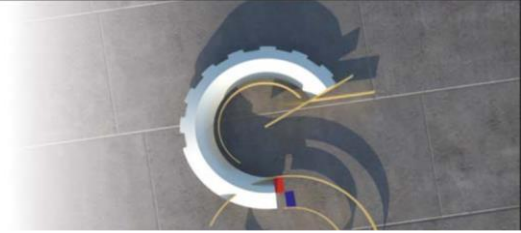




Hrvatska komora inženjera strojarstva
Croatian chamber of mechanical engineers



Optimizacija energetske sustava zgrada približno nulte energije korištenjem dinamičkih simulacija

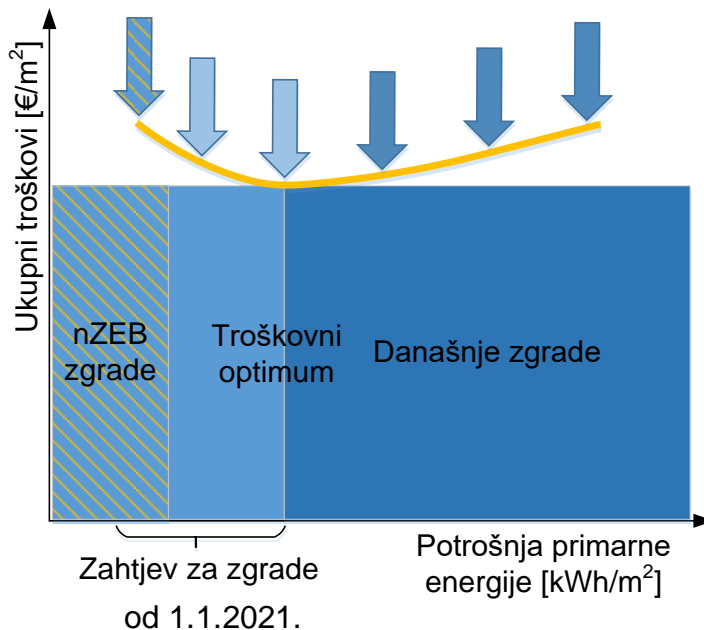
3. MEĐUNARODNI KONGRES DANI INŽENJERA STROJARSTVA
3th INTERNATIONAL CONGRESS MECHANICAL ENGINEERS DAYS
ŠIBENIK, 23.-24.5.2013.

dr. sc. Boris Delač, prof. dr. sc. Branimir Pavković, prof. dr. sc. Kristian Lenić

Sveučilište u Rijeci
Tehnički fakultet



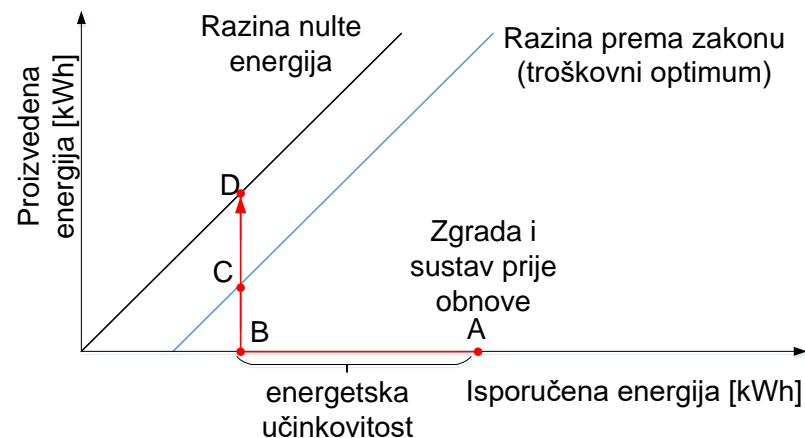
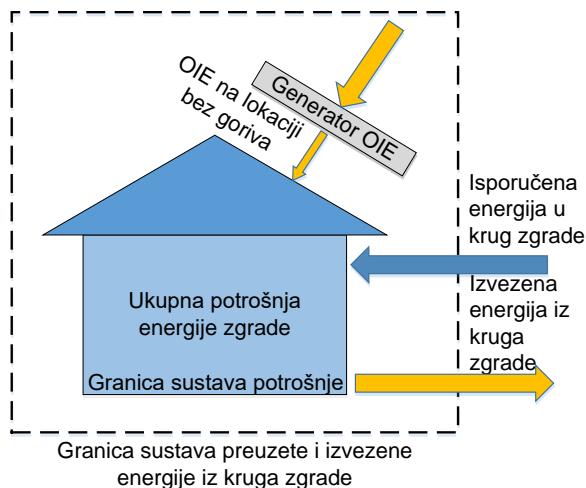
- EU – zgrade ukupno troše 40% finalne energije od čega 50% za toplinske potrebe
- To čini 35% ukupnih emisija CO₂
- novih zgrada godišnje tek 1-3% - važna je obnova, tu se mogu postići bolji rezultati
- EPBD direktiva - troškovno optimalna razina definira se za referentne zgrade – obaveza država članica. nZEB nisu u troškovnom optimumu.
- Definicija nZEB: zgrada vrlo visokih energetskih svojstava koja za pokrivanje svoje energetske bilance koristi velik udio obnovljivih izvora energije





- Osnovni koraci za postizanje energetske bilance približno nulte energije:
Smanjenje potrošnje primarne energije u odnosu na stanje prije obnove (točka A) moguće je do određene mjere postići primjenom arhitektonsko - građevinskih mjera energetske učinkovitosti uz primjenu odgovarajuće tehnologije za grijanje i hlađenje (točka B), ali je za postizanje potrošnje približno nulte energije (točka C) ili nulte energije (točka D) potrebno integrirati neku od tehnologija za proizvodnju energije.

- Pojedinačni zahvati ili integrirani pristup?





Problem istraživanja

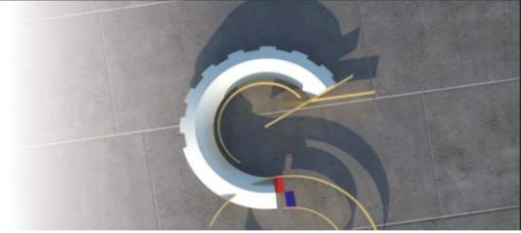
Određivanje optimalnog koncepta zgrade s uključenim tehničkim sustavom (minimalna potrošnja primarne energije, emisija i ukupnih godišnjih troškova) koji ovisi o primijenjenim postupcima proračuna potrošnje energije za grijanje i hlađenje, metodologiji proračuna učinka za grijanje i hlađenje i bazira se na simulaciji rada tehničkih sustava.

Ciljevi

- Izraditi pouzdane i potvrđene dinamičke simulacijske modele tehničkih sustava primjenjivih za zgrade približno nulte energije*
- Odrediti cjelovita optimalna rješenja izrađenim dinamičkim simulacijskim modelima*
- Omogućiti detaljnu cjelogodišnju simulaciju rada tehničkog sustava zgrade*
- Osigurati podršku projektantima kod optimizacije koncepta tehničkog sustava*

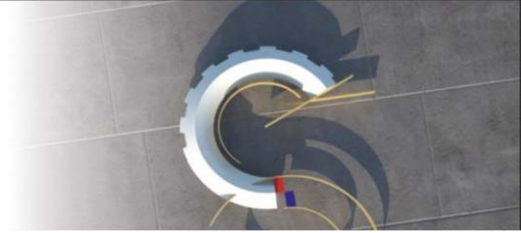


Hrvatska komora inženjera strojarstva
Croatian chamber of mechanical engineers



Primjena dinamičke simulacije:

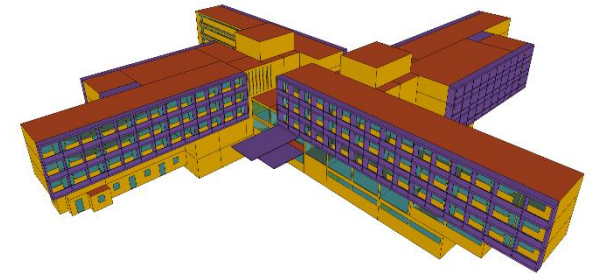
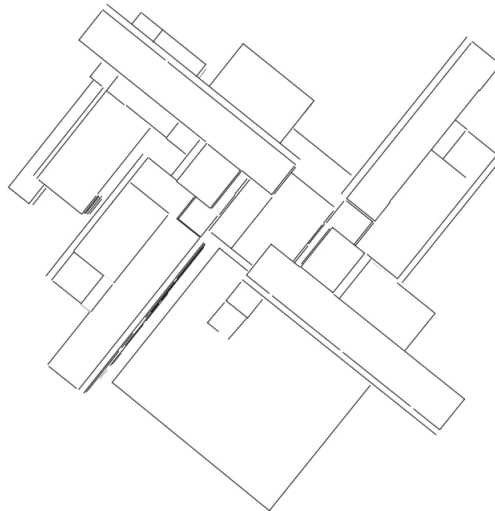
1. Određivanje projektnih učinaka
2. Određivanje potrebne energije
 - korisna energija
 - konačna (isporučena) energija
 - primarna energija



Modeliranje potrošnje toplinske energije i projektnih učinaka za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom

Primjer: Hotel na jadranskoj obali (16370 m²):

- cjelogodišnja potrošnja toplinske energije,
- kompleksna struktura potrošnje toplinske energije,
- složena tehnička rješenja,
- pogodnost za ugradnju opreme većeg kapaciteta,
- potreba obnove

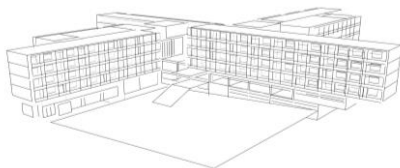




Modeliranje potrošnje toplinske energije i projektnih učinaka za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom

