

УТВРЂИВАЊЕ ПОТЕНЦИЈАЛА ЗА ПОБОЉШАЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ КАРАКТЕРИСТИКА ЗГРАДА ПРИМЕНОМ ТЕРМОГРАФИЈЕ

ESTABLISHMENT OF POTENTIALS
FOR BUILDING ENERGY EFFICIENCY
IMPROVEMENT BY THERMO GRAPHIC
SNAP SHOOTING

Abstract:

Резиме

Примена термографије у грађевинарству као метода за оцену топлотних карактеристика зграда је релативно нова. Термографским снимањем могуће је констатовати неизолована или слабо изолована места омотача, као и места продувавања код незаптивених прозора или фасада која представљају извор највећих топлотних губитака. На тај начин код реконструкције зграда потребно је управо интервенисати и посебно обратити пажњу на таква места, а при пројектовању нових зграда избећи постојеће грешке из праксе. У раду су приказани термографски снимци више стамбених зграда из Београда и извршена је анализа добијених резултата, односно констатована су места са највећим топлотним губицима. Анализирани објекти су из периода у коме је у Београду изграђено више од 25% данас постојећег фонда а примена термоизолације није била условљена важећим прописима, па би ови објекти, кроз евентуалну енергетску реконструкцију, могли да допринесу значајној уштеди енергије.

Кључне речи: Енергетска ефикасност, топлотни губици, реконструкција зграда, термографско снимање зграда

Увод

У оквиру програма научних пројеката из области технолошког развоја Министарство за науку и технологију Републике Србије финансирало је већим делом набавку термовизијске камере за потребе Истраживачког пројекта Архитектонског факултета из области енергетске ефикасности зграда, док су други део средстава издвојили сами истраживачи. Истраживачи су такође финансирани и обуку кадрова за потребе рада на овој камери и интерпретацију добијених резултата. Камера је набављена крајем 2005. године, а обука је обављена у пролеће 2006. године, тако да су прва снимања, због потребних временских услова, обављена тек у позну јесен 2006. године.

Several buildings in New Belgrade were photographed with thermal vision camera and the analyze of snapshots is presented in the paper. The chosen buildings, as representatives of specific construction method, were built in the period from 1950. to 1960., when according to the regulations, application of the thermal insulation was not obligatory. As more than 25% of buildings in Belgrade were built in that period, those buildings represent a great potential for energy saving through the process of refurbishment.

Key words: energy efficiency, thermal loss, building reconstruction, building thermographic snapshooting

* Проф. др Милица Поповић дија, асист. Наташа Ђуковић дија, Душан Игњатовић дија, Архитектонски факултет Универзитета у Београду

ТЕРМОВИЗИЈА

Наука која се бави прикупљањем и анализом термалних карактеристика објеката преко њихових термалних слика – термограма, а без успостављања директног физичког контакта се назива термовизија.

Примена термовизије је веома разноврсна и она углавном обухвата:

- процесе одржавања базиране на мерењима стања,
- истраживачке и развојне пројекте,
- медицинске и ветеринарске примене,
- контролу квалитета,
- процесну контролу,
- недеструктивно тестирање.

Снимање у реалном времену уз „инертност“ прикупљања података о самом процесу (објекту посматрања) исказана кроз одсуство контакта, гарантује његово неометано одвијање (не утиче се на ток) уз правовремене информације, обезбеђује сигурност у раду и представља велику предност термовизије као методе.

