

Енергетска ефикасност на примјеру модуларне павиљонске структуре у урбаном контексту града Никшића

Exploring Energy Efficiency in Modular Pavilion Design: the Urban Context of Nisic

Андријана Дачевић, Факултет техничких наука, Нови Сад

Област – АРХИТЕКТУРА

Кратак садржај—Рада се бави истраживањем енергетске ефикасности павиљонске структуре која је састављена од модула. Основни циљ рада је одредити најефикаснију конфигурацију модула и испитати употребљивост генерисане енергије. Кроз примјену савремених алата и софтвера, анализира се како геометрија и њена оријентација утичу на стварање енергије из обновљивих ресурса.

Кључне речи: Енергетска ефикасност, модуларни дизајн, павиљонске структуре, савремени софтвери

Abstract – The thesis focuses on the investigation of the energy efficiency of a pavilion structure composed of modules. The main objective of the study is to determine the most efficient configuration of the modules and to examine the usability of the generated energy. Through the application of modern tools and software, the analysis explores how the geometry and its orientation affect the production of energy from renewable resources.

Keywords: Energy efficiency, modular design, pavilion structure, modern software

НАПОМЕНА:

Овај рад је проистекао из мастер рада чији ментор је била др Ивана Бајшански, ред. проф.

1. УВОД

Предмет овог истраживања је интеграција обновљивих извора енергије у привремене урбане структуре, с посебним фокусом на дизајн павиљона који би био у модуларном облику. Истраживање обухвата области архитектуре, урбанизма, енергетске ефикасности, али и савремених софтвера који могу да допринесу развоју практичних рјешења која повезују љепоту, корисност и одрживост у модерним градским срединама.

2. ОБНОВЉИВИ ИЗВОРИ ЕНЕРГИЈЕ

Обновљиви извори енергије су неисцрпни извори из природе као што су сунце, вјетар, вода, биомаса и остали. Они се обнављају у природним процесима и употребом оваквих извора не нарушавају се еколошки аспекти, с обзиром да не загађују околину емисијом гасова.

Соларна енергија представља најчешће коришћен обновљиви извор у павиљонским структурама, јер се најлакше може имплементирати. Фотонапонски панели могу се поставити на кров или фасаду. Савремене технологије омогућавају примјену флексибилних и лаких соларних панела који се лако прилагођавају облику и структури павиљона. Данас се производе тако да не морају да нарушавају естетику објекта, већ могу да јој и допринесу. Енергија произведена на овај начин може се користити за осветљење, вентилацију, напајање технологије и тако даље.

Мале вјетротурбине представљају ефикасно рјешење за производњу електричне енергије на локацијама гдје постоји довољан проток ваздуха. Ове турбине се могу лако монтирати на кровне или носеће елементе павиљона, јер могу бити прилично компактне. Осим функционалне улоге, вјетротурбине често доприносе и визуелном идентитету објекта.

Биомаса и биогаз се ријетко користе у малим павиљонским структурама јер захтијевају велики простор и специфичну опрему, али могу бити дио ширег система. Интеграција обновљивих извора енергије у архитектонски дизајн павиљона не представља само технички изазов, већ и прилику за стварање визуелно препознатљивих структура.

3. СТУДИЈЕ СЛУЧАЈА

Павиљони, који користе обновљиве ресурсе енергије, најчешће су експериментални и испитују однос човјека, технологије и природе. Неки од њих представљају самоодрживе микросистеме, што значи да генеришу енергију која је потребна за властито функционисање.

3.1. Павиљон на соларни и вјетроенергетски погон

Павиљон (слика 1) је замишљен као мјесто окупљања студената и професора Калифорнијског факултета. Павиљон је висок око 45 m и на његовом врху налази се вертикална вјетротурбина која производи електричну енергију. Она се може користити директно у оквиру кампуса или складиштити у батеријама које су смјештене у постољу павиљона.

Окретање турбине користи се и за генерисање интерактивних слика и звукова, који се приказују на централном пројекционом екрану. Додатну енергију

производе четири велика прстена фотонапонских ћелија, која се налазе на јужним странама. Те ћелије претварају сунчеву свјетлост у струју.

