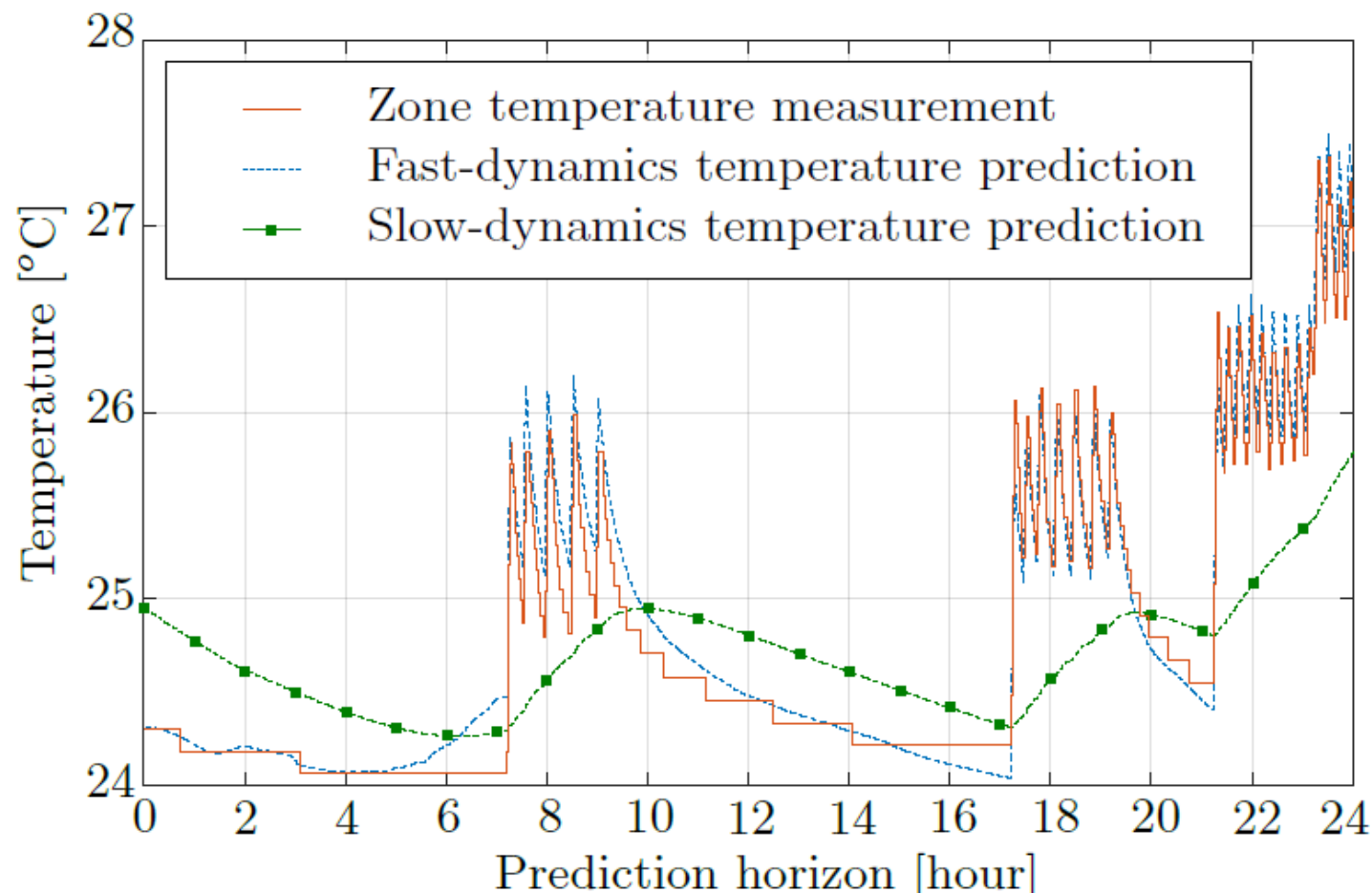
ULAZI: povijesna mjerenja temperature u prostorijama zgrade, povijesna mjerenja vanjskih vremenskih uvjeta, povijesna mjerenja toplinske snage iz prostorija zgrade / odzivi modela zgrade u simulacijskom alatu

IZLAZI: parametri matematičkog modela zgrade



Zone PE 4

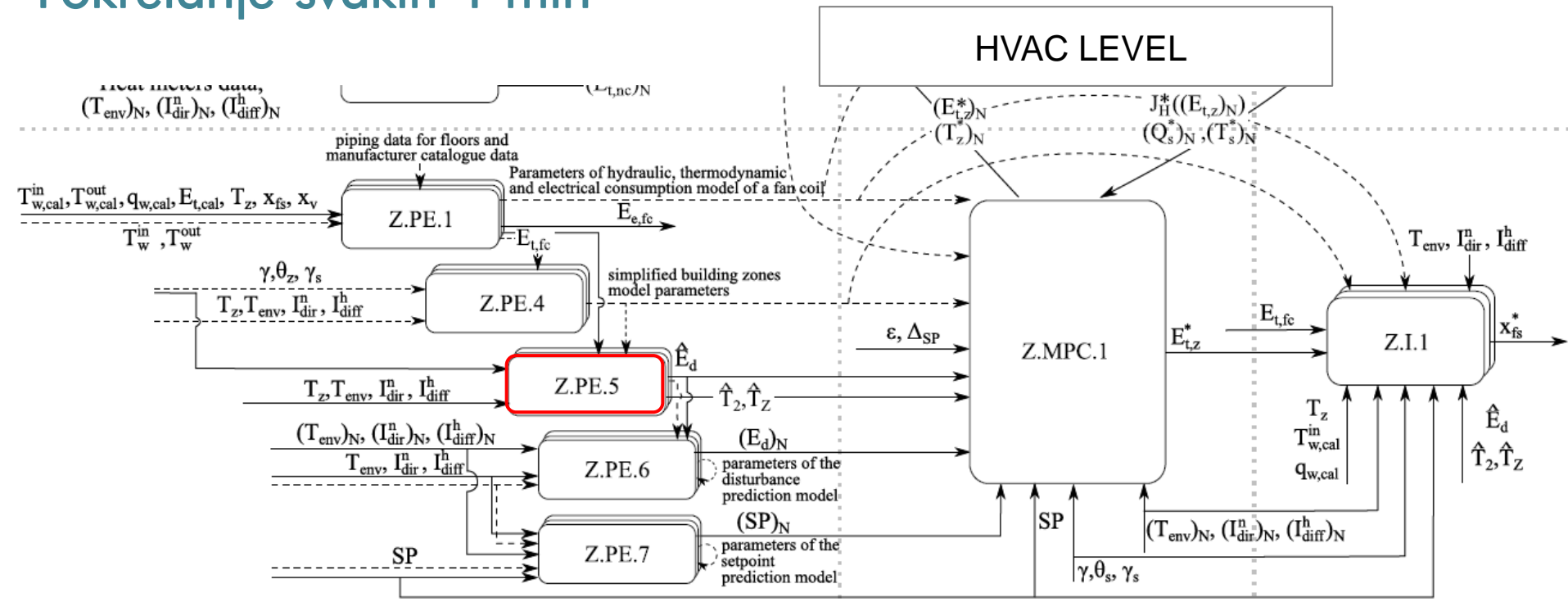
(MODUL ZA IDENTIFIKACIJU POJEDNOSTAVLJENOG MATEMATIČKOG MODELA ZGRADE)



Zone PE 5

(MODUL ZA ESTIMACIJU NEMJERLJIVIH STANJA MODELA ZGRADE I TOPLINSKIH POREMEĆAJA U ZONAMA ZGRADE)

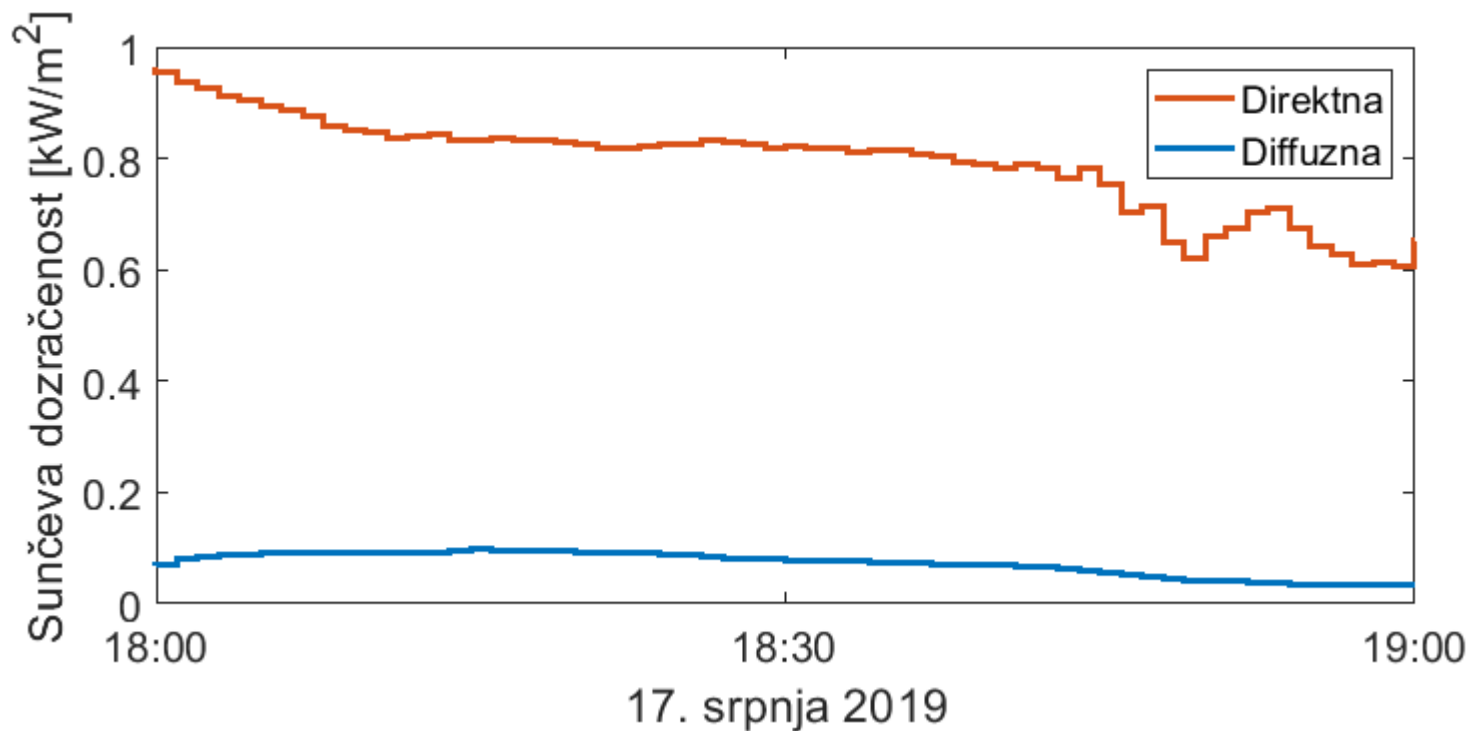
Pokretanje svakih 1 min



Zone PE 5

(MODUL ZA ESTIMACIJU NEMJERLJIVIH STANJA MODELA ZGRADE I TOPLINSKIH POREMEĆAJA U ZONAMA ZGRADE)

ULAZ 1: trenutno mjerenje direktne i difuzne sunčeve dozračenosti

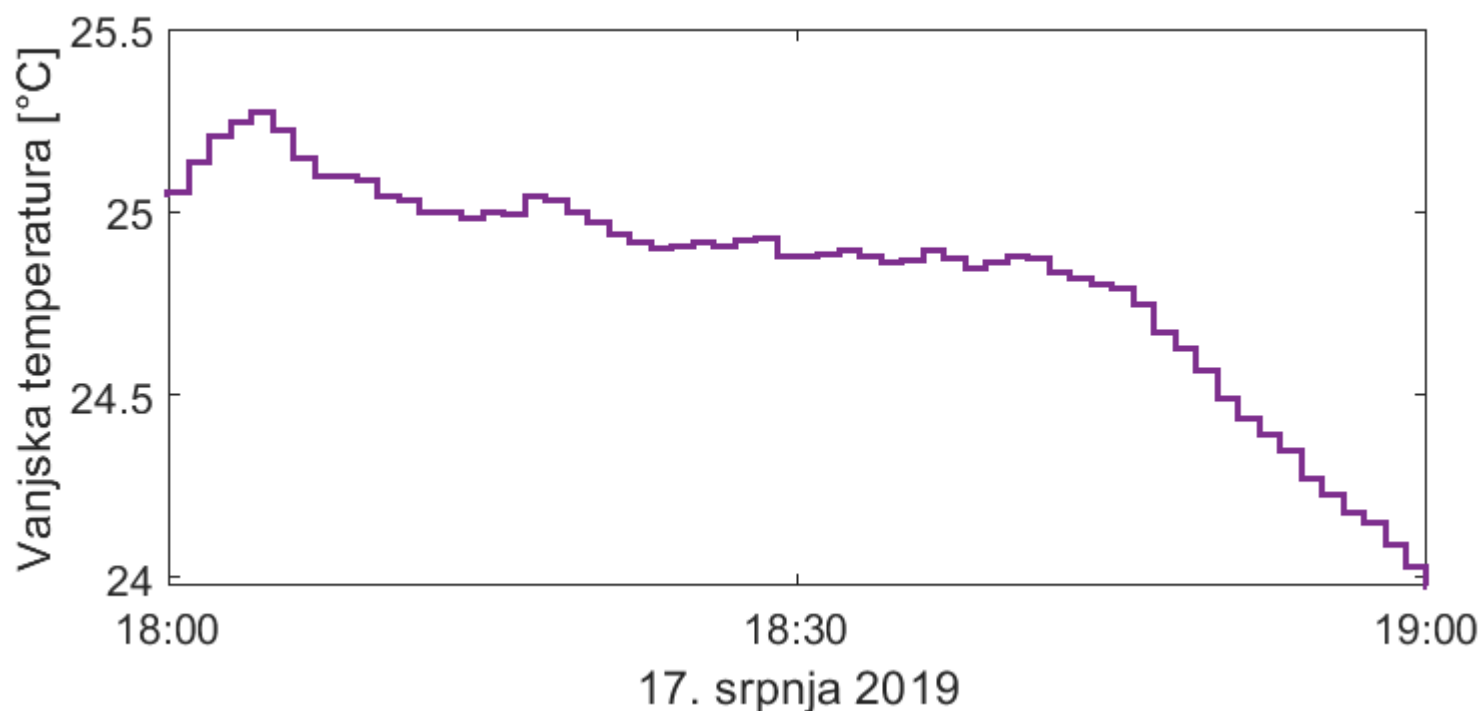


Zone PE 5

(MODUL ZA ESTIMACIJU NEMJERLJIVIH STANJA MODELA ZGRADE I TOPLINSKIH POREMEĆAJA U ZONAMA ZGRADE)

ULAZ 1: trenutno mjerenje direktne i difuzne sunčeve dozračenosti

ULAZ 2: trenutno mjerenje vanjske temperature



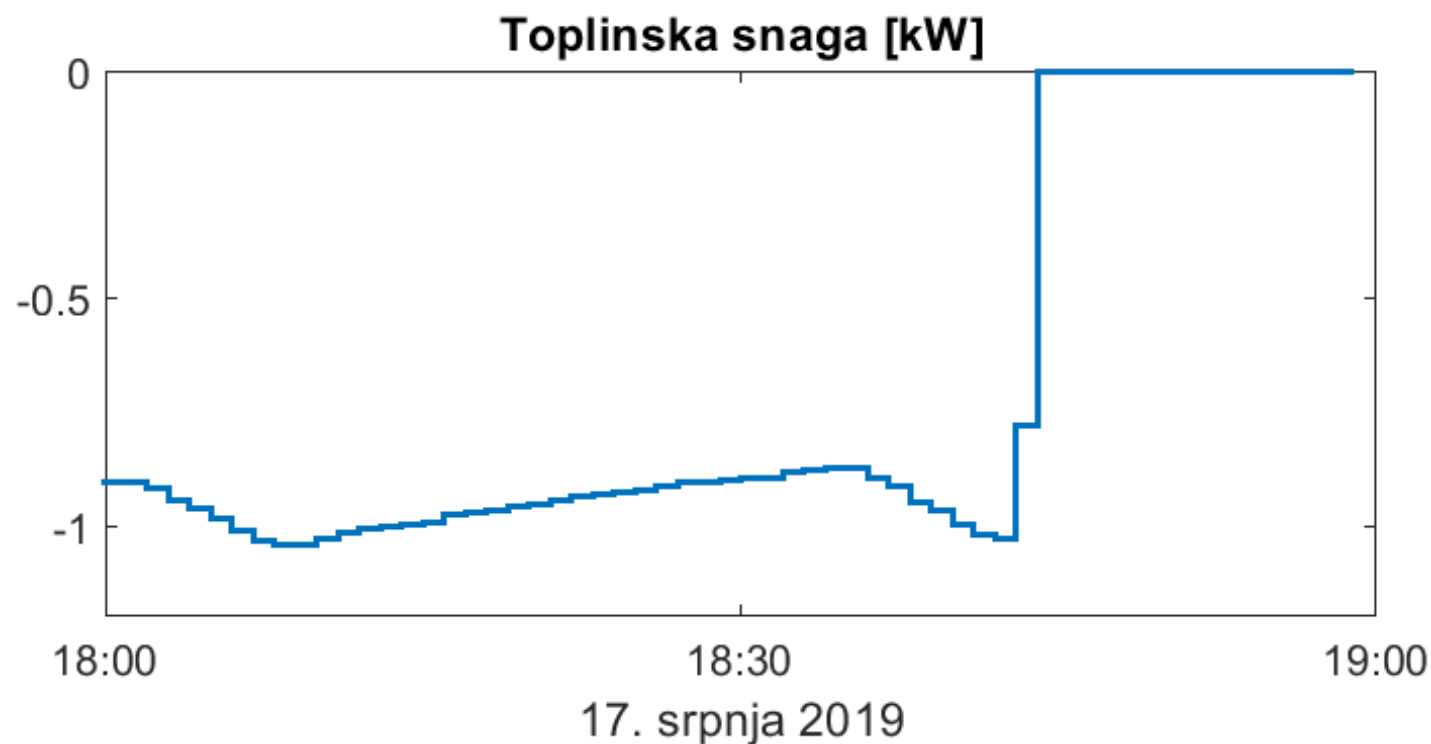
Zone PE 5

(MODUL ZA ESTIMACIJU NEMJERLJIVIH STANJA MODELA ZGRADE I TOPLINSKIH POREMEĆAJA U ZONAMA ZGRADE)

ULAZ 1: trenutno mjerenje direktne i difuzne sunčeve dozračenosti

ULAZ 2: trenutno mjerenje vanjske temperature

ULAZ 3: trenutne vrijednosti toplinske snage ubačene u zone (Zone PE 1 modul)



Zone PE 5

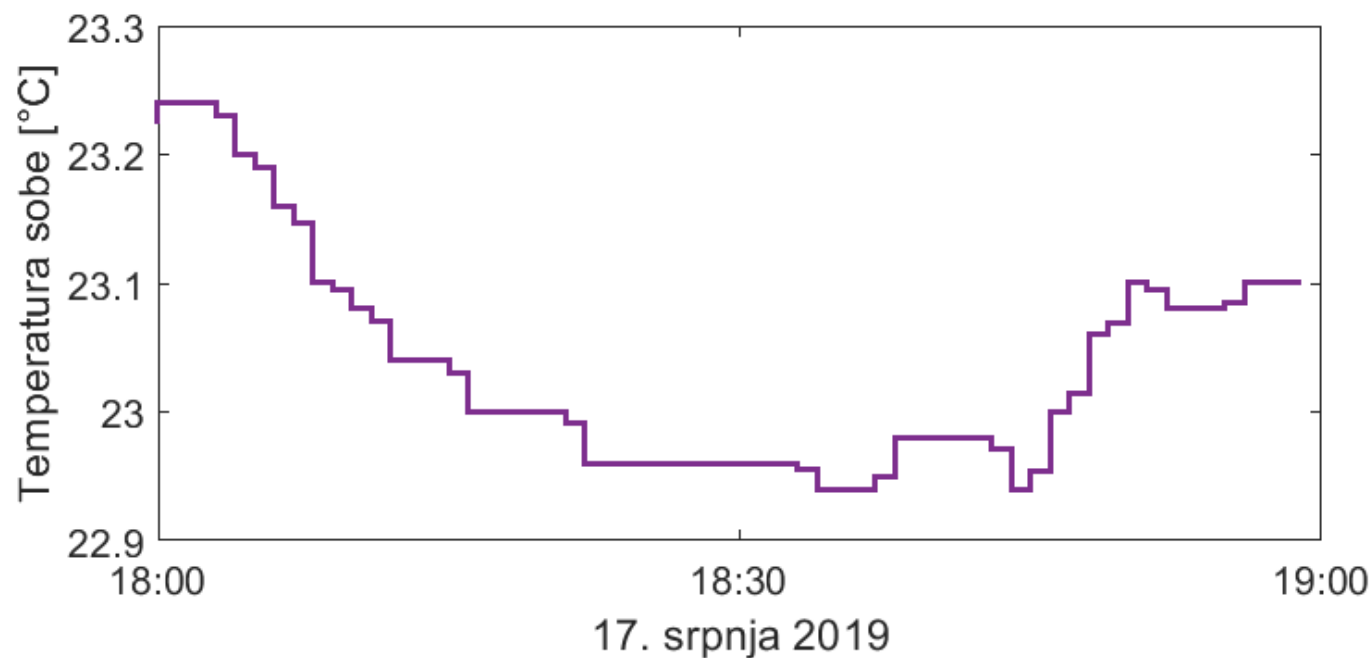
(MODUL ZA ESTIMACIJU NEMJERLJIVIH STANJA MODELA ZGRADE I TOPLINSKIH POREMEĆAJA U ZONAMA ZGRADE)

ULAZ 1: trenutno mjerenje direktne i difuzne sunčeve dozračenosti

ULAZ 2: trenutno mjerenje vanjske temperature

ULAZ 3: trenutne vrijednosti toplinske snage ubačene u zone (Zone PE 1 modul)

