

SLUČAJEVI PRIMENE SIMULACIJE KARAKTERISTIKA ZGRADE U PROCESU NJENOG NASTAJANJA

APPLICATION INSTANCES OF BUILDING PERFORMANCE SIMULATION THROUGHOUT THE BUILDING DELIVERY PROCESS

KRISTINA OREHOUNIG i ARDESHIR MAHDAVI,
Department of Building Physics and Building Ecology,
Vienna University of Technology, Austria

Ovaj rad opisuje slučajeve primene simulacije karakteristika zgrada u procesu njenog nastajanja. Autori posebno prikazuju kako korišćenje kompjuterskog alata za simulaciju karakteristika može biti prošireno i izvan faze projektovanja, kako bi se usmerilo na primenu u modifikaciji zgrade i njeno funkcionisanje. U tom cilju autori opisuju kako simulacioni modeli postojećih zgrada mogu biti kalibrisani tokom upotrebe empirijskih (mernih) podataka. Upotreba takvih kalibrisanih simulacionih modela u donošenju odluke u domenu modifikacije zgrade, obuhvata primere istorijskih zgrada (u izvesnom broju mediteranskih zemalja), kao i stambenih i komercijalnih zgrada (u Africi). Primena slučajeva energetske efikasnosti, na modelu baziranog i za korisnika prihvatljivog funkcionisanja zgrade, obuhvata primere osvetljenja, osenčenja i regulacije ventilacije (kako je to izvedeno u Austriji).

This paper describes instances of the application of building performance simulation throughout the building delivery process. Specifically, we illustrate how the use of computational performance simulation tools can be extended beyond the design phase, to address applications in building retrofit and building operation. Toward this end, we demonstrate how simulation models of existing buildings may be calibrated through the use of empirical (measurement) data. Used cases of such calibrated simulation models for decision making support in the building retrofit realm include examples of historical buildings (in a number of Mediterranean countries) as well as residential and commercial buildings (in Africa). Used cases for model-based energy efficient and user-responsive building operation include examples for lighting, shading, and ventilation controls (as implemented in Austria).

Ključne reči: simulacija karakteristika zgrade; modifikacija; pogon; kalibracija

Key words: building performance simulation; retrofit; operation; calibration

Uvod

Simulacija zgrade može se koristiti pri rešavanju pitanja vezanih za njene karakteristike odnosno termičke i vizuelne kriterijume ugodnosti kao i kvalitet vazduha u njoj: obično je primena studija simulacije u procesu projektovanja još uvek prilično komplikovana i dugotrajna. Tako se simulacija karakteristika, ako uopšte postoji, najčešće koristi na kraju procesa projektovanja i to obično za velike i složene zgrade. Međutim, sa povećanjem broja propisa i potrebnih energetske sertifikata za zgrade, studije izvođenja simulacije postaju sve više prihvaćene.

U ovom radu se posebno prikazuje način na koji se primena kompjuterskih alata za izvođenje simulacije može proširiti i van projektovanja novih zgrada, da bi se primenila na modifikaciju zgrade i njeno funkcionisanje. U tom cilju, mi prikazujemo (imajući u vidu slučaj novog projekta kancelarijske zgrade u Kairu) kako se simulacioni modeli mogu primeniti na različite parametarske probne opcije (projektne alternative) sa gledišta povećane energetske efikasnosti zgrade. Pored toga, prikazujemo kako digitalni modeli karakteristika postojećih zgrada mogu biti kalibrisani kroz upotrebu empirijskih (mernih) podataka. Primena slučajeva takvih kalibrisanih simulacionih modela kao pomoć pri donošenju odluka u domenu modifikacije zgrada, obuhvata primere istorijskih zgrada (u mnogim mediteranskim zemljama) kao i u stambenim i komercijalnim zgradama (u Africi). Primena slučajeva energetske efikasnosti, na modelu baziranog i za korisnika prihvatljivog funkcionisanja zgrada, obuhvata primere osvetljenja i regulacije osenčenja (kako je to izvedeno u Austriji).

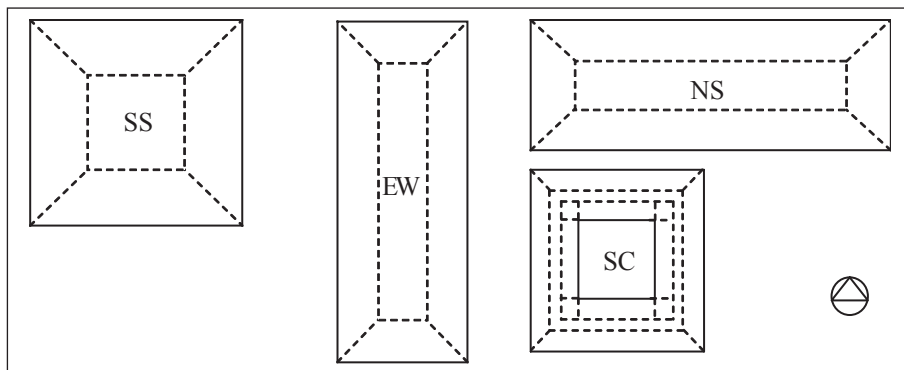
Simulacija karakteristika zgrade u procesu projektovanja

