

Маја Н. Тодоровић*, Тамара Бајић

Машински факултет, Универзитет у Београду, Београд, Србија

Утицај режима коришћења зграде на укупну потрошњу енергије

Стручни рад

У раду се разматрају енергетске карактеристике једног стамбено-пословног објекта, укупне корисне површине 1300 m², који се налази у Београду. Пројектован је једноцевни систем водоводно-радијаторског грејања, са разделницима и сабирницима на који су прикључени струјни кругови за сваки стан, односно за локале посебно. За систем хлађења предвиђени су локални уређаји за сваки стан/локал посебно. Урађен је прорачун губитака топлоте према DIN 4701, као и прорачун добијања топлоте према ASHRAE transfer function method који обухвата анализу часовног оптерећења за сваки дан, за климатске услове Београда. Такође је израчунао годишња потрошња енергије зграде која, поред оптерећења за грејање, хлађење и вентилацијом, обухвата и потрошњу топле санитарне воде. Посматран је утицај различитих режима коришћења зграде на укупну годишњу потрошњу енергије. Вариране су параметрије унутар просјорија за зимски и летњи режим. Формирани су различити профили рада система хлађења у функцији од присуства корисника, инсталационог осветљења и електричних уређаја. Такође је разматран утицај унутрашњег засенчења на добијање топлоте од сунчевог зрачења у летњем периоду, односно на годишњу потрошњу енергије зграде. Анализирана је уштеда енергије која се може постићи применом одговарајућих режима коришћења зграде. Доминантан утицај на режим коришћења зграде и рационално коришћење енергије имају корисници зграде.

Кључне речи: енергетске карактеристике зграде, режими коришћења зграде, годишња потрошња енергије, уштеда енергије

Увод

Имајући у виду значајан пораст потрошње енергије у развијеним земљама и то да се од тога 20–40% троши у зградама [1], веома је значајно проучити како је могуће смањити потрошњу енергије у зградама, притом не умањујући услове удобности у зградама. Конвенционалне мере за побољшање енергетске ефикасности (добра термичка изолација, прозори са нискоемисионим стаклом, надстрешнице и аутоматска

* Одговорни аутор; електронска адреса: mtodorovic@mas.bg.ac.rs

регулација) могу смањити потрошњу енергије од 20–40% у новим зградама, у зависности од типа зграде и локације [2].

У раду је приказан утицај понашања корисника на режиме коришћења зграде и на укупну потрошњу енергије. Урађено је више симулација за различите режиме коришћења у летњим и зимским условима. За симулације у летњим условима је коришћен *ASHRAE transfer function* метод.

Опис зграде

Зграда која је симуларана се налази у центру Београда, укупне корисне површине 1300 m². Зграда је пројектована са добром термичком изолацијом (0,37 W/m²K за спољашње зидове), са прозорима просечног квалитета (1,8 W/m²K, $a = 0,4 \text{ m}^3/\text{mhPa}^{2/3}$). Зграда има подрум са гаражом, приземље и пет спратова, са укупно шеснаест станова, од којих су два луксузни пентхауси и два пословна простора у приземљу. У подруму се налази топлотна подстанница, преко које је зграда повезана на даљински систем грејања.

Резултати симулације

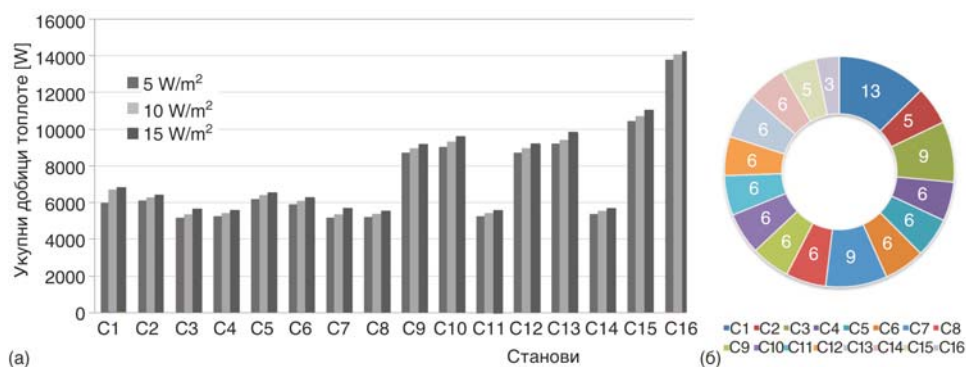
Почетне претпоставке и усвојене вредности

