



SAVEZ INŽENJERA I TEHNIČARA SRBIJE

NAUČNA KONFERENCIJA

# ENERGETSKA EFIKASNOST I ČETVRTA INDUSTRIJSKA REVOLUCIJA



Beograd  
24. decembar 2021.



**САВЕЗ ИНЖЕЊЕРА И ТЕХНИЧАРА СРБИЈЕ**  
**ИНЖЕЊЕРСКА АКАДЕМИЈА СРБИЈЕ**

**Научна конференција**  
**ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И**  
**ЧЕТВРТА ИНДУСТРИЈСКА**  
**РЕВОЛУЦИЈА**

**Зборник радова**

**Београд, 24. децембар 2021.**

**Издавач:**

Савез инжењера и техничара Србије, Београд

**За издавача:**

Мр Богдан Влаховић, генерални секретар

**Главни и одговорни уредник:**

Емеритус проф. др Илија Ћосић

**Организациони одбор:**

Мр Богдан Влаховић, мр Зоран Пендић, Оливера Ћосовић, MSc, Оља Јовичић, дипл. прав, Маријана Михајловић, есс.

**Научно-стручни одобр:**

Емеритус проф. др Илија Ћосић, емеритус проф. др Радомир Фолић,  
др Игор Марић, др Милован Живковић, проф. др Вујадин Вешовић

**Лектура и коректура:**

Оливера Ћосовић

**Технички уредник:**

Оља Јовичић

**Штампа:**

Академска издања, Земун

**Година издавања:** 2021

**ИСБН:** 978-86-80067-50-6

**Тираж:** 100 примерака

## **ОРГАНИЗАТОР**



**Савез инжењера и техничара Србије**

## **СУОРГАНИЗАТОРИ**

**Инжењерска академија Србије**



**Инжењерска комора Србије**



**ИНЖЕЊЕРСКА  
КОМОРА  
СРБИЈЕ**

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

330.341.1:620.9(082)

НАУЧНА конференција Енергетска ефикасност и четврта индустријска револуција

(2021 ; Београд)

Зборник радова / Научна конференција Енергетска ефикасност и четврта индустријска револуција, Београд, 24. децембар 2021. ; [главни и одговорни уредник Илија Ђосић]. - Београд : Савез инжењера и техничара Србије, 2021 (Земун : Академска издања). - 89 стр. : илустр. ; 24 cm

Радови на срп и енгл. језику. - Текст ћир. и лат. - Тираж 100. - Библиографија уз сваки рад. - Summaries.

