

Институт за архитектуру и урбанизам Србије

МЕЂУНАРОДНИ НАУЧНИ СКУП

**ОДРЖИВИ
ПРОСТОРНИ
РАЗВОЈ
ГРАДОВА**

Тематски зборник радова – други део

Београд, децембар, 2007

ОДРЖИВИ ПРОСТОРНИ РАЗВОЈ ГРАДОВА

Тематски зборник радова – други део

ИАУС децембар, 2007, Београд

РЕДАКЦИОНИ ОДБОР

др Мила Пуцар, председник
др Нада Милашин, заменик председника
Проф. др Милица Бајић Брковић
Проф. др Бранислав Ђорђевић
Проф. Дарко Марушић
Проф. др Борислав Стојков
др Марија Николић
др Миодраг Вујошевић
др Славка Зековић,
др Јасна Петрић,
др Саша Милијић
др Игор Марић
арх. Бранко Бојовић
арх. Инес Урошевић Маричић
Acad. Vladimir Nikolaevič Belousov (Moscow)
Kaliora Dimitrovska Andrews, PhD (Ljubljana)
Vlatko Korbar (Skopje)
Prof. Juhani Pallasmaa (Helsinki)

УРЕДНИК

др Ненад Спасић

РЕДАКЦИЈА

др Мила Пуцар
др Миодраг Вујошевић
др Ненад Спасић

ДИЗАЈН КОРИЦА

арх. Инес Урошевић Маричић

ИЗДАВАЧ

Институт за архитектуру и урбанизам Србије
др Ненад Спасић, директор
Београд, 11000 Булевар краља Александра 73/II
E-mail: iaus@EUnet.yu fax: (381 11) 3370-203

ФИНАНСИЈСКА ПОДРШКА

Министарство за науку Републике Србије

ТИРАЖ 300

Штампа **ИНТРИПРИНТ**, Београд

Тематски зборник је припремљен поводом
међународног научног скупа
"ОДРЖИВИ ПРОСТОРНИ РАЗВОЈ ГРАДОВА"

Организација скупа:

Организатор Скупа је Институт за архитектуру и урбанизам Србије у сарадњи са Архитектонским и Грађевинским факултетом из Београда уз подршку Министарства науке Републике Србије и ISOCARP-а (The International Society of City and Regional Planners)

Научни одбор скупа:

- др Вујошевић Миодраг, виши научни сарадник, ИАУС, председник
- dr Acebillo Josep, Professor, Barcelona's Commissioner for Infrastructures and Urban Planning CEO Barcelona Regional, Director, Institute for the Contemporary Urban Project and Responsable of the Chair of Culture of Urban Territory in Accademia di Architettura Mendrisio – Università della Svizzera italiana
- др Бајић-Брковић Милица, редовни професор, АФ, ISOCARP
- мр Базик Драгана, ванредни професор, АФ Београд
- dr Savrić Branko, MRTPI (UK), APA (US), Associate Professor, Department of Architecture and Planning - DAP, Faculty of Engineering & Technology – FET, University of Botswana
- dr Dimitrijević Branka, Director, Centre for the Built Environment, a joint initiative of Glasgow Caledonian University, Strathclyde University and Mackintosh School of Architecture, UK
- dr Dimitrovska Andrews Kaliopa, Director Urbanističnog Inštituta Slovenije
- др Ђајић Ненад, редовни професор, РГФ Београд
- др Ђорђевић Бранислав, редовни професор, ГФ Београд
- др Филиповић Милорад, ванредни професор, ЕФ Београд
- dr Getimis Panayiotis, Professor, Research University Institute of Urban Environmental and Human Resources, Panteion University, Athens, Greece
- др Јоксић Душан, редовни професор, ГФ Београд
- dr Kafkalas Grigoris, Professor, Spatial Development and Research Unit, Aristotle University of Thessaloniki, Greece
- dr Nedović-Budić Zorica, Professor, Department of Urban and Regional Planning, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA
- др Николић Марија, научни саветник, ИАУС
- др Петовар Ксенија, ванредни професор АФ/ГЕФ, Београд
- др Пуцар Мила, научни саветник, ИАУС
- dr Schönback Wilfried, Professor, Head of the Centre, Department for Urban and Regional Planning, Centre Public Finance and Infrastructure Policy, Vienna University of Technology, Austria

др Спасић Ненад, виши научни сарадник, Директор, ИАУС
dr Stanković Milenko, B.Arch., Professor, Faculty of Architecture and Civil Engineering,
University of Banja Luka
Stanković Siniša, Director BDSPP Partnership Summit House, London, UK
др Стојановић Божић, научни саветник, ИАУС
др Стојков Борислав, редовни професор, ГЕФ Београд
др Тошић Драгутин, ванредни професор, ГЕФ Београд
др Тошковић Добривоје, научни саветник, ИАУС
dr Tomasella Paolo, Expert for sustainable buildings at the Regione Autonoma Friuli
Venezia Giulia, Italy
др Зековић Славка, виши научни сарадник, ИАУС

Организациони одбор скупа:

др Спасић Ненад, председник
др Бајић Брковић Милица
мр Базик Драгана
мр Целебџић Омиљена, секретар
др Марић Игор
др Милијић Саша
др Петрић Јасна
др Пуцар Мила
др Ступар Александра
др Вујошевић Миодраг
др Зековић Славка

Београд, Србија, 25-26th January 2008

Свечана сала Грађевинског факултета Универзитета у Београду,
Булевар краља Александра 73/1



INSTITUT ZA ARHITEKTURU I URBANIZAM SRBIJE
INSTITUTE OF ARCHITECTURE AND URBAN & SPATIAL
PLANNING OF SERBIA

ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ, ЖИВОТНА СРЕДИНА И КОМУНАЛНО УРЕЂЕЊЕ ГРАДОВА

- Siniša Stanković, Neil Campbell, Werner Gaiser, Andrew Stone**
OPTIMIZACIJA POTROŠNJE ENERGIJE U URBANISTIČKOM
PLANIRANJU NA NIVOU GRUPE ZGRADA219
- Проф. др Милица Јовановић Поповић, мр Слободан Самарцић,
мр Саја Косановић, Проф. др Бисерка Марковић**
УНАПРЕЂЕЊЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ЕФИКАСНОСТИ ГРАДОВА/ЗГРАДА
КРОЗ ПРОЦЕС ЕНЕРГЕТСКЕ СЕРТИФИКАЦИЈЕ229
- мр Марина Ненковић-Ризнић, др Мила Пуцар**
АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА АНКЕТЕ О ЕНЕРГЕТСКОЈ ЕФИКАСНОСТИ И
КОМУНАЛНОЈ ОПРЕМЉЕНОСТИ ГРАДОВА СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ241
- др Игор Марић, мр Ана Богданов,Божидар Манић**
ПРИЛОГ ИСТРАЖИВАЊУ ПРИНЦИПА ОДРЖИВЕ
АРХИТЕКТУРЕ КРОЗ АНАЛИЗУ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ
СИСТЕМА ДВОСТРУКИХ ФАСАДА265