Оно што је необично јесте да се дио енергије која се произведе помоћу вјетра и сунца може претворити у водоник, користећи и кишницу са крова павиљона. Водоник и вода се чувају, па онда служе за напајање возила и других система кампуса, док се кишница, између осталог, користи и за наводњавање биљака. Тако је овај павиљон мултифункционалан у погледу енергетске ефикасности. Павиљон симболично подсећа на велики кишобран.



Слика 1. Павиљон на соларни и вјетроенергетски погон

3.2. Павеген плоче

Павеген плоче (слика 2) представљају иновативан систем који претвара кинетичку енергију људског кретања у електричну енергију. Ову технологију је 2009. године осмислио Британац Лоренс Кембал-Кук, заснивајући концепт на једноставној идеји – сваки корак постаје мали извор енергије. Плоче се уграђују у под, а када особа стане на њих, оне се лагано слегну (око 5–10 mm). Механички систем у комбинацији са електромагнетима тада претвара притисак у електричну енергију, при чему један корак може произвести просјечно 3,5 цула – довољно за неколико секунди рада LED сијалице.

Ове плоче се данас користе на различите начине. У урбаним срединама могу напајати улично осветљење, екране или сензоре, док се у школама и на игралиштима користе за осветљавање простора и едукацију деце о обновљивим изворима енергије. Павеген је постављен на многим локацијама широм свијета – од лондонског аеродрома Хитроу и Вест Хем стадиона, преко тржних центара и шеталишта у Дубају и Абу Дабију, до јавних паркова у Вашингтону, па чак и у афричким школама.

Павеген плоче су идеалан елемент за дизајн павиљона предвиђеног за овај пројекат, јер су визуелно ненаметљиве, а истовремено пружају све функционалности потребне за интеграцију одрживе енергије. Оне омогућавају генерисање електричне енергије из људског кретања, доприносе едукацији и

подизању еколошке свијести, а не нарушавају естетику и концепт самог павиљона, што их чини савршеним избором за овај простор.



Слика 2. Павеген плоче

4. АНАЛИЗЕ

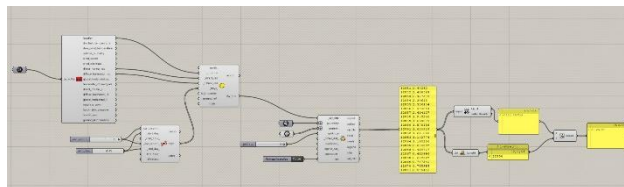
4.1. Локација

Како би се прецизније сагледали квалитети локација за постављање павиљона, спроведене су анализе радијације (слика 3) и просјечног броја осунчаних сати (слика 4) у одређеном периоду.

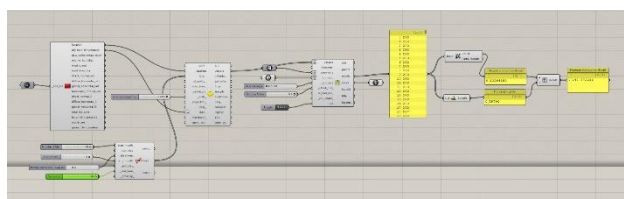
Анализе су рађене у софтверима Rhino и Grasshopper, уз коришћење додатака као што су Ladybug и Honeybee, који су омогућили интеграцију метеоролошких података и симулацију соларних утицаја. Као улазни податак узет је ерw документ који приказује временске услове за град Подгорицу, која се налази 50 km од Никшића.

Разматрано је пет локација: шеталиште Алексе Бачковића, плато испред робне куће „Никшићанке“, двориште Филозофског факултета, плато испред Дома револуције и пјешачка зона у „Кварту“. Критеријуми за одабир локација за постављање павиљона највише су се односили на доступност и фреквенцију кретања, пошто је за инсталацију ове врсте од изузетног значаја управо – интеракција људи.

За сваку од ових пет локација израђен је појединачни 3D модел урбаног окружења, укључујући основне волумене објеката и морфологију терена. Узет је обим 150 m x 150 m.



Слика 3. Код за радијацију



Слика 4. Код за осунчане часове

Уз помоћ ових анализа, добили смо најбољу просјечну радијацију од 53,59 kWh/m², у току мјесеца октобра, на локацији дворишта факултета. Сам графички приказ се разликује од осталих – на њему се уочава да је велики број ћелија грида у „црвеној зони“. Такође, на приказу се види јасан простор у средишњем дијелу на којем би могло да се развије велики број модула павиљона.