ISBN 978-86-80067-50-6

а) Индустрија - Енергетска ефикасност - Зборници

COBISS.SR-ID 54244361

## САДРЖАЈ

*Горан Путник*

**Сајбер-Физички системи као нова парадигма контроле за  
Индустрију 4.0 и за комплекс Енергија-Индустрија 4.0** ..... 7

*Драган Шешлија, Валентина Младеновић*

**Повишење енергетске ефикасности система ваздуха под  
притиском као део одрживе производње** ..... 17

*Александар Анђелковић, Душан Маџура, Игор Мујан*

**Савремени системи даљинског грејања - транзиција ка 4. и 5.  
генерацији** ..... 28

*Вуле Рељић, Драган Шешлија, Слободан Дудић, Николина Дакић*

**Повећање енергетске ефикасности флексибилних  
производних система** ..... 38

*Владимир Момчиловић*

**Енергетска ефикасност друмских моторних возила у  
Републици Србији – стање и перспективе** ..... 48

*Будимир Судимац, Дарија Гајић*

**Термичко понашање вегетационог модуларног система у  
фасадном омотачу објекта** ..... 60

*Зорана Петојевић, Горан Тодоровић, Радован Госпавић,  
Ненад Иванишевић*

**Вишекритеријумски оптимизациони модел за избор мера за  
енергетски ефикасну санацију омотача зграда**..... 70

*Марко Самарџић*

**Паметан рад у Индустрiji 4.0** ..... 81

## ТЕРМИЧКО ПОНАШАЊЕ ВЕГЕТАЦИОНОГ МОДУЛАРНОГ СИСТЕМА У ФАСАДНОМ ОМОТАЧУ ОБЈЕКТА

## THERMAL BEHAVIOR OF THE VEGETATION MODULAR SYSTEM IN THE FACADE COVER OF THE BUILDING

БУДИМИР СУДИМАЦ<sup>1</sup>, ДАРИЈА ГАЈИЋ<sup>2</sup>

**Резиме:** Овај рад показује потенцијале зеленог зида у смањењу температура фасадних површина зграда током лета. Смањење ових температура утиче на коефицијент топлотне проводљивости фасадних елемената. Коришћење зидова вегетације у архитектури отворило је нове могућности за смањење енергије потребне за хлађења у летњем периоду када је експеримент обављен. Истраживање показује дизајн бетонског префабрикованог, модуларног модела зеленог зида који садржи биљке и његов утицај на температурну равнотежу у омотачу зGRADE. Приметно је да вегетативни зидови који имају зелене површине покривени биљним омотачима играју важну улогу у хармонизацији параметара микроклиме у односу на локално окружење. Методологија представљена у раду заснована је на анализи климатских карактеристика београдског климатског подручја, експерименталним мерењима тест модела и компаративном анализом са референтним зидом. Током експеримента, подаци о спољашњим климатским параметрима и коефицијенту проласка топлоте кроз зид били су континуирано мерени. Поред ових параметара, како би се испитао утицај биљних врста на температурне параметре зида, мерена је температура зида у односу на различите биљне врсте. Анализа података омогућила је процену ефикасности топлотне изолације зида вегетације у летњем периоду. Расподела вредности температуре, виђена на термограмима експерименталног модела, показала је пад температуре у односу на референтни зид, што доводи до смањења укупне енергије потребне за хлађење унутар зGRADE. Предложена методологија омогућава квантитативну анализу ефеката вертикалног зеленила.

**Кључне речи:** зелени зидови, омотач зGRADE, смањење топлотног прегревања, површинска температура, енергетске перформансе

**Abstract:** The goal of this research is to show potentials of vegetation walls in order to decrease temperature of facade surfaces of buildings during summer. Decreasing these temperatures directly affects coefficient of thermal conductivity of facade elements. The use of vegetation walls in architecture has opened up new possibilities for reducing energy needed for cooling during summer months when the experiment was performed. The research

<sup>1</sup> Будимир Судимац, Универзитет у Београду, Архитектонски факултет, Булевар краља Александра 73, Београд

<sup>2</sup> Дарија Гајић, Универзитет у Бањој Луци, Архитектонско-грађевинско-геодетски факултет, Булевар војводе Степе Степановића 77, Бања Лука

shows the design of a concrete prefabricated, modular model of a vegetation wall which contains plants and its impact on the temperature balance in the building envelope. It is noticeable that vegetative walls covered by plants play an important role in the harmonization of the parameters of the microclimate in relation to the local environment. Methodology presented in this paper was based on analysis of climate characteristics of Belgrade climate zone, experimental measurements of the test model and comparative analysis with the reference wall. During the experiment, the data about external climate parameters and the coefficient of heat transfer through the wall were continuously measured. Also, in order to examine the effect of plant species on the temperature parameters of the green wall, temperature of the wall with different plant species was measured. Data analysis enabled the assessment of the efficiency of thermal insulation of the vegetation wall in the summer period. The distribution of temperature values seen on thermograms of the experimental model showed a fall in temperature in regard to the reference wall, which leads to a decrease in the total energy required for cooling inside the building. Methodology presented in this paper allows quantitative analysis of the effects of vertical greenery.

**Key Words:** green wall; building envelope; reduction of overheating; surface temperature; energy performance

## 1. Увод

Вегетациони зидови су део интегративног архитектонског пројектовања и могу допринети решавању обликовних архитектонских дилема и идентитета објекта. Коришћење елемената вегетационих зидова у архитектури отворило је нове пројектантске могућности и створило изазове за пројектанте.

Одабир фасадних система који имају генерисану вегетациону структуру и обликовање вегетационих зидова су основ за смањење екстремних природних утицаја. Вегетациони зидови се могу представити као део процеса укупне обликовне оптимизације архитектонског објекта.



