

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/376111381>

THE IMPORTANCE OF COMPUTER SOFTWARE IN BUILDINGS' ENERGY PERFORMANCE ANALYSIS

Conference Paper · September 2023

CITATIONS

0

READS

61

4 authors, including:



[Liljana Dimevska Sofronievska](#)

Saints Cyril and Methodius University of Skopje

20 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

SEE PROFILE



[Meri Cvetkovska](#)

Saints Cyril and Methodius University of Skopje

93 PUBLICATIONS 346 CITATIONS

SEE PROFILE

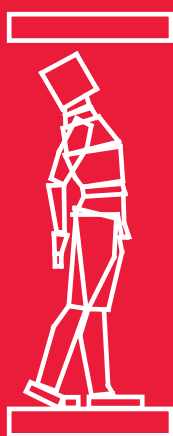


[Bojan Karanakov](#)

Saints Cyril and Methodius University of Skopje

15 PUBLICATIONS 28 CITATIONS

SEE PROFILE



„ОТПОРНИ КОНСТРУКЦИИ“ “RESILIENT STRUCTURES”

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ PROCEEDINGS

ДГКМ

**ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА**

MASE

**MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS**

20 МЕЃУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
INTERNATIONAL SYMPOSIUM

**СКОПЈЕ, С. МАКЕДОНИЈА
SKOPJE, N. MACEDONIA
28 - 29 септември 2023
September , 28th - 29th , 2023**

MASE ДГКМ
Macedonian Association of Structural Engineers
Друштво на градежните конструктори на Македонија

Proceedings
Зборник на трудови

20th **International**
Symposium
ти Меѓународен
симпозиум

Skopje, North Macedonia, 28 – 29 September 2023
Скопје, Северна Македонија, 28 – 29 септември 2023

**PROCEEDINGS
OF THE 20th INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF MASE
ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ
20^{ТИ} МЕЃУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ НА ДГКМ**

Publisher:

**MASE - Macedonian Association of Structural Engineers
Faculty of Civil Engineering, Blvd. Partizanski odredi No. 24 P.Box. 560,
1000 Skopje, Republic of North Macedonia
e-mail: mase@gf.ukim.edu.mk; website: www.mase.gf.ukim.edu.mk**

Издавач:

**ДГКМ - Друштво на Градежни Конструктори на Македонија
Градежен Факултет, бул. Партизански одреди бр. 24 П.Ф. 560,
1000 Скопје, Република Северна Македонија
e-mail: mase@gf.ukim.edu.mk; website: www.mase.gf.ukim.edu.mk**

Editor: **Darko Nakov, President of MASE**

За издавачот: **Дарко Наков, Претседател на ДГКМ**

Executive Committee of MASE and
Organizing Committee of the 20th International Symposium of MASE:

**Darko Nakov, Marta Stojmanovska, Ana Trombeva Gavriloska, Simona Bogoevska,
Andrea Serafimovski, Daniel Cekov, Gjorgji Goshev, Goce Lazareski, Koce Todorov,
Denis Popovski, Vladimir Vitanov, Riste Volchev, Nikola Postolov, Dejan Janev,
Kristina Milkova, Milica Jovanoska Mitrevska, Evgenija Stojkoska**

Претседателство на ДГКМ и

Организационен одбор на 20^{тиот} Меѓународен симпозиум на ДГКМ:

**Дарко Наков, Марта Стојмановска, Ана Тромбева Гаврилоска, Симона Богоевска,
Андреа Серафимовски, Даниел Цеков, Ѓорѓи Гошев, Гоце Лазарески, Коце
Тодоров, Денис Поповски, Владимир Витанов, Ристе Волчев, Никола Постолов,
Дејан Јанев, Кристина Милкова, Милица Јованоска Митревска, Евгенија
Стојкоска**

Technical staff of the Symposium:

**Ditar Memedi, Nikola Nisev, Mihail Petrov, Marko Gjorgjioski, Petar Janev, Antonio
Tomeski, Irina Postolova, Natalija Bogdanovska, Borjana Koneska, Jovana Kuzevska,
Andrej Stefanoski, Hristijan Baloski, Emilija Stojanova, Andrijana Arsovska**

Техничка служба на Симпозиумот:

**Дитар Мемеди, Михаил Петров, Марко Ѓорѓиоски, Петар Јанев, Антонио Томески,
Ирина Постолова, Наталија Богдановска, Борјана Конеска, Јована Кузевска, Андреј
Стефаноски, Христијан Балоски, Емилија Стојанова, Андријана Арсовска**

Grafical design of cover page and Symposium poster:

**Mitko Hadzi Pulja, Darko Draganovski
Faculty of Architecture, UKIM, Skopje**

Графички дизајн на корицата и плакатот на Симпозиумот:

**Митко Хаџи Пуља, Дарко Драгановски
Архитектонски факултет, УКИМ, Скопје**

e-book:

електронско издание: ISBN 978-608-66946-3-0



ДГKM
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П. Фах 560, 1000 Скопје
Северна Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1000 Skopje
North Macedonia

subj.-no.



