

Ispitivanje toplotne izolovanosti novoizgrađenog objekta uprave Policije Distrikta Brčko

Aleksandar Janković¹, Darija Gajić¹, Biljana Antunović¹, Saša Čvoro¹, Mladen Slijepčević¹

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Arhitektonsko-građevinsko-geodetski fakultet, Banja Luka, Republika Srpska
aleksandar.jankovic@aggf.unibl.org, darija.gajic@aggf.unibl.org, biljana.antunovic@aggf.unibl.org, sasa.cvoro@aggf.unibl.org, mladen.slijepcevic@aggf.unibl.org

Sažetak— Ispitivanje toplotne izolovanosti novoizgrađenog objekta policije Distrikta Brčko obavljeno je u cilju provjere ispunjenosti zahtjeva definisanih projektovanim i propisanim uslovima. Mjerenjem koeficijenta prolaza toplote i termografskim pregledom utvrđeno je da vanjski zid po svojim toplotnim karakteristikama na ispitivanim mjernim pozicijama ispunjava propisane zahtjeve i da u omotaču objekta nema toplotnih nepravilnosti, niti povećanih toplotnih gubitaka i odstupanja u odnosu na projektovano stanje.

Ključne riječi—termokamera; koeficijent prolaza toplote; HFM metod; termogram;

I. UVOD

U cilju provjere ispunjenosti zahtjeva definisanih projektovanim i propisanim uslovima izvršeno je ispitivanje toplotne izolovanosti novoizgrađenog objekta policije Distrikta Brčko. Objekat se nalazi u sjeverozapadnom dijelu Brčkog, u naselju Mujkići i udaljen je oko 200 metara od rijeke Save i granice sa Hrvatskom i oko 100 metara od putnog pravca Brčko – Banja Luka (Sl. 1).



Sl. 1. Lokacija novoizgrađenog objekta policije distrikta Brčko

Novi objekat policije distrikta Brčko je slobodnostojeći objekat koji se sastoji od četiri etaže (Sl. 2). Građen je prema visokim standardima energetske efikasnosti sa kvalitetnom toplotnom izolacijom. Objekat posjeduje vlastiti centralni sistem za grijanje, a takođe koristi energiju i iz alternativnih izvora. Kompletan vanjski zid je toplotno izolovan ekspandiranim polistirenom EPS ($\lambda=0.040 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), debljine 12 cm. Ostatak vanjskog zida čine dvostruko ostakljeni prozori sa aluminijumskim profilima.



Sl. 2. Jugoistočna i jugozapadna fasada

Ispitivanje toplotnih karakteristika omotača izvršeno je pomoću instrumenta za određivanje koeficijenta prolaza toplote Testo 435-2 i termografskim pregledom objekta termokamerom Testo 885. Određivanje koeficijenta prolaza toplote u realnim uslovima pomoću Testo 435-2 uređaja je izvršeno u skladu sa standardom BAS ISO 9869-1 (2015) [1]. Tehničke karakteristike multifunkcionalnog mjernog instrumenta za određivanje koeficijenta prolaza toplote zida date su u tabeli I.

TABELA I. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE MJERNOG UREĐAJA TESTO 435-2

Testo 435-2 za mjerenje U vrijednosti			
	<i>mjerni opseg</i>	<i>preciznost</i>	<i>rezolucija</i>
Bežična imerziona/penetraciona sonda	-50 do +150 °C	±0.2 °C (-25 do 74.9 °C)	0.1 °C
TC temperaturna sonda za snimanje U-vrijednosti	-20 do +70 °C	±(0.1 Wm ⁻² K ⁻¹ ili 2 % srednje vrijednosti) pri temperaturnoj razlici od 20 °C	0.001 Wm ⁻² K ⁻¹

Termokamera Testo 885 omogućava termovizijsko snimanje objekata registrovanjem emitovanog infracrvenog zračenja u opsegu talasnih dužina od 0.9 do 14 mikrometara. Infracrveno zračenje zavisi od temperature objekta, pa termokamera omogućava i procjenu površinske temperature. Termovizijski pregled objekta izvršen je u skladu sa važećim standardom BAS EN 13187 (2013) [2]. Tehničke karakteristike termokamere Testo 885 su prikazane u tabeli II.

