TOPLOTNO PONAŠANJE OMOTAČA ZGRADE SA ZAHTEVANOM VREDNOŠĆU „U", IMAJUĆI U VIDU OBLIK ZGRADE

THE THERMAL PERFORMANCE OF BUILDING ENVELOPE WITH THE REQUIRED U-VALUES IN RELATION TO BUILDING FORM

Gül Koçlar Oral & Zerrin Yilmaz, Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Istanbul, Turkey

Ovaj rad je pisan sa ciljem da uvede metodologiju koja se može primeniti u procenjivanju toplotnog ponašanja omotača zgrade, sa zahtevanom vrednošću „U" (U ≡ k – koeficijent prolaza toplote), imajući u vidu oblik zgrade. Oblik zgrade je pokazatelj ukupnog gubitka toplote kroz čitav omotač zgrade, a vrednost U određuje gubitak toplote kroz jedinicu površine omotača. Zbog toga, gubitak toplote za različite oblike zgrada treba analizirati imajući u vidu vrednosti U, koje se menjaju prema obliku zgrade. U ovom radu, oblik zgrade je predstavljen odnosom ukupne površine fasade i zapremine zgrade (A/V). Različite detalje na omotaču zgrade, koji daju željenu vrednost U, trebalo bi ocenjivati prema nestacioniranom toplotnom ponašanju, da bi se sagledao kapacitet akumulacije toplote materijala zgrade. Primena metodologije i rezultati izloženi su u radu grafički i tabelarno.

The aim of this paper is to introduce a methodology, which can be used for the evaluation of the thermal performance of building envelope with the required U-values in relation to building form. Building form is the indicator of the total heat loss through the whole envelope and U-value determines the heat loss through the unit area of the envelope. Therefore, heat loss for different building forms should be analyzed related to U-values which are revised according to building form. In this study building form is represented by the ratio of total facade are to building volume (A/V). The different building envelope details which are providing required U-value, should be evaluated according to their time-dependent thermal performance to consider the heat storage capacity of building materials. The application of the methodology and the results are presented in graphic systems and tables in the paper.

Ključne reči: očuvanje energije; oblik zgrade; omotač zgrade
Key words: energy conservation; building form; building envelope

Uvod

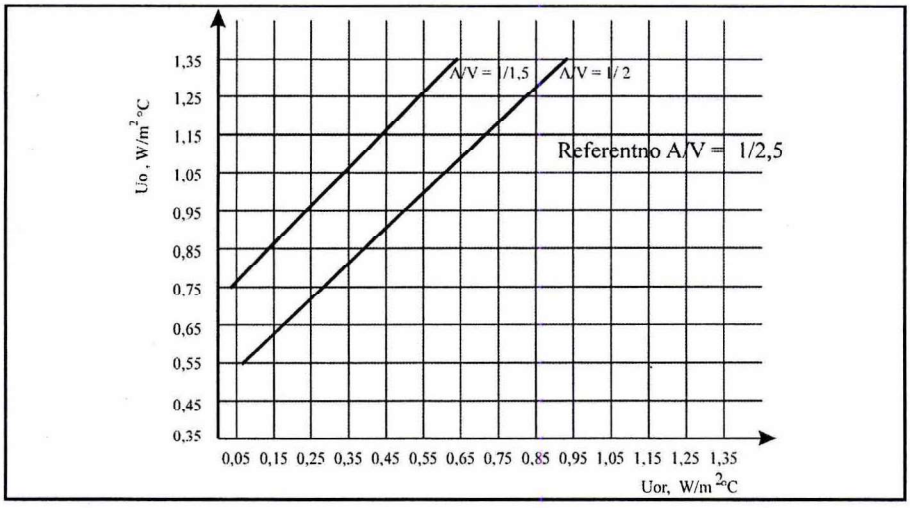
Ako jedna zgrada ne može da pruži toplotnu ugodnost u svom unutrašnjem delu, potreban je veštački sistem grejanja. Zbog činjenice da se potrebe za energijom

povećavaju, energetski izvori se naglo smanjuju. Zbog toga je u Turskoj, kao zemlji u razvoju, očuvanje energije uvek bilo veoma važno. Najvažniji projektni parametri koji utiču na unutrašnju termičku ugodnost i očuvanje energije u zgradi su sledeći: orijentacija, oblik zgrade i optička i termofizička svojstva omotača zgrade. Svi ti parametri su međusobno povezani i optimalne vrednosti svakog parametra bi trebalo određivati u zavisnosti od vrednosti onog drugog. Oblik zgrade je jedan od najvažnijih parametara koji utiču na ukupan gubitak toplote cele zgrade i zato vrednost „U" omotača zgrade treba određivati prema obliku zgrade. Može se odrediti mnogo oblika zgrade koji obuhvataju istu zapreminu, ali su fasadne površine različite. Otuda je odnos ukupne površine fasade i zapremine zgrade (A/V) najbolji pokazatelj oblika zgrade (Yilmaz i dr., 1999).