mase@gf.ukim.edu.mk
<http://mase.gf.ukim.edu.mk>

ЗНАЧЕЊЕТО НА КОМПЈУТЕРСКИТЕ СОФТВЕРИ ВО АНАЛИЗАТА НА ЕНЕРГЕТСКИ ПЕРФОРМАНСИ НА ЗГРАДИ

Лилјана ДИМЕВСКА СОФРОНИЕВСКА¹, Ана ТРОМБЕВА ГАВРИЛОСКА¹,
Мери ЦВЕТКОВСКА², Бојан КАРАНАКОВ¹, Добре НИКОЛОВСКИ¹

АПСТРАКТ

Компјутерските технологии, особено во последните две децении, имаат огромна улога во архитектурата и градежништвото, не само поради брзината, прецизноста и графичкиот изглед на архитектонските проекти, туку во најново време, поради огромниот број на информации и податоци за објектите, за кои е речиси невозможна мануална пресметка. Развојот на софтверите започна од едноставно компјутерско помогнато цртање, креирање на детални 3Д модели, реалистични рендери, сложени интеграции на програмите и создавање на информатичко моделирање на зградите познато како БИМ, до најкомплексни симулани динамички симулации за комплетно реално однесување на зградите особено од аспект на нивната потрошувачка на енергија, емисии, животен циклус, енергија за производство, циркуларна економија и сл. Денес, благодарение на компјутерската технологија се создаваат дигитални близинаци на цели градови, виртуелна реалност, а и вештачката интелигенција во полето на архитектурата е во подем.

Овој труд се фокусира на истражување и употреба на комплексни софтверски технологии во полето на анализа на енергетски перформанси на згради. Спроведена е динамична софтверска симулација за енергетското однесување на селектиран објект со цел утврдување на прецизноста на употребената софтверска технологија и нејзиниот придонес особено во научни цели. Најпрво, образложени се користените софтвери за моделирање и симулација на енергија, потоа, објаснета е методологијата и принципите на моделирање и употребените влезни параметри за симулација и, на крај претставени се резултатите од симулацијата на енергетска состојба на селектираната студија на случај.

Добиените резултати за вкупната потрошувачка на топлинска и електрична енергија од симулацијата, се споредени со реалната потрошувачка на топлинска и електрична енергија превземена од сметките за одржување на објектот. Резултатите покажуваат совпаѓања на симулацијата со реалните сметки над 90%. Ова укажува дека користените софтверски технологии даваат веродостојни резултати, со што се потенцира нивното значење и употреба во истражувањата за енергетски перформанси на згради.

Клучни зборови: Компјутерски технологии; Софтвери, Енергетски перформанси на згради;

¹ Архитектонски факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Република Северна Македонија

² Градежен факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Република Северна Македонија

1. ВОВЕД

Компјутерската графика има есенцијална улога во архитектурата, не само во зголемувањето на брзината и ефикасноста во процесот на проектирање туку и во прикажувањето на реалистични претстави за изгледот на архитектонските решенија, особено денес, користејќи ги современите графички софтвери за 3Д моделирање и визуализација. Од самите почетоци на графичките софтвери, откако Иван Сатерленд го воведо системот Skerchpad [1], постои постојана експанзија на компјутерски графички системи за употреба во архитектурата. Во најново време, БИМ технологијата или интегрираното моделирање на зградите претставува едно од најперспективните неодамнешни случувања во индустријата за архитектура, градежништво и инженерството воопшто [2]. Со БИМ технологијата дигитално се конструира прецизен виртуелен модел на зградата, познат како градежен информативен модел, којшто се користи за планирање, проектирање, изградба и работа на објектот што овозможува визуализирање на се што треба да се изгради во симулирана средина за да се идентификуваат какви било потенцијални проблеми со дизајнот, конструкцијата или оперативните работи. БИМ претставува нова парадигма во рамките на градежната индустрија, којашто поттикнува интеграција на улогите на сите засегнати страни во проектот.

Меѓутоа, при пресметките на енергетските перформанси на зградите во реални услови, користењето на БИМ технологија односно користењето само на графички софтвери за креирање на информативен модел на зградата, не е доволно. За динамични симулации кои даваат точни и прецизни информации за однесувањето на зградата во реални нестационарни услови од аспектот на енергетски загуби и добивки, емисија на штетни гасови, потрошувачка на енергија и сл. потребна е употреба на интегрирана програма за симулација на реалниот живот на зградата од наједноставните до најсложените енергетски процеси. Оваа програма подразбира компатибилни интегрирани софтвери од кои едниот претставува математички софтвер базиран на математичка вежба на алгоритми на воспоставен одреден модел / систем, кадешто варијабилите на моделот се променети да го детерминираат ефектот на други варијабилни, додека другиот претставува тродимензионален интегриран модел со шематска дистрибуција на систем за кој се познати неговите карактеристики и служи за понатамошно истражување.

Во фокусот на ова истражување е токму креирање на виртуелен модел на постоечка зграда, селектирана како студија на случај, користејќи најсовремени интегрирани софтвери за моделирање и симулација, со цел да се види однесувањето на објектот во реални услови од аспект на неговите енергетски перформанси како реална потрошувачка на топлинска и електрична енергија за одржување и функционирање на зградата. За да се утврди точноста и прецизноста на користената софтверската технологија, добиените резултати од динамичната симулација на моделираниот објект, се споредени со реалните сметки за потрошена топлинска и електрична енергија во текот на една година. Споредените резултати укажуваат на големата веродостојност во работата на користените софтвери како и го потенцираат нивното големо значење во архитектурата и инженерството, особено од аспект на енергетската ефикасност.