U mnogim slučajevima, projektu i zidanju zgrade ne prethodi detaljna analiza i procena termički važnih karakteristika i opcija koje se odnose na orijentaciju, omotač, veličinu zastakljenja, sredstva za zaklone i termičku masu. Da bismo ilustrovali ovu tačku, opisaćemo jednu studiju slučaja. Ona se odnosi na parametarsku studiju na bazi simulacije implikacija različitih alternativnih opcija projekta sa gledišta toplotnih karakteristika (zahteva u pogledu hlađenja, tendencija u pregrevanju) jedne kancelarijske zgrade u Kairu (Said i dr., 2009). Zbog toga je kao sredstvo za upoređenje toplotnih karakteristika izvesnog broja projektnih opcija zgrada, kao što su različite alternative toplotne izolacije, vrste zastakljenja, vrste zaklona od sunca itd., izabrana parametarska simulacija (videti tabele 1 i 2).

Radi ovoga razmatranja, izabrano je sedam konfiguracija ovih opcija (tabela 2). Cilj je bio da se odrede oni projekti zgrada i alternative rada, koji bi smanjili zahteve za hlađenjem i tendencije za pregrevanjem kancelarijskih zgrada u kontekstu klime u Kairu. Na bazi preliminarne studije tipičnih (savremenih) kancelarijskih spratova u Kairu, izabrane su tri varijante podne površine, odnosno pravougaona površina (70 m x 27 m), kvadratna površina (SS, 43 m x 43 m) i kvadratna površina sa unutrašnjim dvorištem (SC, 35 m x 35 m). Osim toga, razmatrane su dve orijentacije za pravougaonu površinu, odnosno sever–jug (NS) i istok–zapad (EW), kako je to prikazano na sl. 1. Razmatrana su dva rešenja zastakljenja ($G_{0,50}$ i $G_{0,20}$) i dva rešenja za neprovidan deo fasade (neizolovani I_0 nasuprot izolovanog I_5). Tri vrste sa žaluzinama su takođe razmatrane, tj. unutrašnja BT_1 , međuprostorna BT_c (između prozora u sistemu sa dvostrukim staklom) i spoljna BT_c (videti tabelu 1). Kada postoje, žaluzine su smatrane kao da su potpuno zatvorene. Raspored postavljanja žaluzi-

na pretpostavljen je kao zavisen od orijentacije (jug: 8.00–16.00; istok 6.00–12.00; zapad: 12.00–8.00).

Pretpostavljeno je da je šema ventilacije različita, prema dobu godine (leti: od 8.00 do 18.00, 2 ACH; od 18.00 do 8.00, 2 ACH; zimi od 8.00 do 18.00, 4 ACH; 18.00 do 8.00, 2 ACH).



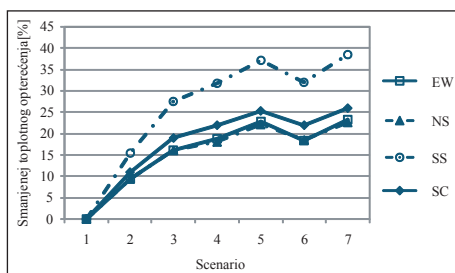
Slika 1. Šematski prikaz izabranih tlocrta podova EW, NS, SS i SC

Slika 2 prikazuje rezultate parametarskih simulacija u pogledu smanjenja godišnjeg rashladnog opterećenja (u procentima) za 7 scenarija, prema specifikaciji u tabeli 2 i opcijama tlocrta EW, NS, SS i SC. Obratite pažnju da se smanjenja odnose na osnovne pretpostavljene slučajeve (scenario 1).

