

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/361101528>

ENERGY PERFORMANCE ANALYSIS OF BRUTALIST ARCHITECTURE USING BIM TECHNOLOGIES

Conference Paper · June 2022

CITATIONS

0

READS

622

3 authors, including:



[Liljana Dimevska Sofronievska](#)

Saints Cyril and Methodius University of Skopje

20 PUBLICATIONS 3 CITATIONS

SEE PROFILE

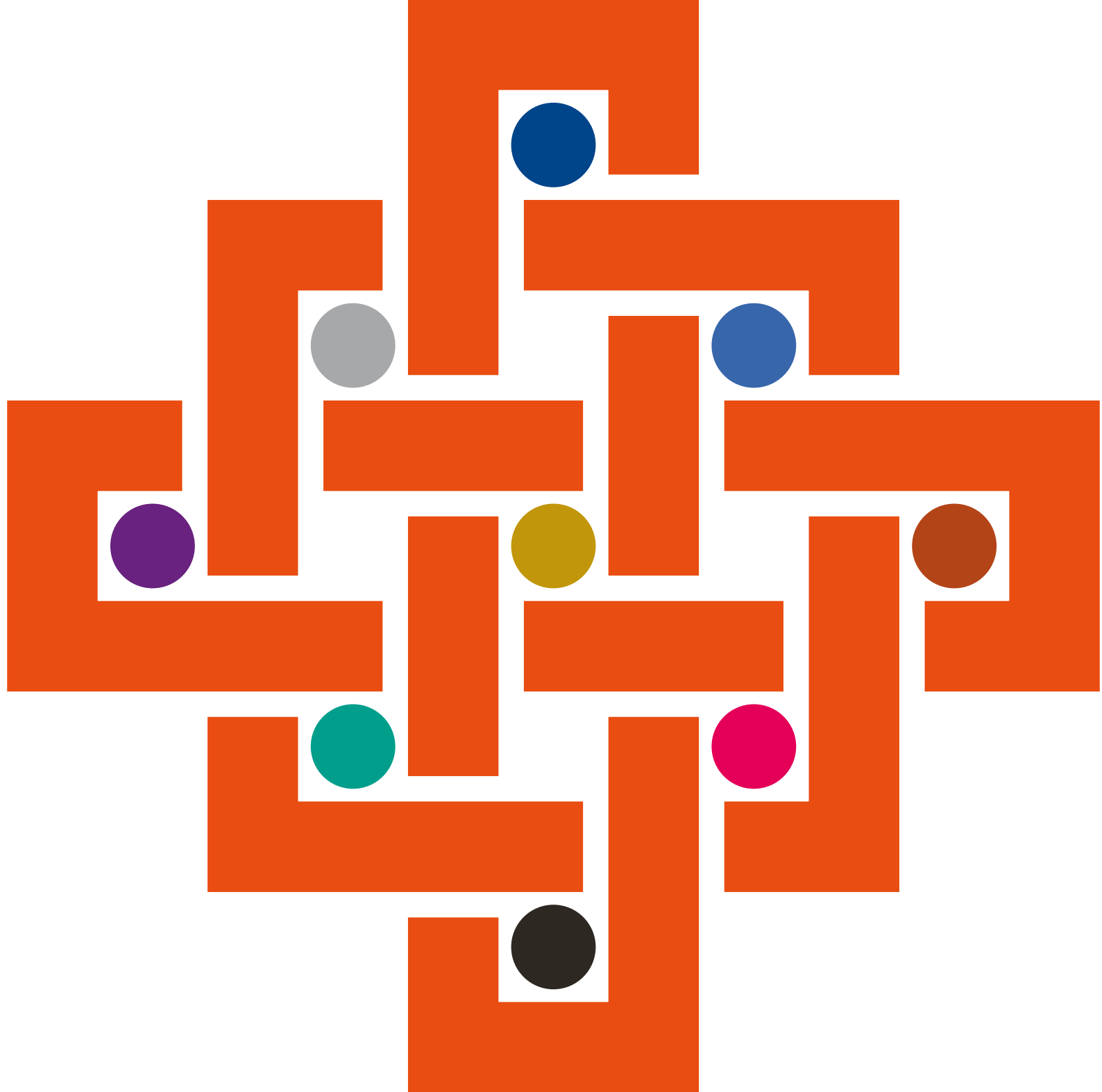


[Meri Cvetkovska](#)

Saints Cyril and Methodius University of Skopje

93 PUBLICATIONS 346 CITATIONS

SEE PROFILE



„ЕВРОКОДОВИ-ПОРТА КОН ЕВРОПА“ „EUROCODES-GATE TO EUROPE“

КНИГА НА ТРУДОВИ

PROCEEDINGS



ДГКМ

ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

MASE

MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

19 МЕЃУНАРОДЕН СИМПОЗИУМ
INTERNATIONAL SYMPOSIUM

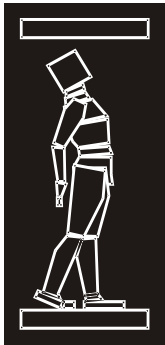
ОХРИД, С. МАКЕДОНИЈА
OHRID, N. MACEDONIA
27 - 30 април 2022
April, 27th- 30th, 2022

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

Proceedings
Зборник на трудови

19th **International**
Symposium
ти Меѓународен
симпозиум

Ohrid, North Macedonia, 27 – 30 April 2022
Охрид, Северна Македонија, 27 – 30 април 2022



