Anita Martinčević, Antonio Starčić, Mario Vašak

Fakultet elektrotehnike i računarstva

anita.martincevic@fer.hr

ENHEMS-Buildings: Identifikacija toplinskog modela zgrade i toplinskih poremećaja; Prediktivno upravljanje potrošnjom energije u zonama zgrade

Istraživački seminar ***Usluga unapređenja sustava upravljanja zgradom u računalnom oblaku za njen ekonomski optimalan rad – rezultati projekta ENHEMS-Buildings;***

Sveučilište u Splitu Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje,

Split, 29. lipnja 2015.

Ulaganje u budućnost!

STRUKTURNI I INVESTICIJSKI FONDOVI

KONKURENTNA HRVATSKA

FOND ZA ULAGANJE U ZNANOST I INOVACIJE

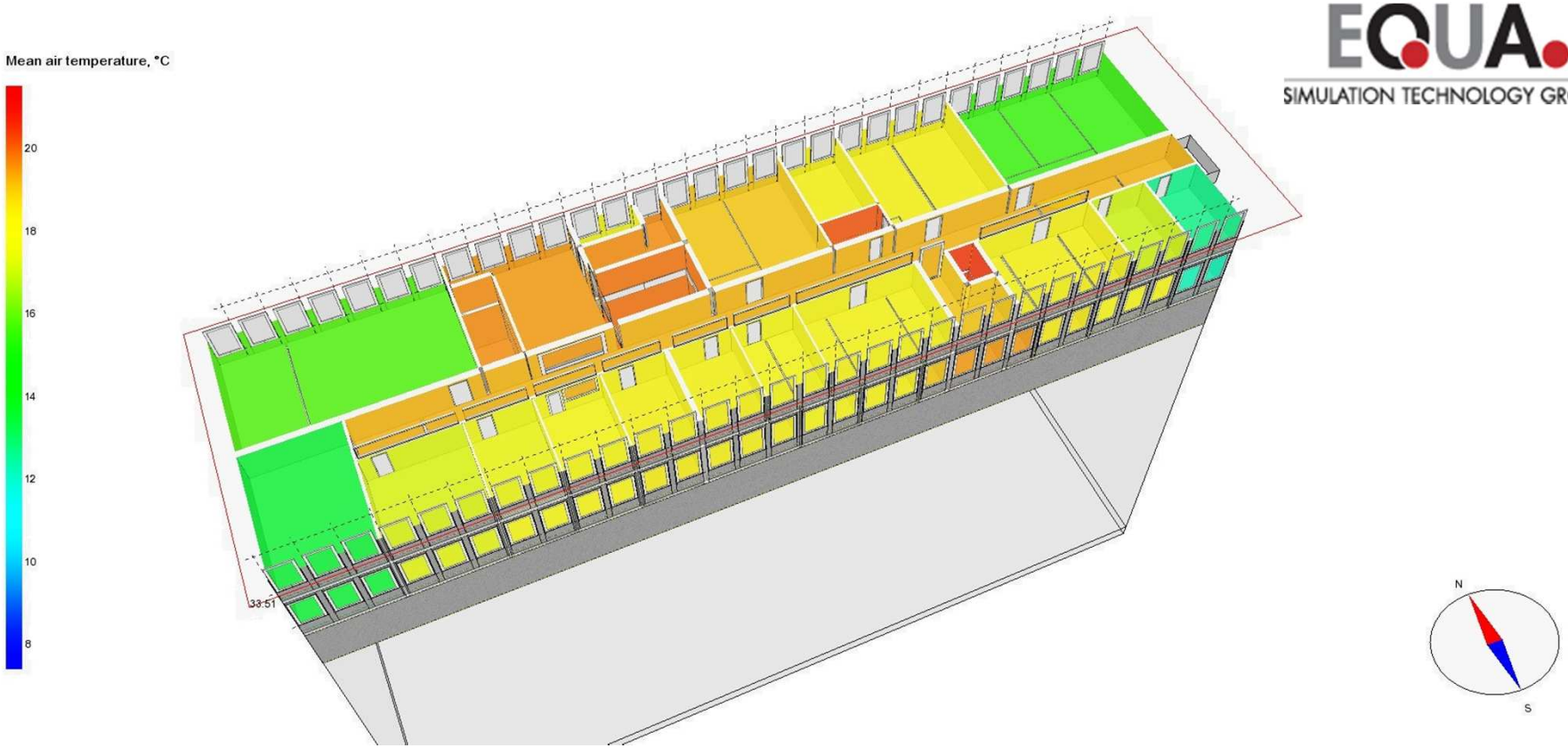
Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog fonda za regionalni razvoj

SADRŽAJ PREZENTACIJE

- **Identifikacija toplinskog modela zgrade**
  - Odabir prikladnog modela
  - Odabir prikladnog algoritma za estimaciju
- **Identifikacija poremećaja**
  - Zašto je to važno?
  - Kako identificirati poremećaj?
- **Prediktivno upravljanje potrošnjom energije u zonama zgrade**
  - Postojeći način upravljanja grijanjem/hlađenjem
  - Decentralizirano upravljanje
  - Upravljanje ventilokonvektorima uz zadanu snagu
  - Modelsko prediktivno upravljanje
  - Koncept ENHEMS-Buildings upravljanja

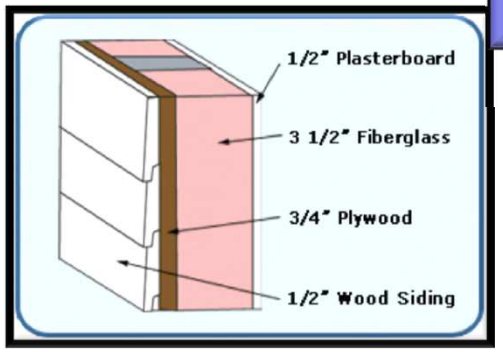
IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
Simulacijski alati



IDA-Indoor climate and energy

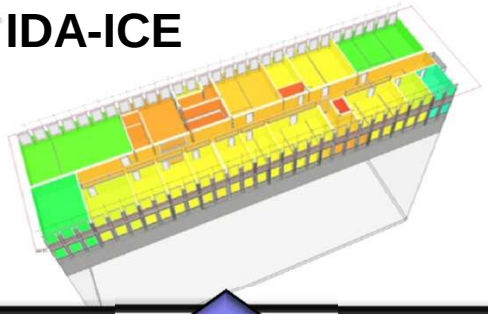
IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
Simulacijski alati

CAD NACRTI



SPECIFIKACIJE ZIDOVA

IDA-ICE



POVIJESNI PODACI O VREMENU

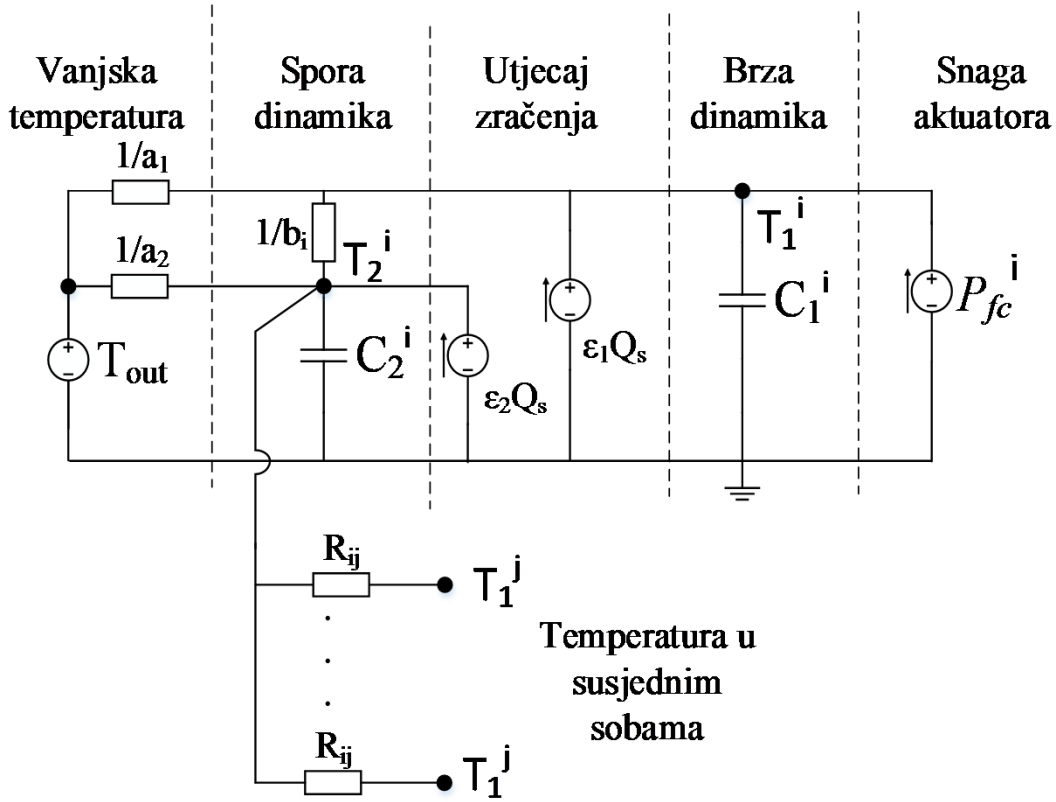
DHMZ

IDENTIFIKACIJA PARAMETARSKOG MODELA ZGRADE

ON-LINE IDENTIFIKACIJA POREMEĆAJA

IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
RC analogija toplinskih procesa

- Dvije dominantne dinamike procesa
- Spora dinamika
  - Prosječna temperatura svih unutarnjih zidova i namještaja
- Brza dinamika
  - Srednja temperatura zraka u prostoriji
- Kako odrediti nepoznate parametre modela?



T_{out}-- vanjska temperatura
Q_s – sunčevo zračenje na vertikalnu plohu
P_{fc} – snaga aktuatora

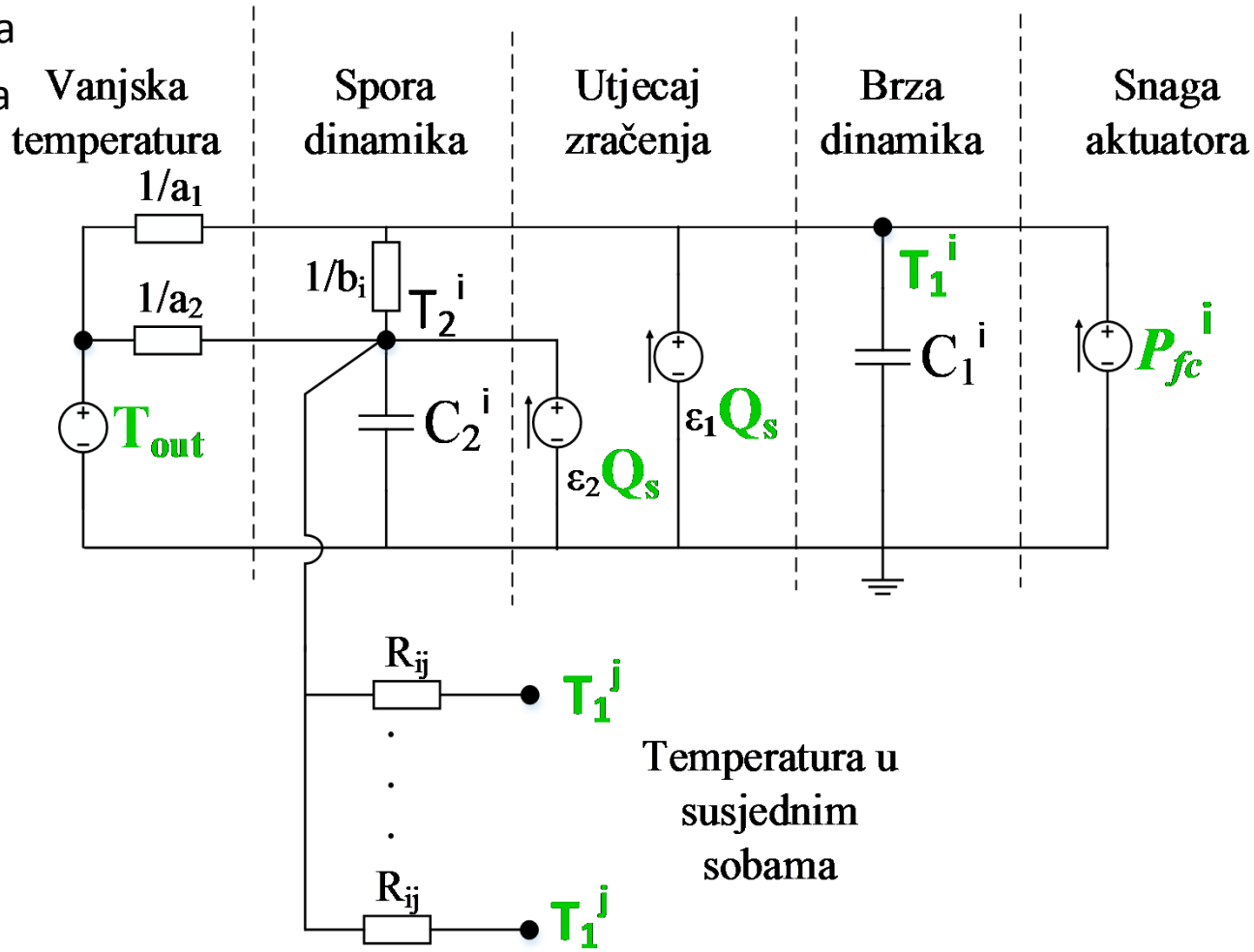
IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
RC analogija toplinskih procesa