Симулација је спроведена за летњи режим. Направљено је више профила за инсталисано осветљење, електричне уређаје, унутрашње засенчење и унутрашње задате температуре. Израчунати су добици топлоте за целу зграду, у функцији различитих профила („профил 1”). Вариране су три вредности инсталисане снаге осветљења у становима: 5 W/m², 10 W/m² и 15 W/m², узимајући у обзир могућност замене постојећих, конвенционалних сијалица, штедљивим. За пословни простор је усвојено да се инсталисана снага осветљења не мења и износи 25 W/m². За инсталисану снагу осветљења 15 W/m², направљено је четири порофила, која су међусобно поређена: први је „профил 1”, који узима у обзир и присуство људи и природно, дневно светло, а остали профили разматрају 30, 50 и 100% инсталисане снаге осветљења у свакој просторији, током целог дана. Унутрашње засенчење је варирано преко укупног коефицијента засенчења: 0,811, 0,6, 0,5 и 0,15. Укупан коефицијент засенчења описује како се сунчева енергија трансмисијом преда просторији кроз прозор. Представља однос трансмисије сунчеве енергије кроз прозор и трансмисије кроз једноструко, референтно стакло. Укупан коефицијент засенчења узима у обзир разлику оптичких карактеристика одређеног прозора, оквира и унутрашњих застора у односу на карактеристике референтног стакла. Такође узима у обзир укупне карактеристике прозора, укључујући ефекат средишњег дела стакла, ивице стакла, рама и унутрашњег засенчења [3]. Вариране су температуре у просторијама за летњи и зимски режим. За пројектне услове, за Београд ($T_{ci} = 36 \text{ }^\circ\text{C}$, $\phi = 36\%$), вариране су три вредности унутрашње температуре: 24, 25 и 26 °C. Израчунати су укупни губици топлоте за зимске пројектне услове, за Београд ($T_{ci} = -12 \text{ }^\circ\text{C}$), а затим је урађен прорачун губитака за унутрашњу температуру која је виша за један степен, да би се израчунао утицај на укупну потрошњу енергије у згради.

Резултати прорачуна добитака и губитака топлоте

Симулација за климатске услове Београда, за летњи режим је показала да су укупни добици топлоте, за „профил 1” (у функцији различитих профила), укључујући

и пословне просторе 122.619 kW. За зимске пројектне услове, укупни губици топлоте износе 92.942 kW. Утицај три различита типа осветљења у становима (5, 10 и 15 W/m²) је поређен и приказан на сл. 1(а).

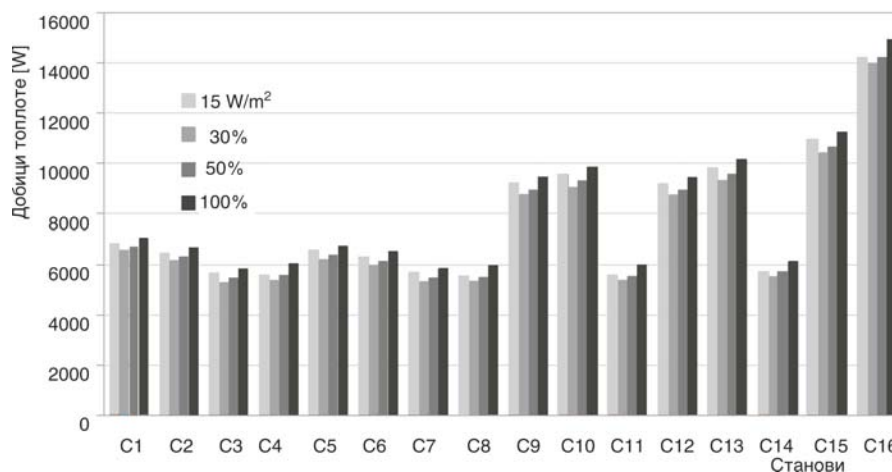


Слика 1. (а) – упоредни приказ укупних добитака топлоте у зависности од инсталисане снаге осветљења; (б) – релативно процентуално смањење добитака топлоте од осветљења у становима, када се инсталисана снага осветљења смањи са 15 W/m² на 5 W/m²
 (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