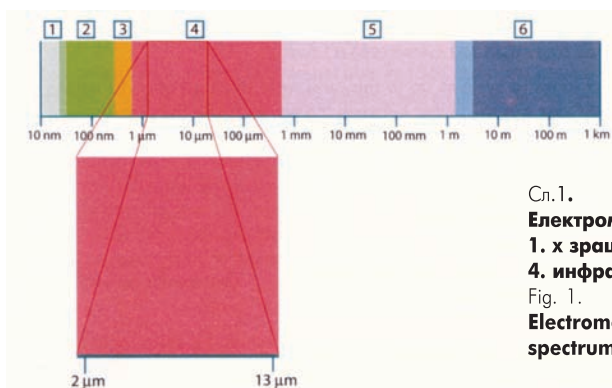
Грађевинарство се као делатност у овој дијагностичкој области првенствено сврстава у домен одржавања и делом контроле квалитета и као такво у последње време представља стандардан метод сертификације и провере функционисања објеката. Захтеви за високим степеном комфора и енергетском ефикасношћу објеката значајно доприносе повећању употребе ове дијагностичке методе.

Поља примене су разноврсна и углавном се односе на:

- дијагностицирање квалитета термоизолације, начина њеног постављања, дефеката, термалних мостова,
- утврђивање зона инфилтрације ваздуха,
- утврђивање зона кондензације,
- утврђивање зона продора влаге (цурења),
- цурења система грејања и других инсталација,
- застоја у цевима (у одређеним случајевима),
- варијације температура конструкције и омотача.

Теоријски основ

Термовизија се базира на мерењу зрачења у одређеном – инфрацрвеном спектралном опсегу (Сл.1 електромагнетски спектар), односно у таласним дужинама између 0.7 и 100 μm са корисним опсегом од 2-5 μm односно 8-14 μm .



Сл.1.

Електромагнетски спектар:

1. x зраци, 2. UV зраци, 3. видљиви део спектра,

4. инфрацрвени зраци, 5. микроталаси, 6. радиоталаси

Fig. 1.

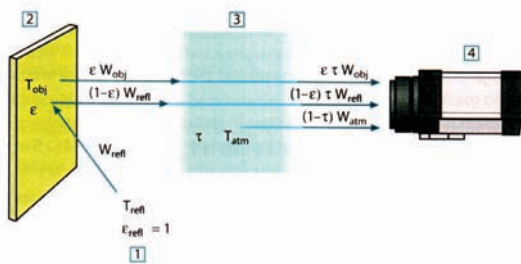
Electromagnetic spectrum: 1. x rays, 2. UV rays, 3. visible spectrum, 4. infrared rays, 5. microwaves, 6. radiowaves

Количина зрачења неког тела се може изразити помоћу Штефан-Болцмановог закона $W_b = \sigma T^4$ који описује зрачења такозваног црног тела. Међутим, зрачења обичних „сивих“ тела зависе и од њихове емисивности, односно способности да емитују енергију, што практично значи да тела исте температуре могу имати различиту слику зрачења. Емисивност се сматра количником енергије зрачења сивог према црном телу односно $\epsilon = W / W_b$.

Објекат у општем случају може одређену количину енергије да прими (абсорпција – α), рефлектује (рефлексија – ρ) или да пропусти (трансмисија – t) уз једначину $\alpha + \rho + t = 1$, међутим у грађевинарству најчешће објекти нису провидни и једначина се може свести на $\alpha + \rho = 1$.

Уколико знамо да је способност објекта да прими одређену количину енергије једнака способности да је емитује долазимо до израза $\epsilon + \rho = 1$, што представља основ калкулације.

Зрачење може потицати из различитих извора што најбоље илуструје приказ уобичајене шеме термографског снимања. (Сл. 2.)



Сл.2.

Шема термографског снимања:
1.окружење, 2.објекат, 3.атмосфера,
4.камера

Fig. 2.

Thermo graphic snapshooting scheme:
1.enviroment, 2.object, 3.atmosphere,
4.camera

Из овог графикана јасно видимо да је укупно зрачење у ствари сума енергије: емитоване из самог објекта, рефлектоване енергије окружења, и енергије емитоване од стране атмосфере. Термовизијска камера компензује утицаје рефлексије и утицаје атмосфере на основу података које је неопходно унети од стране оператера, преводећи зрачење самог тела у температуру на основу унапред калибрисаних резултата унетих у меморију камере и приказујући га у дигиталној форми у виду слике.