- Numerička dinamička simulacija (Trnsys)
- Model podijeljen u toplinske zone prema namjerni korištenja i uvjetima u prostoru
- Toplinska zona - stanje zraka homogeno - višezonski toplinski model

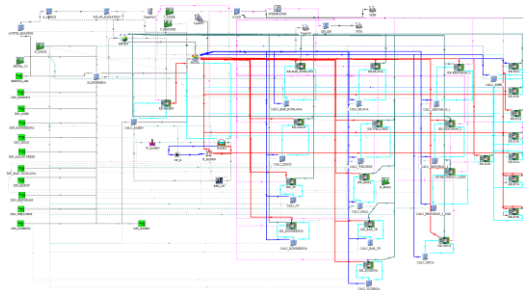
Višezonski toplinski model zgrade



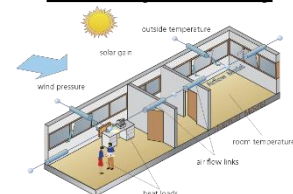
Model bazena

Meteorološki podaci

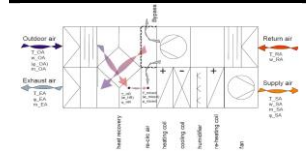
Numerička dinamička simulacija



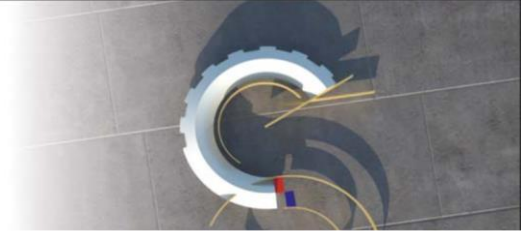
Infiltracija vanjskog zraka (Trnflow)



Mehanička ventilacija

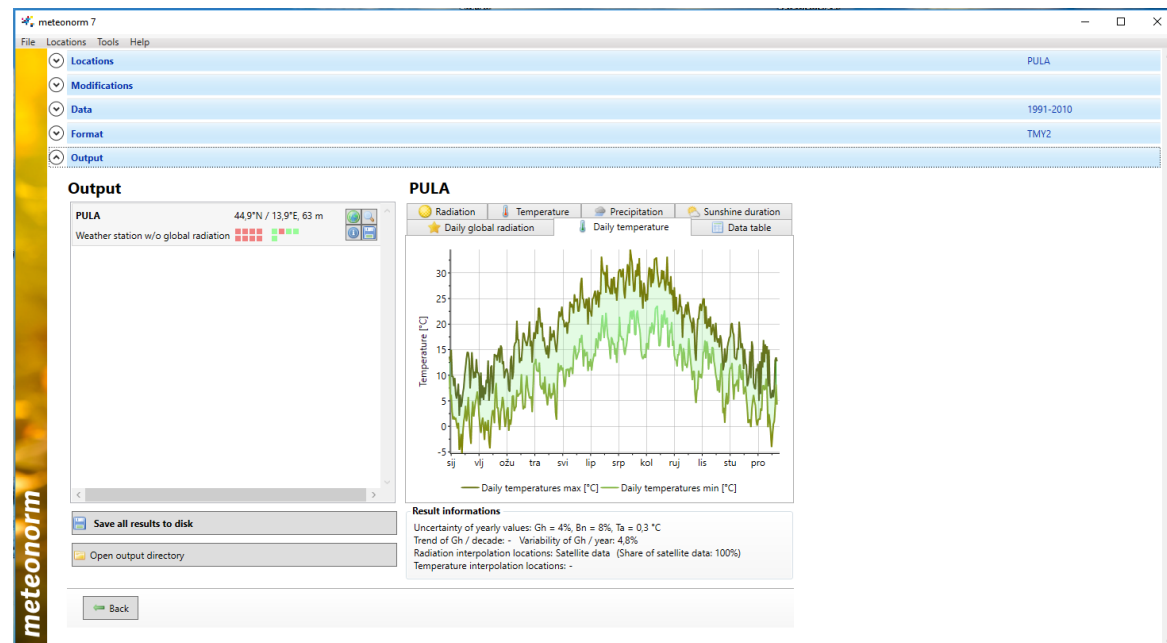


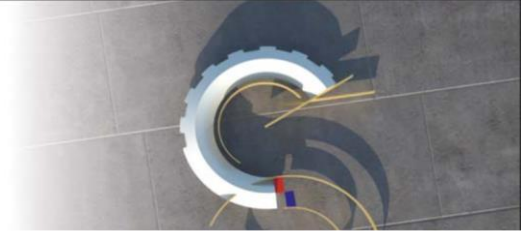
Dinamika modela



Modeliranje potrošnje toplinske energije za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom

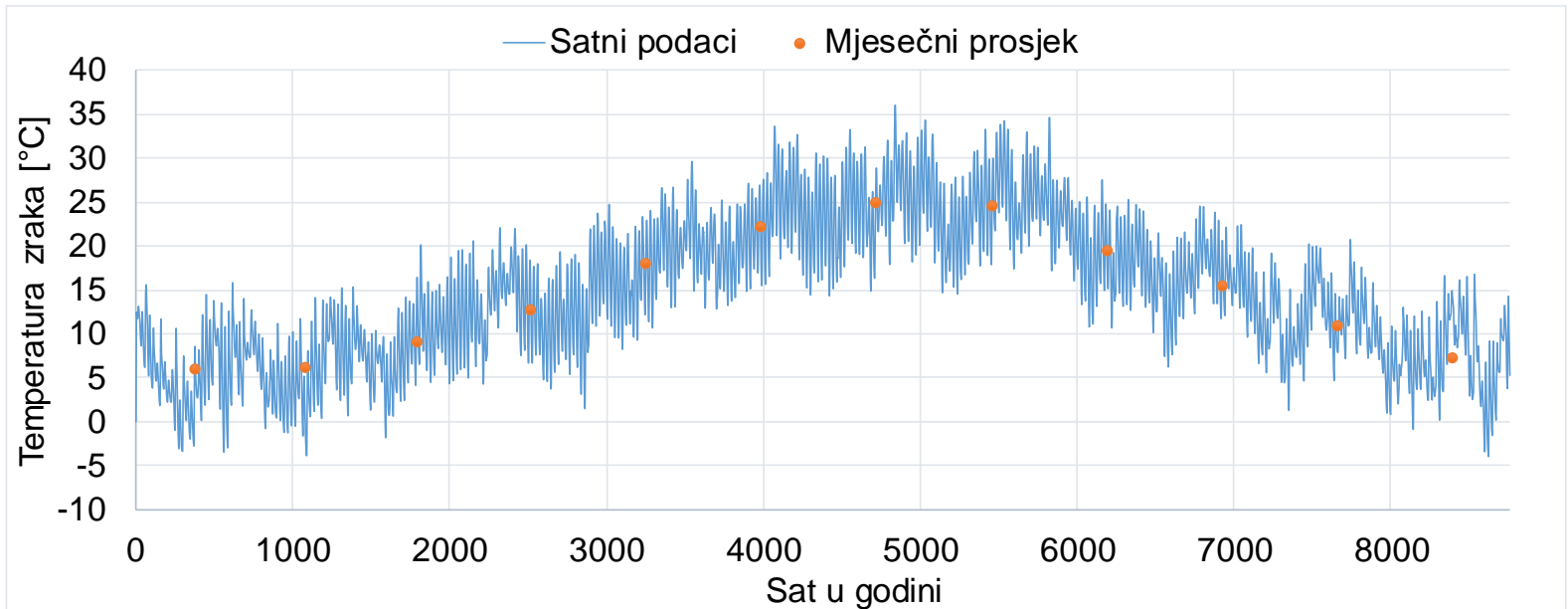
- Dinamička simulacija - vremenski korak manji od 1 h
- Meteorološki podaci za RH – u *Tehničkom propisu o racionalnoj uporabi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama* dostupni mjereni podaci s korakom 1 h za Zagreb i Split
- Podaci referentnih lokacija i podaci satelitskih mjerenja - Meteonorm
- Geografski parametri lokacije (okruženje, izgrađenost i orijentacija)