2. КОРИСТЕНИ СОФТВЕРИ

За да се постигнат посакуваните резултати за ова истражување, користени се два типа на интегрирани софтвери, Едниот претставува исклучително моќна програма за симулација на енергија, познат како EnergyPlus, којшто ги врши симултаните математички пресметки, додека другиот претставува негов графички интерфејс кој што служи како графичка комуникација при моделирањето на системите (од 3Д моделирање, геометрија, волумен, површини, конструкција, градежни материјали, до креирање на најсложени системи за греење, ладење и одржување на објектот). За овие процеси е користен графичкиот софтвер Design Builder.

2.1. EnergyPlus – математички софтвер за динамични енергетски симулации

EnergyPlus е целосно интегрирана програма за симулација на зградите вклучувајќи ги сите процеси и системи преку кои функционира зградата како: обвивка, системи за греење, ладење, вентилирање (HVAC), подготовка на топла санитарна вода, обновливи извори на енергија итн., која за прв пат е создадена како иновативна алатка комбинирајќи ги најдобрите способности на

програмите за симулација на енергија и DOE-2 и BLAST (имено I-BLAST) [3]. Над дваесет годишните ажурирања на овие две програми доведоа до стотици различни други програми, при што се отежна имплементирањето на нови алгоритми. За таа цел, е развиена програма за симулација со модулarna организација, целосно препишувајќи го кодот на јазикот Fortran 90, односно EnergyPlus, создадена од Одделот за енергија на САД [4]. EnergyPlus претставува нова генерација на програма за симулација на енергија на згради базирана на BLAST и DOE-2 која ги комбинира нивните најдобри карактеристики, вклучувајќи и нови подобрени способности. EnergyPlus е една на од најробусните и најкористените програми за симулација на енергија достапна со отворен код. Особено е користена од академската фела за научни истражувања. За разлика од останатите програми, каде што информациите за топлинските оптоварувања утврдени на ниво на затворен систем се пренесуваа во дистрибутивниот систем и на крајот до постројките, овој нов софтвер се базира на интегрирана симулација на зоната и системот за климатизација во итеративен процес. Програмата бара многу прецизна дефиниција на геометријата на архитектонските модели и значајно е да се каже дека во пресметките се земаат предвид само експлицитно опишаните односно геометриски дефинираните ентитети во 3Д модел. Програмата го пресметува засенчувањето на 3Д геометријата во зависност од дефиниран временски интервал зададен од страна на корисникот [3]. Подолу е дадена листа на само дел од многуте работни карактеристики на софтверот, која има за цел да ја покаже прецизноста, строгоста и применливоста на EnergyPlus за различни ситуации на симулација [5].

- Цврсто интегриран систем кој обезбедува напредна динамичка термичка симулација во временски интервали помали од еден час (суб – часовно);
- Прецизна и точна датотека на податоци за околината, потрошувачка на енергија, емисии, термален комфорт на годишно, месечно, дневно, часовно и суб-часовно ниво;
- Обезбедува информации за соларните добивки на површините, површинските температури и размените на топлинско зрачење;
- Овозможува пристап до екстензивен опсег на резултати за зградите и нивните системи на функционирање како системи за греење, ладење, вентилирање, осветлување и сл.
- Врши проценка на пасивните перформанси, термалната маса, дистрибуцијата на температура на зградите;
- Врши проценка на прекумерното загревање во текот на летните периоди;
- Ги експортира површинските температури и нивоата на воздушен проток како гранични услови за детални анализи на динамика на флуиди (CFD анализи);
- Ги моделира системите за греење и ладење (HVAC);
- Анизотропен модел на небо за подобрена пресметка на дифузна сончева радијација кај закосени површини;
- Напредни пресметки за столарија, вклучувајќи контролирани ролетни за прозорци, електрохромни застаклувања, повеќеслојни топлински баланси што овозможуваат правила распределба на сончевата енергија апсорбирана од прозорецот, библиотека за перформанси за бројни комерцијално достапни прозорци, стакла и рамки.
- Врши проценка на оперативните трошоци на зградата и трошоците за целиот животен циклус користејќи индустриски стандардни методи за пресметка;
- Врши пресметки на емитувањето на атмосферските гасови кои го предвидуваат аерозагадувањето како: CO, SO, NO, кои се создаваат и при одржувањето на самата зграда но и во подалечната конверзија на енергијата.

За веродостојноста, точноста и прецизноста на софтверот EnergyPlus спроведени се многубројни тестирања, вклучително и бета тестови, од страна на различни надворешни агенции и здруженија. Ова ниво на напор и соработка е без преседан во историјата на енергетските анализи и програмите за пресметка и симулација на енергетската перформанси на зградите, кое резултираше со највисоко ниво на доверба во резултатите добиени од EnergyPlus [5]. Во [6] [7] [8] [9] се направени компаративни анализи помеѓу прецизноста на различни софтвери за енергетска симулација на згради, од каде што може да се каже дека Energy Plus е досега најпрецизниот софтвер, кој има најмногубројни способности, дава најдетални и најточни резултати во споредба со други софтвери и е најупотребуван за научни истражувања.

