

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма: Урбано инжењерство
Ниво студија: Основне академске студије
Предмет: Енергетска ефикасност објекта
Број индекса: 913/2016**

Миљана З. Бановић

**Примена Тромбовог зида и пасивних
система грејања у зградарству**

ДИПЛОМСКИ РАД

Комисија за преглед и одбрану:

1. **др Данијела Николић, доцент - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У раду представити пасивне системе грејања који се примењују у сектору зградарства. Посебан осврт дати на примеру Тромбовог зида – описати врсте, примену и дати приказ коришћења Тромбовог зида код зграда пројектованих према пасивним принципима градње.

Препоручена литература:

- [1] Велимир Шћекић, Саша Пушица, Сања Марковић, *Системи коришћења енергије сунчевог зрачења*, Факултет за Индустијски Менаџмент, Крушевац; Агенција Смај Business, Бор, 2011.
- [2] Serkan Bilgiç, *Passive Solar Design Strategies for Buildings: A Case Study on Improvement of an Existing Residential Building's Thermal Performance By Passive Solar Design Tools*, İzmir Institute of Technology İzmir, Turkey, 2003.
- [3] Нурдин Чехајић, *Пасивно коришћење сунчеве енергије у зградарству – Тромбов зид*, Мјешовита средња школа Живинице, 2013.
- [4] P. Torcellini, S. Pless, *Trombe Wall in Low - Energy Buildings: Practical Experiences*, To be presented at the World Renewable Energy Congress VIII and Expo Denver, Colorado, 2004.

Крагујевац

Ментор: _____

др Данијела Николић, доцент

Резиме:

Пасивн соларна архитектура се користи као појам који се односи на зграде које су изграђене тако да саме делују и као соларни колектор и као резервоар топлоте. Суштина пасивне соларне архитектуре лежи у добром функционалном дизајну, а не у употреби неке посебне технологије.

Основни циљ завршног рада је примена Тромбовог зида и пасивних система грејања у зградарству где је дефинисан пасивни систем грејања и дати његови елементи, а затим опис примене Тромбовог зида, врсте Тромбовог зида као и његов пример коришћења у зградарству и пример прорачуна. Пасивни систем грејања је један од елемената пасивног соларног дизајна који се базира на употреби сунчеве енергије за производњу других облика енергије, или транспорт топлотне енергије путем природне конвекције, кондукције или зрачења.

Ефикасан начин пријема енергије сунчевог зрачења се у пракси остварује тамно обојеним и застакљеним Тромбовим зидом, њиме се осим апсорбовања топлоте обезбеђује и дуже акумулисање топлоте.

Кључне речи: Пасивна соларна архитектура; Пасивно соларно грејање; Тромбов зид.

Abstract:

Passive solar architecture is used as a term that refers to buildings that are built to act as both a solar collector and a heat reservoir. The essence of passive solar architecture lies in good functional design, not in the use of any special technology.

The main goal of the final paper is the application of the Trombe wall and passive heating systems in buildings where the passive heating system is defined and its elements are given, and then the description of the application of the Trombe wall, the type of Trombe wall and it's example of use in buildings and calculation example. Passive heating system is one of the elements of passive solar design based on the use of solar energy for the production of other forms of energy, or the transport of thermal energy through natural convection, conduction or radiation.

An efficient way of receiving the energy of solar radiation is achieved in practice by a darkly colored and glazed Trombe wall, which, in addition to absorbing heat, also provides longer heat accumulation.

Keywords: Passive solar architecture; Passive solar heating; Trombe wall.

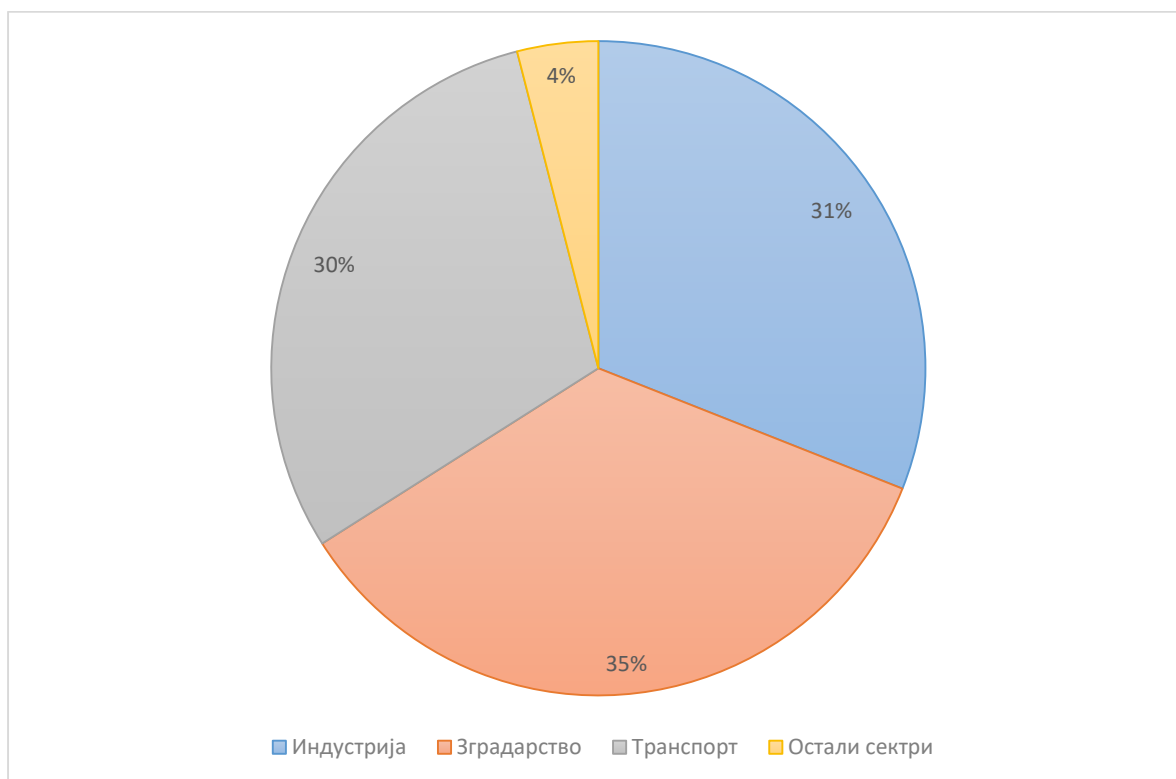
Садржај:

1. Увод	1
2. Соларна архитектура	3
2.1. Историја и еволуација соларне архитектуре.....	3
2.1.1. Пећине	5
2.1.2. Лепенски вир	6
2.1.3. Насеље Меса Верде	7
2.2. Пасивна соларна архитектура.....	8
3. Климатске карактеристике у Србији	10
3.1. Температура ваздуха у Србији	10
3.2. Соларно зрачење у Србији	12
4. Примена пасивних система грејања и Тромбовог зида.....	14
4.1. Пасивни соларни систем.....	14
4.2. Пасивни систем грејања	14
4.2.1. Стакленик – Зимски врт.....	18
5. Тромбов зид.....	22
5.1. Класичан Тромбов зид	26
5.2. Цик-цак Тромбов зид	27
5.3. Водени Тромбов зид.....	28
5.4. Соларна надстрешница.....	31
5.5. Соларни хибридни зид	32
5.6. Тромбов зид са фазно променљивим материјалом	33
5.7. Композитни Тромбов зид.....	34
5.8. Флуидни Тромбов зид	35
5.9. Фотонапонски (ФН) Тромбов зид	36
5.10. Степен искоришћења Тромбовог зида.....	38
5.11. Коришћење Тромбовог зида у пасивном соларном грејању и хлађењу.....	39
5.11.1. Студија случаја.....	39
5.11.2. Подаци о просторији	40
5.11.3. Методологија	42
5.11.4. Резултати симулације.....	42
5.12. Примери Тромбовог зида	45
6. Закључак	50
7. Литература	51

1. Увод

Зградарство је привредни сектор који троши највише енергије јер чини преко једне трећине укупне потрошње на свету и троши приближно половину светске производње електричне енергије, па га стога чини великим извором емисије угљен – диоксида (CO_2). У циљу смањења емисије CO_2 и укупне потрошње енергије, енергетски ефикасне технологије имају кључну улогу у енергетској револуцији која је потребна да би се смањење десило. Зградарство, које укључује и под-секторе становања и услуга, користи широк спектар технологија, примењених у омотачу зграде и изолацији, системима грејања и хлађења, осветљењу, кућним апаратима и производима широке потрошње, као и пословној опреми. Дуг животни век зграда и пратеће опреме представља и изазове и могућности за овај сектор.

Неке од технологија које су потребне за трансформацију зградарства су већ комерцијално доступне и исплативе, са периодом повраћаја новца мањим од пет година. С друге стране, постоје и скупље технологије код којих би државе морале да финансијски интервенишу да би могле да се пласирају на тржиште. За разлику од технологија у транспортном и индустријском сектору, само мали број у зградарству захтева велике истраживачке и развојне продоре. Уштеда електричне енергије у зградама има далекосежне користи за електроенергетски сектор јер доводи до смањења употребе електричне енергије. На слици 1. је приказана глобална употреба енергије по секторима [1].



Слика 1. Глобална употреба енергије по секторима [1]

Када је реч о Србији, она спада у ред земаља са изузетно ниском енергетском ефикасношћу. Разлог томе је коришћење застарелих, енергетски неефикасних технологија у индустрији, грађевини и инфраструктури, неадекватној законској регулативи у овој области, ниском животном стандарду и недовољно развијеној еколошкој свести становништва. Обим и структура енергетских резерви и ресурса Србије су веома неповољни. Резерве квалитетних енергената, као што су нафта и гас су симболичне и чине мање од 1% у укупним билансним резервама Србије, док преосталих 99% енергетских резерви чине разне врсте нискоквалитетног угља, у коме доминира лигнит са процењеним учешћем од око 90% у укупним билансним резервама [1].

Због пораста цена нафте, раст цена гаса постао је уобичајена појава не само у Сједињеним Државама, већ и широм света. Експлоатација и злоупотреба природних ресурса брзо исцрпљује нафту и природни гас. Ова врста погоршања није евидентна само у природном гасу, већ и у многим другим уобичајеним изворима енергије. Иако су многи свесни смањења количине нафте, већина људи претпоставља да постоји бескрајна количина угља, нуклеарне енергије и других извора енергије. Процењено је да има довољно угља да траје још око 250 година, довољно нафте да траје отприлике 44 године и нуклеарног горива да траје 23 године, ако се трошкови задрже нешто већи. Чак и ако су ове бројке ниска процена, а довољно извора енергије остаје још неколико векова, још увек треба пронаћи чистије изворе енергије.

Пораст потрошње енергије у зградама условљава потребу за предлагањем мера за побољшање енергетске ефикасности. Урбанистичко планирање у складу са микроклиматским условима локације може довести до смањења потрошње енергије у зградама кроз пасивно коришћење соларне енергије. Енергетска ефикасност се може постићи и оптимизацијом архитектонско-грађевинских параметара као што су облик зграде, структура омотача и проценат застакљања уз задовољење термичког комфора корисника према намени простора.

Код обезбеђивања ефикасног коришћења енергије у зградама, са аспекта просторног планирања, релевантни су параметри: климатски услови локације; оријентација и намена зграда; могућност коришћења обновљивих извора енергије. Урбанистичке мере за постизање енергетске ефикасности зграда базирају се на принципу пасивног коришћења соларне енергије. Употребом соларне енергије уз помоћ пасивних соларних система треба повећати топлотне добитке у зградама зими, и системима термичке контроле спречити прекомеран упад сунчевог зрачења у зграду лети.

При новој парцелацији позиционирање парцеле и зграде треба прилагодити принципима пројектовања енергетски ефикасних зграда у мери у којој урбанистички услови то дозвољавају. Најпогоднији облик зграде је правоугаони, који је широм страном позициониран у правцу исток-запад и ужом страном у правцу север-југ. Урбанистичке мере обухватају такође и правилан избор оријентације зграде у односу на облик и конфигурацију локације и парцеле. На равним теренима вишеспратне зграде треба позиционирати на северној, а ниже објекте на јужној страни локације [2].

2. Соларна архитектура

Вишедеценијско нерационално трошење различитих извора енергије довело је до појаве кризе енергената и еколошке кризе. Свет се нашао у опасности од губитка извора енергије како данас тако и у будућности. А самим тим, повећана емисија CO₂ довела је до глобалног загревања што за последицу има повећање температуре и нивоа мора. Расипање енергије и неизвесна будућност човечанства подстакли су стручњаке и чланове друштвене заједнице да се окрену примени алтернативних извора енергије. Највише уштеде енергије се очекују коришћењем следећих алтернативних извора:

- Соларна енергија
- Енергија ветра
- Енергија морских таласа
- Геотермална енергија.

Једно од најперспективнијих алтернативних извора енергије јесте Сунце које пружа могућност људима да у различитим поднебљима користе његову енергију.

Истраживања и усавршавање технологија за искоришћавање обновљивих извора енергије проводе се у многим подручјима људског деловања па тако и у зградарству. С обзиром на то да зграде данас потроше око половину укупне произведене енергије, долази време када ће се куће све више посматрати као термодинамички, а не као грађевински објекти. Период употребе зграда од 50 до 100 година, па је њихов утицај на животну средину дуг и континуиран и не можемо га занемарити [3].

Савремена соларна архитектура заснива се на директном (пасивном), индиректном (активном) и комбинованом (пасивном и активном) коришћењу соларног зрачења. Директно коришћење соларног зрачења подразумева унос самог објекта без икакве додатне опреме за унос сунчевог зрачења и његову трансформацију у друге врсте енергије. Индиректно коришћење соларног зрачења је унос који врши опрема која се додаје датом објекту на коме се врши термичка (колектори), фотонапонска (соларне ћелије) или термичка и фотонапонска (хибридни колектори) конверзија сунчевог зрачења. Комбиновано коришћење соларног зрачења од датог објекта, као пасивног пријемника и додатних уређаја (колектори и соларне ћелије) као активних пријемника соларног зрачења [4].

2.1. Историја и еволуација соларне архитектуре

Иако све до 1970. године енергија није била проблем, у архитектонском дизајну су спроведени неки приступи који се тичу што бољег искоришћења енергије. Грци су били први који су користили соларну енергију за грејање својих домова. Стари Грци су били заинтересовани за могућности соларног дизајна, па су градили куће које су орјентисане према југу и користили својство термичког складиштења материјала да би задржавали соларне добитке топлоте у простору. Грчки градови попут *Priene* били су планирани по мрежи решетки са улицама које воде у правцу исток – запад како би се омогућило зградама да се окрену према југу ради приступа (слика 2) [5].



Слика 2. Древни грчки град у западној Турској - Pirene

Римљани су развили грчку соларну архитектуру тако што су измислили стакло како би прекрили отворе. То је омогућило Римљанима да кроз прозоре ухвате сунчеве зраке и задрже их у проостору дуже време (слика 3.) [5].



Слика 3. Пример соларне архитектуре у старом Риму

Друга употреба Сунца за климатизацију простора ефективно се појавила у аутохтоном америчком архитектонском наслеђу „sky city” *Асота* – небески град, један од најсофистициранијих примера америчке соларне архитектуре. Омогућавали су соларни приступ свакој згради узимајући у обзир облик, оријентацију и висину зграда. Градили су куће тако што су користили дебље зидове, окренуте према југу за прикупљање соларне енергије током зиме, као и врсте кућа за смањење интензивног дејства летњих сунчевих зрака на источну и западну страну суседних кућа [5].



Слика 4. „Sky city” *Асота* – небески град

2.1.1. Пећине

Најстарији заклон који су људи користили су пећине, природно обликована склоништа усечена у Земљину кору. На почетку су пећински људи боравили у близини улаза у источном делу пећине. Уз помоћ такве оријентације, унутар пећине има довољно дневног светла за обављање свакодневних задатака без потешкоћа. Докази о пећинском човеку показују да су они бирали пећине са отворима на источном брду. Та оријентација је врло корисна са биоклиматске тачке гледишта - пошто Сунце излази на истоку ујутру, у раним јутарњим сатима светлост би могла да допре до унутрашњости пећине и омогући њеним становницима да започну своје активности. Сунце, поред светлости, даје и топлоту, за којом је била највећа потреба ујутру с обзиром да је јутарња средња температура била најнижа непосредно пред зору. Таква оријентација и експлоатација сунчеве енергије у пећинском животу одржавала се хиљадама година: на целој северној хемисфери улаз у пећину је готово увек био на источној страни [6].