ИНФОРМАТИЧКА И ИНСТИТУЦИОНАЛНА ПОДРШКА ОДРЖИВОМ РАЗВОЈУ ГРАДОВА

- др Милица Бајић Брковић**
ОДРЖИВОСТ И ИНТЕРНЕТ: КАКО НОВЕ ИНФОРМАЦИОНО
КОМУНИКАЦИОНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ДОПРИНОСЕ ОДРЖИВОМ
РАЗВОЈУ ГРАДОВА285
- др Борислав Стојков**
НАЧИН УПРАВЉАЊА И УТИЦАЈ НА ОДРЖИВИ РАЗВОЈ ГРАДА321
- др Љиљана Петрушевски, др Драгана Базик, мр Омиљена Целебцић**
КОМПЛЕКСНИ И ДИНАМИЧКИ МОДЕЛИ ОДРЖИВОГ
РАЗВОЈА ГРАДОВА И НАСЕЉА329
- др Драган Лончар, Милутин Добриловић**
ФОРМУЛИСАЊЕ И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА СТРАТЕГИЈЕ РАЗВОЈА
ОПШТИНА И ГРАДОВА СРБИЈЕ
- МЕТОДОЛОШКО-СОФТВЕРСКИ ПРИСТУП343
- мр Миланка Филиповић**
БРОЈ, ДИМЕНЗИЈА И ОПТИМИЗАЦИЈА У ФУНКЦИЈИ ОДРЖИВОСТИ361

ПРИЛОГ ИСТРАЖИВАЊУ ПРИНЦИПА ОДРЖИВЕ АРХИТЕКТУРЕ КРОЗ АНАЛИЗУ МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ СИСТЕМА ДВОСТРУКИХ ФАСАДА

*Игор Марић,
Ана Богданов,
Божидар Манић¹*

CONTRIBUTION TO THE RESEARCH OF THE PRINCIPLES OF
SUSTAINABLE ARCHITECTURE THROUGH ANALYSIS OF POSSIBLE
APPLICATIONS OF DOUBLE-SKIN FAÇADE SYSTEMS

Abstract. Double skin-façades represent specific type of external building envelope, where in front of conventional curtain-wall at specific functionally required distance, an additional transparent external skin is added. In that way, thermal and acoustic performances of a building are improved, what contributes to better conditions in inner comfort and reduces energy consumption. Applying of double-skin systems is most frequently used in modern office buildings' design, where it shows significant results in improving of energy performances of buildings.

Key words: sustainable architecture, double-skin façade, energy consumption, inner comfort, office buildings.

Анстракт. Двоструке фасаде представљају специфичан облик спољашњег омотача објекта за које је карактеристично да се испред класичне зид завесе на одређеном, функционално осмишљеном, растојању поставља још један, транспарентни спољашњи омотач. На тај начин се побољшавају термичке и акустичке перформансе објекта, доприноси комфору корисника простора и смањује потрошња енергије. Примена двоструких фасада је најчесталија на савременим пословним објектима, код којих показује значајне резултате у побољшавању енергетских перформанси зграда.

Кључне речи: одржива архитектура, двострука фасада, енергетска потрошња, унутрашњи комфор, пословне зграде.

¹ др Игор Марић, д.и.а., научни сарадник, Институт за архитектуру и урбанизам Србије

мр Ана Богданов, д.и.а., истраживач-сарадник, ИАУС
Божидар Манић, д.и.а., истраживач-приправник, ИАУС

УВОД

Концепт одрживог развоја, који за основни циљ има успостављање равнотеже између развоја и очувања животне средине, данас је широко прихваћен. У архитектури и грађевинарству уопште, одговарајући појмови су одржива архитектура и одрживо грађевинарство².

Под појмом одрживе архитектуре, подразумева се архитектура која води рачуна о утицају свих процеса који се одвијају у вези са изградњом и коришћењем објеката на животну средину, од материјала (у току чије производње се не ствара отровни отпад и не конзумира много енергије, који немају штетне емисије након уградње и који могу да се рециклирају након рушења објекта), техника градње (која наноси минималну штету околини), локације изградње и њеног утицаја на околину до енергетског конзума током експлоатације објекта и његовог утицаја. То је врло општа тема у коју се уклапа и појам биоклиматске архитектуре³, јер помаже у смањењу утrophка енергије. Како се око 40% укупне потрошње енергије троши у објектима (од тога 15-25% у стамбеним објектима у развијеним земљама, а у земљама у развоју и више [Dzioubinski, 1999:1]), јасно је колико су значајни ефекти који могу да се постигну.

У овом раду покушавамо да приступимо проблему одрживог развоја и одрживе архитектуре кроз анализу савремених архитектонских омотача зграда, у условима погоршане животне средине у градовима, а са аспекта конципирања омотача који на адекватан начин треба да успостави равнотежу између спољашње и унутрашње средине, пре свега кроз унапређење комфора боравка у унутрашњем простору, без непотребног повећања потрошње енергије и загађења спољашње средине.

Након уводног дела у другом поглављу се анализира концепт двоструких фасада у контексту одрживе архитектуре. Затим се у трећем делу указује на предности примене двоструких фасада у односу на класичне, у погледу енергетске уштеде. Дате су типолошке класификације према начину функционисања фасада у контексту енергетске рационалности. У четвртном делу се анализира улога двоструких фасадних омотача у оптимизовању параметара унутрашњег комфора, нарочито у случају вишеспратних пословних зграда. Пети део разматра могућности унапређења грађевинског фонда у нашој средини путем примене двоструких фасада и ветрених фасадних склопова. На крају се у закључном делу још једном подвлаче предности фасадног склопа двоструког омотача и њихова улога у унапређењу енергетских перформанси архитектонских објеката.

² Ови појмови нису прецизно дефинисани и разграничени, тако да се обично користе као синоними.

³ Појам „биоклиматска архитектура“ односи се на пројектовање објеката уз оптимално коришћење погодности локације и обновљивих извора енергије, у циљу постизања енергетске рационалности и ефикасности и комфора становања.

ДВОСТРУКЕ ФАСАДЕ У ФУНКЦИЈИ ОДРЖИВЕ АРХИТЕКТУРЕ

Убрзана урбанизација и индустријализација, битно су преобликовале услове живота и рада савременог човека, чији стандард све више зависи од вештачки индукованих параметара комфора и самим тим повећане енергетске потрошње. Пре свега треба указати да је оваквом ситуацијом битно угрожена равнотежа између развоја и очувања животне средине, с обзиром на исцрпљивост енергетских ресурса и да решења треба потражити у коришћењу алтернативних и обновљивих извора енергије, те у изналажењу начина да се енергија рационално троши и обнавља. Други негативни аспект на који треба скренути пажњу јесте чињеница да се оптимизовањем параметара комфора на вештачки начин и поред постизања задовољавајућег стандарда, јављају значајни проблеми у експлоатацији објекта, пре свега са психолошког и физиолошког аспекта корисника.

Решења за ову другу групу проблема треба потражити у изналажењу хумане димензије савременог животног и радног простора, путем остваривања комфора на начин који није контрадикторан природи човека, већ излази у сусрет његовој природној потреби за свежим ваздухом и дневном светлошћу.

Као врло распрострањен концепт спољашњег омотача савремених пословних зграда последњих двадесетак година јавља се систем двоструке фасаде, којим се проблеми у коришћењу објекта и експлоатацији енергетских ресурса ефикасније решавају у односу на класичне једноструке фасаде.