2.2. Design Builder – софтвер со графички интерфејс за моделирање и симулации

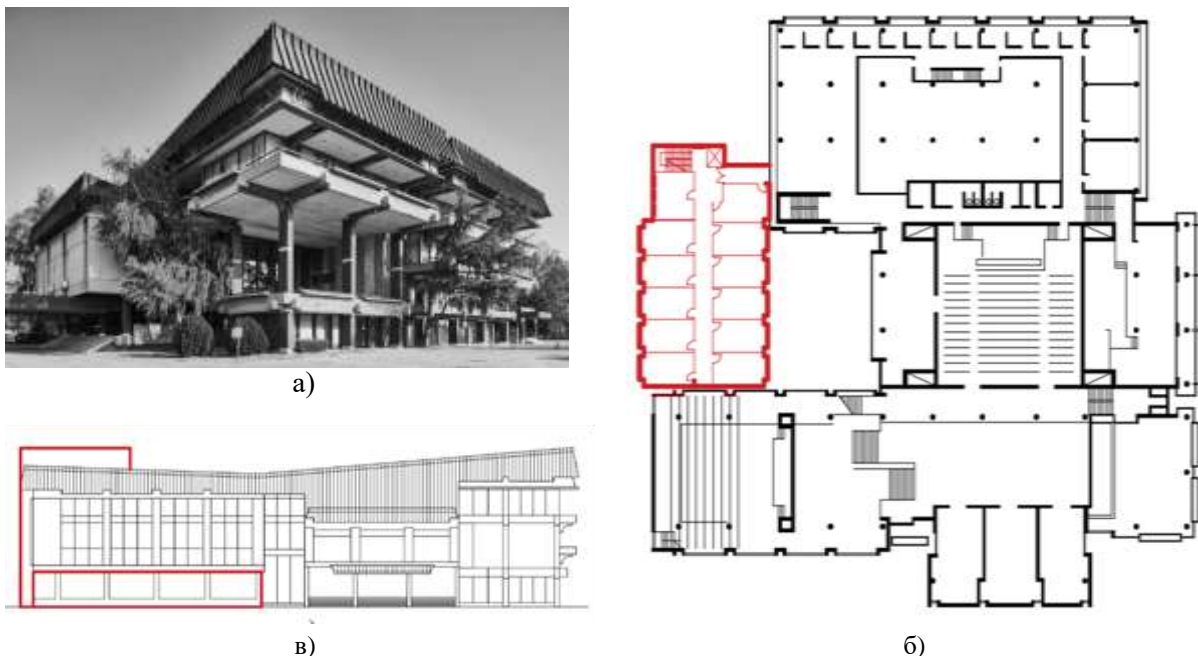
DesignBuilder е современа софтверска алатка за моделирање и проверка на перформансите на зградата, вклучувајќи енергија, емисии, осветлување, комфорт и други перформанси, која е развиена за да го поедностави процесот на симулација на зградите благодарение на неговиот кориснички интерфејс за визуелизација, кој што е компатибилен со EnergyPlus. На кратко кажано, двата софтвери функционираат интегрирано, односно DesignBuilder е најпознатиот и најнапредниот кориснички интерфејс за EnergyPlus [10]. Доколку EnergyPlus е моќен математички софтвер базиран на сложени алгоритми за сумулација, DesignBuilder е неговиот графички интерфејс за моделирање, креирање геометрија и воспоставување на целата комуникација со EnergyPlus. DesignBuilder овозможува детално и прецизно 3Д моделирање на зградите со многу влезни информации и параметри какви што нудат БИМ ориентираните софтвери. БИМ софтверите се уште тешко се поврзуваат со софтвери за енергетско симулирање како што е EnergyPlus, па оттука може да се каже дека DesignBuilder е медијатор помеѓу двете технологии. Наведена е листа на само неколку од многуте работни способности на DesignBuilder, кои во голема мера се слични со карактеристиките на EnergyPlus, поради нивното интегрирано функционирање и крајна цел да се произведе детален модел на зграда, со доволно информации за симулација на нејзините енергетски перформанси.