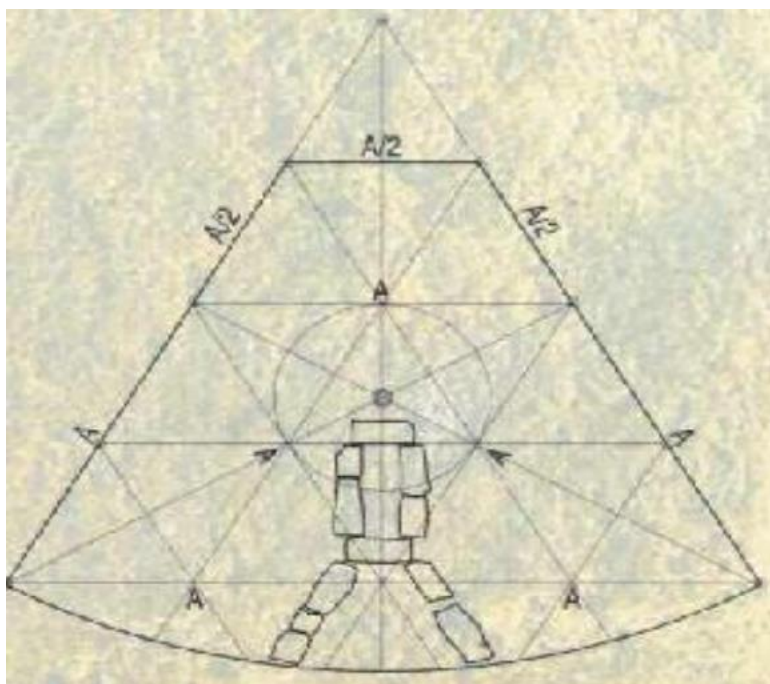
2.1.2. Лепенски вир

Архитектура Лепенског Вира, створена у средње каменом добу, истиче се као добар пример почетака пасивних техника градње. Ово насеље се може посматрати као високо организована творевина у којој су истакнути многи биоклиматски аспекти. Лепенски Вир се налази на десној обали реке Дунав, у Ђердапској клисури. То је богато налазиште ископина различитих уметничких скулптура, необичних украса, а познато је и по остацима урбанизованих кућа, гробова и уметничких предмета. Локација Лепенског Вира указује на важност избора адекватне локације за изградњу зграда. Ђердапска клисура је дубоко урезана у карпатски масив, због чега је заштићена од оштрих климатских услова који долазе са севера, а такође и од прекомерног загревања са југа. Такође, клисура је заштићена од јачих ветрова, што резултира посебном климом која се манифестује у нешто блажим зимама и умеренијим летима. Сам Лепенски Вир (Слика 5.) је у заветрини, окружен је густом шумом и високим литицама, а место на којем је никло насеље током јутра добија пуно сунца. Такође конфигурација терена омогућава да читаво насеље буде у сенци током поподнева, прижајући својим становницима угодност и током врућих летњих дана.



Слика 5. Насеље Лепенски Вир – остаци темеља [6]

Архитектура Лепенског Вира сматра се првом дизајнираном архитектуром заснованом на рационалном приступу који се темељи на искуству, а креирале су је генерације које су се прве прилагодиле животу на отвореном, оставивши пећински живот. Овде се не могу анализирати појединачне зграде, али је неопходно сагледати целокупно урбано насеље као целину која је систематски планирана и изграђена. Веома је занимљиво уочити повезаност модерне пасивне архитектуре са архитектуром Лепенског Вира. Избор локације на којој је насеље изграђено резултат је искуства и рационалног приступа те дуготрајног праћења природних појава.



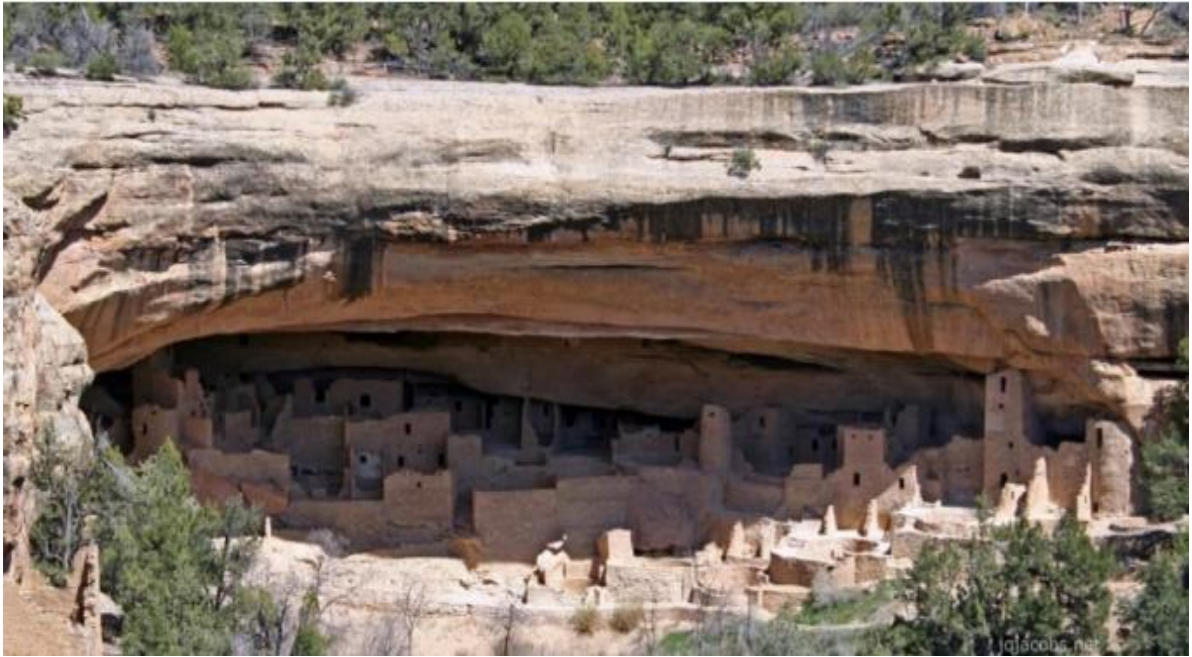
Слика 6. Темељ куће Лепенског Вира [6]

На слици 6. се види како је на северном зиду ових кућа минимизирана површина, док су источна и западна фасада максимално нагнуте ка северу, али на начин да задрже своју источну и западну оријентацију. Јужна страна је обликована у кружни лук, чиме повећава површину окренуту ка југу, југоистоку и југозападу, што утиче на бољу употребу соларне енергије [6].

2.1.3. Насеље Меса Верде

Веома занимљив концепт изградње насеља може се видети на примеру националног парка Меса Верде на југозападу Колорада, САД. Национални парк је основан 1906. године како би се сачувало место које су изградили претколумбијски Индијанци између 600. и 1200. године нове ере. Насеље је изграђено у сенци велике стене и представља импресиван грађевински пројекат с обзиром на то да се природно окружење локалитета, које укључује огромну стену, користи као надстрешница која покрива насеље и регулише количину сунчевог зрачења током године. Док зими својим ниским зрацима допушта осунчавање и загревање кућа у насељу.

Овај локалитет је врло паметно изабран јер максимално користи кретање Сунца у небеској сфери, узимајући у обзир годишња доба. Још један веома важан биоклиматски фактор је масивност стене која својим термоакумулационим својствима ублажава температурне разлике између дана и ноћи. Куће имају велику масу, изграђене су од пешчара нађеног у близини налазишта, док су прозорски отвори релативно мали, чиме се смањују губици у вентилацији. На сликама 7. и 8. приказани су фронтални и бочни прикази остатака насеља Меса Верде и врло јасно показују природну заштиту и сенчење насеља великом стеном, као и повољну оријентацију и осунчаност насеља [6].



Слика 7. Насеље Меса Верде, Колорадо – фронтални приказ [6]



Слика 8. Насеље Меса Верде, Колорадо – бочни приказ [6]

2.2. Пасивна соларна архитектура

Архитектура је свесно стварање усељивих простора који испуњавају све функционалне захтеве. У таквом стварању фактори животне средине играју главну улогу у одређивању угодног изграђеног простора. Соларна пасивна архитектура бави се дизајном изграђеног облика у односу на своја природна станишта, користећи соларну енергију на индиректан начин за постизање угодних животних услова. Приступ је ка стварању изграђене структуре / брзине која ће деловати као извор складишта енергије за коришћење таквих

обновљивих облика енергије. У садашњој ери највеће деградације животне средине, уштеда енергије у било ком облику, биће основна брига за сваки аспект живота у садашњем и будућим временима која долазе - било градским или сеоским, топлим или хладним итд.

С правом се цитира да је уштеда енергије произведена. У овом систему прозори, зидови и подови било које зграде могу бити дизајнирани за прикупљање, складиштење и дистрибуцију соларне енергије у облику топлоте зими и одбијање соларне топлоте лети. То се назива пасивни соларни дизајн или климатски дизајн, јер за разлику од активних соларних система грејања, он не укључује употребу механичких и електричних уређаја, као што су пумпе, вентилатори или електричне команде за регулацију соларне топлоте. Грађевински елемент сам по себи делује као соларни уређај.

Конвекција је начин на који се топлота преноси на течности и гасове. Лакша, топлија течност иде у више делове инсталација, а хладнија, гушћа течност тоне. На пример, топли ваздух се подиже јер је лакши од хладног који иде у ниже делове инсталација. На овај начин се топлији ваздух акумулира на другом спрату куће, док подрум остаје хладан. Неке пасивне соларне зграде користе конвекцију ваздуха за пренос соларне топлоте из унутрашњости зграде у водовод и изван зграде.

Пренос топлоте зрачењем врши се са топлијих на хладније предмете. Постоје две врсте зрачења важне за пасивни соларни дизајн; директно сунчево и инфрацрвено зрачење. Када зрачење удари у предмет, он се апсорбује, одбија или преноси, у зависности од одређених својстава тог предмета. Ово би требало размотрити и усвојити одговарајућу технологију градње за уклањање топлотног добитка у згради.

Непрозирни објекти апсорбују 40 - 95% соларног зрачења које долази, у зависности од тога да ли њихове тамније боје обично апсорбују већи проценат од светлијих боја. Сјајни бели материјали или предмети одражавају 80 - 98 % долазеће соларне енергије. Стога би зграде и површине окренуте соларном зрачењу требале бити светлијих боја.

Прозирно стакло преноси 80 - 90 % сунчевог зрачења, упијајући или одбијајући само 10 до 20 процената. Након што се сунчево зрачење пренесе кроз стакло и апсорбује га зграда, оно се поново зрачи са унутрашњих површина као инфрацрвено зрачење. Иако стакло омогућава пролазак соларног зрачења, оно упија инфрацрвено зрачење. Стакло затим зрачи део те топлоте назад у унутрашњост зграде. На овај начин може доћи до повећања топлоте, што треба избегавати.

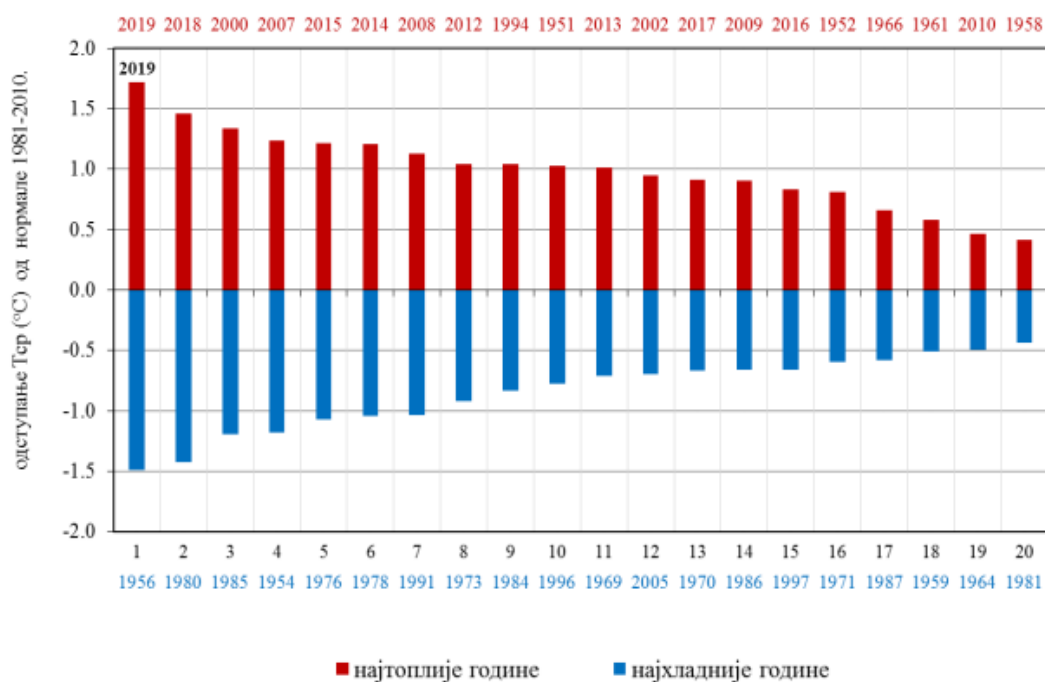
Термин топлотни капацитет односи се на способност материјала да чувају топлоту, а топлотна маса се односи на материјале који чувају топлоту. Термална маса чува топлоту, чуваће се за сваки степен пораста температуре. Зидарски материјали, попут бетона, камена, цигле и плочица, обично се користе као топлотна маса у пасивним соларним зградама. Вода се такође успешно користи. Ови материјали се могу ефикасно користити тако да топлота споља не улази унутра и да се задржи тренутна хладноћа у згради [7].

3. Климатске карактеристике у Србији

Клима Србије се може описати као умерено-континентална са мање или више израженим локалним карактеристикама. Просторна расподела параметара климе условљена је географским положајем, рељефом и локалним утицајем, као резултатом комбинације рељефа, расподеле ваздушног притиска већих размера, експозицијом терена, присуством речних система, вегетацијом, урбанизацијом итд. Од географских одредница које карактеришу битне синоптичке ситуације значајне за време и климу Србије треба споменути Алпе, Средоземно море и Ђеновски залив, Панонску низију и долину Мораве, Карпате и Родопске планине као и брдовито планински део са котлинама и висоравнима. Преовлађујући меридионални положај котлина река и равничарски предео на северу земље, омогућују дубоко продирање поларних ваздушних маса на југ [8].

3.1. Температура ваздуха у Србији

На територији Србије, 2019. година, са средњом температуром ваздуха од 12,3°C, је најтоплија година у периоду од 1951. године до данас, а у Београду са 14,7°C је најтоплија од почетка рада метеоролошке станице (1888. године). Средња годишња температура ваздуха била је у интервалу од 10,9°C у Пожеги до 14,7°C у Београду, а у планинским крајевима од 5,2°C на Копаонику до 9,4°C на Златибору. Одступање средње годишње температуре ваздуха у односу на референтни период 1981-2010. је било у интервалу од 1,2°C у Зајечару и Пожеги до 2,2°C у Београду. Према расподели перцентила 2019. година је била у категорији екстремно топло у целој Србији изузев у Зајечару где је била у категорији веома топло.



Слика 9. Редослед најтоплијих и најхладнијих година у Србији за период 1951-2019. [8]

Тринаест од петнаест најтоплијих година у Србији је регистровано након 2000. године (период 1951-2019. година), а у Београду четрнаест најтоплијих година (период 1888-2019. година). На сликама 9. и 10. су приказани редослед најтоплијих и најхладнијих година у Србији и одступање средње годишње температуре ваздуха у Србији [8].



