

# УТИЦАЈ КОЕФИЦИЈЕНТА ЕМИСИЈЕ СПОЉНЕ ПОВРШИНЕ ОМОТАЧА ЗГРАДЕ НА ПОТРОШЊУ ЕНЕРГИЈЕ ПОТРЕБНУ ЗА ЊЕНУ КЛИМАТИЗАЦИЈУ

## THE INFLUENCE OF EMISSION COEFFICIENT OF THE BUILDING ENVELOPE EXTERNAL SURFACE ON THE CONSUMPTION OF ENERGY REQUIRED FOR AIR-CONDITIONING

*Др Небојша Лукић, дипл. инж., и Биљана Селаковић, дипл. инж.,  
Машински факултет, Крагујевац*

---

*У раду су приказани резултати симулације термичког понашања зграде, добијени коришћењем оригиналног динамичког модела зграде – софтвера, развијеног на Машинском факултету у Крагујевцу. У раду су конкретно варирани различити коефицијенти емисије спољашњих површина зграде, различитих термичких карактеристика њеног омотача. Посматран је утицај ових промена на потрошњу топлотне енергије климатизације зграде у прелазном климатском периоду (пролеће).*

---

*The paper deals with the simulation results of the thermal behaviour of the building, obtained by the application of the original dynamic building model – the software developed at the Faculty of Mechanical Engineering of Kragujevac. Different emission coefficients of the external building surfaces having different characteristics of its envelope are given as variations in the paper. The influence of such changes has been observed in respect to the thermal energy consumption for the building air-conditioning in a transitional season (e.g. spring).*

---

**Кључне речи:** зграда; омотач; динамички модел; коефицијент емисије; потрошња енергије

**Key words:** building; envelope; dynamic model; spectral emissivity; energy consumption

### 1. Увод

Потрошња енергије потребне за климатизацију зграде зависи од низа фактора, као што су: термичке карактеристике омотача зграде, спољашња температура, сунчево зрачење, брзина ветра [2, 3, 7]. При прорачуну ове потрошње енергије динамичким моделима зграда узимају се у обзир и прелазни

режими провођења топлоте у згради и тиме даје приказ потрошње енергије из часа у час. Анализа зграда добијена коришћењем динамичких модела показује да у условима прелазних режима размене топлоте у згради (промене у односу на зграду, спољних и/или унутрашњих температура, зрачења, струјања ваздуха), омотач зграде може бити узрок увећане или смањене енергије климатизације у посматраном временском интервалу.

Што се тиче актуелности динамичких модела зграда, према Интернационалној агенцији за енергију (International Energy Agency – IEA) [12], само у 1995. години регистровано је 215 алата и софтвера за прорачун енергетских захтева зграда. Ови модели могу користити једно или вишепараметарске методе [6, 10, 11]. У литератури [1], динамички модели зграда се деле на моделе на бази нумеричких [2], хармонијских или метода термичког одзива зграде [7, 9]. Методе које користе мерене или симулиране податке за предвиђање потрошње енергије су неуронске мреже [14, 16], фази–логику [16], линеарне регресије [14, 15]. Разматрани модели зграда могу бити једно или вишезонални, зграде могу бити термички тешке или лаке, могу бити типске, као што су стамбене, пословне, индустријске. Модели зграда могу бити комбиновани са анализом и прорачуном система за климатизацију (HVAC) [4, 5], или са прорачуном протока ваздуха у згради [8].

У овом раду, на оригиналном динамичком моделу зграде, развијеном у Лабораторији за термодинамику и термотехнику ми симулирамо потрошњу енергије у згради (потребну за њену климатизацију), при различитим спољашњим условима, материјалима омотача зграде и, пре свега, различитим коефицијентима емисије спољашњих површина омотача зграде. Јасно, циљ је спознаја да ли је могуће штедети енергију за климатизацију зграде мењајући коефицијент емисије спољашње површине њеног омотача.