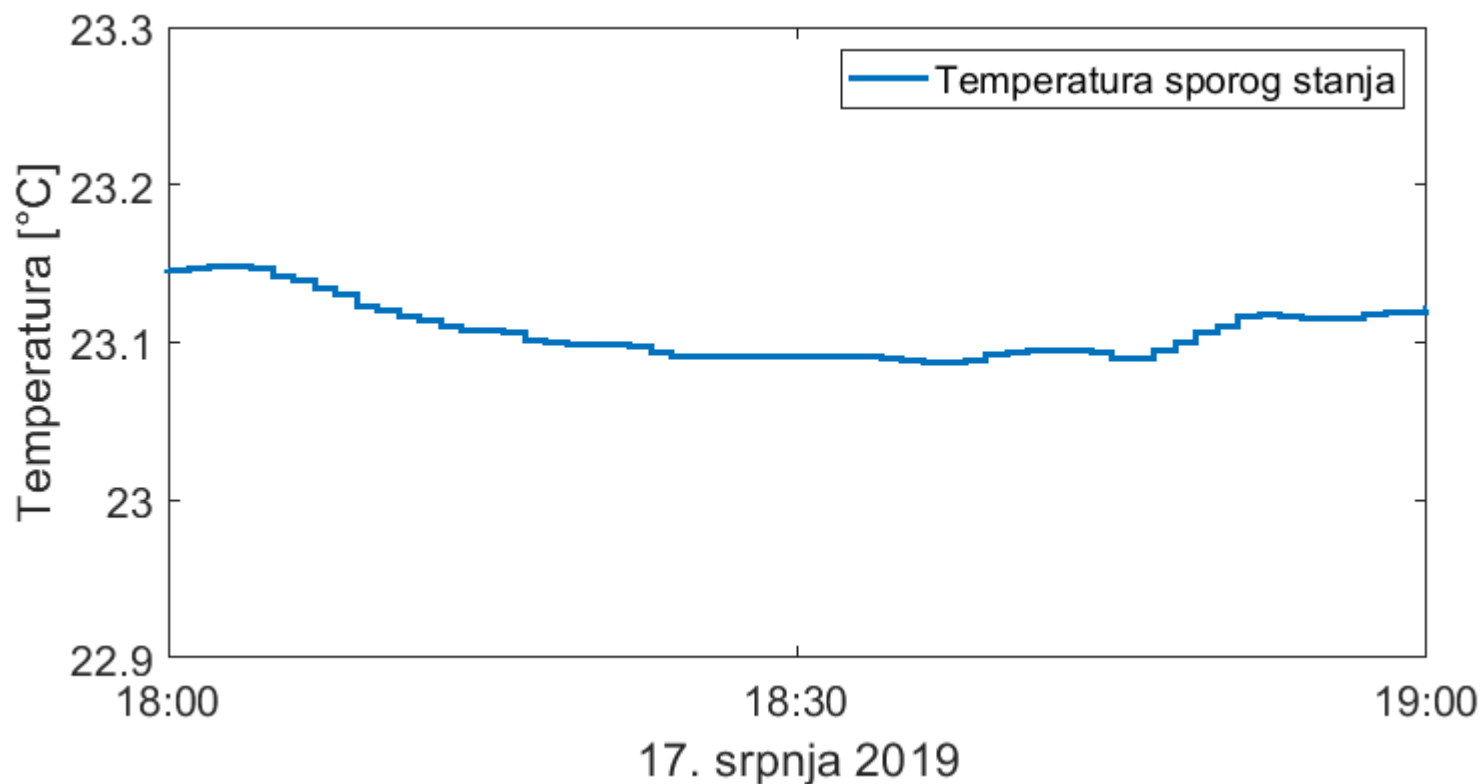
ULAZ 4: trenutna mjerenja temperature prostorije



Zone PE 5

(MODUL ZA ESTIMACIJU NEMJERLJIVIH STANJA MODELA ZGRADE I TOPLINSKIH POREMEĆAJA U ZONAMA ZGRADE)

IZLAZ 1: Estimirana trenutna temperatura spore dinamike

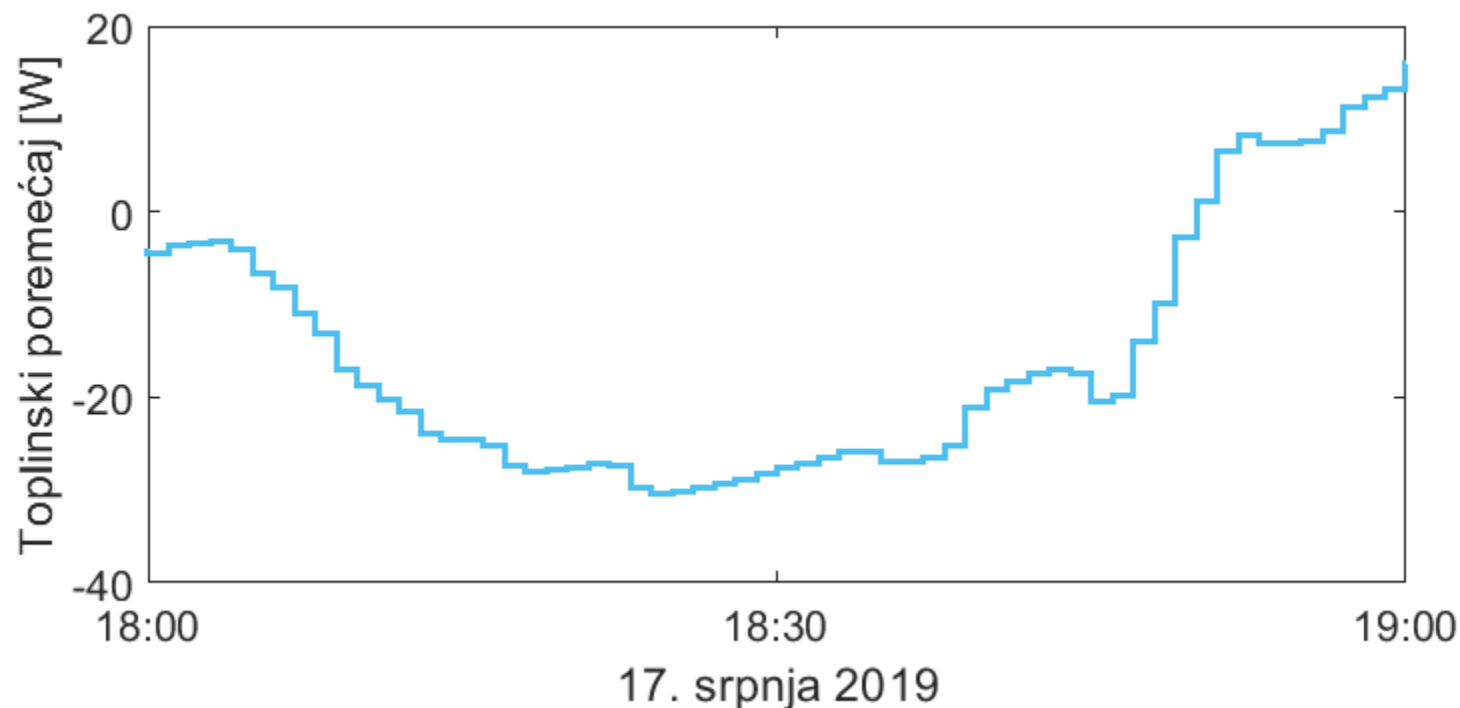


Zone PE 5

(MODUL ZA ESTIMACIJU NEMJERLJIVIH STANJA MODELA ZGRADE I TOPLINSKIH POREMEĆAJA U ZONAMA ZGRADE)

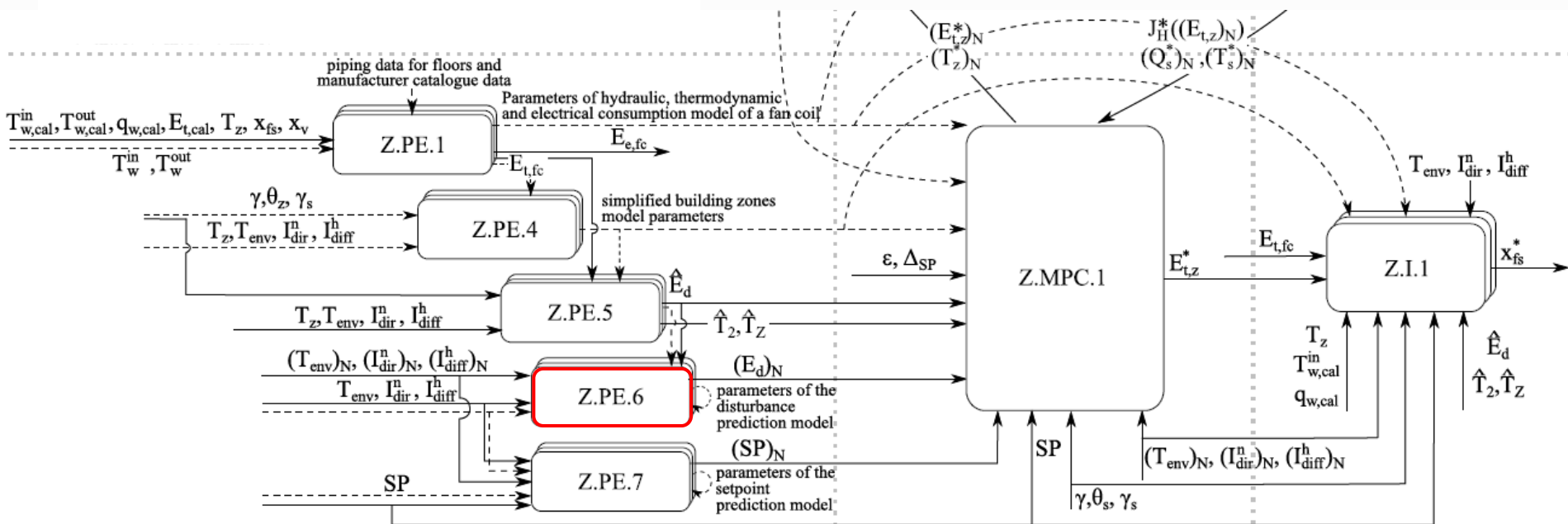
IZKAZ 1: Estimirana trenutna temperatura spore dinamike

IZKAZ 2: Estimirana trenutna vrijednost toplinskog poremećaja



Zone PE 6

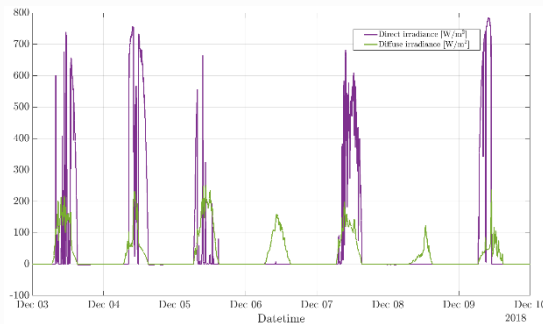
(predviđanje toplinskog poremećaja u zoni)



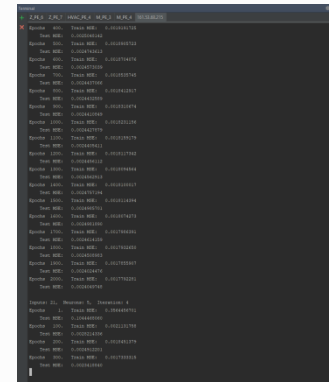
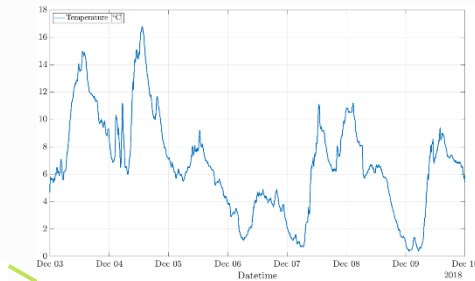
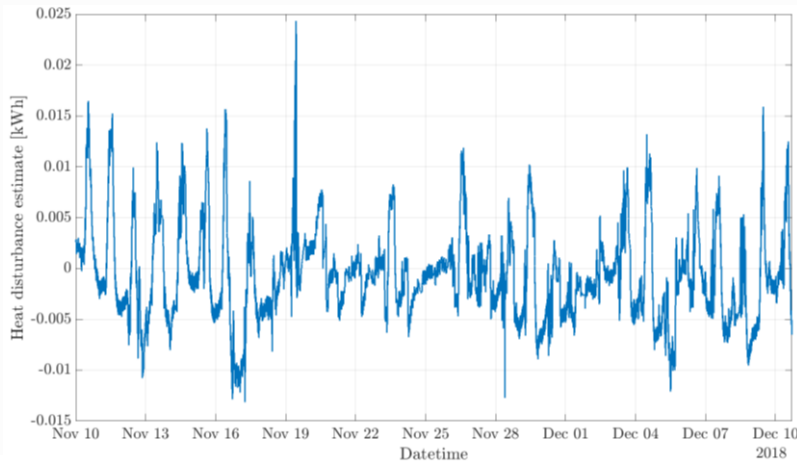
Zone PE 6 – off-line inicijalizacija

Povijesna meteorološka mjerenja:

- Temperatura zraka
- Direktna i difuzna sunčeva dozračenost

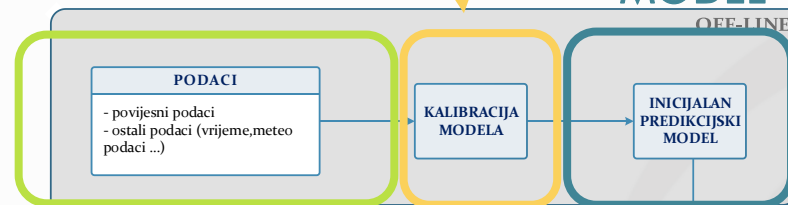


Povijesne vrijednosti estimiranog toplinskog poremećaja (Z.PE.5)

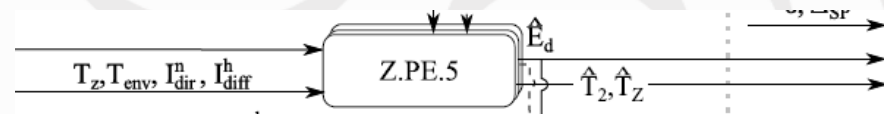
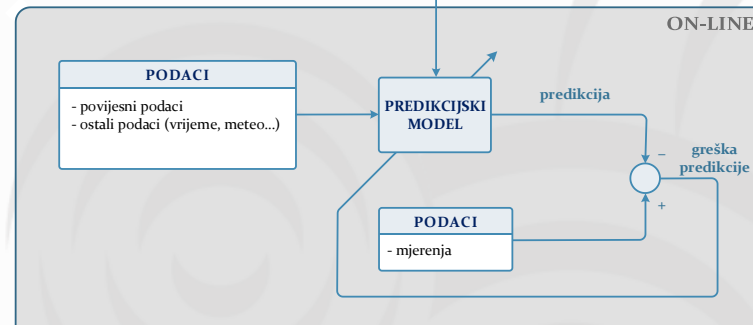


Lokalno pohranjeno:
inputsXY_neuronsZ.net

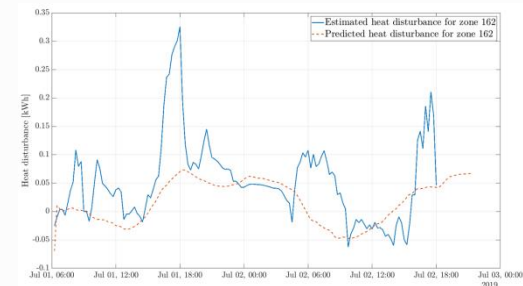
ULAZI MODULA



MODEL



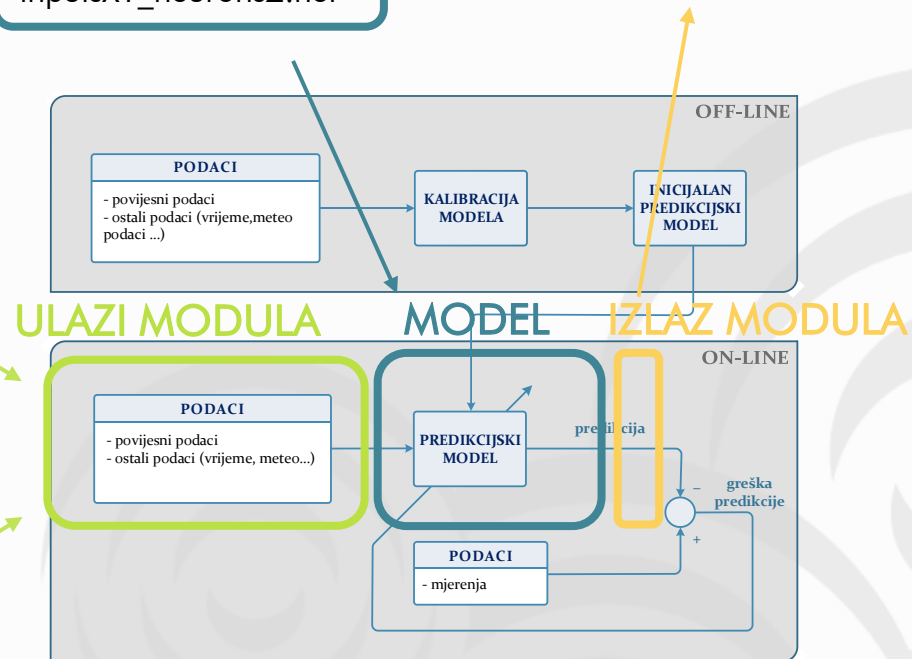
Zone PE 6 – on-line rad



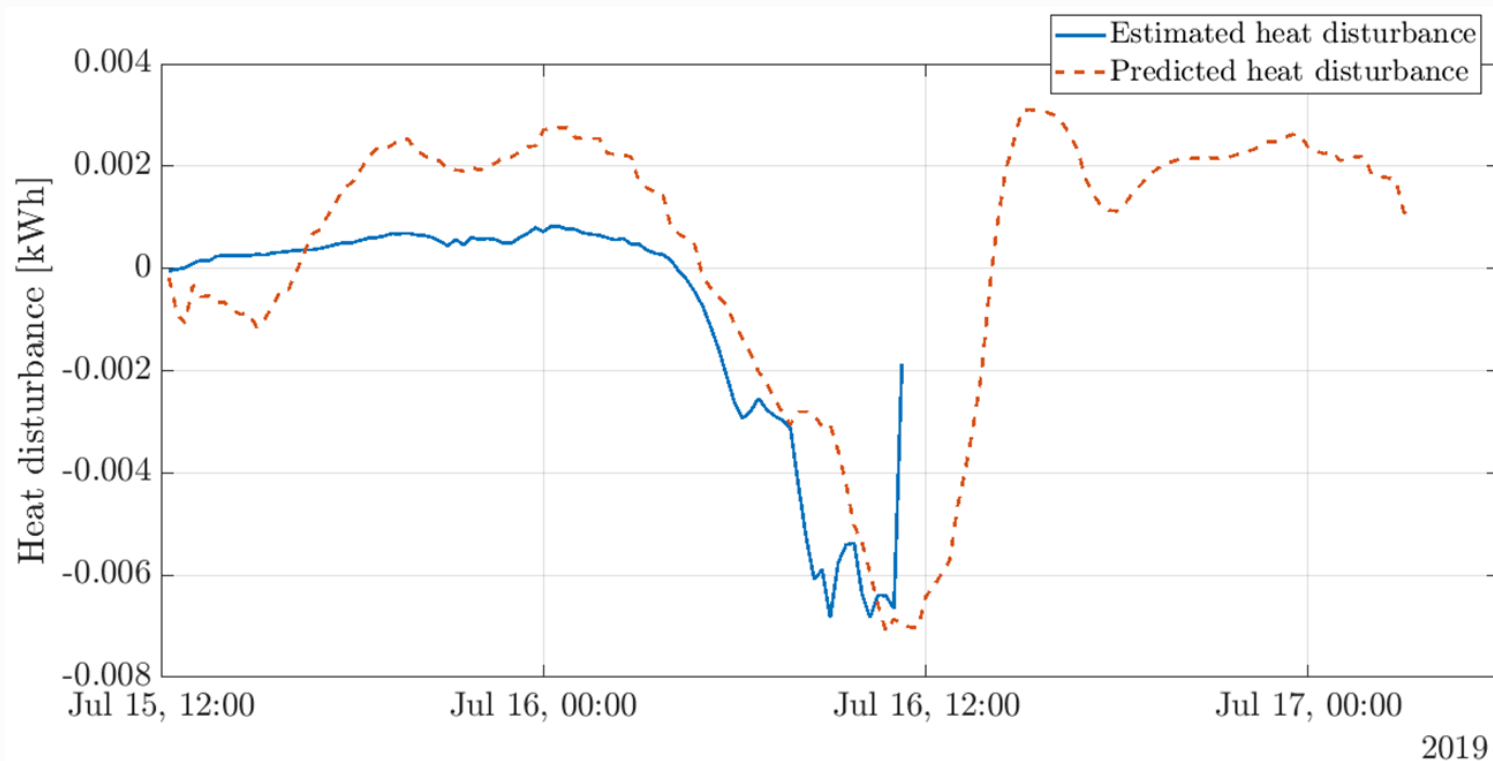
Lokalno pohranjeno:
inputsXY_neuronsZ.net

Regresor sastavljen od specifičnih povijesnih intervala ulaznih podataka:

- toplinski poremećaj($t-1, \dots, t-5$)
- toplinski poremećaj($t-670, \dots, t-674$)
- τ_{s_d} , τ_{c_d}
- τ_{s_w} , τ_{c_w}
- τ_{s_y} , τ_{c_y}
- temperatura zraka($t-1, \dots, t-3$)
- temperatura zraka($t-671, \dots, t-673$)
- direktna dozračenost($t-1, \dots, t-3$)
- direktna dozračenost($t-671, \dots, t-673$)
- difuzna dozračenost($t-1, \dots, t-3$)
- difuzna dozračenost ($t-671, \dots, t-673$)

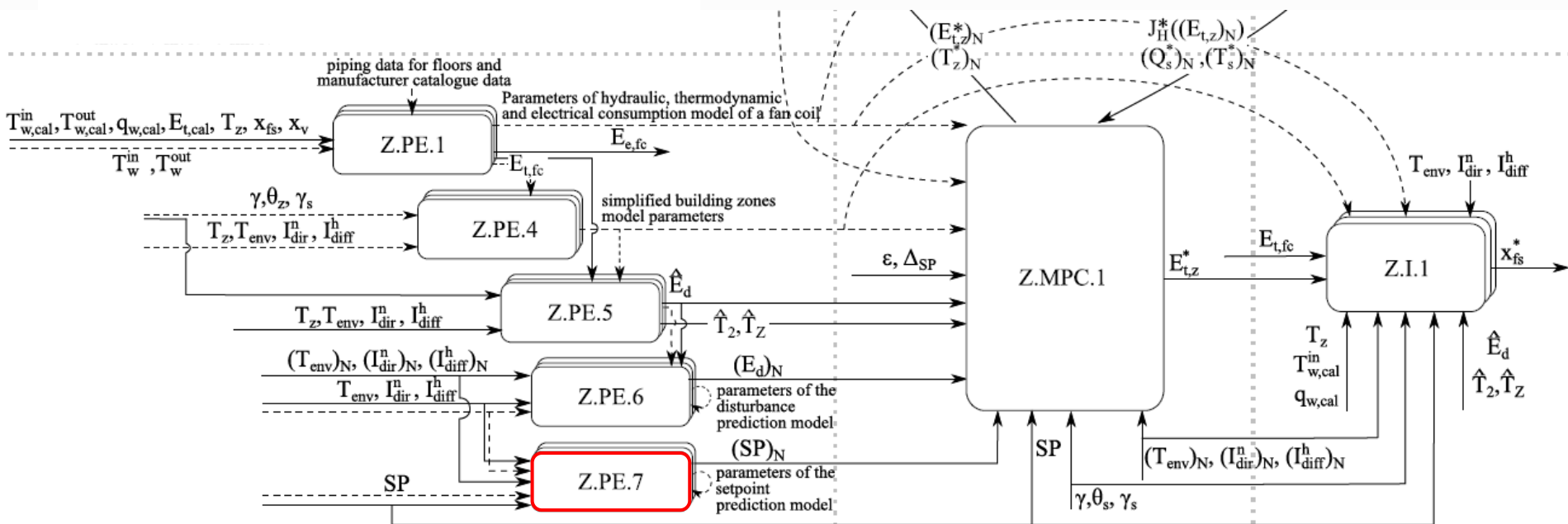


Zone PE 6 – primjer generirane predikcije



Zone PE 7

(predviđanje referentne vrijednosti temperature u zoni)



