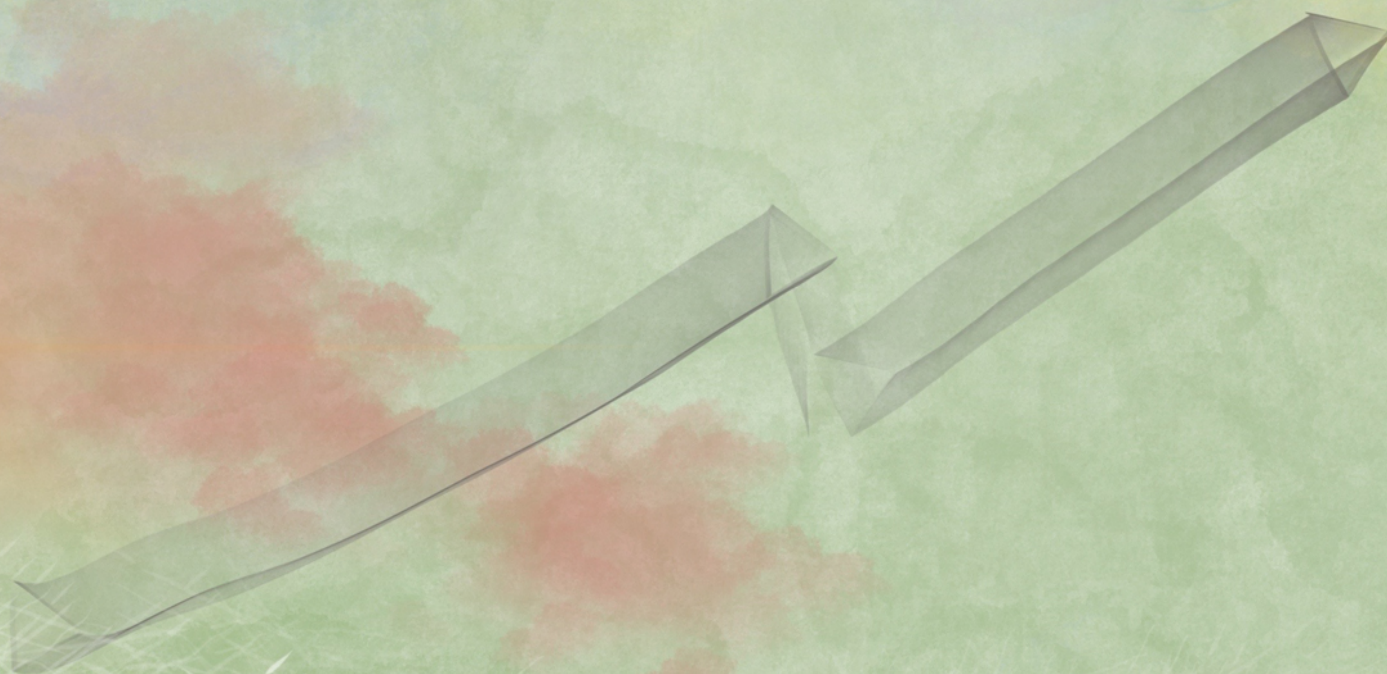




TRANSFORMACIJA ARHITEKTURE

energija _ čovjek _ prostor

Haris BRADIĆ

TRANSFORMACIJA ARHITEKTURE

Energija, čovjek i prostor

Haris **BRADIĆ**

Sarajevo, 2025

NASLOV

TRANSFORMACIJA ARHITEKTURE energija, čovjek i prostor
Sarajevo, 2025.

AUTOR

Doc.dr.sci. Haris BRADIĆ

IZDAVAČ

Univerzitet u Sarajevu - Arhitektonski fakultet

ZA IZDAVAČA

Prof.dr.sci. Erdin SALIHOVIĆ

RECENZENTI

Prof.dr.sci. Lemja CHABBOUH AKŠAMIJA

Prof.dr.sci. Zoran VERŠIĆ

LEKTOR

Mr.sci. Lejla BRADIĆ, prof.

GRAFIČKI DIZAJN I DIZAJN NASLOVNIH STRANICA

Doc.dr.sci. Haris BRADIĆ

FOTOGRAFIJE

Po popisu u prilogu knjige

ŠTAMPA / BROJ KOPIJA

Blicdruk doo Sarajevo / 50

KATEGORIJA

Znanstvena knjiga

SVA PRAVA

Univerzitet u Sarajevu Arhitektonski fakultet

ISBN 978-9926-490-28-7

CIP zapis dostupan u COBISS sistemu Nacionalne i univerzitetske biblioteke BiH pod
ID brojem 64878598



Univerzitet u Sarajevu - Arhitektonski fakultet / University of Sarajevo – Faculty for Architecture
Sarajevo 2025.

Osnovni podaci o knjizi:

Broj stranica: 331

Broj poglavlja: 9

Broj fotografija: 131

Broj tablica: 29

Broj dijagrama: 38

Broj karaktera bez razmaka: 663725

Bibliografija:

Knjige: 96, članci i zbornici: 51, doktorski radovi, leksikoni i publikacije: 4, pravilnici standardi: 16, izvješća: 26

Cjelokupno istraživanje zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu tijekom Doktorskog studija u periodu 2012.-2014. je napravljeno uz pismeno odobrenje Ministarstva za obrazovanje, nauku i mlade Kantona Sarajevo, broj odobrenja: 11-04-49-2602/12, izdano 17.04.2012. godine u Sarajevu, a koje je potpisao ministar prof. dr. Fahrudin Oručević.

ZAHVALNICE

Mentoru Prof.dr.sc. Zoranu Veršiću na ukazanoj pomoći, sugestijama i strpljenju prilikom cjelokupne izrade doktorskog rada.

Majci Amri i supruzi Lejli na neizmjerljivoj podršci.

Miroslavu Panteru, inženjeru strojarstva na ukazanoj pomoći prilikom izrade proračuna potrebne toplinske energije za promatrane zgrade.

Alenu Rešidoviću, tadašnjim suradniku na izradi 3d modela i rendera.

SADRŽAJ

PREDGOVOR

UVOD

1. ČOVJEK korisnik prostora ... _ 20

- 1.1. Čovjek kao korisnik prostora
- 1.2. Što je to čovjek?
- 1.3. Anatomska struktura čovjeka i njezin utjecaj na percepciju prostora
 - 1.3.1. Mišićno-skeletni sustav
 - 1.3.2. Respiratorni sustav
 - 1.3.3. Nervni sustav
 - 1.3.4. Koža kao granica i osjetilni organ
 - 1.3.5. Funkcija pokrovnog sustava kože
- 1.4. Osjetila u službi interakcije s prostorom
- 1.5. Psihološko razumijevanje relacije čovjeka i prostora
- 1.6. Utjecaj dizajna prostora na emocije, socijalne odnose i kognitivne procese
- 1.7. Osjećaj ugone: stvaranje harmoničnog okruženja

2. PROSTOR I OKRUŽENJE interakcije prirode, društva i tehnologije ... _ 40

- 2.1. Prirodno okruženje kao izvor života i inspiracije
- 2.2. Klima
- 2.3. Klimatske promjene: izazovi i prilagodbe
- 2.4. Resursi u doba klimatskih promjena: kriza ili prilika?
- 2.5. Prirodne katastrofe u posljednja tri desetljeća: što smo naučili?
- 2.6. Urbano okruženje
 - 2.6.1. Socijalno okruženje
 - 2.6.2. Kulturno okruženje i identitet kroz prostor
 - 2.6.3. Tehnološko okruženje i utjecaj inovacija na prostor
- 2.7. Suvremeni izazovi okruženja i pronalaženje ravnoteže
- 2.8. Učenje iz povijesti i prirode kao inspiracija za održiv razvoj

3. ENERGIJA – prošlost, sadašnjost i održiva budućnost ... _ 66

- 3.1. Energija kroz vrijeme: jučer, danas i sutra
- 3.2. Globalno stanje energetske resursa
- 3.3. Obnovljivi izvori energije kao ključ održive budućnosti
 - 3.3.1. Osnove o obnovljivim izvorima energije
 - 3.3.2. Pasivni sustavi korištenja sunčeve energije u arhitekturi
 - 3.3.3. Aktivni sustavi korištenja sunčeve energije u arhitekturi
 - 3.3.4. Energija vjetra
 - 3.3.5. Geotermalna energija
 - 3.3.6. Energija biomase
 - 3.3.7. Energija vode
 - 3.3.8. Energija okolnog zraka
 - 3.3.9. Složeni sustavi korištenja unutrašnje energije prostora
 - 3.3.10. Rekuperacija energije unutarnjeg zraka
 - 3.3.11. Kogeneracija
 - 3.3.12. Ekonomska opravdanost korištenja obnovljivih izvora energije

4. ARHITEKTURA u energetske nepredvidivosti ... _ 94

- 4.1. Interakcija čovjeka i prostora u kontekstu energetske održivosti
- 4.2. Oblici energetske učinkovite arhitekture
 - 4.2.1. Bioklimatska arhitektura
 - 4.2.2. Niskoenergetska arhitektura
 - 4.2.3. Pasivna arhitektura – *Passive House* standard
 - 4.2.4. *Zero Energy* arhitektura
 - 4.2.5. *Energy plus* arhitektura
 - 4.2.6. *Eco design* – Zelena arhitektura
 - 4.2.7. Transformirana arhitektura
 - 4.2.8. *Active House*

5. OVOJNICA OBJEKTA – koža prostora ... _ 116

- 5.1. Definicija i značaj ovojnice
- 5.2. Evolucija ovojnice: povijesni razvoj i inovacije
- 5.3. Razvoj konstrukcija i nova fasadna rješenja
- 5.4. Ovojnica zgrade kao ključ za komfor unutarnjeg prostora
- 5.5. Materijalizacija suvremene netransparentne plohe u ovojnici

- 5.6. Materijalizacija suvremene transparentne plohe u ovojnici
- 5.7. Primjeri učinkovitih vanjskih otvora na ovojnici

6. FIZIKA U ARHITEKTURI značajni termini, pojmovi i primjene ... _ 134

- 6.1. Arhitektonska fizika u kontekstu ugodnosti prostora
- 6.2. Fizika u zgradarstvu – osnovne termodinamičke veličine, pojmovi i procesi
- 6.3. Fizika kao jedan od temelja ugođe prostora

7. GRAD SARAJEVO osnovno obrazovanje ... _ 154

- 7.1. Praktična primjena teorije: arhitektonsko – energetske transformacije – primjer grad Sarajevo
- 7.2. Faze urbanističkog razvoja na prostoru današnjeg grada Sarajevo
- 7.3. Zgrade za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu
- 7.4. Zgrade za osnovno obrazovanje od kulturnog i povijesnog arhitektonskog značaja i njihova zaštita
- 7.5. Higijensko-tehnički uvjeti korištenja unutrašnjeg prostora
- 7.6. Specifičnosti higijensko-tehničkih uvjeta kod zgrada za osnovno obrazovanje
- 7.7. Arhitektonski komfor unutrašnjeg prostora danas i sutra

8. TRANSFORMACIJA POSTOJEĆE ARHITEKTURE – četiri studije slučaja ... _ 174

- 8.1. Četiri studije slučaja – transformacije u praksi
- 8.2. JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 - 8.2.1. Analiza postojeće ovojnice zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 - 8.2.2. Analiza ukupnih energetskih potreba zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 - 8.2.3. Analiza postojeće ovojnice pomoću termovizijske kamere
 - 8.2.4. Anketa učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutaršnjeg prostora
 - 8.2.5. Zaključno razmatranje o stvarnom stanju zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić
- 8.3. Modeli transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 - 8.3.1. Prvi model transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 - 8.3.2. Drugi model (MODEL 2) transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 - 8.3.3. Model ventiliranja unutaršnjeg prostora zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 - 8.3.4. Zaključno razmatranje o modelima transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić
- 8.4. JU OŠ Saburina
 - 8.4.1. Analiza postojeće ovojnice zgrade JU OŠ Saburina
 - 8.4.2. Analiza ukupnih energetskih potreba zgrade JU OŠ Saburina
 - 8.4.3. Analiza postojeće ovojnice putem termovizijske kamere
 - 8.4.4. Anketa učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutaršnjeg prostora

- 8.4.5. Zaključno razmatranje o stvarnom stanju zgrade JU OŠ Saburina
- 8.5. Modeli transformacije zgrade JU OŠ Saburina
 - 8.5.1. Prvi model transformacije zgrade JU OŠ Saburina
 - 8.5.2. Drugi model transformacije zgrade JU OŠ Saburina
 - 8.5.3. Model ventiliranja unutarnjeg prostora zgrade JU OŠ Saburina
- 8.6. JU OŠ Hasan Kikić
 - 8.6.1. Analiza postojeće ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić
 - 8.6.2. Analiza ukupnih energetske potrebe zgrade JU OŠ Hasan Kikić
 - 8.6.3. Analiza postojeće ovojnice putem termovizijske kamere
 - 8.6.4. Anketa učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutarnjeg prostora
 - 8.6.5. Zaključno razmatranje o stvarnom stanju zgrade JU OŠ Hasan Kikić
- 8.7. Model transformacije zgrade JU OŠ Hasan Kikić
- 8.8. JU OŠ Skender Kulenović
 - 8.8.1. Analiza postojeće ovojnice zgrade JU OŠ Skender Kulenović
 - 8.8.2. Analiza ukupnih energetske potrebe zgrade OŠ Skender Kulenović
 - 8.8.3. Analiza postojeće ovojnice putem termovizijske kamere
 - 8.8.4. Anketa učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutarnjeg prostora
 - 8.8.5. Zaključno razmatranje o stvarnom stanju zgrade JU OŠ Skender Kulenović
- 8.9. Modeli transformacije zgrade JU OŠ Skender Kulenović
 - 8.9.1. Prvi model transformacije zgrade JU OŠ Skender Kulenović
 - 8.9.2. Drugi model transformacije zgrade JU OŠ Skender Kulenović
 - 8.9.3. Model ventiliranja zgrade JU OŠ Skender Kulenović
- 8.10. Sveobuhvatan pristup transformaciji: ključ za unaprjeđenje energetske i funkcionalne učinkovitosti

9. ZAKLJUČAK ... _ 278

- 9.1. Metodologija istraživanja
- 9.2. Znanstveni doprinos

Popis fotografija, tablica i dijagrama

Bibliografija

Indeks

Recenzije

O autoru

Sažetak / Summary

PREDGOVOR

Čovjek, energija i komforan arhitektonski prostor čine neraskidiv spoj koji neprestano potiče potragu za novim idejama, rješenjima, oblicima i estetskim vrijednostima u zgradarstvu. Ovaj odnos ima zadatak stvoriti ugodan unutarnji prostor, osigurati komfor korisnicima te istovremeno zadovoljiti propisane higijensko-tehničke uvjete. Korištenje obnovljivih izvora energije, te postizanje energetske i ekonomske ušteda danas su ključni aspekti suvremene arhitekture. Navedeni faktori neki su od glavnih razloga za istraživanje odnosa između arhitekture, čovjeka i energije s ciljem utvrđivanja energetske potreba postojećih zgrada i potencijala njihove transformacije.

Sve izraženije energetske promjene i nestabilnosti, problem globalnog zatopljenja, ekonomska situacija, te rastući zahtjevi za komfornim unutarnjim prostorom ukazuju na potrebu za dubljim istraživanjem ove problematike. Polazeći od dosadašnjih znanstvenih i stručnih spoznaja, posebna je pažnja posvećena transformaciji arhitekture postojećih zgrada. Ova knjiga, između ostalog, nastoji pokazati da se svaka zgrada, čak i ona „vizualno nedodirljiva“, može transformirati na energetski učinkovit i suvremen način te postati odgovornija prema svom prirodnom i društvenom okruženju. Stoga, budući koncepti gradnje neće imati alternativu kada su u pitanju ušteda energije i smanjenje emisija CO₂, jer odnos energije i arhitekture nikada nije bio izraženiji nego danas. Dosadašnje arhitektonske prakse ponudile su nekoliko konkretnih odgovora na ovu problematiku, među kojima su pasivna arhitektura, *green design*, *zero energy* arhitektura, *zero emission* gradnja, *energy plus* gradnja i *active house*.

Istraživanje provedeno tijekom doktorskog studija autora, prezentirano u njegovom doktorskom radu pod naslovom „Transformacija arhitekture kao posljedica zahtjeva energetske učinkovitosti na primjeru postojećih zgrada za osnovno obrazovanje“, predstavlja temelj na kojem je razvijena ova knjiga. Knjiga prikazuje rezultate analiza postojećih ovojnica, odnosno granica između grijanog i negrijanog prostora, s ciljem utvrđivanja mogućnosti njihove energetske i estetske transformacije. Ovojnica pritom nije promatrana samo kao pasivni element zaštite, već i kao aktivan regulator kretanja topline i mehanizam generiranja energije, s ciljem postizanja optimalnih uvjeta boravka u zgradi. Uz konkretne analize i rezultate o stanju zgrada za osnovno obrazovanje, knjiga obrađuje i širi koncept energetske transformacije postojećih objekata. Pritom se definira cjelokupan proces i metodologija razvoja energetski

suvremene arhitekture, što uključuje transformaciju unutarnjeg prostora, transformaciju ovojnice, transformaciju odnosa između zgrade i njezine okoline te transformaciju vizualnog identiteta.

Ovi segmenti postavljaju temelje za nove pristupe rješavanju problema postojećih zgrada, posebice u kontekstu energetske neučinkovitosti, visokih emisija CO₂ i neadekvatnog unutarnjeg komfora. Navedeni pristupi demonstriraju se na primjerima zgrada za osnovno obrazovanje, pri čemu se uvodi novi teorijsko-stručni koncept pod nazivom „transformacija postojećih zgrada u energetske učinkovite i suvremene arhitektonske prostore koji zadovoljavaju higijensko-tehničke uvjete boravka“. Uzorak istraživanja čine zgrade za osnovno obrazovanje u Sarajevu, kategorizirane prema četiri povijesno-graditeljske faze: austrougarskom razdoblju, razdoblju između dva svjetska rata, razdoblju od završetka Drugog svjetskog rata do 1970. godine te razdoblju od 1970. godine do danas. Za odabrane primjere izrađeni su prijedlozi modela transformacije koji kroz konkretne rezultate prikazuju značaj energetske obnove postojeće arhitekture u kontekstu ušteda energije i smanjenja emisija CO₂.

Zgrade obuhvaćene istraživanjem smještene su unutar četiri gradske općine, čime se istraživanje dodatno konkretizira i postavlja u okvir primjenjivih rješenja. Ovi modeli mogu poslužiti kao osnova za daljnja znanstvena istraživanja usmjerena na arhitektonsko-energetsku transformaciju postojećih zgrada. Tema je izuzetno aktualna, a rezultati istraživanja važni su ne samo za postojeće znanstvene i stručne rasprave, već i za budući razvoj područja arhitektonske fizike, arhitektonskog oblikovanja i integracije obnovljivih izvora energije u odnosu zgrade i njezina okruženja.

Dobiveni rezultati trebaju poslužiti kao poticaj za nova istraživanja odnosa arhitekture, energije, čovjeka i okruženja. Zgrade za osnovno obrazovanje imaju velik društveni značaj te su vrlo specifične u smislu potrošnje energije i složenosti zahtjeva unutarnjeg prostora (higijensko-tehnički zahtjevi), što je istraživanje učinilo kompleksnim i sveobuhvatnim. Prema nastavnim planovima, djeca u dobi od 6 do 15 godina u školama u prosjeku dnevno borave između šest i deset sati. Stoga, kreiranje adekvatnog arhitektonskog prostora koji će zadovoljiti navedene zahtjeve jedan je od ključnih doprinosa razvoju pojedinca i formiranju kvalitetne i cjelovite ličnosti.

Brojni pokazatelji upućuju na to da trenutačna ekonomska situacija rijetko omogućuje izgradnju novih zgrada ovoga tipa te da je rekonstrukcija postojećih često isplativija opcija. Dodatno, ona je nerijetko otežana ili onemogućena zbog prostornog ograničenja i potrebe za očuvanjem zelenih površina u urbanim sredinama.

Krajnji cilj ove knjige jest potaknuti sveobuhvatan znanstveni proces koji istovremeno postavlja nova istraživačka pitanja i nudi odgovore na aktualne izazove, s posebnim naglaskom na kreiranje ugodnijeg i kvalitetnijeg unutarnjeg prostora. U tom kontekstu, transformacija postojećih zgrada ne sagledava se samo kao tehnički zahvat, već kao proces stvaranja suvremenog, funkcionalnog i društveno korisnog prostora.

UVOD

Tijekom dodiplomskog obrazovanja na Arhitektonskom fakultetu, a osobito kroz jednogodišnju studentsku razmjenu na UPC sveučilištu u Barceloni (*Escola Tècnica Superior*), probudio se interes za energetske učinkovitost i održivost u arhitekturi. Susret s realiziranim primjerima korištenja solarnih sustava u arhitekturi, poput *Pérgola fotovoltaica del Fórum*, naveo je autora na dublje istraživanje odnosa arhitekture, energije i budućnosti. Po povratku iz Barcelone, u okviru predmeta Arhitektonska fizika, izradio je seminarski rad pod naslovom „Sunce, orijentacija i prirodno provjetravanje kao važni faktori u arhitekturi“, čime započinje intenzivnije istraživanje bioklimatskih pristupa u projektiranju.

Od 2007. godine, pod mentorstvom akademika prof. dr. Ahmeta Hadrovića, sudjelovao je na međunarodnim znanstvenim i stručnim konferencijama u Španjolskoj, Francuskoj, Austriji, Sloveniji, Hrvatskoj, Albaniji, Srbiji, Turskoj i Bosni i Hercegovini. Posebno su značajne konferencije o pasivnim kućama u Innsbrucku, kao i konferencije o održivom upravljanju energijom na UNESCO-ovim lokalitetima te istraživanja o vodi i energetske održivosti. Paralelno s akademskim angažmanom, sudjelovanje u programu edukacije prvih energetskih auditora u BiH (2007.–2009.), koji se održavao u Norveškoj i BiH, dodatno je učvrstilo autorov istraživački fokus na energetske transformacije postojećih zgrada.

Godine 2007. upisao je doktorski studij na Arhitektonskom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu, gdje je 2014. godine obranio doktorski rad pod naslovom „Transformacija arhitekture kao posljedica zahtjeva energetske učinkovitosti na primjeru postojećih zgrada za osnovno obrazovanje“, pod mentorstvom prof. dr. Zorana Veršića, uz vodstvo prof. dr. Hildegard Auf-Franić i prof. dr. Dražena Juračića.

Paralelno s akademskim radom, autor je svoje praktično djelovanje započeo 2005. godine rekonstrukcijom kuće Mehmedbašić u Stocu, gdje su primijenjeni principi bioklimatskog tretmana arhitekture, oslanjajući se na tradiciju gradnje stambenih vila u Hercegovini. Godine 2010. realizirana je prva niskoenergetska vila u Bosni i Hercegovini – vila Kromolj – s ciljem izgradnje prvog pasivnog objekta. Iako pasivni standard nije u potpunosti postignut, projekt je rezultirao visoko izoliranim objektom s primjenom

toplinske pumpe zrak-voda. Neposredno nakon toga realizirana je i stambena zgrada u Sarajevu, zgrada Čobanija, koja predstavlja prvu niskoenergetsku zgradu kolektivnog stanovanja u BiH s implementacijom toplinskih pumpi i sustava rekuperacije unutarnjeg zraka.

Ubrzo nakon toga autor je radio na izradi znanstveno-stručne studije primjene geotermalne energije na stambenoj vili u staroj gradskoj zoni Vrbanjuša u Sarajevu. Projekt je uključivao primjenu sustava sa šest dubokih sondi, kombiniranog sa solarnim kolektorima i integracijom pametnog sustava u arhitekturi. U svim projektima naglasak je bio na arhitektonskoj fizici, od prvih idejnih skica do tehničkih detalja realizacije.

Na međunarodnoj konferenciji *Sustainable Architecture* u Beogradu 2014. godine autor je predstavio radove „*The Autonomous House Sarajevo*“, idejni projekt energetske autonomne kuće na Nišičkoj visoravni, te „Analiza rezultata projekta Vila Kromolj“. Na poziv prof. dr. Dražena Juračića iz Zagreba, sudjelovao je kao konzultant za arhitektonsku fiziku i pročelja na nizu arhitektonskih natječaja, pri čemu se posebno ističe prva nagrada za projekt Farmaceutsko-biokemijskog fakulteta u Zagrebu 2014. godine.

Od 2017. do 2022. godine, kroz suradnju s tvrtkom Neufeld Wohnbau GmbH & Co. KG, autor se intenzivno bavio projektiranjem niskoenergetskih stambenih kompleksa u Heilbronn, SR Njemačka i okolici. Svi projekti izvedeni su prema najvišim njemačkim energetske standardima KfW 40 i KfW 40+, čime se dodatno produbljuje istraživanje integracije energetske učinkovitih sustava u arhitektonsko projektiranje.

Iskustvo stečeno kroz akademski, istraživački i praktični rad usmjerilo je autora prema istraživanju odnosa arhitekture, energije i komfora, s posebnim naglaskom na postizanje optimalnih uvjeta boravka u zgradama osnovnog obrazovanja. Interes za ova pitanja razvio se paralelno s globalnim izazovima, poput klimatskih promjena, energetske nestabilnosti i nužnosti tranzicije s fosilnih na obnovljive izvore energije.

U kontekstu najavljenih turbulentnih desetljeća, ključno pitanje ostaje: kako se nositi s postojećom arhitekturom i njezinim energetske zahtjevima? S obzirom na činjenicu da strogi standardi energetske učinkovitosti za novogradnju nisu dovoljni da spriječe globalno zatopljenje i očuvaju resurse, tretman postojećeg građevinskog fonda postaje neizbježan prioritet.

Međunarodne političke, gospodarske i migracijske nestabilnosti, zajedno s globalnim energetske izazovima, danas su izraženije nego ikada prije, dodatno naglašavajući važnost ove teme. U svijetu u kojem većina populacije živi u urbanim sredinama ili teži migraciji prema njima, energetska učinkovitost postaje imperativ. O ovoj temi već se intenzivno raspravlja, a izvjesno je da će i u sljedećih 20 do 30 godina ostati u središtu globalne pozornosti, s još većim naglaskom na pronalaženju konkretnih i održivih rješenja.

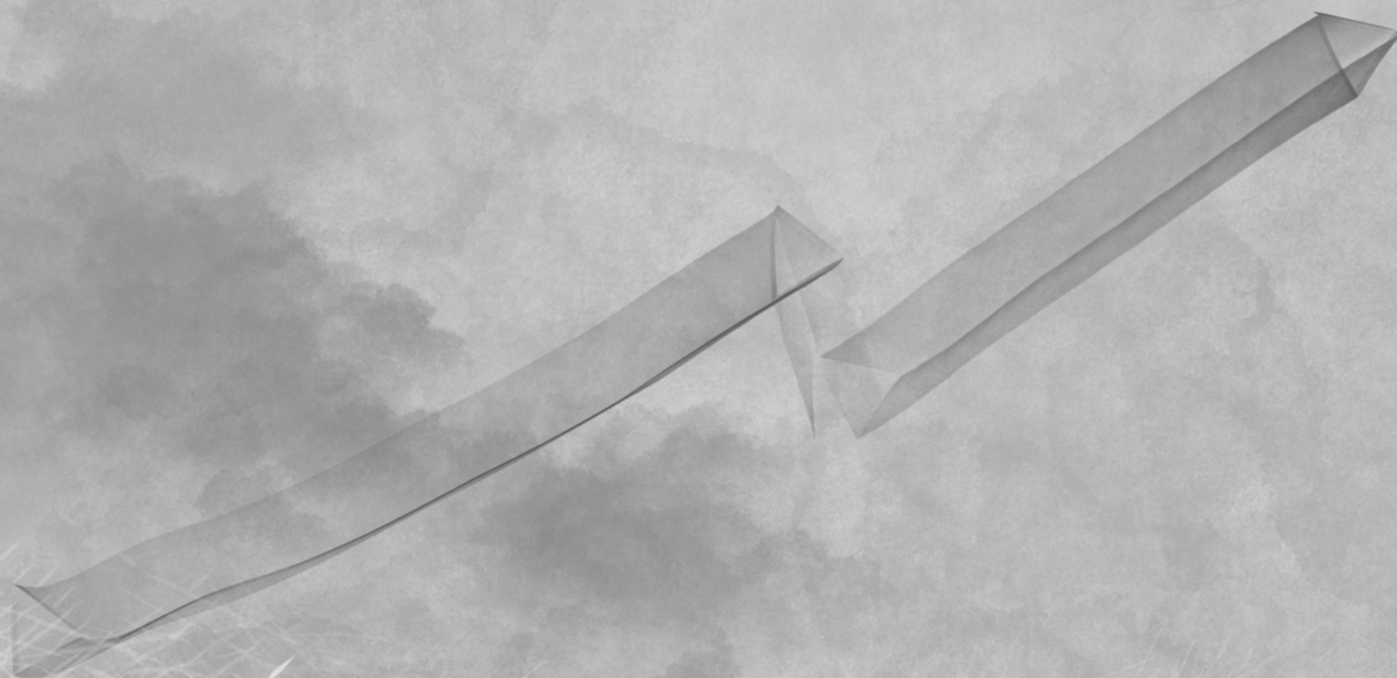
I druge industrije prepoznaju važnost smanjenja potrošnje energije i emisije CO₂. Autoindustrija je još početkom ovog milenija započela tranziciju prema održivijim rješenjima, usmjeravajući se na smanjenje potrošnje fosilnih goriva i razvoj vozila s nultom emisijom. Jedan od pionirskih koraka u tom smjeru bio je kada je predsjednik uprave Volkswagen grupacije 2002. godine na godišnju skupštinu stigao vozilom koje je trošilo samo jednu litru goriva na 100 kilometara. Danas gotovo svaki vodeći proizvođač automobila u svojoj ponudi ima potpuno električna vozila s nultom emisijom CO₂.

Ova knjiga sveobuhvatno istražuje odnos čovjeka, energije i prostora kroz devet poglavlja, odnosno tri cjeline. U prvom dijelu razmatra se šira perspektiva, analizirajući čovjeka kao korisnika prostora, utjecaj okruženja te obnovljive izvore energije. Drugi dio obrađuje značaj arhitektonske fizike u projektiranju te ulogu ovojnice kao granice između energetski tretiranog i netretiranog prostora. Treći dio predstavlja znanstveno-stručni doprinos istraživanja temeljenog na doktorskom radu, kroz analizu četiri studije slučaja. Fokus je stavljen na energetsku transformaciju postojećih školskih zgrada u Sarajevu, izgrađenih u četiri ključna povijesna razdoblja.

Autor



1



ČOVJEK
korisnik prostora

1.1. Čovjek kao korisnik prostora

Čovjek je složeno biće koje se sastoji od fizičkih, emocionalnih, kognitivnih i socijalnih aspekata. Razumijevanje čovjeka u cijelosti ključno je za stvaranje funkcionalnog prostora koji je prilagođen njegovim potrebama i željama, pri tom zadovoljavajući sve aspekte higijensko-tehničkih uvjeta. Anatomija čovjeka ne ograničava se samo na fizičke karakteristike tijela, već igra ključnu ulogu u tome kako percipiramo i integriramo s okolinom. Struktura ljudskog tijela, poput osjetila, motornih sposobnosti i fizioloških potreba, utječe na naše doživljaje i preferencije vezane uz oblikovnost i prihvaćanje unutarnjeg prostora. Psihološki aspekti čovjeka, uključujući emocije, percepciju, kognitivne i socijalne interakcije, imaju značajan utjecaj na naše doživljaje i preferencije vezane za ambijent u kojem boravimo. Razumijevanje ovih aspekata omogućuje arhitektima i dizajnerima da stvaraju prostor koji potiče osjećaj dobrobiti, udobnosti i pripadnosti, te da razvijaju emotivnu povezanost sa istim.

1.2. Što je to čovjek?

Čovjek je složena kombinacija biologije, psihologije, kulture i egzistencijalne svijesti. Kao *Homo Sapiens*, razuman čovjek, izdvaja se po visoko razvijenim intelektualnim sposobnostima za apstraktno razmišljanje, govor, rješavanje problema, introspekciju, empatiju i mnoge druge kompleksne mentalne funkcije. Ove sposobnosti omogućile su mu da postane dominantna vrsta na Zemlji.¹

¹ Knjiga *The Human Career: Human Biological and Cultural Origins* Richarda G. Kleina u trećem izdanju iz 2009. godine detaljno raspravlja o evoluciji *Homo Sapiensa*, uključujući razvoj intelektualnih sposobnosti, kulture i ponašanja.



Današnji čovjek se razvio prije otprilike 200000 godina na prostoru Afrike. Od tada je prošao kroz mnoge evolutivne promjene, prilagođavajući se različitim okruženjima i izazovima.² Evolucijski proces koji je rezultirao pojavom anatomske moderne čovjeka predstavlja kompleksni niz evolutivnih transformacija unutar grane primata, posebno u kontekstu razvoja roda *Homo* i specifično vrste *Homo Sapiens*, koja se smatra jednom od podskupina hominida ili velikih čovjekolikih majmuna.³

Anatomske moderne ljudi razvijaju se iz vrste *Homo Sapiens* u srednjem paleolitu, otprilike prije 200000 godina. Prijelaz na moderno ponašanje, s pojavom uporabe simbola, jezika i specijaliziranog kamenog oruđa, dogodio se prije 50000 godina, iako postoje hipoteze koje sugeriraju da se moderno ponašanje možda pojavilo već s pojavom anatomske moderne ljudi.⁴ Procjenjuje se da je ljudska populacija s današnjim danom premašila broj od 8.2 milijardi. Ova impresivna brojka svjedoči o uspjehu i sposobnosti čovjeka da se prilagodi i razvija u različitim uvjetima. Međutim, ovakav brzi rast populacije donosi i brojne izazove, poput održivosti, resursa i ekoloških problema.⁵ Razvoj populacije, industrijalizacija kao i migracije iz ruralnog u urbano područje su u posljednjih 150 godina dovele do klimatskih promjena sa posljedicama koje danas osjećamo, a s vrlo lošim prognozama.

Čovjek je misaono biće jer može zaključivati, crtati i razmišljati. Ova kreativna i analitička sposobnost omogućava mu da razvija tehnologije, umjetnost i znanost, što je doprinijelo napretku civilizacije i oblikovanju svijeta u kojem danas živimo.⁶ On je također društveno biće jer živi u organiziranim sistemima. Socijalni odnosi, kultura, tradicija i zajednički ciljevi igraju ključnu ulogu u formiranju ljudske zajednice i identiteta. Međusobna interakcija i suradnja omogućavaju čovjeku da raste i razvija se na kolektivnoj razini. Duhovna dimenzija čovjeka izražava se kroz sposobnost razlikovanja dobra i zla. Moralne vrijednosti, etika i duhovne prakse integralni su dio ljudske kulture i identiteta.

Kao dio žive prirode, čovjek je u interakciji s okolišem i ostalim živim bićima. Ekološka ravnoteža i poštovanje prema prirodi su ključni za opstanak i blagostanje čovječanstva. Međutim, s modernim tehnološkim napretkom i urbanizacijom, čovjek često zanemaruje svoju povezanost s prirodom, što može dovesti do ekoloških problema i krize.

² Složena kombinacija biologije, ponašanja i kulture omogućili su *Homo Sapiensu* ne samo da preživi, već i da stvori društva, umjetnost, tehnologiju i filozofiju. Izvor: Stringer, Andrews, 2011.

³ Razvoj *Homo Sapiensa* bio rezultat specifične kombinacije genetskih mutacija, okolišnih pritisaka i kulturnih inovacija, što je omogućilo našoj vrsti da postane dominantna na planetu. Izvor: Tattersall, 2012.

⁴ Elementi modernog ponašanja mogli su biti prisutni kod ranih anatomske moderne ljudi, ali nisu bili u potpunosti izraženi sve dok kulturni i društveni uvjeti nisu omogućili njihov razvoj. Izvor: Mellars, 2005.

⁵ Rast populacije pojačava ekološke probleme povećanjem potražnje za resursima, emisijama stakleničkih plinova i zagađenjem, što dovodi do iscrpljivanja prirodnih resursa, gubitka biološke raznolikosti i degradacije okoliša. Održivo upravljanje resursima i globalna suradnja ključni su za ublažavanje tih učinaka. Izvor: Cohen, 2003.

⁶ Gardner, 1983: 211

1.3. Anatomska struktura čovjeka i njezin utjecaj na percepciju prostora

Poznavanje ljudske anatomije ima ključnu važnost u kontekstu prostora i arhitekture iz više razloga. Anatomija čovjeka pruža dublje razumijevanje kako ljudi koriste, percipiraju i integriraju s prostorom, što omogućuje kreiranje funkcionalnog, ergonomski prilagođenog i ugodnog prostora za boravak.⁷ Anatomija čovjeka je proučavanje građe ljudskog tijela. Ljudsko tijelo sastoji se od stanica, tkiva, organa i organskih sustava. Sustavi organa dijelovi su koji čine ljudsko tijelo. Sustavi organa imaju prepoznatljivu strukturu i funkciju. Svaki sustav organa ovisi jedan o drugome, bilo izravno ili neizravno.⁸

1.3.1. Mišićno-skeletni sustav

Mišićno-skeletni sustav predstavlja sustav kostiju, zglobova i mišića koji daju potporu, štite i pokreću naše tijelo. To je najveći organski sustav u našem tijelu i predstavlja oko 80% ukupne tjelesne težine. Mišićno-skeletni sustav sastoji se od kostiju, zglobova, mišića, tetiva, ligamenata, hrskavice i ostalih vidova vezivnog tkiva koje povezuje tkiva i organe, daje potporu našem tijelu i omogućava njegovo kretanje. Glavna uloga mišićno-skeletnog sustava je pružanje oslonca i potpore organizmu omogućavajući mu pokrete i štiteći njegove vitalne organe.

Kosti predstavljaju izuzetno specijalizirano vezivno tkivo koje se sastoji od mješavine guste organske osnove i neorganske mineralne komponente. Odlikuju se čvrstoćom i mehaničkom otpornošću.

⁷ Ching, Adams, 2014: 58 - 63.

⁸ Marieb, Hoehn, 2015: 12-45.

Zavisno od dijela tijela na kome se nalaze, zglobovi omogućavaju više ili manje širi dijapazon pokreta kao i stabilnost organizma. Mišići su tkivo sastavljeno od mišićnih vlakana koja imaju sposobnost kontrakcije. U ljudskom tijelu postoje dvije velike grupe mišića: poprečno-prugasti, poznati i kao voljni mišići koje kontrolira naša volja, i glatki mišići, ili nevoljni, čije kontrakcije su izvan naše kontrole. I konačno, postoji i jedan poseban mišić, srčani mišić, koji ima sasvim posebne osobine. I dok je histološki gledano sličan voljnim mišićima, on zapravo predstavlja nevoljni mišić koji se kontrahira nezavisno od naše volje.

Zbog činjenice da je većina sustava organa u našem tijelu povezana, tako bolesti i poremećaji vaskularnog, nervnog ili vezivnog sustava mogu također da utiču na mišićno-skeletni sustav i da otežaju postavljanje dijagnoze. Bolesti mišićno-skeletnog sustava uglavnom obuhvaćaju funkcionalne poremećaje i nepravilnosti u pokretima. Složeni sustav čovjeka, s podsustavima, funkcionira ispravno samo kada sve komponente djeluju kao zdravi sustavi. Ako bilo koji segment ima otežanu funkciju ili ne funkcionira, stvara se nemogućnost normalnog života čovjeka. Slično je i s arhitektonskim objektom koji ima konstruktivni sustav, estetske vrijednosti, funkcionalnost, arhitektonsku fiziku i slično te kao i čovjek stvara vrlo kompleksan odnos sa svojim okruženjem. Ako bilo koji segment ne funkcionira kako treba, nemoguće je da objekt pruži adekvatan prostor za boravak čovjeka, kao ni da sam objekt bude prilagođen okruženju.



1.3.2. Respiratorni sustav

Respiratorni sustav kod ljudi predstavlja složen biološki sustav sastavljen od specifičnih organa i struktura, zaduženih za izmjenu plinova. Disanje predstavlja esencijalni fiziološki proces koji omogućava oksigenaciju tkiva i eliminaciju ugljičnog dioksida iz organizma. Čovjek diše kroz koordinirani proces u kojem mišići grudnog koša, dijafragme i respiratorni centar u mozgu rade zajedno da omoguće efikasnu razmjenu plinova. Ovaj proces omogućuje tijelu da održava adekvatne nivoe kisika i uklanja ugljični dioksid, što je esencijalno za održavanje života.

Disanje kod ljudi je složen fiziološki proces koji se odvija kroz dvije uzastopne faze:

udisanje, izdisanje.

Anatomski, disanje uključuje niz struktura koje zajedno omogućavaju ovaj vitalni proces. Zrak prvo ulazi kroz nosne šupljine, gdje se pročišćava, zagrijava i vlaži, pripremajući se za daljnji prolazak kroz respiratorni sustav. Nakon toga, zrak ulazi u grkljan, zračni put koji spaja nos i usta, a koji sadrži glasne žice važne za produkciju zvuka i govora. Zrak nastavlja svoj put kroz dušnik, cjevastu strukturu koja vodi od grkljana prema plućima. Pluća su vitalni organi za razmjenu plinova, gdje se kisik prenosi iz zraka u krv, dok se ugljični dioksid iz krvi prenosi nazad u zrak. Dušnik se dijeli na lijeve i desne bronhije, koje se zatim granaju u manje cijevi poznate kao bronhiole. Bronhiole završavaju s milionima alveola, sitnih kesica, gdje se odvija ključna razmjena kisika i ugljičnog dioksida između zraka u alveolama i krvi koja prolazi kroz kapilare alveola.

Procesom disanja čovjek dobiva zrak čija je kvaliteta od iznimne važnosti. Kvaliteta zraka utječe na zdravlje i dobrobit ljudi, a uključuje temperaturu zraka, relativnu vlažnost, sastav s aspekta negativnih čestica i drugih zagađivača. Ova činjenica povezuje se s arhitektonskim dizajnom i planiranjem prostora. Kao što je respiratorni sustav čovjeka odgovoran za filtriranje i regulaciju kvalitete zraka koji udišemo, tako i arhitektonski objekt mora osigurati optimalnu kvalitetu zraka unutar svojih prostorija. Osim toga, opskrba unutarnjeg prostora kontroliranom i planiranom ventilacijom je od iznimne važnosti. U arhitektonskom planiranju i dizajnu, posebna pažnja mora biti posvećena sustavima ventilacije i klimatizacije kako bi se osigurala zdrava i ugodna unutarnja klima. Ako bilo koji segment ovih sustava ne funkcionira pravilno, može doći do problema s kvalitetom zraka u prostoriji, što može negativno utjecati na zdravlje i dobrobit korisnika objekta.

1.3.3. Nervni sustav

Nervni sustav predstavlja složenu i vitalnu mrežu u ljudskom tijelu odgovornu za koordinaciju različitih funkcija, refleksa i osjeta. Uključuje mozak, kičmenu moždinu, živce i osjetilne organe te je odgovoran za primanje i interpretaciju informacija iz okoline, obradu tih informacija i upravljanje tjelesnim funkcijama.

Može se podijeliti na dva glavna područja:

- centralni nervni sustav (CNS)
- periferni nervni sustav (PNS)⁹.

Razumijevanje anatomije nervnog sustava temeljno je za razumijevanje njegove kompleksne strukture i funkcija. Od kompleksnih područja mozga do uloge kraljeznične moždine u prijenosu informacija, nervni sustav orkestrira simfoniju odgovora koja regulira tjelesne funkcije, reflekske i osjete. Ova složena mreža neurona, glijških stanica i perifernih nerava ističe iznimnu složenost i učinkovitost ljudskog nervnog sustava u održavanju homeostaze i reagiranju na vanjske podražaje¹⁰. Nervni sustav komunicira s ostalim dijelovima tijela putem složenih mreža neurona i živčanih vlakana. U PNS-u, snopovi nervnih vlakana provode informacije prema i od CNS-a. Senzorski neuroni prenose signale s receptora u koži, mišićima, kostima i zglobovima do CNS-a, dok motorički neuroni prenose signale iz CNS-a do efektoru poput žlijezda, srčanog mišića i glatkih mišića.

Neuroni igraju ključnu ulogu u prijenosu nervnih impulsa. Neuron se sastoji od tjelesne stanice s jezgrom i citoplazmom, dendrita koji prenose električne impulse do stanice, te dugog aksona koji prenosi impulse izvan stanice. Prostor između neurona gdje se odvija komunikacija naziva se sinapsa. Nervni impulsi generiraju se u senzorskim neuronima kao odgovor na podražaje poput svjetla ili kemikalija. Ovi impulsi prenose se duž neurona od dendrita do tjelesnih stanica do aksona. Nervni sustav komunicira s ostalim dijelovima tijela putem složenih putanja koje uključuju senzorske i motoričke neurone. Ova komunikacija je ključna za koordinaciju tjelesnih funkcija, refleksa, osjeta i odgovora na unutarnje i vanjske podražaje.

Nervni sustav je kompleksna mreža neurona i sinapsi koji omogućuju komunikaciju između mozga i tijela. On regulira sve funkcije tijela, uključujući percepciju, emocije i ponašanje. Neuroznanstvena istraživanja su pokazala da fizički okoliš, uključujući arhitektonske elemente poput svjetlosti, boje, oblika i prostora, može utjecati na moždane procese i mentalno zdravlje pojedinca. Jedan relativno noviji multidisciplinarni pristup koji kombinira znanja iz arhitekture, neuroznanosti i psihologije kako bi se bolje razumjelo kako prostorne karakteristike utječu na ljudsku percepciju, ponašanje, emocije i dobrobit jeste *neuroarhitektura*¹¹. U

⁹ Bear, Connors, Paradiso, 2016: 45-60

¹⁰ Squire, Berg, Bloom, 2012: 210-225.

¹¹ Pojava i popularnost koncepta neuroarhitekture relativno su novijeg datuma, s razvojem interdisciplinarnih istraživanja koja kombiniraju neuroznanost i arhitekturu kako bi se razumjelo kako prostorni dizajn može utjecati na ljudsku dobrobit i ponašanje. Iako precizan trenutak kada se prvi put koristi termin "neuroarhitektura" može varirati, koncept je postao sve više prepoznat i istraživao u posljednjem desetljeću. U tom kontekstu, stručnjaci i istraživači počeli su istraživati kako arhitektonske odluke, kao što su oblik, boja, svjetlost, materijali i prostor, mogu utjecati na moždane funkcije, emocionalne reakcije i mentalno zdravlje pojedinca.

praksi, neuroarhitektura se primjenjuje u različitim sektorima, uključujući obrazovanje, zdravstvo, radne prostore i urbanističko planiranje. Ova integracija znanja i pristupa omogućuje kreiranje prostora koje su u skladu s ljudskim neurološkim i emocionalnim potrebama, potičući pozitivne moždane procese, smanjujući stres i poboljšavajući opće blagostanje i performanse pojedinca.

Na primjer, prisustvo prirodnih elemenata kao što su biljke, voda i prirodna svjetlost može smanjiti stres, poboljšati koncentraciju i povećati produktivnost.¹² Cilj je transformirati način na koji razmišljamo o dizajnu prostora, stavljajući čovjeka i njegovo neurološko i emocionalno blagostanje u središte arhitektonskog procesa.

1.3.4. Koža kao granica i osjetilni organ

Koža je najveći organ ljudskog tijela i igra ključnu ulogu u zaštiti unutarnjih organa od vanjskih štetnih utjecaja, regulaciji tjelesne temperature i osjetilnim funkcijama. Sastavljena je od tkiva koja zajedno rade kao jedinstvena struktura za obavljanje jedinstvenih i vitalnih funkcija. Koža i njezine pomoćne strukture čine pokrovni sustav koji tijelu pruža cjelokupnu zaštitu. Koža je građena od više slojeva stanica i tkiva, koji su vezivnim tkivom pričvršćeni za potkožne strukture. Koža ima brojna osjetilna, autonomna i simpatička živčana vlakna koja osiguravaju komunikaciju s mozgom i iz njega.

Što pomislite kada pogledate svoju kožu u ogledalu?

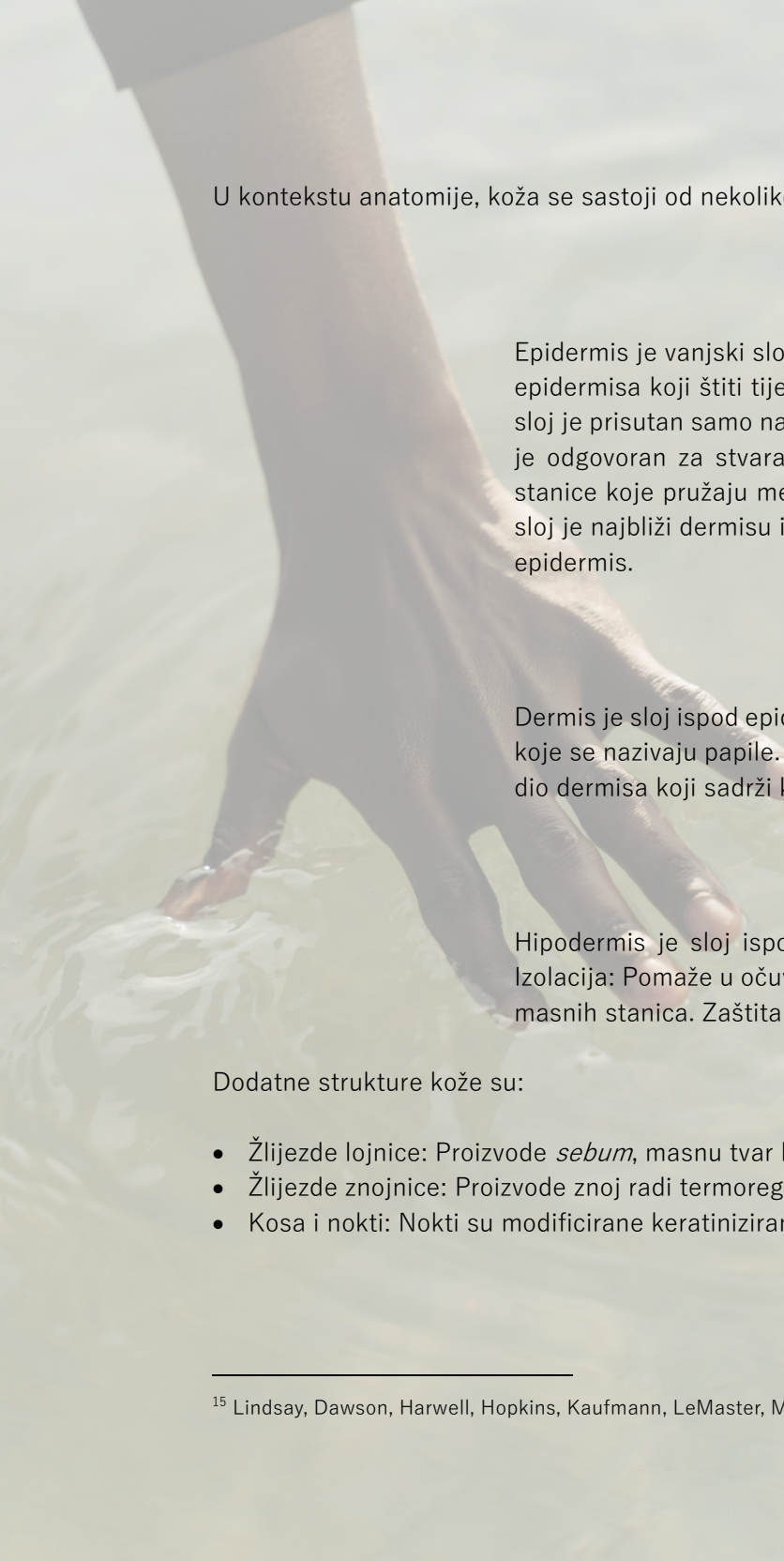
U tijelu odraslog čovjeka koža čini oko 16 posto tjelesne težine i zauzima površinu od 1,5 do 2 m.¹³ Zapravo, koža i pomoćne strukture najveći su sustav organa u ljudskom tijelu. Kao takva, koža štiti unutarnje organe i potrebna joj je svakodnevna njega i zaštita kako bi održala svoje zdravlje.¹⁴ Koža čovjeka ima sličan zadatak kao i ovojnica objekta, o čemu će se kasnije mnogo više govoriti.

Prva istraživanja i publikacije koja se bave ovom temom počela su se pojavljivati u akademskoj i stručnoj literaturi tijekom 2000-ih godina. Od tada, interes za neuroarhitekturu kontinuirano raste, a brojni arhitekti, dizajneri, te neuroznanstvenici koriste ovaj pristup kako bi razvijali inovativne prostorne koncepte.

¹² de Burca, 2023:1

¹³ Ova činjenica naglašava važnost kože ne samo kao fizičke barijere već i kao multifunkcionalnog organa koji sudjeluje u očuvanju cjelokupnog zdravlja organizma. Izvor: *Medicinski leksikon (1992), mrežno izdanje*. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2025.(13.1.2025), <https://medicinski.lzmk.hr/clanak/koza>

¹⁴ Proksch, Brandner, Jensen, 2008: članak objavljen u časopisu *Experimental Dermatology*, u svesku 17, broju 12, na stranicama 1063–1072.



U kontekstu anatomije, koža se sastoji od nekoliko slojeva i struktura, svaka s vlastitom specifičnom funkcijom.¹⁵

Epidermis (gornji sloj)

Epidermis je vanjski sloj kože i sastoji se od nekoliko pod-slojeva: *Stratum corneum*: Ovo je vanjski sloj epidermisa koji štiti tijelo od vanjskih agresora poput bakterija i virusa. *Stratum lucidum*: Ovaj prozirni sloj je prisutan samo na određenim mjestima, kao što su dlanovi i tabani. *Stratum granulosum*: Ovaj sloj je odgovoran za stvaranje lipida koji pomažu u hidrataciji kože. *Stratum spinosum*: Ovaj sloj sadrži stanice koje pružaju mehaničku čvrstoću i fleksibilnost epidermisa. *Stratum basale* (bazalni sloj): Ovaj sloj je najbliži dermisu i sadrži stanice koje se neprestano dijele i migriraju prema površini, obnavljajući epidermis.

Dermis (srednji sloj)

Dermis je sloj ispod epidermisa i sastoji se od: Papilarni sloj: Gornji dio dermisa koji sadrži male izbočine koje se nazivaju papile. Ovdje se nalaze krvne žile, živci i receptori za osjet. *Retikularni sloj*: Donji, deblji dio dermisa koji sadrži kolagen i elastin koji pružaju čvrstoću i elastičnost koži.

Hipodermis (potkožno masno tkivo)

Hipodermis je sloj ispod dermisa i sastoji se od masnog i vezivnog tkiva. Funkcije hipodermisa su: Izolacija: Pomaže u očuvanju tjelesne temperature. Pohrana energije: Pohranjuje višak energije u obliku masnih stanica. Zaštita: Pruža mehaničku zaštitu unutarnjim organima.

Dodatne strukture kože su:

- Žlijezde lojnice: Proizvode *sebum*, masnu tvar koja hidratizira i štiti kožu.
- Žlijezde znojnice: Proizvode znoj radi termoregulacije i izlučivanja toksina.
- Kosa i nokti: Nokti su modificirane keratinizirane strukture, dok su dlake prisutne na gotovo cijeloj površini tijela.

¹⁵ Lindsay, Dawson, Harwell, Hopkins, Kaufmann, LeMaster, Matern Morrison-Graham, Devon Quick, Jon Runyeon, 2019: 215 - 253

Koža kao najveći organ ljudskog tijela igra ključnu ulogu kao osjetilni organ. Ona sadrži različite osjetilne receptore koji omogućuju percepciju različitih podražaja iz okoliša. Ovi osjetilni receptori smješteni su uglavnom u dermisu i epidermisu kože: receptori za dodir, receptori za temperaturu, receptori za bol, receptori za vibracije i pritisak, receptori za oštećenje.

1.3.5. Funkcija pokrovnog sustava kože

Koža ima nekoliko osnovnih funkcija koje su ključne za održavanje homeostaze¹⁶ i zaštitu tijela. Kožu čovjeka lako možemo usporediti sa ovojnicom objekta tako što ćemo razmotriti načine kako vanjska ovojnica zgrade može štititi, regulirati i komunicirati s okolinom.

Zaštitno-imunološka funkcija

Koža predstavlja primarnu fizičku barijeru između unutarnjeg tijela i vanjskog okruženja. Njezina glavna uloga je zaštita unutarnjih organa i struktura od vanjskih agenasa:

- Voda: Epiderma, vanjski sloj kože, djeluje kao hidrofobna barijera koja sprječava prodor vode i održava hidrataciju unutarnjih tkiva. Osim toga, *sebum* koji proizvode lojne žlijezde djeluje kao prirodni vodootporni premaz.
- Vjetar i prašina: Gusta mreža keratinskih vlakana u epidermi štiti tijelo od prodora vjetra, prašine i drugih čestica, čuvajući unutarnje organe od oštećenja i infekcija.

Otpornost na vanjske uvjete

Koža se prilagođava vanjskim uvjetima kako bi održala unutarnju homeostazu:

- UV zračenje: Melanin, pigment u koži, apsorbira i raspršuje UV zračenje, pružajući zaštitu od štetnih učinaka sunčevog zračenja.
- Temperaturne fluktuacije: Krvne žile u dermisu se šire ili stežu kako bi regulirale protok krvi i toplinu, pomažući tijelu da održava konstantnu tjelesnu temperaturu.

Zvučna izolacija

Iako ne direktno povezano s kožom, potkožno masno tkivo djeluje kao izolacijski sloj koji smanjuje prijenos zvuka, pružajući dodatnu zaštitu.

¹⁶ Sposobnost organizma da održava stabilno unutarnje okruženje unatoč promjenama u vanjskom okruženju.

Održivost i ekološka zaštita

Koža ima sposobnost samo-očuvanja i regeneracije, smanjujući potrebu za vanjskim intervencijama i tretmanima:

- Regeneracija: Koža se redovito obnavlja kroz procese kao što su mitozu i keratinizacija, čime se održava njena funkcionalnost i zaštitna uloga.
- Samo-očuvanje: Znoj i *sebum* sadrže enzime i kiseline koji pomažu u održavanju kiselinske barijere kože, sprečavajući rast patogenih mikroorganizama.

Senzorna funkcija

Senzorna funkcija kože omogućuje osjetljivost na vanjske podražaje. Na primjer, sposobnost osjetiti mrava koji gmiže po koži omogućuje nam da ga odbacimo prije nego što nas ugrize. Koža omogućuje osjet promjena u okolini. Koža djeluje kao osjetilni organ zahvaljujući specijaliziranim osjetnim živčanim strukturama u epidermisu, dermisu i hipodermisu koje detektiraju dodir, temperaturu i bol.

Termoregulacijska funkcija

Jedna od ključnih uloga kože je u termoregulaciji tijela, tj. održavanju konstantne tjelesne temperature. Glavni mehanizam kroz koji koža sudjeluje u ovom procesu je znojenje:

- Proces znojenja: Znojne žlijezde u dermisu izlučuju vodu i elektrolite na površinu kože. Kada znoj isparava, to odvodi toplinu s površine kože, čime se tijelo hladi.
- Stimulacija znojenja: U situacijama povišene tjelesne temperature, bilo zbog vanjskih uvjeta, intenzivne tjelesne aktivnosti ili njihove kombinacije, simpatički živčani sustav stimulira znojne žlijezde da proizvode veće količine znoja. Aktivne osobe mogu proizvesti čak 0,7 do 1,5 litara znoja na sat.

Samoregulacija

Koža ima ugrađene mehanizme koji pomažu u samoregulaciji tjelesne temperature:

- Termoreceptori: Koža sadrži termoreceptore koji detektiraju promjene u tjelesnoj temperaturi i šalju informacije u mozak, koji zatim regulira termoregulacijske mehanizme.

Tablica 1.0. čovjek, energija, aktivnost i unutarnji prostor

Vrijednosti po osobi		Osnovno metaboličko stanje		Minimalna aktivnost sjedenje		Lagani rad		Lagani fizički rad		Naporan fizički rad	
		djeca	odrasli	djeca	odrasli	djeca	odrasli	djeca	odrasli	djeca	odrasli
Potrošnja energije po osobi	(kJ/d) (kcal/d) (kWh/d)	5900 1410 1,6	7500 1790 2,1	8000 1910 2,2	9700 2320 2,7	8800 2100 2,4	10500 2510 2,9	10100 2410 2,8	12600 3010 3,5	11300 2700 3,1	14700 3510 4,1
Ukupni gubitak topline (uk. isparavanje) (W)		50-65	65-85	60-80	75-100	100-130	125-170	170-225	215-295	280-380	360-490
Suhi gubitak topline (konvekcija, kondukcija i radijacija) (W)		35-45	50-65	45-60	60-75	70-95	95-130	120-160	165-220	200-275	360-490
Isparavanje vode po satu (g/h)		21-28	23-32	25-34	27-38	41-57	46-62	70-95	78-108	117-160	130-180
Potreba za kisikom po satu (l/h)		9-12	12-16	10-14	14-19	17-24	24-32	30-41	40-51	50-68	65-90
Izdisanje CO ₂ po satu		7-10	10-13	9-12	12-16	15-20	19-26	25-34	32-43	46-56	55-75
Potreba za svježim zrakom pri CO ₂ u max. 0,10% vol (m ³ /h)		12-17	17-21	15-20	20-26	25-33	32-42	42-57	55-72	70-63	90-130
Granica vlažnih uvjeta s obzirom na t (° C)		28	28	26	26	24	24	21,5	21,5	19,5	19,5
Ravnoteža = udobnost (° C)		24	24	22	22	20,5	20,5	19	19	17	17
Granica osjećaja hladnoće udobnost (° C)		18	18	17	17	16	16	15,5	15,5	14,5	14,5

Adaptacija na vanjske uvjete

Koža se prilagođava različitim klimatskim uvjetima kako bi održala homeostazu:

- Pigmentacija: Melanin u koži pomaže u zaštiti od UV zračenja i sprječava prekomjerno zagrijavanje kože na jakom suncu.
- Periferna vazokonstrikcija i vazodilatacija, odnosno sužavanje i širenje krvnih žila: Ovi mehanizmi omogućuju koži da reagira na različite temperature okoline, čime se pomaže održavanju stabilne tjelesne temperature.

Metabolička funkcija

Metabolička funkcija kože odnosi se na razne biokemijske procese koji se odvijaju unutar kože i koje koža podržava. Koža nije samo pasivna barijera; ona je i aktivno uključena u različite metaboličke procese koji su ključni za opće zdravlje i homeostazu organizma. U kontekstu metaboličke funkcije, koža je aktivan i dinamičan organ koji obavlja niz vitalnih biokemijskih i fizioloških funkcija. Ovi metabolički procesi su neophodni za održavanje općeg zdravlja i homeostaze tijela, što naglašava složenost i važnost kože kao vitalnog organskog sustava.

1.4. Osjetila u službi interakcije s prostorom

Osjetila igraju ključnu ulogu u našem doživljaju i interakciji s prostorom oko nas. Ona nam omogućuju da percipiramo i razumijemo svoje okruženje na različite načine.

Senzorni sustav,

odnosno organi vida, sluha, mirisa, okusa i dodira, omogućava percepciju i interpretaciju okoline. Kod čovjeka, osjetila zauzimaju dominantnu ulogu u percepciji prostora, odnosno sposobnosti identifikacije geometrijske strukture okolnog okoliša, svijesti o vlastitom položaju u prostoru te određivanju dubine i orijentacije obližnjih objekata. Informacijski tokovi iz ovih osjetila kontinuirano se integriraju i procesiraju u mozgu, omogućujući preciznu kognitivnu reprezentaciju trodimenzionalnog okruženja, bez obzira radi li se o mirnom ili dinamičkom stanju.

Vizualni sustav

sastoji se od oka i pripadajućih živčanih puteva. Oko se sastoji od rožnice, šarenice, leće, staklastog tijela, mrežnice i optičkog živca. Rožnica i leća fokusiraju svjetlost na mrežnicu, gdje fotoreceptori pretvaraju svjetlosne signale u električne impulse. Optički živac prenosi ove impulse do vizualnog korteksa u mozgu, gdje se informacije obrađuju i interpretiraju.¹⁷ Vid je često simboliziran kao prozor u svijet, kao sposobnost percepcije i razumijevanja stvarnosti oko nas. Kroz vizualno iskustvo, ljudi oblikuju svoju percepciju svijeta, interpretirajući boje, oblike i udaljenosti. Pitanja o tome što znači "vidjeti" i kako vizualne

¹⁷ Kandel, Schwartz, Jessell, Siegelbaum, 2012: 443-458.

informacije oblikuju našu stvarnost bila su predmet mnogih rasprava. Putem ovog čula čovjek stvara prvu sliku unutarnjeg, ali i vanjskog prostora, te time ostvaruje put ka doživljaju i emocijama prema istom.

Slušni sustav

sastoji se od vanjskog uha, srednjeg uha i unutarnjeg uha. Vanjsko uho prikuplja zvučne valove, koji putuju kroz vanjski slušni kanal do bubnjića u srednjem uhu. Bubnjić vibrira i prenosi vibracije na tri slušne koščiće (čekić, nakovanj, stremen) u srednjem uhu. Ove koščiće prenose vibracije na unutarnje uho, gdje ih pretvara u električne impulse koje prenosi slušni živac do slušnog korteksa u mozgu.¹⁸ Sluh se često povezuje s idejom komunikacije i razumijevanja. Kroz zvukove, ljudi percipiraju ne samo okolinu već i emocije i namjere drugih.

Somatosenzorni sustav

obuhvaća receptore za dodir, pritisak, temperaturu i bol. Receptori su raspoređeni u koži, mišićima, zglobovima i unutarnjim organima. Informacije se prenose kroz različite senzorne neurone do somatosenzornog korteksa u parijetalnom režnju mozga.¹⁹ Dodir predstavlja osnovnu interakciju s fizičkim svijetom i drugima. Kroz dodir, ljudi percipiraju fizičku prisutnost, toplinu, bol i užitak. Dodir je često povezan s pitanjima o ljudskoj bliskosti, empatiji i fizičkoj egzistenciji.

Gustatorni sustav

odnosi se na sposobnost percepcije okusa. Okusne pupoljke na jeziku sadrže okusne receptore koji detektiraju pet osnovnih okusa: slatko, kiselo, gorko, slano i umami. Informacije se prenose kroz okusni živac do gustatornog korteksa u mozgu.²⁰

Olfaktorni sustav

odnosi se na sposobnost percepcije mirisa. Mirisni receptori u nosnoj šupljini detektiraju molekule mirisa koje ulaze u nos. Ove informacije prenose se kroz olfaktorni živac do olfaktornog korteksa u mozgu.²¹ Mirisi su često povezani s emocijama, sjećanjima i instinktivnim reakcijama. Kroz miris, ljudi percipiraju okolinu, ali i povezuju se s prošlim iskustvima i emocijama.

1.5. Psihološko razumijevanje relacije čovjek i prostor

Anatomija ljudskog tijela nije ograničena samo na fizičke karakteristike; također ima psihološki aspekt koji značajno utječe na naše emocionalno stanje i percepciju prostora. Faktori kao što su prirodna svjetlost, toplina, akustika i proporcije prostora mogu

¹⁸ Moore, Dalley, 2018: 556-572.

¹⁹ Purves, Augustine, Fitzpatrick, Hall, LaMantia, McNamara, White, 2018: 265-280.

²⁰ Kandel, Schwartz, Jessell, Siegelbaum, Hudspeth, 2012: 721-738.

²¹ Shepherd, 2004: 245-260.

imati značajan pozitivan utjecaj na naše raspoloženje i dobrobit. Razumijevanje načina na koje ljudi reagiraju na određene arhitektonske elemente omogućuje kreiranje prostora koji potiču osjećaj dobrodošlice, udobnosti i sigurnosti.²² Organski sustavi ljudskog tijela međusobno su povezani i surađuju kako bi održali homeostazu i osigurali pravilno funkcioniranje tijela. Anatomija čovjeka pruža dublje razumijevanje kako ljudi koriste, percipiraju i integriraju s prostorom, što omogućava kreiranje prostora koji je funkcionalan, ergonomski prilagođen i ugodan za boravak.²³

Dodatno, čovjek je kompleksno biće koje se može razumjeti i analizirati iz različitih perspektiva, uključujući fizičke, socijalne, kulturalne i psihološke aspekte. Kada govorimo o psihološkim promatranjima čovjeka u kontekstu korištenja unutarnjeg prostora, susrećemo se s nizom interesantnih i duboko ukorijenjenih ponašanja, navika i preferencija koje oblikuju naše interakcije s okolinom.²⁴

Unutarnji prostor, bilo da je riječ o domu, radnom prostoru ili bilo kojem drugom zatvorenom okruženju, postaje refleksija našeg unutarnjeg svijeta, naših potreba, želja i vrijednosti. Ove prostorne preferencije i navike često su povezane s psihološkim stanjima i procesima, kao što su osjećaji udobnosti, sigurnosti, pripadnosti i autonomije. Kroz psihološku prizmu, možemo promatrati kako ljudi oblikuju, prilagođavaju i doživljavaju svoj unutarnji prostor.

Arhitektura i dizajn interijera imaju ključnu ulogu u podržavanju i poboljšanju ljudskog blagostanja i kvalitete života. Prema Kaplan i Kaplan²⁵, određeni aspekti arhitekture, kao što su prirodna svjetlost, povezanost s prirodom i prostorni red, mogu pozitivno utjecati na emocionalno stanje pojedinca i poticati osjećaje opuštenosti i koncentracije.

Prema teoriji bihevioralne geografije²⁶, ljudi stvaraju mentalne mape svog okruženja koja utječu na njihovo ponašanje i doživljaj prostora.²⁷ Ove mentalne mape često su formirane kroz psihološke procese kao što su kognitivne sheme i emocionalna povezanost s okolinom. Stoga, prilikom oblikovanja prostora potrebno je uzeti u obzir i psihološke faktore kako bi kreirali okruženja koja podržavaju emocionalno i mentalno blagostanje korisnika. Osim toga, istraživanja pokazuju da pravilno planiranje i dizajn interijera može poboljšati produktivnost, kreativnost i opće zadovoljstvo korisnika.²⁸

²² Kaplan, Kaplan, 1989: 32-45.

²³ Ching, Binggeli, 2012: 78-92

²⁴ Gifford, 2007: 115-130.

²⁵ Kaplan, Kaplan, 1989: 78-91

²⁶ Montello, 2018: 3-15.

²⁷ Lynch, 1960: 25-38

²⁸ Ulrich, 1984: 420-421.

Uz to, prostorna organizacija i dizajn mogu utjecati na socijalne interakcije i osjećaje pripadnosti. Prema Altman i Chemers²⁹, određeni arhitektonski elementi, poput otvorenih prostora i zajedničkih područja, mogu poticati socijalnu interakciju i osjećaj zajedništva među korisnicima prostora.

Također, čovjek često ima prirodnu sklonost da se povezuje i brani određeni prostor koji percipira kao svoj. U tom slučaju govorimo o teoriji teritorijalnosti³⁰ koja potječe iz bioloških i evolucijskih proučavanja ponašanja životinja, ali je primijenjena i na ljude kako bi se objasnilo njihovo ponašanje u vezi s prostorom. Koncept teritorijalnosti uključuje nekoliko ključnih aspekata:

- Definicija teritorija: Teritorij može biti fizički prostor, kao što je dom, radni stol ili vrt, ali može se također odnositi i na emocionalne i socijalne teritorije, kao što su prijateljske grupe ili obiteljski krug.
- Obrana teritorija: Ljudi često pokazuju agresivno ponašanje kada se osjećaju ugroženo u svom teritoriju. Ova obrambena reakcija može biti posljedica želje za očuvanjem resursa, osjećaja sigurnosti ili održavanja socijalnog statusa.
- Privilegiran pristup resursima: Teritorijalno ponašanje može osigurati pojedincima privilegiran pristup resursima kao što su hrana, zaklon, partneri ili socijalni status.
- Označavanje teritorija: Ljudi često označavaju svoj teritorij kako bi ga identificirali kao svoj, što može uključivati fizičke oznake poput imovinskih granica, ali i suptilnije oznake poput mirisa, zvukova ili vizualnih signala.

S druge strane, koncept "biofilije" predstavlja našu urođenu želju da budemo povezani s prirodom, što može utjecati na način na koji organiziramo i uređujemo svoj unutarnji prostor.³¹ Pored toga, psihološke teorije o osobnosti, poput Jungovih arhetipova ili Maslowove hijerarhije potreba, mogu pružiti uvid u to kako individualne razlike u karakteristikama i potrebama oblikuju naše preferencije za određenim tipovima i stilovima unutrašnjeg uređenja. Tako na primjer, osobe s ekstrovertiranom osobnošću mogu preferirati otvorenije, socijalno orijentirane prostore, dok introvertirane osobe mogu tražiti mirnije, tiše prostore za refleksiju i regeneraciju.

²⁹ Altman, Chemers, 1980: 75-90

³⁰ Hall, 1966: 89-103

³¹ Wilson, 1984: 23-38.

Fotografija 1.5. Natječajni rad za Islamski centar u Visokom, novembar 2024.



1.6. Utjecaj dizajna prostora na emocije, socijalne odnose i kognitivne procese

Emocionalna povezanost s prostorom

Ljudi često formiraju emocionalne veze s prostorima u kojima provode vrijeme. Ove emocionalne veze mogu biti rezultat pozitivnih iskustava, uspomena ili jednostavno zbog osjećaja sigurnosti i pripadnosti. Osim toga, naša percepcija prostora može biti oblikovana i kroz kulturne i socijalne faktore, kao i kroz osobne preferencije i vrijednosti koje imamo.

Emocionalna povezanost s prostorom ima dubok utjecaj na naše svakodnevno življenje. Na primjer, prostor koji nas podsjeća na drage uspomene može poticati osjećaje sreće i zadovoljstva, dok prostor koji izaziva stres ili nelagodu može imati negativan utjecaj na naše mentalno stanje i dobrobit. Ova emocionalna povezanost može također utjecati na naše raspoloženje, produktivnost, kreativnost i opće blagostanje.³²

Socijalna interakcija i prostor

Društveni aspekti igraju ključnu ulogu u percepciji i korištenju prostora. Ljudi često traže prostore koji podržavaju društvenu interakciju, ali također i prostore koji pružaju privatnost i individualnost. Dizajn prostora može poticati ili ometati socijalne interakcije, te stoga ima veliki utjecaj na ljudske odnose i komunikaciju.³³

³² Russel, Snodgrass, 1987: 193–212

³³ Brown, 1968: 769–783

Kognitivne i percepcijske sposobnosti

Ljudska percepcija prostora i sposobnost snalaženja u njemu predstavljaju ključne aspekte u arhitektonskom dizajnu. Prema Kevinu Lynchu³⁴ kognitivne mape, odnosno mentalne slike koje ljudi formiraju o svom okolišu igraju značajnu ulogu u njihovoj sposobnosti orijentacije, navigacije i općenito načinu na koji se osjećaju u prostoru. Ove kognitivne mape nisu samo mentalne reprezentacije fizičkog okruženja, već su i proizvod emocionalnih i kognitivnih iskustava pojedinca s prostorom. Arhitektonski dizajn može značajno utjecati na formiranje ovih kognitivnih mapa. Pravilna organizacija prostora, upotreba orijentirajućih elemenata i jasna struktura prostora mogu olakšati proces orijentacije i poboljšati ukupno iskustvo korisnika. Osim toga, vizualna percepcija, kao što su proporcije, oblici, boje i teksture, također igra ključnu ulogu u tome kako ljudi doživljavaju i percipiraju arhitektonski prostor.

Utjecaj prirodnih elemenata

Kao što je ranije spomenuto, koncept "biofilije" ističe našu urođenu želju za povezivanjem s prirodom. Dizajniranje prostora s obiljem prirodnog svjetla, zelenila i vodenih elemenata može pozitivno utjecati na mentalno zdravlje, smanjiti stres i poboljšati opće blagostanje korisnika prostora.³⁵

Adaptivnost i fleksibilnost prostora

Fleksibilnost prostora omogućava prilagodbu različitim potrebama i aktivnostima korisnika. Razumijevanje potreba i preferencija korisnika ključno je za stvaranje adaptivnih prostornih rješenja koja podržavaju različite funkcije i aktivnosti. Razumijevanje psiholoških aspekata ljudskog bića u kontekstu korištenja unutrašnjeg prostora omogućava nam da bolje razumijemo kako prostor utječe na naše emocionalno, kognitivno i fizičko blagostanje. Ovo razumijevanje može imati važne implikacije za dizajn interijera, urbanističko planiranje i arhitekturu, nudeći prilike za stvaranje prostora koji potiču dobrobit, produktivnost i zadovoljstvo korisnika.³⁶

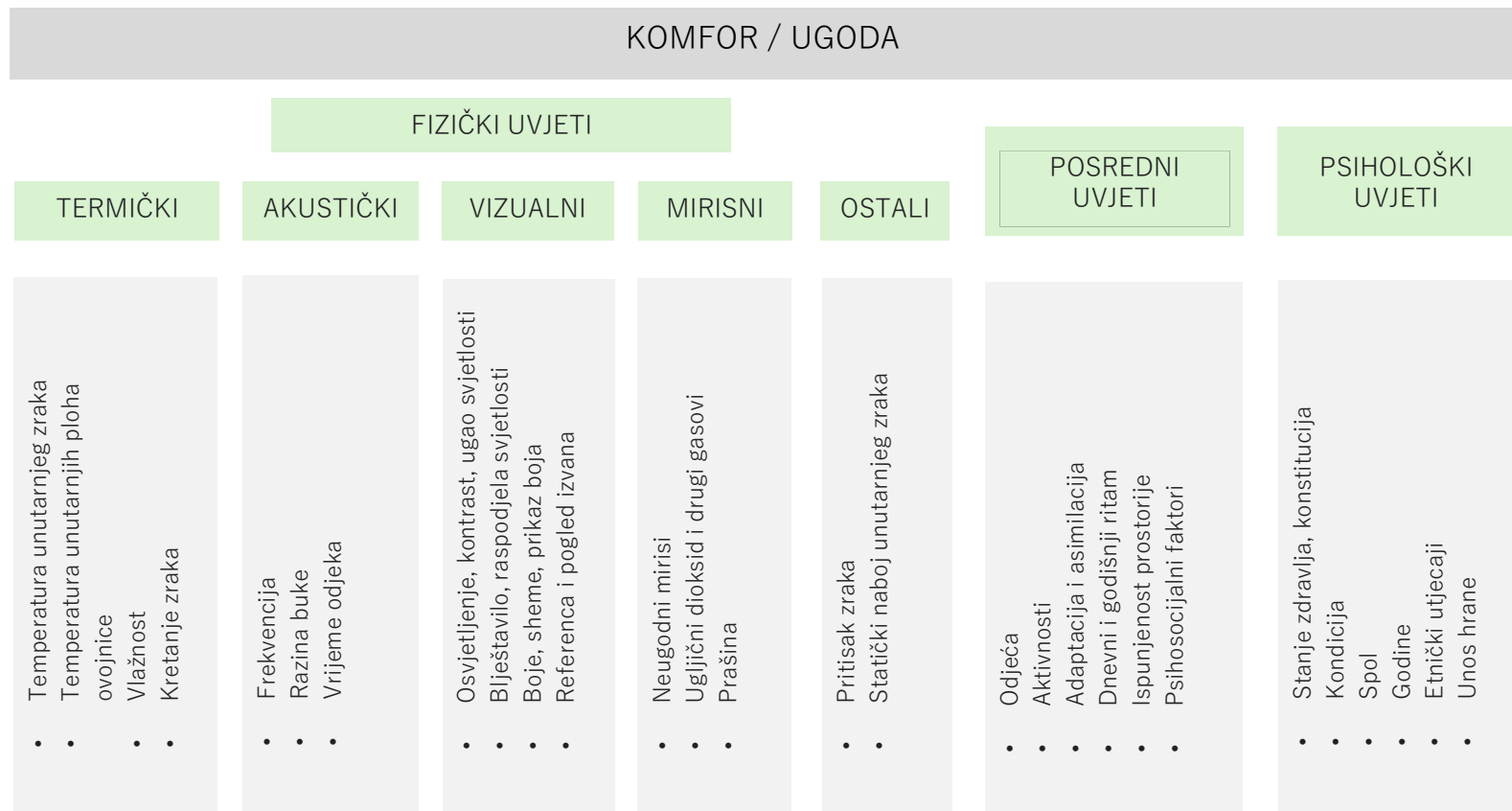
³⁴ Lynch, 1960: 1-14

³⁵ Kellert, Wilson, 1993: 420-421

³⁶ Zeisel, J. 2006: 32-117

Fotografija 1.6. Natječajni rad za centralni objekt MUP-a KS u Sarajevu, novembar 2024.

1.7. Osjećaj ugone: stvaranje harmoničnog okruženja



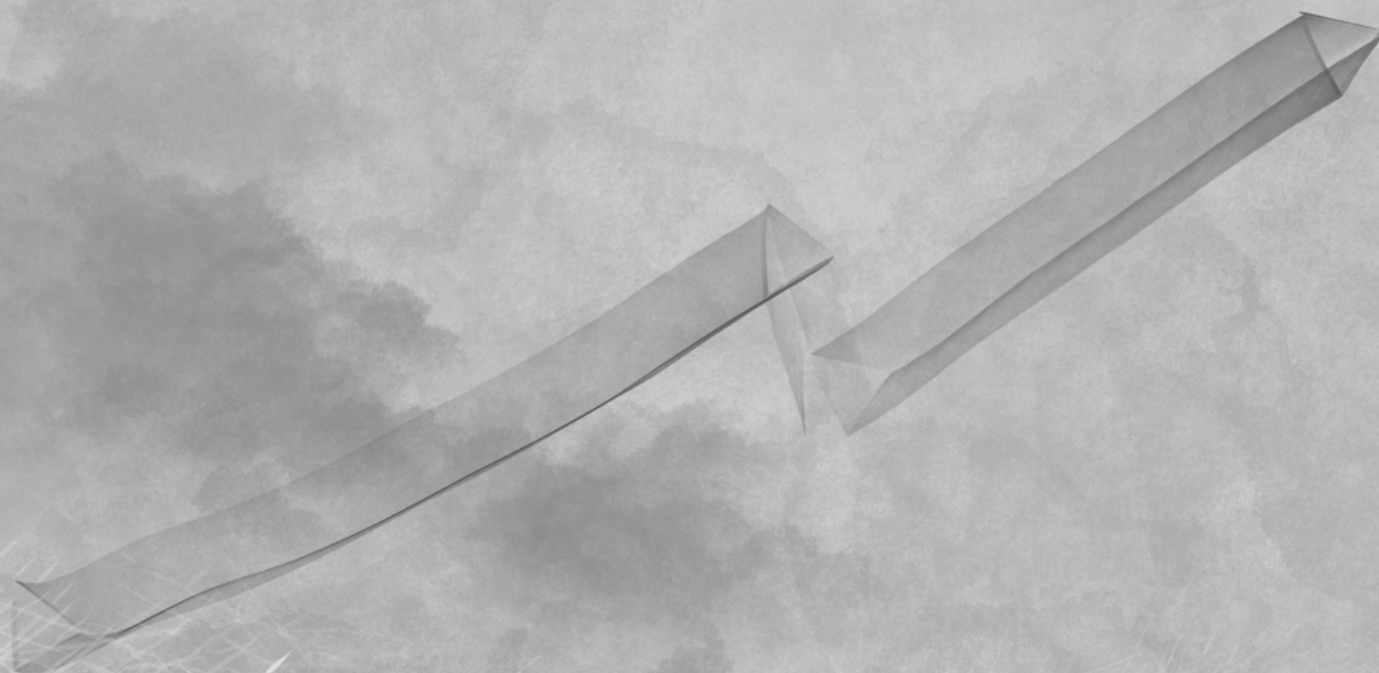
Fotografija 1.7. Shema – komfor – ugonu u unutarnjem prostoru

Komfor ili ugonu unutarnjeg prostora direktno utječe na kvalitetu života korisnika. Ne uključuje samo fizičku udobnost, već i psihološku dobrobit korisnika. Brojni su čimbenici koji se uzimaju u obzir kako bi prostor bio funkcionalan, estetski ugonu i emocionalno zadovoljavajući. Fizički komfor je temeljna komponenta dizajna unutarnjeg prostora. To uključuje kontrolu temperature, vlažnosti, ventilacije i osvjetljenja. Termalni komfor, koji se odnosi na percepciju temperature i protoka zraka, ključno je područje istraživanja u arhitekturi. Prema mnogim istraživanjima, optimalna temperatura za većinu unutarnjih prostora kreće se između 20-22°C, dok relativna vlažnost zraka treba biti između 35-60%. Osvjetljenje igra ključnu ulogu u kreiranju ugodnog okruženja. Prirodna svjetlost poboljšava raspoloženje i produktivnost korisnika. Dobar dizajn osigurava maksimalno iskorištavanje

prirodne svjetlosti kroz velike prozore i svjetlarnike, dok umjetna rasvjeta treba biti dizajnirana tako da osigurava adekvatnu osvijetljenost bez stvaranja odsjaja i sjena.³⁷

Psihološki komfor odnosi se na ugodu boravka kroz osjećaj sigurnosti, privatnosti i kontrole nad okruženjem. Osjećaj sigurnosti može biti poboljšan kroz dizajn koji omogućuje jasnu vidljivost i orijentaciju unutar prostora. Privatnost se može postići kroz strateško postavljanje zidova, pregrada i namještaja te korištenjem akustičnih materijala koji smanjuju prijenos zvuka između različitih dijelova prostora. Kontrola nad okruženjem, poput mogućnosti prilagođavanja temperature i osvijetljenja, također doprinosi psihološkoj udobnosti. Kreiranje komfornog unutrašnjeg prostora zahtijeva sveobuhvatan pristup i zahtjeva pažljivo razmatranje potreba i preferencija korisnika kako bi se kreirali prostori koji su funkcionalni, estetski ugodni i emocionalno zadovoljavajući.

³⁷ Boyce, 2003:8 - 37



PROSTOR i OKRUŽENJE
interakcije prirode _ društva _ tehnologije



Okruženje čovjeka predstavlja sve aspekte prostora u kojem živimo i koji nas okružuje, podijeljene u ključne kategorije: Prirodno okruženje, koje obuhvaća klimatske uvjete, geografske karakteristike, raznolikost biljnog i životinjskog svijeta, dok *urbano okruženje* uključuje gusto naseljene gradove i naselja, prometne površine, javne prostore poput trgova i parkova te različite građevinske strukture. Ove kategorije okruženja su međusobno povezane i oblikuju prostor u kojem živimo, radimo i komuniciramo, imajući značajan utjecaj na naše svakodnevne aktivnosti, ponašanje i kvalitetu života. Stoga je razumijevanje i planiranje održivih i funkcionalnih urbanističkih i arhitektonskih rješenja ključno za stvaranje harmoničnog i održivog okoliša.

Okruženje čovjeka može se definirati kao kombinacija prirodnih resursa, antropogenih elemenata i socijalno-kulturnih faktora koji zajedno formiraju prostorni kontekst u kojem pojedinac živi, radi i razvija se.³⁸ Kvaliteta zraka, vode, tla, stambenog prostora, radnog okruženja, infrastrukture i socijalnih interakcija direktno utječe na zdravstveno stanje, emocionalno blagostanje, produktivnost i ukupnu kvalitetu života ljudi.³⁹ Značaj okruženja čovjeka postao je sve očitiji u kontekstu globalnih izazova kao što su urbanizacija, klimatske promjene, zagađenje i degradacija prirodnih resursa. Ovi izazovi dodatno naglašavaju potrebu za razumijevanjem kompleksne interakcije između čovjeka i njegovog fizičkog okruženja.⁴⁰

³⁸ Knjiga *The Experience of Nature: A Psychological Perspective* autora Rachel i Stephena Kaplana istražuje kako okruženje, naročito prirodni prostori, utiče na ljudsku fizičku i mentalnu dobrobit. Naglašava važnost prirodnih elemenata poput parkova i zelenih površina u smanjenju stresa i poboljšanju psihološke stabilnosti, dok također priznaje interakciju s antropogenim, izgrađenim elementima. Autori razmatraju kako kombinacija prirodnih resursa, ljudskih intervencija i socijalno-kulturnih faktora stvara prostorni kontekst koji oblikuje ljudsku percepciju prostora i dobrobit.

³⁹ Knjiga *Handbook of Environmental Psychology* Daniela Stokola i Irwina Alta pruža sveobuhvatan pregled ekološke psihologije, istražujući kako fizičko okruženje utiče na ljudsko ponašanje, percepciju i dobrobit. Kroz interdisciplinarnu perspektivu, knjiga se bavi temama poput percepcije prostora, socijalnih interakcija, stresa povezanog s okruženjem te dizajna prilagodljivih prostora. Također istražuje praktičnu primjenu ovih saznanja u urbanističkom planiranju, dizajnu radnih prostora i razvoju održivih zajednica, pružajući vrijedne uvide za razumijevanje odnosa između ljudi i njihovog okruženja.

⁴⁰ Gifford, 2014: 65, 541-579

2.1. Prirodno okruženje kao izvor života i inspiracije

Prirodno okruženje čovjeka odnosi se na sve prirodne elemente i faktore okoliša koji utječu na život i aktivnosti ljudi.

Zemljopisna obilježja

odnose se na položaj, veličinu i oblik teritorija na kojem pojedinac živi. Imaju značajan utjecaj na ljudsko zdravlje i, kao takva, igraju ključnu ulogu u oblikovanju arhitekture. Ovi faktori utječu na dizajn i planiranje građevina kako bi se osiguralo optimalno zdravstveno i životno okruženje. Arhitektura treba biti prilagođena klimatskim uvjetima kako bi osigurala optimalnu toplinsku udobnost, što je ključno za očuvanje zdravlja i dobrobiti ljudi.

Zemljopisna obilježja kao što su reljef, geološka struktura i klimatski uvjeti igraju ključnu ulogu u određivanju rizika od prirodnih katastrofa. Brdoviti i planinski tereni mogu povećati rizik od klizišta i zemljotresa zbog erozije i geološke nestabilnosti, dok nizinski tereni često postaju osjetljivi na poplave zbog nakupljanja vode. Klimatski faktori poput visokih oborina mogu dodatno povećati rizik od poplava, dok sušna područja mogu biti izložena požarima. Tropski cikloni i uragani u tropskim zonama mogu prouzročiti obilne kiše, poplave i oluje. Kombinacija ovih faktora može rezultirati većim rizikom od katastrofa, naglašavajući potrebu za razumijevanjem i upravljanjem ovim obilježjima radi ublažavanja rizika i pripreme za katastrofe.

Reljef,

koji se odnosi na oblik površine zemlje kao što su planine, doline, ravnice i obale, ima značajan utjecaj na zdravlje čovjeka. Reljef može utjecati na kvalitetu zraka, mikroklimatske uvjete, dostupnost resursa i prirodne rizike, što sve zajedno može imati posredan ili neposredan utjecaj na fizičko i mentalno zdravlje ljudi.

Reljef ima dubok i višestruki utjecaj na okoliš, kvalitetu života i arhitektonska rješenja. Na primjer, reljef utječe na mikroklimatske uvjete, gdje planinska područja često imaju čišći zrak zbog prirodne ventilacije, dok doline mogu akumulirati zagađivače, što ima značajne posljedice na ljudsko zdravlje i ekološku održivost. Također, reljef određuje dostupnost resursa poput pitke vode, tla i minerala; dok planine mogu biti bogate čistom vodom, ravnice su često podložnije zagađenju i eroziji. U arhitekturi, reljef služi kao inspiracija za stvaranje građevina koje se harmonično uklapaju u prirodno okruženje, optimiziraju prostor i povećavaju energetske učinkovitost.

2.2. Klima

Klima⁴¹ je bitan faktor koji utječe na zdravlje čovjeka i definira osnovne elemente okruženja, jer klimatski uvjeti, kao što su temperatura, vlažnost i kvaliteta zraka mogu znatno varirati ovisno o zemljopisnom položaju. Ovi klimatski faktori imaju izravan ili posredan utjecaj na fizičko i mentalno zdravlje ljudi. Ekstremne temperature mogu negativno utjecati na zdravlje, uzrokujući toplinske udare, dehidraciju i druge zdravstvene probleme. Arhitektonsko djelovanje u prostoru je u neraskidivoj vezi sa klimatskim karakteristikama, te stoga i aktivno analiziranje klime prostora svakako u velikoj mjeri utječe na arhitektonski projekt.

2.3. Klimatske promjene: izazovi i prilagodbe

Klimatske promjene⁴² su stvarnost koja se danas osjeća u svakom aspektu života na planeti Zemlji. Nema sumnje da čovječanstvo igra značajnu ulogu u ovom procesu, s obzirom na to da je ljudska aktivnost glavni uzrok globalnog zagrijavanja.

Ljudske aktivnosti koje negativno utječu na klimu obuhvaćaju širok spektar sektora i praksi. Fosilna goriva igraju ključnu ulogu u emisiji CO₂, posebno kroz proizvodnju električne energije i industrijsku proizvodnju kao što su proizvodnja čelika, cementa i kemikalija. Transportni sektor, uključujući cestovni, zračni i pomorski promet, također je značajan izvor emisija CO₂. Poljoprivreda doprinosi emisijama metana i dušikovog oksida, dok odlagališta i metode obrade otpada proizvode metan i CO₂. Industrijski procesi, deforestacija i degradacija tla, loša energetska učinkovitost zgrada, intenzivna eksploatacija resursa, potrošački način života i povećan turizam također doprinose povećanim emisijama CO₂. Sve ove aktivnosti zajedno doprinose globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. Smanjenje emisija u ovim sektorima ključno je za ublažavanje klimatskih promjena i postizanje ciljeva održivog razvoja.

⁴¹ Hladna zona obuhvaća područja glacijalne klime na Arktiku i Antarktiku, s ekstremno niskim temperaturama poput -93,2°C na Antarktiku zbog slabog intenziteta sunčevih zraka. Zona tundre, s tundrskom ili alpskom klimom, obuhvaća regije poput Sibira, Aljaske, sjeverne Kanade, južnog Grenlanda, arktičke obale Europe, krajnjeg juga Čilea i Argentine te dijelova sjeverne Antarktike, s prosječnim zimskim minimumom od -15°C i ljetnim temperaturama između 0 i 15°C. Subpolarna zona, s subarktičkom klimom, proteže se između 50° i 70° geografske širine u područjima poput Sibira, sjeverne Kine, Kanade i Hokaida, s temperaturama koje zimi padaju do -40°C, dok ljeti prelaze 30°C uz prosječnu godišnju temperaturu od 10°C. Suptropska zona, prisutna u regijama poput New Orleansa, Hong Konga, Seville i Kanarskih otoka, spaja topla ljeta i blage zime. Tropska zona, koja obuhvaća intertropski pojas od 25 sjeverne do 25° južne geografske širine, karakterizira se visokim temperaturama i obiljem padavina tokom cijele godine. Važni astronomski događaji uključuju ravnodnevnicu 21. ožujka i 23. rujna, solsticije 22. lipnja (afelij) i 22. prosinca (perihel), obilježavajući sezonske promjene na sjevernoj i južnoj hemisferi.

⁴² Promjena u stanju klime koja se može identificirati (npr. korištenjem statističkih testova) promjenama srednje vrijednosti i/ili varijabilnosti njezinih svojstava i koja traje dulje razdoblje, obično desetljećima ili dulje. Klimatske promjene mogu biti posljedica prirodnih unutarnjih procesa ili vanjskih utjecaja kao što su modulacije solarnih ciklusa, vulkanske erupcije i stalne antropogene promjene u sastavu atmosfere ili korištenju tla. (izvor: *CLIMATE CHANGE 2023 Synthesis Report*, https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_FullVolume.pdf, (02.04.2023.))



Sintezno Izvješće IPCC-a⁴³ o klimatskim promjenama ističe da su ljudske aktivnosti, prvenstveno kroz emisije stakleničkih plinova, uzrokovale globalno zatopljenje, pri čemu je globalna površinska temperatura dosegla 1,1°C u razdoblju 2011.-2020. Izvješće naglašava da su globalne emisije stakleničkih plinova nastavile rasti, pri čemu 79% globalnih emisija stakleničkih plinova dolazi iz energetske, industrijske, transportne i građevinske sektora, a 22% iz poljoprivrede, šumarstva i drugog korištenja zemljišta u 2019. Klimatske promjene prouzrokovane od strane čovjeka već utječu na mnoge vremenske i klimatske ekstreme u svim regijama diljem svijeta, što dovodi do široko rasprostranjenih štetnih učinaka i povezanih gubitaka i šteta za prirodu i ljude. Izvješće naglašava hitnu potrebu rješavanja globalnih emisija stakleničkih plinova i njihovih utjecaja na klimu, sigurnost hrane i vode, posebno za ranjive zajednice. Također, naglašava da su ljudske aktivnosti uzrokovale globalno zatopljenje te da su se kao rezultat dogodile raširene i brze promjene u atmosferi, oceanu, kriosferi i biosferi.

Ako ne dođe do trenutnih, brzih i velikih smanjenja emisija stakleničkih plinova, ograničavanje zagrijavanja na oko 1,5°C ili čak 2°C bit će nemoguće. U Izvješću se ističe da su emisije iz ljudskih aktivnosti, kao što je izgaranje fosilnih goriva, primarni uzrok

⁴³ Sintezno izvješće (SYR) Šestog izvješća IPCC-a o procjeni (AR6) sažima stanje znanja o klimatskim promjenama, njihovim raširenim utjecajima i rizicima te ublažavanju klimatskih promjena i prilagodbi. Integrira glavne nalaze Šestog izvješća o procjeni (AR6) na temelju doprinosa triju radnih skupina i triju posebnih izvješća. Sažetak za donositelje politika (SPM) strukturiran je u tri dijela: A) Trenutno stanje i trendovi, B) Buduće klimatske promjene, rizici i dugoročni odgovori te C) Odgovori u kratkom roku. Ovo izvješće prepoznaje međuovisnost klime, ekosustava i bioraznolikosti te ljudskih društava; vrijednost različitih oblika znanja; i bliske veze između prilagodbe klimatskim promjenama, ublažavanja, zdravlja ekosustava, dobrobiti ljudi i održivog razvoja, te odražava sve veću raznolikost aktera uključenih u klimatske akcije.

globalnog zatopljenja, a očekuje se da će zagrijavanje dosegnuti ili premašiti 1,5°C tijekom sljedećih 20 godina ako se emisije nastave trenutnom brzinom.⁴⁴

Klimatske promjene su složen i višedimenzionalan fenomen koji je rezultat kombinacije prirodnih i antropogenih čimbenika koji djeluju tijekom dužeg vremenskog razdoblja. Prije industrijske revolucije, prirodne klimatske varijacije, vulkanske erupcije i promjene u Sunčevoj aktivnosti bile su glavni faktori koji su utjecali na klimu Zemlje. Na primjer, ledeno doba i interglacijalni periodi bili su prirodni ciklusi koji su oblikovali klimu Zemlje tijekom milijuna godina.

Ipak, industrijska revolucija je značajno ubrzala i pojačala klimatske promjene, postavljajući novu "antropocensku" epohu⁴⁵ u kojoj ljudska aktivnost igra dominantnu ulogu u oblikovanju globalne klime.

Prema izvještaju Međuvladinog panela za klimatske promjene (IPCC), emisije stakleničkih plinova od industrijske revolucije su udvostručene, a koncentracija CO₂ u atmosferi je porasla za više od 40% u usporedbi s prirodnim razinama prije industrijske ere.

Industrijalizacija predstavlja povijesni period intenzivnog razvoja industrijske proizvodnje i tehnologije koji je započeo u 18. i 19. stoljeću, transformirajući društva i ekonomije širom svijeta. Ovaj proces donio je masovnu proizvodnju roba, ubrzan urbanizacijski rast i fundamentalnu promjenu u načinu života ljudi, što je kulminiralo u globalnoj promjeni ekonomskih i društvenih dinamika. U kontekstu klimatskih promjena, industrijska revolucija je imala dubok i dugotrajan utjecaj, posebno kroz snažan rast potrošnje fosilnih goriva kao što su ugljen, nafta i plinovi. Prema podacima Međunarodne energetske agencije (IEA), globalna potrošnja ugljena, nafte i plina povećala se za više od 130% od 1971. do 2019. godine, što je rezultiralo značajnim povećanjem emisija stakleničkih plinova. Ove emisije, posebno ugljični dioksid (CO₂) i metan, akumulirale su se u atmosferi i postale glavni uzročnici globalnog zatopljenja i promjena klime.

Provedba strategija za smanjenje emisija unutar industrijskog sektora može dovesti do pomaka u zemljopisnom položaju industrija koje intenzivno proizvode stakleničke plinove i promjena u organizaciji vrijednosnih lanaca⁴⁶. To bi moglo imati distribucijske implikacije na zaposlenost i ekonomske strukture, sa srednjom razinom povjerenja u ovo predviđanje. Nadalje, klimatske promjene

⁴⁴ IPCC, 2023

⁴⁵ Antropocenska epoha odnosi se na prijedlog nove geološke epohe u kojoj su ljudske aktivnosti postale dominantna sila koja oblikuje Zemljin ekosustav, klimu i geološke procese. Pojam dolazi od grčkih riječi *anthropos* (čovjek) i *kainos* (novo), što sugerira da se radi o "novom dobu čovjeka". Ovaj koncept još nije službeno priznat od strane Međunarodne komisije za stratigrafiju, ali se naširoko koristi u znanstvenim i društvenim raspravama. Izvor: Crutzen, Stoermer, 2000: 17-18.

⁴⁶ Vrijednosni lanci (eng. *value chains*) predstavljaju niz aktivnosti koje poduzeće ili industrija obavlja kako bi stvorilo proizvod ili uslugu i isporučilo je krajnjem korisniku, pri čemu se u svakoj fazi dodaje određena vrijednost. Cilj vrijednosnog lanca je maksimizirati vrijednost za kupca, istovremeno optimizirajući resurse i troškove. Izvor: Porter, 1985.

negativno utječu na različite industrijske i uslužne sektore, uzrokujući poremećaje u opskrbnom lancu i operativne izazove, posebice zbog ekstremnih vremenskih prilika. Posljedično, ti će sektori zahtijevati snažne mjere prilagodbe za povećanje otpornosti. Industrije koje intenzivno koriste vodu, kao što je rudarstvo, mogu usvojiti posebne mjere za ublažavanje nedostatka vode. To može uključivati recikliranje i ponovnu upotrebu vode, dobivanje iz boćatih ili slanih vodnih tijela i poboljšanje ukupne učinkovitosti korištenja vode. Unatoč tome, preostali rizici će i dalje postojati, osobito u scenarijima ozbiljnijeg zatopljenja.⁴⁷

Nadalje, industrijska aktivnost nije samo povećala emisije stakleničkih plinova, već je i pridonijela širenju zagađenja zraka, vode i tla. Prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji (WHO) onečišćenje zraka izazvano industrijskim emisijama odgovorno je za smrt milijuna ljudi svake godine, dok zagađenje vode i tla utječe na kvalitetu života i biološku raznolikost ekosustava.

Industrijska aktivnost također je imala duboke i složene posljedice na ekosustave, pridonoseći degradaciji prirodnih staništa, gubitku bioraznolikosti i smanjenju kapaciteta ekosustava da apsorbiraju i skladište ugljik. Prema Ujedinjenim narodima za okoliš (UNEP), više od 75% kopnenih površina je značajno izmijenjeno ljudskim aktivnostima, što je ključni faktor u ubrzanju klimatskih promjena i gubitku prirodnih ekosustava. Sve znanstvene studije predstavljene na međunarodnim konferencijama ukazuju na alarmantnost situacije, a neke od njih tvrde da je proces nepovratan. Ipak, postoji nada u potpunom prelasku na obnovljive izvore energije, što bi moglo smanjiti emisije CO₂ i usporiti klimatske promjene.