U ovom tekstu je reč o metodologiji kojom se određuju granične vrednosti U neprozirnih komponenata (vrednost U_0) na bazi odnosa A/V, koja zatim određuje odgovarajuće detalje za neprozirne komponente, analizom nestacionarnog toplotnog ponašanja različitih elemenata koji daju ovu vrednost U_0. Metodologija je zasnovana na istraživačkom projektu koji ima cilj da obezbedi savremene tehničke informacije, upotrebljive u procesu projektovanja energetski efikasne zgrade (Yilmaz i dr., 2000). Ta metodologija je primenjena na umereno vlažnu zonu Turske, kakvu predstavlja Istanbul.

Metodologija

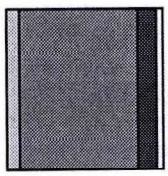
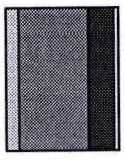
Za predloženu metodologiju prvo su određene vrednosti U_0 prema odnosu providnosti i vreste providne komponente nezavisno od oblika zgrade. Zatim se one revidiraju, da bi se obuhvatio uticaj oblika zgrade. Radi izbora detalja najpogodnije neprozirne komponente, koji pruža vrednost U_0 za dati oblik zgrade, treba analizirati nestacionaran prenos toplote kroz komponentu, kako bi se razmotrio kapacitet akumulacije toplote neprozirnog građevinskog materijala. Predložena metodologija podrazumeva sledeće glavne korake (Yilmaz i dr., 2000).



Slika 1. Revidovane vrednosti U_0 (U_{or})

Računanje granične vrednosti U_0 nezavisno od oblika zgrade

Da bi se u projektu zgrade obezbedilo očuvanje toplotne energije, vrednosti U_0 bi trebalo odrediti s obzirom na klimatske uslove reprezentativnog dana u preovlađujućem periodu posmatranog regiona. Vrednosti ugodne unutrašnje temperature mogu se procenjivati korišćenjem odnosa između željene vrednosti srednje temperature zračenja (t_{mrt}), koja predstavlja površinske temperature u jednoj prostoriji, i vrednosti ugodne temperature vazduha u prostoriji. Srednja temperatura zračenja je određena pomoću temperatura svih površina u posmatranoj prostoriji. Dok se temperature površina pregrada u prostoriji mogu tretirati kao konstanta tokom dana, temperatura unutrašnje površine omotača zgrade menja se sa intenzitetom prolaza toplote kroz njegove komponente. Zbog toga dozvoljena granična vrednost srednje temperature zračenja može biti smatrana kao tražena vrednost temperature unutrašnje

		Debljina	Toplotna provodljivost ($W/m^2\,°C$)
Alternativa 1			
	1. Cementni malter	0,02	1,40
	2. Laki beton	0,15	0,14
	3. Ekspandirana polistirenska zrna	0,01	0,04
	4. Gipsani malter	0,01	0,70
Alternativa 2			
	1. Cementni malter	0,02	1,40
	2. Šuplja opeka	0,20	0,45
	3. Ekspandirana polistirenska zrna	0,035	0,04
	4. Gipsani malter	0,01	0,70
Alternativa 3			
	1. Cementni malter	0,02	1,40
	2. Beton	0,10	1,51
	3. Ekspandirana polistirenska zrna	0,05	0,04
	4. Gipsani malter	0,01	0,70