T_{out}-- vanjska temperatura

Q_s – sunčevo zračenje na vertikalnu plohu

P_{fc} – snaga aktuatora

MJERENJA



IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
RC analogija toplinskih procesa

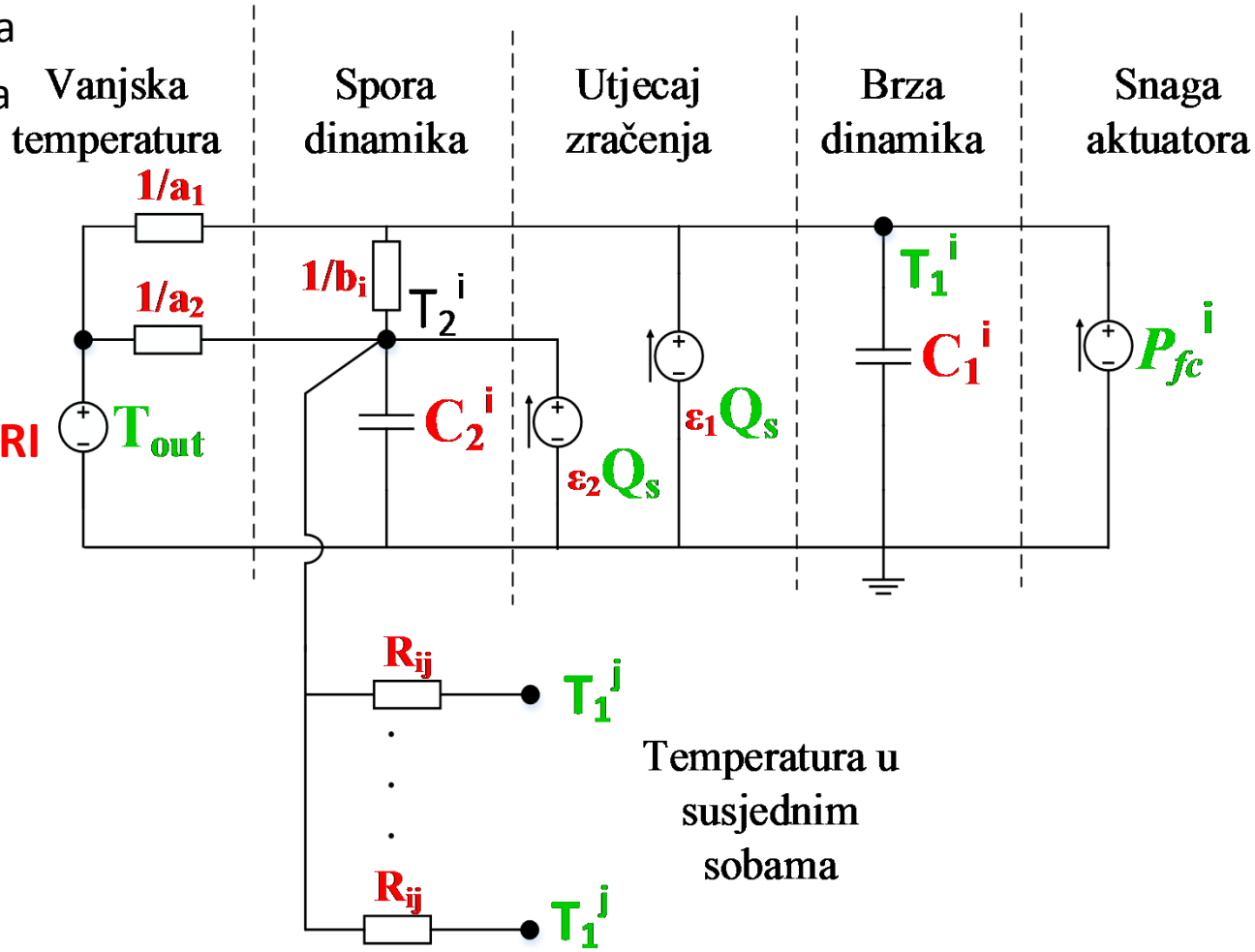
T_{out}-- vanjska temperatura

Q_s – sunčevo zračenje na vertikalnu plohu

P_{fc} – snaga aktuatora

MJERENJA

NEPOZNATI PARAMETRI



IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
RC analogija toplinskih procesa

T_{out}-- vanjska temperatura

Q_s – sunčevo zračenje na vertikalnu plohu

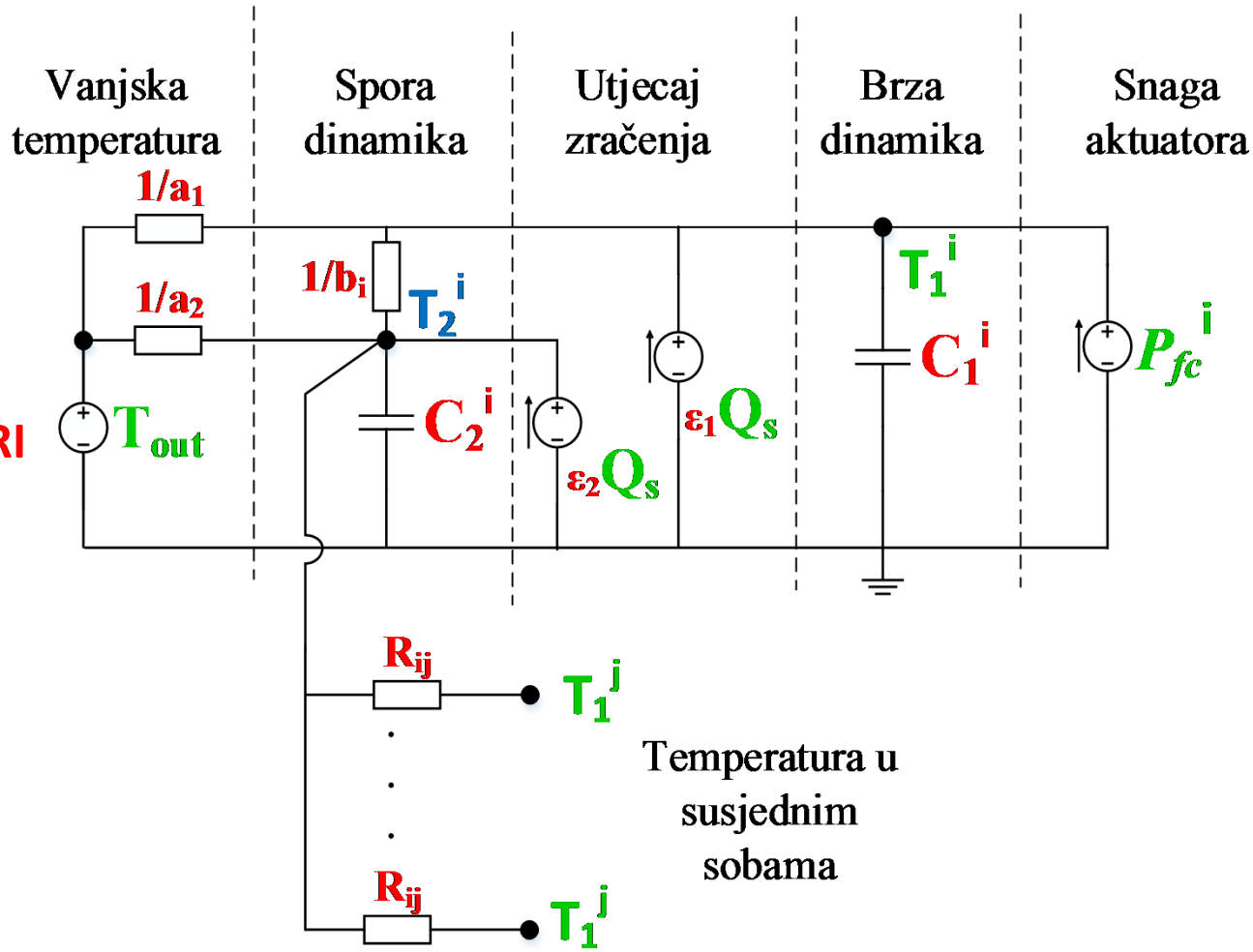
P_{fc} – snaga aktuatora

MJERENJA

NEPOZNATI PARAMETRI

NEPOZNATA STANJA

MODELA



IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
RC analogija toplinskih procesa