Prema podacima NASA-e,

globalna temperatura se povećala za oko 1°C

u posljednjih 100 godina, a rast je u posljednjem desetljeću bio gotovo dvostruko veći nego u prethodnom stoljeću. Ovo ima značajne posljedice po život na planeti Zemlji. Prema najnovijem izvješću Svjetske meteorološke organizacije (WMO), 2021. godina bila je jedna od najtoplijih godina u povijesti mjerenja. Trenutni parametri o globalnom zagrijavanju nisu optimistični, ali određeni broj znanstvenika tvrdi da bi se proces porasta prosječne godišnje temperature mogao zaustaviti na 1 Kelvin uz proces smanjenja emisije CO₂ na godišnjoj razini za 1%.

Bosna i Hercegovina je površinski mala zemlja koja nije u stanju utjecati na spomenuti proces, kao što to mogu SAD, Kina, Rusija ili Indija kao najveći svjetski potrošači energije i emiteri CO₂.⁴⁸ Arhitektura s manjom emisijom CO₂ i smanjenom energetsom potrebom postaje ključna u odgovoru na klimatske promjene. Razvijanje energetske učinkovite arhitekture i transformacija postojećih zgrada u energetske učinkovite, moderne i udobne za stanovnike su ključni koraci za smanjenje emisije CO₂ i zaštitu života na planeti.

A kako će izgledati svijet za 30 godina?

⁴⁷ IPCC, 2023

⁴⁸ EPA United States Environmental Protection Agency, www.epa.gov (20.12.2024.)

U posljednjih 30 godina svijet je doživio mnoge značajne promjene, kako pozitivne tako i negativne. Neki od ključnih trendova i promjena koji su oblikovali svijet u posljednjih 30 godina su razvoj interneta, mobilne tehnologije, društvenih mreža i umjetne inteligencije. Ove tehnologije promijenile su način na koji komuniciramo, a integracija svjetskih tržišta i ekonomija omogućila bržu razmjenu informacija, robe i usluga, što je u konačnici doprinijelo rastu svjetske ekonomije. Porast svijesti o klimatskim promjenama i očuvanju okoliša rezultirao je većim investicijama u obnovljive izvore energije i održive prakse. Među lošim promjenama bilježimo klimatske promjene, jer porast globalne temperature, ekstremni vremenski uvjeti i porast razine mora predstavljaju ozbiljnu prijetnju za planet Zemlju. Svijet je danas sve naseljeniji i povezaniji. Postavljaju se pitanja:

Kako će povećan obim ljudskih aktivnosti utjecati na okolinu? Točnije, da li će svijet biti “topliji”? Kako će se klima mijenjati?⁴⁹

Globalno zagrijavanje predstavlja jedan od ključnih izazova za globalni ekosistem i čovječanstvo u 21. vijeku. Ova pojava manifestira se kao postepeni porast prosječne temperature Zemljine površine, uzrokujući promjene u klimatskim sistemima širom Planete. Osobine stakleničkih plinova, kao što su ugljični dioksid (CO_2), metan (CH_4), i dušični oksid (N_2O), ključne su za razumijevanje globalnog zagrijavanja. Kada Sunčeva svjetlost dospije do Zemljine površine, ona se reflektira i emitira natrag u svemir kao infracrveno zračenje. Staklenički plinovi u atmosferi apsorbiraju ovu infracrvenu energiju, čime se povećava temperatura atmosfere. Ovaj prirodni proces, poznat kao staklenički efekt, omogućava Zemlji da zadrži toplotu i održava povoljne uvjete za život.

Povećana koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi dovodi do pojačanog efekta staklenika. Kako se emisija ovih plinova povećava uslijed ljudskih aktivnosti, kao što su sagorijevanje fosilnih goriva, industrijska proizvodnja, saobraćaj, krčenje šuma, tako se i efekt staklenika pojačava. To rezultira zadržavanjem veće količine toplote u Zemljinoj atmosferi, što uzrokuje globalno zagrijavanje i klimatske promjene.

Postizanje brzog i značajnog smanjenja emisija stakleničkih plinova (GHG) zahtijeva značajne transformacije u energetsom sustavu.

Energetski sustav s neto nultim ugljikovim dioksidom (CO_2) uključuje nekoliko ključnih komponenti. To uključuje znatno smanjenje ukupne potrošnje fosilnih goriva, ograničenu upotrebu fosilnih goriva bez hvatanja ugljika i implementaciju tehnologija hvatanja i skladištenja ugljika u preostalim sustavima fosilnih goriva.

Značajna smanjenja emisija mogu se postići različitim mjerama koje koštaju manje od 20 USD po toni ekvivalenta CO_2 . Ove mjere uključuju usvajanje solarne energije i energije vjetra, poboljšanja energetske učinkovitosti i smanjenje emisija metana (CH_4) koje

⁴⁹ Ljudske aktivnosti već utječu na klimu i ona će se ona mijenjati u budućnosti. Izvor: Houghton, 2015.

proizlaze iz rudarenja ugljena, vađenja nafte i plina i upravljanja otpadom. Tehnička održivost ovih strategija odgovora dobro je utvrđena i dobiva snažnu podršku javnosti.⁵⁰

U određenim regijama i sektorima nastavak rada sustava s visokim emisijama može se pokazati skupljim od prelaska na alternative s niskim emisijama. Štoviše, klimatske promjene i povezani ekstremni događaji neizbježno će utjecati na buduće energetske sustave, utječući na područja kao što su proizvodnja hidroenergije, proizvodnja bioenergije, učinkovitost termoelektrana i potražnja za uslugama grijanja i hlađenja.

Strategije prilagodbe koje su usmjerene na povećanje otpornosti infrastrukture, osiguranje pouzdane opskrbe električnom energijom i promicanje učinkovite upotrebe vode za postojeće i nove sustave proizvodnje energije vrlo su izvedive i potkrijepljene sveobuhvatnim dokazima. Na primjer, mjere prilagodbe za proizvodnju hidroenergije i termo-električne energije pokazuju učinkovitost u većini regija do povećanja temperature od 1,5 do 2°C, iako sa smanjenom učinkovitošću pri višim temperaturama.⁵¹

Diverzifikacija proizvodnje energije uključivanjem vjetroelektrana, solarnih i hidroelektrana malih razmjera, zajedno s inicijativama za upravljanje potrebama kao što su skladištenje energije i poboljšanja učinkovitosti, može ojačati energetske pouzdanost i umanjiti klimatske izazove. Na kraju, izvedivost implementacije energetskih tržišta koja odgovaraju klimatskim promjenama, revizije standarda dizajna energetskih sredstava radi usklađivanja s trenutnim i očekivanim scenarijima klimatskih promjena, implementacije tehnologija pametne mreže, uspostavljanja robusnih prijenosnih sustava i povećanja kapaciteta za rješavanje problema s nedostatkom opskrbe visoka je tijekom srednjeg razdoblja. Važno je da ove mjere također nude dodatne koristi u smislu nastojanja za ublažavanje.⁵²

Da bi se smanjile emisije stakleničkih plinova i ublažile posljedice globalnog zagrijavanja, neophodno je poduzeti odlučne mjere. Tranzicija ka obnovljivim izvorima energije, energetska efikasnost, očuvanje šuma i ekosistema, te prilagođavanje klimatskim promjenama predstavljaju ključne strategije za smanjenje utjecaja globalnog zagrijavanja. Pariški sporazum, koji je potpisan 2015. godine, predstavlja globalni okvir za borbu protiv klimatskih promjena, sa ciljem da se ograniči porast globalne temperature ispod 2°C u odnosu na predindustrijski nivo.⁵³

⁵⁰ IPCC, 2023.

⁵¹ IPCC, 2023.

⁵² IPCC, 2023

⁵³ Pariški sporazum (2015): Članak 2 (1) a): „...zadržavanja povećanja globalne prosječne temperature na razini koja je znatno niža od 2 ° C iznad razine u predindustrijskom razdoblju te ulaganjem napora u ograničavanje povišenja temperature na 1,5 ° C iznad razine u predindustrijskom razdoblju, prepoznajući da bi se time znatno smanjili rizici i utjecaji klimatskih promjena.“ Izvor:

[https://www.obzoreuropa.hr/userfiles/files/Klaster%206/CELEX_22016A1019\(01\)_HR_TXT_Paris.pdf](https://www.obzoreuropa.hr/userfiles/files/Klaster%206/CELEX_22016A1019(01)_HR_TXT_Paris.pdf) (14.01.2025.)

Povećanje globalne temperature ima širok spektar posljedica, uključujući topljenje ledenih pokrivača, porast nivoa mora, ekstremne vremenske uvjete, gubitak biodiverziteta, te ugrožavanje ljudskih zajednica i ekosistema. Razine mora su porasle za oko 20 centimetara u posljednjem stoljeću, a procjenjuje se da bi mogle porasti za dodatnih 30-60 centimetara do kraja ovog stoljeća. Otpuštanje leda na Arktiku i Antarktiku dramatično utječe na globalne razine mora, što prijeti obalnim zajednicama i infrastrukturi.⁵⁴

2.4. Resursi u doba klimatskih promjena: kriza ili prilika?

Klimatske promjene imaju značajan utjecaj i na obnovljive i neobnovljive resurse, mijenjajući njihovu dostupnost, kvalitetu, ekonomsku vrijednost i održivost. Ove promjene stvaraju izazove u upravljanju resursima i zahtijevaju prilagodbu i inovativna rješenja kako bi se osiguralo njihovo održivo korištenje i očuvanje za sadašnje i buduće generacije.

Vodeni resursi

Klimatske promjene utječu na hidrološki ciklus, uzrokujući promjene u oborinama, snijegu, otapanju glečera i protoku rijeka. Ovo može rezultirati povećanom sušom, poplavama, erozijom tla i smanjenom dostupnošću pitke vode, što utječe na održivost hidroenergije, poljoprivrede, industrije i ekoloških sustava koji ovise o vodenim resursima.

Biomasa i šumski resursi

Povećanje temperature, suša, požari utječu na rast, zdravlje i produktivnost šuma i poljoprivrednih kultura. Ovo može smanjiti količinu i kvalitetu dostupne biomase za proizvodnju bioenergije, građevinskih materijala, hrane i druge proizvode, te ugroziti bioraznolikost i prirodne procese koji pružaju ključne koristi za ljude i okoliš.

Obnovljivi izvori energije

Klimatske promjene mogu utjecati na dostupnost i efikasnost obnovljivih izvora energije kao što su solarna, energija vjetra i hidroenergija. Promjene u klimatskim uvjetima, sezonskim oborinama i temperaturama mogu utjecati na proizvodnju energije, infrastrukturu i ekonomsku isplativost ovih tehnologija.

Fosilna goriva

Klimatske promjene potiču potražnju za fosilnim gorivima zbog povećane potrebe za hlađenjem, grijanjem i mobilnošću, dok istovremeno smanjuju dostupnost i kvalitetu rezervi nafte, ugljena i plina zbog erozije, poplava, podizanja razine mora i ekstremnih vremenskih uvjeta. Ovo može dovesti do povećanja cijena, energetske nesigurnosti, ekonomskih i geopolitičkih napetosti, te dodatnog pritiska na ekosustave i zajednice koje ovise o fosilnim gorivima.

⁵⁴ WMO (2021). WMO potvrđuje da je 2021. godina među sedam najtoplijih godina zabilježenih do sada. World Meteorological Organization (Svjetska meteorološka organizacija). Izvor: <https://public.wmo.int/media/news/2021-one-of-seven-warmest-years-record-wmo-consolidated-data-shows>

Rudna bogatstva

Klimatske promjene utječu na dostupnost, ekstrakciju i preradu rudnih resursa. Promjene u klimatskim uvjetima, vodnim resursima i energetske potrebama mogu otežati eksploataciju i održivost rudnika, utjecati na kvalitetu i količinu iskopanih resursa, te zahtijevati inovativna rješenja za održivo upravljanje otpadom, recikliranje i obnovu rudnih područja.

Znanstvena istraživanja, predstavljena na međunarodnim konferencijama, jasno ukazuju na ozbiljnost situacije, a mnogi znanstvenici ističu da je proces već dostigao točku nepovratnosti te da se može očekivati daljnje pogoršanje u budućnosti.⁵⁵ S obzirom na te činjenice, ključno je prepoznati nužnost prijelaza na obnovljive izvore energije kako bi se ublažili negativni utjecaji klimatskih promjena.

2.5. Prirodne katastrofe u posljednja tri desetljeća: što smo naučili?

U posljednjih 30 godina, prirodne katastrofe postale su sve češće i intenzivnije, što je imalo značajan utjecaj na ljude, okoliš i globalnu klimu.⁵⁶ Zemljotres u Japanu 2011. godine, praćen razornim cunamijem, bio je jedna od najskupljih elementarnih nepogoda u tom razdoblju, dok su širenje potencijalne opasnosti od požara i ostale katastrofe pokazale rastući trend prirodnih katastrofa.⁵⁷ Već sada su nam poznate promjene kad je u pitanju klima, jer su iste dio naših života. Opisujemo ljeta vruće ili suho, zime kao blage, hladne ili olujne. Najznačajnije i najgore katastrofe u svijetu su povezane sa vremenskim prilikama ili klimom⁵⁸. Svakodnevno

⁵⁵ IPCC, 2019.

⁵⁶ IPCC, 2018., NASA Climate Change, 2020.

⁵⁷ UNDRR, 2019.

⁵⁸ UNDRR, 2019.

u medijima slušamo i čitamo o katastrofama kao što su tropski uragani, vjetro-oluje, poplave ili tornada, te suše čiji se efekti sporije osjete, ali koje predstavljaju najvjerojatnije i najgoru posljedicu klimatskih promjena.⁵⁹

U posljednjih 30 godina svijet je svjedočio porastu učestalosti i intenziteta prirodnih katastrofa. Evo pregleda nekih od najznačajnijih prirodnih katastrofa koje su se dogodile u tom periodu:

Tablica 2.1., tabelarni prikaz najvećih prirodnih katastrofa u svijetu, izvor: autor

Naziv	Opis	
Tsunami i zemljotresi	Zemljotres i tsunami u Indijskom oceanu 2004	Ovaj zemljotres magnitude 9,1–9,3 pokrenuo je ogroman tsunami koji je pogodio obale mnogih zemalja u Indijskom oceanu. Smatra se jednim od najsmrtonosnijih prirodnih katastrofa u povijesti, s više od 230.000 poginulih. ⁶⁰
	Zemljotres u Haitiju 2010.	Zemljotres magnitude 7,0 pogodio je Haitiju, uzrokujući velike materijalne štete i gubitak života. Procjenjuje se da je poginulo oko 230.000 ljudi. ⁶¹
Cikloni i uragani	Uragan <i>Katrina</i> 2005.	Ovaj uragan četvrte kategorije bio je jedan od najrazornijih uragana u povijesti SAD-a, posebno za New Orleans. Prouzrokovao je velike poplave i uzrokovao smrt više od 1.800 ljudi. ⁶²
	Uragan <i>Haiyan</i> 2013.	Uragan <i>Haiyan</i> , jedan od najjačih uragana ikad zabilježen, pogodio je Filipine i uzrokovao velike poplave, klizišta i gubitak života. Procjenjuje se da je poginulo oko 6.300 ljudi. ⁶³
Poplave	Poplave u Pakistanu 2010.	Nevrijeme i poplave pogodile su Pakistan, uzrokujući velike štete i gubitak života. Procjenjuje se da je više od 2.000 ljudi poginulo, a milioni su ostali bez domova. ⁶⁴
	Poplave u Južnoj Aziji 2017.	Neprekidne kiše izazvale su poplave i klizišta u Indiji, Nepal i Bangladešu, uzrokujući smrt više od 1.200 ljudi i ozbiljne materijalne štete. ⁶⁵
Šumski požari	Požari u Australiji 2019./2020.	Ogromni šumski požari poharali su Australiju, uzrokujući smrt nekoliko ljudi, uništavajući stotine domova i ubijajući milijune životinja. ⁶⁶
	Požari u Kaliforniji 2018.	Najsmrtonosniji i najrazorniji požari u povijesti Kalifornije, uzrokovali su smrt više od 100 ljudi i uništenje tisuća domova. ⁶⁷
Suše	Suša u Somaliji 2011.	Teška suša u Somaliji dovela je do humanitarne krize s milijunima ljudi koji su se borili za preživljavanje zbog nedostatka hrane i vode. ⁶⁸
	Suša u j. Africi 2015-2018.	Jedna od najgorih suša u povijesti Južne Afrike prouzrokovala je ozbiljne probleme s opskrbom vodom i uzrokovala ekonomske gubitke u poljoprivredi. ⁶⁹

⁵⁹ UNDRR, 2019.

⁶⁰ United States Geological Survey, *The Sumatra-Andaman Islands Earthquake and Tsunami of December 26, 2004: Lifeline Performance*, USGS, 2005.

⁶¹ Centers for Disease Control and Prevention (CDC), *Earthquake and Tsunami in Haiti: Emergency Water, Sanitation and Hygiene (WASH) Response*. CDC, 2010.

⁶² National Hurricane Center (NHC), *Tropical Cyclone Report: Hurricane Katrina*, NHC, 2005.

⁶³ National Disaster Risk Reduction and Management Council (NDRRMC), *Situation Report: Effects of Typhoon Yolanda (Haiyan)*, NDRRMC, 2014.

⁶⁴ Government of Pakistan, *Floods 2010: Preliminary Damage and Needs Assessment*, Government of Pakistan, 2010.

⁶⁵ International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC), *South Asia: Monsoon Floods Situation Report No. 2*. IFRC, 2017.

⁶⁶ Australian Government, *Australian Bushfires 2019-2020: Insights and Analysis*. Australian Government, 2020.

⁶⁷ California Department of Forestry and Fire Protection (CAL FIRE), *2018 Fire Siege Review*. CAL FIRE, 2019.

⁶⁸ United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA), Somalia: 2011 Humanitarian Response Plan, OCHA, 2012.

⁶⁹ South African Weather Service (SAWS), *Climate Change Projections and Trends in South Africa*. SAWS, 2018.

Balkan

U posljednjih nekoliko desetljeća i područje Balkana je bilo pogođeno brojnim prirodnim katastrofama koje su ostavile dubok trag na regiju. Poplave koje su zahvatile Srbiju, Bosnu i Hercegovinu te Hrvatsku 2014. godine prouzrokovale su značajne štete, a prema izvještaju Vlada ovih zemalja, bila je potrebna detaljna procjena štete i potreba za obnovom. Slično tome, Makedonija je 2016. godine doživjela ozbiljne poplave, što je rezultiralo procjenom utjecaja i mjera oporavka.⁷⁰ Zemljotresi su također značajna prijetnja regiji; zemljotres u Albaniji 2019. godine ostavio je duboke posljedice na infrastrukturi i zajednicama⁷¹, dok je zemljotres u Crnoj Gori 1979. godine i dalje relevantan za razumijevanje seizmičke aktivnosti i dugoročnih učinaka na regiju.⁷² Šumski požari također predstavljaju značajan izazov; požari u Dalmaciji 2017. godine i u Grčkoj 2018. godine pokazali su katastrofalne posljedice i potrebu za učinkovitijim sustavima zaštite i prevencije.⁷³

Klimatske promjene sve više pogoršavaju situaciju, s dugotrajnim sušama koje su pogađale Bosnu i Hercegovinu 2012. godine i Albaniju 2017. godine, što ukazuje na hitnu potrebu za prilagodbom i boljom pripremljenošću na ekstremne vremenske događaje u regiji.⁷⁴

Učestalost i intenzitet ovih prirodnih katastrofa ukazuju na hitnu potrebu za globalnom akcijom u borbi protiv klimatskih promjena i pripremi za buduće katastrofe. Navedeni događaji također potvrđuju projekcije Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC) o povećanju ekstremnih vremenskih događaja u budućnosti.

Različite prirodne katastrofe, poput zemljotresa, vulkanskih erupcija, poplava, tajfuna i cunamija, uzrokovale su ozbiljne promjene u okolišu.⁷⁵ Poplave su prouzrokovale eroziju tla, onečišćenje voda i uništavanje ekosustava. Zemljotresi su uzrokovali pukotine u tlu, promjene u reljefu i moguće onečišćenje tla. Tajfuni i cikloni su donijeli snažne vjetrove i obilne kiše, što je rezultiralo poplavama, odronima tla i oštećenjem vegetacije. Sve ove katastrofe imale su dugoročne posljedice na okoliš, naglašavajući važnost održavanja ravnoteže i zaštite prirode kako bi se ublažile štetne posljedice na okoliš. Iako prirodne katastrofe nisu direktno utjecale na klimu, one su doprinijele globalnom zatopljenju, koje je uzrokovano ljudskim djelovanjem.⁷⁶ Ljudska aktivnost, posebno sagorijevanje fosilnih goriva poput ugljena i nafte, glavni je faktor koji doprinosi povećanju koncentracije atmosferskog ugljičnog dioksida (CO₂) i globalnom trendu zagrijavanja.⁷⁷

⁷⁰ Government of North Macedonia, *Floods 2016: Impact and Recovery*, 2016.

⁷¹ Albanian Geological Survey, *Earthquake Impact and Response in Albania*, 2019.

⁷² Institute of Seismology, University of Montenegro, *The 1979 Montenegro Earthquake: Impact and Lessons Learned*, 1979.

⁷³ Croatian Firefighting Association, *Wildfires in Dalmatia 2017: Overview and Impact*, 2017.

⁷⁴ Federal Hydrometeorological Institute, Bosnia and Herzegovina. *Drought 2012: Impact and Response in Bosnia and Herzegovina*, 2012, Albanian Institute of Geosciences, *Energy, Water and Environment, Drought 2017: Impact and Response in Albania*, 2017.

⁷⁵ IPCC, *Special Report on Global Warming of 1.5° C*, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2018.

⁷⁶ NASA, *Climate Change: How Do We Know?* NASA Climate Change, 2020.

⁷⁷ Ibid

Nedavne studije i izvještaji UN-a pokazuju da su ekstremne vremenske prilike postale češće i intenzivnije, uzrokujući ozbiljne posljedice po ljude i okoliš. Broj raseljenih osoba zbog prirodnih katastrofa i ekstremnih vremenskih događaja kontinuirano raste, što dodatno naglašava hitnost potrebe za globalnim djelovanjem u borbi protiv klimatskih promjena.⁷⁸ Ekonomske štete povezane s prirodnim katastrofama također rastu, s posebnim naglaskom na zemlje u razvoju i s niskim prihodima koje su najviše pogođene zbog nedostatka adekvatnih sustava upozorenja i upravljanja krizama. Pandemija COVID-19 dodatno je zakomplicirala situaciju, stvarajući dodatne izazove u suočavanju s posljedicama klimatskih promjena.⁷⁹ U svjetlu ovih informacija, postaje jasno da je potrebno intenzivirati napore u smanjenju emisija stakleničkih plinova i jačanju mjera prilagodbe kako bi se ublažile posljedice.

2.6. Urbano okruženje

Urbano okruženje je kompleksni skup elemenata i prostornih odnosa koji čine gradsku strukturu i oblikuju naše živote. Ono je proizvod ljudske aktivnosti i kulture te uključuje različite aspekte poput građevina, infrastrukture, javnih prostora, ekosustava i društvenih interakcija.

U posljednjih 30 godina, kretanje ljudi na globalnom nivou je bilo obilježeno značajnim promjenama i trendovima. Primjetna je tendencija rasta globalne populacije, koja se odražava kao postupno i stalno povećanje ukupnog broja ljudi na planeti Zemlji. Ovo je rezultat je kombinacije faktora kao što su povećana stopa nataliteta, poboljšane medicinske i zdravstvene usluge, smanjena stopa smrtnosti, migracije te socioekonomski i kulturni čimbenici. U 20. stoljeću svjedočili smo eksponencijalnom rastu globalne populacije. Prema podacima Ujedinjenih naroda, populacija svijeta je s manje od 2 milijarde ljudi u 1920-ima porasla na preko 7 milijardi do 2010-ih. Prognoze pokazuju da će se svjetska populacija i dalje povećavati, sa stabilizacijom na nekih 10 milijardi ljudi sredinom 21. stoljeća.⁸⁰ Prema istraživanju UN-Habitat-a, oko 70% svjetske populacije živjet će u gradovima do 2050. godine, što dodatno naglašava potrebu za održivim urbanim rješenjima.⁸¹

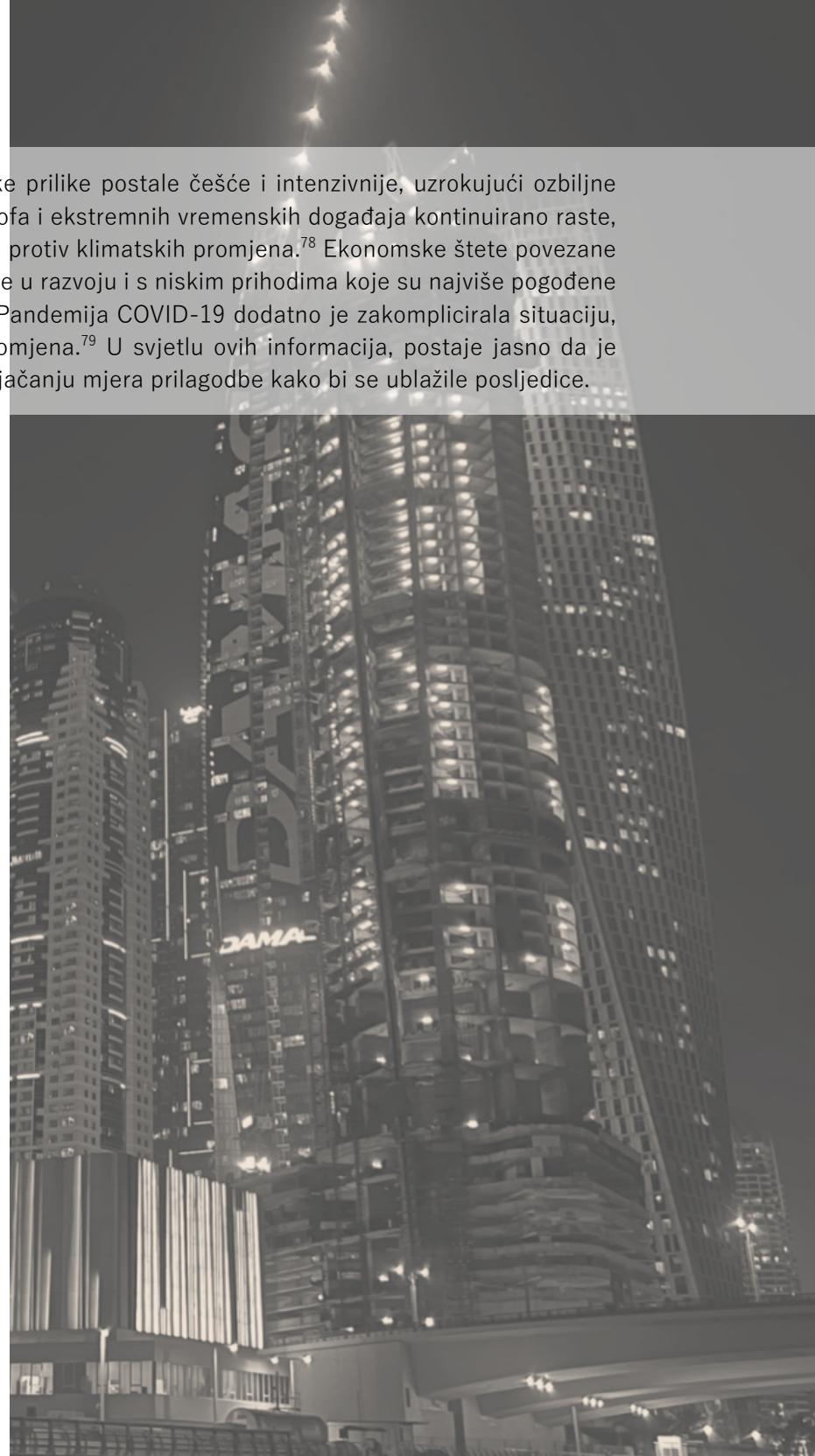
⁷⁸ UNHCR, *Global Trends Forced Displacement in 2020*.

United Nations High Commissioner for Refugees, 2021.

⁷⁹ WHO, *COVID-19 and climate change*. World Health Organization, 2020.

⁸⁰ Ujedinjeni narodi, "World Population Prospects 2019".

⁸¹ UN-Habitat, Svjetski izvještaj o stanju gradova, 2020.



Ova tendencija rasta globalne populacije stavlja pred svijet niz izazova. Održivo urbanističko planiranje postaje sve važnije kako bi se adekvatno odgovorilo na potrebe rastućih gradskih populacija, dok upravljanje resursima postaje ključno s obzirom na ograničene resurse i potrebu za njihovom održivom upotrebom.

Pristup obrazovanju, zdravstvu i osnovnim potrebama također postaje kritičan, posebno u kontekstu zemalja u razvoju gdje je potrebno osigurati pristup temeljnim uslugama za sve građane. Zaštita okoliša i bioraznolikosti postaju još jedan ključni aspekt, s obzirom na potrebu za očuvanjem ekosustava i njihovih usluga za buduće generacije.

Gradovi i naselja su jezgra urbano okruženja i predstavljaju guste urbane prostore s različitim građevinama i infrastrukturom. Međutim, ubrzana urbanizacija i nedovoljno planiranje mogu povećati osjetljivost gradova na klimatske promjene, uključujući rizik od poplava, erozije tla i urbanog toplinskog otoka.

Prometne površine, poput ulica, avenija i cesta, igraju ključnu ulogu u povezivanju različitih dijelova grada i omogućuju kretanje ljudi i vozila. No, porast broja vozila i nedostatak održivih transportnih rješenja doprinose zagađenju zraka i emisijama stakleničkih plinova. Prema Europskoj agenciji za okoliš, transport je odgovoran za gotovo četvrtinu ukupnih emisija stakleničkih plinova u EU.⁸²

Građevinske strukture, uključujući stambene zgrade, poslovne zgrade, škole, bolnice, crkve i spomenici, oblikuju urbani pejzaž i odražavaju kulturnu i povijesnu baštinu grada. U kontekstu klimatskih promjena, potrebno je razvijati održive i ekološki osviještene građevinske prakse koje će smanjiti utjecaj gradnje na okoliš i prilagoditi se promjenjivim klimatskim uvjetima. Prema Svjetskoj banci, održiva urbanizacija može doprinijeti smanjenju emisija stakleničkih plinova i povećanju otpornosti gradova na klimatske promjene.⁸³

Sintezno izvješće AR6 naglašava brže promjene u klimatskom sustavu Zemlje zbog klimatskih promjena uzrokovanih ljudskim djelovanjem, koje već utječu na vremenske i klimatske ekstreme u svakoj regiji na globalnoj razini. Izvješće naglašava da su ranjive zajednice nesrazmjerno pogođene ovim promjenama, s 3,3 do 3,6 milijardi ljudi koji žive u okruženjima vrlo osjetljivim na klimatske promjene. Izvješće navodi da je ljudski utjecaj zagrijao atmosferu, ocean i kopno, što je dovelo do povećanja globalne srednje razine mora za 0,20 m između 1901. i 2018. godine. Prosječna stopa porasta razine mora porasla je s 1,3 mm godišnje između 1901. i 1971. na 3,7 mm godišnje između 2006. i 2018. godine. Ljudski utjecaj vrlo je vjerojatno glavni pokretač ovih povećanja barem od 1971. godine.⁸⁴

U današnjem svijetu, gdje se urbanizacija ubrzano odvija i klimatske promjene postaju sve izraženije, važno je razvijati urbane prostore koji su održivi i prilagođeni potrebama svih građana. Integriran i holistički pristup planiranju i dizajnu urbanih prostora

⁸² EEA, Izvještaj o emisijama stakleničkih plinova, 2021.

⁸³ Svjetska banka, Izvještaj o urbanizaciji i klimatskim promjenama, 2019.

⁸⁴ IPCC, 2023.

može pozitivno utjecati na socijalnu dinamiku, ponašanje i kvalitetu života u zajednici, te doprinijeti stvaranju harmoničnog i održivog urbanog okruženja. Održivi urbanistički i arhitektonski pristupi, koji uzimaju u obzir klimatske promjene i promoviraju ekološku osviještenost, postaju neophodni za budući razvoj gradova i njihovu sposobnost prilagodbe i otpornosti na klimatske izazove.⁸⁵

2.6.1. Socijalno okruženje

Obuhvata širok spektar međuljudskih interakcija, kolektivnih aktivnosti, kulturnih i tradicionalnih obrazaca. Ovo se područje odnosi na socijalne mreže, etičke i društvene norme, obrazovne institucije te kulturne entitete koji formiraju tkivo urbanog života. U urbanim centrima, ova socijalna dinamika je evidentna kroz javne prostore poput parkova, trgova, knjižnica, obrazovnih institucija i kulturnih centara, koji služe kao arene za okupljanje, diskusiju, kolaboraciju i formiranje kolektivnog identiteta.

Socijalno okruženje čovjeka je ključni faktor koji utječe na kvalitetu života, međuljudske odnose, produktivnost i opću dobrobit pojedinca. Arhitektura, kao multidisciplinarna praksa, igra značajnu ulogu u oblikovanju socijalnog okruženja.⁸⁶ Arhitektonska struktura može poticati ili ograničavati društvenu povezanost i interakciju među ljudima. Na primjer, javni prostori, trgovi i parkovi koji su dizajnirani da potiču susrete i interakciju među ljudima mogu promicati osjećaj zajedništva i pripadnosti, dok zgrade i stambeni kompleksi koji su zatvoreni i izolirani mogu ograničavati socijalnu interakciju i komunikaciju.⁸⁷

Sigurnost je važan aspekt socijalnog okruženja koji treba uzeti u obzir pri planiranju i dizajniranju arhitektonskih prostora. Dobro osvijetljeni, pregledni i dobro dizajnirani javni prostori mogu povećati osjećaj sigurnosti i dobrobiti među korisnicima. U suštini, socijalno okruženje čovjeka u kontekstu arhitekture odnosi se na stvaranje prostora koji podržavaju društvenu povezanost, inkluzivnost, kulturnu i identitetsku povezanost, te osiguravaju sigurnost i dobrobit svim korisnicima. Kroz integraciju ovih principa, arhitektura može postati ključni faktor u unapređenju socijalnog okruženja i kvalitete života ljudi na globalnoj razini.

U svojoj knjizi

The Meaning of the Built Environment: A Nonverbal Communication Approach,
Amos Rapoport

istražuje kompleksan odnos između arhitekture i ljudskog ponašanja. Uvodi koncept prema kojem izgrađeni okoliš služi kao oblik neverbalne komunikacije, kontinuirano šaljući poruke koje oblikuju ponašanje, emocije i društvene interakcije njegovih stanovnika.

⁸⁵ Grimm, Faeth, Golubiewski, Redman, Wu, Bai, Briggs, 2016: 756-760

⁸⁶ Moughtin, Simeoni, Wan, 1999: 1-15

⁸⁷ Jacobs, 1961

Rapoport tvrdi da arhitektonski dizajn nije samo o stvaranju funkcionalnih prostora, već i o prenošenju značenja i poruka koje utječu na ljudsko ponašanje. Na primjer, dizajn javnog trga može poticati ili sputavati društvene interakcije među ljudima. Slično tome, raspored i dizajn stambenih zgrada mogu poticati osjećaj zajedništva ili izolacije među stanovnicima. Jedan od značajnih aspekata koje Rapoport ističe jest društveni utjecaj arhitektonskog dizajna. Raspravlja o tome kako izgrađeni okoliš može poticati ili ometati društvene interakcije, angažman zajednice i osjećaj pripadnosti među pojedincima. Rapoport naglašava važnost razumijevanja načina na koji izgrađeni okoliš komunicira različite poruke i značenja koja značajno utječu na ljudsko ponašanje, emocije i društvene interakcije.

Postoji mnogo autora koji su istraživali utjecaj socijalnog okruženja na čovjeka i kako se to odražava u arhitekturi:

- Jane Jacobs u svom radu *The Death and Life of Great American Cities* istražuje kako urbanističko planiranje i arhitektura mogu poticati ili sputavati društvenu interakciju i zajednički život u gradskim sredinama,
- Christopher Alexander, u *A Pattern Language*, razvija teoriju o tome kako određeni arhitektonski oblici i uzorci utječu na ljudsku dobrobit i društvenu interakciju,
- Kevin Lynch u *The Image of the City* istražuje načine na koje ljudi percipiraju i koriste urbani prostor, te kako se to odražava u planiranju i dizajnu gradova,
- William H. Whyte, u *The Social Life of Small Urban Spaces*, proučava kako dizajn javnih prostora utječe na društvene interakcije i ponašanje ljudi u urbanim sredinama,
- Jan Gehl u *Cities for People* istražuje kako urbanističko planiranje i dizajn mogu poboljšati kvalitetu života u gradovima kroz poticanje društvene interakcije i zajedničkog korištenja javnih prostora,
- Richard Sennett analizira u *The Fall of Public Man* kako su se promijenili oblici javne interakcije i društvena povezanost u suvremenim urbanim sredinama, te kako to utječe na arhitekturu i urbanizam,
- Elizabeth Plater-Zyberk, u *Suburban Nation: The Rise of Sprawl and the Decline of the American Dream*, istražuje negativne posljedice urbanog širenja na društvenu interakciju i kvalitetu života, te predlaže rješenja kroz održivo urbanističko planiranje i dizajn.

Ovi autori pružaju različite perspektive i pristupe istraživanju utjecaja socijalnog okruženja na čovjeka i arhitekturu, čineći njihova djela ključnima za razumijevanje kompleksne veze između arhitekture, urbanizma i ljudskog ponašanja.

2.6.2. Kulturno okruženje i identitet kroz prostor

Kulturno okruženje čovjeka predstavlja složeni skup kulturnih, socijalnih i obrazovnih faktora koji zajedno oblikuju način života, ponašanje, vrijednosti, vjerovanja i percepcije pojedinaca i zajednica unutar određenog društva ili kulture. Ono uključuje širok spektar aspekata ljudske kulture, među kojima se ističu umjetnost, arhitektura, religija, običaji, jezik, obrazovanje i društvene institucije.

Arhitektura i urbanizam predstavljaju fizičke manifestacije kulturnog identiteta društva. Građevine i spomenici, bilo historijski ili suvremeni, često odražavaju kulturnu baštinu i identitet kroz svoj dizajn i funkcionalnost. Urbanistički planovi i organizacija gradova i naselja mogu se interpretirati kao refleksija kulturnih i socijalnih vrijednosti društva.

Obrazovanje i jezik su ključni faktori koji doprinose kulturnom identitetu i pripadnosti. Obrazovne institucije, kao što su škole i fakulteti, odražavaju obrazovne i kulturne vrijednosti društva.

Društvene institucije i organizacije igraju ključnu ulogu u oblikovanju društvenih normi, vrijednosti i interakcija. Pravila, norme i vrijednosti koje oblikuju socijalno ponašanje i interakcije unutar društva, zajedno s kulturnim organizacijama koje promoviraju i očuvaju kulturnu baštinu i identitet, čine integralni dio kulturnog okruženja. Kulturno okruženje čovjeka ima ključnu ulogu u oblikovanju identiteta, vrijednosti, ponašanja i percepcija pojedinaca i zajednica. Ono pruža okvir za društvene interakcije, međuljudske odnose, obrazovanje i kulturni razvoj, čime doprinosi ukupnoj kvaliteti života i blagostanju ljudi unutar određenog društva.

Arhitektura i socio-kulturno okruženje su neodvojivi aspekti koji zajedno oblikuju život u urbanim i ruralnim sredinama. Kao što je već spomenuto, arhitektura nije samo fizička manifestacija kulturnog identiteta i vrednovanja, već i ključni alat koji može snažno utjecati na društvene interakcije, ponašanje i kvalitetu života pojedinaca unutar određenog prostora.

2.6.3. Tehnološko okruženje i utjecaj inovacija na prostor

Također, u kontekstu urbanog okruženja možemo promatrati i tehnološko okruženje, odnosno ono koje se fokusira se na infrastrukturne elemente, digitalne tehnologije i inovativne prakse koje mijenjaju modalitete življenja, rada i komunikacije unutar urbanog spektra. U današnjem urbanom okruženju, tehnološki napredak je integriran u sve aspekte svakodnevnog života – od inteligentnih urbanih sistema, digitalnih komunikacijskih platformi, mobilnih aplikacija za optimizaciju upravljanja gradskim resursima, do e-mobilnosti i održivih tehnoloških inovacija.⁸⁸

Jedan od ključnih elemenata tehnološkog okruženja je informacijska tehnologija. Razvoj računalnih tehnologija, interneta i mobilnih komunikacija omogućio je brz i efikasan pristup informacijama, komunikaciju na globalnoj razini i integraciju digitalnih tehnologija u sve aspekte života. Ovo je značajno utjecalo na način na koji ljudi rade, uče, komuniciraju i zabavljaju se.

Automatizacija i robotika predstavljaju još jedan važan aspekt tehnološkog okruženja. Uvođenje automatiziranih sustava i robota u proizvodne procese, medicinu, logistiku i pa i arhitekturu, transformiralo je način rada i povećalo efikasnost i produktivnost. Istovremeno, ovi tehnološki napredci postavljaju pitanja o budućnosti radnih mjesta i potrebi za novim vještinama i obukom.

⁸⁸ Caragliu, Del Bo, Nijkamp, 2011: 18(2), 65-82.

Osim toga, tehnološko okruženje uključuje i razvoj održivih tehnologija i inovacija usmjerenih na zaštitu okoliša i smanjenje ekološkog otiska ljudske aktivnosti. Ovo područje obuhvaća razvoj obnovljivih izvora energije, tehnologije energetske učinkovitosti, pametnih gradova i održivih transportnih rješenja.

Tehnološko okruženje i arhitektura isprepleteni su na brojne načine, posebno u kontekstu suvremenog urbanog planiranja i dizajna, pri čemu tehnološke inovacije transformiraju način na koji ljudi koriste i doživljavaju prostor, stvarajući funkcionalnija i tehnološki napredna okruženja. Navodimo neke od primjera:

- Razvoj pametnih zgrada temeljenih na IoT tehnologijama omogućava automatizaciju i optimizaciju sustava za upravljanje energijom, osvjetljenjem i klimom, povećavajući kontrolu korisnika i energetske učinkovitost,
- Danas u arhitekturi koristimo napredne tehnologije poput 3D printanja i digitalnog modeliranja za precizno planiranje i izvedbu projekata, smanjujući troškove i vrijeme izgradnje,
- Održiva arhitektura oslanja se na inovativne materijale, solarne panele i pametne sustave recikliranja vode kako bi minimizirala ekološki otisak i doprinosila zaštiti okoliša,
- Tehnologije poput VR-a i AR-a omogućuju arhitektima i urbanistima vizualizaciju projekata i uključivanje korisnika u proces dizajna, dok senzorska tehnologija i pametni materijali omogućuju stvaranje interaktivnih i prilagodljivih okruženja,
- Konačno, koncept pametnih gradova integrira tehnologiju u urbane prostore radi poboljšanja kvalitete života, optimizacije javnih usluga i upravljanja resursima.

Integracija tehnologije u arhitektonsko planiranje i dizajn može transformirati prostorne interakcije, prilagodljivost i održivost okruženja, pružajući korisnicima bolje uvjete za život i rad.

Sinergija tehnologije i arhitekture pruža priliku za stvaranje funkcionalnih, prilagodljivih i održivih prostora koji su usmjereni na potrebe i dobrobit ljudi, te doprinose ukupnoj kvaliteti života i blagostanju u urbanim i ruralnim sredinama.

2.7. Suvremeni izazovi okruženja i pronalaženje ravnoteže

Prelazak na obnovljive izvore energije često se percipira kao optimalna strategija u borbi protiv klimatskih promjena. Međutim, podaci o globalnoj proizvodnji nafte ukazuju na suprotan trend rasta upotrebe fosilnih goriva, posebno u sektorima industrije, transporta i građevinarstva. Ovo stvara značajan izazov u postizanju globalnih ciljeva smanjenja emisija stakleničkih plinova. Klimatske promjene su dostigle kritičnu točku i zahtijevaju hitnu akciju na globalnoj razini. Prijelaz na obnovljive izvore energije,

uz promociju održivih praksi⁸⁹, predstavlja ključan korak u borbi protiv klimatskih promjena. Unatoč brojnim izazovima, svaki ekonomski i društveni entitet, bez obzira na svoju veličinu, ima potencijal doprinijeti ostvarenju bolje budućnosti.

I dok male ekonomske i društvene entitete⁹⁰ karakterizira ograničen utjecaj na globalnu potrošnju energije i emisije CO₂, oni mogu djelovati kao katalizatori promjena unutar vlastitih ekonomija. Primjerice, promicanje energetske efikasnosti, poticanje korištenja obnovljivih izvora energije i implementacija održivih praksi mogu ovim entitetima omogućiti da postanu pokretači pozitivnih promjena i inspiracija za druge.⁹¹

Klimatske promjene, globalno zagrijavanje, povećana emisija CO₂ i klimatske anomalije postali su svakodnevne teme suvremenog društva. I dok je zabrinjavajuća, ova činjenica potiče razmišljanje o novim oblicima suživota čovjeka i prirode, te može poslužiti kao katalizator za buđenje svijesti čovječanstva, što bi, uz značajan napor, moglo spriječiti katastrofu, odnosno nestanak života na planeti Zemlji.

Već spomenuto Sintezno izvješće AR6 naglašava hitnu potrebu za dubokim, brzim i održivim smanjenjem emisija stakleničkih plinova u ovom desetljeću u svim sektorima i u svim regijama. Izvješće naglašava da ograničavanje globalnog zatopljenja na 1,5°C ili 2°C zahtijeva značajno smanjenje emisija stakleničkih plinova, pri čemu je većina smanjenja potrebna već danas. Izvješće također naglašava i potrebu za hitnim prelaskom na obnovljive i nisko ugljične izvore energije kako bi se razorni utjecaji klimatskih promjena sveli na minimum (posebice na baterije). Očekuje se da će zajednica kemijske znanosti igrati ključnu ulogu u ovoj transformaciji, pridonoseći razvoju novih tehnologija i materijala.

Izvješće također naglašava važnost zajedničke tehnologije, znanja, odgovarajućih mjera politike i odgovarajućeg financiranja klimatskih promjena za premošćivanje razlika između regija i zemalja. Klimatske promjene prouzročile su znatnu štetu i sve nepovratnije gubitke u kopnenim, slatkovodnim, te obalnim i otvorenim oceanskim ekosustavima. Klimatske promjene smanjile su sigurnost hrane i utjecale na sigurnost vode, ometajući napore da se ispune ciljevi održivog razvoja. Izvješće naglašava utjecaj klimatskih promjena na ljudsko zdravlje, sredstva za život i ključnu infrastrukturu, posebno u urbanim područjima. Ekstremne vrućine su se pojačale u gradovima, a urbana infrastruktura, uključujući transport, vodu, kanalizaciju i energetske sustave, ugrožena je ekstremnim događajima, što dovodi do ekonomskih gubitaka, prekida usluga i negativnih utjecaja na dobrobit. Uočeni štetni utjecaji koncentrirani su među ekonomski i socijalno marginaliziranim urbanim stanovništvom.

⁸⁹ Kao što su: energetska učinkovitost, održiva poljoprivreda, kružna ekonomija, održiva mobilnost (poticanje korištenja javnog prijevoza, biciklizma, pješačenja te razvoj infrastrukture za električna vozila), održivo upravljanje vodama, zelena i plava infrastruktura (razvoj zelenih površina (parkovi, zelene krovove) i očuvanje vodenih tijela (rijeke, jezera) u urbanim sredinama), obrazovanje i podizanje svijesti.

⁹⁰ U ovom kontekstu referiramo se na male države, jer i one mogu djelovati kao katalizatori promjena unutar svojih ekonomija.

⁹¹ Smith, Johnson, 2019: 12(3), 45-60.

UNFCCC⁹², Kyoto protokol i Pariški sporazum potaknuli su nacionalne ambicije i razvoj politike, što je dovelo do uspješne primjene regulatornih i ekonomskih instrumenata koji poboljšavaju energetske učinkovitost, smanjuju krčenje šuma i ubrzavaju primjenu tehnologije.

Usvajanje tehnologije niske emisije zaostaje u većini zemalja u razvoju zbog ograničenih financija, dostupnosti tehnologije i kapaciteta. Iako se financiranje klimatskih promjena povećalo tijekom posljednjeg desetljeća, rast je usporio od 2018., a javno i privatno financiranje fosilnih goriva još uvijek premašuje ono za prilagodbu klimi i ublažavanje. Većina financiranja klimatskih promjena usmjerena je na ublažavanje, ali ne dostiže razine potrebne za ograničavanje zagrijavanja na ispod 2°C ili 1,5°C u svim sektorima i regijama.

Arhitektonska praksa može imati značajan utjecaj na efekte klimatskih promjena, ne samo u energetske velesilama već i u manjim državama kao što su Bosna i Hercegovina i zemlje u regiji. Prirodne katastrofe danas su realnost, a ne samo pretpostavka, što jasno ukazuje na potrebu za intenzivnijim istraživanjem i razmatranjem rješenja kako na globalnoj tako i na lokalnoj razini.

Izvešće Međuvladinog panela o klimatskim promjenama (IPCC) naglašava štetne učinke globalnog zatopljenja, koje je doseglo 1,1°C iznad predindustrijskih razina, što dovodi do češćih i intenzivnijih ekstremnih vremenskih događaja koji utječu na globalne ekosustave i ljudsku populaciju. Štetni učinci se povećavaju kada se klimatski rizici isprepliću s drugim izazovima poput pandemija ili sukoba.

Odgovor leži u razvoju, integraciji klimatske prilagodbe s mjerama ublažavanja stakleničkih plinova koje nude šire društvene koristi. Pristup čistoj energiji poboljšava zdravstvene rezultate, dok opcije prijevoza s niskim udjelom ugljika poboljšavaju kvalitetu zraka. Samo ekonomske koristi od poboljšane kvalitete zraka mogle bi nadoknaditi troškove smanjenja emisija.

Učinkovito klimatsko djelovanje ovisi o političkoj predanosti, koordiniranim politikama, međunarodnoj suradnji, upravljanju ekosustavima i adekvatnom upravljanju. Odgovarajuće financiranje i ulaganja ključni su, a javno financiranje, angažman ulagača i jasni politički signali igraju ključnu ulogu. Zajednička tehnologija, znanje i iskustvo i političke mjere mogu olakšati široko usvajanje praksi s niskom razinom ugljika. Značajno ulaganje u prilagodbu može ublažiti rizike, posebno za ranjive skupine i regije. Izvešće

⁹² Okvirna konvencija Ujedinjenih naroda o promjeni klime (UNFCCC) međunarodni je ugovor usvojen 1992. godine s ciljem stabilizacije koncentracija stakleničkih plinova u atmosferi na razini koja bi spriječila opasne antropogene (ljudski uzrokovane) smetnje klimatskog sustava. Konvencija je stupila na snagu 21. ožujka 1994. godine i trenutno ima gotovo univerzalno članstvo s 198 strana (zemalja potpisnica). Glavni cilj UNFCCC-a je spriječiti opasne ljudske utjecaje na klimu kroz smanjenje emisija stakleničkih plinova i promicanje održivog razvoja. Tijekom godina, pod okriljem UNFCCC-a doneseni su važni sporazumi poput Kyotskog protokola i Pariškog sporazuma, koji dodatno definiraju obveze zemalja u borbi protiv klimatskih promjena. Sekretarijat UNFCCC-a, smješten u Bonnu, Njemačka, pruža tehničku i organizacijsku podršku strankama u provedbi konvencije i njenih pratećih sporazuma. Izvor: <https://unfccc.int/process-and-meetings/what-is-the-united-nations-framework-convention-on-climate-change/> (13.01.2025.)

također naglašava međusobnu povezanost klime, ekosustava i društva, zalažući se za očuvanje 30-50% kopna, slatke vode i oceana na Zemlji.

Uz klimatske promjene, urbano okruženje predstavlja dodatni izazov u oblikovanju održive budućnosti. Socijalno, kulturno i tehnološko okruženje integriraju se u urbani kontekst, oblikujući dinamiku života i utječući na kvalitetu života pojedinaca.⁹³ Socijalne i kulturne promjene u urbanom okruženju potiču potrebu za prilagodbom i inovacijom u arhitektonskoj praksi. Arhitektonske odluke, koje imaju dugoročni utjecaj na ljudsko zdravlje i okoliš, mogu se koristiti kao alat za promicanje održivosti i ekološke svijesti.⁹⁴ Energetski učinkovita arhitektura i urbanističko planiranje imaju potencijal da smanje emisije stakleničkih plinova, povećaju energetske efikasnost zgrada i kreiraju zdravija i funkcionalnija urbana područja.⁹⁵

Sve navedeno ukazuje na potrebu za transformacijom odnosa čovjeka prema okolišu i korištenju energetskih resursa. Jedan od ključnih načina doprinosa ovom procesu može biti preobrazba u obliku energetski učinkovite arhitekture. Arhitektonske odluke imaju potencijal da ostave dubok i dugoročan utjecaj na ljudsko zdravlje i njihovo okruženje. Kvalitetna arhitektura može doprinijeti poboljšanju kvalitete života, stvaranju zdravijih i funkcionalnijih prostora, te podržati održivost i ekološku osviještenost.⁹⁶ Na globalnoj razini, arhitektonsko planiranje ima potencijal da doprinese održivom razvoju, smanjenju emisija stakleničkih plinova, energetske efikasnosti zgrada i stvaranju urbanog okruženja koje podržava zdrav način života.

2.8. Učenje iz povijesti i prirode kao inspiracija za održiv razvoj

Kako bi savladali izazove današnjeg okruženja, neminovno je osvrtni se u prošlost te paralelno promatrati zakone prirode, a pri tom kreirati prostore koji će biti odgovor na specifične potrebe i uvjete okoline, kulture, materijalne resurse i tradiciju. Takvo učenje predstavlja temeljnu paradigmu u razvoju suvremene arhitekture i dizajna unutarnjih prostora.

Kroz promatranje povijesnih uzoraka i zakonitosti prirode, arhitekti se nadahnjuju i uče kako stvarati prostor koji nije samo funkcionalan, već i harmoničan, održiv i ugodan za boravak.

⁹³ Florida, 2002.

⁹⁴ Pickett, Cadenasso, McGrath, 2013.

⁹⁵ Steemers, Manchanda, 2010: 38(5), 532-537.

⁹⁶ Gifford, 2007: 1, 203-229.

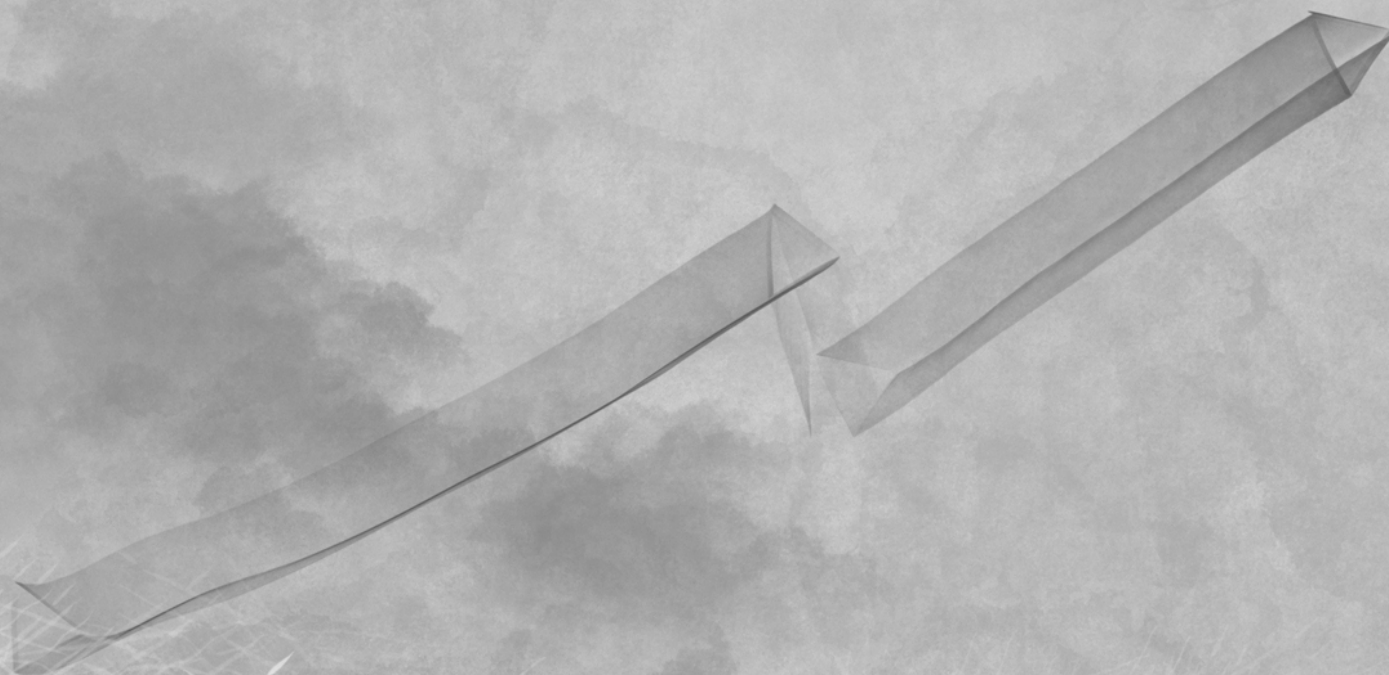


Ovaj pristup omogućava nam da sagledamo kako su ljudi kroz stoljeća prilagođavali svoje okruženje svojim potrebama i ograničenjima te kako su iskorištavali resurse koje im je priroda pružala.

Proučavanje povijesti arhitekture otkriva nam raznolikost stilova i tehnika gradnje koje su se razvijale u različitim kulturama i vremenima. Primjerice, arhitektura antičke Grčke inspirira nas svojom harmonijom proporcija i izvanrednom upotrebom materijala poput mramora. S druge strane, srednjovjekovne europske katedrale pokazuju nam izvanredno majstorstvo graditelja i inovativnost u upotrebi vitraža i visokih stupova. Učenje iz ovih povijesnih primjera omogućava nam razumijevanje estetike, konstrukcije i funkcionalnosti, što možemo primijeniti u našem suvremenom dizajnu.

S druge strane, priroda je izvor beskrajne inspiracije i znanja. Promatranjem prirodnih sustava, kao što su oblici, uzorci i procesi, možemo razumjeti principe održivosti, prilagodbe i ravnoteže. Na primjer, struktura pčelinjeg saća pruža nam uvid u efikasnost geometrije i distribucije prostora, što se može primijeniti u projektiranju stambenih ili poslovnih prostora radi maksimalnog iskorištavanja prostora i prirodnog svjetla. Osim toga, učenje o ekosustavima i ciklusima u prirodi potiče nas na razvoj ekološki osviještenih pristupa u arhitekturi, kao što su zelene zgrade i korištenje obnovljivih izvora energije.

Kombinacija naučenih lekcija iz prošlosti i prirodnih zakonitosti omogućava nam stvaranje suvremenih prostora koji su odgovor na specifične potrebe i izazove današnjeg svijeta. Održivi materijali, energetska učinkovitost, prilagodljivost i estetika samo su neki od elemenata koji se uzimaju u obzir prilikom dizajniranja prostora koji će zadovoljiti potrebe korisnika, ali i doprinijeti očuvanju okoliša. Kombinacija naučenih lekcija iz prošlosti i prirodnih zakona omogućava nam kreiranje funkcionalne arhitekture koja u konačnici osigurava komfor krajnjim korisnicima.



ENERGIJA

prošlost _ sadašnjost _ održiva budućnost

3.1. Energija kroz vrijeme: jučer, danas i sutra

Analiza pitanja energetike i korištenja obnovljivih izvora energije ima za cilj identificirati i prezentirati trenutačne podatke te buduće perspektive u kontekstu globalnog energetskeg sustava. Potrošnja energije direktno korespondira s ekonomskim razvojem zajednice, povećanjem broja stanovnika u određenoj regiji, kao i potencijalom za razvoj određenog lokaliteta. Zanimanje za korištenje obnovljivih izvora energije intenzivirano je tek nakon prve energetske krize 1974. godine. Od tog vremena do danas, globalna zajednica sve više prepoznaje važnost i potrebu za istraživanjem i implementacijom novih, održivih izvora energije.

Današnje stanje energetskeg sektora karakterizira potreba za održivim i učinkovitim pristupom proizvodnji, distribuciji i potrošnji energije. S obzirom na ograničene resurse i rastuću potražnju, energetska učinkovitost⁹⁷ postaje ključna strategija za smanjenje potrošnje, troškova i emisija stakleničkih plinova. Integracija obnovljivih izvora energije s naprednim tehnologijama i praksama energetske učinkovitosti omogućava nam da zadovoljimo potrebe za energijom bez štetnih utjecaja na okoliš, dok istovremeno podržavamo ekonomsku stabilnost i društveni razvoj.

3.2. Globalno stanje energetske resursa

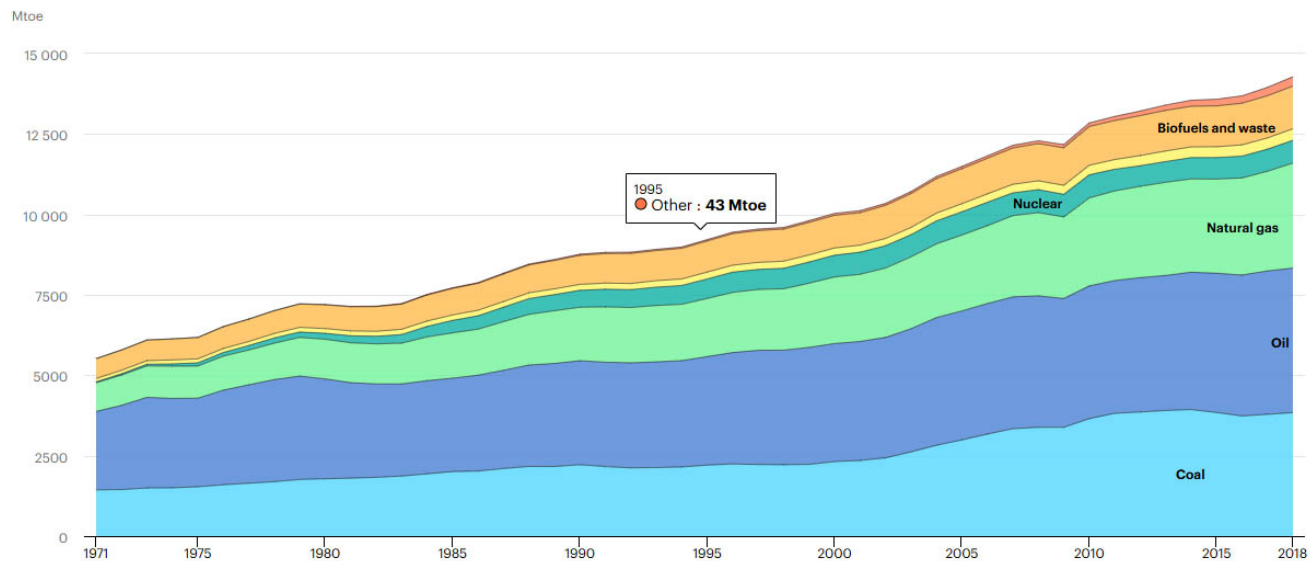
Stanje energije u svijetu danas karakterizira kompleksna mješavina izazova i mogućnosti. S jedne strane, globalna potražnja za energijom stalno raste zbog rastuće populacije, urbanizacije i industrijskog razvoja. S druge strane, postoji sve veći pritisak da se smanji upotreba fosilnih goriva radi smanjenja emisija stakleničkih plinova i borbe protiv klimatskih promjena. Održivi izvori energije, kao što su sunčeva i vjetrena energija, dobivaju na važnosti i sve su konkurentniji u pogledu cijene i učinkovitosti. Ipak, fosilna goriva još uvijek dominiraju globalnom energetskeg scenom, iako postoji sve veći pritisak da se pređe na čišće alternative.

Globalne energetske politike i tržišta stalno se mijenjaju u odgovoru na ove izazove i prilike. Mnoge zemlje ulažu u istraživanje i razvoj novih tehnologija za pohranu energije, energetske učinkovitost i nove izvore energije. Također se promovira i energetska tranzicija koja kombinira različite oblike obnovljive energije s tradicionalnim izvorima kako bi se osigurala stabilnost opskrbe energijom. Uz to, pitanja energetske sigurnosti, pristupačnosti i pravedne distribucije energije postaju sve važnija, posebno u kontekstu globalnih nejednakosti i potrebe za inkluzivnim razvojem. Sve ove faktore treba uzeti u obzir kada se razmatra stanje energetike u svijetu danas.

Prema Međunarodnoj agenciji za energiju (IEA), globalna potrošnja energije u svijetu se kretala oko 170.000 do 175.000 teravatsati (TWh) godišnje u posljednjim dostupnim podacima. Ovo je približna količina energije koja se koristi za pokretanje svih svjetskih aktivnosti i ekonomija. Godišnje potrebe za energijom planete Zemlje predstavljaju količinu energije koju čovječanstvo potroši u

⁹⁷ Energetska učinkovitost se odnosi na optimalno korištenje energije kako bi se postigla željena usluga ili rezultat uz minimalnu potrošnju energije. U kontekstu arhitekture, energetska učinkovitost se odnosi na projektiranje i izgradnju zgrada i objekata tako da maksimiziraju učinkovitost potrošnje energije za grijanje, hlađenje, osvjetljenje i druge potrebe, dok istovremeno minimiziraju gubitke energije.

jednoj godini kako bi zadovoljilo svoje potrebe za grijanjem, hlađenjem, transportom, proizvodnjom i drugim aktivnostima. Ove potrebe izražavaju se u teravat-satima (TWh) ili u ekvivalentu u drugim jedinicama kao što je Mtoe⁹⁸. Ove potrebe za energijom stalno rastu zbog rastuće globalne populacije, urbanizacije i industrijskog razvoja. Predviđa se da će se potrošnja energije nastaviti povećavati u budućnosti, iako će se struktura potrošnje vjerojatno mijenjati. Na primjer, očekuje se da će se potrošnja fosilnih goriva smanjivati, dok će obnovljivi izvori energije postajati sve važniji dio globalne energetske mješavine. Ove godišnje potrebe za energijom predstavljaju ključni faktor u oblikovanju energetske politika, investicija u energetske infrastrukture, istraživanje i razvoj novih tehnologija te globalne inicijative za borbu protiv klimatskih promjena.



Fotografija 3.1. Tendencija rasta potrošnje energije u razdoblju 1971. - 2018. god.

Najveći potrošači energije na svijetu obično su zemlje s velikom ekonomijom, industrijskom bazom i/ili velikom populacijom. Na vrhu liste obično se nalaze zemlje kao što su Kina, Sjedinjene Američke Države, Indija, Rusija i Japan. Očekuje se značajan rast potrošnje energije u Aziji, posebno u zemljama kao što su Kina i Indija, zbog brzog ekonomskog razvoja, urbanizacije i povećanja životnog standarda. Prognozira se rast potrošnje energije od oko 10% u narednim godinama. U Sjevernoj Americi se očekuje stabilna potrošnja energije ili blaga stagnacija zbog veće efikasnosti u potrošnji, razvoja obnovljivih izvora energije i promjena u energetskej politici. Sjeverna Amerika će zadržati dominantnu ulogu kao proizvođač energije zahvaljujući velikim rezervama ugljena, nafte, prirodnog plina i nuklearnim kapacitetima. Bliski Istok će nastaviti biti ključan proizvođač nafte i plina, dok će Kina, kao globalna sila u industriji i potrošnji, pokazati značajan rast potrošnje energije, s prognoziranim godišnjim rastom od oko 5%.

⁹⁸ Mtoe - millions of tons of oil equivalent (miliona tona ekvivalenta nafte) 1mtoe = 1000 ktoe, 1 ktoe = 11630000 kWh

Razvoj društva u tehnološkom i ekonomskom smislu te porast broja stanovništva dovodi do povećanih potreba za energijom. Ovaj proces je nemoguće zaustaviti. Energetske potrebe čovječanstva su u izravnoj vezi s brojem stanovnika na planetu Zemlji, koji je dosegnuo 8.2 milijardi 15. studenog 2024. prema najnovijim procjenama Ujedinjenih naroda. Predviđa se da će 2037. dosegnuti 9 milijardi, a 2058. 10 milijardi. Trenutno (2024.) raste po stopi od oko 0,91% godišnje, dodajući oko 73 milijuna ljudi godišnje ukupnom broju. Ogromna promjena dogodila se s industrijskom revolucijom: dok je bila potrebna cijela ljudska povijest do 1800. godine da svjetska populacija dosegne 1 milijardu, druga milijarda je postignuta u samo 130 godina (1930.), treća milijarda u 30 godina (1960.), četvrta milijarda u 15 godina (1974.), peta milijarda u 13 godina (1987.), šesta milijarda u 11 godina (1998.), sedma milijarda i osma milijarda u 12 godina (2010. i 2022.). Samo tijekom 20. stoljeća broj stanovnika u svijetu narastao je s 1,65 milijardi na 6 milijardi.⁹⁹

Nemoguće je s apsolutnom sigurnošću predvidjeti sve posljedice koje mogu proizlaziti iz djelovanja prirodnih ili društvenih faktora. Ipak, uz sve nepredvidive varijable, moguće je pratiti i usmjeravati putanje koje promoviraju učinkovitiju proizvodnju i upotrebu energije. Ovo se može postići kroz strateško planiranje, istraživanje i primjenu tehnologija koje su energetski učinkovite i ekološki održive. Povećanje emisije CO₂, koje predstavlja jedan od glavnih izazova u suvremenom svijetu, može se kontrolirati i zaustaviti. Ključno je pristupiti tom problemu na strateški ispravan način, kombinirajući različite metode kao što su upotreba obnovljivih izvora energije, energetska efikasnost, tehnološki napredak i promjene u potrošačkim navikama. Države poput Norveške, Austrije, Švicarske i Njemačke predstavljaju inspirativne primjere kako se može pristupiti ovom problemu na uspješan način.

Norveška je primjer zemlje koja se ističe po svojoj predanosti obnovljivim izvorima energije, posebno hidroenergiji. Zbog svojih prirodnih resursa, kao što su velike vodene rijeke i obalna područja, Norveška je razvila snažan sektor hidroelektrana koji čini veći dio njenog energetskog mješavina. Također je poznata po svom pristupu električnim vozilima, s jednim od najvećih postotaka električnih vozila u svijetu. Prema podacima Norveškog cestovnog saveza (OFV), potpuno električna vozila činila su 88,9% prodanih novih automobila u Norveškoj tijekom 2024. godine, što predstavlja porast u odnosu na 82% u 2023. godini.¹⁰⁰ Austrija je također usmjerena na obnovljive izvore energije, s naglaskom na hidroelektrane i vjetroelektrane. Zemlja je postavila ambiciozne ciljeve za smanjenje emisija stakleničkih plinova i povećanje udjela obnovljivih izvora u ukupnoj potrošnji energije. Švicarska je poznata po svom inovativnom pristupu energetskoj učinkovitosti i integraciji obnovljivih izvora energije u građevinskim projektima. Zemlja je također pionir u korištenju geotermalne energije i solarnih panela. Njemačka je svjetski lider u tranziciji prema obnovljivim izvorima energije, poznata kao *Energiewende* ili "energetska tranzicija". Njemačka je znatno investirala u vjetroenergiju, solarnu energiju i biomasu te postavila ambiciozne ciljeve za smanjenje emisija CO₂ i ukidanje nuklearne energije.

Unatoč različitim veličinama i specifičnim okolnostima, ove države su uspjele mobilizirati svoje društvene zajednice, vladine agencije i industriju kako bi uskladili energetske potrebe s zahtjevima 21. stoljeća. Njihovi modeli mogu poslužiti kao putokazi i za

⁹⁹ World Meter Real Time (svjetski statistički podaci u realnom vremenu), <https://www.worldometers.info> (18.04.2024.)

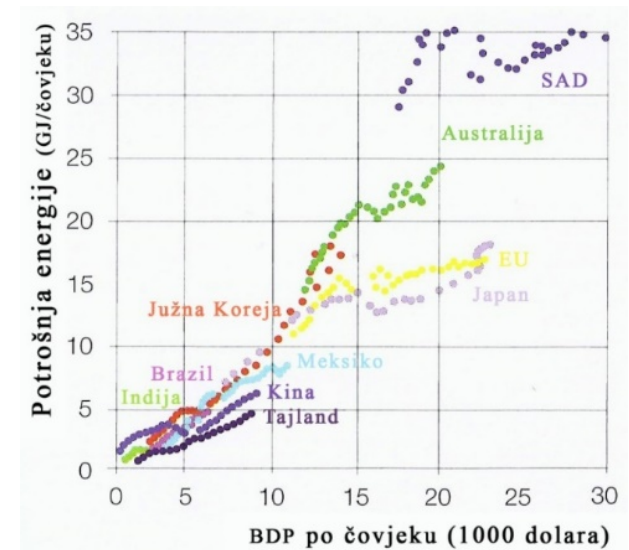
¹⁰⁰ Ovi podaci potvrđuju da je Norveška vrlo blizu ostvarenju svog cilja da do 2025. godine svi novi prodani automobili budu s nultom emisijom. Izvor: Reuters (2025): <https://www.reuters.com/business/autos-transportation/norway-nearly-all-new-cars-sold-2024-were-fully-electric-2025-01-02/> (14.01.2025.)

veće energetske sile, poput Rusije, Kine i SAD-a, pokazujući da je moguće definirati i implementirati putanje koje vode ka smanjenju emisije CO₂ bez narušavanja ekonomske produktivnosti i rasta.

Planet Zemlja posjeduje resurse, ali isti nisu ravnomjerno raspoređeni. Potrebno je pronaći metode da se „*misli globalno, djeluj lokalno*“⁴⁰¹ iskoristi u praksi u gore navedene svrhe. Razvoj tehnologije je nezaustavljiv proces pa tako danas već imamo ideje i planove o korištenju prostora na Marsu, suživotu s robotima, i sl. Medicina predviđa da će se život čovjeka produžiti na 120 godina, a transportna industrija bilježi rezultate koji su prije 5 godina bili prisutni samo u futurističkim filmovima. Međutim, ta težnja ka realizaciji i materijalizaciji do jučer „nemogućih“ ideja postavila je čovječanstvo na tračnice koje ga vode k vlastitom nestanku.

Iako su postojeće zgrade jedan od najvećih potrošača energije, iste predstavljaju i izazov koji treba polučiti novi koncept življenja za neke buduće generacije. Stoga, energetska projektiranje je jedini ispravan način koji će doprinijeti uštedama energije, smanjenju emisije CO₂, iskoristivosti autohtonih (pristupačnih) materijala, arhitektonskom konceptu maksimalnog iskorištavanja prostora, itd. Arhitekti su vizionari i planeri budućnosti koji trebaju biti inicijatori nove ere korištenja planeta Zemlje. Zanimljivo je da trenutno korištenje energije ukazuje na ekonomsku razvijenost¹⁰² određene zemlje. Stoga, prilikom kreiranja arhitekture za buduće generacije potrebno je u obzir uzeti sve gore navedene komponente.

Fotografija 3.2. Odnos između BDP-a i potrošnje energije u razdoblju 1970. -1997. god.



Herman Helmholtz¹⁰³ definirao je energiju 1847. godine kao konstantu koju nije moguće proizvesti već samo konvertirati. Definirana je definicija da je $Energy = exergy + anergy = konstantno$ ¹⁰⁴ gdje pojam *exergy* predstavlja korisnu energiju, a *anergy* je energija koja se izgubi prilikom transporta, pretvaranja ili sagorijevanja, gdje se u svakom od predloženih segmenata može pronaći prostor

¹⁰¹ Richard Buckminster Fuller (1895.-1983.), američki arhitekt, dizajner, filozof, izumitelj i pisac, izvor: *Buckminster Fuller Institute*, www.bfi.org (08.01.2024.)

¹⁰² Podatak preuzet iz IMF - *The International Monetary Fund*

¹⁰³ Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821–1894) bio je njemački fizičar i liječnik poznat po značajnim doprinosima u područjima fizike, fiziologije i filozofije. Helmholtz je 1847. godine formulirao zakon očuvanja energije, naglašavajući da se energija ne može stvoriti niti uništiti, već samo transformirati iz jednog oblika u drugi. Izvor: <https://www.britannica.com/biography/Hermann-von-Helmholtz> (14.01.2025.)

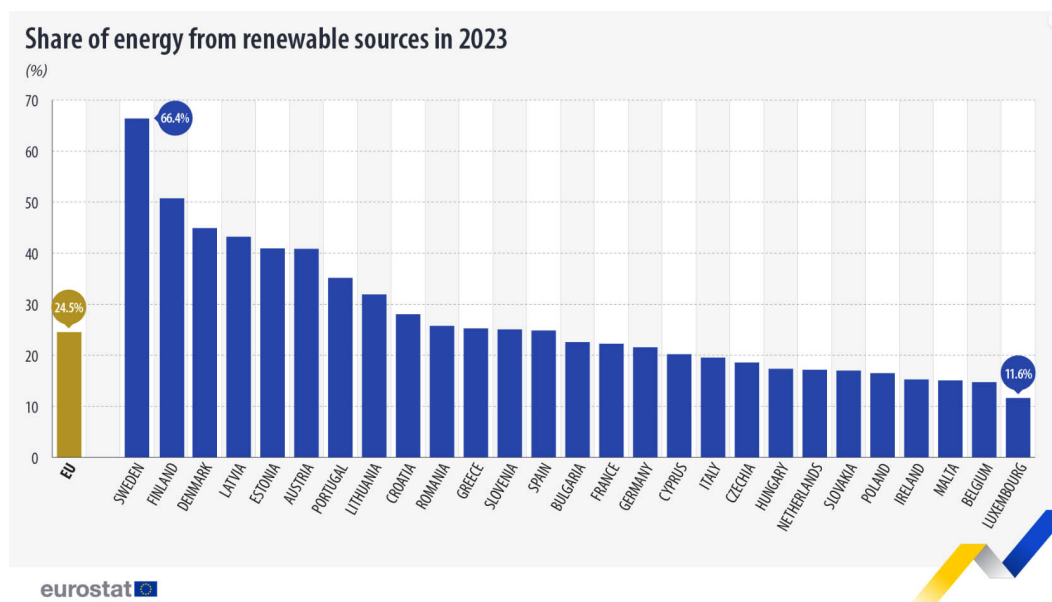
¹⁰⁴ Hegger, Fuchs, Zeumer, 2008: 43.

za uštede. Odnos količine potrebne energije će u zavisnosti od načina i mjesta proizvodnje primarne energije u konačnici dati sumu potrebne ukupne energije za svaku pojedinačnu zgradu.

Podaci o današnjim rezervama primarne energije koje se trenutno najviše eksploatiraju ukazuju da će nakon 2060. godine doći do značajnih promjena u energetsom kontekstu te prouzročiti i druga pomjeranja poput društvenih, političkih i ekonomskih itd. Smatra se da će se cjelokupan svijet izmijeniti u tolikoj mjeri da je trenutno nemoguće predvidjeti sve posljedice tog procesa. Procjena je napravljena na osnovi do sada pronađenih rezervi, a podaci pokazuju da su iste ograničene na različita razdoblja, kako slijedi: sirova nafta, 41 godina, zemni plin, 61 godina, ugljen 200 godina, uranij 40 godina.¹⁰⁵

3.3. Obnovljivi izvori energije kao ključ održive budućnosti

Prelazak na korištenje obnovljivih izvora nema alternativu te predstavlja realnu činjenicu današnjice. Tehnološki razvoj kojeg iniciraju razvijene zemlje došao je do te mjere da se svakodnevno na tržištu pojavljuju novi sustavi čiji je cilj učinkovitije korištenje obnovljive energije uz što manji uloženi početni kapital.¹⁰⁶



Fotografija 3.3. Odnos pojedinih zemlja na prostoru Europe Unije u procentualnom korištenju obnovljivih izvora energije

¹⁰⁵ Hegger, Fuchs, Zeumer, 2008: 41.

¹⁰⁶ Npr.: Sajam BAU koji se održava svake neparne godine u Munchenu, sajam niskoenergetske gradnje u Frankfurtu, itd.

Ciljevi EU u području energije usmjereni su na smanjenje emisija stakleničkih plinova, povećanje udjela obnovljivih izvora energije, povećanje energetske učinkovitosti te izgradnju jedinstvenog energetskog tržišta unutar EU. Kao ključni ciljevi ističu se:

- 20-20-20 cilj: Smanjenje emisija stakleničkih plinova za 20%, povećanje udjela obnovljivih izvora energije na 20% ukupne potrošnje energije, te povećanje energetske učinkovitosti za 20%, sve do 2020. godine.¹⁰⁷
- Dugoročni ciljevi: EU je postavila cilj smanjenja emisija stakleničkih plinova za najmanje 80-95% do 2050. godine u usporedbi s razinama iz 1990. godine.
- Europski zeleni plan (European Green Deal): Ovaj plan uključuje ambiciozne ciljeve kao što su postizanje klimatske neutralnosti do 2050. godine i smanjenje emisija stakleničkih plinova za najmanje 55% do 2030. godine.
- Strategija za energetske učinkovitost: EU je postavila cilj povećanja energetske učinkovitosti za najmanje 32,5% do 2030. godine.



Fotografija 3.4. Rast korištenja obnovljivih izvora energije

¹⁰⁷ Do 2020. godine, EU je uglavnom ostvarila ove ciljeve:

- Emisije stakleničkih plinova smanjene su za oko 24% u odnosu na razine iz 1990. godine.
- Udio obnovljivih izvora energije u ukupnoj potrošnji energije porastao je na oko 19,7%.
- Energetska učinkovitost poboljšana je, ali nije dostigla cilj od 20%.

U posljednjem desetljeću, tehnološki napredak i sve veća investicija u sektor obnovljivih izvora energije omogućili su značajnu ekspanziju i diversifikaciju proizvodnje energije diljem svijeta. Vjetroenergija je jedna od najbrže rastućih obnovljivih izvora energije. Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (IEA), globalna instalirana kapaciteta vjetroenergije narasla je s 74 GW 2009. godine na impresivnih preko 700 GW do 2020. godine. Ovo značajno povećanje odražava sve veću konkurentnost vjetroenergije u odnosu na fosilna goriva i brzi tehnološki razvoj u ovom sektoru. Biomasa je također značajno doprinijela globalnoj proizvodnji energije. Prema podacima Međunarodne agencije za obnovljivu energiju (IRENA), globalna proizvodnja energije iz biomase porasla je s oko 50 GW 2010. godine na preko 120 GW do 2020. godine. Ovaj rast potaknut je tehnološkim inovacijama, boljim upravljanjem resursima i promicanjem održive proizvodnje biomase.

3.3.1. Osnove o obnovljivim izvorima energije

Sunce je onaj oblik obnovljive energije koji se ne može kontrolirati ničijom „voljom“. Danas postoje težnje u svijetu da sunčeva energija postane primarni izvor ukupne energije. Od početka čovjekovog razumnog djelovanja na planetu Zemlji, on pokušava izgraditi sklonište koje će biti u mogućnosti odgovoriti na sva pozitivna i negativna djelovanja sunčeve energije¹⁰⁸ (puno, prazno, sjena). Energija dobivena od Sunca se uvijek uzima u razmatranje i analizu prilikom kreiranja prostora, jer je apsolutno ekološka i prisutna na svim dijelovima zemaljske kugle u neograničenim količinama, izravno, kroz zračenje sunčeve svjetlosti te difuzno preko atmosfere (manjeg intenziteta).

Ključne prednosti u korištenju Sunca kao obnovljivog izvora energije su:

- neiscrpna, vječna rezerva,
- korištenje sunčeve energije ne zagađuje,
- proizvodnja energije omogućena je na mjestu gdje se troši što eliminira troškove transporta,
- nakon povrata početne investicije sunčeva energija postaje potpuno besplatna,
- uređaji za proizvodnju električne energije postaju sve više dostupni svim korisnicima, a proces instaliranja sve jednostavniji što ih čini prihvatljivijim i za sve potencijalne korisnike.¹⁰⁹

¹⁰⁸ Sunce je jedna od 400 milijardi zvijezda, starosti približno 5 milijardi godina, a pretpostavlja se da će sijati još toliko i omogućavati život na planetu Zemlji. Sunce je sfernog oblika presjeka $1,319 \times 10^6$ km, a temperatura na površini je cca 5500°C. Količina sunčeve energije koja dopijeva na zemlju zavisi od: lokacije, nagiba površine u odnosu na horizontalnu ravninu, orijentacije površine u odnosu na strane svijeta, doba godine, uvjeta atmosfere, veličine prijemne površine, karakteristika prijemne površine i vremena ozračenosti. Izvor: Radosavljević, J., M., Pavlović, T., M., Lambić, 2004: 8.

¹⁰⁹ Tomović, 2002: 101.

Sunčevu energiju možemo koristiti pomoću dva sustava, aktivnog i pasivnog.¹¹⁰ U kontekstu istraživanja ovojnice zgrada, tj. membrane koja treba kontrolirati tok energije s ciljem stvaranja energetski učinkovite arhitekture, vrlo važno je istražiti i energetski potencijal mikrolokaliteta u iskorištavanju sunčeve energije na određenim pozicijama ovojnice.

Bosna i Hercegovina trenutno ekonomski stagnira, a time i u polju korištenja obnovljivih izvora energije iz dva razloga. Prvi je politička nestabilnost, a drugi neuređenost državnog sustava što u velikoj mjeri negativno utječe na ekonomsko stanje. Bez ekonomske razvijenosti teško je govoriti o sustavnom korištenju Sunca kao izvora energije, a naročito o proizvodnji električne energije iz ovog izvora.

Tablica 3.1. Otkupne cijene električne energije proizvedene u solarnim elektranama u Federaciji Bosne i Hercegovine

SOLARNE ELEKTRANE	Referentna cijena (Rc) (KM/kWh)	Tarifni koeficijent (C)	Zajamčena cijena $GC = Rc \times C$ (KM/kWh)
do 10 kW	0,138094	7,50	1,0357
od 10 kW do 30 kW	0,138094	6,60	0,9114
od 30 kW do 150 kW	0,138094	6,00	0,8286
od 150 kW do 1 MW	0,138094	4,20	0,58
od 1 MW do 10 MW	0,138094	3,80	0,5248
preko 10 MW	0,138094	3,00	0,4143

Na prostoru Federacije BiH su na nekolicini privatnih zgrada instalirane i puštene u pogon (industrijskog, stambenog, ugostiteljskog karaktera) solarne elektrane snage 45.828 kWh.¹¹¹ Kao prvi korak u analizi isplativosti korištenja sunčeve energije potrebno je dobiti podatke o priljevu sunčeve energije na promatranom lokalitetu koje ćemo potom uzeti u obzir prilikom proračuna povrata investicije.

Prema najnovijim informacijama, referentna cijena električne energije u Federaciji Bosne i Hercegovine trenutno iznosi 0,125953 KM/kWh (12,5953 feninga/kWh) i primjenjuje se od 1. marta 2022. godine.¹¹²

¹¹⁰ Aktivni sustavi se mogu podijeliti na osnovi tipa prijemnika: toplinski prijemnici, fotoelektrični prijemnici, kemijski prijemnici i bio-prijemnici. Ovisno od iskoristivosti za graditeljstvo, moguće je aplicirati prva dva od spomenutih sustava prihvaćanja sunčeve energije. Izvor: Radaković, 2010: 12.

¹¹¹ FERK - Regulatorna komisija za električnu energiju u Federaciji Bosne i Hercegovine, izvor: www.ferk.ba (20.12.2024.)

¹¹² Podatak preuzet sa OIEIEK

Međutim, Regulatorna komisija za energiju u Federaciji BiH (FERK) je donijela odluku o povećanju referentne cijene na 0,138094 KM/kWh (13,8094 feninga/kWh), koja će stupiti na snagu 1. januara 2025. godine.

Što se tiče zajamčenih otkupnih cijena za električnu energiju proizvedenu u solarnim elektranama, one su revidirane i trenutno važe sljedeće cijene:

- Mikro postrojenja (do i uključivo 23 kW): 0,31163 KM/kWh (prethodno 0,28055 KM/kWh),
- Mini postrojenja (do i uključivo 150 kW): 0,23892 KM/kWh (prethodno 0,21548 KM/kWh),
- Postrojenja do i uključivo 1 MW: 0,18826 KM/kWh (prethodno 0,17065 KM/kWh)¹¹³.

Svake godine za prostor FBiH Federalna vlada donosi odluke o mogućim kapacitetima instaliranja fotonaponskih ćelija. U budućnosti se očekuje da će se povećavati kapaciteti otkupne električne energije dobivene od Sunca i time otvarati prostor većem broju zainteresiranih pojedinaca ili kompanija za izgradnju solarnih elektrana.

3.3.2. Pasivni sustavi korištenja sunčeve energije u arhitekturi

U suvremenoj arhitekturi se danas najčešće kombinira aktivno i pasivno korištenje sunčeve energije¹¹⁴ u obliku izravnog (pasivnog) i neizravnog (aktivnog) sustava. Izravno korištenje Sunca je putem arhitektonskog oblikovanja, točnije igrom sjene i svjetla te ciljanog projektiranja kuće prema priljevu sunčeve energije (gledano: dnevno, mjesečno i godišnje). Korištenje energije sunca izravno je vezano za arhitektonski koncept. To znači da ovojnica kao membrana treba svojim dizajnom na najkvalitetniji način uzeti sunčevu energiju i zaštititi unutarnji prostor od njenog viška. Faktor oblika, pravilna orijentacija objekta, odgovarajući termoizolacijski koncept ovojnice, iskorištenost južne strane za proizvodnju toplinske energije (staklene plohe, staklena veranda, Trombov zid, aktivan masivan zid itd.), odgovarajuća zaštita od prevelikog priljeva sunčeve energije naročito na zapadnoj strani i pravilan koncept zaštite od hladnog vjetrova¹¹⁵ su parametri koji diktiraju odnos građevine prema sunčevoj energiji.

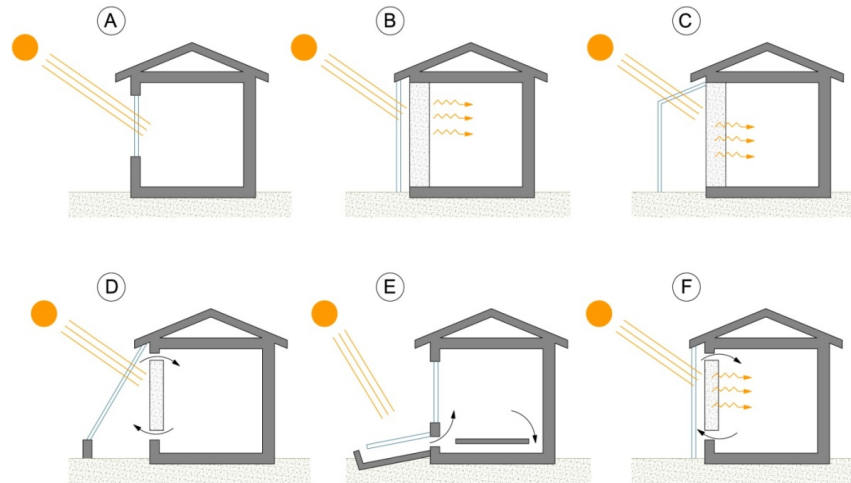
¹¹³ Podatci preuzeti sa solar.no.net

¹¹⁴ Izvor: Radosavljević, Pavlović, Lambić, 2004: 34

¹¹⁵ Arhitektonski koncept stvaranja sunčeve arhitekture je složen proces koji obuhvaća duboku analizu projektnog zadatka te njegovu eventualnu prilagodbu konceptu korištenja obnovljivih izvora energije, analizu mikrolokaliteta u smislu urbanog i ruralnog tkiva u kojem će objekt živjeti, analizu mikroklimatskih uvjeta naročito u broju sunčanih sati i ruži vjetrova.

Arhitektonsko stvaralaštvo kroz povijest ukazuje na stalne veze s pasivnim korištenjem solarne energije. Takav primjer je:

„Sokratova kuća“¹¹⁶ iz 5. st. p.n.e., čija je razmatranja njegov učenik Ksenofont zapisao u djelu *Uspomene o Sokratu*: „I kad je govorio da su jedne iste lijepe i korisne, meni se činilo da je mogao učiti, kakve treba graditi. Promatrao je ovako: Da li onaj koji želi da ima kuću kakva mu je potrebna, treba da udešava da bude najprijatnija najpodesnija za stanovanja u njoj? A kad bi se to prihvatilo pitao bi: „Nije li prijatno imati ljeti hladnu, a zimi toplu kuću? A kad bi se i na to pristalo, produžio bi: u kućama koje gledaju prema jugu, zimi Sunce sija u trjemove, a ljeti se kreće iznad krovova, te čini hladovinu. Prema tome ako je lijepo da tako bude, ne treba li južnu stranu kuće podizati više, da se ne odbije zimsko Sunce, a sjevernu stranu niže, da ne udaraju hladni vjetrovi?“



Fotografija 3.5. Pasivni sustavi korištenja solarne energije, a) izravni sustav, b,c) neizravno grijanje prostora preko masivnog termalnog zida, d,e,f) sustav s termosifonskim ili prinudnom cirkulacijom zraka po uzoru na skicu iz izvora: Radosavljević, 2004: 72.

Prema načinu grijanja unutrašnjeg prostora, pasivni solarni sustavi dijele se na:

- Sustavi s izravnim upadom sunčevog zračenja,
- Sustavi uz pomoć masivnog zida,
- Sustavi s cirkulacijom zraka iz kolektorskog prostora koji se grije.

¹¹⁶ U Ksenofontovom djelu *Uspomene o Sokratu (Memorabilia)*, Sokrat raspravlja o arhitekturi i optimalnoj orijentaciji kuća kako bi se postigla maksimalna udobnost u različitim godišnjim dobima. Prema Sokratovim riječima, kuće okrenute prema jugu omogućuju da zimi sunčeva svjetlost prodire u trijemove, pružajući toplinu, dok ljeti sunce prelazi iznad krova, stvarajući hladovinu. Ova promišljanja odražavaju Sokratovu praktičnu mudrost i razumijevanje važnosti prilagođavanja ljudskih građevina prirodnim uvjetima. Izvor: Ksenofont. (1964). *Uspomene o Sokratu*. (M. N. Đurić, Prijevod). Beograd: Srpska književna zadruga.

3.3.3. Aktivni sustavi korištenja sunčeve energije u arhitekturi

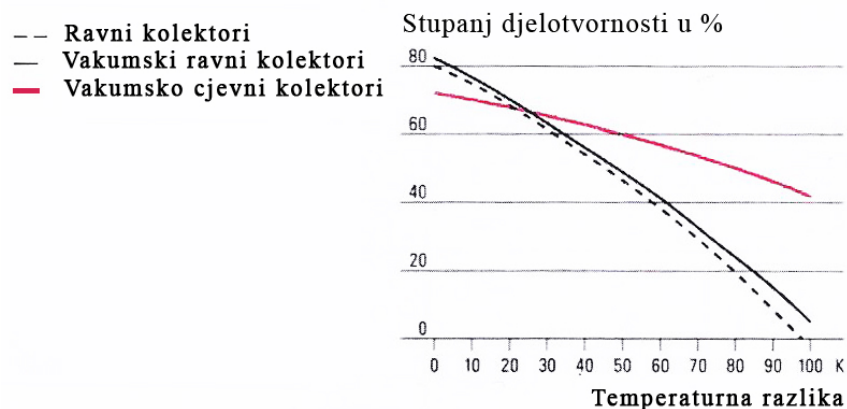
Arhitektonske zgrade danas počinju sve više ličiti na automobile, letjelice, brodove, točnije napunjene su tehničkim sustavima koji je pretvaraju u vrlo aktivne cjeline s ciljem stvaranja energetske neovisnosti o gradskim ili državnim energetskim mrežama. Naprosto je nezamislivo vidjeti suvremenu zgradu 21. stoljeća bez jednog od sustava za odgovarajuću proizvodnju korisne energije.

Aktivni način korištenja sunčeve energije može se podijeliti na dva makro pravca:

- Pretvaranje sunčeve energije u toplinsku energiju koju je moguće koristiti za grijanje ili za pripremu tople vode,
- Sustavi za proizvodnju električne energije iz sunčeve svjetlosti.

Osim pozitivnih karakteristika, neophodno je spomenuti i negativne, kao što su još uvijek visoka cijena sustava i nemogućnost pohranjivanja dobivene energije na duže razdoblje. Do 2030. godine EU će imati 890 GW instaliranog solarnog kapaciteta¹¹⁷ kako na zgradama, tako i u okviru ovojnice ili potpuno samostalno. Topla voda može se dobiti upotrebom dva koncepta. Prvi se odnosi na korištenje površinskih pločastih solarnih apsorbera koji funkcioniraju na temperaturama od -50°C do +120°C (koji su stoga primjenjivi na širokom geografskom području). Njihova učinkovitost ovisi isključivo od mikroklimatskih uvjeta. Maksimalni rezultati se dobivaju pod izravnim djelovanjem sunčeve svjetlosti i to orijentacijom prema jugu u nagibu od 45°. Sva odstupanja smanjuju učinak te je potrebno povećanje površine apsorbera.

Drugi sustavi su vakumski kolektori, također pločasti, gdje postoji suštinska razlika u učinkovitosti jer ova vrsta sustava postiže bolje rezultate pri srednjoj temperaturi vanjskog zraka. Funkcioniraju na principu zatvorenih cijevi u kojima dolazi do isparavanja tekućine koja u obliku pare putuje do kondenzatora gdje se dobivena toplinska energija prenosi na vodu zbog čega se para kondenzira i vraća u toplinsku cijev i uslijed toplinskog zračenja opet pretvara u paru i tako neprestano cirkulira. Toplinski gubici u ovom sustavu su zanemarivi.¹¹⁸ Fotografija 3.6 daje slikovit prikaz razlika između navedena dva sustava te upućuje na odabir istog u ovisnosti o potrebi zgrade i primjeni na lokalitetu.



Fotografija 3.6. Dijagram - usporedba stupnja djelotvornosti solarnih kolektora

¹¹⁷ Izvor: <https://oie.rs/solarpower-europe-objavio-izvestaj-o-odrzivosti-solarne-energije-do-2030-godine-eu-ce-imati-890-gw-instalisanog-solarnog-kapaciteta/>

¹¹⁸ Postoje optički gubici toplinske energije koji nastaju uslijed refleksije i termički koji su uvjetovani kvalitetom kompletnog sustava. Izvor: Daniels, 2009: 209.

Proizvodnja električne energije dobivene od sunčeve svjetlosti vrši se putem fotonaponskih pločastih sustava. Današnja tehnologija omogućila je proizvodnju mnogobrojnih funkcionalnih, estetski zadovoljavajućih i naposljetku učinkovitijih sustava koji imaju široku primjenu. Tako imamo fiksne pločaste sustave, pokretne sustave sa senzorima za praćenje sunčeve svjetlosti, ili sustav tankih traka koje mogu biti potpuno transparentne i samoljepljive kako bi se lakše primijenile na staklenim plohami.¹¹⁹ Tehnologija se neprestano razvija te je za očekivati da će u skorije vrijeme doći do razvoja novih oblika pretvaranja sunčeve energije u električnu s ciljem smanjivanja početnih ulaganja i stalnog poboljšanja učinkovitosti svakog m² ugrađenog sustava. Vrijedna spomena je i tehnologija koju je razvio prof. M. Gratzel na ETH Lausanne,¹²⁰ a radi se o sustavu koji se ne temelji na siliciju, već se simuliraju polisinteze na bazi poluprovodnika titanoksida (TiO). Zbog 10 puta manje cijene proizvodnje u odnosu na elemente bazirane na siliciju, ove ćelije postaju posebno zanimljive.

3.3.4. Energija vjetra

Energija vjetra također spada u vrlo zastupljene izvore obnovljivih energija u svijetu. Njena iskoristivost je trenutno u stalnom porastu, naročito u zemljama EU, ali i SAD-a. Nepotrebno je naglašavati učinkovitost principa korištenja obnovljivih izvora energije, s obzirom na to da su oni prepoznati i primjenjivani još prije 3,000 godina p.n.e., ali se to nije događalo u strukturiranom obliku kao danas. U povijesti se nalaze brojni primjeri korištenja obnovljivih izvora energije koji svjedoče o ljudskoj sposobnosti da iskoristi prirodne resurse za proizvodnju energije. Na primjer, na rijeci Nil u drevnom Egiptu, koristili su se čamci s jedrima kako bi se iskoristila kinetička energija vjetra za pomicanje čamaca niz rijeku.

Razvoj tehnologije i znanosti doveli su do širenja primjene obnovljivih izvora energije. U 19. stoljeću razvijale su se prve vjetroturbine, prvenstveno za mehaničke svrhe poput pumpanja vode i mljevenja žitarica. Korištenje vjetra za proizvodnju električne energije započelo je krajem 19. stoljeća s pionirima poput Jamesa Blytha u Škotskoj i Charlesa F. Brusha u Sjedinjenim Američkim Državama. Koncept grupiranja turbina u vjetrofarme pojavio se tek u drugoj polovici 20. stoljeća, što je bio značajan korak naprijed u razvoju obnovljivih izvora energije.¹²¹

Pravi procvat korištenja obnovljivih izvora energije, posebno vjetra, dogodio se tijekom 70-ih godina prošlog stoljeća. Tijekom 1970-ih godina dogodio se značajan procvat korištenja obnovljivih izvora energije, posebno energije vjetra, što je potaknuto nizom globalnih događaja i trendova. Energetske krize 1973. i 1979. godine, uzrokovane poremećajima u opskrbi nafte, istaknule su potrebu za smanjenjem ovisnosti o fosilnim gorivima i diversifikacijom izvora energije. U isto vrijeme, tehnološki napredak omogućio je razvoj pouzdanijih i učinkovitijih vjetroturbina, čineći energiju vjetra ekonomski prihvatljivijom. Vlade, posebice u Sjedinjenim Američkim Državama i Europi, uvele su subvencije i programe poticanja razvoja obnovljivih izvora energije, dok je rast

¹¹⁹ Schüco prezentira veliki broj inovacija, a to su: Sustav naslanjajuće fasade FSE 3000, Hladna fasada SCC 50/SCC 60, Sustav za modernizaciju ERC 50, izvor: www.schueco.com, www.koenigsolar.at (10.10.2013)

¹²⁰ EPFL *Ecole Polytechnique Federale de Lausanne*, Izvor: Daniels, 2009: 214.

¹²¹ Shepherd, 1994.: 193–217

ekološke svijesti dodatno pridonio prihvaćanju čistih tehnologija. Kalifornija je u tom razdoblju postala predvodnik instalacije velikih vjetrofarmi, postavivši temelje za budući rast sektora obnovljivih izvora energije.¹²²

Prema podacima Međunarodne agencije za energiju (IEA), globalna instalirana kapaciteta vjetroenergije narasla je s nekoliko stotina megavata u ranim 1970-ima na preko 20 GW do kraja 1980-ih godina.

Naftne krize 1973. i 1979./1980. potaknule su društvo na razmišljanje o alternativnim izvorima energije. Kao rezultat tih promjena, tijekom 1980-ih razvijene su modernije tehnologije za energiju vjetra, uključujući dansku turbinu s rotorom promjera 15 m i snagom od 25 kW, koja je postala simbol tehnološkog napretka. Danas su vjetroturbine znatno naprednije, s visinama do 100 m, rotorima promjera preko 100 m i instaliranom snagom do 5 MW. Vjetar je prirodni i potpuno obnovljiv resurs, čiji potencijal varira sezonski, ovisno o regiji, s povećanom proizvodnjom u vjetrovitim razdobljima.

