

PRILAZ OPTIMIZACIJI ENERGETSKE EFIKASNOSTI KONTROLOM DNEVNOG OSVETLJENJA

*Rade Đukanović, Marija Todorović**

Ključne reči: *dnevno i veštačko osvetljenje, matematičko modeliranje, dinamičke simulacije, kontrola, optimizacija, potrošnja energije*

SAŽETAK:

U radu se analiziraju tehnologije i tehnike kontrole i optimizacije korišćenja dnevnog osvetljenja sa ciljem minimiziranja upotrebe veštačkog osvetljenja. Posebno se ispituje uticaj regulacije intenziteta veštačkog osvetljenja na smanjenje potrošnje električne energije u većim komercijalnim i administrativnim objektima u klimatskom području Jugoistočnog Jadrana.

1. - UVOD

Pre prilaza efikasnom korišćenju obnovljivih izvora energije neophodno je minimizirati potrebe energije određenog potrošača primenom različitih mera poboljšanja energetske efikasnosti. Među najvećim potrošačima električne energije u kancelarijskim prostorima u administrativnim i komercijalnim objektima je osvetljenje. Ti objekti ponekad troše električnu energiju za osvetljenje i u onom periodu dana kada je raspoloživost dnevne svetlosti najveća. Nedostatak svesti da se tako nepotrebno povećava potrošnja energije i ograničenje ljudskih sposobnosti da osete dovoljan intenzitet svetla razlog su da je individualna kontrola osvetljenosti prostora teško ostvarljiva, te veštačko osvetljenje ostaje uključeno mnogo duže nego što je to potrebno. U klimatskom području Jugoistočnog Jadrana, kao i svim područjima sa izraženim većim intenzitetom sunčevog zračenja u letnjem periodu godine, da bi se umanjio upad sunčevog zračenja u unutrašnji prostor objekta i time smanjilo njegovo spoljašnje toplotno opterećenje, koriste se venecijaneri i drugi zastori. Njihovom upotrebom se jednovremeno smanjuje i prodor dnevne svetlosti u prostoriju, što dalje može da dovede i do povećanog korišćenja veštačkog osvetljenja,

* Rade Đukanović, EnPlus, Milutina Marinkovića 35, 11000 Beograd.

Marija Todorović, Odeljenje za energetske efikasnost i obnovljive izvore energije, Laboratorija za termodinamiku i termotehniku, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Nemanjina 6, 11080, Beograd, e-mail: deresmt@EUnet.yu.

odnosno dalje posledično povećanje unutrašnjeg toplotnog opterećenja i veću potrošnju energije za klimatizacione sisteme. Ovo vodi zaključku da je potrebno ostvariti sklad, harmonizaciju kontrole upada sunčevog zračenja i dnevne svetlosti, tj. korišćenja prirodnog dnevnog svetla i veštačkog osvetljenja da bi se minimiziralo toplotno opterećenje kako od spoljnih tako i od unutrašnjih izvora a u isto vreme se obezbedio zadovoljavajući vidni komfor za rad i boravak ljudi u objektu. Tako, kontrola dnevnog osvetljenja postaje jedan od veoma važnih prilaza unapredjenju i optimizaciji energetske efikasnosti objekata u nizu efektivnih strategija koje vode očuvanju energije.

2. - OPTIMIZACIJA KONTROLE PUTEM SIMULACIJA

U razvoju su brojni modeli opisa dinamike promene upada, raspoloživosti i raspodele dnevne svetlosti, profila dnevnih, mesečnih i godišnjih potreba za veštačkim osvetljenjem, odnosno potreba i potrošnje električne energije za osvetljenje unutrašnjeg prostora određenog oblika.

U osnovi danas jednog od najviše primenjivanih programa za energetska simulacija objekata u DOE2.1E nalazi se model dinamičkih simulacija dnevnog osvetljenja kojim se u sprezi sa dinamičkom termičkom analizom, ispituje uticaj i mogući doprinos dnevnog osvetljenja energetske optimizaciji omotača objekta (*/1/, /2/, /3/, /7/*). Ovim modelom može se sprovesti analiza mogućnosti energetskih efekata kontrole dnevnog osvetljenja putem različitih strategija i tehnika, uzimajući u obzir raspoloživost dnevnog osvetljenja na datoj lokaciji, prolaz kroz omotač objekta, izbor vrste tehnike upravljanja senčenjem prozora (fiksni-stacionarnim ili nestacionarnim – linearno ili dinamički promenljivim položajem zastora), veličinu dobitaka toplote - toplotno opterećenje od sunčevog zračenja, kvalitet osvetljenosti unutrašnjeg prostora i veličinu neprijatnog blještanja. Prema ovom modelu “proračun dnevnog osvetljenja”, odnosno optimizacija “dnevnog osvetljenja” u okviru energetske optimizacije objekta ima dva dela:

1. Određivanje intenziteta dnevne svetlosti u unutrašnjem prostoru simulacijom promena osvetljenosti od sunca i neba za uslove “tipične meteorološke godine” (TMG-e).
2. Određivanje potreba za veštačkim osvetljenjem i mogućih smanjenja potrošnje električne energije kako za samo osvetljenje tako i integralno energije, obuhvatajući uticaj veštačkog osvetljenja na potrebu za hladjenjem, odnosno ukupnu potrošnju energije.

Određivanje intenziteta dnevne svetlosti u unutrašnjem prostoru simulacijom časovnih promena osvetljenosti od sunca/neba za TMG. Za svaki vremenski korak totalna osvetljenost referentne tačke u unutrašnjem prostoru od svih spoljnih prozora u zoni određena je izrazom:

$$I_{tot}(i_{SV}, i_S) = \sum_{i=1}^{Np} [d_{sun}(i_{SV}, i_S) E_{h,sun} + d_n(i_{SV}, i_S) E_{h,n}], \quad (1)$$

gde je: Np broj prozora; i_{SV} indeks referentne tačke; i_S faktor osenčenosti sa vrednostima $i_S = 1$ ako je osenčen, $i_S = 2$ ako je neosenčen prozor; d_{sun} i d_n su faktori dnevnog svetlosti od sunca i od neba respektivno; E_{hsun} i E_{hn} su spoljašnje horizontalne osvetljenosti od sunca i neba.

Potreba za veštačkim osvetljenjem i potrošnja električne energije. Relativan udeo intenziteta veštačkog osvetljenja, f_{VO} , koje je potrebno da nadomesti razliku između nivoa raspoložive osvetljenosti dnevnom svetlošću i zadatog nivoa osvetljenosti u referentnoj tački je određen izrazom:

$$f_{VO}(i_L) = \max \left[0, \frac{I_{set}(I_{SV}) - I_{tot}(i_{SV})}{I_{set}(i_{SV})} \right], \quad (2)$$

gde je I_{set} zadata vrednost jačine svetlosti, I_{tot} je jačina dnevne svetlosti u referentnoj tački, pri čemu se pretpostavlja da električno osvetljenje pri punoj snazi proizvodi jačinu svetlosti jednaku I_{set} u referentnoj tački.

Redukcija snage električnog osvetljenja. Koristeći vrednost f_p u svakoj referentnoj tački i deo f_z zone kontrolisane od pojedine referentne tačke, proračunavamo faktor smanjenja svetlosne snage zbog korišćenja dnevne svetlosti M_p za celu zonu.

$$M_p = \sum_{i_L=1}^2 f_p(i_{SV}) f_z(i_{SV}) + \left(1 - \sum_{i_L=1}^2 f_z(i_{SV}) \right), \quad (3)$$

gde $1 - \sum_{i_L=1}^2 f_z(i_{SV})$ - predstavlja deo zone nekontrolisan od referentnih tačaka. Za taj deo

električno osvetljenje se ne uzima u obzir i faktor snage je 1.

Za postignut kvalitet kontrole raspoloživosti dnevnog osvetljenja odabranom tehnologijom odnosno tehnikom dnevnog osvetljenja, po određivanju preostalih potreba za veštačkim osvetljenjem se zatim ispituju mogućnosti njegovog minimiziranja, izborom prikladnog načina odnosno sistema kontrole istog. U ovom radu se analiziraju dva načina kontrole veštačkog osvetljenja i njihov uticaj na smanjenje potrebe za električnim osvetljenjem korišćenjem dnevnog svetla.