Zone PE 7 – zadana referentna vrijednost temperature

ULAZI MODULA

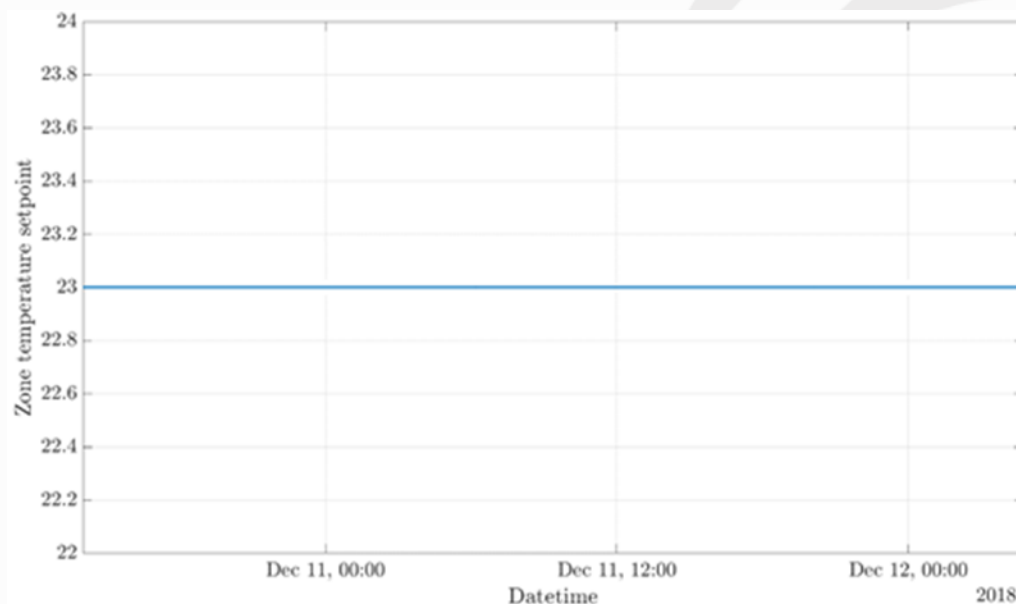
Trenutno zadana referentna vrijednost temperature u zoni

MODUL

Zone PE 7

IZLAZI MODULA

Pretpostavljena ista vrijednost duž predikcijskog horizonta



Zone PE 7 – stand-by/manualni režim rada

ULAZI MODULA

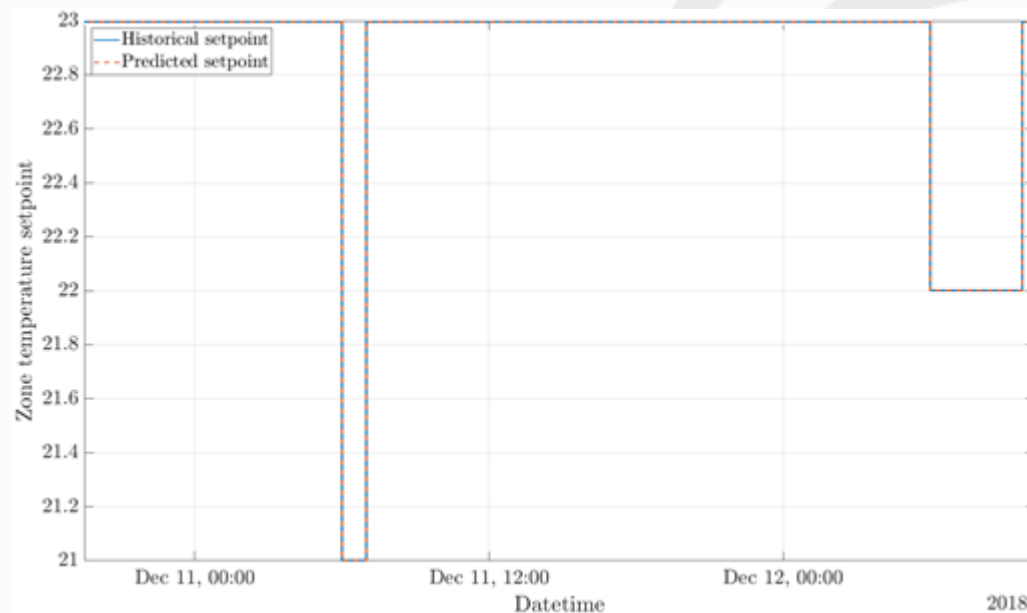
Povijesna referentna vrijednost temperature za isti vremenski interval iz prethodnog tjedna

MODUL

Zone PE 7

IZLAZI MODULA

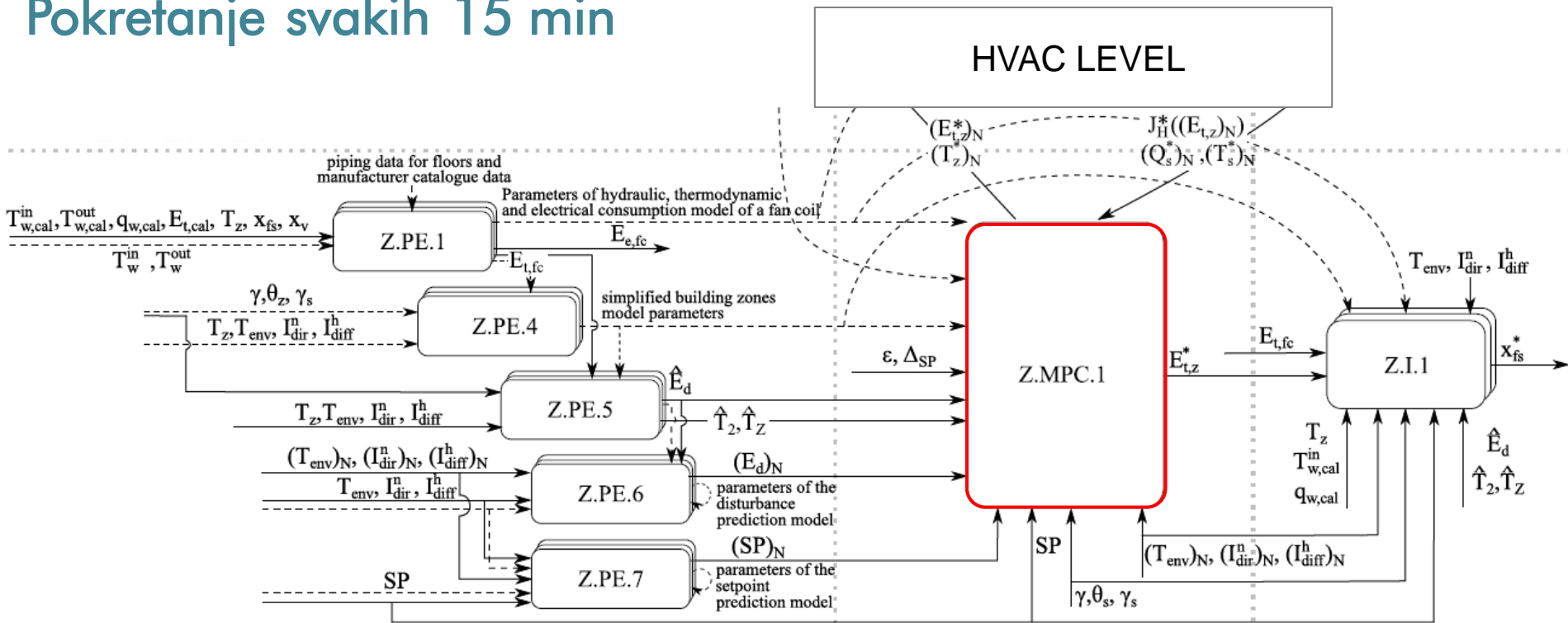
Povijesna referentna vrijednost temperature



Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

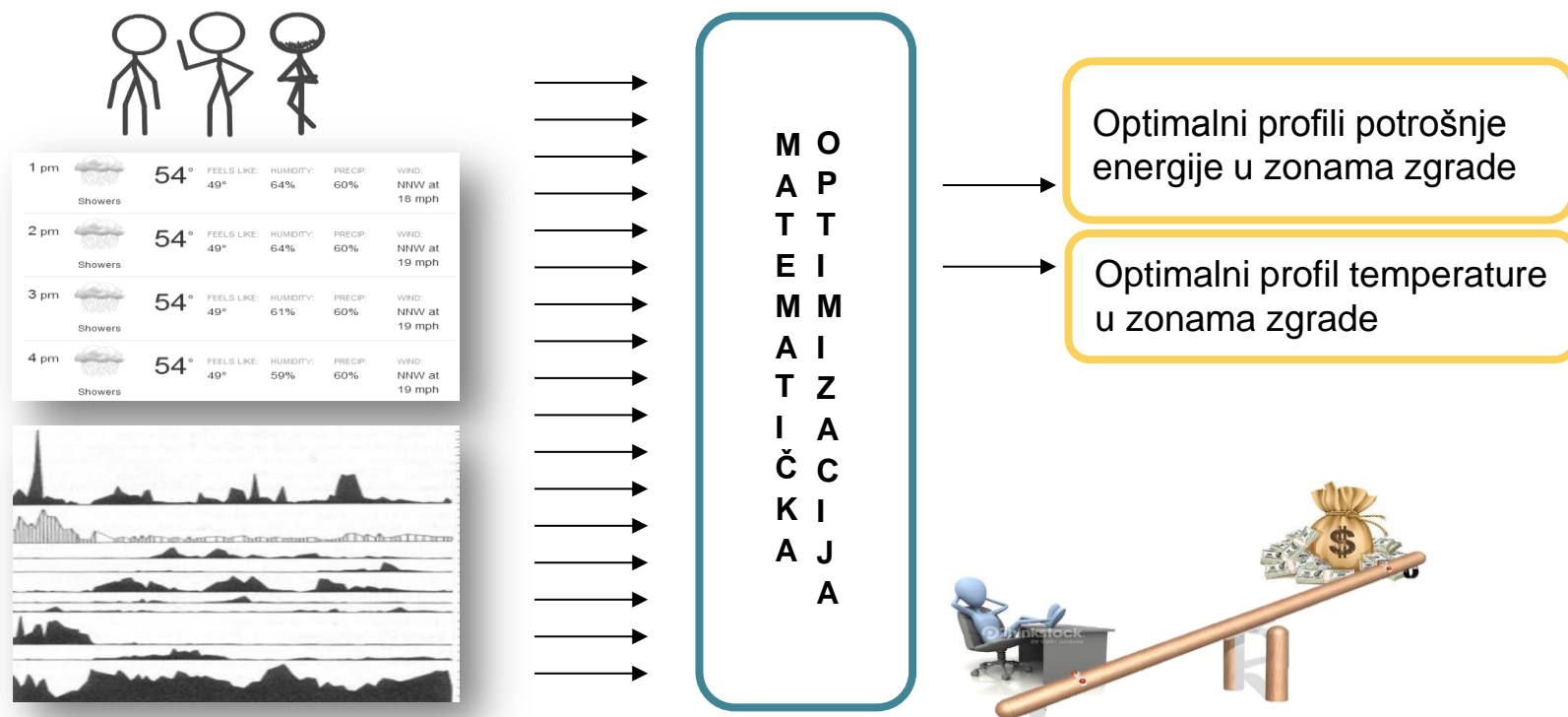
Pokretanje svakih 15 min



Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

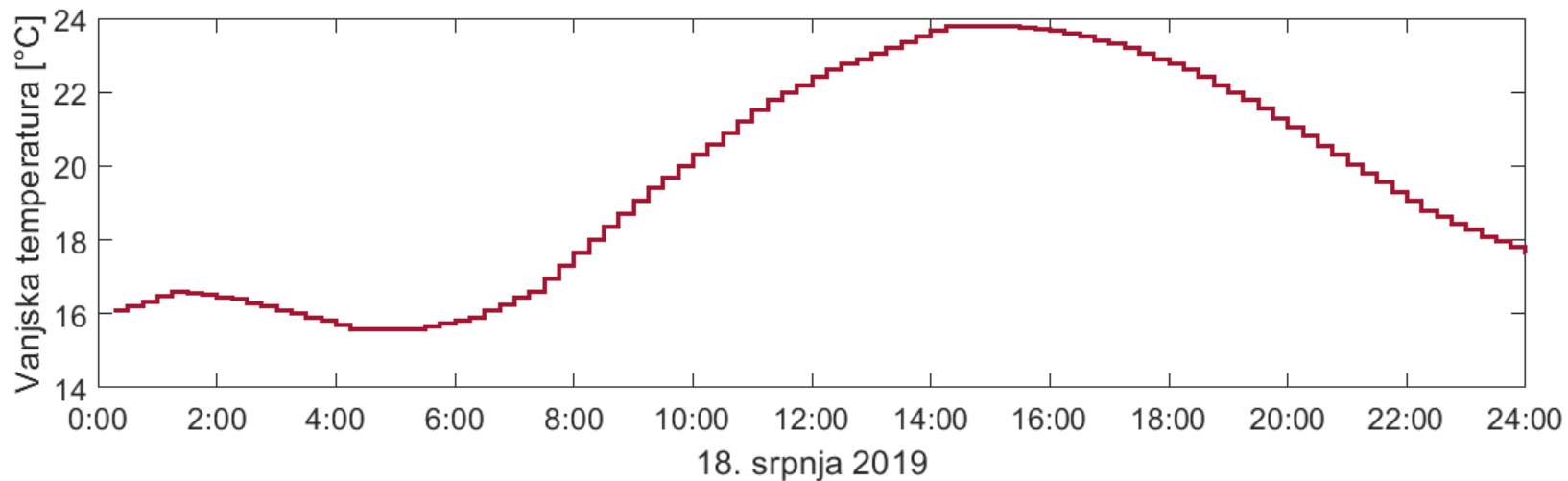
Optimiranje temperature u prostorijama zgrade na horizontu od budućih 12 – 36 h s vremenom uzorkovanja od 15 min



Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

ULAZ 1: Predikcija vanjske temperature 12-36 h unaprijed

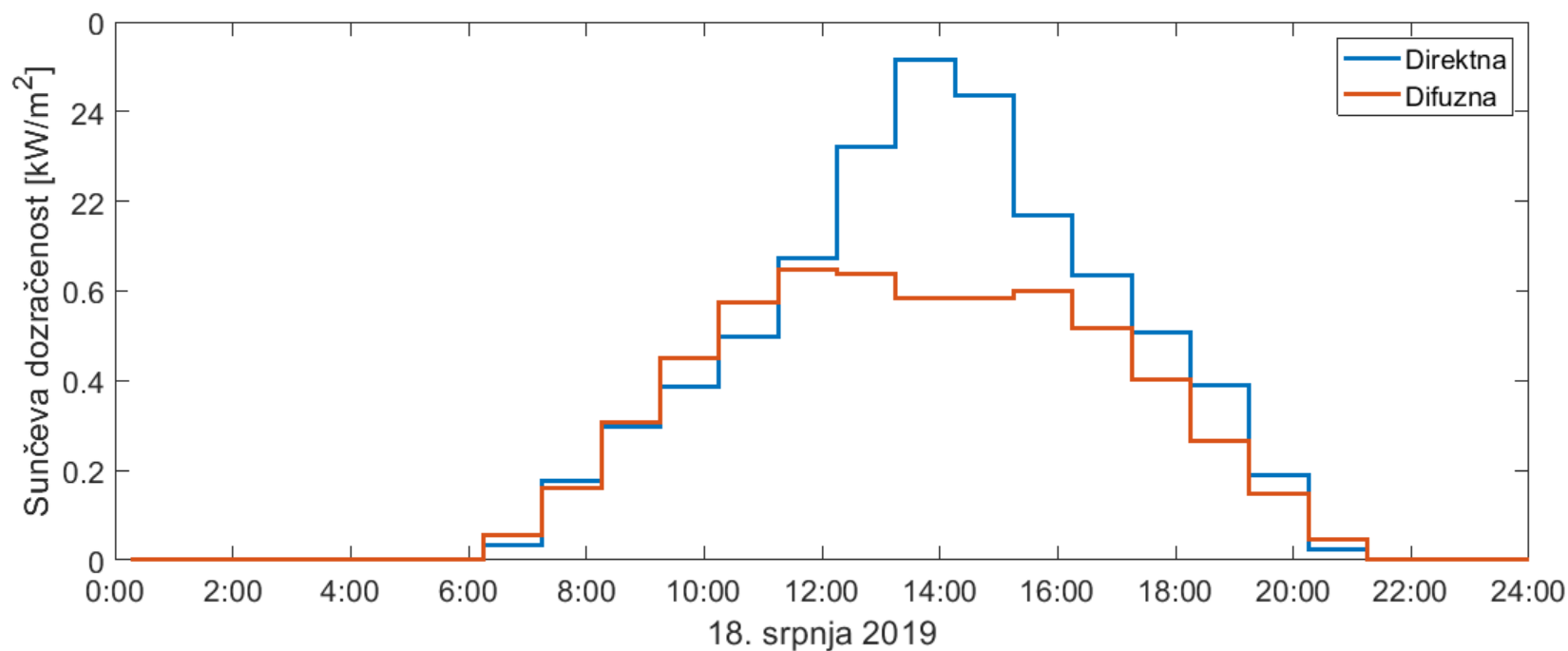


Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

ULAZ 1: Predikcija vanjske temperature 12-36 h unaprijed

ULAZ 2: Predikcija sunčeve dozračenosti (direktna i difuzna) 12-36 h unaprijed



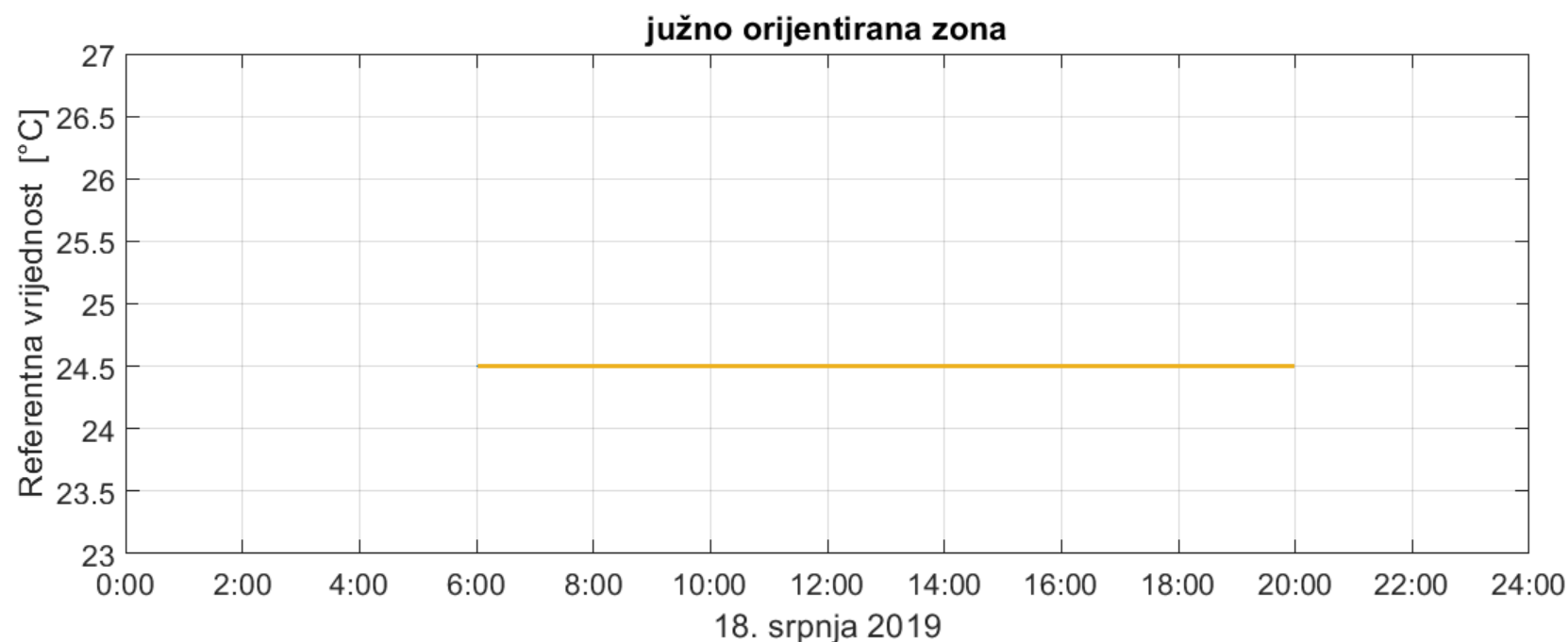
Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

ULAZ 1: Predikcija vanjske temperature 12-36 h unaprijed

ULAZ 2: Predikcija sunčeve dozračenosti (direktna i difuzna) 12-36 h unaprijed

ULAZ 3: Predikcija ponašanja korisnika 12-36 h unaprijed



Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

ULAZ 1: Predikcija vanjske temperature 12-36 h unaprijed

ULAZ 2: Predikcija sunčeve dozračenosti (direktna i difuzna) 12-36 h unaprijed

ULAZ 3: Predikcija ponašanja korisnika 12-36 h unaprijed

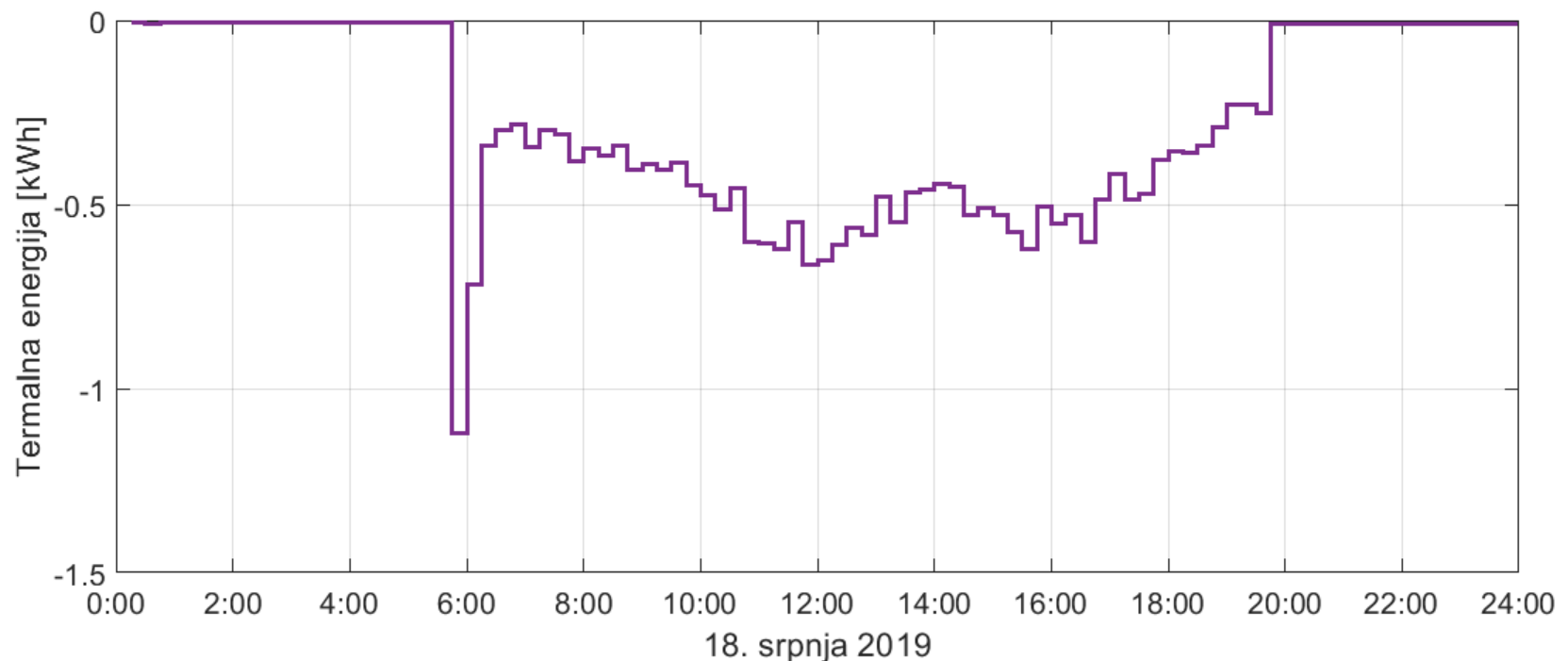
ULAZ 4: Predikcija toplinskog poremećaja 12-36 h unaprijed

OSTALI ULAZI: Cijena toplinske energije, zahtjevi nad komforom, matematički modeli,...

Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

IZLAZ 1: Optimalan profil potrošnje toplinske energije u zgradi 12-36 h unaprijed

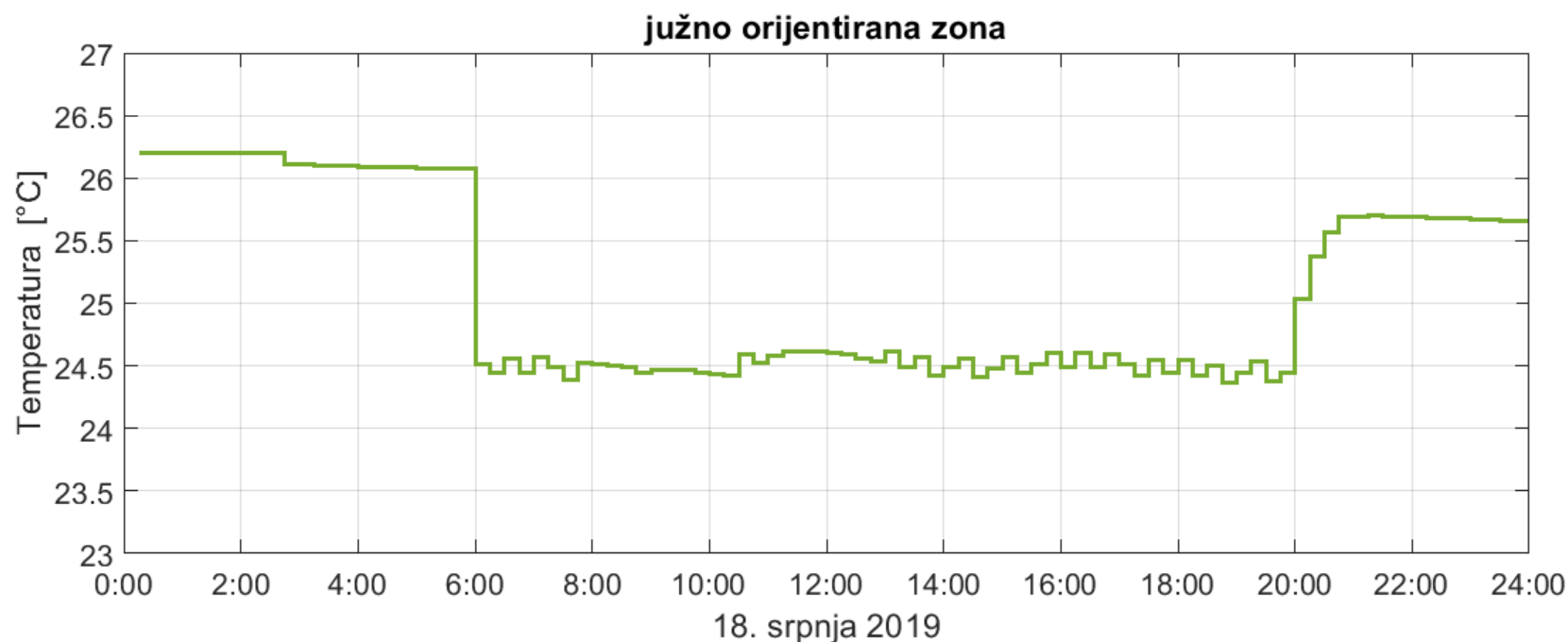


Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

IZLAZ 1: Optimalan profil potrošnje toplinske energije u zgradi 12-36 h unaprijed

IZLAZ 2: Optimalan profil temperature u prostorijama zgrade 12-36 h unaprijed



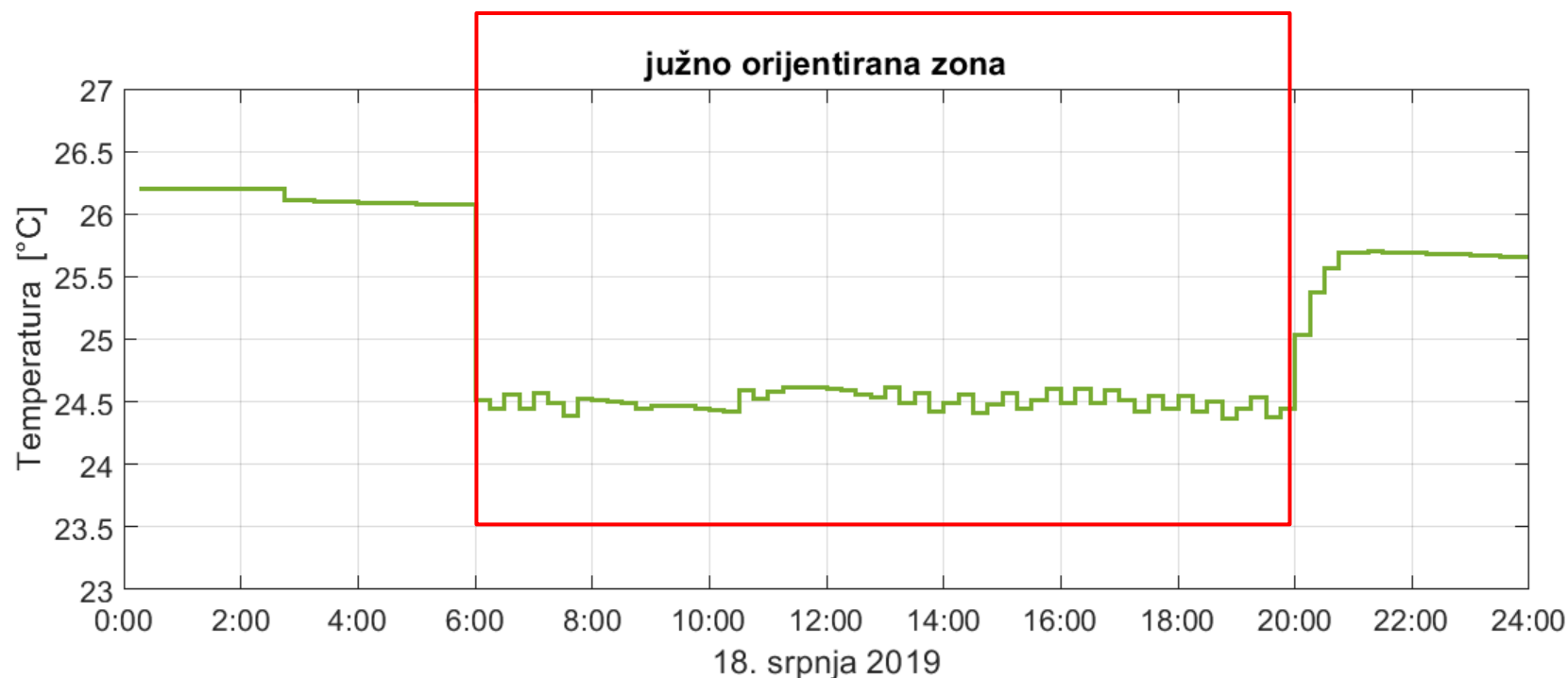
Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

IZLAZ 1: Optimalan profil potrošnje toplinske energije u zgradi 12-36 h unaprijed

IZLAZ 2: Optimalan profil temperature u prostorijama zgrade 12-36 h unaprijed

KOMFOR OSIGURAN



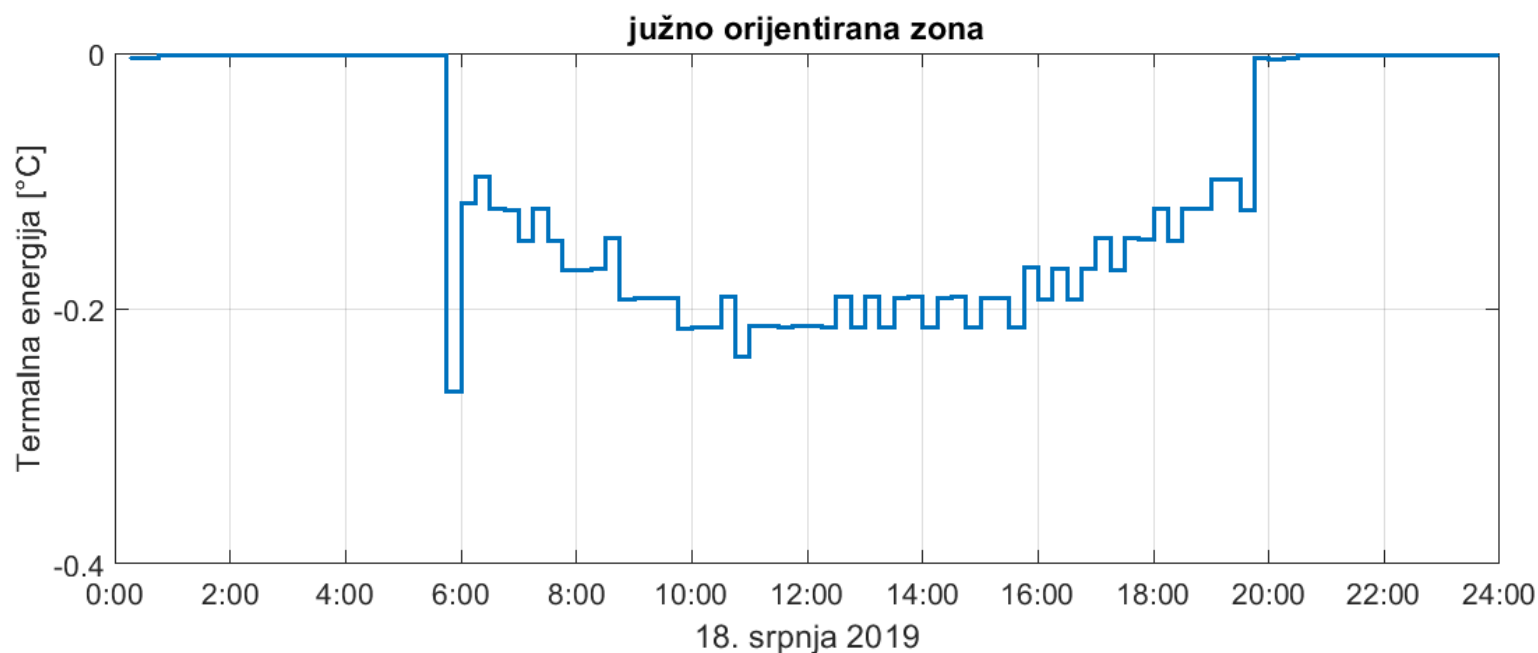
Zone MPC 1

(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

IZLAZ 1: Optimalan profil potrošnje toplinske energije u zgradi 12-36 h unaprijed

IZLAZ 2: Optimalan profil temperature u prostorijama zgrade 12-36 h unaprijed

IZLAZ 3: Optimalan profil potrošnje toplinske energije u prostorijama zgrade 12-36 h unaprijed



Zone MPC 1

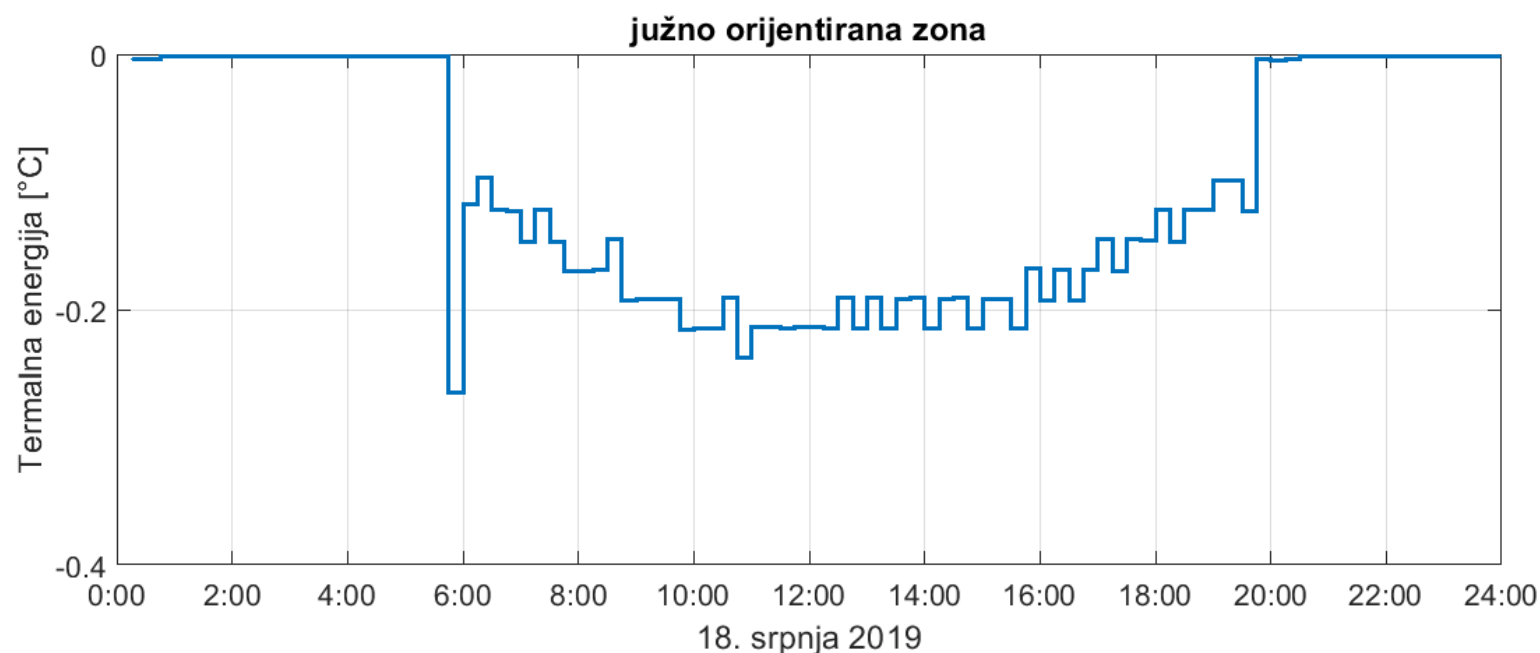
(MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE KOMFOROM U ZONAMA ZGRADE)

IZLAZ 1: Optimalan profil potrošnje toplinske energije u zgradi 12-36 h unaprijed

IZLAZ 2: Optimalan profil temperature u prostorijama zgrade 12-36 h unaprijed

IZLAZ 3: Optimalan profil potrošnje toplinske energije u prostorijama zgrade 12-36 h unaprijed

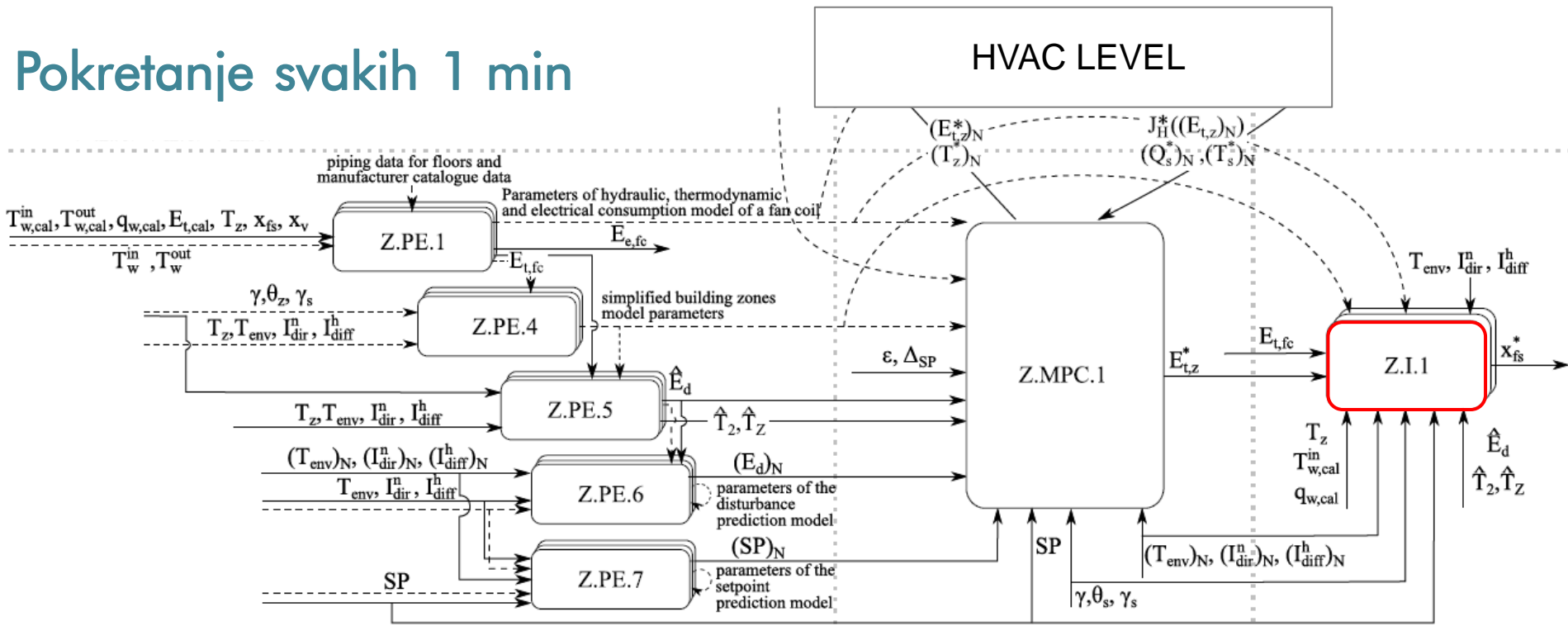
Kako ostvariti zahtijevanu količinu energije ubačenu u zonu zgrade pomoću ventilokonvektora u intervalima od 15 min?



Zone Interface 1

(MODUL ZA UPRAVLJANJE ENERGIJOM VENTILOKONVEKTORA)

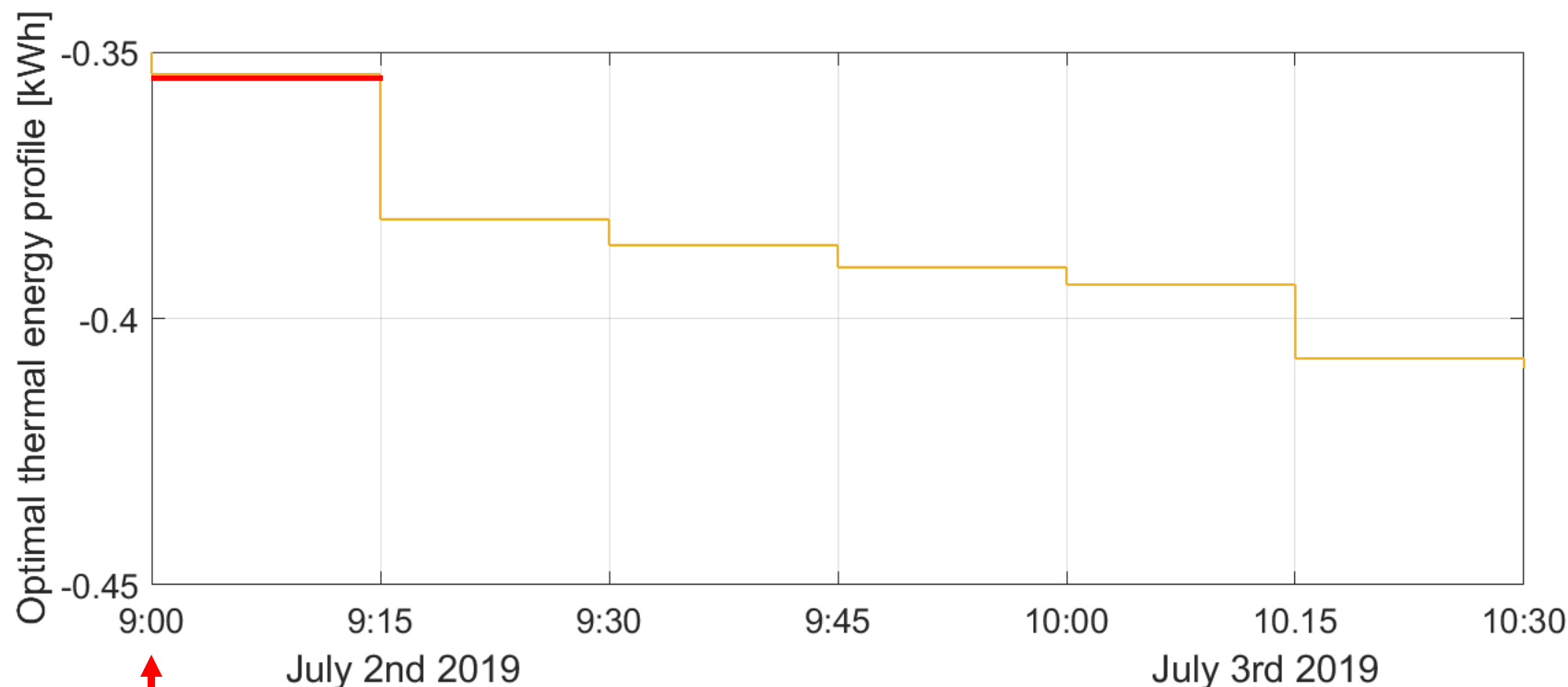
Pokretanje svakih 1 min



Zone Interface 1

(MODUL ZA UPRAVLJANJE ENERGIJOM VENTILOKONVEKTORA)

U LAZI: zahtijevana toplinska energija proračunata pomoću zonskog MPCa u idućih 15 min, trenutno mjerenje temperature i protoka medija za grijanje/hlađenje, trenutna mjerenja iz zona, trenutna mjerenja venskih vremenskih uvjeta, trenutno estimirani toplinski poremećaj, ...