TABELA II. TEHNIČKE KARAKTERISTIKE TERMOKAMERE TESTO 885

Testo 885 termokamera	
Rezolucija	320 X 240
Termička senzitivnost	30 mK pri 30 °C
Tačnost	±2 % ili 2 °C
Veličina slike	3.1 MP
Temperaturni opseg mjerenja	-20 do 100 °C ili 0 do 350 °C
Radna temperatura (ambijentalni uslovi)	-15 do 50 °C

II. ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA PROLAZA TOPLOTE VANJSKOG ZIDA

Vanjski zid, koji čini dio toplotnog omotača objekta koji graniči sa spoljašnjim vazduhom u potpunosti je toplotno izolovan ekspanziranom polistirenom EPS ($\lambda=0.040 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) debljine 12 cm. Površina koju zauzima vanjski zid, oduzimajući površinu koju nose ugrađeni prozori iznosi 2191 m². Površina koju zauzimaju prozori u termičkom omotaču objekta iznosi 665 m² i u pitanju su dvostruko ostakljeni prozori sa aluminijumskim profilima. Četiri vrste prozora su ugrađeni u vanjski zid čija se U-vrijednost kreće između 1.4 i 1.5 Wm⁻²K⁻¹, u zavisnosti od udjela aluminijumskog okvira u površini prozora.

Prema projektnim karakteristikama koeficijent prolaza topline vanjskog zida iznosi 0.300 Wm⁻²K⁻¹, a toplotne karakteristike materijala koji čine ovaj zid su prikazane u tabeli III.

TABELA III. TERMIČKE KARAKTERISTIKE VANJSKOG ZIDA

Naziv materijala	Debljina (cm)	Koeficijent toplotne provodljivosti (W/mK)	Toplotna otpornost (m ² K/W)
Unutrašnji prelaz toplote			0.130
Cementni malter	2	1.4	0.014
AB ploča	20	1.51	0.132
Ekspanzirani polistiren - EPS	12	0.040	3.000
Fasadni malter	1	0.7	0.014
Spoljašnji prelaz toplote			0.040
Koeficijent prolaza toplote zida		U (Wm⁻²K⁻¹)	0.300

U zavisnosti od klimatske zone, važeći Pravilnici propisuju i odgovarajuće maksimalne dopuštene vrijednosti koeficijenta prolaza toplote za građevinske elemente. Distrikt Brčko prema svojim klimatskim karakteristikama ima srednju mjesečnu temperaturu najhladnijeg mjeseca u godini nižu od 3 °C, pa stoga spada u hladniju klimatsku zonu BiH. Prema važećem Pravilniku u Republici Srpskoj [3], najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaza toplote za vanjske zidove u hladnijoj klimatskoj zoni iznosi 0.300 Wm⁻²K⁻¹. S druge strane, prema važećem Pravilniku u Federaciji BiH [4], najveća dopuštena vrijednost koeficijenta prolaza toplote za vanjske zidove u hladnijoj klimatskoj zoni iznosi 0.450 Wm⁻²K⁻¹.

Koeficijent prolaza toplote zida mjereno je na dvije pozicije na vanjskom zidu. 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 trodnevna kontinualna mjerenja sa petnaestominutnim periodom osrednjavanja, čime je postignuta veća vjerovatnoća dobijanja reprezentativnih vrijednosti. Sa unutrašnje strane zida je postavljen senzor za mjerenje gustine toplotnog fluksa, dok je senzor za mjerenje temperature vazduha izvan prostorije postavljen simetrično sa druge strane zida [5]. 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 (detaljnije u odjeljku III - Termovizijsko snimanje objekta). Tokom čitavog perioda mjerenja razlika između temperature spoljašnjeg i unutrašnjeg vazduha iznosila je više od 10 °C.