## 2. Динамички модел зграде

У виду софтвера реализовани модел зграде је базиран на нумеричкој методи (експлицитни једнодимензијски нумерички модел). То је једнозонални модел (једна зграда, једна просторија) зграде променљивих димензија, са равним или нагнутим кровом на једну или две воде. Спољашњи утицаји на зграду су узети преко дневне промене спољашње температуре у виду синусоиде, сунчевог зрачења чији интензитет на посматраној површини зависи од географског положаја и надморске висине зграде, облачности, локалног времена, оријентације, нагиба и коефицијента емисије сваке од површина (зидови и кров), удела прозорских површина у површини сваког дела омотача зграде, услова исијавања са површине. Конвекција са спољне стране омотача зграде узета је преко константног коефицијента прелаза топлоте. Размена топлоте зграде са земљом узета је преко константне температуре слоја земље испод пода зграде. Унутрашњи утицаји на зграду узети су преко климатизера (грејање и хлађење ваздуха у згради без регулације његове влажности) променљиве или константне топлотне снаге, преко инфилтрације спољашњег ваздуха, преко топлотног капацитета опреме у згради и константног коефицијента прелаза топлоте. Сам омотач зграде састављен је од више слојева различитих дебљина и физичких карактеристика (густина, топлотни капацитет и проводљивост).

Овај динамички модел зграде као резултат симулације даје низ података, као што су дневна промена температуре у просторији, дневна промена интензитета зрачења на свакој од површина зграде (кров, јужни, западни, сев-

ерни и источни зид), промене потребне енергије климатизације, као и укупна дневна потрошња енергије климатизације.

Описани модел је верификован добрим слагањем симулираних података са онима добијеним мерењима на реалном моделу зграде описаним у [13].

Због ограниченог простора за представљање овог рада, модел је дат описно. Паралелно са израдом овог рада очекује се потврда овог модела и објављивањем у врхунском светском научном часопису.

### 3. Симулација термичког понашања зграде

У овом поглављу ће бити представљен један мали део обимних теоријских истраживања енергетског понашања зграде, спроведених за три различита материјала омотача зграде (бетон, опека и дрво) и три карактеристична периода (летњи, зимски и прелазни).

#### 3.1. Полазни подаци модела

Подаци коришћени као карактеристике овог динамичког модела зграде, наведени су у тексту који следи.

Подаци везани за омотач зграде: димензије зграде су дужина 5 m, ширина 5 m и висина 2,5 m; једнослојни бетонски омотач зграде дебљине 15 cm, 25 cm или 30 cm, топлотне проводљивости 1,28 W/kgK, густине 2000 kg/m<sup>3</sup> и топлотног капацитета 840 J/kgK. Коефицијент емисије спољних површина омотача зграде је од 0,1 до 0,9. Сви зидови, кров и под зграде су исте дебљине. Удео стаклених површина у укупној површини јужног и северног зида зграде је 15%, док је за остале зидове, кров и под зграде овај удео једнак 0%.

Подаци везани за сунчево зрачење: географска ширина положаја зграде 44°, географска дужина положаја зграде 21°, надморска висина положаја зграде 200 m, датум 22. април, оријентација северног зида 0° (угао између смера севера и нормале зида), нагиб крова зграде 0°, удео јасних сунчаних сати у дану 100% (атмосфера без облака).

Остали подаци везани за спољашње услове: коефицијент прелаза топлоте на спољној површини омотача зграде 15 W/m<sup>2</sup>K, константна температура земљишта испод пода зграде 8°C, нема исијавања са спољне површине омотача зграде у околину. Промена спољне температуре је у облику синусоиде средње вредности 15°C и амплитуде 10°C. Максимална спољна температура ваздуха се достиже у 13 h (25°C), а минимална у 01 h (5°C).

Подаци везани за унутрашње услове: коефицијент прелаза топлоте на унутрашњим зидовима 10 W/m<sup>2</sup>K, константно проветравање просторије зграде 0,5 измена/h, константна температура климатизације 20°C, период климатизације од 8 h до 20 h. Израчунава се потребна топлотна енергија климатизације, без обзира на ефикасност процеса климатизације који се у овом раду не разматра.