Tablica 3.2. Razvoj tehnologije vjetroturbine u svijetu u razdoblju 1980. – 2002.god.

	1980.	1985.	1990.	1995.	2000.	2002.
Rotor (m)	10	17	27	40	71	85
Snaga (KW)	25	100	225	550	1000	1650
Godišnja proizvodnja (MWh)	40	190	460	1200	1900	4400

Razvoj tehnologije u posljednjih 40 godina pokazuje da su najveći kapaciteti uglavnom instalirani u razvijenim državama. Tako postoje podaci da je u SAD-u 2014. instalirano 51.630 MW, a da je 2003. godine bilo instalirano 6.374 MW vjetroelektrana. U prva tri kvartala 2012. godine u SAD-u je instalirano 4.728 MW, a u zadnjem kvartalu dodatnih 8.430 MW, što govori o važnosti vjetroenergije.¹²³ U 2011. godini u EU je instalirano 9,616 MW, što je ukupno 93,957 MW instalirane snage, ili 6.3% ukupnih energetske potrebe zemalja članica EU 28. Vjetroidustrija je u proteklih 17 godina imala prosječni rast od približno 15,6% na godišnjoj razini (razdoblje 1995. - 2011.),¹²⁴ Fotografija 3.7. prikazuje simulaciju rasta instaliranja sistema korištenja vjetro energije u Svijetu. Industrija čiste energije u SAD dodala je ukupno 33,8 gigavata (GW) novih projekata čiste energije u 2023., nadmašivši za 12,5% prethodni godišnji rekord instalacija postavljen 2021. SAD sada ima 262 GW čiste energije koja napaja svoju mrežu, što je dovoljno električne energije za napajanje ekvivalentno 69 milijuna američkih domova. Kao rezultat toga, zemlja sada proizvodi 16% svoje električne energije iz vjetra i sunca.¹²⁵

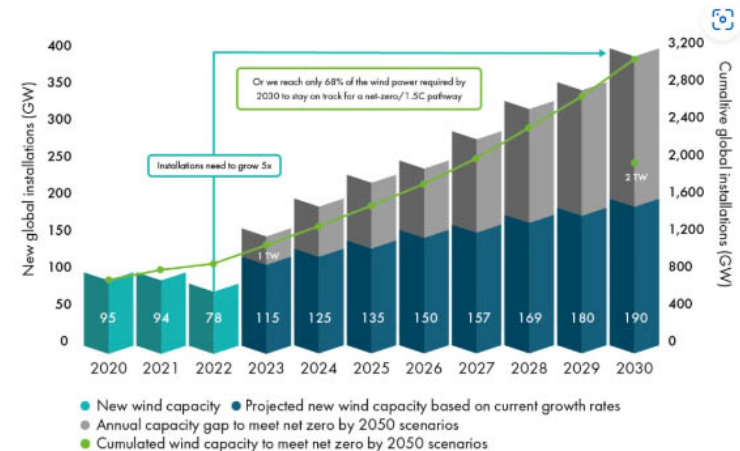
¹²² Gipe, 2004.

¹²³ AWEA - *American wind energy association*, izvor: The American Clean Power Association (ACP) (20.12.2024.)

¹²⁴ IEWEA - *European wind energy association*, izvor: www.ewaa.org (podatak preuzet dana: 09.01.2013)

¹²⁵ American Clean Power, Clean Power Annual Market Report, 2023.

U posljednjih 17 godina došlo je do povećanja korištenja vjetroenergije. U svijetu je 1996. godine bilo ukupno instalirano 6,100 MW, a krajem 2011. 237699 MW. Također, i u zemljama Azije, naročito u Kini počela se primjenjivati spomenuta tehnologija, što govori o svjetskom prepoznavanju „problema“ ili mogućih posljedica ukoliko se nastave koristiti konvencionalni izvori energije.¹²⁶



Fotografija 3.7. Projekcija instalirane snage korištenja vjetroenergije na globalnom nivou

S druge strane, nemoguće je ne spomenuti negativne osobine vjetroturbina. Radi se uglavnom o tehničkom rješenju u smislu nepoželjnog zvuka (tj. buke).¹²⁷ Tako je na primjer ovaj problem pokrenuo niz diskusija s udruženjima za zaštitu životinjskog i bilnog svijeta. Drugi negativan faktor je vizualno narušavanje okoline kao i zauzimanje zemljišta. Današnja tehnologija je u velikoj mjeri otklonila negativnu pojavu buke, ali vizualni utjecaj vjetroelektrana na pejzaž i dalje ostaje otvoreno pitanje.

Perspektive iskorištavanja energije vjetra značajno su se razvile u posljednjim desetljećima. Ukupni instalirani kapacitet vjetroelektrana u svijetu dosegao je više od 1.047 GW do kraja 2023. godine, omogućujući proizvodnju približno 10% globalne električne energije. Procjene pokazuju da bi globalni tehnički potencijal energije vjetra mogao omogućiti godišnju proizvodnju od oko 53.000 TWh, što bi značajno premašilo trenutne svjetske potrebe za električnom energijom. Smanjenje troškova proizvodnje i instalacije vjetroturbina dodatno potiče njihovu primjenu u različitim ekonomskim sredinama. U Bosni i Hercegovini potencijal za razvoj vjetroelektrana je prepoznat, s planovima za instalaciju novih kapaciteta u narednim godinama. Federalni hidrometeorološki zavod je kroz projekt "BH vjetar"¹²⁸ proveo analize potencijalnih lokacija, uzimajući u obzir faktore poput vjetropotencijala, očuvanja prirodnog pejzaža i pristupačnosti terena. Ove analize su ključne za identifikaciju najpogodnijih lokacija za buduće vjetroparkove u zemlji. Analiza je podijeljena na dva dijela. U prvom eliminirani su određeni potencijalni lokaliteti na osnovi baznih postulata: vjetropotencijal mikrolokaliteta, problem narušavanja vizualnog identiteta prirodnog pejzaža, nacionalnog blaga ili kulturnog

¹²⁶ Izvor: GWEC - Global Wind Energy Council, Global wind report, annual market update 2011, izvor: www.gwec.net (20.12.2024.)

¹²⁷ Mlazni avion od 140-150 db, pneumatska bušilica od 120-130 db, kancelarijska buka od 60-70 db, kućna buka od 50-60 db, vjetroturbina oko 45 db.

¹²⁸ „BH vjetar“ je program analiziranja potencijala u iskorištavanju energije vjetra, koji je sastavila IBC tvrtka na čelu s mr. sci. Farukom Mušovićem

naslijeđa i područja koja su fizički nepristupačna za izgradnju planiranih postrojenja (zbog nepovoljne konfiguracije terena, loših ili nepostojećih pristupnih prometnica, reljefa itd.). Tablica 3.3. pokazuje rezultate studije o vjetropotencijalu u BiH.

Tablica 3.3. Studija o vjetropotencijalu u BiH, 11 regija

	Regija	Instalirana snaga (MW)	Očekivana godišnja proizvodnja električne energije (GWh)
1	Mostar (istok)	210	600
2	Mostar Blato (sjever)	90	190
3	Ugrovača (sjever)	90	200
4	Duvanjsko polje (istok)	80	160
5	Raško polje (jug)	90	180
6	Cincar	80	160
7	Udreženje	30	60
8	Dubarsko polje (sjever)	80	170
9	Hutovo (zapad)	30	60
10	Popovo polje	60	120
11	Ivan sedlo	30	50
Ukupno		950	1950

U drugom dijelu definirano je ukupno 19 potencijalno dobrih lokacija koje su zadovoljile osnovne parametre.¹²⁹ U finalnoj analizi određeno je 11 lokaliteta s ukupnim potencijalom iskoristivosti¹³⁰ korištenja vjetra kao izvora energije. Koraci koji su uslijedili jesu implementacija projekata na danim lokalitetima i mjerenja rezultata dobivene energije iz vjetra.

Integracija vjetroeenergije s arhitekturom postavlja novi arhitektonski identitet koji stvara novu konceptualizaciju forme i oblika u zgradarstvu. Vizualni identitet spomenute arhitekture otvara mnoge diskusije o kojima je moguće govoriti i tražiti pozitivne i negativne utjecaje, ali sigurno je da i oni postaju dio odgovora na pitanje održivosti arhitektonske zgrade kao energetske neovisnog sustava unutar urbanog tkiva. Tako na primjer Fotografije 3.8.a,b, pokazuju sinergiju između arhitekture i energije (*Tower of Power*¹³¹ i *Bahrain World Trade center*¹³²) i pokazuju nastanak nove ere u arhitektonskom projektiranju.

¹²⁹ Brzina vjetra ne manja od 4 m/s, pravac, temperatura zraka u zimskom razdoblju, vlažnost zraka, učestalost, pravac vjetra i razdoblja tišine.

¹³⁰ Izvor: Muštović, 2005: 162.

¹³¹ Tower of Power, NP architects 2011, 600 vjetroturbina na fasadi objekta koja ima instaliranu snagu od 6 MW. Ideja zgrade dolazi od asocijacije na pleteno drvo, a zamišljeni koncept treba svakom posjetitelju približiti proces generiranja električne energije iz vjetropotencijala. Izvor: www.inhabitat.com

¹³² Bahrain World Trade Center predstavlja prvi neboder u svijetu s integriranim vjetroturbinama koje mogu proizvesti 15% od ukupnih energetskih potreba građevine. Izvor: www.planetgreen.discovery.com (10.01.2025)



Fotografije 3.8. (a) „Bahrain World Trade Centar“ i (b) detalj vjetroturbine,

3.3.5. Geotermalna energija

Geotermalna energija predstavlja toplinsku energiju pohranjenu u stijenama i tekućinama u Zemljinoj kori. Korištenje ove energije datira još iz vremena antičkih civilizacija, poput Grčke i Rima, koje su koristile termalne izvore za grijanje i kupke. Značajno otkriće da termalni fluidi sadrže bornu kiselinu 1777. godine potaknulo je razvoj tehnologija za korištenje geotermalne pare. Potencijal ove energije je ogroman, budući da bi smanjenje temperature Zemljine kore za $0,1^{\circ}\text{C}$ moglo zadovoljiti globalne energetske potrebe za narednih 15.000 godina.¹³³ Iako se smatra obnovljivim izvorom, geotermalni sustavi mogu biti iscrpljeni na lokalnoj razini. Geotermalna energija dobiva na popularnosti unatoč visokim troškovima instalacije, o čemu svjedoči činjenica da je u Švicarskoj instalirano više od 1.600 dubinskih sonda spojenih na dizalice topline.¹³⁴ Tlo ima značajan toplinski potencijal, naročito prvih 1.000 metara, gdje je temperatura na dubini od 10 m relativno stabilna (oko 9°C), a svakih 100 m dublje raste za prosječno $2\text{--}3^{\circ}\text{C}$.

¹³³ Razlikuju se četiri grupe geotermalnih izvora energije: 1. Hidro-geotermalna energija izvora tople vode, 2. Hidro-geotermalna energija izvora vodene pare, 3. hidro-geotermalna energija vrele vode u velikim dubinama, 4. Petrotermička energija – energija vrelh i suhah stijena, izvor: Radaković, 2010: 9.

¹³⁴ Izvor: Izvor: Daniels, 2009: 238.

Korištenje energije tla može se podijeliti na dva ključna koncepta:

- duboka i
- plitka geotermija.

Geotermalne elektrane su strukture za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora. Sustav ovog vida iskorištavanja obnovljive energije uključuje duboke geotermalne sonde koje se spuštaju do dubine od 3000 m. Drugi dubinski vid iskorištavanja je putem duboke geotermije, gdje se primjenjuju centralni sustavi za opskrbu toplinskom ili energijom za hlađenje dijelova gradova ili većih arhitektonskih kompleksa. U tom slučaju, sonde silaze na dubinu od 700 m i kroz njih cirkulira voda koja izravno uzima energiju iz tla. Treći dubinski princip su sonde dubine do maksimalnih 150 m, gdje se polietilenska cijev spušta na dubinu od 100 do 150 m u kojoj u zatvorenom krugu cirkulira voda s dodatkom soli ili aditiva protiv smrzavanja.¹³⁵ Prednost ovog sustava je ta što isti ima mogućnost da grije i hladi prostor putem istih zatvorenih krugova na način da u zimskom razdoblju hladnu vodu (približno od -2 do -5°C) spušta na dubinu od 100 m i tlu oduzima toplinu putem tekućine (s temperaturom od 9 do 12°C) vraća u izmjenjivač topline (dizalicu topline) i uz pomoć električne energije pretvara dobivenu temperaturu na projektiranu (npr. 45°C), zavisno od potrebe. U plitke sustave spada i površinski sustav koji crpi energiju tla putem sonde položene na dubini od 150 - 200 cm.

Za ugradnju vertikalnih sondi potreban je dovoljan prostor, jer je potrebno ugradnju vršiti na minimalnom rastojanju od 7 m, kako jedna drugoj ne bi oduzimale energiju. Po m' bušotine zavisno od sastava slojeva tla moguće je dobiti snagu od 50 do 70 W/m'.¹³⁶ Proces bušenja je također složen, naročito u uskim gradskim zonama zbog gabarita strojeva, prašine i buke koja se proizvodi. Vrijeme bušenja može trajati od 3 do 15 dana u zavisnosti od snage stroja i sastava tla. Bušenje, oprema i rad još uvijek predstavljaju faktore koji negativno utječu na ekonomsku isplativost pa povrat investicije u geotermalne sustave obično traje između 10 i 20 godina u razvijenim zemljama, te 15 do 25 godina u sustavima bez subvencija ili u područjima s nižim geotermalnim potencijalom.¹³⁷ Ovo dovodi u pitanje isplativost cjelokupnog koncepta energetskeg sustava određene građevine.

Prilikom planiranja ugradnje potrebno je voditi računa o prostoru koji je potreban oko ili ispod objekta (ako je to konstruktivno moguće izvesti). Vertikalne bušotine se postavljaju na međuosovinskom razmaku od 7m, a ako se radi o površinskoj instalaciji na dubini od 1,5 do 2,0m onda je potrebno predvidjeti prostor jednak od ca.1,5 x neto tretirani unutarnji prostor bez visokog rastinja iznad instaliranog sustava. Fotografije 3.9. (a,b,c) prikazuju primjer primjene vertikalnog sustava iskorištavanja geotermalne energije. Radi se o stambenoj vili u Sarajevu, koja je u potpunosti izvedena u skladu sa studijom energetske učinkovitosti (izvedena 2011. godine). Studija je uključivala usporedbu početne investicije, vremena povrata i godišnjih ušteda energije i redukcije emisije

¹³⁵ Unutar sonde se spušta dvocijevni ili četverocijevni sustav koji se cementira, cijela dužina rupe se popunjava sa visoko termički propusnim cementom (cementu se dodaje silikatno brašno, bentonit, perlit i vermikulit)

¹³⁶ Podatci preuzeti iz studije energetske učinkovitosti o objektu privatne vile u Sarajevu, BiH, autor projekta i studije Dr.sc. Haris Bradić, dipl. ing. arh., Sarajevo, 2011. godina

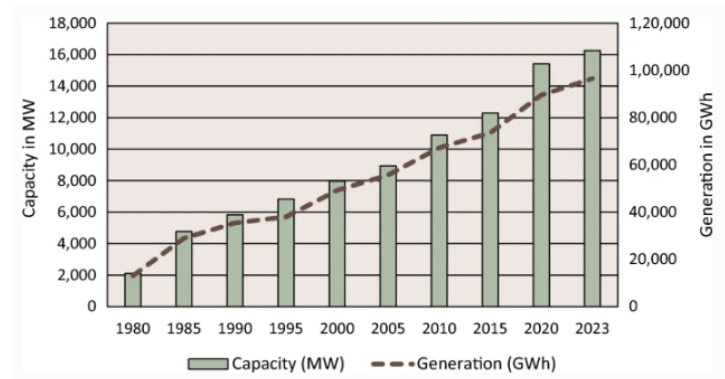
¹³⁷ Studije iskoristivosti koje je autor sam napravio na nekoliko primjera raznih oblika, formi i namjena zgrada u Sarajevu i Makedoniji, objavljen u časopisu „Građevinar“ broj: 8/2013, rad: *Proces projektiranja energetske učinkovitih stambenih obiteljskih vila*, Izvor: www.gradvinar.hr

CO₂. Ako se radi o indirektnom korištenju geotermalne energije, onda je najbolje primijeniti sistem „zatvorenog ciklusa“ tj. koristiti toplinu tla za grijanje, hlađenje i *ptv* kako bi se u ljetnom periodu dio topline oduzet tijekom zime vratio u prostor oko bušotine.



Fotografije 3.9. (a,b,c), Izgradnja niskoenergetske kuće u Sarajevu, projektant druge faze Haris Bradić, dipl. ing. arh., izvođenje geotermalnih bušotina, sustav sa četiri cijevi, fotografirano: 07.11.2012.

Samo 32 zemlje u svijetu imaju u pogonu geotermalne elektrane, s ukupnim kapacitetom od 16.318 MW instaliranim u 198 geotermalnih polja sa 673 pojedinačne pogonske jedinice. Gotovo 37% tih jedinica je *flash* tipa s ukupnim kapacitetom od 8598 MW (52,7% od ukupnog kapaciteta), a slijede binarne jedinice tipa ORC s 25,1% instalirane snage. Na popisu vodećih zemalja u proizvodnji geotermalne energije i dalje su SAD, a slijede ih Indonezija, Filipini i Turska, koje su proizvele 96.552 GWh električne energije, s prosječnim godišnjim faktorom kapaciteta od 67,5%. Ovo je predstavljalo 0,34% svjetske proizvodnje električne energije. Geotermalna električna energija činila je više od 10% ukupne proizvodnje u najmanje sedam zemalja, na čelu s Kenijom, Islandom i El Salvadorom. Većina geotermalnih polja koristi hidrotermalne rezervoare s procijenjenih 3700 proizvodnih bušotina, gdje je prosječna proizvodnja po bušotini 3 MW godišnje¹³⁸.



Fotografija 3.10., Ukupno instalirana snaga do 2023. godine

¹³⁸ Izvor: <https://geothermal-energy-journal.springeropen.com/> (20.12.2024.)

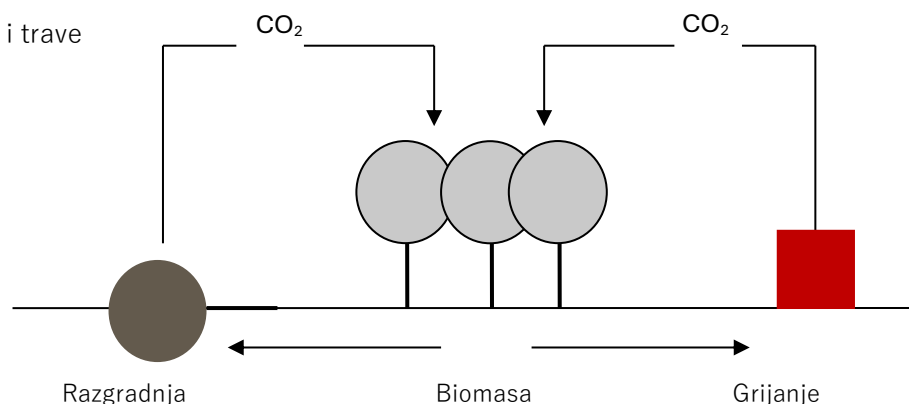
3.3.6. Energija biomase

Biomasa je apsolutno obnovljivi izvor i ekološki prihvatljiv, jer biljke uzimaju CO₂ iz atmosfere u onoj mjeri koliko se procesom vlastitog spaljivanja proizvede. Osim navedenog ovaj izvor energije je samoobnovljiv kroz prirodne cikluse. Potencijal iskorištavanja energije biomase vidljiv je iz činjenice da je 1/3 cijelog planeta pokrivena šumama (Europa oko 34%, ili 0,34 ha/stanovniku; u BiH je 46% ukupnog teritorija pokriveno šumama, ili 0,57 ha/stanovniku, od čega je 82% vlasništvo države, a ostatak od 18% su privatne ili šume pravnih subjekata.¹³⁹)

Biomasa je prirodni otpad koji nastaje u okviru prirodnih ciklusa¹⁴⁰. Može se podijeliti u sljedeće dvije skupine prema porijeklu i konačnom pojavnom obliku:

Prema porijeklu:

- Šumska ili drvena biomasa
 - Prirodni ostatci iz šumarstva i drveno-prerađivačke industrije
 - Proizvodi ciljanog uzgoja, a to su: brzorastuće drveće. Suštinski predstavljaju *rasadnike energije*
- Nedrvna biomasa
 - Proizvodi ciljanog uzgoja, a to su: farme algi i trave
 - Ostatci i otpadci iz poljoprivrede
- Biomasa životinjskog porijekla
 - Životinjski otpad i ostatci
- Prema konačnom pojavnom obliku
 - Kruta biomasa
 - Bioplinovi
 - Kapljevita biogoriva (alkohol, biodizel)¹⁴¹



Fotografija 3.11. Prirodni ciklus kretanja CO₂ u prirodi, urađeno po izvoru: Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, M., Energy Manual, sustainable architecture, str. 56.

¹³⁹ Podatci preuzeti iz Federalnog ministarstva poljoprivrede, vodoprivrede i šumarstva, dokument: *Informacija o gospodarenju šumama u Federaciji BiH u 2011. godini i planovima gospodarenja šumama za 2012. godinu*, www.fmpvs.gov.ba (10.01.2025)

¹⁴⁰ Nastali CO₂ pri izgaranju biomase priroda koristi za rast novih biljaka putem procesa fotosinteze što predstavlja zatvoreni prirodni krug sa nultom štetnom emisijom CO₂ u atmosferu.

¹⁴¹ Izvor: Labudović, 2012: 36

Biomasa se od nastanka čovjeka koristi za grijanje i preživljavanje čovjeka, a način korištenja je evoluirao slijedeći tehnološki i tehnički napredak. Naime, danas je korištenje modernizirano upotrebom automatiziranih kamina, kaminskih peći, centralnih sistema sa kotlovima za jednu ili više stambenih jedinica, ili cijele urbane blokove. U zavisnosti od energetske ciljeve ovisi i način upotrebe biomase.

Energija dobivena iz biomase zavisi od sljedećih ulaznih podataka:

- kemijski sastav,
- toplinska moć,
- temperatura samozapaljenja,
- temperatura sagorijevanja,
- fizička svojstva koja utječu na toplinsku moć (npr. gustoća, vlažnost i dr.).

Ako se radi o biomasi drvne industrije koja nastaje kao otpadni materijal koji nije moguće nigdje drugo iskoristiti, osim spaliti ili uništiti, onda će od ključnog značaja za energetske potencijal biti podatak radi li se o četinarima ili listopadnom drveću, točnije podatak o tvrdoći i kemijskom sastavu drveta. U BiH od ukupnih drvnih zaliha koje iznose 161.842.558 m³, 58% otpada na listopadno drveće, a 42% ili 68.020.804 m³ na četinare¹⁴².

Osim potencijala drvne industrije, u BiH postoji veliki potencijal iskorištavanja prirodnog otpada iz poljoprivrednog sektora. Tako na primjer na poljima kukuruza 48% od ukupne mase biljaka čini otpad, koji se trenutno ne koristi ni u kakve energetske svrhe. Šumsku biomasu možemo podijeliti u četiri osnovna upotrebna oblika: cjepanice, sječke, brikete i pelet. U zavisnosti od resursa, prirodnog ili industrijskog otpada zavisi i konačni potencijal u nastajanju.

Cjepanice nastaju uglavnom rezanjem i cijepanjem stabala. Maksimalna dužina cjepanica je 1m a ložišta su prilagođena na dužine do 50cm. Najčešće se koriste u privatnim ložištima kao što su kamini i kaminske peći.

Sječka su komadići drvne biomase raznih dimenzija i oblika koji nastaju sječenjem i usitnjavanjem drvne sirovine. Koriste se za ložišta veće snage od 50kW do MW. Dimenzije sječke su: dužina 1.10cm, a promjer zavisi od kategorije sječke: fina ima promjer 3cm, srednja 5cm i krupna do 10cm.

¹⁴² Šumska biomasa predstavlja jedan od najvažnijih obnovljivih izvora energije u svijetu. Procjenjuje se da šume pokrivaju više od 4 milijarde hektara Zemljine površine, što čini oko 31% ukupnog kopna. Iako se godišnje posadi približno 4 milijuna hektara novih šuma, globalni šumski pokrivač bilježi neto gubitak od približno 4,7 milijuna hektara godišnje, uglavnom zbog krčenja u tropskim regijama. Šume su ključne za apsorpciju ugljika i proizvodnju biomase, što ih čini važnim resursom u borbi protiv klimatskih promjena. Izvor: <https://www.fao.org/home/en/> (14.01.2025.)

Briketi su pravilni komadi, usitnjenog i presovanog otpada koji nastaje pretežno u drvnj industriji u obliku pilotine. Kružnog su poprečnog presjeka promjera 50-100mm, dužine 60-150mm. Kontroliran je udio vlage koji ne smije preći 10%, a u sastavu ne smije biti kore drveta. Ogrjevna moć u prosjeku iznosi 18,5MJ/kg, a energija koja se dobije izgaranjem 2kg briketa ekvivalentna je onoj iz 1l loživog ulja.

Peleti su geometrijski pravilni komadići presovane usitnjene drvne mase, koja nastaje kao industrijski otpad ali i prirodni šumski otpad koji se prethodno melje. Dimenzije peleta su: duljina 5.45mm, promjer 6-8mm. Relativno su visoke gustoće koja iznosi više od 650kg/m³. Uglavnom se proizvode od drveta visoke ogrjevnje vrijednosti kao npr.: hrast, bukva, jasen, grab, topola, lipa, i dr. i to presovanjem pod tlakom od 1000 bara. Udio vlage ne smije preći 8%. Ogrjevna vrijednost peleta je 4,9-5,4kWh/kg, 2kg peleta su ekvivalentna 1l loživog ulja.

U perspektivi postoji nekoliko elemenata koji će utjecati na unaprjeđenje korištenja biomase. Prvi korak je poboljšanje procesa sagorijevanja u kotlovima gdje je potrebno osigurati cjelokupno sagorijevanje, dok se drugi korak odnosi na donošenje regulativa o strateškom djelovanju za naredno razdoblje koje će zabraniti spaljivanje prirodnog otpada i definirati poticaje za korištenje biomase za proizvodnju bilo kojeg iskoristivog oblika energije u arhitekturi. Odabir izvora topline sustava grijanja na šumsku biomasu isključivo ovisi o funkciji i količini topline koju je potrebno dobiti, a najčešća su:

*otvoreni kamini, zatvoreni kamini, peći na drva, peći na pelet, peći na drva
za centralno grijanje, kalijeve peći, kotlovi na cjepanice, kotlovi na pelet,
kotlovi na sječku i kombinirani kotlovi na šumsku biomasu.*

3.3.7. Energija vode

Svjetski potencijal za korištenje hidroenergije za proizvodnju električne energije je izuzetno velik. Hidroelektrane trenutno čine jedan od glavnih obnovljivih izvora energije na globalnoj razini, s udjelom od približno 16% u ukupnoj svjetskoj proizvodnji električne energije. Ovaj udio se i dalje povećava zahvaljujući tehnološkom napretku i razvoju novih hidroenergetskih projekata, uključujući velike brane i male hidroelektrane.¹⁴³

Bosna i Hercegovina raspolaže značajnim potencijalima za proizvodnju električne energije iz hidroenergije. Hidroelektrane trenutno čine ključni dio energetskeg sektora, a u povoljnim hidrološkim uvjetima (s dovoljnom količinom padavina) mogu osigurati čak do 50% ukupne godišnje proizvodnje električne energije.¹⁴⁴

¹⁴³ International Renewable Energy Agency (IRENA). (2022). Izvor: <https://www.irena.org> (14.01.2025.)

¹⁴⁴ Iskorišteni hidropotencijal Bosne i Hercegovine je ispod 40% iskoristivog, trenutno je operativno 14 velikih hidroelektrana (većina s branom) i niz malih (protočnih) koje daju ukupnu snagu od 28,2 MW. U toku je izgradnja hidrocentrale Vranduk na rijeci Bosni, a planirana je izgradnja niza malih elektrana na rijeci Neretvi, Drini itd. Izvori: www.energis.ba, www.elektropirvreda.ba (10.01.2025)

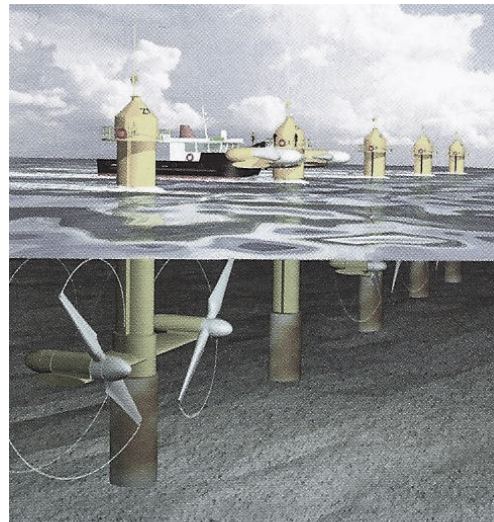
Znanost i struka su u neprestanoj potrazi i za drugim obnovljivim izvorima energije iz okoline. Energija mora je jedan od vidova obnovljivih izvora koju je moguće dobiti na dva načina:

- *Korištenje energije plime i oseke te morskih struja*, gdje bi se kroz proces iskorištavanja kinetičke energije kretanja mora proizvodila električna energija,
- *Korištenje toplinske energije mora* na dubinama koje imaju konstantnu temperaturu, gdje se putem položenih sonde spojenih s toplinskom pumpom dobiva toplinska energija za grijanje, hlađenje ili proizvodnju tople vode.

Energija valova je također jedan od izazova, ali svi navedeni izvori obnovljive energije nisu u širokoj primjeni kako zbog ekonomskih tako i zbog učinkovitosti sustava zaštite ekologije. Na slikama 3.12. i 3.13. prikazani su primjeri koji su djelomično ostali u fazi projekta ili su u pušteni u primjenu¹⁴⁵ u cilju istraživanja i kreiranja novih modela korištenja obnovljive energije. Korištenje energije mora je još uvijek neistraženo, a samim tim implementacija istog nije široko zastupljena te sve rečeno predstavlja pilot projekte koji su trenutno u fazi promatranja.

3.3.8. Energija okolnog zraka

Toplotne pumpe zrak-voda donijele su značajan tehnološki napredak, jer omogućuju jednostavno i energetski učinkovito grijanje, hlađenje i pripremu sanitarne tople vode. Ideja toplotne pumpe potječe još iz 1852. godine, kada je engleski fizičar William Thomson (lord Kelvin) izložio teoriju da vanjski zrak sadrži velike količine nisko-temperaturne topline koja se može koristiti za grijanje i hlađenje. Jedan od prvih sustava toplotnih pumpi za grijanje instaliran je 1938. godine u Ženevi, koristeći toplinu iz jezera Ženeva za grijanje zgrada.¹⁴⁶



Fotografija 3.12. Projekt turbina ispod mora za proizvodnju električne energije morske struje

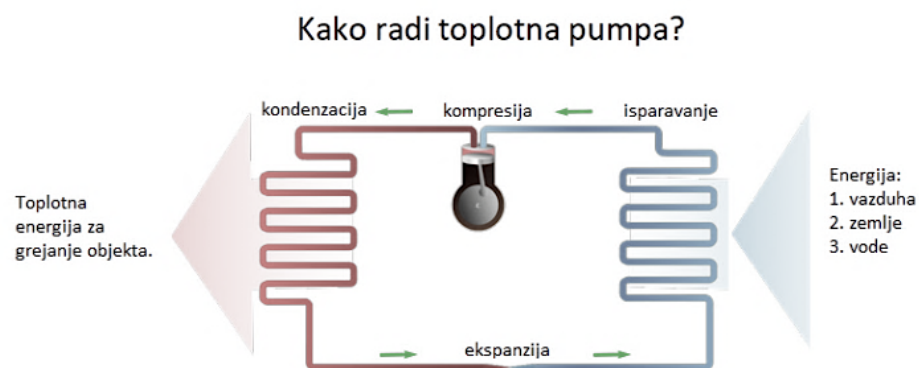


Fotografija 3.13. Prva elektrana u SAD-u, koja koristi energiju valova mora za proizvodnju električne energije

¹⁴⁵ Izvor: Smith, 2003: 37–39.

¹⁴⁶ Lund, 2001: 29–68.

Sustavi su nisko-temperaturni i jedino su ekonomski isplativi ako se ugrađuju u objekte sa visoko izoliranom ovojnicom¹⁴⁷. Koeficijent iskoristivosti dostiže vrijednost do 4¹⁴⁸ ili nešto više, a mogu funkcionirati pri vanjskoj temperaturi od -25°C. Funkcioniraju na principu uzimanja hladnog vanjskog zraka i uz pomoć utroška električne energije vrše grijanje vode iz sistema na traženu temperaturu. Što je vanjska temperatura niža, a unutarnja temperatura veća dolazi i do većeg utroška električne energije što utiče i na povećanje faktora iskoristivosti, a samim tim i većom potrošnjom energije. Vanjska jedinica se može montirati bilo gdje (krov, vanjski zid, vanjski prostori), a najbolje je da unutarnja i vanjska jedinica imaju što manju udaljenost. Sustav se može kombinirati i sa drugim vidom dobivanja toplotne energije kao npr. solarni kolektori, rekuperatori, fotonaponske ćelije, itd.



Fotografija 3.14. Prosta šema dizalice topline

Ideja o prijenosu topline datira još iz 19. stoljeća. James Prescott Joule prvi je demonstrirao promjenu temperature plina uslijed promjene tlaka, što je postao temeljni princip za razvoj rashladnih strojeva. Iako je William Thomson (lord Kelvin) izložio teorijske osnove za rad toplinskih pumpi, prvu praktičnu toplinsku pumpu razvio je Peter von Rittinger 1855. godine.¹⁴⁹ Lord Kelvin 1852. godine iznio je teorijske temelje za rad dizalica topline, opisujući sustav koji koristi razliku u temperaturi između toplinskog izvora i toplinskog ponora za prijenos topline. Ovo je označilo početak razvoja današnjih dizalica topline (eng. *heat pumps*). Po definiciji,

¹⁴⁷ U kategorizaciji bi se moglo reći da se radi o objektima sa malom energetsom potrebom za grijanje i hlađenje, iskustvo pokazuje da su to objekti sa ukupnim energetske potrebama nižim od 60 kWh/m²/god.

¹⁴⁸ Za svaki utrošeni 1 kWh potrebne energije za kompresor dobivamo 4 - ili više puta veću toplotnu korisnu energiju. Ovaj faktor iskoristivosti ili COP faktor ovisi od niza vanjskih, ali i unutarnjih faktora.

¹⁴⁹ Lund, 2011: 190-217

dizalica topline/toplotna pumpa je: „*uređaj koji toplinsku energiju podiže s nižeg (toplinski izvor) na viši temperaturni nivo (toplinski ponor), trošeći pri tome energiju za rad*“.¹⁵⁰ Dizalice topline možemo podijeliti u 4 kategorije:

- Dizalica topline „zrak-zrak“,
- Dizalica topline „zrak-voda“,
- Dizalica topline „voda-voda“,
- Dizalica topline „zemlja-voda“.

Podjela nastaje na osnovi odabranog obnovljivog izvora energije i medija koji će energiju emitirati unutar prostora. Izbor ovisi o mnogo faktora, a najvažniji su: oblik i namjena zgrade, kvaliteta ovojnice koja za sobom nosi ukupne energetske potrebe zgrade (grijanje, hlađenje i topla voda), potencijal lokaliteta u korištenju obnovljivih izvora energije i mogućnost primjene unutar faze dizajniranja zgrade, ili postojeće izgrađene zgrade i lokacije.

Učinkovitost sustava mjeri se energetske koeficijentima, kao što su na primjer koeficijent grijanja KG, ili koeficijent hlađenja KH, ili drugi kao što su koeficijent karakteristike, recipročna termička učinkovitost, itd.

Međunarodni termin za učinkovitost sustava je COP (eng. *Coefficient of Performance*).¹⁵¹

Koeficijent ne može biti manji od 1, a može dostizati vrijednost i do 6. Veći koeficijent znači manji udio nekog od izvora energije (najčešće je to električna energija).

3.3.9. Složeni sustavi korištenja unutrašnje energije prostora

Prilikom dizajniranja energetske učinkovitih zgrada, potrebno je detaljno analizirati sve potencijalne izvore energije koji imaju utjecaja na zgradu, kako s vanjske strane tako i u unutarnjem prostoru. U unutarnjem prostoru izvori toplinske energije su: konzumenti - na primjer u školama to su učenici i osoblje koje emitiraju određenu količinu energije¹⁵², električni aparati u kuhinjama, praonicama, računala, laboratorijski aparati, itd. Oni su ujedno i potrošači, ali i emiteri toplinske energije. Ovo je posebno bitno u prostorijama gdje konzumenti oslobađaju više energije zbog kretanja, kao što su na primjer prostorije za održavanje raznih oblika fizičke aktivnosti. Osim navedenog, velika količina toplinske energije oslobađa se u kuhinji i praonici u

¹⁵⁰ Izvor: Šamšalović, 2009:16.

¹⁵¹ Izvor: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/thermo/heatpump.html> (10.01.2025)

¹⁵² Djeca oslobađaju sljedeću količinu topline pri određenim aktivnostima: Odmaranje: 35 – 45 W, minimalna aktivnost - sjedenje: 45 - 60 W, lagani rad: 70 – 95 W, lagani fizički rad: 120 – 160 W i teški fizički rad: 200 – 275 W, Izvor: Izvor: Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, 2008: 56.

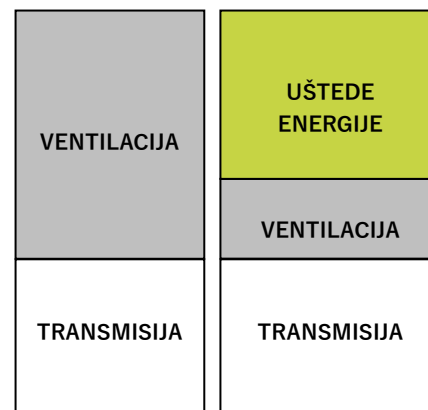
vidu vodene pare koja se u najvećem broju zgrada izravno putem vanjskih otvora ili ventilacijskih sustava izbacuje vani, točnije ne koristi se.

Današnja tehnologija ponudila je velik broj rješenja kako koristiti spomenutu energiju. Izdvajaju se sustavi rekuperacije i kogeneracija. Složeni sustavi imaju mogućnost kombinacije s drugim izvorima energije kao što je Sunce, vjetar, biomasa ili energija tla, što ih čini složenim s točke gledišta tehničkih međusobnih relacija. Danas je najčešći primjer kombinacija rekuperacije unutrašnjeg zraka sa sustavom toplinske pumpe zrak-voda i solarnim kolektorima.

U takvim sustavima, toplinska energija se uzima iz unutarnjih prostorija, naročito kuhinja i kupaonica i vodi do rekuperatora, uređaja u kojem dolazi do dodirivanja vanjskog hladnog i svježeg zraka putem prijenosnika s unutarnjim koji je ugrijan i zasićen sa CO₂. Određena toplina se prenosi na vanjski zrak gdje se on ugrije u određenom postotku, što ovisi o mnogo faktora.¹⁵³

3.3.10. Rekuperacija energije unutaršnjeg zraka

Rekuperacija unutarnje topline je bitna za zgrade koje imaju stroga pravila zadovoljavanja unutaršnjeg komfora (između ostalih i zgrade za osnovno obrazovanje), gdje se pri nekontroliranom otvaranju vanjskih otvora u zimskom razdoblju vrše veliki gubitci toplinske energije, ili krše higijensko tehnički uvjeti s gledišta zadovoljenja kvalitete unutaršnjeg zraka (temperatura i brzina kretanja). Sustav rekuperacije unutarnje topline omogućava eliminaciju mnogih negativnih utjecaja zbog otvaranja vanjskih otvora, kao što je izravan ulazak hladnog zraka kroz vanjske otvore (koji na primjer u klimatskoj zoni grada Sarajeva može iznositi do -20 ° C), ali zagađenog vanjskog zraka s otpadnim plinovima (promet, industrija, okruženje itd.) Također, omogućava kontroliranu kvalitetu zraka, zadovoljavanje propisanih standarda za broj izmjena zraka po satu, a ljudski faktor je sveden na minimum što faktor greške svodi na minimum. Fotografija 3.15. prikazuje mogućnosti ušteda energije nastalim pri ventilacijskim gubitcima.



Kod zgrada s visokom emisijom toplinske energije od strane korisnika unutrašnjeg prostora, energetske uštede pri ventiliranju prostora mogu biti jako velike sa primjenom sustava rekuperacije. Naime, dobivena toplinska energija bi se koristila za dogrijavanje vanjskog svježeg zraka pri njegovom ulasku.

Fotografija 3.15. Energetske uštede primjenom rekuperacije energije unutaršnjeg zraka, slika doradena po informacijama iz izvora: Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, M., str.: 135.

¹⁵³ Na učinkovitost procesa utječu: Δt vanjskog i unutrašnjeg zraka, učinkovitost uređaja i količina topline u unutrašnjem zraku. Cjelokupna učinkovitost rekuperacije unutrašnje topline može biti i do 90% ušteda energije u prouzrokovanim ventilacijskim gubitcima. Ovdje se može navesti jedan kao primjer *Meltem – Luftung & Warmerückgewinnung*. Sistem vrlo jednostavan za implementaciju, naročito kod projekata stanogradnje, ali njegova implementacija može biti i puno šira. Iskustveno sistemi mehaničke ventilacije sa povratom energije u velikoj mjeri doprinose kvaliteti unutaršnjeg zraka, prvo zbog kontroliranja temperature ulazećeg zraka, jer se uz iste mogu ugraditi i grijači, drugo, umanjuje potrebu za otvaranjem prozora gdje se pozitivno utiče na nivo buke koja dolazi s vanjske strane, što je svakako vrlo preporučljivo za arhitekturu objekata kao što su škole na primjer.

3.3.11. Kogeneracija

Druga tehnologija iskorištavanja toplinske energije je kogeneracija (eng. *Combined Heat and Power* - CHP),¹⁵⁴ odnosno istodobna proizvodnja dva korisna oblika energije (električne i toplinske) u jedinstvenom procesu. Toplinska energija koja ostaje neiskorištena u konvencionalnoj elektrani (ili se ispušta u okoliš uz negativne učinke) koristi se za potrebe u raznim proizvodnim procesima ili, što je češći slučaj, za grijanje pojedinačnih zgrada¹⁵⁵ ili čak cijelih naselja.

Toplinska energija može se koristiti za proizvodnju pare, zagrijavanje vode ili zraka. Jedan od načina korištenja kogeneracije je i trigeneracija, gdje se dio energije koristi i za hlađenje. Kao gorivo koristi se prirodni plin, biomasa, drvena građa ili vodik (u slučaju gorivih čelija), a izbor tehnologije za kogeneraciju ovisi o raspoloživosti i cijeni goriva. Osnovna prednost kogeneracije je povećana učinkovitost energenata u odnosu na konvencionalne elektrane koje služe samo za proizvodnju električne energije te industrijske sustave koji služe samo za proizvodnju pare ili vruće vode za tehničke procese.

Ukupna učinkovitost kogeneracije iznosi od 70 do 85 posto (od 27 do 45% električne energije i od 40 do 50% toplinske energije), za razliku od konvencionalnih elektrana gdje je ukupna učinkovitost od 30 do 51 posto (električne energije). Moderne kogeneracijske *CHP*¹⁵⁶ jedinice namijenjene domaćinstvima imaju dimenzije 60 x 60 x 90cm, a sposobne su generirati od 1 KW do 6 KW električne energije.

3.3.12. Ekonomska opravdanost korištenja obnovljivih izvora energije

Ekonomska opravdanost pojedinačnih mjera ili kompletne rekonstrukcije zgrade predstavlja faktor na osnovi kojeg će investitor ili financijska institucija prihvatiti (tj. pozitivno ocijeniti) ili odbaciti projekt. Imajući u vidu turbulentna ekonomska kretanja, projekti energetske učinkovitosti mogu biti pokretači razvoja gospodarstva, ali se također treba imati na umu da ovakve investicije često mogu imati i negativne financijske efekte. Stoga, prije pokretanja ovakvih projekata, potrebno je izvršiti detaljnu analizu i proračun faktora isplativosti¹⁵⁷ koji predstavlja odnos veličine investicije, godišnjih ušteda i razdoblja povrata investicije. Veće energetske uštede i manja emisija CO₂ na godišnjoj razini znače kraće razdoblje povrata investicije i manja početna ulaganja. To će doprinijeti pozitivnoj ocjeni projekta i većoj mogućnosti njegove implementacije, tj. financiranja.

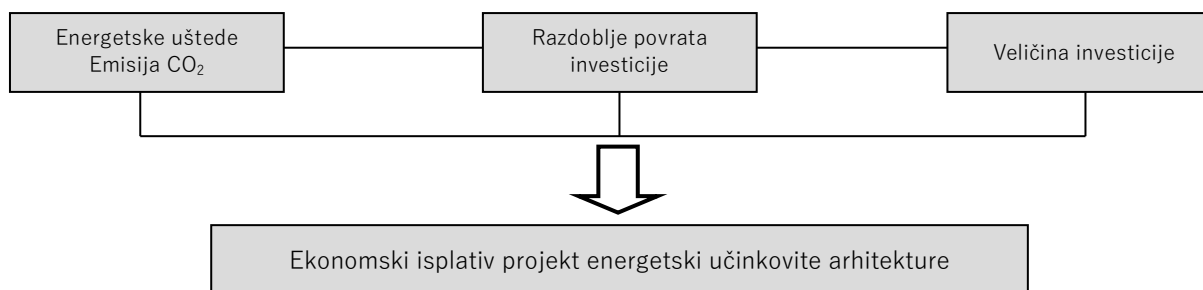
¹⁵⁴ Izvor: Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, 2008: 143.

¹⁵⁵ Autor je 2007. godine izradio studiju kogeneracije električne energije iz životinjskog izmeta na konkretnom primjeru projekta štala u Gradačcu i Cazinu. Izvor: osobna arhiva autora – projekti.

¹⁵⁶ CHP - *Combined heat and power* (Uređaj za kogeneraciju topline i električne energije)

Izvor: <http://www.energy.nsw.gov.au/sustainable/efficiency/cogeneration> (12.12.2024)

¹⁵⁷ Izvor: Ensi program obuke za vršenje energetskih pregled zgrada proveden u razdoblju 2008. - 2010. u Bosni i Hercegovini, (ENSI - *Energy Saving International AS*, www.ensi.no)



Fotografija 3.16. shematski prikaz relacija unutar ekonomske isplativosti projekata EE

Pozitivna ocjena projekta s ekonomskog gledišta ovisi o sinkroniziranom proračunu svih gore navedenih elemenata. Također, od velikog značaja su i mnogobrojni vanjski utjecaji, kao što su na primjer zatečeno stanje zgrade i kvaliteta njene ovojnice, razina opremljenosti zgrade tehničkim sustavima (grijanje, vjetrenje i klimatizacija), cijene energije i tehnoloških rješenja na tržištu u danom razdoblju planiranja itd. Pozitivna ocjena ovisi i o analizi mogućnosti primjene projekta u budućnosti (minimum 20 godina), uzimajući pri tom u obzir izvor financiranja (ako se radi o kreditnom financiranju neophodno je u računanje uzeti i vrijednost iznosa kamate), potencijal korištenja obnovljivih izvora na danom lokalitetu, rok trajanja predviđenih mjera sanacija¹⁵⁸ i drugo.

U današnje vrijeme, proces analize i proračuna ekonomske isplativosti navedenih projekata zahtjeva adekvatno poznavanje arhitektonske fizike, tehnoloških rješenja i njihove primjenjivosti te informacijskih tehnologija, tj. računalnih programa za izračunavanje energetskih potreba i ekonomske isplativosti. Suvremeni računalni programi olakšavaju proces proračuna povrata investicije, a bez njih bi bilo gotovo nemoguće praviti proračune za složene projekte, kao što su između ostalog i projekti energetske sanacije zgrada za osnovno obrazovanje.

U zemljama koje se nalaze u razvoju gdje su prosječna primanja građana od 400,00 do 500,00 eura neto, je vrlo teško govoriti na temu izgradnje energetski-učinkovite arhitekture. Izgradnja ovakvih objekata je vezana za uski krug ljudi koji mogu podržati ovakve projekte čija cijena može biti veća za 100% u odnosu na „klasično“ građenje ili građenje koje nema kao jedan od primarnih ciljeva stvarati zgradu sa što manjim energetskim potrebama i što nižom emisijom CO₂. Ako se uzme u obzir primjer zemalja iz regije onda se može zaključiti da većina objekata još uvijek nema završenu fasadnu strukturu i da je najprodavaniji građevinski materijal betonski blok.

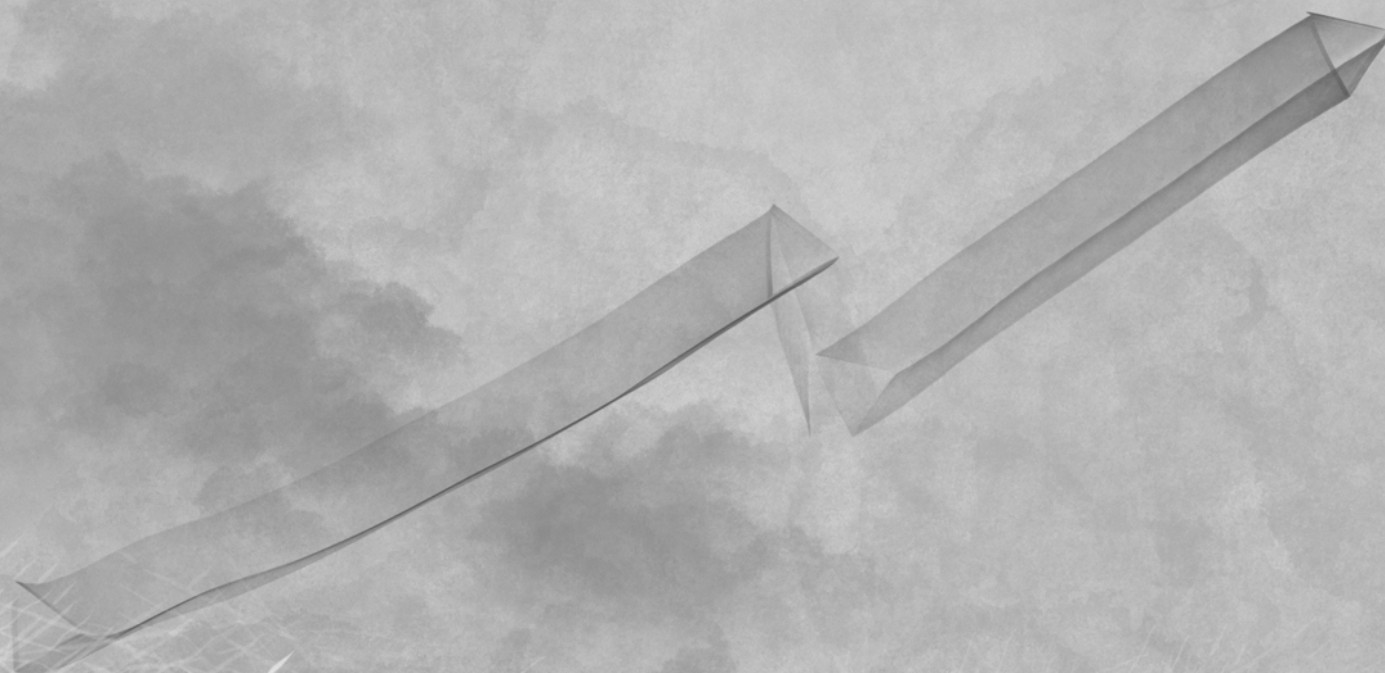
¹⁵⁸ Za svaku stavku energetskih mjera potrebno je detaljno analizirati životni vijek, a koji nije isti za fasadne slojeve, krovne slojeve, sustave grijanja, rasvjete, itd. Isti ovisi o mnogo faktora, a najbitniji je kvaliteta predviđenih materijala u pogledu trajnosti, mogućnost ispravne ugradnje tj. sposobnost firmi za navede izvođenje tehnološki naprednih sustava, servis sustava, itd.

Na kraju, evo zašto je energetska učinkovitost važna u 21. stoljeću:

- *S obzirom na ograničene zalihe fosilnih goriva i potrebu za smanjenjem emisija stakleničkih plinova radi ublažavanja klimatskih promjena, energetska učinkovitost je ključna za očuvanje energetske resursa i smanjenje negativnog utjecaja na okoliš.*
- *Energetski učinkovite zgrade smanjuju troškove energije za vlasnike i korisnike, što može rezultirati značajnim uštedama na dugi rok.*
- *Industrije koje primjenjuju energetska učinkovitost često su konkurentnije na tržištu, jer mogu ponuditi proizvode i usluge po nižim cijenama ili s boljim performansama.*
- *Energetski učinkovite zgrade pružaju bolju kvalitetu života svojim stanarima ili korisnicima kroz poboljšanu udobnost, kvalitetu zraka i smanjenje buke.*

U 21. stoljeću, s rastućom svjesnošću o klimatskim promjenama i potrebom za održivijim pristupom razvoju, energetska učinkovitost u arhitekturi postaje ne samo poželjna, već i neophodna komponenta odgovornog urbanog i arhitektonskog planiranja.





ARHITEKTURA
u energetskej tranziciji i nepredvidivosti

4.1. Interakcija čovjeka i prostora u kontekstu energetske održivosti

Istraživanje održivosti u arhitekturi kao fenomena opstanka čovjeka datira još od nastanka prvih čovjekovih skloništa. Oduvijek je čovjek težio napraviti ugodan prostor za boravak, a u isto vrijeme obraniti se od složenih vanjskih utjecaja okruženja. Kreiranje održivosti je složen proces koji je postao aktualan u svakodnevnom životu, jer je planet Zemlja ušao u energetska i klimatska kriza. Stoga je neophodno napraviti mnogobrojne promjene i korake u budućnosti. Održivost je moguće podijeliti na tri ključna dijela:

- Održivost u korištenju prostora,
- Održivost u korištenju energije,
- Održivost u korištenju energetskog potencijala okruženja.

Održivost života ogleda se kroz sveobuhvatno analiziranje života čovjeka i njegovih navika, promjena te transformacija koje prouzrokuju određene negativne reakcije prirode. Još od 19. stoljeća znanost ukazuje na bitnost održivosti i moguće posljedice klimatskih promjena, koje su danas nažalost postale realnost. Parametri kao što je nagli porast stanovništva¹⁵⁹ u gradovima u proteklih 20 godina¹⁶⁰ te način korištenja postojećih resursa energije doveli su do pogrešnog koncepta korištenja prostora. Danas postoje mnogobrojne diskusije na temu relacije održivosti i arhitekture, jer postojeće zgrade troše između 40 - 50% cjelokupne primarne energije u svijetu, čime je njena uloga značajna u procesu djelovanja na prirodne cikluse od kojih zavisi život na planetu.

Ako pogledamo kroz povijest, čak ćemo i kod Aristotela pronaći filozofsku povezanost sa pojmom održivosti. Iako Aristotel nije izravno govorio o održivosti u suvremenom smislu, njegova filozofska promišljanja o svrsi (*telos*) i harmoniji u prirodi mogu se simbolično povezati s temeljnim principima održivog razvoja. Prema Aristotelu, svaki element u prirodi ima svoju svrhu i funkciju, a harmoničan odnos između svih dijelova prirode ključan je za stabilnost i prosperitet. Ova filozofska načela mogu se primijeniti i na arhitekturu. Građevine koje su u skladu s okolinom te koje ne služe samo estetskoj svrsi, već doprinose zajednici i okolišu, odražavaju Aristotelovu viziju harmonije između djelovanja i funkcije. Njegova promišljanja o prirodnim sustavima mogu se smatrati pretečom modernih koncepta integracije prirode i ljudskih aktivnosti.

*Richard Buckminster Fuller*¹⁶¹ svojim djelom *Operating Manual for Spaceship Earth* otvorio je rasprave o neodrživom i neplanskom korištenju resursa, naglašavajući važnost promišljenog upravljanja energijom i materijalima. Njegova izreka „Misli globalno, djeluj lokalno“ često se tumači kao poziv na stvaranje održivih rješenja koja uzimaju u obzir globalne potrebe, ali se provode kroz lokalizirane i kontekstualno osjetljive akcije. Fullerova filozofija o integraciji tehnologije, dizajna i prirodnih resursa imala je

¹⁵⁹ Do 2050. godine će se broj stanovnika na planetu Zemlji povećati na više od 9. milijardi, izvor: Gelfand, 2010: 1, (*U.S. Census Bureau, International Data Base*)

¹⁶⁰ 180,000 ljudi se dnevno useli u gradove; 2015. godine će postojati 23 metropole u svijetu s više od 10 mil. stanovnika; nešto manje od 2% ukupnog teritorija zemlje pokrivaju gradovi; predviđa se da će 2030. godine na planetu Zemlji 60% ljudi živjeti u gradovima; 80% stanovnika Europe trenutno živi u gradovima, Izvor: Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, 2008: 41.

¹⁶¹ *Richard Buckminster Fuller* (1895.-1983.), američki arhitekt, dizajner, filozof, izumitelj i pisac, izvor: Buckminster Fuller Institute, www.bfi.org (12.01.2014.).

značajan utjecaj na razvoj održive arhitekture i urbanizma.¹⁶² Prof. Karl Gertis u svom dijelu „*Energieinsparung im Altbau*“ bavi se pitanjem energetske učinkovitosti i održivosti u postojećim zgradama, fokusirajući se na smanjenje energetske potrošnje uz očuvanje komfora unutarnjeg prostora. Pitanje je

*što je naš cilj i kako napraviti arhitektonsku kompoziciju koja će imati nultu emisiju CO₂ s minimalnim energetske potrebama, a u isto vrijeme zadovoljiti arhitektonske standarde komfora unutarnjeg prostora.*¹⁶³

Zbog čega je danas tema učinkovitosti generalno aktualna u zgradarstvu? Odgovor je složen i obuhvaća nekoliko parametara koji su u posljednjih 30 godina utjecali na aktiviranje ove teme. Može se izdvojiti nekoliko ključnih parametara kao što su porast broja stanovnika, nagla urbanizacija stanovništva, povećanje potrebe za primarnom energijom, društvene promjene kroz gledište potrebe i korištenja prostora, energetske resursi na planetu Zemlji, itd. Klimatske promjene čiji trenutni intenzitet vodi u nepopravljive promjene i iscrpljenje fosilnih goriva potakle su potrebu za stvaranjem učinkovitijeg života.

Zadatak znanosti i praktičnog djelovanja je pokušati pronaći složen i višeznačan odgovor na ove zahtjeve, jer ne postoji jedinstvena formula za stvaranje energetske učinkovite arhitekture. Ako je čovječanstvo spremno na promjenu, odricanje i gledanje u budućnost, onda neće biti teško pronaći put ka stvaranju održivog života. Također, zgrade će na učinkovitiji način koristiti prostor, neće emitirati CO₂, bit će racionalnije kroz gledište energetske potrebe.

U kontekstu odnosa arhitekture i energije, arhitekturu možemo klasificirati na slijedeći način:

Bioklimatska arhitektura,
Energetske učinkovita arhitektura,
Nisko-energetske arhitektura,
Pasivna arhitektura,
Zero Energy arhitektura,
Zero Emission arhitektura,
Energy plus arhitektura,
Green design arhitektura.

¹⁶² Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, 2008: 19.

¹⁶³ Gertis, K., 1999: 78-84.

U posljednjih 20 godina održan je veliki broj međunarodnih konferencija, simpozija, potpisan je veliki broj protokola, usvojene su direktive s ciljem otvaranja nove perspektive arhitekture. Ključni protokol koji je inicirao promjene u društvu na globalnoj razini je Protokol iz Kyota¹⁶⁴ koji između ostalog predstavlja dodatak uz Okvirnu konvenciju Ujedinjenih naroda o promjeni klime. Potpisan je s ciljem smanjivanja emisije ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova. Trenutno ga je potpisala 191 članica (190 država i 1 regionalna ekonomska organizacija). Protokol je stupio na snagu 16. veljače 2005. godine kada ga je ratificirala Rusija, 55. potpisnica. Države koje su ga ratificirale čine 61% zagađivača u cijelom svijetu. Protokol je otvoren za potpisivanje u japanskom gradu Kyotu u organizaciji Konvencije Ujedinjenih naroda za klimatske promjene (UNFCCC¹⁶⁵), 11. prosinca 1997. godine. Za njegovo stupanje na snagu bilo je potrebno da ga ratificira najmanje 55 država i da države koje su ga ratificirale čine najmanje 55% zagađivača na planetu Zemlji. Protokolom se predviđa smanjenje emisije šest stakleničkih plinova: ugljičnog dioksida, metana, dušikovog oksida, fluoriranih ugljikovodika, perfluoriranih ugljikovodika i heksafluorida. U posljednjih nekoliko desetljeća, koncentracije stakleničkih plinova u atmosferi povećale su se zbog izgaranja fosilnih goriva u industriji, prometu, itd., što je doprinijelo globalnom zatopljenju i klimatskim promjenama. Sjedinjene Američke Države odbile su ratificirati protokol iz Kyota. „Greenpeace“¹⁶⁶ je kritizirao Protokol kao nedovoljno ambiciozan, tvrdeći da je postavio preskromne ciljeve kojima se neće postići veći pomaci. U ožujku 2007. godine lideri Europske Unije su inicirali novi cilj nazvan „20 20 20“ koji je objavljen u obliku direktive, a odnosi se na tri ključna faktora klimatskih promjena:

Do 2020. godine smanjiti emisiju stakleničkih plinova u odnosu na stupanj mjeran 1990. godine, 20% smanjiti potrošnju energije kroz primjenu mjera energetske učinkovitosti i povećati udio proizvodnje energije iz obnovljivih izvora za 20%.¹⁶⁷

Članice EU-a zacrtale su *Roadmap 2050*¹⁶⁸ kao novi cilj koji se u najvećoj mjeri odnosi na emisiju CO₂, a to je da se emisija štetnih plinova smanji za 80% do 2050. godine. Ova strategija uključuje sektore poput energetike, industrije, transporta, zgrada i poljoprivrede, otvarajući prostor za inovacije i nove tehnologije. Planovi EU otvaraju nove ekonomske perspektive, osobito u stvaranju radnih mjesta u sektorima povezanim s klimatskim promjenama, poput obnovljivih izvora energije, energetske učinkovitosti i održive gradnje. Ovi naponi ne samo da potiču gospodarski rast unutar EU, već mogu poslužiti kao inspiracija za zemlje u razvoju da implementiraju slične mjere i prilagode se izazovima klimatskih promjena.

¹⁶⁴ www.unfccc.int/kyoto_protocol, (08.01.2025.)

¹⁶⁵ UNFCCC – *United Nations Framework Convention on Climate Change*

¹⁶⁶ Greenpeace – Greenpeace International je organizacija koja se već 5 desetljeća bavi zaštitom okoliša, točnije od 1971. godine kada brod volontera doplovljava u Amchitku gdje je vlada SAD-a provodila podzemna nuklearna ispitivanja. Prisutni su u 40 zemalja, između ostalog i u Hrvatskoj. Izvor: www.greenpeace.org (04.12.2013.)

¹⁶⁷ <http://ec.europa.eu/clima> (10.01.2025.)

¹⁶⁸ Roadmap predstavlja inicijativu ECF (eng. *European Climate Foundation*) za kreiranje puta za postizanje cilja nazvanog *Low-carbon economy in Europe* - ekonomija zasnovana na niskoj emisiji CO₂, Izvor: www.roadmap2050.eu (02.12.2018.)

4.2. Oblici energetske učinkovitosti arhitekture

4.2.1. Bioklimatska arhitektura

Pojam bioklimatske arhitekture je u čestoj relaciji s pojmom održive arhitekture. Naime u današnjoj arhitektonskoj praksi se teže koriste tradicionalni principi gradnje koji su oduvijek davali najveći naglasak na odnos čovjeka arhitekture i okruženja. Akademik Ahmet Hadrović u svom djelu „Bioklimatska arhitektura, traženje puta za Raj”¹⁶⁹ definira osobnosti bioklimatske arhitekture gdje kaže *da je povezanost ili analogija s određenim prirodnim procesima ključ autonomnosti arhitektonskog koncepta*. Bioklimatsko graditeljstvo može se okarakterizirati kao jedna produžena ruka vernakularne ili narodne arhitekture¹⁷⁰ u suvremeno doba.¹⁷¹

Prva energetska kriza 1973. godine označila je prekretnicu u globalnom pristupu potrošnji energije i resursa. Taj je događaj potaknuo razvoj koncepta održivosti, koji je s vremenom postao ključan u mnogim disciplinama, uključujući arhitekturu. Održiva arhitektura počela se oblikovati kroz nove standarde energetske učinkovitosti, korištenje obnovljivih izvora energije i ekološki prihvatljivih materijala. Danas se koncept održivosti jasno očituje u brojnim arhitektonskim unikatnostima i standardima, gdje je cilj stvoriti građevine koje su u skladu s okolišem i koje minimiziraju svoj utjecaj na prirodu. Sarajevo, kao grad koji je iznimno bogat kulturno-povijesnom baštinom i u kojem su velika carstva (Rimsko, Tursko i Austrougarsko) ostavila trag na cjelokupnu genezu graditeljstva, broji određena arhitektonska djela u kontekstu bioklimatske arhitekture. Kao najbolje očuvano djelo izdvaja se kuća obitelji Svrzo¹⁷² ili Begovina u Stocu.

Fotografija 4.1. stambeni kompleks Begovina, Stolac u Bosni i Hercegovini

¹⁶⁹ Hadrović, 2008: 6-22.

¹⁷⁰ Paralelni nazivi za narodnu arhitekturu su: vernakularna arhitektura, arhitektura bez arhitekta ili tradicionalna arhitektura koja predstavlja pojam kojim označavamo gradnje koje je osmišljavao i gradio, uglavnom, neškolovan i nepoznat majstor, služeći se dugo sleganim iskustvom proizašlim iz dubokog razumijevanja prirodnog okruženja. Izvor: Hadrović, 2008: 6.

¹⁷¹ Arh. F.L. Wright i Paolo Soleri prvi kreiraju organsku arhitekturu slijedeći principe bioklimatske arhitekture, izvor: Ibid: 172.

¹⁷² Svrzina kuća predstavlja kulturu stanovanja gradske muslimanske obitelji s kraja XVIII. i kroz XIX. stoljeće. Kuću je sagradila ugledna sarajevska porodica Glodo, čiji je jedan od članova poznati kadija Munib ef. Glodo bio poznat po borbi za autonomiju Bosne u okviru Osmanskog carstva.

Primjeri su to tradicionalne arhitekture iz razdoblja Otomanskog carstva u Bosni i Hercegovini (Fotografija 4.1.) koja u vremenu u kojem je nastala nije mogla ni naslutiti teme kojim arhitektura danas obiluje. Kuća je već tada generirala određene principe bioklimatske arhitekture, od kojih su najznačajniji sljedeći: relacija zgrade i okruženja, pasivna zaštita od sunca, masivna ovojnica koja vrši akumulaciju viška topline, upotreba autohtonih materijala iz okruženja, odnos čovjeka i arhitekture čitljiv u stvaranju visoke kvalitete komfora unutarnjeg prostora tijekom čitave godine, prirodno provjetravanje, aktivna relacija s mikrolokalitetom u kojem se nalazi u pogledu zaštite od priljeva viška energije.

Primjere održivog života ili bioklimatske arhitekture moguće je pronaći i na prostoru obližnjih planina oko grada Sarajeva. Na primjer, posebno se izdvaja selo Lukomir¹⁷³ koje predstavlja primjer aktivnog života potpuno izoliranog od današnjih svakodnevnih tokova (automobil, brza hrana, stalna internetska komunikacija, itd.) bez kojih je život suvremenog čovjeka metropole nezamisliv. Spomenuti primjer (Fotografije 4.2. i 4.3.) ukazuje na održivost, autonomnost i autohtonost u relaciji između čovjeka, zgrade i mikrolokaliteta. Selo je potpuno izolirano od ostatka okruženja, a ipak su zadovoljene sve čovjekove potrebe. Nadogradnje komunikacija (transport, telekomunikacije itd.), točnije povezanost, omogućile bi suvremen život za svaku starosnu dob i zadovoljenje njihovih suvremenih potreba u vremenu i prostoru.



Fotografija 4.2. Selo Lukomir na planini Bjelašnica, BiH



Fotografija 4.3. Autohtoni oblik gradnje na planini Bjelašnica (26.11.2012.)

¹⁷³ Na gotovo 1472 metara nadmorske visine nalazi se najviše i najizoliranije selo u cijeloj Bosni i Hercegovini. Selo Lukomir je jedinstveno po svojim kamenim kućama koje su prekrivene šindrom od trešnjinog drveta. Selu je nemoguće prići motornim vozilima, osim na skijama ili pješice već dolaskom prvog snijega u mjesecu studenom, sve negdje do sredine travnja, a ponekad i do svibnja. Izvor: Gafić, M., Džeko, Š., 2001: 91,

Nadogradnja principa samoodrživog života i dizajna u arhitekturi sa suvremenim tehnološkim dostignućima na polju instalacija unutar ili na ovojnici zgrada i sa suvremeno koncipiranim materijalima s gledišta arhitektonske fizike naročito na polju uštede i proizvodnje energije, rezultira novim oblikom gradnje.

4.2.2. Niskoenergetska arhitektura

Niskoenergetska arhitektura predstavlja precizan i usmjeren odgovor na suvremene izazove energetske učinkovitosti i održivosti. Ona objedinjuje arhitektonsko stvaralaštvo s inovacijama u dizajnu, gradnji i korištenju zgrada, s ciljem smanjenja energetske potrošnje i emisije stakleničkih plinova.

Pojam je relativno nov i postaje široko prihvaćen krajem 20. stoljeća, kada čovjek počinje mijenjati načine korištenja energije i prostora. Stvaranje spomenute arhitekture je proces koji objedinjuje aktivne i pasivne sustave zaštite ili generiranja sunčeve energije na ovojnicama zgrada. Niskoenergetska arhitektura je jedan od modela koji se propisuju za novoizgrađene i rekonstruirane zgrade¹⁷⁴ koji je precizno definiran u državnim pravilnicima¹⁷⁵ o uštedi energije i smanjenju emisije CO₂. Za razliku od *passive house* standarda, niskoenergetska arhitektura dopušta veće vrijednosti ukupnih energetske potrebe što je čini primjenjivijom čak i u zemljama u razvoju (kao što je na primjer Bosna i Hercegovina).

Energetska iskaznica¹⁷⁶ definira klasifikaciju zgrada gdje su niskoenergetske zgrade jedna od kategorija. Kategorizacija zgrada u energetskom certifikatu se klasificira velikim slovima od (A⁺) do (G) kategorije, a vrijednosti se odnose na energetske potrebe. Energetski razred zgrade je pokazatelj energetske svojstava zgrade, a izražen je preko godišnje potrebne toplinske energije za grijanje za referentne klimatske podatke svedene na jedinicu korisne površine zgrade; godišnja emisija ugljik dioksida, CO₂ (t/god) je masa emitiranog ugljik-dioksida u vanjsku okolinu tijekom jedne godine, a koja je posljedica energetske potrebe i primarnog izvora energije. Energetski razred A⁺ označava najpovoljniji razred i on je po količini potrebne energije za zadovoljavanje kvalitete komfora unutarnjeg prostora ekvivalentan standardu Pasivne arhitekture,¹⁷⁷ dok je razred G najnepovoljniji. Energetski razredi se

¹⁷⁴ EnEV 2009 propisuje standarde za vrijednost koeficijenta prolaska topline kroz ovojnice u sljedećim vrijednostima: U -poda na tlu = 0,35 W/m²K, U -kosi krov = 0,20 W/m²K, U -krovnih otvora = 1,40 W/m²K, U -zida = 0,28 W/m²K, U -vanjskih otvora = 1,30 W/m²K, U -zida u tlu = 0,28 W/m²K. Izvor: Schoch, T., EnEV 2009, str.: 19.

¹⁷⁵ Pravilnik o energetskom certificiranju objekata FBiH, broj 50/10., str.: 13

¹⁷⁶ Svaka država propisuje zakone, pravilnike i ostale dokumente na temu energetskog certificiranja. Federacija Bosne i Hercegovine objavila je *Pravilnik o energetskom certificiranju objekata*, gdje pod članom 5. propisuje da svaka novoizgrađena zgrada mora imati energetski certifikat ili potvrdu, kao i postojeće zgrade koje se prodaju, iznajmljuju ili daju na leasing, osim zgrada koje su izuzete od obaveze energetskog certificiranja, a to su zgrade manje od 50 m² korisne površine, privremene građevine, nacionalni spomenici, zgrade koje se griju na temperaturu ne veću od +12°C. Izvor: Ibid

¹⁷⁷ Detaljne informacije slijede u poglavlju 4.2.3., a ovdje dajemo kratku definiciju: „Pasivna arhitektura odnosi se na dizajn zgrada koji maksimalno koristi prirodne resurse za grijanje, hlađenje, ventilaciju i osvjjetljenje, smanjujući potrebu za dodatnom energijom. Ključni elementi uključuju izolaciju, orijentaciju prema suncu, prozore visoke energetske učinkovitosti, termalnu masu i ventilaciju. Cilj je postići ugodan unutarnji prostor uz minimalnu potrošnju energije, često ograničenu na ≤ 15 kWh/m² godišnje za grijanje i hlađenje, što je standard *“passive house”*.“ Izvor: *Passive House Institute* <https://passivehouse.com/> (14.01.2025.)

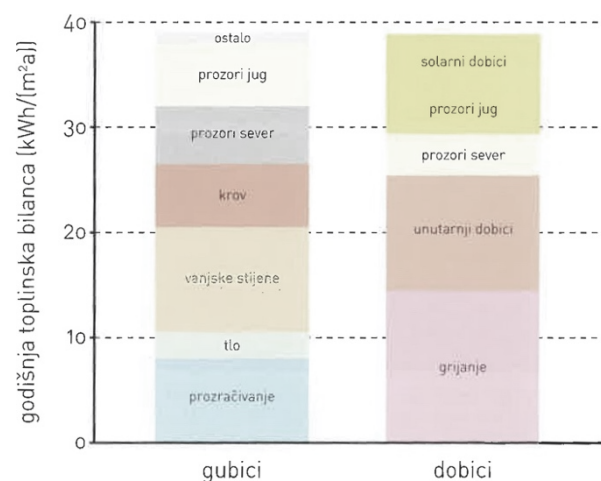
definiraju na osnovi pravilnika koje propisuju države i na osnovi klimatskih zona. Niskoenergetski objekti spadaju u kategoriju koja ne smije prijeći vrijednost potrebne energije za grijanje veću od 60 kWh/m²/god, a optimum je 40.

4.2.3. Pasivna kuća – *Passive house*

Pasivna arhitektura ili pasivna kuća pojmovi su koji su se počeli razvijati krajem 1980-ih godina, a prvi koncept standarda pasivne kuće (*Passivhaus*) izradili su Prof. Dr. Wolfgang Feist i Bo Adamson. Prva pasivna kuća sagrađena je 1991. godine u Darmstadtu, Njemačka. Opisali su koncept na sljedeći način:

„To je građevina s iznimno niskim energetske potrebama za grijanje, čak i u klimatskim zonama poput Središnje Europe. Može održavati ugodnu unutarnju temperaturu zahvaljujući pasivnim sustavima, uključujući toplinske dobitke od unutarnjih izvora energije (korisnici i uređaji) te solarnu energiju kroz staklene površine. Ograničeni sustavi za dogrijavanje svježeg zraka mogu se koristiti u slučaju potrebe, ali bez klasičnih sustava grijanja.“¹⁷⁸

Pasivna zgrada¹⁷⁹ je ekstremno dobro izolirana bez postojanja toplinskih mostova u strukturi ovojnice i s ugrađenim suvremenim tehnološkim rješenjima za održavanje standarda kvalitete komfora unutarnjeg prostora. Jedan od izvora energije u pasivnim zgradama su između ostalog i sami korisnici prostora, a količina dobivene energije na ovaj način je u zavisnosti od namjene i aktivnosti korisnika unutar prostora. Arhitektonski dizajn se oslanja na osnovna načela korištenja energije Sunca kroz dobro orijentiran objekt (pročelja). Načelno gledano, pasivna kuća pravi visoke energetske dobitke koji su jednaki gubitcima (transmisijski i ventilacijski), fotografija 4.4.



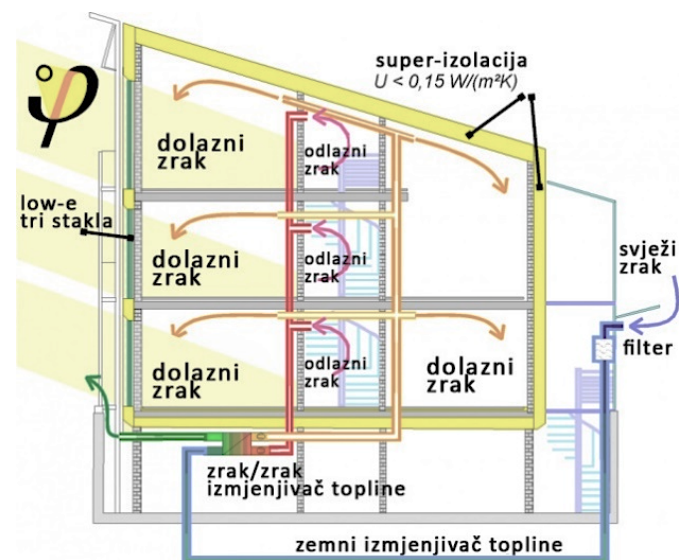
Fotografija 4.4. Godišnja toplinska bilanca pasivne kuće

¹⁷⁸ Ibid.

¹⁷⁹ Autorica Senegačnik Zbašnik Martina navodi slijedeću definiciju: *Ime pasivna kuća ne dolazi od pasivne uporabe sunčeve energije, već iz činjenice da zgrada ne treba aktivan sustav grijanja. Pasivna kuća nije nova tehnologija gradnje već dosljedno izvedena vrlo nisko-energetska zgrada. Sama zgrada i njezina funkcija potpuno je tradicionalna, a nema niti novih ograničenja u tlocrtnom obliku ili obliku zgrade. U pasivnoj se kući živi kao svakoj klasičnoj kući. Viši životni standardi osigurani su isključivo tehničkim poboljšanjima na plaštu zgrade i kućnoj tehnici. Za ta poboljšanja nisu potrebne nikakve dodatne komponente. Sve zahtjeve pasivnog standarda moguće je ispuniti ugradnjom inovativnih tehničkih uređaja za grijanje i prozračivanje kao kod nisko-energetske kuće.* Izvor: Zbašnik – Senegačnik, 2009: 25

Do danas je održano 27 međunarodnih znanstveno-stručnih konferencija *Passive House Conference*, na kojima su predstavljena dostignuća i perspektive pasivne arhitekture te realizacije ovog standarda diljem svijeta. U Europi je izgrađeno nekoliko tisuća zgrada prema *Passive House* standardima, pri čemu prednjače Njemačka i Austrija kao zemlje s najviše realizacija.¹⁸⁰ Izgradnja zgrada prema *Passive House* standardima zahtijeva veću početnu investiciju po kvadratnom metru korisnog prostora u usporedbi s klasičnim sustavima gradnje ili sustavima koji su, primjerice, zadovoljavali JUS standarde u pogledu građevinske fizike¹⁸¹. Međutim, dugoročne uštede kroz smanjene energetske potrebe i niže troškove održavanja čine ovu investiciju isplativom.

Od proljeća 2006. godine, u Frankfurtu je na snazi odluka da sve zgrade financirane iz gradskog proračuna moraju biti izvedene u skladu s *Passive House* standardima. Ova odluka predstavlja značajan presedan i novi smjer u očuvanju energije, zaštiti okoliša i smanjenju emisija CO₂. Kao rezultat, Njemačka prednjači u broju certificiranih *Passive House* objekata, dok značajan broj takvih objekata postoji i u Austriji te Švicarskoj.



Fotografija 4.5.
 „Kranichstein Passive House“ u Darmstadtu, Njemačka

Uvjeti gradnje su drugačiji danas, mnogo prihvatljiviji, postoje financijske olakšice i poticaji koji podržavaju investitore u gradnji spomenutih zgrada. Tako je na primjer u zemljama članicama EU27 ekonomski isplativije graditi pasivnu kuću nego po nekom drugom do sada poznatom sustavu gradnje. Fotografija 4.5. prikazuje osnove tehničkog rješenja i funkcioniranja pasivne kuće.

*Passive House Institute*¹⁸² u Darmstadtu, pod vodstvom prof. Wolfganga Feista, osnovan je 1996. godine i od tada se bavi znanstveno-stručnim istraživanjima u području energetski učinkovite arhitekture. Institut je ključan za razvoj i promociju *Passive*

¹⁸⁰ Izvor: passivehouse.com (20.12.2024.)

¹⁸¹ JUS Jugoslavenski standardi, kojima je regulirana standardizacija proizvodnje i gradnje na prostoru bivše SFRJ (Socijalistička Federativna Republika Jugoslavija)
 Izvor: Jus Standardi

¹⁸² PHI – *Passive House Institute*, osnovao ga 1996. godine prof. dr. Wolfgang Feist u Darmstadtu, Njemačka

House standarda, koji postavljaju jasne ciljeve gradnje zgrada: visoku razinu termoizolacije ovojnice, minimalne ukupne energetske potrebe ($\leq 15 \text{ kWh/m}^2$ godišnje za grijanje i hlađenje) te korištenje održivih izvora energije.¹⁸³

Prema pravilima *Passive House* Instituta cjelokupan proces dizajniranja pasivne zgrade može se podijeliti u šest koraka, koji analiziraju namjene i konačni cilj:

- Arhitektonski koncept zgrade – projektni zadatak,
- Analiza mikrolokaliteta – naglasak na potencijal korištenja obnovljivih izvora energije,
- Dizajn zgrade s akcentom na koncept ovojnice (odnos transparentnih i punih ploha),
- Koncept proizvodnje i distribucije energije,
- Koncept korištenja prostora,
- Analiza rezultata pomoću PHPP¹⁸⁴ računalnog programa.

Relacija između arhitektonskog oblikovanja, forme i estetike te *Passive House* standarda jedno je od ključnih pitanja u suvremenoj arhitekturi. Današnje stvaranje zgrada temelji se na činjenici da energetska učinkovitost igra središnju ulogu u procesu projektiranja. Međutim, niti jedan tehnički ili energetski faktor ne bi trebao nadmašiti važnost arhitektonske estetike, ljepote kompozicije i funkcionalnosti prostora. *Passive House* standardi, s njihovim strogim zahtjevima, uveli su novu eru u arhitektonski dizajn, potičući razvoj inovativnih rješenja i možda čak oblikujući novi arhitektonski stil. Umjesto da se doživljavaju kao ograničenje, ovi standardi predstavljaju izazov za buduće arhitekte i graditelje da kroz kreativnost i tehničku ekspertizu redefiniiraju suvremenu arhitekturu na svjetskoj sceni.

4.2.4. *Zero Energy* arhitektura

Jedan od ciljeva današnjeg modernog čovjeka je napraviti zgradu bez emisije štetnih plinova. Takve zgrade su i zgrade koje pripadaju tzv. *zero energy* arhitekturi što je usko vezano s *zero CO₂* ili *carbon neutral* pojmovima.¹⁸⁵ Težnja je stvoriti zgradu koja će potpuno zadovoljiti standarde unutarnjeg komfora, a da je njezina konačna emisija CO₂ jednaka nuli. Koncept je složen i ovisi o mnogim faktorima, naročito o potencijalu mikrolokaliteta u pogledu mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije, urbane strukture i mikroklimatskih uvjeta.

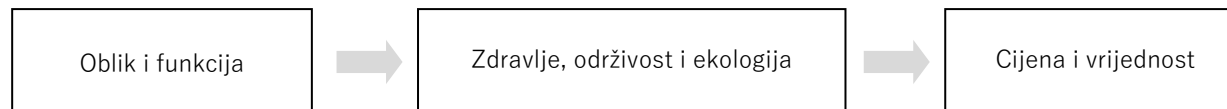
¹⁸³ Standardi za izgradnju zgrade po *Passive House* su: ukupne energetske potrebe za grijanje zgrade ne smiju preći $15 \text{ kWh/m}^2\text{god}$, U-vrijednost svakog segmenta ovojnice $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, U-vrijednost sistema otvora $\leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ sa g veće od 50%, izvedba bez toplinskih mostova $\Psi \leq 0,01 \text{ W/ m}^2\text{K}$, transparentnim ploham zgrada pretežno orijentirana prema jugu, s mogućošću minimalnih odstupanja, kvalitetna zaštita od pregrijavanja unutarnjeg prostora sunčevim zračenjem kroz transparentne plohe, upotreba primarne energije ne veća od $120 \text{ kWh/m}^2\text{god}$, upotrebom računalnog programa PHPP provoditi provjeru, nakon testa pomoću pritiska od 50 Pascala propustljivost ovojnice ne smije biti veća od $0,6 \text{ h}^{-1}$ ukupnog volumena unutrašnjeg zraka (Blower door test – ISO. 9972), zajednička potrošnja električne energije $\leq 18 \text{ kWh/m}^2\text{god.}$, toplinski gubici $\leq 10 \text{ W/m}^2$ potrošnja el. energije za sustave prozračivanja $\leq 0,4 \text{ W/ m}^2\text{K}$ Izvor: *Passive House Institute*, Darmstadt, www.passiv.de, (20.12.2024.) i Zbašnik – Senegačnik, 2009: 31

¹⁸⁴ PHPP (*njem. Passivhaus Projektierungs Paket 2007*) Program za projektiranje pasivnih kuća. Analiza rezultata pomoću PHPP-a ne dolazi samo na kraju, već se koristi iterativno tijekom procesa projektiranja za provjeru optimizacije i usklađenosti s ciljevima.

¹⁸⁵ Hootman, T., 2009: 377.

Sunce predstavlja najveći i jedini izvor energije bez kojeg ne postoje drugi oblici energije. Količina solarne energije koja dopiye na Zemljinu površinu tijekom jednog sata dovoljna je za zadovoljavanje cjelogodišnjih energetske potreba čovječanstva. To pokazuje ogroman potencijal Sunca kao obnovljivog izvora energije.¹⁸⁶ Dostupnost ovog energenta nije uvijek jednaka pa je potrebno detaljno analizirati mikrolokalitet u kojem se objekt nalazi, ili je planiran.

Nulta zgrada u suštini treba spojiti tri ključna elementa arhitektonskog dizajna energetske koncepata:



Jedna od prvih privatnih kuća u svijetu koja je dobila LEED Platinum certifikat¹⁸⁷ bila je *Z6 House* u Santa Monici, Kalifornija, iz 2006. godine. Kuća je poznata po svom konceptu *six zeros* koji uključuje: *zero waste* (bez otpada), *zero energy* (energetska neutralnost), *zero water* (recikliranje otpadnih voda), *zero carbon* (bez emisije CO₂), *zero ignorance* (obrazovanje o održivosti) i *zero emissions* (nulta emisija). Cilj *Z6 House* bio je optimizirati svaki aspekt života u zgradi – od klimatskih uvjeta mikrolokaliteta, energetske potreba, korištenja obnovljivih izvora energije, recikliranja i ekologije do načina korištenja unutarnjeg prostora. Projekt je predstavljao napredan pristup u integraciji održivih praksi i postavio standard za buduće generacije energetski učinkovitih zgrada.

Težište je na analizi korištenja mikrolokaliteta (temperatura vanjskog zraka, intenzitet sunčevog zračenja, količina padavina, orijentacija, karakteristike susjednih zgrada, svojstva urbanog tkiva, itd.). Potrebno je integrirati pasivno i aktivno korištenje obnovljivih izvora energije s načinom korištenja prostora i ciljanim komforom koji se želi postići. Kvalitetan arhitektonski komfor predstavlja jedan od ciljeva projekta koji je potrebno zadovoljiti, a koji može biti vrlo kompleksan i ovisiti o namjeni prostora.



Fotografija 4.6. „Zero energy house“, kuća „Z6 house“

¹⁸⁶ Gruzowski, M., 2010: 10.

¹⁸⁷ LEED certifikacija se temelji na bodovnom sustavu koji uključuje održivost lokacije, energetske učinkovitost, upravljanje vodama, materijale i resurse te unutarnju kvalitetu zraka.

Dostizanje cilja kao što je nulta emisija CO₂ uvelike ovisi od primarnog izvora energije, točnije načina proizvodnje primarne energije. U Norveškoj, gdje se preko 90% električne energije proizvodi obnovljivim izvorima (hidroelektranama), to nije teško ostvariv cilj, dok u lokalitetima gdje je električna energija proizvedena u najvećoj mjeri u termoelektranama, taj cilj vrlo teško ostvariv, osim ako se ne radi o energetske neovisnoj građevini.

Zero energy house je zgrada sposobna da sama sebi proizvede energiju za svoje potrebe (primjer prikazan na fotografiji 4.6.) i time postane apsolutno neovisna, tj. energetske autonomna. Ovaj cilj se postiže na različite načine, ali ipak jedini ispravan tijek je sublimiranje aktivnog i pasivnog korištenja obnovljivih izvora energije gdje dizajn zgrade, naročito ovojnice predstavlja ključnu točku u cjelokupnom procesu, (jer je to membrana koja treba imati višestruke zadatke u procesu zaštite ciljano postavljenog komfora unutarnjeg prostora).

Fotografija 4.7. „DOE and NREL“ zgrada ,
Izvor: www.archidaily.com



Tom Hootman definira pri kreiranju energetske nulte kuće pojam *Net Zero Energy Design* kao nadgradnju unutar kreiranja kuća koje imaju nultu emisiju CO₂ i referira se na projekt zgrade sjedišta *Department of Energy's* (DOE) *Research Support Facility* (RSF) pri *National Renewable Energy laboratory* (NREL) u SAD – *Golden, Colorado* (fotografija 4.7). Dovršena u lipnju 2010., bila je to najveća nulta energetska zgrada na svijetu i revolucionarni primjer energetske učinkovitog i održivog dizajna. Koristeći inovativni proces projektiranja i izgradnje koji se temelji na učinku, NREL je pokazao da se integrirani proces projektiranja cijele zgrade može

koristiti za postizanje nulte energije u razmjeru. NREL je postigao svoje ciljeve energetske učinkovitosti po konkurentnoj cijeni od 259 USD/ft², isključujući troškove dizajna i fotonaponske (PV). Ovaj projekt postavio je nove standarde za održivu gradnju i dokazuje izvedivost nulte energije na velikim komercijalnim zgradama.

Definicija *Net Zero Energy* uključuje mogućnost korištenja neobnovljivih izvora energije, ali pod uvjetom da zgrada tijekom godine proizvede dovoljno obnovljive energije kako bi nadoknadila ili premašila njihovu potrošnju. Koncept ne znači da zgrada ne koristi energiju, već da postigne neto nultu energetske bilancu, zadovoljavajući sve programske zahtjeve.

Net zero je primarno operativni cilj. NREL definirao je četiri načina mjerenja i definiranja neto nulte energije za zgrade:

- *Net zero site energy* – bilanca energije proizvedene i potrošene na lokaciji zgrade,
- *Net zero source energy* – bilanca uzimajući u obzir gubitke energije tijekom prijenosa i distribucije,
- *Net zero energy emissions* – zgrada nema neto emisiju stakleničkih plinova,
- *Net energy cost* – trošak energije je nula, jer zgrada proizvodi dovoljno energije da pokrije zahtjeve potrošnje.

Ovaj koncept predstavlja ravnotežu između energetske potrošnje i proizvodnje, naglašavajući održivost i smanjenje utjecaja na okoliš.¹⁸⁸

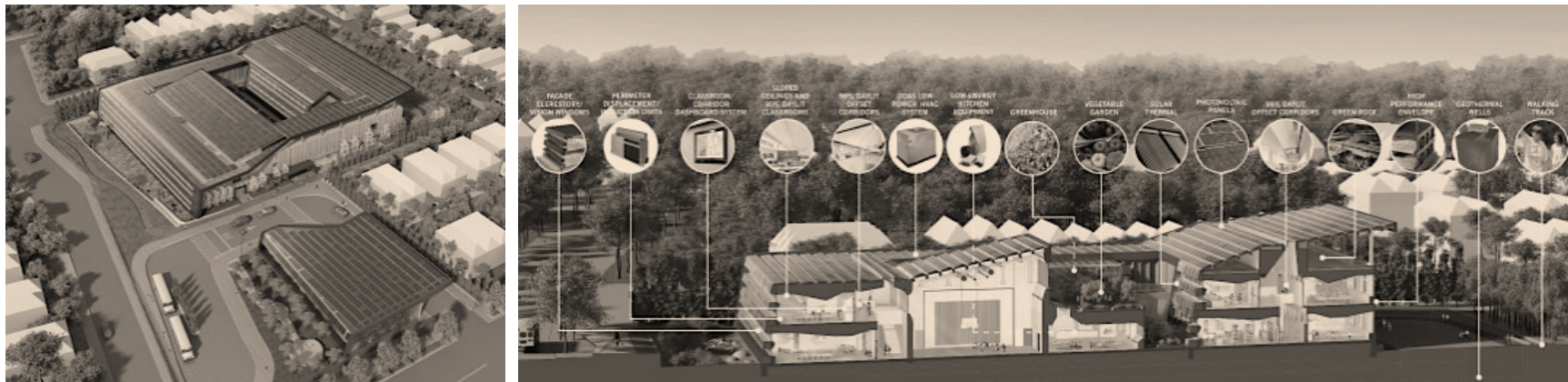
4.2.5. *Energy plus* arhitektura

Energy plus arhitektura je gradnja zgrada s viškom energije, tj. njen konačni cilj je izgradnja zgrada koje će proizvoditi više energije nego im je to potrebno. Ovaj način gradnje može se nazvati i „elektranom“ u zgradarstvu.

Energy plus arhitektura u velikoj mjeri ovisi od primijenjene tehnologije, naročito na ovojnici. Radi se o generiranju različitih oblika korisne energije, u koje ubrajamo toplinsku energiju za grijanje ili hlađenje i električnu energiju. Najčešći obnovljivi izvori energije su Sunce i vjetar. Osim što su aktivni sustavi za proizvodnju energije, ove zgrade predstavljaju i visoko izolirane strukture koje dostižu čak i niže U-vrijednosti od onih spomenutih. Stoga, s gledišta kretanja energije, one zahtijevaju i visoko izolirajuće membrane.

¹⁸⁸ Više u detaljima u knjizi: *Net zero energy design*, autora Tom Hootman, 2013.

Primjer jednog takvog suvremenog koncepta *zero emission* gradnje je škola u New Yorku (Fotografija 4.8. i 4.9., dizajnirana 2015. godine, *P.S.62 Richmond - Net Zero Energy School*).



Fotografija 4.8. i 4.9. *P.S.62 Richmond - Net Zero Energy School**, izvor: <https://archello.com/>

Arhitektonski ured „SOM“¹⁸⁹ je projektom zamislio da se kroz stroge standarde uštede energije same zgrade putem materijalizacije ovojnice, unutarnjim tehničkim uređajima (rasvjeta, oprema, kuhinjski aparati), maksimalnim korištenjem dnevnog svjetla, oblika i položaja vegetacije, rekuperacijom unutarnje energije, korištenjem sunčeve energije za toplu vodu i proizvodnju električne energije, postigne cilj koji će zgradu učiniti energetski potpuno neovisnom o energetskim mrežama u okruženju, a koja će u konačnici proizvoditi više energije nego što joj je potrebno.

Drugim svojim projektom poslovne zgrade u Parizu (fotografije 4.8 i 4.9) su kreirali prvi koncept koji planira da zgrada proizvodi više energije nego što je svojstvena potreba. U ovom primjeru vidimo iskorištavanje energije rijeke Seine za potrebe hlađenja, što potvrđuje značaj prilagođavanja, tj. suživota zgrade s mikro-okolinom.

Nova era arhitektonskog dizajna i transformacija postojeće arhitekture ukazuju na značaj ovojnice zgrade i njenog odnosa prema obnovljivim izvorima energije, točnije Suncu. Zgrada aktivno koristi Sunčevu energiju, ali se i po potrebi štiti od iste te kao takva predstavlja primjer za aktivne membrane zgrada. Okolinski energetske resursi predstavljaju ključne ulazne podatke za stvaranje bioklimatske arhitekture. Oni upućuju na koji način izvršiti adaptaciju zgrade imajući pri tom na umu njen mikrolokalitet. Na takav način se definira široki opseg kreativnih rješenja, oblik i formiraju inovativni modeli za korištenje obnovljivih izvora energije. Osim

¹⁸⁹ SOM – *Skidmore, Owings, Merrill LLP*, arhitektonski ured, izvor: www.som.com (06.01.2025)

navedenog, ovojnica mora biti sposobna da se prilagođava mikroklimatskim uvjetima, kako bi i taj potencijal iskoristila u stvaranju komfora unutarnjeg prostora i omogućila kvalitetno korištenje arhitektonskog prostora.¹⁹⁰



Fotografija 4.10. Poslovna zgrada Hauts-de-Seine building
u Parizu, projekt po standardu *Energy plus building*

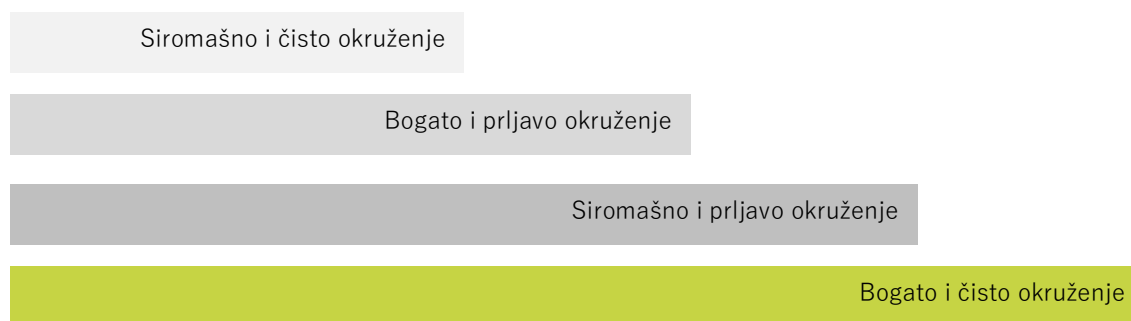
4.2.6. *Eco design* – Zelena arhitektura

Nekontrolirano korištenje energije, a time i zagađenje atmosfere te nekontrolirana primjena materijala koji ne mogu biti reciklirani u građevinarstvu doveli su do pojave ekološki osviještenog dizajniranja tzv. *eco design*. Ovakav način dizajniranja i gradnje ima za cilj smanjiti utrošak potrebne energije u proizvodnji materijala i primijeniti ekološki prihvatljive, tj. *eco friendly*¹⁹¹ materijale koji su lako razgradivi i imaju mogućnost reciklaže, a time i ponovne upotrebe u gradnji.

¹⁹⁰ Studija za projekt prve energetski autonomne stambene vile u Bosni i Hercegovini izrađena je za potrebe projekta i prezentirana na međunarodnoj konferenciji u Beogradu, „*S. Arch, Sustainable Conference*“ 14.-15. svibnja 2014. Izvor: http://www.renecon.rs/html/s_arch.html. Rad je prezentirao projekt stambene vile koja koristi na pasivan i aktivan način energiju okruženja (solarnu, vjetro i geotermalnu energiju), autohtone materijale, kišnicu i ima vlastite izvore vode. U konačnici to je građevina potpuno neovisna o bilo kojoj lokalnoj energetskej mreži.

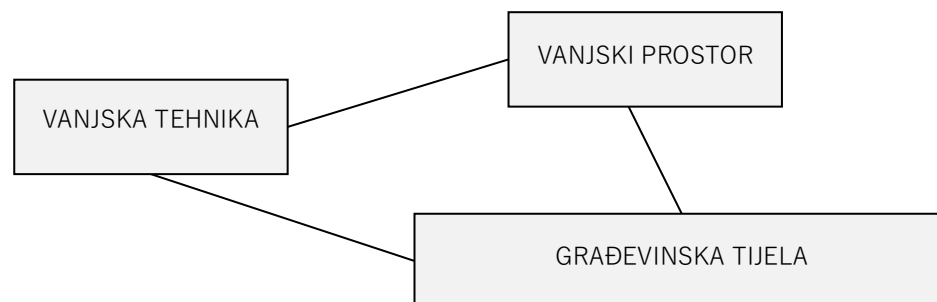
¹⁹¹ Kao posljedica klimatskih promjena širom planeta Zemlje i budući da je za najveći postotak povišene emisije CO₂ odgovorna industrija, pojedine državne vlade se okreću gradnji eko kuća, izvor: www.ecofriendlyhouses.net (podatak preuzet dana 03.12.2013.)

Pojam je u relaciji s pojmom *Life cycle costing*¹⁹² koji označava životni ciklus građevine ili razdoblje između planiranja, gradnje zgrade do njenog potpunog nestanka - rušenja. U obzir se moraju uzeti sljedeći elementi: cijena projekta, izgradnje zgrade, korištenja i održavanja, održavanje ekonomske vrijednosti i rušenje. U doba kada čovječanstvo izlazi iz industrijskog doba kojeg su obilježila stalna povećanja emisije CO₂ te nekontrolirana potrošnja energije i ulazi u novu eru „čišćenja“ planeta Zemlje, *eco design* je jedan od odgovora arhitekata i ostalih sudionika u procesu gradnje na promjene načina korištenja energije i principa energetske učinkovitosti. Evolucija društva pokazuje različite relacije između čovjeka i okruženja koje bi se mogle shematski prikazati na sljedeći način:



Navedeno ukazuje na činjenicu da okolina u kojoj živimo pruža mnogobrojne mogućnosti i potencijale korištenja vanjskog okolnog prostora. Međutim, ekološko građenje nije samo korištenje obnovljivih izvora energije ili njihova primjena na gotove zgrade. Taj proces podrazumijeva ekološku svijest arhitekta da već u fazi planiranja stvori cjelokupnu sliku onoga što želi napraviti. Jedan od presudnih koraka je izbor materijala koji će biti primijenjeni u samom dizajnu.

Ekološki krug je sastavljen od tri međusobno ovisna područja koja tvore neprekidnu međusobnu relaciju¹⁹³ s ciljem stvaranja ekološki prihvatljive arhitekture. Naime, arhitektura s primjenom ekološki prihvatljivih materijala postaje dugovječnija i ekološki prihvatljivija, točnije postaje dio prirode. Shema prikazuje definiranu konstantu i međusobnu povezanost relacije između građevinskog tijela (zgrade), tehnike gradnje i prostora tj. prirodnih resursa.



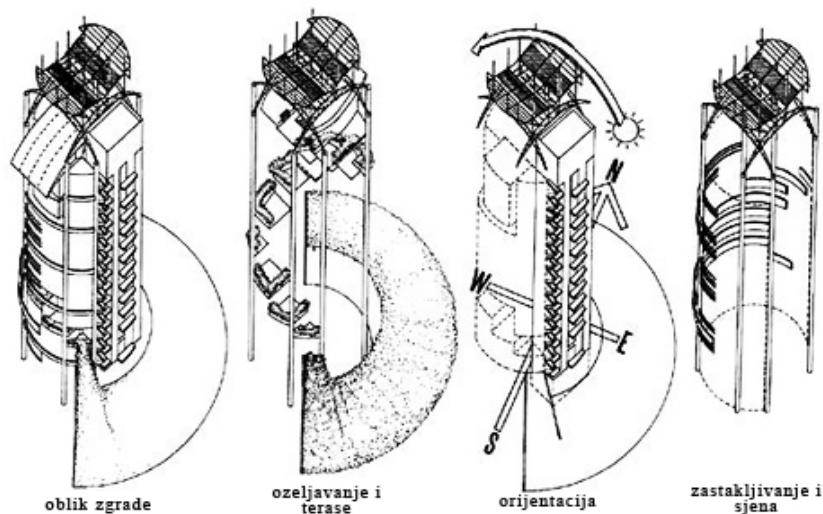
¹⁹² Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, M., *LCC Life Cycle Costing*, 2008.: 33.

