Usluga unapređenja sustava upravljanja zgradom u računalnom oblaku – rezultati projekta ENHEMS-Buildings

- **ENHEMS-Buildings – projektna ideja, partneri i uloge**
  - Izv. prof. dr. sc. Mario Vašak, Sveučilište u Zagrebu Fakultet elektrotehnike i računarstva (FER), koordinator projekta ENHEMS-Buildings
- **Meteorološka podrška energetski učinkovitom zgradarstvu**
  - Doc. dr. sc. Kristian Horvath, Državni hidrometeorološki zavod, partner na projektu
- **Prijenos i upravljanje podatcima sa senzora i aktuatora zgrade – ENHEMS-Buildings i BrightCore**
  - Ninoslav Kurtalj, Elma Kurtalj d.o.o., suradni partner na projektu
- **ENHEMS-Buildings: upravljanje i estimacija u zgradi za smanjenje operativnih troškova njenog rada**
  - Izv. prof. dr. sc. Mario Vašak, FER
- **ENHEMS-Buildings – perspektiva usluge gospodarenja energijom u zgradama**
  - Mr. sc. Ružica Gajić, Hrvatski Telekom d.d., suradni partner na projektu

Državni
hidrometeorološki
zavod

Meteorološka potpora energetski učinkovitom zgradarstvu

Projekt ENHEMS-Buildings

K. Horvath (kristian.horvath@cirus.dhz.hr),
A. Bajić, T. Kovačić, S.Ivatek-Šahdan, I. Horvat, A. Stanešić, M. Tudor,
D. Tomšić, Z. Jakopović, J. Kuzmić

Državni hidrometeorološki zavod

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

Uvod

Zgrade - tehnički sustavi kroz koje se **troši oko 40% energije,** jako ovisni o **okolišnim uvjetima**

Interdisciplinarnost meteorologije i zgradarstva

1. Meteorološke podloge za planiranje i projektiranje

A) Baze meteoroloških/klimatskih podataka (iz izmjerenih podataka)

Npr. baza za MGiPU, služi za:

- Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama
- Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada

→ Srednje dnevne vrijednosti (49 gradova), mjesečne sume S. zračenja, određivanje reprezentativne godine za procjenu godišnjih potreba za grijanjem i hlađenjem, projektne vrijednosti za grijanje i hlađenje po normi HRN EN ISO 15927-5

Perčec Tadić M, Sokol Jurković R, Gajić-Čapka M (2014), Baza klimatskih podataka za izračun energetskih svojstava zgrade, *XXIV međunarodni znanstveni kongres o energiji i zaštiti okoliša: zbornik radova.* Franković, B (ur.). Hrvatski savez za sunčevu energiju Rijeka, 457-466

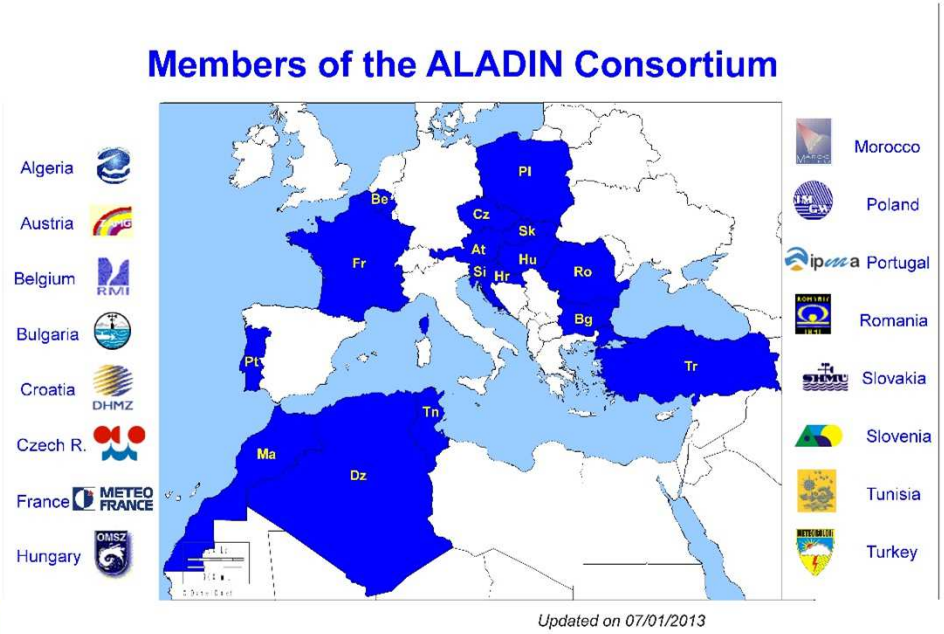
Uvod

2. Numerička prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

- Prediktivno upravljanje povećava učinkovitost upravljanja energijom u zgradi
- Dostupne informacije o meteoroloških uvjetima i prognozi za idućih nekoliko dana unaprijed koriste se za optimalno objedinjavanje cjelokupnog dinamičkog modela zgrade

Model ALADIN

- Računalni model za kratkoročnu prognozu vremena (do 3 dana unaprijed)
- Koristi se u većini zemalja EU i šire
- Od 2010 godine koristi se i HIRLAM konzorciju (9 zemalja iz EU)



Projekt ENMEHS-Buildings

Osnovni cilj: **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**

SO1: Doseći istraživačko-razvojni kapacitet za sustave gospodarenja energijom u zgradama na FER-u s komercijali-zacijskim potencijalom

SO3: Demonstrirati mogućnost korištenja razvijenog sustava za gospopdarenje energijom u zgradama

SO2: Omogućiti meteorološku prognostičku potporu za rad sustava za gospodarenje energijom u zgradama diljem Hrvatske

SO4: Uspostaviti okvir za održivi transfer tehnologije sustava za gospodarenje energijom u zgradama

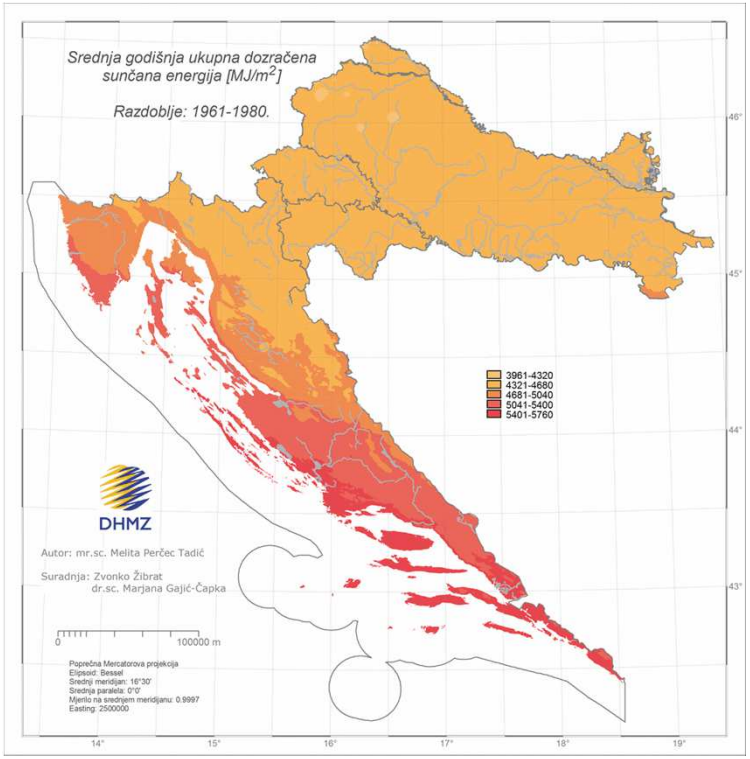
SO5: Poboljšati poslovne prilike ostvarive kroz transfer tehnologije sustava za gospodarenje energijom u zgradama

ENHEMS-Buildings: Mjerenje Sunčevog zračenja

Stručni cilj vezan za automatska mjerenja

- Povećati broj postaja s mjerenjima S. zračenja
- Preporuka WMO: udaljenost između postaja trebala bi biti manja od 250 km (WMO, 2003a)

World Meteorological Organization, 2003*a: Manual on the Global Observing System. Volume I – Global* Aspects, WMO-No. 544, Geneva.