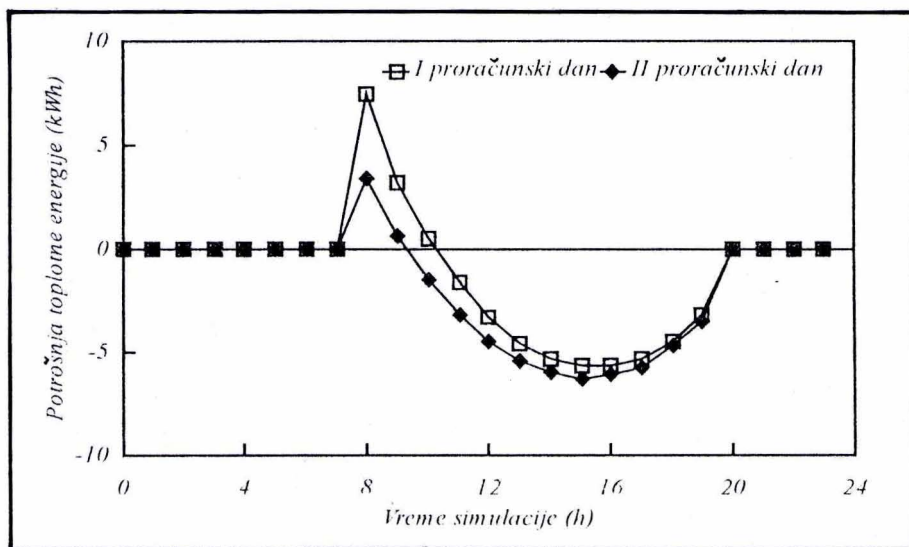
Почетно време симулације је 0 h. Везано за почетно време симулације, треба истаћи да је ова величина битна, нарочито првог прорачунског дана. У дато време почиње и завршава се двадесетчетворочасовни период симулације посматраног прорачунског дана. Први прорачунски дан у првом прорачунском интервалу подразумева једнакост температура свих прорачунских слојева омотача зграде, као и унутрашње и спољне температуре. Дата заједничка температура се узима као спољна температура у почетном времену симулације. Други прорачунски дан почиње након првог. За почетак симулације

другог прорачунског дана узимају се (најчешће међусобно различите) температуре добијене у последњем прорачунском интервалу претходног (првог) прорачунског дана. Појмови, прорачунски интервал и прорачунски слој (једнодимензијски модел зграде) добро су познати у техникама нумеричког решавања проблема. Аналогија односа за  $n-1$  и  $n$ -ти прорачунски дан је иста као и описана за први и други. За све прорачунске дане важе исти гранични услови (зрачење, промена спољне температуре, унутрашњи услови). Дакле, на почетку  $n$ -тог прорачунског дана омотач зграде је акумулирао енергију на коју су утицале промене у претходном ( $n-1$ ) прорачунском дану.

За сва добијена и усвојена нумеричка решења једнодневне симулације био је задовољен услов да је разлика доведене и одведене топлоте омотачу и унутрашњости зграде једнака акумулираној енергији у њима (Први закон термодинамике).

### 3.2. Резултати симулације

На слици 3.1 је приказана часовна потрошња енергије за 15 cm дебело бетонски омотач зграде са коефицијентом емисије спољашњих површина 0,9 у прелазном периоду (22. април). Сви коришћени подаци ове симулације су наведени у претходном одељку.



