

Mjerenje koeficijenta prolaza toplote neprozirnog fasadnog zida i povezanost sa meteorološkim uslovima

BILJANA S. ANTUNOVIĆ, Univerzitet u Banjaluci,

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka

Bosna i Hercegovina

ALEKSANDAR V. JANKOVIĆ, Univerzitet u Banjaluci,

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka,

Bosna i Hercegovina

LJUBIŠA N. PRERADOVIĆ, Univerzitet u Banjaluci,

Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Bosna i Hercegovina

Originalni naučni rad

UDC: 692.23:536.21.022

DOI: 10.5937/tehnika1504593A

U radu su prikazani rezultati mjerenja koeficijenta prolaza toplote, U-vrijednosti [$W/m^2 \cdot K$], neprozirnog fasadnog zida predškolske ustanove u Banjaluci izgrađene 1977. godine. Predmetna zgrada posjeduje nepotpunu tehničku dokumentaciju prema kojoj je razmatrani zid izgrađen od opeke i produžnog maltera pri čemu nisu navedene toplotne karakteristike ugrađenih materijala. U vrijeme građenja objekta na snazi su bili JUS standardi na osnovu kojih je dobijen opseg mogućih projektnih vrijednosti koeficijenta prolaza toplote karakterističnog spoljašnjeg zida ($1,241-1,404 W/m^2 \cdot K$). Mjerenja su izvedena u skladu sa standardom ISO 9869 tokom tri vremenska perioda i dobijene U-vrijednosti ($1,269 \pm 0,276 W/m^2 \cdot K$; $1,025 \pm 0,175 W/m^2 \cdot K$; $1,200 \pm 0,212 W/m^2 \cdot K$) se u okviru eksperimentalne greške međusobno ne razlikuju. Takođe je analizirana i povezanost izmjerenih U-vrijednosti sa meteorološkim uslovima tokom izvođenja mjerenja. U drugom mjernom intervalu prosječne vrijednosti ukupne oblačnosti i prekrivenosti niskim oblacima su bile niže, a prosječno trajanje sunčevog sjaja više u odnosu na preostala dva mjerna perioda.

Ključne riječi: koeficijent prolaza toplote, mjerenje in-situ, meteorološki uslovi

1. MOTIVACIJA

U skladu sa standardom ISO 6946 [1] U-vrijednost se može izračunati pod pretpostavkom da su poznati redoslijed, debljina i struktura ugrađenih materijala. Za nove zgrade vrijednosti koje se odnose na toplotnu provodljivost materijala, otpor prolazu vodene pare i druge termo-fizičke karakteristike se mogu dobiti direktno od proizvođača dok su za nešto starije zgrade ovi podaci nepotpuni, nedostaju ili je pak došlo do promjene svojstava materijala vremenom. Takođe, metode preporučene standardom su uveliko bazirane na pretpostavci idealne konstrukcije, mada su neke manje korekcije ove vrijednosti predviđene za određene

slučajeve. Ipak, one ne uzimaju u obzir različite nepravilnosti u smislu neujednačenosti kvaliteta primijenjenog materijala, eventualne neadekvatne ugradnje, izostanka kontrole ili različitih mogućih efekata degradacije toplotnih karakteristika ugrađenih materijala nastalih tokom eksploatacionog perioda [2]. Zbog svega navedenog, može doći do značajnih razlika između proračunatih i stvarnih toplotnih gubitaka zgrada ili dijelova zgrada što može dovesti do grešaka u proračunu i rezultovati pogrešnom procjenom energetskih performansi zgrade.

Činjenica da U-vrijednost određuje toplotne performanse omotača i da predstavlja polaznu osnovu za proračun potrošnje potrebne energije za grijanje i hlađenje objekta, cijene njegovog održavanja i emisije CO₂ bila je osnovna motivacija za mjerenje ove fizičke veličine. Kada su u pitanju različiti elementi omotača pokazalo se da su gubici nastali prenosom toplote kroz ravan zid najvažniji za energetski bilans zgrade, prema ISO 13790, 2008 [3], jer takve površine imaju najveći

Adresa autora: Biljana Antunović, Univerzitet u Banjaluci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Vojvode Stepe Stepanovića 77, Bosna i Hercegovina

Rad primljen: 04.03.2015.