Према данас опште прихваћеној дефиницији, двоструке фасаде, у ужем смислу, спредстављају такав склоп у којем је, на растојању које обично износи од 20 до 200цм [Loncour et al., 2004.], испред класичне фасаде постављена додатна стаклена опна (Сл.1.). Ова врста фасадног омотача примењује се највише у пројектовању и изградњи пословних објеката, а међу бројним подстицајима за њен настанак и развој су тежња ка енергетској рационалности и ефикасности, затим појава „синдрома болесних зграда“ и потреба за побољшањем ваздушног комфора увођењем могућности природног проветравања у вишеспратним пословним објектима. Такви конструктивни склопови у литератури и пракси су познати под различитим именима – glass double façade, double skin façade, layer façade, multiple layer façade, ventilated double façade, ventilated double-skin façade, environmental second skin systems и др.

Европски стандард prEN 13119 дефинише двоструке фасаде (Double-Skin Façades) као: „конструкција типа зид-завесе, која се састоји из спољашње стаклене опне и унутрашњег зида-завесе, који у склопу са спољном опном обезбеђује потпуну функцију зида“⁴. Међутим, постоје и други склопови сличног карактера, али са неким додатним карактеристикама, који не могу да буду подведени под ову дефиницију.

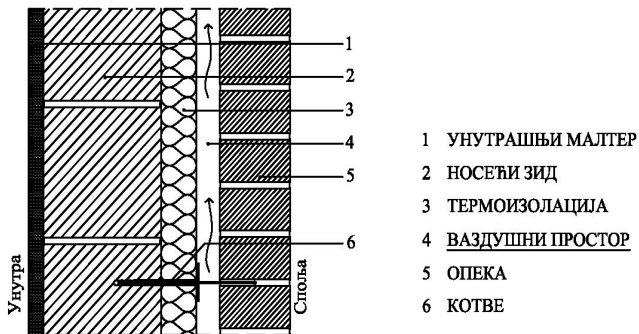
⁴ ”a curtain wall construction comprising an outer skin of glass and an inner wall constructed as a curtain wall that together with the outer skin provide the full function of a wall“

Сл. 1. Схематски приказ склопа двоструке фасаде



Такође, и неки сложенији склопови ветрених фасада (Сл.2.), код којих су растојања између слојева мања, а спољашња опна не мора да буде транспарентна, могу се сматрати неком врстом двоструких фасада. Ово се посебно односи на случајеве у којима склоп настаје као резултат реконструкције, додавањем новог омотача на одређеном растојању, без уклањања старог. Дебљина ваздушног слоја код ових фасада је у распону од 8-20 cm.

Сл. 2. Схематски приказ склопа ветрене фасаде



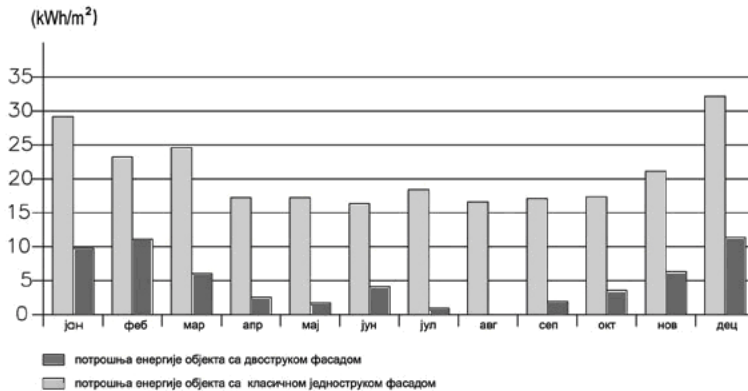
Сматрамо да овакво проширење појма двоструких фасада може да се прихвати једино условно, управо у ситуацијама када се током обнове објекта, преко постојећег фасадног омотача додаје нови. У супротном, дакле када се ради о новом објекту, исправна је једино употреба термина „ветрена фасада“. Наиме, основни критеријум за разликовање двоструких од ветрених фасада, осим размака између два слоја омотача, јесте и тај да је код двоструких фасада спољни омотач у највећем делу своје површине транспарентан, те тако и буквално постоје две видљиве фасаде, док је код ветреног склопа видљива само спољашња опна, те се она унутрашња не може називати фасадом у правом смислу те речи.

МОГУЋНОСТИ ЕНЕРГЕТСКЕ УШТЕДЕ ПРИМЕНОМ ДВОСТРУКИХ ФАСАДА

Предности у односу на класичне фасаде

Статистички подаци показују да су објекти зградарства одговорни за приближно 40% потрошње енергије на националном нивоу [Directive 2002/91/EC] и за око 30-40% емисије угљен-диоксида [Wigginton & McCarthy, 2000.]. Директива 2002/91/ЕЦ Европског парламента и Савета даје препоруке о енергетској ефикасности зграда „која треба да се израчунава на бази методологије, која се може разликовати на регионалном нивоу, која укључује поред топлотне изолације и друге факторе који играју све значајнију улогу, као што су инсталације за грејање и климатизацију, примену обновљивих извора енергије и пројектовање зграде”⁵.“ [Directive 2002/91/EC, став (10) преамбуле]

Граф 1. Компаративни приказ потрошње енергије објеката са двоструком и класичном фасадом, у зависности од периода у току године [према Косорић, 2004.]



На графикону (Граф.1.) је приказана анализа потрошње енергије објекта са двоструком фасадом у односу на објекат са класичном фасадом, праћена током месеци у години [Косорић, 2004.]. Може се приметити да је енергетска потрошња објекта са двоструком фасадом нижа од потрошње објекта са класичном фасадом у току целе године. На годишњем нивоу би се могло закључити да је потрошња енергије објекта са класичном фасадом око четири пута већа од објекта са двоструком, при чему потенцијал уштеде енергије путем примене двоструких фасада највише долази до изражаја у летњим месецима. Позитиван ефекат је и смањење емисије угљен-диоксида. Неки аутори изражавају резерву према оваквим поређењима, истичући да је потребно дугорочно праћење и процена понашања и енергетске потрошње објеката са двоструким фасадама и ефеката које они имају на топлотне добитке и губитке, системе климатизације, грејања и хлађења и др., што је немогуће без развоја сложених нумеричких модела [Faggembau, 2006.].

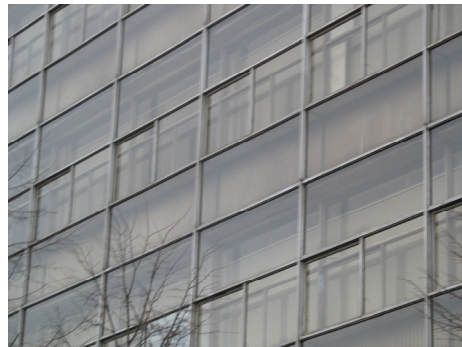
⁵ подвукли аутори овог рада

Развој принципа двоструких омотача у контексту енергетске рационалности

Претече савремених двоструких фасада су различите врсте стакленика, застакљених башти, застакљених лођа, практично сви облици архитектонских грађевина и елемената где су се кроз употребу стакла и неопходне потконструкције побољшавале енергетске перформансе објеката. Иако је употреба енергије сунца била позната и у античком Риму, у Европи новог века основни тип стаклене баште настао је у XVII веку [Пуцар, 2006.], а веома значајно доба за њихов развој био је XIX век, у коме настаје и Пакстонова Кристална палата, као и бројни други објекти који претходе „стакленој архитектури“ XX века.