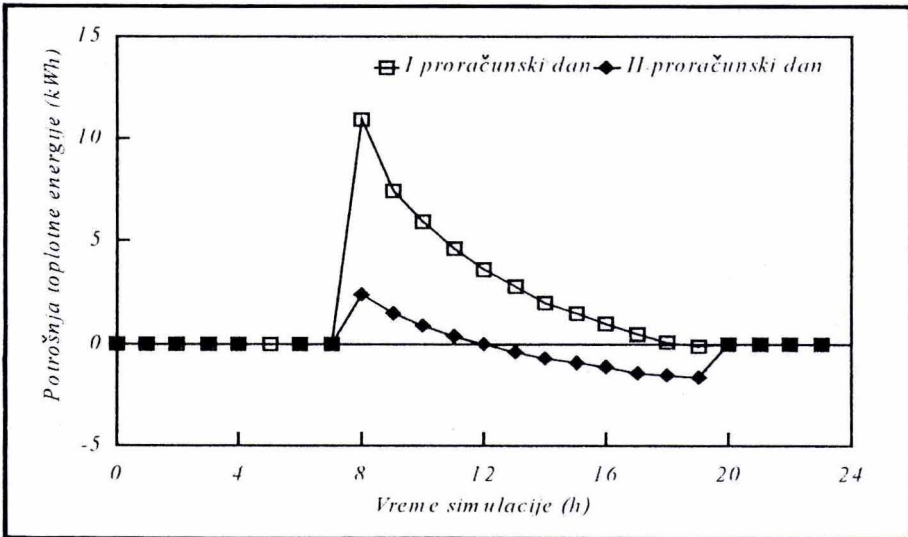
Слика 3.1. Часовна потрошња енергије климатизације зграде 15 cm дебелог бетонског омотача, коефицијента емисије спољашњих површина 0,9 за први и други прорачунски дан прелазног периода

Карактеристика прелазних периода (пролеће и јесен) за већину зграда у току једног дана, значи потребе и за хлађењем и за грејањем. За термички лаке омотаче зграда, малих топлотних капацитета и релативно високих топлотних проводљивости (какав је омотач приказан на слици 3.1), види се да иако је у јутарњим часовима омотач хладан (нарочито првог прорачунског дана) током процеса климатизације потребе за хлађењем просторије врло брзо постају искључиве. Приказани омотач има високи коефицијент емисије, другим

речима, максимално апсорбује топлотно сунчево зрачење. Високе вредности потрошње топлотне енергије у првом сату климатизације просторије објашњавају се усвојеним начином рада климатизера који у сваком тренутку прилагођава своју топлотну снагу према потребама просторије, а све у настојању да се одржи задата температура. Јасно да је у првом часу климатизације, када су (у овом случају) зидови најхладнији, потребан значајан утрошак енергије климатизера, како би се одмах достигла жељена температура. Занимљиво је да код омотача зграда малих топлотних капацитета (слика 3.1) нема велике разлике у кривама потрошње енергије први–други прорачунски дан. Ради се о малим акумулираним количинама енергије у зидовима зграде њиховом малом утицају на климатизацију следећег дана. У зградама са оваквим омотачима, врло брзо се успоставља идентичност кривих потрошње енергије у наредним прорачунским данима.

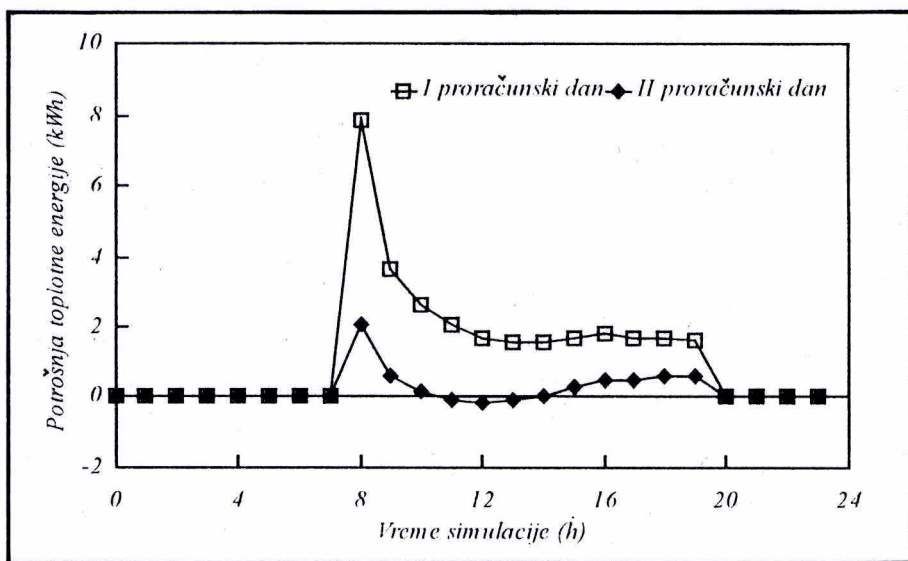
Другим речима, успоставља се неко квазистационарно стање у потрошњи енергије за климатизацију, наравно уколико се гранични услови не мењају.