¹⁹³ Danijels, K., 2009: 47.

Malezijski arhitekt *Ken Yeang*¹⁹⁴ smatra da u konceptima *eco* ili zelene arhitekture nisu dovoljni samo tehnološki suvremeni sustavi za korištenje obnovljivih izvora energije, nego i pravi model koji „arhitekturu vraća prirodi“.¹⁹⁵ Eko-sustav bez otpada, koji je apsolutno obnovljiv, beskrajan i koji zatvara krug kojeg zgrada ne smije narušiti, nego pokušati primijeniti filozofiju održivosti potvrđuje i arhitekt *Young* koji smatra da

*„arhitektura ne smije imati otpad, nego se ista mora materijalizirati reciklirajući materijale i sve emisije i proizvode koji moraju biti ponovno upotrijebljeni te na kraju integrirani u prirodne procese, tj. potrebno je težiti ka korištenju što manje energije i prirodnih resursa i dizajnirati s ciljem imitiranja ekosistema u svim segmentima.“*¹⁹⁶

Yeang također smatra da je za razvijanje modela nove *green* ili *eco* arhitekture potrebno i vrlo bitno detaljno razmatranje prilagođavanja zgrade klimatskoj zoni u kojoj treba biti izgrađena. Kao model za analizu, koristi projekt nebodera, gdje promatra četiri komponente: oblik zgrade, ozelenjavanje terase, orijentacija i zastakljivanje koje interpolira u četiri različita klimatska uvjeta: tropsko, suho, umjereno i hladno¹⁹⁷ (Fotografija 4.11 i 4.12.).



Fotografija 4.11. Klima i oblici građevine, arh. *Ken Yeang*,
 izvor: Daniels, 2009: 28



Fotografija 4.12.
 Koncept nebodera, arh. *Ken Yeang*
 Izvor: www.professoratch.wordpress.com

¹⁹⁴ Ken Yeang, malezijski arhitekt, Izvor: www.schueco.com, www.trhamzahyeang.com (12.12.2015)

¹⁹⁵ Kompletna filozofija njegove arhitekture se ogleda u njegovom viđenju sebe prvo kao ekologa pa tek onda arhitekta. Smatra da sve što čovjek oduzme prirodi treba da istoj vrati. Konkretno on to prezentira interpolacijom zelenih ploha na svim mogućim pozicijama na zgradama koje projektira i realizira. Fotografija 4.11.

¹⁹⁶ Jodido, 2013: 17

¹⁹⁷ Daniels, 2009: 28

Održivi koncept gradnje u 21. stoljeću podjednako je zanimljiv i arhitektima, građevinskim inženjerima, ekonomistima i *inim* koji zajedno čine tim koji dolazi do najboljih rješenja. Potrebno je spomenuti arhitektu *Michaela Van Valkenburgh*,¹⁹⁸ čiji je projekt zgrade Američkog društva pejzažnih arhitekata u Washingtonu iz 2005. godine pokazao kako zeleni krov (površine 130m²) ima sposobnost da ponovo uspostavi narušenu vezu za prirodom, a pri tom služi u funkciji zgrade tako što apsorbira višak toplinske energije i stvara termičku izolaciju unutrašnjeg prostora (Fotografija 4.13). Drugi arhitekt, *Renzo Piano*, zelenim krovom površine jednog hektara na zgradi Akademije nauka u Kaliforniji u San Franciscu¹⁹⁹ postiže spomenute ciljeve sadnjom autohtonog bilja na spomenutoj površini te tako prezentira odnos društva prema svojoj prirodnoj baštini (Fotografija 4.14). S obzirom s na činjenicu da se postojeća arhitektura smatra najvećim potrošačem energije, ali i emitentom štetnih plinova, realno je očekivati da ista bude i inicijator promjena u korištenju energije i resursa. Tako LEED²⁰⁰ promovira samoodrživu gradnju u procesu stvaranja arhitekture 21. stoljeća, a podržao ga je Američki Savjet za zelenu gradnju tj. *US Green Building Council* (USGBC),²⁰¹ koji se bavi certificiranjem dizajna, gradnje i upotrebe zgrada. USGBC je zajedno s UKGBC-om²⁰² član Svjetskog Savjeta za zelenu gradnju (*World Green Building Council*),²⁰³ koji trenutno broji 12 nacionalnih zavoda: Australija, Brazil, Kanada, Njemačka, Indija, Japan, Meksiko, Novi Zeland, Tajvan, Ujedinjeni Arapski Emirati, Velika Britanija i Sjedinjene Američke Države. *Green* koncept ne samo da stvara vizualno zelene objekte već omogućuje minimiziranje emisije CO₂ kroz energetske efikasne sustave i korištenje obnovljivih izvora energije, čime se teži neutralnosti ugljika u svakodnevnom korištenju prostora.



Fotografija 4.13.

Zeleni krov zgrade ASLA – „American Society of Landscape Architects“



Fotografija 4.14.

Zeleni krov zgrade Akademije nauka Kalifornije,

¹⁹⁸ Michael Van Valkenburgh associates inc., Arhitektonski ured, www.mvvainc.com, (10.01.2025)

¹⁹⁹ www.archdaily.com, (02.12.2025.)

²⁰⁰ LEED *Leadership in Energy and Environmental Design* je program za certificiranje zgrada, uzimajući u obzir dizajn, upotrebu i gradnju s visokim karakteristikama zelenog dizajna. Klasifikacija je izvršena na sljedeći način: 26-32 bodova klasificira zgradu kao certificiranu, 33-38 bodova dodjeljuje srebrni stupanj, 39-51 bodova zlatni i više za platinasti stupanj kao najviši stupanj. Elementi projekta promatrani prilikom certificiranja su: razvoj samoodrživog koncepta, učinkovitost korištenja vode, energija i atmosfera, materijali i resursi, kvaliteta unutrašnjeg prostora i inovacija i dizajn. Izvor: <https://www.usgbc.org/leed> (07.01.2025)

²⁰¹ www.usgbc.org, (10.01.2025), u Hrvatskoj postoji Hrvatski savjet za zelenu gradnju (CGBC)

²⁰² UK Green Building Council: Sustainable Built Environment, izvor: www.ukgbc.org (10.05.2024)

²⁰³ www.worldgbc.org, (10.12.2024.)

4.2.7. Transformirana arhitektura

Transformacija postojeće arhitekture nastaje između ostalog i zbog svih spomenutih promjena u pogledu korištenja energije, ali i klimatskih promjena. Naime, težnja ka stvaranju energetske učinkovite građevine uvjetovala je kreiranje novog redizajna postojećih zgrada koji na prvo mjesto ističe kreiranje energetske učinkovite ovojnice. Na osnovi ovoga nastaju novi vizualni identiteti koji u nekim slučajevima kreiraju potpuno novu arhitektonsku sliku postojećih zgrada te na taj način predstavljaju izazov za kreiranje novog vizualnog identiteta postojeće arhitekture i otvaraju novo stvaralaštvo u arhitekturi.

Potpuno transparentni novi sloj kože građevine, tj. ovojnice, omogućava identičan doživljaj kako okolnog urbanog tkiva iz unutrašnjosti tako i s vanjske strane same zgrade. Time značaj zgrade u svom okruženju ostaje nenarušen. U kontekstu istraživanja vizualne transformacije ovojnice koja nastaje kao posljedica niza uzročnika (energija, novi zahtjevi korisnika, starost), primjer na fotografijama ispod pokazuje uspješnu realizaciju primjene suvremenih materijala na povijesno značajnim zgradama i uspješno kreiranje novog vizualnog identiteta. Primjer modela „kuća u kući“ je zgrada Europske komisije u Briselu²⁰⁴ koja na najbolji mogući način prikazuje transformaciju postojeće arhitektonske strukture iz 60-ih godina prošlog stoljeća u novu strukturu koja je u skladu s novim potrebama, vizualnom suvremenosti i tehnologijama 21. stoljeća u kontekstu održivosti i energetske učinkovitosti. Fotografija 4.16 demonstrira višestruko saglediv proces transformacije zgrade i to kroz:

- Energetski gledano, ušteda energije i smanjenje priljeva viška sunčeve energije kroz transparentne dijelove ovojnice,
- Novi vizualni identitet, dizajniran na suvremen i reprezentativan način kako bi zgradu učinio simbolom jednakosti u državama članicama EU27.



Fotografija 4.15. Zgrada Europske komisije prije transformacije



Fotografija 4.16. Zgrada Europske komisije nakon transformacije

²⁰⁴ Izvor: www.dowcorning.com (20.12.2024)

Navedeni primjer prikazuje potpunu transformaciju postojećeg stanja zgrada sagledivu kroz tri osnovna elementa:

- Smanjena ukupna energetska potreba, a time i emisija CO₂,
- Poboljšani higijensko-tehnički uvjeti boravka,
- Novi arhitektonski identitet.

Drugi značajan primjer transformacije zgrade nastale uslijed težnje kreiranja reprezentativnog arhitektonskog objekta, ali i štednje energije je zgrada *Reichstaga* u Berlinu. Prvobitno je zgradu 1984. god. izgradio arh. Paul Wallot, a 1992. godine je rekonstruirana u suvremen, reprezentativan i energetski učinkovit objekt, arh. Sir Norman Foster.



Fotografija 4.17. Zgrada *Reichstaga* prije rušenja



Fotografija 4.18. zgrada *Reichstaga* danas

S gledišta energetske učinkovitosti zgrada *Reichstag* zajedno sa zgradom *Paul Löbe Building* čini cjelokupan i jedinstven koncept korištenja obnovljivih izvora energije. Koriste se četiri ključna izvora koji se međusobno nadopunjuju. Značaj ovog koncepta je u činjenici da je kreiran jedinstven sustav skladištenja (podzemna voda) otpadne toplinske energije i viška energije nastale u procesu rada svih energetskih postrojenja. U ovisnosti o godišnjem dobu (vanjskim utjecajima) i potrebama unutrašnjeg prostora uz pomoć izmjenjivača koristi se toplinska energija koja je unaprijed skladištena u tlu, tj. u vertikalnim sondama dubine 300 m, a radi se o:

- Biodiesel,
- Sunce, fotonaponske ćelije,
- Generiranje i skladištenje toplinske energije za grijanje,
- Generiranje i skladištenje toplinske energije za hlađenje.

Sve spomenuto se uzajamno i međusobno povezano koristi kako bi konačan cilj bio realiziran, a to je energetska učinkovita zgrada s minimalnom emisijom CO₂.²⁰⁵ Arh. Sir Norman Foster dizajnom kupole vizualno mijenja prvobitni izgled i kreira djelomično novi vizualni suvremeni identitet postojeće arhitekture.

4.2.8. *Active House*

Koncept aktivne kuće razvio se kao rezultat analiza i kritičnog promišljanja prethodnih²⁰⁶ pristupa energetska učinkovitoj arhitekturi, s posebnim naglaskom na standarde pasivne kuće. Aktivna kuća integrira dva ključna aspekta: zadovoljavanje komfora unutarnjeg prostora i dinamičan odnos objekta s okruženjem, pri čemu se uzimaju u obzir promjenjivi uvjeti u kojima objekt „živi“.

Objekt postaje "aktivan" prvenstveno zahvaljujući svojoj automatiziranoj ovojnici, koja omogućuje prilagodbu uvjetima i optimizira korištenje obnovljivih izvora energije. Ova ovojnica koristi pametne sustave za prilagodbu na različitim vremenskim razinama – satnoj, dnevnoj, tjednoj i godišnjoj.

Energija Sunčevog zračenja, vjetra, vanjske temperature i geotermalne energije iskorištava se automatiziranim sustavima prema aktualnim mogućnostima i potrebama. Na primjer, sustavi mogu regulirati količinu sunčeve svjetlosti koja ulazi u objekt, upravljati ventilacijom ili grijati prostor pomoću geotermalnih izvora. Dizajn aktivne kuće oslanja se na osnovne principe prilagodbe okruženju, uključujući pažljivo planirane odnose otvorenih i zatvorenih površina ovojnice te njihovu orijentaciju prema klimatskoj zoni, nadmorskoj visini i specifičnostima lokacije.

Fotografija 4.19. UAE Paviljon, EXPO 2020 Dubai, 04.02.2024.



Fotografija 4.20. R128 House,



²⁰⁵ Izvor: http://www.bundestag.de/htdocs_e/artandhistory/architecture/energy/index.html

²⁰⁶ 2010. god. Veći broj kompanija i interesenata se okuplja zajedno pod imenom „Active House Alliance in Copenhagen“, s ciljem početka kreiranja Aktivne kuće, ovo predstavlja početak. Izvor: Hegger M., Fafflok C., Hegger J., Passig I., 2016: 50. Više u knjizi: Aktiv Haus – the reference work, 2013.

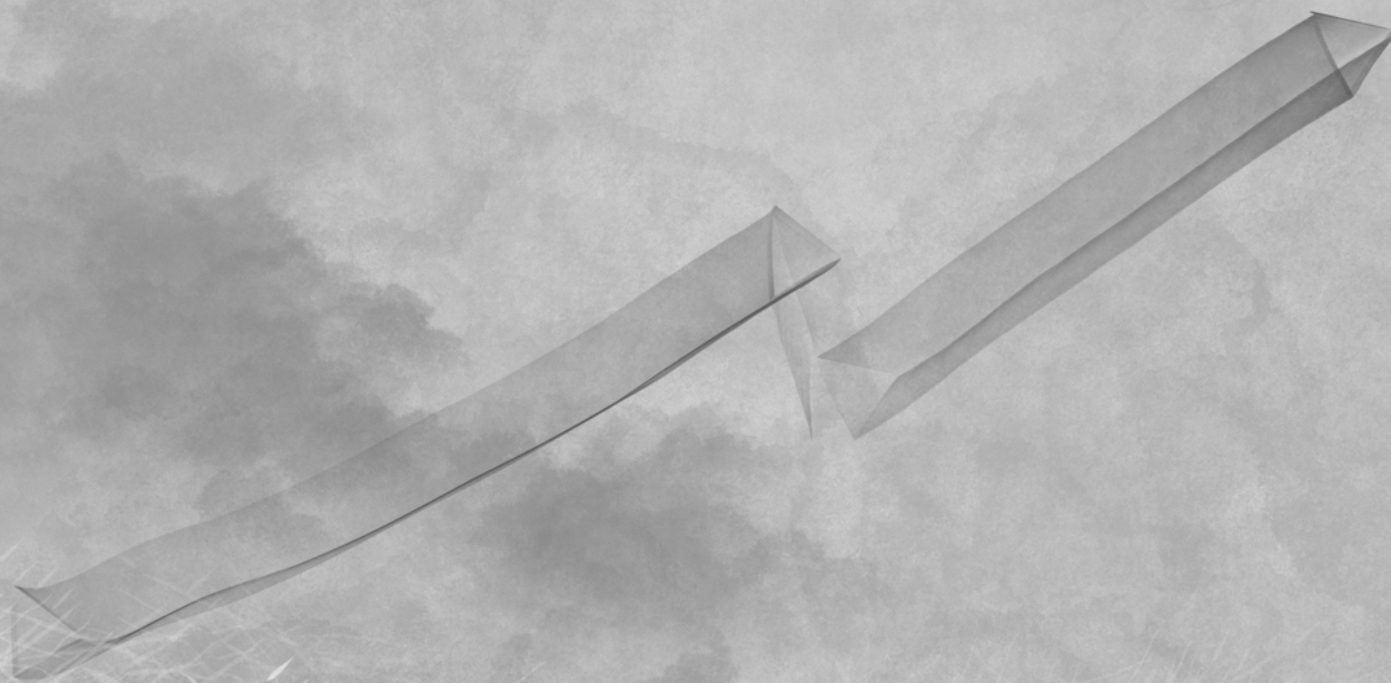
Koncept aktivne kuće predstavlja sintezu znanstvenih i stručnih pristupa koji su nastali kao odgovor na energetske izazove. Cilj je stvoriti arhitekturu koja ima minimalne energetske potrebe, pruža visoku razinu komfora za korisnike te generira niske ili čak nulte emisije CO₂. Ovakvi se pristupi razvijaju još od prve energetske krize 1980-ih godina, ali aktivna kuća ide korak dalje u stvaranju dinamične interakcije između kuće, korisnika i okoliša. Ova interakcija omogućena je pametnim tehnologijama poput sustava *smart home*, koji reguliraju reakcije objekta prema promjenjivim vanjskim uvjetima i potrebama korisnika.

Jedan od prvih značajnih primjera aktivne kuće je R128 kuća u Stuttgartu iz 2000 godine²⁰⁷, fotografija 4.20.

Za Expo 2020 arhitekt Santiago Calatrava dizajnirao je paviljon za Ujedinjene Arapske Emirate s aktivnom krovnom membranom koja reagira na Sunčevu radijaciju. Ovaj inovativni pristup pokazuje kako se tehnologija može iskoristiti za prilagodbu zgrada klimatskim uvjetima i maksimalno iskorištavanje obnovljivih izvora energije, fotografija 4.19.

Aktivna kuća nastala je i kao odgovor na kritike pasivne kuće. Relacija kuća-korisnik-okruženje ovdje su u fokusu, potpomognuti suvremenim tehničkim rješenjima i *smart home* sistemima za reguliranje reakcije objekta u odnosu na okruženje, a u skladu sa potrebama korisnika s ciljem dostizanja ugone.

²⁰⁷ Izvor: Hegger M., Fafflok C., Hegger J., Passig I., 2016: 12



OVOJNICA OBJEKTA
koža prostora

5.1. Definicija i značaj ovojnice

Ovojnica zgrade, kao granica između unutarnjeg i vanjskog prostora, predstavlja ključni element u arhitekturi. Ona se sastoji od fasadnih, krovnih i podzemnih sustava, koji zajedno definiraju izgled i funkciju zgrade. Primarno gledano, ovojnica ima dvostruku svrhu: tehničku i estetsku.

Tehnička funkcija ovojnice odnosi se na zaštitu unutarnjeg prostora od vanjskih elemenata poput vremenskih nepogoda i prirodnih opasnosti. Osim toga, ovojnica ima važnu ulogu u reguliranju unutarnje klime i udobnosti te pruža sigurnost i udobnost korisnicima prostora. Fasadni sustavi posebno su važni jer predstavljaju prvo što ljudi vide i utječu na dojam i percepciju zgrade.

Kada napravimo usporedbu sa kožom čovjeka vidimo jednaku funkciju:
prvo da odvoji jedan svijet od drugog i
da napravi kontrolirano kretanje materije kroz istu.

Estetski aspekt ovojnice također je bitan jer fasada zgrade predstavlja njezinu vanjsku estetiku i simboliku. Razvoj ovojnice i fasade tijekom vremena usko je povezan s razvojem građevinskih materijala i tehnologija. Arhitektonski stilovi i trendovi odražavaju dostupne materijale i tehnička dostignuća svog vremena.

Primjerice, povijesni razvoj od jednostavnih fasadnih sustava do složenih prilagodljivih rješenja odražava potrebu za boljom energetsom učinkovitošću i udobnošću prostora.

Razumijevanje evolucije ovojnice zgrade i njezine fasade ključno je za razvoj suvremenih arhitektonskih pristupa. Povezivanje prošlih lekcija s trenutnim potrebama i tehnološkim dostignućima omogućuje stvaranje prostora koji su funkcionalni, estetski privlačni i održivi u skladu s okolišem.

5.2. Evolucija ovojnice: povijesni razvoj i inovacije

Davno, arhitektura je bila često determinirana dostupnošću resursa lokalnog područja, što je rezultiralo raznolikošću tehnika gradnje diljem svijeta. Primjerice, u regijama s ograničenim pristupom drvu, poput Mezopotamije, zemlja je postala primarni građevinski materijal zbog svoje obilnosti. Kamen i drvo su također imali svoju ulogu, posebno gdje su bili lako dostupni.

Važnost klime nije se mogla ni u prošlosti predvidjeti pri dizajniranju ovojnice zgrade. Uzimajući u obzir faktore poput temperature, vlažnosti i oborina, arhitekti su prilagođavali dizajn kako bi osigurali udobnost unutar prostora. U regijama s ekstremnijim

klimatskim uvjetima, poput pustinskih ili tropskih područja, ovo je često rezultiralo korištenjem posebnih tehnika gradnje ili materijala kako bi se osiguralo termalno udobno okruženje.

Iako je većina ranih građevina bila jednostavna i ograničena tehničkim mogućnostima i dostupnim resursima, monumentalne građevine i vjerski objekti često su imali privilegirani pristup državnim resursima i najnovijoj tehnologiji. To im je omogućilo izgradnju kompleksnih struktura s impresivnim arhitektonskim rješenjima.

Toplinska udobnost nije uvijek bila primarni faktor u dizajnu ranijih zgrada, ali su debeli zidovi i tradicionalni materijali, poput kamena ili zemlje, pružali prirodnu izolaciju kreirajući ugodan prostor za čovjeka.

Unatoč ograničenim otvorima za svjetlo i ventilaciju, arhitekti su koristili lokalne materijale i tehnike kako bi osigurali što bolje uvjete za stanovanje ili rad u tim prostorima.

Tijekom povijesti, razvoj građevinskih materijala donio je značajne inovacije koje su oblikovale arhitekturu i građevinske prakse. Prvi dokazi o upotrebi stakla dolaze iz drevnog Egipta i Mezopotamije, oko 2500. pr. Kr., gdje se koristilo za ukrasne predmete. Rimljani su u 1. stoljeću počeli koristiti staklo u prozorima i zaštićenim prostorima za uzgoj biljaka, čime su postavljeni temelji za kasniji razvoj staklenika. Uvođenjem lukova u rimsku arhitekturu postignuta je veća strukturna sigurnost zgrada, dok je korištenje stakla omogućilo propuštanje prirodne svjetlosti u unutarnje prostore, iako u ograničenoj mjeri zbog tadašnje kvalitete materijala.

Razvoj rimskog carstva karakterizirala je široka primjena betona (*opus caementicium*), revolucionarnog materijala koji je omogućio bržu i efikasniju gradnju. Trgovina je igrala ključnu ulogu u širenju dostupnosti građevinskih materijala, dok je tehnološki napredak smanjio vrijeme izgradnje. Monumentalna arhitektura tog razdoblja koristila je obilje resursa i državna sredstva za izgradnju imponantnih građevina.

Tijekom ranog srednjeg vijeka, pročelje zgrada je uglavnom imalo strukturalnu ulogu, što je rezultiralo masivnim zidovima i zidnom arhitekturom.²⁰⁸ Međutim, bilo je iznimaka kao što su tekstilne strukture u nomadskim društvima i azijske konstrukcije temeljene na papiru, poput japanskog *Shōjija*.²⁰⁹ Ova konstrukcijska uloga pročelja ograničila je izbor materijala na one koji su bili dovoljno čvrsti da podnesu teret.²¹⁰

²⁰⁸ Smith, 2005: 10(2), 45-60.

²⁰⁹ Jones, 2010: 15(3), 78-92.

²¹⁰ Patel, 2012: 5(4), 110-125.

Dolazak gotičkog stila označio je prekretnicu u arhitekturi.²¹¹ Masa zidova romaničke arhitekture smanjena je na minimum, otvarajući prostor za veće prozore s vitražima.²¹² Umjesto nadvoja, uvedeni su šiljasti lukovi kako bi se bolje rasporedila težina i omogućio maksimalan protok svjetlosti.²¹³ Vanjske pomoćne konstrukcije, poput kontrafora i letećih kontrafora, preusmjeravale su vertikalna opterećenja na temelje zgrade, oslobađajući pročelje od konstruktivnih ograničenja.²¹⁴

Razdoblje gotike revolucioniralo je ne samo konstrukcijski dizajn, već i prostornu percepciju, omogućivši visoke zgrade bez presedana.²¹⁵ Iako su katedrale, s tankim zidovima i brojnim prozorima, pružale ograničenu toplinsku udobnost, unutrašnjost bi bila pretrpana ljudima koji su nosili debele vunene odjevne predmete kako bi se zagrijali.²¹⁶

Tijekom srednjeg vijeka u Europi, građevinski su se sustavi često oslanjali na poludrvne konstrukcije.²¹⁷ Ova promjena proizašla je iz potrebe za većim otvorima u zgradama, a inspirirana je konceptom odvajanja struktura i ograđenih prostora, što je karakteristično za nomadske šatore.²¹⁸ U takvim rešetkastim sustavima, nosiva drvena konstrukcija služila je kao osnova za fasadu, dok su rupe u tom kosturu bile ispunjene različitim materijalima.²¹⁹

Posebno treba spomenuti vojnu arhitekturu, koja se razvijala isključivo u svrhu obrane.²²⁰ Ograničeni vremenski i prostorni resursi, kao i potreba za izgradnjom na nestabilnim područjima, utjecali su na izbor materijala i izvođenje radova. Udobnost nije bila primarni faktor, već je glavna funkcija fasade bila zaštita od neprijateljskih napada.

Kamen je i dalje dominirao u monumentalnim građevinama, dok je u popularnoj arhitekturi često korišten čerpić.²²¹ Međutim, u područjima gdje je kamen bio rijedak, poput ravnica sjeverne Europe, keramika je postala važan materijal, što je rezultiralo pojavom tzv. ciglene gotike.²²² Beton je u to vrijeme imao nisku kvalitetu i njegova uporaba gotovo je nestala.

U 18. i 19. stoljeću došlo je do značajnog pomicanja granica između
interijera i eksterijera u arhitekturi.

²¹¹ Brown, 2015: 20(3), 75-90.

²¹² Garcia, (2017: 12(2), 30-45.

²¹³ Wang, 2018: 25(1), 55-68.

²¹⁴ Lee, 2019: 30(4), 80-95.

²¹⁵ Johnson, 2020: 35(2), 110-125.

²¹⁶ Clark, 2021: 18(3), 40-55.

²¹⁷ Clark, 2008: 13(2), 75-90.

²¹⁸ Rodriguez, 2012: 7(3), 110-125.

²¹⁹ Patel, 2015: (4), 55-70.

²²⁰ Smith, 2019: 25(1), 30-45.

²²¹ White, 2020: 15(3), 80-95.

²²² Lee, 2021: 28(2), 110-125.

Napredak u istraživanju materijala tijekom 18. stoljeća doveo je do revolucionarnih promjena u arhitekturi, posebno kroz uporabu lijevanog željeza kao konstruktivnog elementa.²²³ Prvo zabilježeno korištenje lijevanog željeza u arhitektonske svrhe dogodilo se 1714. godine u Donjem domu parlamenta u Londonu, nakon čega je ovaj materijal postao široko rasprostranjen, osobito u izgradnji tvorničkih zgrada tijekom industrijske revolucije.²²⁴ Ova inovacija omogućila je razvoj konstrukcijskih sustava s većim rasponima, zamjenjujući tradicionalne drvene konstrukcije.²²⁵

Međutim, upotreba čelika u arhitekturi nije bila bez nedostataka. Zgrade su bile projektirane za smještaj strojeva, a ne ljudi, što je rezultiralo lošom toplinskom udobnošću, iako je osvjetljenje poboljšano zahvaljujući većim staklenim pločama.²²⁶ Potrošnja energije u proizvodnji i upotrebi također je porasla, dok su masovne migracije radnika u gradove dodatno opterećivale infrastrukturu.²²⁷

Paralelno s ovim, razvijene su nove tehnike proizvodnje stakla, poput cilindrične metode za izradu ravnog stakla, koja je omogućila proizvodnju većih staklenih ploča.²²⁸ Ovo je otvorilo put za široku primjenu stakla u arhitekturi, posebno u staklenicima. U kasnom 18. stoljeću, hortikulturist *John Claudius Loudon* eksperimentirao je s kovanjem željeza i staklom, što je rezultiralo razvojem fleksibilnih greda od kovanog željeza koje su omogućile izradu zakrivljenog stakla bez gubitka čvrstoće.²²⁹

Kristalna palača, remek-djelo *Josepha Paxtona* iz 1851. godine, bila je povijesni događaj u arhitekturi.

Sastavljena od 300000 staklenih ploča, ova zgrada postavila je nove standarde u dizajnu i konstrukciji.²³⁰ Paxtonovo revolucionarno djelo, koje je projektirano s fokusom na proces izgradnje, a ne samo na krajnji izgled i funkciju, postavilo je temelje za budući razvoj arhitekture.

Kroz 19. stoljeće, koncept stakleničkih konstrukcija počeo se primjenjivati i na druge zgrade, poput skladišta i industrijskih postrojenja.²³¹ Primjeri kao što su *Harper Bros Warehouse* u *New Yorku* i *Gardner's Warehouse* u Glasgowu istaknuli su inovativnu upotrebu stakla kao konstruktivnog materijala i promijenili način na koji su zgrade percipirane.

²²³ Jones, 2007: (3), 45-60.

²²⁴ Smith, 2010: (2), 70-85.

²²⁵ Patel, 2014: 9(1), 110-125.

²²⁶ Brown, 2016: 32(4), 80-95.

²²⁷ Garcia, 2019: 15(2), 120-135.

²²⁸ White, 2021: 18(3), 55-70

²²⁹ Lee, 2022: (1), 40-55

²³⁰ Miller, 2023: 27(2), 90-105

²³¹ Scott, 2024: 40(4), 110-125

5.3. Razvoj konstrukcija i nova fasadna rješenja

Koncept dvostruke fasade ili dvoslojne fasade, koji je omogućio daljnje mogućnosti integriranja unutar fasade kao što su protok zraka i kontrola temperature, označio je još jednu prekretnicu u razvoju ovojnice. Primjer za to je zgrada *Castelar Rafaela de la Hoya* u Madridu, koja uspijeva kontrolirati protok sunčevih zraka koje ulaze u zgradu zahvaljujući dvostrukoj koži koja je prekriva.

Posljednji prodor na ovom području je pojava strukturalnog stakla, a prva arhitektonska referenca na ovaj sustav bila je zgrada *Willis Faber & Dumas tvrtke Foster + Partners u Ipswichu*, Engleska, 1975. godine. Ova zgrada uključuje staklena rebra nalik strukturi koja podupiru fasadu i, zbog toga, a s izuzetkom nekoliko malih metalnih spojeva između staklenih ploča, ne nalazimo nikakav okvir ili pomoćnu strukturu. Ovaj se sustav nastavio razvijati, postigavši izvanredne rezultate s *Apple Store-om* na Petoj aveniji u New Yorku i studijem *Bohlin Cywinski Jackson*, čija je struktura u potpunosti od stakla.

Još jedan glavni protagonist arhitekture 20. stoljeća bio je armirani beton.

Tijekom 19. stoljeća ovaj je materijal izazvao kontroverze zbog svoje boje. Rasprava koja ga je okruživala usredotočila se na njegovu estetiku, a ne na mogućnosti stvaranja novih oblika. Vrijeme je od tada pokazalo njegov golemi potencijal i posljedično beton je postao bitan materijal u današnjem svijetu i za strukture i za završnu obradu površina, kao što je npr. *BNP Paribas Fortis* zgrada u Briselu, fotografija 5.1.

Razvoj lakih fasadnih sustava omogućio je uvođenje novih materijala, uključujući one koji se prethodno nisu koristili u graditeljstvu. Metali su postali uobičajen izbor za fasade zbog svoje čvrstoće, trajnosti i mogućnosti oblikovanja. Plastika, iako često zanemarena u svakodnevnoj percepciji, također igra ključnu ulogu u građevinarstvu i sve je prisutnija u fasadnim sustavima. Napredak u znanosti o materijalima pruža beskonačne mogućnosti za inovacije, omogućavajući stvaranje fasada koje su lagane, izdržljive i energetske učinkovite. Međutim, s tim napretkom dolaze i novi izazovi, poput povećane potrošnje resursa, utjecaja na okoliš i problema reciklaže materijala, što zahtijeva pažljiv i održiv pristup u daljnjem razvoju i primjeni ovih tehnologija.



Jedan od najvećih izazova s kojima se trenutno suočavamo, osobito u građevinskom sektoru, jest pitanje potrošnje energije. Iako su novi tehnološki sustavi donijeli mnoge prednosti, gubitak tradicionalnih strategija doveo nas je u situaciju u kojoj je potrošnja energije postala veća kako bi se osigurali odgovarajući standardi udobnosti, često podržavani korištenjem mehaničkih sustava. No, potrošnja energije zgrade nije samo povezana s njezinom upotrebom; veća potrošnja također proizlazi iz procesa izgradnje, uključujući proizvodnju materijala, njihov transport i montažu.

Trenutni sustavi za energetske certificiranje, poput koncepta pasivne kuće, imaju za cilj smanjiti potrošnju energije promicanjem korištenja lokalnih i održivih materijala te učinkovitijih proizvodnih procesa. Međutim, usmjerenost isključivo na materijale i njihove proizvodne metode nije dovoljna za postizanje optimalnog energetskog ponašanja zgrada. Ključna je integracija ovog pristupa u sam dizajn zgrade. Analiza oblika zgrade može rezultirati značajnim uštedama energije kontrolirajući toplinske gubitke optimizacijom odabira i uporabe odgovarajućih materijala. Razvoj naprednih izolacijskih materijala omogućio je postizanje bolje toplinske udobnosti čak i uz tanje zidove, budući da fasada više nije opterećena strukturnom funkcijom.

Uz to, automatizacija procesa planiranja i izgradnje, zajedno s visokim stupnjem specijalizacije radne snage, ubrzala je tempo gradnje. Ovi napredci rezultat su široke primjene modernih građevinskih sustava i tehnologija, koje omogućuju fleksibilniji i održiviji pristup projektiranju i gradnji zgrada.

Fasade su doživjele značajne promjene tijekom svoje evolucije do današnjeg koncepta ovojnice. Unaprijeđeni su tehnički aspekti, posebno u pogledu osvjjetljenja i toplinske udobnosti, dosegnuvši neviđene razine udobnosti i funkcionalnosti.²³² Toplinska udobnost danas je veća nego ikad prije, iako je često povezana s visokom potrošnjom energije.²³³ Nekoliko strategija dizajna fasada, poput onih koje su predstavili *Thalfeldt et al.*, može značajno doprinijeti smanjenju potrošnje energije na gotovo nulte razine.²³⁴ Potrošnja energije postala je ključni parametar u razvoju fasada, obuhvaćajući ne samo korištenje zgrade za održavanje standarda udobnosti, već i proces izgradnje. To je djelomično posljedica povećanog raspona udaljenosti korištenih materijala te složenosti proizvodnih procesa uključenih u izradu konstrukcijskih elemenata.

Ovojnica ili membrana između grijanog i negrijanog dijela zgrade predstavlja ključni segment u procesu transformacije zgrade sa težištem smanjenja ukupne energetske potrebe, emisije CO₂ i poboljšanja kvalitete unutarnjeg prostora za boravak njenih korisnika. Struktura ovojnice ima transparentni dio (vanjski otvori) i netransparentni (pune plohe). Potrebno je naglasiti da se s danas dostupnim materijalima na tržištu mogu izvoditi pune plohe s transparentnim materijalima²³⁵.

²³² Smith, Jones & Brown, 2018: 24(3), 04018015

²³³ Lee & Kim 2019: 189, 138-149

²³⁴ Thalfeldt, Schneider, Müller, 2017: 42(2), 115-130

²³⁵ Neki od transparentnih građevinskih materijala: *Solarni fasadni panel SolFas*, *TWD sustav* omogućavaju prolaz svjetlosti, a imaju visoko izolirajuća svojstva poput netransparentnih ploha. Izvor: Hadrović, 2008:198-202.

5.4. Ovojnica zgrade kao ključ za komfor unutarnjeg prostora

U okviru projektiranja niskoenergetske arhitekture, poseban značaj dat je ovojnici (membrani) zgrade. Stoga, neizostavno je definirati pojam ovojnice u kontekstu arhitekture. Ovojnica ili membrana (eng. *envelope*) je struktura koja dijeli vanjski prostor od unutarnjeg. Detaljnije, to je struktura koju čine sve plohe unutar ovojnice uključujući: kosi krov, ravni krov,²³⁶ vanjski zid, vanjske otvore, podove na tlu, međukatne konstrukcije, zidove u tlu, pozicije na prepustima, itd. Termička svojstva iste u mnogočemu ovise o proračunima arhitektonske fizike: proračun kretanja topline, vodene pare i toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. S napretkom arhitektonskog stvaralaštva ovojnica je postala složenija struktura posebice u smislu arhitektonskog oblikovanja i arhitektonske fizike, ali i novih funkcionalno-estetskih zahtjeva, materijalizacije, itd.

Čovjek od svojih najranijih početaka pokušava osigurati unutarnji komfor prostora

i isti održati što duže. Prvobitne ovojnice bile su materijalizirane s prirodnim materijalima poput životinjske kože, slame, trstike, itd. U srednjem vijeku graditelji su prezentirali umijeće gradnje s ciljem stvaranja zgrada s kvalitetnim unutarnjim komforom. Naime, jasno je vidljivo da je tada graditelj ovojnicu materijalizirao s masivnim kamenim zidovima između ostalog i da omogućiti akumulaciju topline u vanjskim zidovima što je u određenoj mjeri štitilo unutarnji komfor.

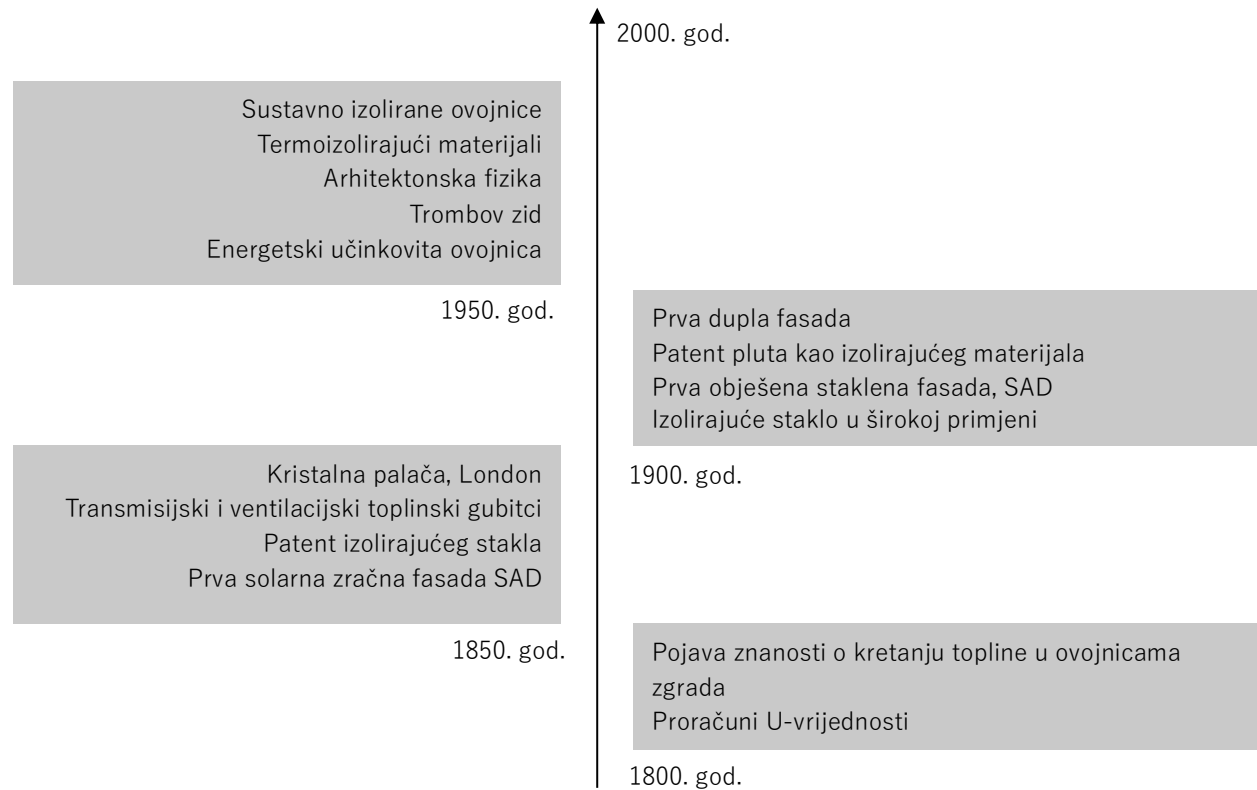
Ovojnica je dobila značaj u znanosti tijekom 19. stoljeća, kada je 1820. godine *Jean Fourier*²³⁷ postavio teoriju o kretanju topline kroz ovojnicu. Drugi francuski fizičar, *Eugene Peclet*, je 1828. godine utemeljio k-vrijednost, koju danas poznajemo pod nazivom U-vrijednost (W/m^2K). Sredinu 19. stoljeća obilježila je proizvodnja stakla i metala i njihova primjena u ovojnici. Primjer Kristalne palače u Londonu²³⁸ može se uzeti kao prekretnica u stvaranju transparentnih membrana u arhitektonskom stvaralaštvu. Po prvi put osim U-vrijednosti počinju se tretirati i ventilacijski i linijski gubitci. Dalje, početkom 20. stoljeća s pojavom internacionalnog stila²³⁹ ovojnicama sve više počinju dominirati velike staklene plohe. Najpoznatiji su takvi primjeri arhitekata *Waltera Gropiusa* i *Miesa Van der Rohea* (Stakleni neboder u Berlinu, 1921.). Fotografija 5.2. prikazuje razvoj promatranja ovojnica zgrada s gledišta kretanja topline.

²³⁶ U arhitektonskim konstrukcijama definirani su razni tipovi ravnih krovova u zavisnosti od arhitektonskog koncepta tj. namjene i načina slaganja izolacijskih materijala unutar strukture. Izvor: Jahić, E., Arhitektonske konstrukcije – Principi, sistemi i materijali, str. 469. Tip krova utječe i na izbor termoizolirajućeg materijala u strukturi, a time i proračun kretanja topline i parodifuzije.

²³⁷ Jean Baptiste Joseph Fourier (21. ožujka 1768. – 16. svibnja 1830. godine) je bio francuski matematičar i fizičar, najpoznatiji po iniciranju istraživanja Fourierovih redova i njihove primjene na probleme prijenosa topline. Fourierova transformacija je, također, dobila naziv u njegovu čast. Fourieru se pripisuje otkriće efekta staklenika. Izvor: <http://www-history.mcs.st-and.ac.uk/Biographies/Fourier.html>

²³⁸ Kristalna Palača u Londonu, 1851. godine, arhitekt Joseph Paxton, smatra se prekretnicom u materijalizaciji arhitektonskih građevina, gdje ovojnica postaje potpuno transparentna, Izvor: Hatje, 1970: 214.

²³⁹ Internacionalni stil javlja se u drugoj četvrtini 20. stoljeća, dok se njegovi sami počeci vide i u prvim stambenim vilama Adolfa Loosa. Izvor: Ibid: 139.



Fotografija 5.2. Shematski prikaz, razvoj znanosti i struke na polju energetski učinkovite ovojnice zgrade

Zahtjevi koji se postavljaju pred ovojnice svakim danom postaju sve složeniji. To je posebno vidljivo kod zadovoljavanja standarda pasivne arhitekture, ili energetski plus arhitekture, gdje ovojnice ne samo da imaju funkciju kontrole kretanja materije, nego je ista i generator energije. Moguće ju je usporediti s kožom čovjeka koja predstavlja najsavršeniji oblik prirodne membrane između dva različita svijeta ili sredine.²⁴⁰

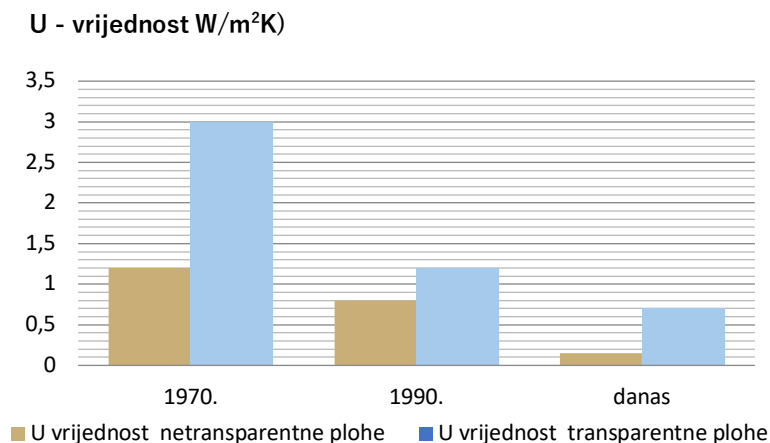
²⁴⁰ Koža je najveći organ ljudskog tijela i predstavlja višeslojnu membranu. S obzirom da čini barijeru između vanjske sredine i unutarnjih organa, na njoj se odražavaju mnogobrojna tjelesna oboljenja kao i složeni vanjski utjecaji. Štiti tijelo od mehaničkih, kemijskih i termičkih povreda, štiti unutrašnju sredinu od patoloških mikroorganizama jer se u njoj nalaze mnogobrojne žlijezde koje neprekidno luče antibakterijske materije koje sprečavaju naseljavanje površine tijela spomenutim mikroorganizmima. Imunološki aktivne ćelije u tkivu kože predstavljaju jedan od najvažnijih obrambenih mehanizama protiv infekcije. Koža regulira tjelesnu temperaturu uz pomoć znoja koji luče lojne žlijezde. Svojim isparavanjem s velike površine kože znoj smanjuje unutrašnju temperaturu. Pošto je koža ispunjena krvnim žilama koje u njoj čine gustu mrežu, cirkulacija koja se odvija od najdubljih dijelova tijela prema površini omogućava održavanje temperature na približno konstantnim vrijednostima. Osigurava se i stalna koncentracija vode u tkivima eliminiranjem soli koja povlači sa sobom i vodu. S druge strane, koža ne dopušta isparavanje vode i sušenje unutarnjih tkiva. Izvor: Arslanagić, 2009: 16-26.

S gledišta arhitektonske fizike, razvoj ovojnice može se pratiti i kroz razvoj standarda o protoku energije gledano kroz veličinu U-vrijednosti. Danas postoje primjeri koji pokazuju da pojedine već izgrađene zgrade imaju U-vrijednost netransparentnih ploha nižu od $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Fotografija 5.3. kroz dijagram prikazuje kako se razvijao normativ o maksimalno dopuštenim U-vrijednostima za netransparentne i transparentne dijelove. Sedamdesetih godina prošlog stoljeća se definirala maksimalna U-vrijednost od $1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$ za vanjske zidove, krovove, podove, itd., dok je za prozore iznosila i do $3,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Danas su zgrade izgrađene s ovojnicom koja ima ugrađene vanjske otvore s $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ i vanjskim zidovima i krovovima s $U = 0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ ²⁴¹.

Fotografija 5.4., pokazuje složenost zahtjeva na koje ovojnica zgrade treba ponuditi odgovor, točnije rješenje. Podijeljeni su na vanjske i unutarnje utjecaje. Vanjski utjecaji ovise o:

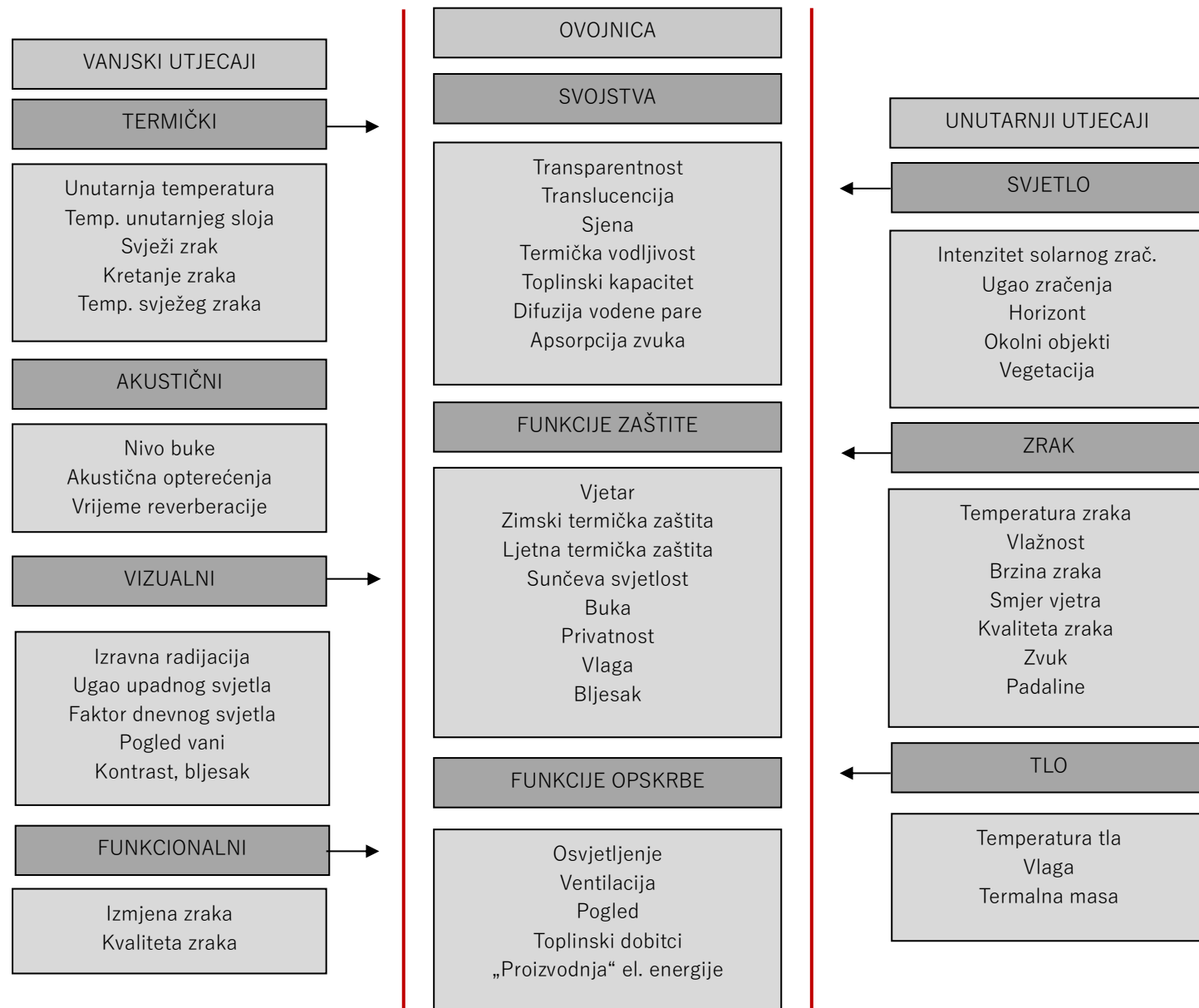
- mikroklimatskim uvjetima,
- sastavu i kakvoći tla,
- urbanističkom konceptu mikrolokaliteta,

dok su unutarnji vezani za namjenu zgrade i organizaciju prostora u istoj. Svaka zgrada daje svoje specifikume u pogledu kvalitete unutarnjeg komfora koji mora biti zadovoljen te samim tim definira kreiranje ovojnice s gledišta parametara arhitektonske fizike (termodinamika) i oblikovnosti odnosa transparentnih i netransparentnih površina. Tako su definirane tri ključne karakteristike koje ovojnica treba ispuniti: svojstva, funkcije zaštite i funkcije opskrbe.



Fotografija 5.3. Prikaz u obliku dijagrama maksimalno dopuštene U-vrijednosti slojeva na ovojnicama zgrada za razdoblje od proteklih 30 godina

²⁴¹ Pasivna arhitektura, veliki broj zgrada sa spomenutim parametrima na ovojnici su izgrađeni u Austriji, pokrajina Tirol.



Fotografija 5.4. Funkcionalna shema ovojnice zgrada i utjecaja na istu

5.5. Materijalizacija suvremene netransparentne plohe u ovojnici

Netransparentne plohe u ovojnici imaju višestruku ulogu koja se ogleda kroz nekoliko parametara: kontrola kretanja energije i vodene pare u oba smjera (iznutra prema van i obratno), akumulacija topline, reflektiranje ili apsorbiranje sunčeve energije, estetsko-oblikovne karakteristike itd. Analizom ovojnice definiraju se različite pozicije unutar cjelokupnog sustava: vanjski zidovi, vanjski zidovi u tlu, podovi na tlu, prepusti horizontalnih dijelova konstrukcije, krovne plohe, međukatne konstrukcije iznad negrijanih podruma i prema hladnim tavanima, a svaka od pozicija ima posebne zahtjeve s gledišta dopuštenih vrijednosti kretanja topline i vodene pare.

Raslojavanjem ovojnice uočavaju se tri ključne podjele materijala:

- konstruktivni ili nosivi materijali,
- materijali ispune,
- materijali obloge.

Osnovne karakteristike po kojima bираmo materijale su njihova termička, kemijska, mehanička i tehnološka svojstva. Također, od izuzetne važnosti su i čvrstoća, gustoća, elastičnost, žilavost, trajnost, homogenost, težina, provodljivost zvuka, parodifuznost, gorivost i otpornost na atmosferilije. Kad su u pitanju estetski kriteriji, potrebno je u obzir uzeti dimenzije, teksturu, boju i strukturu. Još jedan bitan segment na osnovi kojeg bираmo materijale su i ekonomski parametri koji uključuju cijenu obradivosti materijala, dostupnost i cijenu ugradnje montaže/demontaže. Pri odabiru materijala za ovojnice u procesu stvaranja energetske učinkovite arhitekture treba u obzir uzeti i ekološka pitanja te razmotriti mogućnost nabavke i ugradnje recikliranih materijala.

U kontekstu funkcionalnosti, strukture netransparentnih ploha mogu se podijeliti na ventilirane i neventilirane te na masivne i lagane strukture ovojnice. Svaki odabir ima i pozitivne i negativne efekte na proračun ukupnih energetske potreba i kvalitetu unutarnjeg prostora. Naime, zgradu treba materijalizirati u skladu s klimatskim uvjetima okruženja i njezine namjene te na taj način odlučiti hoće li biti izrađena masivnim, laganim materijalima ili pak kombinacijom te odrediti pozicije koje se ventiliraju ili ne. Čovjek je svoje prvobitne nastambe oblagao ovojnicama od njemu tada pristupačnih materijala iz okruženja i svakodnevnog života. Koristili su životinjsku kožu, trstiku, zaleđeni snijeg, zemlju itd. Razvoj arhitekture dirigirao je i strukturiranje slojeva u ovojnici od početka proračuna U-vrijednosti pa do danas, kada su standardi visoki i zahtjevni.

S gledišta arhitektonske fizike, točnije proračuna kretanja topline i difuzije vodene pare i stabilnosti konstrukcije na ljetni režim, postoji nekoliko ključnih vrijednosti u klasifikaciji materijala:

- λ - toplinska vodljivost materijala,

- μ - faktor otpora difuziji vodne pare,
- ρ - gustoća materijala.²⁴²

Svaki od spomenutih parametara predstavlja bitan segment u proračunima toplinskih karakteristika ovojnice. To današnju tržišnu utrku proizvođača materijala čini još oštrijom. Iako je tehnologija proizvodnje materijala značajno napredovala i iako određeni materijali imaju odlične karakteristike, ipak je neophodno njihovo kombiniranje u slojevima ovojnice u svrhu stvaranja kvalitetne „kože“ arhitektonski definiranog prostora.²⁴³

S druge strane, svaki od slojeva u ovojnici mora neovisno o ostalim zadovoljiti zahtjeve arhitektonske fizike. Stoga je nemoguće govoriti o termoizolacijskim materijalima samo u svojstvu obloga s vanjske ili unutarnje strane. Svaki od proizvođača (termo blokova, blokova na bazi laganih betona, drvenih konstrukcija) teži napraviti materijal koji će na najbolji mogući način zadovoljiti nove zahtjeve i standarde u pogledu energetske uštede. Tako je danas na tržištu moguće pronaći termo blokove s već unaprijed ugrađenom termoizolacijom unutar vertikalnih procjepa ili otvora, s U-vrijednostima do 0,22 W/m²K.²⁴⁴ Na taj način, omogućava se brža gradnja s visokom kvalitetom ovojnice s gledišta termoizolacije, parodifuznosti i toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim.

Termoizolacijske materijale moguće je na osnovi njihovog kemijskog sastava podijeliti na:²⁴⁵

- Organski termoizolacijski materijali na prirodnoj bazi (ekspandirani pluto, celulozna vlakna, drvena vuna, čista vuna),
- Organski termoizolacijski materijali na umjetnoj bazi (EPS – ekspandirani poliestiren, XPS – ekstrudirani poliestiren, PUR – poliuretanske ploče),
- Anorganski termoizolacijski materijali (staklena vuna, kamena vuna),
- Kombinirani materijali (kombi ploče s kamenom vunom ili EPS-om),
- Materijali s posebnom namjenom (VIP – *Vacuum Insulation Panel*).²⁴⁶

Težnja je napraviti građevinski materijal koji će moći dati odgovore na sve segmente energetske učinkovitosti ovojnice, čime bi se pojednostavio sustav gradnje, skratilo vrijeme i smanjila mogućnost greške prilikom ugradnje i kompatibilnosti pojedinih slojeva. Osim navedenog, vanjski slojevi u kontekstu energije imaju zadatak da kontroliraju priljev sunčeve energije, točnije reflektiraju ili apsorbiraju te je kontrolirano prenesu u unutarnji prostor. Sustavi koji omogućavaju iskorištavanje sunčeve energije danas postaju

²⁴² U djelu Građevinska fizika, Šimetin, V., prikazane metode proračuna kretanja topline i difuzije vodene pare, str.: 18-123

²⁴³ Ibid: 24

²⁴⁴ www.wienerberger.at

²⁴⁵ Muravlja, 2000: 38-61, 556-561.

²⁴⁶ VIP-Vacuum Insulation Panel je termoizolacijski materijal koji se može primjenjivati u gradnji naročito u sanacijama kulturno i povijesno zaštićenih zgrada, jer se radi o vakumiranim anorganskim jezgrama koje imaju višestruko veću vrijednost otpora prolaska topline nego standardni termoizolacijski materijali u obliku ploča ili rolni. U-vrijednost kod VIP ploča dostiže vrijednost od 0,0256 W/m²K, a proizvode se u debljinama od 6,3 – 38 mm i u dimenzijama od 600 x 900 mm. www.dowcorning.com (15.03.2024)

sve učinkovitiji i primjenjivani na fasadama i krovovima u raznim likovno-oblikovnim izrazima, tako da su postali segment arhitektonskog oblikovanja zgrada.



Fotografija 5.5. Energetska sanacija spomenika kulture, zgrada *Ernst May* u Frankfurtu, Njemačka, arhitekt *Jürgen Werner*, primijenjena VIP termoizolacija na fasadnoj strukturi, (21.06.2012.)

5.6. Materijalizacija suvremene transparentne plohe u ovojnici

Transparentne plohe u arhitekturi su staklene površine²⁴⁷ u ovojnici ili površine od nekog drugog transparentnog materijala poput polikarbonatnih ploča, pleksiglasa, folija na bazi PVC-a itd. Povijest nas uči da su Egipćani i Feničani poznavali proces proizvodnje stakla, da su Rimljani serijski proizvodili vrijedne staklene predmete, a potom i Venecija pa sve do srednjeg vijeka kada u Njemačkoj počinje masovna proizvodnja stakla. Sredinom 19. stoljeća dolazi do snažnog razvoja industrije metala i stakla - prva zatvorena galerija od stakla i metala je Orleanska galerija koju je 1829. godine sagradio *Fontaine*²⁴⁸ u Parizu kao prototip za

²⁴⁷ Staklo je uglavnom amorfni silicijev dioksid. Zbog svojih karakteristika da je relativno čvrsto, inertno, prozirno i biološki neaktivno, ima vrlo široku upotrebu u današnjem vremenu. Staklo je materijal koji se ne nalazi u prirodi. Iako poznato i korišteno od davnina i danas je nezamjenjiv materijal u svakodnevnom životu. Staklo se dobiva taljenjem osnovnih sirovina: kvarcnog pijeska, sode i vapnenca.

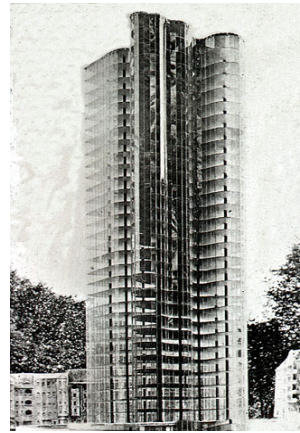
²⁴⁸ Hatje, 1970: 252.

zatvaranje arhitektonskog prostora. Ovu ideju do savršenstva dovodi *Joseph Paxton* 1851. godine s projektom Kristalne palače u Londonu gdje je staklo i metal pored svojih estetskih i konstruktivnih dobilo i funkcionalnu komponentu.

Kasnije, arhitekti pod utjecajem Čikaške škole²⁴⁹ počinju materijalizirati ovojnice zgrada u čeliku i staklu, po uzoru na projekte arhitekata *William Le Barona, Jenneya, Burnhama* i drugih. Fotografije 5.10 – 5.12., prikazuju prve potpuno transparente ovojnice i kao takve prvijence u arhitektonskom oblikovanju potpuno staklenih/transparentnih zgrada. Staklo je do tada upotrebljavano u malim količinama na vanjskim otvorima.



Fotografija 5.6. Kristalna palača u Londonu, 1851. god.



Fotografija 5.7. Idejni projekt nebodera „Stakleni neboder“, Berlin, 1922.god.



Fotografija 5.8. Betonska kancelarijska zgrada, idejni projekt 1933. god.

Još jedan od značajnih aktera arhitektonske scene tog razdoblja je *Mies Van der Rohe*, koji je u transparentnim i reflektirajućim slojevima na ovojnicama zgradama prepoznao novi potencijal u arhitektonskoj ekspresiji. Njegovi projekti s početka 20. stoljeća (*Friedrichstrasse* u Berlinu, 1921. godine – ideja i Stakleni neboder u Berlinu, 1922. godine²⁵⁰) predstavljaju herojske poduhvate u vremenu i prostoru u kojem su zamišljeni. Mies kao da prepoznaje da je to razdoblje sna koji teži nestati, koji je spor, nema definiciju, nema sliku ni ton, nego kao da želi proći bez ostavljanja za sobom bilo kakvog znaka, što ga inspirira da takvu situaciju oslikava arhitekturom stakla, arhitekturom koja refleksijom oslikava vrijeme i prostor u kojem nastaje. Vizije izgleda nebodera *Friedrichstrasse* i Staklenog nebodera su ostale samo na papiru i, nažalost, nisu materijalizirane u stvarnosti.

²⁴⁹ Naziv „Čikaška škola“, predstavlja arhitektonski pravac koji označava grupa trgovačkih i kancelarijskih zgrada koje su u posljednjoj četvrtini 19. stoljeća izgrađene na američkom srednjem zapadu, pogotovo u Chicagu. Najznačajniji arhitekti su: *William LeBaron Jenney, Luis Sullivan, Burnham&Root i Martin Roh*. Izvor: Ibid.,: 80.

²⁵⁰ Schulze, 1989: 40.

Još jednim svojim djelom, Betonskom kancelarijskom zgradom (fotografija 5.9) u Berlinu (1923. godine) potvrđuje ovaj pravac u svom djelovanju te definira novu formu koja je postala motiv i uzor njegovim suvremeniciima sve do današnjih dana. I ova zgrada se odlikuje arhitekturom jednostavnih geometrijskih oblika s jasnom konstruktivnom logikom. Njegova poznata uzrečica „Manje je više“ jasno je vidljiva, a čini se kao da ju je *Mies* pokušavao „očistiti“ od svih suvišnih elemenata koristeći jednostavnost linije, forme i oblika.

Iako je ovaj projekt nažalost ostao samo na crtaćem stolu, on ipak predstavlja primjer fasada oslobođenih bilo kakvih ukrasa. Po prvi put u povijesti arhitekture fasada je predstavljena kontinuiranim horizontalnim linijama sačinjenim iz horizontalnih betonskih parapetnih zidova i staklenih ploha. Konstruktivni sustav je uvučen i nije u dodiru s fasadom objekta. Ovakav vid arhitekture opisan je kao

*„do tada neviđeno rješenje u kome je prvi put upotrijebljena prozorska traka, kasnije jedan od uhodanih motiva suvremene arhitekture 20. stoljeća“.*²⁵¹

Fotografija 5.11. prezentira slijed primjene transparentnih horizontalnih linija na djelima današnjih arhitekata u svijetu.

Analizom arhitektonskog oblikovanja od razdoblja kada počinje oslobađanje dekorativnih elemenata na ovojnicama pa do danas može se uočiti jedna kontinuirana linija stvaralaštva u kojem dominira igra punih i praznih ploha. Vizualni identitet i funkcionalnost ovojnice su i danas jako bitni elementi, jer kontakt između unutarnjeg i vanjskog prostora te protok svjetlosti i energije i dalje predstavlja bitne komponente ovojnice. Međutim, suvremene ovojnice su dobile još jednu komponentu, tj. zadovoljavanje energetske potrebe zgrade. Danas ovojnice imaju zadatak da generiraju energiju (toplinsku i električnu), što je donedavno bilo nemoguće i zamisliti. Kad je u pitanju dizajn, estetsko-oblikovne mogućnosti ovojnice su bezbrojne, ali je potrebno konstantno imati na umu njen zadatak regulacije odnosa s energetske potrebama i klimatskim promjenama.

5.7. Primjeri učinkovitih vanjskih otvora na ovojnicama

Vanjski prozori su danas dostigli U-vrijednosti niže od 0,7 W/m²K. U svim materijalima kojima se danas izvode profili za prozore moguće je pronaći i kombinaciju sa drugim materijalima kao drvo-aluminij, ili aluminij ispunjen termoizolacijom ili aluminij u kombinaciji sa drvetom. Cilj je stvoriti profil s što nižim vrijednostima prolaska topline, manjim temperaturnim dilatacijama. Profili su dostizali veće poprečne dimenzije do 90mm, ali danas se opet teži smanjiti spomenute dimenzije, ali ostaviti termička svojstva. Potrebno je istaknuti da je nemoguće navesti sve suvremene proizvođače vanjskih otvora koji daju visoki akcent na uštedu energije te je ovo samo jedan okvirni prikaz mogućnosti materijalizacije i rješenja, jer na svjetskom tržištu je puno veći broj i mnogo više rješenja koja napreduju iz trena u tren.

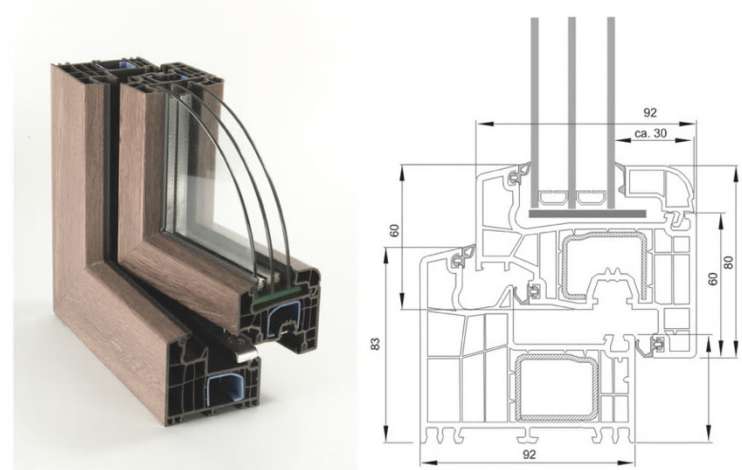
²⁵¹ Hatje, 1970: 184.



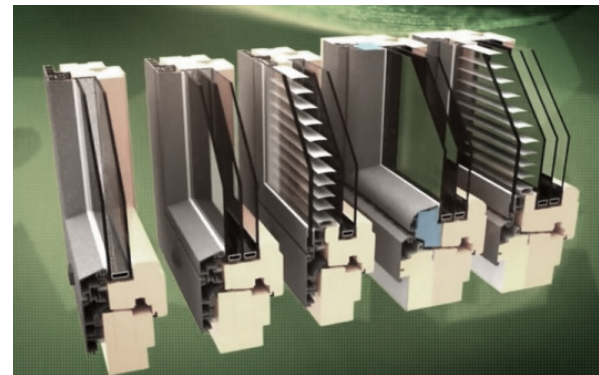
Fotografija 5.10. Vanjski otvor *Feal 85Plus*, Vanjski okvir je aluminij, moguća obrada u različitim bojama kao i u teksturi koja imitira drvo. U kombinaciji sa staklom od 3 sloja je moguće u zavisnosti od odnosa površine profila i stakla dostići U-vrijednost $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ili nešto nižu.



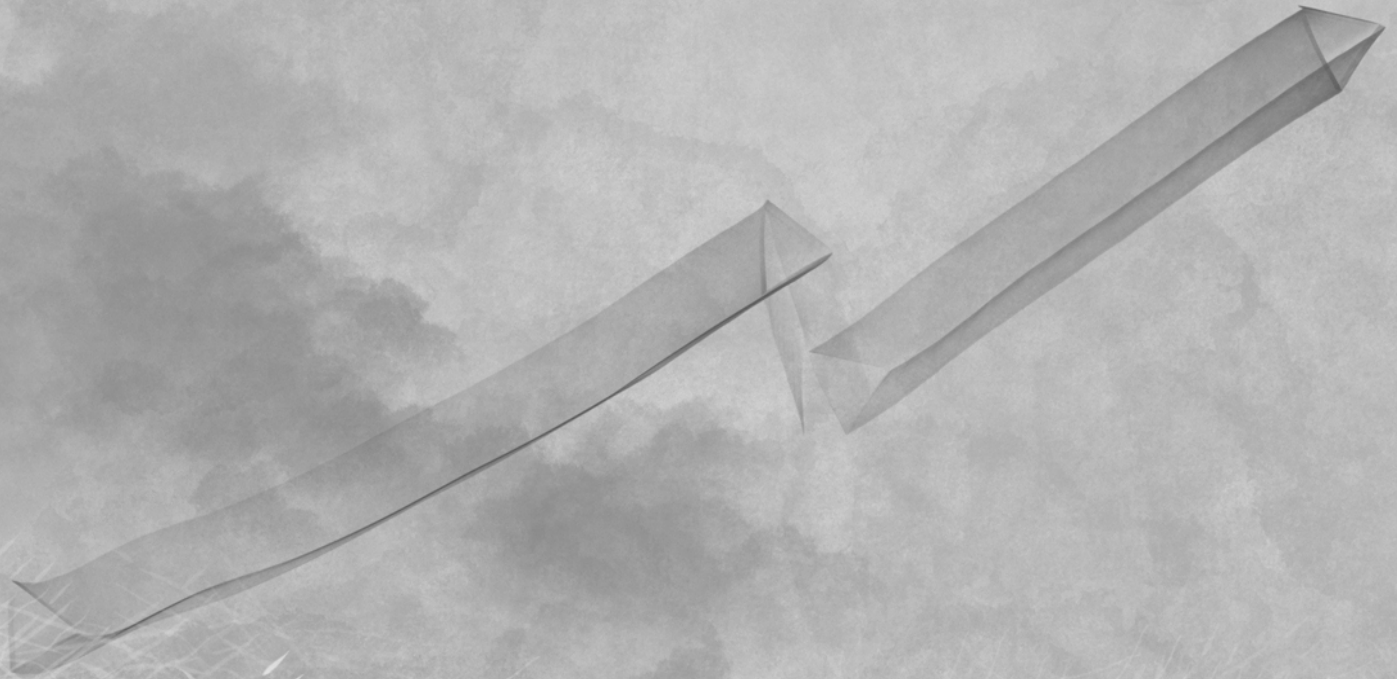
Fotografija 5.12. Vanjski otvor *Salamander BluEvolution*, The bluEvolution 92 sustav profila ujedinjuje vrhunsku tehnologiju usmjerenu na budućnost s modernim, pragmatičnim dizajnom za novu generaciju prozora svjetske klase. Optimizirani 6-komorni profil s ugradbenom dubinom od 92 mm pruža vrhunsku toplinsku izolaciju i izvrsnu energetska učinkovitost. U kombinaciji s filigranskom vidljivom širinom od samo 118 mm, solarnim dobicima zahvaljujući velikom upadu svjetlosti i ekološkoj održivosti PVC-a koji se može 100% reciklirati, ovo je jedan od Salamanderovih sustava budućnosti. U-vrijednost $0,71 \text{ W/m}^2\text{K}$



Fotografija 5.11. Vanjski otvor *Rehau Geneo*, kompozitni materijal ojačan staklenim vlaknima RAU-FIPRO®, koekstrudirani vanjski sloj cijelom duljinom iz visokokvalitetnog RAU-PVC-a za najbolju kvalitetu površine. U-vrijednost je sa ovim sistemom u zavisnosti od kvaliteta stakla i broj staklenih ploha moguće dostići do $0,76 \text{ W/m}^2\text{K}$



Fotografija 5.13. Cijela BLUEGREEN Linija razvijena je u hrvatskoj tvrtki Troha-Dil, vlastitim znanjem, radom i pedesetogodišnjim iskustvom. Svaka sitnica promišljena je do zadnjeg detalja. U trenutku nastajanja 2007. godine, dizajn Struktura bio je među šest najboljih prozora koji su imali U-vrijednost od $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Za većinu svjetskih proizvođača pasivnih prozora to je još uvijek nedostižan san.



FIZIKA U ARHITEKTURI
značajni termini _ pojmovi _ primjene

6.1. Arhitektonska fizika u kontekstu ugodnosti prostora

Kako bi osigurali da estetika, funkcionalnost i održivost arhitektonskih objekata budu promatrani kao cjelina, bitan je i znanstveni pristup projektiranju zgrada, osiguravajući kreiranje prostora koji su ugodni za boravak i efikasni u potrošnji resursa. Konkretno, ovdje govorimo o arhitektonskoj fizici kao interdisciplinarnoj znanosti koja se bavi proučavanjem fizičkih procesa i fenomena koji utječu na performanse i udobnost građevinskih objekata, posebno u kontekstu unutrašnjeg prostora.

Arhitektonska fizika koristi principe klasične fizike, termodinamike, akustike, optike i fluidne dinamike kako bi se analizirali i projektirali građevinski sustavi koji utječu na performanse zgrada. Na primjer, zakoni toplinskog prijenosa i termodinamike koriste se za razumijevanje i optimizaciju toplinske učinkovitosti zgrada, dok se principi akustike primjenjuju za kontrolu zvučne izolacije i akustičnog udobnosti unutrašnjeg prostora.

U kontekstu unutrašnjeg prostora, arhitektonska fizika igra ključnu ulogu u stvaranju ugodnog i zdravog okruženja za korisnike. Na primjer, dobro projektirani sustavi ventilacije i klimatizacije osiguravaju svjež zrak i optimalnu temperaturu, dok efikasna izolacija i termička regulacija održavaju konstantnu unutarnju temperaturu i smanjuju potrebu za grijanjem ili hlađenjem. Osvjetljenje je još jedan važan aspekt, gdje se koriste prirodni izvori svjetla i kvalitetna umjetna rasvjeta kako bi se osigurala dobra vidljivost i stvorila ugodna atmosfera.

Sve veća težnja korisnika za visokim komforom unutarnjeg prostora, većim prostorom, a umanjenom energetsom potrebom danas kao nikada do sada je prisutna kroz svaki segment arhitektonskog stvaralaštva. Stoga je za svakog projektanta neupitno poznavanje osnovnih znanja iz arhitektonske fizike, energije, komfora, standarda i veličina. Potrebno je također spomenuti vrlo dinamično tržište građevinskim materijalima koje se razvija velikom brzinom i nudi široki dijapazon građevinskih materijala na svjetskom tržištu. Takvo polje mogućnosti ima prednosti, ali i svakako velike rizike te je vrlo bitno poznavanje karakteristika materijala sa aspekata bitnih za projektiranje energetski učinkovite, zdrave i arhitekture niske emisije CO₂. Arhitekt kao vrh svake piramide tima koji dizajnira, materijalizira i stvara arhitektonski objekt nosi i najveću odgovornost u cjelokupnom procesu.

6.2. Fizika u zgradarstvu – osnovne termodinamičke veličine, pojmovi i procesi

Masa (m)

Jedna je od osnovnih veličina Međunarodnog sustava jedinica (SI).²⁵² Njezina je jedinica (kg) kilogram, (gr) gram, (t) tona itd. $1000\text{kg} = 1\text{t}$, $1000\text{g} = 1\text{kg}$.

Volumen (V)

Izvedena fizikalna veličina jednaka trećoj potenciji duljine. Njegova je jedinica prostorni (kubni ili kubični) metar (m^3) i njegovi višekratnici (npr.: mm^3 , cm^3 , dm^3 , km^3). Također se koristi litar (l), odnosno njegovi višekratnici, pri čemu je: $1\text{l} = 1\text{dm}^3$.

Gustoća (r)

Izvedena fizikalna veličina koja je jednaka omjeru mase i volumena, a njezina je jedinica kg/m^3 i njegovi višekratnici (npr. g/cm^3 , kg/dm^3 , kg/l). Određena je jednadžbom:

$$\begin{aligned}\rho &= \text{gustoća, (kg/m}^3\text{)} \\ m &= \text{masa, (kg)} \\ V &= \text{volumen, (m}^3\text{)}\end{aligned}$$

Specifični volumen (V) je veličina jednaka recipročnoj vrijednosti gustoće, a izražava se u m^3/kg . Određen je jednadžbom:

Protok

Izvedena fizikalna veličina jednaka omjeru mase ili volumena i vremena. Njegove jedinice su kg/s , odnosno m^3/s i njihovi višekratnici (npr. kg/h , m^3/h , odnosno l/h , l/min , l/s , itd.) Određena je jednadžbama:

Za maseni protok:

$$\begin{aligned}\rho &= \text{gustoća fluida (kg/m}^3\text{)} \\ v &= \text{brzina fluida u cijevi (m/s)} \\ A &= \text{presjek cijevi (m}^2\text{)} \\ Q &= \text{volumni protok (m}^3/\text{s)}\end{aligned}$$

²⁵² SI - Međunarodni sustav jedinica

Za volumni protok:

Q – Volumni protok (m^3/s)

ΔV = promjena obujma fluida (m^3),

Δt = vrijeme trajanja protoka fluida koji teče kroz neki presjek (s)

Tlak (p)

Izvedena fizikalna veličina jednaka omjeru pritiskne sile, odnosno njezine normalne komponente i površine na koju djeluje. Određena je jednačinom:

p - tlak, (Pa)

F - pritiska sila (normalna komponenta), (N)

A - površina, (m^2)

Jedinica za tlak u SI-ju je paskal (Pa) i njegovi višekratnici (npr.: hPa, kPa, MPa). Često ili skoro uvijek se koristi jedinica bar, ili njezini višekratnik mbar:

- $1\text{bar} = 10^5 \text{ Pa} = 100000 \text{ Pa}$ ili $1\text{mbar} = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa}$

Uvođenjem jedinstvenog sustava mjernih jedinica mnoge ranije korištene jedinice su nestale iz upotrebe, ali i zabranjene. Neke od njih se mogu i danas pronaći u literaturi kao na primjer:

- Fizikalna atmosfera: $1 \text{ atm} = 760 \text{ mm SŽ} = 101325 \text{ Pa}$
- Tehnička atmosfera: $1 \text{ at} = 98066,5 \text{ Pa} = 735,6 \text{ mm SŽ}$
- Stupac žive (0° C): $1 \text{ mm Hg (1 mm SŽ)} = 133,322 \text{ Pa}$
- Stupac vode (4° C): $1 \text{ mm H}_2\text{O, (1 mm SV)} = 9,80665 \text{ Pa}$

U konačnici postoje tri vrste tlaka, atmosferski tlak, relativni tlak i apsolutni tlak.

Atmosferski, vanjski ili barometarski tlak (p_B) nastaje usred vlastite težine ili pritiska zračnog stupca iznad Zemljine površine i predstavlja referentni u mjerenju tlaka na Zemlji.

Apsolutni ili stvarni tlak (p_A) je veličina stanja pa se uvrštava u fizikalne jednačine ili očitava iz tablica i dijagrama: Određen je kao zbroj referentnog i relativnog tlaka te vrijedi:

- U slučaju pretlaka ($p_A > p_B$): $p_A = p_B + p_e$
- U slučaju podtlaka ($p_A < p_B$): $p_B - p_e$

Relativni tlak (p_e) predstavlja razliku između stvarnog i referentnog tlaka te se izražava kao:

- Pretlak, nadtlak ili manometarski tlak (ako je apsolutni tlak veći od referentnog)
- Podtlak ili vakuum (ako je apsolutni tlak manji od referentnog).

U nestlačivim fluidima (tj. u kapljevinama), postoji još nekoliko vrsta tlaka:

- Hidrostatski tlak,
- Hidraulički tlak
- Hidrodinamički tlak

Snaga ili učin (P, Φ)

Fizikalna veličina jednaka omjeru količine topline, rada ili energije i vremena, a može se opisati kao obavljeni rad ili toplina izmijenjena u određenom vremenu. Pri tome se izraz snaga najčešće koristi kada se govori o obavljanju mehaničkog ili električnog rada, a učin kod izmjene topline. Jedinica za snagu, odnosno učin je vat (W) i njegovi višekratnici (kW, MW, GW, itd).

Energija (E)

(E), rad (W) i toplina (Q) su veličine iste vrste i imaju istu jedinicu – džul (J). Često se koriste njegovi višekratnici (npr. kJ, MJ, GJ), a i jedinica kilowatsat (kWh), odnosno njegovi višekratnici (npr. MWh). Energija je veličina kojom se opisuje unutarnje međudjelovanje i stanje čestica nekog tijela i njegovo međudjelovanje s drugim tijelima, odnosno sposobnost obavljanja rada. Energija ne može ni nestati ni nastati, već samo prelaziti iz jednog oblika u drugi pa izraz kao što je „proizvodnja“ energije je potpuno neprihvatljiv u fizikalnom smislu. Rad je fizikalna veličina jednaka umnošku sile i puta na kojem ona djeluje. Toplina je oblik energije koji se očituje prijenosom između tijela različitih temperatura.

Entropija (S)

To je termodinamička veličina koja je jednaka omjeru izmijenjene topline i temperature te predstavlja ocjenu savršenosti pretvorbe topline u mehanički rad (tzv. *Clausiusova* definicija). Ona je i veličina stanja pomoću koje se toplina izmijenjena u ravnotežnom procesu može povezati s temperaturom promatranog tijela. U praktičnoj je primjeni češća specifična entropija (S), po masi tvari. Jedinica za entropiju je J/K, a za specifičnu entropiju J/(kgK).

Eksergija (W_E)

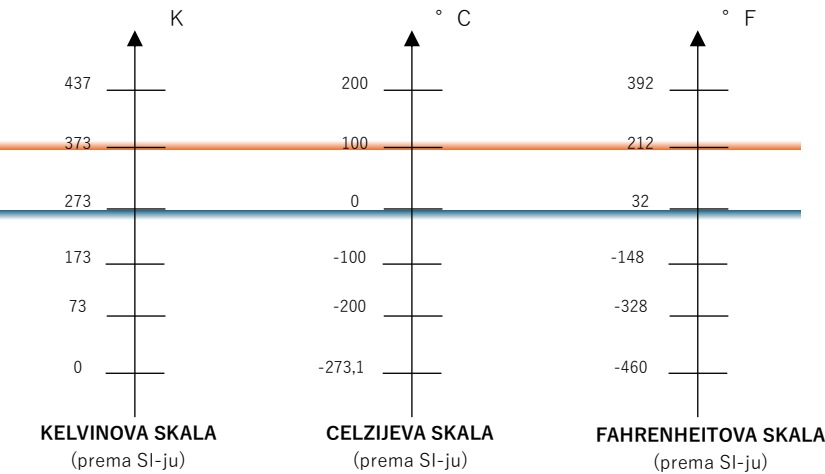
Veličina je kojom se opisuje dio energije koji se neograničeno (tj. potpuno kod reverzibilnih procesa) može pretvarati u druge oblike i time omogućavati (tehnički) rad, odnosno sposobnost obavljanja tehničkog rada (tzv. *Rantova* definicija).

Anergija (W_A)

Veličina je kojom se opisuje dio energije potrebne za obavljanje termodinamičkih procesa koji se ne može pretvarati u tehnički rad, odnosno beskorisna ili izgubljena energija (tzv. *Rantova* definicija).

Temperatura (T)

Jedna je od osnovnih veličina u fizici i njome se očituje unutarnje toplinsko stanje nekog tijela pri čemu vrijedi kako dva tijela imaju istu temperaturu ako među njima nema izmjene topline, to jest ako su u toplinskoj ravnoteži. Jedinica za temperaturu u SI-ju je *Kelvin* (K) koji je određen kao 273,16 dio temperaturne razlike između apsolutne nule i trojne točke vode. Ipak, češće se koristi (također prema SI-ju) jedinica *Celsiusov* stupanj ($^{\circ}\text{C}$), koja je jednaka stotom dijelu temperaturne razlike između vrelišta i ledišta vode (pri tlaku od 1,01325 bar). Anglosaska jedinica za temperaturu (u SAD-u, i još nekim zemljama) je *Fahrenheitov* stupanj ($^{\circ}\text{F}$)



Fotografija 6.1. Odnos temperaturnih skala, shema

Tablica br. 6.1. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja

Naziv materijala	a, 10^{-6} mm/(mmK)
Aluminij	23,8
Bakar	16,2
Cink	29,8
Čelik	11,1
Željezo (čisto)	11,7
Polibuten (PB)	130
Polietilen (PE)	200
Polivinilklorid (PVC)	70
Višeslojni materijal (PE-AL-PE)	26
Beton	12
Porculan	5
Staklo	3

Pod utjecajem temperature sve se tvari rastežu ili skupljaju, tj. temperaturno rade. Plinovi i kapljevine rastežu se po cijelom volumenu, dok se rad čvrstih tvari može promatrati kao daljinsko, površinsko i volumno. U arhitektonskom projektiranju su od velike važnosti temperaturne točke kada dolazi do promjene stanja određenog materijala, materije ili zraka iz čvrstog u tečno, iz tečnog u paru i obratno. Ove vrijednosti utječu na promjene volumena materijala bio homogen ili složen, ili više materijala unutar neke plohe. Tablica br. 6.1. pokazuje temperaturni rad materijala.

Toplina (Q)

Veličina kojom se opisuje energija koja prelazi sa jednog tijela na drugo. Ona je dio unutarnje energije tijela koja prelazi s tijela (sustava) više temperature na tijelo niže temperature. Kada se temperature izjednače, toplina je jednaka nuli. Toplina se izmjenjuje na tri osnovna načina:

- Provođenje ili kondukcija kroz čvrste, kapljične i plinovite tvari,
- Konvekcijom ili komešanjem čestica plinovitih i kapljičnih tvari,
- Zračenjem ili radijacijom bez posredne tvari jer se izmjena osniva na elektromagnetskim valovima.

Specifični toplinski kapacitet (c)

To je veličina koja pokazuje koliko topline treba dovesti jedinici mase neke tvari kako bi joj se temperatura povećala za $1K^{253}$. Za plinove koriste se dvije vrste toplinskih kapaciteta: pri konstantnom tlaku (C_p) i pri konstantnom volumenu (C_v). Od spomenutog koeficijenta zavisi i kapacitet toplinske stabilnosti materijala pa se može reći da je uz masu ili gustoću materijala u ovojnici njegova sposobnost da u sebe prima temperatura od izuzetnog značaja pri kreiranju termički stabilne ovojnice. Toplina koja je dovedena nekom tijelu mase m , odnosno koja je od njega odvedena određena je jednadžbom:

Q = Toplina izmijenjena u procesu (zagrijavanja ili hlađenja nekog tijela), (J)

m = masa tijela (kg)

c = specifični toplinski kapacitet tijela, J/(kgK)

Δt = Razlika temperature prije procesa (zagrijavanja ili hlađenja) i nakon njega, ° C.

Transport energije

Transport energije se vrši na tri načina:

- Provođenje (kondukcija), predstavlja direktni prijenos između dva sistema kada su u kontaktu i imaju različite vrijednosti. Prijenos se vrši sa molekule na molekulu. Brzina prijenosa ovisi isključivo o termičkim karakteristikama tijela koje je izloženo tijelu s različitom toplinom i ovisi o toplinskoj vodljivosti materijala pa tako drvo i metal neće istom brzinom vršiti provođenje,

Tablica br. 6.2.
 Specifični toplinski kapacitet nekih materijala

tvar	C, J/(kgK)
Aluminij	896
Bakar (trgovački)	419
Čelik (0,2%C)	460
Led	2005
Voda pri 20° C	4182
Polivinilklorid (PVC)	980
Beton	1000
Staklo	750
Porotherm 50 Profi	920
Puna opeka	920
Drvo	2090
Mineralna i staklena vuna	840
Polistiren ploče	1260

²⁵³ U tablici br. 6.2. su prikazane vrijednosti specifičnih toplinskih kapaciteta pojedinih materijala.

- Prijelaz topline (konvekcija), vrši se putem određenog prijenosnika, medija, koje može biti tekućina, plin. Medij prenosi toplinu iz jedne sredine u drugu putem određenog sistema prijenosa koji može biti različitog karaktera. Jedan primjer kao ilustracija jeste grijanje prostorija pomoću peći, koje se temelji na strujanju. Toplina se od peći prenosi po sobi strujanjem zraka. U nekim zgradama vrši se grijanje više prostorija s jednog centralnog mjesta,
- Zračenje (radijacija), sva tijela zrače energiju u vidu elektromagnetnih valova, a nosioci te energije su kvanti. Ilustracije radi, npr. zagrijano tijelo odašilje elektromagnetsko zračenje, a hladnije tijelo zagrijava se upijanjem (apsorpcijom) energije. Tako planeta Zemlja prima toplinu od Sunca koja prolazi kroz međuprostor. Ili, ako stojimo blizu ugrijane peći, osjetit ćemo toplinu, iako je okolni zrak još hladan. Iz vrućeg tijela rasprostire se toplina na sve strane nevidljivim toplinskim zrakama. Iz tog se razloga dio sustava centralnog grijanja koji služi za distribuciju topline i naziva se radijatorima.

Toplinska vodljivost (λ)

Toplinska vodljivost pokazatelj je stupnja propusnosti materijala za vođenje topline. Taj se koeficijent mijenja u širokom rasponu od materijala koji dobro vode toplinu do onih koji je vode veoma loše. Općenito vrijedi pravilo da su dobri vodiči električne struje ujedno i dobri vodiči topline. Pregled opsega vrijednosti za koeficijent toplinske vodljivosti raznih kategorija materijala je dana u velikom broju tiskane digitalne literature, a jasno je da se kod krutih metala koeficijenti toplinske vodljivosti kreću od nekoliko desetaka W/mK (za čelike) do nekoliko stotina W/mK (za bakar i srebro). Nešto su niže vrijednosti za tekuće metale. Među njima najvišu vrijednost ima tekući natrij (koji se i primjenjuje kao rashladno sredstvo za jednu kategoriju nuklearnih reaktora), a najnižu živa. Nemetali i oksidi bitno lošije vode toplinu od metala. Vrijednost toplinske vodljivosti tih materijala približno je između 0,1 i 10 W/mK.

Najlošiji vodiči topline su nemetalne tekućine (posebno ulja) i plinovi. Među nemetalnim tekućinama relativno dobar vodič topline je voda, a među plinovima helij. Neke vrste šupljikavih i vlaknastih materijala (primjerice staklena i šljakasta vuna) imaju približno jednak koeficijent toplinske vodljivosti kao plinovi (niži od 0,1 W/mK, pa se upotrebljavaju kao toplinski izolatori. Osim aproksimacija uz primjenu polinoma moguće je funkciju $\lambda(T)$ aproksimirati i na drugi način. Potrebno je, međutim, naglasiti da se u praksi u velikom broju aproksimativnih proračuna vođenja topline zanemaruje ovisnost koeficijenta toplinske vodljivosti o temperaturi te se računa s konstantnom vrijednošću toga parametra.

Q – toplina

l – duljina vodiča

S – ploština presjeka toplinskog vodiča okomita na smjer širenja topline

T – vrijeme vođenja topline

ΔT – razlika temperatura na krajevima toplinskoga vodiča

Ako je toplinska provodnost malena, tvar je toplinski izolator, a ako je velika, tvar je toplinski vodič. Mjerna jedinica provodnosti je vat po kelvinu i metru (W/mK).

Koeficijent prolaska topline (U)

Koeficijent U, izražen u W/m^2K , predstavlja količinu toplinske energije koja se gubi kroz građevinski element na $1 m^2$ površine u 1 sekundi pri razlici temperature od 1 K. Ovaj koeficijent ključan je za analizu ukupnih toplinskih gubitaka zgrade, izraženih u kWh/m^2 , te utječe na potrebnu energiju za grijanje. Niži koeficijent U ukazuje na bolju toplinsku izolaciju i učinkovitiju toplinsku zaštitu zgrade.

R – Ukupni otpor prolasku topline
 $R = R_i + R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n + R_e$
 R_i – Otpor unutarnjem prijelazu topline
 R_e – Otpor vanjskom prijelazu topline

Što su materijali sa nižom vrijednosti toplinske vodljivosti a većom debljinom cjelokupan rezultat proračuna U-vrijednosti će biti niži, a samim tim će predstavljati bolju ukupnu izoliranost slojeva unutar ovojnice. Kazano predstavlja jednu od komponenti koju je neophodno osigurati kako bi se napravila kvalitetna ovojnica sa gledišta termodinamike, uštede energije i boljeg unutarnjeg komfora.

Otpor toplinskoj propustljivosti sloja ovojnice (R)

Otpor je isključivo povezan sa dvije vrijednosti unutar određenog sloja materijalizacije, a to su debljina materijala i toplinska vodljivost materijala. Pri odabiru materijala, naročito termoizolirajućih, osim vrijednosti toplinske vodljivosti materijala neophodno je uzeti u obzir i gustoću (težinu) materijala, naročito pri materijalizaciji dijelova objekta koji su izloženi direktnoj insolaciji u toplijim klimatskim zonama.

d = debljina materijala (m)
 λ = toplinska vodljivost materijala (W/mK)

Srednji koeficijent prolaska topline (U_{sr})

Kada govorimo o arhitektonskom objektu, materijalizaciju ovojnice nije moguće promatrati kao jednostavan sustav, zbog čega je neophodno uvesti pojam srednjeg koeficijenta prolaska topline. Ovojnica je s mnogih aspekata vrlo različito materijalizirana na svojim segmentima. Podijeljena je na dijelove koji se nazivaju vanjski zid, zid prema negrijanom prostoru, zid prema tlu, pod prema tlu, krov, strop, ostakljeni dijelovi, itd. Materijalizacija tih dijelova ovisi o različitim aspektima arhitektonske fizike, poput kretanja vodene pare i toplinske stabilnosti u ljetnim uvjetima. Samo kada su svi ovi aspekti zadovoljeni, može se govoriti o pravilno materijaliziranoj granici između grijanog i negrijanog prostora. Uz to, nosivost konstrukcijskog sustava utječe na izbor materijala, pa se unutar plohe često primjenjuju različiti materijali, poput armiranog betona, čelika, opečnih blokova, drvene konstrukcije, ispunskih materijala itd. Kao rezultat toga, ovojnice su vrlo heterogene i slojevite, zbog čega je iznimno važno proračunavati srednji

koeficijent prolaska topline za svaku plohu zasebno. Velike razlike U-vrijednosti u plohama kreiraju toplinske mostove²⁵⁴ koje je potrebno dodatno termički izolirati, kako bi se U-vrijednost na tim segmentima ovojnice spustila na prihvatljivu razinu te izbjegla pojava kondenziranja vodene pare sa unutarnje strane ovojnice.

$$U_{sr} = U_1 \cdot A_1 + U_2 \cdot A_2 + U_n \cdot A_n / A_1 + A_2 + A_n$$

U = koeficijent prolaska topline W/m²K

A = površina plohe unutar ovojnice (m²)

Ukupni toplinski gubitci/dobitci

Svi energetske gubici koji nastaju tijekom korištenja objekta predstavljaju ukupne energetske gubitke i obuhvaćaju linijske te transmisijske gubitke energije. S druge strane, energetske dobitci dolaze iz vanjskog prostora, a uzrokovani su višom vanjskom temperaturom zraka u odnosu na unutarnju, insolacijom, energijom koju proizvode ljudi unutar prostora te otpadnom energijom svih uređaja smještenih u unutrašnjosti. Proračun ukupnih energetskih dobitaka izrazito je složen i ovisi o brojnim čimbenicima, uključujući geografski položaj objekta, nadmorsku visinu, pripadnost klimatskoj zoni, položaj objekta u odnosu na susjedne građevine i prirodno okruženje (poput reljefa i vegetacije). Osim toga, važni su i faktori poput materijalizacije objekta (transparentne i netransparentne plohe), načina korištenja unutrašnjeg prostora te arhitektonskog dizajna pročelja.

Toplinski tok

Podrazumijeva kretanje topline iz jedne sredine u drugu, točnije između dva sistema. Za arhitektonsku prasku potrebno je poznavati kretanje kroz segmente ovojnice kako bi mogli pravilno i sukladno potrebama materijalizirati slojeve. Samo stacionaran toplinski tok je ispravan, a podrazumijeva da gustoća koja prelazi s unutrašnje strane ovojnice ulazi u nju treba biti jednaka onoj koja napušta ovojnicu s vanjske strane ili obratno. Detaljne proračune vezane za termodinamička svojstva objekta daje akademik Ahmet Hadrović u knjizi Arhitektonska fizika.

Temperaturna kriva

Da bismo mogli pratiti tok vodene pare kroz ogradnu plohu prostora i procjenjivati ponašanje pojedinih slojeva ogradne plohe u uvjetima kolebanja temperature okruženja, neophodno je da pratimo temperature po slojevima te plohe. Linija koja sukcesivno spaja temperature po slojevima ogradne plohe naziva se temperaturna kriva i omogućava točan uvid u visinu temperature na spojevima različitih materijala.

Toplinska stabilnost na ljetni režim

²⁵⁴ Toplinski most predstavlja onaj dio u (složeno heterogenoj) ogradnoj plohi čiji je otpor prolazu toplote za više od 10 % manji u odnosu na otpor prolazu toplote najvećeg dijela te plohe. kao pojam u arhitektonsko-građevinskoj praksi, pojavio se, moglo bi se reći, sa modernom arhitekturom, odnosno sa prvom primjenom novih građevinskih materijala u definiranju ogradnih ploha ADP-a: armiranog betona, metala i stakla. Hadrović, 2010: 110

Svaki segment ovojnice izložen izravnom sunčevom zračenju, poput krovnih ploha i fasadnih ploha orijentiranih prema istoku, zapadu i jugu, treba biti materijaliziran na način da može apsorbirati dovoljnu količinu topline tijekom dnevne insolacije i istu toplinu tijekom noći, kada insolacija prestane, otpustiti natrag u atmosferu. Dovoljna težina plohe ključna je za sprječavanje utjecaja dnevnih kolebanja temperature, odnosno za sprečavanje prijenosa visokih temperatura s vanjske strane ovojnice na unutrašnjost prostora. Osim težine, važnu ulogu igraju i struktura te boja završnih slojeva plohe u pogledu refleksije ili apsorpcije sunčeve svjetlosti. Poznato je da hrapavi i tamni materijali imaju veću sposobnost apsorpcije sunčeve energije, što može rezultirati vrlo visokim temperaturama, koje pri izravnoj insolaciji mogu dosežati i do 100°C. Dodatno, postavljanje zračnog sloja unutar ovojnice, s vanjske strane, pokazalo se vrlo učinkovitim u hlađenju ovojnice tijekom ljetnih mjeseci. Stoga je takvo rješenje preporučljivo uključiti u projektiranje tamo gdje se očekuju izazovi povezani s intenzivnom insolacijom klimama toplih i dugih ljeta.²⁵⁵

Ukupne energetske potrebe

Predstavljaju zbir svih energetskih potreba objekta koje nastaju uslijed pravilnog i zdravog korištenja unutarnjeg ili energetski tretiranog prostora. U to spadaju energija potrebna za grijanje, hlađenje, vjetrenje, vještačko osvjetljenje, sanitarna topla voda, vanjska rasvjeta i svi ostali potrošači kao npr. električni uređaji, ventilatori, liftovi itd. Jednostavno, sve što troši bilo kakav oblik energije potrebno je uzeti u konačni obračun. Jedinica mjere je kWh/m²/god. Računa se na godišnjem nivou, a izražava se po m² korisne ili energetski tretirane površine unutarnjeg prostora.

Parodifuzija

Unutarnji prostor arhitektonskog objekta predstavlja ograničeni prostor u kojem dolazi do isparavanja vodene pare iz različitih izvora, pri čemu su čovjek i uređaji glavni izvori. Količina vodene pare direktno je povezana s aktivnostima koje se obavljaju, točnije s načinom korištenja prostora. Bitno je jasno definirati pojmove kao što su apsolutna i relativna vlažnost zraka.

- Apsolutna vlažnost predstavlja fizikalnu veličinu koja opisuje količinu vodene pare u zraku i izražava se kao omjer mase vodene pare m i volumena zraka V u kojem nalazi: $a=m/V$ (kg/m³).
- Relativna vlažnost je veličina kojom se iskazuje udio vodene pare u zraku. Ovisi o temperaturi i tlaku zraka. Izražava se omjerom parcijalnog tlaka prisutne pare i parcijalnog tlaka zasićene vodene pare pri određenoj temperaturi i tlaku zraka. Izražava se i omjerom apsolutne vlažnosti a i maksimalne apsolutne vlažnosti $a_{\max}$ pri istom tlaku i temperaturi $\phi=a/a_{\max}$. Izražava se u postocima (%): relativna vlažnost 0% predstavlja potpuno suh zrak, a 100% potpuno zasićen vodenom parom. Prilikom projektiranja unutarnjeg prostora, idealna relativna vlažnost zraka treba biti u rasponu od 40% do 60%, kako bi se osigurala ugodna i zdrava mikroklima za korisnike prostora.

²⁵⁵ Akademik prof.dr. Ahmet Hadrović u knjizi „Arhitektonska fizika“ detaljno prikazuje i objašnjava način na koji se vrši proračun i dokazivanje ispravnosti ovojnice sa aspekta toplinske stabilnosti na ljetni režim.

Visoko izolirane ovojnice s dobro zabrtvljenim spojnica između različitih materijala stvaraju barijeru koja značajno smanjuje kretanje vodene pare iz unutrašnjosti prema van ili obrnuto. To predstavlja izazov u dva aspekta: prvo, kako učinkovito ukloniti višak vlage iz prostora, i drugo, kako spriječiti stvaranje dijelova ovojnice s neuređenim (nestacionarnim) tokom vodene pare. Prilikom odabira materijala za zidove i krovove, iznimno je važno obratiti pažnju na μ -faktor otpora materijala toku vodene pare. Ovaj faktor pokazuje koliko materijal otežava prolazak vodene pare u usporedbi s istom debljinom sloja zraka. Jednako je ključno pažljivo odrediti položaj tih materijala unutar slojeva ovojnice kako bi se osigurala pravilna difuzija pare i izbjegla kondenzacija unutar konstrukcije.

Optimalnim pozicioniranjem materijala s različitim μ -faktorima postiže se kontrolirano kretanje vodene pare kroz slojeve ovojnice, čime se minimiziraju rizici od nakupljanja vlage, razvoja plijesni i dugotrajnog oštećenja konstrukcije.

Zimska projektna temperatura

Za određeno područje, referentna temperatura vanjskog zraka utvrđuje se na temelju višegodišnjih mjerenja temperature tijekom hladnijih mjeseci, odnosno u sezoni grijanja, u određeno doba dana. Zbog značajnog utjecaja klimatskih promjena, ovi podaci su se značajno promijenili, pa je nužno provesti detaljnu analizu za svaki projekt posebno, uzimajući u obzir njegov geografski položaj i nadmorsku visinu. Preporučuje se korištenje podataka iz posljednjih 10 ili 20 godina kako bi se osigurala točnost i relevantnost analize.