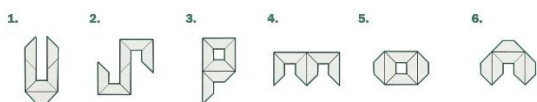
4.2. Варијације модула

Након истраживања модуларних форми и експериментисања у софтверима, изведен је изглед два микромодула (слика 5). Њиховим мултиплицирањем добиће се различите конфигурације модула. Изглед коначног модула мора имати одређену линију кретања, како би испоштовао програм галерије.

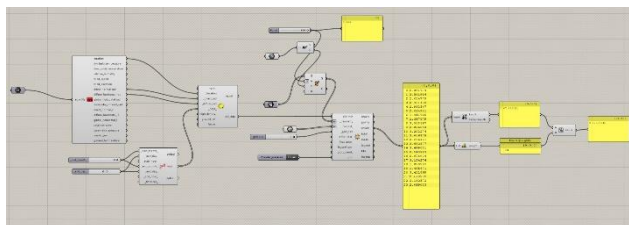
Направљено је шест конфигурација (слика 6) које задовољавају овај критеријум. Сви модули су састављени од шест микромодула. У даљој анализи, истраживани су и макромодули који садрже четири модула, односно 24 микромодула.



Слика 5. Микромодули



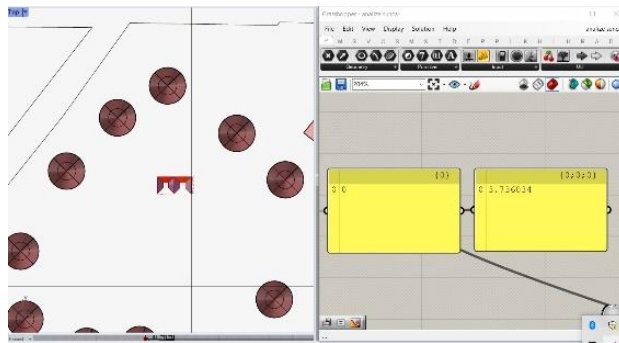
Слика 6. Конфигурације модула



Слика 7. Код за израчунавање радијације на павиљону

Анализе (слика 7) су рађене за све одабране конфигурације модула и њихових макромодула. Уз помоћ кода пронађен је угао који даје најбоље резултате за сваку од њих, и на основу тога упоредном анализом треба добити најефикаснији модул и његову позицију у дворишту.

Након анализа радијације, најбоље перформансе је показао модул број 4 (слика 8), који има просјечну радијацију 3,73 kWh/m². Његов одговарајући пар макромодула такође је показао највећу радијацију у односу на остале, која износи 3,55 kWh/m².



Слика 8. Анализа модула 4

5. ВИЗУЕЛИЗАЦИЈА

На слици 9. приказан је рендер ентеријера одабраног модула у својој функцији галерије. За амбијент је изабрана палета зелених нијанси боја, која остварује природну и пријатну атмосферу. Отвори у модулу омогућавају визуелну повезаност са екстеријером и осталим модулима. Прозор између два модула остварује бољу прегледност простора.



Слика 9. Рендер ентеријера

Колаж екстеријера, на слици 10, показује како се павиљон уклопио у природни амбијент дворишта факултета. На крову павиљона уочавају се соларни панели, а на поду Павеген плоче.



Слика 10. Колаж екстеријера

6. ДОБИЈЕНА ЕНЕРГИЈА И ЕФИКАСНОСТ ПАВИЉОНА

6.1. Соларни панели

Енергија, добијена од соларних панела на павиљону, биће апроксимативно израчуната.

Формула за рачунање енергије [1]:

$$E = A \times r \times H \times PR \quad (1)$$

A је укупна површина соларних панела, у нашем случају рачунаћемо површину крова који је састављен од микромодула трапезоидног облика. Формула за рачунање површине трапеза је (2):

$$P = (a+b) \times h / 2 \quad (2)$$

Странице трапеза су: $a=3\text{m}$, $b=1\text{m}$, док висина износи $h=1,12\text{m}$. Када то уврстимо у формулу (2), добијамо:

$$P = (3\text{m}+1\text{m}) \times 1,12\text{m} / 2 = 2,24\text{m}^2$$

Пошто павиљон чини 6 микромодула, укупна површина је $13,44\text{m}^2$.