Слика 10. Одступање средње годишње температуре ваздуха у Србији [8]

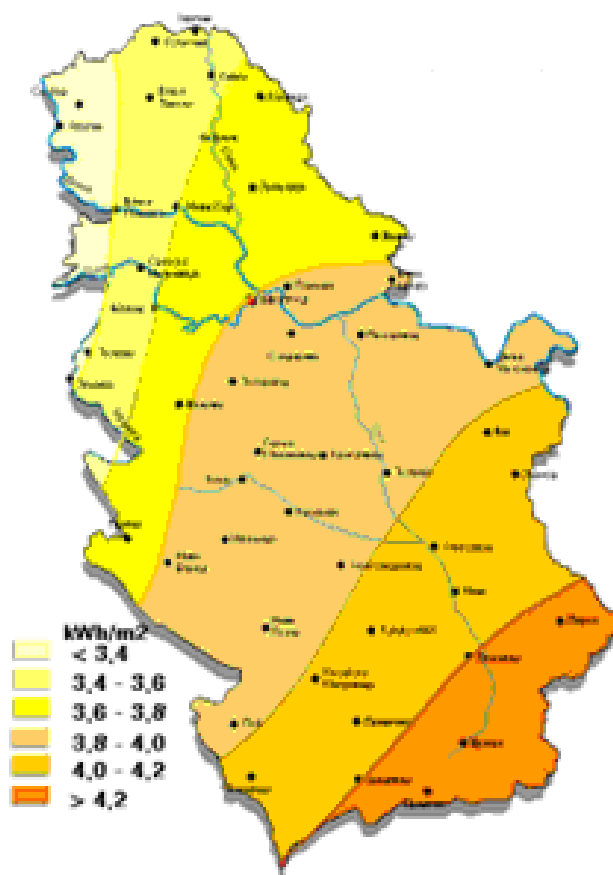
Највиша дневна температура ваздуха у току 2019. године измерена је 12. августа у Лесковцу и износила је 38,1°C. Највећи број тропских дана забележен је у Неготину и Лесковцу и износио је 71 дан. У већем делу Србије забележено је од 3 - 29 тропских дана више од просечног броја за референтни период 1981-2010. У Београду је забележено 59 тропских дана што је за 22 дана више од просечног броја. Регистровано је 48 тропских ноћи у Београду, 31 ноћ више од просека. У Неготину и Зрењанину је забележено 14 тропских ноћи, на Палићу и у Лозници 11, а у осталом делу Србије мање од осам. Најнижа дневна температура ваздуха у току 2019. године измерена је 8. јануара у Сјеници и износила је -22,1°C. У нижим пределима забележено је до шест дана са јаким мразом, а у планинским пределима од седам на Златибору и Црном Врху до 24 дана на Копаонику. У већем делу Србије је регистровано од један до 15 дана са јаким мразом мање у односу на просечне вредности. Број ледених дана је током 2019. године у Србији био у интервалу од један у Лозници до 12 у Врању, а у вишим пределима од 28 у Сјеници до 59 дана на Копаонику. Анализирајући средњу минималну и средњу максималну температуру ваздуха у Србији, 2019. година је најтоплија година према максималној температури ваздуха, док је према минималној температури ваздуха трећа најтоплија (топлије су 2014. и 2018. година) [8].

3.2. Соларно зрачење у Србији

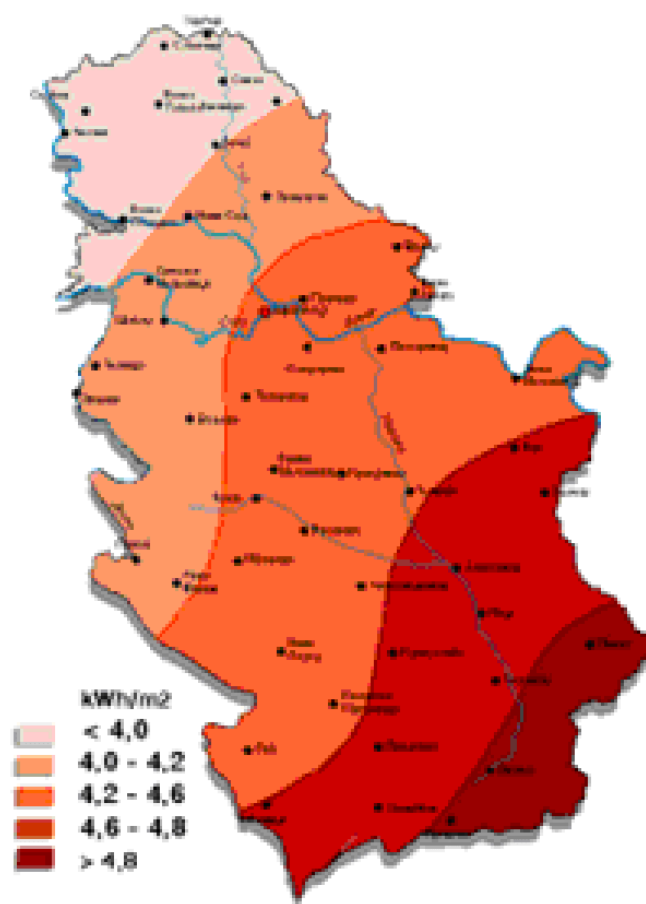
Соларна енергија може заузети витално место у енергетском систему земље, јер представља обновљиви и неисцрпни извор енергије. а становишта животне средине, енергија Сунца је чиста, а енергетске технологије у експлоатацији не загађују животну средину.

Србија има просек од око 272 сунчана дана и око 2300 сунчаних сати, што је више од европског просека. Просечни интензитет сунчевог зрачења на територији Републике Србије креће се од 1,1 kWh/m²/дан на северу, до 1,7 kWh/m²/дан на југу - током јануара и од 5,9 до 6,6 kWh/m²/дан - током јула. Годишње се просечна вредност укупног сунчевог зрачења за територију Републике Србије креће од 1200 kWh/m²/годишње на северозападу Србије до 1550 kWh/m²/годишње на југоистоку Србије, док је у средњем делу износи око 1400 kWh/m²/годишње.

Годишњи просек дневне глобалне енергије зрачења на хоризонталној равни представљен је на слици 11., а годишњи просек дневне глобалне енергије зрачења на равни орјентисаној према југу и нагнутој под углом од 30° у односу на хоризонталну површину на слици 12. Узимајући у обзир све поменуто, може се закључити да Србија има повољне услове за коришћење соларне енергије и њено претварање у топлотну и електричну енергију [4].



Слика 11. Годишњи просек дневног глобалног зрачења енергије на хоризонталној равни [4]



Слика 12. Годишњи просек дневне глобалне енергије зрачења на равни оријентисаној према југу и нагнутој под углом од 30 ° у односу на хоризонталну раван [4]

4. Примена пасивних система грејања и Тромбовог зида

4.1. Пасивни соларни систем

Пасивни соларни системи се користе за „сакупљање, складиштење и дистрибуцију топлотне енергије природним зрачењем, провођењем и конвекцијом кроз софистицирани дизајн и мудар одабир грађевинских материјала“. Пасивна соларна енергија такође укључује блокирање сунчевих зрака како би се обезбедило хлађење током лета. Укључивање соларне енергије у зградама смањиће новац који се троши на енергију, као и продужити време трајања других извора енергије.

Док су многи људи свесни активних система соларне енергије, као што су соларни панели, пасивна соларна енергија је подела сунчеве енергије која соларну енергију користи на природнији начин. Такође је корисно разумети специфичне уштеде у трошковима зграда које користе пасивну соларну енергију [9].

4.2. Пасивни систем грејања

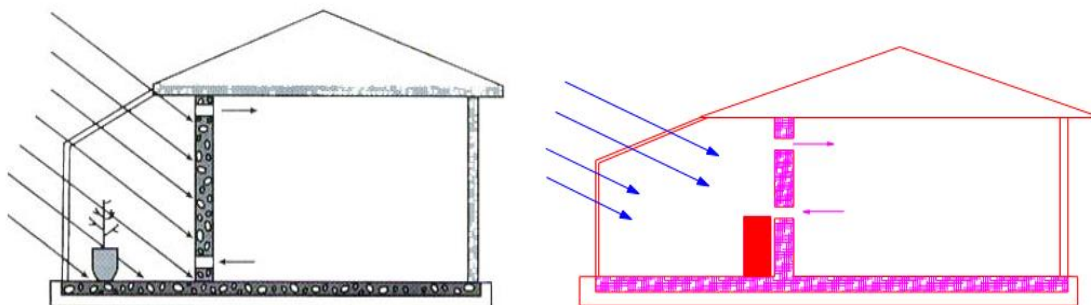
У архитектури, пасивни соларни системи грејања значе енергетску свест зграде са становишта трошења енергије како би се становницима рационално пружио топлотни комфор. То значи да архитектонски дизајн треба да покуша да сачува, уштеди и ако је могуће генерише енергију као битан састојак здраворазумског дизајна. Енергетски свесне могућности су могуће у свим фазама зграде, наиме; планирање, изградња, рад и одржавање. Генерално је пожељно интегрисати пасивне системе соларног грејања у структуру зграде, посебно тамо где се пројектује нова зграда. Значај ових могућности варира у зависности од врсте и обима пројекта [5].

Пасивни системи грејања објеката сунчевом енергијом су познати од првих људских насеља до данас. Грчки филозоф Сократ описао је начин орјентисања објеката у складу са принципима пасивног грејања: *"У кућама које гледају према југу, зими Сунце сија у тремове, а лети се креће изнад нас и изнад кровова, те чини хладовину. Према томе, ако је лепо тако да буде, не треба ли јужну страну куће подизати више, да се не одбије зимско Сунце, а северну страну ниже, да не ударају студени ветрови?"* ("Успомене о Сократу" Ксенофонт). Римски сенатор Плиније Млађи, је почетком нове ере, у једној од соба куће у северној Италији, на прозоре поставио транспарентне лискуне као термоизолаторе.

Данас, са гледишта инвестиционих улагања, пасивни системи грејања објеката сунчевом енергијом представљају најекономичнији и најједноставнији начин грејања објеката. Реч је о веома једноставним системим који непосредним пријемом сунчевог зрачења, обезбеђују загревање објеката:

- Интензивирањем уласка сунчевих зрака у просторије објекта (постављањем већих прозорских површина на јужној страни објекта)
- Прилагођавањем делова површина јужних фасада и кровова вршењу функције пријемника сунчеве енергије (бојењем површина тамном бојом и њиховим застакљивањем транспарентном плочом),

- Правилним распоредом просторија у објекту (дневна соба треба бити орјентисана према јужној страни) или
- Постављањем стаклене баште на зидове објеката који су орјентисани према југу (слика 13.) [10].



Слика 13. Пасивно соларно грејање са стаклеником на јужној страни објекта и акумулатором топлоте прислоњеним уз осунчани зид објекта [10]

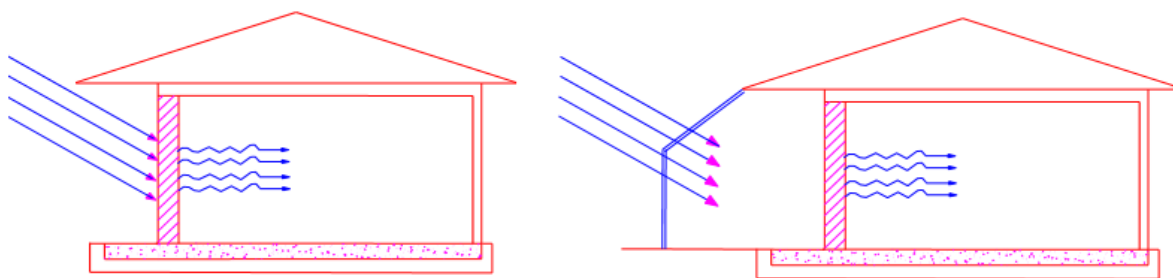
Према начину прелаза топлоте пасивни системи грејања објеката сунчевом енергијом могу бити:

- Системи са непосредним упадом сунчевих зрака у грејну просторију објекта,
- Системи код којих постоји циркулација ваздуха из колекторског простора у грејни простор објекта (слика 14.)
- Системи код којих не постоји циркулација ваздуха из колекторског простора у грејни простор објекта, већ се просторија загрева пролазом топлоте кроз зид (слика 15.).



Слика 14. Пасивно соларно грејање са акумулатором топлоте испод грејног објекта [10]

Постављањем великих прозорских површина на јужне фасаде објекта, интензивира се упад сунчевих зрака у просторију, што обезбеђује већу количину светлости током дана, али је током летњих месеци (због вишег положаја Сунца на небеској сфери), неопходно постављање настрешнице или застора, како би се спречило термичко оптерећење просторије. Засторима се спречава пријем нежељеног краткоталасног зрачења лети, док се ноћу спречава губитак дуготаласног зрачења. Ефикасан начин пријема енергије сунчевог зрачења се у пракси остварује тамно обојеним и застакљеним Тромбовим зидом (знатно масивнији од обичног зида). Тромбовим зидом се осим апсорбовања топлоте обезбеђује и дуже акумулисање топлоте [10].



Слика 15. Пасивни систем без циркулације ваздуха из колекторског простора у простор који се греје [10]

Добар пасивни соларни дизајн може подстаћи кретање ваздуха у згради природном конвекцијом без употребе вентилатора. Међутим, неки део механичких решења може се користити за подстицање протока кондиционисаног ваздуха. Пасивни соларни системи грејања се могу класификовати према њиховој физичкој конфигурацији делећи се у три генеричке категорије:

- Директна добит - топлота се сакупља и складишти директно у животном простору,
- Индиректни добитак - топлота се сакупља и складишти у близини примарних животних простора и термички је повезана (не визуелно) са њима,
- Изолациони добитак - топлота се сакупља у близини или одвојено од временских услова и чува се одвојено од животних простора или у њима.

Примарни елементи које треба узети у обзир код сваке категорије укључују површине за сакупљање соларне енергије, материјале за складиштење топлоте, дистрибуцију топлоте и контролне механизме.

Локацијске карактеристике: Начин на који су елементи климатске анализе, енергетски свесног планирања и пасивног соларног дизајна обликовани у најприкладније решење зграде, лежи у оквиру локацијских карактеристика. Где ће зграда бити изграђена, контуре тла, климатски услови и уређење земљишта знатно утичу на задовољство пасивне соларне зграде. Као приступ дизајну, пасивне соларне зграде често имају „отворене планове пода“ како би олакшале „термосифонирање“ кретања соларне топлоте са јужне стране кроз остатак зграде. Понекад се мали вентилатори користе за помоћ у дистрибуцији топлог ваздуха у просторима са „затвореним пројекцијама етажа“ [5].

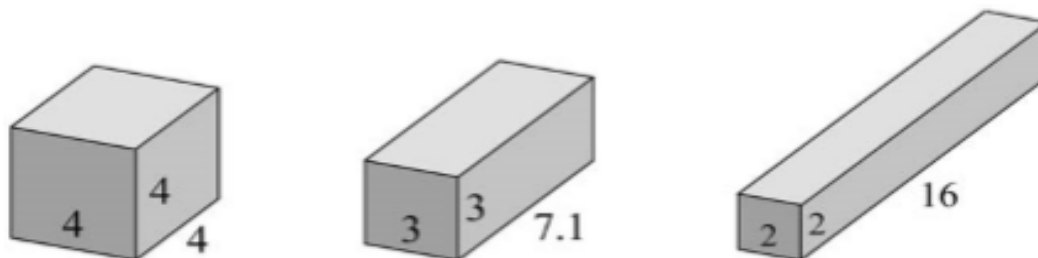
Контуре тла: Једна од најважнијих карактеристика за пројектовање соларних зграда је оптимизација локације за одговарајућу оријентацију сунца и употребу ветра. Место које се спушта према југу на северној хемисфери или ка северу на јужној хемисфери често олакшава задовољавање захтева за разматрање соларног дизајна који се узимају у обзир у енергетски ефикасном дизајну зграде. Физичка својства локације треба анализирати на основу одлука енергетски ефикасног дизајна, на пример: брда око зграде утицаће на сунчеву изложеност зграде, ветар локације је такође пресудан или за зимску заштиту или за летње хлађење, нагиб локације је важан за сунчеву изложеност. Ове

карактеристике локације треба узети у обзир за енергетску ефикасност при дизајну зграде.

Уређење терена: Уређење терена укључује намерну промену контура земље и садњу дрвећа и друге вегетације. Биљке се могу ефикасно користити око зграде како би се смањила потрошња енергије. Оне могу да обезбеде ефекат сенчења на спољним зидовима зграде, биљке имају способност да смање температуру амбијенталног ваздуха на градилишту, покривање тла вегетацијом смањује рефлектовано сунчево зрачење око зграде, када су засађене на источној и западној страни зграде, могу да обезбеде добар ефекат сенчења током лета.

Ефекти климе: Клима и изграђена форма учинили су да архитектонско окружење древних насеља реагује на климу и стога је угодно за живот без развоја грађевинског материјала и технологија. Пасивни соларни дизајн има шта да понуди у скоро свим климатским условима, али очигледно да се захтеви разликују. Главни смисао су принципи дизајна који одговарају клими.