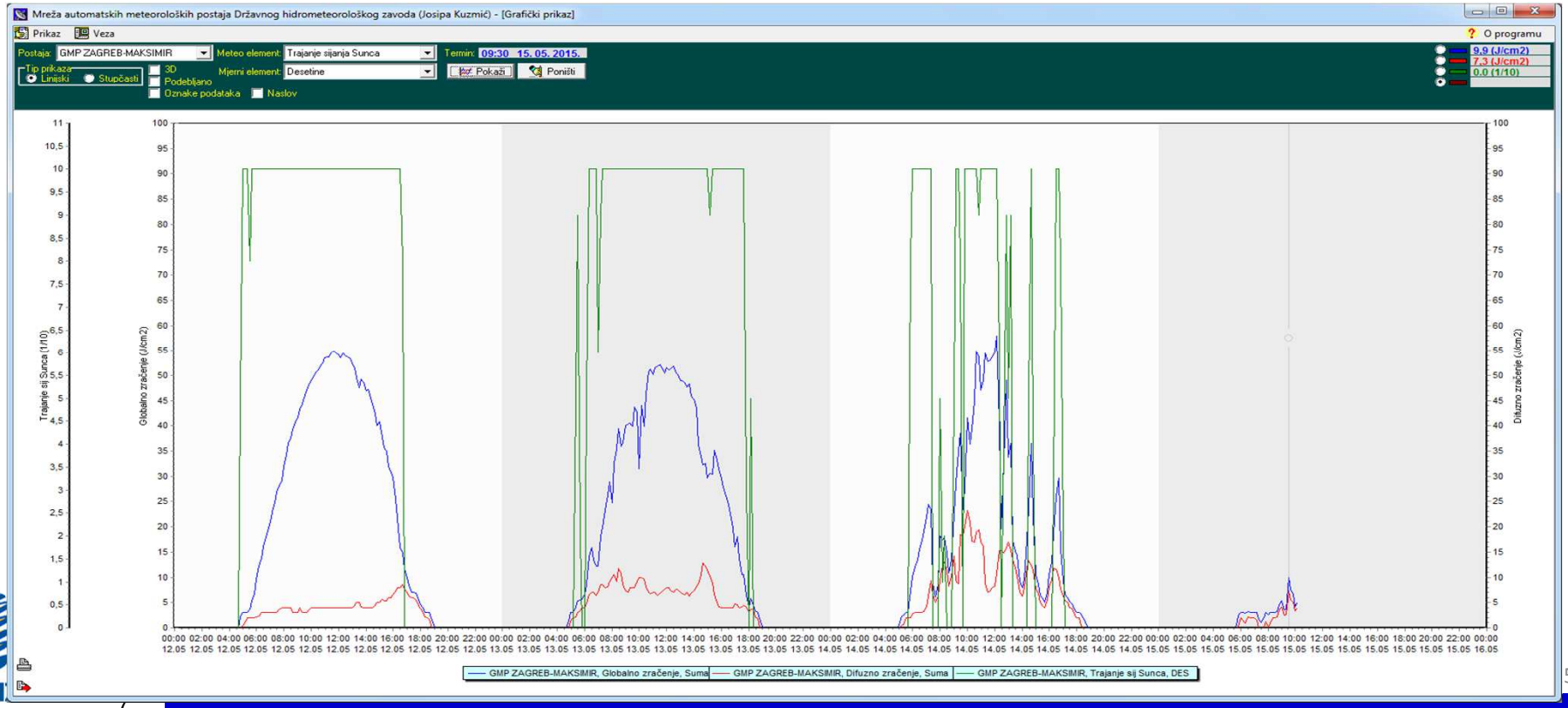
Početna godina mjerenja globalnog (GZ) i difuznog (DZ) zračenja

Postaja	**GZ**	**DZ**
Zagreb-Maksimir	2004	2004
Osijek-Čepin	***2013***	***2013***
Gospić	2005	***2013***
Rijeka-Kozala	2003	***2013***
Zadar	2006	***2013***
Split-Marjan	2003	2003
Dubrovnik	2003	***2013***

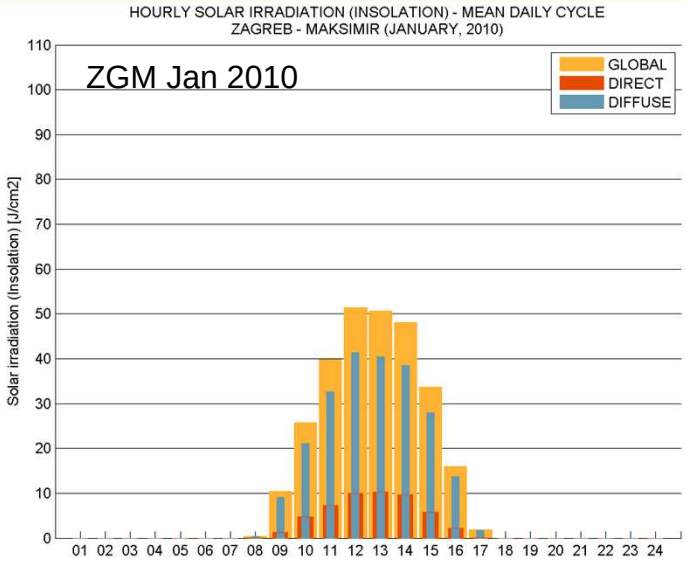
ENHEMS-Buildings: Croatian Solar Irradiance Data Base (CROSIDBA)

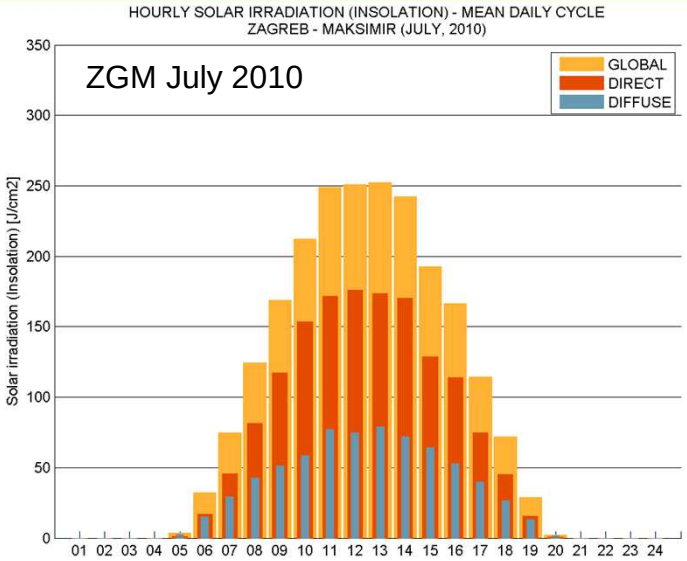
- 10-minutne sume globalne i difuzne Sunčeve dozračenosti (7 GMP), trajanje sijanja Sunca (2 GMP)

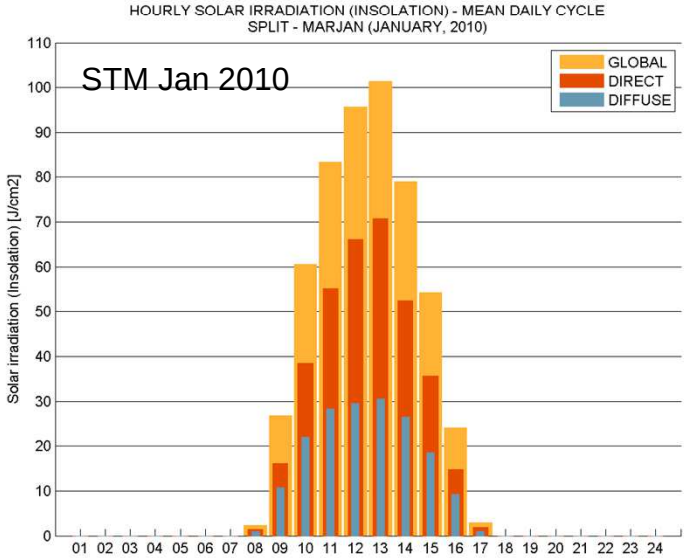
- MBPregled
  - ✓ pregled podataka od sadašnjeg sata pa unatrag 4 dana
  - ✓ prikaz: karta, tablica, graf