Основне технике формирања термалних слика

Приликом снимања термовизијских слика врши се конверзија инфрацрвеног зрачења које се преко сочива фокусира на детектор на сличан начин као у обичној дигиталној фотографији. Детектор креира електрични сигнал који зависи од интензитета сигнала и он се касније конвертује у термалну слику. Две су основне резлике у односу на фотографију:

- овде се снима зрачење које потиче од објекта и од рефлексија за разлику од фотографије где се углавном снимају рефлексије (осим изразито загрејаних објеката),

- визуелни спектар се односи и на боју и интензитет, док се инфрацрвено снимање односи само на интензитет.

Шта представља термална слика? Она не представља слику дистрибуције температуре, како се обично сматра, већ интензитет зрачења, који као што је већ речено може имати различите изворе. Код објеката са већом емисивношћу слика реалније приказује температуре (мали је проценат рефлексије) и обратно. Тако нпр. прозор који је у визуелној фотографији провидан у термовизији представља рефлектујућу површину, пандан огледалу. Зато ми, у ствари, снимамо такозвану привидну температуру коју је неопходно компензовати приликом фотографисања јер слика остаје непромењена визуелно али се нумерички параметри читавања разликују.

У циљу добијања адекватних мерења (пошто се фотографисање, у ствари, своди на мерење) морају бити остварена температурна разлика од мин 10°C између делова који се анализирају уз одржавање стабилне унутрашње температуре, односно постојање негативног притисака од 10-50 Pa уколико се мери инфилтрација.

За потребе истраживања коришћена је камера, која је наменски дизајнирана за примену у грађевинству. Оперативна у рангу од $7.5\text{-}13\ \mu\text{m}$ и на температурама од -15 до $+50^{\circ}\text{C}$ она је стандардно опремљена сочивом од 24° и омогућава снимање објеката обрадом преко FPA (focal plane array) микроболометра уз излазну дигиталну слику димензија 320/240 пиксела. То практично значи да за сваки од 76800 излазних пиксела можемо у каснијој анализи фотографије преко одговарајућег софтвера добити информације о читаним вредностима, односно користити посебне аналитичке алате (нпр. изотерме) за њихово поређење.

КАРАКТЕРИСТИКЕ ГРАЂЕВИНСКОГ ФОНДА БЕОГРАДА

Републички завод за статистику 2002. године спровео је попис на подручју Републике Србије без подручја Косова. Овим пописом обухваћени су и изграђени стамбени објекти, а објављени резултати извршили су категоризацију зграда на индивидуално и колективно становање, стално и привремено коришћене зграде, категоризацију према величини и структури станова и зграда, њиховој опремљености инсталацијама, као и према години изградње. Подаци су дати по општинама и градовима.

Република Србија, на основу овог пописа располаже са 2 719 710 станова (Таб. 1.) Приказан је укупан број станова, као и однос станова у градској и другим срединама. Београд је приказан с обзиром да истраживање термичких карактеристика објеката које ће бити обављено на узорку са подручја овог града чини, у контексту укупног броја станова, задовољавајући репрезент, а ако се ограничимо на градска подручја, можемо сматрати да укључује све појавне облике становања у Србији.

Табела 1.

Број станова у Србији и Београду (градска и остала подручја)

СРБИЈА		УКУПНО СТАНОВА 2719710		100%
	градска подручја	1541210	56.67%	
	остала	1178500	43.33	
Београд		укупно станова 583908		21.46%
	градска подручја	482258	82.59%	
	остала	101650	17.41%	

Старост објекта:

Питање старости није директно генеративно у структурирању са аспекта енергије али нам може послужити као основ за процену већег броја других карактеристика везано за опремљеност, инсталације, структуру самог објекта али и његове енергетске карактеристике.

Можемо сматрати да постојећи грађевински фонд потиче углавном из двадесетог века, јер су објекти изграђени пре овог периода заступљени у веома малом проценту, то су појединачни објекти који данас имају углавном јавне намене: галерије, музеји или угоститељски карактер.