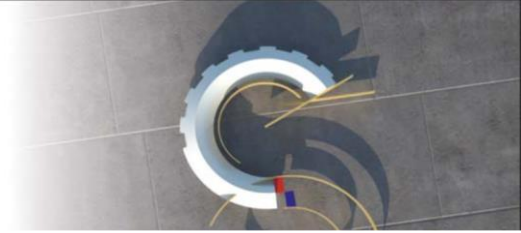




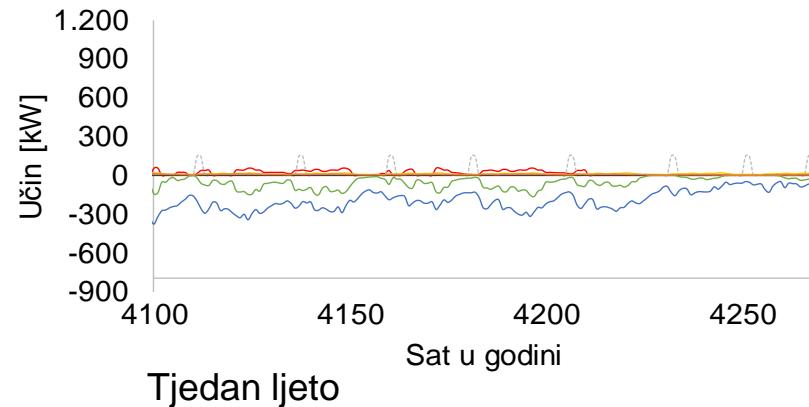
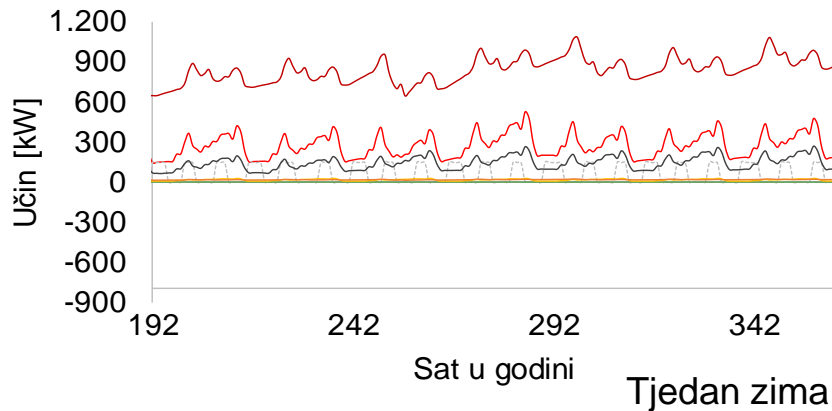
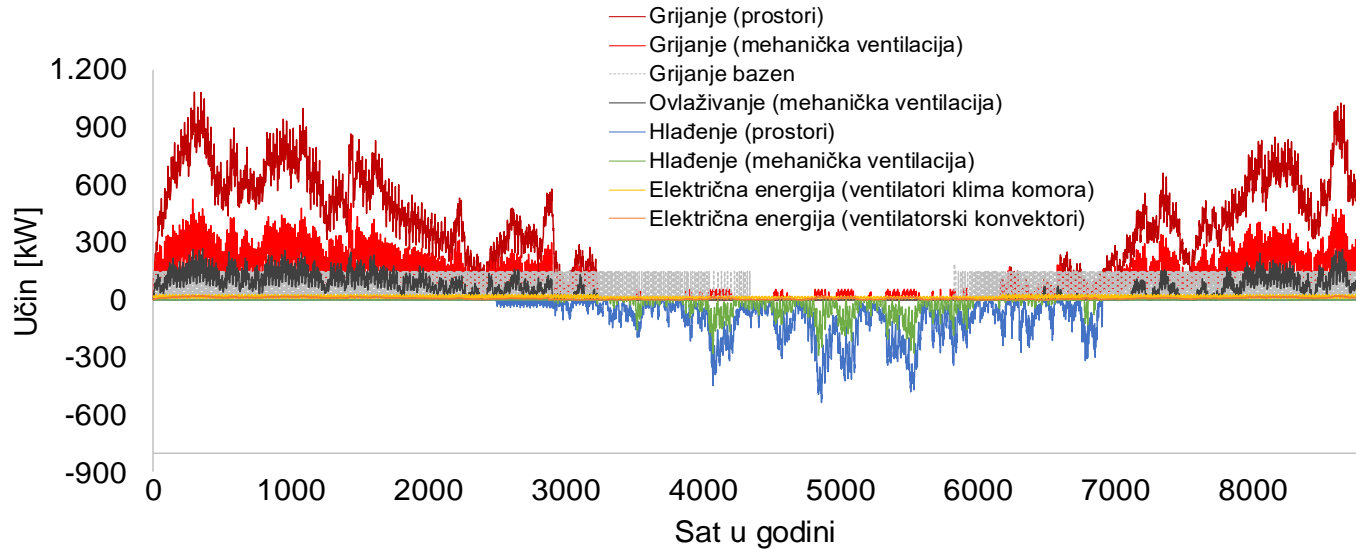
Modeliranje potrošnje toplinske energije za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom

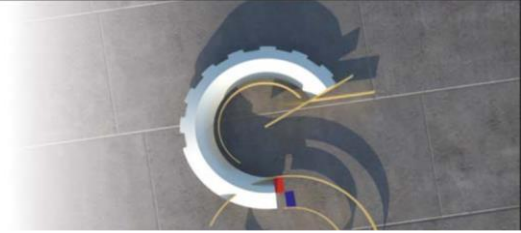
- Mjesečne karakteristike podataka usklađene s podacima iz *Tehničkog propisa o racionalnoj uporabi toplinske energije i toplinskoj zaštiti u zgradama*
- sjeverni, srednji i južni dio istočne obale Jadranskog mora (Pula, Split i Dubrovnik)





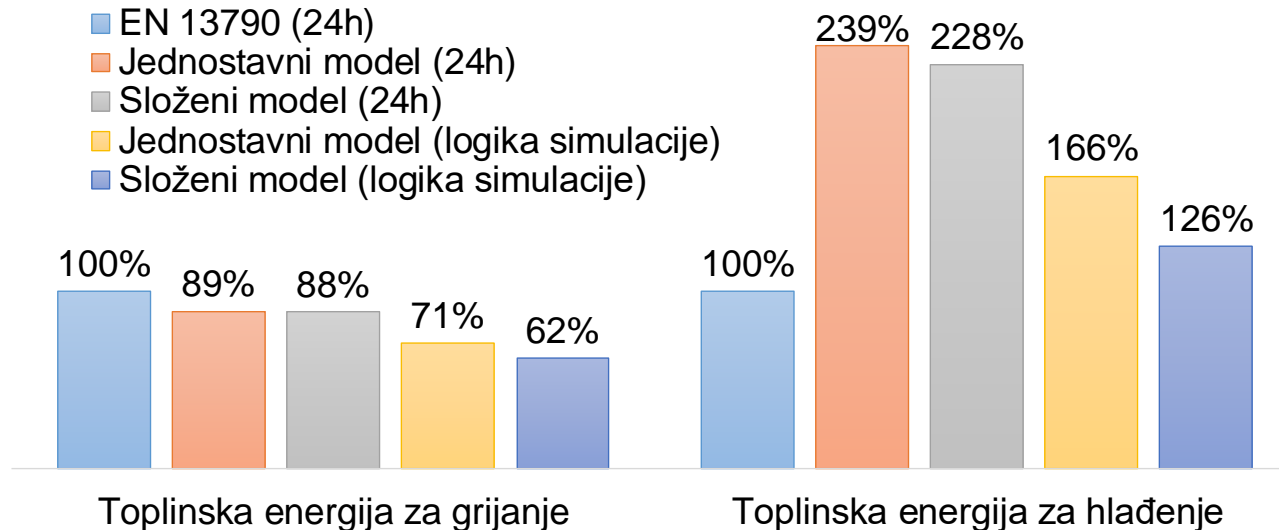
Modeliranje potrošnje toplinske energije za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom





Modeliranje potrošnje toplinske energije za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom

- HRN EN ISO 13790 (KI Expert) i numerička dinamička simulacija - međusobno usporedivi proračuni
- Utjecaj ponašanja korisnika na energetske bilancu zgrade - logika simulacije i kontinuirano opterećenje (24 h)

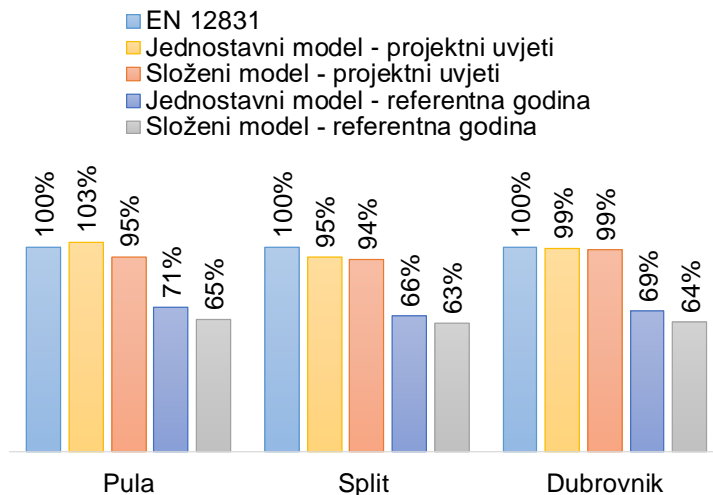




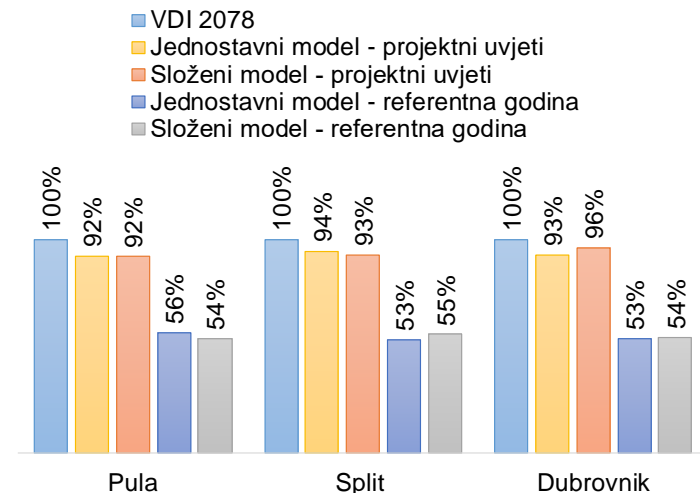
Određivanje projektnih učinaka za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom – stacionarno stanje

- Modeliranje projektnih učinaka za grijanje i hlađenje
- Rubni uvjeti stacionarnog stanja – utjecaj akumulacije topline se izbjegava
- Zadovoljavajuća točnost