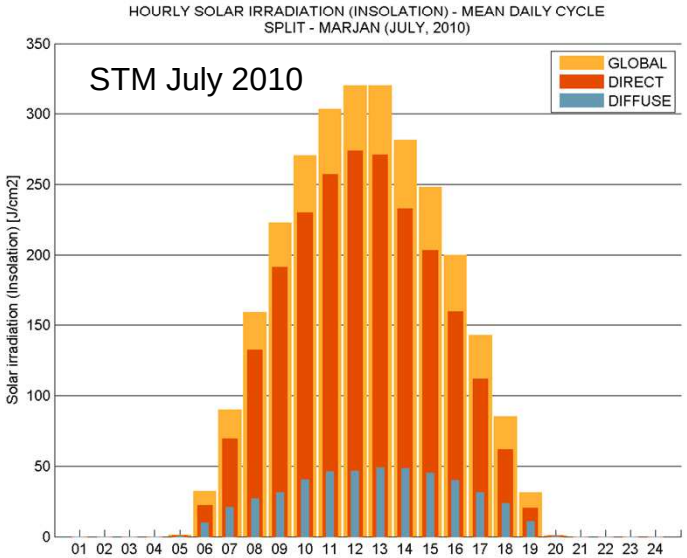


ENHEMS-Buildings: Godišnji hodovi globalnog i difuznog Sunčevog zračenja





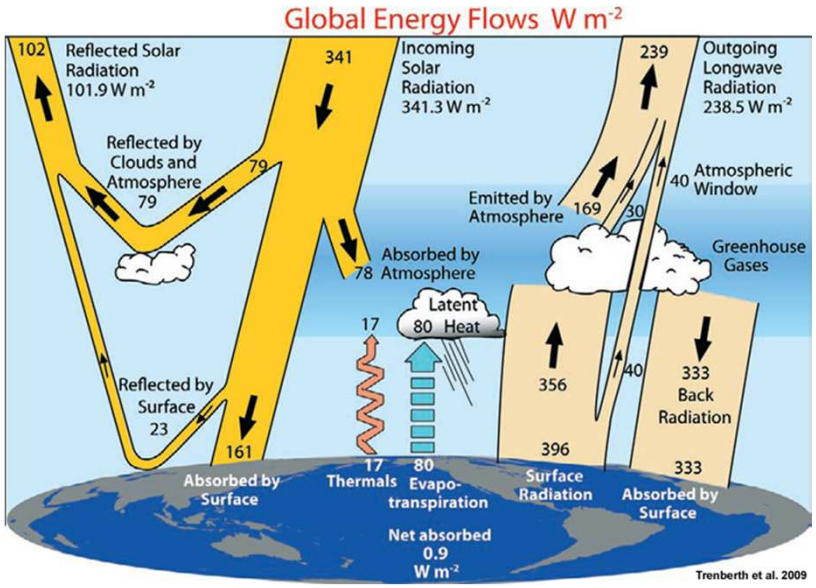


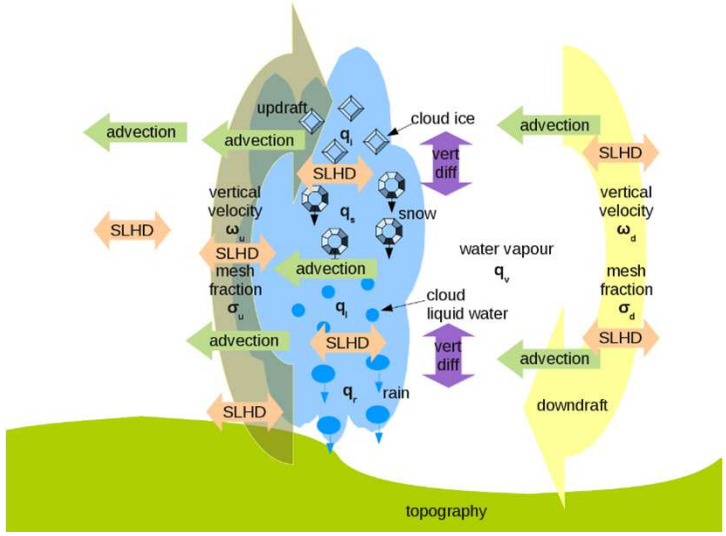


ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Stručni ciljevi vezani za razvoj ALADIN modela za prognozu vremena:

- Razviti prognozu direktnog i difuznog S. zračenja (ozračenosti)
- Ocijeniti točnost prognoze (T,V,dir,rh,prec,GLO,DIR,DIF, naoblaka) i varijance pogreške
- Smanjiti pogrešku prognoze S. zračenja primjenom Kalman filtera
- Operacionalizirati transfer prognostičkih informacija za testnu lokaciju FER zgrade u Zagrebu (prognoze, varijance)

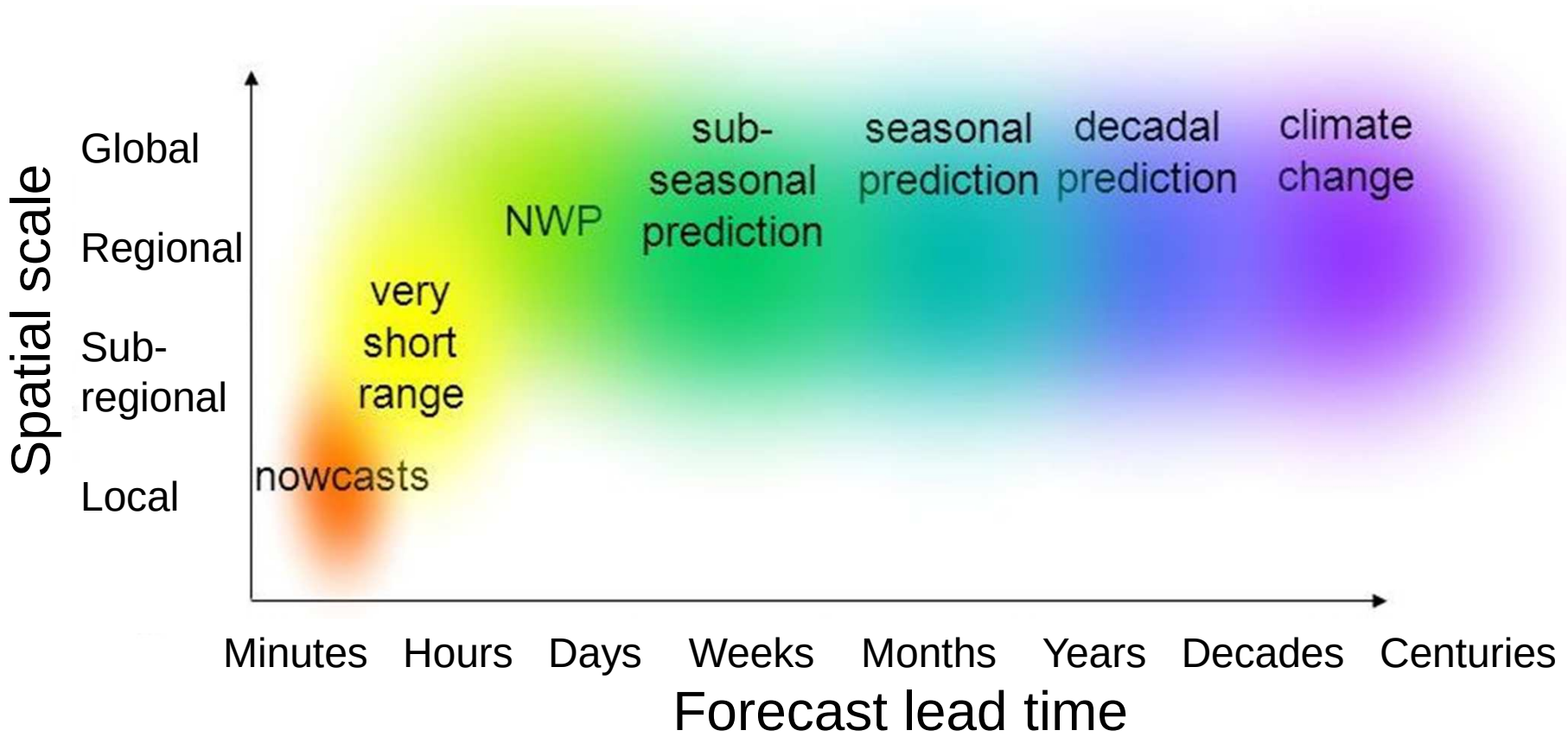




- Zračenje je u modelima monokromatskog karaktera (posebno se tretira kratkovalno i dugovalno)