Подаци о старости објеката су једино на располагању на основу пописа и не слажу се у потпуности са променама у одликама изградње, али нам говоре о тенденцијама и динамици изградње.

Структура грађевинског фонда са аспекта старости и остварене површине је дата у Табели 2 (подаци се односе на Београд).

Табела 2.

Београд: станови по старости и укупне површине

	пре 1900.	1901. 1918.	1919. 1930.	1931. 1945.	1946. 1960.	1961. 1970.
БР. СТАНОВА	7624	7242	25087	35612	59991	128447
%	1.31	1.24	4.30	6.10	10.27	21.30
	1971. 1975.	1976. 1980.	1981. 1985.	1986. 1990.	1991. 2001.	укупно
БР. СТАНОВА	66809	60699	66466	46142	73813	583908
%	11.44	10.40	11.38	7.90	12.64	

Стање објекта

Анализа стања објекта подразумева анализу његових структуралних делова и њихову квантификацију. Структура објекта може се дефинисати у складу са класичним схватањем и логичним процесом изградње објекта и састоји се од: примарне конструкције, омотача, преграда, инсталација. За потребе овог рада анализирани су само елементи омотача, прозори и зидови, будући да су ови елементи снимани термовизијском камером. Констатовано је да се на фасадама у Београду као завршна обрада срећу : племенити малтери, салонит плоче (40), керамичке плочице и мозаик, (50) вештачки камен, монтажне бетонске плоче (60), фугована опека и видни бетон (80), природни камен (100), пластичне масе и премази (15). У заградама је дат просечан век трајања ових материјала. Како је трајност објекта 100 година то, теоретски, фасадне облоге треба ретко мењати, 1 до 2 пута током животног века објекта. Једини изузетак предстаљају пластичне масе и премази које би требало обнављати 5 до 6 пута.

Трајност спољне столарије ограничена је такође у зависности од материјала од кога је начињена на 40 до 80 година, у зависности да ли је примењено меко или тврдо дрво или алуминијумски профили као најдуготрајнији. Ипак, треба истаћи да, као и у случају завршних фасадних облога, ово су само теоретске вредности и у пракси трајност елемената омотача је знатно краћа, што изискује њихову поправку или замену током животног века зграда.

Насупрот омотачу, треба напоменути да се традиција грађења у нашој средини у двадесетом веку и данас углавном базира на "солидној" градњи, односно коришћењу конструктивних решења и материјала великих запреминских маса (опека, бетон). Примарне структуре оваквих објеката су најчешће, без обзира на распон годишта изградње и претпостављени век трајања, у највећој мери добро очуване. Иако не испуњавају новије прописе о сеизмичкој заштити, чињеница да постоје без оштећења, говори у прилог квалитета. С обзиром да примарна конструкција објекта (груба градња) чини знатан део укупне инвестиције приликом изградње (40-50%) и да она са собом носи знатну количину примарне енергије, може се сматрати једном од изразитих вредности грађевинског фонда.

Захтеви стандарда са аспекта термичке заштите

Посебно полазиште анализе грађевинског фонда се заснива на термичким карактеристикама објеката, термичким захтевима и периоду њиховог доношења и усклађености са данашњим захтевима стандарда.

Наша пракса је углавном пратила стране стандарде и незнатно их прилагођавала локалним особеностима.

Као карактеристични се јављају прописи:

- 1967. дефинисање максималног коефициента пролаза топлоте,
- 1970. такође даје параметре за коефициент k ,
- 1980. укључује и третман летњег режима у прорачун,
- 1987. дефинише специфичне топлотне губитке објекта,
- 1990. допуњује пропис додавањем прорачуна губитака карактеристичних просторија,
- 1997-98. прецизирање метода и начина прорачуна.