Облик зграде: Игра важну улогу у пројектовању пасивне соларне зграде. Архитекта, који је забринут за еколошки осетљив дизајн, требало би да формира облик зграде такође узимајући у обзир однос између губитака или добитка енергије и облика зграде. Стварање компактног облика зграде може смањити губитке топлоте кроз омотач зграде. Што је мања површина спољног зида по загрејаној запремини, то ће бити потребно мање енергије за зграде. На слици 16. је приказано како се површине и однос запремине мењају са променом облика у величини док су све запремине облика исте. Куполе иглоа представљају узорке разматрања односа између облика и климе. Имају максималну запремину са минималном површином, са конфигурацијом склоништа, његова унутрашња топлотна удобност је обезбеђена свећама [5].



Слика 16. Различити облици са истом запремином имају различите односе површине и запремине [5]

Као идејни изглед и термичко зонирање зграде, неогрејани простори треба да буду постављени што је више могуће на северним странама. На пример: складишта, сервисне површине, гараже и ниже температуре који захтевају просторе као што су спаваће собе, степеништа, улази и ходници такође је могуће поставити у несоларном смеру. Генерално, постоје неке компоненте које су од виталног значаја за пасивне системе. То су: соларни отвори и термоакумулациони материјали.

Соларни отвор: То су површине кроз које сунчеви зраци могу ући. Грађевински елементи попут прозора и кровних прозора могу се дефинисати као соларни отвори под

условом да су оријентисани према Сунцу. Генерално, што је већи соларни отвор под условом да је правилно оријентисан то је већи соларни добитак. Међутим, превелик соларни отвор може проузроковати или прегревање или расипно испуштање сакупљене соларне топлоте. Такође може повећати губитак топлоте ноћу због високе топлотне проводљивости материјала отвора.

Термичко складиштење: Термичка маса је количина потенцијалног капацитета складиштења топлоте која је на располагању у материјалу. У згради материјали са високом топлотном масом укључују бетонску плочу с поплочаним подом, зидовима од опеке, камена или земље, или чак резервоарима за воду. Када се правилно постави унутар куће, термална маса може зими да складишти топлоту током дана и да је зрачи ноћу. Компоненте које могу да апсорбују, складиште, а затим ослобађају соларну топлоту у згради су: зидани зидови, зидови од цигле, бетонски подови, посуде за воду које имају велику запремину. Такође имају и другу важну способност стабилизације унутрашње топлоте. Током дана, када постоји вишак сунчеве топлоте, топлотна маса апсорбује прекомерну топлоту да би спречила прегревање. Ноћу топлотна маса ослобађа топлоту да би зграда била топла. Термичка маса спречава температурне флуктуације у простору током овог дневног циклуса [5].

4.2.1. Стакленик – Зимски врт

Зимска башта се користи као место за окупљање и дружење, али и место за зимовање и гајење егзотичних биљака. Сада је, поред естетског аспекта, у првом плану еколошка прихватљивост и економска исплативост, односно употреба сунчеве енергије и, пре свега, могућност акумулације топлоте – појавио се нови облик стамбеног и животног простора (слика 17.) [11].



Слика 17. Сематски пресек куће са стаклеником [11]

На сликама 18. и 19. су приказани примери стакленика.



Слика 18. Пример стакленика – Зимски врт [12]



Слика 19. Пример стакленика – Зимски врт [13]

Иза стакленика је масиван зид тамне боје који апсорбује сунчево зрачење. Ноћу или зими се отварају горњи и доњи отвори на зиду. Преко горњег улази топао ваздух у кућу, а на доњи излази хладан вадух и кућа се загрева. Стакло је углавном издрживо за дуготрајно сунчево зрачење.

Свака пукотина узрокује губитак топлотне енергије, разлог тога је што се током дана ваздух унутар стакленика прилично угреје захваљујући великом уделу стакла кроз које Сунце пролази. Увече се добијена енергија поново губи јер стакло има много слабија изолациона својства од, на пример, изолованог спољашњег зида. Уколико се изостави термичка изолација, топлота главног дела објекта одлази кроз зимску башту. Код потпуно застакљеног зида или фасаде, термичко одвајање је много теже. У том случају треба обратити пажњу на заштиту од Сунца и обилну вентилацију. Стакленик који је смештен на северној страни, мора бити термички изолован уз функцију климатског ублажавања утицаја спољашњег ваздуха и ваздуха из просторије.

Уобичајено је да се стакленик користи за повећање простора и врло често се налази на јужној страни. Током летњих дана, када је Сунце на највишој тачки, стакленик се може претворити у малу пећницу. Такозвани ефекат стаклене баште може се избећи сенчењем и добрим вентилационим системом (слика 20.). Предуслов за коришћење ефекта стаклене баште су грађевински елементи који имају својство повољне акумулације топлоте (масивни зидови, камени подови) у супротном постоји ризик од прегревања [11]. Акумулација топлоте од сунчевог зрачења ублажава високе температуре и спречава брзо хлађење просторије.



Слика 20. Приказ функционисања вентилације стакленика [11]

Постоје две врсте вентилације стакленика: природна и принудна. Код природне ваздух струји преко доњих вентилацијских отвора и отвора у фасади, греје се и излази кроз вентилационе канале на врху фасаде или у поткровље. Удобнија и скупља решења су електрично отварање прозора, аутоматизовани поклопци за вентилацију или клима. Застакљена јужна страна не може преживети без заштите која може бити у облику низа дрвећа у башти која чине лети хлад, а зими кроз ретке крошње пропуштају Сунце. Најбоља заштита од прегревања је са спољашње стране. Сунчеви зраци не продиру у кућу већ се задржавају напољу. Добру заштиту могу пружити ролетне и венетијанери (слике 21. и 22.) који су углавном израђени од алуминијума и друге заштите [11].



Слика 21. Елемент заштите стакленика од сунца – ролетне [11]



Слика 22. Елемент заштите стакленика од сунца – венецијанери [11]

Осим вентилације и заштите од сунца, стакленици би требало да имају и грејање. По правилу би најбоље било посавити подно грејање. Такво грејање је потребно на источној и западној страни, док на јужној није нужно поставити. Без обзира на којој страни света се налази стакленик, треба се пројектовати на начин да буде добитак како за кориснике, тако и за биљке.

Предности стакленика су: велика видљивост и контакт са околином; максимална светлост и упијање топлоте; чврсто и дуготрајно решење, елементе стакленика није потребно посебно одржавати; штити биљке од свих временских услова.

Недостаци стакленика су: слаб изолатор топлоте ако није од двоструког стакла; тежак за монтирање; ломљив; осетљив на појаву кондензата [11].

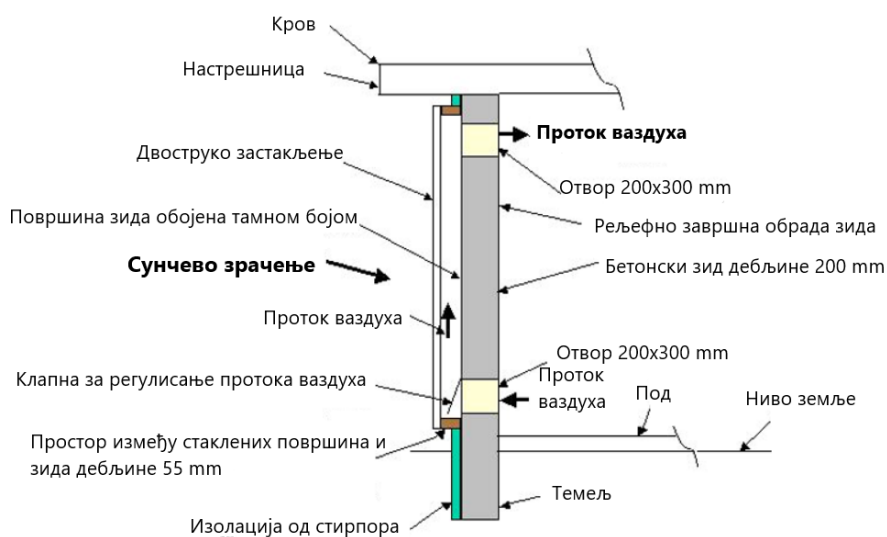
5. Тромбов зид

Усавршавање пасивног соларног система за збрињавање просторија заснованог на темељу директног апсорбовања Сунчеве енергије извео је 1956. године француски научник и конструктор Феликс Тромб (*Félix Trombe*). Он је у Пиринејима саградио соларну кућу (слика 23.) која је на јужној страни имала масиван зид обојен црном бојом и који је био застакљен, па је самим тим био и соларни колектор, акумулатор топлоте и уређај за грејање [14].



Слика. 23. Соларна кућа Феликса Тромба [15]

Математичком анализом је утврдио да тај зид мора бити масиван како би сачувао енергију која долази до њега, па је по њему и добио име Тромбов зид. Тромбов зид је од првобитне конструкције доживео низ побољшања и модификација (слика 24) [14].

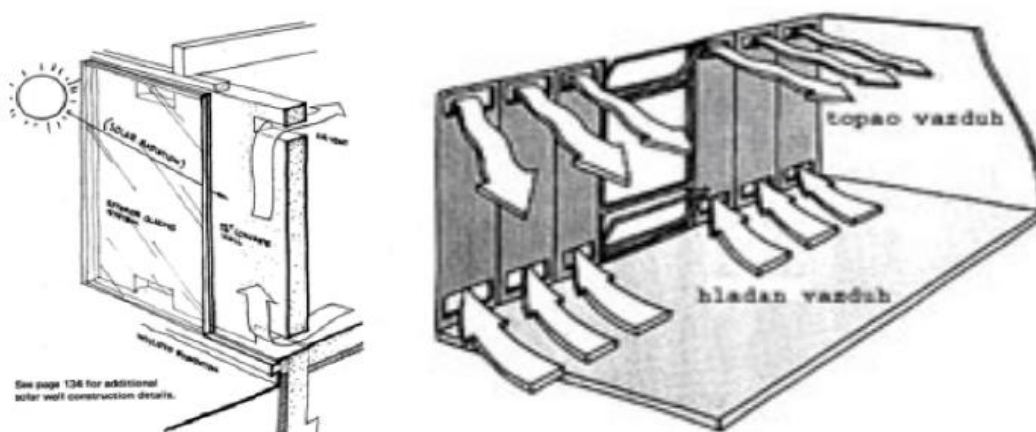


Слика 24. Модификован Тромбов зид [10]

Тромбов зид израђује се од опеке, бетона или камена и обично је дебљине од 20 до 40 cm, а све дебљине мање од 20 cm доводе до брзог загревања и прегревања просторија. Са друге стране, ако је зид дебљи од 40 cm неће током ноћи загревати унутрашњу страну просторије. На удаљености од 2 до 10 cm испред зида налази се стакло.

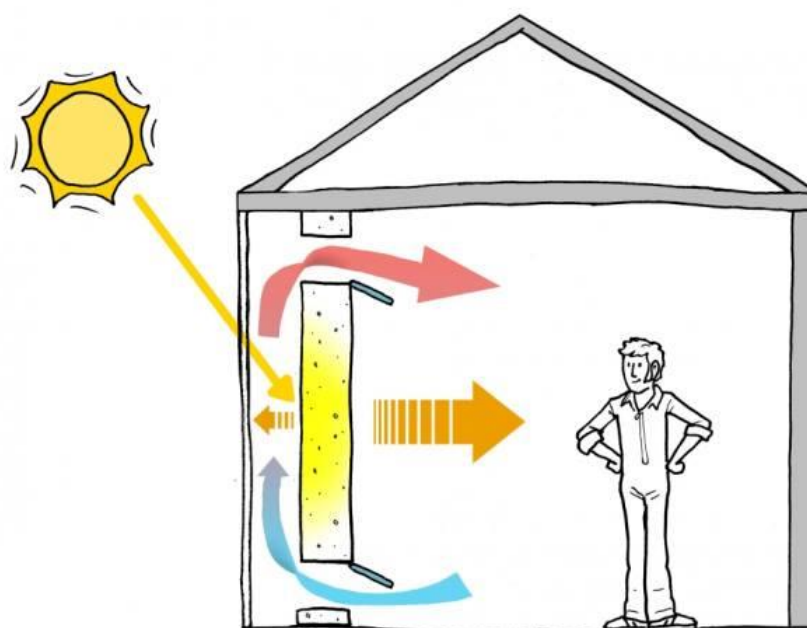
У практичној примени су две варијанте Тромбовог зида:

- Тромбов зид без отвора
- Тромбов зид са отворима при дну и врху зида (слика 25.)



Слика 25. Тромбов зид са отворима при дну и врху зида [10]

Сунчеви зраци пролазе косо кроз застакљену површину и падају на Тромбов зид који се загрева. Око 50% топлоте акумулира зид, а осталих 50% загрева просторију. Брзина преношења топлоте са спољашње на унутрашњу страну зида зависи од материјала од којег је направљен и од његове дебљине [14].



Слика 26. Пресек Тромбовог зида [14]

Усисни ваздух кроз доњи отвор зида доспева у простор између зида и стаклене површине. У међупростору ваздух се загрева Сунчевом енергијом, постаје лакши и почиње да струји на горе. Загрејани ваздух пролази кроз горњи отвор Тромбовог зида у простор између зида и стаклене површине. Тако се понавља описани кружни циклус (слика 26).

Топлота коју је Тромбов зид акумулирао преноси се кроз зид и током ноћи зрачењем загрева просторију (слика 27). Да би смањили топлотне губитке и повећали степен искоришћења Тромбовог зида, потребно је током ноћи спустити топлотне засторе.



Слика 27. Зрачење Тромбовог зида током ноћи [14]

У летњем периоду по дану се застори спуштају како би се спречило прегревање, а ноћу се подижу да би се омогућило хлађење зида зрачењем (слика 28) [14].



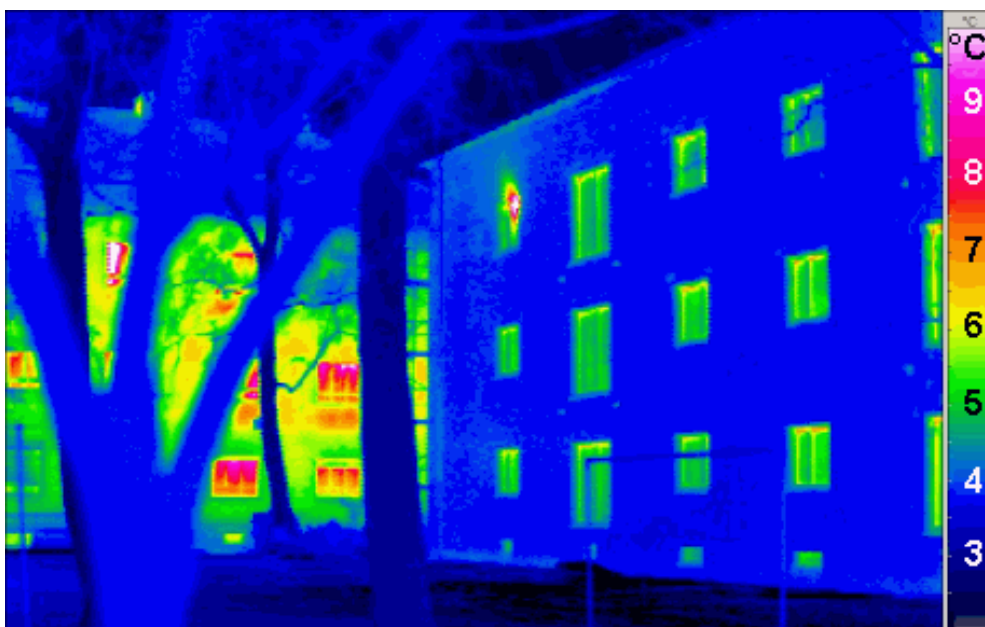
Слика 28. Хлађење Тромбовог зида [14]

У случају прегревања просторија топли ваздух се кроз горњи отвор у застакљеној површини избацује у атмосферу, а кроз горњи отвор на северном зиду објекта се пропушта свеж спољашњи ваздух. На овај начин је осигурано и кондиционирање просторија, па није потребна електрична клима која, осим буке што ствара, троши и скупу електричну енергију коју треба штедети (слика 29.) [14].



Слика 29. Кондиционирање пасивног соларног система [14]

На слици 30. се види да је знатно мањи губитак топлоте код пасивног соларног система (десно) у односу на традиционални систем градње (лево) [14].