T_{out}-- vanjska temperatura

Q_s – sunčevo zračenje na vertikalnu plohu

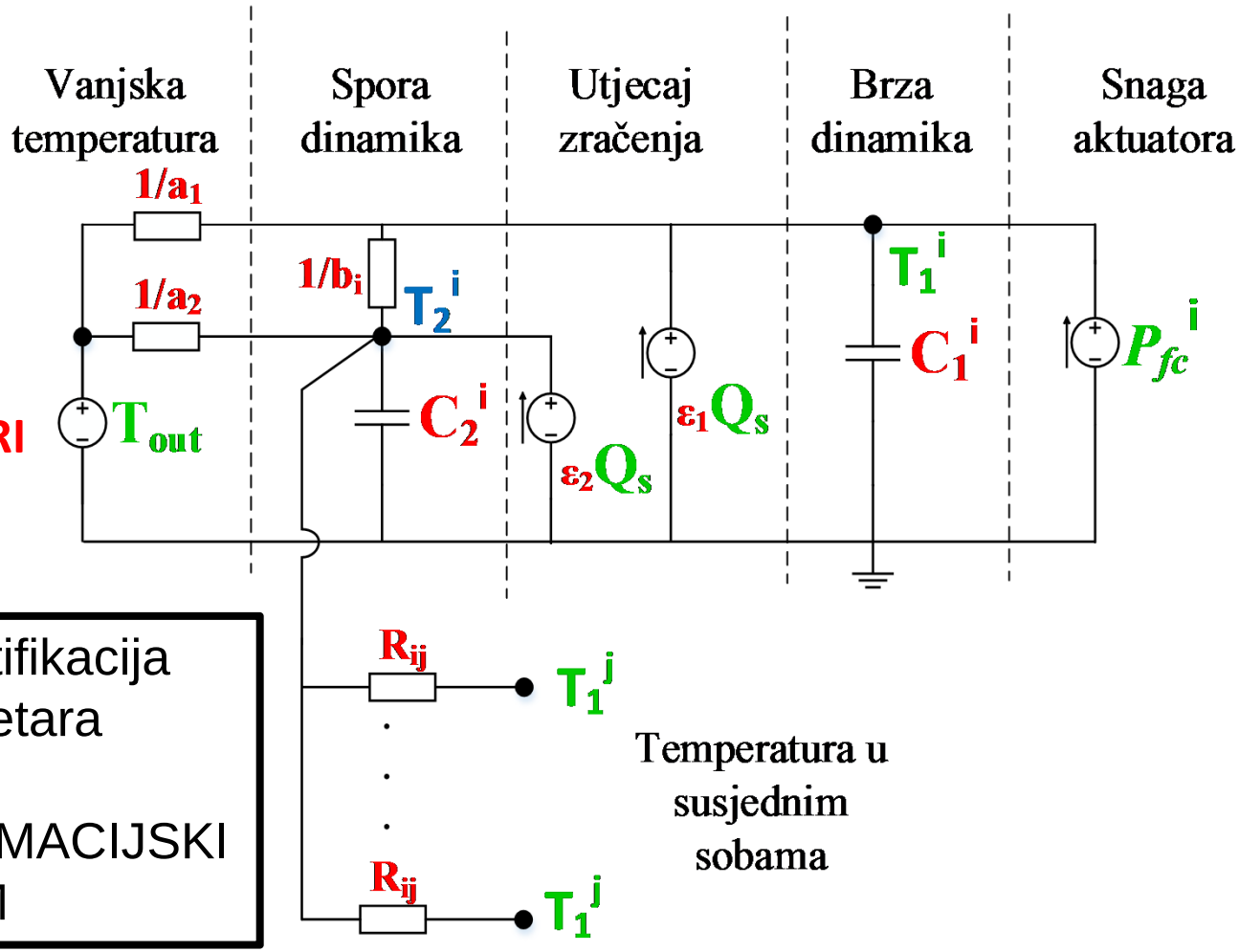
P_{fc} – snaga aktuatora

MJERENJA

NEPOZNATI PARAMETRI

NEPOZNATA STANJA

MODELA



Istovremena identifikacija stanja i parametara
=
NELINEARAN ESTIMACIJSKI PROBLEM

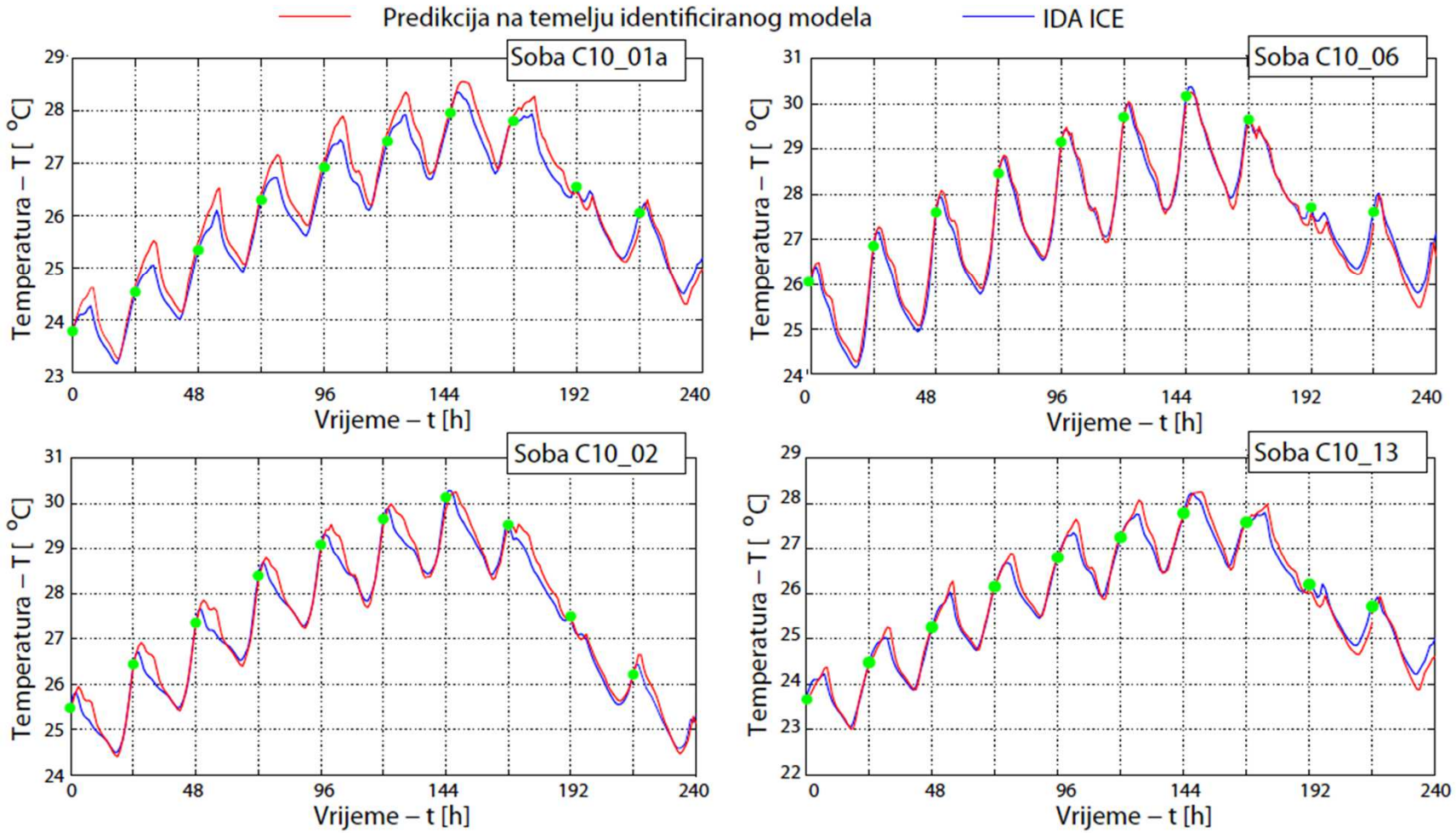
IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
Algoritam za identifikaciju RC modela

- **UKF – nederivacijski Kalmanov filtar**
  - Nadogradnja originalnog algoritma
    - Uvođenje ograničenja za vrijednosti parametara
      - Model s fizikalnim parametrima
        - » jednostavno odrediti granice parametara

IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
Algoritam za identifikaciju RC modela

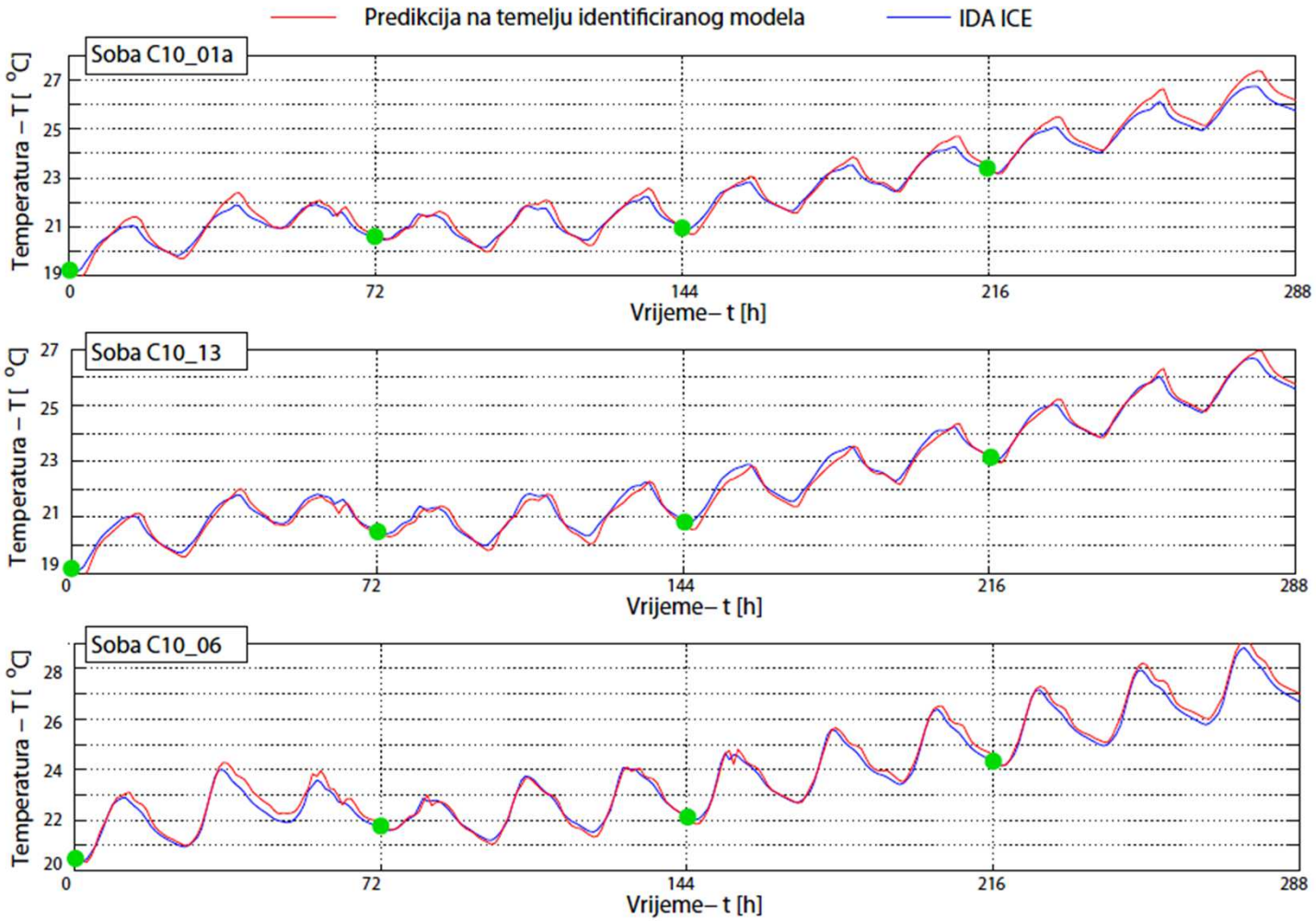
- **UKF – nederivacijski Kalmanov filtar**
  - Nadogradnja originalnog algoritma
    - Uvođenje ograničenja za vrijednosti parametara
      - Model s fizikalnim parametrima
        - » jednostavno odrediti granice parametara
    - On-line redukcija skupa parametara koje se estimira
      - Parametri za koje mjerenja nisu dovoljno informativna, npr. parametri vezani uz sunčevo zračenje noću
    - Informativnost podataka
      - Snaga aktuatora = minutno uzorkovanje
      - Vanjski vremenski uvjeti i temperatura prostorije = satna rezolucija

IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
Rezultati (odziv bez aktuatora)



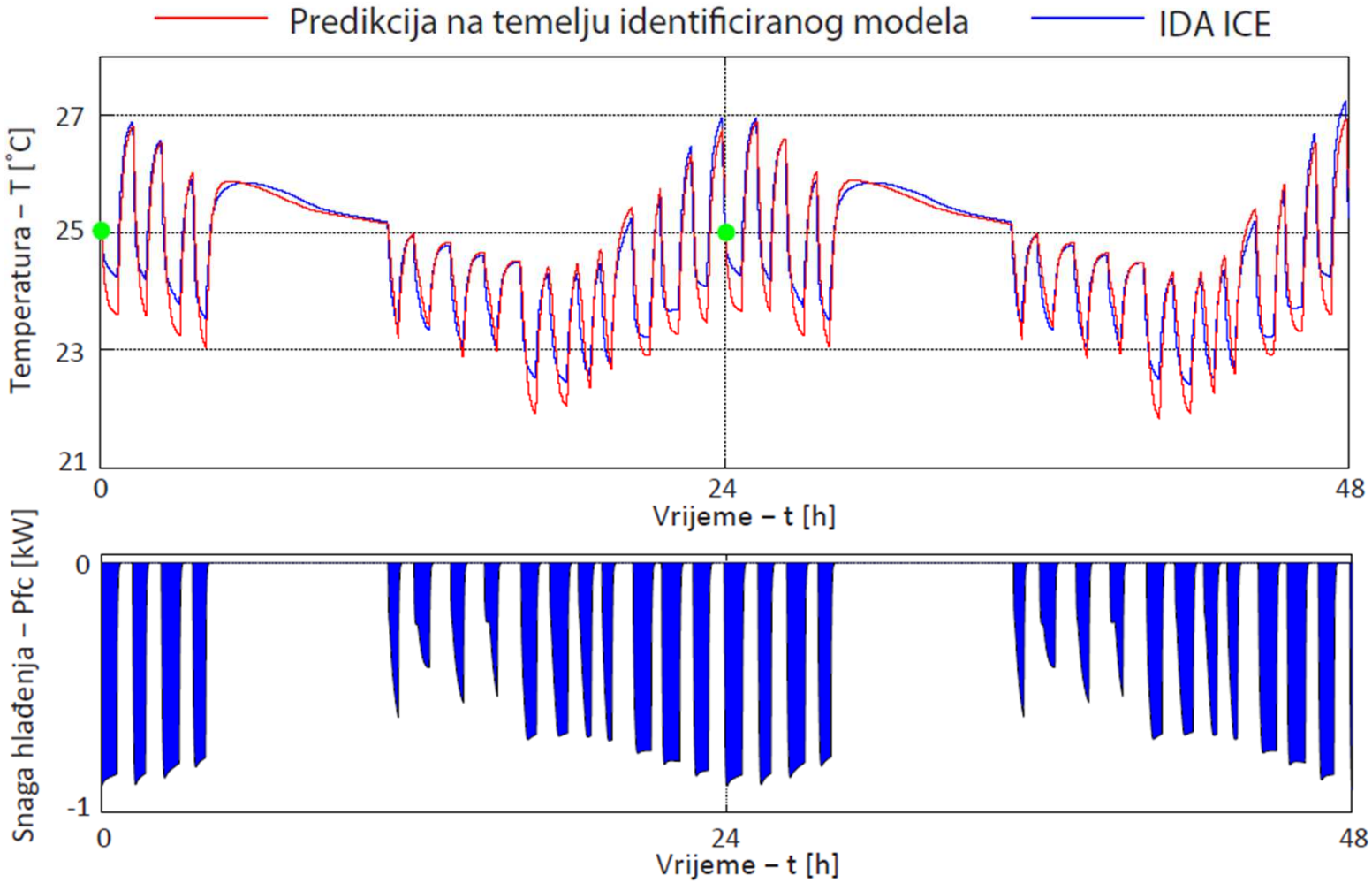
Usporedba predikcije identificiranog modela i mjerenja (IDA-ICE) 24 h unaprijed

IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
1. Rezultati (odziv bez aktuatora)



Usporedba predikcije identificiranog modela i mjerenja (IDA-ICE) 72 h (3 dana) unaprijed

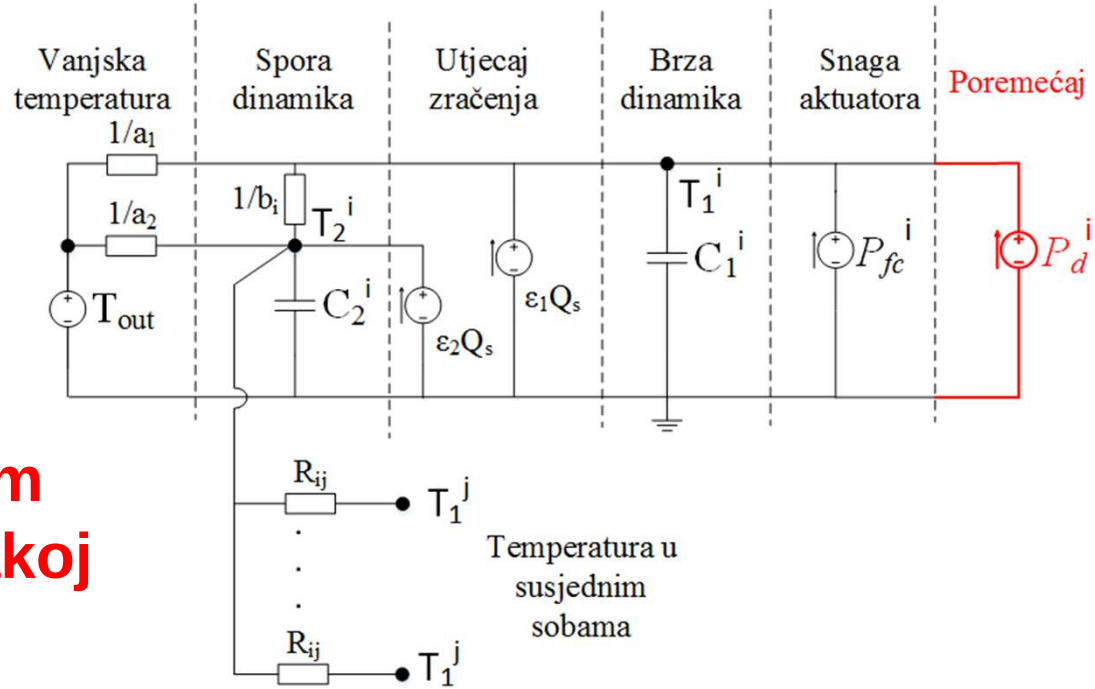
IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG MODELA ZGRADE
Rezultati (odziv s aktuatorima)



Usporedba predikcije identificiranog modela i mjerenja (IDA-ICE) 24 h unaprijed

TOPLINSKI POREMEĆAJI

- Svako dodatno toplinsko djelovanje na prostor koje nije obuhvaćeno identificiranim modelom
- Prozori
  - promjena položaja sjenila/otvorenosti s obzirom na model
- Oprema, ljudi, rasvjeta
- Pogreška modela



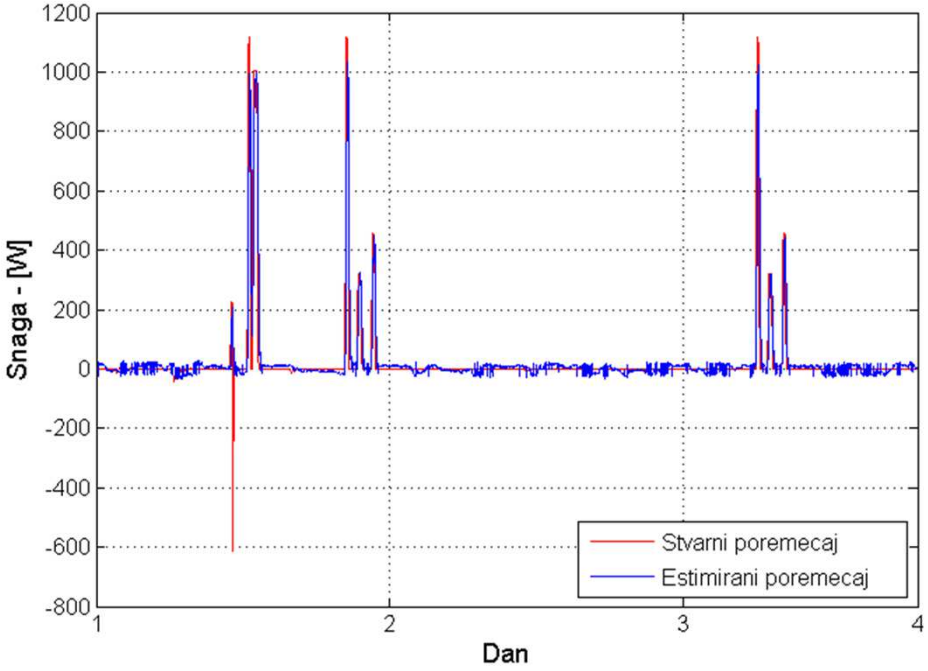
→ **Modelira se nadomjesnim skalarnim toplinskim poremećajem u svakoj zoni zgrade**

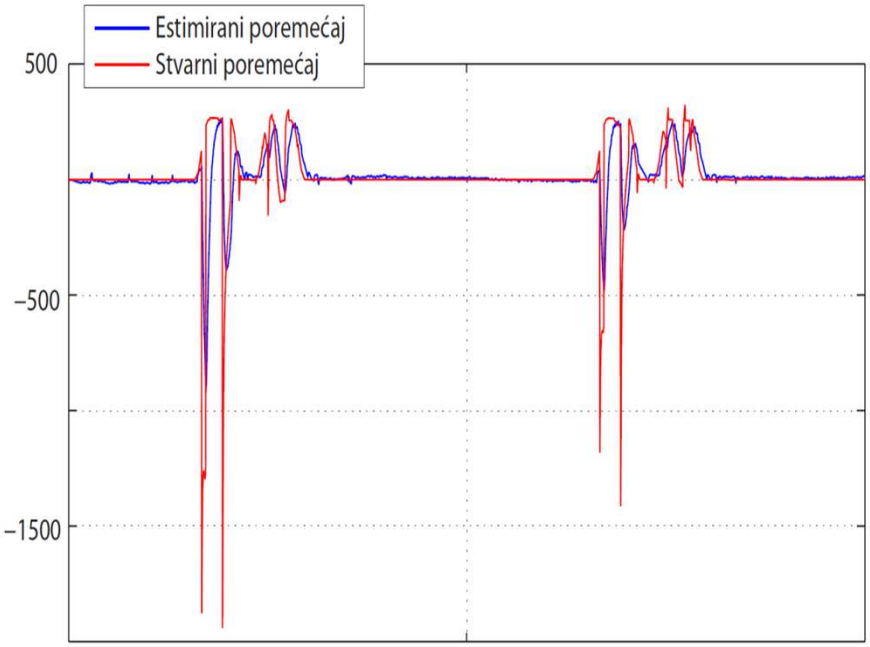
IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG POREMEĆAJA

ZAŠTO?

1. Praćenje korištenja prostora
2. Mogućnost predviđanja poremećaja iz povijesnih podataka
   - efikasnije upravljanje
   - predviđanje potrošnje zgrade
3. Detekcija otvorenosti prozora
4. Statička točnost pri regulaciji temperature prediktivnim algoritmima upravljanja
   - s toplinskom snagom aktuatora kao upravljačkom veličinom

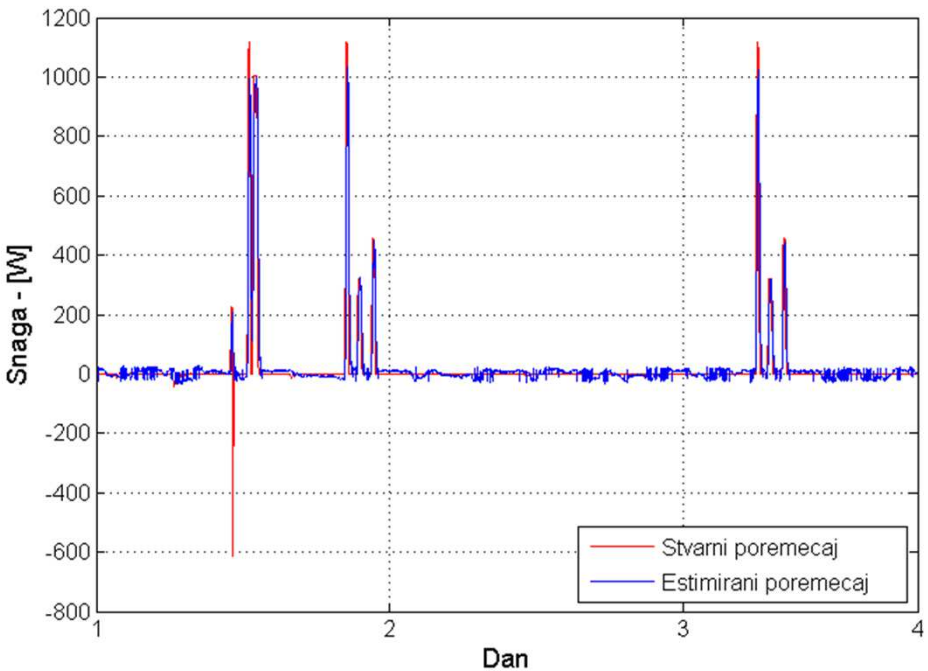
IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG POREMEĆAJA REZULTATI