Са сл. 1(б) се види да се може постићи релативно смањење укупних добитака топлоте и до 13%, ако се инсталисана снага осветљења смањи са 15 W/m² (за конвенционалне сијалице) на 5 W/m² (за штедљиве сијалице). Укупно смањење добитака топлоте, које се може постићи у том случају, је до 6%. У пословним просторијама се сматра да је инсталисана снага осветљења непроменљива и износи 25 W/m², а дефинисани профил рада осветљења је: од 7 сати до 20 сати укључено је 100% светла, а од 20 сати до 7 сати светло је искључено. За инсталисану снагу осветљења 15 W/m² и дефинисане профиле рада, направљено је четири модела: „профил 1” (који узима у обзир присуство људи, дневно светло, инсталисано осветљење и електричне машине), профил 30, 50 и 100% (који разматра исте профиле за присуство људи, електричне машине, задату унутрашњу температуру, али различите једновремености рада осветљења) (сл. 2). Укупно могуће смањење добитака топлоте у становима је до 8% у зависности од једновремености рада осветљења у стану (ако се сматра да се са 100% укљученог осветљења у стану, једновременост рада смањи на 30%).

Унутрашње засенчење има значајан утицај на укупне добитке топлоте. Коришћењем одговарајућег засенчења могуће је смањити укупне добитке топлоте и до 39% (сл. 3).

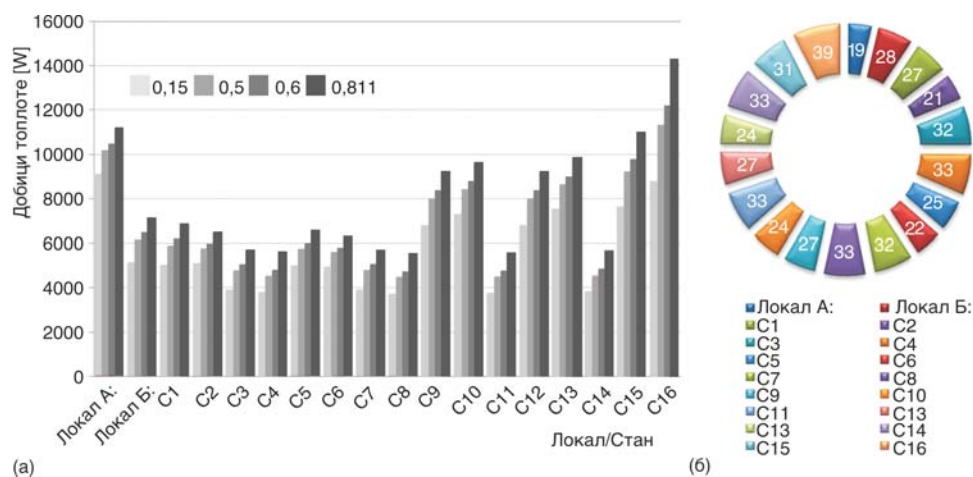
На сл. 3 је приказан утицај укупног коефицијента засенчења на укупне добитке топлоте. Укупан коефицијент засенчења узима у обзир разлику оптичких карактеристика одређеног прозора, оквира и унутрашњих застора у односу на карактеристике референтног стакла. Такође, обухвата укупне перформансе целокупног прозора, укључујући ефекат централног дела стакла, ивица стакла, оквира и унутрашњих застора, [3]. Вариране су следеће вредности: 0,811, 0,6, 0,5 и 0,15 и оне репрезентују