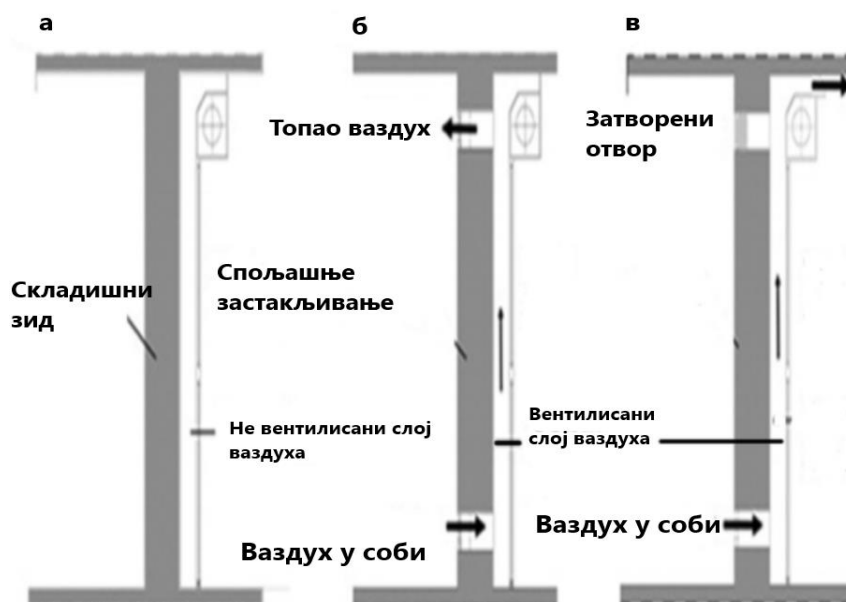


Слика 30. Термо снимак пасивног (десно) и традиционалног (лево) система градње [14]

Технологија која се темељи на конфигурацији Тромбовог зида обухвата употребу сунчаног зида (соларни зид) ради конвенционалног загревања ваздуха за потребе вентилације, што је потребно да се обезбеди топлотна удобност у зградама.

То се постиже апсорпцијом сунчевог зрачења током дана и ослобађања енергије апсорбиране у унутрашњост током ноћи [16].

Неколико усклађености у употреби приказано је на слици 31.



Слика 31. Различите конфигурације соларног зида: (а) без вентилације; (б) зимски режим са термо-циркулацијом ваздуха; (в) летњи режим са унакрсном вентилацијом [16].

Значајне врсте Тромбовог зида укључују:

- Класичан и модификован Тромбов зид,
- Цик – цак Тромбов зид,
- Водени Тромбов зид,
- Соларни прелазни зид,
- Соларни хибридни зид,
- Тромбов зид са фазно променљивим материјалом,
- Композитни Тромбов зид,
- Флуидни тромбов зид,
- Фотонапонски (ФН) Тромбов зид [16].

5.1. Класичан Тромбов зид

Класичан или стандардан Тромбов зид је једноставан Тромбов зид у стаклу и ваздушном простору који одвајају зид од спољашњег окружења.

Научници су тврдили да је идеја о Тромбовом зиду иста као код пролаза у вернакуларној архитектури персијског залива (слика 32.). Тај пролаз је ходник који одваја главни улаз просторија од главне дворане и има прозоре са бочних страна. Зид пролаза складишти

топлоту, а ходник подсећа на ваздушни отвор између стакла и зида где се складишти топлота од Тромбовог зида. Тромбов зид упија соларну енергију и ослобађа је да би пружио топлотни комфор, а за оптималне перформансе овај зид се обично поставља окренут према југу.

Дизајн класичног Тромбовог зида заснован је на употреби материјала са високим капацитетом складиштења топлоте као што су опека, бетон и камен. Спољашња површина зида је црне боје како би се повећала брзина апсорпције, а површина Тромбовог зида је застакљена, док је између стакла и зида остављен ваздушни простор.

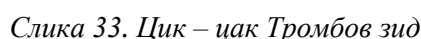


Слика 32. Пролаз у вернакуларној архитектури персијског залива [16]

Зид током дана апсорбује дифузно и директно сунчево зрачење и ноћу преноси топлоту у унутрашњост зида дебеле складишне масе. Размак између стакла и зида се обично креће од 3 cm до 6 cm. Пренос топлоте се врши зрачењем и конвекцијом како би се повећао топлотни комфор зграде. Конвекција производи проток ваздуха као резултат ефекта соларне пловности [16].

5.2. Цик-цак Тромбов зид

Друга врста Тромбовог зида је цик – цак Тромбов зид. Овај зид је дизајниран да смањи прекомерно добијање топлоте и сјај сунчаних дана. Зид се састоји од 3 дела. Један је окренут према југу, док су друга два ка унутрашњем делу, формирајући зид у облику латиничног слова V. Део који је окренут према истоку има прозор који обезбеђује топлоту и светлост у јутарњој хладноћи када је потребно тренутно загревање. Насупрот V облику је класични Тромбов зид који складишти топлоту за прераспodelу у хладним ноћним сатима. Цик –цак дизајн (слика 33.) такође садржи спољашњи прекривач да се избегне прегревање токов врелих летњих дана.



Слика 34. Кућа у Северној Каролини са цик – цак Тромбовим зидом [16]

5.3. Водени Тромбов зид

Друга врста Тромбовог зида је водени зид који је по истом принципу као класичан Тромбов зид. Разлика између ове две врсте је у зидању. Међутим уместо зидања се користи посуда са водом у облику зида за складиштење топлоте (слике 35., 36. и 37.). Будући да вода има бољи учинак у индиректном порасту топлоте ова врста зида привукла је многе дизајнере заинтересоване за пасивно грејање. Побољшање перформансе остварене употребом воде уместо ваздуха заснивају се на концепту да површинска температура воде задржава толоту више од ваздуха који се користи у зидању, а као резултат тога топлота се рефлектује на застакљеним површинама, што је потребно за еколошки дизајн зграде за топлотну удобност.



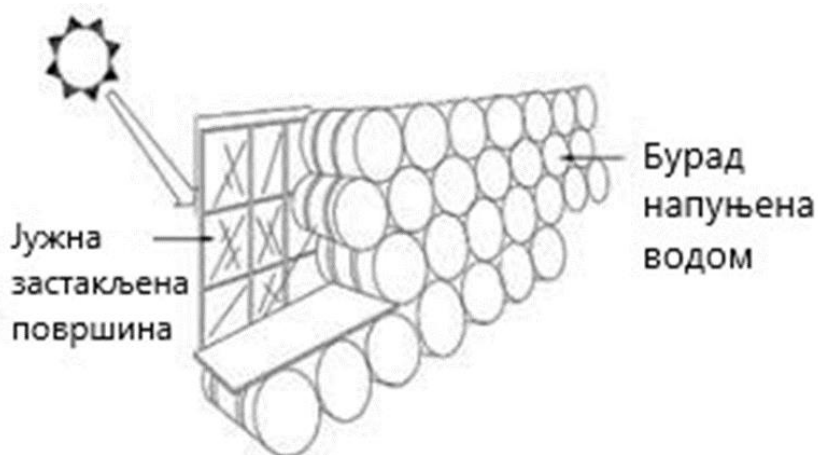
Слика 35. Пример воденог Тромбовог зида [17]



Слика 36. Пример воденог Тромбовог зида [17]

Код ове врсте, застакљивање је постављено на предној страни медијума за складиштење воде који олакшава проток топлоте зрачене соларном енергијом док вода дистрибуира апсорбовану топлоту конвекцијом из соларног воденог зида у просторије зграде. Да би апсорбовали више топлоте од сунчевог зрачења који настаје, површине спољних спојева соларног зида су тамни. Већина слојева соларних зидова одвојена је танким филмом бетонским зидом који у унутрашности делује као изолатор и заузврат повећава ефикасност зида.

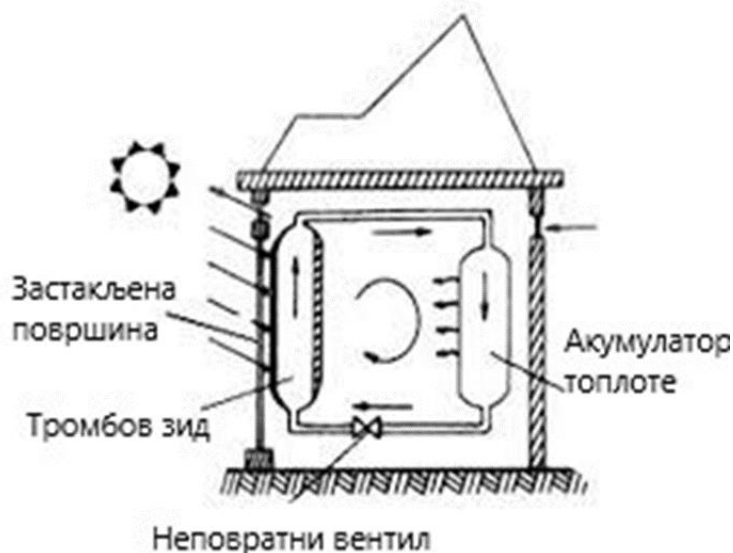
Као резултат високог специфичног топлотног капацитета воде који је већи од већине грађевинских материјала као што су бетон, цигла и камен, већа количина топлотне енергије се чува ускладиштена у води.



Слика 37. Скица водног зида [16]

Поред тога, пренос апсорбоване топлотне енергије у унутрашњи простор помоћу воде је бржи од ваздуха, што се користи у класичним системима соларних зидова. Међутим, у хладној клими, јавља се потреба за изолацијом слојева стакла како би се спречио губитак топлоте са топлог зида који је окренут сунцу ка спољашњости.

Соларни водени зид може функционисати као средство за хлађење и грејање за изградњу станова, што је део одрживог архитектонског микро – елемента у дизајну зграда. Међутим, са течностима попут воде је теже руковати од чврстих материјала попут оних који се користе у зидању. Као резултат, стена соларне воде није широко усвојена од стране заинтересованих страна у поређењу са класичним соларним зидовима.

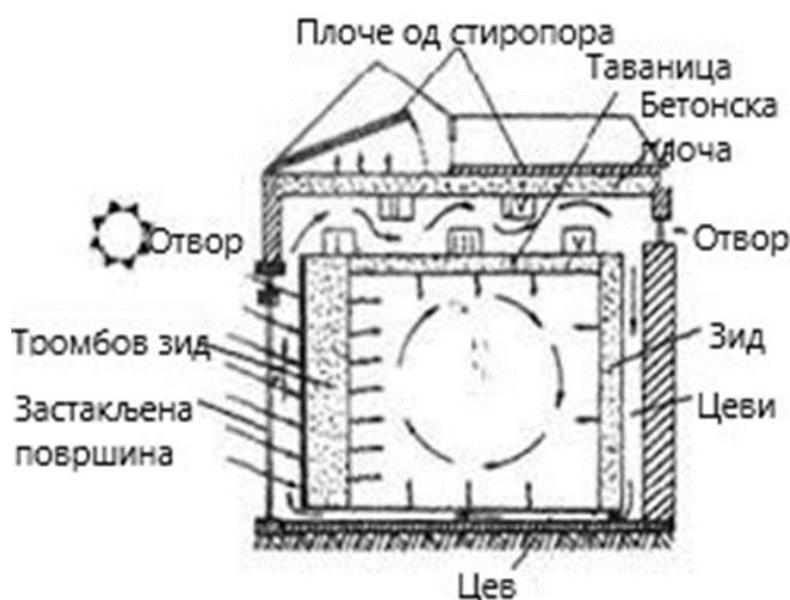


Слика 38. Тромбов зид – затворено коло струјања воде [16]

Истраживања показују да се ефикасност пасивне соларне енергије засноване на принципу Тромбовог зида може повећати, ако се оствари струјање воде или ветра (слике 38. и 39.) кроз цеви већих пречника или кроз канале тако да се добије затворено коло. Струјање воде или зрака кроз цеви или канале може бити природне или принудне циркулације [16].

Сунчеви зраци, након што прођу кроз застакљену површину, падају на зацрњену предњу страну Тромбовог зида којег чини метални цилиндрични резервоар напуњен водом. Задња страна резервоара је термички изолована према унутрашњости простора који се греје. Загрејана вода као лакша се диже и природним путем долази у већи акумулатор топлоте који загрева просторију. Природни кружни ток воде се наставља кроз цеви и враћа се у Тромбов зид па се цео процес понавља.

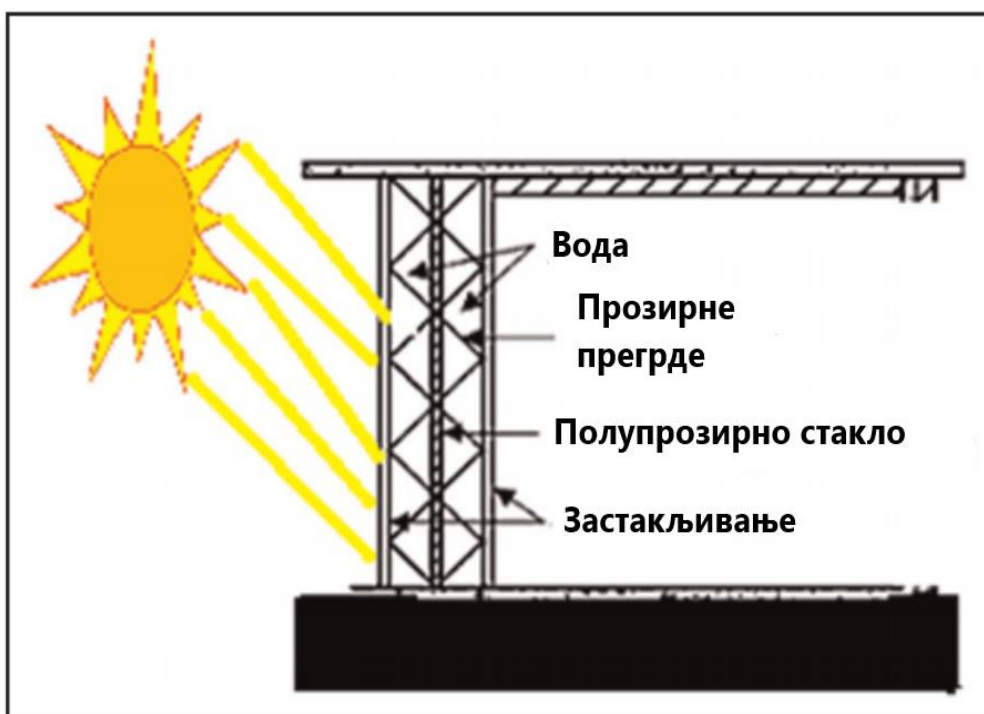
У случају да вода у Тромбовом зиду није довољно загрејана у време облачних и магловитих дана, струјање у супротном смеру спречава неповратни вентил. Једноставнија конструкција и бољи степен искоришћења се постиже струјањем ветра у затвореном колу у које је укључен Тромбов зид [16].



Слика 39. Тромбов зид – затворено коло струјања ветра [16]

5.4. Соларна надстрешница

Надстрешница је друга врста соларног зида. Попречни зид је модуларни водени зид и игра естетску улогу пружајући визуелни приступ унутрашњости зграде. Поред тога, обезбеђује топлотни добитак од сунчевог зрачења. Овај зид изграђен је на металном оквиру који садржи посуду за воду израђену од стаклених зидова и полупрозрачну упијајућу плочу која је постављена између зидова (слика 40) [16].