Za teže građevinske elemente koji imaju specifičnu toplotu po jediničnoj površini veću od 20 kJ·m⁻²K⁻¹, mjerenje se vrši tokom perioda koji je jednak cjelobrojnom umnošku 24 h. Test se može završiti samo kada trajanje testa duže od 72 h, a vrijednost toplotne otpornosti dobijena na kraju testa ne odstupa za više od ± 5% od vrijednosti dobijene 24 h ranije [6]. Takođe, promjena u akumuliranoj toploti unutar zida treba biti manja od 5% od toplote koja prolazi kroz zid tokom perioda testiranja. Toplotna otpornost dobijena analizom

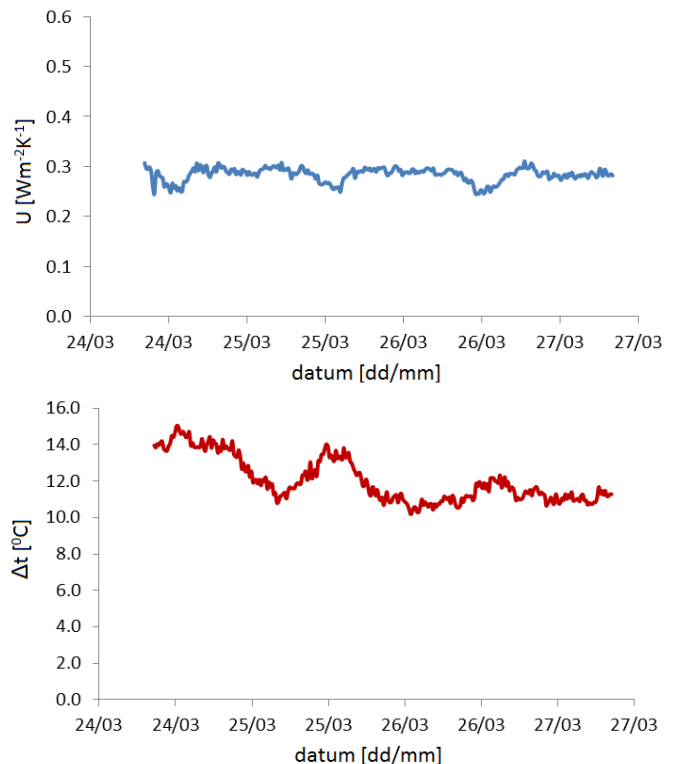
podataka iz prvog dijela mjernog perioda tokom INT (2 x DT / 3) broja dana ne smije odstupati za više od $\pm 5\%$ od vrijednosti dobijene iz posljednjeg dijela mjernog perioda istog trajanja, pri čemu je DT trajanje testa u danima, a INT označava cjelobrojni dio broja [7].

Prva mjerna pozicija nalazi se na sjeverozapadnoj fasadi, (Sl. 3a i 3b). Srednja vrijednost koeficijenta prolaza toplote zida za trodnevni interval mjerenja iznosi $0.296 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, dok prosječna temperaturna razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha tokom ovog intervala mjerenja iznosi $12.4 \text{ }^\circ\text{C}$. Druga mjerna pozicija nalazi se na sjeveroistočnoj fasadi. Srednja vrijednost koeficijenta prolaza toplote zida za trodnevni interval mjerenja iznosi $0.284 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, dok prosječna temperaturna razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha tokom ovog intervala mjerenja iznosi $11.1 \text{ }^\circ\text{C}$.



Sl. 3. a) položaj U-senzora unutar prostorije i b) položaj bežičnog temperaturnog senzora na sjeverozapadnoj fasadi

Vrijednost toplotne otpornosti na kraju mjernog perioda odstupa za $+0.3\%$ (prva mjerna pozicija) i $+2.39\%$ (druga mjerna pozicija) u odnosu na vrijednost dobijenu 24h ranije. Toplotna otpornost dobijena analizom podataka za vremenski period koji obuhvata prva dva dana mjerenja odstupa -1.26% (prva mjerna pozicija) i -3.37% (druga mjerna pozicija) u odnosu na vrijednost dobijenu za vremenski period koji obuhvata posljednja dva dana mjerenja. Grafički prikaz rezultata mjerenja koeficijenta prolaza toplote i odgovarajuće temperaturne razlike između spoljašnjeg i unutrašnjeg vazduha na mjestu poziciji 1 (sjeverozapadna fasada) su prikazani na slici 4.