Rad prihvaćen: 24.03.2015.

udio u omotaču. Zbog toga je navedeni element odabran kao reprezentativni za dalja mjerenja i detaljnu analizu.

Međutim, u praksi mjerenje koeficijenta prolaza toplote ugrađenih struktura predstavlja veliku poteškoću pošto termalna masa, varijacije dnevne temperature, direktno sunčevo zračenje, padavine i ostali nepovoljni spoljašnji vremenski uslovi ne dozvoljavaju da se uspostave stacionarni uslovi prenosa toplote. Konvencionalno mjerenje U-vrijednosti podrazumijeva simultano mjerenje toplotnog fluksa i temperaturne razlike vazduha sa jedne i druge strane zida na osnovu čega se izračunava koeficijent prolaza toplote. Ukoliko su spoljašnji vremenski uslovi neodgovarajući, ovaj metod može dovesti do grešaka, koje mogu biti toliko velike da ovakva tehnika postaje beskorisna. Da bi se dobila relevantna mjerenja potrebno je da se mjerenje izvodi tokom nekoliko dana, a dužina mjernog perioda direktno zavisi od specifičnog toplotnog kapaciteta konstrukcije, oscilacija temperature, dotoka Sunčevog zračenja, padavina i drugih spoljašnjih vremenskih uslova, što u konačnici utiče na toplotni fluks tokom mjernog perioda. Konačna U-vrijednost se dobije kao srednja vrijednost izvedenih mjerenja.

2. METODOLOGIJA

Koeficijent prolaza toplote može se veoma jednostavno odrediti kod ravnih i homogenih ploča (npr. ravni fasadni zidovi) kod kojih je dominantan prolaz toplote u jednoj dimenziji. Ukoliko postoji temperaturna razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha, toplota se prenosi sa mjesta više na mjesto niže temperature sve do uspostavljanja termodinamičke ravnoteže [4].

Zimi, kada je vazuh u prostoriji topliji od spoljašnjeg vazduha, toplota se prenosi kroz element konstrukcije i odvodi iz zgrade pri čemu nastaju toplotni gubici transmisijom. Proces prenosa toplote transmisijom je veoma složen i uključuje, prenos toplote sa vazduha u prostoriji na unutrašnju površinu zida, provođenje sa unutrašnje površine zida kroz građevinski element na spoljašnju površinu zida i prenos toplote sa spoljašnje površine zida na spoljašnji vazduh. Uzimajući u obzir ove pretpostavke, gustina toplotnog fluksa q [W/m^2] se računa [5]:

$$q = U \cdot (t_u - t_s) \quad (1)$$

gdje t_u [$^{\circ}C$] i t_s [$^{\circ}C$] predstavljaju temperature vazduha unutar i izvan prostorije, a U [$W/m^2 \cdot K$] koeficijent prolaza toplote.

U-vrijednost se računskim putem može odrediti na osnovu poznatih toplotnih karakteristika elemenata konstrukcije omotača pomoću izraza [6]:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_u} + \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_s}} \quad (2)$$

gdje $1/\alpha_u$ i $1/\alpha_s$ [$m^2 \cdot K/W$] predstavljaju otpore prelazu toplote sa vazduha na unutrašnju površinu zida, i sa spoljašnje površine zida na vazduh, redom i preuzimaju se iz odgovarajućih standarda, a l_i/λ_i [$m^2 \cdot K/W$] otpor provođenju toplote kroz i -ti element konstrukcije debljine l_i [m] i koeficijenta toplotne provodljivosti λ_i [$W/m \cdot K$].