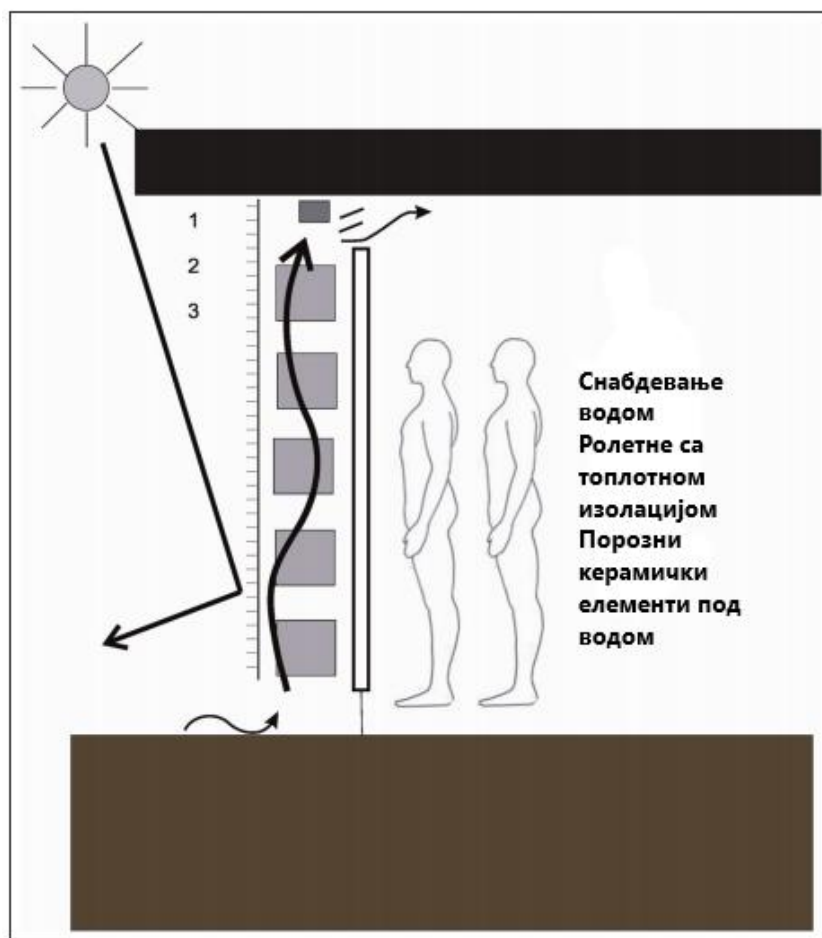
Слика 40. Детаљи соларне надстрешнице [16]

Полу – провидна плоча апсорбује $4/5$ сунчеве енергије и преноси остатак енергије унутра. Стога ова врста зида користи директно и индиректно појачање система и погодан је за локације на којима је дивна температура висока. Конвективни пренос топлоте у попречном зиду смањује ефикасност ове врсте зида. Међутим, постављање прозорних преграда превазилази тај недостатак. Да би се повећао вискозитет воде и спречио раст микроорганизама у води, средства за гелирање и биоинхибицију би требало да буду додата у воду [16].

5.5. Соларни хибридни зид

Соларни зид је познат по својим ефектима грејања током зиме и дизајниран је за хладну климу. Међутим, шпански научници представили су хибридни прототип соларног зида: керамички зид за хлађење испаравањем (слика 41.). Зид функционише као класичан соларни зид зими, а пружа хлађење лети.

Прототип соларног хибридног зида користи дизајн стандардног соларног зида. Међутим, током лета на зиду се користи спољна топлотна изолација да се избегну директни соларни добици. У унутрашњем зиду се користи посебна врста керамике позната као порозна керамика која апсорбује значајну количину воде. Порозни материјали су посебна врста материјала који имају средњу величину пора и расподелу величина пора. По топлом времену, керамика се влажи млазницом за воду постављеном на крову преко зазора између стакла и зида, на основу тога зазор ради као расхладна комора због феномена хлађења испаравањем [16].



Слика 41. Соларни керамички испаривајући зид за хлађење [16]

5.6. Тромбов зид са фазно променљивим материјалом

Овај соларни зид је нови тип који користи фазно променљиве материјале, као што су фазне аутектичке соли или хидрати соли за повећање ефикасности. Ови фазно променљиви материјали мењају више енергије у мањој запремини лакши су од нормалних грађевинских материјала. Према нумеричкој студији *Bourdeau*, бетонски зид од 15 cm може бити замењен 3.5 cm зидом од фазно променљивих материјала, али делује слично.

Група јапанских научника под називом *Onishi* преузела је рачунску динамику течности симулације топлотног понашања собе са соларним зидовима по фазним променама.

Група је анализирала три фазне промене материјала и утврдила да је употреба материјала за промену фаза у соларним зидовима драгоцен за смањење потрошње енергије у зградама.

Различити фазно променљиви материјали различито утичу на перформансе соларних зидова. На пример, у компјутеризованој динамичкој симулацији коју су извели *Khalifa* и *Abbas* у Багдаду, за соларни зид окренут према југу, различити фазно променљиви материјали показали су различите реакције. Прегледали су парафински восак и хидрирану сол инкапсулирану у бакарним капсулама у односу дужину и пречник од 0.76.

Истраживачи су схватили да је хидратизовани зид за складиштење соли дебљине 8 cm ефикаснији од бетона дебљине 20 cm.

Bourdeau је извео још једно експериментално истраживање соларних зидова са фазно променљивим материјалима. Соларни зид је изграђен од полиетелинског контејнера постављеног на дрвену полицу са двоструким остакљењем. Резултати су показали да латентно складиштење топлоте постаје засићено током рада, а соларни зид са латентним складиштењем топлоте ефикаснији је од бетонског зида.

У табели 1. су приказани ефекти боја на перформансе соларног зида.

Табела. 1. Ефекти боја на перформансе соларног зида [16]

Соларна боја зида	Годишњи добитак соларне топлоте (%)		
	Армирани бетон	Цигла	Аутоклављени газирани бетон
Тамна боја	26.9	20.5	13.0
Природна боја	20.2	16.4	7.9
Светла боја	9.7	7.1	4.3

У Француској је *Zalewski* спровео експерименталну студију на соларном зиду. У њиховој студији бетонски зид за складиштење замењен је новим зидом који је садржао хидрирану сол да би се испитала ефикасност зидова. Резултати студија показали су да хидрирана сол може ослободити соларну добит са временом од 2h и 40 минута. То временско кашњење сматра се негативном појавом зими ако је зид дизајниран за становање и изолован да би се искористила добит на крају дана. Међутим, такав се зид може сматрати повољним па се користи у грађевинама које су током дана заузеле, као што су тржни центри, клинике, универзитети и школе зими [16].

5.7. Композитни Тромбов зид

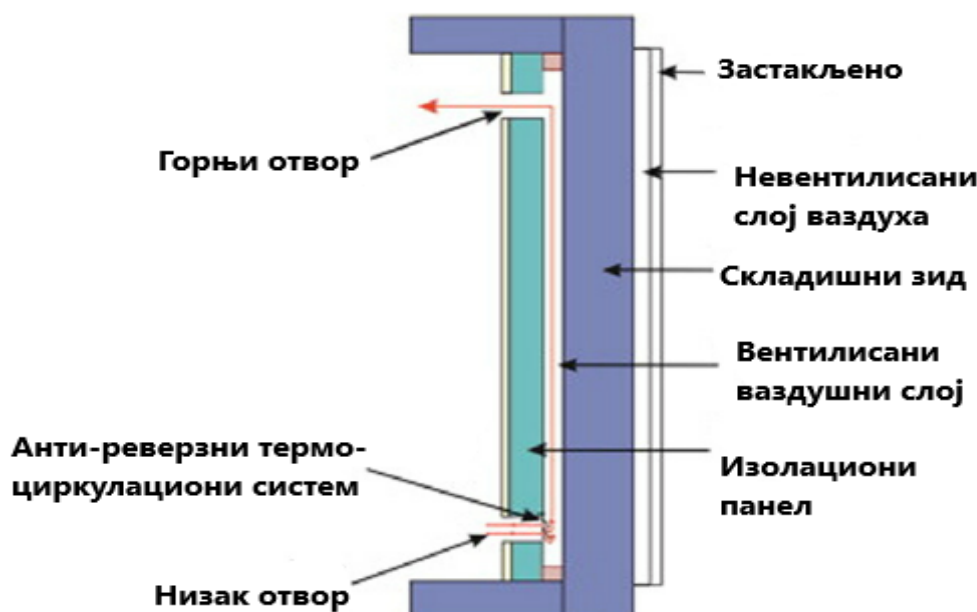
Композитни соларни зид, који је такође познат као *Trombe Michel wall* је друга врста соларног зида, који се састоји од неколико различитих слојева. Такви слојеви укључују полупрозрачни поклопац, масивни грејни зид, затворену шупљину, вентилисану ваздушну шупљину и изолациону плочу.

Композитни соларни зидови сматрају се леком за два недостатка соларних зидова:

- Губитак топлоте током облачних зимских дана и;
- Нежељени уноси топлоте за време топлих дана.

Соларни зид је састављен на следећи начин (слика 42.): први слој, који је транспарентан, отпушта већину добијених соларних зрака. Сходно томе, складишни зид апсорбује део соларне енергије и греје се. Масивни зид складишти и преноси део апсорбоване енергије у унутрашњост зграде. Та енергија се преноси у просторију конвекцијом кроз вентилисани канал. Поред тога, мали део енергије преноси се кондукцијом са зида у

просторију. Ови бесплатни соларни добици се морају разликовати од директних соларних добитака.



Слика 42. Композитни соларни зид [16]

Предности композитних соларних зидова су следеће:

- корисници могу да контролишу брзину загревања тако што контролишу проток ваздуха у вентилациони канал и;
- топлотни отпор композитног зида је изузетно висок јер су зидови и вентилациони канал изоловани.

Један недостатак композитног соларног зида је тај што зид захтева механизам за спречавање повратне термо – циркулације, до којег долази када складишни зид постане хладнији од амбијенталног ваздуха унутрашњег простора зграде. Овај проблем се може решити умањењем пластичног филма у отвору који делује као термичка диода. Група научника са седиштем у Француској, упоредила је класични соларни зид са композитним соларним зидом користећи TRNSYS¹ софтвер и га експерименталним тестирањем како би анализирала ефикасност зидова. Резултати су показали да композитни соларни зид делује боље зими, посебно у хладним или облачним данима [16].

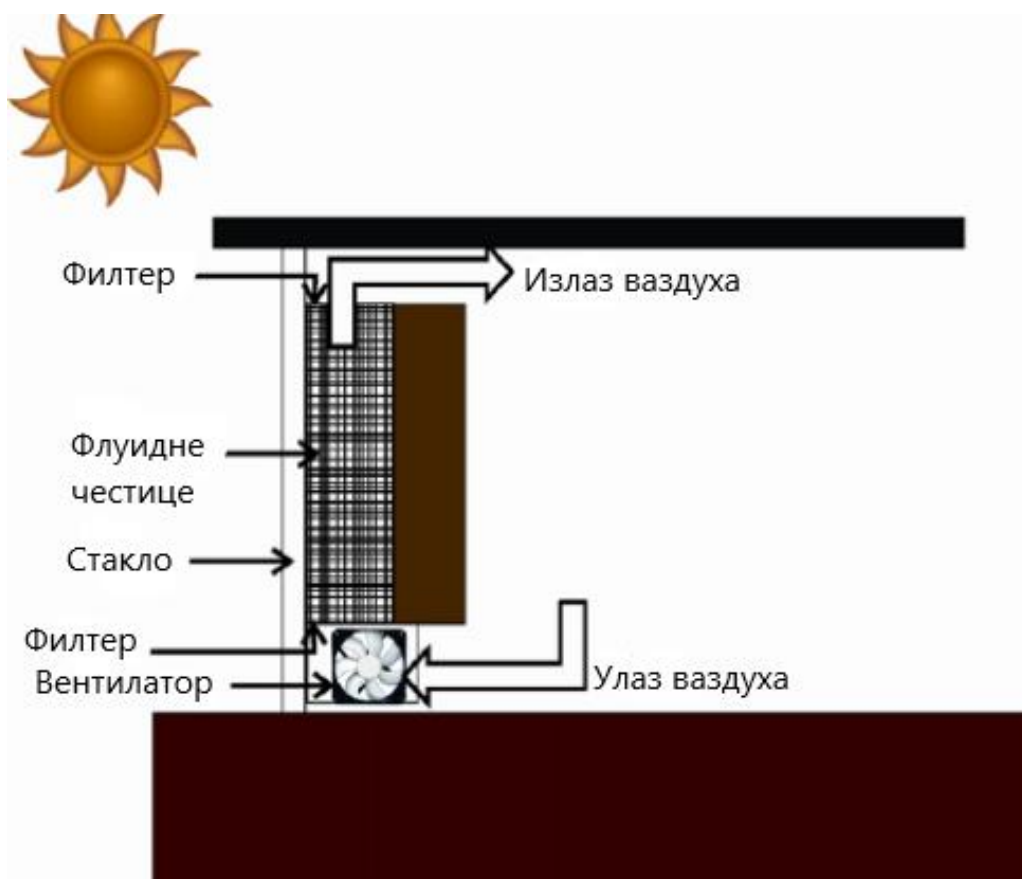
5.8. Флуидни Тромбов зид

Принцип рада флуидног Тромбовог зида заснован је на класичном соларном зиду, међутим, уместо ваздушног цепа између соларног зида и застакљења као што је случај код класичног, високо упијајућа течност ниске густине користи се код флуидног Тромбовог зида.

¹ TRNSYS софтвер је симулацијски програм који се првенствено користи у подручјима инжењерства обновљивих извора енергије и симулације изградње за пасивни и активни соларни дизајн

Вентилятор се користи за преношење сунчеве топлоте коју заузима упијајућа течност, а загрејани ваздух доводи до просторије за боравак. Операција укључује употребу филтера на врху и на дну одељка за ваздух како би се спречио улаз флуидизованих честица у просторију.

На слици 43. су приказани делови Флуидног Тромбовог зида.



Слика 43. Делови флуидизованог зида [16]

Група турских научника теоријски и експериментално упоређивала је класични соларни зид са флуидизованим соларним зидом и открила је да флуидизовани слојеви пружају ограничену карактеристичну процедуру за решавање једначина на основу ваздуха као радног флуида. Налази су показали да флуидни Тромбов зид делује боље од класичног соларног зида због механизма за пренос топлоте који укључује директан контакт течности са честицама [16].

5.9. Фотонапонски (ФН) Тромбов зид

Нови проналазак је фотонапонски (ФН) соларни зид, на којем је предња страна застакљивање је састављено од ФН панела који истовремено претварају сунчево зрачење у топлоту. ФН соларни зид (слика 44.) сматра се естетским приступом за пројектовање соларних зидова. Овај зид нема неугледност нормалног соларног зида у којем стакло прекрива зид од црне масе.

Тамноплаве соларне ћелије могу дати лепоту згради и повећати њену привлачност. Са ФН соларним зидом, хладан ваздух у собу се увлачи из доњег одушка, апсорбује ФН топлоту, постаје врућ и путује унутар собе пре изласка кроз горњи отвор. Апсорпција ФН топлоте повећава ефикасност ФН панела јер панели боље функционишу када су хладни. ФН соларни зид користи ФН панел који спречава продор соларних зрака у ваздушни простор између зидова и застакљења. Стога је ефикасност соларног зида смањена у смислу повећања топлоте. Међутим, ова врста соларног зида ствара електричну енергију. Стога се поставља питање колико ће се ефикасност класичних соларних зидова променити када се ФН панел застакли. Због тога је извршен експеримент и рачунарска симулација за мерење унутрашње температуре зграде. Зграда је била опремљена прозорима окренутим према југу и ФН - панелима ширине 0,83 m и 2,6 m висине постављеним на соларни зид. Развијајући динамички нумерички модел, симулирали су све компоненте зграде. Студија је открила да уградња ФН панела преко застакљења смањује топлотне перформансе соларног зида до 17%. Ово смањење је последица ометаног продора сунчевих зрака у масни зид.



Слика 44. Детаљи Фотонапонског (PV) Тромбовог зида [16]

Друга група научника проучавала је употребу фото-соларног зида, оптималну ширину зида и оптималну површину зимског вентилационог отвора. Поред тога, група је истраживала утицаје изолације и завесе на сенку на зимско грејање и летње хлађење. Резултати су открили да изолација повећава унутрашњу температуру за 2,36°C у хладном времену, а унутрашња температура за 2,47°C у врућем времену. Штавише, замрачивање смањује унутрашњу температуру за 2,00°C по топлом времену и може смањити стопу електричних перформанси за мање од 2% [16].

5.10. Степен искоришћења Тромбовог зида

Прагсом је показано да бетонски зид дебљине од 40 до 50 см при оптималном Сунчевом зрачењу може акумулирати топлотну енергију у току 24 – 48 сати.

Одговарајуће растојање између застакљене површине и Тромбовог зида износи 10 до 15 см. Минималне димензије Тромбовог зида 1x0,1 m. Величина колекторске површине Тромбовог зида зависи од запремине стамбене просторије, географске ширине места и квалитета топлотне изолације објекта.

За добро изоловану кућу на 45°C северне географске ширине, однос између потребне колекторске површине $A_k/V=0.1$. То значи да је за сваких 100 m³ запремине просторије потребно око 10 m² колекторске површине.