Виђене у склопу развојне линије стакленика двоструке фасаде представљају значајне елементе система пријема енергије који утичу на енергетско понашање архитектонских објеката. За ове системе карактеристична је заснованост на познавању физичких закона – загревања, хлађења и циркулације ваздуха. Основ савременог концепта двоструких фасада представља примена принципа двоструког омотача који користи пасивна соларна архитектура, а којим се између две опне формира ваздушни међупростор као тампон зона која ублажава све спољне утицаје, служи као изолација и активан учесник у протоку ваздуха између спољашње средине и објекта. Овај принцип може да се унапреди у активан соларни систем, интегрисањем додатних елемената (фотоелектрични модули и др.) за захват енергије, чиме се осим енергетске уштеде могу постићи и енергетски добити.

Сл. 3. Корбизјеов „неутралишући зид“: Палата Совјета, Москва, 1930-36



Од краја XIX века, јављају се у архитектури елементи који по свом карактеру могу бити препознати као претходници система двоструких фасада. Први „соларни“ зид, претечу Тромб-Мишеловог зида, конструисао је 1882. ботаничар Морзе, а састојао се из стаклене опне споља, и ребрастог лима испред зиданог зида [Wigginton & McCarthy, 2000:6]; још раније се јављају идеје о коришћењу стакленика за побољшање комфора у зградама, коришћењем циркулације топлог ваздуха. У XX веку, један од првих који је применио двоструку стаклену фасаду у својим пројектима био је Ле Корбизје,

који је развио концепт двоструке опне, са ваздушним међупростором – “mur neutralisant” (Сл.3.).

Функционисање двоструких фасада у контексту енергетске рационалности

Степен енергетске уштеде двоструких фасада у великој мери зависи од могућности прилагођавања променљивим климатским условима током године, те се при избору система морају имати у виду гранични, летњи и зимски услови коришћења. Постоји више типова двоструких фасада зависно од могућности отварања спољашње и/или унутрашње опне, у оквиру којих се даље разликују подтипови код којих се ваздушни међупростор између две опне формира целом или делимичном, најчешће спратном, висином објекта. Овде ћемо изложити једну од могућих подела [на основу Wigginton & McCarthy, 2000], према којој разликујемо пет типова двоструких фасада:

- 1) спољашња опна има отворе при дну и при врху фасадног платна, док је унутрашња опна затворена; разликују се подтипови у односу на постојање природне или механичке вентилације – тип А (Сл.4.);
- 2) и код унутрашње и код спољашње опне је могуће отварање, при чему се ваздушни међупростор природно вентилише, при чему се подтипови диференцирају у односу на слободну висину ваздушног међупростора – тип Б (Сл.5.);
- 3) спољашња и унутрашња опна са отворима, са контролисаним улазом ваздуха, при чему се ваздушни међупростор механички вентилише – тип В (Сл. 6.); и
- 4) ваздушни међупростор је затворен целом висином, обе опне су затворене, при чему се разликују два подтипа према томе да ли је слободна висина ваздушног међупростора једнака висини објекта или спратној висини – тип Г (Сл.7.). У случају када је доминантна улога акустичке заштите, предња опна не мора да буде стаклена као у претходна четири типа (Сл. 8.)

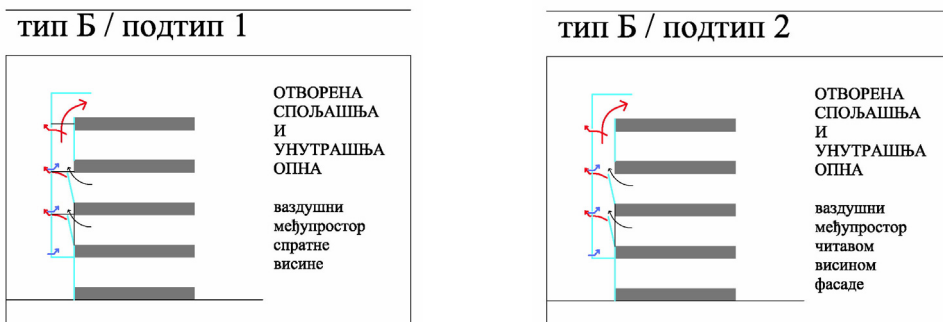
На сликама (Сл. 4-8.) су приказана четири типа функцијске типологије двоструких фасада сачињене према систему вентилисања ваздушног међупростора и размене ваздуха између спољашњег и унутрашњег простора, са одговарајућим подтиповима у односу на слободну висину међупростора.

Сл. 4. Типови и подтипови двоструких фасада према систему вентилисања ваздушног међупростора и размене ваздуха између спољашњег и унутрашњег простора.
Тип А: затворена унутрашња опна.



Тип А двоструких фасада карактерише затворена унутрашња опна и ваздушни међупростор у који ваздух улази кроз отворе постављене при дну фасаде, слободно струји читавом висином објекта и излази кроз отворе при врху објекта. Зимом се отвори при врху затварају, чиме се у међупростору између две опне формира мирујући слој ваздуха који делује као топлотни изолатор – тампон зона, која смањује топлотне губитке. Лети се отвори при врху спољашње опне отварају, омогућавајући слободно струјање ваздуха у међупростору, чиме се смањује продор топлоте до унутрашњости. Спољна стаклена опна, у садејству са засторима смештеним у ваздушном међупростору, ограничава степен сунчевог зрачења које доспева до унутрашње опне и даље, до унутрашњег простора. Вентилација унутрашњег ваздушног слоја између две опне може бити природна (подтип 1) или механичка (подтип 2).

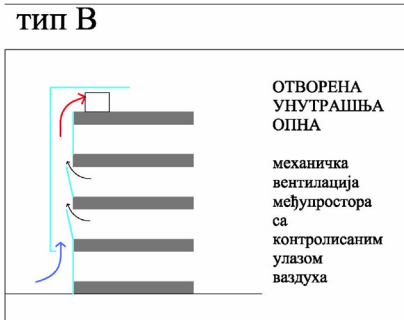
Сл. 5. Типови и подтипови двоструких фасада према систему вентилисања ваздушног међупростора и размене ваздуха између спољашњег и унутрашњег простора.
Тип Б: отворена спољашња и унутрашња опна.



Тип Б двоструких фасада нуди могућност отварања и спољашње и унутрашње опне. Зимом је унутрашња опна затворена, ваздушни међупростор делује као изолатор – тампон зона, која смањује топлотне губитке. Ваздух се преко отвора на унутрашњој опни по потреби извлачи из унутрашњег простора у међупростор између две опне, где се природном или механичком вентилацијом одводи у атмосферу. Лети се спољна опна по потреби отвара да би се

елиминисало топлотно зрачење које апсорбује конструкција. На вишим температурама се отвара и унутрашња опна ради одвођења истрошеног ваздуха из унутрашњег простора. Системом застора у ваздушном међупростору или са спољашње стране склопа, контролише се степен сунчевог зрачења који доспева до унутрашње опне и унутрашњег простора. Ваздушни међупростор може да се формира целом висином објекта (подтип 1) или од спрата до спрата (подтип 2).

Сл. 6. Типови и подтипови двоструких фасада према систему вентилисања ваздушног међупростора и размене ваздуха између спољашњег и унутрашњег простора.
Тип В: отворена унутрашња опна.