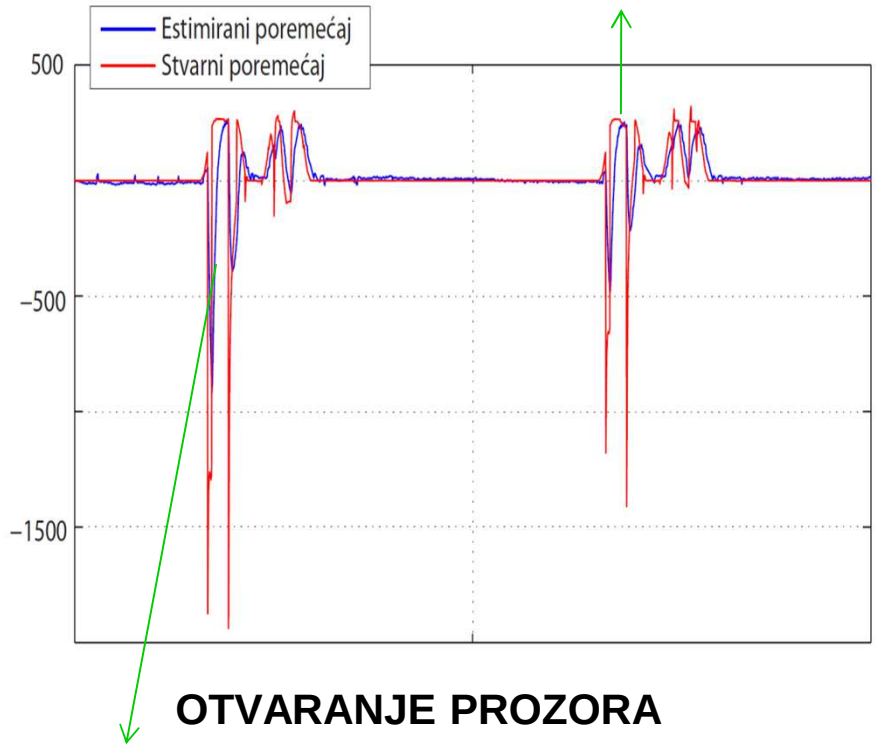


IDENTIFIKACIJA TOPLINSKOG POREMEĆAJA REZULTATI

- REZULTATI



LJUDI, EL. OPREMA, RASVIJETA



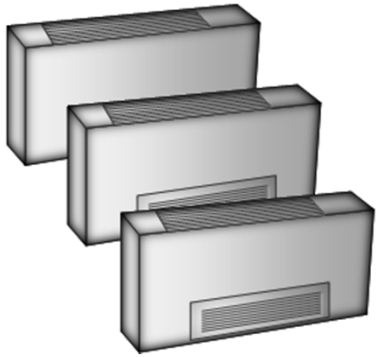
OTVARANJE PROZORA

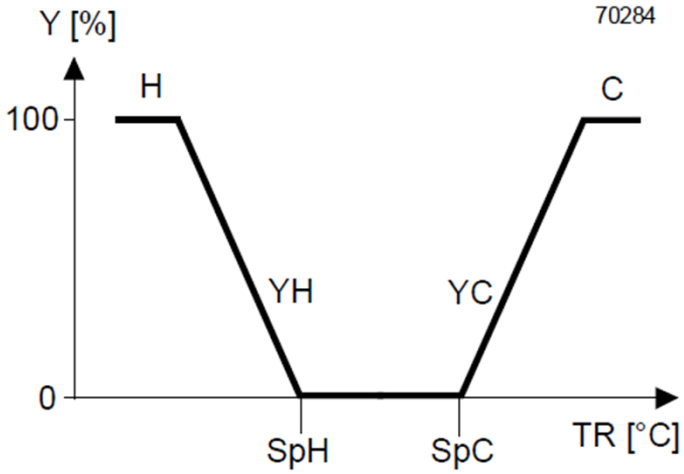
Automatsko zaustavljanje grijanja/hlađenja kada se detektira otvaranje prozora

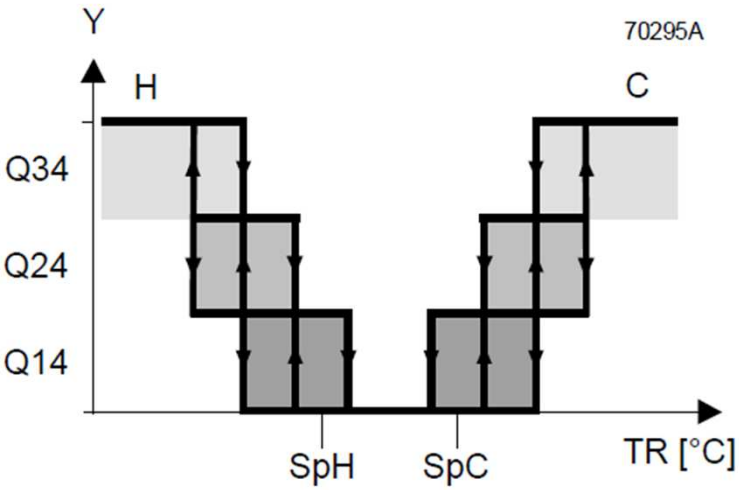
POSTOJEĆI NAČIN UPRAVLJANJA GRIJANJEM/HLAĐENJEM ZONA ZGRADE

POSTOJEĆI NAČIN UPRAVLJANJA

- Ventilokonvektori
  - Tri brzine ventilatora (Q34, Q24, Q14)
  - Kontinuirano upravljanje ventilom





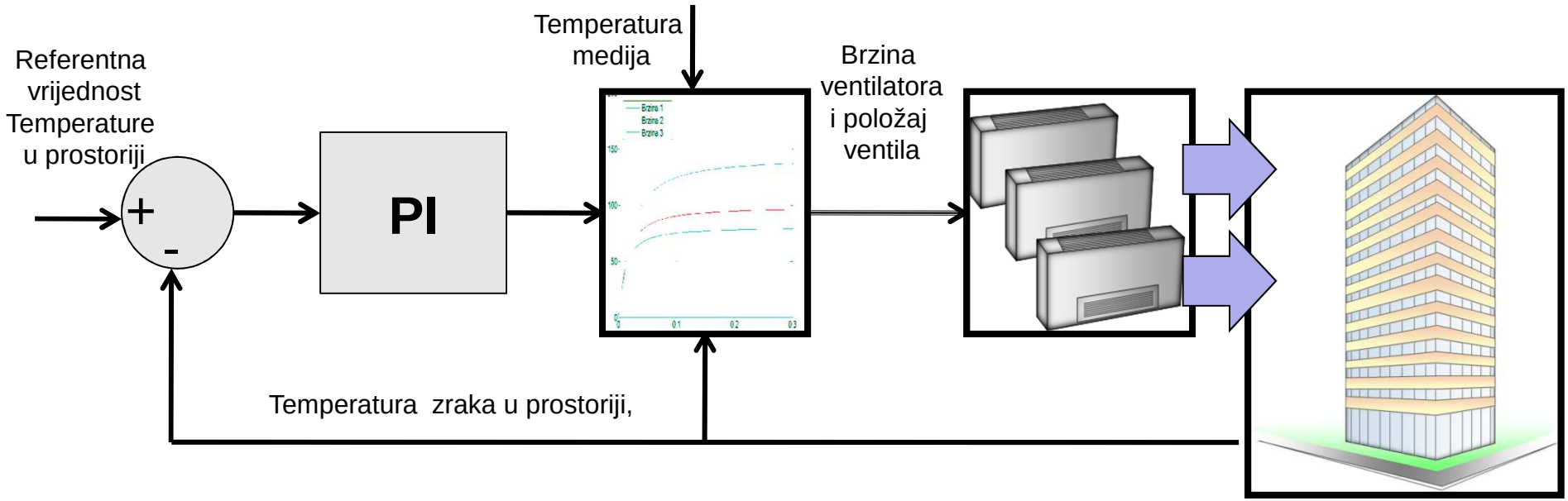


H – grijanje
C – hlađenje
Sp - referentna veličina temperature koje se zadaje HMI uređajem
TR – temperatura prostorije

DECENTRALIZIRANO UPRAVLJANJE SNAGAMA GRIJANJA I HLAĐENJA: PI UPRAVLJANJE

PI UPRAVLJANJE VENTILOKONVEKTORIMA

- Decentralizirano upravljanje
  - zasebno po zonama zgrade

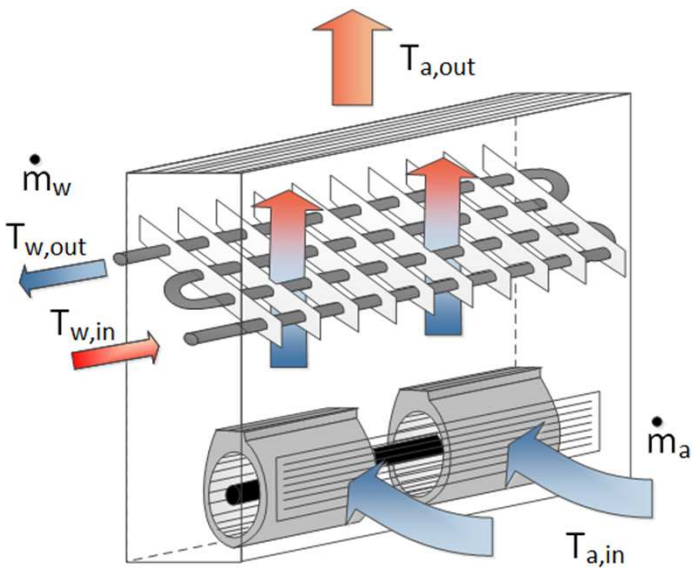


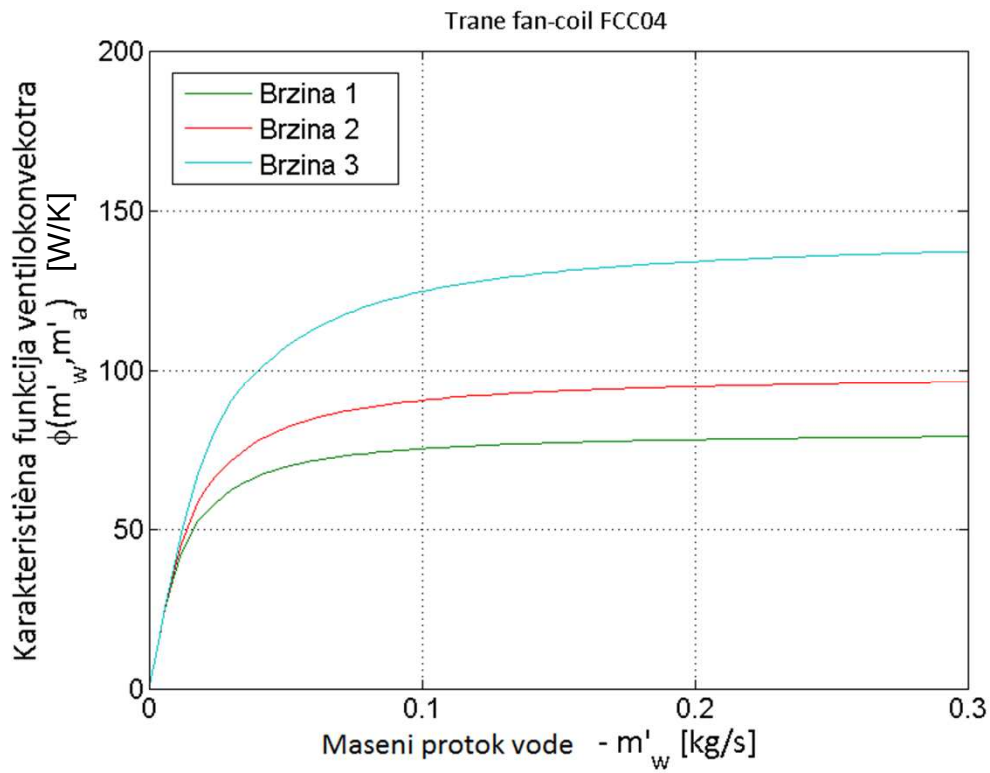
UPRAVLJANJE VENTILOKONVEKTOROM ZA ISPORUKU ŽELJENE TOPLINSKE SNAGE U PROSTOR

MODEL VENTILOKONVEKTORA

- Karakteristika (data sheet)