При односу $A_k/V=0.1$, Сунчевом енергијом се може покрити 50 до 75% потребне топлотне енергије. На основу односа $A_k/V=0.1$ потребно је изградити дужевременски акумулатор топлоте, где је за сваки метар кубни запремине просторије потребно око 10 l запремине акумулатора.

На конкретном примеру је приказан начин прорачуна колекторске површине Тромбовог зида и запремине акумулатора топлоте [12].

Просторија топлотне изоловане куће са Тромбовим зидом има запремину од 250 m³, а основну површину 100 m². Тромбов зид је од бетона дебљине 40 см, а на 1 m² вертикалног зида куће у зимском периоду долази око 100 kWh/dan Сунчеве енергије од које зид апсорбује око 50%, односно:

$$Q = 50 \text{ kWh/dan} = 50 \cdot 3.6 \text{ MJ} = 180 \cdot 10^3 \text{ KJ} \quad (1)$$

Колекторска површина се добија из услова:

$$A_k/v = 0.1$$

Из једначине (1) се добија:

$$A_k = V \cdot 0.1 = 250 \text{ m}^3 \cdot 0.1 = 25 \text{ m}^2$$

Маса Тромбовог зида је:

$$m = \rho V \quad (2)$$

А на темељу (2) је:

$$m = 2500 \text{ kgm}^{-3} \cdot 0.1 = 25 \text{ m}^2$$

Из познате једначине

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad (3)$$

Добије се промена температуре:

$$\Delta t = Q/m \cdot c$$

$$\Delta t = \frac{180 \cdot 10^3 \text{ kJ}}{25 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot 0.886 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}} = 8.13^\circ \text{C}$$

Ако је почетна температура Тромбовог зида била 22°C , онда након загревања Сунчевом енергијом износи $30.13^\circ \text{C} \approx 30^\circ \text{C}$, што је повољно за зимски период. За сваки m^3 запремине просторије потребан је акумулатор топлоте запремине 10 l [14].

У овом случају неопходна је запремина акумулатора топлоте:

$$250 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ l/m}^3 = 2500 \text{ l}$$

5.11. Коришћење Тромбовог зида у пасивном соларном грејању и хлађењу

За разлику од конвенционалних стратегија грејања и хлађења, пасивне соларне и природне методе климатизације постижу удобност познавањем локалне климе и народног дизајна, показујући како да се искористе природни елементи како би пружили погодности које су потребне без негативног утицаја на земљу [18].

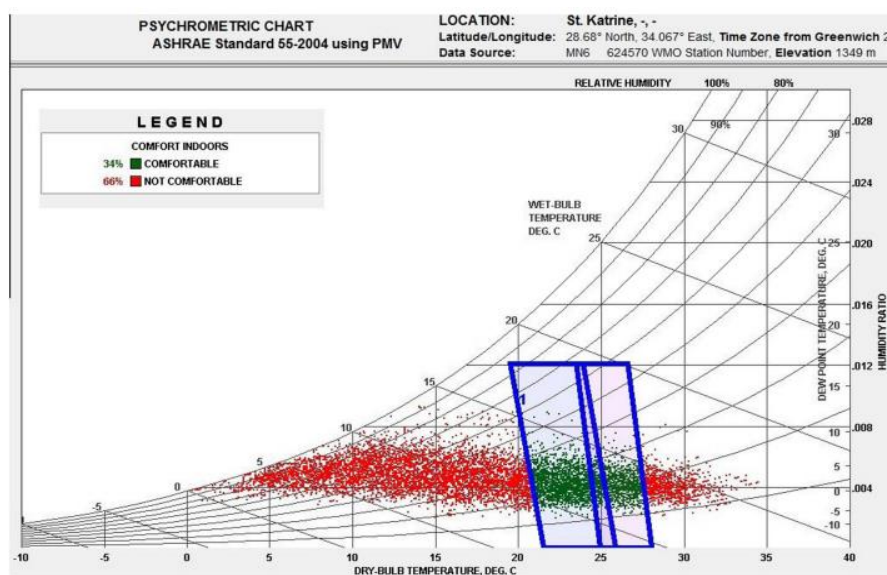
5.11.1. Студија случаја

Одабрана студија случаја је стамбена зграда смештена у Светој Катарини на Синају. Налази се на источној надморској висини од 1586 m. Што се тиче климатских карактеристика, Света Катарина се налази у полусушном климатском појасу са екстремним разликама у температури између дана и ноћи, и лети и зими. Карактеришу је врућа сува лета са максималном просечном температуром од $29,7^\circ \text{C}$ и минималним просеком од $22,4^\circ \text{C}$, као и благим до хладним зимама са максималном просечном температуром од $18,6^\circ \text{C}$ и минималном просеком од $5,2^\circ \text{C}$. Летње поподневне температуре могу достићи и до 34°C , док зими ноћне температуре могу пасти на око 0°C , што обично прати мраз.

Просечни интензитет сунчевог зрачења је $5,4 \text{ W/m}^2$, а просечна брзина ветра је $0,7 \text{ m/s}$. Претежни ветрови долазе са северозапада. Света Катарина се одликује релативно ниским годишњим падом кише у распону од 7075 mm до 10.018 mm. Типично снег пада од краја децембра до средине фебруара. Психометријска карта је коришћена за приказ распона удобности у Светој Катарини током целе године, што је приказано на слици 45. према ASHRAE² стандарду 55 за врућу климу.

Генерално, температура пада испод телесног нивоа топлотне удобности 66% годишње. Зими је 99% сезоне ван опсега комфора и захтева стратегије грејања. Лети 35% сезоне није у окружењу комфора и захтева стратегије хлађења [18].

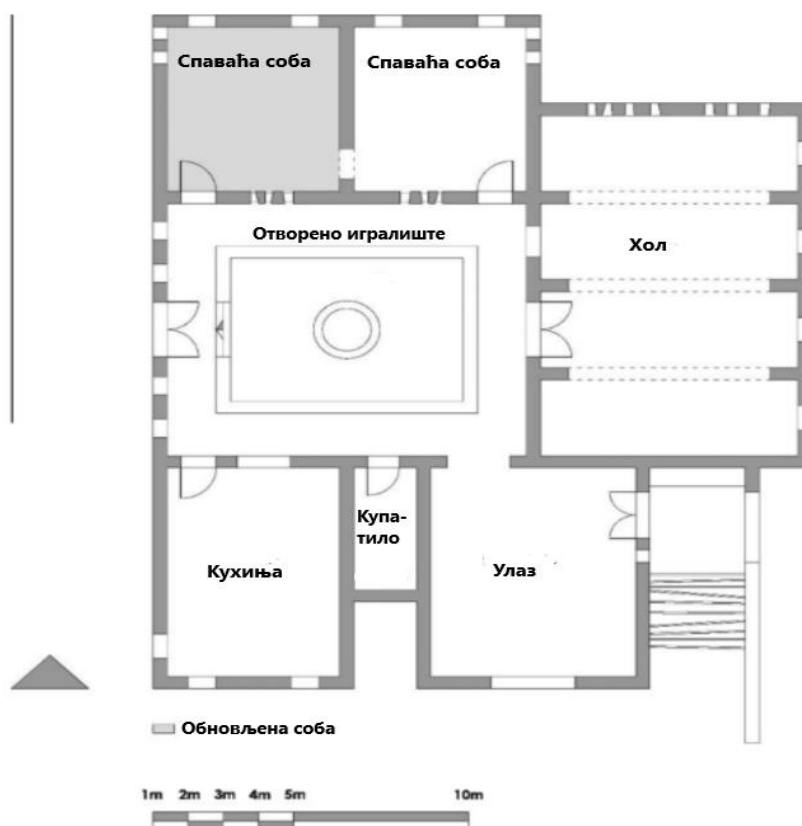
² ASHRAE стандард 55 утврђује услове за прихватљиво термичко окружење и намењен је за употребу у пројектовању, раду и пуштању у рад зграда и других заузетих простора.



Слика 45. Психрометријска карта годишње температуре свете Катарине која приказује распон удобности према ASHRAE стандарду 55[18]

5.11.2. Подаци о просторији

Студија случаја је дворишна зграда укупне површине 378 m², која се тренутно користи у стамбене сврхе (план је приказан на слици 46.).



Слика 46. План приземља за студију случаја који приказује локацију и оријентацију просторије за тестирање [18]

Избор ове стамбене зграде са набијеном земљом за студију био је заснован на доступним подацима и документацији за зграду у удаљеном и ван мреже насељеном делу полуаридне климе у Египту. У згради има укупно шест станара. Просторија изабрана за накнадну уградњу износи 4,9 x 5,4 m, висина 3,3 m, два прозора у јужни зид и три вентилациона отвора на северној фасади. Зидови су дебели 40 cm и изведени су од набијене земље са каменим темељима. Плафон је направљен од локалног дрвета, а подови од локалног камена.

Фасаде главне просторије окренуте су према северу и југу, а бочне фасаде према западу. Тромбов зид предложен је на јужној фасади како би се максимизовало хватање сунчевих зрака. Тромбов зид покрива површину од 10,2 m². Предложени дизајн Тромбовог зида приказан је на слици 47. [18].



Слика 47. Пресек предложеног Тромбовог зида [18]

5.11.3. Методологија

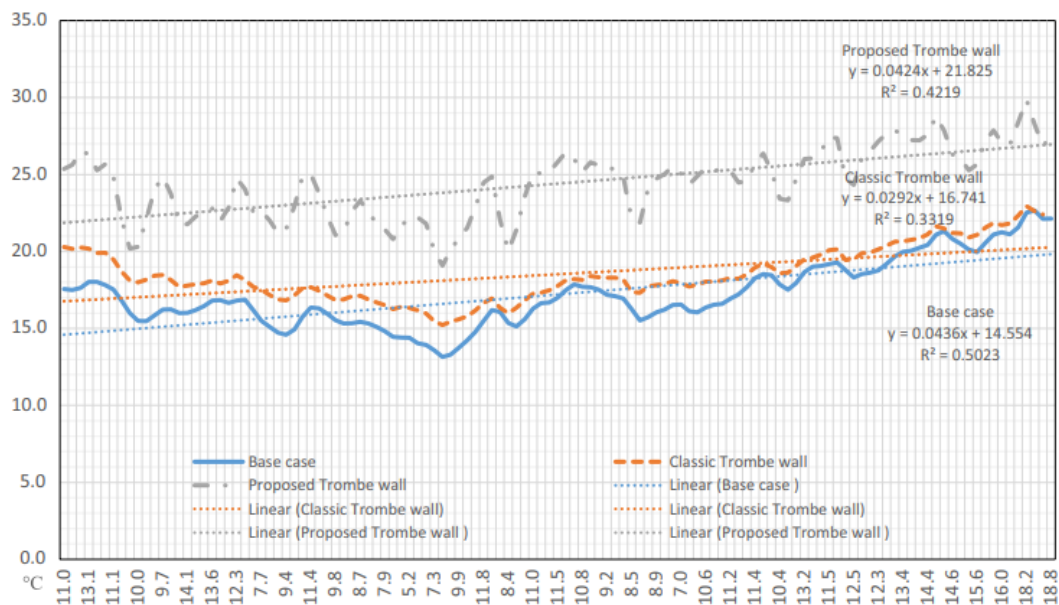
У овој студији је примењена експериментална симулациона метода за накнадну уградњу помоћу параметарског симулационог моделирања помоћу софтвера *DesignBuilder*³. Као што је претходно поменуто, југозападна соба је изабрана за накнадну уградњу. Топлотне перформансе просторије симулиране су прво као основни случај, затим када се користи класични Тромбов зид и када се користи предложени вентилисани Тромбов зид. Класични Тромбов зид је коришћен као референтна тачка за процену развоја дизајна. Зимске и летње перформансе у просторији за тестирање симулиране су користећи и класични Тромбов зид и предложени дизајн. Прво је изведена симулација користећи типични дизајн за класични Тромбов зид. Симулација је углавном открила собну температуру и проток топлоте када се користи класични и предложени Тромбов зид. Затим се унутрашња топлотна удобност креће и лети и зими за три случаја (основни случај, користећи класични Тромбов зид и користећи предложени Тромбов зид), анализирани су и упоређивани у односу на просечну спољашњу температуру. Смањење оптерећења за грејање и хлађење, потрошња енергије и емисија CO₂ израчунати су за пре и после употребе Тромбовог зида. На крају, припремљена је анализа трошкова за израчунавање времена поврата и процена ефикасности трошкова предложеног пасивног система Тромбовог зида [18].

5.11.4. Резултати симулације

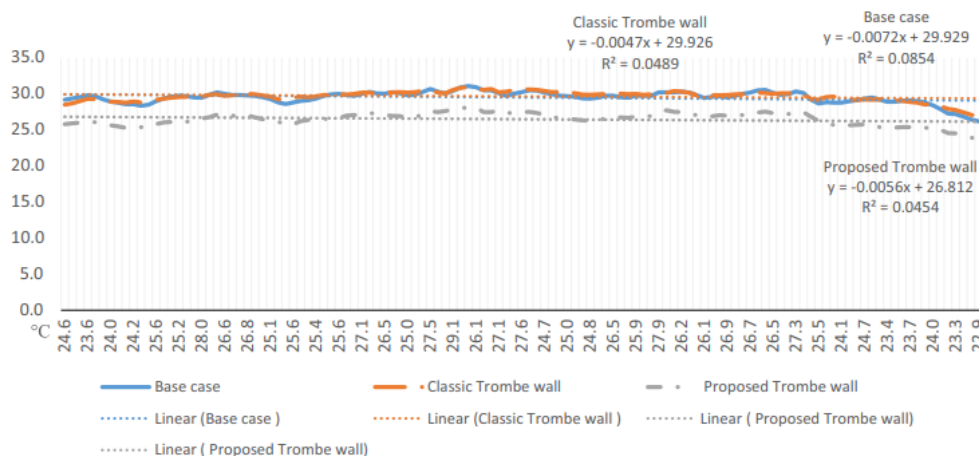
Резултати ове студије показују како обновљене зграде које користе нискотехнолошки еластични дизајн Тромбовог зида могу повећати његову ефикасност и смањити оптерећење хлађења и грејања. Предложени Тромбов зид осигурао је задовољавајући топлотни комфор уз минималну температурну разлику у односу на стандардну удобност, што показује да је 16% годишње изван опсега комфора за предложени Тромбов зид у поређењу са 66% за основни случај и 62% када се користи класични Тромбов зид. Током пролећа и јесени, соба која је накнадно опремљена предложеним Тромбовим зидом није показала потребу за грејањем или хлађењем. Јесенске хладне ноћи и пролећни врући дани још увек су били у границама комфора. Резултати симулације за три случаја у поређењу са спољном температуром за зимске и летње перформансе приказани су на сликама 48. и 49. Током зиме, симулација за предложени Тромбов зид показала је 152 h изван опсега комфора током јануара и фебруара са просечно најнижом температуром 19,1°C, у поређењу са 2566 h ван удобности у случају класичног Тромбовог зида са просечно најнижом температуром 16,5°C. Током врхунца зимских дана, 16. јануара, када је најнижа спољна температура била 4,7°C, најнижа забележена температура у затвореном простору за предложени Тромбеов зид износила је 17,6°C, у поређењу са 13,9°C за класични Тромбеов зид и 13,1°C за основни случај, где је минимална удобност зими према ASHRAE стандарду 55 - 20,3°C. За летње

³ DesignBuilder је софтверски алат заснован на EnergyPlus-у који се користи за мерење и контролу енергије, угљеника, осветљења и комфора. Развијен је да олакша поступак симулације зграде. Упоредјује алтернативне дизајне зграда користећи методу поређења резултата засновану на функцијама и резултатима различитих анализа на брз и економичан начин.

перформансе основни случај је био ван опсега комфора током целе летње сезоне са просечном температуром од 29,4°C и исти за класични Тромбов зид са просечном температуром од 29,6°C. Предложени Тромбов зид смањио је укупан број сати хлађења на 1072 h са просечном температуром од 26,3°C. Највиша унутрашња температура забележена за нови случај предложеног Тромбовог зида 24. јула била је 28,7°C у поређењу са 30,1°C за класични Тромбеов зид и 32,3°C за основни случај када је спољна температура била 35°C. Највиша удобна летња температура према ASHRAE стандарду 55 је 26,7°C.