Ове временске одреднице се углавном могу сматрати за карактеристичне тачке у којим се мења градитељска пракса, односно битни аспекти енергетске перформансе објекта. Ако се вратимо на податак да је у периоду пре 1967. изграђено готово 25% укупног грађевинског фонда, односно без икакве изолације, јасно је да је могућност уштеде енергије знатна. Термички прописи су приликом доношења имали за циљно поље изградњу нових објеката, међутим већ сада смо сведоци тенденција да се уводе и прописи за постојеће објекте а поготово за процес обнове односно доградње.

Анализа примера

Топлотне карактеристике омотача зграда, а одатле и могућности побољшања њихове енергетске ефикасности, уз побољшање комфора корисника, могу се утврдити поређењем периода градње објеката са временом доношења прописа о топлотној заштити објеката. Очекивани резултати добијени оваквим анализама, сада могу бити и потврђени применом методе термовизијског снимања.

Блок 7 – Павиљони

Стамбене зграде у блоковима 7 и 7а на Новом Београду ("павиљони"), грађене су у првом таласу послератне изградње, махом током педесетих година двадесетог века. Објекти настали у овом периоду рађени су класичним техникама градње, као склопови са масивним носећим зидовима од опеке, спратности П+5, изузетно поједностављене геометрије и редуковане ликовности као последице малог броја расположивих материјала и техника; отвори на фасадном платну су стандардни дводелни, троделни или четвороделни дрвени прозори, лође и балкони су плитки и формирају се у оквиру појединачних конструктивних растера.

Термовизијско снимање је показало следећи образац одавања топлоте на омотачу ових објеката:

1. на фасадним зидовима трансмисиони губици су знатно већи на бетонским елементима (натпрозорници, хоризонтални серклажи и сл.) него на површинама зидних платна од опеке; и поред једнообразне финалне обраде (фасаде су малтерисане, без било какве термоизолације), примећује се велика разлика између температурних одавања бетонских и зиданих површина (Сл. 3),
2. по обиму прозора не детектују се значајнији линијски губици; прозорски отвори су рађени са зубом који евидентно редукује линијске губитке на овој позицији (Сл. 4),

Сл 3.

Фасада стамбене зграде у блоковима 7 и 7а на Новом Београду

Fig. 3.

Residential building façade, block 7 and 7a, New Belgrade



3. нема већих топлотних одавања на делу улаза и вертикалних комуникација; ова чворишта се не греју али је њихов контакт са спољним зидовима сведен на један растер у основи. Зидови према становима су по саставу исти као и фасадни па је посредно загревање волумена који обухвата комуникације на овај начин редуковано (Сл. 5).

Блок 1 –

Блок 1, настао у периоду 1959-1961 рађен је као прва експериментална стамбена заједница где је истраживан нови тип становања кроз различита архитектонска решења и пионирску примену нових материјала и технологија. Скелетни конструктивни склоп (ИМС) отвара могућност формирања континуалних прозорских трака, варирања склопа и материјализације парапета и испуне пуних зидова. На датим примерима објеката архитекте Бранка Петричића могу се уочити основне карактеристике ових стамбених зграда.

Стамбена кула П+13+Пк

У блоковима 1 и 2 направљено је укупно 9 стамбених кула на којима су парапетне траке и пуне вертикале третиране у различитим комбинацијама боја и материјала у покушају да се избегне монотонија понављања типских објеката. Како у фасадном склопу нема термоизолације, а за испуне и облоге су коришћени материјали који су релативно добри проводници топлоте, термовизијски снимак "открива" примарну конструкцију и основну структуру објекта (Сл.6), указујући на бетонске елементе као на веома критичне позиције са становишта детектованог топлотног зрачења. На овом објекту отварају се и проблеми који ће остати карактеристични за архитектуру масовне стамбене изградње шездесетих - топлотни губици на спојевима:

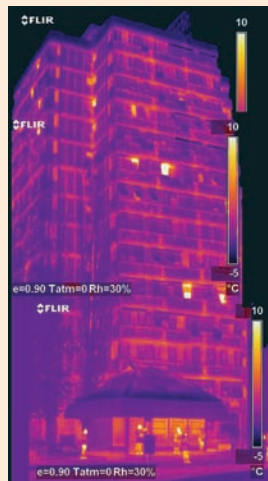
- 1.линијски губици као последица монтажних спојница (на пуним платнима),
- 2.линијски губици око столарије, када нема класичног зуба у који се уграђује прозор као ни доброг споја са парапетним тракама који остаје неразрешен у детаљу,
- 3.пропадање структуре парапета као последица неквалитетне материјализације и неодговарајућих детаља.