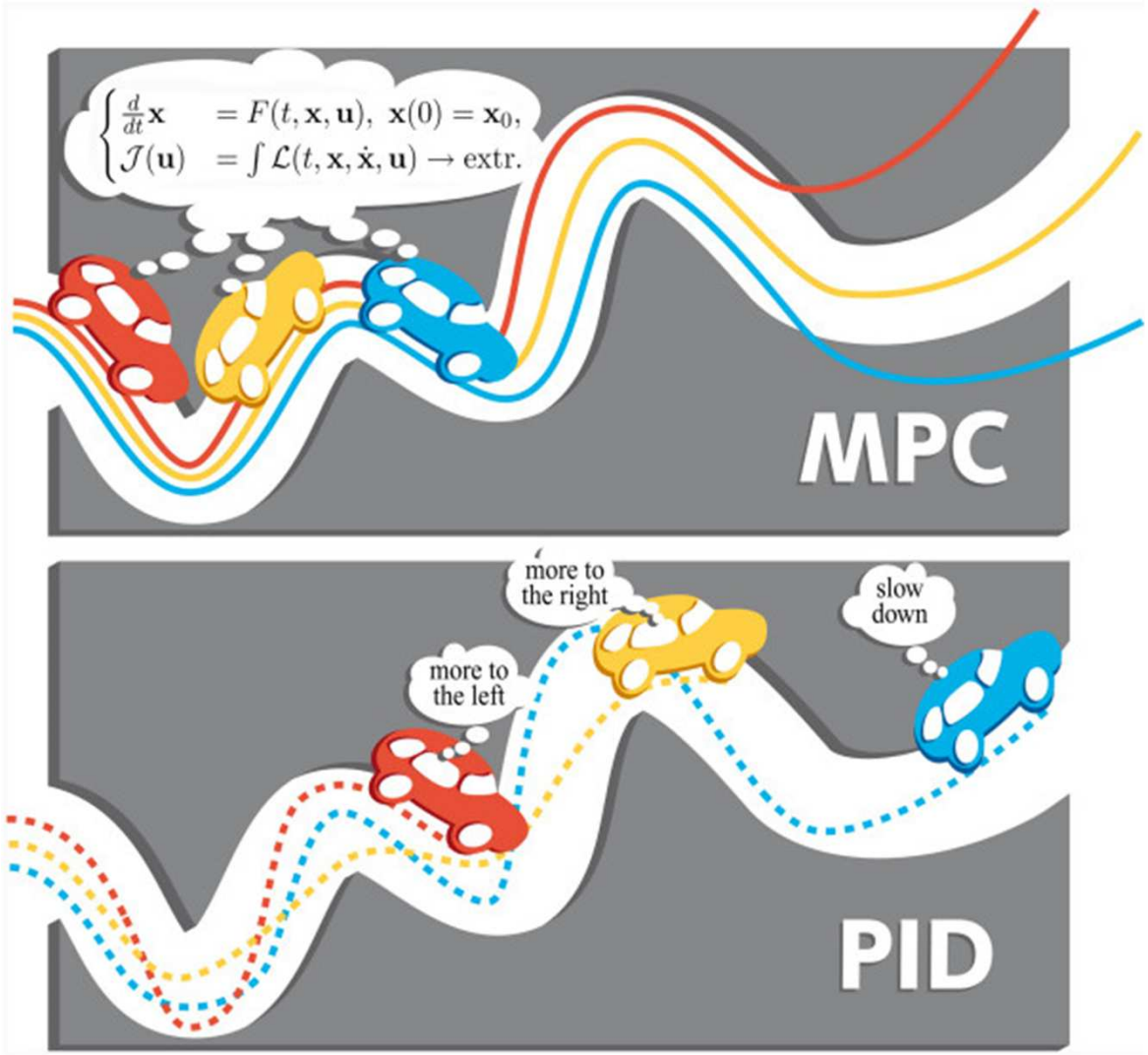
$$P = \phi(\dot{m}_w, \dot{m}_a)(T_{w,in} - T_a)$$





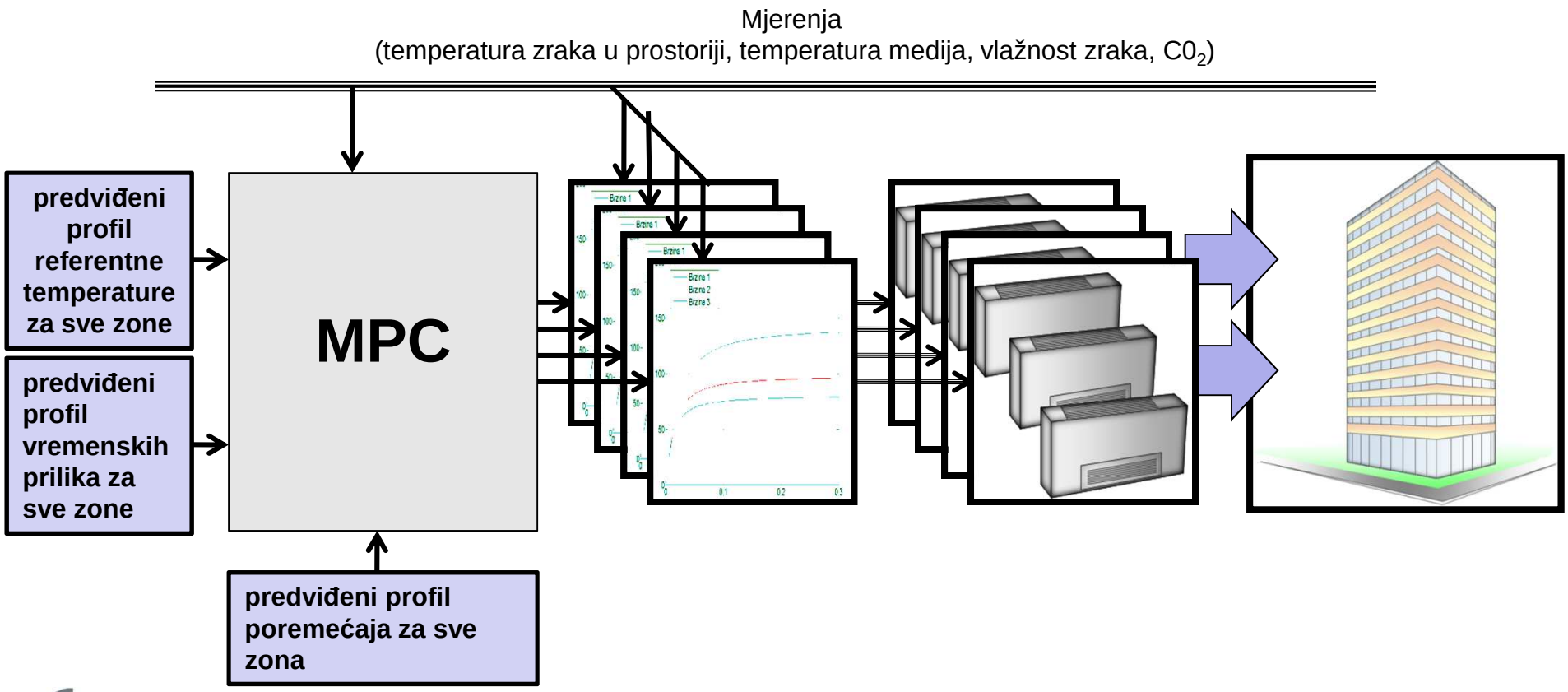
MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE

MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE



MPC UPRAVLJANJE

- Centralno upravljanje na višoj razini



MODELSKO PREDIKTIVNO UPRAVLJANJE

CILJ : Odrediti profile optimalnih toplinskih snaga aktuatora po prostorijama na predikcijskom horizontu, za minimalnu potrošnju ili minimalnu cijenu energije utrošene na predikcijskom horizontu

OGRANIČENJA :

- temperatura prostorije zadana od strane korisnika
- maksimalna moguća snaga koju mogu dati aktuatori

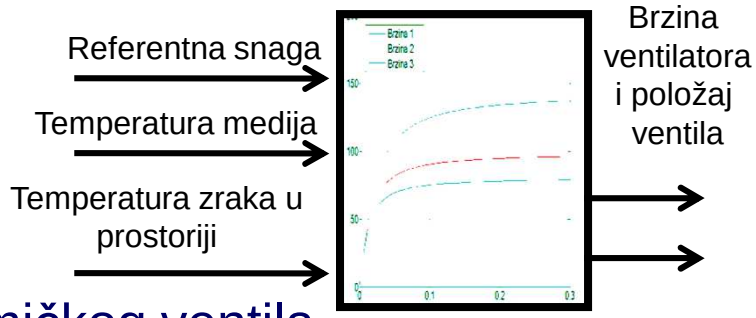
PREDIKCIJA:

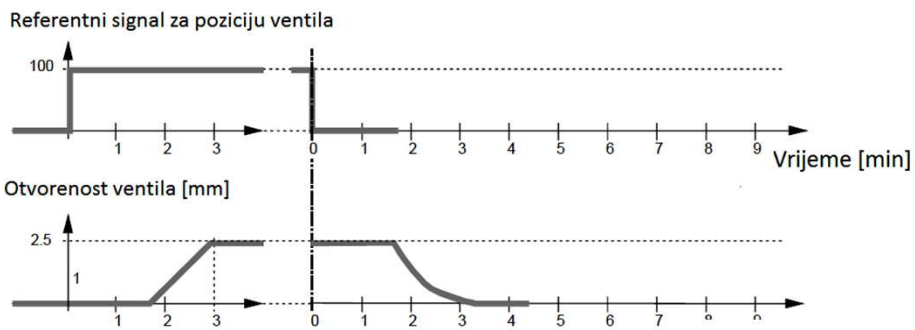
- vremenska prognoza vanjskih vremenskih uvjeta
    - vanjska temperatura, globalna i difuzna dozračenost, vjetar
- predikcija toplinskog poremećaja i referentnih temperatura
- predviđena cijena energije

UPRAVLJANJE VENTILOKONVEKTORIMA

MOGUĆI PROBLEMI

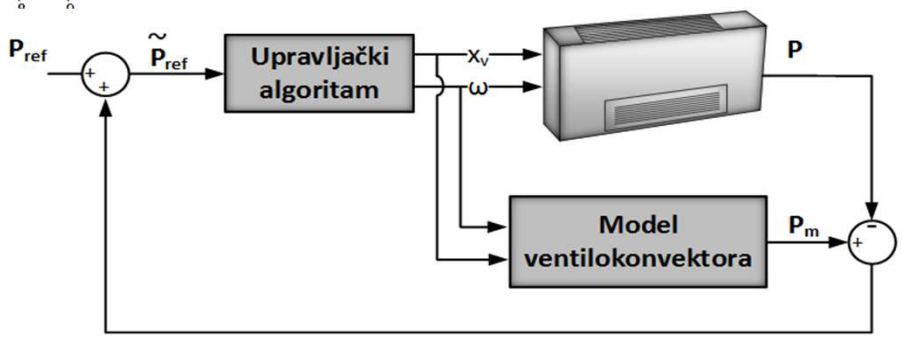
- Slabo poznat model ventilokonvektora
- Prljavi filtri
  - smanjeno forsirano strujanje zraka
- Kašnjenje upravljačkih akcija zbog termičkog ventila





RJEŠENJE = upravljanje s unutarnjim modelom (eng. IMC)

- Kompenzacija pomoću povratne veze



ON-LINE ESTIMACIJA POREMEĆAJA

PROBLEM

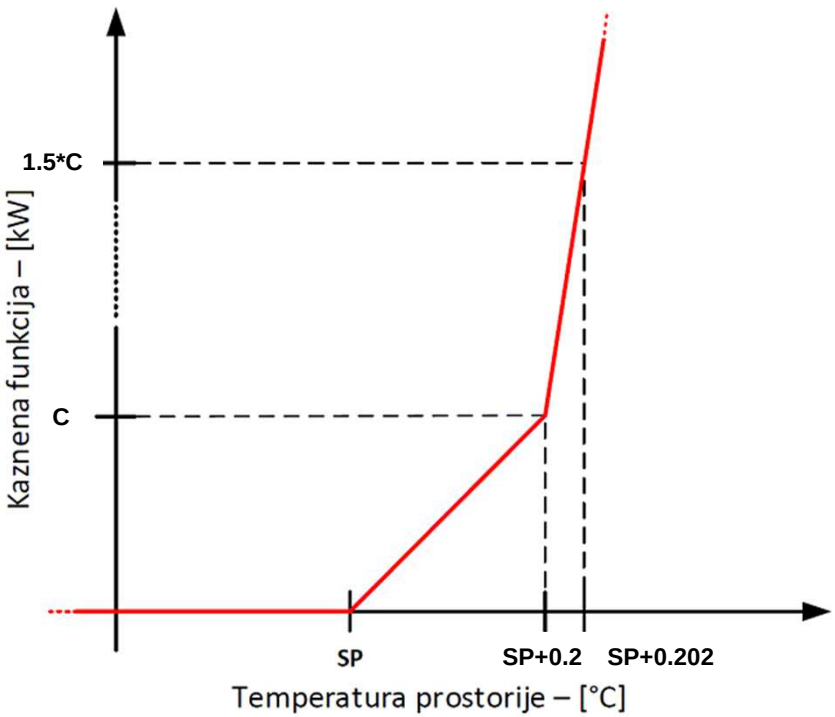
Kako osigurati slijeđenje referentne veličine temperature zadane od strane korisnika u uvjetima kada postoje ne-mjerljive smetnje ili model zgrade nije dovoljno dobro estimiran?