Слика 48. Просечна дневна унутрашња и спољашња температура током зиме показује перформансе предложеног Тромбовог зида у поређењу са класичним Тромбовим зидом и основним случајем [18]



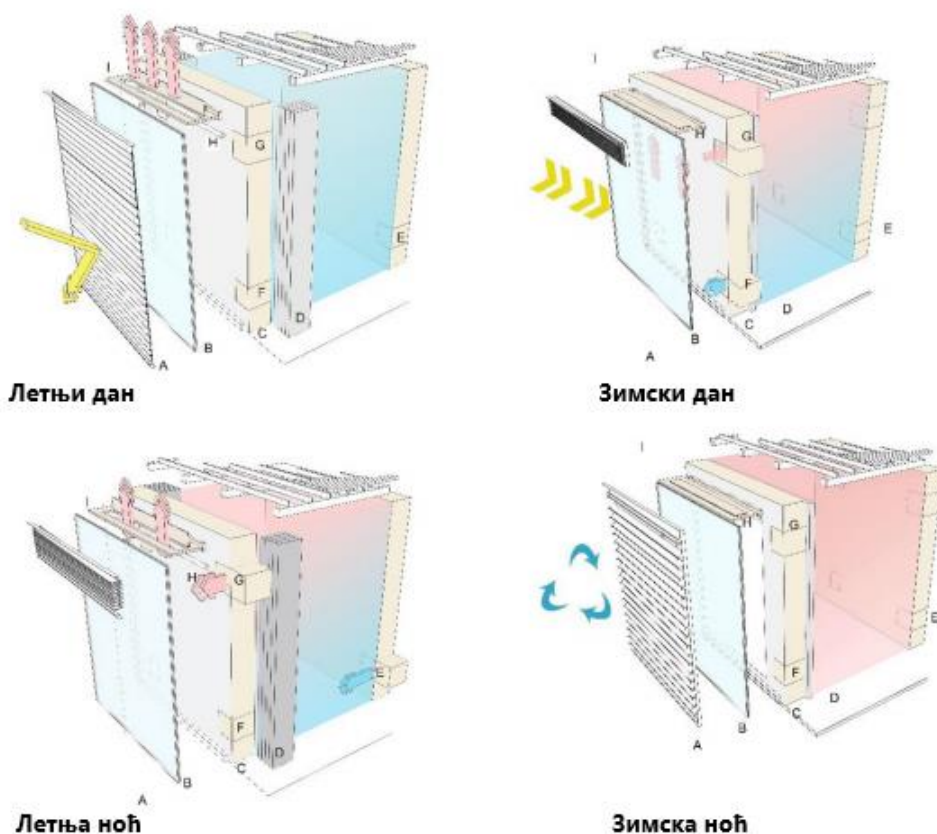
Слика 49. Летња просечна дневна унутрашња и спољашња температура која показује перформансе предложеног Тромбовог зида у поређењу са класичним Тромбовим зидом и основним случајем [18]

Просечно грејно оптерећење у зимској сезони када се користи класични Тромбов зид износи 20.160 kWh у поређењу са значајном разликом у смањењу грејног оптерећења за предложени Тромбов зид на 202 kWh, када је просечно грејно оптерећење за основни случај 33.256 kWh. Просечно оптерећење хлађења у летњој сезони смањено је када је предложени Тромбов зид износио 1814 kWh у поређењу са класичним Тромбовим зидом који износи 23.970 kWh када је постојеће расхладно оптерећење основног случаја 22.391 kWh са маргиналном малом разликом у односу на класичан Тромбов зид.

Летње оптерећење за хлађење целе куће без коришћења предложеног Тромбовог зида износи 34.553 kWh/m², а зимско грејање 32.402 kWh/m², док је летње оптерећење хлађења 30.438 kWh/m², а зимско грејање 25.791 kWh/m² када се користи предложени Тромбов зид. То одражава ефекат модификација дизајна на повећање ефикасности предложеног система, што ће последично побољшати перформансе целе зграде.

Јутарњи и ноћни режим зиме и лета за предложени Тромбов зид детаљно су илустровани на слици 50. [18].

А: Дрвени капци, В: Стаклена плоча, С: Зидани земљани зид, D: Изолациони панел од вуне, Е: Доњи отвор за северни хладни ваздух, F: Доњи отвори за Тромбов зид, G: Горњи отвори за Тромбов зид, H: Вунена завеса, I: Тромбов зидни горњи отвор.



Слика 50. Различити режими и подешавања Тромбовог зида током летњих и зимских дана и ноћи [18]

5.12. Примери Тромбовог зида

На слици 51. је приказан један пример Тромбовог зида који се налази у Амстердаму, то је школа, односно Центар за учење о природи и животној средини и енергетски је неутралан.



Слика 51. Центар за учење о природи и животној средини [19]

Оно што управљање енергијом у овој згради чини занимљивим, јесте што је одрживост видљива и лако уочљива и најобичнијем посматрачу. Значајан изазов је што дугачка фасада предложене конструкције није била окренута управо према југу, што је значило да соларни колектори зграде не би били оптимално постављени за сакупљање сунчевих зрака.



Слика 52. Центар за учење о природи и животној средини – поглед на врт

Али позиционирањем гребена крова тачно дуж осе исток-запад - одмакнутог од зидова грађевине – постигнуто је: прво је решено питање соларне колекције осигуравајући да су соларни колектори тачно јужни.

Дизајн крова Центра такође је пружио још једну прилику за учење студентима због његове непосредне близине тла: на најнижој тачки крова чак и мала деца могу лако да виде соларне панеле. Унутар зграде пројекција етаже је готово симетрична, са улазом у средини. Лево и десно су учионице једнаке величине, а на спрату идентичне просторије служе као канцеларијски простор и менза. У средини нема ничега што пружа поглед кроз стаклена улазна врата право на школске вртове на другој страни зграде (слика 52.).

Северна фасада се састоји од прозорских оквира ширине око метар, одозго према доле. Оперативни делови прозора обложени су белим лакираним дрвеним плочама, пружајући непрекинути узорак дугих вертикалних оквира прозора. На јужној страни, помешано са традиционалним прозорима, налази се осам тамних бетонских плоча - седећих иза стаклених прозора - постављених на фасаду – Тромбов зид. Иако никада нису стекли значајно упориште у дизајну одрживих зграда, Тромбови зидови пружају једноставно и интелигентно решење пасивног соларног грејања. Бетонска плоча - постављена иза спољног прозора - загрева се сунчевом светлошћу. У зазору између стакла и плоче, свеж ваздух се, пак, загрева плочом. Са унутрашње стране (слика 53.) грађевине налази се мала летва која може бити отворена или затворена. Хладног дана летвица се отвара, допуштајући свеж ваздух загрејан плочама да загреје унутрашњост зграде. Током топлог дана летвица се држи затворена, задржавајући топли ваздух напољу [19].



Слика 53. Центар за учење о природи и животној средини – унутришњи простор [19]

На слици 54. је приказан други пример куће са Тромбовим зидом.



Слика 54. Приказ куће са Тромбовим зидом [20]

На овој кући, Тромбов зид има два узастопна прозора. Већи спољашњи прозор омогућава сунчевој топлоти да сија на зид пепеоног блока (термална маса), док мањи прозор (који је део Тромбовог зида) пропушта природну светлост у просторију. На северној хемисфери Тромбови зидови су постављени тако да су окренути ка јужном правцу како би им омогућили да цео дан потенцијално апсорбују топлотну енергију зимског сунца. Будући да је Тромбов зид изграђен од материјала који имају топлотну масу, зими се сунчева топлотна енергија апсорбује у зид и топлота се преноси унутра у дневни боравак. Кућа је врло добро изолована, као и насукана на падину.

На слици 55. су приказани унутрашњи и спољашњи изглед куће.



Слика 55. Спољашњи и унутрашњи изглед куће са Тромбовим зидом [20]

Кућа је окренута према магнетском југу и открили су да у пролеће и јесен у остатку куће долази превише топлоте, а тамо где се налазе Тромбови зидови, кућа остаје хладна. Правилно дизајнирана пасивна соларна кућа лети ће бити хладна, а зими топла пасивно седећи тамо где је изграђена [20].

На сликама 56. 57. 58. и 59. су приказани још неки примери пасивног система грејања – Тромбовог зида.



Слика 56. Кућа са Тромбовим зидом у Санта Феу, Новом Мексику (Santa Fe, New Mexico) [21]



Слика 57. Кућа са Тромбовим зидом на Таосу (Taos, New Mexico) [22]



Слика 58. Кућа са Тромбовим зидом у Недерланду, Колорадо (Nederland, Colorado) [22]



Слика 59. Кућа са Тромбовим зидом у Торонту, Канада (Toronto, Canada) [23]

6. Закључак

Истраживања су показала да на основу довољног соларног потенцијала треба учинити све да се повећа енергетска ефикасност зграда, а једна од њих је пасивна употреба сунчеве енергије. Због равномерног загревања свих просторија у пасивној згради ствара се атмосфера неупоредива са непријатним топлотним зрачењем у класичним зградама загреваним фосилним горивима.

Стандард пасивне градње подразумева покушај смањења потрошње енергије и испуњавања глобалних захтева: очување природних ресурса и заштита животне средине. Искуство у примени показује да пасивна употреба соларне енергије доприноси до десет пута мањим укупним енергетским потребама зграда. Пасивна употреба соларне енергије у зградама не захтева куповину нове и сложене технологије, али систем делује тако да су елементи зграде (камен, бетон, стакло, дрво, метал) колектори топлоте који се преносе прелазом, проводом или зрачењем.

У дипломском раду су представљени пасивни системи грејања и Тромбов зид као део пасивног система грејања, врсте Тромбовог зида и његова примена. Кроз студију случаја су дати резултати примене Тромбовог зида на термичку угодност у згради. Доказано је да се Тромбов зид може инсталирати уз разумна финансијска средства током реконструкције постојећих и нових зграда. За умерено изоловану зграду, Тромбов зид може уштедети топлотну енергију. Тренутно је у свету врло мало енергетски ефикасних објеката. Са сваком новоизграђеном стамбеном зградом стекла би се потребна искуства која би била основа за будућу изградњу још бољих зграда.

У будућности се може очекивати да ће закони у грађевинарству дефинисати поштовање принципа енергетски ефикасне зграде. Практична примена пасивне градње ће повећати вредност новоизграђених објеката на тржишту.

7. Литература

- [1] Никола Минић, Вишња Вушковић, Мирослав Кнежевић; *Методе унапређења енергетске ефикасности у зградарству*, Универзитет Сингидунум, Београд; Шумарски факултет, Београд, 2015: <http://portal.sinteza.singidunum.ac.rs/Media/files/2015/218-223.pdf>, приступљено: 01.09.2020. године
- [2] Ана В. Вукадиновић, Јасмина М. Радосављевић, Милан З. Протић, Дејан П. Ристић; *Мере за побољшање енергетске ефикасности зграда*; Факултет заштите на раду, Ниш, 2015: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0040-2176/2015/0040-21761503409V.pdf>, приступљено: 01.09.2020. године
- [3] Ивана С. Ђукић; *Пасивно коришћење сунчеве енергије у архитектури*; Машински факултет, Ниш, 2015: <http://biblioteka.masfak.ni.ac.rs/fond/sites/default/files/dipdf/3052.pdf>, приступљено 18.07.2020. године
- [4] Т. Павловић, Д. Милосављевић, М. Ламбић, В. Стефановић, Д. Манчић, Д. Пиршл; *Solar energy in Serbia*, Природно – математички факултет, Ниш; Технички факултет, Нови Сад; Грађевински факултет, Ниш; Електотехнички факултет, Ниш; Факултет спорта и физичког васпитања, Ниш; 2011: http://savremenimaterijali.info/sajt/doc/file/casopisi/2_2/12_pavlovic.pdf, приступљено: 02.09.2020. године
- [5] Serkan Bilgiç, *Passive Solar Design Strategies for Buildings: A Case Study on Improvement of an Existing Residential Building's Thermal Performance By Passive Solar Design Tools*, İzmir Institute of Technology İzmir, Turkey, 2003: <https://openaccess.iyte.edu.tr/bitstream/handle/11147/3117/T000291.pdf?sequence=1>, приступљено: 25.07.2020. године
- [6] Дора Мужна, *Развој сувремене пасивне куће на принципима традиционалног обликовања стамбене изградње*, Међимурско велеучилиште, Чајковец, 2017: <https://repozitorij.mev.hr/islandora/object/mev%3A637/datastream/PDF/view>, приступљено: 06.09.2020. године
- [7] Prof.N.Ramachandran, Ar.K.Chandrasekar, Ar.C.V.Subramanian, *Solar Passive Architecture*, PSG College of Technology, Coimbatore, Tamil Nadu, India, 2003: https://www.researchgate.net/publication/323289561_Solar_Passive_Architecture, приступљено: 25.08.2020. године
- [8] Републички хидрометеоролошки завод Србије, *Годишњи билтен за Србију 2019.година*, Београд, 2020. <http://www.hidmet.gov.rs/podaci/meteorologija/ciril/2019.pdf>, приступљено: 02.09.2020. године
- [9] Scott Barber, *History of Passive Solar Energy*, East Carolina University; <https://uncw.edu/csarf/explorations/documents/scottbarber.pdf>, приступљено 27.07.2020. године
- [10] Велимир Шћекић, Саша Пушица, Сања Марковић, *Системи коришћења енергије сунчевог зрачења*, Факултет за Индустијски Менаџмент, Крушевац; Агенција Smaј Business, Бор, 2011.
- [11] Горана Зорић, *Акумулација Сунчеве енергије у обитељским пасивним кућама*, Свеучилиште Ј. Ј. Strossmayera у Осјеку, Грађевински факултет Осјек, 2010: <https://pdfs.semanticscholar.org/c6fa/620ddd179dff2d3b5aca1c1c87e06d6ecd0a.pdf>, приступљено: 03.09.2020. године

- [12] Интернет страница, DOMnaKVADRAT, <http://www.dom2.hr/vrt-clanci/ljepote-zimskih-vrtova/>, приступљено: 04.09.2020. године
- [13] Интернет страница, MS VISCOM d.o.o. <https://www.vsi.si/ms-viscom/zimski-vrt>, приступљено: 04.09.2020. године
- [14] Нурдин Чехајић, *Пасивно коришћење сунчеве енергије у зградарству – Тромбов зид*, Мјешовита средња школа Живинице, 2013: <https://www.scribd.com/document/386512221/tj-7-2013-4-363-370-pdf>, приступљено: 20.07.2020. године
- [15] Интернет страница, WIKIMEDIA COMMONS, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trombe_Wall_by_Felix_and_Michel.jpg, приступљено: 08.09.2020. године
- [16] Omidreza Saadatian, K. Sopian, C. H. Lim, Nilofar Asim, M. Y. Sulaiman, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Solar Energy Resaurch Institute (SERI). Level 3, Perpustakaan Tun Sru Lanang, Universiti Kebangsaan Malaysia, Selangor, Malaysia, 2012.
- [17] Интернет страница, <http://www.solar-components.com/TUBES.HTM>, приступљено 25.07.2020. године
- [18] Marwa Dabaieh, Ahmed Elbably, *Ventilated Trombe wall as a passive solar heating and cooling retrofitting approach; a low-tech design for off-grid settlements in semi-arid climates*, Department of Architecture and Built Environment, LTH, Lund University, Sweden Department of Architecture, German University in Cairo, Egypt 2015: <https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4241803/8170794.pdf>, приступљено: 05.09.2020. године
- [19] Интернет страница, archdaily, https://www.archdaily.com/778961/nature-and-environment-learning-centre-bureau-sla?ad_medium=gallery, приступљено: 05.09.2020. године
- [20] Интернет страница, Green Pasive Solar Magazine, <https://greenpassivesolar.com/2010/07/passive-solar-partial-trombe-wall-house/>, приступљено: 05.09.2020. године
- [21] Интернет страница, https://anamacarthur.com/archives/solar_building.html, приступљено: 05.09.2020. године
- [22] Интернет страница, SUN TEMPERED ARCHITECTURE, A Simple Design Methodology For Passive Solar Houses with a Brief History of Solar Energy Utilization in the Built Environment, <https://www.dennishollowayarchitect.com/SimpleDesignMethodology.html>, приступљено: 05.09.2020. године
- [23] Интернет страница, Treehugger, <https://www.treehugger.com/the-trombe-wall-low-tech-solar-design-makes-a-comeback-4856838>, приступљено: 05.09.2020. године