*Слика 1. Вертикални зидови као основ за идентификацију архитектонских објеката*



Појава зеленила на фасадама није нов концепт у реализацији фасадних омотача и може понудити јединствено обликовно решење. Вертикално озелењени зидови истовремено доприносе и побољшању енергетских карактеристика објеката, биодиверзитета, обликовних вредности и у великој мери омогућавају смањење ваздушног загађења од fine прашине и угљендиоксида. С обзиром да се кроз омотач зграде одвија интеракција између спољашње средине и унутрашњег простора, он представља кључан елемент у решавању зависности између остваривања услова комфора у објекту, спољашњег изгледа објекта и енергетског биланса објекта.

Студија спроведена за различите системе озелењавања показује потенцијал вертикалних зелених слојева за ублажавање спољашњих утицаја. Вегетациони зидови омогућавају корисницима и пројектантима да створе амбијент веома сличан природном окружењу. Развој нових технологија, доводи до промене досадашњих концепата материјализације фасадних омотача објекта са аспекта топлотне заштите, акустике и обликовања.



*Слика 2. Пројектантски изазови у реализацији зелених зидова*

Технологија израде, пројектовање и примена вегетационих (зелених) зидова једна је од еко грађевинских технологија која се изузетно брзо развија. Озелењавање и очување урбаног простора постало је важно питање у разматрању услова за пројектовање архитектонских објеката и редефинисање односа између технологије, енергије и обликовања. Вегетациони зидови су створили пројектантске изазове за примену ових склопова.

Вегетациони зидови представљају део растућег концепта новог креативног израза фасадног омотача који је посвећен превазилажењу изазова које доносе глобалне климатске промене и осиромашење природних ресурса. У исто време, достизање обликовних норми омогућује да та решења постану прихваћена у друштву дајући ново изражајно обележје савремених архитектонских објеката. Вегетациони зидови отварају једно ново поље истраживања

фасадних омотача третирајући архитектонске објекте као потенцијално место за стварање и реализацију уметничких креација користећи технологију као основ свог изражавања.

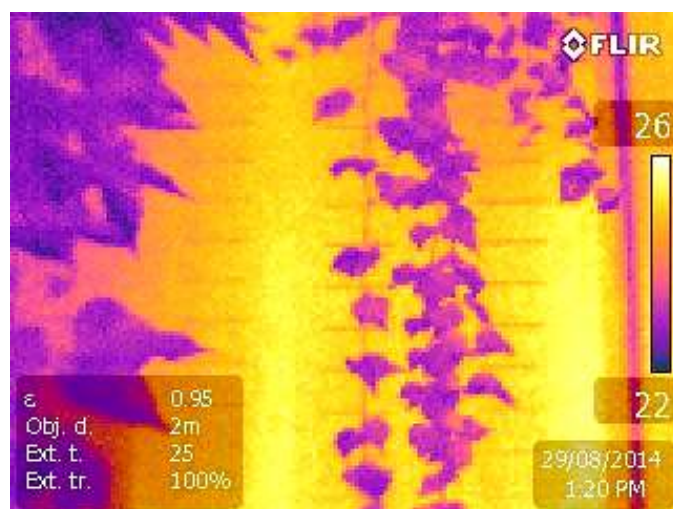


*Слика 3. Вертикална башта*

Вертикалне баште представљају део интегративног архитектонског изражавања и основ су за идентификовање и решавање обликовних архитектонских задатака и енергетских потенцијала архитектонских објеката. Коришћење елемената зелених зидова у архитектури 21 века отворило је нове пројектантске могућности и изазове за пројектанте.

## **2. Енергетски потенцијали зелених зидова**

Енергетски потенцијал одређеног омотача архитектонског објекта одређен је структуром самог омотача, локацијским климатским условима и режимом коришћења објекта. Колебање температуре зидне површине током времена експлоатације доводи до нежељених дејстава на грађевинским материјалима примењеним у архитектонским објектима. Вегетативни зидови пружају додатну спољашњу изолацију и на тај начин балансирају укупни топлотни флуks. Биљна структура зида штити носећу зидну површину од претераног UV зрачења и атмосферских падавина.