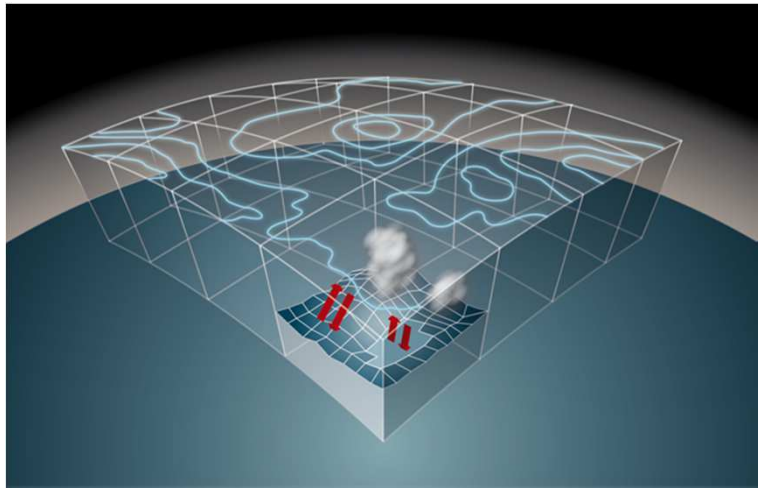
ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

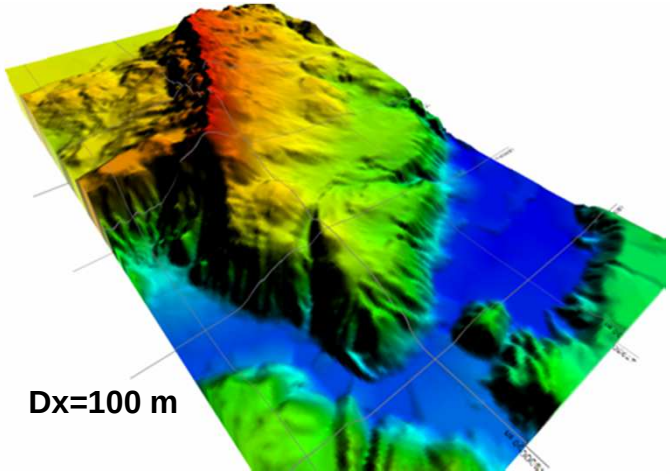
- Što je numerički model?
- Osnova modela su fizikalni zakoni očuvanja energije, kol. gibanja, vlage
- Fizikalni zakoni imaju prognostičku (vremensku) komponentu
- Modeli omogućavaju prognoze tj. predikcije na raznim vremenskim skalama

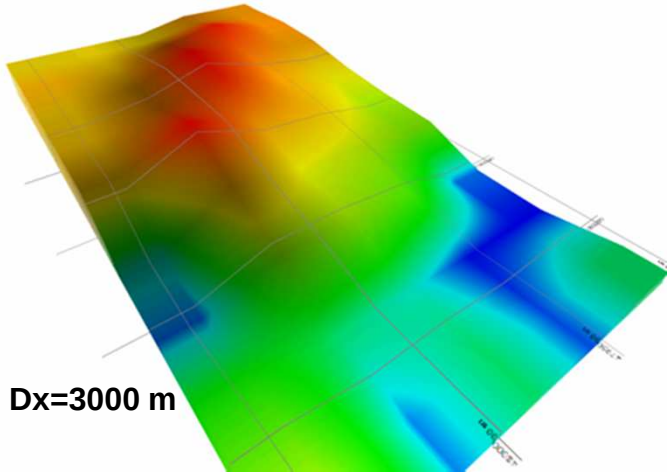


ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

- Fizikalni zakoni se prilagođavaju numeričkom (računalnom) rješavanju: prostor od interesa dijeli se u mrežu točaka tj. volumena - rezolucija
- Računa se srednje stanje za neki ograničeni kvadrat/volumen
- Veća rezolucija daje realniji rezultat, ali uvijek ostaje dio „sub-grid" procesa koji se opisuju približno: npr. turbulencija, mikrofizika, konvekcija, radijacija
- Teren se također opisuje samo približno







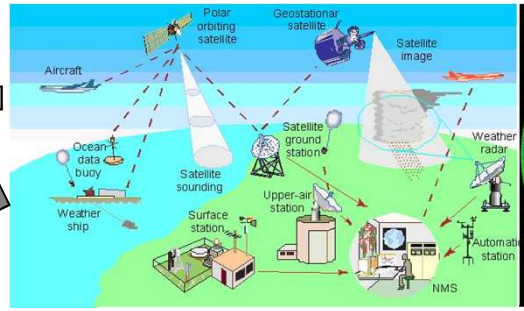
ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

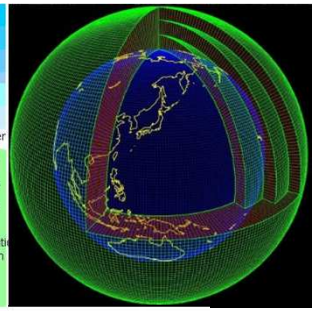
- Operativno izvršavanje modela
- Model (program, „software”) ima više od milion linija programskog koda
- Potrebno ga izvršiti sa što većom rezolucijom, u što kraćem vremenu i što češće
- Za to koriste klasteri ili tzv. „superračunala”, bez kojih nema numeričke prognoze vremena
- Najnovija računala za potrebe numeričke prognoze vremena su često u top10 u svijetu
- Može li se uopće napraviti točnija prognoza nego što je ona od ECMWF-a?

	Računalne jezgre	Vršna učinkovitost (teraflops)
ECMWF	84.120	1796,3
DHMZ	228	5,29

ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

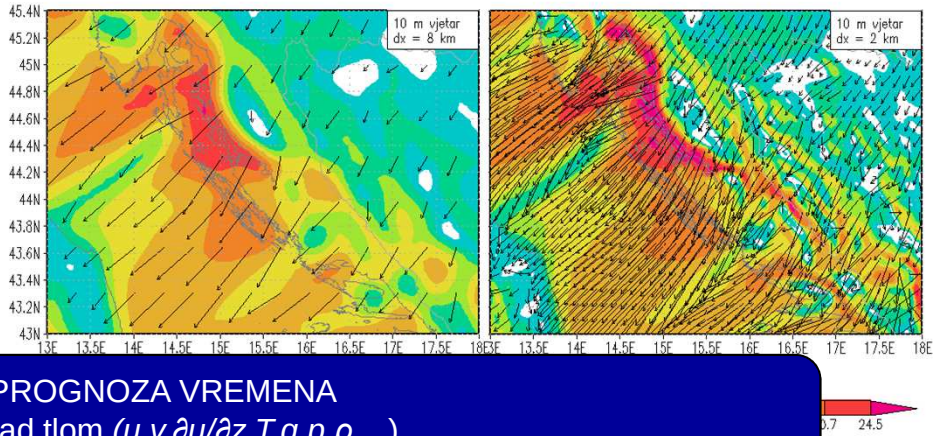
START – GLOBALNI MODELI
ECMWF, ARPEGE, GFS
Mreža točaka ~ 16 km





PROFINJENJE 1 – REGIONALNI
Mesoskalni model ALADIN/HR
Dodatna mjerenja: 1 prognoza ~ 100.000 mjerenja
Potreba za što gušćim mjerenjima
Mreža točaka 8 km

PROFINJENJE 2 – SUB-REGIONALNO
1. Vjetar: din. adaptacija ALADIN/DADA
Mreža točaka 2 km
2. Test: Mezoskalni model ALADIN/HR
Mreža točaka 2 km



KONAČNI REZULTAT – PROGNOZA VREMENA
Na visinama od tla do 30 km nad tlom *(u,v,∂u/∂z,T,q,p,ρ,...)*
Prognostičko razdoblje: 3-72 sata unaprijed, svakih 3 (1) sat

3 važna elementa svake računalne prognoze: 1. Mjerenja 2. Rezolucija 3. Model
→ **Mezoskalni (regionalni) modeli su točniji od globalnih**

Tudor i sur., 2013

ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Istraživanja i razvoj računalne prognoze vremena na DHMZ-u:

- Trajna međunarodna suradnja u ALADIN konzorciju (6 stručnjaka na DHMZ-u)
- Istraživački projekti – npr. ENHEMS-Buildings (FP7, Horizon2020, IPAIIIc., HRZZ, MZOS, UKF, NOAA, NREL, DoE)
- Kroz infrastrukturalne projekte (za rač.prognozu potrebni su veliki resursi, trenutno 5,29 TFl računalo sa 228 jezgri je premalog kapaciteta)

Gdje se koristi ALADIN računalna prognoza DHMZ-a:

- Osnova za rad prognostičara u DHMZ-u i drugdje
- Državne institucije (MUP, DZUS, DZRNS, HR vode)
- Državne tvrtke (HEP, PlinaCro, Hrvatske ceste...)
- Hrvatska i BiH kontrola zračne plovidbe
- Oceanografske stručne primjene (prognoza valova, morskih struja): IRB, IZOR
- Hidrološke stručne primjene (prognoza poplava I bujičnih poplava)
- Agrometeorološke primjene
- Požari
- Specifični korisnici: Venecija-poplavljivanje morem, plovidba velikih brodova po Jadranu, nautika), nesreće letjelica i drugo

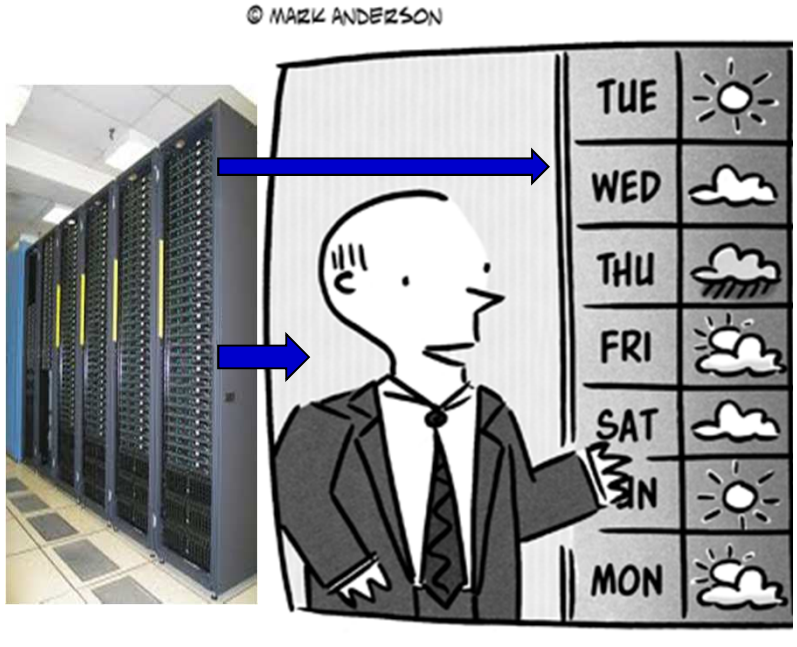
ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Koliko su računalne prognoze točne?

Kraće

Prognostičko razdoblje

Duže



"And now the 7-day forecast..."

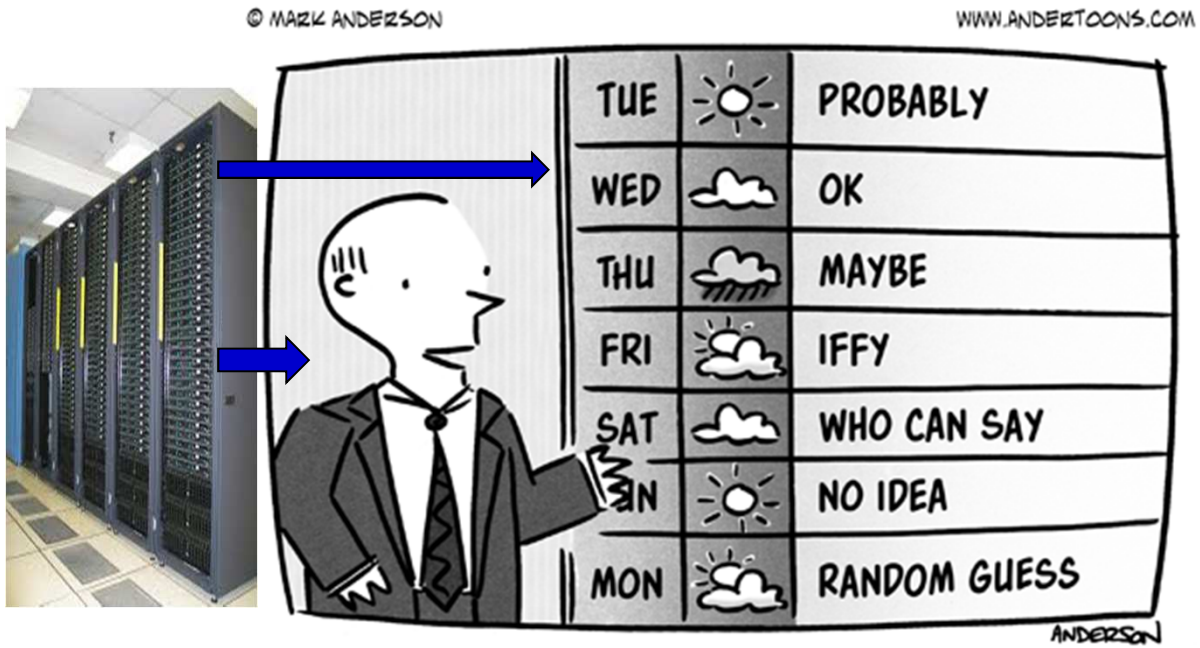
ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Koliko su računalne prognoze točne?

Kraće

Prognostičko razdoblje

Duže



"And now the 7-day forecast..."

Veća

Točnost

Manja

Uvođenje probabilističkih informacija u javnu upotrebu nije jednostavno
Sustav upravljanja u ENHEMS-Buildings: prognoza, ali i ocjena točnosti/pouzdanosti

ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Ocjena točnosti– verifikacija modela:

- Subjektivna verifikacija: kvalitativna usporedba predviđenih i izmjerenih vrijednosti (npr. osjetno svi mi to radimo u svakodnevnom životu)
- Objektivna verifikacija statistički ocjenjuje točnost prognoze
- Osnovne mjere: korelacije, dijagrami raspršenja, pristranost (BIAS), korijen srednje kvadratične pogreške (RMSE), varijance, srednja apsolutna pogreška (MAE)
- Velik broj drugih statističkih i spektralnih mjera u upotrebi ovisno o namjeni i potrebama korisnika

