

# UNAPREĐENJE KAPACITETA ISTRAŽIVANJA, RAZVOJA I TRANSFERA TEHNOLOGIJE VEZANIH UZ SUSTAVE GOSPODARENJA ENERGIJOM U ZGRADAMA ENHEMS-BUILDINGS

Alica Bajić<sup>1</sup>, Mario Vašak<sup>2</sup>, Kristian Horvath<sup>1</sup>, Tomislav Kovačić<sup>1</sup>  
Igor Horvat<sup>1</sup>, Josipa Kuzmić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Državni hidrometeorološki zavod, Grič 3, 10000 Zagreb

<sup>2</sup> Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Unska 3, 10000 Zagreb  
Tel: +385 (0)1 45 65 682, Fax: +385 (0)1 45 65 630, E-mail: alica.bajic@cirrus.dhz.hr

***Sažetak:** Projektom "Unapređenje kapaciteta istraživanja, razvoja i transfera tehnologije vezanih uz sustave gospodarenja energijom u zgradama - ENHEMS Building" popunjava se praznina u hrvatskoj informacijsko-komunikacijskoj tehnološkoj bazi na području sveobuhvatnog učinkovitog upravljanja potrošnjom energije u zgradama, te otvara mogućnost razvoja vlastitih kompetitivnih rješenja. Pri tom se kroz doprinose partnera na projektu – Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (FER), Državnog hidrometeorološkog zavoda, te tvrtki Elma Kurtalj d.o.o. i Hrvatski Telekom d.d. – udružuju sljedeće ključne komponente: optimalno i prediktivno upravljanje sustavima, meteorologija, otvoreni sustavi za prijenos informacija u zgradi i komunikacijski sustavi. Projekt ENHEMS-Building sufinanciran je od Europske unije kroz program „Fond za ulaganje u znanost i inovacije”, IPA2007/HR/161PO/001-040510 (<http://www.enhems-buildings.fer.hr>).*

**Ključne riječi:** gospodarenje energijom u zgradama, prediktivno upravljanje sustavima, Sunčevo zračenje

## 1. UVOD

Globalni trend porasta cijene energije stavlja u žarište zgrade kao tehničke sustave kroz koje čovječanstvo troši oko 40% energije. Izuzetni istraživački naponi ulažu se u svijetu u razna područja tehnike koja mogu doprinijeti smanjenju potrošnje energije u zgradama. Pritom istaknutu ulogu imaju informacijsko-komunikacijske tehnologije koje omogućuju objedinjenje različitih tehnoloških rješenja u jedinstven sustav prilagodljiv samoj zgradi i načinu njena korištenja.

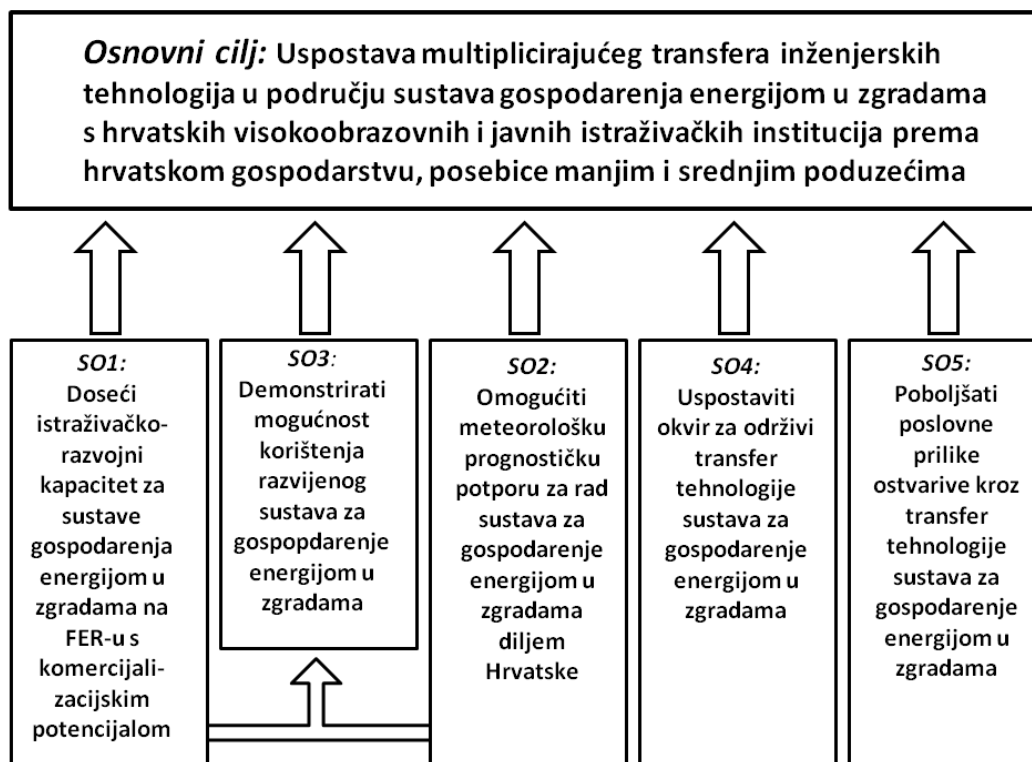
Energetski pregledi zgrada daju statičku sliku potrošnje energije za održavanje prihvatljivih uvjeta u zgradi. Stvarna potrošnja u pravilu pokazuje bitna odstupanja – razlog leži u načinu upravljanja na razini prostorija ili klimatskih zona zgrade u spletu unutarnjih i vanjskih uvjeta rada zgrade koji su u stalnoj tranziciji. Stoga je nužno unaprijediti tehnike prediktivnog upravljanja koje na optimalan način objedinjuju cjelokupan dinamički model zgrade i dostupne informacije o meteorološkim uvjetima i prognozi u algoritam energetski učinkovitog upravljanja zgradom.