Слика 4. Зеленило као елемент засенчења

Зелени зидови су живи организми чији раст и развој зависи од низа утицајних фактора. Експериментални резултати могу да се разликују у зависности од климатске зоне где су ти зидови употребљени. За ову анализу било је битно познавање карактеристика различитих биљних врста у локалним временским условима ради ефикасније употребе зелених зидова. Због своје специфичности ови зидови мењају одређене микроклиматске ефекте у свом окружењу. Ово истраживање засновано је на експерименталном приступу који користи процену ефекта вегетације на топлотне перформансе објекта. Евалуација потенцијалних бенефита вегетативних зидова може у урбаном окружењу да подстакне његово коришћење. Анализе представљене у овом раду засноване су на експерименталном моделу. Може се потврдити да вегетациони зидови утичу на енергетски биланс омотача у летњем периоду. Тај утицај је директно повезан са употребљеним биљним врстама, густином лисног покривача (ЛАИ), евапотранспирационим фактором и модуларном подлогом вегетационог зида.

Уочено је да током летњег периода вегетациони зидови доприносе смањењу површинске температуре референтних зидних површина. Употреба зелених зидова може играти важну улогу током летње сезоне и веома утицати на енергетски биланс објекта у овом периоду. Одређене студије показују да вегетација у фасадним омотачима осим значајног смањења потрошње енергије истовремено побољшава ефекте урбаних топлотних острва.

### 3. Модуларни систем од перлит бетона

За потребе овог истраживања изабран је модуларни систем направљен од перлит-бетона. Код дефинисања типа модуларног елемената вегетационог зида третирани су изабрани фактори који у највећој мери утичу на енергетске перформансе самог елемента, а који у даљој анализи могу утицати на технолошке карактеристике и пројектантска унапређења модела. Модуларни

систем вегетационих зидова подразумева примену контролисаних система садње и одржавања биљних врста у панелима који садрже земљу или неку другу артикулациону супстанцу растућег медија за биљке као и аутономног система за одржавање. За овај експеримент формиран је вегетациони зид који се састоји од: носећег дела који је од перлит бетона, термоизолације, супстрата и биљног расада.



*Слика 5. Модуларни елемент*

Употреба оваквих система омогућава повећање разноврсности употребе биљних врста, самим тим остварује се повећање обликовних потенцијала вегетационих зидова. Карактеристика овог система стварања вегетационих зидова је употреба кутијастих модула, испуњених подлогом за садњу и неопходност подконструктивног система за његово причвршћивање на носећи део фасадног зида.

Примена модуларних система за формирање вегетационих зидова припада групи сложенијих система, који омогућавају да се вегетациони зидови поставе унутар или изван објекта. Овакав начин формирања склопа омогућава нам лакоћу у обликовању, применљивост на објектима без ограничења, већу трајност, несметану употребу технологије у процесу одржавања.

У сваком панелу се налази по 3 садна цепа. Густина очврслог бетона у сувом стању износи  $\rho_0=458 \text{ kg/m}^3$ . Маса елемента пре засађивања биљака износила је 5,436 kg, а тежина засађеног елемента 6,320 kg. Ритам кружних отвора за сађење биљног расада је симетричан. Зеленило се сади у супстрат који представља смешу 90% светлог тресета (гранулације 00-20 mm, 00-30 mm) и 10% црног тресета (гранулације 00-20 mm, 00-30 mm). Употребљене биљке имају добар покривни ефекат са приближно истом површином листова. Структура листова је различита.