U slučaju da se akumulacija toplote u elementu konstrukcije može zanemariti koeficijent prolaza toplote (U-vrijednost) predstavlja odnos gustine toplotnog fluksa i temperaturne razlike unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha pri stacionarnom prenosu toplote:

$$U = \frac{q}{(t_u - t_s)} \quad (3)$$

Mjerenje koeficijenta prolaza toplote izvršeno je na omotaču vrtića u Banjaluci pridržavajući se odgovarajućih pravila propisanih standardom ISO 9869 [7]. Toplotni mostovi i konstruktivni spojevi, kod kojih je dominantan dvodimenzionalni i trodimenzionalni prolaz toplote su izbjegnuti prilikom odabira mjerne tačke. Pored toga, tokom mjerenja senzor za mjerenje temperature spoljašnjeg vazduha nije bio izložen direktnom Sunčevom zračenju i padavinama. Sprovedena su kontinualna mjerenja kako bi se obezbijedila veća statistika, a samim tim, i veća vjerovatnoća dobijanja reprezentativnih vrijednosti. Sa unutrašnje strane zida je postavljen senzor za mjerenje gustine toplotnog fluksa, dok su senzori za mjerenje temperatura vazduha unutar i izvan prostorije postavljeni simetrično sa jedne i sa druge strane zida. U cilju odabira reprezentativne mjerne tačke u skladu sa pomenutim standardom izvršeno je snimanje mjernog mjesta termovizijskom kamerom. Pri tome, nisu uočene nikakve nepravilnosti u temperaturnoj raspodjeli na površini zida koje bi uticale na vjerodostojnost mjerenja. Za analizu snimljenih podataka korišten je dinamički metod u skladu sa ISO 9869 prema kojem je koeficijent prolaza toplote jednak količniku srednje vrijednosti toplotnog fluksa i srednje vrijednosti temperaturne razlike vazduha unutar i izvan prostorije:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n q}{\left(\sum_{i=1}^n t_{u_i} - t_{s_i} \right)} \quad (5)$$

Određivanje koeficijenta prolaza toplote karakterističnog spoljašnjeg zida izvršeno je pomoću data

logera TESTO 435-2 (slika 1) i podrazumijevalo je mjerenje gustine toplotnog fluksa $q[W/m^2]$ i temperatura vazduha unutar i izvan prostorije. Mjerenja su vršena svakih 15 sekundi, a period usrednjavanja podataka iznosio je 15 minuta. Tokom svih mjerenja minimalna razlika između temperature spoljašnjeg i unutrašnjeg vazduha iznosila je $10^{\circ}C$.



Slika 1 - Multifunkcionalni data logger Testo 435

3. REZULTATI MJERENJA

Mjerenje koeficijenta prolaza toplote je izvršeno na karakterističnom spoljašnjem zidu vrtića koji se sastoji od sljedećih slojeva: unutrašnji produžni malter, šuplja opeka i spoljašnji produžni malter [8, 9]. Iz projektne dokumentacije nisu dobijeni podaci o toplotnim karakteristikama ugrađenih materijala.

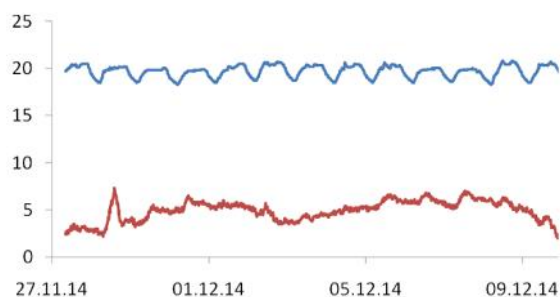
U vrijeme građenja objekta na snazi su bili JUS standardi i u skladu sa tim u upotrebi su bile dvije vrste šuplje opeke toplotnih provodljivosti $\lambda=0,52 W/m\cdot K$ i $\lambda=0,61 W/m\cdot K$. Kako produžni malter u zavisnosti od gustine ima različite toplotne provodljivosti, koje se kreću u intervalu od $\lambda=0,85 W/m\cdot K$ pa do $\lambda=0,99 W/m\cdot K$ u skladu sa gore navedenim dobijen je i opseg mogućih projektnih vrijednosti koeficijenta prolaza toplote u intervalu od $U=1,241 W/m^2\cdot K$ do $U=1,404 W/m^2\cdot K$.