- Флексибилност и компатибилност со други софтвери;
- Графички кориснички интерфејс кој овозможува лесно моделирање и комуникација низ целиот процес. Можност да се избере ниво на прецизност и комплексност во однос на фазата на изработка на решението (концептуално, детално и сл.);
- Овозможува многу детален дизајн на моделите;
- EnergyPlus и Radiance, кои што се сметаат за едни од најмоќните, најкредибилните, и глобално прифатени софтвери за симулација, стојат позади корисничкиот интерфејс на DesignBuilder. Оваа уникатна комуникација ги минимизира грешките, ја подобрува прецизноста во моделирањето и ја утврдува прецизноста на резултатите;
- Голема продуктивност, односно преку модел се добиваат широк дијапазон на информации;
- Овозможува импортирање од БИМ ориентираните софтвери (пример: Revit), или моделирање во самиот DesignBuilder. Иновативно и брзо внесување на податоци преку QA-методи на проверка, кои овозможуваат елиминација на грешки и брзи тест проверки;
- Интегрирано донесување на одлуки како и целосна интеграција помеѓу процесите на енергија, природно осветлување, анализи за термален комфорт и сл. овозможувајќи холистички поглед на перформансите, што придонесува за брзо донесување на одлуки;
- Вклучување на природно осветлување, засенчување, застаклување, начини на одржување, вентилација, греење, ладење, вештачко осветлување, обновливи извори и сл.;
- Оптимизирање на внесот на дневна светлина преку Radiance и Daysim софтверите, како и традиционални пресметки со вклучување на факторот на дневна светлина преку употреба на најсовремените динамички методи за проверка на висококвалитетно избалансирано решение за дневна светлина без отсјај, земајќи ги предвид и автономијата на просторната дневна светлина и годишната изложеност на сончева светлина;
- Детална графичка комуникација – визуелизација која овозможува висококвалитетни графички излези кои помагаат да се измерат перформансите како и дијаграми за оптимизација на параметарски дизајн, рендерирани визуелизации, исцртување податоци на моделот, дијаграми за сончево засенчување, пресек на различни сегменти и многу повеќе;
- Моќни HVAC системи (системи за греење, ладење и вентилирање) – димензионирање на класични и иновативни системи преку комбинација уште во раната фаза на моделирање и проектирање. Детални модели на системи со различни можности на подесувања кои имитираат реален перформанс на системите. Симултани HVAC симулации.
- Можност за комплетен пасивен дизајн на зградите. Користејќи го потенцијалот на EnergyPlus за многу прецизно моделирање на сите параметри за пасивен дизајн како: природна вентилација, засенчување, електрохромни застаклувања, обновливи извори на енергија, термални пумпи, пресметка на термална маса, фасади со високи перформанси дури и апликација на специфични наноматеријали на фасадата итн.

- Сертификација и усогласеност со стандардите (DesignBuilder во комбинација со EnergyPlus се сертифицирани од страна на глобалните организации за енергетска ефикасност на згради како LEED, BREEAM и др.)

3. СТУДИЈА НА СЛУЧАЈ

Селектираната студија на случај е комплексен објект, кој што има мултифункционална намена, а паралелно на тоа и сложено архитектонско решение. Објектот на Македонската академија на науките и уметностите - МАНУ, е проектиран и изграден во 70^{те} години од 20^{от} век, а денес претставува културно наследство, заштитено со режим на заштита од прв степен, не само поради архитектонскиот дизајн, туку и поради својата функција, намена и содржина (сл. 1). Овој објект спаѓа во групата на објекти од Модернизмот во Скопје, со карактеристики на бруталистичка архитектура, изведен комплетно во натур бетон и стакло. Од фасадниот дизајн на објектот како и неговиот ентериер лесно се чита патината, дотраеноста и деградацијата на материјалите од времето кое поминало, климатските услови, несоодветната грижа и одржување. Истиот има потреба од соодветна обнова и реновирање. Со оглед на вградените материјали и комплетното отсуство на излолација, објектот спаѓа во големите потрошувачи на енергија за одржување, на што укажуваат и прегледаните сметки за потрошувачка на топлинска и електрична енергија.



Сл. 1. Македонска академија на науките и уметностите – МАНУ

а) реален просторен приказ, б) основа на кат; в) изглед

Од аспект на архитектонскиот дизајн, форма и функција, објектот на МАНУ има сложена внатрешна структура составена од голем број простории со различна површина и волумен (канцеларии, сали, галерии, аудиториуми и лаборатории), обединети во правилен волумен, кој однадвор компактен и воздржан изглед, но внатрешноста е динамична и комплексна. (сл. 1). Објектот е граден во две фази, поголемиот дел од објектот е изграден во 1971^{ва}, додека во 2000^{та} е дограден административен анекс, при што е формиран внатрешен двор и објектот добива атриумски концепт (сл. 1 – б и в – делот со црвена боја ја означува доградбата). Објектот е повеќенаменски односно институцијата обединува повеќе функции како: научно истражувачка, културно уметничка, едукативна и административна функција. Конструктивниот систем е скелетна армирано бетонска конструкција, чии што сидови се изведени од армирано бетонски платна, без надворешна завршна обработка и големи површини на едноструки стакла врамени во алуминиумски рамки. Кровната конструкција е изведена од челични решетки, покриена со бакарен кров. Делот од објектот изграден во првата фаза нема термоизолација на фасадата, додека анексот граден подоцна, содржи 5 cm термозилазија од внатрешната страна.

4. МЕТОДОЛОГИЈА

На успешното реализирање на моделот, а подоцна и енергетската симулација на селектираниот објект, му претходи процес кој опфаќа детално истражување за објектот, од проектна документација од времето на проектирање и изградба, “in situ” посети и документација на фактичката состојба, интервјуа со вработените, детален преглед на системите за греење и ладење, консултација со снабдувачите на енергија на објектот, како и преглед на сметките за одржување на истиот. Целиот тој истражувачки процес има за цел да даде што попрецизни информации за постоечката состојба на објектот кои служат како влезни параметри во процесот на моделирање и енергетска симулација. Методите на моделирање и симулација се образложени подолу.