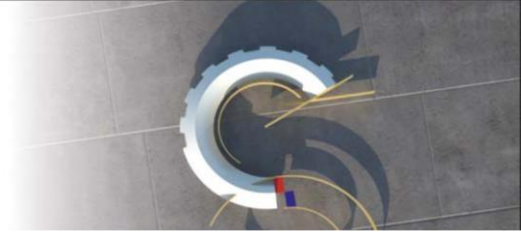
Učinci za grijanje



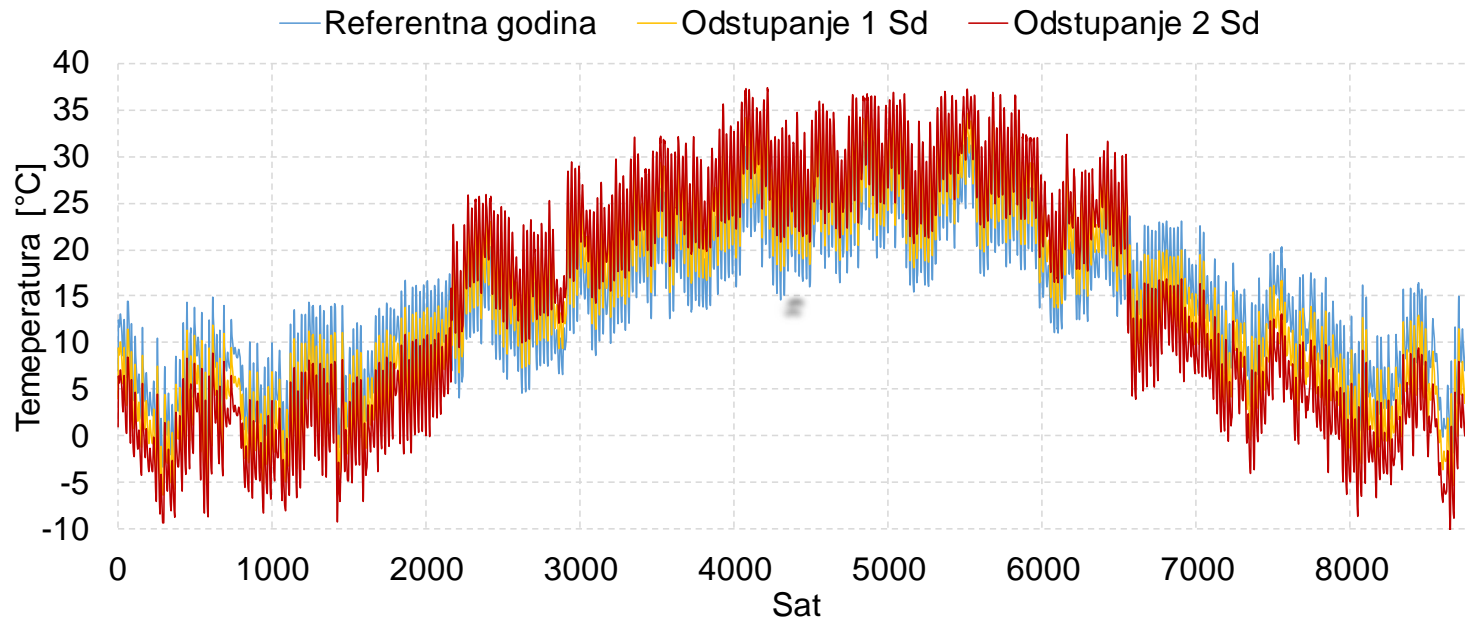
Učinci za hlađenje



- Rubni uvjeti referentne godine - bliži onima u stvarnom pogonu sustava



Određivanje projektnih učinaka za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom

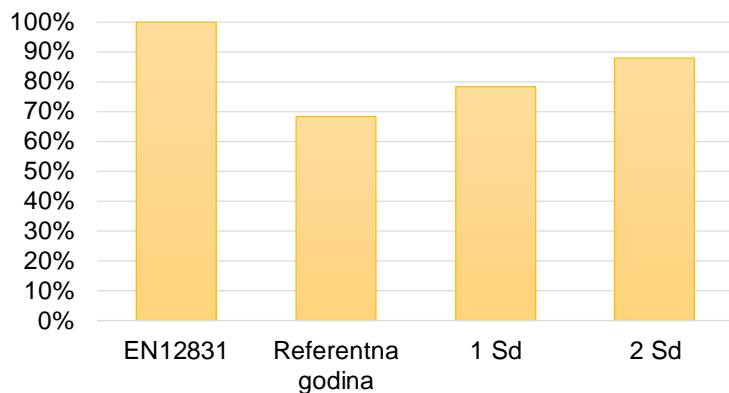




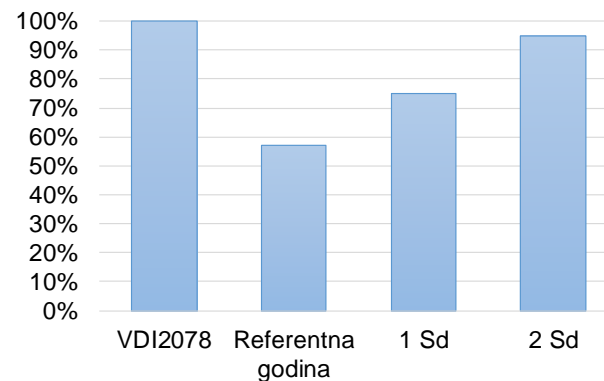
Određivanje projektnih učinaka za grijanje i hlađenje numeričkom dinamičkom simulacijom – projektna godina

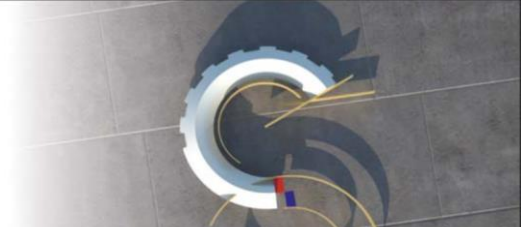
- Otvoren potencijal smanjenja projektnih učinaka

Učinak za grijanje



Učinak za hlađenje

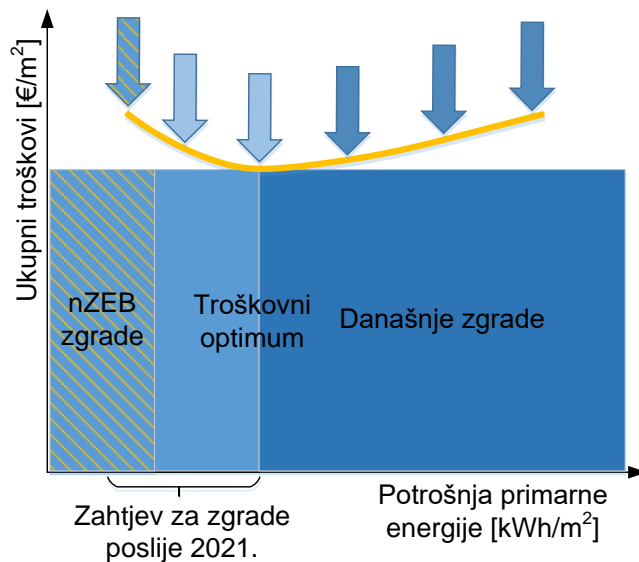




Određivanje troškovnog optimuma

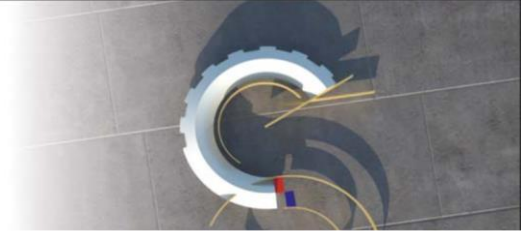
Ciljevi optimizacije

- minimalna potrošnja primarne energije
- minimalna godišnja emisija CO₂
- minimalni ukupni godišnji troškovi tijekom perioda razmatranja



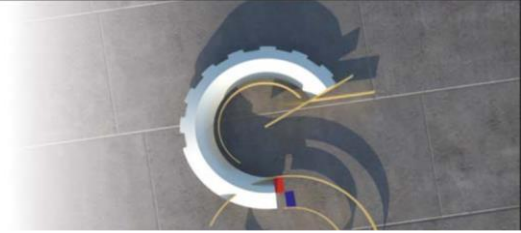
INTEGRIRANI (CJELOVITI) PRISTUP

Vanjska ovojnica + termotehnički sustav



- Optimizacijski problem: određivanje najpovoljnije grupe arhitektonsko – građevinskih zahvata i tehničkog sustava za grijanje, hlađenje i proizvodnju električne energije baziranog na OIE.
- Analiza utjecaja parametara na učinke i potrošnju energije za grijanje i hlađenje
- Olakšana priprema simulacijskih modela za cjelovitu analizu

Parametar		Referentna vrijednost	Raspon	Korak
Toplinska izolacija	Vanjski zid	0 cm	5 - 14 cm	1 cm
	Krov	0 cm	5 - 14 cm	1 cm
	Pod prema tlu	0 cm	5 - 14 cm	1 cm
Koeficijent apsorpcije sunčevog zračenja	Zid	0,3	0,4 – 0,7	0,1
	Krov	0,3	0,4 – 0,7	0,1
Koeficijent prolaza topline za prozirne dijelove		2,8 W/m ² K	0,7 – 1,4 W/m ² K	-
Koeficijent propusnosti sunčevog toplinskog zračenja prozirnih dijelova		0,75	0,21 – 0,61	-
Povrat toplinske energije sustava mehaničke ventilacije (osjetne)		0 %	40 – 80 %	20 %