Ljetna projektna temperatura

Određuje se na temelju odgovarajućih satnih temperatura u određenom dijelu godine (npr. tijekom četiri ljetna mjeseca) i za definirano razdoblje (npr. 10 ili 20 godina). Projektna temperatura odgovara onoj satnoj temperaturi koja dijeli određeni broj "toplijih" satnih vrijednosti od preostalih, "hladnijih" vrijednosti. Isti princip primjenjuje se i za određivanje ljetne projektne temperature, kao što je prethodno opisano za zimsku projektну temperaturu. Vrlo je značajno detaljno istraživati temperaturne ekstreme i njihove vremenske periode nastale kao posljedica klimatskih promjena.

Stupanj – dan grijanja

Stupanj-dan je veličina koja se koristi za određivanje, uspoređivanje i kontrolu potrošnje topline tijekom sezone grijanja u nekom području. Ova vrijednost predstavlja zbroj razlika između srednje dnevne temperature zraka u prostoriji i srednje dnevne vanjske temperature zraka, izračunatih za svaki dan u sezoni grijanja. Stupanj-dan omogućava procjenu energetske potrebe za grijanje u različitim klimatskim uvjetima i važan je pokazatelj za energetske planiranje i optimizaciju sustava grijanja.

Ovojnica objekta

Ovojnica objekta predstavlja skup svih ograđujućih ploha koje razdvajaju energetske tretirani prostor od vanjskog prostora. U većini slučajeva istovremeno definira i granicu između vanjskog i unutarnjeg prostora. Ovojnica objedinjuje sve pozicije, uključujući: podove na tlu, zidove u tlu, vanjske zidove, krovove (kose, ravne, bačvaste, kompleksne oblike, itd.) te vanjske otvore.

S aspekta analize postojećih objekata, posebno je važna procjena načina korištenja unutarnjeg prostora. Često postoje zone unutar objekta koje se energetske tretiraju, ali se ne koriste, što može dovesti do nepotrebnih gubitaka energije. U takvim slučajevima, transformacija ovojnice, uključujući njezino pozicioniranje i prilagodbu, može značajno doprinijeti energetskej učinkovitosti objekta.

Faktor prolaza ukupnog sunčevog zračenja kroz prozor (g)

Prolaskom sunčeve svjetlosti kroz staklo dolazi do transformacije dijela te energije u toplinsku energiju. Faktor g , koji označava ukupnu količinu sunčeve energije propuštene kroz staklo, ovisi o vrsti stakla, njegovoj debljini i broju slojeva unutar stjenke. Značaj faktora g u projektiranju ogleda se ne samo u proračunu ukupnih energetske potreba zgrade, već i u osiguravanju ugođe za korisnike. To uključuje osvjetljenost prostora i vizualni kontakt s okruženjem, koji ovise o boji, transparentnosti i stupnju refleksije stakla. Vrijednosti faktora g kreću se od 0,85 za jednostruko staklo do 0,55 za trostruko staklo s integriranim plinom u međuprostore.

Toplinski most

Toplinski most²⁵⁶ je manje područje u omotaču grijanog dijela građevine kroz koje je toplinski tok povećan radi promjene materijala, debljine ili geometrije građevnog dijela zgrade. Dije se na:

- konvekcijski, pojavljuje se kroz pukotine,
- geometrijski, dijelovi gdje je unutarnje površina ovojnice manja od vanjske, npr. spoj zidova, zid plafon,
- konstrukcijski, predstavlja slabo izolirane dijelove, kao konzolni prepusti, proboji.

Toplinski mostovi, s energetske i higijenske aspekta, predstavljaju slabe točke u konstrukciji zgrade. Udio toplinskih mostova u ukupnim gubicima prijenosa energije može, ovisno o specifičnim uvjetima, doseći i više od 20%. Istovremeno, povećava se rizik akumulacije kondenzata, što pod određenim uvjetima može dovesti do razvoja plijesni. Kako se građevinska toplinska zaštita kontinuirano poboljšava, relativni utjecaj toplinskih mostova na ukupne toplinske gubitke postaje sve značajniji. Upravo zato je njihovo prepoznavanje, pravilno projektiranje i izolacija ključna za osiguranje energetske učinkovitosti i higijenske ispravnosti građevine.

Djelovanje toplinskog mosta postaje vidljivo u uvjetima razlike između unutarnje i vanjske temperature. Njegova se prisutnost često može prepoznati po štetama koje nastaju uslijed rošenja unutarnje plohe na mjestu toplinskog mosta, što može dovesti do razvoja vlage i plijesni. Toplinskim mostovima nazivamo i konstrukcijske spojeve koji, promjenom oblika, ali ne i sastava, uzrokuju povećanu toplinsku propusnost unutar konstrukcije zbog promjene geometrijskog oblika. Osim toga, važno je razumjeti odnose

²⁵⁶ Toplinski most predstavlja onaj dio u (složeno heterogenoj) ogradnoj plohi čiji je otpor prolazu toplote za više od 10 % manji u odnosu na otpor prolazu toplote najvećeg dijela te plohe. Izvor: Hadrović, 2010: 110

između izvedbenih i ugradbenih elemenata zgrade. Nedovoljna tehnička izvedba ili nemar pri ugradnji pojedinih elemenata mogu također dovesti do stvaranja toplinskih mostova, čime se dodatno ugrožava energetska učinkovitost i funkcionalna, estetska i konstruktivna dugotrajnost građevine.

Faktor oblika (f_0)

Faktorom oblika zgrade izražava se odnos između površine granice koja razdvaja energetski tretirani i netretirani dio (nerijetko između vanjskog i unutrašnjeg prostora) i volumena unutarnjeg zraka. Povijesno gledano, do prvih energetskih kriza ovaj parametar se pri projektiranju zgrada nije uzimao u obzir. Arhitekturom su nedvosmisleno vladale funkcionalnost, konstrukcija i estetske vrijednosti. Prva promatranja faktora oblika građevina počinju s otvaranjem tema globalnog zagađenja, klimatskih promjena, energetskih kriza i tranzicija, a danas je to jedan od ključnih čimbenika svakog dizajna.

Što faktor oblika ima nižu vrijednost, govori se o energetski kompaktnijem dizajnu. Svakako, utječe na volumen, estetiku i tlocrtna rješenja svakog projekta. Cilj je zaštititi količinu unutarnjeg zraka s što manjom površinom ovojnice, odnosno granice, kako bi se stvorile osnovne pretpostavke za smanjenje energetskih potreba za grijanje, hlađenje i ventilaciju unutarnjeg prostora. Vrlo je važno istaknuti ovu činjenicu, budući da arhitektonski objekti predstavljaju najveće potrošače energije – u Sjedinjenim Američkim Državama i Europskoj uniji troše čak 40% ukupne energije²⁵⁷. Prilikom projektiranja energetski učinkovite arhitekture razlikuju se kompaktni (povoljni) i razvedeni (nepovoljni) oblici zgrada. Faktori oblika za određena geometrijska tijela su:

- kugla: $f_0 = 0,48\text{m}^{-1}$,
- valjak: $f_0 = 0,55\text{m}^{-1}$,
- kocka: $f_0 = 0,60\text{m}^{-1}$,
- kvadar: $f_0 = 0,62\text{m}^{-1}$,
- L-oblik: $f_0 = 0,73\text{m}^{-1}$,
- U-oblik: $f_0 = 0,85\text{m}^{-1}$ ²⁵⁸

Kategorizacija energetskih objekata

Kategorizacija objekata prema energetskoj učinkovitosti predstavlja složen proces koji je reguliran nizom standarda, normativa i zakona. U naprednim društvima poput Japana, zemalja Europske unije, SAD-a i skandinavskih država, ovi se propisi kontinuirano unapređuju kako bi se postigli ambiciozni ciljevi održivog razvoja. Generalno, osnovni ciljevi koje bi zgrade trebale ispunjavati uključuju:

²⁵⁷ Ovčar, 2016.

²⁵⁸ Nije moguće generalizirati vrijednosti, ovdje su navedeni samo primjeri za volumen od 1000m³, ali za svaku dimenziju ogradne plohe potreban je poseban proračun. Npr. Kocka brida a=10m ima $f_0=0,6\text{m}^{-1}$, a brida 100m $f_0=0,06\text{m}^{-1}$. U navedenom primjeru L-oblik ima površinu od 125m², a U oblik 200m². Svaka korekcija tlocrtnog oblika i visine će davati drugačiji rezultat.

- Najnižu moguću energetska potrebu za grijanje, hlađenje, ventilaciju i ostale potrošače energije,
- Minimalnu emisiju CO₂, smanjujući utjecaj na okoliš,
- Visoku razinu korištenja obnovljivih izvora energije, izraženu u postotcima (20%, 30% ili čak 100%),
- Visoki standard unutarnjeg komfora za korisnike, usklađen s higijensko-tehničkim normama,
- Primjenu ekoloških materijala koji pridonose smanjenju ugljičnog otiska,
- Nizak faktor oblika, što podrazumijeva energetska kompaktiji dizajn,
- Green design, koji integrira principe održivosti i očuvanja prirodnih resursa.

Dobiveni rezultati se mjere u ukupnim energetska potrebama izraženim u kWh/m²god. gdje m² označava korisnu površinu energetska tretiranog prostora, a god. da se vrši analiziranje na period od godinu dana. Osnovna podjela je: Nisko-energetska kuća 40-60 kWh/m²god za grijanje i zrako propusnost je $n_{50} \leq 1,5h^{-1}$, Trolitarska kuća 30 kWh/m²god za grijanje i zrakopropusnost je $n_{50} \leq 1h^{-1}$, Pasivna kuća 15 kWh/m²god za grijanje i zrakopropusnost je $n_{50} \leq 0,6h^{-1}$, Nulta-energetska kuća 0 kWh/m²god za grijanje, kompletno dobiva iz sunčeve energije i Plus-energetska kuća koja transformira višak energije iz različitih izvora obnovljive energije i stvara dobitak veći od gubitka te višak predaje u sistem.

Osvjetljenje

Pri projektiranju niskoenergetskih objekata primjena transparentnih ploha predstavlja izazov koji je neophodno sagledavati holističkim pristupom. Ulazak prirodne svjetlosti u prostor i kontakt sa okruženjem za postizanje visoke ugone su ključni elementi pri dizajnu prostora adekvatnog za boravak. Sa druge strane su to dijelovi ovojnice kao izvori topline u ljetnom periodu, a u zimskom dijelovi sa najvišim U-vrijednostima. Optimalne potrebe mogu se postići jedino kroz sinergiju pažljivo osmišljenog dizajna objekta i njegovog odnosa prema okruženju. To uključuje pravilnu orijentaciju zgrade, adekvatne pokretne sustave za zaštitu od sunčeve svjetlosti na prozorskim i fasadnim ploham a te dobro osmišljen sustav umjetnog osvjetljenja unutar prostora. Kombinacija ovih elemenata omogućuje energetska učinkovitost, funkcionalnost i udobnost prostora. Za arhitektonsko djelovanje bitno je poznavanje kako se mjeri i kontrolira osvjetljenost prostora. Izražava se u luxima, a predstavlja intenzitet svjetlosti po kvadratnom metru površine²⁵⁹, najčešće horizontalne.

Provjetravanje prostora

Kako bi unutarnji prostor zadovoljio higijensko-tehničke uvijete za boravak korisnika u ovisnosti o namjeni iznimno je važna provjetrenost prostora. Broj izmjena zraka se propisuje zakonskim regulativama, a ovdje se navode neke od vrijednosti:

- kancelarijski prostori 3-6,
- čitaonice 3-5,
- školski razred 2-3,

²⁵⁹ Osvjetljenost, jačina svjetlosti ili iluminacija unutarnjeg prostora u ovisnosti o namjeni definirani su normom EN 12464.

- gimnazija sala 6-8
- restorani 6-8,
- lakirnice 20-50,
- operacione dvorane 15-20,
- konferencijske dvorane 5-10.

Izmjena zraka u unutarnjim prostorima može se ostvariti prirodno, kroz otvore na ovojnici zgrade, ili uz pomoć mehaničkih sustava ventilacije. Ovaj segment posebno je važan u visoko izoliranim objektima, gdje su ventilacijski gubici kroz ovojnicu svedeni na minimum ili potpuno eliminirani, kao što je slučaj kod pasivnih kuća.

Svaki prostor za stanovanje zahtijeva između 25 i 35 m³ svježeg zraka po osobi na sat, što postavlja pitanje može li se adekvatna ventilacija osigurati isključivo otvaranjem prozora, oslanjajući se na "ljudski faktor", ili je kvaliteta zraka bolje kontrolirana tehničkim sustavima. Ovo pitanje postaje posebno značajno zimi, kada temperatura ulaznog zraka ne bi smjela biti niža od 16°C, i u urbanim područjima s visokom razinom zagađenosti vanjskog zraka.

Brzina strujanja zraka u prostoru relativna je vrijednost koja ovisi o namjeni prostora, temperaturi unutarnjeg i vanjskog zraka te vrsti aktivnosti unutar prostora.

Primjeri:

- U prostorima za boravak, ugodna brzina strujanja zraka iznosi 0,15 m/s pri temperaturi od 20°C. Ova vrijednost raste s povećanjem temperature ili se smanjuje pri nižim temperaturama,
- U radnim prostorima brzina strujanja zraka ovisi o vrsti rada i tehnološkim procesima, uz preporučene maksimalne vrijednosti:
 - 0,5 m/s pri vanjskoj temperaturi do 10°C,
 - 0,6 m/s pri vanjskoj temperaturi od 10°C do 27°C,
 - 0,8 m/s pri vanjskoj temperaturi iznad 27°C.

Smart home

Pametna kuća, poznata i kao *smart home*, usko je povezana s konceptom kuće budućnosti i donosi revoluciju u svakodnevnom korištenju prostora i prilagodbi unutarnjih kvaliteta svakom korisniku. Ova inovativna tehnologija omogućava stvaranje udobnog, energetski učinkovitog i sigurnog okruženja uz korištenje naprednih uređaja i sustava za automatizaciju. Pametna kuća koristi uređaje povezane na internet i senzore za kontrolu različitih aspekata doma, uključujući osvjetljenje, grijanje, hlađenje, sigurnosne sustave, zabavne sadržaje i kućanske aparate, prozorske sisteme itd.. Integracijom pametnih sustava s aplikacijama na pametnim telefonima ili glasovnim asistentima, vlasnici mogu lako prilagoditi postavke svog doma prema vlastitim potrebama i željama, čak i na daljinu.

Ugljični dioksid

Ugljični dioksid, također poznat kao ugljikov (IV) oksid, je kemijski spoj sastavljen od jednog atoma ugljika kovalentno vezanog s dva atoma kisika. Ova veza nastaje dijeljenjem elektrona iz vanjskih ljuski atoma. Ugljični dioksid je plin koji se, pod standardnim uvjetima tlaka i temperature, nalazi u Zemljinoj atmosferi u koncentraciji od približno 0,042%. Kao dio ugljikova ciklusa, ugljikov dioksid ključan je za fotosintezu biljaka, algi i modrozelenih algi, koje apsorbiraju ugljični dioksid, sunčevu energiju i vodu, stvarajući ugljikohidrate kao izvor energije za sebe te kisik kao nusprodukt. S druge strane, stanično disanje oslobađa ugljikov dioksid kao nusprodukt tog procesa. Ugljikov dioksid također nastaje kao rezultat izgaranja, a prirodno se oslobađa iz vulkana, termalnih izvora, geizira te otapanjem karbonatnih stijena.

CO₂ otisak

Ugljični otisak (CO₂ otisak) označava ukupnu količinu emisija ugljičnog dioksida i drugih stakleničkih plinova (izraženih u ekvivalentima CO₂) koje nastaju kao rezultat određene aktivnosti, proizvoda, usluge ili sustava. Faktor CO₂ otiska ovisi o vrsti aktivnosti, korištenim materijalima, energiji te njenom izvoru (obnovljivi ili fosilni izvori). Značaj ugljičnog otiska u projektiranju i svakodnevnom životu ogleda se u njegovom utjecaju na klimatske promjene te održivost okoliša. Prilikom planiranja projekata ili proizvodnje, smanjenje CO₂ otiska postaje ključni cilj za postizanje ekološke održivosti. To uključuje optimizaciju energetske učinkovitosti, upotrebu obnovljivih izvora energije i primjenu recikliranih ili održivih materijala.

Vrijednosti CO₂ otiska razlikuju se ovisno o izvoru:

- Električna energija iz ugljena: približno 820 g CO₂/kWh,
- Električna energija iz prirodnog plina: približno 490 g CO₂/kWh,
- Električna energija iz solarnih panela: približno 48 g CO₂/kWh,
- Električna energija iz vjetra: približno 12 g CO₂/kWh.²⁶⁰

Kalkulacija CO₂ otiska temelji se na detaljnom praćenju i analizi svih emisija koje nastaju tijekom životnog ciklusa proizvoda, usluge ili aktivnosti.

Na primjer kalkulacije za proizvodnju aluminijskih profila može izgledati ovako²⁶¹:

a) Ekstrakcija sirovine: Boksit,

- Rudarenje boksita: pretpostavimo da rudarenje emitira 0,5 t CO₂ po toni izvađenog boksita,

²⁶⁰ Ministarstvo prostornoga uređenja, graditeljstva i državne imovine Republike Hrvatske. (2022). *Elaborat: Faktori primarne energije i emisije CO₂ za izračun energetske svojstva zgrada*. Izvor: <https://mpgi.gov.hr/default.aspx?id=14465> (16.01.2025.)

²⁶¹ Podaci se mogu razlikovati ovisno o regiji, tehnologiji i specifičnim uvjetima proizvodnje.

- Transport boksita do tvornice: Ako se boksit transportira kamionima na udaljenosti od 1000 km, emisije iznose približno 0,1 t CO₂/tone (ovisno o vrsti goriva i učinkovitosti transporta).
Ukupno za rudarenje i transport: 0,6 t CO₂/t.
- b) Proizvodnja aluminija (elektroliza),
 - Elektroliza je energetska intenzivan proces. Ako tvornica koristi električnu energiju iz ugljena (820 g CO₂/kWh), emisije su znatno veće nego kod hidroenergije (npr. 10 g CO₂/kWh).
 - Prosjek za ugljen: 14 t CO₂ po toni proizvedenog aluminija.
 - Prosjek za hidroenergiju: 2 t CO₂ po toni.
- c) Obrada aluminija u profile,
 - Proces uključuje oblikovanje, rezanje i obradu aluminijskih profila, što troši dodatnu energiju,
 - Ako se koristi električna energija iz prirodnog plina (490 g CO₂/kWh), emisije za obradu profila iznose približno 1,5 t CO₂/t proizvoda,
- d) Transport gotovih profila,
 - Pretpostavimo da se aluminijski profili prevoze brodom na udaljenost od 5000 km i kamionima na 200 km do krajnjeg gradilišta,
 - Brodski transport: 0,02 t CO₂/t za 5000 km,
 - Kamionski transport: 0,03 t CO₂/t za 200 km,
 - Ukupno za transport: 0,05 t CO₂/t,
- e) Dodatni faktori,
 - Transport radnika do tvornice: Ako 100 zaposlenika dolazi osobnim automobilima prosječno 20 km dnevno, emisije mogu iznositi 5 t CO₂ godišnje. Na tisuću tona proizvoda to je 0,005 t CO₂ po toni,
 - Ambalaža i zbrinjavanje otpada: Pretpostavimo 0,02 t CO₂/t,

Ukupna emisija CO₂ po toni aluminijskih profila:

- Ekstrakcija i transport boksita: 0,6 t CO₂,
- Proizvodnja aluminija: 14 t CO₂ (ugljen) ili 2 t CO₂ (hidroenergija),
- Obrada aluminija: 1,5 t CO₂,
- Transport gotovih profila: 0,05 t CO₂,
- Dodatni faktori (radnici, ambalaža): 0,025 t CO₂.

Ukupno za proizvodnju s energijom iz ugljena: 16,175 t CO₂/t

Ukupno za proizvodnju s hidroenergijom: 4,175 t CO₂/t

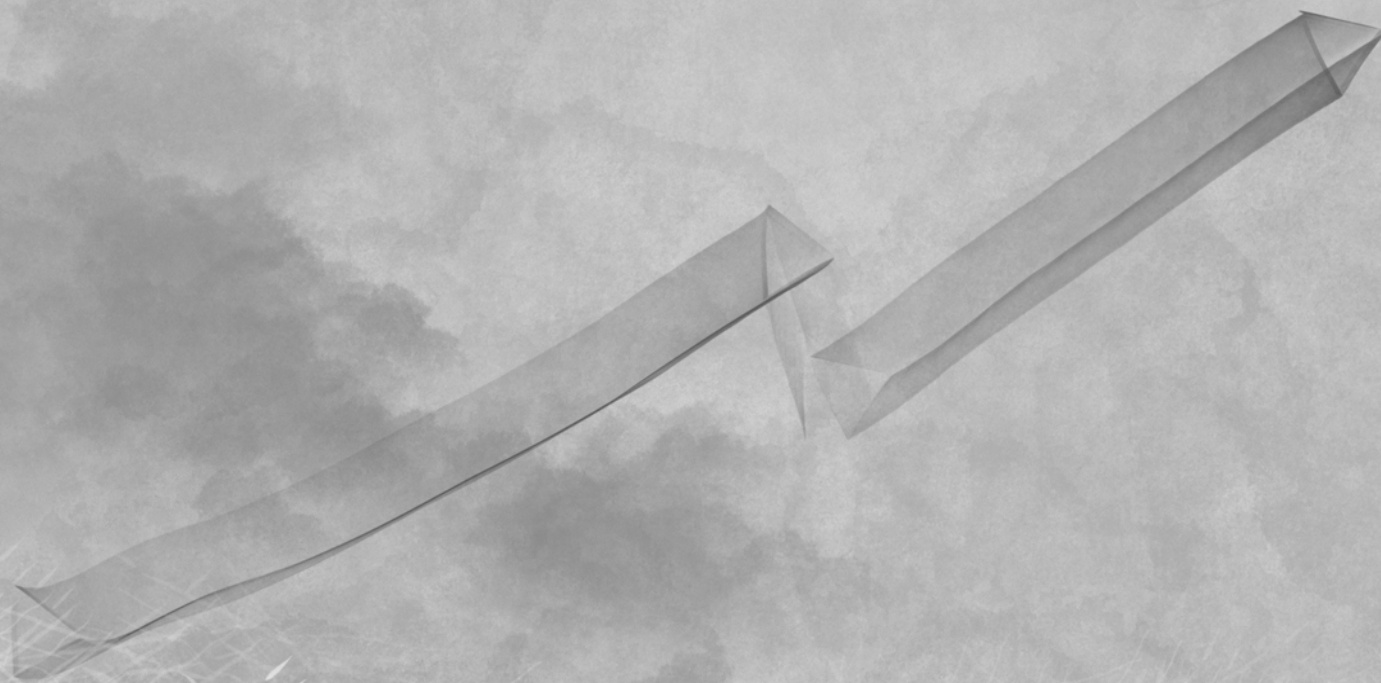
Analiza CO₂ otiska jasno pokazuje da najveći doprinos ukupnim emisijama dolazi iz energetske procesa, pri čemu vrsta korištene energije igra ključnu ulogu. Korištenje fosilnih goriva značajno povećava emisije, dok prelazak na obnovljive izvore može značajno smanjiti ukupni otisak. Optimizacija CO₂ otiska doprinosi ne samo smanjenju emisija, već i poboljšanju energetske učinkovitosti i održivosti, čime se omogućuje bolji balans između ljudskih aktivnosti i očuvanja okoliša.

6.3. Fizika kao jedan od temelja ugone prostora

Arhitektonska fizika igra ključnu ulogu u razumijevanju i kreiranju prostora koji zadovoljavaju ne samo estetske, već i funkcionalne, energetske i ekološke kriterije. Kao disciplina, ona povezuje temeljne znanstvene principe s arhitektonskim dizajnom, omogućujući oblikovanje prostora koji odgovaraju ljudskim potrebama za toplinskom, vizualnom i akustičnom ugodnošću. Ova interakcija između znanosti i dizajna otvara nove perspektive za razumijevanje prostora kao dinamičnog sustava koji neprestano komunicira s korisnicima i okolinom.

Osobito je značajna primjena arhitektonske fizike u kontekstu energetske učinkovitosti zgrada. Integracija suvremenih tehnologija pasivnih i aktivnih sustava, zajedno s promišljenim odabirom materijala i konstrukcijskih rješenja, omogućuje smanjenje energetske potrošnje bez kompromisa po pitanju kvalitete boravka. Uspješno balansiranje tih elemenata pridonosi održivosti prostora, istovremeno odgovarajući na izazove poput klimatskih promjena i ograničenih prirodnih resursa. Važnost poznavanja teme koju ova knjiga obrađuje za arhitekte očituje se u svim fazama arhitektonskog djelovanja. Od samog odabira prostora i analiza okruženja, idejnog koncepta objekta pa sve do razrade svih detalja arhitektonskog projekta.

Arhitektonska fizika nadilazi okvir tehničkog pristupa i postaje integralni dio suvremenog arhitektonskog diskursa. Kao interdisciplinarna znanost, ona osigurava alate za oblikovanje prostora koji nisu samo funkcionalni i estetski, već i odgovorni prema društvu i prirodi. S obzirom na ubrzani razvoj tehnologije i sve veće zahtjeve za održivošću, arhitektonska fizika danas, a u budućnosti još i intenzivnije, postaje ključno stručno i znanstveno područje u oblikovanju arhitekture budućih generacija.



GRAD SARAJEVO
osnovno obrazovanje

7.1. Praktična primjena teorije: arhitektonsko – energetske transformacije – primjer grad Sarajevo

Cilj ove knjige nije pružiti sva znanja, spoznaje i metode proračuna iz područja arhitektonske fizike, već ponuditi opći pregled njezinog značaja u projektiranju arhitektonskih objekata. Poseban naglasak stavljen je na suvremeni kontekst, obilježen posljednja tri desetljeća intenzivnim nastojanjima za smanjenje emisije CO₂, smanjenje energetske potrošnje i osiguranje visokog komfora unutarnjeg prostora. Akademik Ahmet Hadrović u svojoj knjizi „Arhitektonska fizika“ detaljno je obradio ključne teme ovog područja, uključujući arhitektonsku termodinamiku, osvjetljenje i akustiku. Ova knjiga, međutim, fokusira se na osnove, osobito u kontekstu niskoenergetske arhitekture i transformacije postojećih objekata, pružajući temeljna objašnjenja kako bi svaki arhitekt mogao razumjeti osnovne pojmove i dobiti poticaj za daljnja istraživanja, ukoliko odluči dublje proučiti navedene teme tijekom svoje karijere.

Arhitektonska fizika predstavlja ključni alat za ostvarivanje postavljenih ciljeva, pri čemu se posebno ističu dva:

- Postizanje visokog komfora unutarnjeg prostora, obuhvaćajući sve aspekte ugone boravka u zatvorenom prostoru,
- Energetska učinkovitost u arhitekturi, koja doprinosi očuvanju resursa i osigurava održivost života čovjeka na planetu Zemlji.

Drugi cilj, energetska učinkovitost, danas dobiva sve veći značaj, ne samo kod projektiranja novih objekata već i u obnovi postojećih. Ključno pitanje koje se nameće, a koje je autora ove knjige navelo na analizu već tijekom izrade doktorskog rada 2007. godine, jest: što učiniti s postojećim objektima?

Posebna pažnja usmjerava se na objekte u kojima ljudi provode većinu svog života, poput stambenih zgrada, obrazovnih ustanova te bolnica i domova za njegu. Budući da je značajno veći udio postojećih zgrada izgrađen u 20. stoljeću u odnosu na novogradnju, sveobuhvatna energetska transformacija tih objekata postaje prioritet.

To podrazumijeva:

- proračun energetskih potreba i ušteda,
- mogućnost korištenja obnovljivih izvora energije,
- postizanje svih parametara visokog komfora.

Pristup sanaciji mora biti sveobuhvatan i ne smije se svoditi samo na obnovu ovojnice zgrade bez detaljne analize utjecaja na kvalitetu unutarnjeg prostora. Sanacija mora uključivati ispunjavanje higijensko-tehničkih uvjeta, uključujući:

- temperaturu unutarnjeg zraka,

- temperaturu unutarnjih ploha ovojnice,
- relativnu vlažnost zraka,
- provjetrenost,
- osvijetljenost,
- materijalizaciju prostora,
- prelazak na korištenje obnovljivih izvora energije.

Ovakav pristup osigurava da transformacija ne samo da ne narušava, nego i unapređuje uvjete boravka i kvalitetu života korisnika.

7.2 Faze urbanističkog razvoja na prostoru današnjeg grada Sarajeva

Razvoj grada Sarajeva²⁶² u smislu planskog djelovanja veže se za dolazak turskog carstva na ove prostore. Točnije, to je razdoblje od 550 godina evolucije (550. godišnjica nastanka grada Sarajeva obilježena je 2012. godine) te je stoga značajno spomenuti neke od osnovnih povijesnih faza razvoja ove sredine (Fotografija 7.1).



Fotografija 7.1. Shematski prikaz, razvoj grada Sarajeva kroz povijesno razdoblje od 7000 godina

²⁶² Sarajevo je dobilo ime od slavenizirane skraćenice turskih riječi *saraj* (dvor) i *ovasi* (polje), pri čemu se misli na široka polja zapadno od upravnih zgrada koje su podignute za smještaj oblasne uprave. Ime grada je postojalo u više varijanti, pogotovo kada su ga upotrebljavali stranci, uključujući i Bosna Serai (bosanski dvor) i Serai Bosna, ali su sastavni dijelovi imena uvijek bili lako prepoznatljivi. Prvi dokument u kojem se spominje naziv „Sarajevo“ datira iz 1455. godine, što znači da je do tog vremena vrlo vjerovatno postojao dvor ili zgrada uprave. Izvor: Donia J. Rober, 2006.,: 31.

Fotografija 7.1. pokazuje kontinuitet života u Sarajevu od 7.000 godina. Rimljani su ostavili duboki trag na području Kantona Sarajevo, u općini Ilidža, koja danas ne pripada administrativnoj cjelini grada Sarajeva (do 1992. godine ta općina je također bila jedna od gradskih općina). Rimski ostaci susreću se cijelim tokom rijeke Miljacke, jer se pretpostavlja da je današnja uzdužna osovina grada Sarajeva povučena po liniji nekadašnjeg rimskog puta koji je spajao Naronu²⁶³ s rijekom Drinom. Najznačajniji ostaci pronađeni su u Sarajevskom polju²⁶⁴, gdje je bio smješten administrativni centar ovog kraja, *Aqua S*,²⁶⁵ u kojem je pronađeno nekoliko stupova s bazama i kapitelima pretežno korintskog stila.

Razdoblje srednjeg vijeka je razdoblje stagnacije, a čak ni razdoblje ranog srednjeg vijeka nije poznato u pisanoj literaturi. Tek u 5., 6. i 7. stoljeću bilježe se pisani tragovi, pa tako postoje podaci o prisutnosti Istočnih Gota u 5. stoljeću, ili tragovi bizantske vlasti u 6. i 7. stoljeću, koju potiskuje dolazak Slavena početkom 7. stoljeća, vraćajući život iz dolina u brda, kakav su razvijali Iliri.²⁶⁶ Razdoblje bosanske banovine počinje početkom 12. st. i traje sve do 1435. godine, kada na ove prostore prodiru Turci.

Osmansko razdoblje razvoja grada je i najduže kontinuirano razvojno razdoblje pod jedinstvenom vlašću, a trajao je od 1462. godine do 1878. godine. U tom razdoblju dolazi do prvog sustavnog generiranja društveno-urbanog tkiva i nastanka grada Sarajevo. Za vrijeme osmanske vladavine izgrađen je velik broj obrazovnih ustanova, među kojima se naročito izdvajaju *mektebi* i *medrese*.²⁶⁷ Najpoznatija od njih je Gazi Husref-begova Medresa izgrađena 1537. godine, koja danas pripada Gazi Husref-begovom muzeju i služi kao multifunkcionalni prostor za održavanje društvenih aktivnosti, poput umjetničkih izložbi, koncerata, prezentacija, i sl..

Proces europeizacije ili prve planski projektirane urbanizacije grada vezan je za razdoblje austrougarske vlasti na ovim područjima (razdoblje od 1878. godine do 1914. godine). Nakon stagnacije razvoja grada nakon prodora Eugena Savojskog²⁶⁸ 1697. godine, ovo razdoblje označava buđenje i razvoj grada.

²⁶³ *Narona* je bilo rimsko naselje na području današnjeg sela Vid kod Metkovića.

²⁶⁴ Prostor uz rijeku Miljacku na kojem se razvio grad Sarajevo

²⁶⁵ *Aqua S*, rimsko naselje na prostoru današnje Ilidže, Sarajevo

²⁶⁶ Kotorac, jedini poznati lokalitet iz slavenskog razdoblja u Sarajevskom polju, Konstantin VII Porfirogent (bizantski car od 913. God.) u svom djelu „De administrando imperio“ spominje Bosnu i u njoj grad Cateru, što je po većini povjesničara riječ o gradu koji je postojao na Gradcu kod Kotorca po čemu je ovaj i dobio ime. Izvor: Kurto, 1997: 16.

²⁶⁷ Izvor: Kasumović, 1999: 95-108., 157-185.

²⁶⁸ Eugen Savojski (Pariz, 18. listopada 1663. - Beč, 21. travnja 1736.), princ, austrijski vojskovođa i državnik. Smatra se najvećim vojskovođom svoga vremena. Potječe iz sporedne linije savojske dinastije.



Fotografija 7.2. Gazi Husref-begova medresa, Sarajevo (03.02.2013.)

Iz ovog razdoblja datiraju i pojedine zgrade koje su od značaja u kontekstu ove knjige, a nalaze se u Gimnazijskoj ulici u Sarajevu te u centralnoj zoni grada: zgrade za osnovno obrazovanje, glazbeno i srednje (gimnazije), od kojih su najpoznatije sarajevska Prva gimnazija i Prva ženska gimnazija. Osim spomenutih, potrebno je spomenuti i sljedeće javne zgrade iz ovog razdoblja: Gradska katedrala, Zemaljski muzej, Narodno kazalište, Evangelistička crkva, zgrada Mitropolije, Šerijatska sudačka škola, Vijećnica i zgrada gradske Pošte. Od istaknutih arhitekata izdvajaju se *Josip Vancaš*, *Karlo Paržik*, *Carlo Panek*, *Josip Pospišil*, itd. Profesor Kurto²⁶⁹ na specifičan način opisuje evoluciju grada Sarajeva i njegovu povijest te prikazuje faze razvoja arhitektonske djelatnosti.

Razdoblje između dva svjetska rata (tj. od 1918. godine do početka Drugog svjetskog rata) bilo je razdoblje stagnacije razvoja grada.²⁷⁰

Nakon Drugog svjetskog rata dolazi do naglog širenja grada Sarajeva. Raste broj stanovnika (u roku od 25 godina populacija je porasla za novih 280.000 stanovnika), što je u velikoj mjeri utjecalo na razvoj zgradarstva. Gradio se veliki broj javnih zgrada, a samim tim i zgrada za osnovno obrazovanje.

Grad Sarajevo je danas glavni grad Bosne i Hercegovine, administrativni, kulturni, te obrazovni centar države koja je na osnovi Daytonskog sporazuma²⁷¹ podijeljena u dva entiteta, Federacija Bosne i Hercegovine i Republika Srpska, te Brčko Distrikt. Grad Sarajevo se sastoji od četiri gradske općine:

- Općina Centar (55.181 stanovnika),
- Općina Stari Grad (36.976 stanovnika),
- Općina Novo Sarajevo (64.814 stanovnika),
- Općina Novi Grad Sarajevo (118.553 stanovnika)²⁷².

Trenutno, grad Sarajevo se širi u urbanističkom kontekstu, povećava se broj stanovnika, grade se nova gradska naselja (Šip, Stup, Centar, itd.). Međutim, potrebno je istaknuti da ovaj proces nije praćen planskim djelovanjem, tj. prisutno je neplansko građenje prateće infrastrukture. Kad su u pitanju zgrade za osnovno obrazovanje, situacija nije bolja, jer se uglavnom šire postojeći kapaciteti interpoliranjem novih sadržaja u postojeći unutarnji prostor. Za očekivati je da će u skorijoj budućnosti novi dijelovi

²⁶⁹ Profesor Nedžad Kurto (rođen 1945. godine u Sarajevu, umro 2011. godine) radio na arhitektonskom fakultetu u Sarajevu na katedri za razvoj arhitekture. Istraživao ambijentalne cjeline i surađivao s profesorom Husrefom Redžićem na raznim projektima.

²⁷⁰ Popisi stanovništva u gradu Sarajevu: 10.10.1910. – 51.919 stanovnika, 31.1.1921. – 66.317 stanovnika, 31.3.1931. – 78.173 stanovnika, 31.5.1971. – 359.448 stanovnika, 30.4.1991. – 429.672 stanovnika, Izvor: www.sarajevo.ba (podatak preuzet dana 05.01.2013)

²⁷¹ Daytonski mirovni sporazum (ili Dejtonski sporazum ili Dayton), pravni je akt sporazumnog karaktera parafiran u vojnoj zračnoj luci *Right-Paterson* kod *Daytona*, u američkoj državi Ohio, da bi se prekinuo rat u Bosni i Hercegovini, koji je trajao od 1992. god. do 1995. god. Sporazum se naročito bavio budućim upravnim i ustavnim uređenjem Bosne i Hercegovine. Izvor: www.parlament.ba (03.12.2013)

²⁷² Budući da u razdoblju od 1991. godine do 2013. godine nije postojao popis stanovništva u BiH, naime posljednji popis je proveden 2013. godine i podatci su preuzeti sa stranice grada Sarajevo. www.sarajevo.ba. (05.01.2025)

grada dobiti nove javne ustanove, a time i zgrade za osnovno obrazovanje. Iz tog razloga potrebno je gradnji novih zgrada pristupiti na suvremen i energetske učinkovit način u svrhu postizanja održivosti i trajnosti.

7.3. Zgrade za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu

Za potrebe analize stvarnog stanja zgrada u Sarajevu s aspekta energetske učinkovitosti i kvalitete unutrašnjeg prostora, istražene su javne zgrade za osnovno obrazovanje s prostora četiri gradske općine u Sarajevu. Jedan od ključnih razloga ovakvog odabira leži u činjenici da je grad Sarajevo rijedak primjer koji u svojoj strukturi obuhvaća četiri povijesno značajna razdoblja gradnje arhitekture, što će biti objašnjeno dalje u tekstu. Osim navedenog, područje ima karakterističnu klimu koju odlikuju topla ljeta (maks. temp. + 40°C) i hladne zime (min. temp. -26,4°C) što govori o vrlo ekstremnim vanjskim utjecajima na ovojnicu zgrade.

Školske zgrade imaju centralnu ulogu u životu lokalne zajednice, jer su namijenjene djeci, koja čine temelj društva. Osnovne škole svakodnevno koristi velik broj djece i nastavnika, što znači da energetske i arhitektonske intervencije u ovim zgradama mogu imati širok i direktan utjecaj na kvalitetu života velikog broja ljudi. Zgrade za osnovno obrazovanje u Sarajevu uglavnom su stare i energetske neučinkovite, što ih čini pogodnim kandidatima za transformaciju s ciljem smanjenja potrošnje energije i emisije stakleničkih plinova. Time bi se značajno smanjili troškovi grijanja i održavanja, što je posebno važno za javni sektor.

Proces energetske transformacije javnih zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu već je započeo, no nažalost, ne provodi se sveobuhvatnim pristupom koji bi uključivao cjelovitu analizu i sustavno unapređenje zgrada. Trenutni naponi najčešće su ograničeni na djelomične intervencije, poput zamjene prozora i sanacije fasada, koje, iako doprinose poboljšanju energetske učinkovitosti, ne rješavaju sve ključne aspekte kvalitete prostora, poput unutarnjeg komfora, ventilacije i ukupne energetske optimizacije. Ovakav pristup, bez integriranog razmatranja arhitektonskih, energetskih i funkcionalnih potreba, ostavlja značajan potencijal neiskorištenim.

Upravo zbog toga, istraživanje predstavljeno u ovoj knjizi ima dodatnu vrijednost, jer pruža smjernice za cjelovite transformacije koje ne samo da povećavaju energetske učinkovitost, već istovremeno unapređuju kvalitetu unutarnjeg prostora i prilagođavaju ga potrebama korisnika – djece, nastavnika i zajednice u cjelini.

Dodatno, kroz transformaciju ovih prostora, djeca imaju priliku postati aktivni sudionici u procesu stvaranja energetske učinkovite arhitekture, što je od iznimnog značaja za oblikovanje njihove svijesti i navika prema održivom odnosu čovjeka, prostora, okruženja i energije. Njihovo rano uključivanje u ovaj proces osigurava temelje za odgovorniji i svjesniji pristup budućem razvoju društva i prostora.

Općenito o zgradama za osnovno obrazovanje

Cjelokupan razvoj obrazovanja kao jedan konstantan društveni proces je u neposrednoj vezi s povijesnim razvojem društvenih i kulturnih prilika u svijetu. Prve pojave organiziranog školovanja pojavljuju se u Egiptu u 3. stoljeću p.n.e., a kao prvi oblici institucionalnog obrazovanja, prvi sustavno uređen oblik obrazovanja javlja se u Egiptu, Kini, antičkoj Grčkoj, Indiji i Babilonu. Globalno, geneza zgrada sa osnovno obrazovanje može se podijeliti u četiri glavna povijesna razdoblja:

- Razdoblje do sredine 17. stoljeća, odnosno do pojave arhitektonskih rješenja zasnovanih na pedagoškoj doktrini razredno-satnog sustava,
- Razdoblje od sredine 17. do kraja 19. stoljeća, u kojem dolazi do punog razvoja tradicionalne škole,²⁷³
- Razdoblje od početka 20. stoljeća do II. svjetskog rata,
- Razdoblje poslije II. svjetskog rata.²⁷⁴

Arhitektura zgrada za osnovno obrazovanje nije puko stvaralaštvo već ima za cilj pratiti kompletnu scenu u arhitektonskom svijetu danog vremena. Ona postavlja određene specifikume koji su razvili poseban pravac u arhitektonskom projektiranju. Načelno, arhitektura spomenutih zgrada odražava se u tome da unutarnji prostor treba pružiti mir i zadovoljiti higijensko-tehničke uvjete.

Kad je u pitanju obrazovni sustav u Bosni i Hercegovini, treba napomenuti da je nadležnost podijeljena na dva entiteta (Federacija BiH i Republika Srpska) te Brčko Distrikt, gdje, unutar entiteta Federacije Bosne i Hercegovine, nadležnost za upravljanje obrazovanjem imaju kantoni. Ministarstva obrazovanja na razini kantona organiziraju i kontroliraju procese osnovnog, srednjeg i visokog obrazovanja što definira i način korištenja prostora školskih zgrada.

Povijesne faze gradnje zgrada za osnovno obrazovanje u Bosni i Hercegovini

Evoluciju gradnje zgrada za osnovno obrazovanje u Bosni i Hercegovini moguće je pratiti od nastanka Gazi Husref-begove medrese iz 1537. godine,²⁷⁵ kada na ovom prostoru nastaje prva ciljano napravljena građevina za edukaciju djece. Intenzivnija gradnja spomenutih zgrada počinje tek nakon Drugog svjetskog rata. U narednom poglavlju bit će analizirane po jedna zgrada iz svakog povijesnog razdoblja za osnovno obrazovanje građene od razdoblja razvoja grada pod austrougarskim carstvom pa do danas.

²⁷³ Tradicionalna škola (*eng. traditional school*) je izraz koji se u borbi za novu školu i novo obrazovanje upotrebljavao za školu koju je trebalo proći, jer se rad u njoj temeljio na oblicima i metodama rada ukorijenjenima na tradiciji. Razredno-nastavni sustav nastave s dominirajućom ulogom nastavnika u prenošenju znanja na učenike su osnovne karakteristike ove škole. Izvor: Bajbutović, 1983: 17

²⁷⁴ Ibid: 7

²⁷⁵ Prvu poznatu medresu izgradio je bosanski namjesnik Firuz-beg u Sarajevu između 1505.-1512. godine. Kasumović, 1999: 159.

Razvoj gradnje zgrada pratio je i razvoj grada Sarajeva, što se naročito vidi u povećanju broja stanovnika u razdoblju nakon Drugog svjetskog rata.

Povijest razvoja grada Sarajeva upućuje kako podijeliti razvoj gradnje spomenutih zgrada. Na osnovi toga, definirane su četiri ključne faze:

- Razdoblje austrougarske vlasti od 1878. do 1914. godine,
- Razdoblje između dva svjetska rata od 1918. do 1939. godine,
- Razdoblje nakon Drugog svjetskog rata od 1945. do 1970. godine,
- Razdoblje nakon 1970. godine do danas.

Ovdje nećemo govoriti o razdoblju prije 1878. godine, jer se tada građene zgrade ne koriste u svrhu osnovnog obrazovanja u gradu Sarajevu. Osim političkih trendova koji su utjecali na sustave gradnje u naznačenim razdobljima, gore navedena podjela napravljena je i na temelju načina gradnje i materijalizacije. Tako je razdoblje nakon Drugog svjetskog rata podijeljeno u dva podrazdoblja zaključno do 1970. godine, kada se u zgradarstvo prvi put počinju uvoditi standardi materijaliziranja ovojnice s aspekta kontroliranog kretanja energije i vodene pare.²⁷⁶ Dolazi do primjene (u to vrijeme) novih materijala u gradnji zidova, kao što su termoizolirajući materijali poput heraklita, i počinju se vršiti proračuni U-vrijednosti za sve građevne dijelove ovojnice.

Govorimo o razdoblju od 130 godina razvoja i objektima iz četiri različita koncepta materijaliziranja ovojnice (u slojevima krovne ljuske, fasadnih struktura, podova, zidova u tlu, konstrukcija iznad otvorenih prolaza i međukatnih konstrukcija, ali i na svim pozicijama vanjskih otvora).

Razdoblje austrougarske vlasti od 1878. do 1914. godine

Ukupan broj zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevo je 46, od kojih su tri izgrađene u razdoblju Austrougarske monarhije u BiH. Zgrade su pretežno građene na prostoru općine Centar i Stari grad, točnije u starim dijelovima grada, a pretežno u stambenim četvrtima gdje dominiraju privatne stambene vile i uske prometnice tako da zgrade svojim volumenom dominiraju u odnosu na sredinu u kojoj se nalaze.

²⁷⁶ *Zbirka jugoslavenskih standarda za građevinsku fiziku*, Izdavač: Novinsko-izdavačka ustanova Službeni list SFRJ, Beograd, 1989. god.

Tablica 7.1. Popis zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu
izgrađenih u razdoblju Austrougarske monarhije u BiH

	Naziv ustanove	Godina izgradnje	Web adresa
1	JU OŠ "Safvet beg Bašagić"	1890. god.	http://www.ossbb.edu.ba
2	JU OŠ "Edhem Mulabdić"	1890. god.	http://www.osem.edu.ba
3	JU Osnovna muzička škola "Mladen Pozajić"	1890. god.	http://www.omsmp.edu.ba

Boldirano u tablici: Odabrani primjer zgrade za detaljno analiziranje (u 8. poglavlju)

Razdoblje između dva svjetska rata od 1918. do 1939. godine

Kako je već rečeno, razdoblje između dva svjetska rata predstavlja stagnaciju u razvoju zgradarstva, što se odrazilo i na izgradnju zgrada koje su predmet studija slučaja u narednom poglavlju. Tablica 7.2. donosi popis škola iz spomenutog razdoblja (za ovaj period odabrana JU OŠ „Saburina“ zbog složenosti njene ovojnice s gledišta arhitektonske oblikovnosti i specifikuma klimatskih karakteristika mikro-lokaliteta, a što je detaljno objašnjeno u 8. poglavlju.²⁷⁷

Tablica 7.2. Popis zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu
izgrađenih u razdoblju između dva svjetska rata

	Naziv ustanove	Godina izgradnje	Web adresa
1	JU OŠ "Saburina"	1926. god.	http://www.ossaburina.edu.ba
2	JU OŠ "Mula Mustafa Bašeskija"	1890. god.	http://www.osmmba.edu.ba
3	JU OŠ "Musa Ćazim Ćatić"	1931. god.	http://www.osmccsa.edu.ba
4	JU OŠ "Hamdija Kreševljaković"	1937. god.	http://www.oshk.edu.ba

Boldirano u tablici: Odabrani primjer zgrade za detaljno analiziranje (u 8. poglavlju)

²⁷⁷ Posebnosti odnosa zgrade i okruženja karakterizira neometan priljev sunčeve energije primarno zbog činjenice da je padina orijentirana prema zapadu i jugu.

Razdoblje nakon Drugog svjetskog rata od 1945. do 1970. godine

Tablica 7.3. Popis zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu
izgrađenih u razdoblju nakon Drugog svjetskog rata do 1970. godine

	Naziv ustanove	Godina izgradnje	Web adresa
1	JU OŠ "Behaudin Selmanović"	1945. god.	http://www.osbs.edu.ba
2	JU OŠ „Silvije Strahimir Kranjčević „	1955. god.	http://www.ossskranjcevic.edu.ba
3	JU OŠ "Džemaludin Čaušević"	1957. god.	http://www.oscausevic.edu.ba
4	JU OŠ "Dobroševići"	1957. god.	http://www.osdobrosevici.edu.ba
5	JU OŠ "Avdo Smailović"	1957. god.	http://www.osasmailovic.edu.ba
6	JU OŠ "Isak Samokovlija"	1959. god.	http://www.osis.edu.ba
7	JU OŠ "Grbavica II"	1961. god.	http://www.osgrbavica2.edu.ba
8	JU OŠ "Isa-beg Ishaković"	1962. god.	http://www.osisabegi.edu.ba
9	JU OŠ "Čengić Vila I"	1962. god.	http://www.oscvila1.edu.ba
10	JU OŠ "Grbavica I"	1963. god.	http://www.osgrbavica1.edu.ba
11	JU OŠ "Hasan Kikić"	1963. god.	http://www.oshkikic.edu.ba
12	JU OŠ "Šejh Muhamed ef. Hadžijamaković"	1963. god.	http://www.ossmeh.edu.ba
13	JU OŠ "Pofalići"	1964. god.	http://www.ospofalici.edu.ba
14	JU OŠ "Hrasno"	1965. god.	http://www.oshrasno.edu.ba
15	JU OŠ "Mehmed beg Kapetanović Ljubušak"	1965. god.	http://www.osmbklj.edu.ba
16	JU OŠ "Osman Nakaš"	1967. god.	http://www.ostonakas.edu.ba
17	JU OŠ "Nafija Sarajlić"	1968. god.	http://www.osnsarajlic.edu.ba/
18	JU OŠ "Hasan Kaimija"	1968. god.	http://www.oshkaimija.edu.ba
19	JU Zavod "Mjedenica"	1968. god.	http://www.zamjed.edu.ba

20	JU OŠ "Aleksa Šantić"	1968. god.	http://www.osas.edu.ba
21	JU OŠ "Vladislav Skarić"	1969. god.	http://www.osvs.edu.ba

Boldirano u tablici: Odabrani primjer zgrade za detaljno analiziranje (u 8. poglavlju)

Iz ovog povijesnog razdoblja zgrade su građene pretežno u novijim dijelovima grada (građenim nakon Drugog svjetskog rata, općina Novi grad Sarajevo i Novo Sarajevo). Ukupno ih ima 21 i skoro sve su rađene po istom principu: jedno-volumenske zgrade s odvojenom sportskom dvoranom.

Razdoblje nakon 1970. godine do danas

Zgrada osnovne škole „Hasan Kikić“ (prethodni primjer) i osnovne škole „Skender Kulenović“ predstavljaju tipične primjere gradnje u naznačenim razdobljima, kada je i izgrađen najveći broj spomenutih građevina u Sarajevu. Arhitektonska fizika i mikrolokalitet su od velike važnosti prilikom analize zgrada, tj. transformacije postojećih objekata, točnije njihovih ovojnica. Odabrani primjeri nalaze se na različitim mikrolokalitetima u smislu karakteristika urbanog tkiva i mikroklimatskih podataka.²⁷⁸

Tablica 7.4. Popis zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu izgrađenih u razdoblju od 1970. godine do danas

	Naziv ustanove	Godina izgradnje	Web adresa
1	JU OŠ "Umihana Čuvidina"	1970. god.	http://www.osuc.edu.ba
2	JU Centar za slušnu i govornu rehabilitaciju	1972. god.	http://www.cersig.edu.ba
3	JU OŠ "Alija Nametak	1973. god.	http://www.osansa.edu.ba
4	JU OŠ "Mehmedalija Mak Dizdar"	1974. god.	http://www.osmmdsa.edu.ba
5	JU OŠ "Vrhbosna"	1975. god.	http://www.osvrhbosna.edu.ba
6	JU Katolički školski centar - Osnovna škola Centar	1975. god.	http://www.ksc-sarajevo.edu.ba

²⁷⁸ Geografske karakteristike grada Sarajeva (lokacija uz dolinu rijeke Miljacke koja teče od istoka prema zapadu te činjenice da je s obje strane omeđen visokim brdima i planinama) definiraju nekoliko različitih mikroklimatskih urbanih zona. Na padinama koje su usmjerene prema jugu ili prema sjeveru stvoreni su međusobno drugačiji uvjeti života tijekom godine zbog orijentacije tj. osunčanja, a uz rijeku Miljacku i na prostoru Sarajevskog polja oformljava se treća zona s najvećim brojem maglovitih dana u godini. Podatke je autor objavio u svom doktorskom radu, Bradić, 2014.

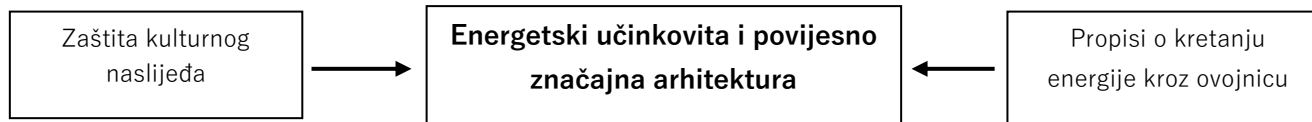
7	JU Centar za slijepu i slabovidnu djecu i omladinu	1975. god.	http://www.czsd.edu.ba
8	JU OŠ "Fatima Gunić"	1977. god.	http://www.osfg.edu.ba
9	JU OŠ "Kovačići"	1978. god.	http://www.osmbaletska.edu.ba
10	JU OŠ "Malta"	1980. god.	http://www.osmalta.edu.ba
11	JU OŠ "Meša Selimović"	1981. god.	http://www.osmssa.edu.ba
12	JU OŠ "Skender Kulenović"	1984. god.	http://www.os-sk.edu.ba
13	JU OŠ "Osman Nuri Hadžić"	1986. god.	http://www.asonh.edu.ba
14	JU Osnovna muzička i baletska škola Novo Sarajevo	1986. god.	http://www.osmbaletska.edu.ba
15	JU OŠ "Ćamil Sijarić"	1986. god.	http://www.oscsijaricsa.edu.ba
16	JU Centar "Vladimir Nazor"	1988. god.	http://www.vladimirnazor.edu.ba
17	JU OŠ "Velešićki heroji"	1998. god.	http://www.osvh.edu.ba
18	JU OŠ "Sokolje"	2006. god.	http://www.ossokolje.edu.ba

Boldirano u tablici: Odabrani primjer zgrade za detaljno analiziranje (u 8. poglavlju)

Kako su u gradu Sarajevu građena nova gradska naselja kao što su npr. Otoka, Alipašino polje, Dobrinja, tako su nastale i zgrade za osnovno obrazovanje. Pretežno su to jedno volumenske građevine katnosti prizemlje i kat. Unutar ovojnice dominiraju transparentne plohe koje u kontekstu transformacije predstavljaju veliki izazov kako s aspekta ljetnog tako i zimskog razdoblja korištenja zgrade i energetskih gubitaka i dobitaka. JU OŠ „Skender Kulenović“ je odabrana za detaljnu analizu jer predstavlja najboljeg predstavnika (oblik, materijali, odnosi transparentnih i netransparentnih ploha), ali i zbog činjenice da je potpuno rekonstruirana nakon posljednjeg rata (1992. - 1995.).

7.4. Zgrade za osnovno obrazovanje od kulturnog i povijesno arhitektonskog značaja i njihova zaštita

Prilikom transformacije ovojnice postojećih zgrada susreću se dvije teme koje su u međusobnoj suprotnosti, ali s obzirom na to da obje pripadaju području energetske učinkovitosti, mora se pronaći kompromisno rješenje. Radi se o stvaranju energetski učinkovitih ovojnica i zaštiti kulturnog i povijesnog naslijeđa (Fotografija 7.3.).



Fotografija 7.3., Utjecaji na kreiranje energetski učinkovite zaštićene arhitekture

U gradu Sarajevu postoje dvije institucije koje se bave zaštitom zgrada: Zavod za zaštitu kulturno historijskog i prirodnog naslijeđa Kantona Sarajevo²⁷⁹ i Komisija/Povjerenstvo za očuvanje nacionalnih spomenika Bosne i Hercegovine. Osnovni kriteriji za proglašenje dobara nacionalnim spomenicima su:

- Predmet pravne zaštite,
 - pokretno naslijeđe (pojedinačno ili u zbirkama),
 - nepokretno kulturno naslijeđe (historijske građevine i spomenici, graditeljske cjeline, područja),
- Vrijednost,
 - vremensko određenje,
 - povijesna vrijednost,
 - umjetnička i estetska vrijednost,
 - čitljivost,
 - simbolička vrijednost,
 - ambijentalna vrijednost,
 - izvornost,
 - jedinstvenost i reprezentativnost,
 - cjelovitost.

²⁷⁹ Izvor: www.spomenici-sa.ba (18.12.2014)

Imovinski i politički kriteriji²⁸⁰ nisu od posebnog značaja prilikom proglašavanja dobra nacionalnim spomenikom.

Zaštita zgrada od povijesnog, oblikovnog, urbanističkog i drugih značaja regulira se kroz međunarodne ugovore, akte i smjernice usvojene na globalnoj razini. Bosna i Hercegovina, kao potpisnica više međunarodnih multilateralnih ugovora, obvezala se na primjenu standarda i principa zaštite graditeljske baštine. Među ključnim ugovorima koje je BiH ratificirala nalaze se:

UNESCO

- Konvencija o zaštiti svjetske kulturne i prirodne baštine²⁸¹ (Pariz, 1972.),
- Konvencija o mjerama za zaštitu i sprečavanje nedozvoljenog uvoza, izvoza i prijenosa svojine kulturnih dobara (Pariz, 1970.),
- Konvencija za zaštitu kulturnih dobara u slučaju oružanog sukoba (Haag, 1954.), uključujući Pravilnik, Protokol I i Protokol II.

VIJEĆE EUROPE

- Europska konvencija o kulturi (Pariz, 1954.),
- Europska konvencija o zaštiti arheološkog naslijeđa (London, 1969., revidirana u Valetti 1992. godine. BiH nije potpisnica revidirane konvencije),
- Konvencija o zaštiti arhitektonskog naslijeđa Europe (Granada, 1985.).

OSTALE:

- Bernska konvencija za zaštitu književnih i umjetničkih djela iz 1886. godine, revidirana u Parizu 1971. godine i dopunjena 1979. godine,
- Sporazum između Vijeća ministara BiH i Vlade SAD-a o zaštiti i očuvanju određenog kulturnog vlasništva, potpisan 02.07.2002. godine, ratificiran 21.07.2004. godine (tekst sporazuma objavljen u dodatku Službenog glasnika BiH - Međunarodni sporazumi, broj 6/04),
- Sporazum između Vlade BiH i Vlade SR Njemačke o suradnji u oblasti kulture, obrazovanja i nauke (potpisan 21.07.2004. godine, ratificiran 26.10.2005. godine (tekst sporazuma objavljen u dodatku Službenom glasniku BiH - Međunarodni sporazumi, broj 11/05).

²⁸⁰ Izvor: <http://kons.gov.ba/> (18.12.2014)

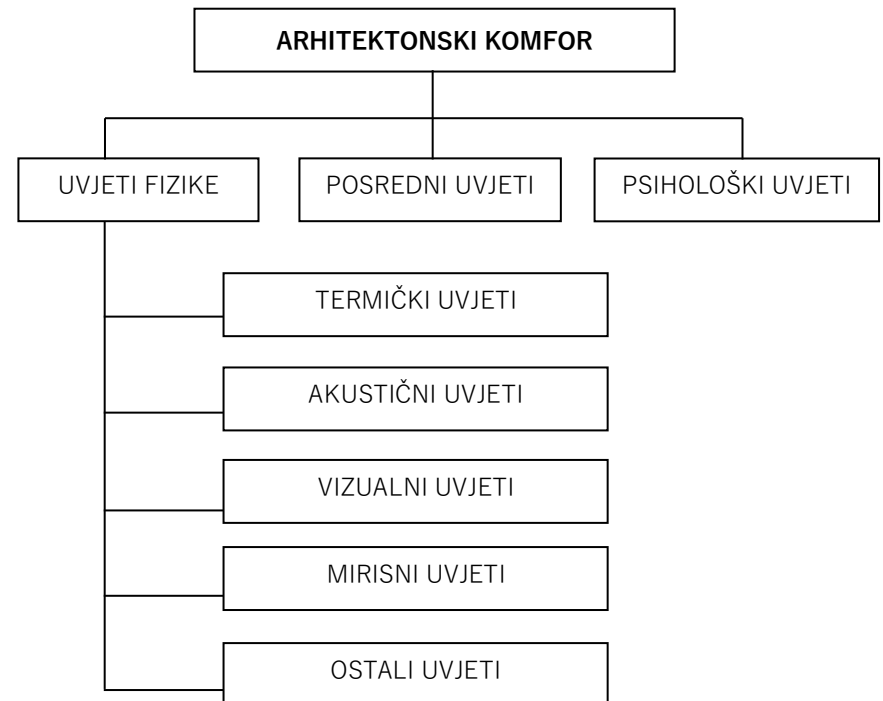
²⁸¹ Konvencija o zaštiti svjetske kulturne i prirodne baštine, (*eng. Convention Concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage*, Paris, 16.11.1972. godine), Generalna konferencija Organizacije Ujedinjenih naroda za prosvjetu, nauku i kulturu, na svom 17. zasjedanju održanom od 17. listopada do 21. studenog 1972. godine u Parizu usvaja ovu konvenciju, konstatirajući da kulturnoj baštini i prirodnoj baštini u sve većoj mjeri prijeti uništenje, ne samo uslijed klasičnih uzroka propadanja, već i zbog promjena u društvenom i ekonomskom životu koji dodatno otežavaju situaciju unošenjem novih užasnih načina oštećenja i razaranja.

Tijekom izrade doktorskog rada Autora razmatrale su se mogućnosti djelovanja na ovojnicama zaštićenih zgrada s ciljem smanjenja kretanja energije, reguliranja kretanja vodene pare i toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. Zaštićene zgrade imaju široki opseg mjera zaštite, kako s vanjske strane, tako i s unutarnje, u smislu mijenjanja geometrije, estetike, forme ili materijalizacije u odnosu na prvobitni izgled. Te mjere se podjednako odnose i na transparentne i netransparentne dijelove. Stoga je pitanje primjene mjera energetske učinkovitosti (povećanje toplinske izolacije, naročito na pozicijama vanjskih otvora) vrlo složeno.

7.5. Higijensko tehnički uvjeti korištenja unutrašnjeg prostora

Higijensko-tehnički uvjeti unutrašnjeg prostora usko su povezani s pojmom arhitektonskog komfora. Komfor je složen koncept, saglediv kroz nekoliko parametara među kojima se nalaze uvjeti arhitektonske fizike, posredni uvjeti i psihološki uvjeti. Iako postoje stroga pravila kod zadovoljavanja komfora unutar prostora ovisno o namjeni zgrade, komfor je u velikoj mjeri relativan. Na određeni način zavisi od želja konzumenta, naročito individualnih želja i navika, koje mogu zavisiti od osobnih karakteristika, starosne dobi, osobnih navika, itd. Ako promatramo stambenu arhitekturu, čak ni unutar jedne obitelji nije moguće pronaći zajednički stav o određenim parametrima unutrašnjeg komfora (npr. temperatura unutar zraza, izmjene unutar zraza, stupanj osvjetljenja itd.). Taj problem je posebno izražen kod javnih objekata poslovnog, obrazovnog, kulturnog pa čak i medicinskog karaktera. Stoga, kao odgovor na sve navedeno, suvremena arhitektura ne dopušta preveliki utjecaj ljudskog faktora na regulaciju gore navedenih komponenti. Razvijaju se tehnološka rješenja koja putem senzora i računala osiguravaju uvjete unutar zraza u skladu s propisanim standardima.²⁸² Fotografija 7.4., definira koji su to ključni parametri koji utječu na kvalitetu arhitektonskog komfora unutrašnjeg prostora.

Fotografija 7.4. Uvjeti koji trebaju biti zadovoljeni za prihvatljiv arhitektonski komfor



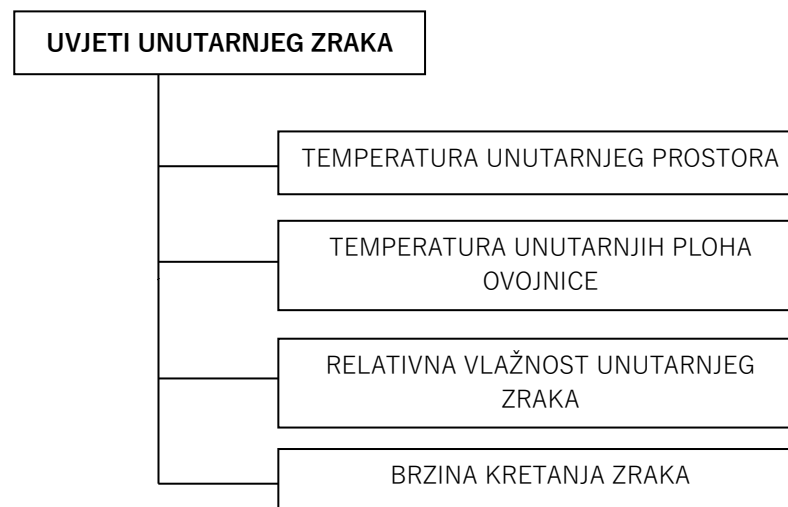
²⁸² Svaka namjena prostora ima propisane standarde za arhitektonski komfor unutar zraza vidljivo kroz parametre kao što su: broj izmjena unutar zraza, temperatura unutar zraza, postotak relativne vlažnosti, minimalno i maksimalno osvjetljenje itd. Zahtjevi se konstantno mijenjaju, točnije evoluiraju i postaju sve složeniji za primjenu, naročito u zemljama koje se nalaze u fazi ekonomskog razvoja, kao što je između ostalih i BiH.

Toplinski uvjeti su jasno propisani i definirani standardima. Međutim, prisutan je i snažan utjecaj ljudskog osjećaja koji mora biti uzet u obzir prilikom analiziranja i promatranja unutarnjeg prostora. Ljudi tijekom korištenja unutrašnjeg prostora na određeni način utječu na količinu potrebne energije zgrade, kroz proces davanja toplinske energije unutrašnjem prostoru tijekom određenih aktivnosti (izdisanje CO₂, isparavanje vodene pare kroz disanje i kožu, itd.). Intenzitet odavanja topline ljudskog tijela ovisi o temperaturi zraka unutarnjeg prostora. Na nižim temperaturama čovjekovo tijelo odaje toplinu putem konvekcije, kondukcije i radijacije, a povećanjem temperature započinje i proces isparavanja. Jednostavno, ljudski organizam je savršen, te on prilikom registriranja niskih temperatura (npr. ispod 0 ° C) vrši čuvanje topline i kretanje krvi usmjerava ka kapitalnim organima kao što je srce i mozak. S druge strane, porastom temperature krvi počinje cirkulirati do perifernih krvnih žila kako bi pri temperaturi većoj od 25 ° C vanjskog zraka započelo hlađenje organizma putem kože.²⁸³

Naime, slijedeći spomenute funkcije kože i ljudskog organizma, zgrada budućnosti treba imati dinamičnu ovojnicu koja će unutarnji prostor aktivno štiti od vanjskih utjecaja tijekom čitave godine po uzoru na principe kako unutrašnje funkcije ljudskog tijela štiti koža. Možda će baš ovojnica zgrade biti složena struktura ispunjena nizom unutarnjih i vanjskih senzora.

Fotografija 7.5. pokazuje četiri ključna parametra toplinskih uvjeta. Temperatura unutarnjeg zraka kreće se od 19°C do 22°C. Međutim, treba imati na umu da kretanje zraka pri brzini od 0,15 m/s može biti ugodno pri temperaturi od 20°C te neosjetno pri većoj, dok na nižoj može stvoriti osjećaj hladnoće. Temperatura unutarnjih ploha ovojnice je također značajna za analizu. To se naročito odnosi na ovojnicu, koja u slučaju visokih U-vrijednosti može biti niža i za 10°C od temperature unutarnjeg zraka. Ovo

Fotografija 7.5., toplinski uvjeti arhitektonskog
komforta - ugone



²⁸³ Izvor: Hegger, Fuchs, Zeumer, 2008: 56.

stvara neugodan osjećaj prilikom dodira,²⁸⁴ točnije, nastaje efekt oduzimanja topline od ljudskog tijela. Utjecaj relativne vlažnosti na ugodnost prostora je od velikog značaja. Preporučene vrijednosti kreću se između 40 – 60%, dok se kao prihvatljive mogu uzeti i vrijednosti od 35 – 70%, što ovisi o temperaturi unutarnjeg zraka.

Današnja tehnologija materijalizacije ovojnice i tehnološka rješenja koja omogućavaju konstantno zadovoljavanje standarda unutarnjeg komfora daju oblike savršenih zgrada kako s gledišta arhitektonske fizike, tako i u teorijskom razmatranju. Iz tog razloga, potrebno je provesti adekvatnu analizu ventiliranja prostora kako bi se zadovoljili svi uvjeti i izbjegli problemi, poput primjerice SBZ-a (*sindroma bolesnih zgrada*)²⁸⁵. Ako bi se provela analiza utjecaja mehaničkog ventiliranja zgrada u odnosu na prirodno, rezultati bi pokazali da bi 20% korisnika prostora odgovorilo da je prostor neadekvatan pri prirodnom ventiliranju, 34% korisnika bi odgovorilo negativno za kombinirani sustav dok bi 54% odgovorilo negativno za potpuno mehanički sustav ventiliranja.²⁸⁶

7.6. Specifičnosti higijensko – tehničkih uvjeta kod zgrada za osnovno obrazovanje

*„Škola treba da bude mjesto koje i izvana i unutra pruža prijatnu sliku našem oku. Unutra to treba da bude svijetao, čist, sa mnogo slika ukrašen prostor... Izvana, uz školu moramo osigurati ne samo slobodno mjesto za šetanje i igre (jer to mi omladini uopće ne možemo uskratiti), nego moramo urediti i vrt.“*²⁸⁷ (J. A. Komensky)

Joseph Furttenbach, poznati arhitekt i teoretičar 17. stoljeća, bio je jedan od pionira u razmatranju higijensko-tehničkih uvjeta u arhitekturi, uključujući važnost prirodnog svjetla i ventilacije. Njegova promišljanja o značaju zraka i Sunca u prostorima mogu se primijeniti i na školske zgrade, koje zahtijevaju posebnu pažnju s aspekta unutarnjeg komfora i uvjeta boravka djece.

²⁸⁴ Zavisi od materijalizacije unutarnjih ploha prostora, pa materijali s velikim koeficijentom prodiranja topline (b) kao što je metal, betoni, keramičke pločice itd. mogu biti vrlo neugodni i neprihvatljivi, osjećaj kada bosi stojimo na keramičkim pločicama i parketu pri istoj temperaturi unutarnjeg zraka nije identičan, mi registriramo da su keramičke pločice hladnije, a u suštini to nije točno, materijal ima sposobnost da oduzima veću količinu topline našem organizmu.

²⁸⁵ Termin „sindrom bolesnih zgrada“ (SBZ) označava situaciju kada korisnici zgrade osjećaju akutne zdravstvene probleme povezane s dužinom boravka u zgradi, iako se konkretni zdravstveni problemi uopće ne mogu identificirati. Ovi problemi se mogu javljati u određenoj sobi ili zoni, ili u cijeloj zgradi. Izvor: http://www.epa.gov/iaq/pdfs/sick_building_factsheet.pdf (podatak preuzet dana: 04.12.2013.)

²⁸⁶ Izvor: Doktorski rad, *Thermische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäude aus Nutzersicht*, Hellwig, R., TÜ Minhen, 2005.

²⁸⁷ Izvor: Bajbutović, 1983: 28.

S gledišta arhitektonske fizike, zgrade za osnovno obrazovanje moraju zadovoljiti uvjete komfora unutarnjeg prostora, tj. temperaturu unutarnjeg zraka, vlažnost unutarnjeg zraka, kvalitetu unutarnjeg zraka mjerljivog kroz svježinu, osvijetljenost prostora s prirodnom ili umjetnom svjetlošću, materijalizaciju unutarnjih ploha i namještaja itd.

S druge strane, kad su u pitanju vanjski utjecaji, bitno je na umu imati položaj zgrade u odnosu na susjedne zgrade (udaljenost i visina susjednih zgrada), orijentaciju zgrade i dispoziciju unutarnjih prostorija, što je od ključnog značaja za korištenje energetske potencijala mikrolokaliteta, a s druge strane i zaštite od prevelikog priljeva toplinske energije registrirane na ovojnici.

Važan i neizostavan parametar analize je i faktor oblika, koji predstavlja odnos površine ovojnice i volumena prostora koji ta ovojnica ograđuje. Kod zgrada za osnovno obrazovanje ovaj faktor je specifičan, jer daje mogućnost razvoja nekoliko kompozicijskih modela prilikom evaluacije zgrada. To su između ostalih:

- Koridorni sustav:
 - Dvotaktna koridorna dispozicija,
 - Trotaktna koridorna dispozicija,
 - Višetraktna koridorna dispozicija,
- Sustav centralne hale,
- Paviljonski sustav,
- Beskoridorni sustav,
- Kombinirana dispozicija.²⁸⁸

Što je faktor oblika veći, zgrada ima veće toplinske gubitke i dobitke te složeniji sustav obrade unutrašnjeg prostora, točnije ovojnica grijanog volumena je veće površine, njene pozicije dobivaju različite zahtjeve, a s gledišta transformacije postojećeg stanja cjelokupan proces čini kompleksnijim i zahtjevnijim, te je potreban veći obim analiza i modela sanacije.

Kako bi se osigurao kvalitetan boravak djece u školi, moraju biti zadovoljeni svi higijensko tehnički uvjeti, kao što su: osvjjetljenje, prozračivanje, akustika i zaštita od buke, grijanje i ostale instalacije i zaštita od požara.²⁸⁹ Pravilno osvjjetljenje²⁹⁰ prostora u kojem djeca borave je od neizmjerne važnosti za ugodnost čovjeka, jer u dobi od 7 do 14 godina u tim prostorijama djeca provode dnevno i do 10 sati. Na kvalitetu prirodnog osvjjetljenja utječe orijentacija i struktura mikrolokaliteta, ali i arhitektonski dizajn saglediv kroz

²⁸⁸ Izvor: Ibid: 124.

²⁸⁹ Auf-Franić, 2004: 73-78.

²⁹⁰ Intenzitet prirodnog osvjjetljenja unutar prostorije mjeri se faktorom dnevnog osvjjetljenja (eng. *daylight factor*) i predstavlja odnos između intenziteta prirodnog osvjjetljenja unutar nastavne prostorije (l_u) i intenziteta vanjskog osvjjetljenja (l_v), a osnovna jedinica za osvjjetljenje je 1 luks (lux), a odgovara intenzitetu osvjjetljenja koji se postiže na površini veličine 1 m², udaljenoj 1 m od izvora svjetla jačine 1 lumen. Izvor: Ibid: 240.

dispoziciju prostorija, odnos punih i transparentnih ploha u ovojnici, dubinu i visinu prostorija i materijalizaciju unutarnjih površina. Osvjetljenje se može podijeliti na jednostrano, dvostrano, višestrano, zenitalno i kombinirano osvjetljenje.

Provjetravanje prostora je predmet mnogih diskusija na temu kvalitete prirodnog ili umjetnog (HVAC sustavi)²⁹¹ ventiliranja. Standardi propisuju da je srednja vrijednost po učeniku $24 - 30 \text{ m}^3/\text{h}$, da je potrebna minimalno četverostruka izmjena zraka kod prirodnog ventiliranja ($4 - 5 \text{ izm./h}$), a desetostruka, kod umjetnog, a da je maksimalna dopuštena brzina strujanja zraka $0,30 \text{ m/sec}$.²⁹² Vanjski utjecaji mikrolokaliteta (prosječne temperature, zagađenost i prašina) i elementi energetske učinkovitosti utjecat će na odluku o izboru između prirodnog ili umjetnog provjetravanja. Ukoliko je moguće, najbolje bi bilo zadovoljiti oba spomenuta elementa, ili preferirati prirodno ventiliranje unutarnjeg prostora.

U smislu energetske učinkovitosti, grijanje i hlađenje unutarnjeg prostora moraju se posebno pažljivo i detaljno analizirati, jer se radi o najvećim potrošačima energije u postojećim zgradama. Državne institucije su nadležne za propisivanje standarda i zakona o maksimalnoj dopuštenoj visini temperature unutrašnjeg zraka, a koje iznose $20^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ (zimsko razdoblje) 26°C (ljetno razdoblje) i 45% i 55%²⁹³ relativne vlažnosti.

Najčešći vid grijanja je centralno grijanje priključeno na gradsku mrežu tople vode, ili posebna kotlovnica unutar zgrade. Radijatorski sustav ima mnoštvo mana u kontekstu suvremenog planiranja i projektiranja zgrada ove namjene. Također, škole koriste i zračne sustave ili kombinaciju s prethodnim. Potreba za smanjenjem energetske potrebe dovela je do razvoja različitih tehnologija tretiranja unutarnjeg prostora, što je djelomično prikazano u poglavlju o obnovljivim izvorima energije. Budući da cjelokupan unutarnji prostor zgrada za osnovno obrazovanje nema jednaku zahtijevanu temperaturu, onda svi spomenuti sustavi energetskog tretiranja unutarnjeg prostora u velikoj mjeri pomažu pronalasku složenog sustava. Korka²⁹⁴ navodi da temperatura u učionicama mora iznositi $18 - 20^\circ \text{C}$, u laboratorijima $16 - 18^\circ \text{C}$, zbornici 20°C , sportskoj dvorani 15°C , hodnicima $12 - 15^\circ \text{C}$ itd.²⁹⁵ što i analizu i promatranje potrebne energije u danim objektima čini složenijom.

²⁹¹ Ibid: 78

²⁹² EU standard: DIN EN 13799, Izvor: Hegger, Fuchs, Zeumer, 2008: 132

²⁹³ Bajbutović, 1983: 249

²⁹⁴ Korka, 1961.

²⁹⁵ Izvor: Ibid

7.7. Arhitektonski komfor (ugoda) unutrašnjeg prostora danas i sutra

Perspektive unutarnjeg komfora uvelike ovise o potrebama korisnika prostora i propisanim normama, dok percepcija komfora ostaje podložna promjenama, reflektirajući sve složenije zahtjeve suvremenog života. Komfor predstavlja kontinuiranu potrebu za osiguravanjem osnovnih elemenata ugodnog boravka, poput optimalne temperature, kvalitete zraka, osvjetljenja i akustike. S druge strane, suvremeni trendovi idu prema holističkom shvaćanju komfora, gdje se fizički uvjeti nadopunjuju psihološkim i estetskim doživljajem prostora.

Primjer pasivne zgrade, u kojoj je ovojnica savršeno izolirana s U-vrijednošću punih ploha manjom od $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$, pokazuje kako napredne tehnologije omogućuju konstantan temperaturni komfor. Nema oscilacija u razdoblju kada grijanje radi ili ne, jer toplinski kapaciteti ovojnice omogućavaju akumulaciju topline i ne dopuštaju energetske gubitke. Ovo se može definirati kao

konstantan visokokvalitetan unutarnji komfor.

Takve zgrade minimiziraju energetske gubitke, osiguravaju stabilnu unutarnju klimu i smanjuju štetne učinke temperaturnih dilatacija.

Novi, suvremeni koncepti proizvodnje i distribucije energije u zgradama osmišljeni su s ciljem stvaranja optimalnih unutarnjih uvjeta koji zadovoljavaju ključne elemente arhitektonskog komfora. U današnje vrijeme, to se postiže integracijom naprednih tehnologija poput računalnih sustava i senzora koji kontinuirano prate parametre kao što su kvaliteta zraka, broj prisutnih osoba, temperatura, relativna vlažnost, osvjetljenje i razina buke. Ti se podaci prosljeđuju središnjim jedinicama za automatiziranu regulaciju unutarnjih uvjeta, čime se osigurava precizno i energetski učinkovito upravljanje prostorom.

Posebno su korisni sustavi centralizirane kontrole kvalitete zraka u prostorima poput škola i vrtića, gdje borave djeca. Ovi sustavi sprječavaju neplanirane promjene u uvjetima koje mogu nastati zbog nepravilnog rukovanja, poput otvaranja i zatvaranja prozora, pogrešnog podešavanja termoventila ili neprikladne uporabe zaštite od sunčevog zračenja. Automatizirana rješenja ne samo da osiguravaju stabilan komfor, već i eliminiraju mogućnosti neefikasne potrošnje energije.

U budućnosti, tehnologija će težiti sve sofisticiranijem imitiranju prirodnih procesa, integrirajući rješenja koja kombiniraju održivost, energetski učinak i prilagodljivost potrebama suvremenog čovjeka. Cilj je ne samo stvoriti ugodne prostore, već i razviti sustave koji intuitivno reagiraju na promjene u okolišu i potrebama korisnika, čineći arhitekturu još više orijentiranom prema čovjeku i prirodi.

The background is a complex, layered composition. It features a dense, chaotic pattern of fine, light-colored lines at the bottom, resembling a rough surface or a network of fibers. Above this, there are large, soft, greyish-blue cloud-like or smoke-like shapes. Two translucent, grey, three-dimensional rectangular planes are positioned diagonally across the center. They appear to be made of a thin, slightly wavy material, possibly paper or thin metal, and they intersect each other. The lighting is soft and diffused, creating a sense of depth and texture throughout the image.

TRANSFORMACIJA POSTOJEĆE ARHITEKTURE

četiri studije slučaja

Napomena o vremenskom okviru i relevantnosti istraživanja

Istraživanje koje slijedi dio je doktorskog rada obranjenog 2014. godine, a temeljeno je na analizi osnovnih škola u Sarajevu, koje su obuhvaćene istraživanjem u razdoblju od 2007. do 2014. godine. Fokus rada bio je na transformaciji arhitekture tih objekata, koji su građeni u različitim povijesnim periodima, a i danas se koriste u gotovo nepromijenjenom obliku. Posebno se ističe analiza postojećeg stanja, energetske učinkovitosti i arhitektonskog komfora, kao i konkretni prijedlozi za poboljšanje kroz modele transformacije²⁹⁶.

Istraživanje nudi univerzalne principe i smjernice primjenjive i u suvremenom kontekstu, uzimajući u obzir kako klimatske uvjete tako i specifične zahtjeve obrazovnih objekata. U središtu istraživanja je analiza arhitektonskog komfora i prijedlozi energetske, funkcionalne i vizualne transformacije kroz četiri detaljne studije slučaja, koje obuhvaćaju analizu postojećeg stanja i konkretne prijedloge poboljšanja. Iako bi se današnji prijedlozi transformacije mogli djelomično razlikovati, te razlike su zasigurno minimalne jer nije došlo do značajnijih promjena u zakonodavstvu, standardima ili zahtjevima u arhitektonskom i energetskom kontekstu, kako globalno, tako pogotovo niti u Bosni i Hercegovini.

Važno je napomenuti da su predloženi modeli transformacije prilagodljivi i otvoreni za daljnje unapređenje, ovisno o promjenama u tehničkim normama, zakonodavstvu ili inovacijama u arhitekturi i energetici. Isti mogu poslužiti kao referentni materijal za akademsku zajednicu, stručnjake u arhitekturi i energetici, kao i donositelje odluka u obrazovnom sektoru, te kao korisna osnova za daljnja istraživanja i praktične intervencije.

U kontekstu korištenja ovih rezultata danas, preporučuje se konzultacija s aktualnim propisima i standardima za najprecizniju implementaciju predloženih rješenja.

²⁹⁶ Cjelokupno istraživanje zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu je napravljeno uz pismeno odobrenje Ministarstva za obrazovanje, nauku i mlade Kantona Sarajevo. Broj odobrenja: 11-04-49-2602/12, izdato 17.04.2012. godine u Sarajevu, a koje je potpisao ministar prof. dr. Fahrudin Oručević



8.1. Četiri studije slučaja – transformacije u praksi

Za detaljnu analizu odabrana su četiri primjera iz svake spomenute povijesne faze graditeljstva zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu. Karakteristike zgrada koje su uzete u obzir prilikom odabira za detaljnu analizu opisane su u prethodnom poglavlju.²⁹⁷ Stvarno stanje zgrada za osnovno obrazovanje promatrano je kroz kvalitetu postojeće ovojnice (struktura i fizička

²⁹⁷ Općenito, osnovna gledišta pri odabiru zgrada za detaljnu analizu bila su: lokacija, tj. urbanistički koncept i odnos zgrade s njezinim okruženjem, pretpostavka visoke potrošnje energije zbog loše kvalitete ovojnice, povijesni značaj zgrade i oblikovno-funkcionalna sličnost s većinom drugih zgrada za osnovno obrazovanje građenih u promatranom povijesnom razdoblju s gledišta oblikovnosti, odnosa transparentnih i netransparentnih ploha i kapaciteta unutrašnjeg prostora. Cilj je da

oštećenja, kretanje topline i vodene pare i vizualni identitet), ukupne energetske potrebe, emisije CO₂ i kvalitetu unutrašnjeg prostora (higijensko-tehnički uvjeti). Osnovni cilj je doći do relevantnih i aplikativnih rezultata, tj. podataka koji će poslužiti kao osnova za izradu modela transformacije postojećih zgrada za osnovno obrazovanje.

Provedene su sljedeće analize za svaki pojedinačni primjer:

- Proračun U-vrijednosti i sagledavanje stvarnog stanja postojećih ovojnica,
- Proračun ukupnih stvarnih energetske potrebe zgrade,
- Analiza postojeće ovojnice zgrade putem termo-vizijskog snimanja,
- Sagledavanje stvarnih higijensko-tehničkih uvjeta i anketiranje učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutrašnjeg prostora.

8.2. JU OŠ Safvet-beg Bašagić

Zgrada Javna ustanova Osnovna škola Safvet-beg Bašagić je izgrađena 1890. godine za vrijeme austrougarske okupacije Bosne i Hercegovine. Predstavlja tipičan primjer arhitektonskog stila koji se koristio na području grada Sarajeva u razdoblju od 1878. do 1914. godine. Arhitektonski koncepti oslikani u fasadnoj strukturi upućuju na utjecaj neorenesansnih stilova. Zgrada škole zaštićena je kao nacionalni spomenik i smještena je između ostalih značajnih zgrada u gradu Sarajevu koje također spadaju u spomenike koje je zaštitila Komisija za nacionalne spomenike Bosne i Hercegovine: Zgrada sadašnje Bor banke,²⁹⁸ zgrada Prve gimnazije²⁹⁹ te Dom oružanih snaga Bosne i Hercegovine.³⁰⁰

Zgrada Osnovne škole Safvet-beg Bašagić namjenski je izgrađena za potrebe obrazovanja, a po nacrtima poznatih arhitekata tog razdoblja, Karla Paržika i Karla Paneka. Svojim većim fasadnim plohama orijentirana je u pravcu sjever-jug. Potkrovlje je 1997. godine rekonstruirano i pretvoreno u koristan prostor kako bi se dobile dodatne učionice i povećala ukupna korisna površina unutrašnjeg prostora.

dobiveni rezultati o stvarnom stanju, modeli transformacije i doneseni zaključci imaju utjecaj na pristup budućim transformacijama zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu, ali i šire kao i drugih tipologija objekata.

²⁹⁸ Austrougarska banka, izgrađena 1892. godine, arhitekt *Rudolf Tonnies*. Pročelje je riješeno poput pročelja antičkih hramova, a sve ostalo je u duhu secesionističke arhitekture. Izvor: Kurto, 1997: 81.

²⁹⁹ „Prva gimnazija“ u Sarajevu je prva i najstarija sekularna srednja škola u Bosni i Hercegovini. Osnovana je 1879. godine ukazom tadašnje Zemaljske vlade po odluci cara *Franje Josipa*. Do 1919. godine bila je to muška škola, a od 1919. godine upisuju se prve djevojke. Izvor: <http://1gimnazija.com.ba/> (07.02.2013.)

³⁰⁰ „Vjerojatno prva izgrađena zgrada u Sarajevu nakon okupacije 1878., građena 1880. i 1881. godine. Oficirski kasino u Sarajevu izgradio je izvođač radova na pruži Brod-Sarajevo kao dar oficirima Sarajeva“. Izvor: Krzović, 2004: 91.



Fotografija 8.1. - Google Earth - pogled na poziciju zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić i grad Sarajevo – centralna zona grada



Od svog nastanka pa do danas zgrada služi prvobitnoj funkciji, tj. koristi se za osnovno obrazovanje. Zgrada je pokrivena četverovodnom krovnom konstrukcijom, a odvodnja kišnice je riješena putem vanjskih oluka u gradski kolektor.

Tablica 8.1. Osnovne informacije o zgradi JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

Zemljopisni položaj zgrade	43°51'24.52" sjeverna geografska širina 18°25'25.18" istočna geografska dužina
Nadmorska visina	562 m
Arhitekt	Karl Paržik i Karl Panek
Godina izgradnje	1890. godina
Katnost	P + Pr + 2 + Ptk
Prosječan broj učenika i osoblja (razdoblje: 10 god.)	616

8.2.1. Analiza postojeće ovojnice zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić

Terenskim istraživanjem analizirano je stvarno stanje ovojnice i napravljen proračun kretanja topline, vodene pare i toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. Fotodokumentacija pokazuje da je stanje netransparentnih dijelova ovojnice vizualno zadovoljavajuće, jer je zgrada djelomično rekonstruirana 1997. godine. Vanjski otvori su prvobitnog oblika s dvostrukim prozorskim okvirima s jednostrukim ostakljenjem u drvenim profilima. Isti su u lošem stanju (oštećenja, loše veze između stakla i okvira, okvira i krila – velika infiltracija, nefunkcionalni okovi, zaštita drveta oštećena i istrošena) zbog starosti veće od 40 godina. Funkcionalni aspekt otvora je upitan zbog nemogućnosti potpunog otvaranja i zatvaranja pojedinih elemenata, što sprječava kontrolirano vjetrenje unutarnjeg prostora i čišćenje staklenih površina.

Analizirajući ukupne toplinske gubitke na otvorima došlo se do zaključka da pojedini otvori imaju izrazito visoke U-vrijednosti ($5,07 \text{ W/m}^2\text{K}^{301}$), s izraženim ventilacijskim gubitcima zbog fizičkih oštećenja (Fotografije 8.2. – 8.5.).



Fotografija 8.2. – 8.5. Pogled ovojnice JU OŠ Safvet-beg Bašagić i grad Sarajevo, (07.07.2012.)

U tablici br. 8.2. obrađeni su svi stvarni podatci o geometrijskim karakteristikama zgrade, dobiveni na osnovi analize projektne dokumentacije i terenskog snimanja postojećeg stanja zgrade

Tablica 8.2. Geometrijske karakteristike zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

	Površina korisnog prostora (m^2)	Volumen zraka u tretiranom prostoru (m^3)	Svijetla visina korisnog prostora (m')
Etaža prizemlja	357,13	1589,22	4,49
Etaža I. kata	359,51	1617,79	4,49
Etaža II. kata	360,61	1622,74	4,49
Etaža potkrovlja	360,61	937,58	2,60
Etaža podruma	148,45	440,24	2,96

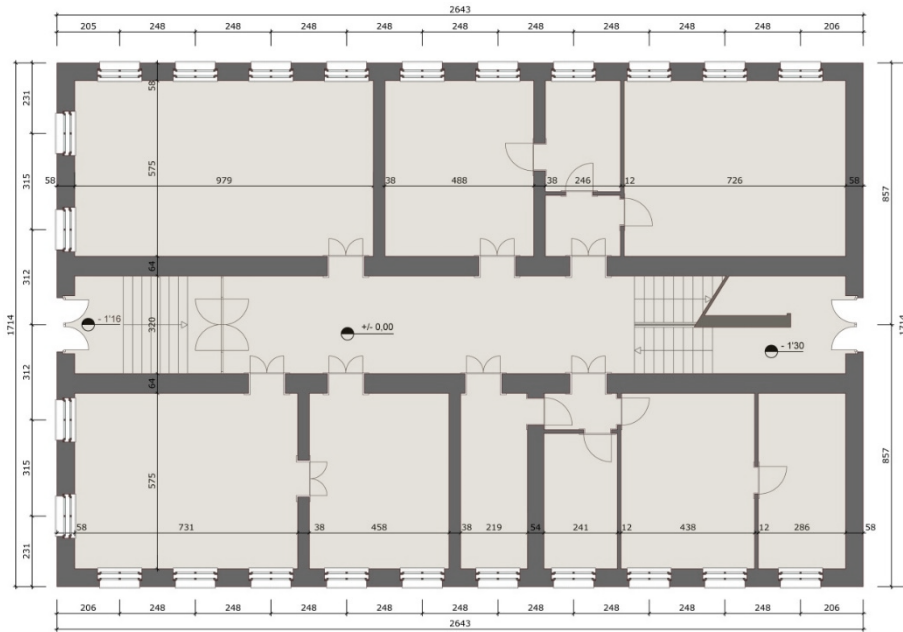
³⁰¹ Kretanje topline i vodene pare određeno je na osnovi standarda JUS i iskustva te je sasvim jasno da uslijed velikih fizičkih oštećenja (fotografije 8.2.-8.5.) nastaju visoke U-vrijednosti.

Ukupno	1586,31	6207,57	
Podatci za ovojnicu (membranu između energetski tretiranog i netretiranog prostora)			
	Netransparentna ploha (m ²)	Transparentna ploha (m ²)	Ukupno (m ²)
Sjeverna fasada	406,30	115,50	521,80
Istočna fasada	261,10	60,90	322,00
Južna fasada	407,70	115,50	523,20
Zapadna fasada	301,90	20,60	322,50
	1376,90	312,50	1689,40
Kosi krov			532,00
Pod na tlu			453,00
Ukupna površina ovojnice (m ²)			2674,40

Faktor oblika zgrade predstavlja odnos površine ovojnice zgrade i volumena grijanog prostora koji utječe na energetske potrebe. Faktor oblika spomenute zgrade je 0.29, što govori o dobro koncipiranom odnosu vanjskog plašta i korisnog volumena unutrašnjeg prostora. Ustanovljeno je da nadogradnja zgrade nije dokumentirana u obliku projektne dokumentacije i nije poznato kakvim i kojim debljinama materijala su radovi izvršeni. Napravljene su sonde (uzeti uzorci) u vanjskim zidovima i krovnoj strukturi kako bi se mogla izvršiti analiza ugrađenih materijala. Zaključak do kojeg se došlo je taj da spomenuta sanacija ovojnice nije u obzir uzela energetska učinkovitost s obzirom da se radi o visokim U-vrijednostima i nestacionarnim³⁰² tokovima vodene pare.³⁰³ Odnosi u fasadnoj strukturi su na tri fasade skoro jednaki tj. jedna petina ukupne površine su transparentne površine osim na zapadnoj fasadi koja je 94% netransparentna. Velika količina sunčeve energije koja trenutno može nekontrolirano ući u unutarnji prostor predstavlja izazov u pronalasku rješenja za transformaciju u pogledu korištenja sunčeve energije za potrebe zgrade, hlađenje i grijanje. Dalje, urađena je i digitalizacija kompletne postojeće projektne dokumentacije računalnim programom AutoCad 2014 (Fotografija 8.6. i 8.7. prikazuju dijelove digitalizirane projektne dokumentacije), kako bi se svi podatci o zgradi učinili pristupačnijim za upravljanje, tj. simulaciju ukupne potrebne energije za zgrade, emisije CO₂ i izradu modela transformacije.

³⁰² Sfera = 1.5, kocka A= 3, valjak = 2

³⁰³ Proračuni U-vrijednosti i toka vodene pare napravljeni su pomoću računalnog programa Novolit 2009 (HRN EN ISO 13799:2008) i provjereni osobnim računanjem.



Fotografija 8.6. i 8.7. S Nact: tlocrt etaže prizemlja i južna fasada zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, digitalizirana postojeća projektna dokumentacija Sarajevo

Rezultati analize ovojnice zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić pokazali su da je zgrada materijalizirana s 5 različitih kombinacija slojeva u ovojnici i četiri tipa vanjskih otvora. Prvi tip su vanjski zidovi na etažama prizemlje, I. i II. kat i nazvani su vanjski zid TIP1 i izvedeni su s punom industrijskom opekom i vapneno-cementnom žbukom s obje strane, a ukupna debljina zida je 58 cm. Koeficijent prolaska topline je $U = 1,03 \text{ W/m}^2\text{K}$, tok vodene pare nije stacionaran i masa zida je 1056 kg/m^2 , što je veće od 100 kg/m^2 ³⁰⁴ ogradne plohe te zadovoljava parametar toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. U kontekstu arhitektonske fizike parametri nisu zadovoljeni te je potrebna sanacija kompletne ili dijelova ove pozicije. Ukupna površina pozicije vanjski zid TIP1 u ovojnici je $1.028,3 \text{ m}^2$.

Vanjski zid TIP2 izveden je na dograđenom dijelu zgrade, s gledišta vizualnog identiteta intervencija je napravljena u etaži potkrovlja i nije narušila prvobitni izgled. Zidovi su izvedeni sa šupljim glinenim termo blokom debljine 25 cm i EPS³⁰⁵

³⁰⁴ Povećanjem mase zida povećava se i njegov toplinski kapacitet te je samim time zid u ljetnom razdoblju u mogućnosti apsorbirati veću količinu toplinske energije u sebe.

³⁰⁵ EPS – ekspandirani poliestiren

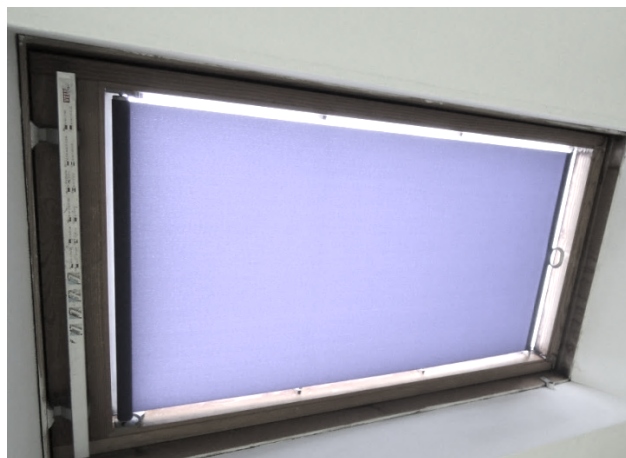
termoizolacijom od 5 cm te je ukupna debljina zida 32 cm. Koeficijent prolaska topline je $U = 0,57 \text{ W/m}^2\text{K}$, tok vodene pare je stacionaran i masa zida je 444 kg/m^2 , što zadovoljava parametar toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. S gledišta kretanja topline i vodene pare, potrebna je sanacija zidova, čija je površina $184,7 \text{ m}^2$.

Vanjski zidovi koji se nalaze u tlu vanjski zid TIP3 materijalizirani su prirodnim kamenom debljine 50 cm i unutrašnjom vapneno-cementnom žbukom u debljini od 3,0 cm. Projektna dokumentacija ne pokazuje je li s vanjske strane ugrađena hidroizolacija. S druge strane, s unutrašnje strane zidova nema vidljivih znakova pojave vlage, $U = 1,98 \text{ W/m}^2\text{K}$ i izračunata je U-vrijednost s pretpostavkom da nema vlage unutar slojeva. Ukupna površina stavke je $163,9 \text{ m}^2$.

Ukupna površina pozicije pod na tlu je $453,0 \text{ m}^2$, a $U = 2,13 \text{ W/m}^2\text{K}$. To ukazuje da je potrebna sveobuhvatna sanacija, ali zbog kompleksnosti izvođenja radova upitna je ekonomska isplativost mjere energetske učinkovitosti s gledišta ekonomske održivosti. Rekonstrukcija slojeva unutar podne strukture zahtjeva izrazito velika ekonomska ulaganja zbog složenosti izvođenja. Također treba naglasiti da su transmisijski toplinski gubitci veliki tijekom zimskog razdoblja, a u ljetnom razdoblju bi visoka U-vrijednost mogla imati i pozitivne učinke energetske uštede jer bi u određenim vremenskim razdobljima doprinijela smanjenju potrebne energije za hlađenje.

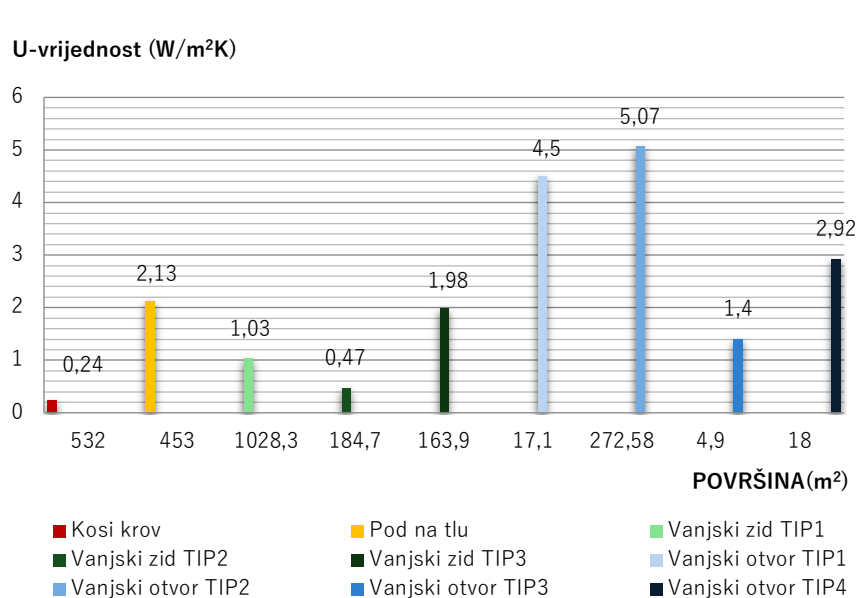
Pozicija kosi krov ima dobra termička svojstva. $U = 0,2447 \text{ W/m}^2\text{K}$. Međutim, problem se javlja u ljetnom razdoblju, jer toplinska stabilnost konstrukcije na ljetni režim nije zadovoljena zbog ukupne mase slojeva manje od 100 kg/m^2 i nepostojanja ventilirajućeg sloja iznad toplinske izolacije u krovnoj strukturi.

Srednji koeficijent prolaska topline za netransparentni dio ovojnice je $U = 1,09 \text{ W/m}^2\text{K}$, $P = 2361,9 \text{ m}^2$, a izdvojeno za pozicije vanjskih zidova $U = 1,07 \text{ W/m}^2\text{K}$, $P = 1376,9 \text{ m}^2$.