RJEŠENJE

Uvođenje integracijskog djelovanja u zatvorenu petlju upravljanja po temperaturi → On-line estimacija poremećaja

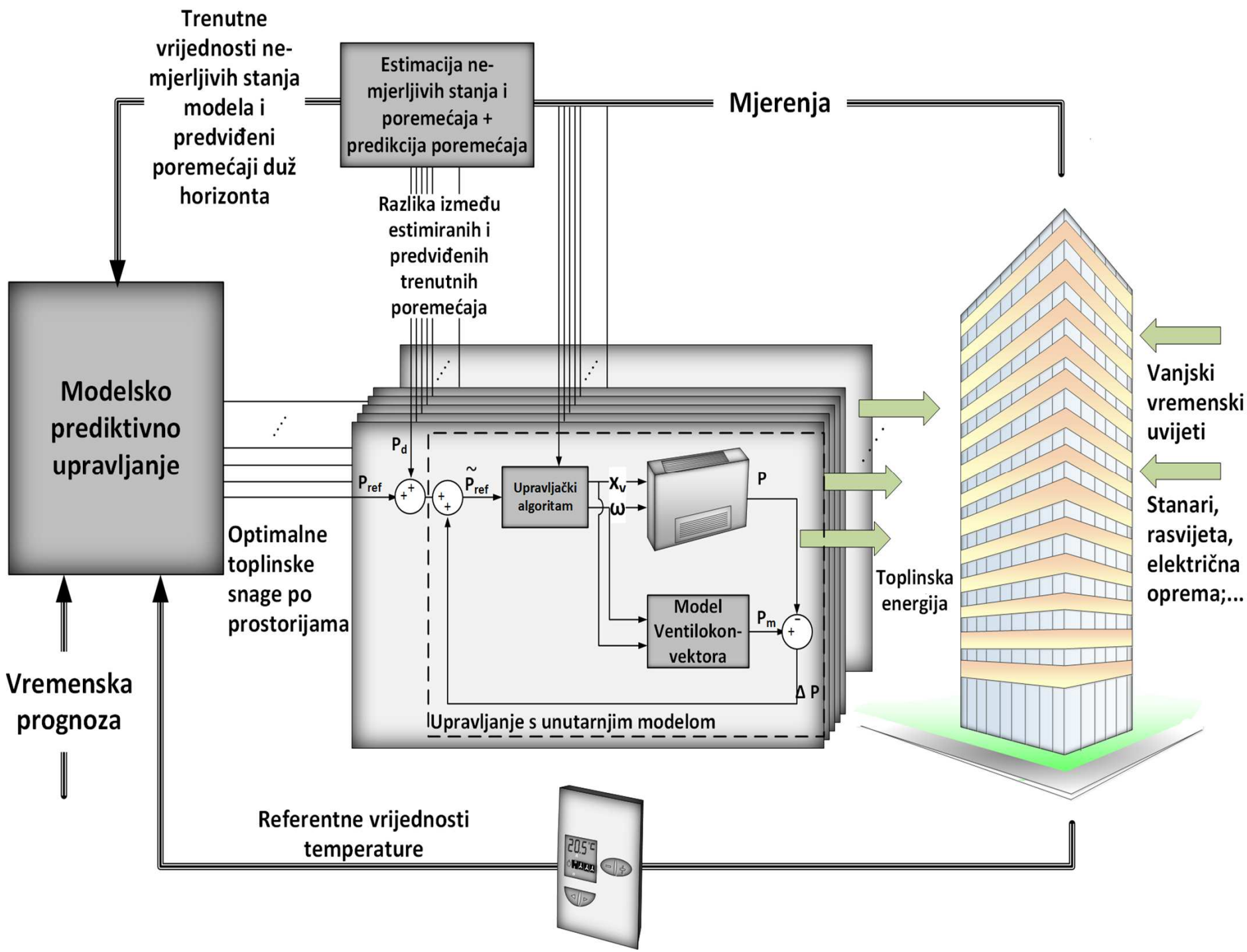
KORISNIČKI DEFINIRANA OGRANIČENJA

– Korisnik zadaje referentne vrijednosti (24 satni profil) željene temperature u prostoriji pomoću Android aplikacije



SP – referentna vrijednost temperature zadana od strane korisnika

C – trošak da se temperatura umjesto na SP+0.2 održava na SP

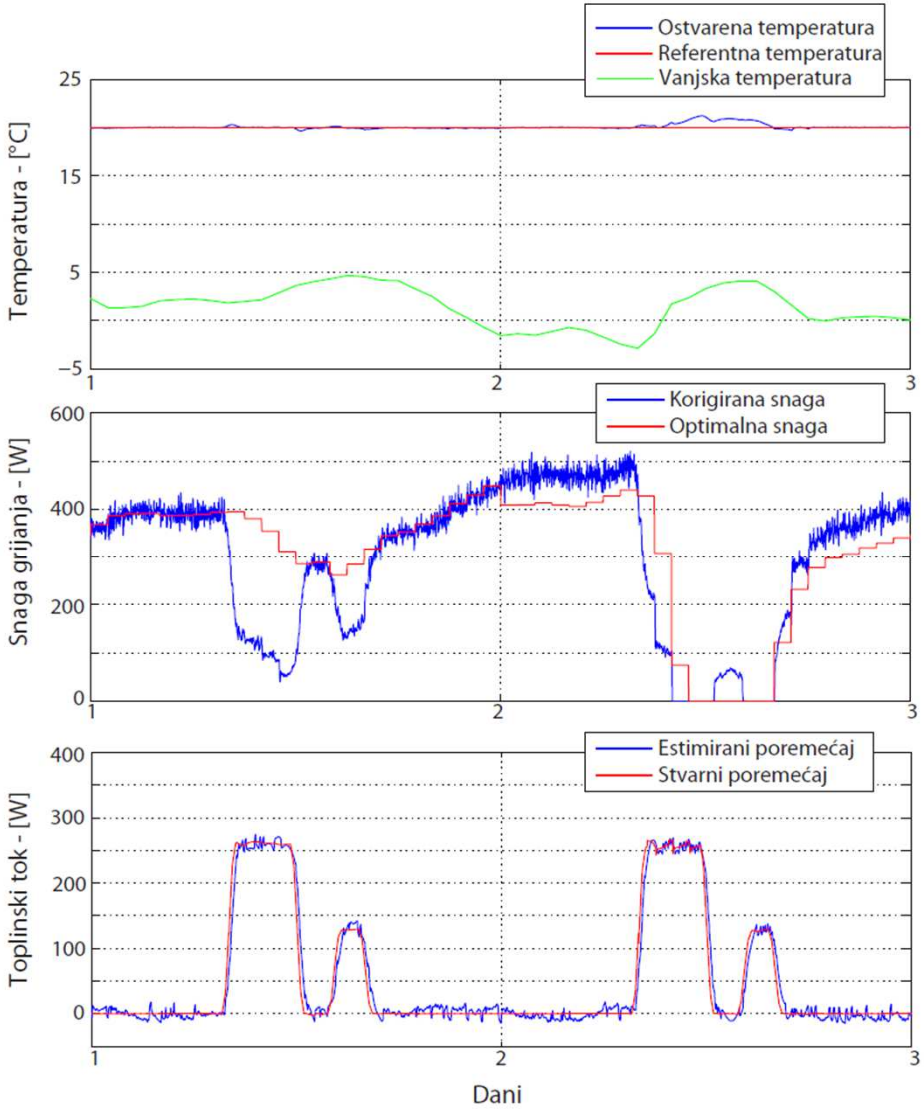

Trenutne vrijednosti ne-mjerljivih stanja modela i predviđeni poremećaji duž horizonta
Estimacija ne-mjerljivih stanja i poremećaja + predikcija poremećaja
Mjerenja
Razlika između estimiranih i predviđenih trenutnih poremećaja
Modelsko prediktivno upravljanje
Optimalne toplinske snage po prostorijama
Vremenska prognoza
P_d
P_{ref}
$\tilde{P}_{ref}$
Upravljački algoritam
X_v
ω
P
Model Ventilokon-vektora
P_m
Δ P
Upravljanje s unutarnjim modelom
Toplinska energija
Vanjski vremenski uvijeti
Stanari, rasvijeta, električna oprema;...
Referentne vrijednosti temperature
20,5°C

ENHEMS-Buildings koncept upravljanja
REZULTATI

Praćenje referentne veličine temperature zadane od strane korisnika

Korekcija optimalne snage proračunate od strane MPC-a na temelju trenutnog estimiranog poremećaja

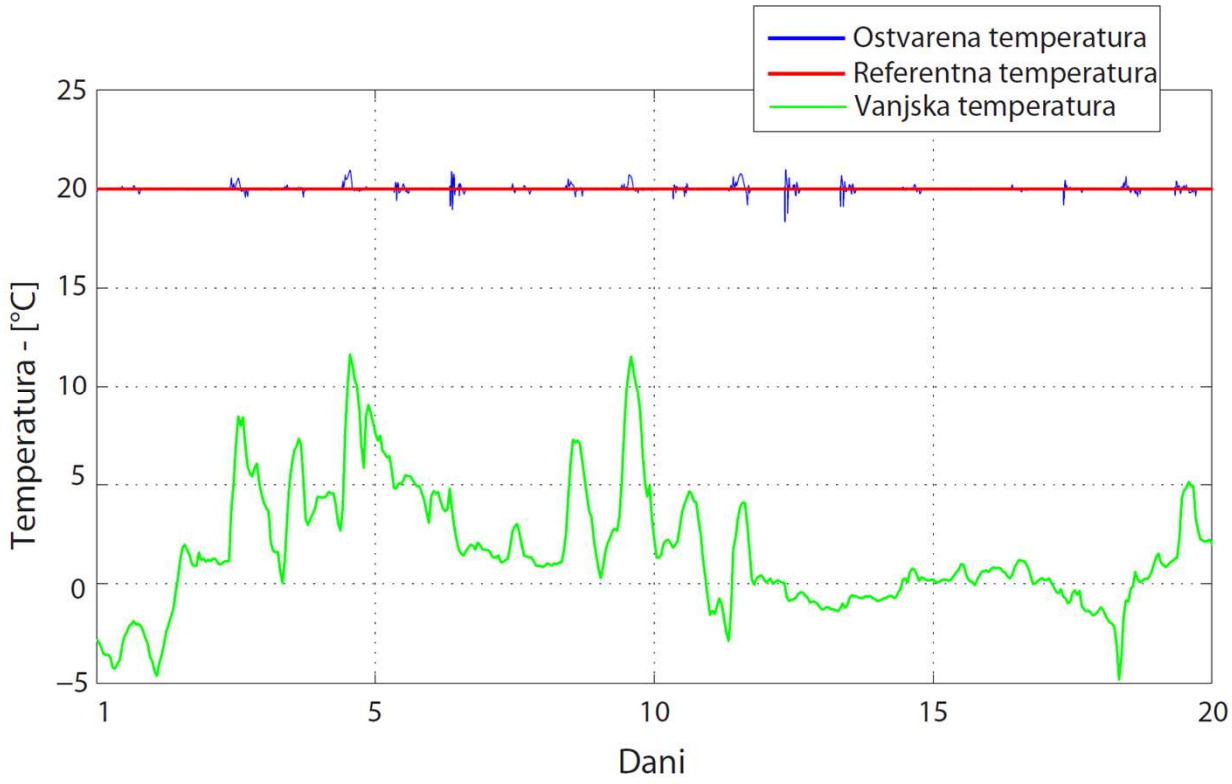
Estimacija poremećaja



5

ENHEMS-Buildings koncept upravljanja REZULTATI

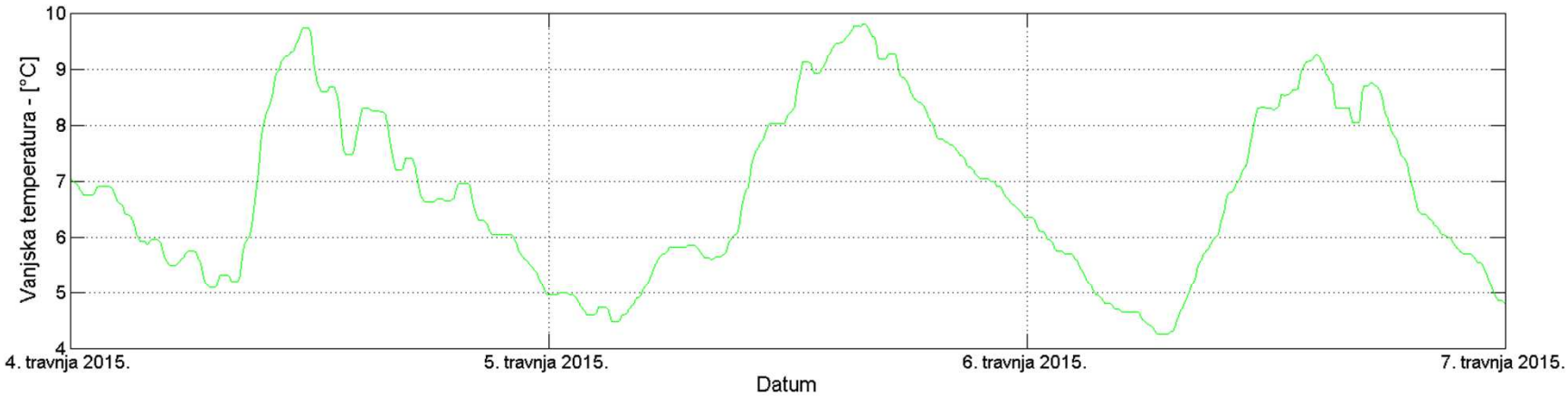
Upravljanje temperaturom prostorije površine 35 m^2 kroz 20 dana uz često otvaranje prozora.