Upravo je to osnovna svrha projekta "Unapređenje kapaciteta istraživanja, razvoja i transfera tehnologije vezanih uz sustave gospodarenja energijom u zgradama – ENHEMS-Buildings" (ENHEMS-Buildings) sufinanciranog od Europske unije kroz program „Fond za ulaganje u znanost i inovacije”, IPA2007/HR/161PO/001-040510 (<http://www.enhems-buildings.fer.hr>).

U sljedećim poglavljima ćemo opisati osnovne ciljeve i očekivane rezultate projekta, te predstaviti prve projektne rezultate vezane uz mjerenje Sunčevog zračenja, kao i uz njegovo modeliranje i prognoziranje.

## 2. CILJEVI I OČEKIVANI REZULTATI PROJEKTA ENHEMS-BUILDING

Osnovni cilj projekta ENHEMS-Building je uspostava multiplicirajućeg transfera inženjerskih tehnologija u području sustava gospodarenja energijom u zgradama s hrvatskih visokoobrazovnih i javnih istraživačkih institucija prema hrvatskom gospodarstvu, posebice manjim i srednjim poduzećima. Pritom je definirano 5 specifičnih ciljeva (Slika 1) koji će se ostvariti kroz doprinose partnera na projektu.



Slika 1. Osnovni i specifični ciljevi (SO) projekta ENHEMS-Building.

Rad na projektu podijeljen je u pet radnih paketa (WP) s očekivanim rezultatima (R) navedenim u Tablici 1. Pritom se kroz doprinose partnera na projektu – Fakulteta elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu (FER), Državnog hidrometeorološkog zavoda, te tvrtki Elma Kurtalj d.o.o. i Hrvatski Telekom d.d. – udružuju sljedeće ključne komponente: optimalno i prediktivno upravljanje sustavima, meteorologija, otvoreni sustavi za prijenos informacija u zgradi i komunikacijski sustavi.