На слици 3.2 је приказана иста зависност као и на слици 3.1, али за бетонски зид дебљине 30 cm. Остали услови симулације су исти.



Слика 3.2. Часовна потрошња енергије за климатизацију зграде 30 cm дебелој бетонској омотача, коефицијента емисије спољашњих површина 0,9 за први и други прорачунски дан прелазног периода

Првог прорачунског дана због “хладног” бетонског зида великог топлотног капацитета (термички тежак омотач) скоро целог периода климатизације потребно је грејати просторију. Током првог прорачунског дана овај омотач зграде акумулира енергију у својим слојевима, тако да се други прорачунски дан знатно разликује по потрошњи енергије и потреби за климатизацијом (већим делом дана потребно је хлађење просторије). Што се тиче потрошње топлотне енергије у згради другог прорачунског дана при датим условима, бетонски зид од 30 cm је знатно повољнији него исти зид дебљине 15 cm.



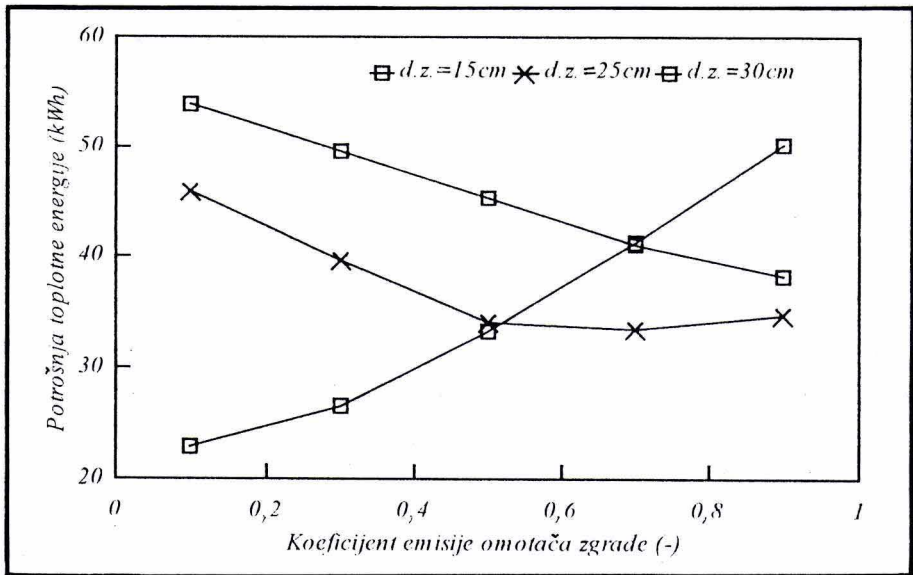
Слика 3.3. Часовна потрошња енергије за климатизацију зграде 25 cm дебело꜑ дрвено꜑ омотача, коефицијента емисије спољашњих површина 0,9 за први и други прорачунски дан ирелазно꜑ периода

На слици 3.3 иста зависност при истим условима симулације као и на две претходне слике односи се на зграду са дрвеним зидовима дебљине 25 cm.

Видимо да се ради о термички тешком омотачу зграде (велики топлотни капацитет дрвета и мала топлотна проводљивост). Постоји велика разлика у кривама потрошње топлотне енергије првог и другог прорачунског дана. Првог прорачунског дана изузев почетног пика потрошње енергије (већ објашњеног) постоје захтеви за грејањем просторије климатизером скоро константне топлотне снаге. Другог прорачунског дана, климатизација зграде скоро да није ни потребна. У сваком случају, повећањем редног броја прорачунског дана, потребе за хлађењем просторије расту до неког константног износа када више нема промене укупне дневне потрошње енергије у згради, наравно уколико нема промене спољних услова. За термички лаке омотаче зграде промене у потрошњи енергије климатизације зграде су минималне већ другог прорачунског дана (слика 3.1).