Тип В двоструких фасада подразумева отворену унутрашњу опну и механички вентилисан ваздушни међупростор са контролисаним улазом ваздуха при дну фасаде. Током екстремно хладних услова у зимским месецима, унос и механичко извлачење ваздуха се зауставља да би се створила тампон зона у ваздушном међупростору од топлог ваздуха, а која смањује топлотне губитке. Током умерених климатских услова у зимским месецима унос и механичко извлачење ваздуха се подешавају према жељеним условима комфора. У топлим летњим месецима унос и избацивање ваздуха могу да буду подешени на максимум, у циљу постизања брзе измене ваздуха у међупростору између две опне, те смањивања топлотних добитака.

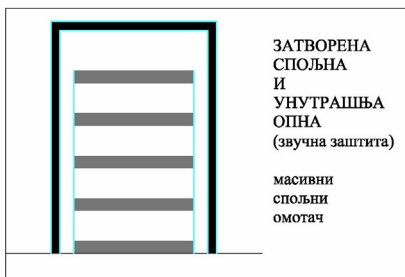
Сл. 7. Типови и подтипови двоструких фасада према систему вентилисања ваздушног међупростора и размене ваздуха између спољашњег и унутрашњег простора.
Тип Г: затворен ваздушни међупростор.



У типу Г двоструких фасада ваздушни међупростор је затворен целом висином. У зимском периоду коришћења затвореност двоструке фасаде спречава пролаз ваздуха и из спољашњег и из унутрашњег простора. У летњем периоду ваздушна тампон зона смањује пролаз топлоте из спољашње средине ка унутрашњем простору. Спољна стаклена опна пропушта светлост и истовремено ограничава степен сунчевог зрачења који доспева на унутрашњу опну и даље у унутрашњи простор. Различите врсте застора могу помоћи у ограничавању степена топлотног зрачења које доспева до унутрашњег простора. С обзиром да нема вентилисања међупростора, овај тип захтева вештачко климатизовање простора. Разликујемо три подтипа двоструких фасада у оквиру овог типа – један код кога је висина ваздушног међупростора између две опне ограничена од спрата до спрата, други код кога се протеже читавом висином фасаде и трећи, код којег је основни циљ да се формира акустичка баријера између унутрашњег и спољашњег простора, било да је разлог заштита од спољашње буке – саобраћаја и слично, или од буке која настаје услед специфичних активности у самој згради, при чему спољашња опна може да буде и масивна.

Сл. 8. Типови и подтипови двоструких фасада према систему вентилисања ваздушног међупростора и размене ваздуха између спољашњег и унутрашњег простора.
Тип Г, подтип 3: Масивни спољни омотач-акустичка баријера.

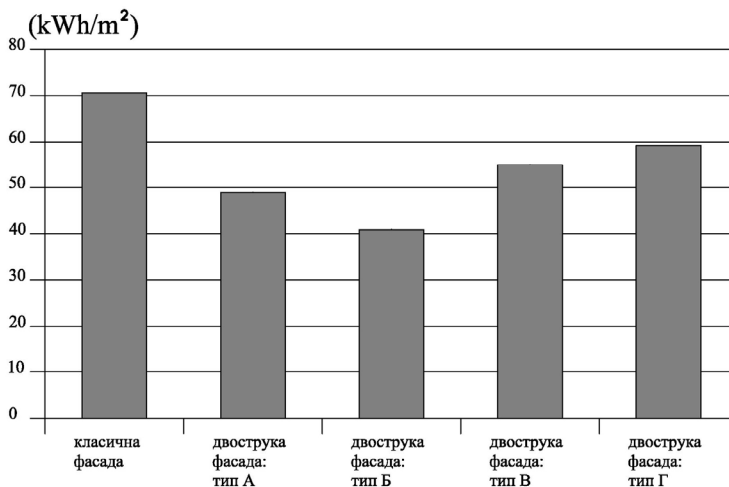
тип Г / подтип 3



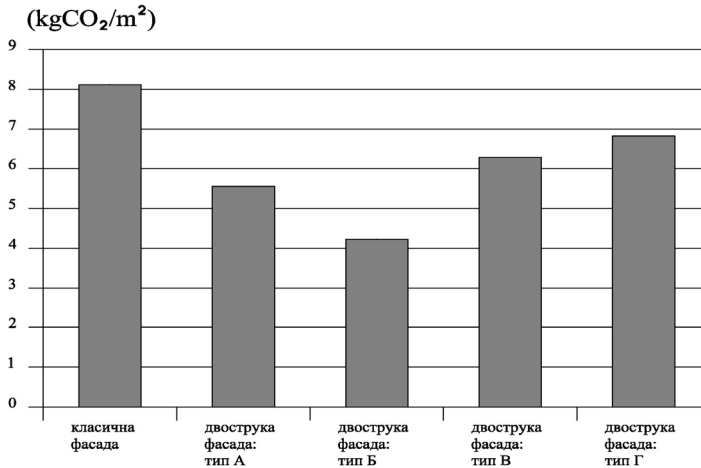
Анализом приказаних типова и подтипова може се уочити да је класификација двоструких фасада извршена према начину на који ваздух у међупростору између две опне циркулише, чиме се утиче на услове зимског, односно летњег коришћења објекта. Подразумева се да одабрани типови, односно подтипови имају различит степен енергетског, а последично и економског ефекта. Највеће инвестиционе трошкове захтева тип Б, с обзиром да је најсложенији, где се и спољна и унутрашња опна отварају, а ваздушни простор механички вентилише са контролисаним улазом ваздуха. Истовремено овај тип показује и највећу прилагодљивост различитим климатским условима, као и параметрима унутрашњег комфора, чиме се значајно смањују трошкови вештачке климатизације унутрашњег простора, а тиме и потрошња енергије. Са друге стране, додатна енергија потребна за поспешивање механичке вентилације смањује укупну енергетску ефикасност зграде [Saelens, 2002.], па је потребно избалансирати све утицајне чиниоце, како не би дошло до неодговарајуће

примене овог типа. Из аспекта енергетске потрошње, овај тип је најрационалнији у случају када се не троши енергија за механичку вентилацију, али је примерен климатским условима који обезбеђују добру природну вентилацију, од чега зависе фактори унутрашњег комфора. Тип В, код кога на спољној опни нема отвора, примерен је условима појачаног спољашњег загађења и буке, али захтева појачану механичку вентилацију ваздушног међупростора лети, што изискује додатну енергетску потрошњу. Тип А са затвореном унутрашњом опном и ваздушним међупростором кроз целу висину фасаде је примеренији хладнијим климатским условима, с обзиром да он бољи учинак показује зими када се ваздушни међупростор понаша као делотворна тампон зона која смањује губитке, док лети, нарочито у случају високих температура, може да дође до прегревања у вишим деловима међупростора и до нежељених топлотних добитака. Тип Г има најслабије енергетске перформансе, с обзиром да захтева вештачку климатизацију у унутрашњем простору, што не умањује потрошњу енергије. Он је примерен у изузетно хладним климатима где је оправдано формирање мирујућег тампон слоја на фасади као додатне термичке заштите. Овај тип (познат још и као „бафер фасада“) примењен је на једном од првих објеката са савременом двоструком фасадом – Згради Хукер на Нијагариним водопадима из 1980. године – где су се временом испојили неочекивано неповољни ефекти, пре свега услед летњег прегревања, зависности од механичке вентилације и појаве кондензације на спољној опни. За наше умерене климатске услове су најпогоднији типови Б и В, пошто би код типа А и Г дошло до летњег прегревања. У топлим климатима двоструке фасаде, код којих су обе опне транспарентне нису ефикасне, па је за постизање енергетских уштеда потребно да се примени другачији избор и комбинација материјала, одговарајућа оријентација и степен транспарентности [Yellamraju, 2004.].