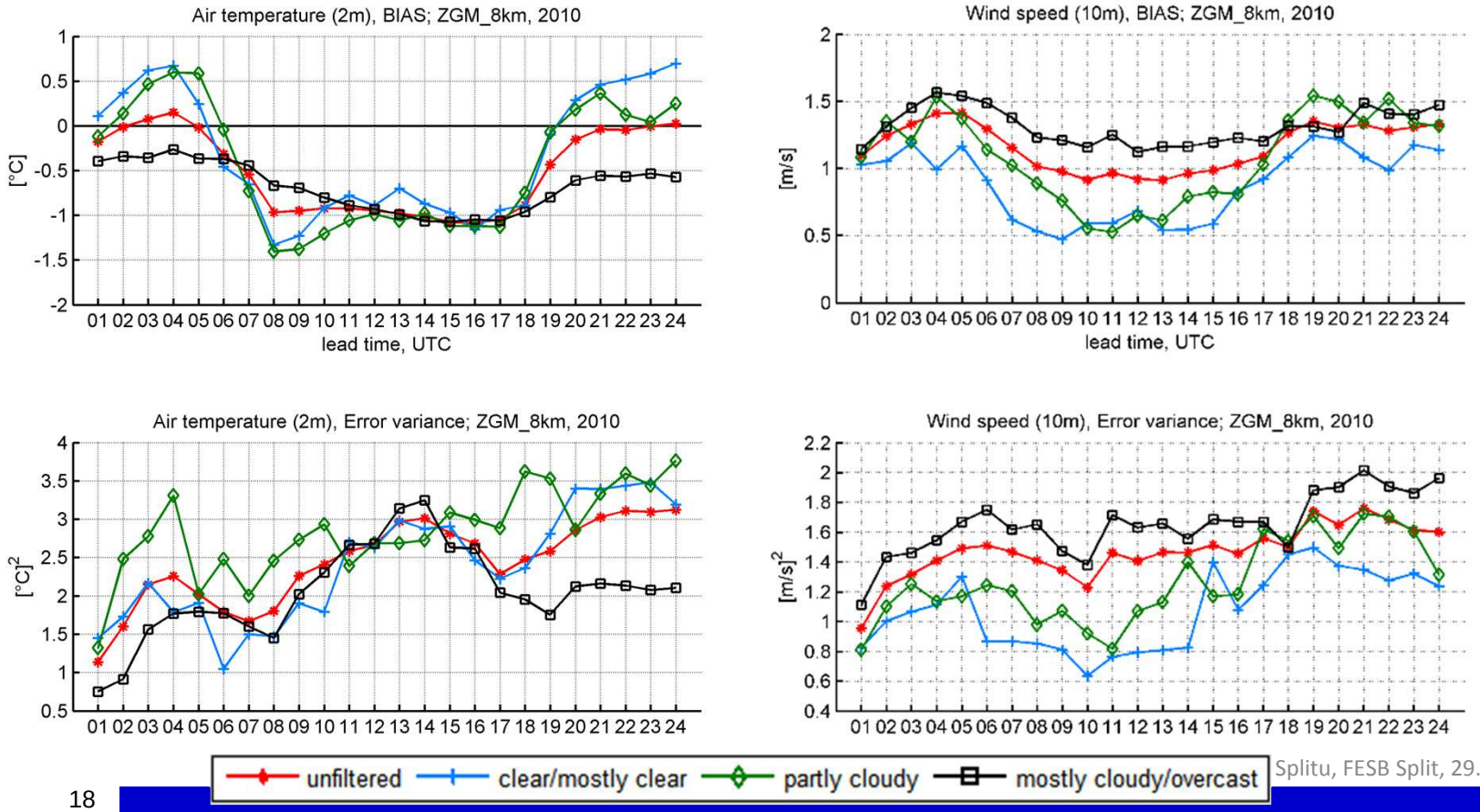
Meteorološki elementi koji se verificiraju:

- Temperatura, tlak, oborina, smjer i brzina vjetra, relativna vlaga
- Dodatno u ENHEMS-Buildings Sunčeva ozračenost i naoblaka

ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Verifikacija temperature i brzine vjetra:

- Sistematska pogreška (BIAS) i varijanca pogreške
- Pogreške rastu s duljinom prognostičkog razdoblja

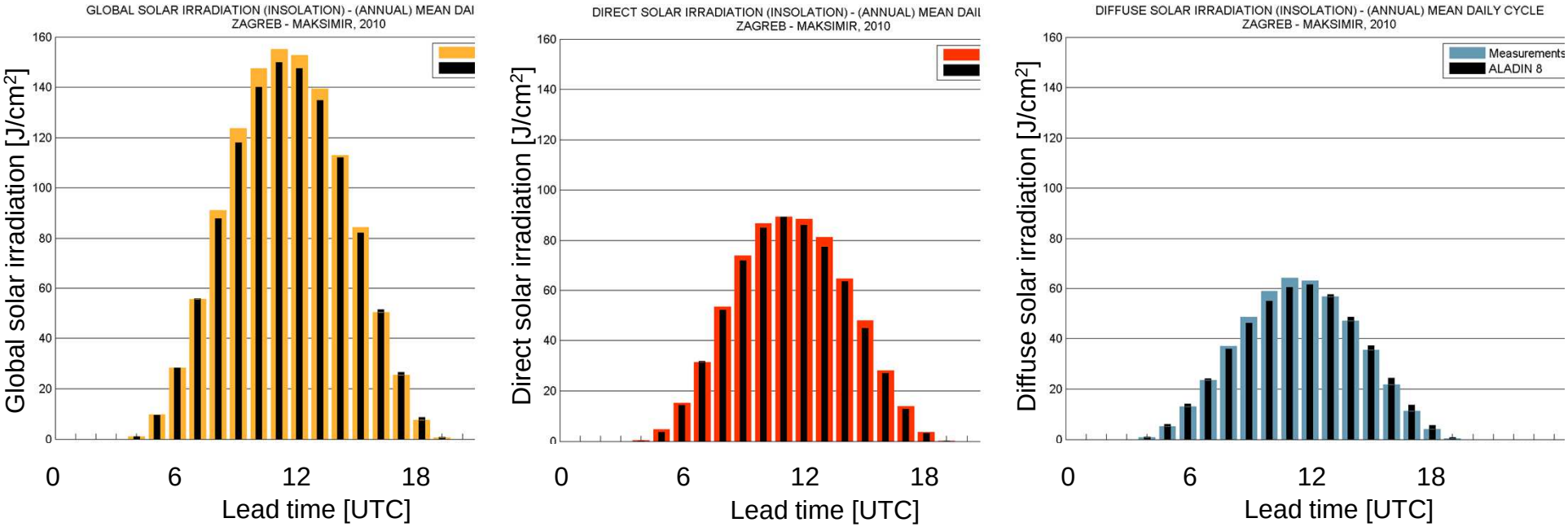


ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Verifikacija prognoze globalnog, direktnog i difuznog zračenja

Srednji dnevni hodovi Sunčevog zračenja dobiveni na osnovi podataka mjerenja i prognostičkog modela ALADIN za Zagreb-Maksimir za 2010. godinu

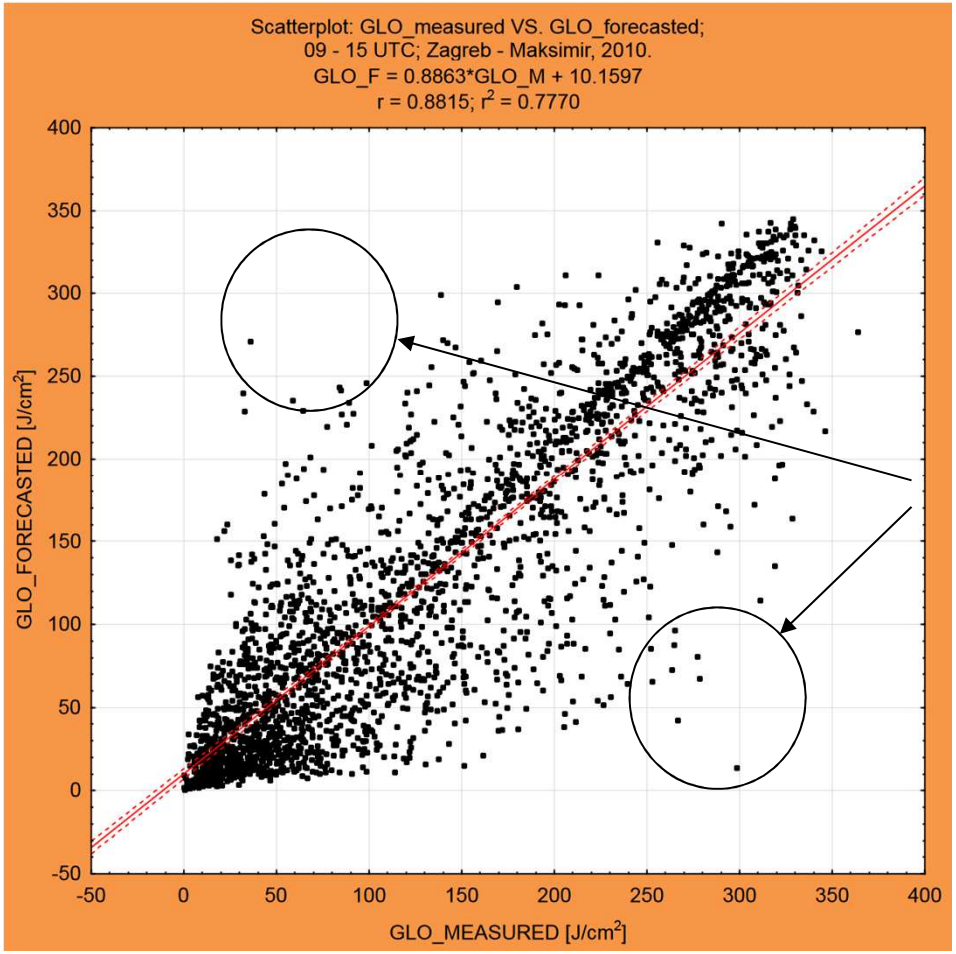
Globalno, direktno i difuzno zračenje



Sistematska pogreška do 5% u pojedinim dnevnim terminima

ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Verifikacija globalnog zračenja