У формули r означава ефикасност панела. Стандардна ефикасност панела износи 20%, односно 0,2 [2].

H је просјечна соларна радијација, која је у овом случају добијена анализама у Grasshopper-у и износи $3,73\text{ kWh/m}^2$ у току једног дана.

PR (performance ratio) представља коефицијент перформанси, који приказује губитке. Његова вриједност је у домену 0,6 – 0,9 [3]. За апроксимационо рачунање енергије у овом случају узећемо средњу вриједност од 0,75.

Када уврстимо све вриједности у формулу (3), добијамо:

$$E = 13,44\text{m}^2 \times 0,2 \times 3,73\text{ kWh/m}^2 \times 0,75 = 7,51\text{ kWh} \quad (3)$$

Енергија добијена преко соларних панела на павиљону у току једног дана износи $7,51\text{ kWh}$.

6.2. Павеген плоче

У претходном тексту је наведено да један корак може да произведе 2–5 цула, односно у просјеку 3,5 цула.

Када погледамо павиљон, он се састоји од шест истих трапеза чија је средња линија дужине 2 m, што је укупно 12 m линије која је предвиђена за шетњу. Рецимо да једна особа пређе 12 m у 15 корака.

$$3,5\text{J} \times 15 = 52,5\text{J} \quad (4)$$

Ако павиљон посјети 50 особа дневно, та енергија би била:

$$52,5\text{J} \times 50 = 2625\text{J} \quad (5)$$

Када бисмо то претворили у kWh, ради упоређивања са енергијом добијеном из соларних панела, то би изгледало овако:

$$1\text{ kWh} = 3600000\text{J}, \text{ dakle } 1\text{J} = 1/3600000\text{ kWh} \quad (6)$$

$$2625\text{J} = 2625 / 3600000\text{ kWh} = 0,00072917\text{ kWh}, \text{ односно } 7,29 \times 10^{-4}\text{ kWh}$$

У односу на енергију која је добијена преко соларних панела, овај број је занемарљив на дневном нивоу. Тако да је апроксимативна вриједност енергије коју генерише павиљон у току једног дана: $7,51\text{ kWh}$.

7. ЗАКЉУЧАК

Кроз испитивање модуларних структура, примећено је да је потребно урадити више анализа да би се изабрала најбоља конфигурација. Када је у питању угао ротирања модула, који даје најбоље перформансе, он се може разликовати у случају када се модул мултиплицира. Његовим мултиплицирањем утицај контекста урбане средине може бити другачији. Пошто принцип модуларног пројектовања подразумева да се модул временом развија и шири, неопходно је урадити анализе како на самом модулу, тако и на његовим бројчаним варијацијама.

У случају овог пројекта једна конфигурација се знатно издвојила, па је и њен модул и макромодул показивао најбоље резултате. Када би било другачије, морали би се одредити и додатни критеријуми за одабир конфигурације.

Након апроксимационих прорачуна, који су узимали у обзир укупну површину панела, његову ефикасност, коефицијент губитака и просечну соларну радијацију, дошли смо до вриједности енергије од $7,51\text{ kWh}$.

Закључујемо да енергија генерисана овим павиљоном може да буде практично употребљива. Она доказује да павиљон може функционисати као независна јединица, али и користити своју енергију у функцији већег система.

Добијени резултати показују да и релативно мале соларне инсталације, правилно оријентисане и оптимизоване, могу имати стварни допринос.

8. ЛИТЕРАТУРА

[1] www.epa.gov, приступљно у новембру 2025.

[2] N.D. Kaushik, Anuradha Mishra, Anil K. Rai, „Solar Photovoltaics: Technology, System Design, Reliability and Viability 2018.“

[3] “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, доступно на сајту scencedirect.com

Кратка биографија:



Анријана Дачевић рођена је у Никшићу, 2000. год. Дипломирала је на Факултету техничких наука у Новом Саду у области Архитектуре и урбанизма 2023. године.

контакт:
andrijanadacevic0507@gmail.com