Tabela 1. Pregled opcija koje se odnose na tlocrt i orijentaciju poda, izolaciju fasade, zastakljenje i vrstu zaklona od sunca

Parametar	Šifra	Opis
Izolacija fasade	I_0	Bez izolacije ($U = 2,1 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)
	I_5	Sa 5 cm izolacije ($U = 0,5 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$)
Zastakljenje	$G_{0,50}$	Dvostruko staklo; $g = 0,5$; $\tau_v = 0,75$; $U = 1,8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
	$G_{0,20}$	Jednostruko staklo; $g = 0,20$; $\tau_v = 0,50$; $U = 5,7 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$
Vrsta roletni	BT_i	unutrašnje roletne
	BT_m	međuprostorne roletne
	BT_e	spoljne roletne

Rezultati opisanih studija parametarske simulacije uzimaju u obzir izvestan broj zaključivanja koja su značajna sa gledišta formulacije uputstava za projektovanje novih administrativnih zgrada u Kairu. Na primer, potencijal smanjenja rashladnog opterećenja mnogih razmatranih scenarija je veoma veliki. Preko kombinacije karakteristika zgrade, smanjenje rashladnog opterećenja od oko 38% za opciju SC opciju poda i oko 25% za opcije EW, NS, SS (u poređenju sa početnim scenarijem osnov-



Slika 2. Smanjenje simulacionog rashladnog opterećenja za 7 scenarija (videti tabelu 2) i opciju podnih tlocrta EW, NS, SC i SS

nog slučaja) izgleda izvodljivo. Bolje karakteristike opcije SC u poređenju sa drugim opcijama tlocrta poda postoje zahvaljujući boljem korišćenju dnevnog svetla i odgovarajućem smanjenju opterećenja od osvetljenja. Osim toga, postojanje i raspored spoljašnjih zaklona od sunca ključni su deo svih boljih scenarija izvođenja. Isto tako, alternative zastakljenja sa većom efikasnošću zaštite od sunca (kao što je specificirano preko g-vrednosti) doprinose smanjenju rashladnog opterećenja, dok U-vrednost zastakljenja po svemu sudeći nema presudnu ulogu.

Tabela 2. Pregled 7 simulacionih scenarija za tlocrt podne površine

Scenario	Izolacija	Zastakljenje	Zakloni
1	I_0	$G_{0,5}$	–
2	I_0	$G_{0,5}$	BT_i
3	I_0	$G_{0,5}$	BT_m
4	I_0	$G_{0,5}$	BT_e
5	I_0	$G_{0,5}$	–
6	I_5	$G_{0,5}$	BT_e
7	I_5	$G_{0,5}$	BT_e

Simulacija karakteristika za podršku modifikaciji zgrade

Simulacija karakteristika zgrade može se koristiti u procesu modifikacije zgrade, da bi se odredile i pažljivo ispitale eventualne mogućnosti poboljšanja pre nego što takve intervencije započnu. U tom slučaju, moguće je kalibrisati simulacioni model korišćenjem podataka dobijenih nadgledanjem u zgradi. Ti kalibrisani modeli mogu se primeniti na dva komplementarna načina. Prvi je da detaljna simulacija omogućava istraživanje mogućnih razloga za izvesne trendove u mernim podacima. Drugi je, i mnogo važniji, da tok simulacije omogući predviđanje posledica alternativnih opcija renoviranja, restauriranja, ponovne upotrebe i adaptacije zgrada.

U jednom nedavnom istraživanju, imali smo prilike da pratimo podatke u brojnim istorijskim objektima u oblasti Mediterana (Orehoung i Mahdavi, 2009), kao i kancelarijskim zgradama u Gani, Afrika (Karanteng i dr., 2009). Korišćenjem vizuelizacije podataka i analize karakteristika, mogu se odrediti scenariji modifikacije zgrada i poboljšanja njihovog funkcionisanja (npr. dodatna toplotna izolacija, primena visokokvalitetnih zastakljenja, korišćenje dodatnih zaklonskih sredstava, optimizovanih rasporeda za funkcionisanje prozora i šalona, modifikacije raspoložive ter-

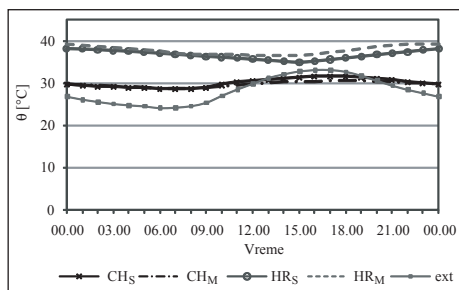
mičke mase), koji mogu poboljšati uslove unutrašnje sredine u zgradi i smanjiti nje-
ne energetske potrebe.

U slučaju pomenutih proučavanja, podaci dobijeni nadgledanjem (unutrašnjih i
spoljašnjih parametara, kao što su temperatura, relativna vlažnost, osvetljenje, zrače-
nje, brzina i pravac vetra), korišćeni su i za kalibraciju digitalnih modela za simula-
ciju karakteristika izvesnog broja proučavanih objekata. U tom cilju, zgrade su opre-
mljene dijagnostičkom opremom za spoljne i unutrašnje uslove. Prikupljene su infor-
macije o konstrukciji kao i podaci koji se odnose na korisnike prostora i modele pro-
vetravanja. Pretpostavljeni podaci za simulaciju obuhvatili su i opsege unutrašnjih
dobitaka (od ljudi, osvetljenja, opreme) i broj izmena vazduha. Komercijalno raspo-
loživi simulacioni alat (EDSL 2008) korišćen je za procese izrade modela. Za izvo-
đenje simulacije generisane su datoteke vremenskih podataka bazirane na podacima
o lokalnom vremenu. Početni rezultati simulacije (npr. vrednosti temperature unu-
trašnjeg vazduha) mogu se onda upoređivati sa merenjima, što dovodi i do kalibrisa-
ne verzije simulacionog modela.