Граф 2. Компаративна анализа енергетске потрошње различитих врста спољашњег омотача [на основу Wigginton & McCarthy, 2000]



Граф 3. Компаративна анализа емисије угљен-диоксида различитих врста спољашњег омотача [на основу Wigginton & McCarthy, 2000]



На графиконима (Граф 2. и 3.) приказана је компаративна анализа објеката са различитим врстама спољашњег омотача, од класичне једноструке фасаде до различитих режима функционисања двоструке фасаде, а који ће детаљније бити приказани касније у овом раду. Притом се на Графику 2 приказује однос енергетске потрошње, а на Графику 3 очекивана емисија угљен-диоксида.

Може да се закључи да зграде са двоструким фасадама, у случају правилног избора типа и подтипа коришћења ваздушног међупростора, обезбеђују значајно смањење потрошње енергије и емисије угљен диоксида. Типови двоструких фасада који користе ваздушни међупростор за предгревање свежег ваздуха или избацивање истрошеног ваздуха омогућују 30-40 одсто смањења потрошње енергије, док они који користе природну вентилацију или комбинацију природне и вештачке, смањују потрошњу за 50-65 одсто [Wigginton & McCarthy, 2000].

ДВОСТРУКЕ ФАСАДЕ У ФУНКЦИЈИ ОПТИМИЗОВАЊА ПАРАМЕТАРА КОМФОРА У УНУТРАШЊЕМ ПРОСТОРУ

Проблем унутрашњег комфора у савременим пословним зградама

Проблеми везани за адекватан унутрашњи комфор посебно постају уочљиви у случају вишеспратних пословних зграда у савременим градским центрима. Негативни утицаји из спољашње средине, пре свега бука и аерозагађење, постају нераздвојни пратиоци живота у савременим градовима. Са друге стране, данашњи темпо и начин живота, где су пословни простори оквир у коме се одвија већи део времена савременог човека, подижу стандарде овим просторима у погледу постизања оптималног унутрашњег комфора. Висока цена градског земљишта и урбанистички параметри упућују на изградњу

вишеспратних пословних зграда, где се код корисника који проводе више-часовно радно време у унутрашњем простору често јавља осећај унутрашње тескобе и физичке нелагодности, када говоримо о ефекту „акваријума” или „синдрому болесних зграда”. Овај психолошки и физиолошки моменат је најчешће последица неадекватног животног окружења, недостатка природног осветљења, ваздуха, вентилације. Вештачка вентилација и климатизација код човека производи ефекат отуђености од природних услова, те се показује као неадекватна замена природном кондиционирању унутрашњег простора.

На комфор боравка у унутрашњем простору утичу квалитет светлости, топлоте, звука и ваздуха. Сходно томе, унутрашњи комфор може да се посматра као визуелни, топлотни, звучни и ваздушни. Двострука фасада је сложени систем међусобно повезаних елемената који, појединачно, имају мању или већу улогу у постизању појединих врста комфора.

Табела 1. Међуоднос елемената система двоструке фасаде и улоге коју они имају у остваривању различитих типова комфора.

Већи ефекат ■	Спољ. стакло	Унутр. стакло	Застори/ соларна контрола	Доњи отвори	Горњи отвори
Мањи ефекат □					
Грејање – радијација	■	■	■		
Грејање – кондукција	■	■			
Грејање – конвекција			■	■	■
Вентилација	■	■	□	■	■
Светлост	■	■	■		
Звук	■	■	■	□	■
Квалитет ваздуха				■	■

Визуелни комфор превасходно зависи од типа и врсте примењеног стакла, као и врсте и положаја застора којима се регулише проток светлости и топлоте. Спољашња стаклена опна је најчешће потпуно транспарентна да би се омогућио несметани пролаз светлости, који се затим по потреби ограничава применом застора. Данашња индустрија стакла нуди високо оптимизоване перформансе овог материјала којим се битно може утицати и на друге врсте комфора – стакло са контролисаним трансмисијом топлотног зрачења, са побољшаним термоизолационим карактеристикама, са контролисаним трансмисијом светлости, са променљивом трансмисијом светлости и топлотног зрачења, различита сигурносна стакла, стакло специјалних акустичких особина итд.

Дакле, применом одговарајуће врсте спољашњег стакла може се у одређеној мери смањити ниво буке, односно сунчевог зрачења које доспева до унутрашње опне и даље посредно до унутрашњег простора. Међутим, много значајнију улогу у постизању акустичког и термичког комфора има управо ваздушни мирујући простор између две опне који се понаша као тампон

простор, познат из примене различитих пасивних соларних система, којим се ублажују негативни утицаји из спољашње средине.

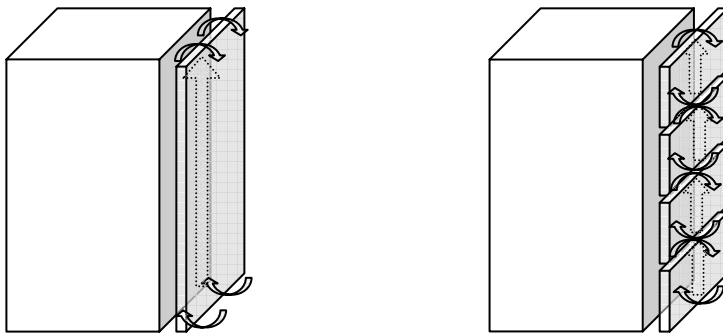
Ваздушни комфор у објектима са двоструким фасадама, побољшава се контролисаном изменом ваздуха између спољашњег и унутрашњег простора, која се остварује системима механичке вентилације ваздушног међупростора који се активира постављањем отвора за убацивање и извлачење ваздуха. Кретањем ваздуха се управља путем осмишљених система поделе ваздушног међупростора. Струјањем ваздуха обезбеђује се и природна вентилација. На сликама (Сл.4.-8.) су приказани системи захвата и циркулисања ваздуха у међупростору између два омотача према начину на који се постиже енергетска уштеда у зимском, односно летњем периоду. При томе се типови и подтипови фасада разликују према вертикалном кретању ваздуха, приказаном у попречним пресецима кроз фасаду.

Класификација двоструких фасада према третману фасадних површина

Поред тога, двоструке фасаде могу да се класификују према подели фасадне површине која генерално, може бити јединствена (Сл.9.), подељена по хоризонтали – на хоризонталне сегменте (Сл.10.), подељена на фасадне сегменте – „касете“ или „боксове“ (Сл.11.) или подељена на групе фасадних „боксова“ међусобно развојених вертикалним сегментима који поспешују извлачење ваздуха (Сл.12.).

У првом типу ваздушни међупростор између две опне је неподељен и као такав има улогу термичког и акустичког изолатора – тампон зоне која смањује топлотне губитке зими и ублажава негативне утицаје из спољашње средине. Међутим, у летњем периоду може доћи до прегревања услед слабог кретања ваздуха, односно одсуства механизма који га покрећу. Овај тип је аналоган типу А из функцијске типологије из претходног поглавља.