Tablica 1. Radni paketi (WP) i očekivani rezultati (R) projekta ENHEMS-Buildings

Radni paket	Očekivani rezultati
<p><b>WP1:</b> Razvoj alata za dizajn sustava za gospodarenje energijom u zgradama</p>	<p><b>R1.1.</b> Stvoren skup alata za dizajn sustava za gospodarenje energijom u zgradama koji je prilagođen konkretnoj zgradi</p>
<p><b>WP2:</b> Razvoj meteorološke prognostičke potpore za rad sustava za gospodarenje energijom u zgradama</p>	<p><b>R2.1.</b> Stvorena infrastruktura za mjerenje, modeliranje i prognoziranje Sunčeve ozračenosti za bilo koju lokaciju u Hrvatskoj</p> <p><b>R2.2.</b> Razvijeni odgovarajući prognostički servisi za potporu rada sustava za gospodarenje energijom u zgradi</p>
<p><b>WP3:</b> Demonstracija rada sustava za gospodarenje energijom u zgradi</p>	<p><b>R3.1.</b> Sustav za gospodarenje energijom u zgradi (BEMS) instaliran nad postojećim sustavom upravljanja zgradom</p> <p><b>R3.2.</b> Obavljena demonstracija rada BEMS-a na neboderskoj zgradi FER-a s kvantificiranim pokazateljima performansi tog sustava</p>
<p><b>WP4:</b> Uspostava centra za transfer tehnologije sustava za gospodarenje energijom u zgradi</p>	<p><b>R4.1.</b> Utvrđene smjernice za aktivnost konzorcija prema van</p> <p><b>R4.2.</b> Uspostavljen centar za transfer tehnologije sustava za gospodarenje energijom u zgradama (BEMS-TTC)</p>
<p><b>WP5:</b> Diseminacija razvijenih tehnologija i umrežavanje s dionicima</p>	<p><b>R5.1.</b> Utvrđene smjernice za daljnji razvoj tehnologije sustava gospodarenja energijom u zgradama koje imaju veliki potencijal za transfer tehnologije</p> <p><b>R5.2.</b> Prema dionicima promovirane ekonomske i okolišne pogodnosti ostvarive sustavom gospodarenja energijom u zgradama</p>

### 3. METEOROLOŠKA POTPORA PROJEKTU ENHEMS-BUILDINGS

Za efikasan sustav gospodarenja energijom u zgradama nužno je poznavanje Sunčeve ozračenosti. Stoga je meteorološka potpora ostvarenju ciljeva projekta ENHEMS-Buildings od velikog značaja i svodi se na dva osnovna dijela:

1. mjerenje Sunčevog zračenja;
2. prognoza Sunčevog zračenja.

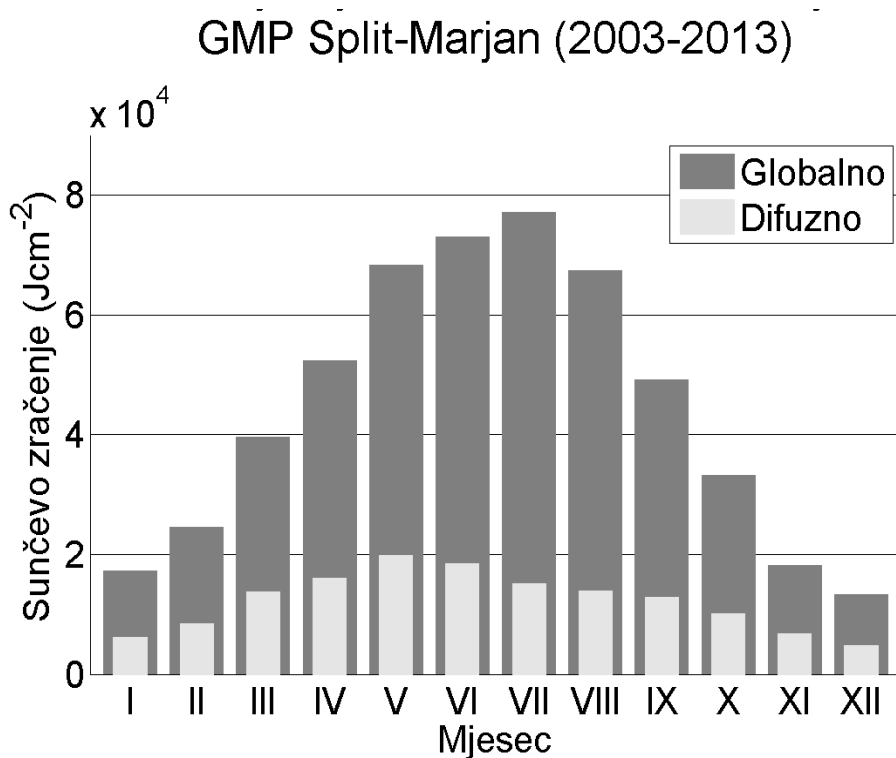
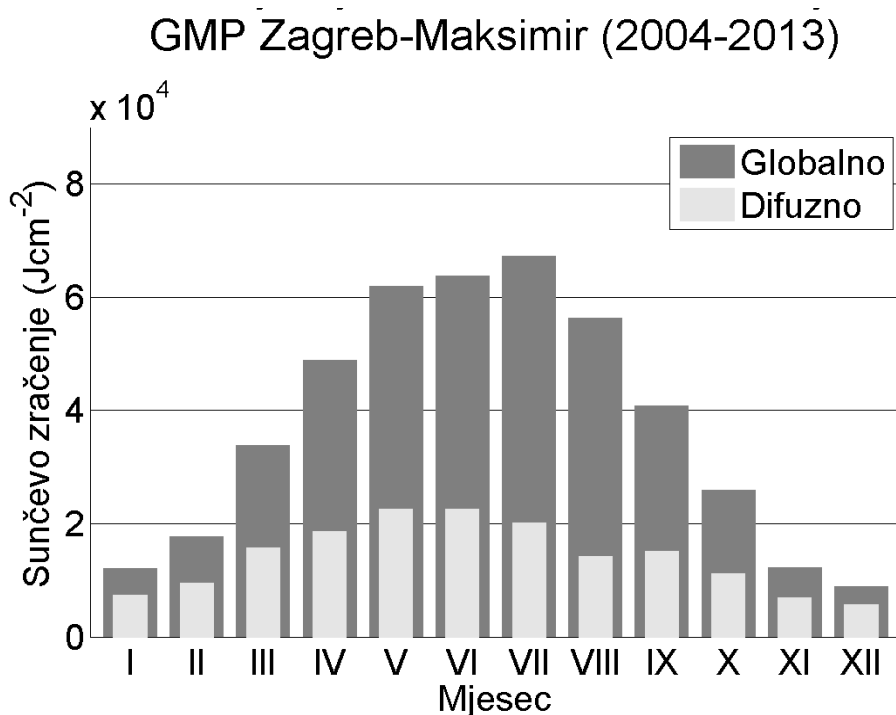
#### 3.1. Mjerenje Sunčevog zračenja u Hrvatskoj