4.1. Геометрија, локација, ориентација, зонирање и проектна температура

За добивање на точни резултати еден од најбитните елементи на моделирањето е правилна и прецизна геометрија и фасаден дизајн, правилно позиционирање и ориентација на обектот, креирање на реална околина, со прецизно дефинирање на соседните објекти и инсолацијата, правилна поделба на термални зони во внатрешноста на објектот и задавање на точна проектна температура во термалните зони. Објектот е слободостоечки, не е поврзан со други објекти, лоциран е во претежно густа урбана средина, изложен од сите четири страни на ветер. Сите фасади на објектот содржат голема површина на стакло, без разлика на ориентацијата. Внатре, секоја од просториите е зонирани како посебна термална зона. Ваквото зонирање е резултат на мултинаменската функција на објектот, при што секоја просторија има различни параметри (број на луѓе, електрична опрема и апарати, осветлување, ориентација, површина и волумен на просторијата, начин на греење, ладење, вентилирање и сл.).



Сл. 2. Поделба на термални зони (зонирање) а) основа на приземје; б) основа на кат

На сл. 2 е прикажан начинот на зонирање на просторот на термални зони во однос на функцијата на просторот од каде што произлегуваат следниве групи на термални зони:

- окупирани / работни зони (зони кои се постојано окупирани со луѓе и се загревани, ладени и соодветно вентилирани во зависност од надворешните временски услови како канцеларии, лабораторија, сали за состаноци, галерии, аудиториуми и сл.);
- неокупирани зони (не се работни зони и не се окупирани постојано со луѓе, но се загревани во текот на зимскиот период): коридори, ходници;
- негреани / неклиматизирали зони (не се окупирани постојано со луѓе и не се климатизирани (загревани и ладени): скали, тоалети, остави и сл.

Принципот на зонирање на просториите кај останатите катови вклучително и подрумите е ист како на приземјето и првиот кат. Термалните зони на сл. 2 се прикажани во групи согласно нивната слична функција и потреба, меѓутоа, групите се поделени на индивидуални термални зони. Објектот има вкупно 257 термални зони, чии податоци (површина, волумен, луѓе, отвори на фасада и сл.) се прикажани во табела 1. Проектната температура во окупираните работни зони (канцеларии, сали, амфитеатар итн.) е 21°C, додека кај неокупираните зони (тоалетите, коридорите и подрумот е 15°C). Бројот на корисници во окупираите зони е секогаш многу поголем отколку кај неокупираните зони, исто така и ориентацијата, положбата, висината, контактот со друга зона, изложеноста на надворешни влијанија се различни за секоја зона и истите симулатно се менуваат во текот на симулацијата. Надворешната температура се менува во процесот на симулацијата согласно реалните климатски симултани отчитувања.

Табела 2. Генерални податоци при моделирањето на објектот

Вкупни податоци за зони	Површ. [m ²]	Волум. [m ³]	Површ. на сидови над земја [m ²]	Површ. на сидови под земја [m ²]	Површ. на застаклување [m ²]	Површ. на отвори на фасада [m ²]	Луѓе [m ² по човек]
Вкупно простор	8298.21	29770.15	4568.83	67.32	2236.28	2336.73	30.12
Вкупно греан простор	7968.73	28485.17	4273.74	67.32	2119.23	2213.31	30.42
Вкупно негреан простор	329.48	1284.98	295.08	0	117.05	123.42	24.46

4.2. Систем за греење, ладење и вентилирање

Правилното поврзување на системите за одржување (греење, ладење и климатизација) е од клучно значење за точноста на резултатите од симулацијата. Зградата располага со централен систем за греење и ладење кој што ја распределува топлината или ладниот воздух низ просториите со фенкојлери. Секоја просторија (термална зона) има одреден број на фенкојлери, освен тоалетите, ходниците т.е. сервисните простории. Сервисните простории не се ладат во лето, но се греат во зима, затоа во овие простории наместо фенкојлери има радиатор за греење. Во текот на зимата, фенкојлерите се приклучени на централното градско греење каде што преку топловодната мрежа топлата вода е дистрибуирана во централната станица на зградата (околу 110°C), а потоа преку разменувач на топлина водата е подготвена (70-80°C) за употреба на фенкојлерите, која што се распределува низ сите греани зони – освен подрумот. Според проектот за термотехника, објектот не троши електрична енергија за греење, иако во реалноста (и симулацијата) има потреба од дополнително греење со клима уред или електрични греалки во зима поради слабата термоизолација. Во лето системот на фенкојлери користи чилери за да ја разлади водата околу 7-12°C, така што електричната енергија се користи за ладење на зградата. Во одредени зони се инсталирани клима уреди за дополнително ладење во лето и греење во зима кога системот не може да ја постигне потребната температура (многу топли или ладни денови). Согласно посетата на објектот и документирањето на системот за термотехника како и спроведените интервјуа со дел од вработените, како и врз основа на прегледаните сметки за топлинска и електрична енергија може да се заклучи дека инсталираниот систем за греење, ладење и вентилирање на објектот согласно тогашните стандарди троши големи количини на енергија, и притоа во целост не го задоволува термалниот комфор во објектот. Објектот има механичка вентилација со термички подготвен воздух со климатска комора со рекуперација. Овој тип на вентилација со рекуперација е применет само во зоните како: амфитеатарот, салите (влезна сала, свечена сала, конференциска сала), библиотеката, просторот за читање, депото на книги, архивата и изложбената сала). Тоалетите и сервисните простории имаат механичка вентилација додека канцелариите чии прозорци може да се отворат имаат природна вентилација.