Сл. 9. и 10. Типови двоструких фасада према подели фасадне површине. Тип 1 и Тип 2

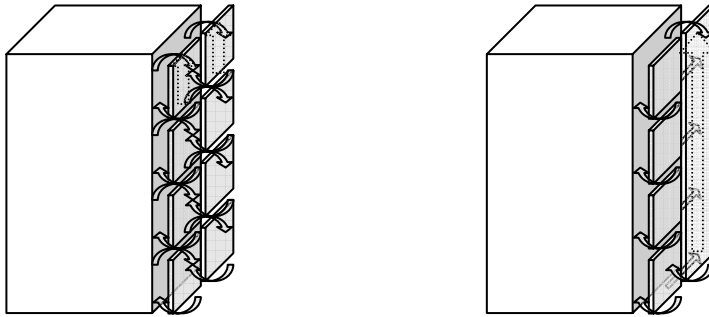


У другом типу, међупростор је подељен хоризонтално по спратовима, где је улаз ваздуха предвиђен при дну, а избацивање при врху сваког спрата. На овај начин се поспешује кретање ваздуха, отклања проблем летњег прегревања

карактеристичан за претходни тип, али је слабија звучна заштита између просторија.

Трећи тип подразумева хоризонталну и вертикалну поделу унутрашњег међупростора између две опне двоструке фасаде којом се он дели на „боксове”, изоловане јединице у оквиру којих се врши убацивање и избацивање ваздуха.

Сл. 11. и 12. Типови двоструких фасада према подели фасадне површине. Тип 3 и Тип 4



Четврти тип је унапређени „бокс” систем код кога су групе боксова раздвојене вертикалним каналима кроз које се додатно потискује ваздух и омогућава бржа и ефикаснија природна вентилација.

Наведени типови двоструке фасаде представљају четири варијанте међусобног односа елемената система фасадног омотача којима се постиже различит степен унутрашњег комфора, односно његове четири компоненте су задовољене у одређеном односу који подразумева компромис између различитих фактора који утичу на избор решења. Прва два типа су једноставнија за извођење и изискују мање инвестиционе трошкове. Њима се постиже задовољавајући степен термичког и ваздушног комфора, док се из аспекта акустичке заштите јавља проблем преноса звука између канцеларија на спратовима код другог типа, односно између спратова код првог. Код првог типа је велики проблем летње прегревање ваздушног међуслоја, тако да је препоручљив само у хладнијим климатима. Такође код њега се, с обзиром на неподељеност међупростора, јавља и проблем противпожарне заштите, па неки аутори препоручују инсталацију спринклер система у простору између спољне и унутрашње опне [Martin & Loncour, 2004.]. Други и трећи тип су универзалнији у погледу задовољавања свих параметара унутрашњег комфора. Они са једне стране омогућују, као и прва два типа, добар термички и ваздушни комфор, а осим тога захваљујући изолованости фасадних јединица дају и добар степен акустичке заштите између спратова и канцеларија. Четврти тип, поред свих аспеката унутрашњег комфора које задовољава као и претходни тип, има и вертикалне канале који поспешују циркулацију ваздуха, па је природна вентилација код њега ефикаснија. Боље перформансе подразумевају и веће инвестиционе трошкове код овог типа. Сваки од ових типова захтева посебну потконструкцију која у великој мери утиче на цену

двоструке фасаде. Природно струјање ваздуха у међупростору може да смањи топлотне добитке лети и до 25% [Comragno, 2002:118], а сложенији системи могу да постигну и боље ефекте, али захтевају и веће почетне инвестиционе трошкове. Цене двоструке фасаде крећу се од 600-1300€/m², што је од 2-2,5 пута више него за класичне [Poirazis, 2004:75].

МОГУЋНОСТ УНАПРЕЂЕЊА ГРАЂЕВИНСКОГ ФОНДА У БЕОГРАДУ УДВОСТРУЧАВАЊЕМ ФАСАДНОГ ОМОТАЧА

У нашој средини постоје оправдани разлози за примену склопа двоструких фасада, посебно када је реч о централним градским зонама са високим степеном загађења од ваздуха и буке, где би ваздушни тампон простор био ефикасно средство за ублажавање спољашњих утицаја. Глобалне климатске промене, које се манифестују кроз изузетно повишене летње температуре, повећавају проблем елиминисања топлотних добитака лети. Београдски климатски услови, за које је карактеристичан јак југоисточни ветар, додатно оправдавају постављање двоструке опне јужне оријентације. Упркос томе, до сада нема изведених архитектонских објеката код којих је овај склоп примењен у функцији енергетске ефикасности.

У нашим условима могућности примене двоструких фасада су још увек унеколико ограничене. Основни чиниоци таквог стања су:

- неповољно опште економско стање у земљи и недовољна финансијска моћ већине инвеститора;
- непостојање законских прописа, подстицајних мера и ограничења;
- још увек недовољно развијена грађевинска индустрија, односно немогућност да се у већем обиму приступи извођењу објеката са овако софистицираним елементима омотача;
- недовољна информисаност и ниво знања о двоструким фасадама у стручној популацији, како међу архитектима, тако и међу инжењерима других струка, пошто је ово склоп који своју пуну функционалност постиже тек уколико је интегрисан у систем ветрења, грејања и хлађења објекта, а посебно повољни ефекти на пољу енергетске ефикасности могу да се постигну тек ако се двострука фасада пројектује као активан систем за прихватање и дистрибуцију соларне енергије;
- неедукованост инвеститора, који нерадо прихватају већа почетна улагања у изградњу објекта, иако се кроз експлоатацију показује оправданост примене двоструких фасада, које доносе значајне енергетске уштеде и доприносе комфору; и
- проблем представљају и застарели технички прописи и стандарди, најпре они који се тичу противпожарне заштите, а затим и стандарди за прорачун површина, јер не третирају овакве случајеве.

И поред свега наведеног, постоји простор за примену овог савременог система материјализације омотача објеката, и то када се ради о појединим ексклузивним локацијама у граду и инвеститорима који су спремни да зарад престижа и комфора прихвате већу цену изградње. У Београду данас не постоји ниједан изграђени објекат са двоструком фасадом. Једини делимични изузетак је Југословенско драмско позориште архитеката Радојичића и Миљковића, чија је спољашња стаклена опна првенствено естетски елемент и нема улогу у постизању комфора нити енергетске рационалности објекта.

Друго могуће поље примене двоструких фасада је обнова дотрајалог грађевинског фонда, посебно послератне модернистичке стамбене архитектуре Новог Београда. У овом случају ради се о двоструким фасадама у општијем смислу, односно о склопу који по многим карактеристикама одговара класичној ветреној фасади, како је већ изложено у овом раду. Додавањем још једног слоја омотача на одређеном растојању од постојеће фасаде, избегли би се трошкови и тешкоће уклањања затеченог омотача, побољшале перформансе спољашњих зидова, омогућило хлађење у летњем периоду, а спречило претерано хлађење и влажење зими. Осим вредности коефицијента пролаза топлоте, побољшала би се и унутрашња контактна топлота зидова, што значајно доприноси осећају угодности корисника простора. Век трајања објеката био би продужен уколико би подсистем омотача био побољшан на овај начин, посебно имајући у виду различите могућности материјализације у складу са највишим савременим стандардима. С обзиром да се ради о великом грађевинском фонду, јасно је да би ефекти оваквог вида енергетског унапређења допринели значајној уштеди енергије и побољшању комфора становања. Са друге стране, овакав модел обнове отворио би питање промене визуелних карактеристика објеката, али то није предмет овог рада. Такође, овај тип интервенција тешко је остварив код објеката који се налазе у затвореним блоковима са ивичном изградњом, због обавезе да се поштује регулациона линија.