Sl. 4. a) koeficijent prolaza toplote i b) temperaturna razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha na prvoj mjestu poziciji

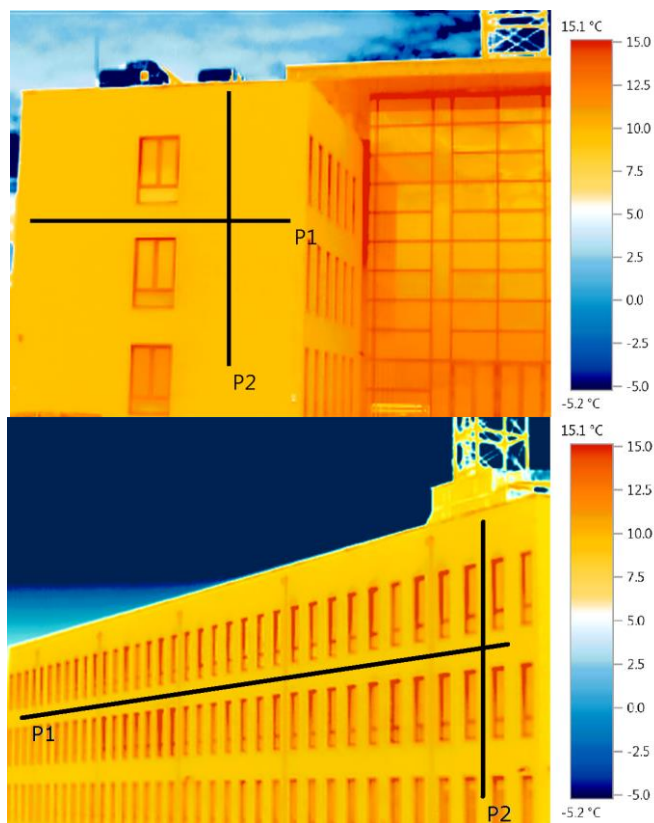
Prema dobijenim rezultatima sa ispitivane dvije mjerne pozicije može se zaključiti da spoljašnji zid po svojim toplotnim karakteristikama i ugrađenoj toplotnoj izolaciji odgovara kako projektovanim, tako i propisanim uslovima oba entitetska Pravilnika. Mjerenjem je utvrđeno da je koeficijent prolaza toplote zida zanemarljivo niži u odnosu na projektnu vrijednost. Njegova izmjerena vrijednost je značajno niža u odnosu na vrijednost koju propisuje Pravilnik o tehničkim zahtjevima za toplotnu zaštitu objekata i racionalnu upotrebu energije u Federaciji BiH ($U=0.450 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) i neznatno niža u odnosu na Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada u Republici Srpskoj ($U=0.300 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$), na osnovu čega se može zaključiti da je toplotno-izolacioni kvalitet vanjskog zida visok i da su njegove toplotne karakteristike u skladu sa važećim regulativama.

III. TERMORIZIJSKO SNIMANJE OBJEKTA

U cilju ispitivanja stanja omotača objekta i njegove toplotne izolovanosti sprovedeno je termovizijsko snimanje objekta. Kamera kojom je obavljeno termovizijsko snimanje objekta je Thermal imager – Testo 885, a obrada termovizijskih fotografija urađena je u programu Testo IRSof Software. U toku termovizijskog snimanja, na dan 25.03.2016. godine, vremenski uslovi su bili odgovarajući: nije bilo padavina, brzina vjetrova nije prelazila vrijednost od 4 km/h , spoljašnja temperatura vazduha je iznosila $8 \text{ }^\circ\text{C}$, a relativna vlažnost vazduha 60% . Snimanje objekta je obavljeno u toku noći, pa nijedan dio fasade nije bio osunčan, a površina omotača zgrade je bila suva. Snimanje je vršeno tokom perioda, kada je unutrašnjost objekta bila zagrijana, pri čemu

je unutrašnja temperatura vazduha iznosila 21°C. Temperaturna razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg vazduha je bila na potpuno zadovoljavajućem nivou (13 °C).