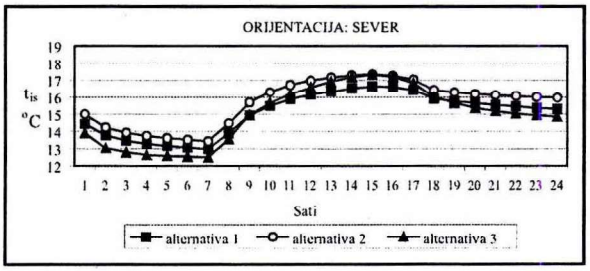
Slika 2. Sastav neprozirne komponente (zida)

površine omotača zgrade, koja se sastoji od neprozirnih i prozirnih komponenata. Prema tome, izmerena prosečna temperatura unutrašnjih površina neprozirnih i prozirnih komponenata, relevantna za odnos providnosti, treba da bude jednaka $(t_i + \varepsilon)$ i $(t_i - \varepsilon)$ za projektne dane u periodima predgrevanja i nedovoljnog grejanja. Ovaj uslov za period nedovoljnog grejanja može se izraziti sledećom jednačinom (Berköz i dr., 1995):

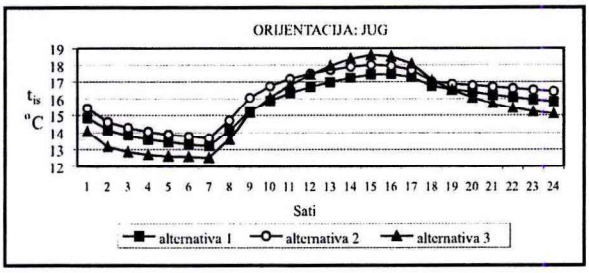
$$t_{is} = t_{mrt} = (\bar{t}_i - \varepsilon) = \bar{t}_{ig} X + \bar{t}_{io} (1 - X) \quad (1)$$

gde je t_{is} tražena vrednost temperature unutrašnje površine omotača zgrade, °C, t_{ig} je srednja dnevna vrednost temperature unutrašnje površine prozirnih komponenata, °C, t_{io} je srednja dnevna vrednost temperature unutrašnje površine neprozirnih komponenata, °C, X je odnos prozirnosti, a t_i je vrednost ugodne temperature unutrašnjeg vazduha, °C.

Umesto analiziranja posebno uticaja sunčevog zračenja i temperature spoljašnjeg vazduha na omotač zgrade, preporučuje se korišćenje fiktivne temperature, zvane sunčano-vazdušna temperatura (ASHRAE, 1993). Časovne vrednosti sunčano-vazdušne temperature koje deluju na različito orijentisane neprozirne komponente i prozore t_{eo} i t_{eg} treba izračunati posebno. Prosečne dnevne sunčano-vazdušne temperature za neprozirne komponente $(\bar{t}_{ig})$ i prozore $(\bar{t}_{eg})$ jesu aritmetička sredina časovnih vrednosti. Vrste prozirnih komponenata (vrste prozora) ograničene su vrstom stakla i okvira. Zbog toga je bolje izabrati vrstu prozirne komponente na početku procesa projektovanja i izračunati temperaturu unutrašnje površine za izabranu vrstu (Berköz i dr., 1995, Yilmaz i dr. 2000):



Slika 3. Varijacija temperatura unutrašnjih površina za severnu orijentaciju



Slika 4. Varijacija temperatura unutrašnjih površina za južnu orijentaciju

$$q_o = U_o (t_i - \bar{t}_{eo}) = \\ = h_i (t_i - \bar{t}_{io}) \quad (2)$$

gde je t_{io}–granična vrednost temperature unutrašnjih površina neprozirnih komponenata, °C $\bar{t}_{eo}$ je prosečna dnevna sunčano-vazdušna temperatura koja deluje na neprozirne površine fasade u izabranom projektnom danu, °C. Otuda se granična vrednost koeficijenta prenosa toplote (U_o) može izračunati primenom sledeće jednačine (Berköz i dr., 1995, Yilmaz i dr. 2000):

$$U_o = \frac{h_i (t_i - \bar{t}_{io})}{(t_i - \bar{t}_{eo})} \quad (3)$$

Zbog toga je izračunati koeficijent prolaza to-

plote za neprozirne komponente granična vrednost s obzirom na orijentaciju, karakteristike prozora, odnos prozirnosti i boju spoljne površine, ali ne zavisi od oblika zgrade.

Predlog građevinskih alternativa u zavisnosti od površine poda i odnosa A/V

Da bi se revidirale izračunate granične vrednosti U_o u skladu sa oblikom zgrade, površina poda i odnos A/V, koji određuju oblike zgrade, moraju biti izabrani sistematično.