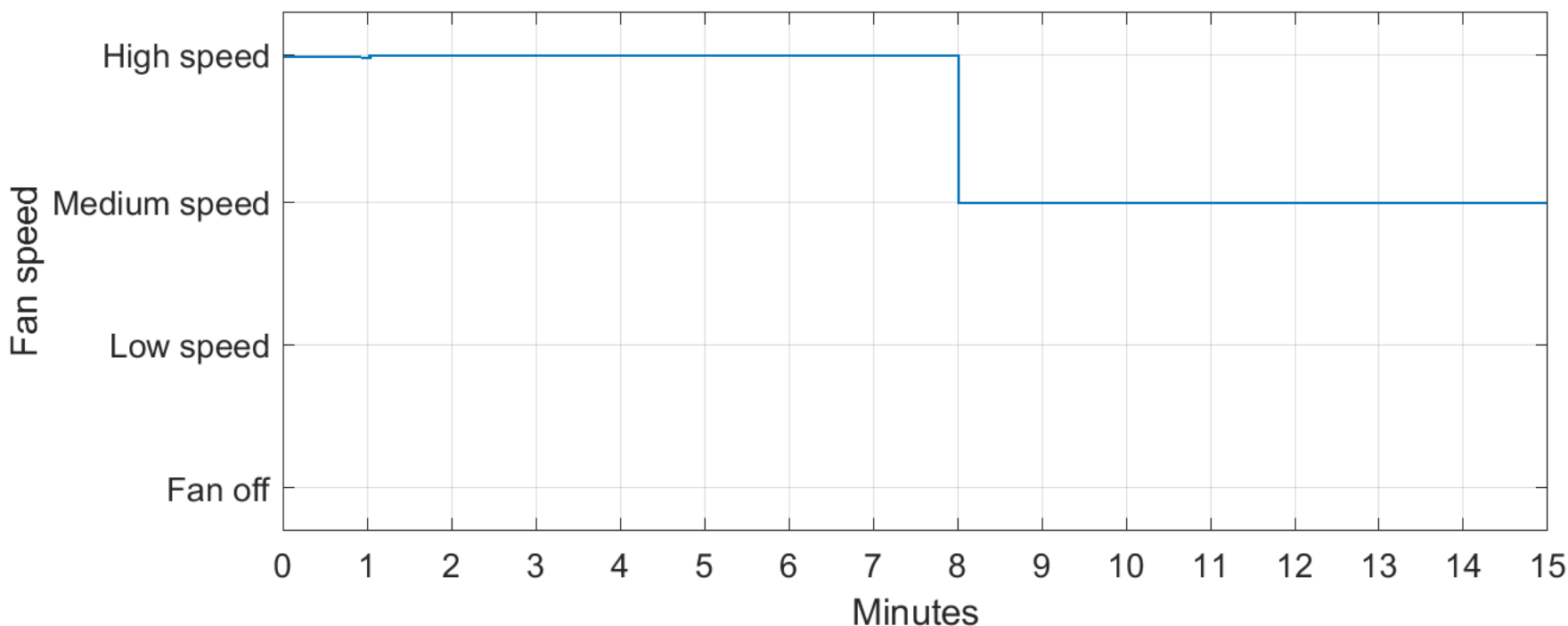
SADAŠNJI TRENUTAK

Zone Interface 1

(MODUL ZA UPRAVLJANJE ENERGIJOM VENTILOKONVEKTORA)

IZLAZ

OPTIMALAN PROFIL RADA VENTILOKONVEKTORA TIJEKOM IDUĆIH 15 min

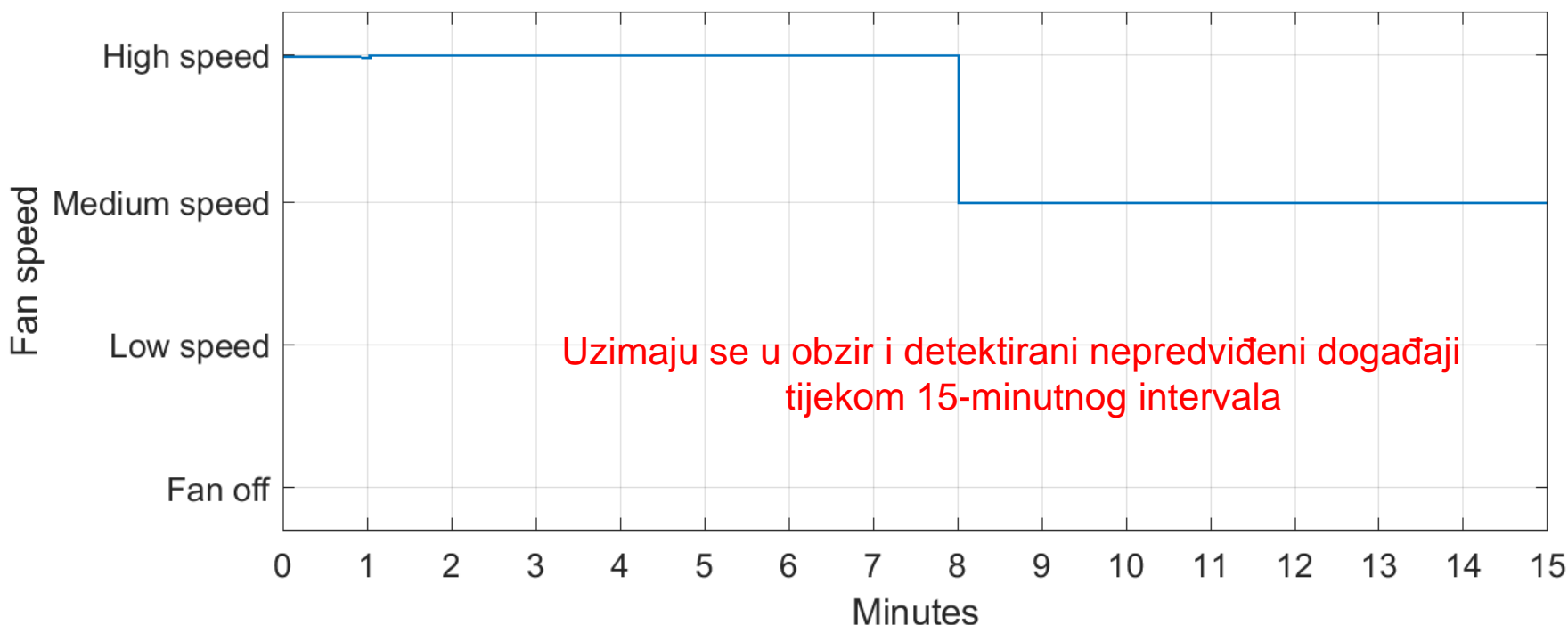


Zone Interface 1

(MODUL ZA UPRAVLJANJE ENERGIJOM VENTILOKONVEKTORA)

IZLAZ

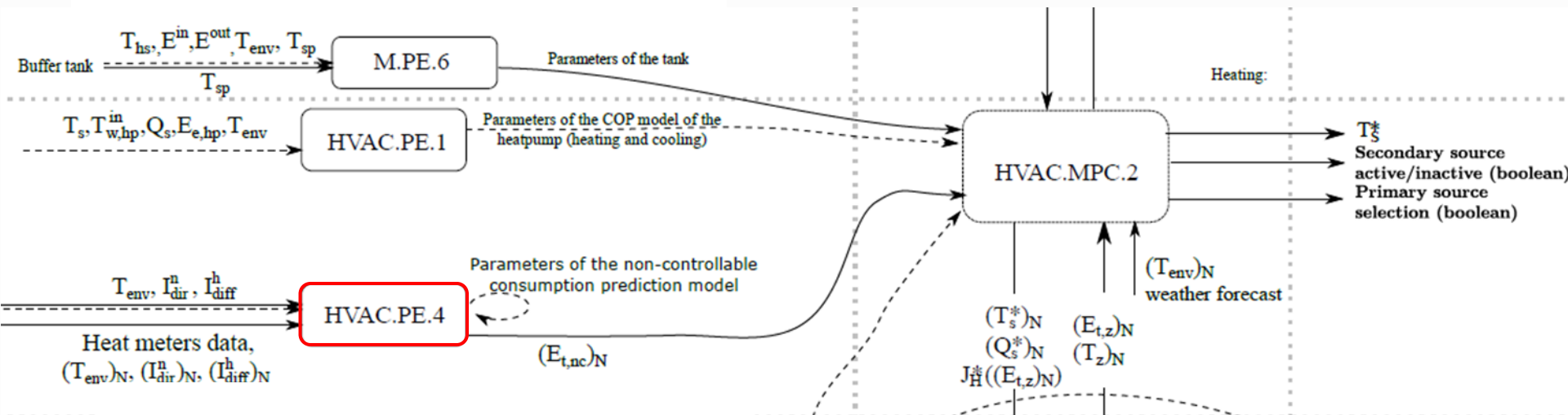
OPTIMALAN PROFIL RADA VENTILOKONVEKTORA TIJEKOM IDUĆIH 15 min



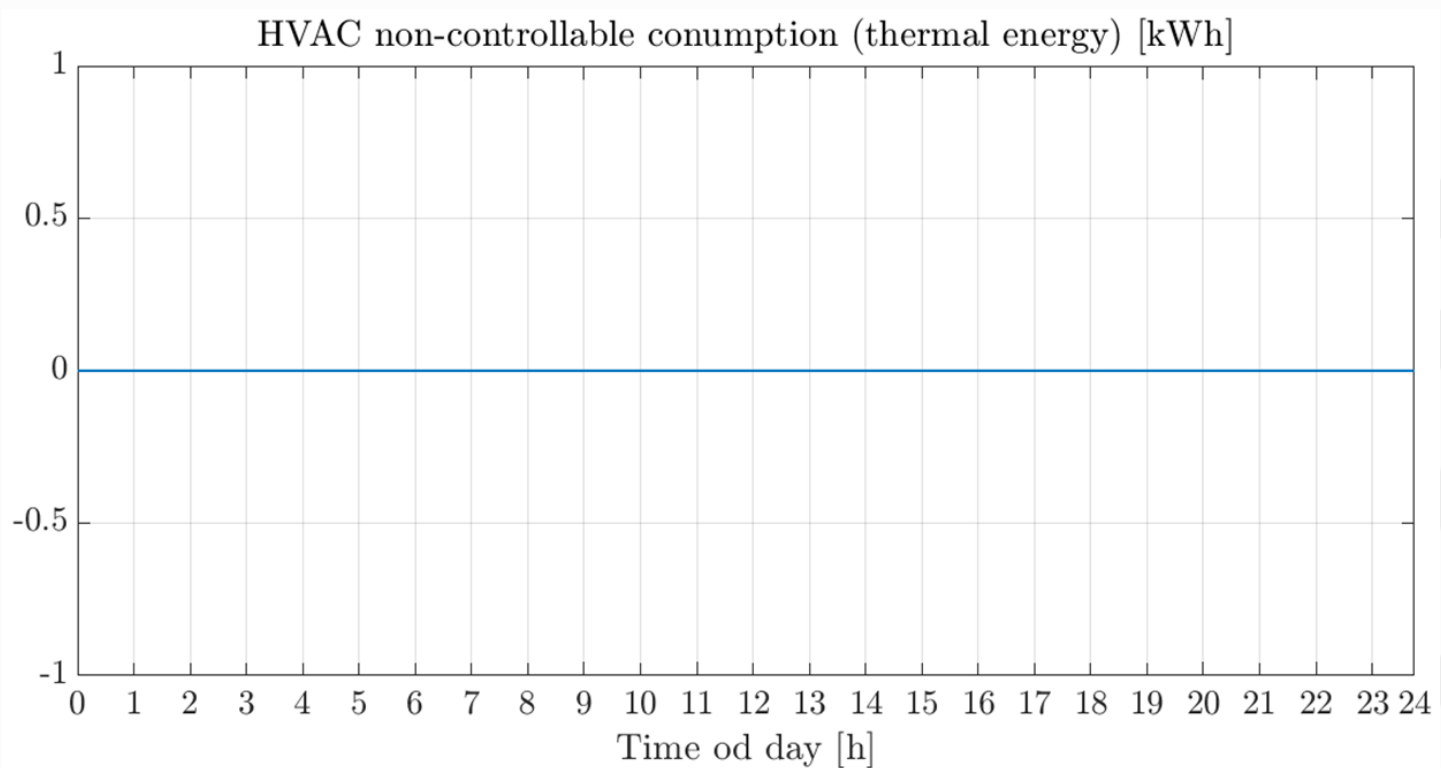
HVAC razina

HVAC PE 4

(predviđanje neupravljive potrošnje toplinske energije na HVAC razini)



HVAC PE 4 – ne koristi se za period hlađenja



M PE 6

(estimacija parametara matematičkog modela spremnika rashladnog medija)

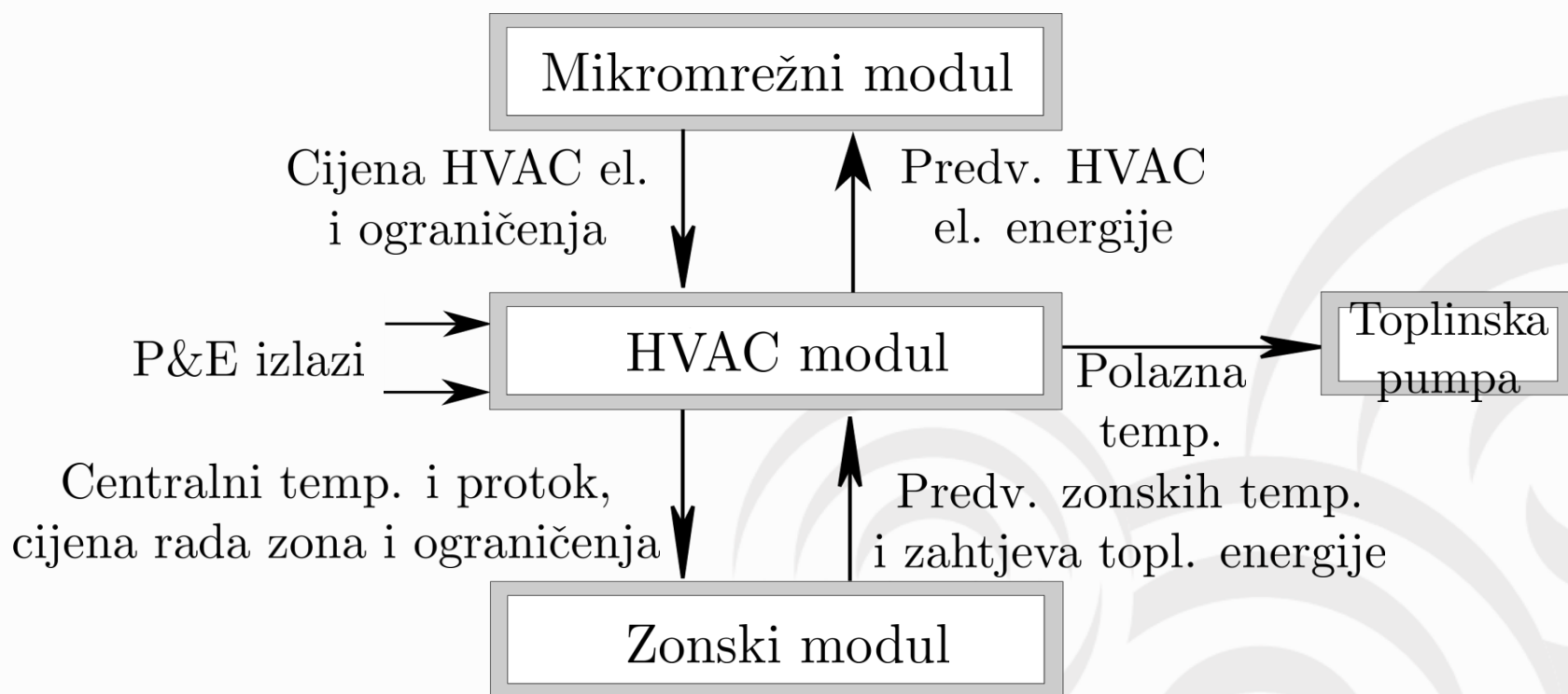
Ulazi

- Temperatura polaznog medija
- Temperatura okoline
- Izmjerena ulazna energija
- Izmjerena izlazna energija

Izlazi

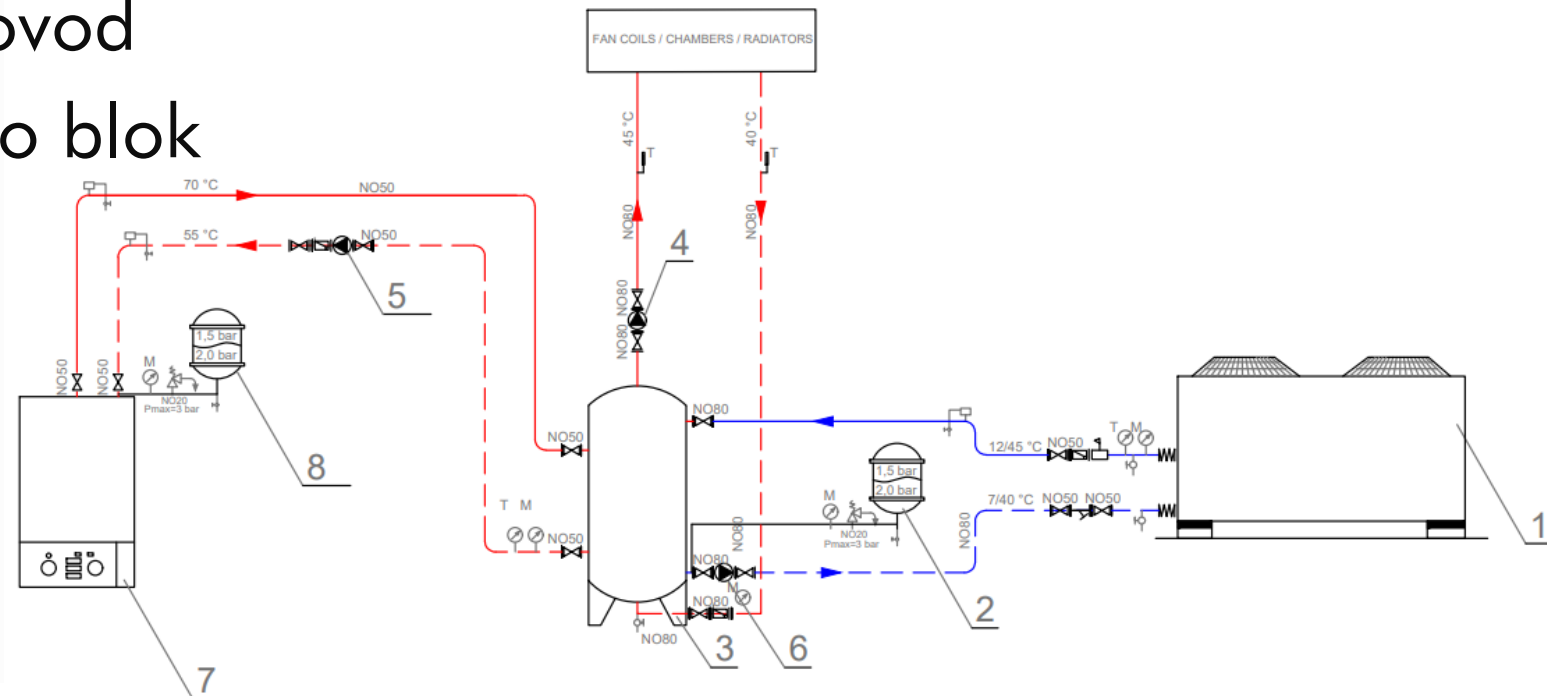
- Parametri matematičkog modela spremnika

HVAC MPC unutar modularne strukture



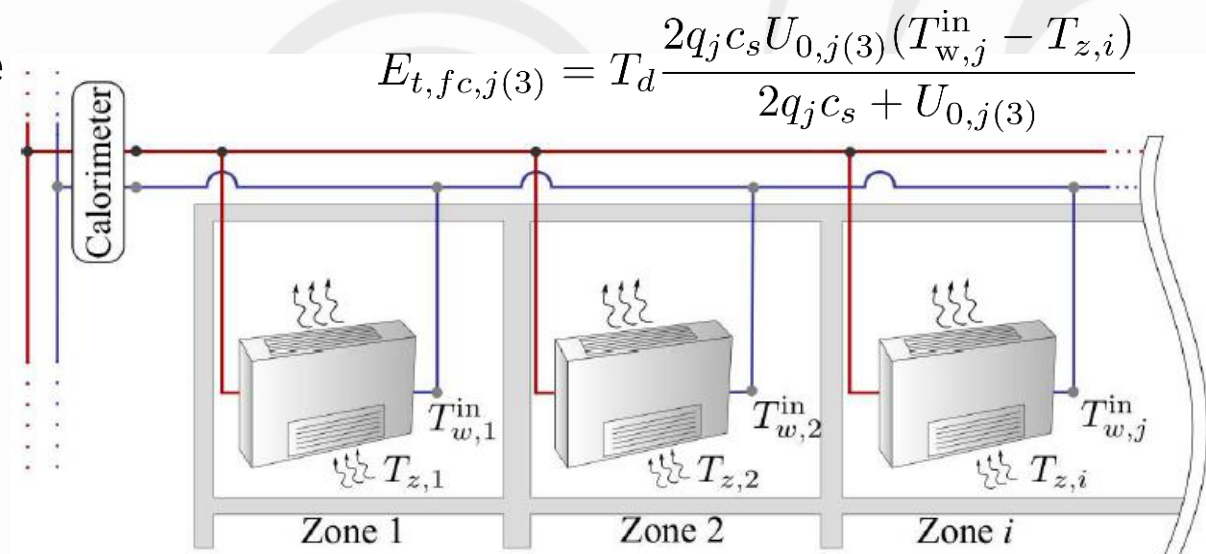
Konceptualna shema HVAC sustava na FER-u