Слика 2. Утицај једновременог рада осветљења на укупне добитке топлоте

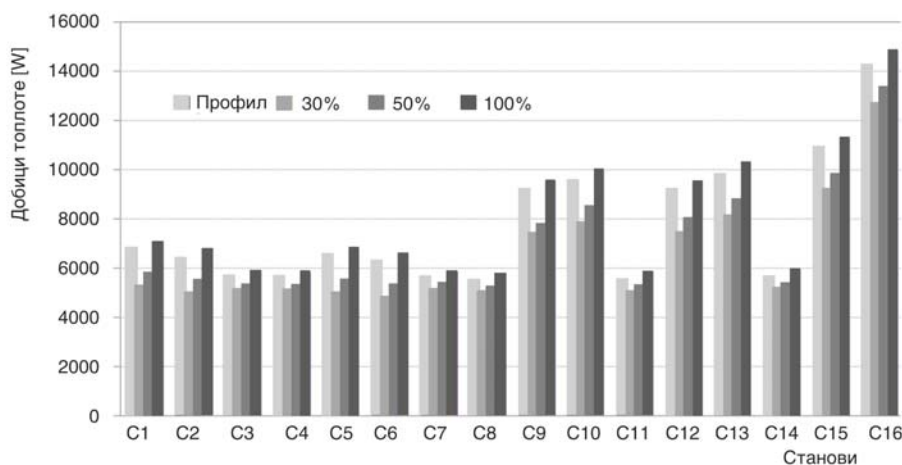
утицај различитих типова унутрашњег засенчења. Показано је да релативно процентуално смањење укупних добитака топлоте иде и до 39%, за највећи стан С16, на петом спрату, док је за целу зграду, ово смањење око 28%, у зависности од типа унутрашњег засенчења.

Такође, направљени су различити модели режима рада за једновременост рада електричних уређаја у становима. Ако се узме у разматрање присуство корисника у становима, могуће је према томе одредити једновременост рада електричне опреме.



Слика 3. (а) – утицај укупног коефицијента засенчења на укупне добитке топлоте;
 (б) – релативно процентуално смањење укупних добитака топлоте по становима, ако се
 укупан коефицијент засенчења смањи са 0,811 на 0,15
 (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

Направљена су четири профила: један посматра присуство каорисника у току дана предвиђајући могуће коришћење електричних уређаја, преостала три профила обухватају да електрични уређаји раде 30, 50 и 100% у току дана (сл. 4).



Слика 4. Утицај режима рада електричних уређаја на укупне добитке топлоте

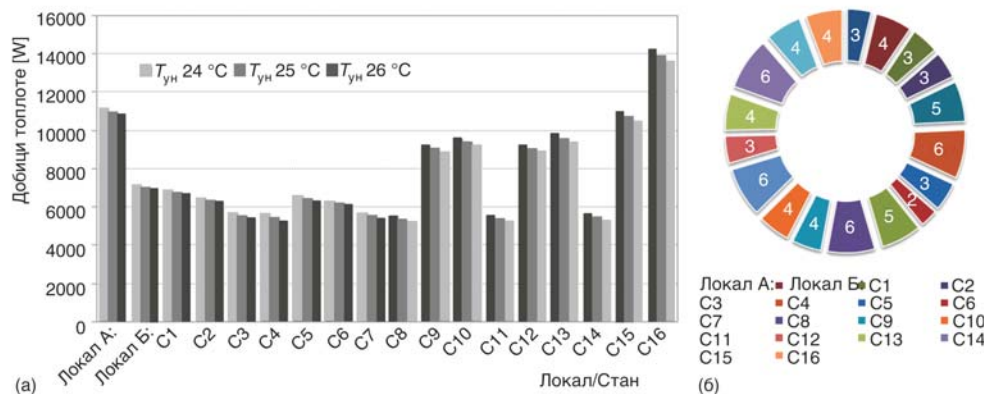
На сл. 4 је приказан утицај једновременности рада електричних уређаја у становима на укупне добитке топлоте. Показано је да се добици топлоте могу смањити и до 27% (стан С6), ако се једновременост рада електричних уређаја сањи са 100% на 30%, док за цео стамбени део зграде, ово смањење иде до 19%.

Такође је разматран и утицај унутрашње задате температуре у становима на укупне добитке топлоте и потрошњу енергије. У раду су разматране три унутрашње температуре за летње услове: 24, 25 и 26 °С и њихов утицај на укупне добитке топлоте (сл. 5).

На сл. 5 је приказан утицај промене унутрашње задате температуре у становима са 24 на 26 °С, на укупне добитке топлоте. Показано је да се добици топлоте могу смањити до 6%, ако се температура повиси са 24 на 26 °С, док за целу зграду, ово смањење иде до 4%. Ове унутрашње температуре су вариране за „профил 1”, са истим моделом за присуство људи, засенчење, осветљење и електричну опрему, тако да ови проценти представљају само утицај промене унутрашње температуре.