Mjerenja globalnog Sunčevog zračenja provode se u mreži meteoroloških postaja Državnog hidrometeorološkog zavoda na 7 lokacija (Slika 2), pri čemu se do početka rada projekta na postajama Zagreb-Maksimir i Split-Marjan mjerilo i difuzno zračenje (Tablica 2). Stoga je u okviru rada na projektu ENHEMS-Buildings nabavljena i instalirana oprema za mjerenje difuznog zračenja na postajama Rijeka, Zadar, Dubrovnik i Gospić, te je dodatno meteorološka postaja Osijek Čepin obogaćena mjerenjima i globalnog i difuznog zračenja. Time se postigla zadovoljavajuća pokrivenost Hrvatske s mjerenjima zračenja s obzirom na različitost klimatskih područja na što ukazuju i godišnji hodovi globalnog i difuznog zračenja dani na Slici 3.

Kako bi se omogućila što bolja iskoristivost podataka mjerenja u okviru projekta razvijena je i baza podataka Sunčevog zračenja (Croatian Solar Irradiance Data Base).



Slika 2. Položaj meteoroloških postaja s mjerenjima globalnog i difuznog zračenja u Hrvatskoj.



Slika 3. Srednji godišnji hodovi globalnog i difuznog Sunčevog zračenja na glavnim meteorološkim postajama (GMP) Zagreb-Maksimir (razdoblje 2004-2013) i Split-Marjan (razdoblje 2003-2013).

Tablica 2. Postaje i početna godina mjerenja globalnog i difuznog Sunčevog zračenja na području Hrvatske. Mjerenja uspostavljena u okviru projekta ENHEMS-Building označena su kurzivom.

<b>Postaja</b>	<b>Globalno zračenje</b>	<b>Difuzno zračenje</b>
Zagreb-Maksimir	2004	2004
Osijek-Čepin	<i>2013</i>	<i>2013</i>
Gospić	2005	<i>2013</i>
Rijeka-Kozala	2003	<i>2013</i>
Zadar	2006	<i>2013</i>
Split-Marjan	2003	2003
Dubrovnik	2003	<i>2013</i>