ДГКМ
ДРУШТВО НА
ГРАДЕЖНИТЕ
КОНСТРУКТОРИ НА
МАКЕДОНИЈА

Партизански одреди 24,
П.Фах 560, 1001 Скопје
Северна Македонија

MASE
MACEDONIAN
ASSOCIATION OF
STRUCTURAL
ENGINEERS

Partizanski odredi 24,
P. Box 560, 1001 Skopje
North Macedonia

ST - 2



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

ПРИМЕНА НА БИМ ТЕХНОЛОГИИ ЗА АНАЛИЗА НА ЕНЕРГЕТСКИ ПЕРФОРМАНСИ НА БРУТАЛИСТИЧКА АРХИТЕКТУРА

Лилјана ДИМЕВСКА¹, Мери ЦВЕТКОВСКА², Ана Тромбева ГАВРИЛОСКА³,
Бојан КАРАНАКОВ⁴

АПСТРАКТ

Објектите од Модернизмот претставуваат значајно културно наследство на градот Скопје. Истите се градени без термоизолациони материјали и имаат слаби термички карактеристики. Со цел подобрување на енергетската ефикасност, секојдневно се спроведуваат интервенции кои го деградираат нивниот автентичен изглед. Во овој труд направено е систематско истражување врз 50 вредни архитектонски објекти од Модернизмот во Скопје, избрани врз основа на нивната архитектонско-градежна и културно-историска вредност. Анализирани се од аспект на: конструктивен систем, градежни материјали, термички својства, намена, степен на заштита како културно наследство, состојба на сочуваност, автентичност, обнова и деградација. Заклучоците од анализата овозможуваат да се извршат компаративни согледувања од повеќе аспекти на различни типови објекти и даваат генерална слика за моменталната состојба на објектите од Модернизмот како и детектирање на најзастепената, воедно и најпроблематична типологија во однос на енергетската ефикасност, позната како бруталистичка архитектура. За понатамошна енергетска анализа е избран типичен претставник на бруталистичка архитектура. Користејќи БИМ ориентирани софтвери е спроведено моделирање и симулација на енергетската состојба на селектираниот објект во реални услови (постоечка состојба), со апликација на нано-аерогел термоизолационен малтер (сценарио 1) и со апликација на нано-термоизолационен керамички премаз (сценарио 2), аплицирани на фасадните ѕидови. Анализирани и дискутирани се: заштедата на топлинска и електрична енергија за греење, намалувањето на CO₂ емисиите, подобрувањето на термалниот комфор и финансиските трошоци преку компарација на двете сценарија со постоечката состојба. Од енергетските симулации може да се заклучи дека сценарио 1 даде подобри резултати во однос на термоизолационите карактеристики, но сценарио 2 има помал импакт во нарушувањето на автентичноста на фасадата на објектот.

Клучни зборови: Енергетска ефикасност; Енергетска симулација; Нано-материјали; БИМ софтвери.

¹ Асистент м-р, Архитектонски факултет Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, dimevska.liljana@arh.ukim.edu.mk

² Проф. д-р, Градежен факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, cvetkovskam@gf.ukim.edu.mk

³ Проф. д-р, Архитектонски факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, agavriloska@arh.ukim.edu.mk

⁴ Проф. д-р, Архитектонски факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Скопје, Република Северна Македонија, karanakov.bojan@arh.ukim.edu.mk

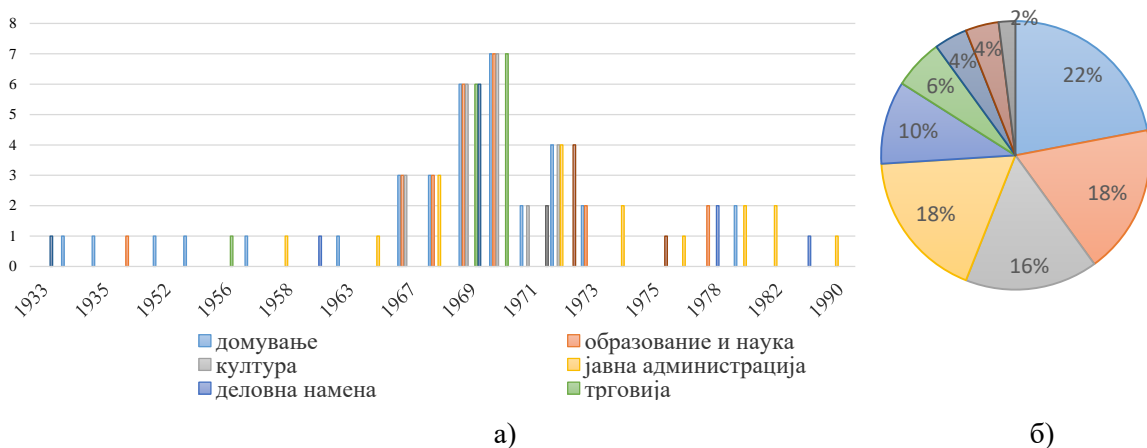
1. ВОВЕД

Скопје во текот на 20^{ти} век доживува драматични просторни трансформации. Архитектурата од тој период, позната како Модернизам, особено после 1963^{та} година, има особена вредност и значење [1]. Согласно тогашните стандарди, објектите се градени во отсуство на топлинска изолација [2], што резултира со нарушен термален конфор, големи трошоци за греење, ладење и одржување, деградација и пропаѓање и истите имаат потреба од обнова и реновирање согласно денешните стандарди за енергетска ефикасност. Според законските нормативи [3] и [4], обврски во однос на енергетската ефикасност имат само новите објекти и објектите под значителна реконструкција (доколку истата опфаќа повеќе од 25% од обвивката). Од друга страна, согласно [5], објектите кои што се под заштита не смеат да трпат промени кои би го нарушиле нивниот автентичен изглед. Од ова може да се заклучи дека постои нерешен проблем во однос на објектите кои претставуваат културно наследство, потребата од реновирање и подобрување на енергетската ефикасност, а истовремено и зачувување на нивниот автентичен израз, што претставува истражувачки проблем во трудот. Решението на поставената проблематика подразбира комплексен и холистички пристап. Разработено е низ три сегменти:

- Преглед и анализа на значајни објекти од 20^{ти} век, кадешто преку критички избор на 50 објекти, направен е градежно–архитектонски пресек на Модернизмот во Скопје. Анализирани се од аспект на конструкција, материјали, степен на заштита, сочуваност, деградација и обнова, со цел да се утврдат најпроблематичните објекти, да се даде дијагноза за нивната патологија, што резултира со избор на “case study” објекти;
- Истражување на градежни материјали базрани на нано-технологија, со цел избор на најсоодветните за решавање на проблемот. Истражувањето се базира на преглед на литература, анализа и споредба на термички својства, апликација, цена, компатибилност и сличност со постоечкиот материјал, што резултира со избор на два типа на нано-материјали и дефинирање на две сценарија за обнова на селектираните објекти.
- Симулација на енергетската состојба на објектите во реални услови (постоечка состојба) и во случај на подобрување на обвивката со апликација на двата типа на нано-материјали (сценарио 1 и 2); Компаративна анализа на трите состојби од аспект на: потрошувачка на енергија, емисии, термален конфор и сл. што резултира со споредба на предностите и недостатоците на двата нано-материјали и нивниот импакт при обновата на објектите.

2. ИСТОРИСКИ КОНТЕКСТ И МОМЕНТАЛНА СОСТОЈБА НА ОБЈЕКТИТЕ ОД МОДЕРНИЗМОТ ВО СКОПЈЕ. ИЗБОР НА “CASE STUDY” ОБЈЕКТИ

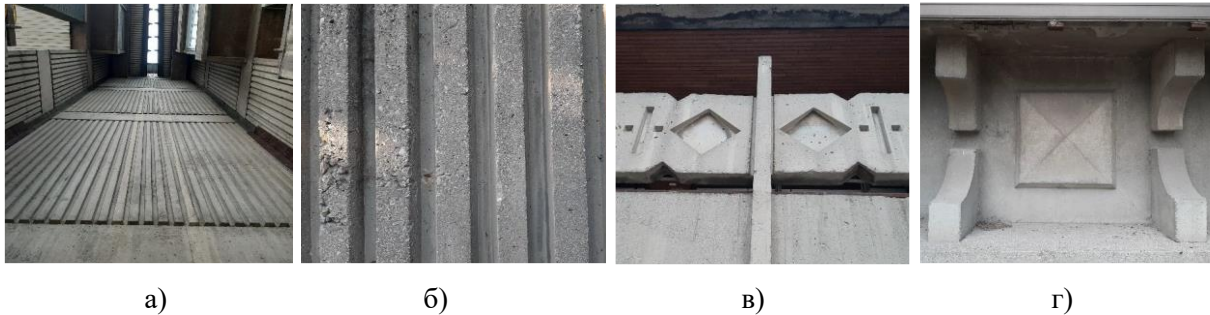
Над 80% од градежниот фонд на Скопје е уништен после 1963^{та} [6]. Со новиот урбанистички план Скопје добива нов архитектонски идентитет со кој се впишува во мапата на меѓународниот Модернизам. Скопје содржи ретки и уникатни примероци од Модернизмот, особено од “бруталистичка” архитектура [1].



Сл. 1. а) Хронологија на градба и б) застапеност (%) на објектите од Модернизмот во Скопје

Низ направениот пресек преку детална анализа на 50 архитектонски примероци, заклучено е дека најголем број од објектите припаѓаат на правецот Брутализам, од коишто најголем дел се градени во постземјотресниот период 60^{те} до 80^{те} години (сл. 1) Од аспект на функцијата и намената на истражуваните објекти, трите најдоминантни намени се домување (22%), образование и наука (18%), јавна администрација (18%) (сл.1). Најголем процент од градбите се изведени од а.б. скелетни конструктивни системи (56%).

Согласно поделбата на типови на надворшени сидови кај истражуваните градби, најголем процент (20%) зафаќаат градбите чија обвивка е изведена целосно во натур бетон, без завршна обработка, лиен во оплати со специфичен дизајн препознатлив за сите објекти од овој тип со т.н. канелури или вертикални жлебови, отпечатоци, траги од самата дрвена оплата (сл.2).



Сл.2 Фасаден дизајн од натур бетон со вертикални канелури и специфични геометриски форми кај “бруталистички” објекти а) МАНУ б) Објект на ПТТ в) НУБ Климент Охридски г) МАНУ

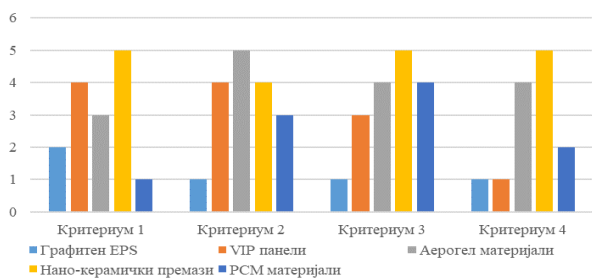
Од спроведената проектна и теренска документација на истражуваните објекти се проценува дека градежната столарија кај 50% датира од периодот на изградба, најчесто изработена од дрвени профили со едноструко стакло. 24% се со целосна променета столарија со подобрени термички својства (најчесто ПВЦ или алуминиумска столарија со двоструки стакла), додека кај 26%, столаријата е променета само во делови. Кај 28% е додадена термоизолација во кровната конструкција. Само 17% имаат значително подобрена енергетска ефикасност на сите елементи од обвивката. Најмногубројни се објектите кај кои се спроведени минимални интервенции (промена на столарија, саниран кров, изолирање само на делови од обвивката) со удел од 38%. Утврдено дека “бруталистичките” објекти се најпроблематични во однос на сите истражени аспекти: енергетска ефикасност, одржливост, термички својства, специфична архитектонска естетика, културно-историска и архитектонска вредност и истите се и најподложни на деградација и карбонизација на незаштитениот бетон. За таа цел, врз основа на шест дефинирани фактори (форма, намена, локација, дизајн на фасада, степен на обнова и режим на заштита) селектирани се три “Case study” бруталистички објекти за понатамошна анализа (сл.3).