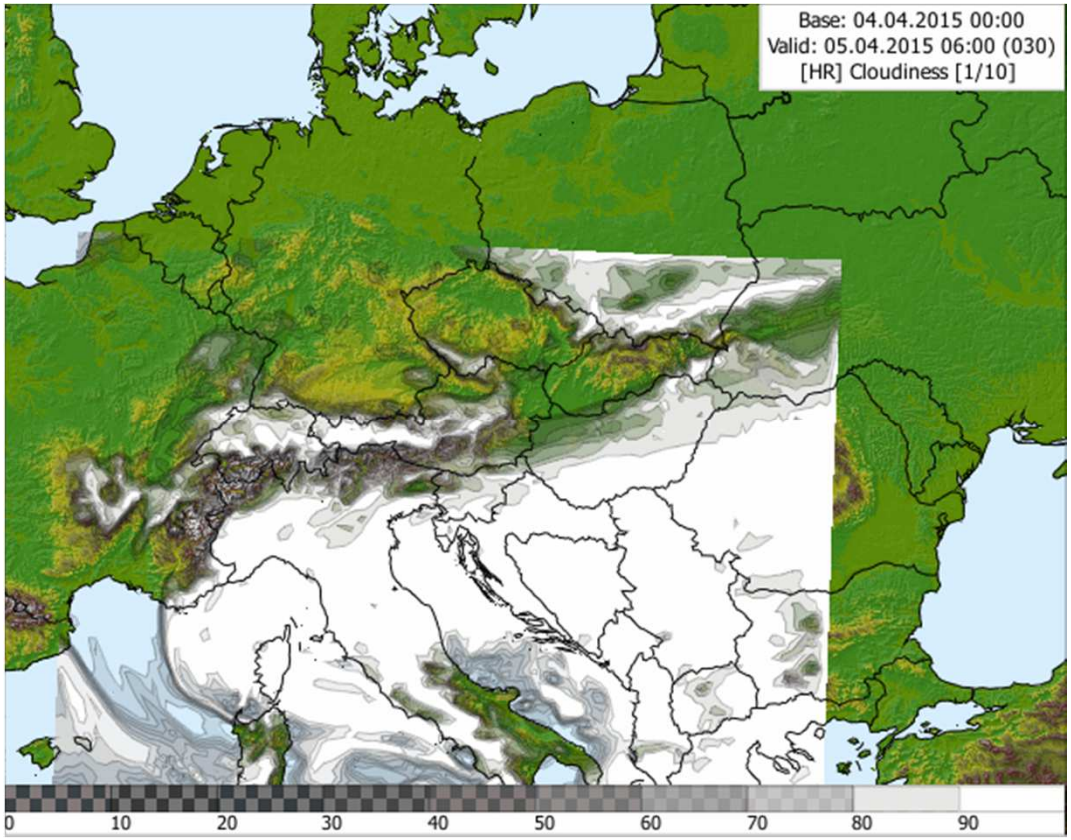
Ponekad postoje znatne pogreške, ali, …

ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Izvori pogreške numeričkih modela

1. Nedostatna količina mjerenja (resursno ograničenje), najčešće se vidi kao mala pogreška u vremenu i prostoru

Start prognoze: 4.4.2015. 00 UTC + 30 h unaprijed (vrijedi 5.4.2015. 06 UTC)

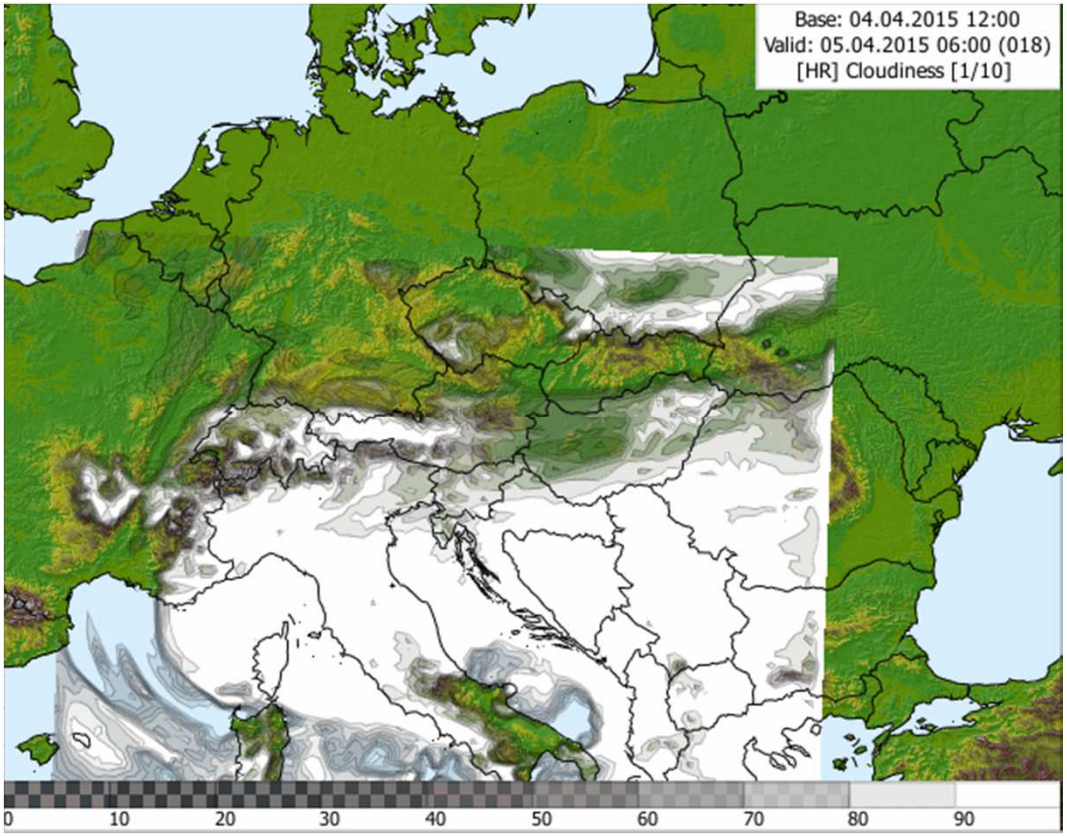


ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Izvori pogreške numeričkih modela

1. Nedostatna količina mjerenja (resursno ograničenje), najčešće se vidi kao mala pogreška u vremenu i prostoru

Start prognoze: 4.4.2015. 12 UTC + 18 h unaprijed (vrijedi 5.4.2015. 06 UTC)

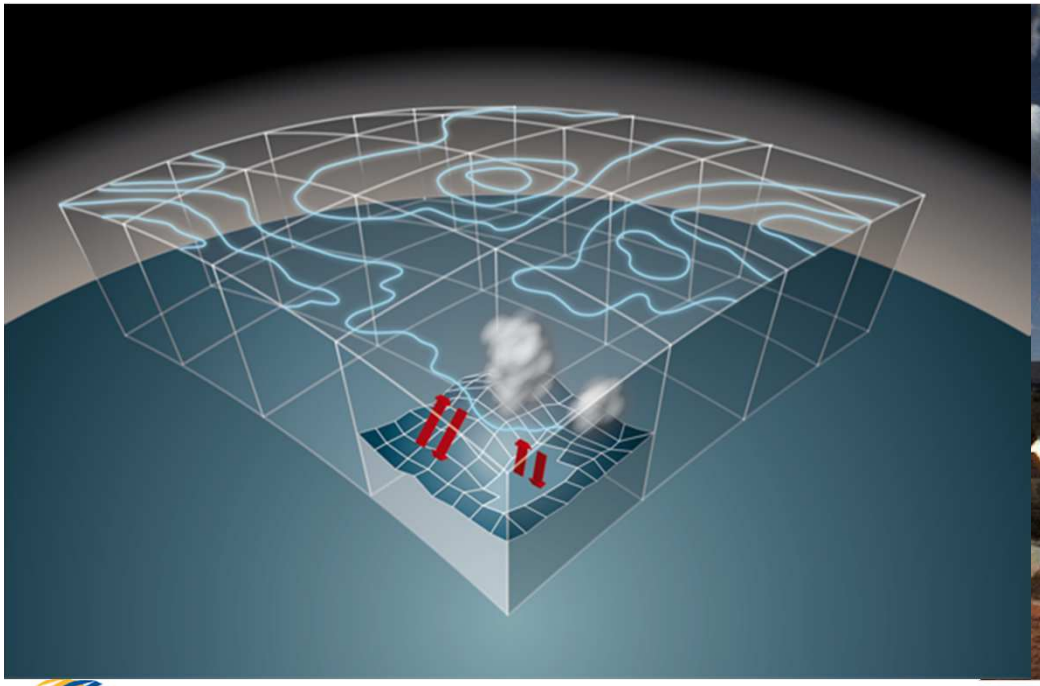


ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Izvori pogreške numeričkih modela