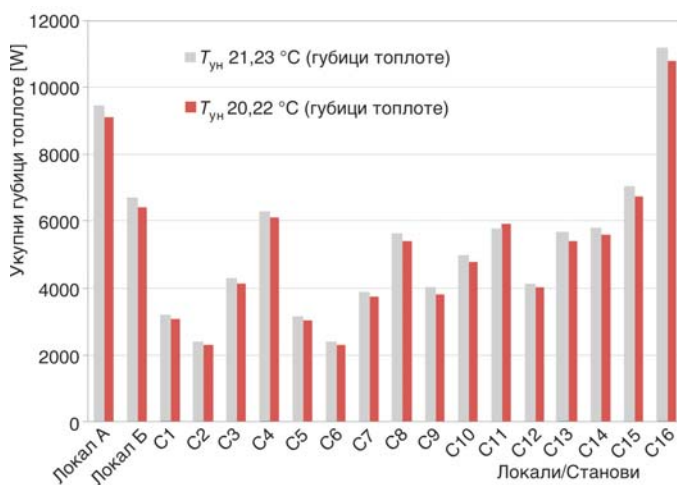
Израчунати су губици топлоте за зимске пројектне услове и за целу зграду, износе 92,942 kW. На сл. 6 су приказани губици топлоте, за пројектне услове за Београд ($T_{ci} = -12$ °С), ако се задата унутрашња температура у просторијама повиси за 1 °С.

Резултати прорачуна су показали да се губици топлоте повећавају 2% до 5%, у зависности од конфигурације и оријентације стана, ако се задата температура у собама повиси са 20 на 21 °С, а у купатилима са 22 на 23 °С. На нивоу целе зграде, ово повишење температуре за један степен повећава укупне губитке топлоте 4%.



Слика 5. (а) – укупни добити топлоте за различите задате унутрашње температуре у становима; (б) – релативно процентуално смањење добитака топлоте када се задата температура повиси са 24 на 26 °C

(слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)



Слика 6. Губици топлоте за пројектне услове за Београд ($T_{cū} = -12\text{ °C}$), ако се задата унутрашња температура у просторијама повиси за 1 °C

(слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

Резултати потрошње енергије

Европски стандард ЕН ИСО 13790:2008 обухвата три различита метода прорачуна потрошње енергије за грејање и хлађење: потпуно дефинисан квази-статички метод прорачуна (уз додаток сезонског метода); потпуно дефинисан упрошћен динамички метод на бази часовних вредности; методе прорачуна за детаљане динамичке симулације. За прорачун потрошње енергије за грејање зграде, у овом раду је коришћен потпуно дефинисан месечни метод прорачуна, у складу са ЕН ИСО 13790. За сваку зону зграде, за сваки корак прорачуна (један месец), израчуната је потребна енергија за грејање, $Q_{H, nd}$, за услове грејања без прекида, према једначини:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,jt} - \eta_{H,gn} Q_{H,gh} \quad (1)$$

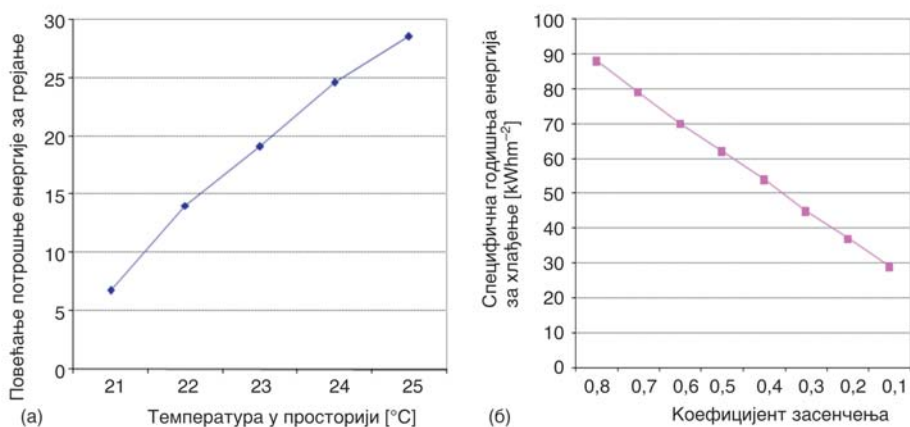
где су (за сваку зону зграде, за сваки месец): $Q_{H,nd}$ – годишња потребна енергија за грејање без прекида у загревању; $Q_{H,jt}$ – годишња потребна енергија за надокнаду губитака топлоте; $Q_{H,gn}$ – годишња количина енергије која потиче од унутрашњих добитака топлоте; $\eta_{H,gn}$ – фактор искоришћења добитака топлоте.