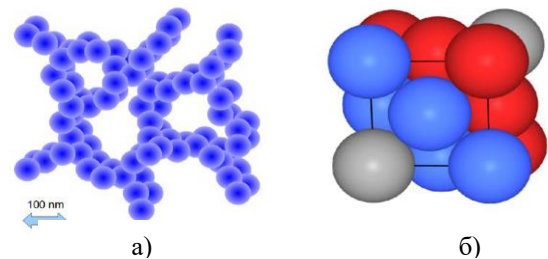
Сл.3 “Case study” објекти а) Студентски дом “Гоце Делчев”; б) “МАНУ” в) Хидрометеоролошки завод

3. НАНО-ТЕХНОЛОГИЈА. ИНОВАТИВНИ ГРАДЕЖНИ МАТЕРИЈАЛИ ЗА ПОДОБРУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ НА ОБЈЕКТИТЕ

Во овој дел од трудот е истражена “State of the art” состојбата на нано-материјалите во градежниот сектор, особено од аспект на енергетската ефикасност. Дополнително усложнување на истражувачкиот проблем е факторот на заштита и зачувување на автентичниот изглед на градбата. Научниот придонес се состои во обемен истражувачки процес, кадешто преку детален систематски преглед на научна литература е направен избор на најсоодветните наноматеријали за подобрување на енергетската ефикасност, одржливоста, а воедно и заштита на автентичноста на објектите. Од истражуваните материјали, фокусот е ставен на два типа на наноматеријали: нано-термоизолационен малтер базиран на силика аерогел и нано-термоизолационен премаз базиран на керамички микросфери. И двата материјали имаат свои предности и недостатоци, меѓутоа, во споредба со другите анализирани материјали е проценето дека се најсоодветни во решавањето на проблемот, создавајќи минимален импакт во однос на воспоставените критериуми (критериум - топлинска спроводливост, критериум - токсичност и штета по околината, критериум - културно наследство и критериум - дебелина на материјалот, сл.4).

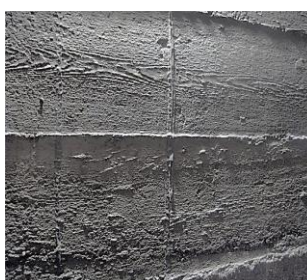


Сл.4 Критериуми за избор на наноматеријали



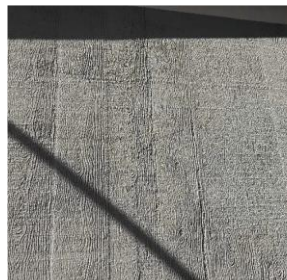
Сл.5 Нано-структура на а) силика аерогел б) керамички микросфери [8]

Истражувањето покажа дека аерогел термоизолациониот малтер има низок коефициент на топлинска спроводливост λ кој се движи од 0,028-0,014W/mK [7], благодарение на порозната нано-структура.[8](сл.5) Кај објектите реновирани со овој тип на малтер, заштедата на енергија би можела да биде над 50% [9]. Согласно критериумите за заштита на културното наследство (автентичност, интегритет, реверзибилност и компатибилност) аерогел малтерите имаат умерен импакт врз автентичноста на градбите, но значајно е дека се компатибилни со хемискиот состав на оригиналните материјали, врз коишто може да се нанесат и лесно да се отстранат притоа не оштетувајќи ги [10]. Нема потреба од дополнително прицврстување кое би наштетил на оригиналниот материјал. Имаат голема флексибилност при нанесување на нерамни површини, архитектонски детали и изолирање на термички мостови [7][11]. Поради составот и начинот на апликација, аерогел малтерите извонредно ја имитираат текстурата на натур-бетонот и тешко се прави разлика (сл.6), додека оригиналниот материјал останува конзервиран под малтерот. Цената на аерогелот е сеуште висока, што го спречува интензивното ширење во градежништвото [12].



а)

Сл 6 а) Сид од натур бетон б) Сид со аплициран аерогел малтер -имитација на натур бетон [18]



б)



а)

Сл.7 а) Сид пред апликација на нано-премаз б) со аплициран нано-премаз [19]



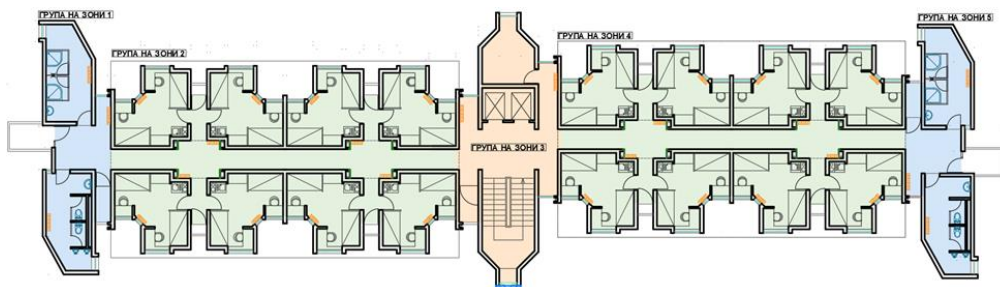
б)

Истражувањето покажа дека нано-премазот има неопределен коефициент на топлинска спроводливост λ , кој може приближно да се пресмета или да се премери на самиот објект по нанесувањето. Од истражуваната литература λ варира околу 0.001-0.003 W/mK [13]. Нано-премазот има екстремно мала дебелина од 0,0003m, и затоа коефициентот λ не ја игра главната улога, туку процесите на многуте сложени механизми во нано-структурата на премазот (сл.5), кои се вклучени во т.н. фактор f_{TS} [14]. Врз основа на механизмите на дејствување, факторот f_{TS} варира и е различен за секој материјал. Низ лабораториски експерименти и “in situ” мерења со нанесен премаз на различни материјали, развиен е софтвер Calculus кој содржи фактор f_{TS} за сите материјали [15]. Врз база на мерења кај градби реновирани со нано-керамички премаз, заштедата на енергија може да биде до 30% [16]. Во однос на заштитата на културното наследство, нано-премазот максимално одговара на поставените критериуми, без импакт по автентичниот изглед, благодарение на транспарентноста (сл.7). Цената на керамичкиот нано-премаз е пониска од аерогел-малтерот, но повисока од конвенционалните премази и бои достапни на пазарот [17].