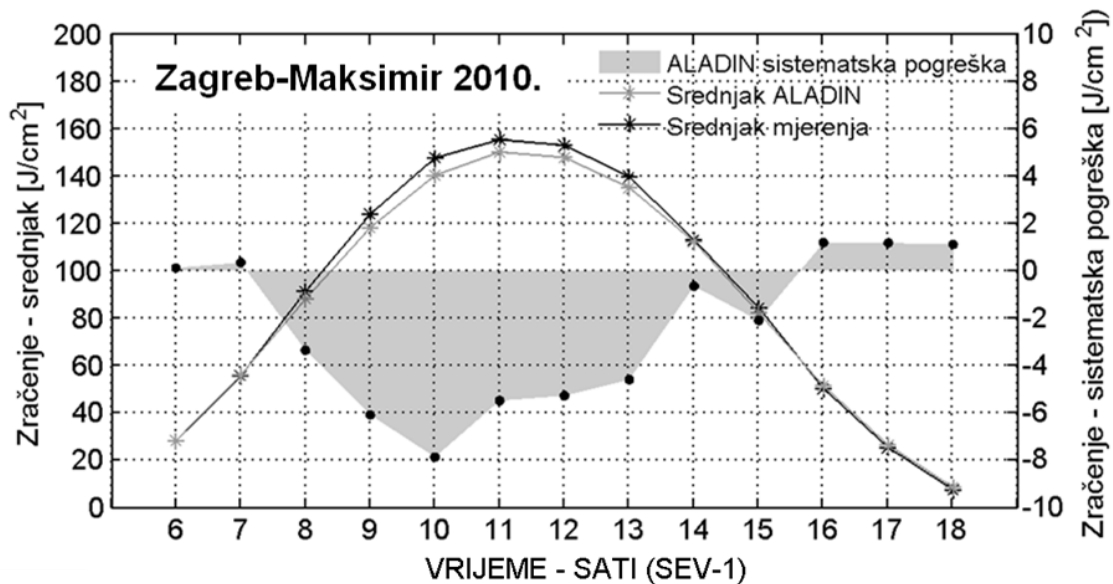
### **3.2. Prognoza Sunčevog zračenja kao potpora radu sustava za gospodarenje energijom u zgradama**

Iskoristivost sustava za gospodarenje energijom u zgradama ovisi u velikoj mjeri i o poznavanju trenutne i buduće količine Sunčevog zračenja kojemu je zgrada izložena. Stoga je uz podatke mjerenja zračenja na lokaciji zgrade nužno poznavati i što točnije prognozirane vrijednosti u sljedećem razdoblju od nekoliko sati do nekoliko dana. Tako su prognoza Sunčevog zračenja i njeno poboljšanje bitni ciljevi projekta ENHEMS-Buildings.

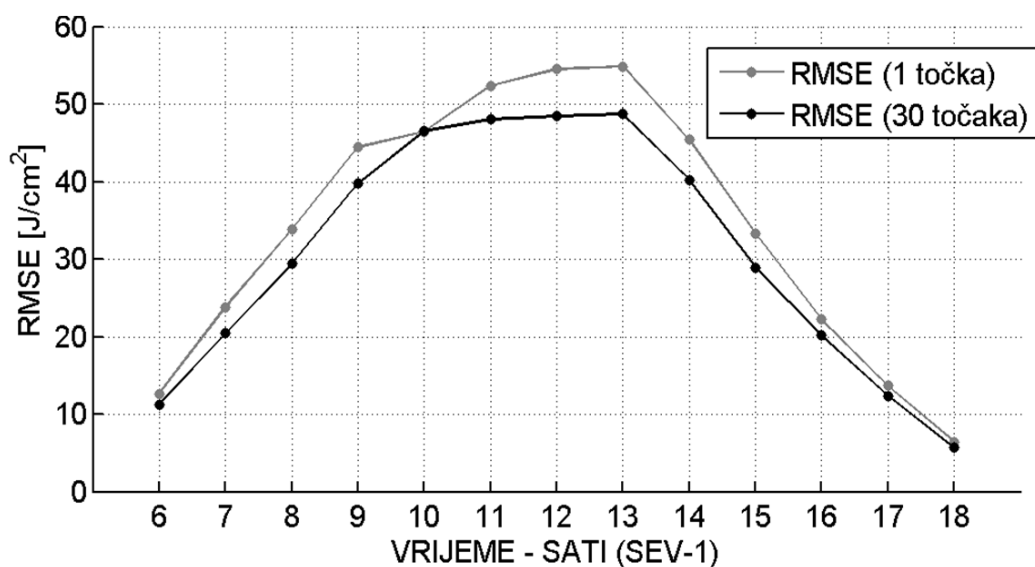
Prognozičke vrijednosti Sunčevog zračenja proračunavaju se u Državnom hidrometeorološkom zavodu operativno četiri puta dnevno koristeći numerički model atmosfere ALADIN [1]. Zbog složenosti atmosferskih procesa i nužnih aproksimacija koje se uvode tijekom prenošenja jednadžbi koje opisuju atmosferske procese u numerički rješiv oblik, te vremenske i prostorne razlučivosti modela, prognozirane vrijednosti razlikuju se od izmjerenih. Smanjenje pogreške prognoze Sunčevog zračenja također je jedan od ciljeva projekta ENHEMS-Buildings.