Годишња потребна енергија за хлађење, $Q_{C,nd}$, се рачуна према једначини:

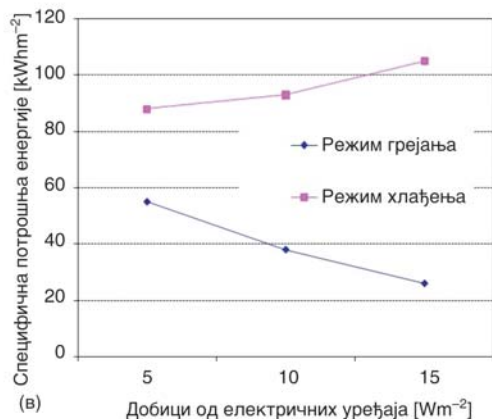
$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ls} \quad (2)$$

где су (за сваку зону зграде, за сваки месец): $Q_{C,nd}$ – годишња потребна енергија за хлађење, $Q_{C,gn}$ – годишња потребна енергија за елиминисање добитака топлоте, $Q_{C,ls}$ – годишњи губици система за хлађење, и $\eta_{C,ls}$ – фактор искоришћења губитака топлоте.

Слика 7(а) приказује утицај различитог коефицијента засенчења на специфичну годишњу енергију потребну за хлађење. Показано је да специфична годишња енергија потребна за хлађење може бити смањена до 59 kWh/m^2 , ако се укупни коефицијент засенчења смањи са 0,8 на 0,1. Са слике 7(б) се види да се потрошња енергије за грејање повећава до 29%, када се унутрашња задата температура повиси са 21 на $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Такође је израчунат утицај добитака топлоте од електричних уређаја на специфичну

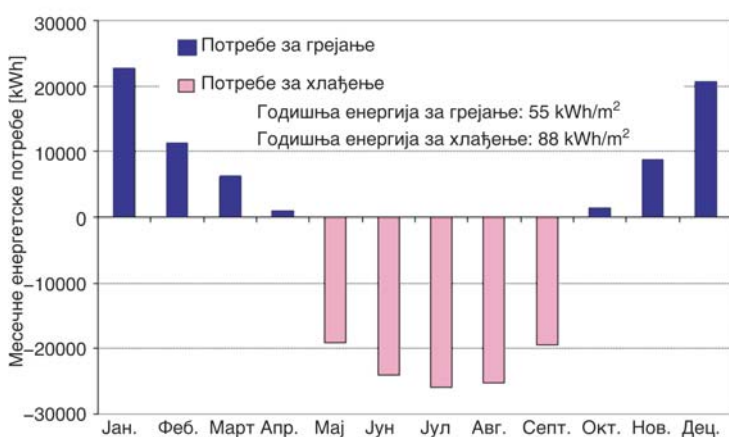


Слика 7. (а) – повећање потрошње енергије за грејање је у функцији различитих унутрашњих температура; (б) – специфична годишња потребна енергија за хлађење у зависности од различитих коефицијената засенчења, (в) – специфична потрошња енергије у функцији различитих добитака топлоте од електричних уређаја и осветљења



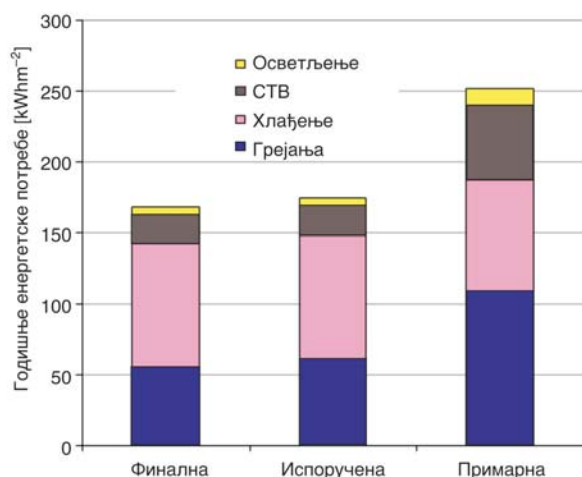
потрошњу енергије у зимском и летњем режиму, сл. 7(б). У режиму грејања, специфична потрошња енергије се смањује до 29 kWh/m^2 , када добици варирају од $5\text{--}15 \text{ W/m}^2$, док у режиму хлађења, потрошња енергије се повећа до 17 kWh/m^2 , када се добици од електричних уређаја повећају са 5 на 15 W/m^2 .