Kontinualna kontrola veštačkog osvetljenja. Za kontinualno kontrolisani sistem pretpostavlja se da je f_p konstantno i jednako f_{pmin} za $f_{SV} < f_{SVmin}$ i da se f_p povećava linearno od f_{pmin} do 1 sa porastom f_{SV} od f_{SVmin} do 1.

$$f_p = \left\{ \begin{array}{l} f_{p,min} \quad \text{za } f_{SV} < f_{SV,min}; \\ \frac{f_{SV} + (1 - f_{SV})f_{p,min} - f_{SV,min}}{1 - f_{SV,min}} \quad \text{za } f_{SV} < f_{L,min} \leq 1 \end{array} \right\}. \quad (4)$$

Stepenasta kontrola. Za stepenastu kontrolu, f_p uzima diskretne vrednosti u zavisnosti od opsega f_{SV} i broja koraka N_{SV} .

$$f_p = \left\{ \begin{array}{l} 0 \quad \text{za } f_{SV} = 0; \\ \frac{\text{int}(N_{SV} f_{SV}) + 1}{N_{SV}} \quad \text{za } 0 < f_{SV} \leq 1; 1 \quad \text{za } f_{SV} = 1 \end{array} \right\}. \quad (5)$$

Ako se verovatnoća upotrebe ovog vida kontrole osvetljenja, p_{SV} , odredi, f_p se postavlja na jedan nivo više kao deo vremena jednak $1 - p_{SV}$. Odredjeno, ako $f_p < 1$, $f_p - f_p + 1/N_{SV}$ ako je proizvoljni broj između 0 i 1 prevazilazi p_{SV} . Ovo može da se koristi za simulaciju nepredvidivosti vezanu za manuelno gašenje svetla.

Najzad, na osnovu mogućih efekata smanjenja potreba energije za veštačko osvetljenje, definisanih faktorom redukcije potrošnje električne energije, vrši se dalje

određivanje termičkog opterećenja i potreba za hladjenjem (u letnjem režimu rada) ili smanjenja opterećenja za grejanje (u zinskom režimu rada).

3. - SMANJENJE POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE REGULACIJOM INTENZITETA VEŠTAČKOG OSVETLJENJA

Ispitivanje mogućnosti smanjenja potrošnje električne energije za osvetljenje kontrolom intenziteta veštačkog osvetljenja u zavisnosti od raspoloživosti unutrašnjeg dnevnog osvetljenja sprovedeno je dinamičkim simulacijama "dnevnog osvetljenja" za jedan poslovni centar u uslovima tipične meteorološke godine za referentno područje Crnogorskog primorja. Posmatrani objekat ima korisnu površinu od 2895 m². Omotač objekta karakteriše odnos površine stakla i ukupne površine zidova omotača od 19% (za zidove svih orijentacija). Merodavne osobine stakla prozora su: propustljivost vidljive svetlosti je $VT=0.88$ (odnos propustene svetlosti i upadne svetlosti na ravan stakla).

Prilikom dinamičkih simulacija ispitivanog scenarija uzima se u obzir da se zastori na prozorima spuštaju kad nivo odbleska svetlosti u radnom prostoru predje propisani nivo definisan za kancelarijski prostor indeksom 20, odnosno kada intenzitet normalnog sunčevog zračenja predje 100 W/m². Modeliranjem, dinamičkim simulacijama ispitani su sledeći načini i režimi kontrole dnevnog osvetljenja:

- a. Radni prostor osvetljava se plafonskim osvetljenjem intenziteta 500 Lux-a i osvetljenje radi tokom celog perioda radnog vremena.
- b. Vršiti se regulacija isključivanja i uključivanja veštačkog osvetljenja, istog intenziteta kao u osnovnom slučaju sa promenom intenziteta dnevnog svetla.
- c. Kontrola kontinualnom regulacijom intenziteta veštačkog osvetljenja sa promenom intenziteta dnevnog svetla.
- d. Radni prostor osvetljava sa plafonskim osvetljenjem intenziteta 300 Lux-a, čije se uključivanje i isključivanje definiše intenzitetom dnevnog svetla, a na radnim mestima zaposleni stonim svetiljkama dopunjuju i regulišu potreban intenzitet osvetljenja.