*Слика 6. Зелени зид од перлит бетона*

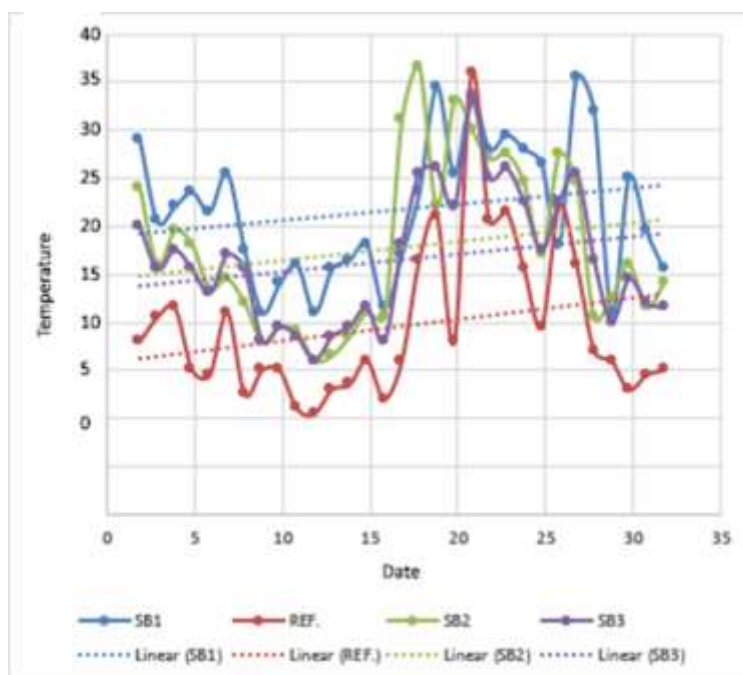
Добијени резултати су упоређивани са измереним температурама референтног зида. Током овог периода мерена је: температуре површина фасадног зида, са и без вегетационе структуре, са спољашње стране зида, температура листа биљног засада, температура спољашње површине модуларног елемента и температура на унутрашњој страни елемента.

#### **4. Анализа резултата**

Основ за анализу и утврђивање параметара фасадног склопа огледа се у прикупљању адекватних климатских параметара и техничких карактеристика постављеног модела вегетационог зида уз прецизно регистровање утицајних фактора. Експериментално мерење вршено је на референтном зиду дебљине 35 цм од опеке. Референтни зид има срачунати коефицијент пролаза топлоте  $U=0,482 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Соларно зрачење показује максималну вредност  $995,6 \text{ W/m}^2$ , измерену у 13.06 сати. Влажност ваздуха варира у опсегу од 97% до 46%. Увиђа се да је максимална вредност влажности ваздуха измерена у раним јутарњим сатима, а да је мин. влажност ваздуха измерена у вечерњим.

Мерења и резултати модула и прорачунске анализе у оквиру претпостављеног модела показују уједначеност добијених резултата. Мерења и анализе су показале да је температура на површини зида са вегетацијом знатно нижа у односу на омалтерисани зид без вегетације. Ови подаци указују да вегетациони модули утичу на смањење температуре зидне површине. Експерименталним путем мерене су спољна температура ваздуха, спољна температура зида без зеленила, спољна температура зида са зеленилом, температура површине модула иза вегетације.



Слика 7. Графички приказ измерених температурних вредности у вегетационом зиду

Током јужне орјентације средња спољашња температура ваздуха је износила је  $20.5^{\circ}\text{C}$ . Измерена средња температура спољашњег зида у делу без вегетације износила је  $22.38^{\circ}\text{C}$ , а у делу где је зид био обложен вегетацијом температура зида износила је за модел ПБ1  $20.91^{\circ}\text{C}$ , ПБ2  $19.45^{\circ}\text{C}$ , ПБ3  $19.12^{\circ}\text{C}$ . Може се уочити да је температура референтног фасадног зида виша у односу на део фасадног зида на коме је за потребе експеримента постављен вегетациони зид за  $1.47^{\circ}\text{C}$  или  $6.57\%$  код модела ПБ1,  $2.93^{\circ}\text{C}$  ПБ2 или  $13.10\%$  и  $3.26^{\circ}\text{C}$  код модела ПБ3 или  $14.58\%$ .

Температура зелених модула почиње да се смањује касније у поподневним часовима. Интересантно је анализирати температурно понашање биљака, везано за температуру и време. На графикону приказана је површинска температура три модула. Температура се смањује у различитим температурним опсезима. Може се уочити да наводњавање има утицај на температуру вегетационог модула.

## 5. Закључак

Анализе рађене у овој експерименталној студији показују термичко понашање вегетационог модуларног система у поређењу на конвенционални зид. Њихово упоређивање вршено је мерењем температуре и коефицијента пролаза топлоте мерним уређајем. Референтно упоређивање је вршено применом три различита биљна расада са истим коефицијентом лисне површине. Поређење

је извршено кроз евалуацију експерименталних података прикупљених током мерења у летњем периоду.