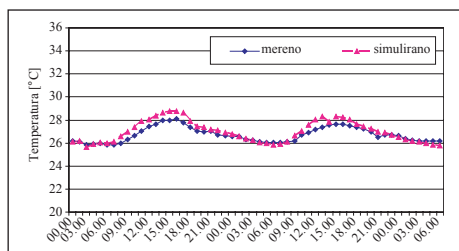
Da bi se dobio primer karakteristika kalibrisanog modela, sl. 3 pokazuje upo-
ređenje predviđanja sa mernim vrednostima. Zbog toga su simulirane i merene unu-
trašnje temperature u dva prostora (CH i HR) u istorijskoj zgradi sa javnim kupatilo-
m (Kairo, Egipat), prikazane za referentni dan u julu 2006. Obratite pažnju da ta ci-
fra obuhvata i vrednosti merene spoljne temperature (“ext”). Slična kalibracija bila je
takođe izvršena za studiju modifikacije jedne kancelarijske zgrade u Kumasi
(Gana). Da bi se ilustrovaio dobijeni rezultat, slika 4 prikazuje primer merenih
nasuprot simuliranih temperatura unu-
trašnjeg vazduha u jednoj univerzitet-
skoj zgradi (SAD) u Kumasiju.

Korišćenjem takvog kalibrisanog
modela, mogu se odrediti i oceniti al-
ternativna scenarija za termičko po-
boljšanje zgrade (dodatna toplotna izo-
lacija, primena visokokvalitetnih za-
stakljenja, korišćenje dodatnih zaklon-
skih sredstava, optimizovani plano-
vi za funkcionisanje prozora i rolet-
ni, modifikacija raspoložive termič-
ke mase). Da bi se ilustrovaio potencijal
primene takvih kalibrisanih simula-
cionih modela, slika 5 prikazuje upo-
ređenje simuliranih zahteva u pogledu
grejanja prostora u tri prostora tradi-
cionalnog javnog kupatila. Te prostore
označavamo kao CH (prostorija za
presvlačenje), CR (hladna soba) i HR
(topla soba).

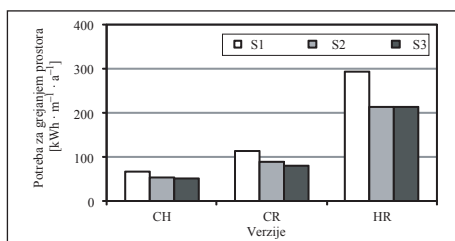
Potrebe za grejanjem bile su simu-
lirane za tri različita scenarija, prema
tabeli 3. Prvi scenario predstavlja po-



Slika 3. Simulirane temperature nasuprot
merenih temperatura unutrašnjeg vazdu-
ha (srednje časovne vrednosti) za referen-
tni dan u julu 2006.



Slika 4. Merene temperature nasuprot si-
muliranih temperatura unutrašnjeg vaz-
duha u CAP



Slika 5. Simulirani zahtevi za grejanjem prostora ($kWh\ m^{-2}\ a^{-1}$) tradicionalnog javnog kupatila za scenarija S1 do S3

stojeće uslove. Drugi scenario obuhvata poboljšanje toplotne izolacije krova i delove spoljnih zidova. Treći scenario obuhvata, pored termičkog poboljšanja iz drugog scenarija, upotrebu dvostrukog zastakljenja (umesto postojećeg jednostrukog stakla) za prozore (CH) i krovne otvore (CR i HR) na objektu.

Pretpostavljena odgovarajuća U-vrednost (za krov, zidove, zastakljenje) u ovim scenarijima nalazi se u tabeli 3.