Mjerenja U-vrijednosti izvršena su u više vremenskih intervala, pri čemu je minimalno trajanje svih mjerenja iznosilo 72 h, što je u skladu sa standardom ISO 9869.

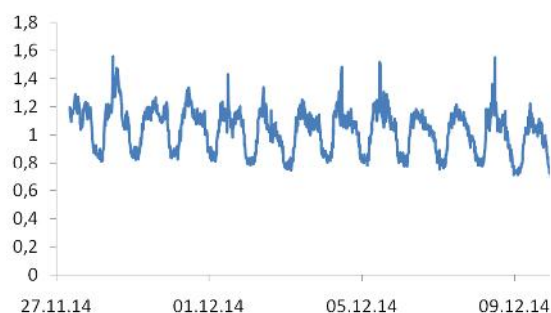
Za analizu izmjerenih vrijednosti izabrani su reprezentativni dani tokom tri vremenska perioda: 23.10–30.10.2014, 27.11–10.12.2014. i 04.02–10.02.2015. godine. Za period 27.11–10.12.2014. godine prikazane su trenutne vrijednosti temperatura unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha (slika 2) i koeficijenta prolaza toplote (slika 3).

Za svaki interval mjerenja, određena je eksperimentalna greška u skladu sa ISO 9869. Srednje vrijednosti izmjerenog koeficijenta prolaza toplote spoljašnjeg zida zajedno sa odgovarajućim greškama su prikazani na slici 4 i prema navedenim periodima iznose redom:

- 1,269±0,276 $W/m^2\cdot K$,
- 1,025±0,175 $W/m^2\cdot K$
- 1,200±0,212 $W/m^2\cdot K$.

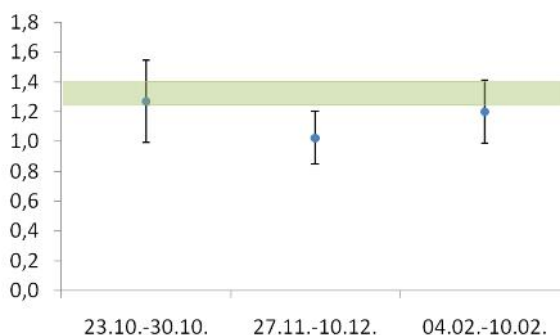


Slika 2 - Oscilacije temperatura unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha za period 27.11–10.12.2014.



Slika 3 - Oscilacije U-vrijednosti za period 27.11–10.12.2014.

Izmjerene vrijednosti se međusobno dobro slažu u okviru eksperimentalnih grešaka, a one se dalje mogu uporediti sa proračunatim U-vrijednostima, što je takođe prikazano na slici 4.



Slika 4 - Srednje vrijednosti koeficijenta prolaza toplote označene su plavim krugovima, a odgovarajući opseg grešaka vertikalnim crnim linijama. Interval u kome se nalazi proračunata U-vrijednost označen je kao providna zelena traka.

U svim slučajevima, osim kod mjerenja koje se odnosilo na period 27.11–10.12.2014, dobijeno je slaganje izmjerene sa proračunatom vrijednošću koeficijenta prolaza toplote u okviru eksperimentalne greške.

4. UTICAJ OBLAČNOSTI NA MJERENJE

U cilju sveobuhvatnije analize izmjerenih vrijednosti koeficijenta prolaza toplote detaljno su proučene