2. Ograničena rezolucija (na DHMZ-u trenutno 2 km) - vrijednost modela je približno prosjek u volumenu/kvadratu mreže (resursno ograničenje)

3. Modeli su aproksimacija stvarnog stanja atmosfere – npr. procesi na skalama manjim od mreže modela se opisuju vrlo približno (i računalno i stručno ograničenje)

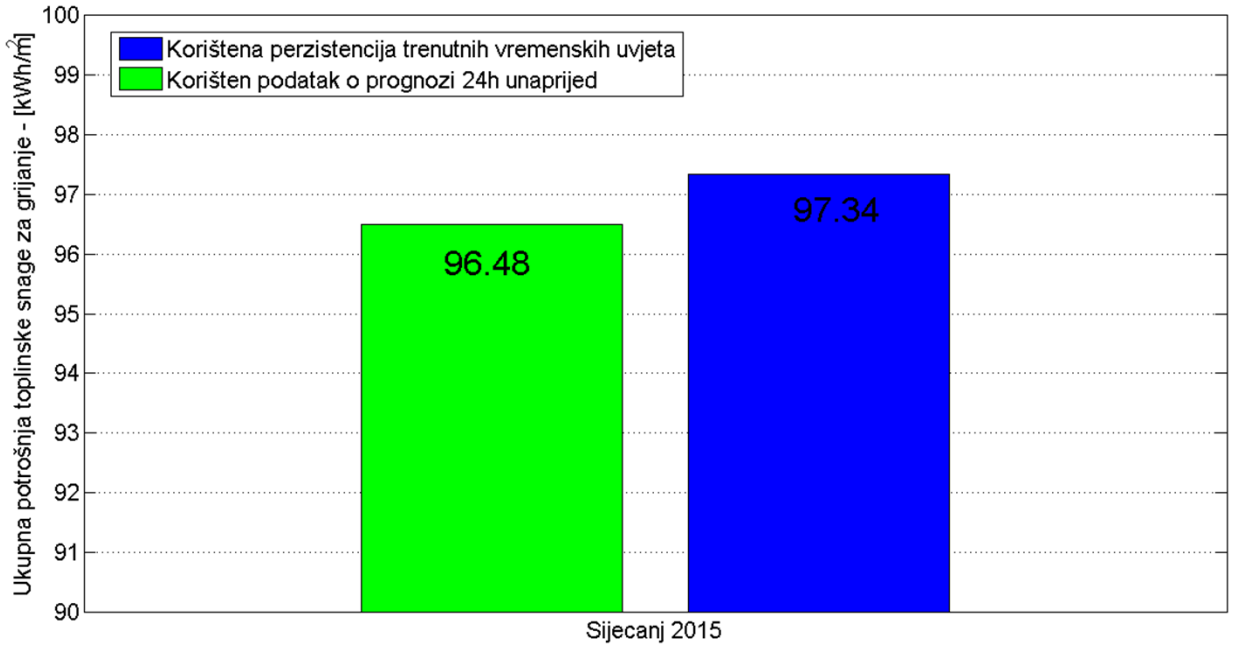


03.04.2015 14:50 temp. zraka: 11 °C; rel. vlaznost: 22 %; tlak zraka: 1020 hPa; vjetar: NW 3 m/s

ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

Na kraju dana…

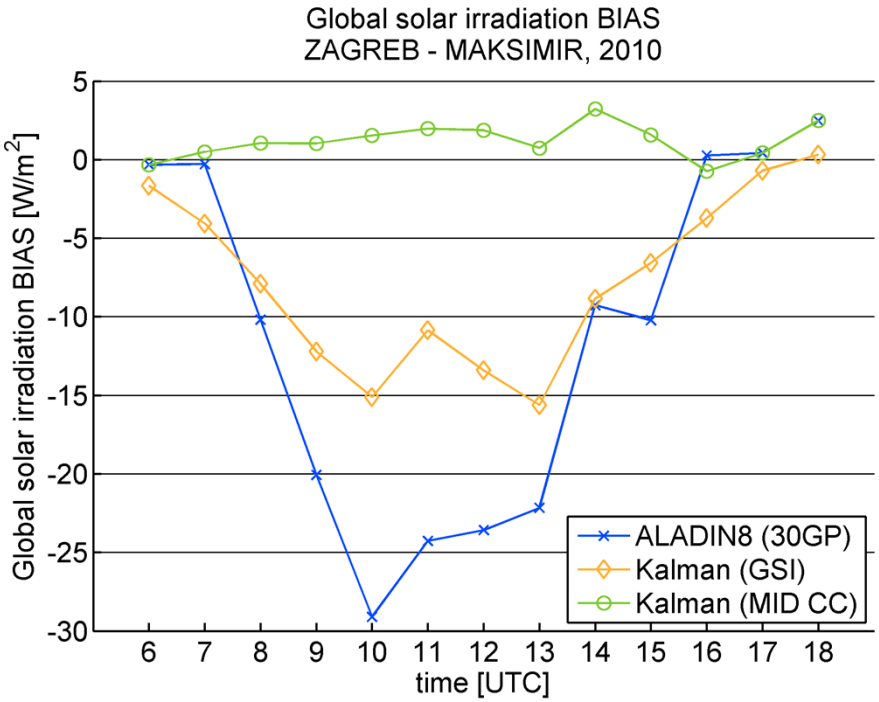
- Uz korištenje 24-satne prognoze vremena (izrada samo jednom dnevno) ukupna potrošnja topline za grijanje smanjena je za oko 1%
  - Postojeća poboljšanja: izrada prognoze četiri puta dnevno, adaptacija prognoze lokalnim uvjetima („post-processing”)
  - Planirana poboljšanja: izrada prognoze 8-24 puta dnevno, povećanje broja mjerenja u sustavu, povećanje rezolucije itd.



ENHEMS-Buildings: Računalna prognoza meteoroloških elemenata modelom ALADIN

„Post-processing" računalne ALADIN prognoze

- Adaptacija računalne prognoze lokalnim uvjetima uz korištenje mjerenja, koja nije računalno zahtjevna
- Npr. primjena Kalman filtera na globalno Sunčevo zračenje
- Dizajn metode mora imati inspiraciju u stvarnim procesima – ista metoda može dati različite rezultate ovisno tko ju primjenjuje



Zaključak

- Meteorološke informacije nužne su za energetski učinkovito zgradarstvo (planiranje, projektiranje, prognoze, itd.)
- Meteorološke prognostičke tehnologije (ALADIN) imaju sve važniju ulogu u gospodarenju energijom u zgradama
- Pogreške prognostičkih modela su neizbježne - nepouzdanosti je potrebno ocijeniti objektivnom verifikacijom, a mjere pogreške uključiti u optimizaciju gospodarenja energijom u zgradama
- Pogreške se mogu smanjiti poboljšanjem numeričkih modela, povećanim korištenjem mjerenja, učestalijim provođenjem prognoze i primjenom „post-processinga" na lokacijama mjerenja
- Prognostički produkti modela ALADIN s varijancama pogreške operativno su dostupni za testnu lokaciju ENHEMS-Buildings projekta
- Projekt ENHEMS-Buildings je prilika za razvoj računalne prognoze vremena modelom ALADIN u Hrvatskoj: doprinosi znanosti ali i operativnoj svakodnevnoj prognozi za širu javnost i gospodarstvo

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.