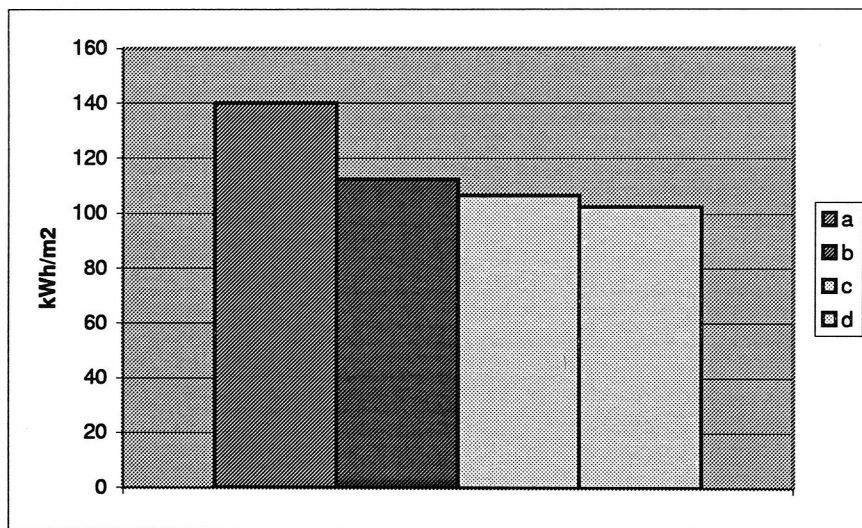
Rezultati simulacija su dati dijagramima na Slici 1, na kojima se vidi da je ušteda na godišnjem nivou značajna čak pri primeni jednostavnijih sistema centralne regulacije osvetljenja isključivanjem i uključivanjem.

Primena kontinualne regulacije intenziteta dnevnog osvetljenja zahteva veće investicione troškove (približno dvostruko veće) od troškova diskontinualne regulacije, ali pored smanjenja potrošnje električne energije omogućava veću vidnu udobnost zaposlenih. U četvrtom slučaju smanjenjem intenziteta osnovnog plafonskog osvetljenja i postavljanjem lokalnog osvetljenja na radnom mestu, postižu se niži investicioni troškovi nego u prvom slučaju.

4. - ZAKLJUČAK

Zbog malog efekta koji energija potrebna za grejanje ima na ukupnu potrošnju energije u toku godine, poslovni objekti sa staklenim površinama koje omogućavaju dovoljan prodor dnevne svetlosti u radne prostorije, sa kontrolisanim zastorima koji sprečavaju neželjeni uticaj direktnog prodora sunčevih zraka u letnjem režimu mogu da

obezbude dovoljnu količinu dnevne svetlosti za radne potrebe tokom većeg dela godine u klimatskim uslovima južnomediteranske klime. Automatskom regulacijom rada veštačkog osvetljenja moguće je ostvariti značajne uštede u potrošnji električne energije, kao i uštede u novcu s obzirom na sadašnji nivo cena električne energije.



Slika 1. - Zavisnost ukupne godišnje potrošnje električne energije od promene intenziteta veštačkog osvetljenja

5. - ZAHVALNOST

Na rukovodjenju ovim radom zahvaljujem naučnom savetniku EnPlus-a, profesoru dr Mariji Todorović, Odeljenje za energetska efikasnost i obnovljive izvore energije, Laboratorija za termodinamiku i termotehniku Poljoprivrednog fakulteta, Univerzitet u Beogradu, Nemanjina 6, 11080 Beograd, e-mail: deresmt@EUnet.yu.

LITERATURA

- [1] Energy and Environment Division Lawrence and Berkeley Laboratory University of California, *DOE2.1E Supplement, Daylighting Calculations*, pp. 2.37-2.38, November, 1993.
- [2] F.C. Winkelmann: "Daylighting Calculation in DOE-2", *Lawrence Berkeley Laboratory report no. LBL-11353*, January, 1983.
- [3] F.C. Winkelmann, S. Selkowitz: "Daylighting simulation in DOE-2 Building simulation program", *Energy and Buildings, LBL-18508*, October, 1984.
- [4] P.D. Rančić, D.G. Zulkić "Raspoloživost dnevnog svetla pri karakterizaciji dnevnog osvetljenja", *Osvetljenje 2000*, Soko Banja, 2000.
- [5] P.D. Rančić, *Prilozi svetlotehničkim karakterizacijama*, Jun, 1997.

- [6] J.A. Lynes: "Principles of Natural Lighting", *Applied Science Publishers, Ltd.*, London, 1968, pp. 129.
- [7] EnergyPlus Engineering Document, *The Reference to EnergyPlus Calculations*, LBL, April, 2001.

APPROACHING THE OPTIMIZATION OF ENERGY EFFICIENCY BY DAYLIGHTING

ABSTRACT:

In this paper analysis has been performed of technologies and technics for daylighting control and optimization aimed to the artificial lighting usage minimisation. Particularly, the influence of artificial lighting intensity control on electrical energy consumption decrease in large administrative and comercial buildings in the area of Southern'East Adriatic has been studied.