vrijednosti unutrašnje i spoljašnje temperature, njihove razlike i U-vrijednosti prema odgovarajućim intervalima mjerenja (tabela 1). Prosječna spoljašnja temperatura je bila najviša (7,0 °C) u periodu mjerenja 23.10–30.10, a najniža (-0,1 °C) u periodu mjerenja 04.02–10.02. Hladan spoljašnji vazduh je uzrokovao povećan gubitak toplote, te stoga i najnižu prosječnu temperaturu unutar prostorije (17,2 °C) i najveću prosječnu temperaturnu razliku (17,4 °C) u periodu 04.02–10.02, dok su sa druge strane blaže vremenske prilike uzrokovale najvišu prosječnu temperaturu unutar prostorije (21,2 °C) i najmanju prosječnu temperaturnu razliku (14,3 °C) u periodu 23.10–30.10. Minimalna spoljašnja temperatura je zabilježena 09.02.2015. u 07:07 časova i iznosila je -6,1 °C, dok je maksimalna spoljašnja temperatura zabilježena 26.10.2014. u 13:49 i iznosila je 11,1 °C. Maksimalna temperatura unutar prostorije je zabilježena 23.10.2014. u 16:49 i iznosila je 22,6 °C, dok je najniža temperatura zabilježena 05.02.2014. u 03:52 i iznosila je 15,8 °C.

Tabela 1. Karakteristične vrijednosti unutrašnje i spoljašnje temperature, njihove razlike i vrijednosti koeficijenta prolaza toplote prema odgovarajućim intervalima mjerenja

	Interval mjerenja	23.10.-30.10.	27.11.-10.12.	04.02.-10.02.
t _u	Max	22,6	20,8	18,5
	Min	19,9	18,3	15,8
	Average	21,2	19,7	17,2
	Stdev	0,6	0,6	0,7
t _s	Max	11,1	7,3	3,5
	Min	1,4	1,3	-6,1
	Average	7,0	4,8	-0,1
	Stdev	2,0	1,2	1,7
Δt	Max	18,9	18,2	22,5
	Min	10,3	12,1	14,5
	Average	14,3	14,8	17,4
	Stdev	1,7	1,3	1,5
U	Max	1,949	1,556	2,017
	Min	0,723	0,646	0,826
	Average	1,269	1,025	1,200
	Stdev	0,257	0,155	0,189

Usljed toplotne akumulativnosti zida oscilacije unutrašnje temperature su, kao što je i očekivano, prigušenije u odnosu na oscilacije spoljašnje temperature. Najviša vrijednost koeficijenta prolaza toplote (1,949 W/m²·K) izmjerena je 26.10.2014. u 11:34, a najniža (0,646 W/m²·K) 10.12.2014. u 0:15.

Prosječne vrijednosti koeficijenata prolaza toplote u prvom (1,269 W/m²·K) i posljednjem (1,200 W/m²·K) periodu mjerenja se međusobno dobro slažu,

dok je prosječna vrijednost drugog perioda mjerenja (1,025 W/m²·K) nešto niža od ostalih.

Detaljnijim analiziranjem podataka o oblačnosti, prekrivenosti niskim oblacima i trajanju sunčevog sjaja izmjerenim na meteorološkoj stanici u Banja Luci (tabela 2) [10] može se zaključiti zbog čega je dobijena niža prosječna U-vrijednost u drugom intervalu mjerenja. U periodu mjerenja 27.11–30.12.2014. godine nebo je u potpunosti bilo prekriveno oblacima, sa prosječnom oblačnošću 7,9/8 i sa izrazito velikim prisustvom niskih oblaka prosječne pokrivenosti 6,9/8. Pored toga, ovaj period karakteriše i relativno kratak sunčev sjaj prosječnog dnevnog trajanja 0,2 h.

U poređenju sa druga dva perioda, prosječne vrijednosti ukupne oblačnosti i prekrivenosti niskim oblacima su niže, a prosječno trajanje sunčevog sjaja više.

Kada nebo nije u potpunosti prekriveno oblacima, na spoljašnju površinu elementa konstrukcije dolazi određena količina direktnog ili difuznog Sunčevog zračenja. Usljed dodatnog priliva energije toplotni tok kroz zid se narušava, što rezultuje većim vrijednostima koeficijenta prolaza toplote.

S druge strane, kada je nebo u potpunosti prekriveno oblacima i kada su dominantni niski oblaci, direktno sunčevo zračenje gotovo ne dopijeva do Zemljine površine [11]. Pored toga, i difuzno Sunčevo zračenje je znatno oslabljeno. Pri zanemarljivo malom dotoku ili u potpunom odsustvu direktnog i difuznog zračenja, vrijednost koeficijenta prolaza toplote koja se dobije metodom mjerenja toplotnog fluksa je stoga niža.