Tabela 3. Pretpostavljene U-vrednosti relevantnih komponenata zgrade za scenarija S1 do S3 termičke simulacije

	U-vrednosti (u $W\cdot m^{-2}\ K^{-1}$)		
	S1	S2	S3
Krov	1,76	0,2	0,2
Zidovi	1,13	0,22	0,22
Zastakljenje	5,75	5,75	1,36

Tabela 4. Pregled simuliranih scenarija poboljšanja

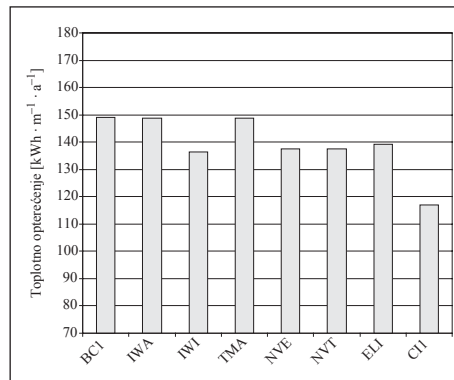
Šifra	Scenario	Opis
IWA	Poboljšana izolacija zida	$U_{walls} = 0,4\ W\ m^{-2}\ K^{-1}$;
IWI	Poboljšani prozori	$U_{window} = 1,8\ W\ m^{-2}\ K^{-1}$; $g_{window} = 0,29$;
IAT	Poboljšana izolacija	$U_{attic\ floor} = 0,4\ W\ m^{-2}\ K^{-1}$
TMA	Termička masa	Floor carpets removed
NVE	Noćna ventilacija	Dan/noć ACH = $1/10\ h^{-1}$
NVT	TMA+NVE	Videti TMA i NVE
ELI	Efikasno električno osvetljenje	Opterećenje od osvetljenja = $2\ W\ m^{-2}$
C11	Kombinovana poboljšanja CAP	$U_{window} = 1,8\ W\ m^{-2}\ K^{-1}$; $g_{window} = 0,29$; dan/noć ACH = $1/10\ h^{-1}$; opterećenje od osvetljenja = $2\ W\ m^{-2}$
C12	Kombinovana poboljšanja KCR	$U_{tav, pod} = 0,4\ W\ m^{-2}\ K^{-1}$; $U_{window} = 1,8$; dan/noć ACH = $1/10\ h^{-1}$; opterećenje od osvetljenja = $2\ W\ m^{-2}$

Prema rezultatima simulacije, bolje izolovani krov i zidovi dovode do manjih potreba za grejanjem prostora (naročito u HR). Poboljšanje zastakljenja ne utiče na energetske potrebe HR i dovodi samo do neznatnog smanjenja potreba u CR i CH.

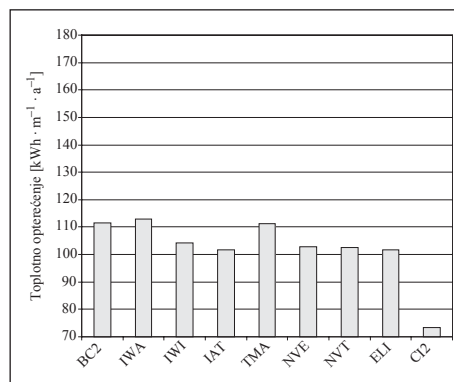
Kao i u studiji za Canu, sl. 6 i 7 prikazuju simulirana rashladna opterećenja za dve izabrane zgrade CAP (univerzitetska zgrada) i KCR (jedna NGO kancelarijska zgrada) i za izvestan broj scenarija modifikacije (videti tabelu 4, gde je rezime ovih mera modifikacije).

Rezultati simulacije i u ovom slučaju obezbeđuju brojne kritične zaključke (Koranteng i dr., 2009). Poboljšanje toplotne izolacije spoljašnjih zidova nije dovelo do odgovarajućeg poboljšanja energetskih karakteristika zgrada. Ta okolnost može se dogoditi u zgradama (odakle je i poznata) čije rashladno opterećenje dominira. To može biti objašnjeno preko efekta zadržane toplote bolje izolovanih zidova. Poboljšanje toplotne izolacije tavanog prostora ne povećava značajnije toplotne karakteristike, zbog smanjenja protoka konduktivne toplote iz tih obično pregrevanih prostora. Povećanje toplotne mase zgrade ne smanjuje znatnije rashladna opterećenja zgrade. Povećanje noćne prirodne ventilacije poboljšalo je toplotne karakteristike zgrade, mada na skroman način, zbog prilično malog dnevnog temperaturnog opsega u Kumasiju: noćna temperatura se ne smanjuje dovoljno da bi efikasno hladila masu zgrade. Kombinacija veće toplotne mase i povećane noćne ventilacije bila je samo neznatno bolja od same prirodne ventilacije. Izrazito poboljšanje bilo je rezultat instaliranja bolje izrađenih prozora. To je uglavnom zbog veće efikasnosti zaklona (i srazmernog smanjenja dobitaka od sunca) alternativnih konstrukcija prozora. Smanjenje unutrašnjih dobitaka preko instaliranja efikasnijih električnih svetlosnih sistema ima razumljivo primetan potencijal za smanjenje ukupnih rashladnih opterećenja zgrade. Izvesne kombinacije izabranih modifikacija (kao što su bolji prozori, prirodna ventilacija i efikasno električno osvetljenje), izgleda da imaju sinergijski efekat koji vodi ka znatnom smanjenju rashladnog opterećenja zgrade.