Сл. 6.

Фасада стамбене куле у блоку 1 на Новом Београду

Fig. 6.

Residential skyscraper façade, block 1, New Belgrade



Сл. 4.

Фасада стамбене зграде у блоковима 7 и 7а на Новом Београду, линијски губици око прозора

Fig. 4.

Residential building façade, block 7 and 7a, New Belgrade, window linear thermal loss



Сл. 5.

Фасада стамбене зграде у блоковима 7 и 7а на Новом Београду, топлотни губици степеништа

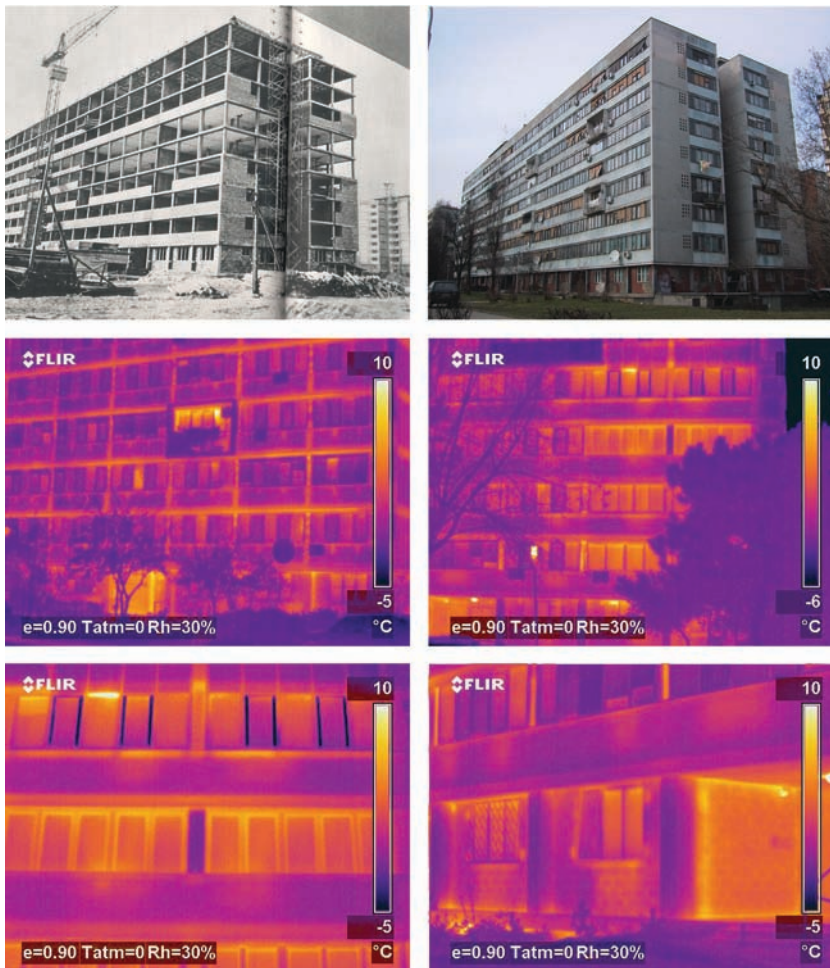
Fig. 5.