Računanje ukupnog toplotnog gubitka kroz ceo omotač zgrade

Prosečni dnevni gubitak toplote po jedinici površine omotača zgrade, može se izračunati na osnovu sunčano-vazdušne temperature prema sledećoj jednačini (Berköz i dr., 1995, Yilmaz i dr. 2000):

$$q = U_o (t_i - \bar{t}_{eo}) (1 - X) + U_g (t_i - \bar{t}_{eg}) X \quad (4)$$

gde je q prosečan dnevni gubitak toplote po jedinici površine omotača zgrade, W/m^2, U_g je koeficijent prolaza toplote prozirnih komponenata, W/m^2°C, a t_{eg} je prosečna dnevna sunčano-vazdušna temperatura prozirnih komponenata, °C. Tako je ukupan gubitak toplote kroz čitavu fasadu izračunat za različite odnose A/V, koji su izabrani u sistematskom redu, prema sledećoj jednačini (Yilmaz i dr., 1999):

$$Q = (q_1 A_1) + (q_2 A_2) + \ldots + (q_n A_n) + (q_r A_r) \quad (5)$$

gde su q_1, q_2, ... q_n gubici toplote po jedinici površine omotača zgrade za različite fasade, W/m^2, A_1, A_2, ... A_n su fasadne površine, m^2, q_r je gubitak toplote po jedinici površine krovne komponente, W/m^2, a A_r je površina tavanice, m^2.

Određivanje referentnih oblika građevine

Oblik zgrade koji obezbeđuje najmanji gubitak toplote smatra se referentnim oblikom zgrade, a odnos A/V koji određuje ovaj oblik smatra se referentnim odnosom A/V. Pretpostavlja se da granične vrednosti U_o izračunate u prethodnom koraku, važe za referentni odnos A/V, pa je izvršena revizija za ostale odnose A/V koji određuju različite oblike zgrade.

Revizija vrednosti koeficijenata prolaza toplote neprozirnih komponenata

Revidirani koeficijenti prolaza toplote za neprozirne komponente (U_{or}) određeni su na osnovu ukupnog gubitka toplote za referentni oblik zgrade. Vrednost ukupnog gubitka toplote za celu zgradu za različite površine poda i oblike zgrada, treba da bude jednaka ukupnom gubitku toplote kroz referentni oblik zgrade, koji određuje dopuštenu granicu gubitka toplote. Taj metod dozvoljava određivanje vrednosti U_o koje osiguravaju najmanji gubitak toplote. Za taj jednostavni proračun mogu se primeniti programi tipa „Excell" (spreadsheet programs). Odnos revidovanih vrednosti U_o i ostalih projektnih parametara grafički je prikazan. Ti grafici mogu se koristiti u procesu projektovanja za određivanje optimalnih kombinacija projektnih parametara koji utiču na unutrašnju klimu, radi ostvarenja najmanjih gubitaka toplote u zgradama.

Analiza nestacioniranih unutrašnjih termičkih uslova

Revidovana vrednost U_o može se dostići različitim kombinacijama neprozirnih komponenata, koje se sastoje od različitih materijala. U zavisnosti od kapaciteta akumulacije toplote tih građevinskih materijala, vremenski zavisne varijacije temperatura unutrašnjih površina biće različite za različite elemente. Zbog toga, da bi se odredila najpogodnija neprozirna komponenta, potrebno je predložiti različite elemente za istu vrednost U_o, a onda izračunati vremenski zavisne vrednosti temperature unutrašnjih površina.

Primena

Predložena metodologija je primenjena u Istanbulu, gde su zimski uslovi oštriji i duži od letnjih uslova. Za projektni dan nedovoljno grejanog perioda izabran je 21. januar, a za projektnu temperaturu unutrašnjeg vazduha – 19°C. Model-zgrada bila je stambena petospratnica. Površina poda je iznosila 100 m². Odnosi A/V su se menjali sa korakom 0,5. Visina sprata je 2,80 m. Krov je ravan. Zgrade su bile orijentisane svojim dužim stranama od severa ka jugu. Ta orijentacija je uzeta kao njihova glavna osa. Najmanja vrednost koeficijenta prolaza toplote jedne neprozirne komponente (U_o) je 0,45 W/m² °C, tako da neprozirna komponenta može biti konstruisana sa građevinskim materijalom proizvedenim u Turskoj.