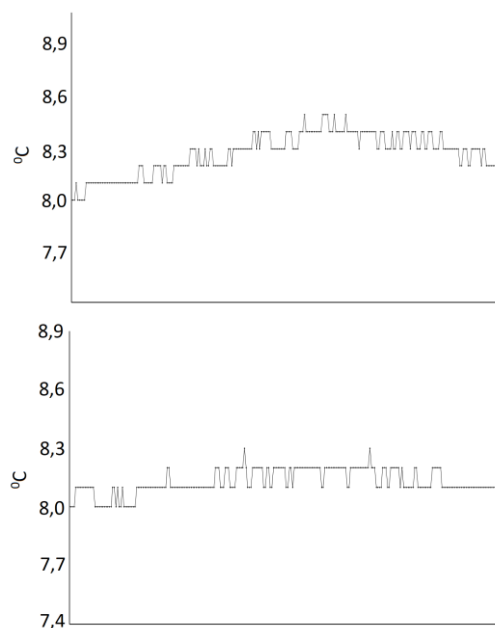
Snimanje je obavljeno u dvije faze: vanjsko snimanje omotača zgrade obavljeno je od 3:00 do 3:45 časa, a snimanje unutrašnjosti zgrade od 3:45 do 4:30 časa. Kolekcija termovizijskih snimaka obuhvata: snimke omotača zgrade slikane spolja i snimke omotača zgrade slikane iz prostorija u kojima je mjereno koeficijenta prolaza toplote. Ukupno je snimljeno oko 40 IC snimaka. U izvještaju su prikazani reprezentativni snimci fasada objekta, na slikama 5a i 5b, a na slikama su prikazani temperaturni profili, na osnovu kojih se mogu izvući zaključci o kvalitetu ugradnje toplotne izolacije i stepenu toplotne izolovanosti objekta.



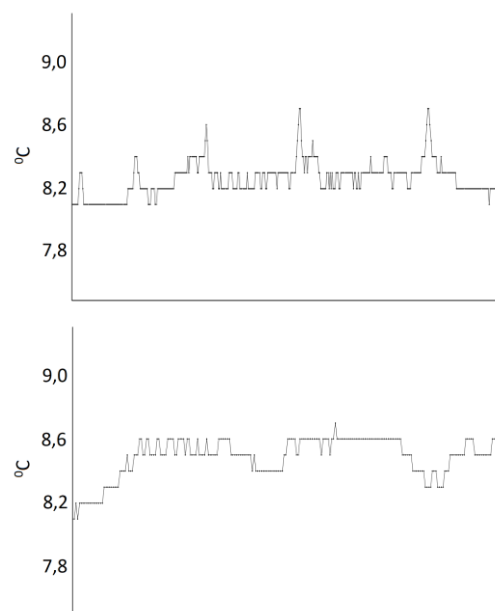
Sl. 5. Termovizijski snimak a) sjeverozapadne i b) jugozapadne fasade (linija P1 označava horizontalni, a linija P2 vertikalni temperaturni profil)

Niske temperature spoljašnje površine omotača na fasadi pri temperaturi spoljašnjeg vazduha od oko 8 °C ukazuju na dobru toplotnu izolovanost objekta (od 8.0 °C do 8.7 °C). Na termogramima je primjetna temperaturna homogenost spoljašnje površine aluminijskih okvira i zastakljenja, što ukazuje na kvalitetnu ugradnju prozora. Takođe, ne javljaju se ni značajnije temperaturne razlike između najtoplijih i najhladnijih tačaka na elementima prozora [8]. Horizontalni temperaturni profil duž prikazane sjeverozapadne i jugozapadne fasade najviše oscilira za 0.3 °C i 0.6 °C, redom, (Sl. 6a i 7a), a vertikalni temperaturni profil za 0.3 °C i 0.6 °C, redom, (Sl. 6b i 7b). Temperaturna uniformnost u horizontalnom i vertikalnom pravcu duž fasada ukazuju na

homogenost strukture spoljašnjeg zida i ujednačenu debljinu toplotne izolacije.