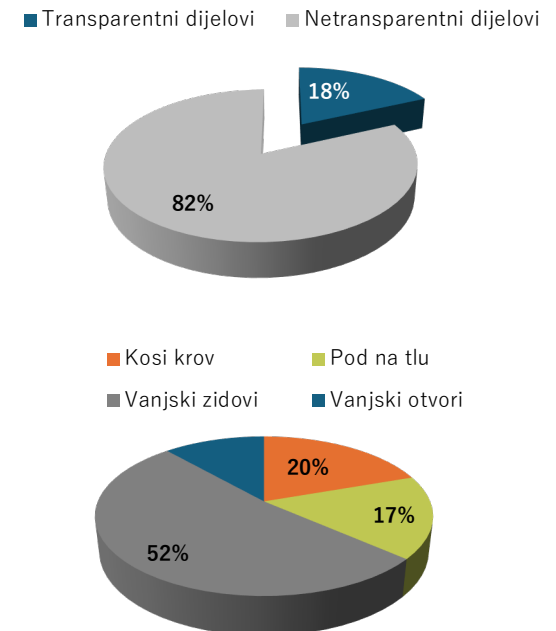


Fotografije 8.8 i 8.9. Fizička oštećenja vanjskih otvora zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić (07.05.2012.)

Vanjski otvori su fizički oštećeni djelovanjem vanjskih i unutarnjih utjecaja te je neophodna njihova potpuna zamjena. Na zgradi se nalaze četiri tipa fasadnih otvora i jedan krovni. Koeficijenti prolaska topline kreću se od 1,4 W/m²K do 5,07 W/m²K. Potrebno je naglasiti da se radi o pretpostavci koja je dobivena na osnovi tablica o standardnim vrijednostima koeficijenta toplinske vodljivosti (λ) za ugrađene materijale. Ventilacijske gubitke nije moguće točno izmjeriti zbog velikih fizičkih oštećenja te je urađena pretpostavka, da su U-vrijednosti izuzetno visoke (fotografije br. 8.8 i 8.9). Ventiliranje unutrašnjeg prostora je konstantno zbog pukotina na krilima i spojevima između stakla i krila, ali i zbog nekontroliranog otvaranja prozora od strane djece i nastavnika tijekom zimskog razdoblja. Srednji koeficijent prolaska topline za sve vanjske otvore je $U = 4,86$ W/m²K, a površina je 312,58 m². $U = 1,08$ W/m²K, a srednja U-vrijednost za kompletnu ovojnicu iznosi 1,53 W/m²K. Dijagram 8.1 prikazuje stvarne U-vrijednosti za sve pozicije u ovojnici i odnose površina.



Dijagram 8.1. Odnos površina i U-vrijednosti u kompletnoj ovojnici zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu



Dijagram 8.2. – 8.3. Struktura površina u ovojnici zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

Konačni rezultat analize stvarnog stanja ovojnice ove zgrade pokazao je da je potrebno napraviti rekonstrukciju i sanirati sve pozicije, naročito pozicije vanjskih otvora, zadovoljavajući pri tom elemente energetske učinkovitosti. Dijagrami 8.2. i 8.3. pokazuju postotnu zastupljenost pojedinih ploha u ovojnici, gdje se ističu odnosi staklenih dijelova i punih ploha. Vanjski otvori zauzimaju 11% površine u kompletnoj ovojnici, što otvara veliki potencijal u smanjenju potrošnje energije i kontroliranom generiranju sunčeve

energije. Transformacija ovojnice će u velikoj mjeri ovisiti o mogućnosti rekonstrukcije vanjskih vidljivih dijelova ovojnice, jer se radi o zaštićenoj zgradi s gledišta očuvanja njenog prvobitnog arhitektonskog oblikovanja.³⁰⁶

8.2.2. Analiza ukupnih energetske potrebe zgrade JU OŠ Safvet – beg Bašagić

Na osnovi dostupne projektne dokumentacije zgrade, obrađenih nacрта, terenske analize unutrašnjeg prostora i rezultata analize ovojnice pristupilo se analizi ukupnih energetske potrebe zgrade. Napravljena je simulacija energetske potrebe uz pomoć računalnog programa *ENSI EAB Software BIH v.8.1 i Novolit 2009*.³⁰⁷ Obrađeni su svi neophodni podatci kako bi mogle biti detaljno proračunate ukupne energetske potrebe, a to su: grijanje, hlađenje, priprema tople vode, rasvjeta i ostali električni potrošači.

Proračun potrebne toplinske energije za grijanje

Energija se u prostorijama distribuira jednodjelnim radijatorskim sustavom povezanim na lokalnu energetsku mrežu. Spomenuta zgrada ima priključnu stanicu, tj. mjesto regulacije tlaka u sustavu (fotografija 8.10a), ali u istoj ne postoji kalorimetar. Najveća mana primijenjenog sustava je nemogućnost mjerenja stvarnog utroška energije i činjenica da se plaćanje vrši paušalno (po m² korisne površine). Kako bi dobiveni rezultati bili potvrđeni/djelomično provjereni i aplikativni u razradi modela transformacije, urađeno je termovizijsko snimanje ovojnice (analiza zatečenog stanja ovojnice) i anketiranje učenika o kvalitetu komfora unutrašnjeg prostora. Spomenuto je od velikog značaja za cjelokupno sagledavanje stanja kvalitete komfora unutarnjeg prostora. Točnije, postavljaju se sljedeća pitanja: postoji li vrijeme kada je prostor pregrijan ili premalo zagrijan, kakva je kvaliteta zraka s gledišta koncentracije štetnih plinova, osvjetljenost, itd.). Na osnovi proračuna potrebne energije za grijanje urađene u spomenutom računalnom programu dobiven je rezultat od 172,0 kWh/m²/god³⁰⁸ ili ukupno na godišnjoj razini 272.845,32 kWh. Obuhvaćene su energetske potrebe nastale uslijed transmisijских i ventilacijskih gubitaka.

³⁰⁶ Komisija za očuvanje nacionalnih spomenika BiH, na osnovi Članka 5. stav 4. Aneksa 8. Općeg okvirnog sporazuma za mir u Bosni i Hercegovini i Članka 39. stavak 1. Poslovnika o radu Komisije za očuvanje nacionalnih spomenika, na sjednici održanoj 11. Ožujka 2011. godine, donijela je odluku da se graditeljska cjelina školskih zgrada iz Gimnazijske ulice u Sarajevu proglašava nacionalnim spomenikom Bosne i Hercegovine.

Graditeljska cjelina obuhvata tri školska objekta:

- a) Zgrada I. Gimnazije (Realna gimnazija),
- b) Zgrada Osnovne škole (Učiteljska škola) kod Drvenija mosta,
- c) Umjetnička škola (Mala realka). Izvor: www.kons.gov.ba (24.02.2013.).

³⁰⁷ Program *ENSI EAB Software BIH v.8.1* je razvila ENSI kompanija (*Energy Savings AS international*), a oslonjen je u potpunosti na dvije europske direktive, Direktiva 2006/32/EC i Direktiva 2002/91/EC, a algoritam za proračun na standard EN ISO 13790:2008, na isti standard je oslonjen i računalni program *Novolit 2009*, Izvor: www.ensi.no. U popisu standarda i propisa nalaze se svi koji su korišteni u spomenutom računalnom programu. Izvor: doktorski rad Bradić: 2014.

³⁰⁸ Podatak preuzet iz rezultata proračuna koji se nalaze u prilogu rada, prilog br. 8.1. Proračun toplinskih gubitaka (transmisijских i ventilacijskih) je napravljen na osnovi karakteristika vanjskih otvora i vanjskih zidova. Za vanjske otvore uzet je *Solarni faktor* (eng. SHGC *Solar Heat Gain Coefficient*) od 0,54 do 0,78, infiltracija 1,0., Izvor: Gelfand, 2010: 122.

Tablica 8.3. Toplinski gubitci proračunati pomoću *ENS/ EAB softvera* zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu

	I	II	III	IV		IX	X	XI	XII
	Φ_T Transmisijski gubitci, 235451,16 W/godina (66 % od ukupnih)								
A	16285,08	15775,88	12728,91	6459,34	37 %	792	6151,7	11209,55	16562,08
B	16242,64	15734,77	12695,74	6442,51	36 %	790	6135,67	11180,34	16518,92
C	1411,22	1367,1	1103,05	559,75	4 %	68,6	533,09	971,39	1435,23
D	10664,74	10331,27	8335,88	4230,08	23 %	519	4028,61	7340,88	10846,14
	Φ_V Ventilacijski gubitci, 123149,82 W/godina (34 % od ukupnih)								
	23329,37	22599,9	18234,93	9253,4		1135	8812,68	16058,36	23726,18

- A - vanjski zidovi, B - vanjski otvori, C - krovne plohe, D - pod na tlu
- I, II, III... - mjeseci u godini
- Ukupni toplinski gubitci su: $\Phi = \Phi_T + \Phi_V = 358.600,98$ W/god.

Iz tablice 8.3 se vidi da čak 66% ukupnih toplinskih gubitaka čine transmisijski gubici. Transmisijski gubici u najvećoj mjeri nastaju kroz vanjske zidove i vanjske otvore što upućuje na važnost adekvatne transformacije vidljivih dijelova ovojnice zgrade.



Fotografije 8.10. Zgrada JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, (a) priključna stanica, (b) kupaonice, (c) rasvjeta, (07.05.2012.)

Proračun potrebne toplinske energije za hlađenje

unutarnji prostor se trenutno ne tretira s gledišta hlađenja zraka i u tom smislu nije moguće napraviti analizu stvarnog utroška energije. Napravljen je proračun na osnovi priljeva sunčeve energije kroz ovojnicu u unutarnji prostor³⁰⁹ koji ovisi od njenih termičkih svojstava i količine priljeva sunčeve energije, a koji je dao konačan rezultat potrebne toplinske energije za hlađenje cjelokupnog unutarnjeg prostora od: 11,23 kWh/m²/god. ili 17.821,00 kWh/god. Analiza potrebne energije za hlađenje je izvedena putem kalkulacije u računalnom programu *Novolit 2009*.

Proračun potrebne toplinske energije za pripremu tople vode

Centralna priprema tople vode ili neki oblik kontrolirane pripreme tople vode u zgradi ne postoji. U sanitarnim blokovima za učenike nije izvedena instalacija tople vode, a jedino mjesto u zgradi gdje se nalazi električni bojler je kuhinja. O stvarnom utrošku energije nije moguće govoriti, jer djeca i ne koriste istu, već se može napraviti simulacija. Simulacija utroška energije definirat će količinu potrebne energije za danu stavku. Proračun je napravljen na osnovi broja učenika i nastavnog plana (broj sati tjelesnog odgoja, navike učenika, itd.) te je dobiven rezultat od 20,9 kWh/m²/god.³¹⁰ Obuhvaćeni su: osobna higijena učenika (tuširanje i pranje ruku), kuhinjske aktivnosti (priprema jela i održavanje higijene) i održavanje čistoće zgrade. Ukupna potrebna energija za pripremu tople vode ovisi i od odgoja učenika u pogledu energetski učinkovitog korištenja tople vode, naročito tijekom tuširanja i pranja ruku.

Tablica 8.4. Instalirana snaga za umjetno osvjetljenje u zgradi JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu

	VRSTA rasvjetnog tijela	Instalirana snaga (W)	POSTOTAK (%)
1	Fluorescentna rasvjeta	8208	91
2	Žarulja sa žarnom niti	840	9
UKUPNO		9.048	

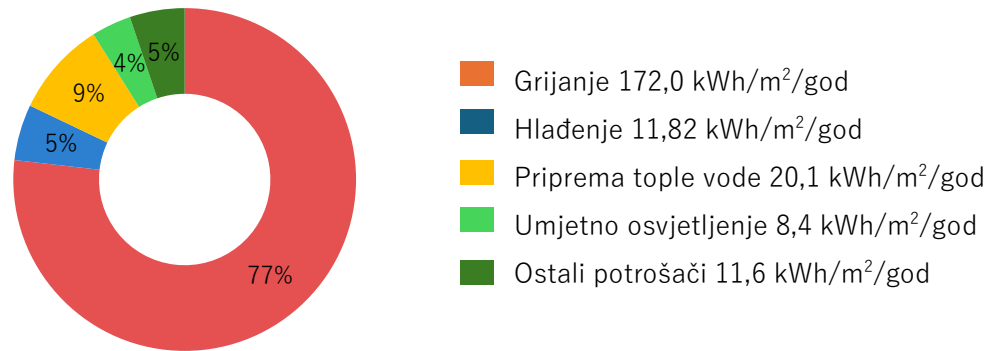
Ukupna instalirana snaga je 5,7 W/m². Proračunata energetska potreba za rasvjetu je 8,4 kWh/m²/god., tj. 13.325,00 kWh ukupno na godišnjoj razini. Tehnička oprema u školi (računala, pisači, skeneri, kuhinjski aparati, strojevi za pranje itd.) su vremenski dotrajali i njihova energetska učinkovitost je mala te je potrebno izvršiti plansku zamjenu svih aparata što će biti prilagođeno potrebama nastavnog plana. Rezultat će biti povećanje broja računala, a njihov pojedinačni razred energetske učinkovitosti je važan segment pri izboru novih uređaja. Ukupno je za umjetno osvjetljenje i sve ostale potrošače električne energije potrebno

³⁰⁹ Priljev sunčeve energije u unutarnji prostor kroz ovojnicu ovisi o U-vrijednosti i temperature vanjskog zraka, a kroz netransparentne plohe mogu dostići vrijednost do 35W/m², a za transparentne plohe to ovisi o *solarom faktoru* i stupnja propustljivosti sunčeve svjetlosti (pasivna zaštita) te može dostići vrijednost do 250 W/m². Izvor: Hegger, Fuchs, Zeumer, 2008: 97.

³¹⁰ Podatak preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014

20 kWh/m²/god.³¹¹ energije na godišnjoj razini.

Ukupne energetske potrebe zgrade su 223,92 kWh/m²/god, a proračunom je obuhvaćeno sljedeće:



Dijagram 8.4. Ukupne energetske potrebe zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

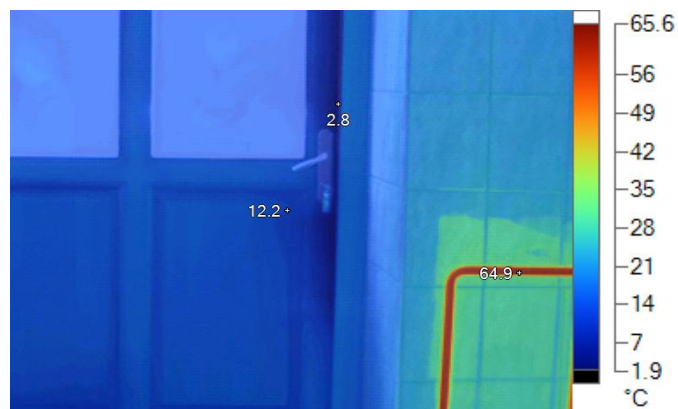
Dobivenu vrijednost energetske potrebe nije moguće usporediti sa stvarnim utroškom energije za razdoblje od protekle tri godine. Zgrada nije energetske tretirana samostalno, nego je priključena na centralnu kotlovnici koja snabdijeva tri zgrade u okolini toplinskom energijom. Končani rezultat jasno definira zgradu kao visokog potrošača energije. Analiza koja slijedi obuhvatila je ispitivanje ovojnice pomoću termovizijske kamere u svrhu sagledavanja kretanja topline kroz istu, što je kroz dodatna analiziranja (fotodokumentacija, proračuni U-vrijednosti) dokazano.

³¹¹ Podatak preuzet iz proračuna koji se nalazi u prilogima Doktorskog rada, izvor: doktorski rad Bradić: 2014

8.2.3. Analiza postojeće ovojnice pomoću termo-vizijske kamere

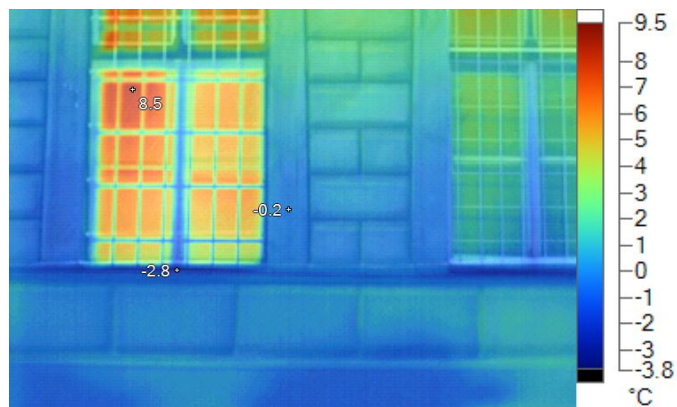
Fotografija 8.11.

Termovizijska snimka servisnih ulaznih vrata
 s unutarnje strane u JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 Broj snimke: IR 20121212_0104.is2 (12.12.2012., 15:41)



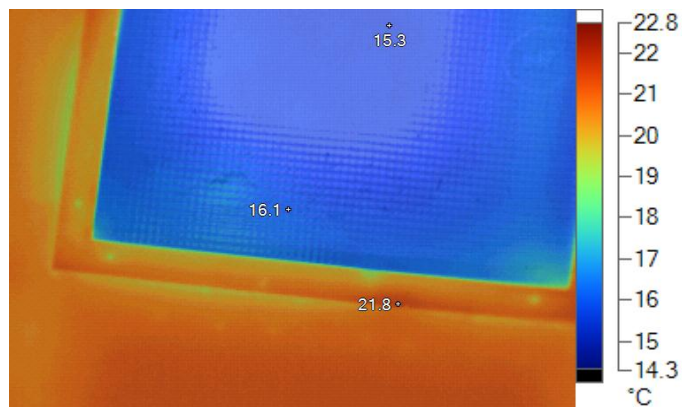
Fotografija 8.12.

Termovizijska snimka sjeverne fasade
 s vanjske strane JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 Broj snimke: IR 20121212_0106.is2 (12.12.2012., 15:43),



Fotografija 8.13.

Termovizijska snimka svjetlarnika s unutarnje strane u
 potkrovlju JU OŠ Safvet-beg Bašagić
 Broj snimke: IR 20121212_0119.is2 (12.12.2012., 15:52),

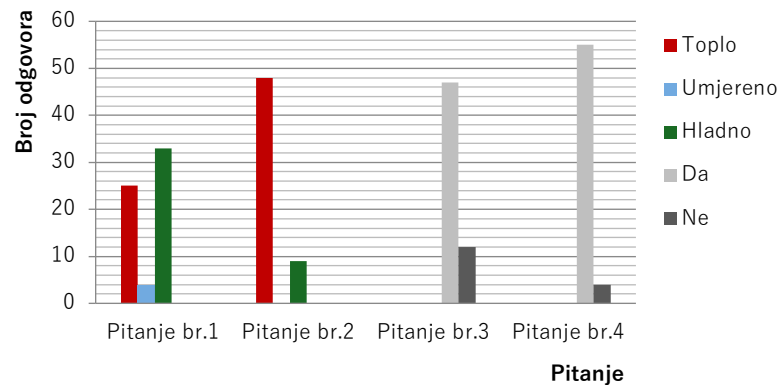


Termovizijske snimke³¹² dokazuju pretpostavku koja je uočena kroz fotodokumentaciju i terensko istraživanje, a to je da se ključni energetske gubitci na ovojnici zgrade nalaze na vanjskim otvorima. Također, vidljivi su i gubitci topline na saniranim dijelovima ovojnice (vanjski zidovi), kao i poziciji PVC vanjskih vrata prema dvorištu. Mjerenje je provedeno pri temperaturi vanjskog zraka - 4 ° C i unutrašnjeg od +19 - 22 ° C. Fotografije od 8.11. do 8.13. ukazuju na velike toplinske gubitke kroz ovojnicu i potvrđuju stanje prikazano fotodokumentacijom i proračunom U-vrijednosti za sve pozicije ovojnice.

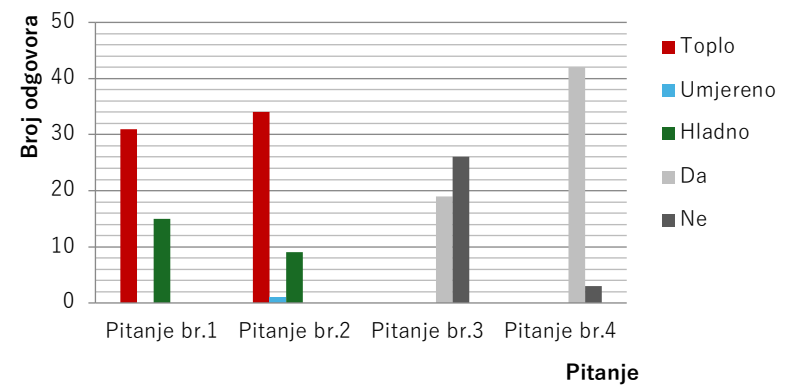
8.2.4. Anketa učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutrašnjeg prostora

Anketa učenika JU OŠ Safvet-beg Bašagić provedena je 22.11.2012. godine kod dva različita uzrasta: djece devetih razreda, starosne dobi od 14 do 15 godina (62 učenika) i djece petih razreda, starosne dobi između 11 i 12 godina (46 učenika). Ukupan broj anketiranih učenika je 108, a u anketi su postavljena četiri pitanja, čija je struktura prilagođena uzrastima ispitanika (Dijagrami 8.5 i 8.6).

1. U školskim učionicama zimi je? **Toplo, hladno ili umjereno**
2. U školskim učionicama ljeti je? **Toplo, hladno ili umjereno**
3. Je li u učionicama, sportskim dvoranama i kabinetima zagušljivo? **Da ili ne**
4. Jesu li učionice dovoljno osvijetljene u večernjim satima? **Da ili ne**



Dijagram 8.5. Rezultati ankete djece uzrasta devetih razreda u OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu



Dijagram 8.6. Rezultati ankete djece uzrasta petih razreda u OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

³¹² Sve termovizijske snimke snimljene su s *FLUKE TIR4-ir fusion technology* kamerom, koja je vlasništvo Laboratorija za arhitektonsku fiziku Arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu.

Stanje komfora unutarnjeg prostora zatečeno prilikom terenskog istraživanja je i u vizualnom kontekstu moglo biti definirano kao neprihvatljivo zbog očitih neadekvatnih higijensko-tehničkih uvjeta za boravak djece (vidljivo u fotodokumentaciji). Ovo je potvrđeno i rezultatima ankete kroz subjektivan stav i osjećaj o kvaliteti unutrašnjeg prostora. Prvenstveno nije zadovoljena kvaliteta unutarnjeg zraka s gledišta temperature, relativne vlažnosti i zagušljivosti, jer ne postoji kontrolirani ventilacijski sustav, nego se ventiliranje prostora vrši putem vanjskih otvora koji su definirani kao nefunkcionalni. Naročit problem javlja se u etaži potkrovlja, gdje za ventilaciju služe krovni otvori čija upotrebljivost ovisi o vanjskim utjecajima (vjetar, kiša, snijeg i sunčeva radijacija) što znači da su ovi otvori većinu vremena zatvoreni. Provedena anketa pokazuje da je unutarnji zrak previše topao tijekom cijele godine i zagušljiv, naročito u etaži potkrovlja.

Drugi problem je nedovoljno prirodno osvjetljenje u zimskom razdoblju u učionicama u etaži potkrovlja, jer se na krovnim otvorima nalaze unutrašnja sjenila koja su stalno aktivna zbog zaštite od prekomjernog sunčevog zračenja. Prostor je pod stalnim umjetnim osvjetljenjem, što ne zadovoljava zdravstvene uvjete boravka djece. Higijenski aspekt gledan kroz opskrbu toplom vodom nije zadovoljen, jer ne postoje instalacije tople vode u sanitarnim blokovima za učenike. Učenici nemaju mogućnost korištenja tople vode, nego su prisiljeni sve svoje higijenske potrebe zadovoljavati hladnom vodom.

Tijekom istraživanja provedeni su i intervjui s nastavnim osobljem koje je na osnovi iskustva u korištenju zgrade okarakteriziralo vanjske otvore kao nefunkcionalne i loše, da je trenutni sustav grijanja učinkovit (pri tom referirajući se samo na toplinu u zimskom razdoblju i uredno funkcioniranje sustava), da topla voda postoji djelomično u sanitarnim blokovima, da je unutarnji zrak s aspekata arhitektonske fizike (temperatura i relativna vlažnost) nezadovoljavajući te da je umjetna rasvjeta kvalitetna. Istaknut je problem ventilacije prostora u etaži potkrovlja, gdje je otežano odvijanje nastave tijekom čitave godine.



Fotografija 8.14. Zgrada JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, učionica u etaži potkrovlja, (07.05.2012.)



Fotografija 8.15. Zgrada JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, sanitarni blok u etaži potkrovlja, (07.05.2012.)

8.2.5. Zaključno razmatranje o stvarnom stanju zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić

Na osnovi svih provedenih analiza zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić dolazi se do zaključka da unutarnji komfor ne zadovoljava standarde higijensko tehničkih uvjeta upotrebljivosti unutrašnjeg prostora za osnovno obrazovanje kroz više točaka gledišta:

- Ovojnica zgrade je nefunkcionalna i ima prevelike toplinske gubitke energije naročito na pozicijama vanjskih otvora,
- Kvaliteta zraka je neprihvatljiva (koncentracija otpadnih plinova je povećana, postotak relativne vlažnosti, previsoka temperatura), sanitarni blokovi nisu u funkciji, nije zadovoljen standard provjetravanja, umjetno osvjetljenje djelomično zadovoljava propisane standarde. Uvjeti za boravak djece i praćenje nastave nisu zadovoljeni te je potrebna složena i sveobuhvatna transformacija zgrade,
- Zgrada nema suživot s okruženjem u kontekstu korištenja obnovljivih izvora energije.

Kao finalni rezultat energetske potreba trenutnog stanja zgrade definirana je vrijednost od 223,92 kWh/m²/god³¹³ (405 kWh/m²/god primarne energije), što klasificira kao zgradu s izrazito visokom potrošnjom energije, a samim time i visokom emisijom CO₂. U konkretnom primjeru postoje potencijali za kreiranje energetski učinkovite arhitekture, vidljivi u obliku transformacije ovojnice iz vrlo nefunkcionalne i neučinkovite u suvremeni koncept generiranja i kontroliranja kretanja energije kroz ovojnicu, te redizajn i reprogramiranje sustava za tretiranje unutrašnjeg zraka (sustavi grijanja, vjetrenja, hlađenja, rasvjeta i ostalih potrošača) koji moraju služiti u svrhu kreiranja boljeg arhitektonskog komfora za boravak djece i smanjenje emisije CO₂.

Imajući u vidu da zgrada nije prilagođena okruženju u pogledu iskorištavanja obnovljivih izvora energije, niti je kroz svoj životni vijek pokazala energetski suživot s prostorom, otvara se niz mogućnosti za kreiranje transformirane postojeće arhitekture budućnosti

8.3. Modeli transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić

Rezultati analiza stvarnog stanja zgrade pokazali su da se radi o zgradi s velikim energetske potrebama (223,92 kWh/m²/god.) i ovojnicom koja ima visok srednji koeficijent prolaska topline 1,53 W/m²K i emisijom CO₂ 90,5 kg/m²/god. Potencijal transformacije zgrade iz zatečenog stanja u novi oblik energetske arhitekture vidljiv je u:

- Umanjenju ukupnih energetske potreba zgrade,
- Umanjenju emisije CO₂,
- Stvaranju boljih higijensko-tehničkih uvjeta za boravak djece,
- Kreiranju aktivnije relacije između zgrade i njenog okruženja u kontekstu energije,
- Kreiranju novog arhitektonskog identiteta.

³¹³ Energetski razred zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić je D, Izvor: Službene novine FBiH, br: 50/10, *Pravilnik o energetskom certificiranju objekata*, str.: 13.

8.3.1. Prvi model transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić

Činjenica da je ovu zgradu Komisija za Očuvanje Nacionalnih Spomenika Bosne i Hercegovine uvrstila u listu nacionalnih spomenika Bosne i Hercegovine definira dopuštene granice djelovanja u pogledu transformacije prvobitnog vizualnog identiteta. Narušavanje i izmjena prvobitnog izgleda u bilo kojem obliku je nedopustiva. Također, ova činjenica smanjuje opseg mogućnosti djelovanja s vanjske strane na kompletnoj ovojnici, što u velikoj mjeri otežava proces smanjenja U-vrijednosti na pozicijama vanjskih zidova. Na istim je moguće djelovati s unutarnje strane, ali uz odobrenje konzervatora, članova spomenute komisije i nastavnog osoblja škole (umanjenje korisnog prostora).

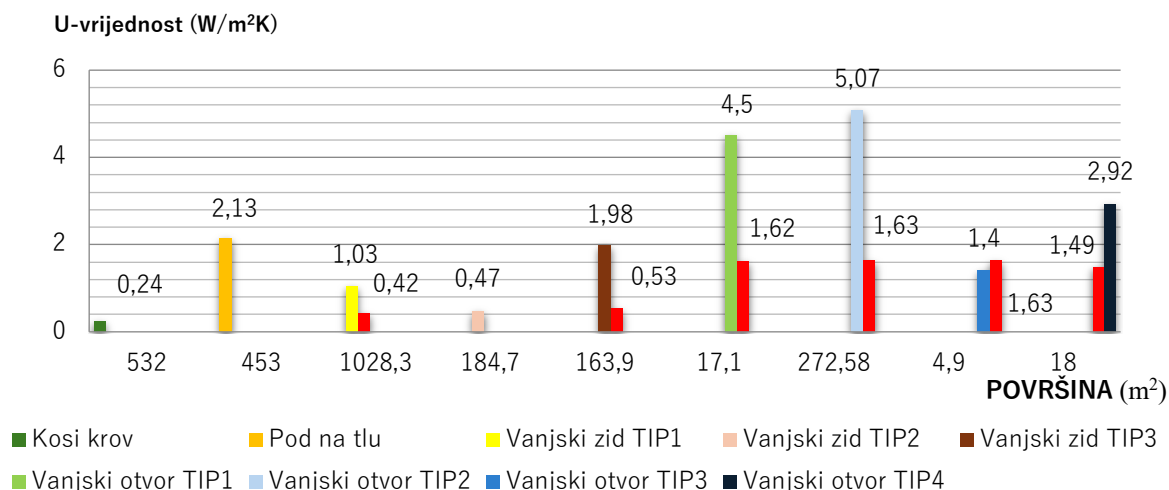
U tom smislu, modelom 1A transformacije zgrade primijenjena je toplinska izolacija (kamena vuna) s unutarnje strane vanjskih zidova u debljini 5,0 cm, čime je povećana debljina vanjskih zidova s unutrašnje strane, a smanjen korisni prostor. U svrhu pronalaska najpogodnijeg rješenja, u cjelokupan proces uključeno je nastavno osoblje te je provedena analiza pozitivnih i negativnih utjecaja na unutarnji prostor. Došlo se do zaključka da je primjena termoizolirajućih materijala u debljini od 5,0 cm s gledišta korištenja prostora prihvatljiva i da neće utjecati na odvijanje nastavnog procesa.

Pozicija kosog krova zgrade promatrana je kroz prizmu mogućnosti zamjene termoizolacije s ciljem povećanja ukupne težine te zamjena neventilirane strukture kosog krova u ventiliranu krovnu ljusku, što bi utjecalo na smanjenje pregrijavanja slojeva, a time i na unutarnji zrak etaže potkrovlja te u konačnici na smanjenje potrebne toplinske energije za hlađenje. Konačno, ako pretpostavimo da bi prilikom izvođenja radova vladali „idealni uvjeti“³¹⁴ primjene energetske mjera, ukupni rezultati smanjenja U-vrijednosti na ovojnici bili bi sljedeći:

- Vanjski zid TIP 1: $U = 0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- Vanjski zid TIP 3: $U = 0,53 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- Vanjski otvor VRATA: $U = 1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$,
- Vanjski otvor TIP 1,2,3: $U = 1,49 - 1,63 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Ostale pozicije u ovojnici nisu mogle biti transformirane bez otvaranja niza složenih radova na zgradi JU OŠ Safvet-beg Bašagić promatrano s gledišta ekonomske isplativosti i nepristupačnosti pozicije za izvođenje radova. Finalno, rezultat energetske uštede nastaje smanjenjem ukupnih toplinskih gubitaka kroz ovojnicu što pokazuju i nove vrijednosti srednjih koeficijenata prolaska topline: vanjski otvori s $4,86 \text{ W/m}^2\text{K}$ na $1,62 \text{ W/m}^2\text{K}$, a netransparentne plohe u ovojnici s $1,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ na $0,72 \text{ W/m}^2\text{K}$. (Dijagram br. 8.7), pokazuje umanjenja U-vrijednosti pozicija vanjskih zidova i vanjskih otvora nakon utopljivanja ovojnice. U dijagramu 8.7. crvena boja označava nove U-vrijednosti nastale nakon primjene novih termoizolirajućih slojeva u vanjskim zidovima i zamjenom vanjskih otvora.

³¹⁴ *Idealni uvjeti*, vremenski, sposobnost i umijeće izvođenja radova u skladu s opisanim pravilima od strane proizvođača i dostupnost materijala.



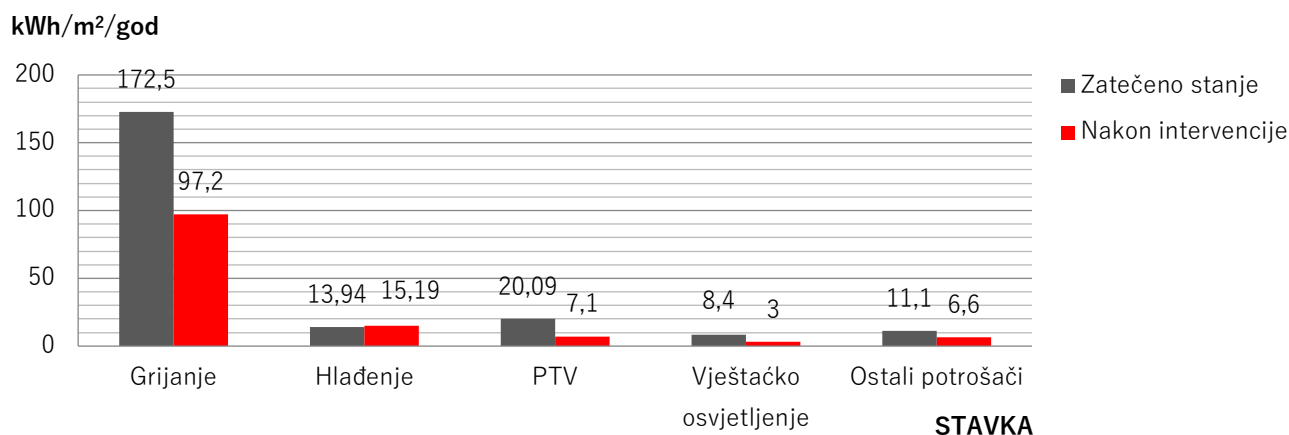
Dijagram 8.7. Umanjenja U-vrijednosti na pojedinim pozicijama ovojnice zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

Osim spomenutog, analiziran je tok vodene pare koji će biti poboljšán (stacionaran i prvobitna pojava kondenzacije vodene pare u slojevima eliminirana) uslijed ugradnje parne prane sa unutrašnje strane. Također, nedostatak pozicioniranja toplinske izolacije s unutrašnje strane je nešto što umanjuje mogućnost akumuliranja unutarnje topline u ovojnici, ali omogućava brže zagrijavanje unutrašnjeg zraka što za objekte javnog karaktera³¹⁵ može biti i pozitivna karakteristika. Zaključuje se da se prezentiranim mjerama energetske učinkovitosti mogu umanjiti transmisijski gubitci kroz vanjske zidove. Ugradnja novih termoizolirajućih slojeva s unutrašnje strane vanjskih zidova je prouzrokovala i nekoliko negativnih efekata: 1. ograničeno korištenje vanjskih zidova s unutrašnje strane (bušenje, montiranje elemenata namještaja, itd.), 2. povećán otpor prolazu vodene pare kroz strukturu zida što upućuje na kreiranje mehaničkog sustava ventiliranja unutrašnjeg zraka, 3. nema akumulacije topline s unutrašnje strane. Model transformacije 1A zgrade je srednji koeficijent prolaska topline ovojnice spustio s 1,57 W/m²K na 0,82 W/m²K, što u smislu protoka toplinske energije kroz istu, kako s unutarnje strane prema vani tako i suprotno, predstavlja dobar rezultat u pogledu ušteda potrebne energije i poboljšanju fizičke kvalitete ovojnice. Dijagram 8.8.³¹⁶ pokazuje rezultate proračuna ukupne energetske uštede nastale uslijed:

1. umanjénja transmisijskih i ventilacijskih gubitaka kroz ovojnicu,
2. instalacije nove LED rasvjete i 3. centralne pripreme tople vode s korištenjem solarne energije putem solarnih kolektora na krovu.

³¹⁵ Zgrade javnog karaktera se povremeno koriste te brže zagrijavanje unutrašnjeg prostora može imati pozitivne karakteristike na uštedu ukupne potrebne energije za grijanje.

³¹⁶ Svi rezultati dobiveni su na osnovi proračuna energetskih mjera u računarskom programu Ensi EAB BiH v.8.1. i Novolit 2009.



Dijagram 8.8. Simulacija energetske potrebe nakon izvršenih mjera transformacije zgrade (Model 1A)
JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

U stavci hlađenje (dijagram 8.8.) vidi se rast potrebne toplinske energije za hlađenje nakon umanjavanja srednje U-vrijednosti ovojnice, jer dolazi do nagomilavanja toplinske energije u unutrašnjem prostoru pod utjecajem prolaska sunčeve energije kroz staklene plohe.³¹⁷ Finalni rezultat energetske uštede zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić nakon primjene mjera energetske učinkovitosti (MODEL 1A) na godišnjoj razini je 96,94 kWh/m²/god. (153.776,89 kWh/god.), dok je emisija CO₂ smanjena za 36,4 kg/m²/god. (57,7 t/god.). tj. 40%. Ukupne energetske potrebe iznose 129,09 kWh/m²/god (204.776,75 kWh/god.), a emisija CO₂ je 54,1 kg/m²/god. (85,8 t/god.).

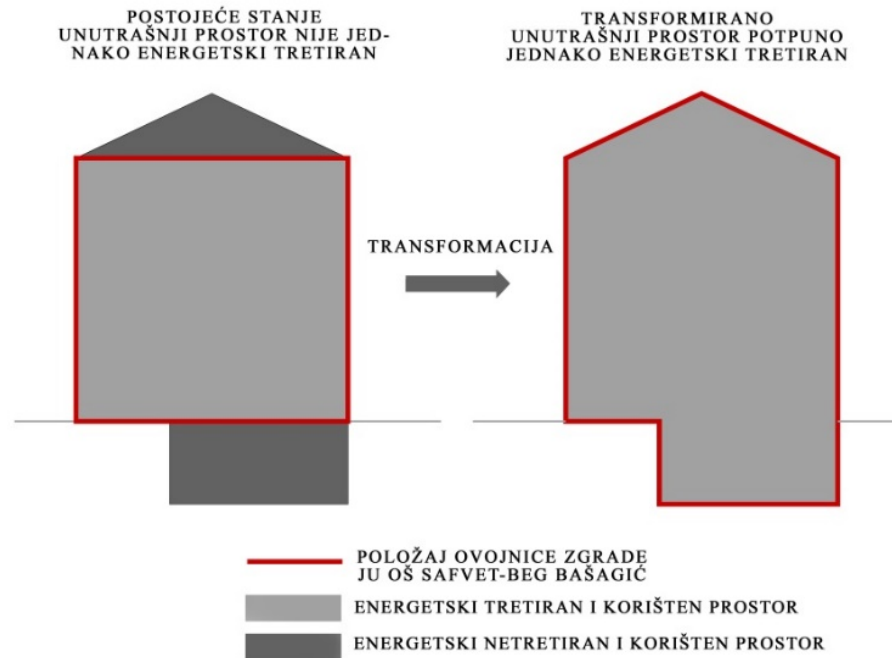
Segmenti zatečenog stanja zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić koji nisu obuhvaćeni Modelom transformacije 1A, a koji također predstavljaju potencijal u uštedama energije su:

- Položaj ovojnice između grijanog i negrijanog prostora i njeno izmještanje,
- Relacija između zgrade i okruženja u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije.

Kako je već spomenuto, ovojnica predstavlja granicu korištenog prostora, grijanog ili tretiranog s vanjskim prostorom ili s prostorima koji nisu tretirani ili grijani unutar zgrade, a ista se u ovom primjeru nalazi unutar fizičke strukture zgrade. Istraživanje unutrašnjeg prostora je ustanovilo postojanje „energetski mrtvih zona“ (prateći prostori u kojima se odvija nastavni proces), koji nisu pravilno energetski tretirani ili jednako kao i ostatak unutrašnjeg prostora (za razliku od ostatka zgrade). To su potkrovlje i podrum, koji se koriste ili aktivno ili povremeno (Fotografija 8.16.). Spomenute zone nisu jednako tretirane kao ostali dijelovi zgrade

³¹⁷ Iako je u proračunu uzet manji solarni faktor g za vanjske otvore ($g = 0,54$), zbog umanjavanja srednje U-vrijednosti i smanjenja infiltracije, dolazi do povećanja akumulirane topline u prostoru koja nije u stanju proći kroz ovojnicu prema vani istim intenzitetom kao prije poboljšanja toplinskih karakteristika iste.

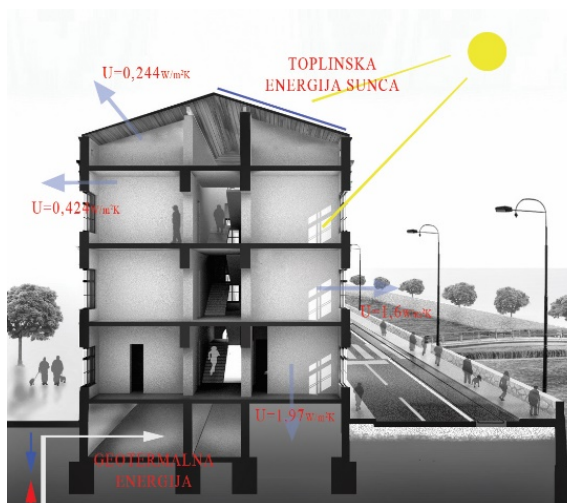
ni s gledišta zadovoljavanja higijensko-tehničkih uvjeta (temperatura unutrašnjeg zraka, relativna vlažnost, osunčanje, ventiliranje i stupanj zagušljivosti³¹⁸).



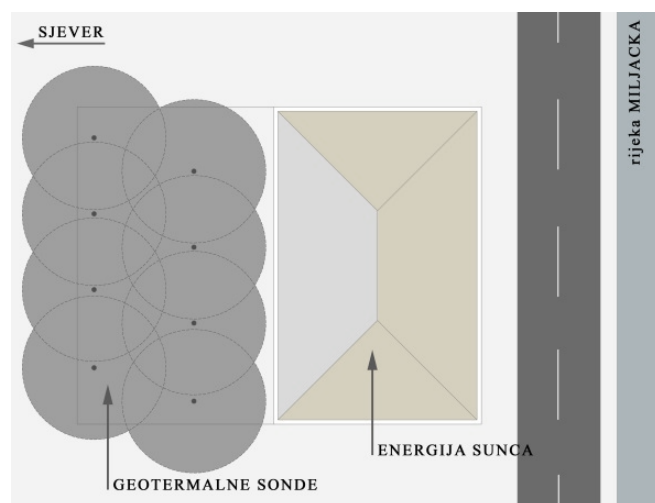
Fotografija 8.16. Transformacija načina korištenja unutarnjeg prostora i izmještanje postojeće granice JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu

Kreiran je i model transformacije 1B koji uspostavlja ujednačeno energetske tretiranje cjelokupnog prostora s ciljem stvaranja adekvatnog arhitektonskog komfora u cijeloj zgradi. Ovojnica se izmiješta s postojeće pozicije na novu poziciju tako da postaje ujedno i granica između vanjskog svijeta i korisnog unutrašnjeg prostora (fotografija 8.16.). Fotografija 8.17. predstavlja djelomično prilagođavanje zgrade okolini i energetskom suživotom, s nekim od oblika korištenja potencijala obnovljivih izvora energije na mikrolokalitetu. Prvi model, koji je opisan prethodno u tekstu, ne narušava prvobitni vizualni identitet zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić. Međutim, u smislu korištenja energije zgrada je i dalje loše klasificirana (energetski razred D), s ukupnim energetskim potrebama od 129,09 kWh/m²/god.

³¹⁸ Dokazano kroz analize zgrade, fotodokumentacija, anketiranje učenika i intervju s nastavnicima – pogledati analizu stvarnog stanja zgrade



Fotografija 8.17. Shema modela transformacije 1a i 1b, transformacija odnosa zgrade i okruženja, urađeno na stvarnom presjeku zgrade i okruženja JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu



Fotografija 8.18. Shema novog energetskega koncepta Zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu

S druge strane, MODEL 1B pretvara zgradu u aktivniju strukturu u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije. Koristi se sunčeva energija koja se putem solarnih kolektora instaliranih na južno orijentiranoj plohi kosog krova pretvara u toplinsku za pripremu tople vode. Osim sunčeve energije, lokacija zgrade omogućava i korištenje energije tla (pasivno grijanje i hlađenje) putem dubinskih sondi i dizalice topline (zemlja-voda). Dvorište zgrade ima površinu od 450 m² i može prihvatiti 8 dubinskih sondi (raspoređenih na međusobnom razmaku od 6 m), ili 800 m ukupne dužine sonde. Za cjelogodišnje razdoblje grijanja na ovaj način bi se proizvela ukupna toplinska energija od 57.600 kWh/god. ili 36,31 kWh/m²/god.³¹⁹ Fotografija 8.18 prikazuje finalnu shemu nakon primjene modela transformacije (1A i 1B), gdje su se energetske potrebe smanjile za 59%, odnosno godišnje energetske potrebe zgrade JU OŠ Hasan Kikić su svedene na 92,78 kWh/m², (147.177,84 kWh/god.). U kontekstu transformacija zaštićenih zgrada, neizostavno je spomenuti značaj kulturnog naslijeđa koji postavlja granice u dizajniranju i remodeliranju. S druge strane tu je novo doba u kojem se susrećemo s novim oblicima iskorištavanja i uštede energije i korištenja unutrašnjeg prostora, što zahtjeva slojevite i kompleksne transformacije zatečenog stanja. Postavlja se pitanje je li moguće uskladiti ova dva pristupa te tražiti zajednički stav, ili se kretati u suprotnom pravcu, tj. djelomično transformirati kulturno naslijeđe i ne zadovoljiti standarde energetske uštede i traženu kvalitetu komfora unutrašnjeg prostora. Spomenuto je iniciralo razvijanje modela transformacije (MODEL 2) što u konačnici otvara sveobuhvatnu diskusiju s više točki gledišta: vizualni identitet, povijesne vrijednosti arhitekture, energetska učinkovitost, emotivne vrijednosti, itd.

³¹⁹ Za Europu, energetskega potencijal tla kreće se od 40-80 W/m' geotermalne sonde. Količina dobivene energije zavisi od vrste tla, klimatske zone, energetske potrebe zgrade i učinkovitosti dizalice topline (cjelokupnog sustava). Izvor: Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, M., 2008: 121.

8.3.2. Drugi model (MODEL 2) transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić

Drugi model predstavlja transformaciju statične forme zgrade u aktivnu strukturu s ciljem zaštite od prekomjernog priljeva sunčeve energije u zgradu i dobivanja toplinske energije, tj. energetske aktivnog sloja ovojnice. Naime, prezentira se vizija kako i na koji način napraviti arhitektonsko oblikovnu kompoziciju ovojnice postojeće zgrade, a da to ujedno bude u skladu s propisima zaštite zgrada od povijesnog značaja. Fotografija 8.17 i 8.18 prikazuju koncepte gdje su energetske uštede od 59%, ali još uvijek energetske zahtjevu i energetske ovisnu građevinu.³²⁰ Ovaj problem se naročito odnosi na neriješene parametre buduće ovojnice koji se ogledaju u prevelikoj transmisiji sunčeve energije kroz staklene površine i njene transformacije u toplinsku energiju³²¹ (južna i istočna fasada). Spomenuto ima za posljedicu akumulaciju viška topline u unutrašnjem prostoru, tj. 15.19 kWh/m²/god. ili 24.106,00 kWh.³²² Postojeća ograničenja u mijenjanju vizualnog identiteta zgrade i materijalizacije ovojnice napravila su nepremostivu barijeru te se predlaže novi sloj ovojnice zgrada (fotografija 8.19), ili tzv. kinetička barijera. Kreirana je imajući u vidu dva faktora: energetske potrebe zgrade i energetske potencijal okruženja. Sve navedeno inicira nastanak novih arhitektonskih identiteta nad postojećim zgradama. MODEL 1 transformacije nije utjecao na postojeći arhitektonski identitet zgrade, dok MODEL 2 pretvara postojeći vizualni identitet u novi, suvremen i dinamičan oblik arhitekture.

Kinetička barijera predstavlja novi stakleni sloj s vanjske strane u obliku aktivnog paravana koji bi jedan dio sunčeve energije prije kontakta s granicom pretvorio u električnu, čime bi ujedno spriječilo pregrijavanje fasadnih slojeva orijentiranih prema istoku i jugu. Na ovaj način ovojnica bi postala složena i dinamična struktura (fotografije 8.19. - 8.21.), a uz pomoć automatiziranih sustava bi prepoznavala vanjske utjecaje³²³ i u skladu s unutarnjim potrebama adekvatno reagirala, tj. otvarala ili zatvarala kompletnu južnu i djelomično istočnu fasadu zgrade (fotografija 8.22.).³²⁴ Implementacijom navedenog,

postojeća zgrada je transformirana u arhitektonsku strukturu s minimalnim energetske potrebama, visoko kvalificiranim higijensko-tehničkim uvjetima, suvremenim (aktivnim i promjenjivim) vizualnim identitetom i novim konceptom relacije između zgrade i okruženja u kontekstu korištenja energije.

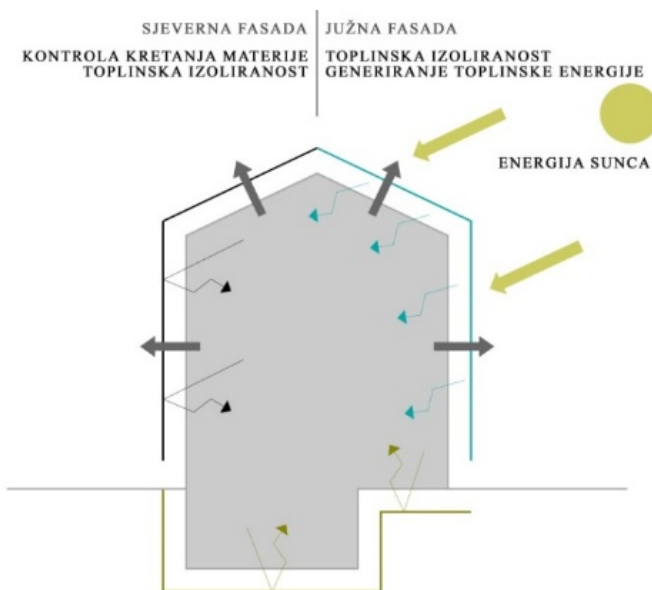
³²⁰ Zgrade u značajnom obimu ovise o energetskim mrežama, što je potrebno smanjiti, a u isto vrijeme i kreirati dodatni novi sloj kože zgrade, tj. ovojnice koji će omogućiti da postanu energetske autonomne.

³²¹ Godišnji priljev energije na ogradne plohe zgrade ovisi o geografskog položaja i nadmorske visine. Npr. na osnovi prikazane analize za grad Stuttgart moguće je vidjeti razlike ovisno o orijentaciji plohe u ovojnici te za ravni krov iznosi 1140 kWh/m², za jug 880 kWh/m², istok i zapad 770 kWh/m².

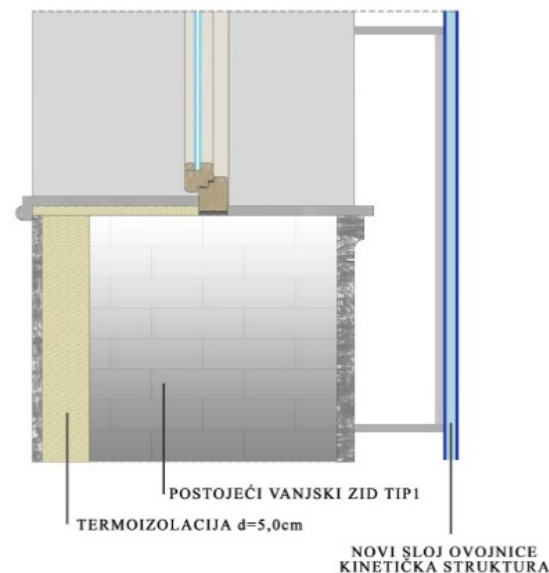
³²² Podatci preuzeti iz proračuna potrebne energije za hlađenje zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić, ali na osnovi analiziranog stanja nakon zamjene vanjskih otvora i ugradnje novih izolacionih slojeva na fasadnoj strukturi, točnije utopljanja kada je došlo do povećanja potrebne energije za hlađenje unutrašnjeg prostora.

³²³ Intenzitet vanjskog priljeva sunčeve energije i unutrašnje potrebe u danom trenutku, a to su: (temperatura zraka i osvijetljenost prostora).

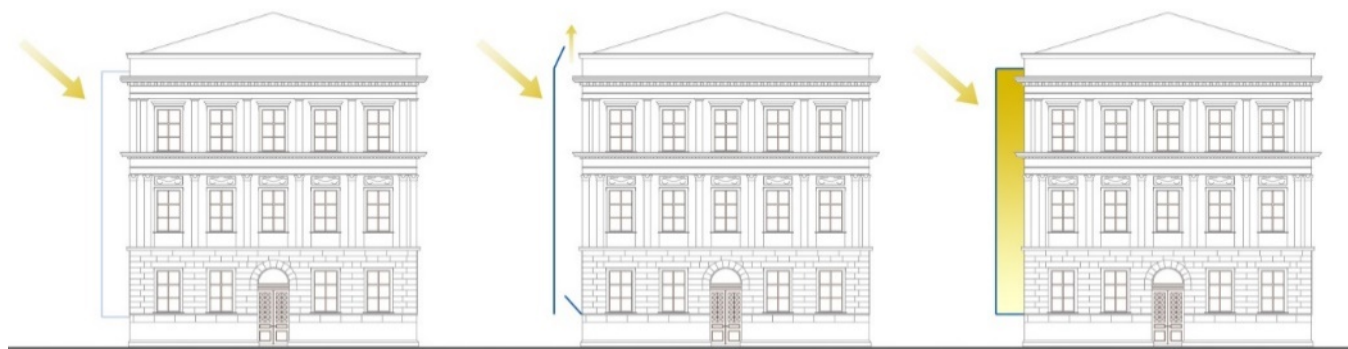
³²⁴ Na slikama od 8.19. – 8.22. prikazan je novi stakleni plašt koji bi bio fiksiran za postojeću strukturu ovojnice s aluminijskom pod-konstrukcijom. Nova struktura je odignuta od okolnog pločnika za visinu nesmetanog prolaza pješaka, i iznosi 2,2m. Cjelokupan sustav će biti naknadno projektiran i detaljno elaboriran.



Fotografija 8.19. Kompleksna energetska ovojnica zgrade
JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu



Fotografija 8.20. Prikaz novog sloja ovojnice zgrade
JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu



Fotografija 8.21. Shematski prikaz funkcionalnog aspekta novog sloja ovojnice zgrade
JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu a) nesmetan priljev sunčeve energije, b) zaštita od prevelikog priljeva sunčeve energije i
c) generiranje sunčeve energije i kreiranje rezervoara toplinske energije u zimskom periodu

Novi arhitektonsko oblikovni izraz nazvan je „zgrada s kinetičkom ovojnicom“ koja automatizirano štiti od prevelikog priljeva sunčeve energije, ili propušta sunčevu energiju do granica arhitektonskog prostora, a time i unutra. Dodavanjem novog staklenog

plašta, vanjski otvori se ne bi nekontrolirano otvarali i zatvarali te bi zgrada morala dobiti novo kontrolirano prirodno vjetrenje s mehaničkom potporom. Osim navedenog, novi sloj postaje i generator toplinske energije³²⁵ i time proizvodi potrebnu energiju za zgradu i smanjuje njenu ovisnost o lokalnim energetske mrežama, a ujedno i eliminira energiju potrebnu za hlađenje. Svaka zgrada (poput ove koja je visoki potrošač energije) može dosegnuti razinu niskoenergetske zgrade, a zadržati svoj vizualni identitet i značaj u okruženju.

Ukoliko transformaciji zgrade pristupimo na gore opisani način, prijeti opasnost od otvaranja diskusije na temu prihvatljivosti novog vizualnog identiteta od strane okruženja (emotivne vrijednosti arhitekture, relacija čovjek - postojeća arhitektura). Međutim, treba imati na umu da, ako se zgrada aktivno koristi i služi svojoj svrsi, nemoguće ju je promatrati samo kroz prizmu likovnosti i oblikovnosti. I zaštićene zgrade moraju postati dio procesa energetske učinkovitosti, transformirati se i prilagoditi suvremenim standardima kako bi ostale aktivne i bile spremne na nove akcije (transformacije u budućnosti) te slijedile nove tokove energetske uštede iniciranih globalnim klimatskim promjenama.



Fotografija 8.22. Drugi model transformacije u vidu staklenog plašta na ovojnici, potpuno transparentni dijelovi i dijelovi s integriranim fotonaponskim ćelijama, JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu,
 (a) postojeće stanje, (b) djelomično obložena fasadna struktura

³²⁵Studija je provedena u suradnji s energetske odjelom tvrtke Alukonigstahl-Schuco, Sarajevo. Obuhvatila je proračun potencijala proizvodnje električne energije iz Sunca za grad Sarajevo. Južno orijentirana fasada ima maksimalni godišnji potencijal od 126,28 kWh/god., a istočna fasada 98,87 kWh/god. Ovisno o strukturi budućeg sloja ovojnice zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić i vremenskim uvjetima, maksimalna energetska dobit bi se kretala od 17,50 do 21 kWh/m²/god. U studiji su uzeti sustavi za hladne staklene fasadne sustave istoimene tvrtke, a za ovaj slučaj bit će kreiran poseban i jedinstven sustav fasadnog plašta.



(a)



(b)



(c)

Fotografija 8.23. Drugi model transformacije JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, aktivni stakleni plašt ovisan o osunčanju fasade, bit će aktiviran ili deaktiviran, (a) nije osunčana struktura, (b) djelomično i (c) potpuno osunčana

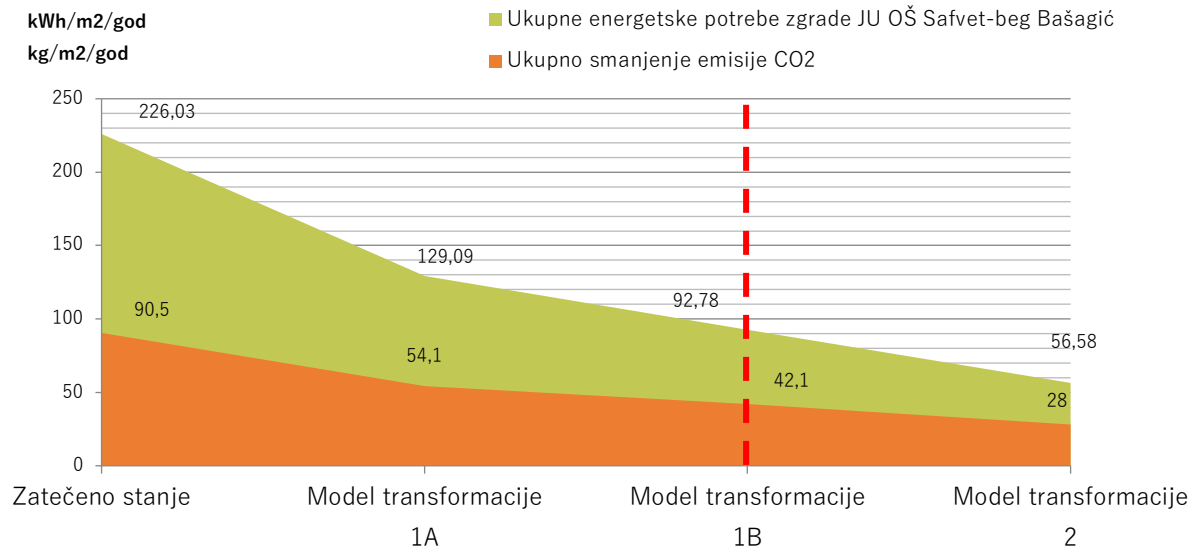
Prikazani proces transformacije pokazuje da je zgrada dobila dodatni sloj u ovojnici neophodan za stvaranje energetski učinkovite arhitekture. Novi sloj

„kože“ pretvara ovojnicu iz statične forme, ili arhitektonski vizualno nedodirljivog oblika, u aktivnu suvremenu kompoziciju,

smještajući je u vrijeme u kojem trenutno živimo i vremena koja dolaze.³²⁶ Ovim modelom kreirana je kinetička ovojnica koja će aktivno sudjelovati u životu zgrade,³²⁷ tj. biti stalno u svrsi proizvodnje električne energije i zaštite od viška sunčeve energije. Fotografija 8.23 prikazuje konstantno promjenjivi vizualni identitet koji je u izravnoj vezi s vanjskim utjecajima. Omogućena je zaštita od prodora toplinske energije kroz transparentne plohe, a samim tim je umanjen veliki priljev sunčeve energije do vanjskih slojeva ogradne plohe. Spomenuto u konačnici smanjuje toplinske potrebe za hlađenjem za 70 - 80%.

³²⁶ Iz prethodnih poglavlja o promjenama u korištenju energije, energetskim krizama i klimatskim promjenama može se jasno zaključiti da energija kao “izvor života” diktira naš pogled prema redizajnu i dizajnu u mnogim aspektima, a naročito u arhitekturi. Osvrnimo se na npr. auto industriju, gdje je čovjek oduvijek težio da pređe što duži put sa što manje utrošenog goriva. Tako ni zgrade ne mogu više biti izolirane od vremena i prostora u kojem žive.

³²⁷ Arhitekti posvećuju veliku pažnju kreiranju ovojnice, među svim posebno se ističe arhitekt *Steven Hall* koji unosi posebnu funkcionalnu komponentu u transparentne plohe, izvor: <http://www.stevenholl.com>



Dijagram 8.9. Simulacija ukupnih energetske potrebe nakon svih transformacija zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

Dijagram 8.9., prikazuje ukupne energetske uštede nakon primjene oba modela transformacije na zgradi JU OŠ Safvet-beg Bašagić. Ukupne energetske potrebe iznose 56,58 kWh/m²/god. (89.759,76 kWh/god., ušteda: 75 %), tj. 70 %, umanjena je emisija CO₂ za 62,5 kg/m²/god. (99,1 t/god.), tj. 69 %, s konačnom emisijom od 28 kg/m²/god.

Umanjenje energetske potrebe i emisije CO₂ ostvareno modelom transformacije 1B (dijagram 8.9) predstavlja točku kada proces transformacije postojeće arhitekture kao posljedice energetske učinkovitosti inicira nastanak novog arhitektonskog identiteta postojećih zgrada. Fotografije 8.23 prikazuju kakav utjecaj prezentirani model transformacije ima na postojeći identitet te kao takav otvara dilemu između odnosa ili važnosti funkcionalnosti, energetske učinkovitosti i povijesnog značaja u arhitekturi.

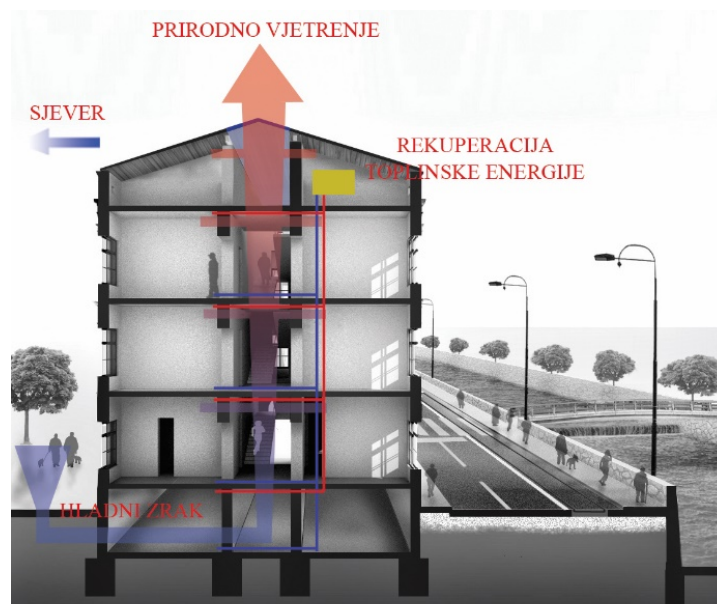
8.3.3. Model ventiliranja unutarnjeg prostora zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić

Ventiliranje prostora kod promatranog primjera zgrade je važan segment (gledišta: ušteda energije i kvaliteta unutrašnjeg komfora), jer je provedena anketa³²⁸ o kvaliteti unutrašnjeg prostora dala negativne rezultate koji upućuju da je neophodno razmotriti svaki oblik kontroliranog prirodnog ventiliranja unutarnjeg prostora, čime bi se smanjile energetske potrebe i izbjeglo instaliranje

³²⁸ Prezentirana u analizi stvarnog stanja zgrade

unutarnjih instalacija i narušio postojeći enterijer zgrade. Potreba za istim raste uslijed ugradnje novih vanjskih otvora koji nekontrolirano provjetravanje zraka u potpunosti eliminiraju i povećavaju potrebu za sustavnim rješenjem.³²⁹

Model definira kombinaciju prirodnog vjetrenja i mehaničke potpore s rekuperacijom unutrašnje toplinske energije (nastale od korisnika, električnih uređaja i transmisijских dobitaka). Rekuperacijska postrojenja smještena su u etaži potkrovlja, dok prirodnu cirkulaciju zraka od etaže podruma do potkrovlja omogućava centralni hol i vertikalne komunikacije. Na sljemenu krova potrebno je instalirati automatski kontrolirane krovne otvore koji bi se otvarali i zatvarali u skladu s unutarnjim zahtjevima prostora. U ljetnom razdoblju, uštede energije postižu se strujanjem i kontroliranim propuštanjem hladnijeg zraka iz unutrašnjeg dvorišta orijentiranog prema sjeveru, što smanjuje potrebe za hlađenjem ulaznog zraka (jedan od principa bioklimatske arhitekture).



Fotografija 8.24. Shema: prirodno i mehaničko vjetrenje u zgradi JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

Model ventiliranja zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić (Fotografija 8.24.) je složen sustav prirodnog ventiliranja, koje kao svoju podršku ima automatizirani mehanički sustav rekuperacije toplinske energije unutrašnjeg zraka, što reducira utrošak električne

³²⁹ Standardi opisani u higijensko tehnički uvjetima za korištenje zgrada osnovnog obrazovanja.

energije i dovodi ga na minimalno potrebne vrijednosti te također definira novu, aktivnu relaciju zgrade i okruženja u kontekstu energetske suživota. Konačno, uštede energije bi bile ostvarene te bi rezultat prikazan u dijagramu 8.9. bio manji. U narednom koraku poštivanja principa bioklimatske arhitekture se može predvidjeti aktivno korištenje energije vode, tj. kišnice za hlađenje unutrašnjeg zraka, ali i cjelokupne ovojnice. Voda bi bila skladištena u spremnicima, a temperatura (10-12 ° C) tla bi se iskoristila za njeno hlađenje.

8.3.4. Zaključno razmatranje o modelima transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić

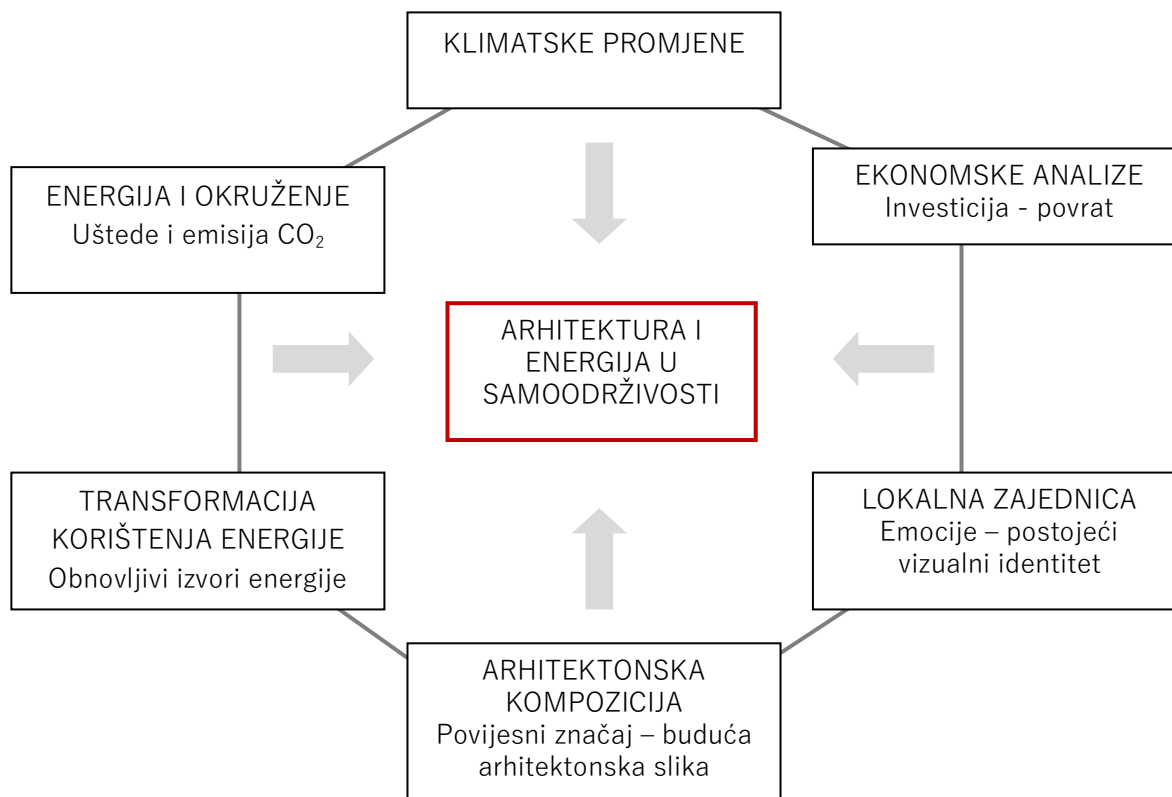
Modeli transformacije zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić definiraju proces energetske sanacije postojećeg stanja koji uključuje mišljenja konzervatora, arhitekata, inženjera strojarstva, povjesničara arhitekture i umjetnosti, ekonomskih analitičara, lokalne zajednice. Pokazuju da je ključ uspješnosti procesa transformacije zajednički rad i stav o specifičnom modelu. Također, modelski pristup transformaciji predstavlja smjernice za nastanak metodologije transformacije postojeće arhitekture za osnovno obrazovanje, a time i cjelokupne postojeće arhitekture.

Kad su u pitanju navedeni modeli, treba istaknuti da su to konkretna rješenja i perspektive koje dokazuju da je samo cjelokupnim promatranjem stvarnog stanja zgrade, njenih energetske potreba u budućnosti i njenog suživota s okruženjem moguće doći do prihvatljivog oblika sanacije tj. transformacije postojeće arhitekture.

Fotografija 8.24. prikazuje da zgrada budućnosti predstavlja suživot arhitekture i energije. Zgrada je živi organizam, čija energetska samoodrživost ovisi o konceptu ovojnice, mikroklimatskim uvjetima, potencijalu obnovljivih izvora energije okruženja, lokalnoj zajednici i arhitektonskom dizajnu. Sve spomenuto u suradnji ima potencijal da kreira energetske prihvatljivu arhitekturu budućnosti.

U konkretnom primjeru transformacije postojeće arhitekture realizirana je velika energetska ušteda, smanjena emisija CO₂, stvorene su pretpostavke za zadovoljavanje svih higijensko-tehničkih uvjeta boravka djece i zgrada postaje energetske aktivni sudionik svog okruženja. Sve prezentirano se odnosi na promatranu zgradu, točnije transformaciju zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić te ukazuje da ne postoji univerzalan model transformacije postojećih zgrada a naročito ne zgrada od kulturno-povijesnog značaja. Model definira elemente pristupa problematici, a to su:

- Mogućnosti umanjavanja srednje U-vrijednosti cjelokupne ovojnice,
- Mogućnosti primjene korištenja obnovljivih izvora energije,
- Prihvatljivost novog vizualnog identiteta postojeće arhitekture.



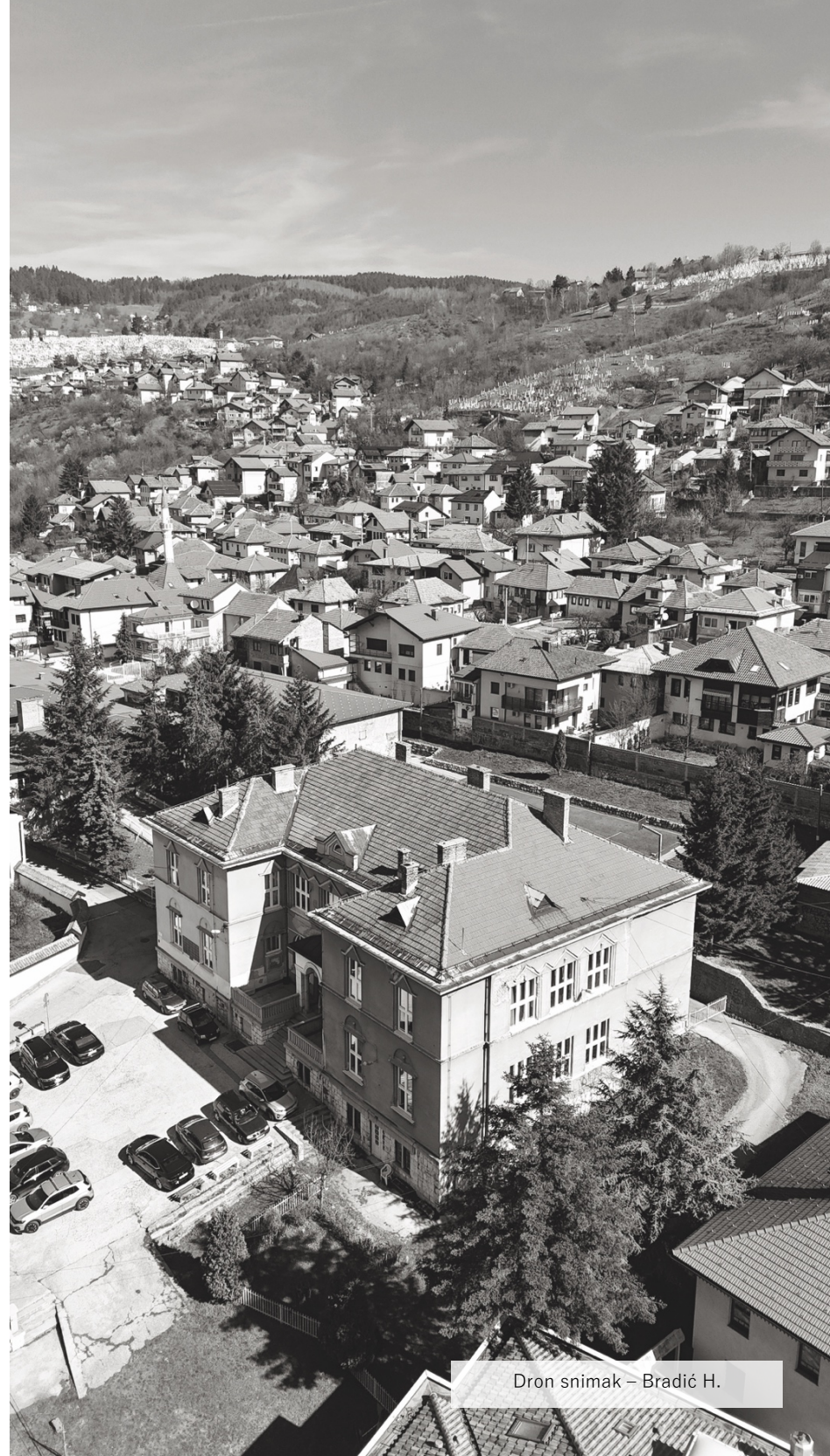
Fotografija 8.25. Shema: definiranje ključnih utjecaja na nastanak suživota arhitekture i energije

8.4. JU OŠ Saburina

Osnovna škola Saburina je jedna od prvih osnovnih škola u gradu Sarajevu. Zbog velikog priljeva učenika, 1960. godine dograđen je i dodatni dio, „objekt B“. Ukupna korisna površina školskog prostora je 2.980 m², od toga je 1.397 m² zatvorenog prostora i 1.586 m² otvorenog prostora. Nalazi se na južno orijentiranoj padini blizu Kapije na Kovačima, na granici nekadašnjeg grada Sarajeva iz razdoblja Otomanske imperije.

Tablica 8.5. Osnovne informacije o zgradi JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

Sjeverna zemljopisna širina	43°51'49.54"
Istočna zemljopisna dužina	18°26'10.52"
Nadmorska visina	613 m
Arhitekt	-
Godina izgradnje	1926. godina
Katnost	Po + Pr + 1
Prosječan broj učenika i osoblja (10 god.)	528



Dron snimak – Bradić H.



Slika 8.26. Google Earth - pogled na poziciju zgrade JU OŠ Saburina i grad Sarajevo – Stari grad - naselje Vratnik

Zgrada nije planski rekonstruirana već gotovo 6 desetljeća te je bilo i za očekivati da će stanje ovojnice biti izuzetno loše. Analize stvarnog stanja osiguravaju podatke potrebne za kreiranje modela transformacija. Jugozapadna orijentacija padine na kojoj se nalazi zgrada, utjecala je da zgrada svojim najvećim fasadama slijedi padinu, čime se otvara potencijal u korištenju obnovljivih izvora energije, naročito Sunca i vjetra.

Zgrada svojim volumenom dominira u odnosu na okolne gradske stambene vile katnosti P+1, što omogućava cjelogodišnji priljev sunčeve energije na fasadama, krovu i okolnom neiskorištenom prostoru. Istraživanje je obuhvatilo analizu prvobitno izgrađenog dijela tj. „objekt A“, izostavljajući dograđene dijelove iz 1960. godine, jer nisu pod istim grijanim sustavom. Zgrada ima korisnu površinu od 1.289 m², koja obuhvaća prostor podruma, prizemlja i I. kata, dok tavanski prostor služi kao ostava. Granica između grijanog i negrijanog prostora se nalazi između I. kata i tavanskog prostora koji nije uključen u grijani prostor.

8.4.1. Analiza postojeće ovojnice zgrade JU OŠ Saburina



Fotografije 8.27. Zgrada JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu,
(a) zapadna fasada, i (b) ulazno pročelje i (c) sjeverna fasada, (08.11.2012.)

I u ovom primjeru, provedeno je terensko istraživanje na osnovi kojeg je utvrđeno stvarno stanje ovojnice i napravljen kompletan proračun kretanje topline, vodene pare i toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. Fotodokumentacija ukazuje na nezadovoljavajuće stanje svih dijelova ovojnice, kako zbog starosti objekta tako i zbog slabog održavanja zgrade. Zadržan je prvobitni oblik i materijalizacija vanjskih otvora: jedan prozorski drveni okvir s jednostrukim ostakljenjem. Analizirajući ukupne

toplinske gubitke na otvorima zaključuje se da pojedini otvori imaju izrazito visoke U-vrijednosti, koje dostižu $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}^{330}$ te velike ventilacijske gubitke. Primjetna fizička oštećenja na vanjskim otvorima i spojevima s fasadnom strukturom uzrokuju kretanje energije kroz ovojnicu (Fotografija 8.27). Kao i u prethodnom primjeru, funkcionalni aspekt vanjskih otvora je nezadovoljavajući zbog otežanog otvaranja i zatvaranja pojedinih elemenata, što sprječava adekvatno vjetrenje unutarnjeg prostora i čišćenje staklenih površina unutar istih (negativan utjecaj na prirodno osvjjetljenje prostora).

Tablica 8.6. Geometrijske karakteristike zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

	Površina korisnog prostora (m²)	Volumen zraka u tretiranom prostoru (m³)	Svijetla visina korisnog prostora (m')
Etaža podruma	263,00	567,20	2,15
Etaža prizemlja	513,00	2103,30	4,10
Etaža I. kata	513,00	2103,30	4,10
Etaža potkrovlja	Prostor nije termički tretiran		
Ukupno	1289,00	4773,80	
Podatci za ovojnicu (membranu između tretiranog i netretiranog prostora)			
	Netransparentne površine (m²)	Transparentne površine (m²)	Ukupno (m²)
Sjeverna fasada	252,73	39,98	292,71
Istočna fasada	287,86	83,34	371,20
Južna fasada	275,07	38,62	313,69
Zapadna fasada	382,05	67,39	449,44
	1197,71	229,33	1427,04
Međukatna konstrukcija prema tavanu			462,00
Pod na tlu			669,30
Ukupna površina ovojnice (m²)			2558,34

³³⁰ Oba primjera zgrada, i JU OŠ Safvet-beg Bašagić i JU OŠ Saburina, imaju izražen problem vanjskih otvora, naročito zbog starosne dobi otvora (više od 60 godina), fizičkih oštećenja i neadekvatnog održavanja tijekom korištenja.

Faktor oblika iznosi 0.39, što govori o kompaktnom volumenu koji nema ekstrema u oblikovnom smislu. Analiza zgrade napravljena je na osnovi uvida u originalnu projektnu dokumentaciju iz arhive škole, koja je uspoređena sa stvarnim stanjem metodom mjerenja na licu mjesta. Ustanovljena je spomenuta izgradnja bloka B, koji je potpuno odvojen od prvobitne zgrade, čime je omogućeno neovisno promatranje stare škole. Zgrada je izgrađena od pune cigle, a debljine zidova kreću se od 45 do 60 cm,³³¹ dok je visina unutarnjeg prostora od 2,15 m do 4,1 m. Netransparentni dio ovojnice je također u vrlo lošem fizičkom stanju, naime vanjski vapneno-cementni fasadni malter ima veliki broj pukotina, što ukazuje na dotrajalost fasadnih obloga, ali i moguću pojavu kondenzacije vodene pare u vanjskim dijelovima fasade. Cjelokupna sanacija kao i umanjenje U-vrijednosti svih ploha je neizbježno što otvara velik potencijal u umanjenju ukupnih transmisivskih gubitaka kroz fasadne plohe. Istraživanje je također obuhvatilo i detaljno mjerenje trenutnog stanja geometrijskih karakteristika zgrade te digitalizaciju podataka u računalnom programu AutoCad (verzija 2014.) za njihovo lakše upravljanje u svrhu daljnje analize karakteristika ovojnice, tj. njihovu iskoristivost u drugim računalnim programima za proračune energetske potreba koji su uključeni u istraživanje. Fotografija 8.28. prikazuje digitalizirane nacрте izrađene na osnovi izvorne i jedine do sada sačuvane projektne dokumentacije ove zgrade.



Fotografija 8.28. Nacrt: tlocrt etaže prizemlje i zapadna fasada zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu digitalizirana postojeća projektna dokumentacija

³³¹ Na fasadnoj strukturi postoje ukrasi koji stvaraju zadebljanja, što je jasno vidljivo u fotodokumentaciji i nacrtima fasada.

Rezultati analize U-vrijednosti pokazali su da je ovojnica zgrade materijalizirana sa 6 različitih kombinacija materijala. Prvi tip su vanjski zidovi u etaži prizemlja i I. katu, a definiraju se kao vanjski zid TIP1. Zidovi su izvedeni s punom ciglom i vapneno-cementnim žbukama s obje strane, a ukupna debljina zida je 60 cm. Koeficijent prolaska topline $U = 1,14 \text{ W/m}^2\text{K}$, tok vodene pare je stacionaran i masa zida je 1050 kg/m^2 , što iznosi više od 100 kg/m^2 ogradne plohe te zadovoljava parametar toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. Ukupna površina pozicije u ovojnici je $885,4 \text{ m}^2$. U kontekstu kretanja topline i vodene pare potrebna je sveobuhvatna sanacija pozicije.

Drugi tip vanjskog zida, vanjski zid TIP2 i TIP3, nalazi se na poziciji vanjskih zidova etaže podruma, koji su djelomično ukopani u tlo, a djelomično ne. Materijaliziran je prirodnim kamenom debljine 57 - 60 cm. Koeficijent prolaska topline $U = 1,67 \text{ W/m}^2\text{K}$ i $U = 1,87 \text{ W/m}^2\text{K}$, a masa zida je 1.150 kg/m^2 . Pojava vlage nije zabilježena s unutrašnje strane i pretpostavlja se da s vanjske strane zida postoje hidroizolacijski slojevi. Ukupna površina ovog tipa zida je $161,7 \text{ m}^2$. Preporuke o sanaciji ove pozicije bit će razrađene u narednim poglavljima rada.

Ukupna površina pozicije pod na tlu iznosi $669,3 \text{ m}^2$, a $U = 1,73 \text{ W/m}^2\text{K}$, što ukazuje na potrebu za sanacijom u pogledu smanjenja kretanja topline prema tlu.

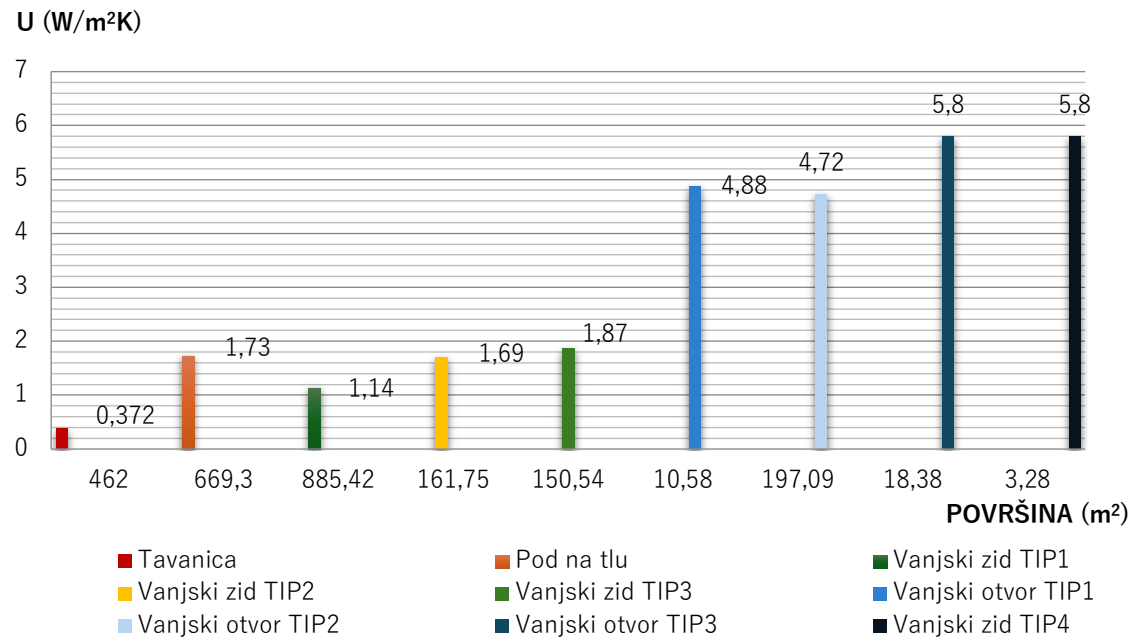
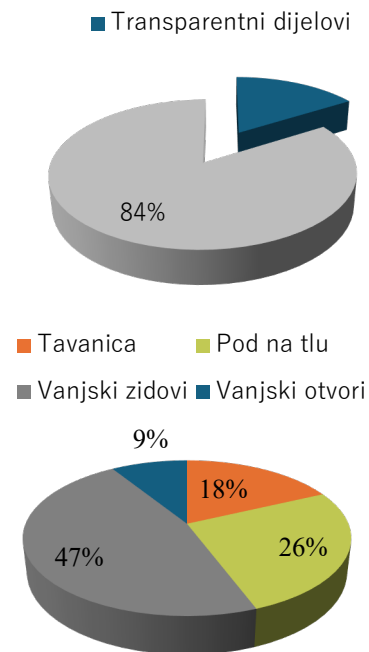
Pozicija tavanice (međukatna konstrukcija prema negrijanom prostoru) ima dobra termička svojstva, vrijednost $U = 0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$ i ukupnu površinu od 462 m^2 . Ekonomska isplativost sanacije podnih struktura će odrediti hoće li se istoj pristupiti ili ne.

Vanjski otvori su dotrajali i oštećeni djelovanjem vanjskih i unutarnjih utjecaja te je neophodna njihova potpuna zamjena. Analizom su definirana četiri tipa vanjskih otvora vidljivih na slikama 8.29. Vanjski otvori TIP1 odnose se na ulazna vrata koja su materijalizirana u kombinaciji drvo/staklo, gdje je staklo jednostruko s jasno vidljivim fizičkim oštećenjima, s $U = 4,88 \text{ W/m}^2\text{K}$. Vanjski otvori TIP2 podrazumijevaju prozore koji se nalaze na etaži prizemlja i I. kata s proračunatim $U = 4,72 \text{ W/m}^2\text{K}$. Izvedeni su kao i prethodni tip s postotno većim učešćem jednostrukog stakla. U etaži podruma nalaze se dva tipa vanjskih otvora s izrazito visokim U-vrijednostima $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Materijalizirani su kombinaciji metal i staklo. Pozicije su zanatski izvedene, uslijed čega su njihovi transmisijski i ventilacijski gubici jako veliki.

Svi tipovi vanjskih otvora su u lošem stanju s gledišta fizičkog, estetskog te najbitnije s gledišta tehničke ispravnosti (zatvaranje i otvaranje). Također, dolazi do velikog kretanja topline i otežanog prolaska svjetlosti, što u konačnici predstavlja potpuno neprihvatljive osobine. Srednja U-vrijednost vanjskih otvora je $4,82 \text{ W/m}^2\text{K}$, netransparentnih dijelova, $1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$, a za cijelu ovojnicu srednja U-vrijednost je $1,56 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Fotografija 8.29. Zgrada JU OŠ Saburina u Sarajevu,
(a) vanjski otvori TIP2, oštećenja i (b,c) vanjski otvori ulazna vrata, (04.12.2012.)



Dijagrami 8.10. do 8.12. Odnosi površina i U-vrijednosti u kompletnoj ovojnici zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

Konačni rezultat analize stvarnog stanja ovojnice govori da je ovojnicu potrebno rekonstruirati i sanirati radi zadovoljavanja energetske učinkovitosti (smanjenje kretanja energije što će otvoriti nastanak novog vizualnog identiteta), naročito na poziciji vanjskih otvora koji su trenutno neupotrebljivi i ne zadovoljavaju osnovne parametre energetske učinkovite ovojnice te estetski nisu više prihvatljivi zbog fizičkih oštećenja. Dijagrami 8.10. - 8.12. pokazuju postotnu zastupljenost pojedinih ploha u ovojnici. Vanjski otvori imaju udio od 9% u kompletnoj ovojnici, a koje je potrebno potpuno zamijeniti. Spomenuti podatci otvaraju veliki potencijal u smanjenju energetske potrebe, ali i definiranju novog koncepta vanjskih otvora (novi dizajn i materijalizacija) koji trebaju dobiti novu ulogu u kompletnoj energetske dizajniranoj ovojnici zgrade. Zavod za zaštitu nacionalnih spomenika Kantona Sarajevo treba dati svoje mišljenje o prihvatljivosti novog koncepta vanjskog otvora što otvara diskusiju ili dilemu o odnosu postojeće arhitekture i standarda energetske učinkovitosti u budućnosti arhitekture. Može se zaključiti da će postojeće stanje vizualnog identiteta biti djelomično transformirano.

8.4.2. Analiza ukupnih energetske potreba zgrade JU OŠ Saburina

Na osnovi prikazane dokumentacije i obrađenih nacrti stvarnog stanja urađena je analiza ukupnih energetske potreba zgrade primjenom softvera za proračun potrebne energije, kao što je učinjeno i na primjeru zgrade škole JU OŠ Safvet-beg Bašagić.

Proračun potrebne toplinske energije za grijanje

Toplinska energija u zgradi distribuira se cijevnim sustavom s radijatorima. Škola ima svoju plinsku kotlovniciu u susjednoj zgradi (objekt B) te je podzemnim cijevnim vodovima povezana s promatranim dijelom škole (objekt A). Za obrađenu zgradu napravljena je priključna stanica (pumpno postrojenje) iz koje se energija distribuira po etažama. Najveća mana primijenjenog koncepta je nemogućnost mjerenja stvarnog utroška energije, s obzirom da ne postoji kalorimetar koji bi izmjerio utrošak posebno za (objekt A) i posebno za (objekt B). Također, u zgradi ne postoji kontrolirani sustav hlađenja i ventiliranja. Ventiliranje se provodi na „prirodan“ način, tj. otvaranjem vanjskih otvora na fasadi. Ovi gubitci toplinske energije uključeni su u proračun.

Na osnovi proračuna potrebne energije za grijanje izvedenog u spomenutom računalnom programu dobiven je rezultat od 184,3 kWh/m²/god³³² ili ukupno na godišnjoj razini 237.562,7 kWh. Ovo obuhvaća energetske potrebe zgrade JU OŠ Saburina nastale uslijed transmisijских i ventilacijskih gubitaka energije (tablica br. 8.7).

³³² Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna koji se nalazi u prilogima doktorskog rada Bradić, 2014.. Proračun ukupnih toplinskih gubitaka zgrade JU OŠ Saburina je napravljen na osnovi podataka o ovojnici i vrijednosti solarnog faktora $g = 0,783$ i infiltracije 1,0 koji su uneseni u spomenuti program.

Tablica 8.7. Toplinski gubitci proračunati putem *ENSI EAB softvera* zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

	I	II	III	IV		IX	X	XI	XII
	Φ_T Transmisijski gubitci, 211.530,84 W/godina (71% od ukupnih)								
A	15563,23	15698,82	12327,79	5423,78	38 %	844	5322,08	10734,56	16109,37
B	11400,15	11499,48	9030,18	3972,95	28 %	618	3898,46	7863,13	11800,21
C	1695,18	1709,95	1342,77	591,77	6 %	91,9	579,69	1169,23	1754,66
D	11477,41	11577,4	9091,37	3999,87	28 %	622	3924,87	7916,41	11880,17
	Φ_V Ventilacijski gubitci, 84.834,52 W/godina (29% od ukupnih)								
	16096,55	16236,79	12750,25	5609,64		873	5504,46	11102,42	16661,41

- A - vanjski zidovi, B - vanjski otvori, C - krovne plohe, D - pod na tlu
- I, II, III... mjeseci u godini
- Ukupni toplinski gubitci su: $\Phi = \Phi_T + \Phi_V = 269.365,36$ W/god

Proračun potrebne toplinske energije za hlađenje

Analiza potrebne energije za hlađenje je izvedena putem kalkulacije u računalnom programu *Novolit 2009* koji je i usvojen jer se radi o proračunu koji je ovisan o stvarnoj strukturi i ovojnici zgrade. Ukupan rezultat energetske potrebe za hlađenje cjelokupnog unutarnjeg prostora je: 5,88 kWh/m²/god. ili 7.589,00 kWh/god.

Proračun potrebne toplinske energije za pripremu tople vode

U zgradi ne postoji centralno ili sustavno rješenje proizvodnje tople vode. U sanitarnim blokovima se ne koristi topla voda, a jedino mjesto u zgradi gdje postoji električni bojler je kuhinja. Fotografije 8.30 (a, b) pokazuju zatečeno stanje sanitarnih blokova u zgradi. Sve ovo jasno ukazuje na potrebu sveobuhvatne rekonstrukcije kako bi se zadovoljili svi potrebni higijensko-tehnički uvjeti boravka djece. Stvarni utrošak toplinske energije nije potrebno analizirati, jer učenici i nastavnici nemaju mogućnost korištenja tople vode. Kreiranjem sustava za proizvodnju tople vode bit će povećane i ukupne energetske potrebe, ali samim tim i otvorene mogućnosti

za instaliranje energetski učinkovitih sustava. Na osnovi simulacije potrebne energije za pripremu tople vode dobiven je rezultat od 22,1 kWh/m²/god.³³³

Proračun potrebne toplinske energije za rasvjetu i ostale el. potrošače

Ukupne energetske potrebe za umjetno osvjetljenje su 6,9 kWh/m²/god., a za ostale potrošače električne energije 13,4 kWh/m²/god. Ukupna potrebna energija za rasvjetu i ostale potrošače električne energije na godišnjoj razini iznosi 26.166,7 kWh/god.³³⁴ Rasvjetna tijela u zgradi daju zadovoljavajuću razinu umjetnog osvjetljenja, ali ne spadaju u energetski učinkovite, što nije prihvatljivo te je potrebna zamjena kompletnog sustava umjetne rasvjete kako unutra tako i vani. Naime, pretežno je instalirana fluorescentna rasvjeta, a u prostorijama ostave, kupaonice i kuhinje nalaze se svjetiljke sa žarnom niti. Ukupna instalirana snaga umjetne rasvjete je 8.904 W, ili 6,9 W/m² (tablica 8.8).



Slika 8.30. Zgrada JU OŠ Saburina u Sarajevu, zatečeno stanje, (a) kupaonica za učenike, (b) tuš zona za učenike, (04.12.2012.)

Tablica 8.8. Instalirana snaga za umjetno osvjetljenje u zgradi JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

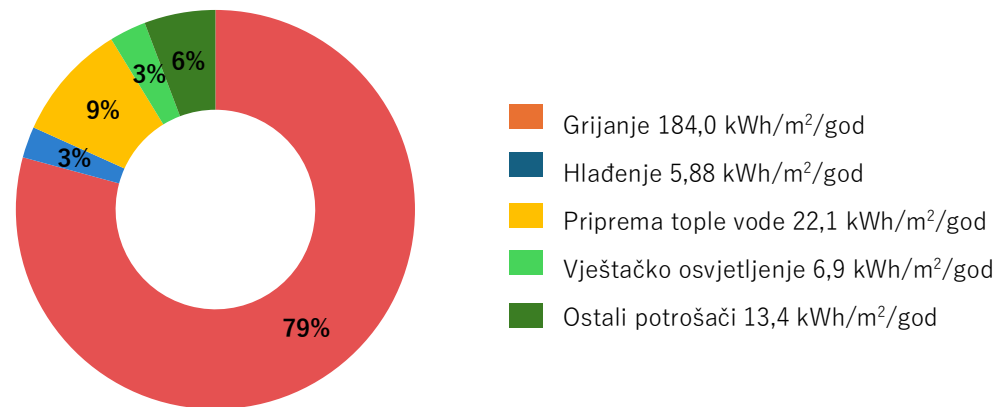
	VRSTA rasvjetnog tijela	INSTALIRANA snaga (W)	POSTOTAK (%)
1	Fluorescentna rasvjeta	7524	85
2	Žarulja sa žarnom niti	1380	15
UKUPNO		8.904	

³³³ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014

³³⁴ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014

Ostali električni potrošači u školi su, kao i u prethodno analiziranom primjeru, vremenski dotrajali i potrebna je njihova sveobuhvatna i ciljana zamjena.

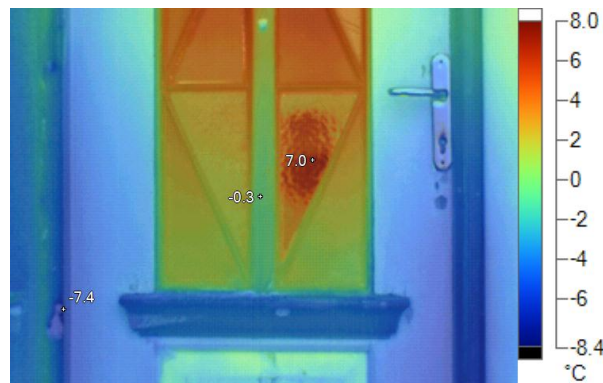
Ukupne energetske potrebe zgrade su 232,28 kWh/m²/god, a proračunom je obuhvaćeno sljedeće:



Dijagram 8.13. Ukupne energetske potrebe zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

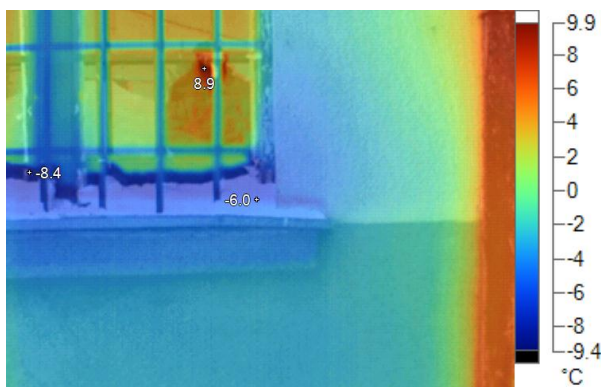
8.4.3. Analiza postojeće ovojnice putem termovizijske kamere

Termovizijske snimke dokazuju pretpostavku koja je uočena kroz fotodokumentaciju, tj. da su toplinski gubitci izrazito veliki kako na vanjskim otvorima tako i kroz vanjske zidove. Snimke (Fotografije 8.31. - 8.33) prikazuju temperaturne razlike između temperature prvog vanjskog sloja i temperature vanjskog zraka od $\Delta 20^{\circ}\text{C}$ na pojedinim mjestima, čime se i ovom metodom dokazuje vrlo loše stanje transparentnih dijelova ovojnice zgrade, jasno vidljivo kroz intenzivan tijek toplinske energije.

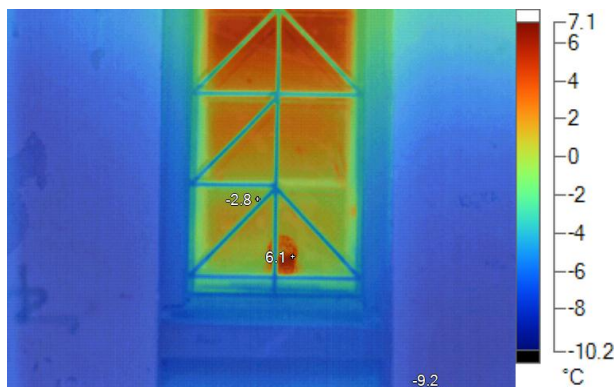


Fotografija 8.31.
 Termovizijska snimka s vanjske strane na ulazna vrata u školu
 Broj snimke: IR 20121210_0086.is2 (12.12.2012., 13:09)

Fotografija 8.32.
Termovizijska snimka s vanjske strane na zapadnu fasadu
Broj snimke: IR 20121210_0088.is2 (12.12.2012., 13:11)



Fotografija 8.33.
Termovizijska snimka s vanjske strane na sjevernu fasadu,
Broj snimke: IR 20121210_0090.is2 (12.12.2012., 13:14)

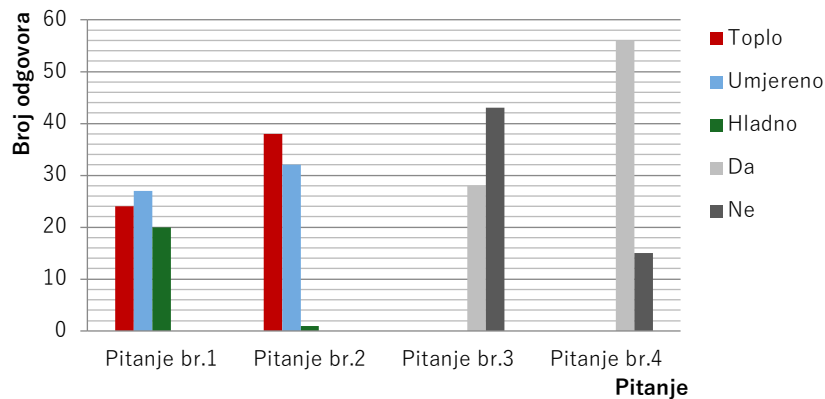


Rezultati termovizijskog snimanja pokazuju da se radi o ovojnici s velikim toplinskim gubitcima po m² površine, naročito na pozicijama vanjskih otvora. Evidentni su problemi zbog jednostrukog ostakljenja, malih profila u okviru i krilu otvora te deformacijama vanjskih otvora (izvijanje drvenih profila, fizička oštećenja, spoj profila i stakla). Sve navedeno prouzrokovalo je velike transmisijske i ventilacijske gubitke te je potrebno stvoriti nove koncepte vanjskih otvora koji će moći odgovoriti na potrebe suvremenih i energetski učinkovitih zgrada i ovojnica.³³⁵ Zbog južne i zapadne orijentacije potrebno je veliku pažnju posvetiti redizajnu transparentnih ploha kako bi se unutarnji prostor zaštitio od prekomjernog priljeva sunčeve energije. Naime, otvara se mogućnost kreiranja kinetičkog vanjskog otvora koji bi bio prilagođen vanjskim utjecajima na mikrolokalitetu i time na najbolji način doprinio očuvanju toplinske energije unutar prostora i generiranju iste iz Sunca (suživot s okruženjem u pogledu energije).