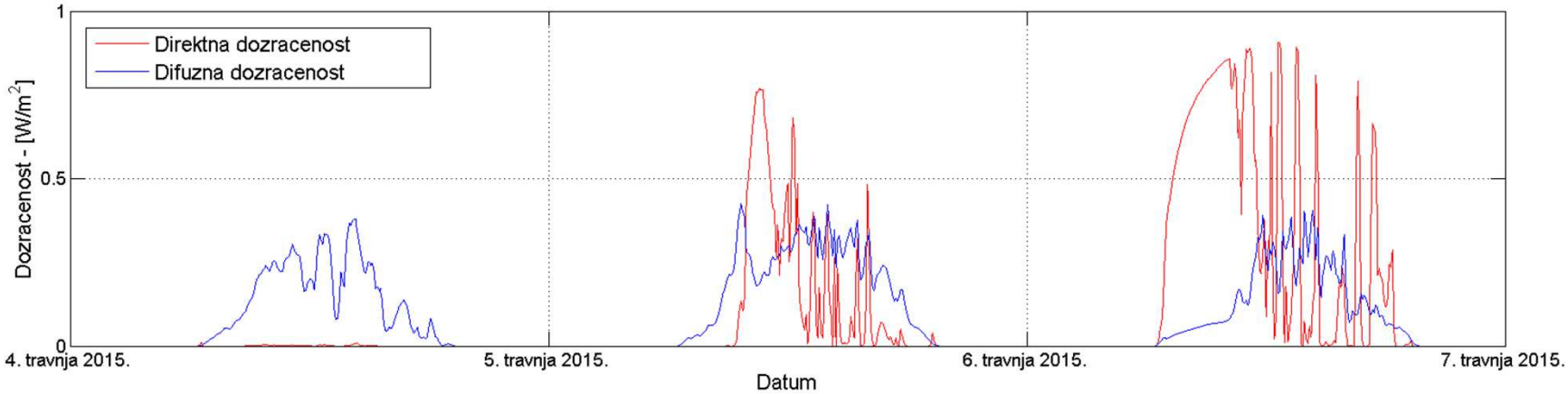


REZULTATI NA STVARNIM PODACIMA (USKRŠNJI PRAZNICI)

PROCJENA UŠTEDA U SEZONI GRIJANJA
Analiza na stvarnim podacima

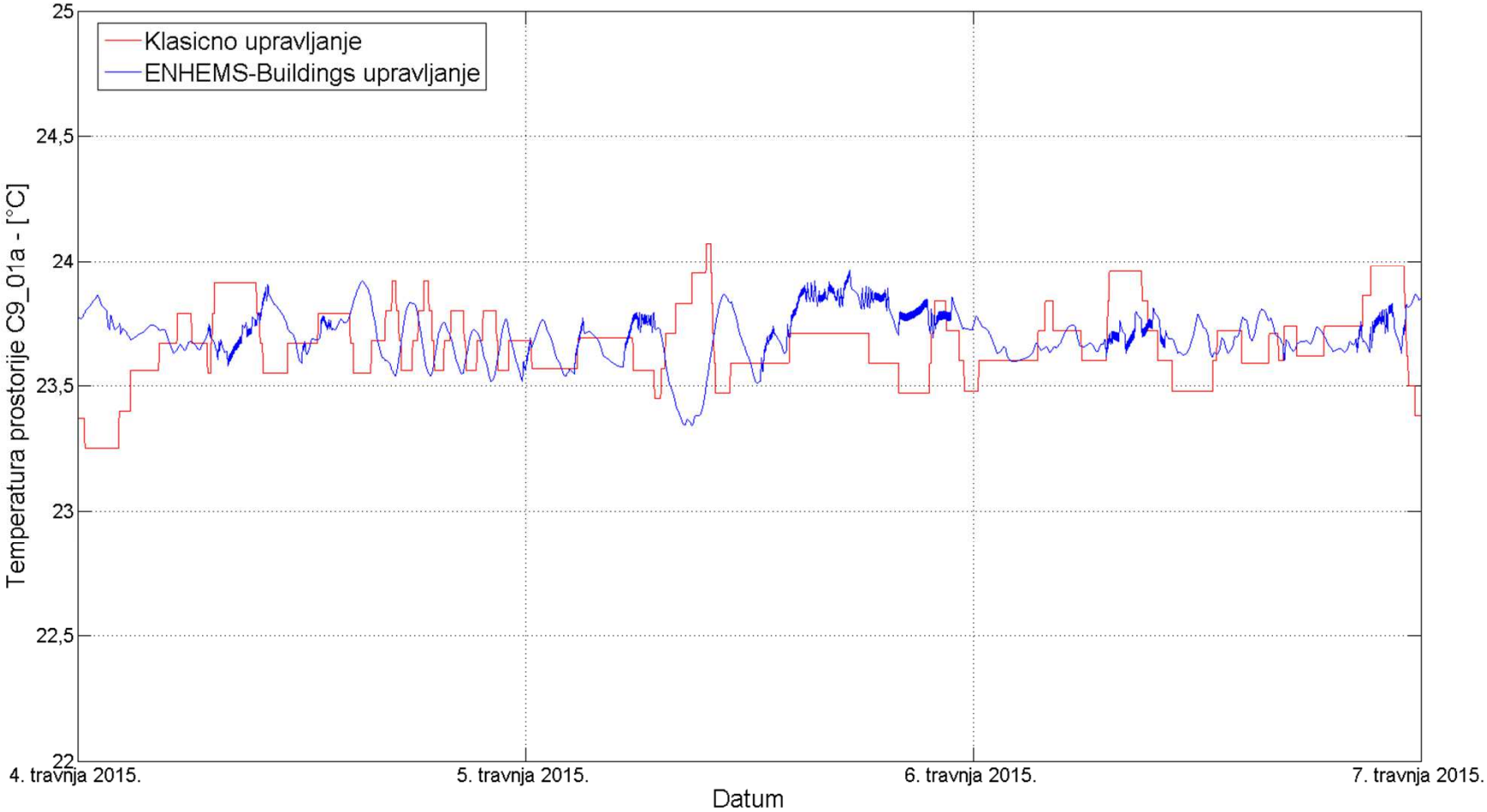
- Temperatura i sunčeva dozračenost





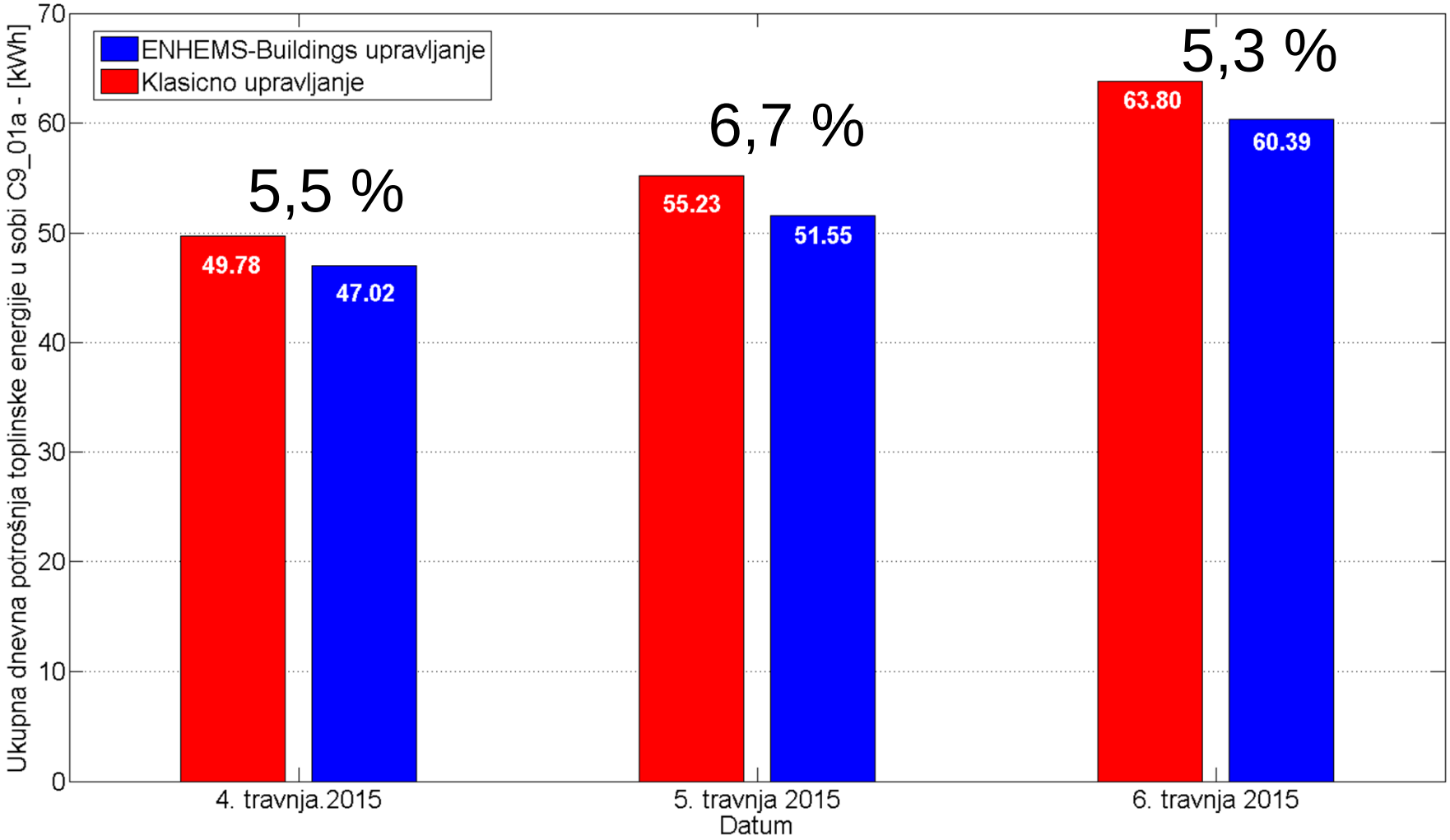
PROCJENA UŠTEDA U SEZONI GRIJANJA
Analiza na stvarnim podacima

- Temperatura prostorije



PROCJENA UŠTEDA U SEZONI GRIJANJA
Analiza na stvarnim podacima

- Potrošnja toplinske energije



Zahvala

Prezentirani istraživački rezultati dobiveni su unutar projekta **ENHEMS-Buildings – Unapređenje kapaciteta istraživanja, razvoja i transfera tehnologije vezanih uz sustave gospodarenja energijom u zgradama.**

Projekt je sufinancirala Europska unija u iznosu od 478.993,14 EUR putem ugovora o dodjeli bespovratnih sredstava br. IPA2007/HR/16IPO/001-040510.

WEB STRANICA PROJEKTA

http://www.enhems-buildings.fer.hr

DISCLAIMER

Sadržaj ove prezentacije isključiva je odgovornost autora i ona ni na koji način ne odražava mišljenje Europske unije.