Dobar primjer za to su mjerenja tokom noći, kada vrijednost koeficijenta prolaza toplote dostiže svoju minimalnu vrijednost. Takođe, u potpuno oblačnim danima, pored smanjenog dotoka direktnog i difuznog zračenja i oscilacije spoljašnje temperature su prigušenije, što u konačnici rezultuje prigušenim oscilovanjem koeficijenta prolaza toplote.

Zbog toga se može očekivati, da se pri ovakvim vremenskim uslovima, metodom mjerenja toplotnog fluksa dobije nešto niža vrijednost koeficijenta prolaza toplote, a da dnevne oscilacije ove veličine budu prigušenije nego u prvom slučaju.

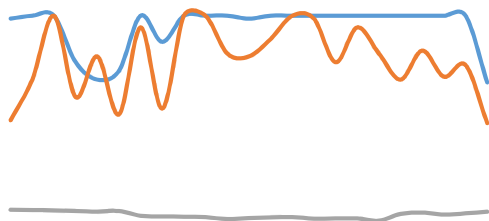
Kao potvrda navedene pretpostavke, dobijen je negativan koeficijent povezanosti od -0.47 između dnevne oblačnosti i prosječnog dnevnog koeficijenta prolaza toplote.

Nešto veći uticaj niskih oblaka i nešto veću antipovezanost između dnevne pokrivenosti niskim oblacima i prosječnog dnevnog koeficijenta prolaza toplote je potvrdio i njihov međusobni koeficijent povezanosti od -0.52.

Tabela 2. Vremenske prilike tokom mjerenja: ukupna oblačnost (O), prekrivenost niskim oblacima (NO) i trajanje sunčevog sjaja (TSS)

Period mjerenja	O (1/8)	NO (1/8)	TSS (h)
23.10.-30.10.	7,0	5,5	0,9
27.11.-10.12.	7,9	6,9	0,2
04.02.-10.02.	7,2	4,7	0,7

Na slici 5 je prikazan hod dnevne oblačnosti i dnevne prekrivenosti niskim oblacima tokom svih dana mjerenja uporedo sa hodom prosječnog dnevnog koeficijenta prolaza toplote. Sa slike je vidljivo da je u danima u kojima je oblačnost bila niža, prosječna vrijednost koeficijenta prolaza toplote bila viša i suprotno. Stoga, usljed povećane oblačnosti u drugom intervalu mjerenja dobijena je nešto niža vrijednost koeficijenta prolaza toplote u odnosu na ostala mjerenja.



Slika 5 - Hod dnevne oblačnosti (plava) i dnevne pokrivenosti niskim oblacima (crvena) nasuprot hoda prosječnog dnevnog koeficijenta prolaza toplote (zeleno)

U konačnici, može se zaključiti da vremenski uslovi utiču na rezultate mjerenja koeficijenta prolaza toplote, čak iako se ispoštuju sva pravila koja su propisana standardom ISO 9869. Od meteoroloških promjenljivih, najveći uticaj na mjerenje ima oblačnost, odnosno, sunčevo zračenje. Pri smanjenoj oblačnosti, veća količina Sunčevog zračenja dopijeva do spoljne površine građevinskog elementa, što dovodi do narušavanja toplotnog toka i rezultuje većim vrijednostima koeficijenta prolaza toplote. Nasuprot tome, u uslovima povećane oblačnosti, dešava se obrnut proces, manji je priliv energije na spoljašnju površinu zida, što rezultuje nižim vrijednostima koeficijenta prolaza toplote.