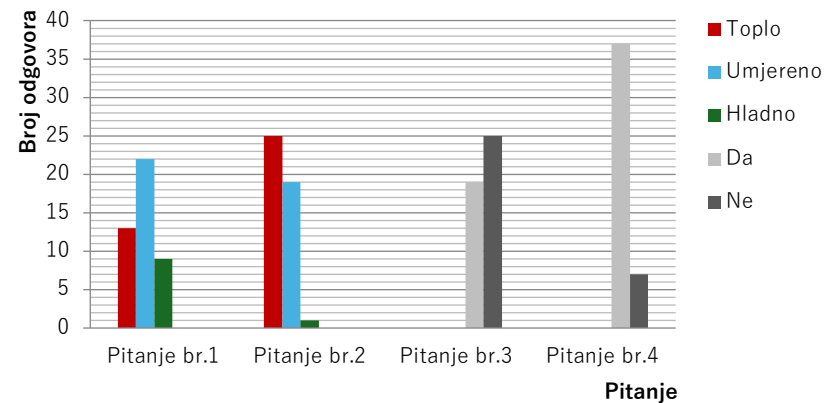
³³⁵ Južna i zapadna orijentacija daju veliki potencijal u generiranju toplinske energije iz Sunca, a također potrebna je ciljano projektirana zaštita od prekomjernog priljeva sunčeve energije kroz transparentne plohe ovojnice. Spomenuto će tijekom modeliranja naglasiti značaj vanjskih otvora u ovojnici i definirati smjernice ka daljoj razradi ovog rada.

8.4.4. Anketa učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutrašnjeg prostora

Anketa djece u školi provedena je 28.11.2012. godine kod dva različita uzrasta: djece devetih razreda starosne dobi od 14 do 15 godina (71 učenik) i djece petih razreda, starosne dobi između 11 i 12 godina (44 učenika). Ukupno je anketirano 115 učenika, a u anketi su postavljena četiri pitanja,³³⁶ a grafički prikaz rezultata obrađenih odgovora izgleda ovako:



Dijagram 8.14. Rezultati ankete djece uzrasta do devetih razreda u OŠ Saburina u Sarajevu



Dijagram 8.15. Rezultati ankete djece uzrasta do petih razreda u OŠ Saburina u Sarajevu

Trenutno stanje komfora unutaršnjeg prostora je i u vizualnom kontekstu definirano kao neprimjereno (na osnovi fotodokumentacije), jer se radi o lošim uvjetima za boravak djece s mnogo aspekata higijensko-tehničkih faktora. Prvenstveno, nije zadovoljena kvaliteta unutaršnjeg zraka s gledišta temperature, relativne vlažnosti i zagušljivosti, a zatim ne postoji kontrolirani ventilacijski sustav, nego se ventiliranje prostora provodi putem vanjskih otvora. Naročito se veliki problemi javljaju u prostorijama orijentiranim prema jugu i zapadu, jer su isti previše osunčani tijekom dana i čitave godine te dolazi do prezasićenja toplinom unutrašnjeg zraka, a time i neprihvatljivog komfora za odvijanje nastave. Rezultati provedene ankete (dijagrami 8.14. i 8.15.) ukazuju na zaključak da je unutarnji zrak pretopao u ljetnom razdoblju i time potvrđuju problem vanjskih otvora. U usporedbi s prethodnim primjerom, učenici ove škole su se u značajnijem postotku izjasnili da umjetno osvjetljenje prostora nije prikladno. Higijenski uvjeti u smislu opskrbe toplom vodom nisu zadovoljeni, jer ne postoji instalacija tople vode u zgradi, što onemogućava njeno korištenje u sanitarnim blokovima. Iz tog razloga, djeca nisu u prilici zadovoljiti sve svoje higijenske potrebe (npr. tuširanje ili adekvatno pranje ruku).

³³⁶ Pitanja identična kao i u anketiranju djece u JU OŠ Safvet-beg Bašagić

Tokom istraživanja provedeni su i intervjui s nastavnim osobljem, koji su na osnovi iskustva, osobnog mišljenja i dugogodišnjeg boravka u školi naveli da su vanjski otvori nefunkcionalni (veći broj prozora se ne može otvoriti), da je trenutni sustav grijanja dobar (referirajući se na toplinu, a ne na količinu utrošene energije), da topla voda djelomično postoji u sanitarnim blokovima, da je unutarnji zrak s aspekata arhitektonske fizike (temperatura i relativna vlažnost) nezadovoljavajući te da je umjetna rasvjeta nedovoljna i neučinkovita zbog visine stropnih konstrukcija. Finalni zaključak je da trenutno stanje ovojnice i sustava koji energetske tretiraju unutarnji prostor nisu u mogućnosti zadovoljiti kvalitetne uvjete unutarnjeg komfora boravka djece.

8.4.5. Zaključno razmatranje o stvarnom stanju zgrade JU OŠ Saburina

Na osnovi dobivenih rezultata analize zgrade JU OŠ Saburina može se zaključiti da minimalni uvjeti za boravak djece nisu zadovoljeni. Nema kontrole kvalitete unutrašnjeg zraka i nije zadovoljen standard izmjene zraka po satu (ventilacija ne postoji, u ljetnom razdoblju unutarnji zrak je pretopao). Ovojnica zgrade ima visoke toplinske gubitke energije naročito na pozicijama vanjskih otvora i evidentirana su velika fizička oštećenja na kompletnoj ovojnici. Učenici ne mogu zadovoljiti svoje osnovne higijenske potrebe kao što je na primjer tuširanje nakon satova tjelesnog odgoja.



Fotografija 8.34. Zgrada JU OŠ Saburina u Sarajevu, ulazni hol u zgradu (20.11.2012.)

Konačno, prezentirani rezultati potvrđuju neke od postavljenih ciljeva ovog doktorskog rada:

- Proračunate energetske potrebe zgrade su 232,28 kWh/m²/god. (435 kWh/m²/god primarne energije),³³⁷
- Emisija CO₂ na osnovi proračunate potrebne energije je 87,2 kg/m²/god ili 112,4 t/god³³⁸.
- Minimalni higijensko-tehnički uvjeti za boravak djece nisu zadovoljeni.

Zgrada koja je bila predmet analize u ovom slučaju ima snažan potencijal kreiranja energetski učinkovite arhitekture kroz transformaciju postojeće ovojnice u koncept poluaktivne strukture s ciljem kontroliranja kretanja energije iz oba smjera, tj. unutra prema vani i obratno. Naime, otvara se mogućnost kreiranja unikatnog koncepta vanjskog otvora koji će biti dinamična struktura između vanjskog i unutrašnjeg prostora s ciljem pretvaranja sunčeve energije u električnu. Zapadna fasada na ovaj način postaje aktivni sudionik u kreiranju energetski učinkovite arhitekture.

Osobnosti mikrolokaliteta, točnije potencijal energije Sunca i vjetra daju jedinstvenu priliku za kreiranje relacije između zgrade i njene okoline (mikro i makro promatranje lokaliteta) i time kreiraju jedinstven model transformirane arhitekture kao posljedice energetske učinkovitosti. Drugi potencijal se vidi u rekonstrukciji i reorganizaciji tehničkih sustava za tretiranje kvalitete unutarnjeg zraka i zadovoljavanja potreba učenika i nastavnika u organizaciji nastave (sustavi grijanja, vjetrenja, hlađenja, sustav rasvjete i koncept novih potrošača električne energije).

8.5. Modeli transformacije zgrade JU OŠ Saburina

Zgradu karakteriziraju sljedeći parametri: ukupne energetske potrebe su 232,28 kWh/m²/god, visoka emisija CO₂ (87,2 kg/m²/god.), visoki koeficijenti prolaska topline na ovojnici (srednja U-vrijednost 1,564 W/m²K) i „nesuživot“ s okruženjem u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije.

Snažan potencijal energetskih ušteda vidi se u transformacijama ovojnice koja trenutno nije zaštićena (kao nacionalni spomenik), ali se radi o vrlo značajnoj povijesnoj zgradi, koja zajedno sa zgradom JU OŠ Mula Mustafa Bašeskija u ul. Logavina predstavlja primjer arhitekture građene u gradu Sarajevu pod utjecajem autohtonog stila „bosanski stil“.³³⁹ U nastavku su prezentirana dva modela transformacije, gdje drugi predstavlja nadgradnju prvog modela.

³³⁷ Energetski razred zgrade JU OŠ Saburna je E, izvor: Službene novine FBiH, br. 50/10, *Pravilnik o energetskom certificiranju objekata*, str.: 13

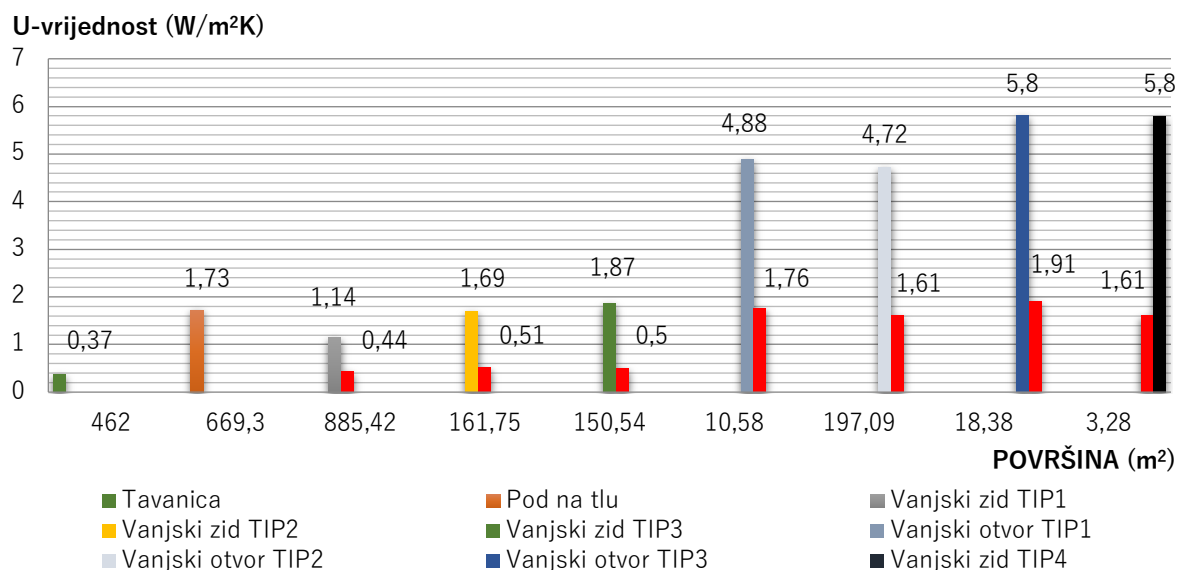
³³⁸ Prezentirani rezultat preuzet je iz priloga, izvor: doktorski rad Bradić: 2014

³³⁹ Bosanski stil počinje se razvijati s kraja 19. stoljeća i početkom 20. stoljeća. Naime projekt kuće u Bosni, koji je nastao već 1904. godine može se uzeti kao početak razvoja „bosanskog sloga“. Izvor: Krzović I., 2004: 191.

8.5.1. Prvi model transformacije zgrade JU OŠ Saburina

Ovaj model transformacije ima drugačiji pristup³⁴⁰ u odnosu na prethodni (JU OŠ Safvet-beg Bašagić). Analiza potencijala smanjenja energije u procesu transformacije postojećeg stanja ovojnice imala je za cilj ukazati na mogućnost suživota postojeće strukture s okruženjem u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije.

Ugradnja termoizolirajućih slojeva na ovojnici doprinosi velikim uštedama toplinske energije i umanjenju emisije CO₂ (ukupna površina netransparentnih fasadnih ploha je 1427,04 m² te ako se sagleda količina toplinskih gubitaka kroz vanjske otvore vidi se cjelokupan potencijal). Predviđena je ugradnja kamene vune³⁴¹ i potpuna rekonstrukcija i sanacija svih ukrasnih dijelova na fasadama. Na ovaj način vizualni identitet bi ostao nepromijenjen uz minimalno zadebljanje kompletne ovojnice koje ne bi utjecalo na postojeći arhitektonski izraz zgrade.



Dijagram 8.16. Umanjenja U-vrijednosti na pojedinim pozicijama ovojnice zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

Prvi model transformacije predviđa ugradnju novih vanjskih otvora na fasadi izvedenih s drvenim okvirima debljine 5,8 cm i dvostrukim Low-E ostakljenjem U_w-vrijednosti od 1,56 W/m²K, g = 0,54. Vanjski otvori predstavljaju izazov u pogledu saniranja i kreiranja „energetski aktivnog“ koncepta prozora što će biti razmatrano u MODELU 2. Potrebno je voditi računa da se njihov

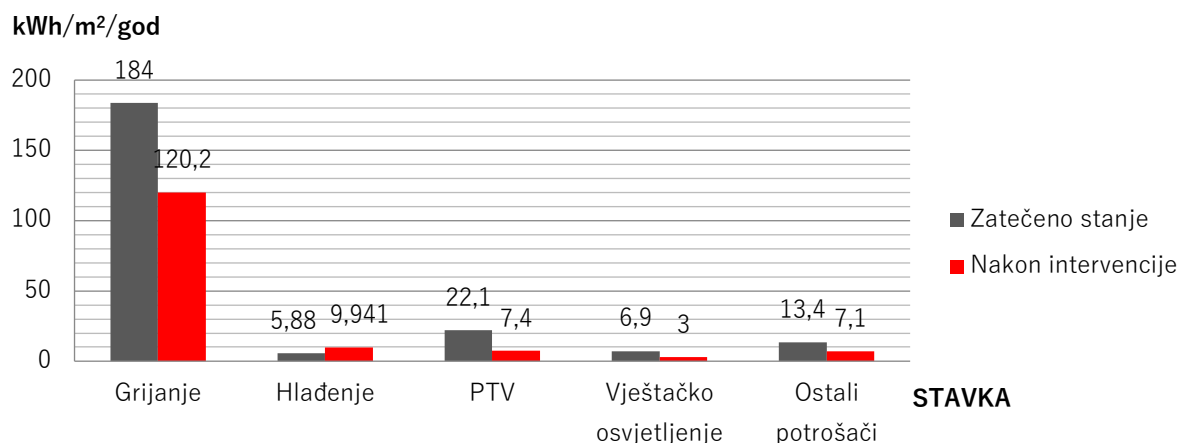
³⁴⁰ Budući da fasadna struktura nije zaštićena, omogućen je široki opseg mogućnosti primjene toplinsko izolacijskih sustava.

³⁴¹ Debljina kamene vune u pločama bi bila 5,0 cm jer ne bi narušila dekorativne elemente na fasadnoj strukturi koji se javljaju u obliku prozorskih okvira, atičnih vijenaca itd.

prvobitni oblik ne izmjeni, s obzirom da predstavljaju dekorativne elemente na fasadama zgrade, naročito na zapadnoj fasadi, tj. ulaznom pročelju.³⁴² Zapadna fasada u razdoblju od travnja do studenog prima veliku količinu sunčeve energije i predstavlja najveći potencijal u generiraju toplinske energije, ali i kontrolirane zaštite. Značaj „energetski aktivnog“ prozora potvrđuju između ostalog i podatci dobiveni u provedenim anketama o kvaliteti unutrašnjeg prostora.

Imajući u vidu da masa zida zadovoljava parametar toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim, ugradnjom novog sloja termoizolacije s vanjske strane ovojnice, finalni rezultat mjera energetske učinkovitosti imao bi srednju U-vrijednost ovojnice od 0,88 W/m²K, pretvarajući tako netransparentni dio ovojnice u dobro izoliranu strukturu i zadovoljavajuću sa svih točaka gledišta arhitektonske fizike. Konačno, zamjenom svih vanjskih otvora srednja U-vrijednost vanjskih otvora će se spustiti s 4,82 W/m²K na 1,63 W/m²K i punih ploha s 1,24 W/m²K na 0,81 W/m²K, a srednja U-vrijednost kompletne ovojnice s 1,56 W/m²K na 0,88 W/m²K. Crvena boja na dijagramu 9.4 prikazuje umanjene U-vrijednosti.

Dijagram 8.17. pokazuje ukupne energetske potrebe zgrade³⁴³ nakon primijenjene transformacije (MODEL 1A). Vidljivo je da je finalni rezultat energetske uštede na godišnjoj razini 84,67 kWh/m²/god., tj. 109.139,63 kWh/god. kada je emisija CO₂ umanjena za 36,4 kg/m²/god. (45,5 t/god), tj. za 41 %. Ukupne energetske potrebe zgrade nakon izvršenih mjera iznose 147,61 kWh/m²/god (185.873,8 kWh/god.), a emisija CO₂ je 36,4 kg/m²/god.



Dijagram 8.17. Proračun energetske potrebe nakon transformacije (MODEL 1A) zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

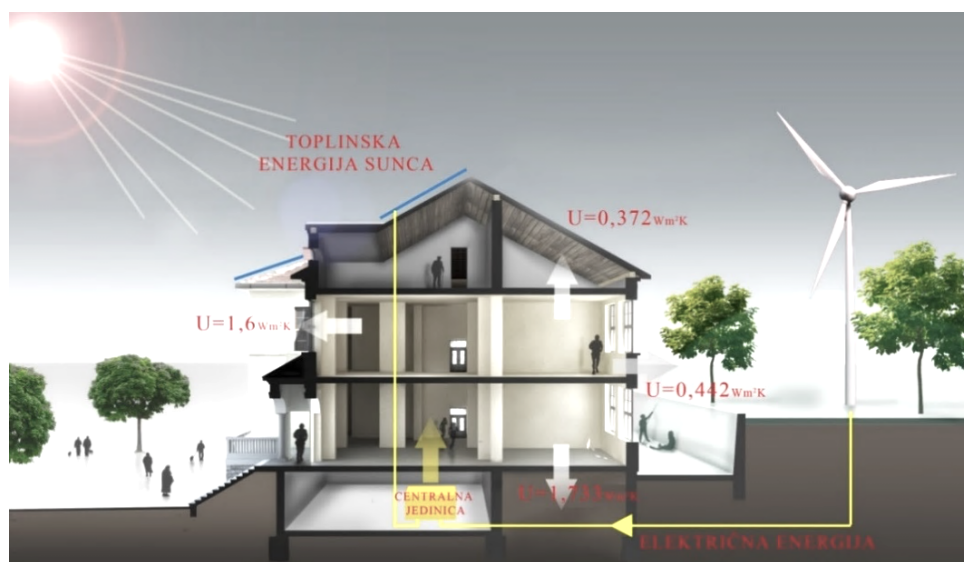
³⁴² Iako se radi o zgradi koja nije službeno zaštićena, svaki poduhvat na fasadi zgrade potrebno je elaborirati u Zavodu za zaštitu kulturno historijskog i prirodnog naslijeđa Kantona Sarajevo. Oblikovni koncept zgrade i vanjski otvori ne mogu biti zamijenjeni bez odobrenja spomenute institucije.

³⁴³ U proračunu su obračunate energetske uštede nastale i za potrebnu energiju pripreme tople vode usljed korištenja sunčeve energije putem solarnih kolektora na krovu i instalacijom energetski učinkovite rasvjete, npr. LED rasvjeta.

Analiza energetskeg potencijala okruženja rezultirala je prijedlogom o korištenju dva oblika obnovljivih izvora energije. Radi se o energiji Sunca i energiji dobivene pomoću mini vjetroelektrane na slobodnom prostoru koji se nalazi iza zgrade škole čime se definira model transformacije (MODEL 1B).

Zgrada JU OŠ Saburina ima veliki potencijal u korištenju energije Sunca zbog:

- Orijentacije padine, a time i fasadnih struktura (okruženje-energetski potencijal),
- Orijentacije prostorija zgrade,
- Dominantne uloge volumena zgrade u odnosu na okruženje (neometan priljev sunčeve energije i vjetroenergije).



Fotografija 8.35. Analiza mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije na lokalitetu zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu, nacrt: stvarni 3D presjek

Cilj modela je kreirati ovojnici koja će jednim svojim dijelom postati absorber sunčeve energije. Tako je potrebno definirati novi oblik vanjskog otvora, tj. aktivnog prozora, što je obrađeno u modelu transformacije MODEL 2.

Dijagram 8.17 prikazuje prilagođavanje zgrade okruženju u smislu korištenja potencijala obnovljivih izvora energije. Električna energija dobivena iz vjetroturbina³⁴⁴ uključena je u energetske sustav zgrade, a višak iste se predaje u gradsku/lokalnu energetske mrežu. Koncept je u potpunosti nastao na osnovi analize mikroklimatskih podataka o gradu Sarajevu, tj. o energetskeg potencijalu

³⁴⁴ Detaljni podatci o unikatnom modelu vjetroturbine za ovu zgradu bi se definirali nakon izrade projekta, a koji bi sagledao sljedeće parametre: mogućnost instalacije na terenu, dimenzije vjetroturbine, udaljenost od zgrade, razinu prihvatljive buke i kapacitet proizvodnje električne energije. Za ovaj primjer zgrade u proračun je uzeta mini vjetroturbina snage 4kW, Izvor: <http://www.greenspec.co.uk/small-wind-turbines.php>. Ukupan kapacitet tri vjetroturbine bi na godišnjoj razini iznosio cca 24.000,00 kWh ili 18.61 kWh/m²/god.

vjetra i Sunca koji su obrađeni tijekom istraživanja (smjerovi i brzine strujanja zraka, učestalost vjetrova i prosječan priljev sunčeve energije za BiH) i podacima o obnovljivim izvorima energije. Fotografija 8.35 prezentira novu relaciju zgrade i okruženja koja u fokus stavlja transformaciju cjelokupnog korištenja prostora zgrade i njenog okruženja u pogledu korištenja obnovljivih izvora energije.

Prvi model transformacije zgrade JU OŠ definira i cjelokupnost procesa energetske prilagodavanja zgrade svom okruženju. Naime, kako okolni prostor oko zgrade nije u funkciji zgrade, na ovaj način prezentira se nastanak novih odnosa zgrade (arhitekture) i čovjeka prema prostoru.³⁴⁵ Nije moguće govoriti o energetske učinkovitoj arhitekturi, a da se segment korištenja prostora, tj. iskoristivost svih potencijala ne uključi u cjelokupan proces nastajanja energetske transformirane postojeće arhitekture. Ovim modelom su uz toplinsku sanaciju ovojnice, instalaciju solarnih kolektora na kosom krovu i korištenje energije vjetra dobivene ukupne energetske uštede od 46% u odnosu na simulirane energetske potrebe zatečenog stanja. Ukupne energetske potrebe zgrade nakon transformacije (MODEL 1A i 1B) iznose 129,00 kWh/m²/god (166.281 kWh/god.), a emisija CO₂ 45,7 kg/m²/god. (58,9 t/god.).

8.5.2. Drugi model transformacije zgrade JU OŠ Saburina

U daljnjem procesu transformacije ovojnice kreirao se novi koncept vanjskih transparentnih dijelova na fasadama, naročito na pozicijama prozora koji postaju potpuno automatizirani i dijelovi ovojnice. Bilo je potrebno kreirati poseban koncept prozora koji treba biti ispunjen senzorima (unutarnji: osvjetljenje, temperatura, relativna vlažnost, koncentracija kisika i vanjski: snijeg, kiša, vjetar, oblačnost, osunčanost, itd.) i spojen s centralnim računalnim sustavom zgrade. Centralni sustav prima i šalje informacije na koje će vanjski otvori reagirati te vršiti kontrolirano propuštanje sunčeve svjetlosti, zraka ili praviti aktivnu sjenu na unutarnji prostor³⁴⁶ pri čemu bi proizvodio električnu energiju, a ujedno potrebnu toplinsku energiju za hlađenje (14,20 kWh/m²/god.) smanjio na minimum.

Ukupna površina fasadnih struktura orijentiranih prema istoku, jugu i zapadu je 1134,33 m², a 189,35 m² ili 16% su transparentne površine. Konačna proizvodnja električne energije na vanjskim otvorima ovisit će o vanjskim utjecajima (intenzitet i vrijeme osunčanja). U proračun je uzeto da će godišnja proizvedena energija biti 50 kWh/m² te konačno dati 7,34 kWh/m²/god.

Modelom 2 je definiran novi oblik vanjskog otvora koji se sastoji od automatizirane vanjske zaštite od sunca na kojoj se nalaze solarne fotonaponske ćelije u obliku tankog filma.³⁴⁷ Zaštita od sunčeve energije se aktivira u trenutku kada unutarnji uvjeti boravka

³⁴⁵ Energetska učinkovitost zgrada obuhvaća i aspekt korištenja prostora, tj. ukazuje da se cjelokupan prostor zgrade i njenog okruženja treba aktivno i planski koristiti.

³⁴⁶ Transparentne plohe postaju aktivni energetske sustavi, tehnički savršeni i prilagođeni zahtjevima unutrašnjeg komfora i klimatskim potencijalima mikrolokaliteta. Profesor Hadrović definira pristup kreiranja vanjskog otvora kroz konkretan slučaj koji naziva: „prozor kao regulator kriptoklime“, izvor: Hadrović, 2010: 342.

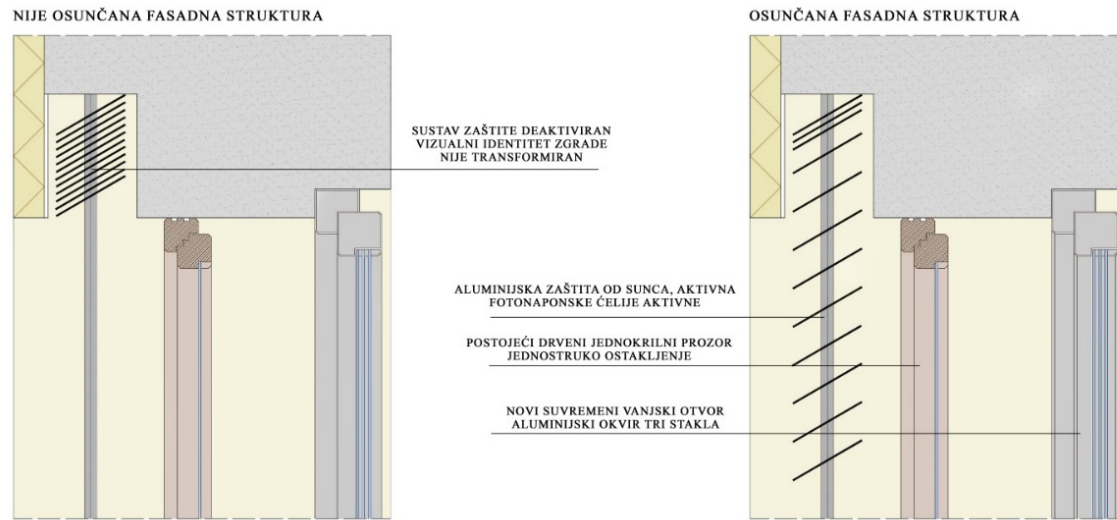
³⁴⁷ Tri vrste tankih filmova za proizvodnju električne energije: a) *Amorphous silicon*, b) *Copper-indium-selenium* (CIS) i c) *Cadmium-telluride* (CdTe), Izvor: Hegger, Fuchs, Zeumer, 2008: 96.

djece budu zadovoljeni (temperatura zraka i osvijetljenost) i kada je fasada insolirana. Fotografija 8.36., prikazuje transformaciju zgrade uslijed osunčanosti fasadnih ploha.



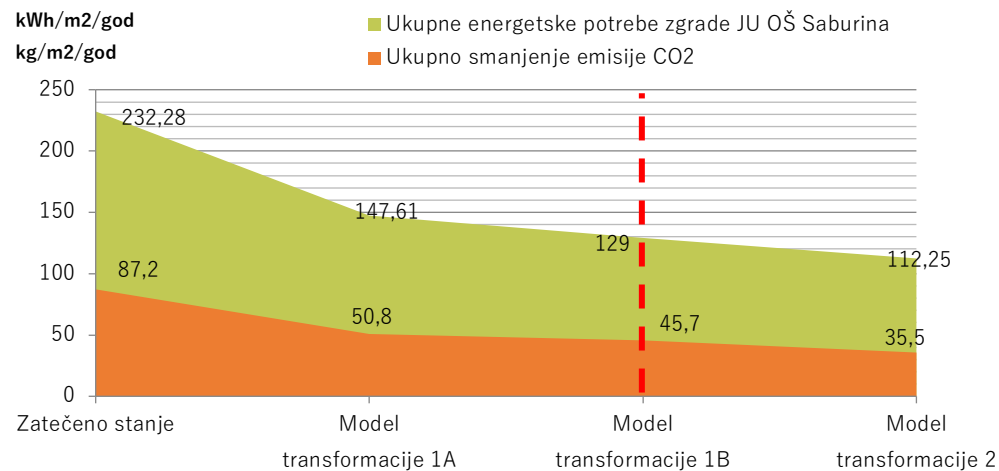
Fotografija 8.36. Automatizirani dijelovi ovojnice (vanjski otvori) zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu (a) fasadna struktura je osunčana, zaštita i proizvodnja el. energije aktivirani (b) fasadna struktura nije osunčana, zaštita i proizvodnja el. energije deaktivirani

Na osnovi ovog primjera transformacije može se zaključiti da je ovojnica (membrana) zgrade kompleksna, djelomično dinamična i tehnološki napredna energetska struktura, a da arhitektonski identitet postaje stalno promjenjiv i ovisan o okruženju s konačnim ciljem što većeg korištenja obnovljivih izvora energije. Tako redizajnirana struktura treba biti otvorena i za buduće beskrajne transformacije s ciljem stvaranja što boljeg unutarnjeg komfora za boravak djece



Fotografija 8.37. Novi koncept vanjskih otvora zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu

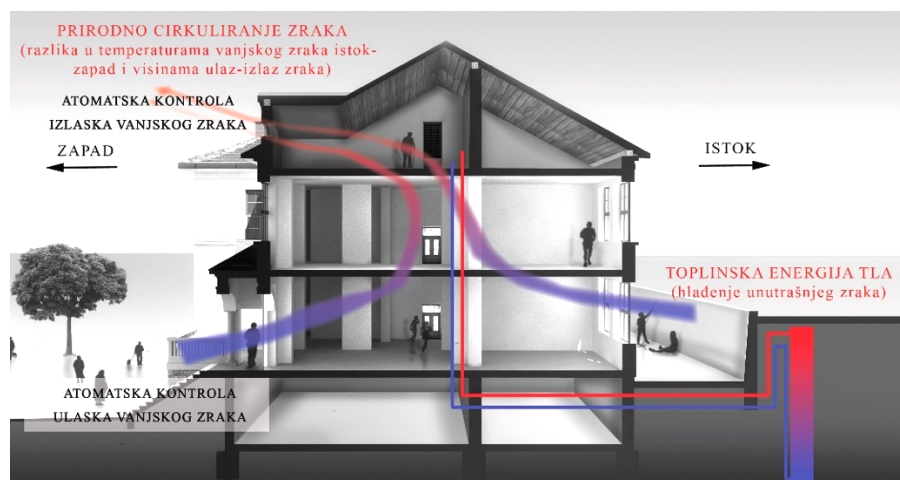
I dijagram 8.18 također prikazuje trenutak kada se postojeći izgled zgrade počinje mijenjati, u ovom slučaju je to djelomično vezano za interpolaciju novih vanjskih otvora (fotografije 8.36. i 8.37.) Ukupne energetske uštede nakon primjene oba modela transformacije iznose 120,03 kWh/m²/god. (154.718,67 kWh/god.), tj. smanjenje od 52%, smanjenje emisije CO₂ za 51,7 kg/m²/god. (66,6 t/god.), tj. za 59%. Ukupna energetska potreba zgrade je 112,25 kWh/m²/god., a emisija CO₂ je 35,5 kg/m²/god.



Dijagram 8.18. Simulacija ukupnih energetskih potreba nakon svih transformacija zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu

8.5.3. Model ventiliranja unutrašnjeg prostora zgrade JU OŠ Saburina

Kao i u prethodnom primjeru transformacije i ovaj primjer zahtjeva značajne količine energije za ventiliranje unutarnjeg prostora, stvaranje prihvatljivih uvjeta za boravak djece i odvijanje nastavnog procesa te je potrebno koristiti principe bioklimatske arhitekture kako bi se umanjila potrebna energija za hlađenje. Model ventiliranja za ovaj primjer transformacije obuhvaća dva pristupa. Prvi pristup predstavlja prirodno ventiliranje koje nastaje cirkuliranjem zraka kroz zgradu iz suprotno orijentiranih fasada, tj. uslijed različite temperature vanjskog zraka i visine pozicije ulaza i izlaza zraka. Ovisno o položaju Sunca tijekom dana i godišnjeg doba, oformit će se zone s hladnim i toplim dijelovima oko zgrade te uslijed razlike u temperaturi inicirati kretanje zraka. Drugi pristup je mehaničko ventiliranje pomoću kojeg se zagrijani unutarnji zrak preuzima putem ventilacijskih kanala i vodi u tlo na projektom predviđenu dubinu, a potom vraća u zgradu. Na ovaj način iskorištava se toplinska energija tla koja ima konstantnu temperaturu od 10 - 12 ° C na dubini većoj od 10 m. Ovaj sustav omogućava minimalan utrošak električne energije za pokretanje ventilatora za umjetno i kontrolirano kretanje zraka. U skladu s higijensko-tehničkim uvjetima, zahtijevana temperatura zraka unutar objekta kreće se između 19 – 21 ° C, dok je temperatura zraka iz sonde hladnija (cca 12-16 ° C). Iz tog razloga, istu je potrebno dodatno zagrijati pomoću rekuperiranja toplinske energije iz temperature izlaznog unutrašnjeg zraka. Zamišljeni koncept suštinski koristi prirodno ventiliranje uz mehaničku potporu³⁴⁸ te kao takvo se približava principima kreiranja bioklimatske arhitekture već spomenute u ovom radu.³⁴⁹ Osim navedenog i ovim konceptom se dokazuje da arhitektura budućnosti, tj. energetske transformirana arhitektura postaje dijelom svog okruženja kroz različite točke gledišta korištenja toplinske energije.



Fotografija 8.38. Shema: prirodno i mehaničko vjetrenje zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu, nacrt: stvarni presjek kroz zgradu

³⁴⁸ Pri ulasku i izlasku vanjskog zraka bi se instalirali automatski otvori koji na osnovi vanjske temperature zraka, brzine kretanja istog i unutarnjih potreba omogućavaju ulazak i izlazak zraka.

³⁴⁹ Vidjeti poglavlje 4.21

8.6. JU OŠ Hasan Kikić

Zgrada se nalazi na prostoru općine Centar u Sarajevu, na adresi Ulica Gorica 27. Izgrađena je 1963. godine, a pripada povijesnom razdoblju gradnje od Drugog svjetskog rata do 1970. godine. Kantonalni zavod za zaštitu kulturno-historijskog i prirodnog naslijeđa Kantona Sarajevo nije zgradu zaštitio kao nacionalni spomenik,³⁵⁰ što znači da nema ograničenja u transformaciji postojećeg stanja fasada s gledišta vizualnog identiteta. Nalazi se na padini grada Sarajeva u naselju Gorica, koja je orijentirana prema jugoistoku.

Tablica 8.9. Osnovne informacije o zgradi JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

Sjeverna geografska širina	43°51'39.90"
Istočna geografska dužina	18°24'34.74"
Nadmorska visina	578 m
Arhitekt	Ivan Štraus
Godina izgradnje	1963. godina
Katnost	Po + Pr + 2
Prosječan broj učenika i osoblja (10god.)	715

³⁵⁰ www.spomenici-sa.ba, (19.01.2014)



Dron snimak – Bradić H.



Slika 8.39. Google Earth - pogled na poziciju zgrade JU OŠ Hasan Kikić i grad Sarajevo – Centar – naselje Gorica

U posljednjem ratu (1992. - 1996.) zgrada je oštećena, naročito ravni krov, koji je tijekom rekonstrukcije 1997. godine zamijenjen u četverovodni kosi krov (lagana krovna konstrukcija) s negrijanim tavanskim prostorom. Tijekom spomenute sanacije izvršena je zamjena i djelomična rekonstrukcija vanjskih otvora i sanirani su netransparentni dijelovi.

8.6.1. Analiza postojeće ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić

Zgrada predstavlja tipičan primjer gradnje zgrada za osnovno obrazovanje u razdoblju nakon Drugog svjetskog rata do 1970. godine, kada je izgrađen veliki broj zgrada sa sličnim oblikovnim karakteristikama³⁵¹ koje se manifestiraju sljedećim elementima: fasada je oblikovana pravim linijama koje oformljavaju horizontalni slijed transparentnih i netransparentnih ploha i zgrada je dvovolumenska kompozicija s vizualno odvojenom dvoranom za tjelesni odgoj. Slične arhitektonske kompozicije zastupljene su na cijelom prostoru šire regije te predstavljaju snažan izazov za energetske transformaciju.

Fotodokumentacija zgrade prikazuje da se radi o saniranim fasadnim strukturama s gledišta fizičkih oštećenja. Međutim, proračun fizike zgrade (kretanje topline, vodene pare i toplinska stabilnost konstrukcije na ljetni režim) dokazuje da je zatečeno stanje ovojnice vrlo loše s visokim vrijednostima koeficijenta prolaska topline. Dijagram br. 8.21. prikazuje maksimalne U-vrijednosti od 3,39 W/m²K za vanjske zidove, gdje bi trebalo doći do intenzivne pojave kondenzacije vodene pare, ali na licu mjesta nisu ustanovljena fizička oštećenja s unutrašnje strane što otvara pitanja o kvaliteti korištenja unutarnjeg prostora (vrijeme i intenzitet grijanja unutarnjeg prostora, nekontrolirano prirodno vjetrenje, visoka infiltracija, itd.). I ovdje je provedena anketa učenika sa stanovišta kvalitete komfora unutarnjeg prostora kako bi se odredio stupanj kvalitete komfora unutrašnjeg prostora u kojem djeca borave.



Fotografija 8.40. Zgrada JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, (a) ulazno pročelje, (b) istočna fasada, (c) zapadna fasada (24.12.2009.)

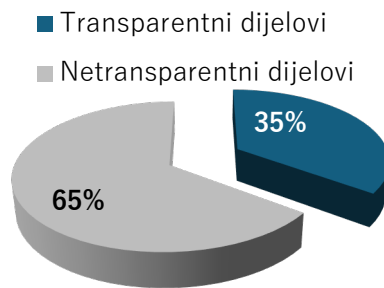
³⁵¹ Pravilan slijed (horizontalno ponavljanje) punih i praznih (transparentnih i netransparentnih) ploha na fasadi je pravilne strukture gdje se vidi jasan utjecaj moderne, ravni krov, dvovolumenska kompozicija spojena toplom vezom (ulazni hol), veliki postotak staklenih ploha u ovojnici, katnost P + 2 su osnovne odlike zgrada za osnovno obrazovanje građenih u razdoblju od 1945. do 1970.

Tablica 8.10. Geometrijske karakteristike zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

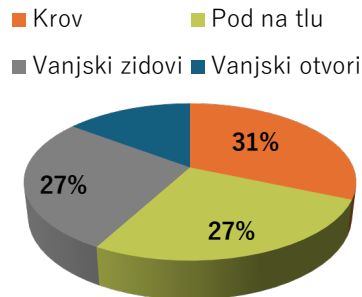
	Površina korisnog prostora (m²)	Volumen zraka u tretiranom prostoru (m³)	Svijetla visina korisnog prostora
Etaža Nisko prizemlje	853,3	3182,2	3,53 - 5,0
Etaža Visoko prizemlje	620,0	2213,4	3,57
Etaža I. kat	620,0	2213,4	3,57
Etaža II. kat	620,0	2213,4	3,57
Ukupno	2713,3	9822,4	
	Netransparentne površine	Transparentne površine	Ukupno
Sjeverna fasada	236,7	99,2	335,9
Istočna fasada	340,9	266,1	607,1
Južna fasada	246,9	99,9	346,9
Zapadna fasada	238,6	158,1	486,7
Ukupno	1153,2	623,4	1776,6
Ravni krov			758,6
Tavanica			570,5
Pod na tlu			1118,8
Ukupna površina ovojnice			4224,6

Faktor oblika zgrade je 0.36, što govori da se radi o relativno dobro iskorištenom unutarnjem volumenu zraka u odnosu na površinu kompletne ovojnice. Analizom strukture netransparentnih i transparentnih ploha na kompletnoj ovojnici zgrade utvrđeno je da se radi o strukturi ovojnice koja je materijalizirana u 8 različitih tipova vanjskih zidova, dva različita koncepta krovnih slojeva i pod na tlu te pet tipova vanjskih otvora. U-vrijednosti vanjskih zidova kreću se od 1,38 W/m²K do 3,39 W/m²K. Vanjski zidovi su pretežno izvedeni s armiranim betonom (nosivi dio) i termoizolacijom od drvene vune u različitim debljinama, nema ventilirajućih struktura i završno su obloženi fasadnom vapneno-cementnom žbukom. Srednji koeficijent prolaska topline netransparentnih ploha koje je objedinio i poziciju krovova i poda na tlu je $U = 1,53 \text{ W/m}^2\text{K}$. Prezentirane analize u dijagramima od 8.19. i 8.22. govore o tipologiji

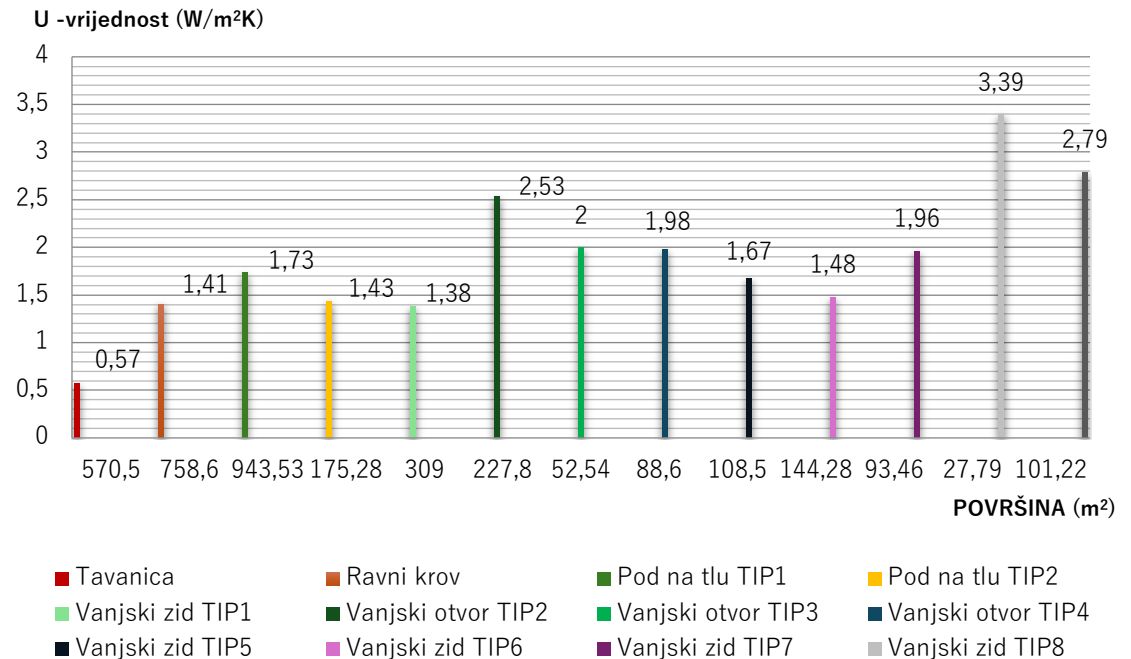
i različitoj materijalizaciji ovojnice zgrade naročito u pozicijama vanjskih zidova, što će u velikoj mjeri morati ponuditi kompleksan put sanacije s aspekta arhitektonske fizike s ciljem stvaranja ujednačene kvalitete u pogledu energetske učinkovite ovojnice.



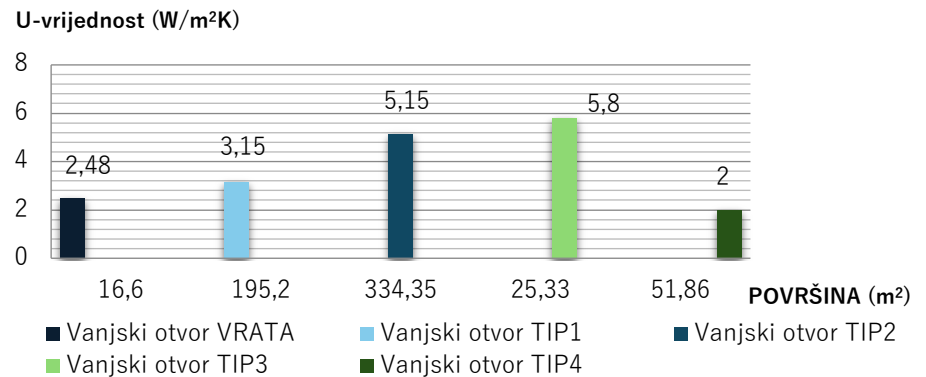
Dijagram 8.19. Odnos transparentnih i netransparentnih ploha u fasadnoj strukturi zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu



Dijagram 8.20. Odnos površina u kompletnoj ovojnici Zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu



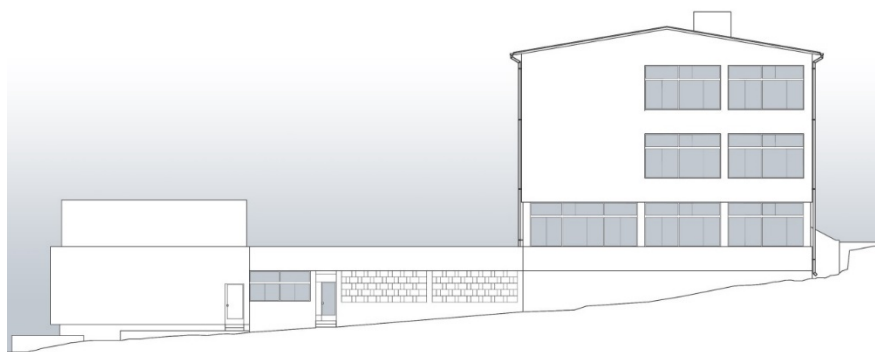
Dijagram 8.21. Odnos površina i U-vrijednosti u transparentnom dijelu ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu



Dijagram 8.22. Odnos površina i U-vrijednosti u netransparentnom dijelu ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

Na osnovi analizirane dokumentacije o rekonstrukciji zgrade koja je izvedena 1997. godine te o parcijalnim zamjenama vanjskih otvora koja su se događala postupno na nekolicini pozicija u proteklih 10 godina nije moguće ustanoviti točne vrijednosti koeficijenata prolaska topline vanjskih otvora. Stoga, urađen je proračun na osnovi primijenjenih materijala i geometrijskih karakteristika otvora. Na osnovi zatečenog stanja kalkulirana srednja U-vrijednost vanjskih otvora je $4,21 \text{ W/m}^2\text{K}$, što ukazuje da je i nakon urađenih intervencija ista vrlo visoka. Spomenuto je iniciralo dodatno analiziranje i to putem termovizijskog snimanja ovojnice.

Udio vanjskih otvora u strukturi fasada je 35 % (Dijagram 8.19), a u kompletnoj ovojnici zauzimaju površinu od 15% (Dijagram 8.20). Dijagram 8.22, pokazuje da su vanjski otvori pozicije koje imaju najviše vrijednosti koeficijenata prolaska topline. Na zgradi je definirano ukupno 5 tipova vanjskih otvora. Vanjski otvor TIP1 predstavlja rekonstruirani postojeći prozor gdje je zanatskim radnjama napravljeno novo prozorsko krilo s izolirajućim staklom te ugrađeno u postojeći drveni okvir. Vanjski otvori TIP2 su drveni prozori s duplim krilima jednostruko ostakljenim čija je funkcija u potpunosti upitna (govoriti o egzaktnim vrijednostima koeficijenta toplinske provodljivosti ili ventilacijskih gubitaka je nemoguće te je izvršen proračun stvarnih vrijednosti na osnovi pretpostavki kao i u prethodna dva primjera zgrada). Vanjski otvor TIP3 su otvori s metalnim profilima ručnog rada koji se nalaze na sporednim ulazima i požarnim izlazima iz zgrade gdje su toplinski gubici veliki te je pojava vlage na istim u zimskom razdoblju neizostavna.



Fotografija 8.41. Nacrt: tlocrt etaže I kat i sjeverne fasade zgrade
JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, digitalizirana postojeća projektna dokumentacija



U okviru analize unutarnjeg komforta došlo se do podataka koji ukazuju na nekontroliran i prekomjeren priljev sunčeve energije u ljetnom razdoblju kroz transparentne plohe i stvaranje viška topline u pojedinim prostorijama, što negativno utječe na kvalitetu boravka djece i osoblja, ali i odvijanja nastavnog programa. Jedan od ciljeva transformacije ovojnice na ovom primjeru je smanjenje srednje U-vrijednosti vanjskih otvora s trenutnih $4,21 \text{ W/m}^2\text{K}$ na približno $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ kroz sustavno rješenje na svim pozicijama u svrhu kreiranja ekonomski najprihvatljivije varijante, jer se radi o površini transparentnih ploha od 623 m^2 . Srednja vrijednost za kompletnu ovojnicu je $U = 1,92 \text{ W/m}^2\text{K}$.



Fotografija 8.42. (a,b,c,d) Zgrada JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, originalni vanjski otvori (24.12.2009.)

8.6.2. Analiza ukupnih energetske potrebe zgrade JU OŠ Hasan Kikić

Na osnovi obrađene postojeće dokumentacije i nacrtu stvarnog stanja može se napraviti softverski proračun energetske potrebe te rezultati usporediti sa stvarnim utroškom energije.³⁵²

Proračun potrebne toplinske energije za grijanje

Toplinska energija se u zgradi distribuira putem cijevi s radijatorima, a cjelokupan sustav je povezan sa dvije kotlovnice: prva je plinska kotlovnica koja je tijekom rekonstrukcije 1997. godine interpolirana u zgradu, a nalazi se u posebnoj prostoriji na I. katu, dok je druga prvobitna i nalazi se u etaži podruma. Kotlovnica je na kruta goriva te se pušta u rad ukoliko dođe do prekida u opskrbi plinom. Cjelokupan sustav može se opisati kao funkcionalan i energetski stabilan, uz manje nedostatke, kao što je na primjer nepostojanje automatske kontrole sustava i termostata na radijatorima, što dovodi do nekontroliranog utroška energije u prostorijama te pregrijavanja koja nastaju zavisno od broja učenika u njoj, orijentacije, osunčanosti zgrade, tj. trenutnih vanjskih uvjeta.

Na osnovi proračuna potrebne energije za grijanje dobiven je rezultat od 160,8 kWh/m²/god.³⁵³ ili ukupno na godišnjoj razini 443764,96 kWh. Obuhvaćene su energetske potrebe zgrade nastale uslijed transmisijских i ventilacijskih gubitaka energije (Tablica br. 8.11.).

Tablica 8.11. Toplinski gubici proračunati putem ENSI EAB softvera zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

	I	II	III	IV		IX	X	XI	XII
	Φ_T Transmisijски gubici, 423.244,39 W/godina (76 % od ukupnih)								
A	21664,59	20987,18	16933,7	8593,08	29 %	1054	8183,81	14912,44	22033,09
B	22312,51	21614,84	17440,13	8850,07	28 %	1085	8428,56	15358,42	22692,03
C	15423,63	14941,36	12055,57	6117,65	16 %	750	5826,28	10616,58	15685,97
D	20778,38	20128,68	16241	8241,57	27 %	1011	7849,04	14302,43	21131,8
	Φ_V Ventilacijski gubici, 126.646,89 W/godina (24 % od ukupnih)								
	23991,89	23241,71	18752,78	9516,18		1167	9062,95	16514,4	24399,98

- A - vanjski zidovi, B - vanjski otvori, C - krovne plohe, D - pod na tlu
- I, II, III... mjeseci u godini
- Ukupni toplinski gubici su: $\Phi = \Phi_T + \Phi_V = 549.891,28 \text{ W/god.}$

³⁵² Proračun stvarnog utroška energije napravljen je na osnovi analize računa energije koju je zgrada potrošila u protekle tri godine i uzeta je prosječna vrijednost za razdoblje od protekle tri godine.

³⁵³ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014. Kalkulacija toplinskih gubitaka je napravljena na osnovi toplinskih karakteristika građevnih dijelova u ovojnici zgrade JU OŠ Hasan Kikić i uzetog solarnog faktora od 0,720 – 0,783 te infiltracije 0,7.



Fotografija 8.43. Zgrada JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, (a) sekundarna kotlovnica, (b) primarna kotlovnica (24.02.2010.)

Proračun potrebne toplinske energije za hlađenje

Analiza potrebne energije za hlađenje je izvedena putem kalkulacije u računalnom programu Novolit 2009, koji je i usvojen jer se radi o proračunu koji je u ovisnosti o stvarnoj strukturi ovojnice.

Ukupan rezultat energetske potrebe za hlađenje cjelokupnog prostora je: $16,66 \text{ kWh/m}^2/\text{god.}$ ili $45.181,00 \text{ kWh/god.}$

Proračun potrebne toplinske energije za pripremu tople vode

Kao i u prethodnim primjerima zgrada, centralni ili neki drugi oblik sustavne pripreme tople vode ne postoji, a u sanitarnim blokovima se ne koristi topla voda. Postoje dvije pozicije u zgradi gdje su instalirane instalacije pripreme tople vode (pojedinačni električni bojleri, kapaciteta 50 litara), a to su kuhinja i prostorija za boravak kućepazitelja. O utrošku energije na ovom polju je nepotrebno govoriti, jer djeca, kao ni nastavno osoblje ne koriste istu, što unutarnji komfor ili higijensko tehničke uvijete korištenja prostora karakterizira kao neprihvatljive. Potrebno je planski pristupiti rješavanju sustava pripreme tople vode, jer se omogućavanjem korištenja tople vode podižu energetske potrebe zgrade, a time otvara i potencijal u korištenju obnovljivih izvora energije. Napravljena je računalna simulacija utroška energije i dobiven je sljedeći rezultat: $14,6 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$ ili $39.656,52 \text{ kWh}$.³⁵⁴

³⁵⁴ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014.

Proračun potrebne toplinske energije za rasvjetu i ostale el. potrošače

Rasvjetna tijela koja se nalaze u zgradi proizvode dovoljnu količinu svjetlosti, ali djelomično spadaju u energetske učinkovite. Pretežno su instalirana neonska rasvjetna tijela uz nekoliko žarulja sa žarnom niti. Sustav rasvjete proizvodi veliku količinu toplinske energije i ne zadovoljava propisane standarde o uštedi energije. Trenutno stanje je neprihvatljivo te je potrebna zamjena kompletnog sustava umjetne rasvjete kako unutra tako i vani. Tehnička oprema u školi (računala, pisači, skeneri, kuhinjski aparati, strojevi za pranje itd.) spadaju u neadekvatne energetske razrede.

Kada se govori o ostalim potrošačima električne energije u zgradama za obrazovanje potrebno je naglasiti da je njihov udio u energetske potrebama značajan u odnosu na ukupne energetske potrebe. Ukupna energetska potreba za umjetno osvjetljenje je $8,4 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$, za ostale potrošače je $10,5 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$, a ukupno je $18,9 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$ ili $51.336,18 \text{ kWh}$.³⁵⁵ Ukupna instalirana snaga je 22.824 W ili $8,4 \text{ W/m}^2$, a 9% predstavlja žarulje sa žarnom niti.

Tablica 8.12. Instalirana snaga za umjetno osvjetljenje u zgradi JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

	VRSTA RASVJETNOG TIJELA	INSTALIRANA SNAGA (W)	POSTOTAK (%)
1	Fluorescentna rasvjeta	20.664	91
2	Žarulja sa žarnom niti	2.160	9
UKUPNO		22.824	

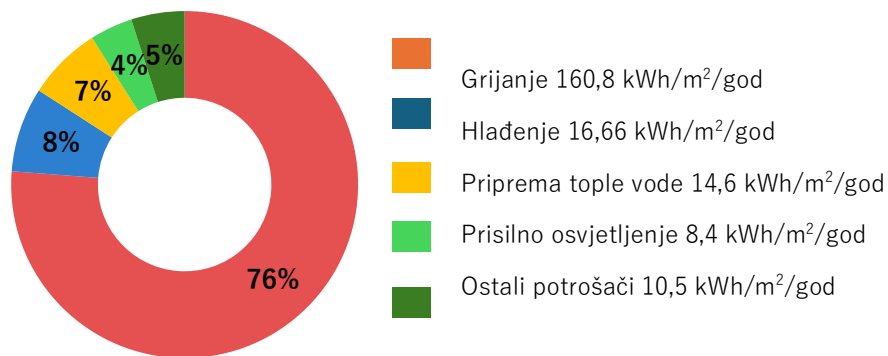
Napravljena je analiza stvarnog utroška energije na osnovi plaćenih računa svih korištenih energenata (plin, električna energija i lož ulje) za razdoblje 2009. - 2011. Sve jedinice su pretvorene u kWh te konačan rezultat za ukupno utrošenu energiju iznosi 348849 kWh na godišnjoj razini (prosjeak za posljednje tri godine), a gledano po korisnoj površini to je: $148,44 \text{ kWh/m}^2/\text{godini}$ što zgradu svrstava u visoke potrošače energije.

Uspoređujući ova dva rezultata jasno se vidi da je potrebna veća količina energije da bi se zadovoljili propisani higijensko-tehnički uvjeti za boravak djece te se zaključuje da trenutno stanje boravka djece nije zadovoljavajuće u smislu sljedećeg: temperatura i kvaliteta unutrašnjeg zraka, topla voda u sanitarnim blokovima i nedovoljno osvjetljenje u unutrašnjem prostoru. Spomenuto upućuje na zaključak da unutarnji prostor nije prikladno tretiran, a najčešće se to događa uslijed nedovoljnog grijanja prostora. Naime, prostor se počinje grijati u jutarnjim satima u 7 h i završava u 15 h, što je prekratko razdoblje da bi se pri niskim temperaturama vanjskog zraka mogla postići temperatura unutrašnjeg zraka od 19°C , naročito ne pri ovako lošoj ovojnici zgrade.³⁵⁶

³⁵⁵ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014.

³⁵⁶ Na početku nastave temperatura unutrašnjeg zraka mora iznositi $16 - 17^\circ \text{C}$, a tijekom nastave ne smije prelaziti 19°C . Izvor: Auf-Franić, 2004: 78.

8.6.3. Analiza postojeće ovojnice putem termovizijske kamere

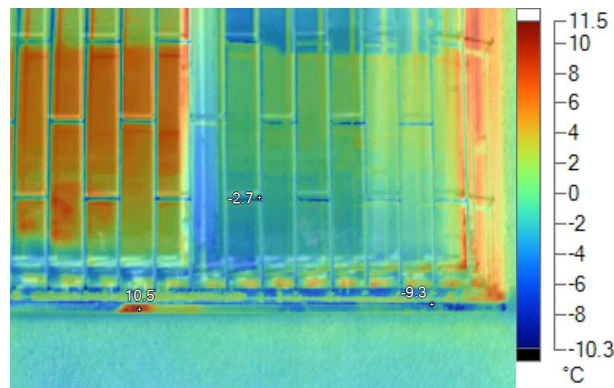


Dijagram 8.23. Ukupne energetske potrebe zrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

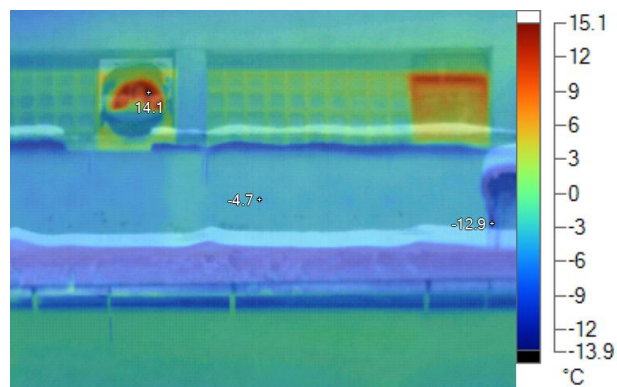
Termovizijsko snimanje urađeno je pri temperaturi vanjskog zraka -10°C i unutarnjoj temperaturi od $+15^{\circ}\text{C}$ do $+22^{\circ}\text{C}$, što su idealni uvjeti, jer je razlika u temperaturama bila preko 20°C . Fotografije 8.44 – 8.47 dokazuju pretpostavljene velike gubitke topline kroz ovojnicu, a koji su dokazani i matematičkim proračunima u okviru ovog istraživanja.

Naročiti problemi se javljaju na poziciji metalnih vanjskih otvora gdje je na spomenutoj poziciji temperatura unutarnjeg prvog sloja $+4^{\circ}\text{C}$, a zraka $+17^{\circ}\text{C}$. Također, s vanjske strane uočljive su visoke temperature koje na pojedinim pozicijama dostižu vrijednost od $+22^{\circ}\text{C}$ (pozicija spoja prozora i zida, a iznad radijatora) pri temperaturi vanjskog zraka od -12°C . Uočeno je da i u stanju velike razlike između unutarnje i vanjske temperature ne dolazi do pojave kondenzata vodene pare na spomenutim pozicijama, iz čega se može zaključiti da je uslijed oštećenja na otvorima i neadekvatnih spojeva prisutan stalni protok zraka, tj. izmjene koje vrše isušivanje analiziranih ploha s unutarnje strane.

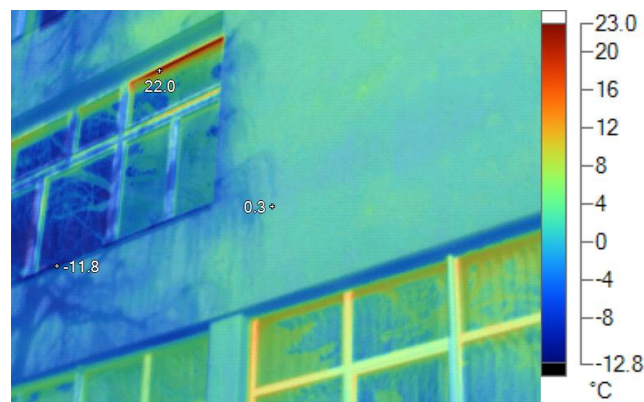
Fotografija 8.44. Termovizijska snimka s vanjske strane na originalne prozore Broj snimke: IR 20121213_0125.is2 (13.12.2012., 9:15)



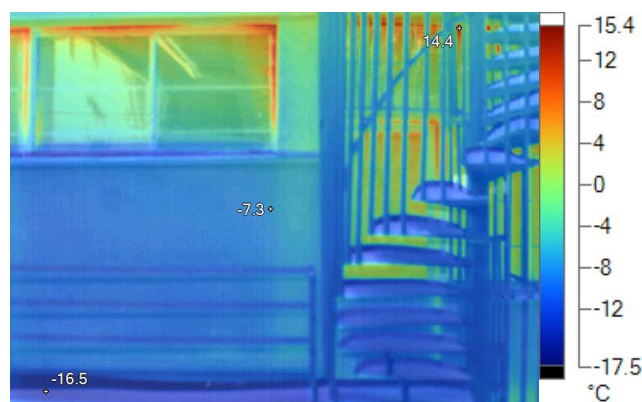
Fotografija 8.45. Termovizijska snimka s vanjske strane na vanjske otvore sportske dvorane Broj snimke: IR 20121213_0128.is2 (13.12.2012., 9:17)



Fotografija 8.46. Termovizijska snimka s vanjske strane na južnu fasadu Broj snimke: IR 20121213_0136.is2 (13.12.2012., 9:23)



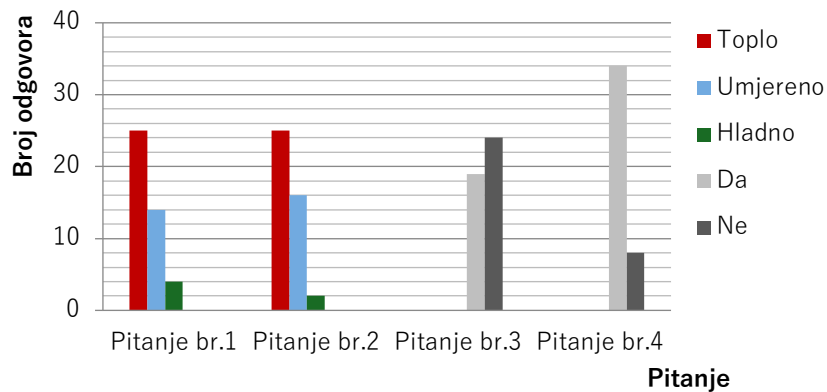
Fotografija 8.47. Termovizijska snimka s unutarnje strane na zapadnu fasadu Broj snimke: IR 20121213_0137.is2 (13.12.2012., 9:25)



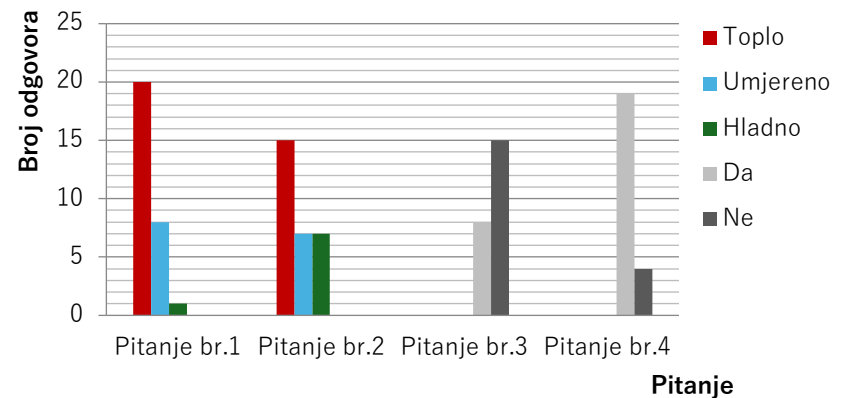
U svrhu dodatnog potvrđivanja gore navedenog (i prikazanog) provedena je i anketa s učenicima i nastavnim osobljem, kako bi se dobili i subjektivni podaci na licu mjesta o doživljaju prostora i uvjeta u kojima borave djeca i nastavno osoblje.

8.6.4. Anketa učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutrašnjeg prostora

Anketa učenika provedena kod dva različita uzrasta: djece devetih razreda, starosne dobi od 14 do 15 godina (44 učenika) i djece petih razreda, starosne dobi između 11 i 12 godina (29 učenika). Ukupan broj anketiranih učenika je 73, a u anketi su postavljena ista četiri pitanja kao i u prethodnim primjerima analiziranih zgrada.³⁵⁷



Dijagram 8.24. Rezultati ankete djece uzrasta devetih razreda u OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu



Dijagram 8.25. Rezultati ankete djece uzrasta petih razreda u OŠ Hasan Kikić u Sarajevu

Stanje arhitektonskog komfora unutrašnjeg prostora nije prihvatljivo, jer nije zadovoljena kvaliteta unutarnjeg zraka s gledišta visine temperature i provjetravanja. Ne postoji kontrolirani ventilacijski sustav, nego se ventiliranje prostora provodi putem vanjskih otvora, čime je omogućen nekontroliran ulazak vanjskog zraka (toplog ili hladnog) u unutarnji prostor, što negativno utječe na zdravlje korisnika prostora, u ovom slučaju djece (učenika). Ustanovljena je velika razlika u temperaturi zraka između učionica i hodnika, gdje je npr. u učionicama izmjerena temperatura unutrašnjeg zraka od $+23^{\circ}\text{C}$, a u koridorima $+13^{\circ}\text{C}$, tj. $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$.

Rezultati ankete pokazuju da unutarnji zrak ima previsoke temperaturne vrijednosti tijekom cijele godine, naročito u ljetnom razdoblju, čemu značajno doprinose i orijentacija zgrade (istok i jug) te struktura ovojnice (u fasadnoj strukturi 35% površine zauzimaju transparentne plohe). Ne postoji zaštita od prekomjernog priljeva energije, a U -vrijednosti kompletne ovojnice su visoke. Prema anketnim rezultatima, osvjetljenje i kvaliteta unutarnjeg zraka u smislu zagušljivosti nisu opisani kao neprihvatljivi.

³⁵⁷ Pitanja identična kao i u anketi provedenoj u JU OŠ Safvet-beg Bašagić.

Higijenski aspekt gledan kroz snabdijevanje toplom vodom nije zadovoljen, jer u zgradi nema instalacija tople vode, što onemogućava njeno korištenje u sanitarnim blokovima, a djecu primorava da svoje higijenske potrebe zadovoljavaju hladnom vodom.

Također, proveden je i intervju s direktorom škole te razgovori s nastavnim osobljem, koji su na osnovi vlastitog iskustva u korištenju zgrade opisali vanjske otvore kao djelomično dobre (misleći na one koji su rekonstruirani ili potpuno zamijenjeni), da je trenutni sustav grijanja učinkovit (misleći na toplinu), da topla voda postoji djelomično u sanitarnim blokovima, da je unutarnji zrak s aspekata arhitektonske fizike (temperatura i relativna vlažnost) nezadovoljavajući te da je umjetna rasvjeta kvalitetna. Ovdje je iznesen njihov subjektivni stav koji nije utemeljen na poznavanju teme energetske učinkovitosti, ali ga je potrebno uzeti u obzir kako bi se ukazalo na određene nedostatke i prednosti te utjecalo na cjelokupan zaključak stvarnog stanja zgrade JU OŠ Hasan Kikić.

8.6.5. Zaključno razmatranje o stvarnom stanju zgrade JU OŠ Hasan Kikić

Uzimajući u obzir sve prethodno navedeno o zgradi JU OŠ Hasan Kikić, može se zaključiti da ova zgrada ne zadovoljava higijensko-tehničke uvjete komfora unutarnjeg prostora s mnogo točaka gledišta i spada u visoke potrošače energije i emitere CO₂:

- Proračunate energetske potrebe zgrade su 210,96 kWh/m²/god.³⁵⁸ (381 kWh/m²/god. primarne energije),
- Emisija CO₂ na osnovi proračunate potrebne energije je 76,5 kg/m²/god ili 207,8 t/god.³⁵⁹
- Minimalni higijensko-tehnički uvjeti za boravak djece nisu zadovoljeni.

Iako su prezentirani problemi vrlo slični prethodnim primjerima, postoje osobitosti. Ovojnica zgrade je nefunkcionalna i ima prevelike toplinske gubitke energije, naročito na pozicijama vanjskih zidova i spojevima vanjskih otvora s fasadnim strukturama. Ističe se i velika potreba toplinske energije za hlađenje zbog visokih U-vrijednosti na vanjskim zidovima velikih staklenih ploha orijentiranih prema istoku i jugu. Finalni rezultat energetskih potreba trenutnog stanja zgrade je 210,96 kWh/m²/god što klasificira ovu zgradu kao zgradu s visokom potrošnjom energije i emisije CO₂.

Uvjeti boravka djece nisu zadovoljeni: temperatura unutrašnjeg zraka je previsoka, održavanje osobne higijene učenika nakon sata tjelesnog odgoja nije omogućeno, a unutarnji zrak je prezasićen vlagom i štetnim plinovima. Konačno, zgradu je potrebno transformirati. Cjelokupan proces transformacije treba za cilj imati smanjenje energetskih potreba i kreiranje energetski učinkovite arhitekture, a time i njene ovojnice. I ovaj primjer ima snažne potencijale za kreiranje energetski učinkovite arhitekture. Prvi potencijal ogleda se u mogućnosti transformacije ovojnice (smanjenje U-vrijednosti i aktivno sudjelovanje u korištenju obnovljivih izvora energije, Sunce), drugi u rekonstrukciji i reorganizaciji tehničkih sustava za tretiranje kvalitete unutarnjeg zraka (sustavi

³⁵⁸ Energetski razred zgrade JU OŠ Hasan Kikić je D, Izvor: Službene novine FBiH, br. 50/10, *Pravilnik o energetskom certificiranju objekata*

³⁵⁹ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014.

grijanja, vjetrenja, hlađenja, sustav rasvjete i ostalih potrošača) i treći u korištenju kišnice na dva načina: aktivno za potrebe zgrade (održavanje higijene) i pasivno u hlađenju ovojnice.

Velike površine fasadnih i krovnih struktura orijentiranih ka istoku, jugu i zapadu su ujedno i dijelovi ovojnice koji mogu apsorbirati značajnu količinu sunčeve energije i ciljano iskoristiti za potrebe zgrade. Spomenuto predstavlja veliki izazov u kreiranju modela transformacije zgrade.

8.7. Model transformacije zgrade JU OŠ Hasan Kikić

Analiza stvarnog stanja JU OŠ Hasan Kikić pokazala je da se radi o zgradi s visokom energetske potrebom od 210,96 kWh/m²/god., lošom ovojnicom (srednja U-vrijednost 1,92 W/m²K), velikom stvarnom emisijom CO₂ (76,5 kg/m²/god.) i neprihvatljivim higijensko-tehničkim uvjetima boravka djece i nastavnika.

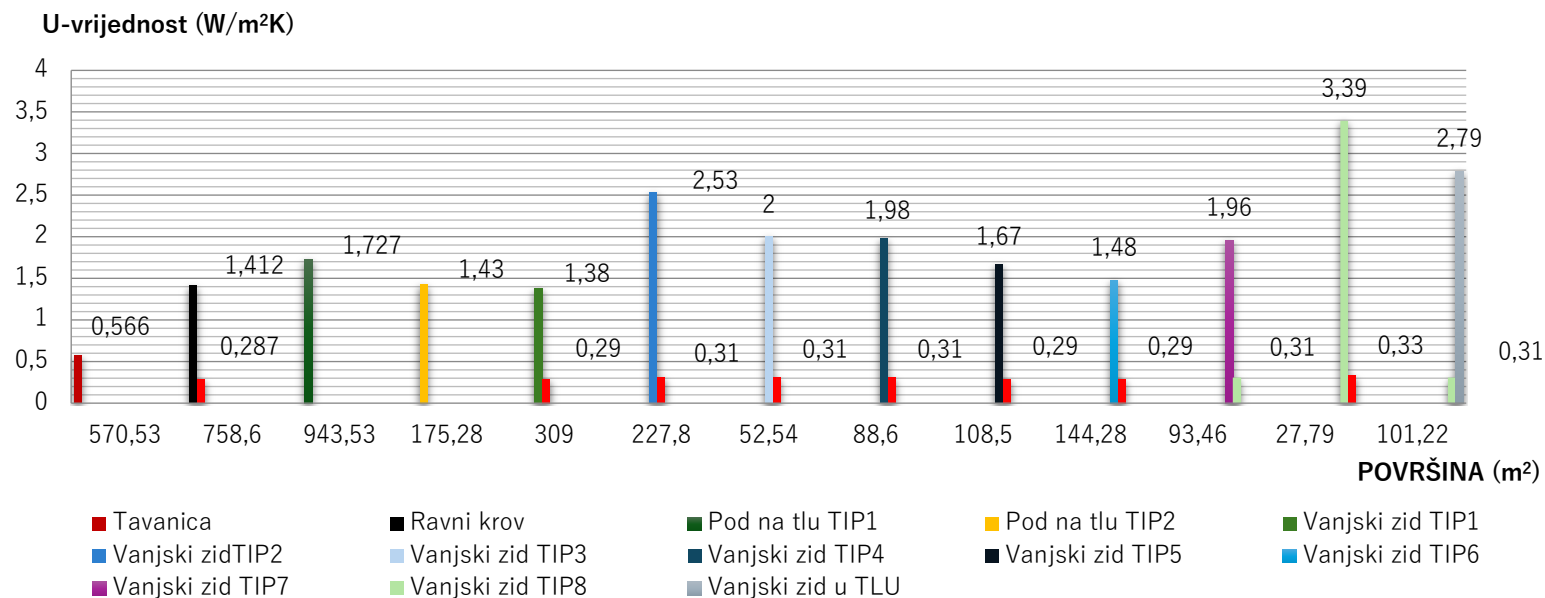
Transformacija postojećeg stanja zgrade u svrhu energetske učinkovitosti značajna je zbog smanjenja navedenih parametara, kreiranja modela korištenja obnovljivih izvora energije i stvaranja adekvatnih uvjeta za boravak djece. Time se kreira novi arhitektonski dizajn i otvara pitanje „prihvatljivosti“ novih oblika arhitektonskog identiteta na postojećoj zgradi i u postojećem okruženju.

Model transformacije zatečenog stanja zgrade ima četiri ključna cilja:

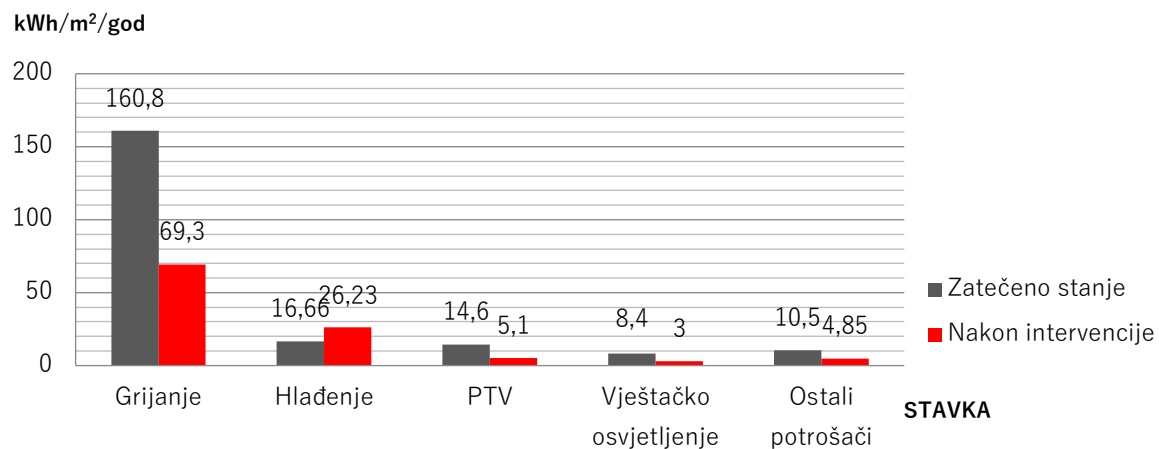
- Energetska sanacija transparentnih i netransparentnih dijelova ovojnice,
- Reprogramiranje korištenja prostora,
- Dizajn solarno aktivne ovojnice (odnos zgrade i energije okruženja),
- Kreiranje novog i permanentno transformabilnog vizualnog identiteta zgrade.

U ovom primjeru, zgrada nije zaštićena kao nacionalni spomenik, što omogućava sve oblike interpolacije termoizolirajućih materijala. Na taj način, zatečeno stanje srednje U-vrijednosti kompletne ovojnice spušta se na minimalne moguće vrijednosti. Na svim pozicijama vanjskih zidova predviđena je ugradnja termoizolacije debljine 10,0 cm,³⁶⁰ čime je srednji koeficijent prolaska topline za netransparentni dio ovojnice smanjen s 1,53 na 0,77 W/m²K. Zamjenom svih prozora i vrata na zgradi JU Hasan Kikić srednja U-vrijednost na transparentnom dijelu ovojnice se smanjuje s 4,21 na 1,59 W/m²K, što bi konačnu srednju U-vrijednost cijele ovojnice smanjilo na 0,88 W/m²K. Dijagrami 8.26 i 8.27 prikazuju smanjenje U-vrijednosti na svim pozicijama koje su obuhvaćene mjerama energetske učinkovitosti u okviru ovog modela transformacije zgrade (crvena boja prikazuje umanjene vrijednosti).

³⁶⁰ Budući da kamena vuna sadrži faktor otpora difuzije vodene pare jednak vrijednosti 1, njena primjena omogućit će kretanje vodene pare kroz ovojnicu.



Dijagram 8.26. Umanjenja U-vrijednosti na netransparentnim dijelovima ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

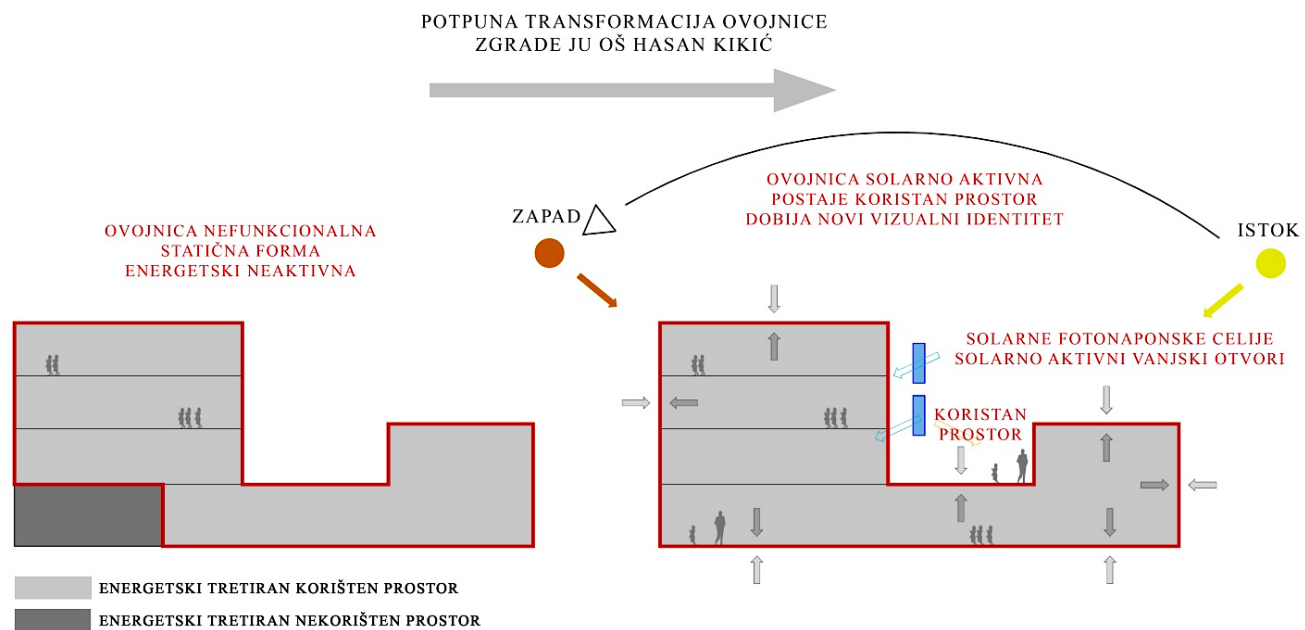


Dijagram 8.27. Simulacija energetske potrebe nakon izvršenih mjera transformacije (MODEL 1) ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

Dijagram 8.27. prikazuje ukupne energetske potrebe zgrade i konačni rezultat transformacije u smislu godišnjih energetske uštede od 102,48 kWh/m²/god., ili 278.053,86 kWh/god. Također, vidljivo je da je emisija CO₂ smanjena za 38 kg/m²/god., (103,1

t/god.) tj. za 50%. Ukupne energetske potrebe zgrade nakon izvršenih mjera su 108,48 kWh/m²/god (294.333,36 kWh/god.), a emisija CO₂ 38,5 kg/m²/god., (104,4 t/god.).

Potrebno je točnije reprogramirati odnos korisnika prema prostoru. Naime, tijekom terenskog istraživanja ustanovljeno da u zgradi postoje zone koji nisu prikladno grijane, kao i prostori koji se povremeno koriste, a energetske stalno tretiraju. Jedan od prijedloga je izmještanje postojeće barijere između grijanog i negrijanog prostora na novu poziciju tako da se obuhvati cjelokupan unutarnji prostor i djeluje s istim ciljem u pogledu energetske uštede i kvalitete unutrašnjeg komfora, a cjelokupan unutarnji prostor učini aktivnim za potrebe nastavnog programa.



Fotografija 8.48. Nacrt, shematski presjek kroz zgradu, izmještanje i dodjela novih funkcija postojećoj ovojnici zgrade JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu

Fotografija 8.48., prikazuje kako je ovojnica zgrade JU OŠ Hasan Kikić dobila novu poziciju, ali i novu ulogu u kreiranju energetski učinkovite arhitekture. Istočna i južna fasada postale su „solarno aktivne“.

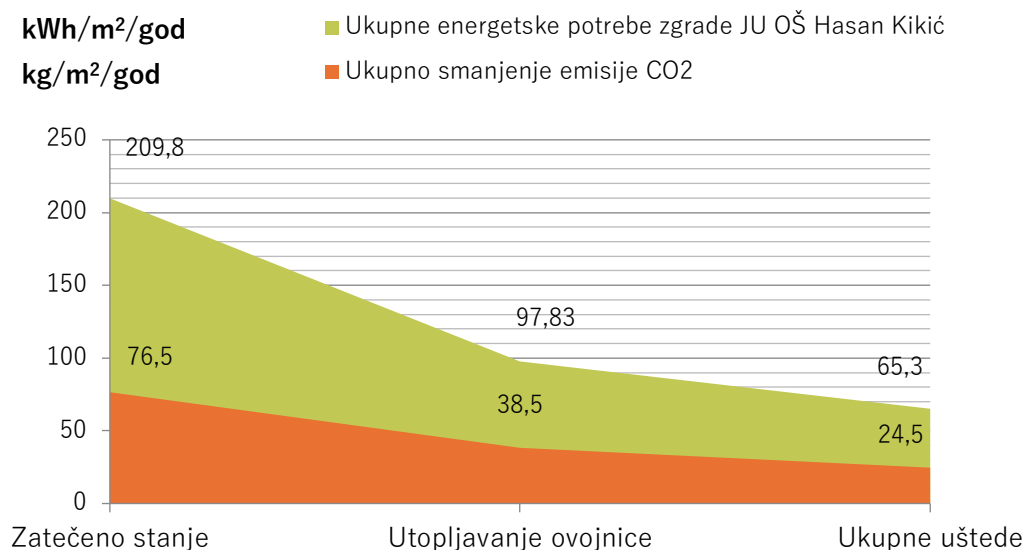
Geometrijske karakteristike zgrade (tablica 8.10.) definiraju ukupnu površinu južne fasade od 346,9 m², od čega su transparentne površine 99,9 m², a istočna fasada 607,1 m² transparentne površine 266,1 m². Ukupna netransparentna površina ovojnice orijentirana prema istoku i jugu je 587,8 m², a predstavlja plohu koju je moguće iskoristiti za instalaciju solarnih fotonaponskih

ćelija. Ovojnica etaže prizemlja je veći dio dana u sjeni susjednih zgrada i visokog drveća te se u obzir uzima samo 75% površine, tj. ukupno 440,1 m².

U konačnici, dana površina koristeći fotonaponske ćelije može proizvesti sljedeće količine električne energije:

- istok: 25.278,58 kWh/god.,
- jug: 23.383,89 kWh/god.,
- ili ukupno 48.662,48 kWh/god., odnosno 17.93 kWh/m²/god.

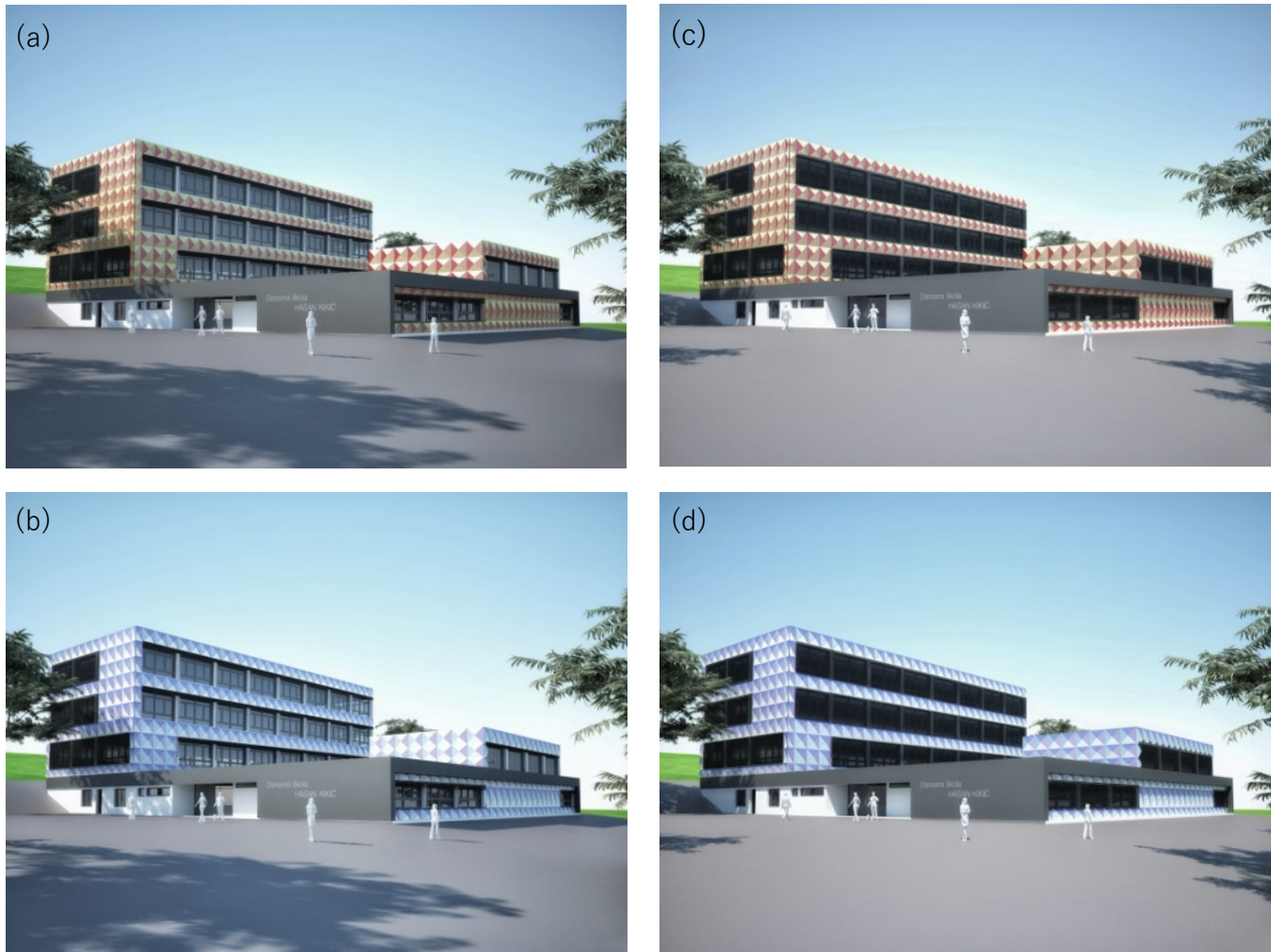
Na osnovi predloženih podataka, neminovno slijedi da je potrebno kreirati jedinstven model upotrebe fotonaponskih ćelija za zgradu JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu. U skladu s analizama, najbolje rješenje je piramidalni oblik modela koji bi imao značajnije priljeve sunčeve energije. Na transparentnim dijelovima ovojnice potrebno je ugraditi automatizirane brisoleje za zaštitu unutrašnjeg prostora od prekomjernog priljeva sunčeve energije (što predstavlja rješenje problema pregrijanosti u prostorijama/učionicama).



Dijagram 8.28. Simulacija ukupnih energetskih potreba nakon transformacija zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu

Pretvaranje postojećih vanjskih otvora u aktivne strukture (automatska kontrola priljeva sunčeve energije) smanjilo bi energetske potrebe za hlađenje s 26,23 kWh/m²/god na minimum. Smanjenje ukupne potrebne energije zbog primjene nove ovojnice (istočna i zapadna fasada) dovodi do ušteda od 40 – 44,16 kWh/m²/god.

Dijagram 8.28. prikazuje ukupne energetske uštede zgrade JU OŠ Hasan Kikić nakon primjene modela transformacije u iznosu od 149,48 kWh/m²/god., odnosno 405.576,61 kWh/god., tj. za 71 %, zatim umanjeње emisije CO₂ za 51,5 kg/m²/god. (139,72 t/god.) tj. 68%. Konačno, zgrada sada ima ukupnu energetsku potrebu od 61,48 kWh/m²/god. i emisiju CO₂ od 24,5 kg/m²/god., (66,5 t/god.).



Fotografija 8.49. Modeli transformacije ovojnice, prilagodljivost položaju Sunca
zgrade JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu (a,b) nije osunčana fasadna struktura i (c,d) osunčana fasadna struktura

Koristeći podatke dobivene analizom stvarnog stanja, oblika ovojnice i njenog potencijala na lokalitetu u smislu iskorištavanja sunčeve energije, kreiran je novi oblik fasadne obloge koja je nazvana „poligonalna solarno aktivna fasadna struktura“ (fotografija 8.49), čiji je cilj da tijekom dana prikupi što veću količinu sunčeve energije neovisno o „položaju“ Sunca tijekom dana i godine. Imajući u vidu dnevnu nestabilnost mikroklima (Sunce i oblaci), gore navedeni oblik ovojnice omogućava da istočna fasada može biti energetska aktivna i tijekom popodnevni sati (pratiti „kretanje“ Sunca).

Spomenuti model predstavlja novi arhitektonski redizajn fasadnih struktura, kojim bi zgrade za osnovno obrazovanje postale vizualno atraktivnijim i prihvatljivijim od strane korisnika (djece).³⁶¹ Zgrade tako postaju aktivne slike s dnevnim promjenama vizualnog identiteta zbog otvaranja i zatvaranja tijekom dana, ili mijenjanja boja uslijed arhitektonsko-vizualne transformacije. Fotografija 8.49., predstavlja autorovu zamisao novog arhitektonskog dizajna zgrade JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu.

³⁶¹ Zgrade za osnovno obrazovanje starije od 60 godina predstavljaju danas vizualno *neprihvatljive* identitete, čiji redizajn otvara široko polje kreativnih djelovanja. Spomenuto predstavlja izazov za arhitektonsko znanstveno i stručno djelovanje. Ovaj model je samo jedan od mogućnosti stvaranja novog vizualnog identiteta koji može biti primjenjiv i na drugim zgradama za osnovno obrazovanje.

8.8. JU OŠ Skender Kulenović

Zgrada je izgrađena 1970. godine, a pripada povijesnom razdoblju gradnje nakon Drugog svjetskog rata, točnije od 1970. godine do danas. Za vrijeme posljednjeg rata (1992. - 1995.) bila je potpuno uništena pa je 1997. godine redizajnirana te je ponovno izgrađena na prvobitnom lokalitetu.

Tablica 8.13. Osnovne informacije o zgradi JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

Sjeverna zemljopisna širina	43° 49' 40.11"
Istočna zemljopisna dužina	18° 20' 47.39"
Nadmorska visina	516 m
Arhitekt - rekonstrukcije	Vuković Nada
Godina izgradnje	1970/1997. godina
Katnost	Pr + 1
Prosječan broj učenika i osoblja (10god.)	920

Kantonalni zavod za zaštitu kulturno-historijskog i prirodnog naslijeđa Kantona Sarajevo nije zaštitio zgradu kao nacionalni spomenik, što znači da nema ograničenja u smislu transformacije postojećeg likovno-oblikovnog koncepta. Nalazi se u novoizgrađenom dijelu (80-ih godina prošlog stoljeća) grada Sarajeva. Zgrada ima dvije etaže, prizemlje i I. kat s unutarnjim dvorištem, koje je tijekom ponovne izgradnje pretvoreno u zatvoren prostor koji se danas energetski tretira. Projektom rekonstrukcije je kvalitetno izvedena zgrada s gledišta arhitektonske fizike i predstavlja zgradu za suvremen način obrazovanja u gradu Sarajevu.³⁶² Oblikovno, to je tipičan primjer gradnje zgrada za osnovno obrazovanje u naznačenom razdoblju, kada je izgrađen veliki broj zgrada sa sličnim oblikovnim karakteristikama koje se manifestiraju sljedećim elementima: fasada je oblikovana horizontalnom igrom neprekidnih linija punih i praznih ploha i potpuno je jedno-volumenska cjelina. Zgrada je izabrana za analizu zbog činjenice da se radi o ponovno izgrađenoj strukturi. Dobiveni rezultati pokazali su i određen stupanj problema u odnosu investitora, projektanta i graditelja, što je vidljivo kroz odabir materijala i štednji energije, čime se otvorilo pitanje ispravnosti mnogih drugih izvedenih rekonstrukcija zgrada u gradu Sarajevu nakon posljednjeg rata (1992. - 1995.).

³⁶² Vuković Nada d.i.a., odgovorni projektant rekonstrukcije zgrade JU OŠ Skender Kulenović, investitor: SDR SWISS – FO SARAJEVO, Švicarska fondacija za obnovu i razvoj. Projekt je urađen s ciljem rekonstrukcije prvobitnog izgleda zgrade uz primjenu tada suvremenih materijala u ovojnici.



Dron snimak – Bradić H.



Slika 8.39. Google pogled - pogled na poziciju zgrade JU OŠ Skender Kulenović i grad Sarajevo – Novi grad - naselje Dobrinja

8.8.1. Analiza postojeće ovojnice zgrade JU OŠ Skender Kulenović



Fotografija 8.51. Zgrada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu,
(a) zapadna fasada, (b) južna fasada (c) istočna fasada, (09.05.2012)

Provjerom projektne dokumentacije došlo se do podataka o stvarnom stanju ovojnice na osnovi kojeg je napravljen kompletan proračun prolaska topline, vodene pare i toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim kroz sve segmente. Fotodokumentacija pokazuje da je stanje fasadnih ploha ovojnice zadovoljavajuće s gledišta funkcionalnosti i estetske prihvatljivosti, ali ne i s gledišta prolaska topline. Tijekom rekonstrukcije na poziciji vanjskih otvora ugrađeni su metalni profili bez prekida termičkog mosta. Na poziciji ulaznih vrata definirani su metalni profili (zanatski napravljeni) s jednostrukim ostakljenjem koji imaju izrazito visoke vrijednosti koeficijenta prolaza topline. U-vrijednosti dostižu visinu do $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$.³⁶³ Analiza ventilacijskih gubitaka dokazuje niske vrijednosti zbog relativno male starosti izvedenih vanjskih otvora i dobre veze s punim ploham (vanjski zidovi), osim na poziciji ulaznih vrata. Funkcionalni aspekt vanjskih otvora je dobar, osim na poziciji ulaznih vrata, gdje je onemogućeno kvalitetno otvaranje/zatvaranje, jer se radi o ručno izvedenim vratima te je pravilno funkcioniranje otvora neispravno.

Tablica 8.14. Geometrijske karakteristike zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

	Površina korisnog prostora (m ²)	Volumen zraka u tretiranom prostoru (m ³)	Svjetla visina korisnog prostora (m')
Etaža podruma	Nije termički tretiran unutarnji prostor		
Etaža prizemlja	2282,00	10056,40	3,3 i 9,2
Etaža I. kata	1739,00	5738,70	3,3
Etaža potkrovlja	Nije termički tretiran unutarnji prostor		
Ukupno	4021,00	15795,00	

³⁶³ Prozori proizvedeni na ručni način (zanatski) u privatnim i samostalnim bravarskim radionicama, zbog čega nije moguće egzaktno precizirati toplinske gubitke, naročito ventilacijske, jer se radi o velikom broju tehničkih grešaka na istim koji prouzrokuju teško mjerljiva kretanja energije iz unutra prema vani i obratno.

Podatci za ovojnicu (membranu između tretiranog i netretiranog prostora)			
	Netransparentne površine	Transparentne površine	Ukupno
Sjeverna fasada	314,30	256,70	571,00
Zapadna fasada	167,70	74,10	241,80
Južna fasada	368,30	237,60	605,90
Istočna fasada	164,80	72,90	237,80
	1015,20	641,30	1656,50
Krovne plohe			1739,00
Pod na tlu			2282,00
Ukupna površina ovojnice			5677,50

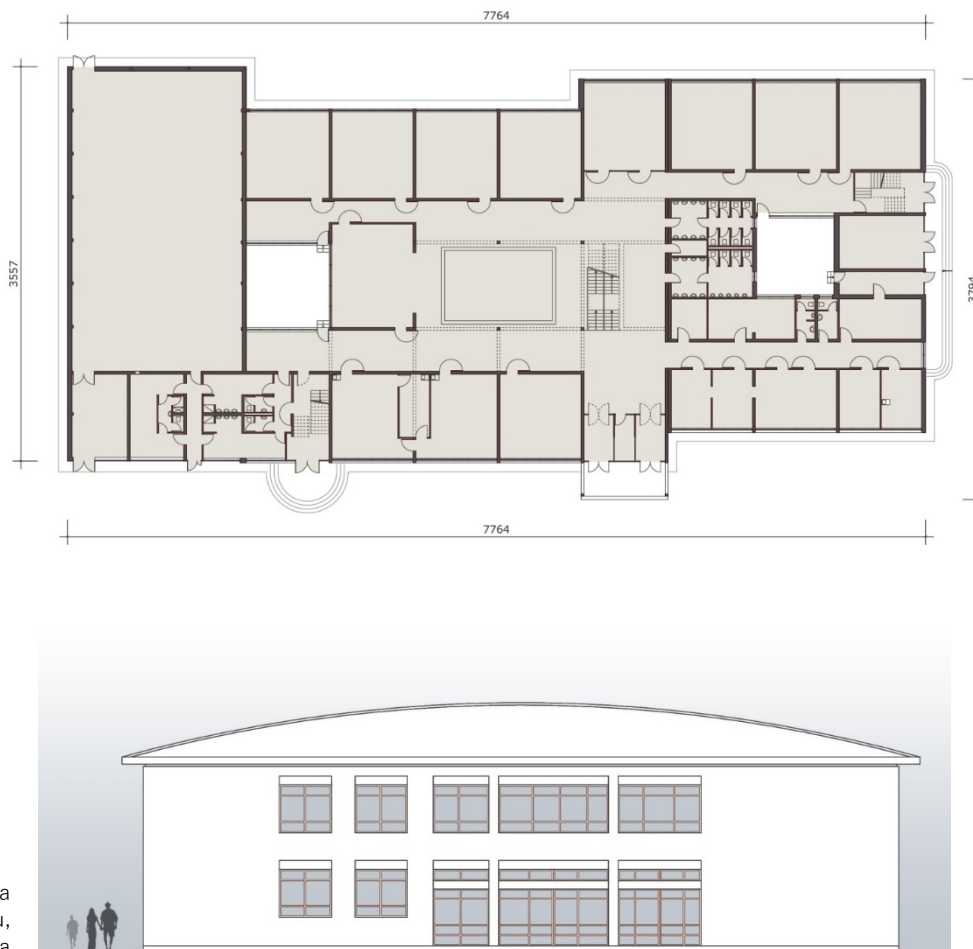
Faktor oblika zgrade JU OŠ Skender Kulenović je 0.29 te se primijenjeni koncept gradnje može definirati kao energetski povoljniji u odnosu na druge.³⁶⁴ Analiza zgrade je napravljena na osnovi istraživanja originalne projektne dokumentacije koja je pronađena u arhivi škole te je ista uspoređena sa stvarnim stanjem metodom mjerenja na licu mjesta. Budući da se radi o projektnoj dokumentaciji iz 1997. godine po kojoj su izvedeni svi radovi, nisu ustanovljena nikakva odstupanja. Podatci prikazani u tablici br. 8.14. predstavljaju stvarne podatke apsolutno relevantne za provođenje energetske analize postojeće zgrade.³⁶⁵

³⁶⁴ Opis: Ovisno od veličine površine ovojnice tj. faktora oblika zgrade, javlja se količina transmisivskih i ukupnih toplinskih gubitaka, Izvor: Hadrović, 2010: 339.