Kako rezultati simulacije za kombinovane mere C11 i C12 (tabela 4) sugerišu, rashladna opterećenja bi mogla da budu smanjena (zavisno od zgrade) za negde između 20% i 35%.



Slika 6. Simulirano rashladno opterećenje (CAP) za različita scenarija (v. tabelu 4)



Slika 7. Simulirano rashladno opterećenje (KCR) za različita scenarija (v. tabelu 4)

Energetski efikasno, na modelu bazirano i za korisnika prikladno funkcionisanje zgrade

Metod regulacije sistema u zgradi na bazi simulacije funkcioniše kako sledi:

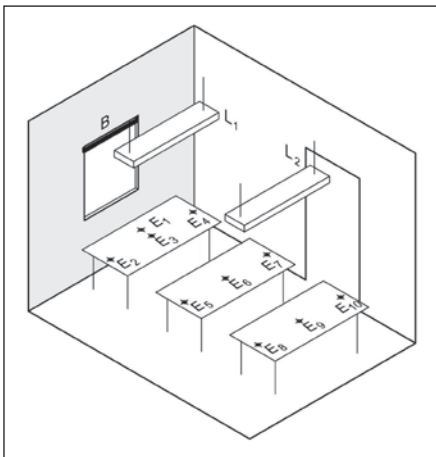
i) u redovnim vremenskim intervalima, sistem razmatra niz mogućih regulacionih stanja (tj. niz alternativnih kombinacija stanja regulacionih sredstava, kao što su: stepen otvaranja prozora, položaj žaluzina, nivo prigušenja rasvetnih tela) za naredni vremenski korak;

ii) ove alternative se onda virtuelno dešavaju preko numeričke (toplotne i vizuelne) simulacije. Zbog toga primena simulacije koristi gore pomenuto digitalno predstavljanje prostorije, kontekst i prisustvo ljudi prema predviđanju implikacija tih alternativnih regulacionih akcija, što dovodi do vrednosti za odgovarajuće pokazatelje karakteristika kao što su temperatura unutrašnjeg vazduha i zadati nivoi osvetljenosti;

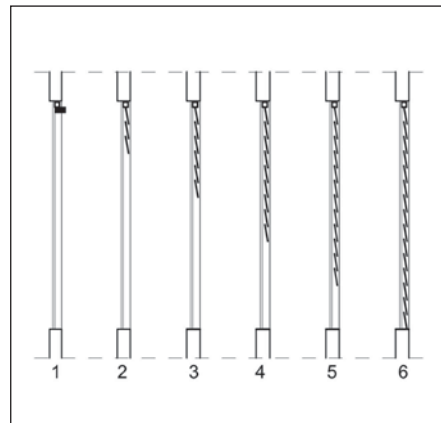
iii) ovi rezultati se porede i rangiraju prema prednostima (objektivna funkcija) koje specificiraju stanari i/ili direktor objekta, da bi se odredilo moguće stanje sa najpoželjnijim karakteristikama;

iv) sistem ili autonomno instruiira relevantni regulacioni uređaj – aktivator(e), ili informiše korisnika da podesi regulaciono stanje (Mahdavi, 2008).

U nastavku ćemo izneti rezultate najnovijih napora za dalji razvoj i ispitivanje predregulacionih strategija na bazi simulacije u domenu osvetljenja i zaklona od sunca. U tu svrhu, upotrebili smo ispitnu sobu (sl. 8) u našoj laboratoriji. Relevantni regulacioni uređaji su, u ovom slučaju (v. sl. 8) dve okačene svetiljke sa mogućnošću prigušenja svetiljke (L_1 i L_2) i prozorska roletna (B). Diskretizovana stanja ovih uređaja prikazana su na sl. 9 i u tabeli 5. Bili su ostvareni višestruki pristupi da bi se razmotrila raspoloživost dnevnim svetlom u opitnoj sobi. U jednom pristupu, dnevno svetlo je bilo oponašano korišćenjem specijalne ravne svetiljke (STRATA, 2008), smeštene sa spoljne strane prozora opitne sobe. Fluks osvetljenja ovoga izvora je kontrolisan dinamički, prema raspoloživom spoljnjem globalnom horizontalnom osvetljenju, merenom preko meteorološke stanice instalirane na vrhu obližnje univerzitet-



Slika 8. Šema opitne sobe



Slika 9. Diskretizovani koraci položaja roletni

ske zgrade. Taj imitator dnevnog svetla je modeliran pri primeni simulacije svetlosti kao svetlosnog izvora sa promenljivim svetlosnim fluksom koji je dinamički određen kao funkcija preovlađujuće globalne spoljne horizontalne osvetljenosti.