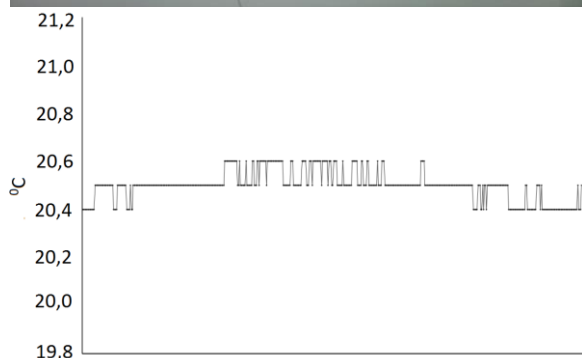
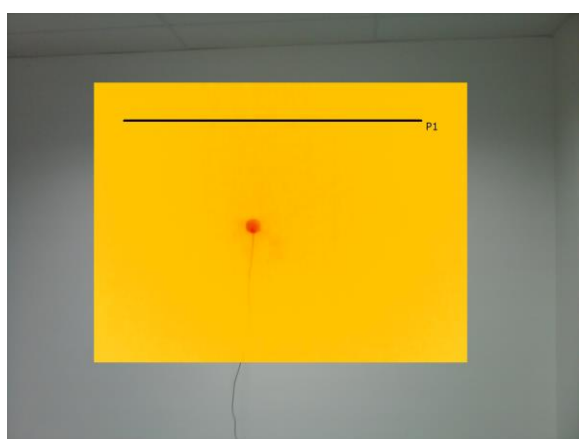
Sl. 6. a) Horizontalni i b) vertikalni temperaturni profil na sjeverozapadnoj fasadi označeni sa linijama P1 i P2 na slici 5a



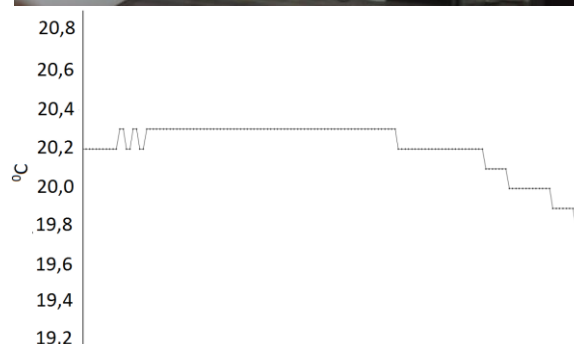
Sl. 7. a) Horizontalni i b) vertikalni temperaturni profil na jugozapadnoj fasadi označeni sa linijama P1 i P2 na slici 5b

Na osnovu horizontalnog temperaturnog gradijenta i slika 8 i 9, može se zaključiti da su U-senzori za određivanje koeficijenta prolaza toplote postavljeni u najbolji mogući položaj, čime je izbjegnuto značajniji uticaj toplotnih mostova i temperaturnih nepravilnosti, a ujedno i omogućeno pravilno određivanje reprezentativnog koeficijenta prolaza toplote

vanjskog zida. Visoke temperature unutrašnje površine vanjskog zida (sjeverozapadni zid – 20.5 °C, jugozapadni zid – 20.2 °C) pri temperaturi unutrašnjeg vazduha od 21 °C ukazuju na dobru toplotnu izolovanost objekta. Horizontalni temperaturni gradijent na unutrašnjoj površini sjeverozapadnog vanjskog zida gotovo da i ne postoji. Temperaturni gradijent na unutrašnjoj površini jugozapadnog vanjskog zida u oblasti između dva prozora je slab i iznosi 0.5 °C, ali prvenstveno zbog toga što element graniči sa prozorima kroz koje se uobičajeno javlja povećan gubitak toplote. Ipak po svojoj vrijednosti ovaj gradijent je mali da bi mogao uticati na mjerenja koeficijenta prolaza toplote na ovoj poziciji. Na osnovu homogenosti temperaturnih polja i postojanja zanemarljivih gradijenata, može se zaključiti da je vanjski zid po svojoj strukturi homogen sa ujednačenom debljinom toplotne izolacije.