На слици 3.4 је приказана укупна дневна потрошња топлотне енергије за климатизацију, за први прорачунски дан, у зависности од примењеног коефицијента емисије спољних површина омотача зграде, а за три дебљине бетонских зидова исте.

Када се каже укупна дневна потрошња енергије за климатизацију, подразумева се збир часовних потрошњи по апсолутним вредностима (и енергија грејања и хлађења се узима са позитивним знаком) током једнодневног периода симулације. За термички лаке омотаче зграде (дебљина бетонског зида д.з. = 15 cm), минимум потрошње енергије климатизације могуће је остварити коришћењем малих вредности коефицијента емисије спољних површина омотача зграде. Први прорачунски дан у реалном окружењу може се представити као први дан климатизације просторије након



Слика 3.4. Укупна потрошња енергије за климатизацију зграде бетонског омотача, у зависности од коефицијента емисије његових спољашњих површина за први прорачунски дан прелазног периода

дужег периода њеног некористишења. Када су велики коефицијенти емисије омотача зграде, у погледу потрошње топлотне енергије климатизера, повољнији су термички тешки омотачи зграде. Ради се о првом прорачунском дану симулираног прелазног климатског периода.

Занимљиве су криве приказане на слици 3.5. Наиме, ради се о истим зависностима као и на претходној слици, али за други прорачунски дан (други дан климатизације просторије након дужег периода њеног некористишења).

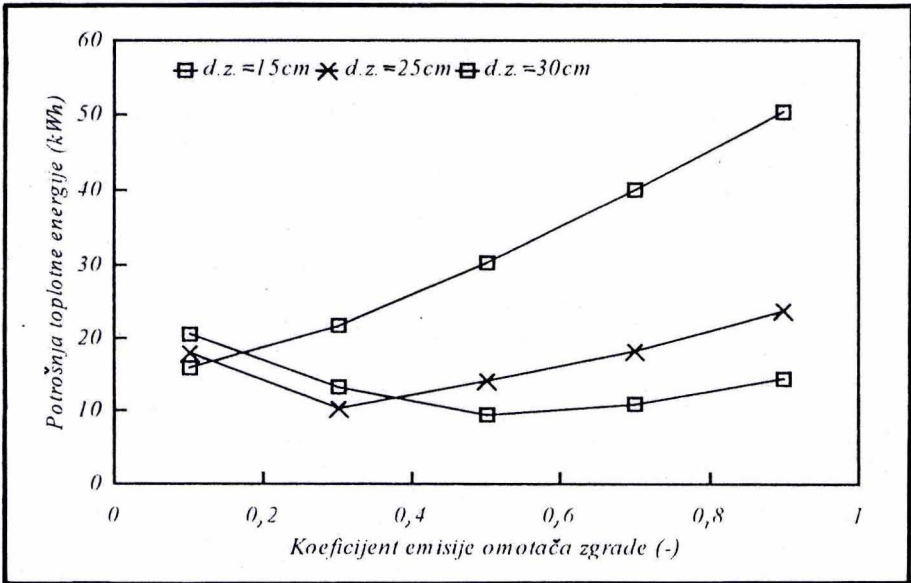
За термички лак бетонски омотач може се рећи да важи исто правило као и на слици 3.4, дакле, при најмањим вредностима коефицијента емисије потрошња топлотне енергије климатизације је минимална. Са повећањем коефицијента емисије расте и потрошња енергије.

За термички тешке омотаче зграде јавља се приметни минимум потрошње енергије за климатизацију за вредности коефицијента емисије који немају екстремне вредности (минималне или максималне).