Tabela 5. Diskretizovana stanja uređaja (koraci prigušivanja) za svetiljke 1 i 2 (sl. 8)

Stanje prigušenja	1	2	3	4	5	6
Izlazna snaga [%]	0	20	40	60	80	100

Proces regulacije je kako sledi. U vremenu t_1 , stvarno stanje virtuelnog modela je korišćeno za stvaranje mogućih opcija za stanje zgrade u budućem vremenu t_{i+1} . Te opcije obuhvataju šest različitih položaja roletne (v. sl. 9) i šest diskretnih prigušnih položaja za jednu i drugu svetiljku (v. tabelu 5). Zatim su opcije simulirane pomoću primene simulacije osvetljenja RADIANCE (Ward Larson and Shakespeare, 2003). Tako su vrednosti višestrukih indikatora karakteristika zgrade (npr. horizontalno osvetljenje na različitim mestima u prostoru, jednoobraznost raspodele osvetljenja, indikatori različitih blesaka, i upotreba električne energije za osvetljenje) izračunate za budući vremenski korak t_{i+1} .

U sadašnjem slučaju, opcije su upoređene sa gledišta odgovarajućih rezultujućih osvetljenja E radne stanice (aritmetička sredina nivoa osvetljenja izračunata za položaje E_2 do E_4 , prema sl. 8) i potreba za električnom energijom za veštačko osvetljenje. Pored toga, razmatrana je prioritarna vrednost koja se tiče procenjene potrebe za rashladnom energijom. Primenjena je sledeća pokazna funkcionalna alatka (jednačina 1):

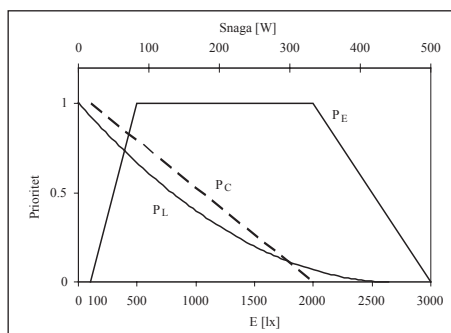
$$UF = w_E \cdot P_E + w_C \cdot P_C + w_L \cdot P_L \quad (1)$$

U ovoj jednačini, P_E , P_C i P_L predstavljaju osvetljenje, rashladno opterećenje i potrošnju električne energije. Odgovarajuća učešća su predstavljena sa w_E , w_C i w_L . U cilju sledećih ilustrativnih eksperimenata rada sistema, vrednosti ovih učešća su označene iznosima 0,4, 0,35 i 0,25. Ilustrativne prioritarnе funkcije su prikazane na sl. 10 ($P = 1$ pokazuje najveći, a $P = 0$ najmanji prioritet).

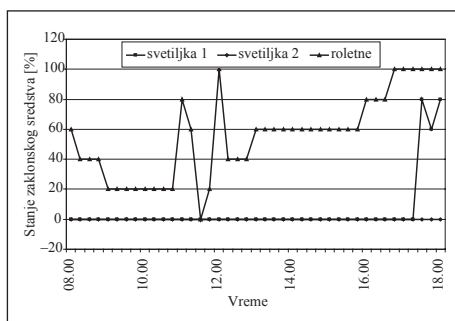
Da bi ilustrovale regulacionu funkcionalnost, sl. 11, 12 i 13 daju informacije o radu sistema i potvrđuju rezultate procene.

Sl. 11 prikazuje preporuke sistema (prigušujući položaj sve svetiljke i položaje roletni) u toku referentnog dana (radnih sati u kancelariji).

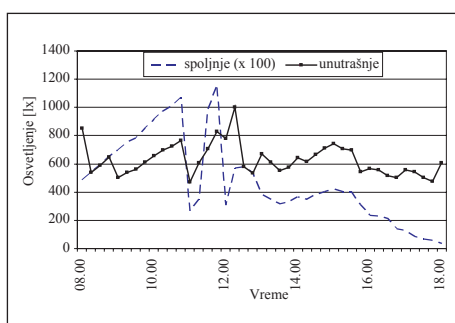
Sl. 12 prikazuje odgovarajuće vrednosti spoljnog globalnog osvetljenja i vrednosti relevantnog regulacionog parametra (tj. srednji nivo osvetljenja radne stanice, izveden kao aritmetička sredina osvetljenja u tačkama E_2 , E_3 , i E_4 , kako je prikazano na sl. 8).