На сл. 8 су приказане месечне потребе за енергијом за грејање и хлађење. Показано је да годишња потрошња енергије за грејање за целу зграду износи 55 kWh/m^2 , а годишња потрошња енергије за хлађење 88 kWh/m^2 .



Слика 8. Месечне потребе за енергијом за грејање и хлађење

Укупна потрошња енергије зграде је приказана на сл. 9. Укупна годишња потребна финална енергија износи 168 kWh/m^2 , укупна годишња испоручена енергија је 174 kWh/m^2 , а укупна годишња примарна енергија је 252 kWh/m^2 . Највећи удео у укупној годишњој примарној енергији, 57%, се односи на потребе за грејање, док се највећи удео у укупној финалној енергији односи на хлађење.



Слика 9. Укупне годишње потребе зграде за енергијом (слику можете видети у електронској верзији у пуном колору)

Закључак

Према детаљним прорачунима и симулацијама за зимске и летње услове, показано је да су укупни добици топлоте за зграду, укључујући и пословни простор, 122.619 kW , а укупни губици топлоте 92.942 kW . Релативно смањење добитака топлоте у становима достиже 13%, ако се снага инсталираног осветљења смањи са 15 W/m^2 (за конвенционалне светиљке)

на 5 W/m^2 (за штедљиве сијалице). Укупно смањење добитака топлоте за све станове иде до 6%. За инсталисану снагу осветљења 15 W/m^2 и дефинисане режиме рада, направљено је четири модела: „профил 1” (узима у обзир присуство људи, дневно осветљење, инсталисану снагу осветљења и електричних уређаја), 30, 50 и 100% (који разматрају исте профиле за људе, електричне уређаје, унутрашње температуре, али различиту једновременост рада осветљења). Укупно могуће смањење добитака топлоте, за све станове, иде до 8%, ако се једновременост рада осветљења смањи са 100 на 30%. Унутрашње засенчење има велики утицај на укупне добитке топлоте. Могуће је смањити укупне добитке топлоте и до 39%, ако је у згради пројектовано адекватно засенчење. Различити типови засенчења су разматрани преко следећих вредности коефицијената засенчења: 0,811, 0,6, 0,5 и 0,15. Показано је да релативно процентуално смањење укупних добитака топлоте иде до 39% за највећи стан С16, на петом спрату, док је за целу зграду ово смањење око 28%. Укупни добици топлоте се могу смањити до 27% (стан С6), ако се једновременост рада осветљења смањи са 100–30%, односно за све станове, ово смањење износи до 19%. Такође је показано да се добици топлоте могу смањити од 2–5%, у зависности од конфигурације и оријентације стана, ако се унутрашња температура повиси са 20 на 21 °C у собама, односно са 22 на 23 °C у купатилима. На нивоу целе зграде, ово повишење температуре за 1 °C, узрокује повећање губитака топлоте око 4%.

Избор одговарајућег режима рада зграде је од пресудног значаја за смањење потрошње енергије у зградама. Такође, утицај понашања корисника има изузетан значај на укупну годишњу потрошњу енергије у зградама. Одржавање унутрашње температуре у просторијама у прописаним границама, заштита од сунчевог зрачења у летњем периоду и рационално коришћење осветљења, доприноси смањењу потрошње енергије и до 20% на годишњем нивоу. Анализе су показале да повишење температуре за 1 °C у зимском периоду, утиче на потрошњу енергије за грејање око 6%; спољашње засенчење на стакленим површинама, може утицати на смањење енергије потребне за хлађење око 80%, што је праћено смањењем могућности коришћења дневног осветљења и повећањем добитака топлоте од осветљења. Потпуно дефинисаним месечним методом, у складу са ЕН ИСО 13790, је показано да је годишња потрошња енергије за грејање 55 kWh/m^2 , а за хлађење 88 kWh/m^2 .