Veličine pogrešaka pokazat ćemo na primjeru svakodnevnih prognoza tijekom 2010. godine za Zagreb Maksimir. Sve prognoze rađene su s početnim stanjem u 00 sati dotičnog dana, a Sunčevo je zračenje dano kao satne količine energije Sunčevog zračenja koja dođe na jediničnu horizontalnu površinu na površini Zemlje. Količina Sunčevog zračenja uzeta je za svaki puni sat za vrijeme trajanja Sunca počev od 7 sati i završno s 19 sati. Na slici 4. prikazani su dnevni hodovi srednje vrijednosti prognoziranog i izmjerenog zračenja. Uočavamo da su prognozirane vrijednosti nešto manje od izmjerenih osim u jutarnjim i večernjim satima. Sjenčanom površinom označene su razlike između prognoziranih i

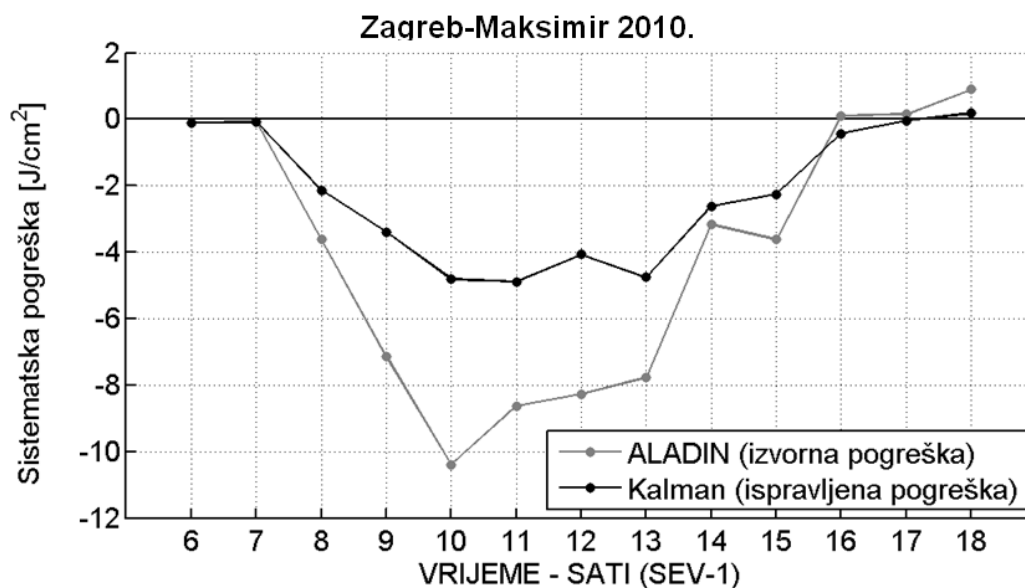
mjerenih vrijednosti. Ta razlika prikazuje sistematsku pogrešku prognoze i najvećim dijelom je posljedica pogreške u prognozi položaja oblaka.



Slika 4. Srednji dnevni hodovi globalnog Sunčevog zračenja dobiveni na osnovi podataka mjerenja i prognostičkog modela ALADIN, te sistematska pogreška prognoze za Zagreb-Maksimir za 2010. godinu.



Slika 5. Dnevni hod srednje kvadratne pogreške - smanjenje odstupanja prognozirane od mjerene vrijednosti globalnog Sunčevog zračenja nakon osrednjavanja prognoze preko kvadrata stranica koje se protežu preko 30 točaka modela, Zagreb-Maksimir, 2010.godina



Slika 6. Smanjenje sistematske pogreške prognoze globalnog Sunčevog zračenja primjenom Kalmanovog filtera, Zagreb-Maksimir, 2010. godina.