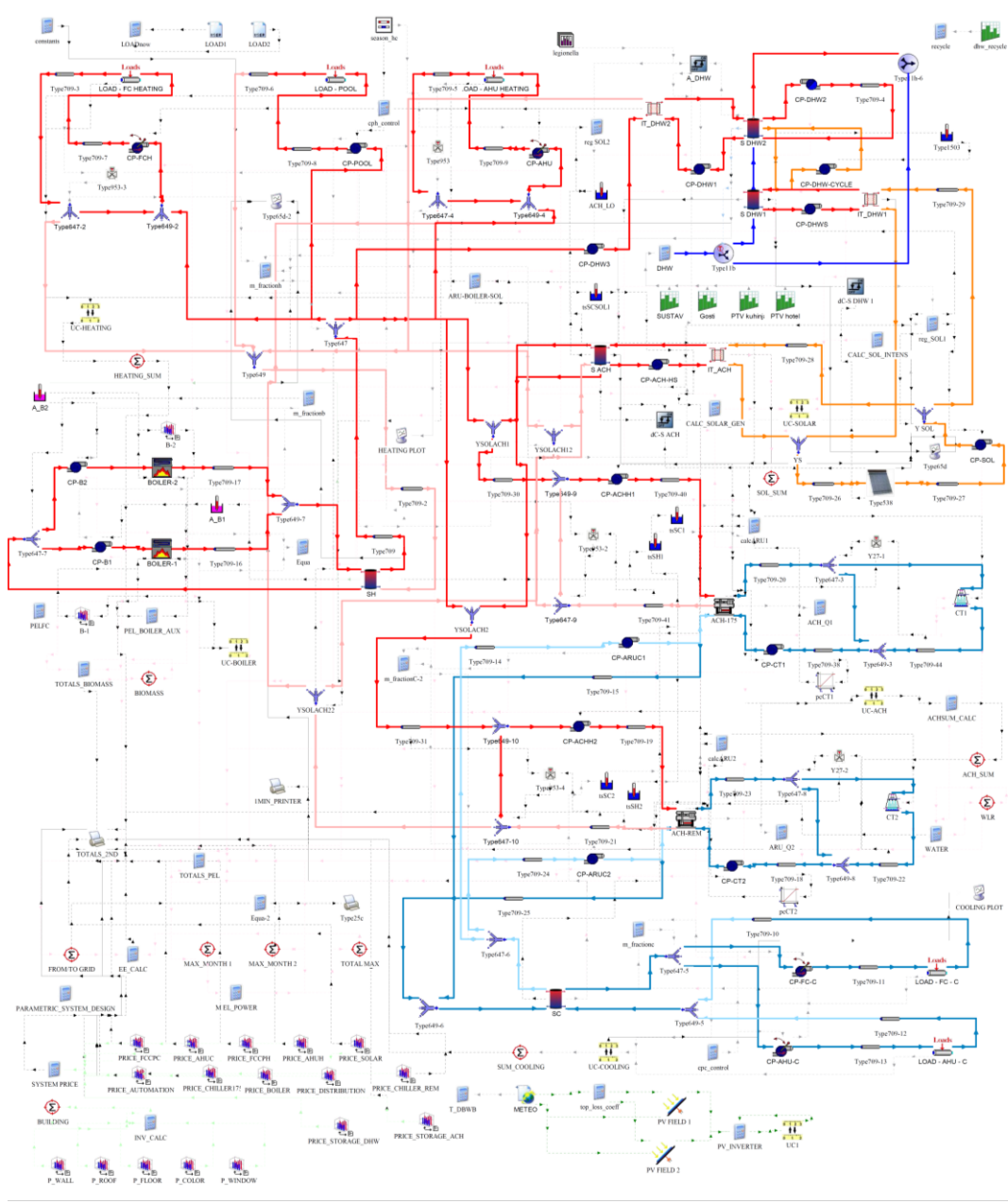
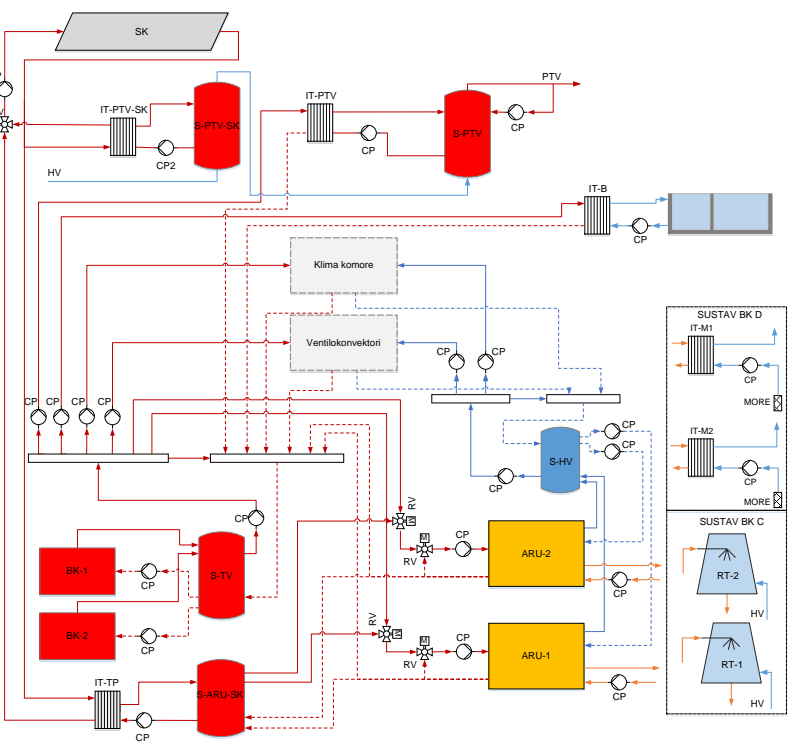
Tehnički sustavi pogodni za zgrade približno nulte energije

- **Proizvodnja električne energije:**
 - fotonaponski kolektori
 - plinske kogeneracije
- **Proizvodnja toplinske i rashladne energije:**
 - solarni toplinski kolektori
 - kotlovi na biomasu
 - kompresijske dizalice topline
 - apsorpcijski rashladni uređaji
- **Toplinski izvori i ponori:**
 - zrak
 - morska voda (dubina oko 10 m, podaci slični kao i za podzemnu vodu)

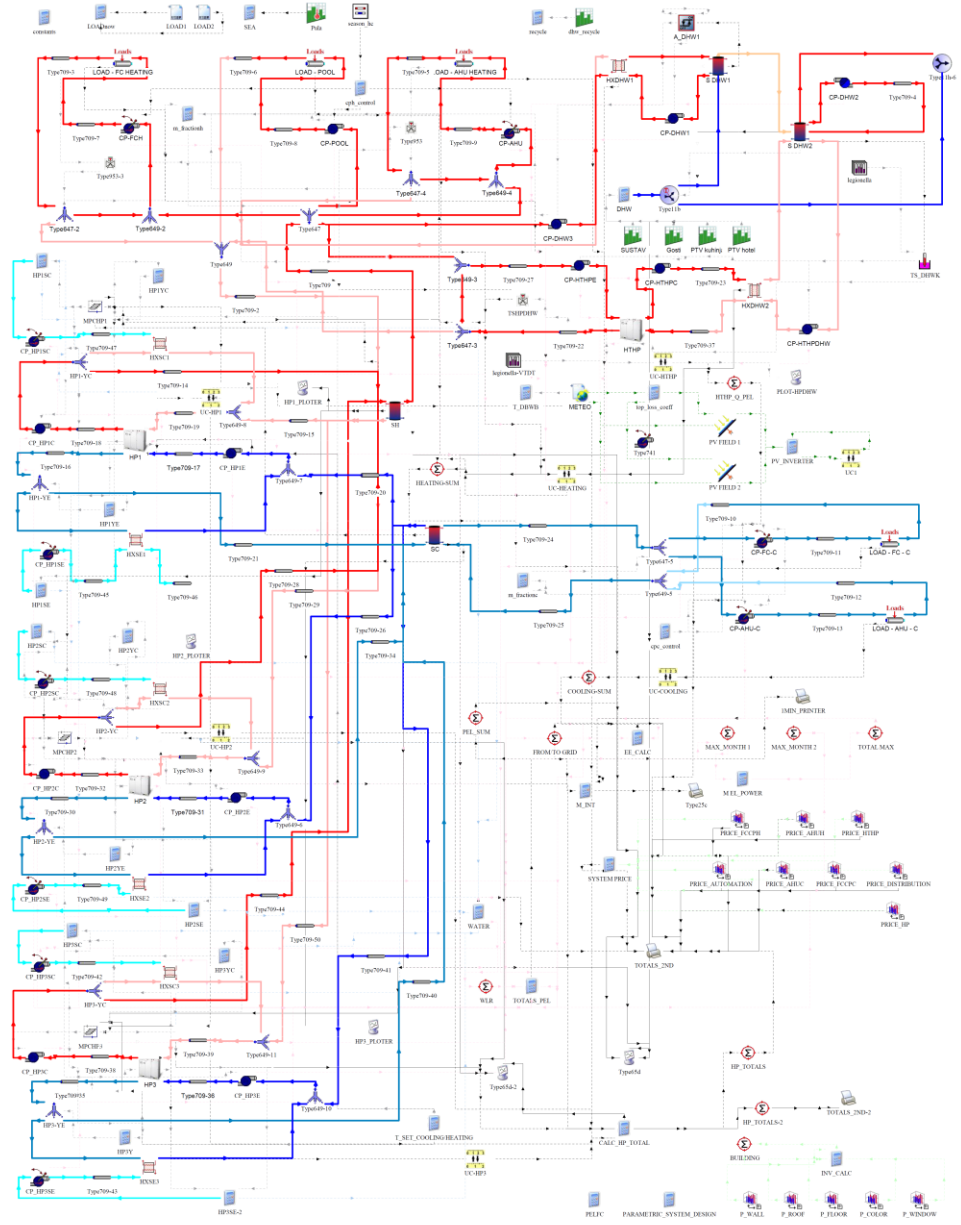
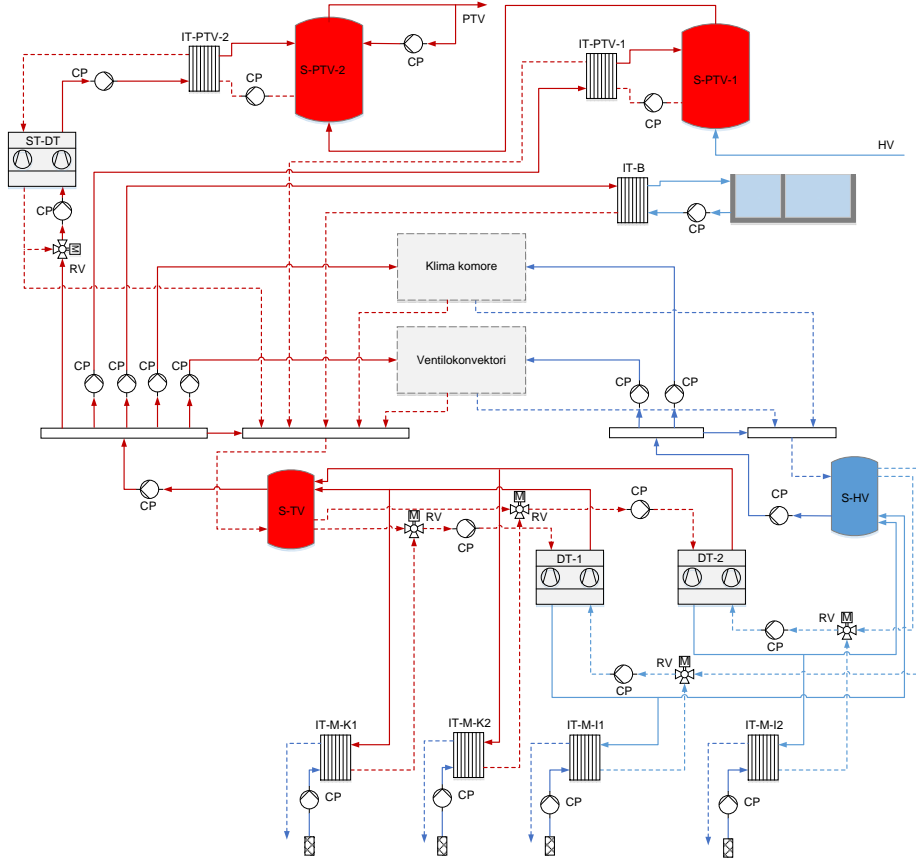
Funkcionalni koncepti sustava - simulacijski modeli (Trnsys)