Sl. 8. a) Horizontalni i b) vertikalni temperaturni profil na sjeverozapadnoj fasadi označeni sa linijama P1 i P2 na slici 5a



Sl. 9. a) Horizontalni i b) vertikalni temperaturni profil na sjeveroistočnoj fasadi označeni sa linijama P1 i P2 na slici 5a

IV. ZAKLJUČAK

Na osnovu mjerenja koeficijenta prolaza toplote može se zaključiti da vanjski zid po svojim toplotnim karakteristikama na ispitivanim mjernim pozicijama ispunjava zahtjeve propisane kako Pravilnikom o tehničkim zahtjevima za toplotnu zaštitu objekata i racionalnu upotrebu energije (Sl. Novine FBiH, broj 49/09), tako i Pravilnikom o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada (Sl. Glasnik RS, broj 30/15). Takođe, na osnovu istih rezultata može se zaključiti da je debljina ugrađene toplotne izolacije na vanjskom zidu 12 cm koeficijenta toplotne provodljivosti $0.040 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$. Termovizijski pregled objekta ukazuje da u omotaču objekta nema toplotnih nepravilnosti, niti povećanih toplotnih gubitaka i odstupanja u odnosu na projektovano stanje. Termovizijski snimci pokazuju homogenost strukture vanjskog zida i ujednačenu debljinu toplotne izolacije. Na osnovu snimaka može se zaključiti da je vanjski zid čitavom svojom površinom izolovan toplotnom izolacijom debljine 12 cm koeficijenta toplotne provodljivost $0.040 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$, kako je i bilo predviđeno projektantskim zahtjevima, a da su toplotne karakteristike omotača duž čitave površine zadovoljavajuće u pogledu zahtjeva koji su propisani važećim Pravilnicima.

LITERATURA

- [1] BAS ISO 9869-1:2015, Mjerenje "in situ" toplotnog otpora i toplotne provodljivosti - Dio 1: Metoda mjerenja mjeračem toplotnog toka, Međunarodna organizacija za standardizaciju, Ženeva, Švajcarska.
- [2] BAS EN 13187:2013, Kvalitativno otkrivanje toplotnih nepravilnosti u omotaču zgrada – infracrvena metoda. Međunarodna organizacija za standardizaciju, Ženeva, Švajcarska.

- [3] Pravilnik o minimalnim zahtjevima za energetske karakteristike zgrada u Republici Srpskoj, Službeni Glasnik Republike Srpske, broj 30/15.
- [4] Pravilnik o tehničkim zahtjevima za toplotnu zaštitu objekata i racionalnu upotrebu energije u Federaciji BiH, Službene Novine Federacije BiH, broj 49/09.
- [5] B. Antunović, A. Janković i Lj. Preradović, „Merenje koeficijenta prolaza toplote neprozirnog fasadnog zida i povezanost sa meteorološkim uslovima,“ Tehnika, vol. 70(4), str. 593 – 598, 2015.
- [6] B. Antunović, M. Stanković, A. Janković, D. Gajić, D. Todorović, „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, str. 37-46, 2012.
- [7] A. Janković, B. Antunović, Lj. Preradović, „Alternative Method for On Site Evaluation of Thermal Transmittance,“ FACTA UNIVERSITATIS Series: Mechanical Engineering, Vol. 15, No 2, 2017, pp. 341 – 351.
- [8] A. Janković, D. Gajić, B. Antunović, „Značaj blower door test-a pri određivanju broja izmjena vazduha na čas,“ Međunarodna naučno-stručna konferencija Savremena teorija i praksa u graditeljstvu, Arhitektonsko-gradjevinski fakultet Univerziteta u Banjoj Luci, 229-236, 2016.

ABSTRACT

Inspection of the thermal insulation of the newly constructed building of the Brčko District Police Department was carried out in order to check the fulfillment of the requirements defined by the projected and prescribed conditions. By measuring the thermal transmittance and thermographic inspection it was determined that the outer wall, according to its thermal characteristics, meets the prescribed requirements and that there are no thermal irregularities in the envelope of the building as well as no increased heat losses and deviations from the projected state.

INSPECTION OF THE THERMAL INSULATION OF THE NEWLY CONSTRUCTED BUILDING OF THE BRČKO DISTRICT POLICE DEPARTMENT

Aleksandar Janković, Darija Gajić, Biljana Antunović, Saša Čvoro, Mladen Slijepčević