4. СОФТВЕРСКА СИМУЛАЦИЈА/ РЕЗУЛТАТИ

4.1. Методолошки постапки

Направена е софтверска симулација на енергетската состојба на студентски дом “Гоце Делчев” во BIM интегрираите софтвери Energy Plus и Open Studio. За анализата е земена кулата “Блок - Б”. На сл.8 е прикажан карактеристичен кат и поделбата на пет термални зони. Објектот е поделен на вкупно 62 термални зони. Кај скалите внатрешната проектна температура е 20°, кај собите 21°, кај тоалетите 24°, во подрумот 15°. Блокот има нето корисна површина од 5520 m² и волумен 15346m³, греана површина - 5002 m² и греан волумен -13792 m³ и капацитет од 304 корисници. Застакената површина на фасадата е 1268m². Објектот се снабдува со топлинска енергија преку централната градска мрежа дистрибуирана од БЕГ (130/70°вода) складирана во топлинска подстанција со моќност од 578 980 kcal/h. Дистрибуирана е преку централна топловодна пумпа со принудена циркулација до радиаторите. Системот за греење е двоцевен и работи под режим од 80/60°C. Сантарната топла вода е приготвена од болјер со капацитет од 4 000 литри, со комбинирани греачи. Ладењето и вентилирањето на објектот е природно, освен кај бањите во собите, каде има механичка вентилација. Објектот се грее во месеците на грејна сезона т.е. од 15.09 до 15.04. Климатските податоци се отчитани симулатно од Хидрометоролошкиот завод во Скопје, со што се постигнати прецизни пресметки во реални нестационарни услови.



Сл. 8 Карактеристичен кат од блок Б – поделба на термални зони на кат

Во Табела 1 се прикажани материјалите на обвивката на објектот и нивните термички карактеристики кај постоечката состојба и додадените материјали и нивните карактеристики кај сценарио 1 и 2. Во постоечката состојба столаријата е изведена од алуминиумски профили со едноструки стакла каде $U_w=5,61$ W/m²K. Во подобрените сценарија столаријата е изведена од шестокоморни алуминиумски профили и двослојни нискоемисиони стакла каде $U_w=1,2$ W/m²K. Во сценарио 2 (табела 1) не е дадена одредена вредност на коефициентот λ , туку топлинската спроводливост е пресметана со вклучување на f_{TS} факторот за секој материјал на обвивката. f_{TS} (на пр. f_{TS} за перлит бетон е 0,40; армиран бетон–0,55; гипсен малтер–0,35; керамички плочки–0,40). Топлинската спроводливост за секој од елементите е пресметана во Calculus и вредностите потоа се внесени во Energy Plus. Од симулацијата се добиени следниве резултати за сите три

сценарија: потрошувачка на топлинска енергија; потрошувачка на електрична енергија за греење; потрошувачка на електрична енергија од електрични апарати и опрема; потрошувачка на електрична енергија за осветлување; потрошувачка на енергија за топла санитарна вода; CO₂ емисии; реалтивна влажност на воздухот во секоја зона; внатрешна температура на воздухот во секоја зона; површински внатрешни температури на ѕидовите; површински надворешни температури на ѕидовите; губитоци на енергија од инфилтрација за секоја зона; губитоци на енергија преку вентилација за секоја зона; губитоци на енергија преку столарија за секоја зона; губитоци на енергија преку конструктивни елементи за секоја зона; U вредности на сите конструктивни елементи на обвивката. Резултатите кои најдобро го прикажуваат влијанието на аплицираните материјали во подобрените сценарија се прикажани дијаграмски и табеларно.

Табела 1 Вредности на материјали на елементи од обвивката - постоечка состојба; сценарио 1и2