Residential building façade, block 7 and 7a, New Belgrade, staircase thermal loss

Стамбени двотракт П+8 – ламела Ц5

Многи проблеми уочени на примеру стамбене куле, код овог двотракта постају још израженији (Сл. 7):

- 1.бетонски елементи се поново уочавају као значајни преносници топлоте,
- 2.парпети не пружају готово никакву топлотну заштиту; на термовизијским снимцима може се чак уочити и диспозиција грејних тела (светле флеке које показују вишу температуру),
- 3.парпети налажу на плочу тако да међуспратна конструкција остаје покривена само завршном обрадом фасаде и даје велике линијске губитке,
- 4.на прозорским тракама места где унутрашњи попречни преградни зидови излазе на фасаду такође нису изолована и појављују се као значајни линијски губици,
- 5.уочљиви су линијски губици око прозора, са истом логиком као код стамбене куле,
- 6.трансмисиони губици према негрејаном степенишном простору су већи него код "павиљона" и постају веома изражени на термографској слици зграде – преграде између станова и степенишног простора имају значајно већи коефицијент пролаза топлоте, у улазима се јављају веће стаклене површине (црна браварија застакљена једноструким стаклом), те се на овим местима емитује више топлоте.



Сл. 7.
Фасада стамбене зграде, ламела Ц5 у блоку 1 на Новом Београду
Fig. 7.
Residential building façade, block 1, New Belgrade

ЗАКЉУЧАК

Из претходног разматрања може се закључити да постојећи грађевински фонд поседује велики број квалитета које у циљу рационализације ресурса не смемо и не можемо занемарити. Недостаци су очигледни, али нису такве природе да се не могу правилно постављеним и методолошки осмишљеним активностима превазићи. Из ових основних поставки се намеће принцип реконструкције односно санације као један од основних праваца у будућем третману грађевинског фонда.

Структурирање грађевинског фонда са аспекта енергије представља само први корак у процесу оптимизације објеката као целовитог процеса минимизирања енергетске перформансе изграђене средине, а термографија као метода омогућује детектовање управо оних слабих тачака омотача зграда који су карактеристични по највећим топлотним губицима. За анализирани узорак, који је по начину градње и примени изолације, типичан репрезент периода градње, утврђена су места највећих топлотних губитака. Генерално, може се закључити да на објектима није постављена термоизолација или је њена дебљина недовољна. Као изразито слаба места, са великим линијским губицима, могу се констатовати везе таваница са фасадом, везе конструктивних зидова са фасадом и нарочито слабо уграђени прозори, чиме су и полазне претпоставке потврђене и утврђен велики потенцијал да се кроз реконструкцију зграда остваре знатне енергетске уштеде и побољша њихова ефикасност.

ЛИТЕРАТУРА

ITC, Termografy, Level1, Publication No 1560093E, Infrared Training Center, Flir Systems, Stockholm, Sweden, 2005.

Flir Systems ThermaCAMB20, Manual, Publication No 1557948, Flir Systems, Stockholm, Sweden, 2004.

Јовановић Поповић М. и др. (2002.) Енергетска оптимизација зграда у контексту одрживе архитектуре, Београд, део 1, Анализа структуре грађевинског фонда, Архитектонски факултет Универзитета у Београду.

Јовановић Поповић М. и др. (2005.) Енергетска оптимизација зграда у контексту одрживе архитектуре, Београд, део 2, Могућности унапређења енергетских карактеристика грађевинског фонда, Архитектонски факултет Универзитета у Београду

Н. Ћуковић-Игњатовић, (2006.) „Елементи за валоризацију композиције фасада објеката стамбених зграда Новог Београда у периоду 1955-1965“, семинарски рад, Докторске студије, Архитектонски факултет у Београду.

Нови Београд (1961.) Београд: Дирекција за изградњу Новог Београда.

Извор илустрација:

Сл. 1. Flir Systems ThermaCAMB20, стр.136.

Сл. 2. Flir Systems ThermaCAMB20, str.145.

Сл. 3-5. фото Н. Ћуковић, Д. Игњатовић

Сл.6. фото Н. Ћуковић, Д. Игњатовић, Нови Београд 1961, стр. 87.

Сл.7. фото Н. Ћуковић, Д. Игњатовић, Нови Београд 1961, стр. 78-79.