ЗАКЉУЧАК

Двоструке фасаде су сложени мултифункционални систем спољашњег омотача архитектонских објеката који се састоји од две опне које су раздвојене међупростором различите ширине и поделе, у коме ваздух струји зависно од пројектованог система и у зависности од тога постиже мање или веће учинке по питању уштеде енергије, вентилације, природног осветљења, акустичке заштите. Кретање ваздуха у међупростору је веома важно за постизање жељених ефеката, али, као случајно променљива величина, ствара тешкоће у моделовању и прављењу симулација. Основни проблеми и ризици у пројектовању двоструких фасада данас су последица непостојања довољне количине експерименталних података и верификованих софтверских алата са једне стране, а са друге често некритичко прихватање овог фасадног система као сигурног средства за постизање енергетске ефикасности. То за последицу

може да има неодговарајућу примену типова и подтипова двоструке фасаде и да резултује ефектима супротним од очекиваних.

Правилна примена двоструких фасада може да допринесе остваривању вишеструких предности у односу на класичне једноструке фасаде, како у погледу уштеде енергије, тако и у погледу постизања адекватног унутрашњег комфора. Сврсисходном поделом ваздушног међупростора поспешује се циркулација ваздуха, природна вентилација, стални доток ваздуха у унутрашње просторије отварањем прозора на унутрашњој фасади који су истовремено заштићени од буке и загађења споља захваљујући постојању предњег стакленог омотача. У зимском периоду значајна је улога ваздушног међупростора као термичког акумулатора, док је лети правилним режимом вентилације унутрашњег простора омогућено природно кондиционирање, затварањем прозора преко дана и отварањем ноћу. Велике стаклене површине омогућују природно осветљење, при чему се правилним избором стакла може избећи неповољан део сунчевог спектра. Осим тога, уградњом фотонапонских модула могућа је и производња електричне енергије.

Захваљујући свему горе наведеном, а пре свега својству селективне пропусности спољашњег омотача, који позитивне утицаје пропушта, а негативне задржава или преусмерава, омогућени су услови за комфоран боравак људи у унутрашњем простору. Тиме се отклањају пропратни ефекти градње савремених пословних вишеспратница познатих под називом ефекат акваријума или „синдром болесних зграда“.

Ефекат учинка двоструких фасада варира и зависи од примењеног система, тј. поделе унутрашњег међупростора. Такође, уско повезан са избором система јесте и тип конструкције двоструке фасаде који доминантно утиче на цену изградње. Цена двоструке фасаде је иницијално већа од цене класичне фасаде. Међутим, имајући у виду све позитивне учинке које примена ове фасаде доноси, препоручљиво је радити на унапређивању овог система и едукацији инвеститора.

С обзиром да овај фасадни склоп постаје синоним за енергетску ефикасност и одрживи развој, који су последњих година врло одређујући и за архитектуру, интересантно је пратити могућности двоструких фасада као једног од специфичних средстава архитектонског израза који у складу са техничко-технолошким напретком, нарочито на подручју стакла, обећава будућу синтезу утилитарног и естетског аспекта.

У области архитектонског пројектовања двоструке фасаде услед својих функционалних предности постају легитимна замена за класичне зид-завесе. Осим функционалних предности оне показују и визуелно-естетски потенцијал. У првом реду, велике стаклене површине преносе и даље идеју транспарентности, док се данас на тржишту присутним различитим врстама стакла могу постићи и додатни визуелни ефекти који прате савремени сензибилитет. Посебан обликовни квалитет двоструких фасада представља управо њихова слојевитост која омогућава преплитање различитих ритмова,

стварање ефекта дубине. У контексту урбане обнове, примена ових система у централним градским зонама, осим што има функционални значај и ефекте на пољу термичке, акустичке заштите и уштеде енергије, омогућава кроз дубину планова и различит третман у материјализацији, суптилно надовезивање старог и новог, традиционалног и модерног. Из ових разлога се као тема будућих истраживања намеће испитивање визуелно-естетских потенцијала двоструких фасада у контексту њима својствених функционалних ограничења.

Литература

- Косорић, В. (2004.), Енергетска ефикасност двоструких фасада, *Месечни Balkan Energy Solutions Team (BEST) e-mail билтен из области електроенергетских система, обновљивих извора енергије, тржишта електричне енергије и екологије 7/2004*, Balkan Energy Solutions Team, <http://www.balkanenergy.com/files/B7S.pdf> (21.10.2007.)
- Пуцар, М. (2006.), Биоклиматска архитектура: застакљени простори и пасивни соларни системи, Институт за архитектуру и урбанизам Србије, Београд
- Compagno, A. (2002.), *Intelligente Glasfassaden*, Birkhauser, Basel
- Dziubinski, O. & Chipman, R. (1999.), Trends in Consumption and Production: Household Energy Consumption, *DESA Discussion Papers*, United Nations, <http://www.un.org/esa/sustdev/publications/esa99dp6.pdf> (26.05.2007.)
- Faggembauu, D. (2006.), Heat transfer and fluid-dynamics in double and single skin façades, Doctoral Thesis, Universitat Politecnica de Catalunya, Terrassa, www.tesisenxarxa.net/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-0516107-100222//01Df01de01.pdf (03.11.2007.)
- Loncour, X. et al. (2004.), Ventilated Double Façades – Classification & illustration of façade concepts, Belgian Building Research Institute, Brussel, <http://www.bbri.be/activefacades/new/download/Ventilated%20Doubles%20Facades%20-%20Classification%20&%20illustrations.dvf2%20-%20final.pdf> (10.04.2007.)
- Martin, Y. & Loncour, X. (2004.), Les Doubles Façades Ventilées: Exigences en matière de sécurité incendie, Centre Scientifique & Technique de la Construction, Bruxelles, <http://www.bbri.be/activefacades/new/download/Les%20Doubles%20Fa%20E7ades%20Ventil%20E9es%20-%20Aspects%20de%20stabilit%20E9%20et%20s%20E9curit%20-%20dfv2%20-%20final.pdf> (10.04.2007.)
- Poirazis, H. (2004.), Double Skin Façades for Office Buildings, Lund University, Lund, www2.ebd.lth.se/avd%20ebd/main/personal/Project%20home%20page/main/publications/LITERATURE.pdf (13.04.2007.)
- Saelens, D. (2002.), Energy Performance Assessment of Single Storey Multiple Skin Façades, Ph.D. Dissertation, Katholieke Universiteit Leuven, Leuven, http://www.kuleuven.ac.be/bwf/common/data/PhD_2002_Saelens.pdf (17.11.2007.)
- Uuttu, S. (2001.), Study of Current Structures in Double-Skin Façades, Master's Thesis, Helsinki University of Technology, Helsinki, <http://www.hut.fi/Units/Civil/Steel/SINI2.PDF> (05.04.2007.)

- Wigginton, M. & McCarthy, B. (2000.), Environmental Second Skin Systems, School of Architecture, University of Plymouth, Plymouth, <http://www.battlemccarthy.com/Double%20Skin%20Website/index.htm> (13.04.2007.)
- Yellamraju, V. (2004.), Evaluation and Design of Double-Skin Façades for Office Buildings in Hot Climates, Master of Science Thesis, Texas A&M University, College Station, txspace.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/205/etd-tamu-2004A-ARCH-Yellamraju-1.pdf?sequence=1 (03.11.2007.)