	Материјал	λ (W/mK)	c (J/kgK)	ρ (kg/m ³)	d (m)	μ [-]
надворешен ѕид тип 1 постоечка состојба	пластичен тапет	0.2	1250	700	0.002	7000-50000
	Глет	0.16	830	784.9	0.005	6-10
	перлит бетон	0.25	1000	800	0.04	60-100
	армиран бетон	2.6	1000	2500	0.2	80-130
сценарио 1	аерогел малтер	0.028	990	156	0.06	4-5
сценарио 2	нано-премаз	f_{TS}	/	290-410	0.0003	2
надворешен ѕид тип 2 постоечка состојба	керамички плочки	1.3	840	2300	0.01	200
	перлит бетон	0.25	1000	800	0.04	60-100
	армиран бетон	2.6	1000	2500	0.2	80-130
	аерогел малтер	0.028	990	156	0.06	4-5
сценарио 2	нано-премаз	f_{TS}	/	290-410	0.0003	2
надвор. ѕид тип 3 постоечка состојба	гипсен малтер	0.54	1000	1500	0.015	6-10
	армиран бетон	2.6	1000	2500	0.2	80-130
сценарио 1	аерогел малтер	0.028	990	156	0.06	4-5
сценарио 2	нано-премаз	f_{TS}	/	290-410	0.0003	2
надв.ѕид тип 4 постоечка состојба	армиран бетон	2.6	1000	2500	0.2	80-130
	аерогел малтер	0.028	990	156	0.06	4-5
сценарио 2	нано-премаз	f_{TS}	/	290-410	0.0003	2
мк (приземје) тип 1 постоечка состојба	Теписон	0.08	1230	0.27	0.005	/
	флорбит	1.4	1050	2200	0.035	50-70
	армиран бетон	2.6	1000	2500	0.16	80-130
сценарио 1 и 2	eps (експ.полистирен)	0,031	1450	15-40	0,1	60
мк (приземје) тип 2 постоечка состојба	керамички плочки	1.3	840	2300	0.01	200
	цементен малтер	1.4	1050	2100	0.04	15-35
	армиран бетон	2.6	1000	2500	0.16	80-130
сценарио 1 и 2	eps (експ.полистирен)	0,031	1450	15-40	0,1	60
прооден рамен кров постоечка состојба	базалтни плочи	2	1000	2447	0.04	20-30
	Песок	0.58	840	1800	0.02	/
	цементен малтер	1.4	1050	2100	0.04	15-35
	парна брана	0.16	1460	1121.29	0.0095	100000
	алуминиумска фолија	203	940	2700	0.001	/
	битумен премаз	0.17	1460	1100	0.004	5000
	перлит бетон	0.25	800	1000	0.08	60-100
	стаклена волна	0.032	840	30	0.04	1-5
	армиран бетон	2.6	1000	2500	0.08	80-130
сценарио 1 и 2	минерална волна	0,035	1030	10-200	0,2	1-5
непрооден рамен кров постоечка состојба	Иверка	0.12	1800	1000	0.01	50-70
	Чакал	0.81	840	1700	0.06	/
	парна брана	0.16	1460	1121.29	0.0095	100000
	алуминиумска фолија	203	940	2700	0.001	/
	битумен премаз	0.17	1460	1100	0.004	5000
	перлит бетон	0.25	800	1000	0.08	60-100
	стаклена волна	0.032	840	30	0.04	1-5
	армиран бетон	2.6	1000	2500	0.08	80-130
	сценарио 1 и 2	минерална волна	0,035	1030	10-200	0,2
	Иверка	0.12	1800	1000	0.01	50-70

4.2. Потрошувачка на енергија за греење и CO₂ емисии

Енергетските симулации покажаа дека објектот троши најмногу топлинска енергија за греење од централната градска мрежа. Во реални услови просечната потрошувачка на топлинска енергија за греење изнесува 190 kWh часовно, 4 553 kWh дневно и 138 478 kWh месечно (табела 2), т.е. 1

661 736 kWh годишно. Тоа се 227 kWh/m², што е над 25% поголема од потрошувачката кај просечен објект (170 kWh/m²). Сценарио 1 покажа намалување на топлинската на енергија за 52%, т.е. просечната потрошувачка изнесува 91 kWh на часовно ниво, 2 177 kWh на дневно ниво и 66 237 kWh на месечно ниво (таб. 2), т.е. 794 841 kWh годишно. Тоа се 109 kWh/m², што претставува релативно ниска потрошувачка за објекти од овој тип. Сценарио 2 покажа намалување за 23%, т.е. просечната потрошувачка изнесува 147 kWh часовно, 3 538 kWh дневно и 107619 kWh месечно (таб. 2), т.е. 1 291 428 kWh годишно. Тоа се 176 kWh/m², ставајќи го објектот во просечните потрошувачи. На сл.9 е прикажан график на потрошувачка на топлинска енергија на месечно ниво во kWh за трите состојби, каде може да се заклучи дека сценарио 1 има најниска потрошувачка, пониска од сценарио 2 за 30% и пониска од постоечката состојба за 50%.



Сл. 9. Компарација на потрошувачката на топлинска енергија за греење на месечно ниво

Вкупната потрошувачка на електрична енергија на постоечката состојба изнесува 53 kWh часовно, 1 275 kWh дневно и 38 796 kWh месечно, т.е. 465 556 kWh годишно или 64 kWh/m². Вкупната електрична енергија е разложена на електрична енергија за греење (доколку системот за греење не може да ја постигне проектната температура, во софтверот се активира електрична енергија за греење); електрична енергија од апарати, за топла санитарна вода и за осветлување.

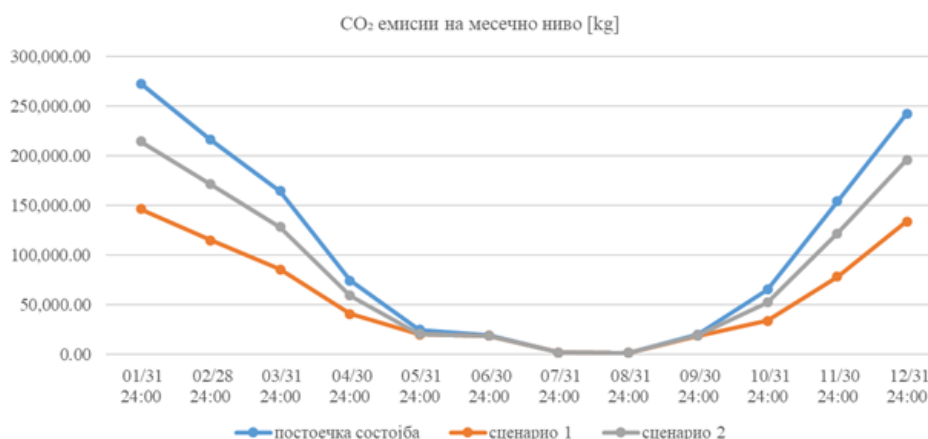


Сл. 10. Компарација на потрошувачката на електрична енергија за греење на месечно ниво

Во табела 2 се дадени податоците за просечната потрошувачка на видовите електрична енергија на месечно ниво за трите состојби. Симулациите покажаа дека кај сценаријата се менува само електричната енергија за греење. Електричната енергија потрошена за осветлување, санитарна вода и електрични уреди останува иста. Во сценарио 1 вкупната просечната потрошувачка на електрична енергија е намалена за 15%, т.е. изнесува 45 kWh часовно, 1 080 kWh дневно и 32