4.3. Конструкција и градежни материјали на обвивка

Градежните материјали и конструкцијата, особено на обвивката имаат круцијална улога во енергетските карактеристики на објектот. Над 60% од енергетските загуби се однесуваат на загуби преку обвивката и затоа е многу важно детално да се истражат вградените материјали во објектот и истите да се имплементираат во моделот, со цел добивање на што пореална симулација. Објектот е изведен како армирано бетонска конструкција составена од а.б. столбови и платна, а.б. плочи и греди, а кај поголемите распони а.б. рамки и ситноробрасти плочи. Сидовите се изведени од натур бетон без завршна обработка на фасадата, освен во мали делови од фасадата каде што врз бетонските сидови се среќаваат декоративни камени плочи. Поголемиот дел од фасадата е стаклена површина (едноструко стакло врамено во алумиумски рамки). Врз основа на проектната документација, како теренското истражување на постоечката состојба во моделот се внесени сите материјали вградени во сидовите, меѓукатните конструкции, кровната конструкција и столаријата на објектот. Истражени се термофизичките својства на вградените материјали: коефициент на топлинска спроводливост λ (W/mK); специфичен топлински капацитет c (J/kgK); густина ρ (kg/m³), коефициент на апсорпција на влага (μ), текстура и дебелина (m).

5. РЕЗУЛТАТИ

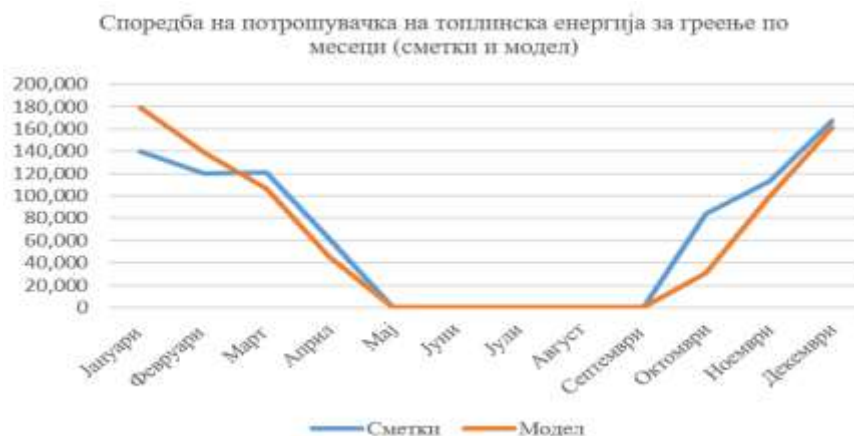
Од спроведеното моделирање и симулација на постоечката состојба на студијата на случај се добиени следниве резултати: потрошувачка на топлинска енергија; потрошувачка на електрична енергија за греење; потрошувачка на електрична енергија од електрични апарати, опрема и осветлување; потрошувачка на енергија за ладење и вентилирање (во kWh на часовно, дневно и месечно ниво); CO₂ емисии (во kg на часовно, дневно и месечно ниво); реалтивна влажност на воздухот во просториите во секоја зона (%); внатрешна температура на воздухот во просториите во секоја зона (°C); површински внатрешни и надворешни температури на сидовите; губитоци на енергија преку инфилтрација, вентилација, столарија и конструктивни елементи за секоја зона (kWh); U вредности на сите конструктивни елементи на обвивката (W/m²K). Од резултатите издвоени се вредностите кои можеме да ги споредиме со реалните сметки за потрошувачката на топлинска енергија за греење и електрична енергија за одржување на објектот и истите споредени со реалните сметки се прикажани табеларно и графички

5.1. Споредба на потрошувачката на топлинска и електрична енергија помеѓу реалните сметки и симулираната постоечка состојба

Со цел да се утврди прецизноста на софтверот, направени се компаративни анализи помеѓу реалната потрошувачка на енергија за греење, ладење и одржување, отчитана од сметките за потрошена топлинска и електрична енергија на објектот на месечно ниво во текот на цела година и симулираната постоечка состојба согласно 3Д моделот и енергетска симулација на објектот. Од спроведената анализа може да се заклучи дека станува збор за голема прецизност на спроведената софтверска симулација. На табела 2 и сл. 3 е прикажана потрошувачката на топлинска енергија отчитана од постоечките сметки и симулираната постоечка состојба на објектот. Може да се забележи дека има совпаѓање над 90% во месечната и вкупната потрошувачка на топлинска енергија односно мала разлика од само 5.6%.

Табела 2. Потрошувачка на топлинска енергија (споредба на сметки со модел)

Топлин. енергија [kWh]	Јануари	Февруари	Март	Април	Мај	Јуни	Јули	Август	Септември	Октомври	Ноември	Декември	Вкупно
Сметки	139,978	119,850	120,786	61,910	0	0	0	0	0	84,193	113,287	166,914	806,918
Модел	179,036	138,836	106,320	46,028	0	0	0	0	0	30,919	99,577	160,838	761,554



Сл. 3. График на потрошувачка на топлинска енергија (споредба на сметки со модел)

На табела 3 и сл. 4 е прикажана потрошувачката на електрична енергија отчитана од постоечките сметки и симулираната постоечка состојба на објектот. И овде има совпаѓање над 90%, односно разлика од само 4.7%. Споредбената анализа укажува на релевантноста и прецизноста на софтверот, на што претходи внимателно моделирање и внесување на сите потребни параметри.