- Upravljive zone + neupravljivi teret
- Spremnik topline
- Toplinska pumpa
- Cjevovod
- Termo blok



Podmodeli HVAC sustava

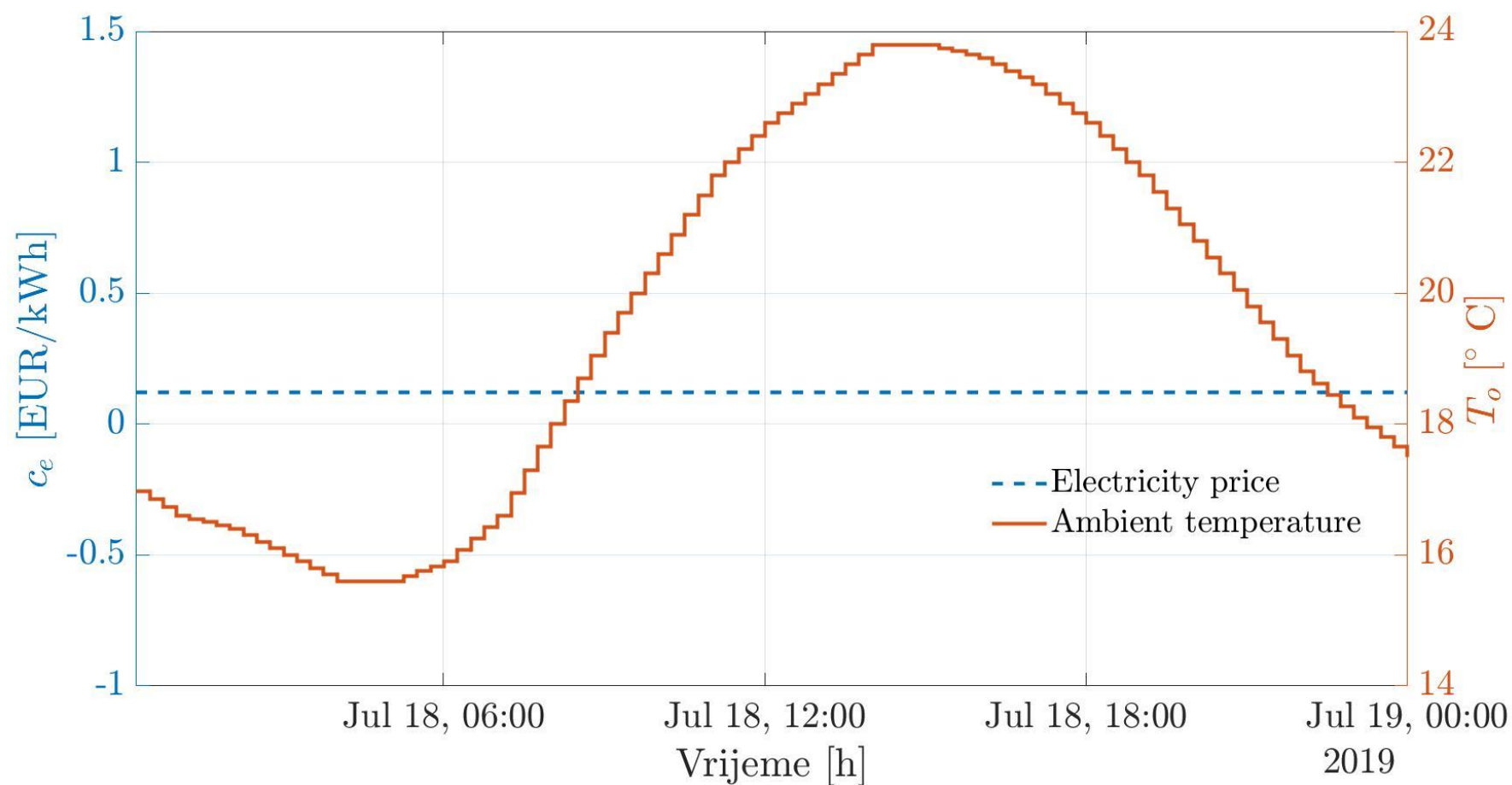
- COP model rashladnika, $COP(T_o, P_t)$
- Zone
- Ventilokonvektori (VK)
- Protoci po VK
- Model temp. medija na VK
- Neupravljivi teret
- Spremnik topline



Online HVAC MPC scenarij

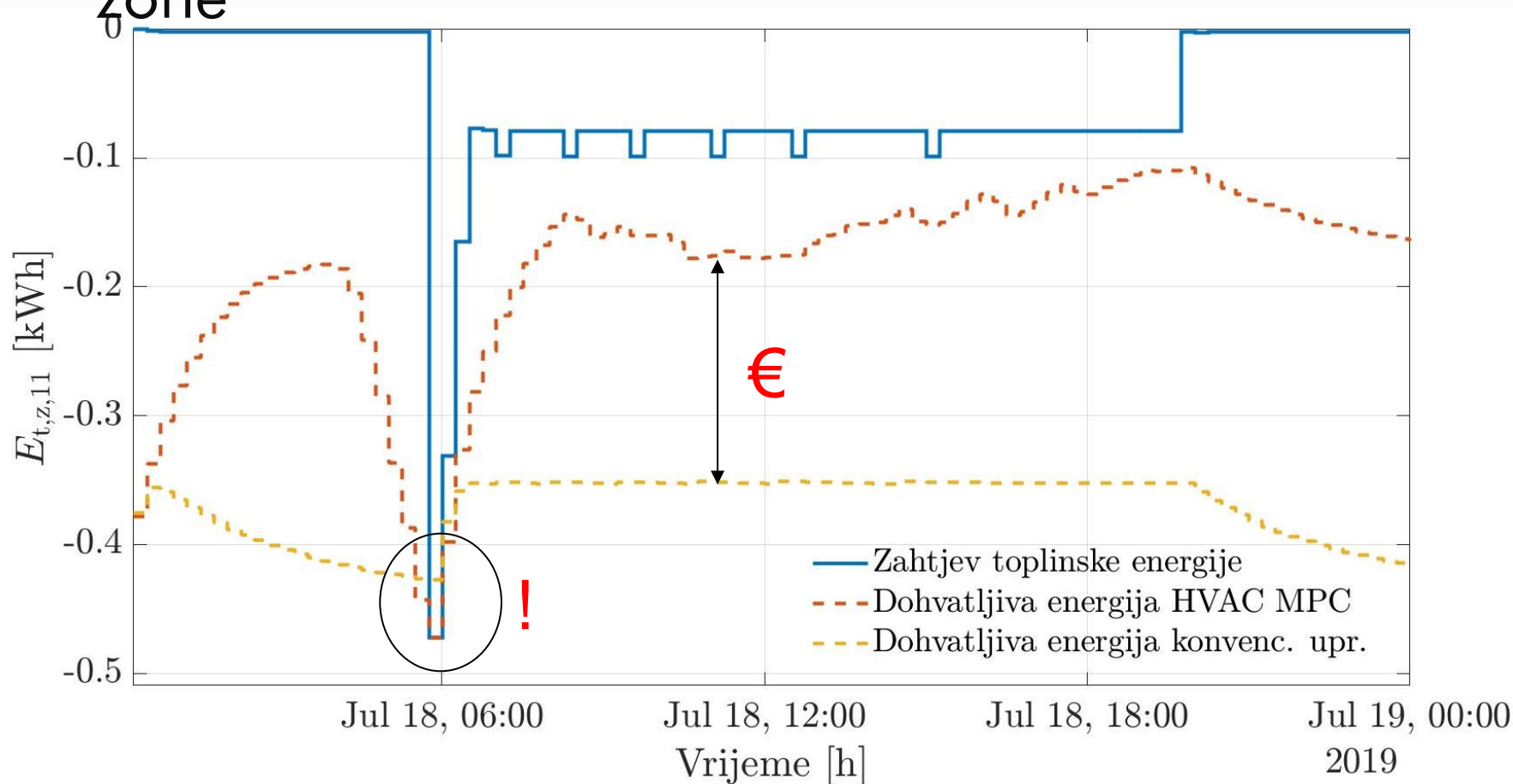
- Razmatrani period: 18. srpanj 2019.
- Usporedba s konvencionalnim regulatorom – fiksna polazna temp.

HVAC MPC – rezultati online modula (1)



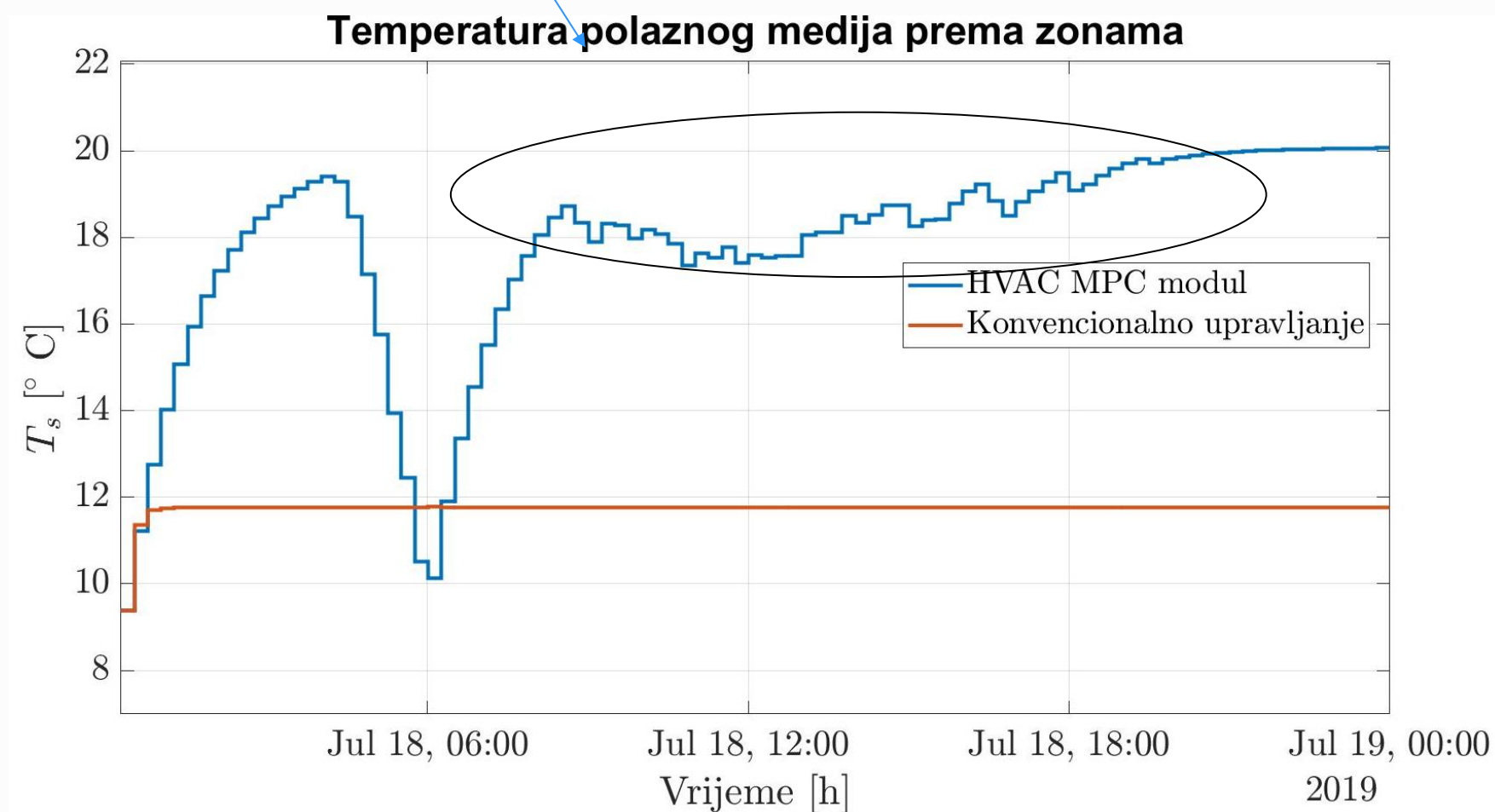
HVAC MPC – rezultati online modula (2)

- Dohvatljiva toplinska energija MPCa prati zahtjeve zone



HVAC MPC – rezultati online modula (3)

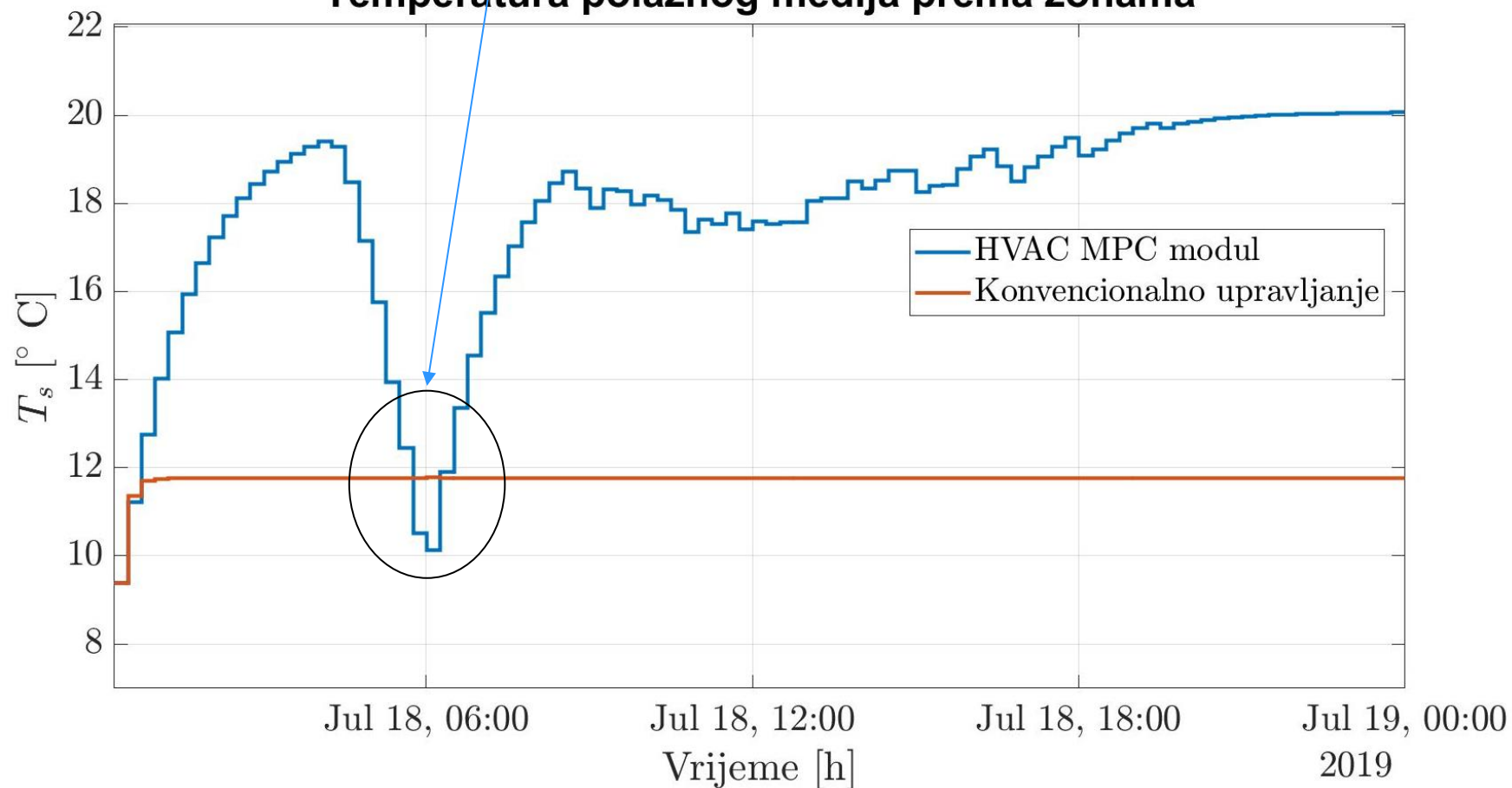
- Porast polazne temp. → umanjeno toplinsko opterećenje



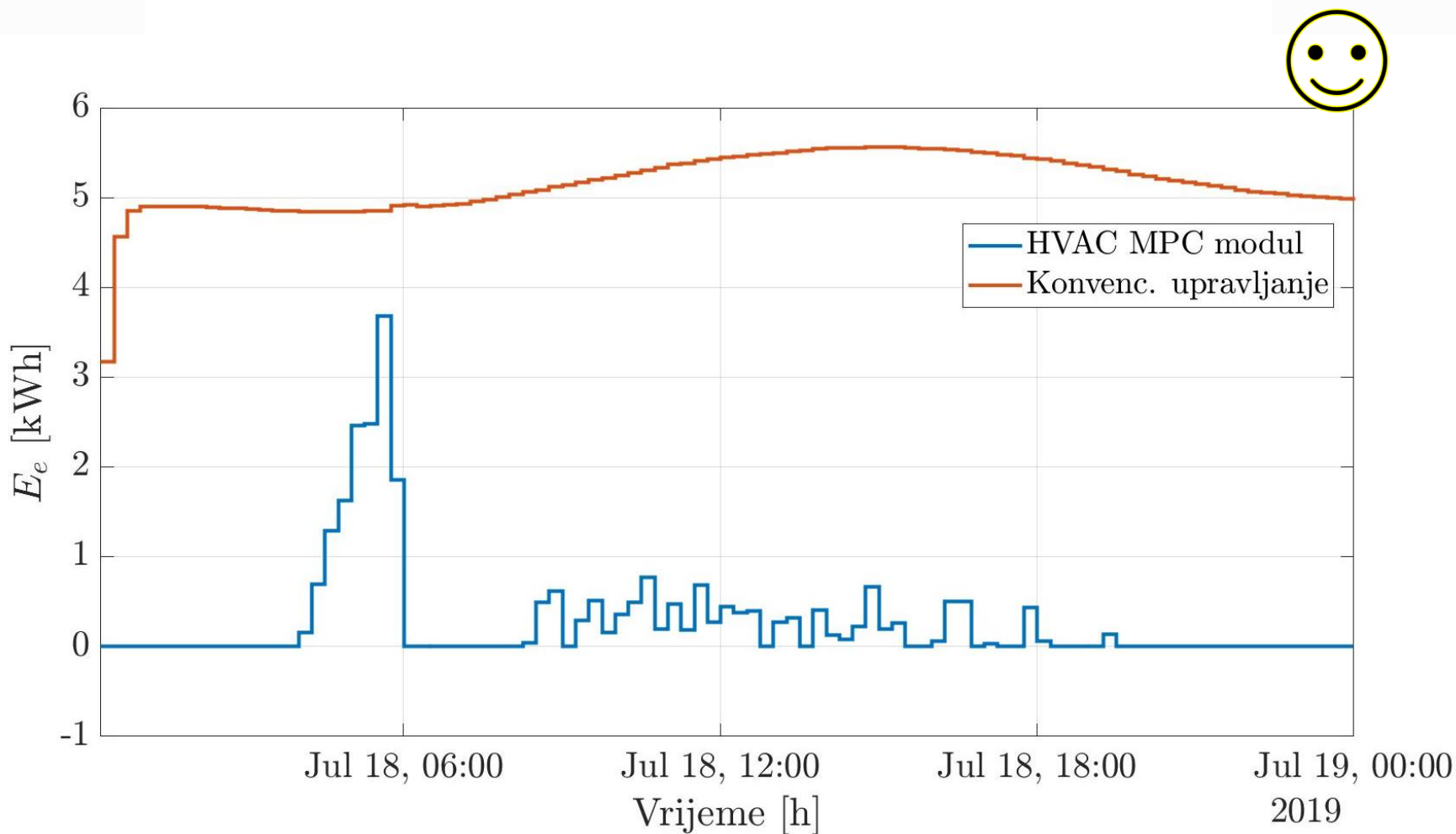
HVAC MPC – rezultati online modula (3)

- Pad polazne temp. → povećano toplinsko opterećenje

Temperatura polaznog medija prema zonama



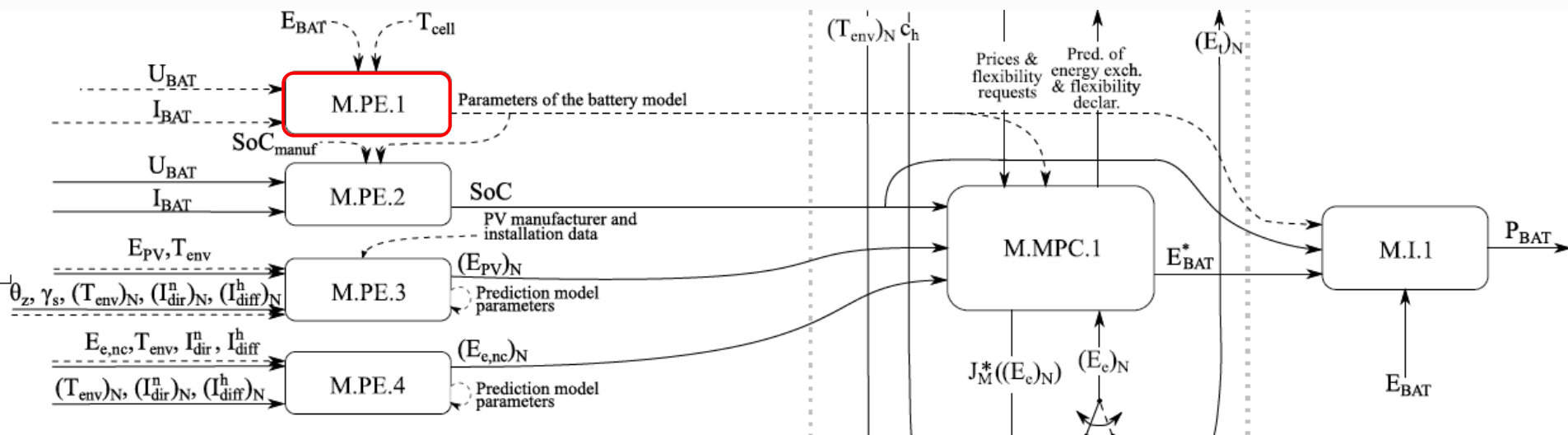
HVAC MPC – rezultati online modula (4)



Razina mikromreže

M PE 1

(estimacija matematičkog modela baterijskog sustava)