Sustavi proizvodnje, distribucije i predaje energije kojima upravlja regulacija
 Sustav s biomasom (Biomasa C i D)

- BK – kotao na biomasu,
- ARU – apsorpcijski rashladni uređaj,
- RT – rashladni toranj,
- ITM – izmjenjivač topline s morskom vodom,
- SK – solarni toplinski kolektor.

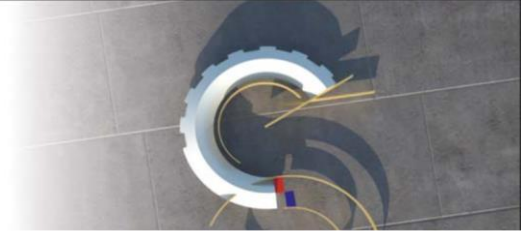


- Sustav s KDT voda – voda (primjer KDT V-V)

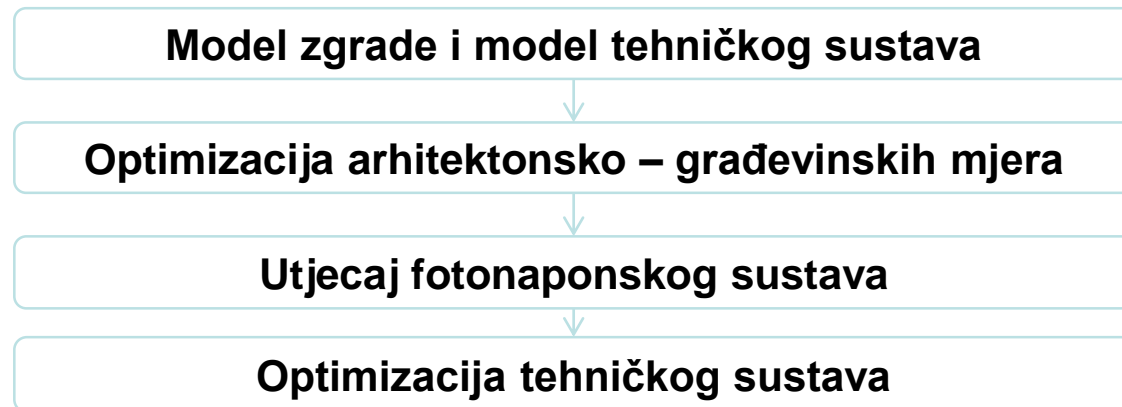


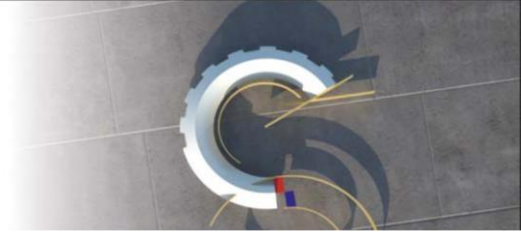


Hrvatska komora inženjera strojarstva
Croatian chamber of mechanical engineers

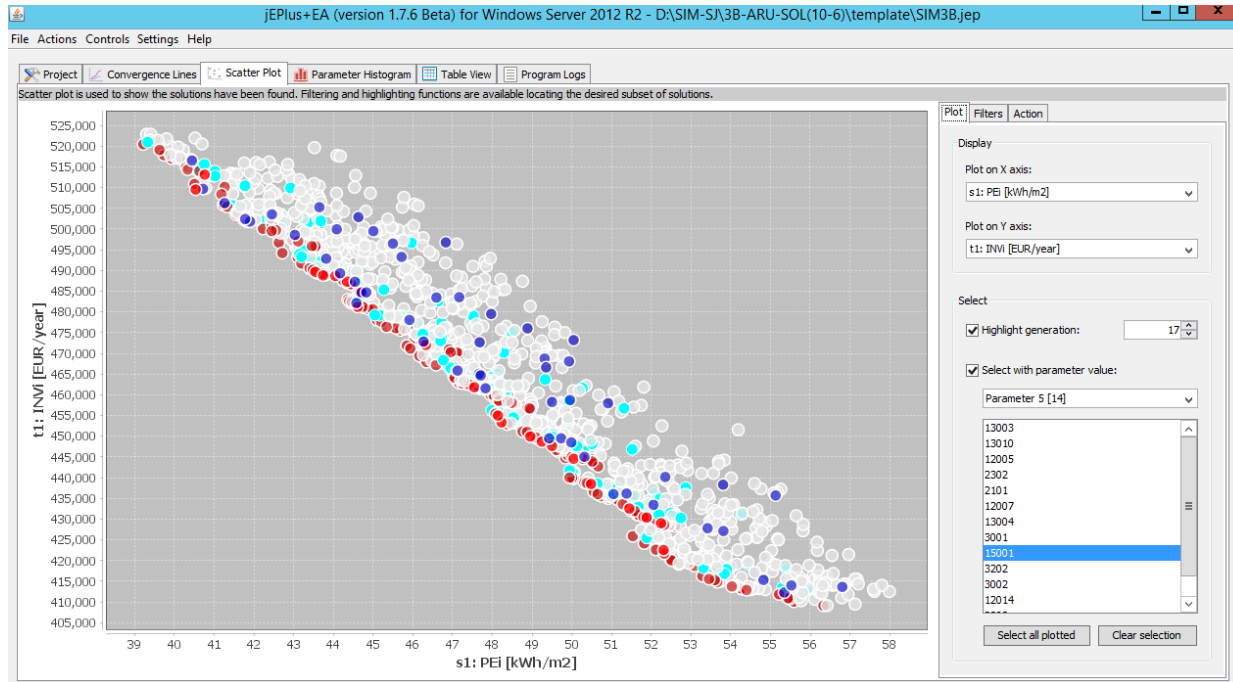


- Tijek optimizacijskog postupka

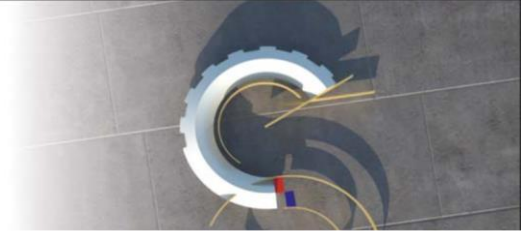




- Klimatski uvjeti sjevernog, srednjeg i južnog Jadrana (Pula, Split, Dubrovnik)
- 4 serverska računala, procesori novije generacije (64, 40, 2 x 24 jezgre)