4. ZAKLJUČAK

Predmetni vrtić je izgrađen 1977. godine i prema tehničkoj dokumentaciji koja se pridržavala Pravilnika o jugoslovenskim standardima za toplotnu tehniku u građevinarstvu. Prema teorijskom proračunu vrije-

dnost koeficijenta prolaza toplote karakterističnog spoljašnjeg zida se nalazi u intervalu od $1,241 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ do $1,404 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. S druge strane, izmjerene U-vrijednosti u svim slučajevima ($1,269 \pm 0,276 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $1,025 \pm 0,175 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$, $1,200 \pm 0,212 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) se međusobno ne razlikuju u okviru eksperimentalne greške. Nakon detaljnije analize izmjerenih vrijednosti zaključeno je da su spoljašnji vremenski uslovi uticali na dobijanje niže vrijednosti koeficijenta prolaza toplote mjerenja izvedenog u periodu 27.11–10.12.2014. u odnosu na ostala dva perioda. Ispitana je povezanost izmjerene U-vrijednosti sa dnevnom oblačnošću i dnevnom pokrivenošću niskim oblacima, pri čemu je utvrđena negativna povezanost. Pri potpunoj pokrivenosti niskim oblacima, metodom mjerenja gustine toplotnog fluksa dobijena je nešto niža vrijednost koeficijenta prolaza toplote, u odnosu na djelimično ili potpuno bezoblačne dane.

LITERATURA

- [1] ISO 6946 - Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method
- [2] Antunović, B, Stanković, M, Janković, A., Gajić, D, Todorović, D, Mjerenje koeficijenta prolaza toplote zida u zgradi Rektorata univerziteta u Banjoj Luci, Međunarodni naučno-stručni skup „Savremena teorija i praksa u graditeljstvu“, Zavod za izgradnju a.d., Banja Luka, 2012, str. 37-46.
- [3] ISO 13790:2008, Energy performance of buildings - Calculation of energy use for space heating and cooling.
- [4] Antunović, B, Janković, A., Preradović, LJ, Toplotne performanse omotača zgrada predškolskog vaspitanja i obrazovanja, Zbornik radova Građevinskog fakulteta Subotica, Međunarodna konferencija „Savremena dostignuća u građevinarstvu“, Subotica, 2014, str. 545-550.
- [5] Šild, K, Vilems, V. M, Građevinska fizika – priručnik – deo I, Građevinska knjiga, Beograd, 2008.
- [6] Hens H, Building Physics – Heat, Air and Moisture, Ernst & Son, Berlin, Germany, 2007.
- [7] ISO 9869:1994, Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance.
- [8] Antunović, B, Gajić, D, Janković, A, Toplotni gubici kroz omotač zgrada predškolskog vaspitanja, Naučno-stručni simpozijum „Instalacije i Arhitektura“, Beograd, 2014, str. 42 -48.

- [9] JUS U.J5.510, Toplotna tehnika u građevinarstvu – Metode proračuna koeficijenta prolaza toplote u zgradama.
- [10] <http://www.ogimet.com/>, 14.02.2015.
- [11] Janković, A, Lalić, B, Analysis of Statistical Methods for Estimating Solar Radiation, Geographica Panonica, Vol. 18, Issue 1 (march 2014), p. 1-5.

SUMMARY

MEASUREMENT OF THERMAL TRANSMITTANCE OF OPAQUE FACADE WALL RELATIONSHIP WITH METEOROLOGICAL CONDITIONS

This paper presents the results of measurements of thermal transmittance or as otherwise called U-value [$W/m^2 \cdot K$] of opaque facade wall of preschool institution built in 1977. The building has an incomplete technical documentation according to which considered wall was built of brick and masonry mortar. Thermal characteristics of the incorporated materials have not been specified. Considering that in the period of building construction JUS standards was used, a possible range of calculated U-values was obtained (1,241-1,404 $W/m^2 \cdot K$). Measurements were performed in accordance with ISO 9869 during three time periods with the resulting U-values (1,269±0,276 $W/m^2 \cdot K$; 1,025±0,175 $W/m^2 \cdot K$; 1,200±0,212 $W/m^2 \cdot K$) that do not differ from each other within experimental uncertainty. Furthermore, the correlation of the measured U-values and meteorological conditions that prevailed during the measurements was analyzed. In the second measurement period, the average values of the total cloud cover and low cloud cover were less, and the average duration of sunshine was longer than in the other two measurement periods.

Key words: *thermal transmittance, in-situ measurement, meteorological conditions*