875kWh месечно, т.е. 394 502kWh годишно или 54 kWh/m², а во сценарио 2 истата изнесува 47 kWh часовно, 1 138 kWh дневно и 34 624 kWh месечно, т.е. 415 490 kWh на годишно ниво или 57kWh/m², што е за 11% пониска од постоечката (таб.2). Потрошувачката на електрична енергија за греење во постоечката состојба просечно изнесува 12 kWh часовно, 288 kWh дневно, 8 762 kWh месечно, т.е. објектот за дополнително загревање користи 105 144 kWh годишно или 14 kWh/m². Кај сценарио 1 може да се забележи драстично намалување на електричната енергија за греење за 65%, т.е. 4 kWh часовно, 100 kWh дневно и 3 036 kWh месечно, т.е. 36 339 kWh на годишно ниво или 5 kWh/m². Сценарио 2 покажа намалување на електричната енергија за греење за 51%, односно 6 kWh часовно, 149 kWh дневно и 4 524 kWh месечно, т.е. 54 285 kWh на годишно ниво или 7 kWh/m² (таб.2). На сл.10 графички е прикажана потрошувачката на електрична енергија на месечно ниво, каде може да се заклучи дека сценарио 1 има најниска потрошувачка, т.е. за 33% пониска од сценарио 2 и за 65% од реалната состојба.

Во симулацијата е вклучен и факторот на загаување т.е. испуштање на CO₂ емисии, на часовно, дневно и месечно ниво. На сл. 11 е прикажан дијаграм на CO₂ емисии што објектот ги ослободува на месечно (постоечка состојба, сценарио 1 и 2). Во реални услови објектот емитува просечно 144 kg CO₂ часовно, 3 456 kg дневно, а 105 125 kg месечно (таб.2). Највисока емисивност од 572 kg на часовно ниво е забележана во декември. Согласно стандардите, овој објект има висока CO₂ емисивност, т.е. во зима емисивноста речиси секој ден достигнува над 500 kg на час. Годишната просечна емисија на CO₂ е 1 261 500 kg. Доколку се надминие границата од 500 000 kg годишно, станува збор за високо загадувачки објект што укажува дека објектот е високо емисивен на CO₂.



Сл. 11. Компарација на CO₂ емисии на месечно ниво

Сценарио 1 покажа најниска емисија на CO₂, т.е. просечно 80 kg часовно, 1 916 kg дневно и 58 273 kg месечно, т.е. 699 33 kg годишно (таб.2). Емисивноста во сценарио 1 е намалена за 45% во однос на постоечката состојба. Сценарио 2 покажа просечна емисија од 11 kg часовно, 768 kg дневно ниво и 84 194 kg месечно, т.е. 1 010 328 kg годишно (таб.2). Во сценарио 2 емисивноста е намалена за 20% во однос на постоечката состојба. На сл. 11 се прикажани графици на месечната емисија на CO₂ за трите состојби. Може да се заклучи дека сценарио 1 има најниска емисивност со 150 000 kg, сценарио 2 со 220 000 kg, а во реални услови објектот емитува над 250 000 kg. Сценарио 1 има пониска емисивност од 2 за 30% а од постоечката состојба за 45%.

Табела 2. Просечни вредности за потрошувачка на топлинска и електрична енергија и CO₂

	Постоечка состојба			Сценарио 1			Сценарио 2		
	Час	Ден	Месец	Час	Ден	Месец	Час	Ден	Месец
Потрош.на топлин.енергија (центр. греење) [kWh]	190	4553	138478	91	2177	66237	147	3538	107619
Потрош.на електр.енергија за греење [kWh]	12	288	8762	4	100	3036	6	148	4 524

Потрош.на електрична енергија за топла санитарна вода[kWh]	10	251	763	10	251	7631	10	251	7631
Потрош.на електрична енергија од електрич. апарати [kWh]	21	498	15152	21	498	15152	21	498	15152
Потрош. на електр.енергија за осветлување [kWh]	9	215	6536	9	215	6536	9	215	6536
Вкупна потрош.на електр. енергија [kWh]	53	1 275	38796	45	1081	32875	47	1138	34624
CO ₂ емисии [kg]	144	3 456	105125	80	1916	58273	115	2768	84194

Во табела 2 се сумирани просечните вредности за потрошувачка на топлинска и електрична енергија и CO₂ емисии на часовно дневно и месечно ниво за трите симулирани енергетски состојби на објектот (постоечка состојба, сценарио 1 и сценарио 2).

4.3. Топлински губитоци

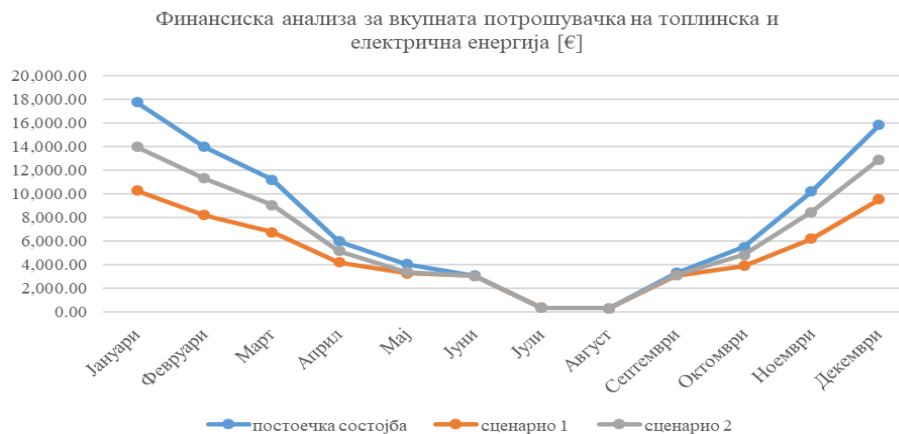
Со цел да се направи увид во губитоците на енергија: преку инфилтрација, вентилација, столарија и обвивка, направена е анализа на трансмисионите загуби, најпрво на постоечката состојба. Најмногу енергија се губи преку обвивката - 35% што укажува на недоволна термоизолација; вентилација - 28% што укажува на непостоење на контролиран вентилационен систем и несоодветна природна вентилација од страна на корисниците; инфилтрација - 26% и столарија - 11%. (сл. 12) Потоа направена е анализа за губитоците на енергија кај сите 62 термални зони кај двете сценарија. Резултатите покажаа дека во губитоците преку вентилација и инфилтрација нема промени, но има значително намалување на губитоците преку обвивка и столарија.