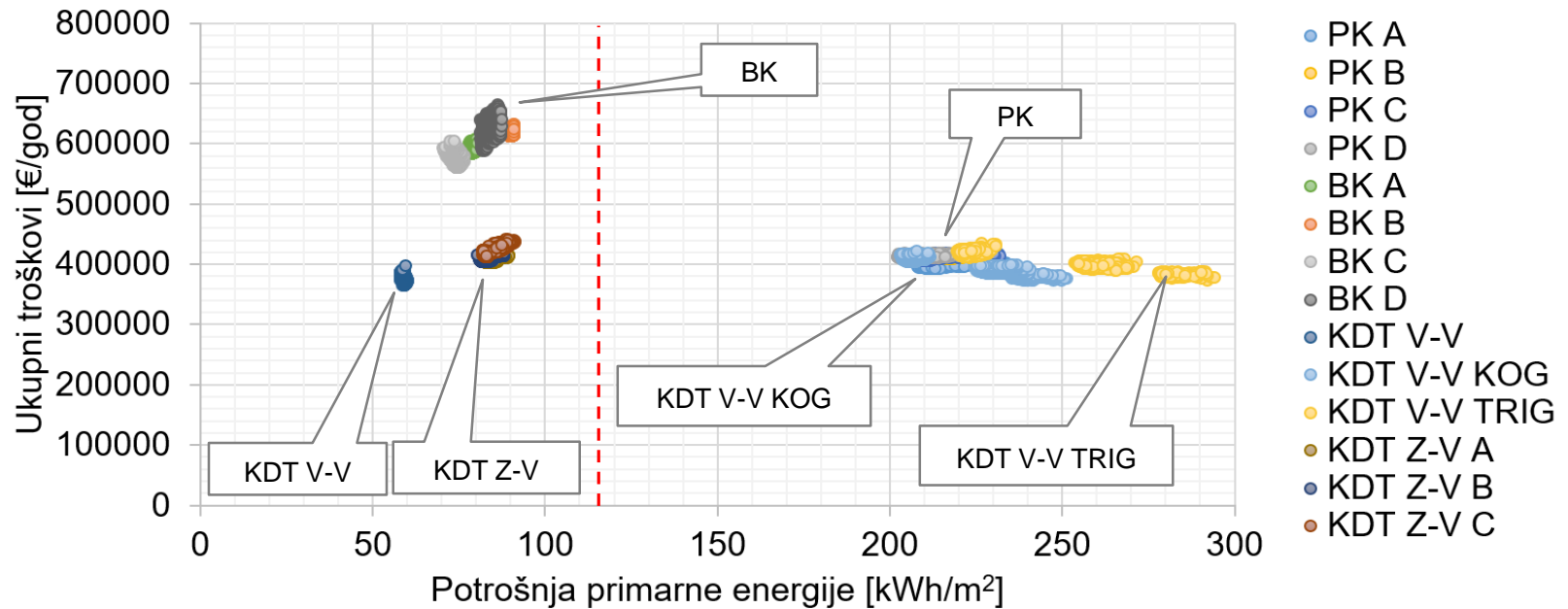


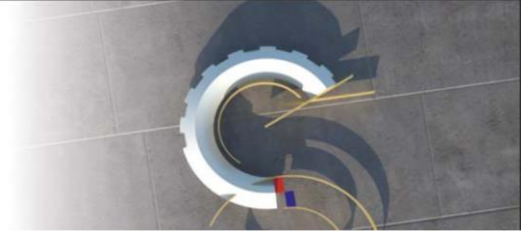
- Višezonski model zgrade - 8 do 10 sati računanja
- Kvalitetna rješenja – 1.000 do 1.500 rješenja kroz generacije
- Provedeno oko 21.000 simulacija po lokaciji, a uz naknadne simulacije s fotonaponskim sustavom ukupni broj rješenja oko 180.000 po lokaciji
- Ukupno 7 mjeseci procesorskog rada



Rezultati u klimatskim uvjetima jadranske Hrvatske (Pula)

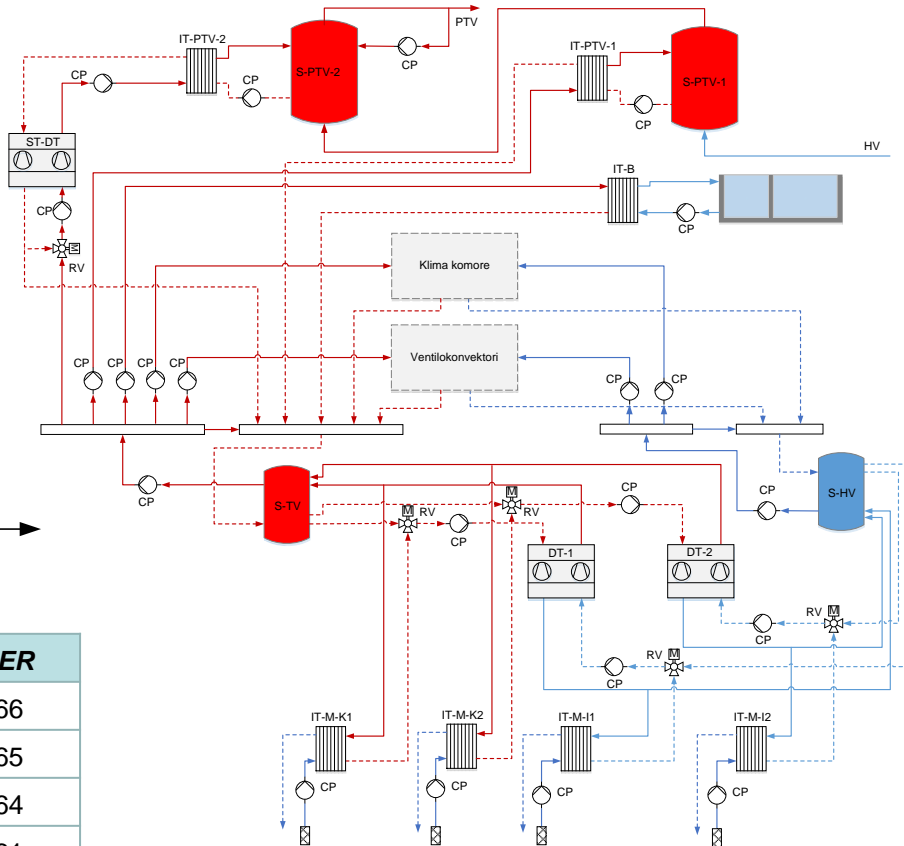
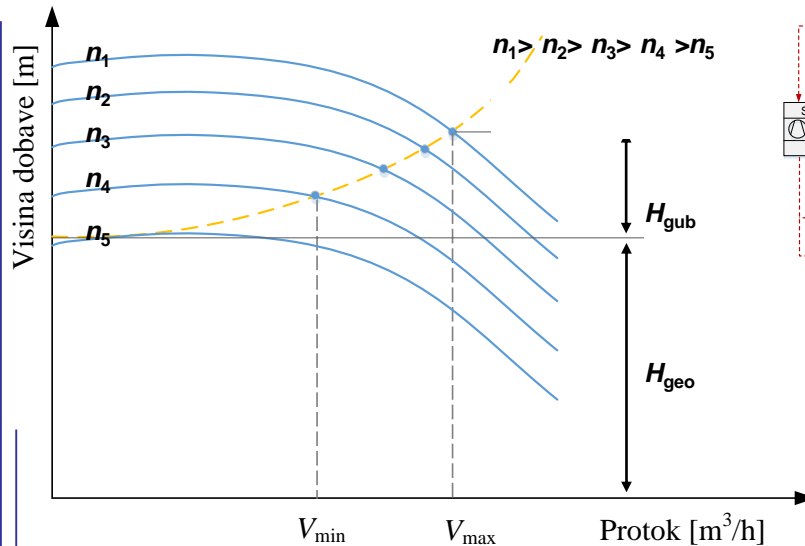
PRIMARNA ENERGIJA





Optimizacija sustava - sustav KDT V-V

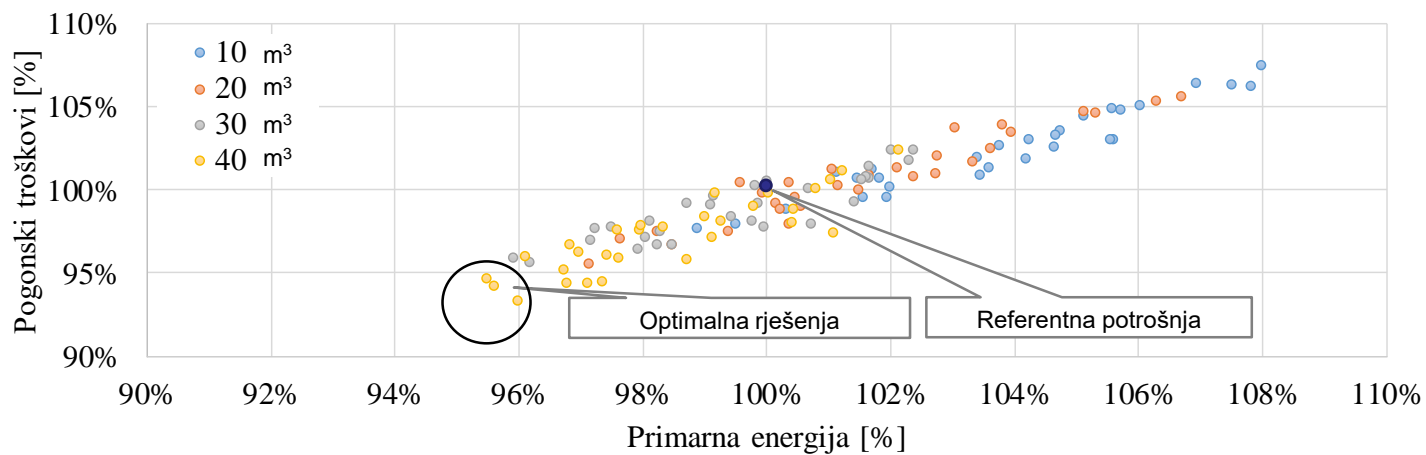
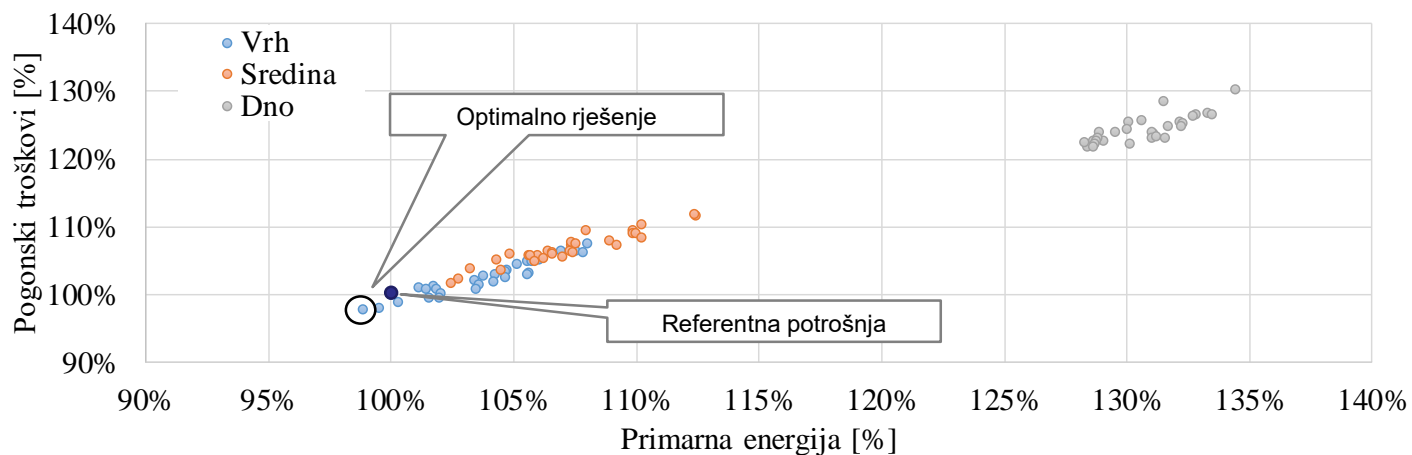
- Utjecaj frekventne regulacije pumpi morske vode u ovisnosti o potrebnom protoku za fiksnu razliku temperature vode ulaz / izlaz (isparivač /kondenzator)