Zbog te greške može se dogoditi da se oblak koji se u prirodi nalazi iznad neke promatrane točke u modelu nalazi u susjednoj točki ili pomaknut za nekoliko točaka. Zbog toga se prognozirano zračenje osrednjava, t.j. računa se aritmetička sredina svih vrijednosti unutar kvadrata čije su stranice nekoliko točaka mreže modela odmaknute u svim smjerovima od promatrane točke. Slika 5. prikazuje smanjenje odstupanja prognozirane od mjerene vrijednosti globalnog Sunčevog zračenja kad umjesto prognozirane vrijednosti u jednoj točki uzmemo aritmetičku sredinu prognoziranih vrijednosti u svim točkama unutar kvadrata sa stranicama dužine 30 točaka modela.

Sistematska pogreška modela može se smanjiti i primjenom neke od statističkih metoda koje koriste dugogodišnje nizove mjerenih vrijednosti Sunčevog zračenja kao ulazni podatak. Jedna od najpoznatijih metoda je primjena Kalmanovog filtra [2]. Primjenom Kalmanovog filtra znatno je smanjena sistematska pogreška modela (Slika 6) i osiguran pouzdaniji ulazni podatak u automatizirani sustav gospodarenja energijom u zgradi.

Sve su ovo trenutni rezultati rada na primjeni metoda za smanjenje pogreške prognoze koji se i dalje nastavlja.



#### **4. ZAKLJUČAK**

Sustav gospodarenja energijom u zgradama kojim će rezultirati projekt "Unapređenje kapaciteta istraživanja, razvoja i transfera tehnologije vezanih uz sustave gospodarenja energijom u zgradama - ENHEMS Buildings" bit će visokoprimjeniv alat mnogim korisnicima kao što su:

- vlasnici zgrada,
- visokoobrazovne institucije, javni istraživački instituti te manja i srednja poduzeća aktivni u dizajnu sustava ovisnih o atmosferskim prilikama,
- telekomunikacijske tvrtke,
- financijski sektor i tvrtke koje pružaju energetske usluge (ESCO),
- distributeri energije i energenata.

Vjerujemo da će utvrđene smjernice za daljnji razvoj tehnologije sustava za gospodarenje energijom u zgradama imati velik potencijal za transfer tehnologije i rezultirati još mnogobrojnim sličnim projektima.

#### **LITERATURA:**

[1] Tudor, M., Ivatek-Šahdan, S., Stanešić, A., Horvath, K., Bajić, A.: Forecasting Weather in Croatia Using ALADIN Numerical Weather Prediction Model, Climate Change and Regional/Local Responses / Zhang, Yuanzhi ; Ray, Pallav (ur.). Rijeka : InTech, 2013. Str. 59-88.

[2] Pelland, S. , G. Galanis, G. Kallos, 2011: Solar and photovoltaic forecasting through post-processing of the global environmental multiscale numerical weather prediction model. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, <http://dx.doi.org/10.1002/pip.1180>

# **ENHANCEMENT OF RESEARCH, DEVELOPMENT AND TECHNOLOGY TRANSFER CAPACITIES IN ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS FOR BUILDINGS ENHEMS-BUILDINGS**

***Abstract:** The action Enhancement of Research, Development and Technology Transfer Capacities in Energy Management Systems for Buildings (ENHEMS-Buildings) aims to fill the gap in Croatian ICT base within the area of all-inclusive energy-efficient control of comfort in buildings, and unlocks the development possibilities for own competitive solutions. In order to accomplish that, ENHEMS-Buildings joins contributions in optimal and predictive control, meteorology, open building automation systems and telecommunication systems. That is accomplished through cooperation of the action partners and associates – University of Zagreb Faculty of Electrical Engineering and Computing (FER, the applicant), Meteorological and Hydrological Service, Elma Kurtalj Ltd. and Hrvatski Telekom d.d.. The action ENHEMS-Buildings is funded by the European Union through Science Investment and Innovation Fund IPA2007/HR/161PO/001-040510 (<http://www.enhems-buildings.fer.hr>).*

**Key words:** energy-efficiency control of comfort in buildings, predictive control, solar irradiance