Ulazi

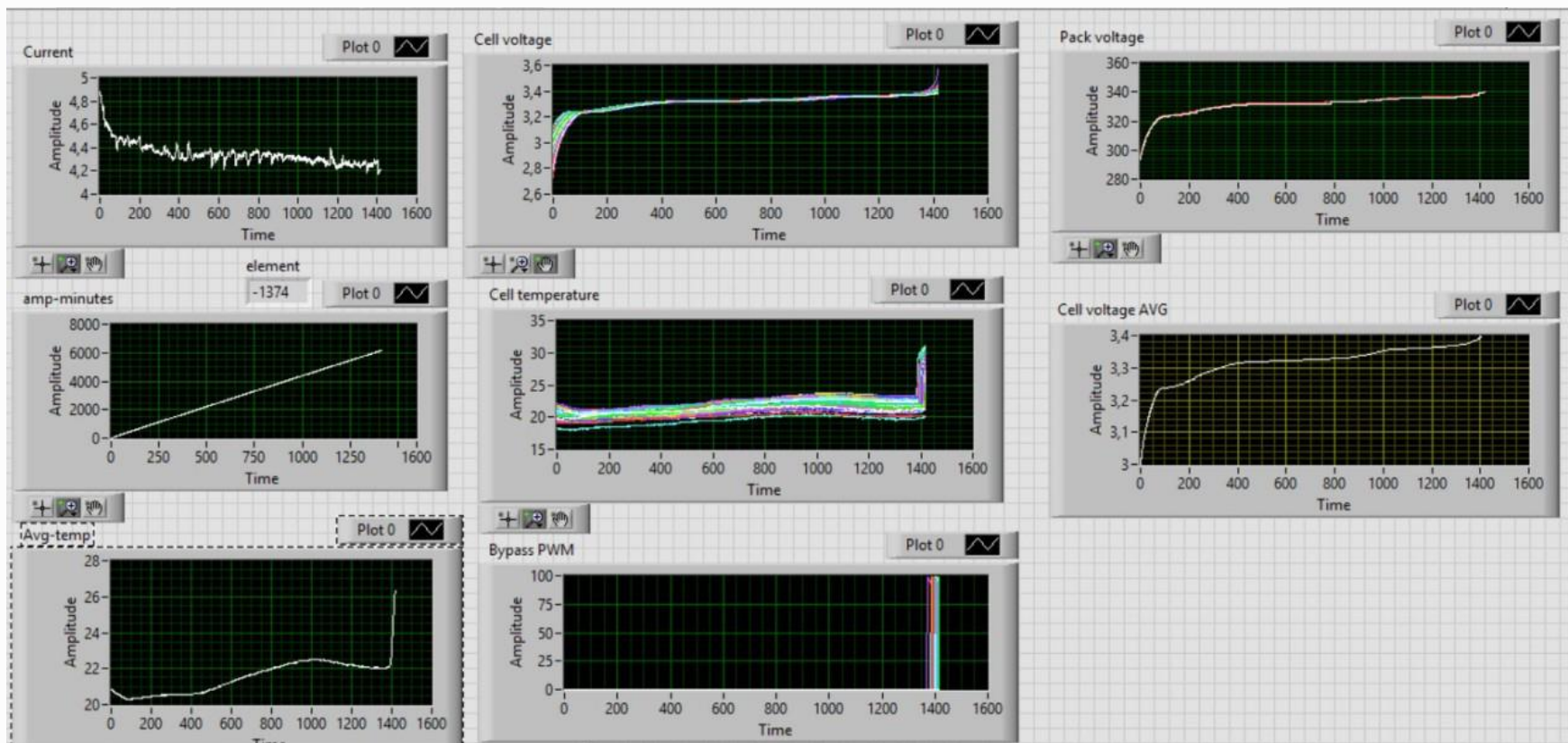
- Mjerenja s baterijskog sustava: naponi i struje na AC i DC strani, temperatura ćelija

Izlazi

- Kapacitet baterije
- Efikasnost bat. sustava

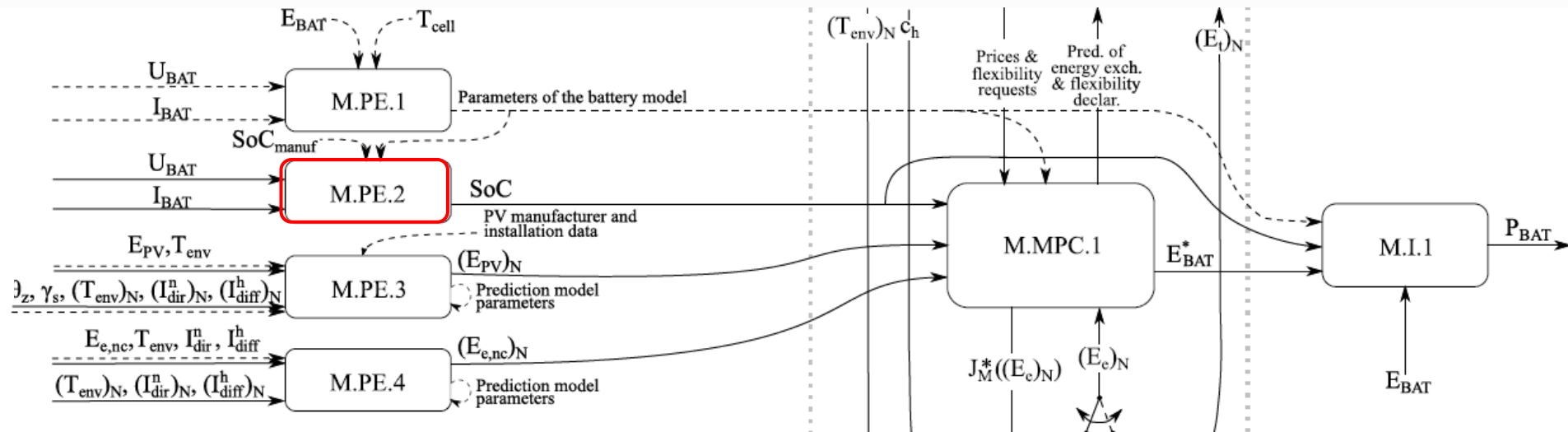
M PE 1

- Provedeni identifikacijski eksperimenti
- Moguća i analiza povijesnih podataka iz redovitog rada sustava → praćenje stanja sustava



M PE 2

(estimacija stanja napunjenosti baterije)



Ulazi

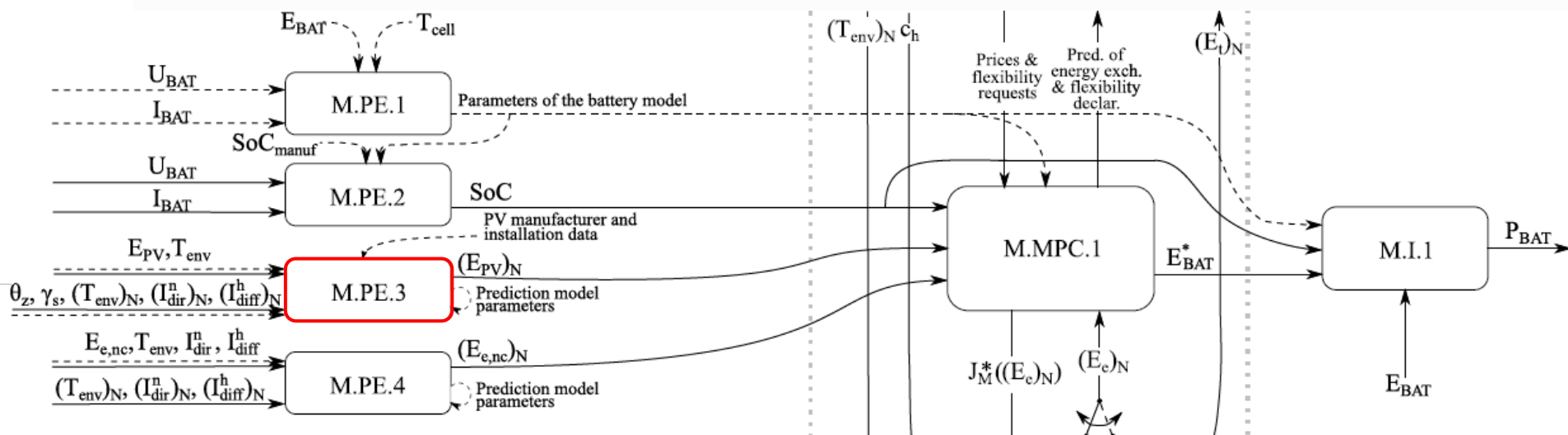
- Mjerenja s baterijskog sustava: naponi i struje na AC i DC strani
- Parametri mat. modela baterije

Izlazi

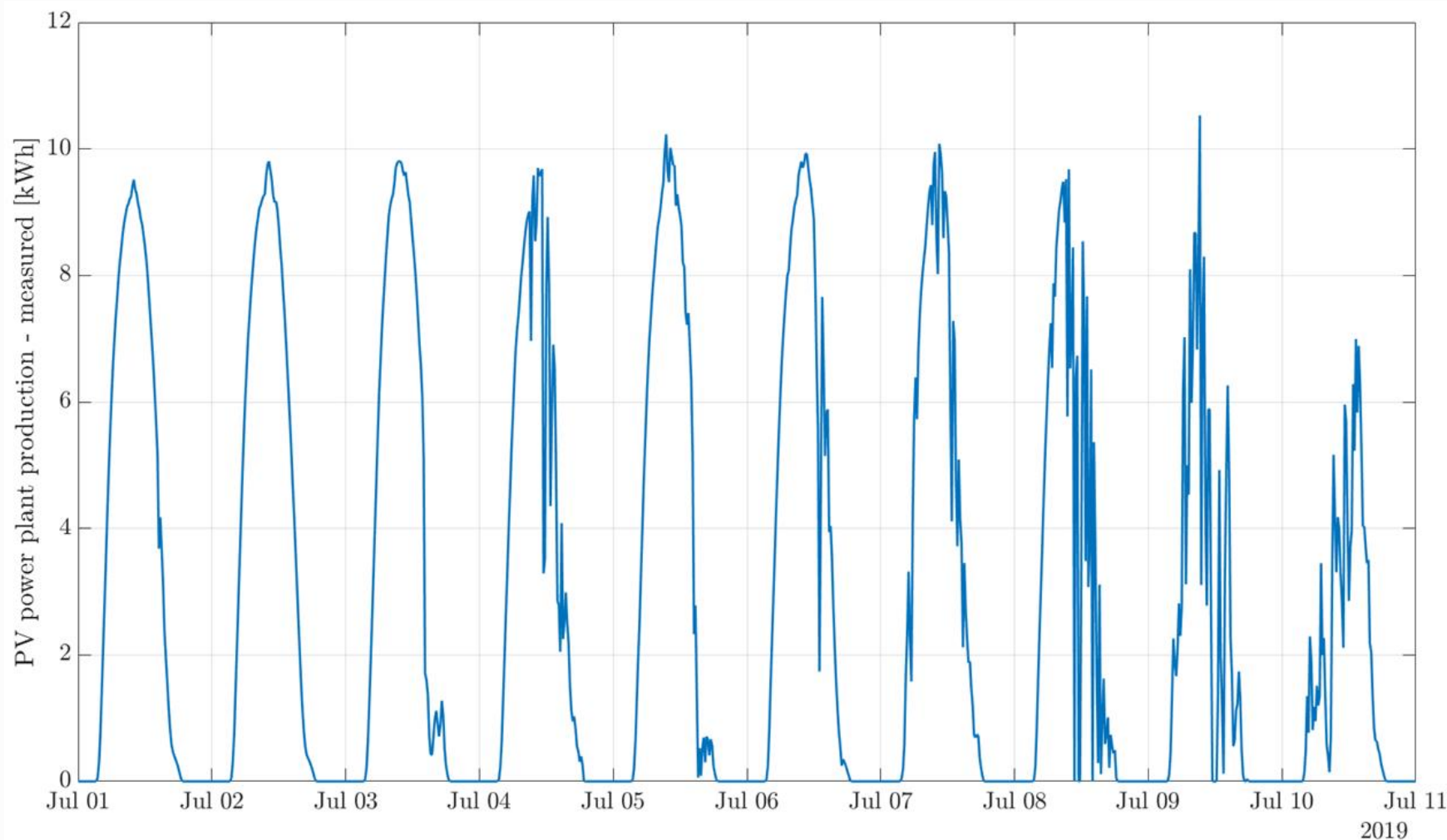
- Stanje napunjenosti baterije (SoC)

M PE 3

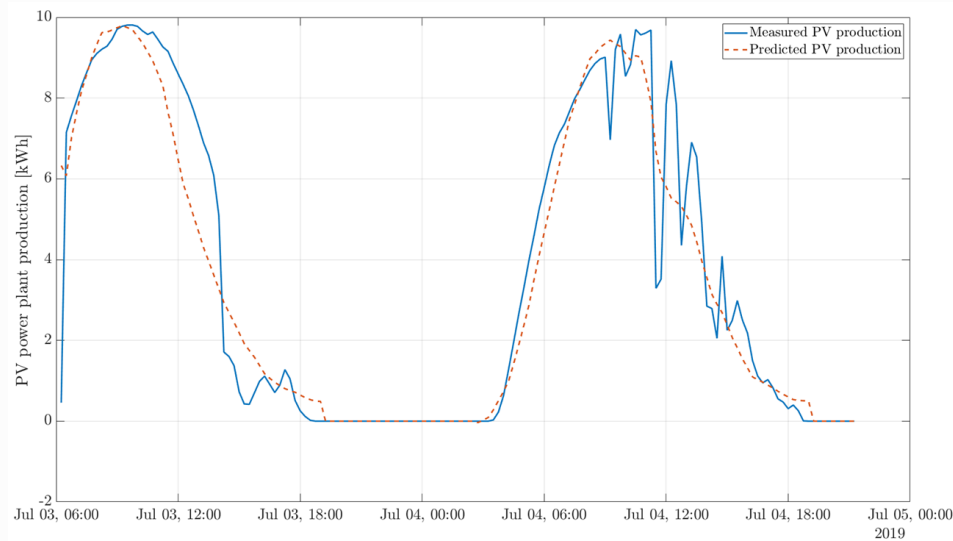
(predviđanje proizvodnje fotonaponskih panela)



M PE 3 – primjer povijesne proizvodnje

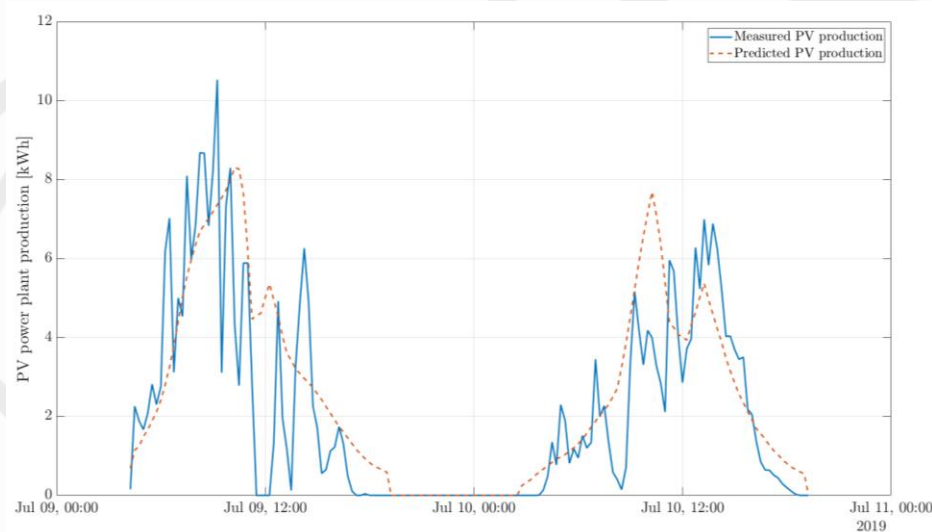


M PE 3 – primjer generirane predikcije



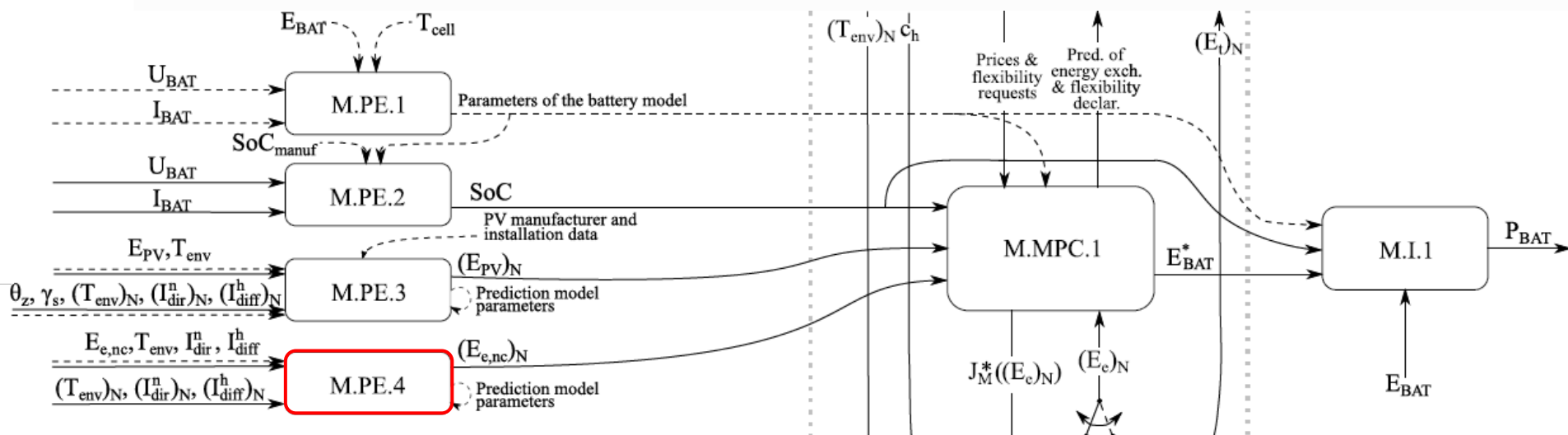
- sunčano vrijeme

- oblačno vrijeme

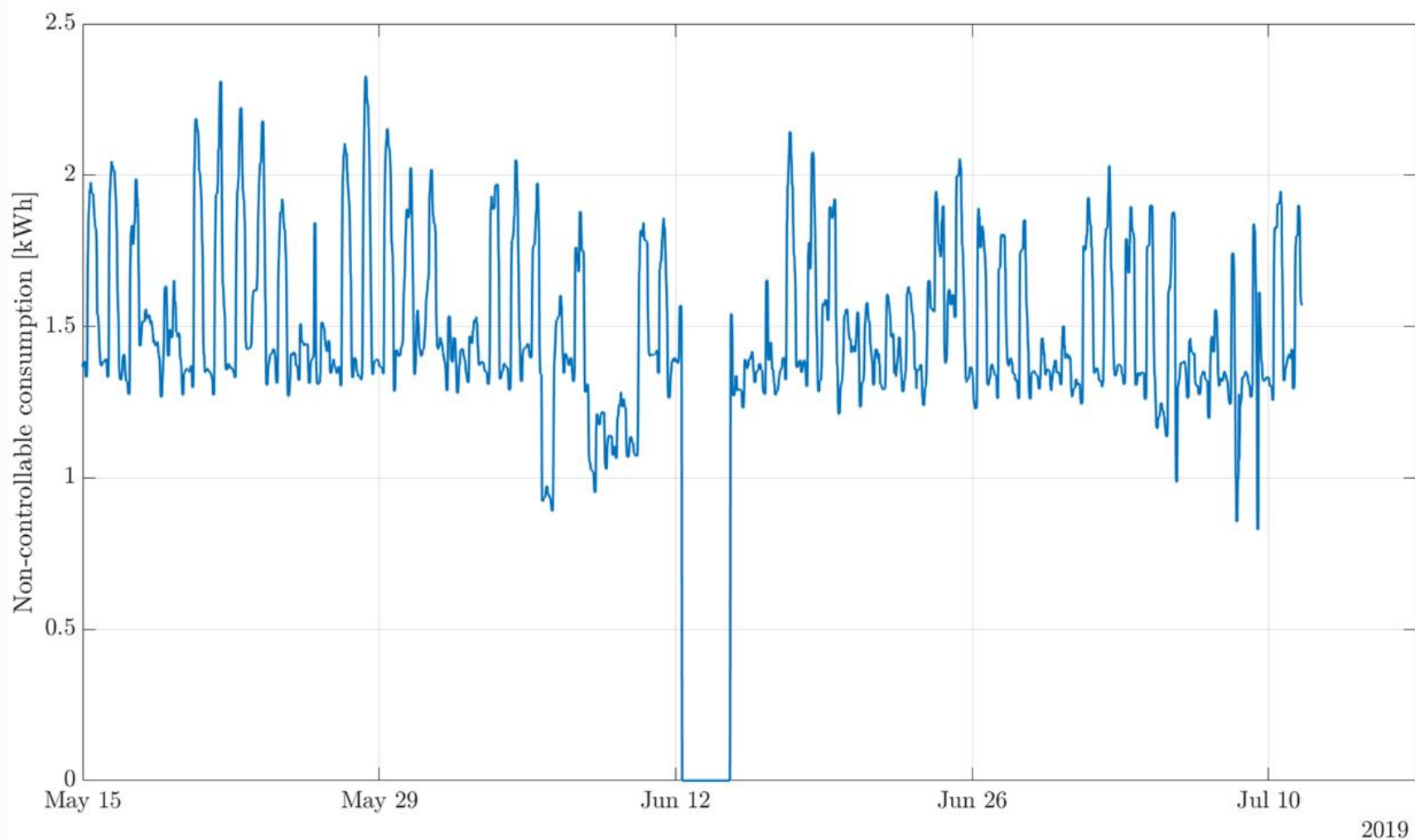


M PE 4

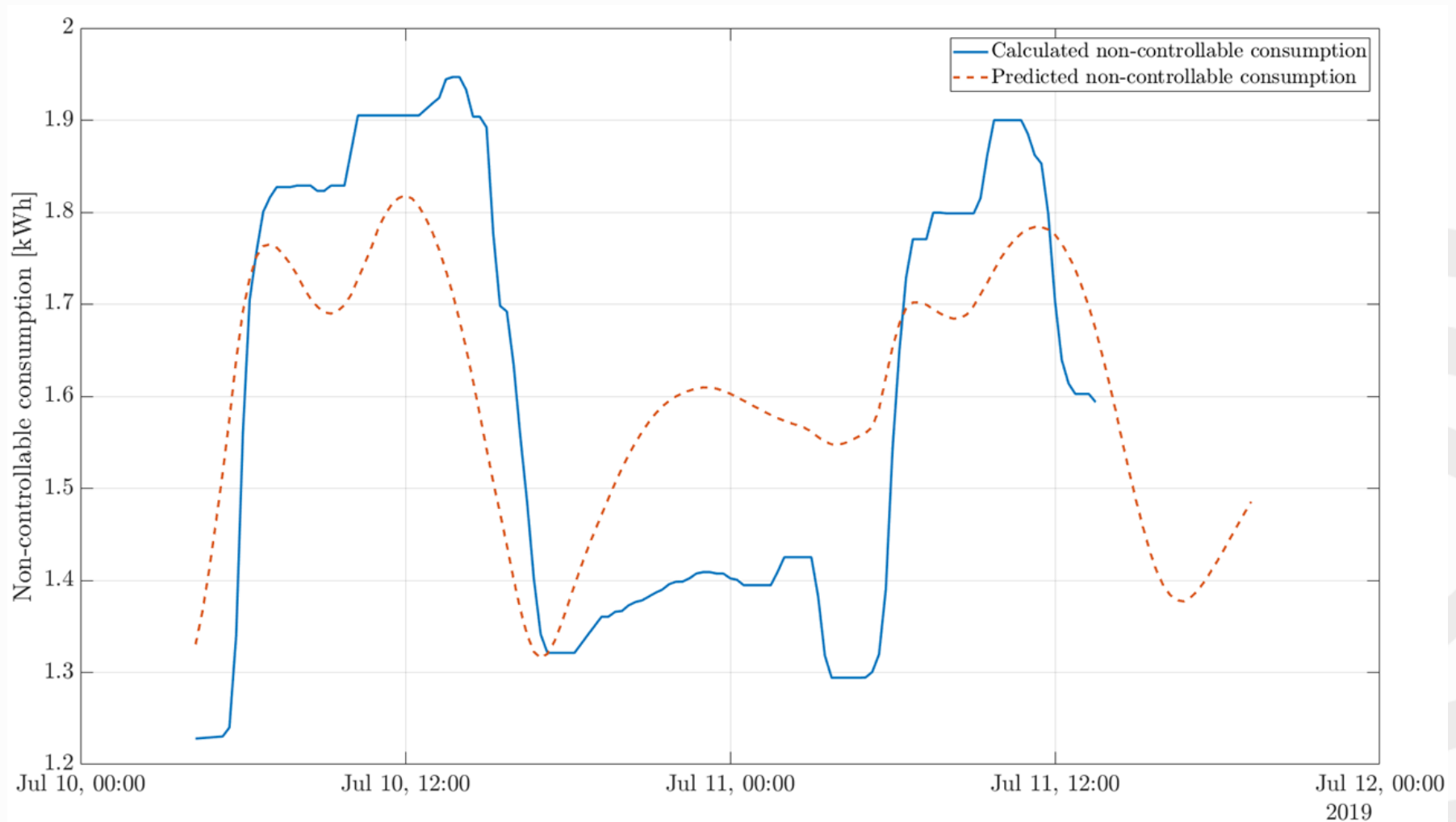
(predviđanje neupravljive potrošnje na mikromrežnoj razini)