Напомена

Резултати који су приказани у овом раду су резултат истраживања на пројекту ТР33047 Министарства просвете и науке Републике Србије.

Ознаке

- a – пропустљивост процепа, $[\text{m}^3/\text{mhPa}^{2/3}]$
- $Q_{C,ls}$ – годишњи губици система за хлађење, $[\text{kWha}^{-1}]$
- $Q_{H,nd}$ – годишња потребна енергија за грејање без прекида у загревању, $[\text{kWha}^{-1}]$
- $Q_{H,ht}$ – годишња потребна енергија за надокнаду губитака топлоте, $[\text{kWha}^{-1}]$
- $Q_{H,gn}$ – годишња количина енергије која потиче од унутрашњих добитака топлоте, $[\text{kWha}^{-1}]$
- $Q_{C,nd}$ – годишња потребна енергија за хлађење, $[\text{kWha}^{-1}]$
- $Q_{C,gn}$ – годишња потребна енергија за елиминисање добитака топлоте, $[\text{kWha}^{-1}]$
- $\eta_{C,ls}$ – фактор искоришћења губитака топлоте, $[-]$
- $\eta_{H,gn}$ – фактор искоришћења добитака топлоте, $[-]$
- $T_{cū}$ – спољна пројектна температура, $[^{\circ}\text{C}]$
- φ – релативна влажност ваздуха, $[\%]$

Литература

- [1] Perez-Lombard, L., Ortiz, J., Pout, C., A Review on Buildings Energy Consumption Information, *Energy and Buildings*, 40 (2008), 3, pp. 394-398
- [2] Todorović, M., Vasiljević, P., Energy Consumption for Heating in Residential Buildings in Belgrade Connected to District Heating System, *Proceedings*, International Conference on District Energy 2011, Potrrož, Slovenia, 2011, 169-179
- [3] ***, ASHRAE handbook std.62.1-2004
- [4] Šumarac, D., *et al.*, Energy Efficiency of Residential Buildings in Serbia, *Thermal Science*, 14 (2010), Suppl., S97-S113
- [5] Vučićević, B., *et al.*, Experimental and Numerical Modelling of Thermal Performance of a Residential Buildings in Belgrade, *Thermal Science*, 13 (2009), 4, 245-252
- [6] Todorović, M., Šumarac, D., Vasiljević, P., Different Approach in Calculation of Energy Consumption for Buildings Heating – Harmonization with European Standards and EPBD (in Serbian), *Proceedings on CD*, Regional Conference IEEP 2010, Zlatibor, Serbia

Abstract

The Influence of the Building Working Regimes on Total Building Energy Consumption

by

Maja N. TODOROVIC^{*} and Tamara BAJC

Mechanical Engineering Faculty, University of Belgrade, Belgrade, Serbia

The energy performances of one residential-business building of the total usable area of 1300 m², located in Belgrade, are analyzed. The one-pipe hot-water radiator system is designed in the building, with splitters and manifolds which are designed for each apartment and each commercial property separately. Cooling system is designed as local system for each apartment and commercial property separately. Heat losses for building are calculated according to DIN 4701. Heat gains are calculated according to ASHRAE *transfer function method* for load gains, which includes hourly energy simulation techniques for the energy consumption analysis for Belgrade weather data. Annual energy consumption of the building, including heating, cooling, ventilation, and hot water preparation is calculated. The influence of different modes of use of the building to the total annual energy consumption is considered. The temperatures inside the rooms are varied for winter and summer conditions. The different schedules for cooling regime are considered, as a function of the presence of the user, installed lighting and electrical equipment. The influence of the internal shading to the heat gains from solar radiation in summer and also on the annual energy consumption of the building is taken into account. The energy savings that can be achieved using appropriate modes of use of the building is analyzed. Users of the building have a great influence on the building working regime and on rational use of energy.

Key words: energy performance of the building, mode of use of the building, annual energy consumption, energy saving

* Corresponding author; e-mail: mtodorovic@mas.bg.ac.rs

Рад примљен: 3. маја 2012.
Рад ревидиран: 26. јула 2012.
Рад прихваћен: 21. новембра 2012.