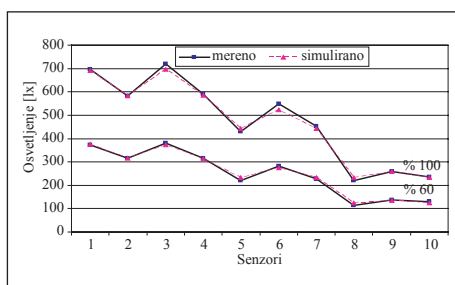
Slika 10. Ilustrativne prioritarnе funkcije za zadato osvetljenje (P_E), električnu snagu (P_L) i hlađenje (P_C), ovde kao funkcija zadatog osvetljenja



Slika 11. Preporuke (željena stanja osvetljenja i zaklonskih sredstava) sistema za osvetljenje uz pomoć simulacije i regulacije zaklona za referentan dan



Slika 12. Predviđene vrednosti relevantnog regulacionog parametra (nivo osvetljenja radne stanice) zajedno sa preovlađujućim spoljnim globalnim osvetljenjem



Slika 13. Upoređenje nivoa merene i simulirane osvetljenosti u 10 tačaka u opitnoj prostoriji (vidi sl. 8) zahvaljujući radu svetiljke 1 za nivo izlazne snage svetla od 60% i 100%

Ovi rezultati prikazuju pravilan rad predregulisanog osvetljenja i regulacije zaklonskog mehanizma. Međutim, učinak sistema zavisi od preciznosti predviđanja simulatora sistema. Kao što je već napomenuto, bilo je moguće potvrditi predviđanja simulatora osvetljenja ugrađenog u regulator sistema. Idući ka ovom cilju, uporedili smo simulirano osvetljenje i vrednosti osvetljenja sa odgovarajućim merenjima. Da bi dokumentovala ovo upoređenje, sl. 13 prikazuje upoređenje nivoa merene i simulirane horizontalne osvetljenosti na 10 mesta u opitnoj sobi (sl. 8), zahvaljujući radu svetiljke 1. Zbog toga su razmatrana dva prigisna stanja (100% i 60%). Kako sl. 13 prikazuje, postoji velika saglasnost između rezultata merenja i simulacija. To dokumentuje pouzdanost simulacionog jezgra prediktivno regulacione jedinice i, prema tome, vrednost preporučenih kontrolnih akcija.

Zaključna primedba

Korišćenjem različitih slučajeva nedavnih istraživačkih radova, razmatrali smo slučajeve primene simulacije karakteristika zgrade tokom procesa njenog nastajanja (projekat, modifikacija i održavanje, organi upravljanja sistema u zgradi). Očekuje se da će tekući i budući istraživački napori poboljšati i pouzdanost i iskoristljivost simulacionih alata.

Posebno, projekcija mogućih dugotrajnih promena u klimatskim uslovima kao i detaljnije informacije o simulacionim ulaznim vrednostima koje se tiču prisustva ljudi i njihovog ponašanja u zgradi, predstavljaju kritičko polje neophodnog istraživanja. Na kraju, održivi napori su neophodni za dalje popularisanje upotrebe simulacije karakteristika zgrade od strane svih profesionalaca koji su uključeni u proces nastajanja zgrade.

Zahvalnost

Autori žele da zahvale na doprinosu Christiana Korantenga, Sokola Dervishija i Essama Saida u pripremi podataka korišćenih u ovom radu.

Literatura

- [1] *** EDSL 2008. A-TAS Version 8.5. Environmental Design Solutions Limited. www.edsl.net.
- [2] **Koranteng, C., A. Mahdavi, K. Orehounig, C. Pröglhöf**, 2009, *Thermal Performance of office buildings in Ghana*. Proceedings of IBPSA 2009 (11th International Building Performance Simulation Association Conference and Exhibition. Glasgow, Scotland, 27–30 July 2009) L. B. McElroy, J. S. Turley (ed.).
- [3] **Mahdavi, A.**, 2008, *Predictive simulation-based lighting and shading systems control in buildings*, Building Simulation, an International Journal, Springer, Volume 1, Number 1, ISSN 1996-3599. pp. 25–35.
- [4] **Orehounig, K., A. Mahdavi**, 2009, *Thermal performance of traditional bath buildings*. Proceedings of 4th International Building Physics Conference, Istanbul, Turkey, 15–18 June 2009. N. Bayazit, G. Manioglu, G. K. Oral, Z. Yilmaz (ed.). ISBN: 9789755613505; 783–790.
- [5] **Said, A. E., A. Mahdavi, K. Orehounig, M. Radwan, E. Marghany**, 2009, *A simulation-based study of the thermal performance of office buildings in Cairo*. Proceedings of 4th International Building Physics Conference, Istanbul, Turkey, 15–18 June 2009. N. Bayazit, G. Manioglu, G. K. Oral, Z. Yilmaz (ed.). ISBN: 9789755613505; 783–790.
- [6] *** STRATO 2008, Philips STRATO luminaire. URL: www.lighting.phillips.com (last visited April 2008).
- [7] **Ward Larson, G. & R. Shakespeare**, 2003, *Rendering with Radiance*. The Art and Science of Lighting Visualization Revised Edition, Space and Davis, CA, USA.

kgH