За разлику од конвенционалних материјала за материјализацију фасада, вегетациони зидови не апсорбују примљено сунчево зрачење. Сунчево зрачење које пада на лисну површину вегетационих зидова делом се рефлектује, део се користи за фотосинтезу, део се користи у процесу евапотранспирације и мањи део долази до носивог дела фасадног омотача.

Осим овога биљна структура утиче на смањење количине ултравиолентног зрачења на остале делове фасадног омотача, понашајући се као елемент засене (слика 6). Како је добијена вредност коефицијента пролаза топлоте фасадног зида са додатим вегетационим зидом  $U=0.3738 \text{ W/m}^2\text{K}$ , може се закључити да су испуњени захтеви према важећем правилнику о енергетској ефикасности.

Током истраживања доказан је утицај дужине инсолације, количине сунчевог зрачења, величине лисне површине на вегетативне перформансе зида. Избор система озелењавања игра кључну улогу у процесу оптимизације, јер он својим перформансама омогућава већи или мањи процентуални допринос изабраног модула у процесу унапређења фасадног омотача. Мерења су показала да примена вегетационих зидова у архитектонским објектима обезбеђују смањење потребне енергије за хлађење у летњем периоду у распону од 6 - 12%.

На основу овако добијених резултата може се констатовати да анализирани модел у потпуности задовољава претпостављене енергетске потенцијале вегетационих зидова. Ова експериментална студија истражује термичко понашање вертикалног зеленила у модуларном систему, направљеном од термо бетона, примењеном на конвенционално изолованом зиду.

Његово понашање је поређено са мерним вредностима на референтно омаљтерисати зидом. Мерења током лета показала су доста велико смањење температуре на површинама фасадног омотача. Вегетациони зидови у целом истраживању су третирани као пасивни системи у енергетској ефикасности архитектонских објеката.

Закључено је да избор система озелењавање игра кључну улогу у процесу оптимизације, јер он својим перформансама омогућава већи или мањи процентуални допринос изабраног модела у процесу унапређења фасадног омотача. За разлику од конвенционалних материјала за материјализацију фасада, вегетациони зидови много мање апсорбују примљено сунчево зрачење. Анализама је доказано да вегетација побољшава енергетске перформансе објеката у нашим климатским условима [9].

У даљем истраживањима и раду на вегетационим зидовима препорука је да се са становишта енергетске оптимизације објеката анализирају односи енергетске оптимизације објекта и потребне површине вегетационог зида да би цео процес имао економско оправдање. То питање није третирано у овом истраживању.

## 6. Литература

- [1] Brown R. D, Gillespie T. J, *Microclimatic landscape design: creating thermal comfort and energy efficiency*. New York: J. Wiley & Sons; xi, p.193, 1995.
- [2] Eumorfopoulou, E.A, K.J. Kontoleon, Experimental approach to the contribution of plant covered walls to the thermal behaviour of building envelopes, *Building and Environment* 44, 1024–1038, 2009
- [3] Lam M, Ip K, Miller A, Experimental modelling of deciduous climbing plants as shading devices. In: *Sustainable buildings 2002 – third international conference on sustainable buildings*. Oslo, Norway: EcoBuild; 2002.
- [4] Mayer H. and P. Hppe, Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology*, (1): p. 43-49, 1987.
- [5] Miller A, Shaw K, Lam M, *Vegetation on building facades: „Bioshader“*. Case Study Report; 2007.
- [6] Papadakis G, Tsamis P. & Kyritsis S, An experimental investigation of the effect of shading with plants for solar control of buildings. *Energy and Buildings*, 33, pp. 831-836, 2001.
- [7] Salisbury F. B, Ross CW, *Plant physiology*. 4th ed. Wadsworth Publishing Company; 1992.
- [8] Wong N. H, et al, Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls, *Building and Environment*, 2009.





tpXX22122690---FFD

code: XXX, XXXX, XXXX

002011 basic option accepted

00999--00200200000



```
[cpu] done / done / pa  
[cpu] negative / negat  
[cpu] done / negative /  
[cpu] error / error / res  
[cpu] done / done / ac  
[cpu] error  
[cpu] negative / analyz  
[cpu] preparation com
```