Сл.12 Месечни губитоци на енергија

4.4. Финансиска анализа

За крај направена е финансиска анализа на потрошувачката на топлинска и електрична енергија за постоечката состојба и двете сценарија, графички прикажани на сл.13. Од анализата може да се заклучи дека трошоците кај постоечката состојба се повисоки за 35% од сценарио 1 и за 18% од сценарио 2. Сценарио 1 има пониски трошоци за 22% од сценарио 2. Најголеми трошоци за забележуваат во текот на зимските месеци, додека најмали во текот на летото, што укажува на големата потреба за загревање на објектот во зима, но и на фактот дека студентскиот дом не работи во лето. Со оваа анализа се докажува улогата на поставената термоизолација на обвивката во подобрувањето на енергетската ефикасност, намалувањето на потрошувачката на енергија и трансмисионите загуби како и намалувањето на трошоците за греење и одржување на објектот.



Сл.13 Анализа на трошоци за греење на објектот кај постоечка состојба, сценарио 1 и 2

5. ЗАКЛУЧОК И ДИСКУСИЈА

Врз основа на спроведените анализи, може да се заклучи дека “бруталистичката” архитектура во Скопје претставува загрошено културно наследство кое мора да се заштити и да се подобри неговата енергетска ефикасност. Од истражените нано-материјали, аерогел малтерот (сценарио 1) и нано-керамичкиот премаз (сценарио 2) се покажаа како материјали кои оставаат минимален импакт во однос на автентичноста на овие објекти. Во анализата за потрошувачка на топлинска енергија за греење, сценарио 1 има пониска потрошувачка од постоечката состојба за 52%, а сценарио 2 за 23%. Потрошувачката на електрична енергија за греење кај сценарио 1 е пониска за 65%, а сценарио 2 за 51% од постоечката состојба. Сценарио 1 има пониска CO₂ емисивност за 45%, а сценарио 2 за 20% од реалните услови. На крај финансиските трошоци кај постоечката состојба се повисоки за 35% од сценарио 1 и за 18% од сценарио 2. Од енергетските симулации може да се заклучи дека Сценарио 1 даде подобри резултати во однос на термоизолационите карактеристики, но сценарио 2 има помал импакт во нарушувањето на автентичноста на објектот.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дескова И. А., Архитектурата од периодот на постземјотресната обнова на Скопје - вредности и состојба во рамки на современиот контекст, Скопје: Архитектонски факултет, Универзитет “Св. Кирил и Методиј” Скопје, 2015.
- [2] Николовски П., Анализа на постоечката состојба на енергетската ефикасност на зградите, градежните единици, постројките и индустриските процеси [Online] 04.04.2014
- [3] Правилник за енергетски карактеристики на зградите. Службен весник на РМ, бр. 94. [Online] 07.04.2013.
- [4] Правилник за енергетска контрола. www.slvesnik.com.mk. [Online] 07.04.2013.
- [5] Закон за заштита на културно наследство. “Службен весник на РМ” бр. 20/04; 71/04; 115/07.[Online] 01.01.2005.
- [6] Токарев М. 50 години обнова и изградба на Скопје (1963-2013). Историско-критички поглед на архитектурата. Скопје, 2014.
- [7] Stahl T. et al. (2011). Thermo-hygric properties of a newly developed aerogel based insulation rendering for both exterior and interior applications. Energy and Buildings 44(2012)114–117, Elsevier
- [8] Karol P., Tomasz S. (2015). A review of models for effective thermal conductivity of composite materials, Journal of Power Technologies 95 (1) (2015) 14–24, papers.itc.pw.edu.pl

- [9] Carty L. (2017) Analysis of the effects of aerogel insulation on the thermal performance of existing building envelopes, , Edinburgh Napier University, 09013398
- [10] Ganobjak M., Brunner S., Wernery J. (2019) Aerogel materials for heritage buildings: Materials, properties and case studies, *Journal of Cultural Heritage*, 23 September, 2019, Elsevier, available online at: www.sciencedirect.com
- [11] Fickler S. et al. (2015) Development of high performance aerogel concrete. IBPC 2015, Turin,
- [12] Torgal P. F. et al. (2016) Nano and Biotech Based Materials for Energy Building Efficiency. Aerogel plasters for building energy efficiency. eds. Cham, Switzerland: Springer International Publishing. Chapter 2. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27505-5_2.
- [13] Bozsaky D. (2015) Laboratory test with liquid nano-ceramic thermal insulation coating, *Procedia Engineering* 123 pp. 68–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.059>
- [14] Bumann M. About the calculation of energy savings with ThermoShield, DIMaGB, SiCC GmbH
- [15] Calculation Values ‘ThermoShield’ Existing descriptive documents, SiCC GmbH, on the ThermoShield (in German) Special English version online links <http://www.thermoshield-europe.com/>, <https://www.hauskredite.de/haus-bauen/>
- [16] Bumann M. (2010) Branta Backen, Tumba, Project report, SiCC GmbH, [Online]
- [17] Bumann M. (2009) Fassadenfarben im Praxisvergleich, Testflächen nach 6 Jahren an der WDVS Fassade, DIMaGB,