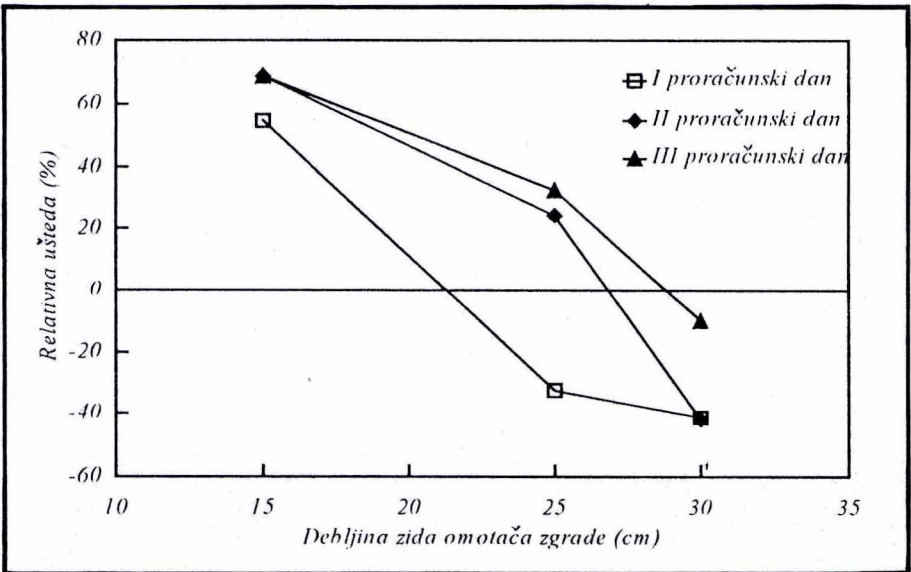
На слици 3.6 је приказана релативна уштеда укупне дневне потрошње енергије за климатизацију у зависности од тога да ли је на спољашњим површинама омотача зграде примењен коефицијент емисије 0,1 или 0,9. Ова релативна уштеда  $R_Q$  (%) је рачуната према формули:

$$R_Q = 100 (Q_{0,9} - Q_{0,1}) / Q_{0,9} \quad (3.1)$$

где је:  $Q_{0,9}$  укупна потрошња топлотне енергије за климатизацију када је коефицијент емисије спољне површине омотача зграде једнак 0,9;  $Q_{0,1}$  је укупна потрошња топлотне енергије за климатизацију када је коефицијент емисије спољне површине омотача зграде једнак 0,1.



Слика 3.5. Укупна потрошња енергије за климатизацију зграде са бејонским омотачем, у зависности од коефицијента емисије његових спољашњих површина за први прорачунски дан прелазног периода



Слика 3.6. Релативна уштеда енергије за климатизацију зграде са бејонским омотачем, различитих дебљина, прва три прорачунска дана прелазног периода



Уштеда се рачунала као што би се то радило у летњем периоду (мањи коефицијент емисије омотача узрокује мање потребе за хлађењем просторије), другим речима потребе за хлађењем зграде су сматране приоритетним и у прелазном периоду. На слици 3.6 приказане су три криве за  $R_Q$  и то за три различите дебљине бетонског омотача зграде. Као што се види на слици 3.1, за термички лаке омотаче зграде у прелазном периоду (са конкретном усвојеним граничним условима), истакнуте су потребе за хлађењем зграде, па са оваквим омотачима могуће је остварити уштеду енергије за климатизацију смањењем коефицијента емисије спољних површина омотача зграде. Ово важи за било који прорачунски дан. За термички тежи омотач зграде (д.з. = 25 cm), првог прорачунског дана просторији је потребно пре свега грејање, тако да смањењем коефицијента емисије спољашњих површина омотача зграде имамо губитке климатизационе енергије. Другог и наредних прорачунских дана за овај омотач зграде остварују се уштеде енергије смањењем коефицијента емисије омотача. За термички тешке омотаче зграда (д.з. = 30 cm) губимо енергију за климатизацију уколико смањујемо коефицијент емисије омотача зграде, конкретно за прва три прорачунска дана.

Може се закључити да ће се одређеног прорачунског дана при одређеној дебљини омотача зграде трошити иста количина енергије за климатизацију, без обзира да ли је коефицијент емисије тог омотача 0,1 или 0,9 ( $R_Q = 0\%$ ).