Najmanja vrednost odnosa prozirnosti fasade je 0,20, da bi se zadovoljile čovekove potrebe za vizuelnom komunikacijom sa spoljnim svetom. Odnos prozirnosti kreće se od 0,20 do 0,60, sa korakom 0,10 za ovu studiju. Prozori su dvostruko zastakljeni, u drvenim okvirima. Vrednost U za prozirnu komponentu je U_g = 3,25 W/m² °C (turski standard TS 825, 1998). Spoljne površine neprozirnih komponenti obojene su tamnom bojom, pa apsorptivnost iznosi 0,7. Vrednost gubitka toplote izračunata za različite odnose A/V izjednačena je sa vrednošću gubitka toplote izračunatu za referentni odnos A/V, a vrednost U_o koje obezbeđuju minimalne vrednosti gubitka toplote određene su ovim jednačinama. Te vrednosti U_o smatrane su revidovanim vrednostima U_o (U_{or}). Slika 1. prikazuje revidovane vrednosti U_o (U_{or}) u skladu sa referentnim odnosima A/V.

Vrednosti U_{or} na sl. 1 odnose se na kombinacije odgovarajuće orijentacije, vrste prozora, odnosa prozirnosti, apsorptivnosti fasadnih elemenata i oblika zgrade. Ako se jedna zgrada, koja ima drukčiji odnos A/V od referentnog, razmatra sa aspekta najmanjeg gubitka toplote, vrednost U_o te zgrade može se revidovati bez promene vrednosti ostalih projektnih parametara, pomoću slike 1.

Model zgrade predstavlja ovaj referentni oblik, pa zato nije neophodno revidovati vrednosti U_o. Te vrednosti za referentni oblik bile su određene kao rezultat prethodnih izračunavanja kao 0,65 W/m² °C. Za primenu su predložene tri različite konstrukcije neprozirne komponente (zida), prikazane na sl. 2. Intenzitet vremenski zavisnih toplotnih flukseva kroz ove tri konstrukcije i promena temperatura njihovih unutrašnjih površina, izračunati su, a na sl. 3 i 4 su prikazani rezultati temperatura površina. Kao što se može videti na ovim slikama, vremenski zavisna toplotna ponašanja različitih konstrukcija međusobno se razlikuju čak i kada je vrednost U_o ista za svaku od njih. U datom slučaju sastav neprozirne komponente 2 je najbolji, pošto on obezbeđuje višu temperaturu površine tokom dana.

Zaključak

U radu je prikazana metodologija određivanja vrednosti U_o u zavisnosti od oblika zgrade, pored ostalih projektnih parametara kao što su orijentacija i fizička svojstva omotača. Metodologija o kojoj je reč omogućuje izbor vrednosti U za neprozirne komponente omotača zgrade koje osiguravaju najmanje gubitke toplote u jednoj zgradi, bez promene vrednosti ostalih projektnih parametara u projektnom procesu, kao i analizu nestacioniranog toplotnog ponašanja različitih konstrukcija neprozirne komponente.

Primena izložena u radu je u stvari studija na uzorku za umerenu klimatsku zonu, radi uvođenja predložene metodologije. Rezultati su izloženi za izvesne kombinacije vrednosti projektnih parametara. Da bi se dobili dijagrami za generalne rezultate koji bi se mogli lako koristiti pri projektovanju, neophodno je primeniti metodologiju na različite kombinacije projektnih parametara. Tako se može odrediti optimalna vrednosti U neprozirnih komponenata s obzirom na kombinaciju vrednosti ostali projektnih parametara i izabrati odgovarajuća konstrukcija neprozirne komponente za određivanje vrednosti U u procesu projektovanja.

Literatura

[1] ***: 1993, *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., pp. 26.5.

[2] **Berköz, E., et al.,** 1995, *Energy Efficient Building and Settlement Design*, Research report, The Scientific and Technical Research Council of Turkey, Istanbul: INTAG 201, pp. 98–138.

[3] TS 825. *Turkish Standard.* 1998, *Heat Insulation Rules in Buildings*, Ankara: Institution of Turkish Standards.

[4] **Yilmaz, Z.,** *A New Method to Determine the Building Envelope for the Provision of Biocilmatic Comfort and Avoiding Condensation Risk*, 1983, Ph. D. Dissertation, Istanbul: Istanbul Technical University, pp. 124–135.

[5] **Yilmaz, Z., G. Oral Koçlar, G. Manioglu,** 1999, *Relation Between Building Envelope*, Proceedings of Indoor Air 99, The 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Edinburg: Indoor Air '99, Vol. 1, pp. 59–63.

[6] **Yilmaz, Z., G. Oral Koçlar, G. Manioglu,** 2000, *Determination of U-value Depending on Building Form*, Istanbul: Research Project, Istanbul Technical University, pp. 27–45.