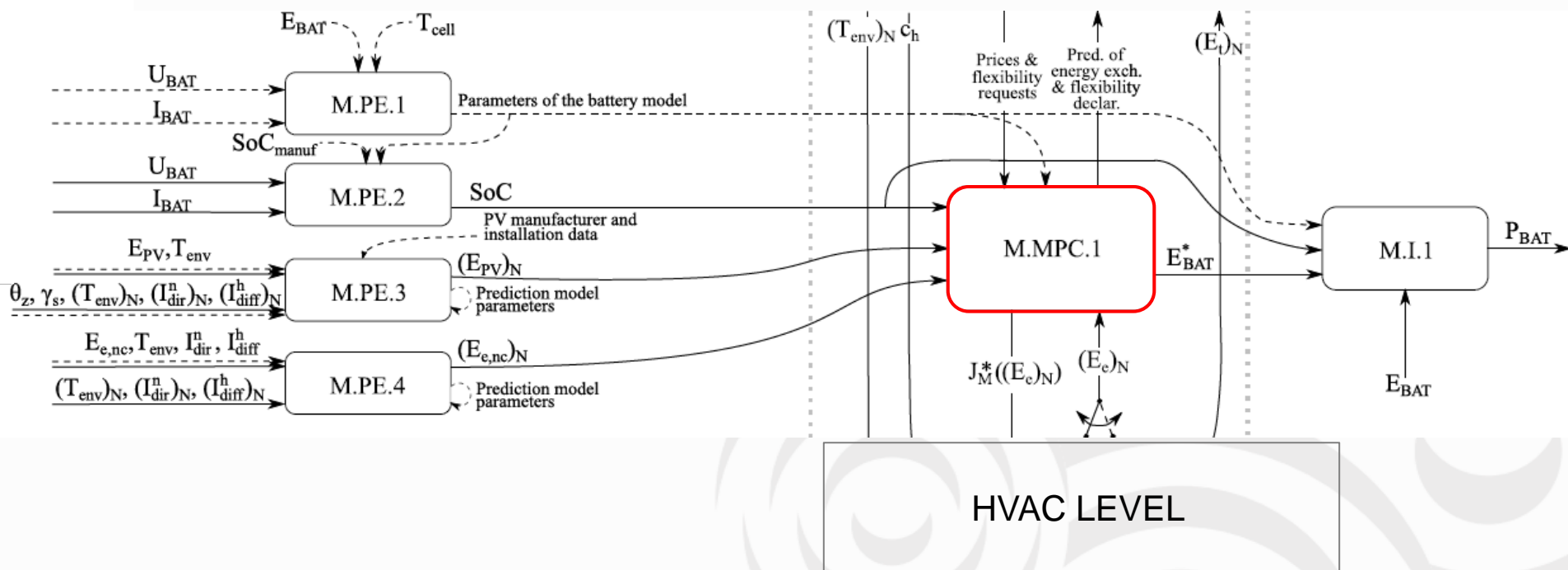
M PE 4 – primjer povijesne potrošnje



M PE 4 – primjer generirane predikcije



M MPC 1



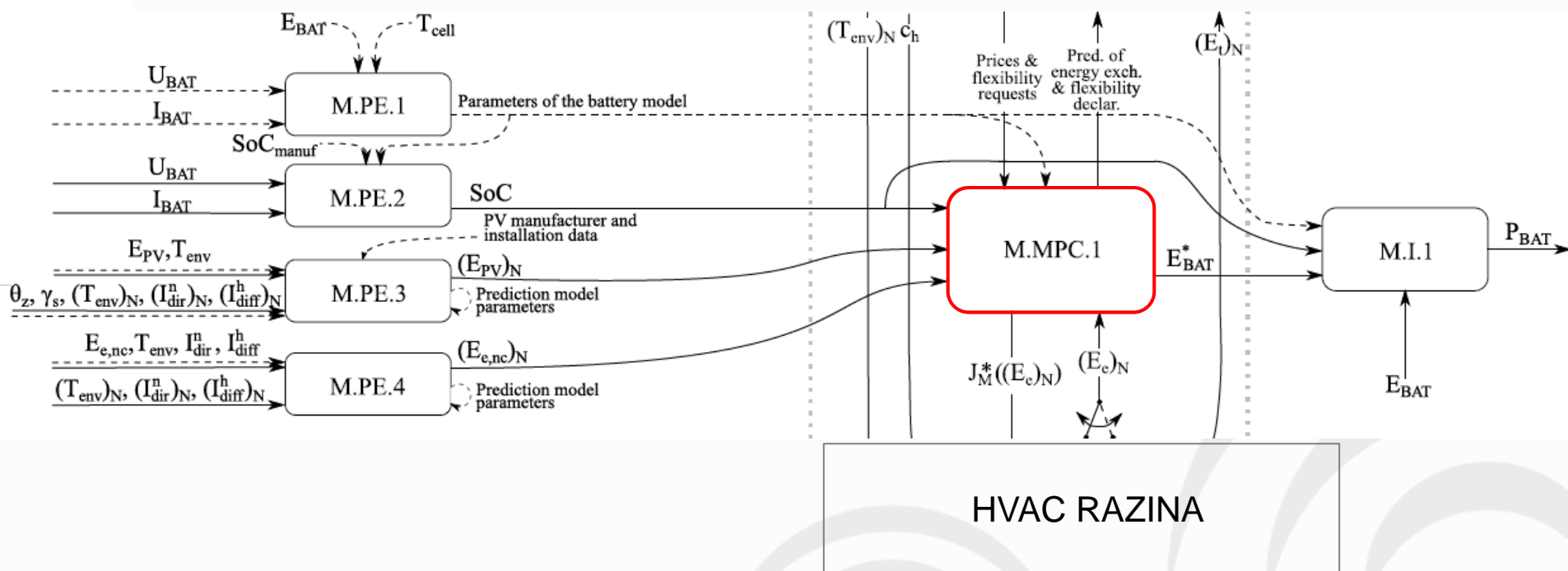
Modul modelskog prediktivnog upravljanja za mikromrežu (M MPC 1)

- Zgrada pruža sljedeće usluge mreži:
 - Predviđanje dnevne potrošnje
 - Slijeđenje deklariranog profila dnevne potrošnje
 - Fleksibilnost u potrošnji na zahtjev mreže
- Upravljanje baterijskim sustavom
- Minimizacija ukupnog troška rada zgrade:

$$J = J_{DA} + J_{BD} + J_{MP} + J_{IDf} + J_{flex} + J_{HVAC}$$



M MPC 1 – razmjena podataka



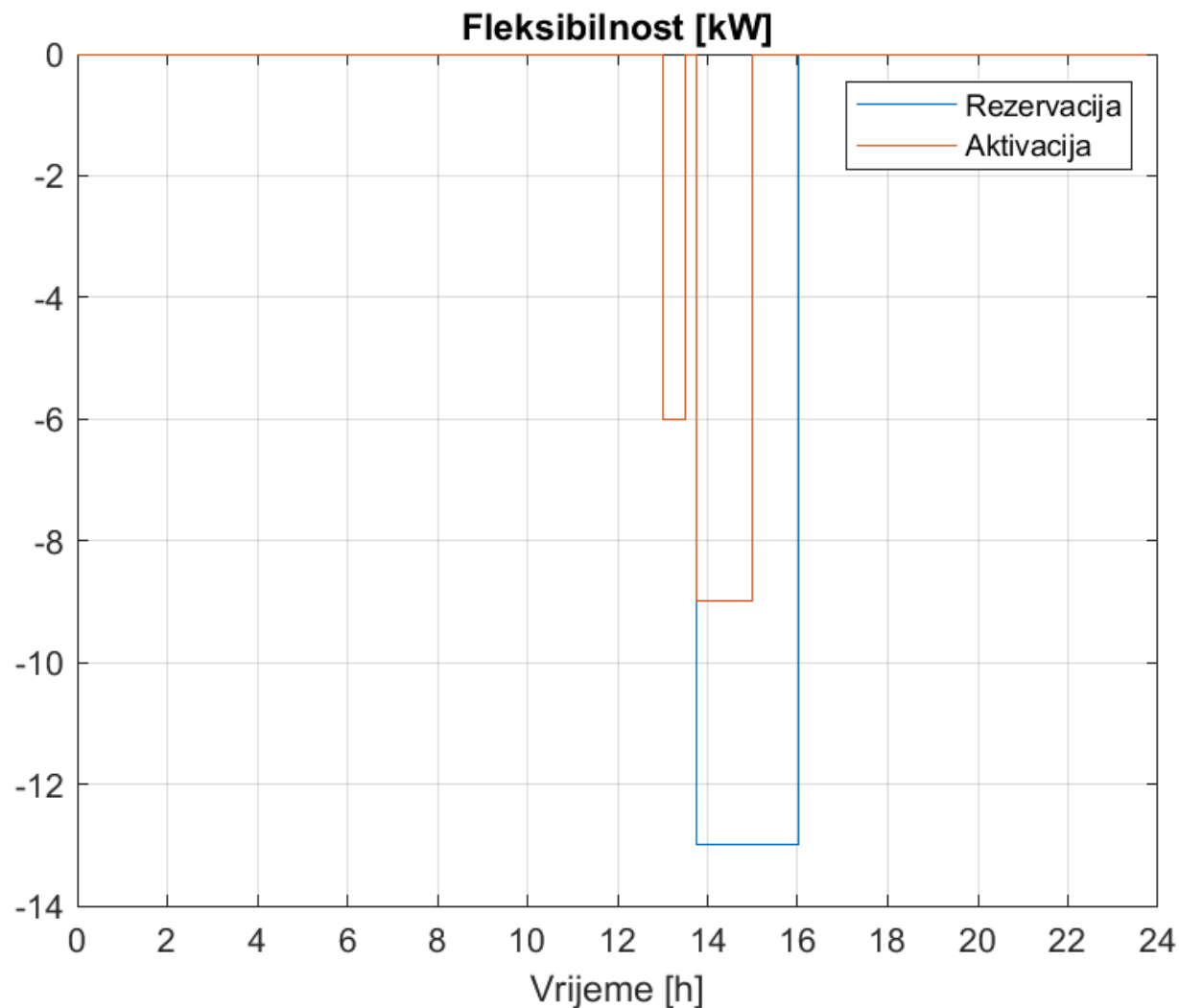
Ulazi

- Predviđanje neupravljive potrošnje
- Estimirani model baterije
- Mjerenja s baterije
- Cijene i zahtjevi od mreže

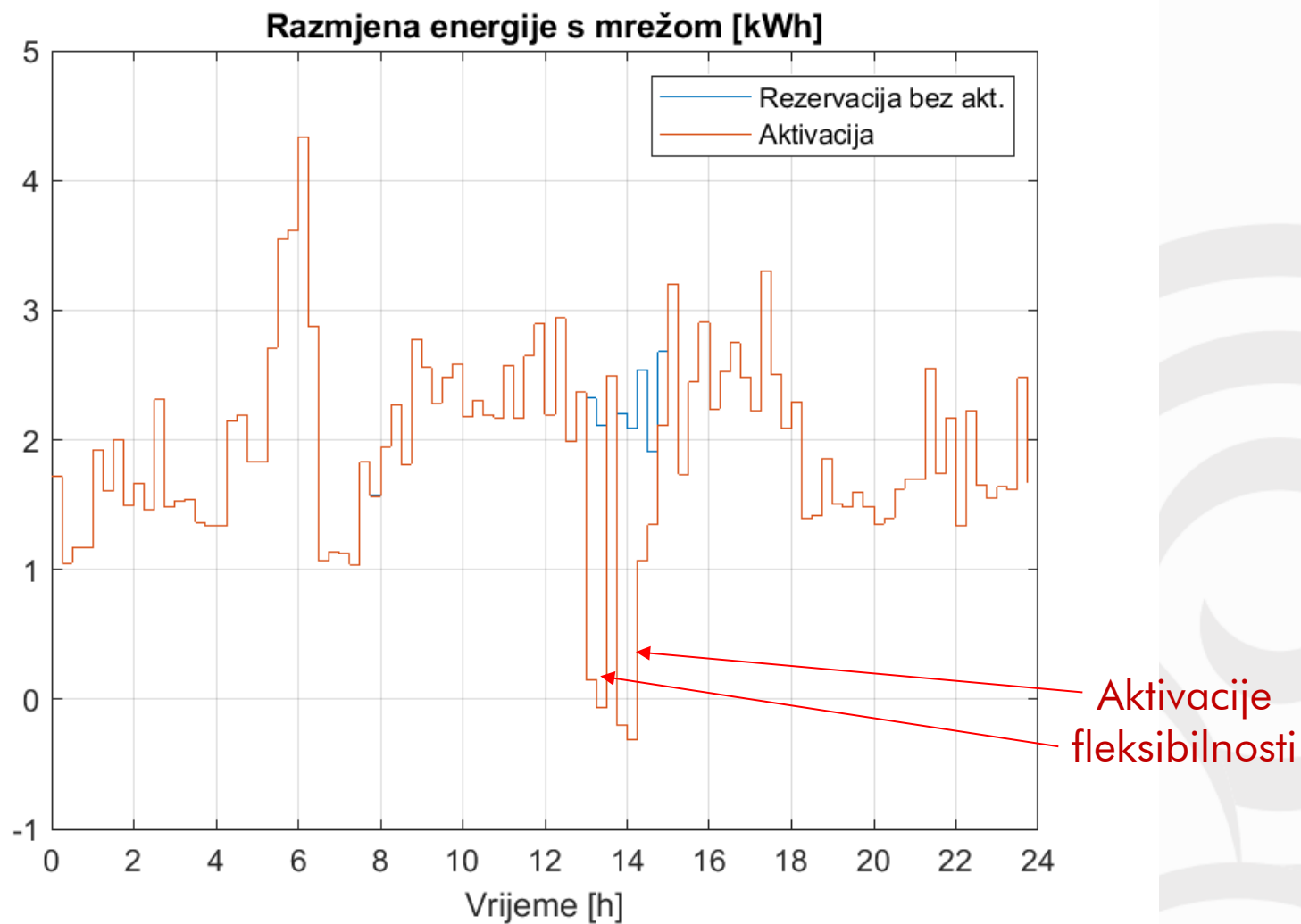
Izlazi

- Referenca snage \rightarrow baterija
- Koordinacijski podaci \rightarrow HVAC
- Predviđanje potrošnje 24h unaprijed \rightarrow mreža

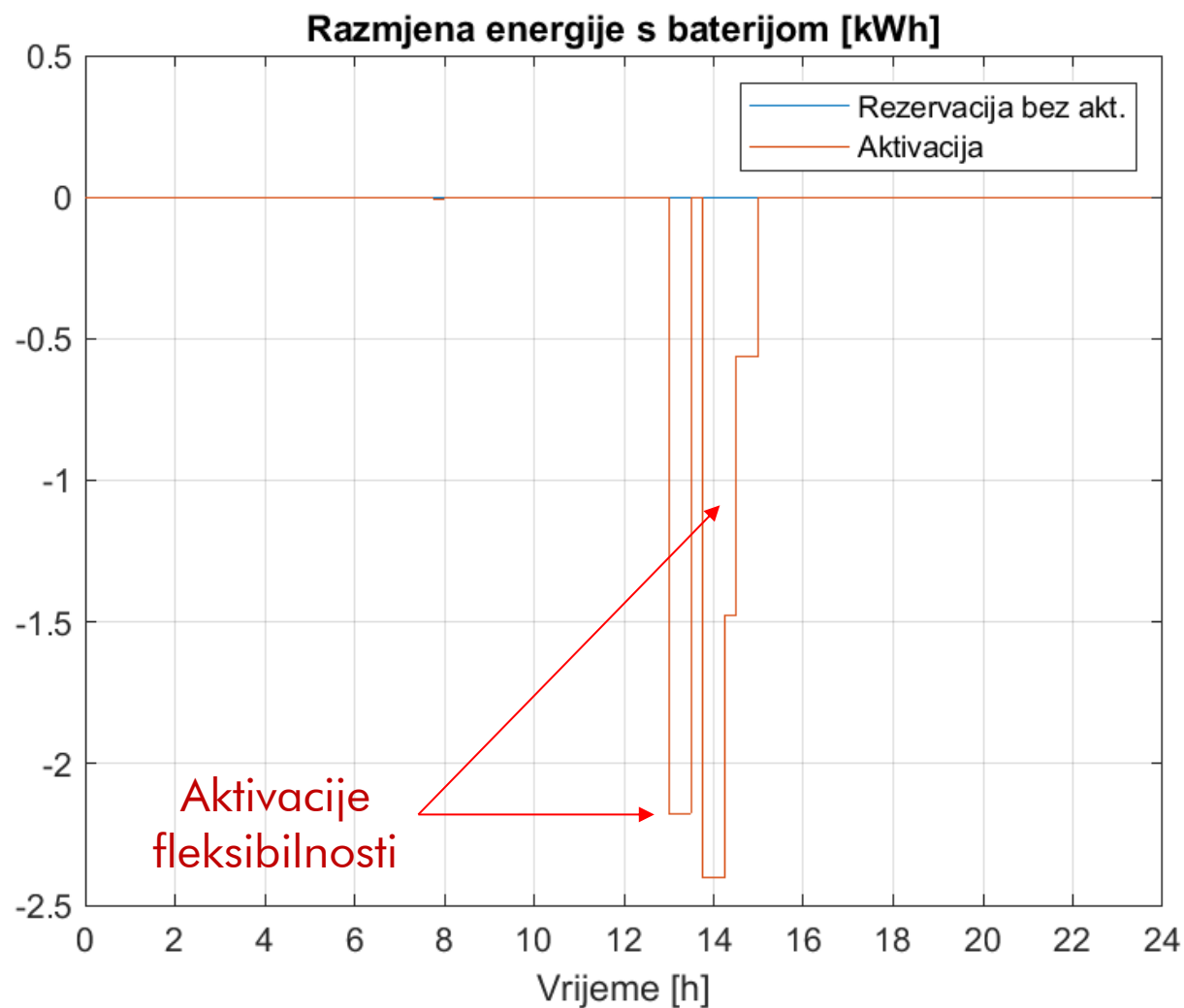
M MPC 1 – zahtjevi od strane mreže



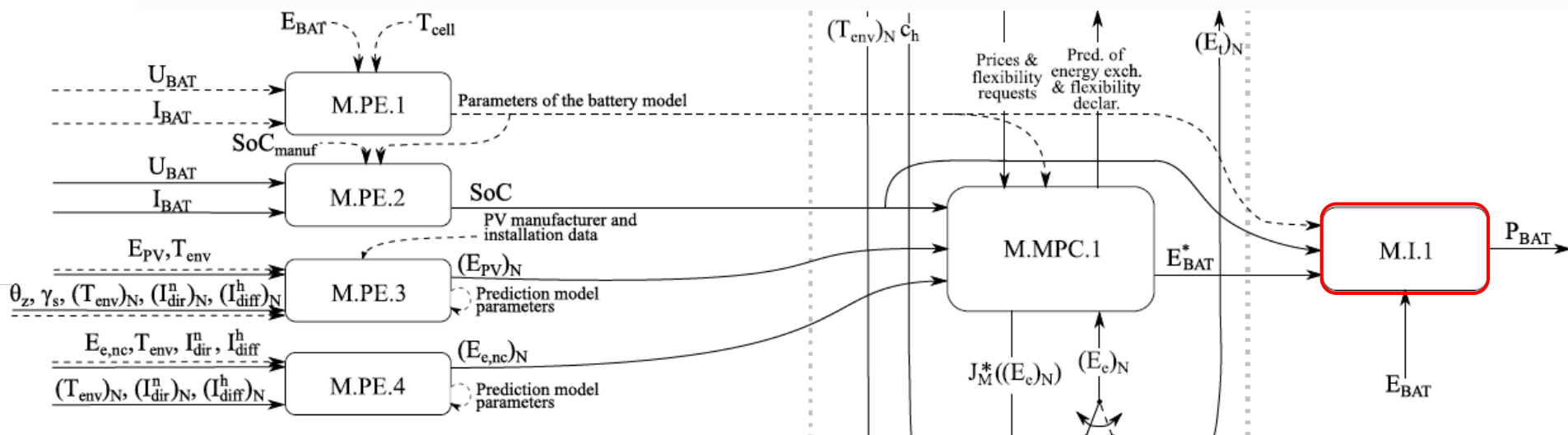
M MPC 1 – rezultati proračuna



M MPC 1 – rezultati proračuna



Sučeljni modul prema baterijskom sustavu (M I 1)



- Izvršavanje svake minute
- Dodatna upravljačka petlja – osiguravanje da se ispuni energetska zahtjev prema bateriji

Zahvala

Predstavljeni rezultati dobiveni su unutar projekta **3Smart – Smart Building – Smart Grid – Smart City** koji sufinancira Europska unija putem Europskog fonda za regionalni razvoj i IPA fondova kroz Program transnacionalne suradnje Dunav.

WEB STRANICA PROJEKTA 3SMART

<http://www.interreg-danube.eu/3smart>

Izjava o isključenju odgovornosti

Sadržaj ove prezentacije isključiva je odgovornost autora i ona ne odražava nužno mišljenje Europske unije.