#### 4. Закључак

Како се спољни климатски услови, на већини географских ширина током године значајно мењају, не може се доћи до закључка да је омотач зграде непроменљивих термичких карактеристика идеалан за рационалну потрошњу енергије за климатизацију. Такав омотач у појединим временским периодима и климатским условима може дати најбоље резултате, што се потрошње енергије за климатизацију тиче, али то неће више важити за неке друге промењене климатске услове.

Идеја променљивих термичких карактеристика омотача зграде није нова (истраживања у Јапану). Она се на конкретним конструкцијама омотача зграде усавршава и поједитије.

Са једне стране имамо тврдњу да је за променљиве климатске услове идеални термички омотач зграде, омотач са променљивим карактеристикама, па и променљивим коефицијентом емисије његових површина (спољних и унутрашњих). Са друге стране, потребно је познавати термичко понашање омотача зграде, нарочито у променљивим условима преноса топлоте. Ову спознају нам могу дати развијени и верификовани динамички модели зграда.

#### 5. Литература

- [1] **Haghighat, F., and H. Liang:** ASHRAE Trans. 98, Pt 1, 284 (1992).
- [2] **Price, B. A., and T. F. Smith:** *Thermal Response of Composite Building Envelopes Accounting for Thermal Radiation*, Energy Convers. Mgmt Vol. 36, No. 1, 1995, pp. 23–33.
- [3] **Cammarata, G., A. Fichera and L. Marletta:** *Sensitivity Analysis for Room Thermal Response*, Int. Journal of Energy Research, Vol. 17, 1993, pp. 709–718.
- [4] **Athientitis, A. K.:** *A Methodology for Integrated Building HVAC System Thermal Analysis*, Building and Environment, Vol. 28, No. 4, 1993, pp. 483–496.

- [5] **Reddy, T. A., J. K. Kissock, S. Katipamula, D. E. Claridge:** *An Energy Delivery Efficiency Index to Evaluate Simultaneous Heating and Cooling Effects in Large Commercial Buildings*, ASME Journal of Solar Energy Engineering, 1993.
- [6] **Chow, W. K., and K. T. Chan:** *Parameterization Study of the Overall Thermal-Transfer Value Equation for Buildings*, Applied Energy, No. 50, 1995, pp. 247–268.
- [7] **Mathews, E. H., P. G. Richards, C. Lombard:** *A first-order thermal model for building design*, Energy and Buildings, No. 21, 1994, pp. 133–145.
- [8] **Toumaala, P., J. Rahola:** *Combined Air Flow and Thermal Simulation of Buildings*, Building and Environment, Vol. 30, No. 2, 1995, pp. 255–265.
- [9] **Richards, P. G., E. H. Mathews:** *A Thermal Design Tool for Buildings in Ground Contact*, Building and Environment, Vol. 29, No. 1, 1994, pp. 73–82.
- [10] **Chou, S. K., and W. L. Chang:** *Effects of multi-parameter changes on energy use of large buildings*, International Journal of Energy Research, Vol. 17, 1993, pp. 885–903.
- [11] **Chou, S. K., and W. L. Chang:** *Development of an energy-estimating equation for large commercial buildings*, International Journal of Energy Research, Vol. 17, 1993, pp. 759–773.
- [12] **Judkoff, R. D., J. S. Neymark:** *A Procedure for Testing the Ability of Whole Building Energy Simulation Programs to Thermally Model the Building Fabric*, Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 117, 1995, pp. 7–15.
- [13] **Бојан, М. Љ., М. Миловановић, D. L. Loveday:** *Thermal behaviour of a building with a slanted roof*, Energy and Buildings, No. 26, 1997, pp. 145–151.
- [14] **Kreider, J. F., J. S. Haberl:** *Predicting hourly building energy use: the great energy predictor shootout-overview and discussion of results*, OR-94-17-7.
- [15] **Reddy, T. A., and D. E. Claridge:** *Using synthetic data to evaluate multiple regression and principal component analyses for statistical modeling of daily building energy consumption*, Energy and Buildings, No. 21, 1994, pp. 35–44.
- [16] **Kajl, S., P. Malinowski, E. Czogala, M. Balazinski:** *Fuzzy logic and neural networks approach to thermal description of buildings*, EUFIT '95, Aachen, Germany, August 1995.