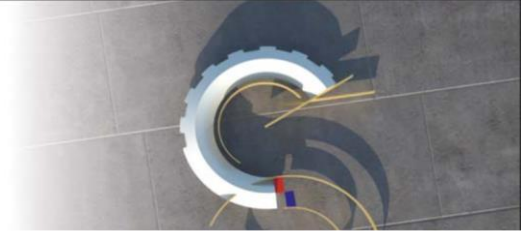


Slučaj	ΔE_p [%]	ΔC_{uk} [%]	SCOP	SEER
$f_{min} = 1$	0,00	0,00	4,25	5,66
$f_{min} = 0,9$	-0,82	-0,98	4,19	5,65
$f_{min} = 0,8$	-1,67	-1,78	4,14	5,64
$f_{min} = 0,7$	-1,04	-3,09	4,09	5,61
$f_{min} = 0,6$	-2,17	-3,97	4,08	5,53



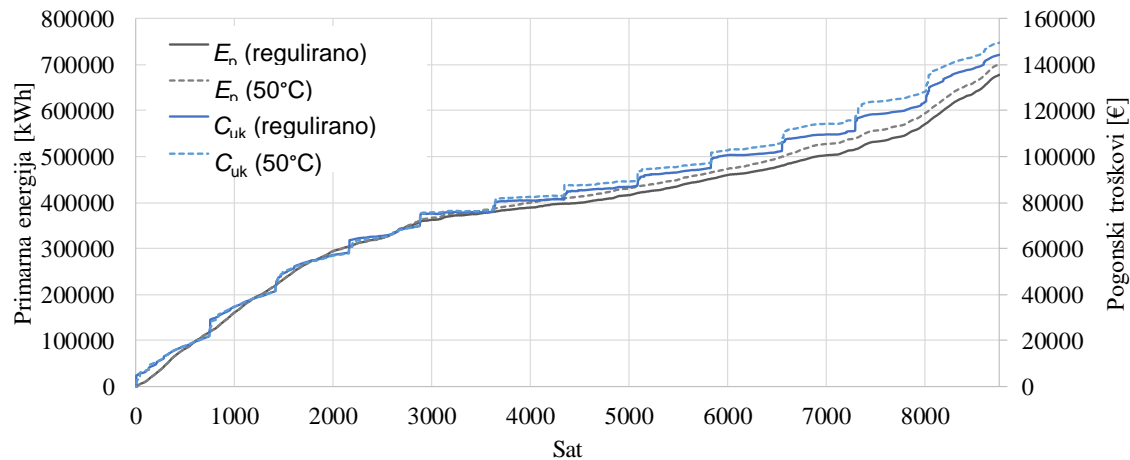
- Utjecaj postavnih vrijednosti sustava regulacije i volumena toplinske akumulacije u sustavu grijanja





Potencijal optimizacije energetskega sistema

- Regulacija polazne temperature grijanja klizno u ovisnosti o vanjskoj temperaturi



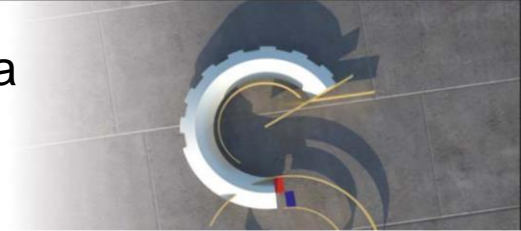
Slučaj	C_{uk} [€]	ΔE_p [%]	ΔC_{uk} [%]	SCOP
Bez regulacije	112411	-	-	4,25
Regulirana temperatura	108429	-3,5	-3,7	4,57

Analizirani su i:

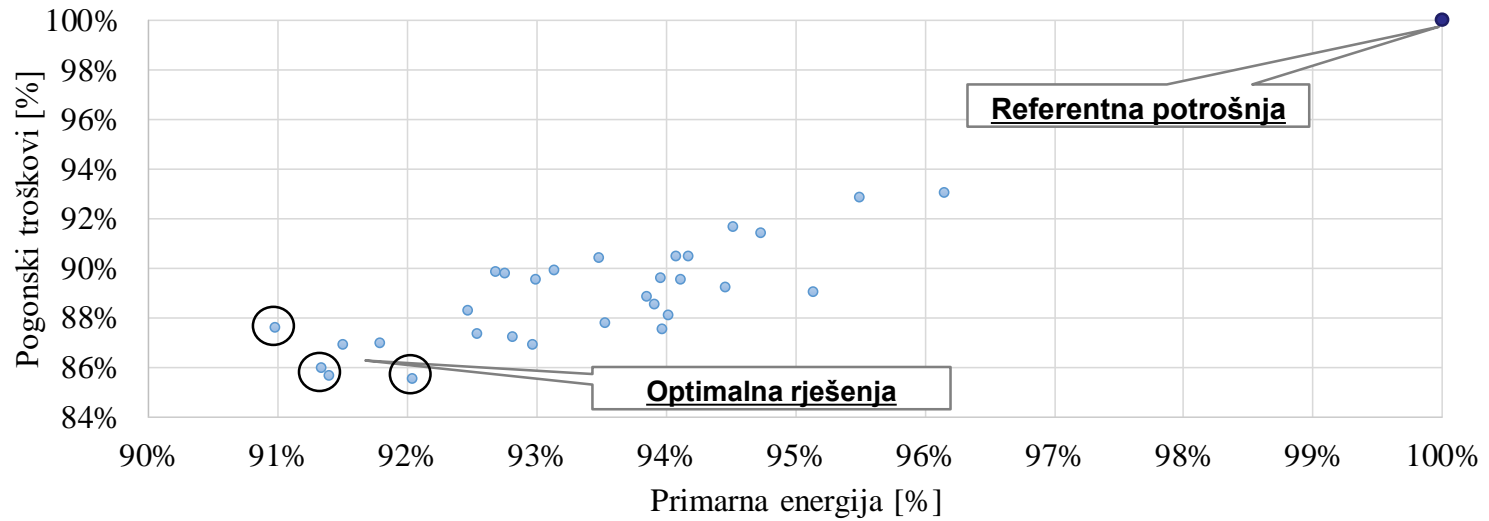
- Utjecaj veličine izmjenjivača topline
- Toplinska akumulacija u sustavu pripreme PTV

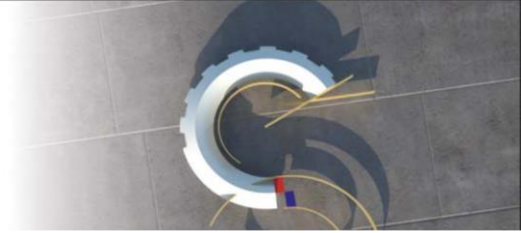
Potencijal optimizacije energetske sustava

Hrvatska komora inženjera strojarstva
Croatian chamber of mechanical engineers



- Rezultat međuovisnosti optimizacijskih varijabli

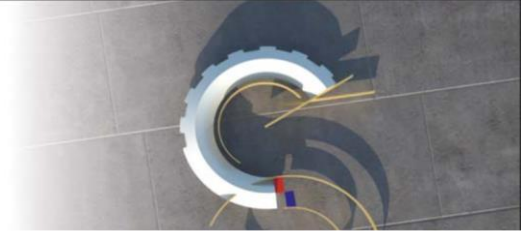




- Prikladnost numeričkih dinamičkih simulacija za analize bolja nego za simulacije s mjesečnim vremenskim korakom
- Potvrđena prikladnost za određivanje projektnih učinaka i utvrđena mogućnost smanjenja projektnih učinaka primjenom „projektne godine“
- Razvijena cjelovita metodologija optimizacije zgrade i tehničkih sustava
- Utvrđeni sustavi pogodni za zgrade približno nulte energije
- Utvrđeni parametri koji vode ka optimalnim rješenjima
- Uspostavljen odnos između arhitektonsko – građevinskih mjera energetske učinkovitosti i tehničkog sustava
- Dane smjernice za odabir optimalnih sustava kod obnove zgrada
- Modelima omogućen uvid u ponašanje složenih tehničkih sustava, otvoren potencijal optimizacije, mogućnost uklanjanja nedostataka i preliminarnih analiza u fazi projektiranja



Hrvatska komora inženjera strojarstva
Croatian chamber of mechanical engineers



3. MEĐUNARODNI KONGRES DANI INŽENJERA STROJARSTVA
3th INTERNATIONAL CONGRESS MECHANICAL ENGINEERS DAYS
ŠIBENIK, 23.-24.5.2013.

Hvala na pozornosti