Табела 3. Потрошувачка на електрична енергија (споредба на сметки со модел)

Електр. енергија [kWh]	Јануари	Февруари	Март	Април	Мај	Јуни	Јули	Август	Септември	Октомври	Ноември	Декември	Вкупно
Сметки	36,5 92	36,2 36	37,4 85	31,9 44	24,0 67	39,8 67	59,6 64	58,7 94	55,3 10	39,1 40	38,6 81	44,7 57	502, 537
Модел	35,8 96	31,4 61	33,4 60	35,4 59	39,4 47	41,4 43	58,2 43	55,0 05	42,7 59	37,6 48	33,1 01	34,6 51	478, 574



Сл. 4. График на потрошувачка на електрична енергија (споредба на сметки со модел)

6. ЗАКЛУЧОК И ДИСКУСИЈА

Целта на ова истражување е да ја покаже улогата на компјутерските софтвери во архитектурата и градежништвото особено во сложените енергетски пресметки за однесувањето на објектите во реални услови. За да се докаже нивното големо значење и уште побитно, нивниот голем потенцијал во иднина, особено во научните истражувања за енергетските перформанси на зградите е направен модел и енергетска симулација на селектиран објект. Креирањето на моделот се базира на сложен процес на истражување, документирање и собирање на податоци кои се употребени во процесот на моделирање и симулација, како и анализа на најсоодветните

софтверски технологии кои би го овозможиле овој процес. Компјутерските технологии играат огромна улога во добивањето на резултатите, особено во процесот на прецизно и детално 3Д моделирање и визуализација при формирање на правилна и прецизна геометрија, со реална околина и урбан контекст, поврзувајќи се со точна локација и климатски временски податоци, правилна ориентација, внесување на точни влезни податоци, како градежни материјали и подесување на системите за греење, ладење и одржување, итн. Најпрвин се образложени корстените софтверски технологии за спроведување на истражувањата, додека најголем дел трудот се задржува на методологијата, принципите и процесите на моделирање и симулација, како и анализа, компарација и образложување на добиените резултати.

Резултатите од симулацијата на селектираната студија на случај се споредени со постоечките сметки за потрошувачка на топлинска и електрична енергија, со што може да се докаже прецизноста и релевантноста на употребените софтвери. Споредбата на потрошувачката на топлинска енергија за греење на објектот помеѓу реалните годишни сметки и симулираната состојба покажуваат совпаѓања од 94%, додека споредбата на потрошувачката на електрична енергија за одржување на објектот помеѓу сметките и симулацијата покажуваат совпаѓање од 95%. Освен податоците за потрошувачка на електрична и топлинска енергија, симулацијата на објектот даде низа на резултати кои го покажуваат енергетска состојба на објектот во реални нестационарни услови, како трансмисиони загуби, добивки, емисии на штетни гасови, податоци за термичките карактеристики на констуркцијата на објектот и тоа на симултано часовно ниво.

Имајќи ги предвид совпаѓањата на резултатите од симулацијата со реалната состојба на објектот, може да се заклучи дека користената софтверска технологија е многу прецизна, веродостојна и пред се корисна за било какви понатамошни истражувања во однос на енергетските перформанси на зградите. Истата би користела за креирање и на идни сценарија за подобрување на енергетската состојба на објектите, особено објекти како селектираната студија на случај кои имаат проблеми со нивната енергетска ефикасност, одржливост и функција.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Dorsey J., McMillan L. (1998) Computer Graphics and Architecture: State of the Art and Outlook for the Future, Massachusetts Institute of Technology, February, 98' Computer Graphics, pp 45-48
- [2] Azhar S. (2011) Building Information Modelling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering. Volume 11, Issue 3, July, 2011
- [3] Corrado V., Fabrizio E. (2019) Steady-State and Dynamic Codes, Critical Review, Advantages and Disadvantages, Accuracy, and Reliability. Handbook of Energy Efficiency in Buildings, 2019
- [4] Md. Hossain F. (2019) Sustainable Design and Build. Building, Energy, Roads, Bridges, Water and Sewer Systems. Advanced Building Design. 2019:187. pp 137-230
- [5] EnergyPlus™ Version 22.2.0 Documentation. Getting Started. U.S. Department of Energy. September 28, 2022
- [6] Gasparella A., Pernigotto G.(2012) Extensive Comparative Analysis Of Two Building Energy Simulation Codes For Southern Europe Climates: Heating And Cooling Energy Needs and Peak Loads Calculation In TRNSYS And EnergyPlus. Conference: II International High Performance Buildings Conference at PurdueAt: West Lafayette, Indiana, USA
- [7] Rallapalli S. H., (2010) A Comparison of EnergyPlus and eQUEST Whole Building Energy Simulation Results for a Medium Sized Office Building. Thesis Presented in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science
- [8] Dandan Z. et al. (2013) A detailed loads comparison of three building energy modelling programs: EnergyPlus, DeST and DOE-2.1E. Building Simulation / Vol. 6, No. 3, pp. 324-335
- [9] Sousa J.R.B. (2012) Energy Simulation Software for Buildings: Review and Comparison. Engineering, Computer Science, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:7593404>
- [10] DesignBuilder Dynamic Simulation Model User Manual, DSM v7.2.0. (2023)