³⁶⁵ Iako je postojala kompletna projektna dokumentacija o zgradi, tj. projekt rekonstrukcije izvedene 1997. godine potrebno je bilo napraviti pregled stvarnih dimenzija i izvršiti digitalizaciju kako bi se podatci mogli koristiti u druge svrhe u okviru ovog rada.

Analiza je pokazala da je ovojnica zgrade izvedena s 5 različitih kombinacija ugrađenih slojeva u građevne dijelove. Svi vanjski zidovi su termički izolirani, njihove U-vrijednosti ne prelaze $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tijek vodene pare je stacionaran i mase zida kreću se od 273 kg/m^2 do 756 kg/m^2 , što je veće od 100 kg/m^2 ogradne plohe i zadovoljavaju parametar toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim. U kontekstu arhitektonske fizike svi parametri ovojnice su zadovoljeni, vidljivih fizičkih oštećenja nema, te se netransparentni dio ovojnice na poziciji vanjskih zidova može klasificirati kao dobar i nije potrebno planirati mjere energetske učinkovitosti, tj. sanacije i umanjenja U-vrijednosti. Ukupna površina pozicije pod na tlu iznosi $2.282,01 \text{ m}^2$, a $U = 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$, što ukazuje da je kompletnu podnu strukturu potrebno sanirati, ali zbog kompleksnosti radova sanacija pozicije neće biti izvedena.³⁶⁶ Pozicija bačvastog krova ima odlična termička svojstva: U-vrijednost je $0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, ali problem se javlja u parametru toplinske stabilnosti konstrukcije na ljetni režim zbog male težine slojeva.

Fotografija 8.52. Nacrt: tlocrt etaže prizemlje zgrade i zapadna fasada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, digitalizirana postojeća projektna dokumentacija



Dolazi do pregrijavanja dijelova zgrade i time narušavanja unutarnjeg komfora. Srednja U-vrijednost netransparentnog dijela ovojnice je $0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na zgradi se nalaze tri tipa fasadnih otvora i jedan krovni koji nemaju zadovoljavajuća toplinska svojstva: U-vrijednosti su previsoke i ugrađen je neprihvatljiv profil na otvorima (metalni profil bez prekida termičkog mosta). Koeficijenti prolaska topline kreću se od $2,0$ do $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (fotografija 8.53). Potrebno je naglasiti da se radi o vrijednostima definiranim na

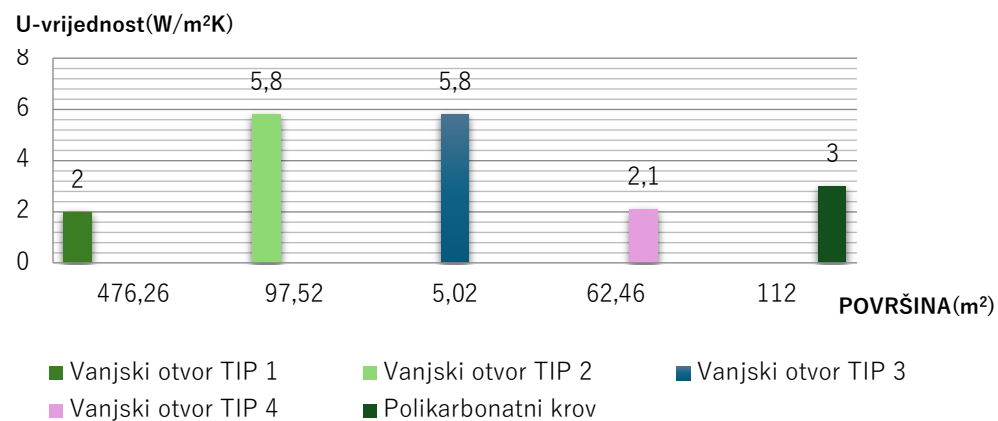
³⁶⁶ S gledišta ekonomske isplativosti, radovi na sanaciji podnih struktura su dosta neisplativi zbog otvaranja novih radova u unutrašnjosti zgrade kao što su: unutrašnja vrata, pregrade, podne strukture i postojeće instalacije.

osnovi pretpostavke o kvaliteti profila vanjskih otvora te su odstupanja moguća u iznosu od +/-10%. Srednja U-vrijednost transparentnog dijela ovojnice je $2,61 \text{ W/m}^2\text{K}$, a ukupna za cijelu ovojnicu $U = 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$.

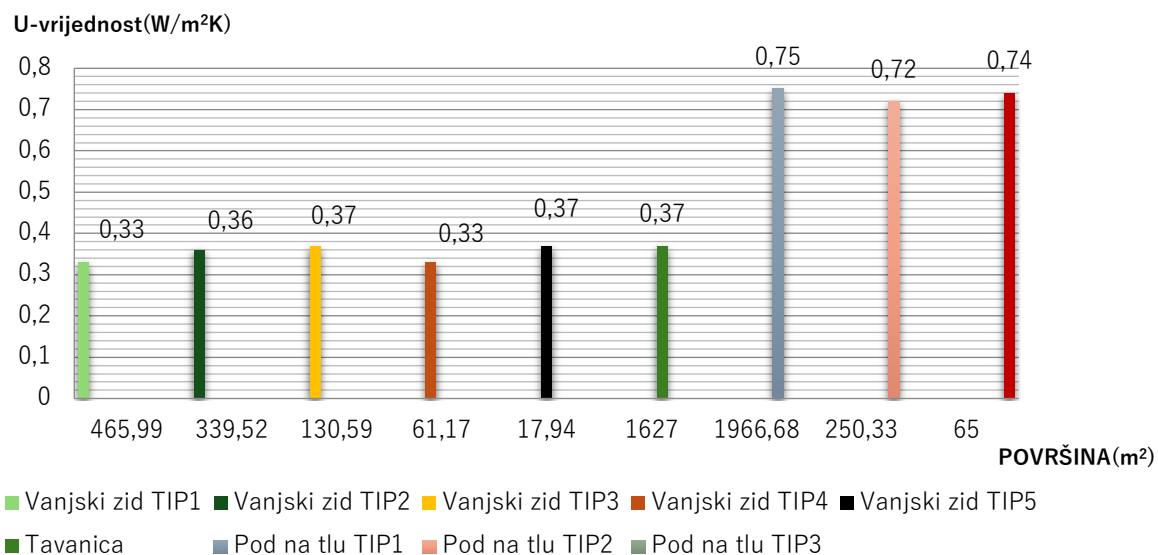


Fotografija 8.53. Zgrada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, (a) vanjski otvor s metalnim profilom, pozicija prema atriju, (b) detalj (09.05.2012)

Dijagrami koji slijede prikazuju rezultate analize stvarnog stanja ovojnice kroz stvarne U-vrijednosti i strukturu kompletne ovojnice, točnije odnose transparentnih i netransparentnih dijelova

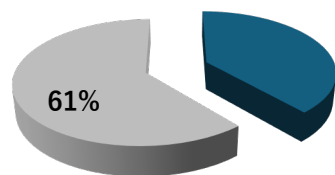


Dijagram 8.29. Odnos površina i U-vrijednosti, transparentni dio ovojnice, zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu



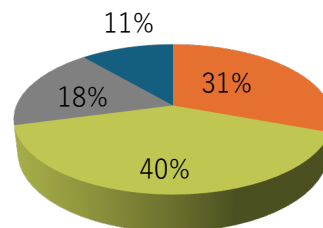
Dijagram 8.30. Odnos površina i U-vrijednosti, netransparentni dio ovojnice, Zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

■ Transparentni dijelovi
 ■ Netransparentni dijelovi



Dijagram 8.31. Odnos transparentnih i netransparentnih dijelova u fasadnoj strukturi, zgrade JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu

■ Krov ■ Pod na tlu
 ■ Vanjski zidovi ■ Vanjski otvori



Dijagram 8.32. Odnos površina u kompletnoj ovojnici, zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

Konačni rezultat analize stvarnog stanja ovojnice pokazuje da je ovojnicu potrebno rekonstruirati i sanirati kroz gledište energetske učinkovitosti, ali samo na poziciji vanjskih otvora koji ne zadovoljavaju osnovne parametre energetske učinkovitosti. Dijagrami 8.31 i 8.32, pokazuju postotnu zastupljenost pojedinih ploha u ovojnici i time ukazuju da fasadna struktura ima 39% površine u obliku

transparentnih ploha koje je potrebno potpuno zamijeniti. Zapadno i južno, orijentirano je 311,6 m² površine što omogućava značajan i nekontroliran priljev sunčeve energije u unutarnji prostor i time stvara višak topline.³⁶⁷

8.8.2. Analiza ukupnih energetske potreba zgrade OŠ Skender Kulenović

Proračun potrebne toplinske energije za grijanje

Distribucija toplinske energije vrši se putem radijatora. Sustav je povezan s plinskim kotlom (Fotografija 8.54) unutar zgrade. Ukupnu potrošnju plina na godišnjoj razini moguće je pratiti, što je u velikoj mjeri olakšalo cjelokupnu analizu zgrade. Osim plinskog, postoji i naftni kotao kao rezervni. Kontrolirani sustav hlađenja i vjetrenja ne postoji u zgradi, već se vjetrenje vrši *prirodnim* putem otvaranja vanjskih otvora na fasadi i krovnim otvorima u centralnom holu. Spomenuto predstavlja nedopustivo rješenje jer nema kontrolu temperature ulaznog zraka u zgradu i brzine kretanja te predstavlja opasnost za zdravlje djece i osoblja u zgradi. Na osnovi proračuna potrebne energije za grijanje urađene u spomenutom računalnom programu, dobiven je rezultat od 87,3 kWh/m²/god.³⁶⁸ ili ukupno na godišnjoj razini 351.033,3 kWh. Obuhvaćene su energetske potrebe nastale uslijed transmisijских i ventilacijskih gubitaka. Rezultati termovizijskog snimanja zgrade će pomoći pri donošenju konačnog stava o zatečenom stanju cjelokupne ovojnice.



Fotografija 8.54. Zgrada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, kotlovnica (09.05.2012.)

³⁶⁷ Problem pregrijanog prostora je naznačen u anketi sa učenicima i osobljem te je potvrđen visokim U-vrijednostima vanjskih otvora koje su ovdje definirane.

³⁶⁸ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna koji se nalazi u Prilozima doktorskog rada Bradić, 2014 Kalkulacija napravljena na osnovi podataka o stvarnom stanju ovojnice zgrade JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu i korištenih vrijednosti za solarni faktor $g = 0,3 - 0,783$ i infiltracije 0,65.

Tablica 8.15. Toplinski gubitci proračunati putem *ENSI EAB softvera*
 zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

	I	II	III	IV		IX	X	XI	XII
	Φ_T Transmisijski gubitci, 284.284,35 W/godina (59% od ukupnih)								
A	4128,29	3928,78	3208,33	1722,25	8 %	191	1622,5	2839,16	4166,66
B	22805,12	21703,02	17723,19	9513,91	12 %	1055	8962,86	15683,82	23017,07
C	6995,61	6657,53	5436,69	2918,45	13 %	324	2749,41	4811,1	7060,62
D	19889	18927,82	15456,9	8297,35	37 %	920	7816,76	13678,31	20073,84
	Φ_V Ventilacijski gubitci, 191.200,27 W/godina (31% od ukupnih)								
	36196,16	34446,91	28130,15	15100,42		1675	14225,8	24893,27	36532,56

- A - vanjski zidovi, B - vanjski otvori, C - krovne plohe, D - pod na tlu
- I, II, III... mjeseci u godini
- Ukupni toplinski gubitci su: $\Phi = \Phi_T + \Phi_V = 475.484,7$ W/god, većina njih nastaje kroz ovojnicu vidljivih struktura naročito kroz vanjske otvore što upućuje da će transformacija postojećeg stanja ovojnice biti usmjerena ka transparentnim ploham.

Proračun potrebne toplinske energije za pripremu tople vode

Opskrba zgrade toplom vodom nije riješena sustavno, planski, ciljano, itd. Jedina mjesta u zgradi gdje postoje električni bojleri su kuhinja i nastavnička kupaonica u sportskoj dvorani. Kao i u prethodnim analiziranim primjerima, problematika je identična samo su kapaciteti potreba različiti te je njihovo saniranje složenije. Centralna priprema tople vode će prouzrokovati povećanje potrebe za toplinskom energijom što predstavlja snažan potencijal u uštedi energije kroz korištenje kišnice i sunčeve energije na krovnoj etaži. Ukupna potrebna energija za pripremu tople vode prema računalnom proračunu iznosi 12,9 kWh/m²/god³⁶⁹ ili 51.870,9 kWh.

³⁶⁹ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014.

Proračun potrebne toplinske energije za rasvjetu i ostale el. potrošače

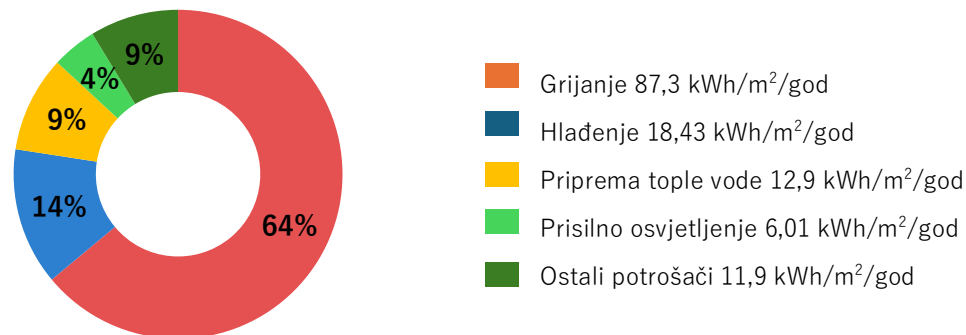
Rasvjetna tijela koja se nalaze u zgradi proizvode dovoljnu količinu svjetlosti, ali ne spadaju u energetske učinkovite, što je s gledišta ovog istraživanja neprihvatljivo te je potrebna zamjena kompletnog sustava umjetne rasvjete kako unutra tako i vani. Ukupna instalirana snaga umjetne rasvjete je $5,9 \text{ W/m}^2$, a sva rasvjetna tijela u zgradi su fluorescentna (tablica 8.16.).

Tablica 8.16. Instalirana snaga za umjetno osvjjetljenje u zgradi JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

	VRSTA rasvjetnog tijela	INSTALIRANA snaga (W)	POSTOTAK (%)
1	Fluorescentna rasvjeta	24.120	100
2	Žarulja sa žarnom niti	0	0
UKUPNO		24,120	

Tehnička oprema u školi (računala, pisači, skeneri, kuhinjski aparati i strojevi za pranje) je zbog svoje starosti neprihvatljiva. Njena energetska učinkovitost je mala i stoga ju je potrebno u potpunosti zamijeniti. Svi spomenuti potrošači trenutno na godišnjoj razini troše $17,9 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$ ³⁷⁰ (rasvjeta: $6,0 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$ i ostali potrošači: $11,9 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$), što predstavlja veliki potencijal u uštedama energije.

Ukupne energetske potrebe zgrade su $136,54 \text{ kWh/m}^2/\text{god}$., a proračunom je obuhvaćeno sljedeće:



Dijagram 8.33. Ukupne energetske potrebe zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

³⁷⁰ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna koji se nalazi u prilogima doktorskog rada Bradić, 2014.

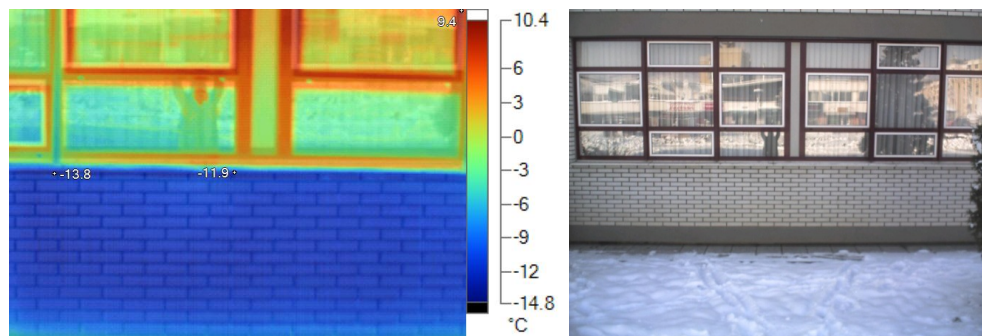
Kao i zgrada JU OŠ Hasan Kikić, i ova zgrada ima svoju kotlovnicu. Provedena je analiza stvarnog utroška energije na osnovi plaćenih računa za razdoblje 2009. – 2011., a obuhvaćeni su svi oblici utrošene energije: električna, plinska i lož ulje. Dobiven je konačni rezultat od 580.600,00 kWh na godišnjoj razini (prosjeak za posljednje tri godine), a gledano po korisnoj površini to iznosi 150,25 kWh/m²/god, što zgradu svrstava u izrazito visoke energetske potrošače.

Na osnovi prikazanih rezultata o energetske potrebama i prosječnom stvarnom utrošku energije mjenom na osnovi svih računa za protekle tri godine, vidi se da zgrada nije adekvatno energetski tretirana. Točnije, potrošena je veća količina energije, a nije zadovoljen komfor boravka učenika u unutrašnjem prostoru. Tako su i anketa učenika i intervjui sa zaposlenicima škole pokazali negativan stav o kvaliteti unutrašnjeg prostora s gledišta temperature zraka, zagušljivosti i osvjetljenja. Imajući u vidu veće količine utrošene energije u odnosu na računalni proračun, pretpostavlja se da zaposlenici spomenutu „nekvalitetu“ unutrašnjeg zraka (hladnoću ili prekomjernu toplinu) reguliraju sami, tj. dogrijavaju ili hlade prostor čime dodatno povećavaju troškove električne energije.

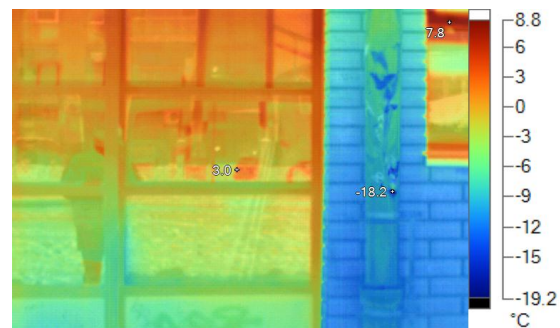
8.8.3. Analiza postojeće ovojnice putem termo-vizijske kamere

Termovizijsko snimanje ovojnice zgrade JU Skender Kulenović urađeno je pri temperaturi vanjskog zraka od -12 ° C i unutarnjeg od +15 ° C do +21 ° C, što su idealni uvjeti jer je razlika u temperaturama preko 26 ° C. Snimke dokazuju utvrđene velike gubitke topline kroz ovojnicu, naročito na poziciji vanjskih otvora. Vidljivi problemi javljaju se na poziciji vanjski otvor TIP1 (slika 8.58), gdje je temperatura vanjskog prvog sloja +20 ° C pri temperaturi vanjskog zraka od -12 ° C. Također, snimanje s unutarnje strane pokazuje izrazito niske temperature na profilima koje su do -10 ° C (slika 8.57.).

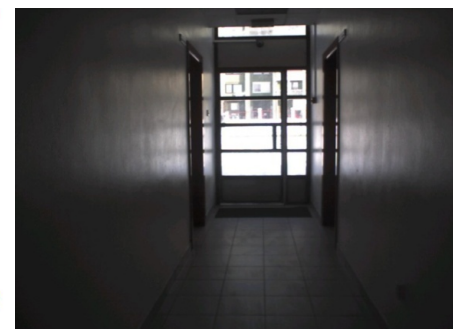
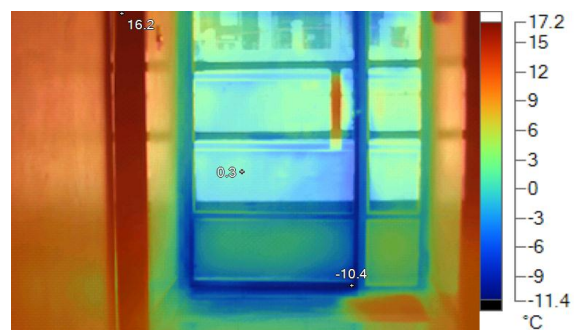
Fotografija 8.55. Termovizijska snimka s vanjske strane na sjevernu fasadu
Broj snimke: IR 20121213_0139.is2 (13.12.2012., 9:47)



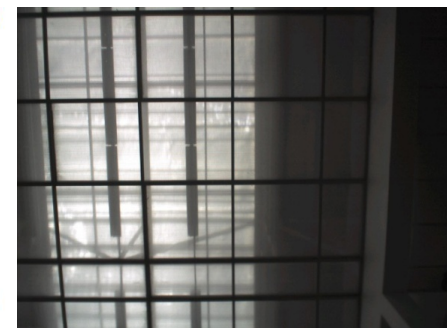
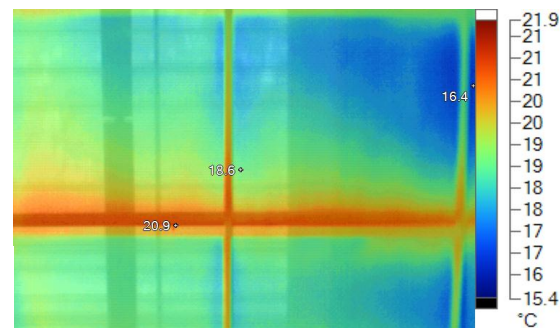
Fotografija 8.56., Termovizijska snimka s vanjske strane na zapadnu fasadu
Broj snimke: IR 20121213_0141is2 (13.12.2012., 9:51),



Fotografija 8.57., Termovizijska snimka s unutarnje strane na servisna ulazna
metalna vrata Broj snimke: IR 20121213_0148is2 (13.12.2012., 10:10),

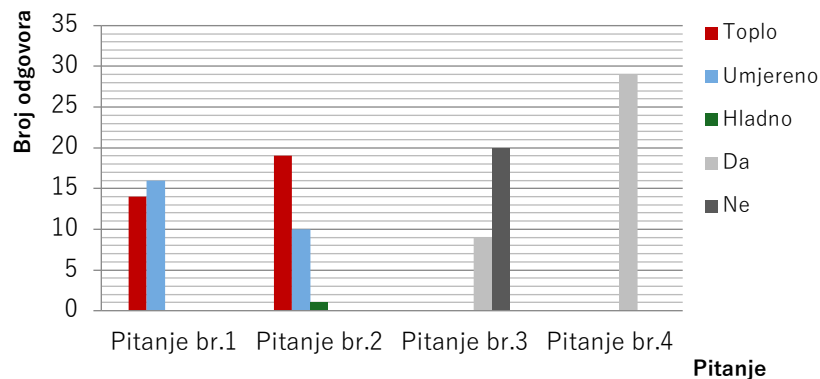


Fotografija 8.58., Termovizijska snimka s unutarnje strane na krovne
otvoreBroj snimke: IR 20121213_0149is2 (13.12.2012., 10:15),

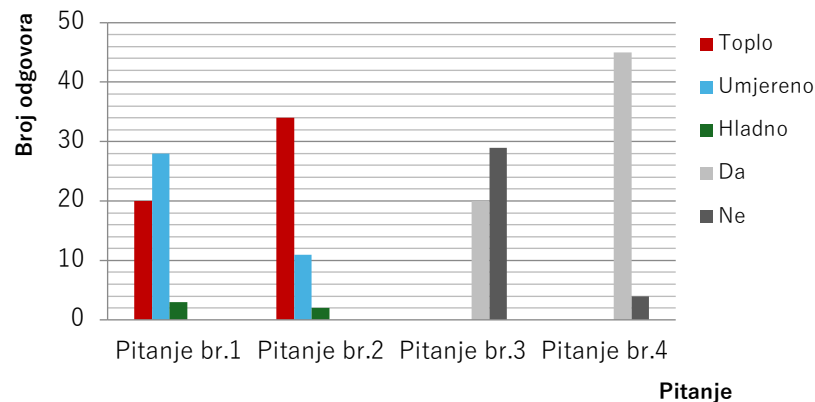


8.8.4. Anketa učenika i nastavnog osoblja o kvaliteti unutrašnjeg prostora

Anketa učenika provedena je kod dva različita uzrasta: djece devetih razreda, starosne dobi od 14 do 15 godina (30 učenika) i djece petih razreda, starosne dobi između 11 i 12 godina (51 učenik). Ukupan broj anketiranih učenika je 81, a u anketi su postavljena četiri pitanja:³⁷¹



Dijagram 8.34. Rezultati ankete djece uzrasta devetih razreda u JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu



Dijagram 8.35. Rezultati ankete djece uzrasta petih razreda u JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

Trenutno stanje zgrade može se opisati kao djelomično prihvatljivo u smislu higijensko-tehničkih uvjeta, ali nedostaci postoje naročito u kontekstu pregrijavanja unutrašnjeg prostora (dijagrami 8.34. i 8.35.). Prvenstveno, nije zadovoljena kvaliteta unutarnjeg zraka s gledišta temperature, postotka vlažnosti i koncentracije CO₂, jer ne postoji kontrolirani ventilacijski sustav, nego se ventiliranje prostora provodi putem vanjskih otvora na nekontrolirane načine. Naročit problem javlja se u velikoj razlici u temperaturama unutarnjeg prostora između učionica i hodnika gdje je npr. u učionicama izmjerena temperatura od +23 ° C, a u hodnicima +15 ° C. Provedena anketa među učenicima govori da je unutarnji zrak previše topao, ali da nije zagušljivo. To su potvrdili i ispitanici koji su problem prekomjernog pregrijavanja posebno prepoznali u južno i zapadno usmjerenim prostorijama.



Fotografija 8.59., Zgrada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, centralni hol (09.05.2012.)

³⁷¹ Pitanja identična kao i u anketi u JU OŠ Safvet-beg Bašagić.

Korisnici su na osnovi iskustva u korištenju zgrade opisali vanjske otvore kao relativno dobre te naveli da je trenutni sustav grijanja učinkovit (misleći na toplinu), da topla voda djelomično postoji u sanitarnim blokovima, da je unutarnji zrak s aspekata arhitektonske fizike (temperatura i vlažnost) nezadovoljavajući, ali da je umjetna rasvjeta adekvatna za rad. Tijekom razgovora je također navedeno da južno usmjereni prostori često budu pregrijani i tijekom zimskog razdoblja, dok u istom trenutku u sjevernom dijelu zgrade temperatura bude između 17 – 19 ° C.

Higijenski aspekt gledan kroz opskrbu toplom vodom nije zadovoljen, jer u zgradi nema centralne pripreme tople vode kao ni njene distribucije do sanitarnih čvorova te djeca sve svoje potrebe zadovoljavaju hladnom vodom. Kao glavni uzročnik svih ustanovljenih nedostatka komfora unutarnjeg prostora označene su transparentne plohe na ovojnici koje imaju izrazito visoke U-vrijednosti i ne posjeduju zaštitu od priljeva viška sunčeve energije.³⁷²

8.8.5. Zaključno razmatranje o stvarnom stanju zgrade JU OŠ Skender Kulenović

Prezentirani rezultati dokazuju da je JU OŠ Skender Kulenović zgrada s visokim energetske potrebama, ali ne i kao prethodno tri analizirana primjera. Netransparentni dio ovojnice je visoko izoliran i ima prihvatljive U-vrijednosti, osim na poziciji pod na tlu. Evidentan problem koji se javlja jesu vanjski otvori koji uzrokuju odljev toplinske energije u zimskom razdoblju, a u ljetnim priljev viška energije u unutarnji prostor (14% od ukupnih potreba energije je za hlađenje). Kao i u prethodno analiziranim primjerima, uvjeti boravka djece nisu zadovoljeni, djeca borave u neprihvatljivom unutrašnjem prostoru s gledišta kvalitete arhitektonskog komfora, zaključuje se da:

- Proračunate ukupne energetske potrebe zgrade su 136,54 kWh/m²/god.³⁷³ (227,9 kWh/m²/god primarne energije),
- Emisija CO₂ na osnovi proračuna energetske potrebe je 56,7 kg/m²/god ili 227,9 t/god.,³⁷⁴
- Minimalni higijensko-tehnički uvjeti za boravak djece nisu zadovoljeni.
- Prekomjeran priljev toplinske energije u prostor tijekom ljetnog razdoblja i visoke energetske potrebe za pripremu tople vode ukazuju na potencijal korištenja obnovljive energije. Transformacija zgrade, tj. njenog zatečenog stanja treba u obzir uzeti sljedeće elemente:
- Definiranje novog koncepta transparentnih dijelova ovojnice,
- Definiranje energetske učinkovite pripreme tople vode,
- Definiranje odnosa zgrade sa svojim okruženjem,
- Novi koncept korištenja prostora unutar zgrade, njene ovojnice i okolnog prostora.

³⁷² Očigledno je da se prilikom ponovne izgradnje zgrade 1997. godine nije vodilo računa o značaju transparentnih ploha u ovojnici ove zgrade. Razlozi su višestruki, ali nameće će se zaključak da se nije provodio adekvatan nadzor nad procesom izgradnje zgrade i ugradnje materijala, ili je napravljena greška u izboru vrste vanjskih otvora ili u cjelokupnom konceptu južne i zapadne fasade gdje nema vanjske zaštite od sunčeve energije.

³⁷³ Energetski razred zgrade JU OŠ Skender Kulenović je B, Izvor: Službene novine FBiH, br. 50/10, Pravilnik o energetskom certificiranju objekata

³⁷⁴ Prezentirani rezultat je preuzet iz proračuna, izvor: doktorski rad Bradić: 2014.

Zgrada budućnosti treba postati aktivna prema svom okruženju kroz transformaciju ovojnice u koristan prostor za: a) prikupljanje energije iz Sunca, b) aktivan prostor na krovu (ravni krov), tj. da kroz ozelenjenu površinu oformi nove korisne površine za odvijanje odgoja i obrazovanja djece i c) svoj vanjski prostor iskoristi za generiranje električne energije iz Sunca i vjetro-potencijala. Sve navedeno utječe na proces kreiranja modela transformacije zgrade JU OŠ Skender Kulenović, koji će biti prezentiran u narednom poglavlju.

8.9. Modeli transformacije zgrade JU OŠ Skender Kulenović

Ukupne energetske potrebe ove zgrade iznose $136,54 \text{ kWh/m}^2$, od čega je za hlađenje potrebno $18,43 \text{ kWh/m}^2$ i za PTV $12,9 \text{ kWh/m}^2$ ili ukupno 23 %. Spomenuta dva podatka usmjeravaju i predstavljaju osnovu za kreiranje adekvatnih modela transformacije trenutnog stanja zgrade. Imajući u vidu da je ova zgrada, kako je to već ranije spomenuto, ponovno izgrađena 1997. godine i da njezina ovojnica ima dobre toplinske karakteristike (netransparentni dio), cjelokupan proces kreiranja energetski učinkovite zgrade bi će usmjeren na tri segmenta:

- Djelomična transformacija ovojnice (transparentni dijelovi),
- Kreiranje novog korisnog prostora (unutra i vani),
- Kreiranje aktivnije relacije između zgrade i okruženja.

Analiza geometrijskih karakteristika zgrade (tablica 8.14.) pokazuje da površina krova iznosi 1739 m^2 , a da je površina okolnog prostora koji pripada zgradi je 2150 m^2 . Promatrano u cjelini, ovaj prostor nije prikladan s gledišta funkcionalnosti (korištenje u nastavnom procesu) i energetske učinkovitosti. Sve navedeno otvara široki okvir iskorištavanja energetskog potencijala okruženja, a time i kreiranja novih korisnih prostora za potrebe nastavnog procesa.

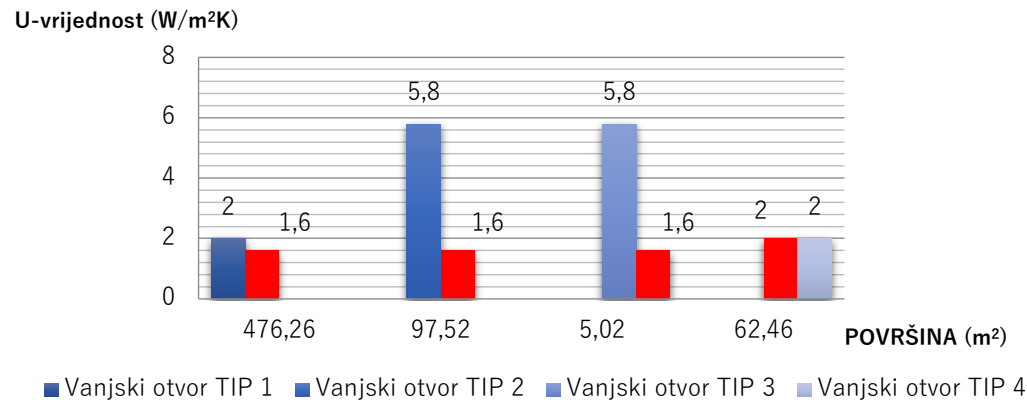
U konkretnom primjeru zgrade, definirana su dva modela transformacije, čiji je cilj smanjenje ukupnih energetskih potreba zgrade, emisije CO_2 i načina korištenja energije.

8.9.1. Prvi model transformacije zgrade JU OŠ Skender Kulenović

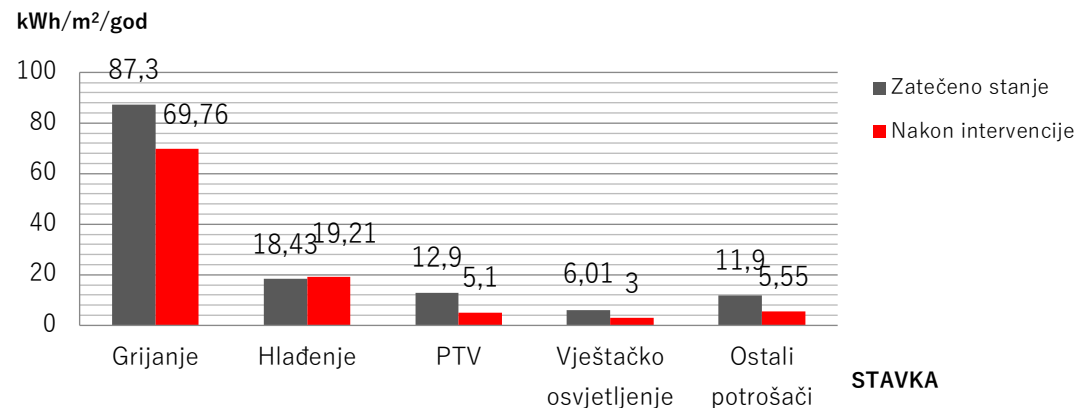
Na netransparentnom dijelu nisu predviđene mjere energetske učinkovitosti (zatečeno stanje ima niske U-vrijednosti), čime je srednji koeficijent prolaska topline za netransparentni dio ovojnice ostao isti, tj. $0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na transparentnom dijelu ovojnice zgrade predviđena je zamjena svih prozora i vrata, što za rezultat ima smanjenje srednje U-vrijednosti sa $2,61$ na $1,63 \text{ W/m}^2\text{K}$. Na taj način, ukupna srednja U-vrijednost kompletne ovojnice iznosi $0,71$ umjesto $0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Dijagram 8.36 prikazuje smanjenje U-vrijednosti na svim pozicijama vanjskih otvora obuhvaćenih mjerama energetske učinkovitosti u ovom modelu transformacije. Osim ugradnje novih vanjskih otvora na ovojnici, na južnoj fasadi predviđena je ugradnja brisoleja (s fotonaponskim ćelijama), a do tog rješenja se došlo analizom rezultata provedene ankete o kvaliteti

unutrašnjeg zraka, koji su pokazali na potrebu fizičke zaštite od prekomjerne insolacije. Ukupna površina elemenata zaštite od Sunca (instalirane pod kutom od 45°, fotografija 8.61, je 120 m², a očekivani godišnji prinos električne energije je 2.98 kWh/m²/god. /12.000 kWh/god. Dijagram 8.36 prikazuje smanjenje U-vrijednosti za vanjske otvore na 1,6 W/m²K umjesto srednje vrijednosti od 2,74 W/m²K. Ukupna površina vanjskih otvora je 641,26 m² tj. ista zauzima 39% ukupne površine svih fasada. Finalni rezultat sanacije ovojnice je ukupna srednja U-vrijednost od 0,711, smanjena s 0,84 W/m²K



Dijagram 8.36. Umanjenja U-vrijednosti na vanjskim otvorima zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu



Dijagram 8.37., Simulacija energetske potrebe nakon izvršenih mjera transformacije vanjskih otvora zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

Dijagram 8.37. pokazuje ukupne energetske potrebe zgrade nakon transformacije (model 1). Finalni rezultat energetske uštede na godišnjoj razini iznosi 33,92 kWh/m²/god., odnosno 136.392,32 kWh/god., a emisija CO₂ je umanjena za 18,0 kg/m²/god (72,4

t/god.), tj. za 32%. Nakon primjene mjera energetske učinkovitosti i instalacije opreme za korištenje solarne energije (solarni kolektori na krovu i fotonaponske ćelije) emisija CO₂ iznosi 38,7 kg/m²/god. (155,5 t/god.). Ukupne energetske potrebe zgrade nakon izvršenih mjera iznose 102,62 kWh/m²/god (412.635,02 kWh/god.). Svi navedeni rezultati ukazuju da postoji potencijal značajnijeg smanjenja navedenih vrijednosti. Zbog veličine zgrade, smanjenje emisije CO₂ je možda bitnije, ali ipak ne smije se isključiti ni kreiranje novog pristupa transformacijama u svrhu ušteda cjelokupnih energetskih potreba.

8.9.2. Drugi model transformacije zgrade JU OŠ Skender Kulenović

Drugi model transformacije navedene zgrade predstavlja kreiranje suživota između postojeće zgrade i okruženja u pogledu korištenja obnovljivih izvora. Naime, kreiran je unikatni koncept na osnovi analize mikroklimatskih karakteristika lokaliteta i mogućnosti instaliranja novih energetskih postrojenja na zgradi i u njenom okruženju. Koncept je usmjeren na korištenje dva oblika obnovljive energije i pasivno korištenje sunčeve energije:

- sunčeva energija (fotonaponske ćelije) 5.56 kWh/m²/god.,³⁷⁵
- vjetroenergija (mini vjetro turbine).

Fotografija 8.60 prikazuje realan koncept kompletnog redizajna i pozicije namijenjene za instaliranje gore spomenutih postrojenja. Na kosom krovu sportske dvorane instalirat će se 300m² solarnih fotonaponskih ćelija orijentiranih prema jugu. Na sjevernom dijelu školskog prostora, tj. u prilaznom dvorištu, instalirat će se 3 vjetroturbine ukupne snage 15 kW. Navedeno dovodi do ukupnog rezultata od 67.800 kWh/god. ili 17,0 kWh/m²/god.

Fotografija 8.60. MODEL 2 transformacije ovojnice i korisnog prostora zgrade JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu



³⁷⁵ Površina fotonaponskih ćelija je: 210 m² (krov sportske dvorane). Za potrebe ove studije napravljena je analiza s tvrtkom Alukonigstahl Sarajevo – Schuco, i primijenjen je sustav *Schuco Premium-Modul* i *Schuco Top Sky 2*

Drugi model transformacije u okviru ovog primjera odnosi se i na kreiranje novog odnosa između čovjeka, zgrade i okruženja. Ovaj model je funkcionalna transformacija zgrade, tj. transformacija njene statične, nefunkcionalne ovojnice u novi energetska aktivni i koristan prostor. Krovna etaža postaje multifunkcionalni prostor (na primjer u svrhu edukacije djece o značaju energetske učinkovitosti u budućnosti), dok se okolni prostor pretvara u park za različite namjene.

Energetski gledano, ovaj model transformacije uspostavlja zelene zone koje upijaju višak topline iz vanjskog zraka³⁷⁶ i CO₂. Osim navedenog, visoko rastinje će u ljetnom razdoblju oformiti veću prirodnu sjenu na zgradu i time umanjiti ukupne energetske potrebe zgrade za hlađenje unutrašnjeg prostora. Sve detaljno je prikazano na fotografiji 8.61 koja osim spomenutog prikazuje i cjelokupnu transformaciju postojećeg arhitektonskog identiteta zgrade u novi vizualni identitet.

Cjelokupan proces transformacije zgrade JU OŠ Skender Kulenović će u konačnici s gledišta arhitektonskog dizajna kreirati suvremen oblik arhitekture kojeg krase nova energetska postrojenja (vjetroturbine i solarne ćelije), a zajedno sa ozelenjenim ploham (krov i okolni prostori) upućuje na sliku buduće arhitekture zgrada za osnovno obrazovanje.



Fotografija 8.61. Novi vizualni identitet i funkcionalni koncepti ovojnice i okruženja zgrade JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu

(a) Pogled na prilazno dvorište s vjetroturbinama

(b) Novi aktivno korišteni vanjski prostori

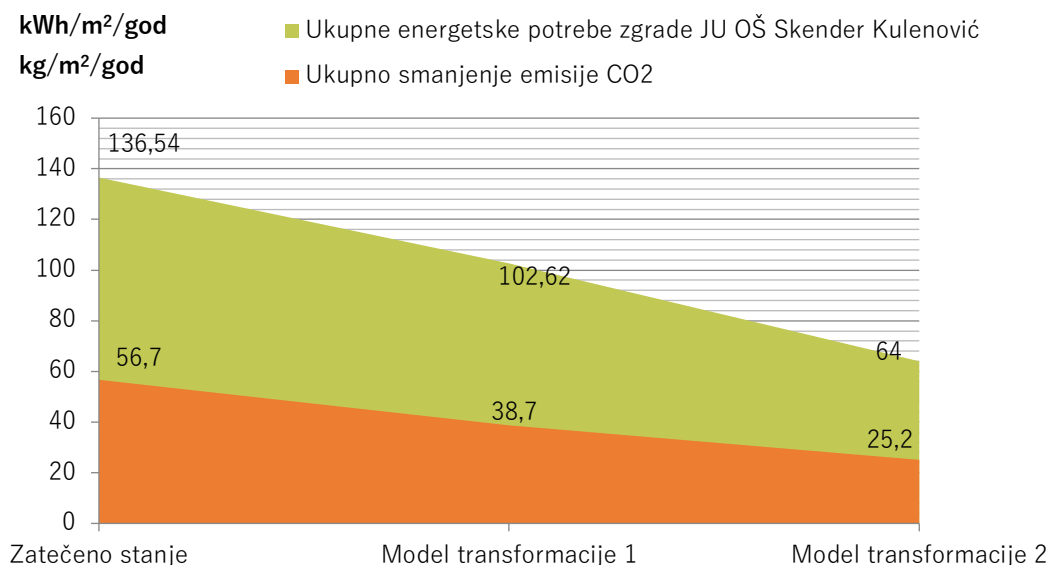
(c) Uzgoj autohtonog visokog raslinja i kreiranje škole u prirodi

(d) Krov zgrade postaje koristan prostor (učionice u prirodi i edukacija uzgoja autohtonog bilja)

³⁷⁶ Faktor refleksije sunčeve energije (SRI – *Solar Reflective Index*) za asfalt iznosi 6, dok za bijelu akrilnu boju 100, izvor: Gelfand, 2010: 170.

Ni ovaj primjer zgrade nije pod zaštitom spomenute komisije za zaštitu povijesno značajnih zgrada, što ostavlja otvorene mogućnosti transformacije. Ključni segment ovog modela transformacije je reprogramiranje korištenja prostora s ciljem da ovojnica postane energetska transformirana u generator energije, ali i prostor kojeg aktivno koriste učenici i nastavnici.

Ukupne energetske potrebe zgrade (Dijagram 8.38.) nakon izvršenih svih mjera energetske učinkovitosti iznose 64,06 kWh/m²/god (257.585,26 kWh/god.), a ostvarene uštede su 53,9% manje u odnosu na zatečeno stanje (549.027,34 kWh/god). Emisija CO₂ iznosi 25,2 kg/m²/god. (101,4 t/god.), tj. smanjena je za 55% u odnosu na zatečeno stanje (227,9 t/god.).



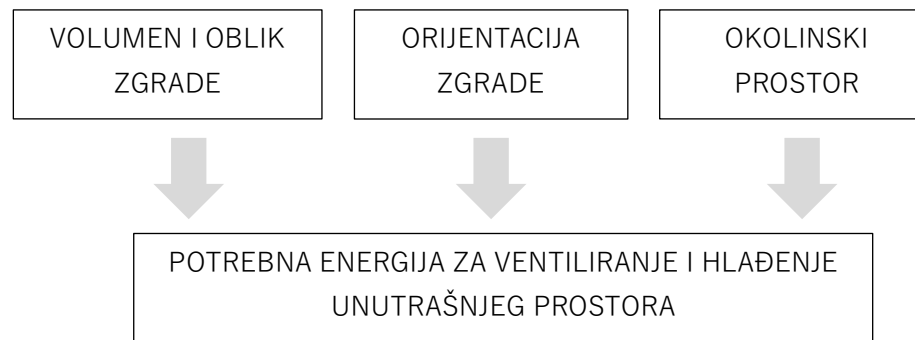
Dijagram 8.38. Simulacija ukupnih energetske potrebe nakon svih transformacija zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

Prezentirani modeli ukazuju na mogućnost definiranja novog pristupa problemu energetske neučinkovitosti zgrada za osnovno obrazovanje. Na taj način, kreiraju se nove strukture/zgrade, čiji će prostor biti sustavno iskorišten, krovovi će postati aktivne zone (odgoj djece u prirodi), a ne samo strukture koje zatvaraju unutarnji prostor, što će omogućiti aktivnije korištenje koncepta „škole u prirodi“ u urbanim zonama, zatim, ovojnica i okolni prostor dobivaju nove funkcije i postaju sudionici u odvijanju nastavnog programa. Svojim primjerom otvara novi način odgajanja budućih generacija u kontekstu stvaranja energetske osviještene populacije koja učenike najmlađih uzrasnih doba upućuje na život budućnosti tj. aktivan kontakt s prirodom, uzgoj organske hrane, štednju energije i materije. Naime, ponovno se ističe značaj istinskih životnih vrijednosti u relaciji čovjeka i prirode u samoodrživom opstanku.

8.9.3. Model ventiliranja zgrade JU OŠ Skender Kulenović

Ventiliranje, tj. izmjena zraka u zgradi tijekom boravka djece, nastavnog i ostalog školskog osoblja, zahtjeva velike količine energije, posebno kada je razlika u temperaturi vanjskog i unutrašnjeg zraka značajnija ($\Delta t_i - t_e = 20^\circ \text{C}$).³⁷⁷ Volumen zraka koji je potrebno izmijeniti u zgradi iznosi 19.327,51 m³, što predstavlja veliki potencijal za uštedu energije kroz primjenu prirodnog ventiliranja uz potpunu kontrolu brzine ulaznog zraka i njegove temperature.

Ova zgrada ima jedan kat i orijentirana je svojim dužim fasadama u pravcu sjever-jug. Također, zgrada u svom kompleksu ima i tri unutarnja atrija od kojih je jedan zatvoren i pretvoren u unutarnji centralni hol. Za ovaj primjer zgrade napravljen je model koji ovisno o dobu dana, godišnjem dobu, razlici vanjske i unutrašnje temperature kreira prirodno vjetrenje u pravcu istok-zapad i sjever-jug.³⁷⁸ Točnije, kreirano je kontrolirano kretanje zraka pomoću automatiziranih prozora, koji bi se otvarali i zatvarali pomoću seta senzora.³⁷⁹ S obzirom da se radi o zgradi s osjetljivom namjenom prostora, potrebno je posvetiti veću pažnju kontroli brzine strujanja zraka kako ne bi došlo do narušavanja higijensko-tehničkih uvjeta boravka djece. Model ventiliranja treba biti kreiran tako da se izbjegne prekomjerno korištenje električne energije za njegov rad. Energija koja je potrebna za rad ovog modela generira se putem fotonaponskih ćelija pozicioniranih na ravnom krovu i staklenom krovu centralnog hola.



Fotografija 8.62. Shematski prikaz utjecaja na uštedu potrebne energije za vjetrenje i hlađenje unutrašnjeg prostora, izvor: autor

³⁷⁷ EN 15251 je Europska norma koja propisuje standarde za količinu izmjena zraka za sve namjene zgrada pa tako i za škole. Standard je vezan za broj učenika od čega zavisi i površina (2m²/osobi), a potreba izmjene je 3,5 l/s/m². Nekada su postojale dvije metode: na osnovi broja učenika i količine izmjena zraka prostorije po satu (škole 4 - 5 izmjene/h), te se usvajala veća proračunata vrijednost; Izvor: Radonić, M., 1983., str.: 190. Ovisno o klasifikaciji nezadovoljenih, postoje tri skupine: A - manje od 5% nezadovoljnih, B-manje od 10% i C-manje od 15%. Izbor materijala primijenjen u gradnji također ima određeni utjecaj pa je potrebna veća količina zraka ako su materijali umjetnog porijekla.

³⁷⁸ Uzor za model ventiliranja ove zgrade je uzet u primijenjenom sustavu za zgradu škole *Clackamas High School* u SAD-u, Oregon koji koristi oblik zgrade i hladne zone zraka koje se oblikuju tijekom dana i noći u različitim dijelovima cijelog kompleksa zgrade. Izvor: Ford, 2007:81

³⁷⁹ Senzor kvalitete unutrašnjeg zraka, tj. temperatura, zasićenost CO₂, koncentracija kisika, vlažnost, vanjski senzori koji mjere temperaturu zraka, brzinu strujanja zraka, zasićenost vodenom parom itd.

8.10. Sveobuhvatan pristup transformaciji: ključ za unaprjeđenje energetske i funkcionalne učinkovitosti zgrada

Transformacija postojećih zgrada, osobito u sektoru obrazovanja, postala je ključna u kontekstu povećanja energetske učinkovitosti i smanjenja emisija CO₂. Istraživanje provedeno na primjerima zgrada osnovnog obrazovanja u Sarajevu pokazalo je visoku potrošnju energije (136,54 – 232,28 kWh/m²/god.), visoke emisije CO₂ (56,7 – 90,5 kg/m²/god.) i neadekvatne higijensko-tehničke uvjete unutarnjih prostorija. Iako ne postoji jedinstveni model koji se može primijeniti na sve zgrade, utvrđeni su ključni koraci i metodologija transformacije koji služe kao osnova za daljnje primjene.

Ključni nalazi istraživanja:

1. **Energetska neučinkovitost:**

- Visoka potrošnja energije i emisije CO₂ ukazuju na potrebu za intervencijama,
- Srednja U-vrijednost ovojnice kreće se od 0,82 do 1,92 W/m²K, što ukazuje na lošu termoizolaciju,

2. **Neadekvatni higijensko-tehnički uvjeti:**

- Temperatura, vlažnost, kvaliteta zraka i osvjetljenje ne zadovoljavaju optimalne standarde, što negativno utječe na korisnike,

3. **Potencijal za obnovljive izvore energije:**

- Identificirana je mogućnost integracije obnovljivih izvora energije, što bi smanjilo ovisnost o fosilnim gorivima,

4. **Inovativni pristupi ovojnicama:**

- Modeliranje aktivnih, kinetičkih fasada omogućuje bolju kontrolu toplinskih tokova i stvara nove vizualne identitete zgrada,

Analiza četiri zgrade osnovnog obrazovanja u Sarajevu :

Istraživanje je obuhvatilo četiri zgrade izgrađene u različitim povijesnim razdobljima (1890., 1926., 1963. i 1997.). Rezultati su pokazali:

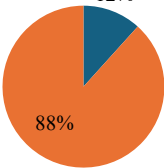
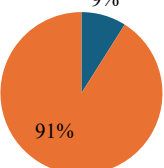
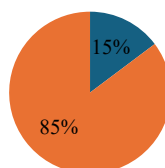
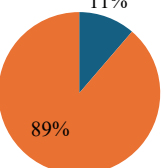
- Razlike u površini, volumenu i parametrima ovojnice.
- Varijacije u U-vrijednostima (0,82 – 1,92 W/m²K), što utječe na energetske učinkovitost.
- Promjene u omjeru transparentnih i netransparentnih površina: starije zgrade imaju manje staklenih površina (do 18%), dok novije imaju do 39%.
- Neadekvatni higijensko-tehnički uvjeti u svim zgradama.

Rezultati stvarnog stanja četiri primjera zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu su vrijednosti koje potvrđuju da su zgrade visoki potrošači energije, te da kvaliteta unutarnjeg prostora i termoizolacijske karakteristike zahtijevaju intervenciju.

Tablica 8.17. Rezultati analize 4 odabrana primjera zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu

		JU OŠ Safvet-beg Bašagić	JU OŠ Saburina	JU OŠ Hasan Kikić	JU OŠ Skender Kulenović
1	Godina izgradnje (god.)	1890.	1926.	1963.	1997.
2	Površina korisnog prostora (m ²)	1586,3	1289,0	2713,3	4021,0
3	Volumen korisnog prostora (m ³)	6207,6	4773,8	9822,4	15795,0
4	Volumen bruto prostora (m ³)	9181,0	6839,6	11577,0	19327,5
5	Površina ovojnice (m ²)	2674,4	2558,3	4224,6	5677,5
6	Faktor oblika zgrade	0.29	0.39	0.36	0.29
7	Ukupna potrebna energija (kWh/m ² /god)	223,92	232,28	210,96	136,54
8	Ukupna primarna energija (kWh/m ² /god) (E _{prim})	405	435	381	227,9
9	Stanje unutarnjeg komfora (Zadovoljavajuće Da/Ne)	Ne	Ne	Ne	djelomično /Ne
10	Hlađenje/vjetrenje (Da/Ne)	Ne/Ne	Ne/Ne	Ne/Ne	Ne/Ne
11	Primarna energija ³⁸⁰ (E _{prim})	Plin/struja	Plin/struja	Plin/struja	Plin/struja
12	U-vrijednost transparentne površine (W/m ² K)	4,86	4,82	4,21	2,61

³⁸⁰ Kalkulacija primarne energije i emisije CO₂ je dobivena na osnovu uvrštenih svih faktora kao što su: primarna energija, tj. kako se dobiva (gas, lož ulje, ugalj i hidroenergija), transportira i na koji način se koristi u objektu – strojarnica. Korišten je sofver *ENSI EAB sofver v.8.1 CO₂ emission*. izvor: doktorski rad Bradić, H. 2014.

13	U-vrijednost netransparentne površine (W/m ² K)	1,08	1,24	1,53	0,59
14	Srednja U-vrijednost kompletne ovojnice (W/m ² K)	1,53	1,56	1,92	0,82
15	Emisija CO ₂ (kg/m ² /god)	90,5	87,2	76,5	56,7
16	Emisija CO ₂ (t/god)	143	112,4	207,8	227,9
17	Odnos transparentnih i netransparentnih ploha u kompletnoj ovojnici (m ²) <i>Crvena boja:</i> netransparentne plohe ovojnice <i>Plava boja:</i> transparente plohe ovojnice	$Pt^{381} = 312,6$ $Pn = 2361,8$ 	$Pt = 229,3$ $Pn = 2329,0$ 	$Pt = 623,4$ $Pn = 3601,2$ 	$Pt = 641,2$ $Pn = 5036,2$ 

Tablica 8.17. predstavlja kratak pregled obrađenih podataka dobivenih iz kompletnih analiza spomenuta četiri primjera zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu, izgrađenih u četiri povijesna graditeljska razdoblja arhitekture u Sarajevu. Rezultati ukazuju da su zgrade u različitom trenutnom stanju s gledišta parametara arhitektonske fizike (kretanje topline i vodene pare kroz ovojnicu), te da se srednja U-vrijednost za ovojnicu kreće od 0,82 do 1,92 W/m²K. Faktori oblika analiziranih primjera kreću se od 0.29 do 0.39, a govore o energetski racionalnim arhitektonskim kompozicijama primijenjenim tijekom dizajna promatranih zgrada. Koeficijenti prolaska topline, difuzija vodene pare i stabilnost konstrukcije na ljetni režim su parametri koji u gore navedenim primjerima uglavnom nisu zadovoljeni, ako se promatra u skladu sa standardima energetski učinkovite arhitekture.

Također, rezultati govore da su zgrade za osnovno obrazovanje visoki potrošači energije (136,54 - 232,28 kWh/m²god.³⁸²), a s obzirom da pretežno koriste zemni plin, slijedom toga su i visoki emiteri CO₂ (56,7-90,5 t/god). Predočene vrijednosti ovise o kvaliteti ovojnice, okruženju, tj. odnosu zgrade sa susjednim zgradama, orijentaciji unutarnjih prostorija (naročito učionica) i osunčanosti mikrolokacije, tj. kakvoći mikroklimе.

Geometrijska struktura ovojnice zgrada je kroz odnos netransparentnih i transparentnih površina međusobno slična i kreće se od 6:1 do 5:1 (Zgrada JU OŠ Hasan Kikić ima najveći postotak transparentnih ploha u ovojnici). Izolirajući fasadne plohe iz odnosa vanjskih otvora i vanjskih zidova može se zaključiti da su zgrade koje su građene do Drugog svjetskog rata imale dosta manju

³⁸¹ Pt = površina transparentnih (praznih) ploha, Pn = površina netransparentnih (punih) ploha

³⁸² Zgrade spadaju u energetske razrede od B do E, Izvor: Pravilnik o energetskom certificiranju zgrada FBiH, član 8, Energetski razredi, Službene novine FBiH, br.50/10, str.: 13, (2010.), Sarajevo

staklenu površinu (do 18 %), a u razdoblju nakon Drugog svjetskog rata taj postotak se povećava do 39 % od ukupne površine fasada što će usmjeriti definiranje cjelokupnog procesa modeliranja transformacije.

Odnosi transparentnih i netransparentnih ploha, termička svojstva građevnih dijelova (naročito parametar stabilnosti konstrukcije na ljetni režim), orijentacija fasadnih struktura i klima mikrolokaliteta definirale su postotnu strukturu ukupnih energetske potrebe, točnije odnose potrebne toplinske energije za hlađenje i grijanje. Najviše toplinske energije za hlađenje je potrebno zgradi JU OŠ Skender Kulenović, 14 % od ukupne, a najmanje JU OŠ Saburina, 3 %.³⁸³

Starosne dobi su različito utjecale na stanje ovojnice i higijensko-tehničke uvjete boravka učenika i osoblja u njima. Starost zgrada i instaliranje različitih sustavnih rješenja na ovojnicu prilikom projektiranja i izgradnje (odabir materijala, ugradnja, održavanje, itd.) stvorili su neprihvatljiv ambijent za odvijanje nastave. Pored svih ostalih uzročnika, čovjek je svojom nebrigom negativno utjecao na zgrade ovog tipa te je doprinio bržem propadanju istih, što je naročito vidljivo na fasadnim strukturama (loše održavanje fasadnih slojeva, krovnih slojeva i vanjskih otvora).

Ključni smjerovi transformacije

Na temelju dobivenih rezultata, definirani su sljedeći smjerovi za transformaciju postojećih zgrada:

1. Smanjenje energetske potrebe i emisija CO₂:
 - Optimizacija termoizolacijskih svojstava ovojnice.
 - Integracija obnovljivih izvora energije (solarni sustavi, pasivne tehnike).
2. Poboljšanje higijensko-tehničkih uvjeta unutarnjeg prostora:
 - Reprogramiranje unutarnjih prostora za optimalnu raspodjelu temperature, vlage, kvalitete zraka i osvjetljenja.
 - Edukacija nastavnog osoblja i učenika o važnosti energetske učinkovitosti.
3. Redizajn i transformacija arhitektonske ovojnice:
 - Preobražaj statične ovojnice u aktivnu, kinetičku membranu koja optimizira tokove topline i vodene pare.
 - Očuvanje prvobitnog arhitektonskog identiteta uz uvođenje novih dizajnerskih elemenata koji zadovoljavaju energetske standarde.
4. Re-definiranje odnosa zgrade i okoline:
 - Uključivanje koncepta energetske autonomije kroz iskorištavanje lokalnih obnovljivih izvora.
 - Stvaranje novih funkcionalnih cjelina koje integriraju zgradu i njen okoliš u koherentni energetski sustav.

³⁸³ Faktori koji su utjecali na dobivene rezultate: visoka masa vanjskih zidova, orijentacija fasadnih struktura, odnos transparentnih i netransparentnih ploha u ovojnicama, velika oštećenja vanjskih otvora-visoka infiltracija

Implementacija modela transformacija postojeće arhitekture

Prezentirani modeli transformacije postojećih zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu ilustriraju složene, sveobuhvatne i ciljano usmjerene procese energetske preobrazbe. Analiza četiri primjera ukazuje na to da ne postoji jedinstven pristup transformaciji – pristup se mora prilagoditi specifičnom stanju svake zgrade, postavljenim ciljevima uštede energije i energetsom potencijalu okoline. Ovi rezultati čine osnovu za definiranje jedinstvenog makro pristupa problematici energetske transformacije.

Glavni rezultati

- Ukupne energetske uštede: postignute uštede veće su od 50%.
- Smanjenje emisije CO₂: emisije CO₂ su smanjene za više od 55%.
- Poboljšanje termoizolacijskih svojstava: srednja U-vrijednost ovojnice je smanjena na manje od 1,0 W/m²K.

U tablici 9.2. prezentirani su ukupni rezultati za četiri odabrana primjera zgrada za osnovno obrazovanje.

Tablica 9.2. Rezultati nakon transformacije 4 odabrana primjera zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu

	Prije / Nakon transformacije	JU OŠ Safvet- beg Bašagić	JU OŠ Saburina	JU OŠ Hasan Kikić	JU OŠ Skender Kulenović
1	Ukupna potrebna energija nakon transformacije zgrade (kWh/m ² /god)	223,09 / 56,58	232,28 / 112,25	210,96 / 65,30	136,54 / 64,00
2	Ukupna primarna energija nakon transformacije zgrade (kWh/m ² /god)	405,00 / 121,35	435,00 / 189,6	381,00 / 118,58	227,90 / 111,74
3	Energetske uštede (%)	75	52	71	53,2
4	Emisija CO ₂ nakon transformacije zgrade (kg/m ² /god)	90,50 / 28,00	87,2 / 35,50	76,5 / 24,50	56,7 / 25,20
5	Umanjenje emisije CO ₂ (%)	70	59	68	55
6	Srednja U-vrijednost kompletne ovojnice (W/m ² K)	1,53 / 0,82	1,56 / 0,88	1,92 / 0,89	0,82 / 0,71

Neminovno je da energetska transformacija postojeće arhitekture predstavlja činjenicu koja nema alternativu. Prezentirani modeli transformacije zgrada dokazuju da je svako povijesno, oblikovno i funkcionalno složeno i društveno-značajno arhitektonsko djelo moguće učiniti „energetski suvremenim“. Re-modeliranje postojećih ovojnica predstavlja arhitektonski izazov, a nikako barijeru i kočnicu u budućem dizajnu i stvaranju arhitekture. Vizualne transformacije identiteta trebaju biti usklađene sa mogućnostima koliko to dopuštaju uvjeti, naročito konzervatorski kod zgrada koje su zaštićena kulturna dobra.

Istraživanje je definiralo osnove za programiranje i projektiranje transformacije postojećih zgrada u energetski učinkovitu i suvremenu arhitekturu.

- Cilj je omogućiti da se svako arhitektonsko djelo, bez obzira na njegovu povijesnu, oblikovnu i funkcionalnu složenost, preobrazi u "energetski suvremeni" objekt.

Proces transformacije obuhvaća četiri ključna aspekta:

- **Transformacija unutrašnjeg prostora:**

Reprogramiranje i optimizacija korištenja unutarnjih prostora kako bi se osigurala funkcionalnost, optimalan komfor i smanjena potrošnja energije (automatsko upravljanje temperaturom, vlagom, koncentracijom CO₂, osvjetljenjem i provjetravanjem).

Edukacija korisnika (nastavnog osoblja i učenika) o energetske učinkovitosti dodatno doprinosi racionalnijem korištenju prostora.

- **Transformacija ovojnice:**

Prelazak od statične prema aktivnoj (kinetičkoj) ovojnici koja dinamički kontrolira kretanje topline, vodene pare i stabilnost konstrukcije – ključan za generiranje toplinske energije i postizanje energetske uštede.

- **Transformacija relacije zgrade i okoline:**

Redefiniranje odnosa zgrade prema okolini kroz iskorištavanje potencijala obnovljivih izvora energije. Time zgrade postaju energetski autonomne i manje ovisne o vanjskim energetske mrežama.

- **Transformacija vizualnog identiteta:**

Promjene na fasadi i očuvanje, ali i evolucija prvobitnog arhitektonskog identiteta, osobito kod zaštićenih zgrada. Ovaj proces osigurava da se energetska transformacija ne odrazi negativno na estetske, kulturne i povijesne vrijednosti.

Ključni izazovi i smjernice za buduća istraživanja

Primjeri zgrada za osnovno obrazovanje pokazuju da se unutarnji prostori često koriste neadekvatno, što rezultira većom potrošnjom toplinske energije za grijanje i hlađenje korisnog prostora. Tradicionalni način korištenja unutarnjih prostora, gdje se značajan dio prostora ne koristi aktivno, a tretira se isključivo s aspekta energetske potreba, mora biti transformiran. Nova

strategija podrazumijeva pretvaranje postojećeg stanja u potpuno aktivan, sustavno reprogramiran, moderan, funkcionalan i higijensko-tehnički prihvatljiv unutarnji prostor. Takav prostor trebao bi imati sustavno i automatizirano kontrolirane parametre – temperaturu, relativnu vlažnost, koncentraciju CO₂, osvjetljenje i provjetravanje, čime se postiže optimalna energetska učinkovitost. Iako se osnovni faktor oblika zgrade može zadržati, potrebno je redefinirati način korištenja unutarnjih prostora kako bi se svi dijelovi objekta uključili u aktivne zone.

Reprogramiranje namjene prostora ne podrazumijeva samo tehničke intervencije, već i edukaciju svih korisnika zgrade, osobito nastavnog osoblja koje mora naučiti racionalnije i učinkovitije koristiti raspoloživi prostor. Time se postavlja temelj za prenošenje ovih principa na učenike, čime se doprinosi stvaranju svijesti o energetske učinkovitosti i važnosti očuvanja prirodnog okoliša. U nastavni plan potrebno je uključiti elemente koji će djecu upoznati s konceptima štednje energije te ih osposobiti za aktivno sudjelovanje u globalnim programima usmjerenim na smanjenje potrošnje energije i emisije CO₂, poput inicijativa *TARGET 20 20* ili *Roadmap 2050*. Tako definirani pristup uključuje redefiniranje korisnog prostora te osiguravanje učinkovitog i svrsishodnog korištenja unutarnjih prostora kroz integraciju edukacijskih aktivnosti.

Transformacija fasadne ovojnice zgrade također igra ključnu ulogu u postizanju energetske učinkovitosti. Analize pokazuju da se statične ovojnice postojećih objekata mogu transformirati u aktivne, odnosno kinetičke strukture koje dinamički kontroliraju kretanje topline, vodene pare i toplinsku stabilnost konstrukcije, osobito u ljetnom režimu. Konkretni modeli studija slučaja jasno demonstriraju da ovakav pristup omogućava pretvaranje fasade u permanentno aktivnu i stalno vizualno transformabilnu strukturu, čime se postiže optimalno upravljanje toplinskim tokovima.

Kada se razmatra transformacija odnosa zgrade prema njezinoj okolini, postaje jasno da nestabilnost energetske situacije, koja traje od prve naftne krize 1973. godine, stavlja pritisak na razvoj energetske učinkovitih koncepata gradnje i postizanje energetske autonomnosti.

Transformacija „pasivnog“ odnosa između zgrade i okoline u permanentno aktivan, odnosno suživot koji omogućuje crpljenje energije iz obnovljivih izvora, predstavlja novi oblik korištenja vlastitog okruženja. Prezentirani rezultati istraživanja dokazuju da postojeće zgrade za osnovno obrazovanje, uz odgovarajuće intervencije, mogu postati energetske autonomne – oslanjajući se na obnovljive izvore energije, značajno smanjujući svoju potrošnju i emisiju CO₂, te stvarajući nove arhitektonske koncepte s minimalnim energetske zahtjevima.

Međutim, izazov očuvanja vizualnog identiteta, osobito kod zaštićenih zgrada, ostaje vrlo značajan. Primjena mjera energetske učinkovitosti na fasadama takvih objekata može dovesti do promjena u njihovoj estetskoj i kulturnoj vrijednosti. Transformacija ovih objekata zahtijeva pažljivo balansiranje između modernizacije i očuvanja prvobitnog vizualnog identiteta, kako bi se spriječilo da zgrade, iako energetske učinkovite, postanu isključivo muzejski eksponati bez suvremenog funkcionalnog značaja. U okviru

ovog pristupa, fasada se preobražava u dinamičnu strukturu, čiji se vizualni identitet može opisati kao kontinuirano promjenjiv – što predstavlja novu paradigmu u arhitektonskoj transformaciji.

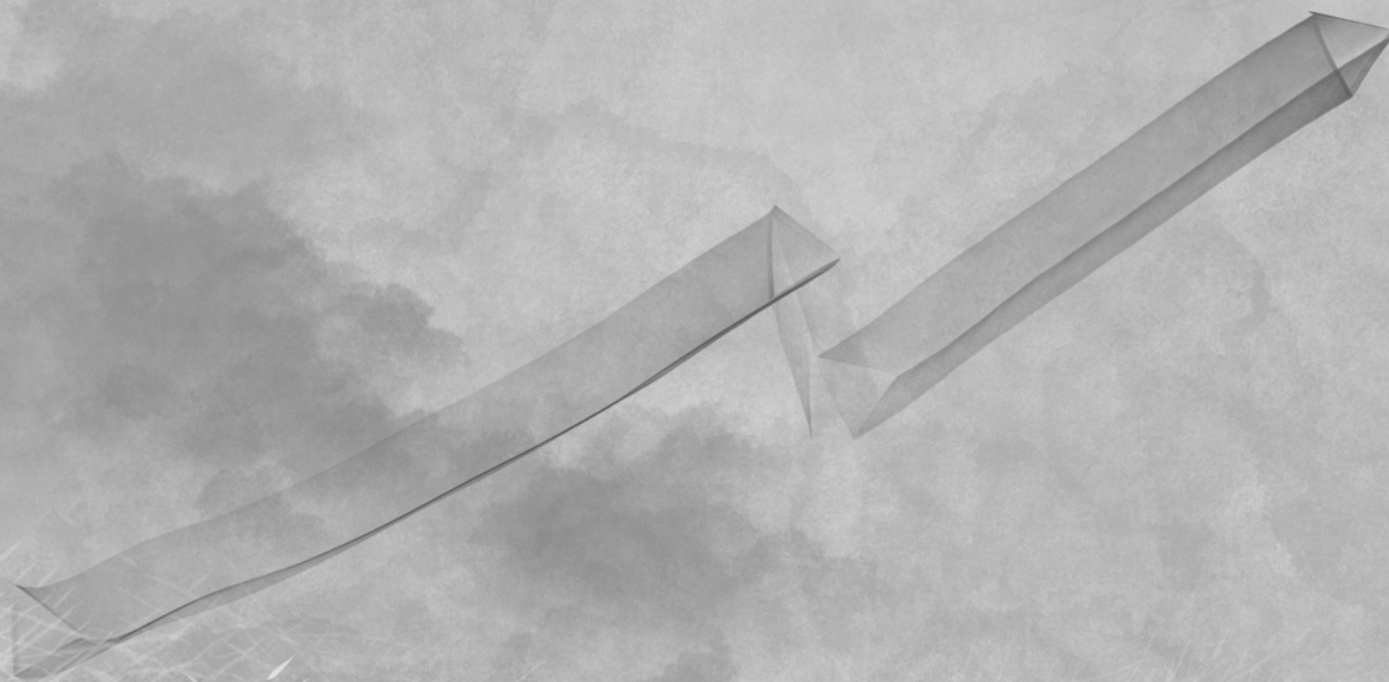
Rezultati istraživanja pokazuju da primjenjivost ovakvih modela transformacije nije ograničena samo na zgrade za obrazovanje, već se isti koncepti mogu, uz manje modifikacije, primijeniti na cjelokupnu postojeću arhitekturu – javne, stambene i kulturne objekte. Definirana su ključna polja analize u transformaciji postojećih zgrada, koja uključuju slojevitú analizu stvarnog energetskeg stanja, definiranje strogo postavljenih budućih energetskeg potreba, istraživanje potencijala okoline u korištenju obnovljivih izvora energije te kreiranje jedinstvenog modela energetske transformacije.

Dugoročni ciljevi ovakvog pristupa usmjereni su prema razvoju novih konkretnih modela transformacije koji će biti primjenjivi na različite tipove objekata, uz prilagodbu specifičnostima lokaliteta, karakteristikama okoline, oblikovnim značajkama te materijalima korištenim u izgradnji ovojnice. Tako se postiže jedinstvena metodologija pristupa problemu visoke potrošnje energije i emisije CO₂, koja predstavlja temelj za buduće transformacije cjelokupne postojeće arhitekture.

Zaključno, transformacija unutarnjeg prostora omogućava smanjenje potrošnje energije kroz aktivno, funkcionalno i automatizirano regulirano korištenje. Promjena statičnih fasada u kinetičke ovojnice optimizira termalne tokove, dok aktivan odnos zgrade i okoline, kroz integraciju obnovljivih izvora, doprinosi postizanju energetske autonomije i smanjenju emisije CO₂. Ujedno, očuvanje vizualnog identiteta zahtijeva pažljivo balansiranje između modernizacije i zaštite kulturno-povijesnog nasljeđa. Edukacija korisnika te usvajanje kulture štednje energije ključni su elementi koji osiguravaju dugoročnu održivost i racionalno korištenje prostora.

Primjenjivost ovih rezultata, zajedno s jedinstvenom metodologijom pristupa problemu, predstavlja temelj za buduće transformacije postojećih zgrada. Posebno u kontekstu energetske sanacije, ovaj pristup omogućava stvaranje suvremenih, energetskeg učinkovitih i funkcionalnih objekata, koji istovremeno čuvaju svoju kulturnu i povijesnu vrijednost. Takav holistički model transformacije, koji obuhvaća optimizaciju unutarnjeg prostora, adaptaciju fasade, redefiniciju odnosa s okolinom te kontinuiranu edukaciju korisnika, predstavlja ključni alat za kreiranje održive arhitekture u budućnosti.

Ovim pristupom, programiranje i projektiranje transformacije postojeće arhitekture postaje ključan alat za kreiranje suvremenih i energetskeg učinkovitih obrazovnih prostora, koji zadovoljavaju sve potrebe korisnika i istovremeno čuvaju arhitektonsku, kulturnu i povijesnu vrijednost građevinskog nasljeđa.



ZAKLJUČAK

Čovjek, prostor i okruženje

Traženje relacije između čovjeka, ugodnog arhitektonskog prostora, okruženja i energije prožima arhitekturu od njenih samih početaka do današnjih dana, kada ta tema postaje sve aktualnija u svakom aspektu arhitektonskog djelovanja, osobito u znanosti koja se prenosi u praksu. Ova potraga nije samo rezultat autorovog subjektivnog odnosa prema prostoru, već i temeljna inspiracija za nastanak ovog rukopisa.

Čovjek, kao biće koje od samog nastanka tragalo za skloništem, sigurnošću i ugodom, prirodno teži oblikovanju kvalitetnijeg unutarnjeg prostora uz minimalnu potrošnju energije. Njegova želja da stvori optimalno okruženje ogleda se u neprestanoj potrazi za efikasnim načinima iskorištavanja prostora.

Prostor i okruženje, bilo prirodno ili urbano, djeluju kao dinamički sustavi u kojima klima, kulturni identitet, socijalne strukture i tehnološke inovacije tvore kompleksnu mrežu odnosa. Prirodno okruženje, kao izvor života i inspiracije, postavlja temelje za razvoj ekološki održivih rješenja, dok suvremeni urbani izazovi, poput klimatskih promjena, povećanih energetske potreba i prirodnih katastrofa, zahtijevaju prilagodbu i redefiniranje odnosa između čovjeka i njegove okoline. Učenje iz povijesti, kao i promatranje današnjih inovacija, omogućuje nam da pronađemo ravnotežu između očuvanja prirodnih resursa i razvoja tehnologije, stvarajući tako temelje za održivi razvoj.

Novi pogled kroz “stare” zidove

Globalno stanje energetske resursa, zajedno s porastom energetske potrošnje i emisijom CO₂, stavlja naglasak na primjenu pasivnih i aktivnih sustava iskorištavanja sunčeve energije, vjetra, geotermalne energije, biomase, vode i okolišnog zraka. U tom kontekstu, sustavi poput rekuperacije unutarnjeg zraka, kogeneracije i složenih sustava korištenja unutarnje energije pružaju ekonomski opravdane modele koji omogućuju smanjenje emisije štetnih plinova i povećanje energetske učinkovitosti. Ekonomičnost, definirana kao odnos početnih ulaganja, godišnjih ušteda i razdoblja povrata investicije, postaje presudan kriterij u evaluaciji održivih energetske rješenja.

Istraživanje tijekom izrade doktorskog rada provedeno je na objektima iz četiri povijesna perioda, koji u svojim sistemskim graditeljskim principima nose svoje osobnosti. Prva dva su građena za vrijeme boravka ili neposredno nakon austrougarske imperije na ovim prostorima te su građene pod utjecajem uspostavljenog sistema gradnje bez upotrebe armiranobetonskih serklaža u horizontalnom i vertikalnom pravcu. Proces transformacije postojeće arhitekture ne samo da treba objekte sagledati s gledišta vrlo detaljno obrađenih u ovoj knjizi već i sa gledišta njihove konstruktivne stabilnosti i prilagodbe današnjim uvjetima proračuna i gradnje konstruktivnog sustava.

Arhitektura se danas suočava s izazovom energetske nepredvidivosti, što je potaknulo razvoj brojnih oblika energetski učinkovitih dizajna. Bioklimatska, niskoenergetska, pasivna, *Zero Energy*, *Energy Plus*, *Eco Design*, transformirana arhitektura i *Active House* samo su neki od modela koji ilustriraju multidisciplinarni pristup u projektiranju objekata prilagođenih suvremenim energetskim i funkcionalnim zahtjevima. Ovi modeli ne samo da optimiziraju potrošnju energije, već omogućuju stvaranje prostora koji su prilagođeni potrebama korisnika, čuvajući pritom estetske, kulturne i povijesne vrijednosti građevinskog nasljeđa.

Ključnu ulogu u postizanju energetske učinkovitosti igra koncept ovojnice objekta, granice između unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša. Povijesni razvoj ovojnice, od tradicionalnih fasadnih rješenja do suvremenih inovacija u materijalizaciji transparentnih i netransparentnih ploha, pokazuje kako se ova granica može transformirati u dinamičku membranu. Ova membrana, analizirana kroz proračune kretanja topline, vodene pare i toplinske stabilnosti konstrukcije, omogućuje inteligentno upravljanje protokom energije, čime se postiže smanjenje energetskih gubitaka i emisije CO₂. Primjeri učinkovitih vanjskih otvora i modernih materijala dodatno ilustriraju kako se tradicionalna ovojnica može preobraziti u "živu" strukturu, koja je sposobna aktivno sudjelovati u regulaciji unutarnjeg ambijenta.

U znanosti su ova pitanja prisutna već od sredine 19. stoljeća, što se ogleda u brojnim konferencijama, seminarima, usvajanju direktiva, planova poput inicijative „20 20 20“, protokola (npr. Kyoto) i, danas 2025. godine, u velikom broju standarda, protokola i zakona širom svijeta. Traga se za novim rješenjima koja će osigurati održivi opstanak planeta te kvalitetne uvjete života, kako u unutrašnjem prostoru tako i u vanjskom okruženju. Analize se kreću od makro razine, gdje se postavljaju ciljevi da države postanu s nultom emisijom CO₂, do promatranja pojedinačnih objekata. Izuzetno pozitivni rezultati zabilježeni su u društvima s visokim moralnim i etičkim standardima, poput skandinavskih naroda.

Svi oblici arhitekture razvijeni s ciljem učinkovitijeg iskorištavanja energije ovise o brojnim faktorima: energetskim resursima okoline (kao što su Sunce, vjetar, tlo, reljef, rijeke, more, klima), društvenim i društveno-političkim sustavima, ekonomskim mogućnostima te geografskom položaju. Ovakav pristup arhitektonskom djelovanju može se smatrati ekološki osviještenim dizajnom koji nastoji iskoristiti energiju na način koji ne umanjuje, već dodatno unapređuje komfor i potrebe korisnika. S obzirom da se postojeće zgrade smatraju najvećim potrošačima energije i emiterima štetnih plinova, one moraju biti inicijatori promjena u načinu korištenja energije i redefiniranju odnosa između čovjeka, arhitekture i okoline.

Primjeri iz zemalja Europske unije pokazuju da su gotovo u potpunosti ostvarene postavljene ciljeve, kao što je 20% proizvodnje energije iz obnovljivih izvora u odnosu na ukupnu proizvedenu količinu, a u proteklih deset godina taj postotak kod nekih država raste i do 65%. Naravno, svaki ovakav projekt zahtijeva detaljnu analizu energetske opravdanosti i faktora isplativosti, pri čemu se razmatra odnos veličine investicije, godišnjih ušteda i razdoblja povrata investicije.

Arhitektonsko projektiranje danas se mijenja i stvara novi odnos s prirodnim okruženjem. Moderne zgrade teže postati što manje ovisne o konvencionalnim, neobnovljivim izvorima energije, što dodatno naglašava važnost ovojnice zgrade. Ovojnica, kao ključni

element koji štiti arhitektonski prostor od vanjskih utjecaja, zahtijeva posebnu analizu proračuna kretanja topline, vodene pare i toplinske stabilnosti konstrukcije, osobito u ljetnom režimu. S novim tehnološkim rješenjima u materijalizaciji, ovojnice postaju sve složenije strukture koje moraju zadovoljiti nove funkcionalne, ali i estetske zahtjeve. To ukazuje da, osim potrebe za novom gradnjom koja je usklađena s današnjim zahtjevima, postojeća arhitektura mora biti podvrgnuta posebnim projektima transformacije kako bi zadovoljila aktualne energetske trendove i funkcionalne potrebe.

Pozitivni primjeri iz prakse pokazuju da sveobuhvatan pristup transformaciji postojeće arhitekture može dovesti do racionalnijeg korištenja energije i stvaranja energetski učinkovitih zgrada s visokim komforom unutrašnjeg prostora. S druge strane, danas smo svjedoci i projekata koji ovaj proces djelomično tretiraju, zanemarujući ugodu korisnika, osobito zdravlje.

Praktična primjena u Sarajevu

Praktična primjena ovih teorijskih i tehničkih spoznaja ilustrirana je kroz analize i transformacije zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu. Grad Sarajevo, s bogatom poviješću koja obuhvaća razdoblja od osmanskog, preko austrougarskog, socijalističkog, do suvremenog doba, predstavlja jedinstveni slučaj gdje se može uočiti evolucija arhitektonskih rješenja kroz vrijeme.

Ta činjenica omogućila je da se na primjerima zgrada iz različitih razdoblja ponudi više konkretnih rješenja i sveobuhvatno sagleda problematika transformacije postojeće arhitekture iz različitih razdoblja gradnje, a time i s više točki gledišta. Odabrana su četiri primjera za detaljnu analizu od ukupno 46 javnih zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu na temelju sljedećih ulaznih podataka:

- Lokacija, položaj u urbanoj strukturi, orijentacija i odnos zgrade s njenim prirodnim i društvenim okruženjem,
- Povijesni značaj zgrade u odnosu na druge zgrade izgrađene u istom vremenskom razdoblju (oblik, primijenjeni materijali i estetska vrijednost arhitektonske kompozicije),
- Primijenjeni materijali na ovojnicama, stvarna U-vrijednost i odnosi netransparentnih i transparentnih ploha.

Naime, prilikom odabira zgrada za detaljnu analizu vodilo se računa da iste budu najkvalitetniji predstavnici svih ostalih zgrada iz svog povijesnog razdoblja gradnje. Također se napravila pretpostavka o visokoj stvarnoj vrijednosti ukupnih energetskih potreba postojećih zgrada kako bi se najsloženiji primjer uzeo u promatranje.

Detaljne studije slučaja, koje obuhvaćaju analizu lokacije, kulturnog značaja, materijalnih karakteristika i higijensko-tehničkih uvjeta, pokazale su da transformacijom postojećih objekata, kroz sanaciju ovojnice, redefiniranje unutarnjeg prostora te prelazak na obnovljive izvore energije, moguće je značajno smanjiti energetske potrošnje i emisiju CO₂, istovremeno povećavajući arhitektonski komfor i funkcionalnost prostora.

Svaki oblik kreiranja energetske učinkovite postojeće arhitekture predstavlja cjelovit pristup materiji te zahtjeva sveobuhvatne i složene analize stvarnog, tj. zatečenog stanja zgrade. Dobiveni modeli transformacije realizirani su na četiri arhitektonski i povijesno različite zgrade, što pokazuje da je svaku zgradu moguće transformirati i učiniti energetske učinkovitom i suvremenom, sa stupnjem redizajna postojećeg vizualnog identiteta.

Integrirani pristup i održiva budućnost

Ova knjiga za cilj ima otvoriti put ka novom arhitektonskom pristupu koji integrira čovjeka, prostor, okruženje i energiju u jedinstvenu cjelinu. Ovaj pristup, koji je u knjizi nazvan **programiranjem i projektiranjem transformacije postojeće arhitekture**, pokazuje da je moguće stvoriti energetske učinkovite i suvremene objekte koji su u skladu s globalnim standardima održivosti. Promjena paradigme arhitektonskog projektiranja, koja uključuje multidisciplinarni pristup i integraciju inovacija iz prirode, tehnologije i društvenih nauka, ključna je za osiguranje održivog razvoja i poboljšanje kvalitete života budućih generacija.

Na kraju, vratimo se na početak knjige. Koža, aktivni organ sa svojom multifunkcionalnošću i složenom ulogom u regulaciji unutarnjeg i vanjskog svijeta, može poslužiti kao snažna inspiracija u projektiranju arhitekture. Upravo ta analogija podsjeća nas na temeljne karakteristike čovjeka, kako je obrađeno u prvom poglavlju, gdje se naglašava da čovjek, kroz svoju anatomiju i percepciju prostora, osjetilima i psihološkim potrebama, ne samo da doživljava prostor, već ga i aktivno oblikuje. Kao što koža inteligentno regulira protok zraka, materije i energije između unutarnjeg i vanjskog svijeta, tako i dobro osmišljena arhitektonska ovojnica može postati aktivan element u regulaciji toplinskih tokova, vodene pare i drugih energetske značajnih procesa.

Klimatske promjene, potreba za smanjenjem energetske zahtjeva prostora i stvaranje optimalne unutarnje ugone danas dodatno naglašavaju važnost ovojnice objekta. Takva ovojnica, umjesto da bude pasivna barijera, postaje prilagodljiva membrana koja inteligentno upravlja protokom materije, energije i zraka, te time regulira razmjenu između unutarnjeg i vanjskog okruženja. Time se ne postiže samo optimizacija energetske učinkovitosti, nego se stvaraju zgrade koje "dišu", koje se prilagođavaju promjenjivim uvjetima, te postaju ključni elementi održivog i ugodnog životnog prostora.

U današnje doba, gdje digitalna transformacija donosi alate poput BIM-a, IoT-a i umjetne inteligencije, arhitektura se razvija u dinamični, prilagodljivi sustav koji integrira precizno modeliranje i *real-time* praćenje performansi zgrada, čime postaje moguće brže reagirati na promjenjive uvjete i ostvariti visoku energetske učinkovitost. Takav razvoj ne bi bio moguć bez interdisciplinarnе suradnje između arhitekata, inženjera, urbanista, sociologa i ekologa, a edukacija i aktivna participacija krajnjih korisnika dodatno osnažuju ovaj proces, čineći održivu arhitekturu pristupačnom i prihvaćenom u društvu.

Uz tehničke i energetske aspekte, ključno je očuvanje kulturnog identiteta prostora te stvaranje inkluzivnog okruženja koje priča priču o lokalnoj tradiciji i povijesti, a sve s dugoročnom perspektivom koja omogućuje daljnju prilagodbu budućim klimatskim, tehnološkim i društvenim promjenama. Takav sveobuhvatan pristup ne samo da transformira postojeće objekte u energetske

učinkovite i funkcionalne prostore, već arhitekturu postavlja kao ključni alat za društvene promjene, stvarajući uravnotežene, estetski privlačne i kulturno bogate životne prostore spremne za izazove budućnosti.

U konačnici, energetska transformacija postojećih zgrada nije samo tehnički izazov, već nužnost koja proizlazi iz globalnih izazova, klimatskih promjena, povećanih energetske potreba i očuvanja kulturnog nasljeđa. Dok moderna društva, poput skandinavskih, pokazuju uspjeh u integraciji obnovljivih izvora i smanjenju emisije CO₂, naš pristup transformaciji nastoji spojiti teorijska znanja, tehnološke inovacije i praktična iskustva kako bi arhitektura postala ključni alat u kreiranju održivog, funkcionalnog i ugodnog životnog okruženja.

Energetska transformacija postojećih zgrada nema alternativu. Arhitektonska praksa mora prihvatiti koncept adaptivne i energetske učinkovite arhitekture, gdje promjene koje danas provodimo definirat će kvalitetu života budućih generacija. To nas obvezuje na odgovorno projektiranje koje povećava kvalitetu unutarnjih prostora, smanjuje negativne ekološke utjecaje i doprinosi općem smanjenju energetske potrošnje. U tom smislu, arhitektura se ne može promatrati isključivo kao disciplina oblikovanja prostora, već kao sredstvo globalne tranzicije prema održivijem i humanijem okolišu.

Integrirani pristup transformaciji zgrada, koji uključuje optimizaciju unutarnjih prostora, redizajn aktivnih ovojnica i individualizirani pristup svakom objektu, omogućuje stvaranje prostora prilagođenih klimatskim izazovima, uz značajno smanjenje emisija CO₂ i potrošnje energije. Multidisciplinarni pristup koji povezuje čovjeka, prostor, okruženje i energiju postavlja temelje za budućnost gradnje, gdje će se arhitektura razvijati u skladu s prirodnim zakonitostima i potrebama suvremenog društva, stvarajući most između prošlosti, sadašnjosti i održive budućnosti.

9.1. Metodologija istraživanja

Metodološki pristup korišten u ovoj knjizi temelji se na analitičkim i znanstvenim metodama prilagođenim istraživanju energetske učinkovitosti i arhitektonske fizike u kontekstu obrazovnih objekata. Knjiga objedinjuje teorijske analize, povijesni pregled, deskriptivne metode i modeliranje kako bi se osigurala sveobuhvatna obrada teme.

U svrhu razumijevanja problematike i donošenja znanstveno utemeljenih zaključaka korištene su sljedeće metode: teorijska analiza i sinteza, povijesna metoda, metoda deskripcije, komparativna metoda, studije slučaja, metoda modeliranja i metoda mjerenja. Ove metode omogućile su povezivanje različitih izvora podataka i njihovu interpretaciju u kontekstu istraživačke tematike knjige.

POVIJESNA METODA

Korištena je pri istraživanju evolucije arhitekture i energetske učinkovitosti kroz različite epohe (Poglavlja 2, 3, 5 i 7). Povijesna analiza omogućila je uvid u razvoj arhitektonskih praksi i tehnoloških inovacija, kao i razumijevanje transformacije prostornog planiranja i energetske rješenja u kontekstu urbanih sredina.

METODA DESKRIPCije

Opisne metode korištene su za analizu odnosa čovjeka i prostora, percepcije prostora kroz osjetila i psihološke aspekte interakcije s okruženjem (Poglavlje 1). Također su primijenjene pri analizi energetske sustava i fasadnih rješenja u arhitekturi (Poglavlje 5), gdje su detaljno razmotreni materijali, konstrukcijska rješenja i energetski učinci.

KOMPARATIVNA METODA

Komparativna analiza primijenjena je u dijelovima knjige koji uspoređuju različite arhitektonske i energetske pristupe, s ciljem identificiranja prednosti i nedostataka svakog rješenja (Poglavlja 4 i 5). Posebno se analiziraju suvremeni energetski učinkoviti modeli gradnje i njihov doprinos održivosti.

STUDIJE SLUČAJA

U knjizi su detaljno obrađene četiri studije slučaja koje se odnose na energetske i arhitektonske transformacije konkretnih zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu (Poglavlje 8). Ovaj pristup omogućio je empirijsku potvrdu prethodno razrađenih teorijskih postavki te primjenu stečenih znanja u praktičnim uvjetima.

METODA TEORIJSKE ANALIZE I SINTEZE

Ovaj pristup primijenjen je u dijelovima knjige koji obrađuju temeljne pojmove vezane uz interakciju čovjeka i prostora (Poglavlje 1), kao i u dijelovima koji se bave osnovnim zakonitostima arhitektonske fizike i energetske sustava (Poglavlja 3, 4 i 6). Analiza postojećih znanstvenih radova, teorijskih koncepata i modela omogućila je kontekstualizaciju problema i razvoj novih uvida.

METODA MODELIRANJA

Korištena je za simulaciju energetske performansi postojećih i transformiranih objekata (Poglavlje 8). Računalni modeli korišteni su za kvantifikaciju utjecaja različitih fasadnih rješenja i sustava grijanja, ventilacije i hlađenja na ukupnu energetske učinkovitost.

METODA MJERENJA

Kako bi se osigurali precizni podaci o stvarnom stanju objekata, provedena su mjerenja toplinskih svojstava ovojnice i energetske potrošnje (Poglavlje 8). Također su korištene termografske analize za vizualizaciju gubitaka energije.

KORIŠTENI MATERIJALI

Primarna znanstvena građa

- Analiza postojećih zgrada i projektne dokumentacije
- Prikupljeni tehnički i statistički podaci
- Terenska promatranja i dostupna mjerenja
- Studije slučaja energetske transformacije školskih zgrada

Sekundarna znanstvena građa

- Stručna literatura i znanstveni radovi
- Arhivska građa i dokumentacija
- Analiza prethodnih istraživanja
- Bibliografski izvori, fotografije, crteži i grafičke potpore

Ovim metodološkim okvirom osigurana je sveobuhvatna analiza istraživačke problematike knjige, kombiniranjem teorijskih, povijesnih i empirijskih pristupa, čime se omogućuje razumijevanje odnosa između arhitektonske fizike, energije i komfora čovjeka u prostoru.

9.2. Znanstveni doprinos

Knjiga pruža sustavan metodološki okvir za transformaciju postojećih zgrada u energetske učinkovite, funkcionalne i suvremene arhitektonske objekte. Osnovni znanstveni doprinos ogleda se u integraciji teorijskih i praktičnih pristupa, omogućujući arhitektonsku obnovu postojećih zgrada kroz precizno definirane modele i metodologije.

Prvih pet poglavlja postavljaju temelje za razumijevanje energetske transformacije arhitekture. Poglavlje o čovjeku kao korisniku prostora istražuje kako arhitektonske odluke utječu na percepciju, komfor i zdravlje. Analiza prostora i okruženja naglašava važnost održivog pristupa i integracije arhitekture s klimatskim uvjetima. Pregled energetske sustava omogućuje razumijevanje evolucije i potencijala obnovljivih izvora energije u arhitekturi. Razrada energetske učinkovitih arhitektonskih koncepata pruža smjernice za prilagodbu suvremenih modela postojećim objektima, dok analiza ovojnice objekta ističe njezinu ključnu ulogu u optimizaciji energetske potrošnje.

Ova teorijska podloga povezuje čovjeka, prostor i energiju, pružajući znanstvenu osnovu za transformaciju školskih zgrada. Knjiga ne samo da nudi smjernice za praktičnu obnovu već otvara prostor za daljnja istraživanja o održivoj arhitekturi i njezinom društvenom značaju.

Knjiga doprinosi znanstvenoj zajednici kroz tri ključne dimenzije:

1. **Razvoj teorijskog okvira za energetske transformacije arhitekture**, koji uzima u obzir arhitektonsko-fizikalne, ekološke i društvene aspekte.
2. **Definiranje metodološkog pristupa za analizu i transformaciju postojećih objekata**, čime se stvaraju smjernice za unaprjeđenje energetske učinkovitosti i funkcionalnosti prostora.
3. **Modeliranje konkretnih arhitektonskih rješenja koja omogućuju praktičnu primjenu energetske obnove**, uzimajući u obzir specifične uvjete gradnje, povijesni kontekst i suvremene tehnološke mogućnosti.

Knjiga daje odgovore na ključna pitanja vezana uz energetske transformacije postojećih zgrada kroz četiri temeljna istraživačka aspekta:

1. Transformacija unutrašnjeg prostora
 - Poboljšanje uvjeta komfora, optimizacija prirodnog osvjetljenja, kvalitete zraka i toplinske stabilnosti prostora.
 - Analiza percepcije prostora i načina na koji dizajn interijera utječe na dobrobit korisnika.
2. Transformacija ovojnice
 - Analiza postojećih konstrukcija i materijalizacije vanjske ovojnice, uz definiranje novih energetske modele.

- Razrada koncepta adaptivne ovojnice koja aktivno sudjeluje u optimizaciji potrošnje energije.
3. Transformacija relacije zgrade i njenog okruženja
 - Optimizacija interakcije između zgrade i prirodnog okoliša kroz implementaciju obnovljivih izvora energije.
 - Razmatranje urbanih i klimatskih uvjeta kao faktora koji određuju mogućnosti energetske transformacije.
 4. Transformacija vizualnog identiteta
 - Analiza odnosa arhitektonske baštine i suvremenih energetske zahtjeva.
 - Razrada dizajnerskih pristupa za integraciju energetske učinkovitosti u estetski prihvatljiv arhitektonski izraz.

Zaključci istraživanja i buduće implikacije

1. Energetska transformacija postojećih zgrada nužna je zbog njihove velike potrošnje energije i visokih emisija CO₂, što ukazuje na potrebu za sistemskim rješenjima energetske obnove.
2. Kvaliteta unutarnjeg prostora u promatranim školama nije zadovoljavajuća, a poboljšanje higijensko-tehničkih uvjeta boravka ključno je za dugoročno zdravlje i produktivnost korisnika.
3. Ne postoji univerzalan model energetske obnove, već se transformacija mora prilagoditi specifičnostima postojećih zgrada, povijesnim vrijednostima i urbanističkim ograničenjima.
4. Energetska učinkovitost može pozitivno redefinirati vizualni identitet školskih zgrada, pri čemu inovativni dizajn može osigurati estetsku i funkcionalnu harmoniju s okolinom.
5. Uspješna implementacija energetske obnove zahtijeva interdisciplinarni pristup, koji uključuje arhitekte, inženjere, urbaniste i ekološke stručnjake.

Na temelju svega navedenog dokazano je da

energetski potencijal okruženja i korištenje obnovljivih izvora energije doprinose smanjenju emisije CO₂ i pretvaraju zgrade u „žive organizme“ prilagođene klimi i okolini u kojoj su smještene te da je relacija zgrade i okruženja važna karika u kreiranju energetski transformirane arhitekture. Iz toga proizlazi da ovojnica arhitektonskog objekta (zgrade) od do sada statičnog oblika prerasta u tretman dinamične strukture koja ciljano kontrolira tokove energije u svrhu stvaranja zadovoljavajućeg komfora u unutarnjem prostoru. Redizajn ovojnice je od krucijalne važnosti i predstavlja arhitektonsko-oblikovno-funkcionalni izazov.

Osnovno pitanje koje će uvijek dati oprečna mišljenja jest kako postojeće zgrade učiniti energetski učinkovitima, a da njihov prvobitni izgled ne bude potpuno redefiniran te da njihove estetske, kulturne, povijesne i ekonomske vrijednosti ne postanu upitne.

Standardi u pogledu energetske učinkovitosti definiraju ciljeve koji se moraju dostići, a znanost i struka moraju pokušati navedena dva suprotno orijentirana pravca međusobno približiti. Modeli transformacije pokazuju do koje je mjere energetska učinkovitost bezbolna za postojeći arhitektonski identitet, nakon čega ulazi u širok raspon otvorenih pitanja o prihvatljivosti iste.

Stoga, ova knjiga postavlja temelje za daljnja istraživanja energetske transformacije postojećih obrazovnih objekata, pružajući metodološki okvir i smjernice za njihovu obnovu. Definirani koncepti i modeli mogu poslužiti kao osnova za donošenje strateških odluka u arhitekturi i urbanizmu, otvarajući put ka održivijoj budućnosti izgrađenog okoliša.

Ova knjiga nije samo analiza postojećeg stanja, nego i alat za razvoj novih pristupa energetskej obnovi, pružajući arhitektima, planerima i istraživačima konkretne modele za kreiranje energetski učinkovitih i estetski održivih prostora. Time se otvara prostor za daljnja istraživanja i unaprjeđenje znanja u području arhitektonske održivosti i energetske optimizacije postojećih zgrada.

POPIS FOTOGRAFIJA, TABLICA I DIJAGRAMA

Uvod

Fotografije:

Fotografija 0.1 Izgradnja niskoenergetskog objekta „Vila Kromolj“ u Sarajevu, (27.07.2011.), izvor: arhiv autora

Poglavlje 1.0.

Fotografije:

Fotografija 1.1. Darkshade photos, www.pexels.com (18.12.2024.)

Fotografija 1.2. Tara Winstead, www.pexels.com (18.12.2024.)

Fotografija 1.3. Antoni Shkraba, www.pexels.com (18.12.2024.)

Fotografija 1.4. Cottonbro studio, www.pexels.com (18.12.2024.)

Fotografija 1.5. Natječajni rad za Islamski centar u Visokom, Novembar 2024., izvor: arhiv autora

Fotografija 1.6. Natječajni rad za centralni objekt MUP-KSa u Sarajevu, Novembar 2024., izvor: arhiv autora

Fotografija 1.7. Shema – komfor – uroda u unutrašnjem prostoru, autor

Fotografija 1.8. Natječajni rad za centralni objekt MUP-KSa u Sarajevu, Novembar 2024., izvor: arhiv autora

Tablice:

Tablica 1.0. čovjek, energija, aktivnost i unutarnji prostor

Poglavlje 2.0.

Fotografije:

Fotografija 2.1. Arthur Oglezneu www.pexels.com (18.12.2024.)

Fotografija 2.2. Pixundfertig, www.pixabay.com (20.12.2024.)

Fotografija 2.3. Franklin Pena Gutierrez, www.pixabay.com (20.12.2024.)

Fotografija 2.4. Dubai (Dibai Marina), (01.02.2022.), izvor: arhiv autora

Fotografija 2.5. Nicki Dick, www.pexels.com (20.01.2025.)

Tablice:

Tablica 2.1. Tabelarni prikaz najvećih prirodnih katastrofa u svijetu, izvor: autor

Poglavlje 3.0.

Fotografije:

Fotografija 3.1. Tendencija rasta potrošnje energije u razdoblju 1971. - 2018. God, izvor: www.iea.org

Fotografija 3.2. Odnos između BDP-a i potrošnje energije u razdoblju 1970. -1997. god., izvor: Daniels, K., 2009. str.: 13.

Fotografija 3.3. Odnos pojedinih zemlja na prostoru Europe Unije u procentualnom korištenju obnovljivih izvora energije

Izvor: Renewables account for 24.5% of EU energy use in 2023 - News articles - Eurostat

Fotografija 3.4. Rast korištenja obnovljivih izvora energije, izvor: Electricity – Renewables 2023 – Analysis - IEA

Fotografija 3.5. Pasivni sustavi korištenja solarne energije, a) izravni sustav, b,c) neizravno grijanje prostora preko

masivnog termalnog zida, d,e,f) sustav s termosifonskim ili prinudnom cirkulacijom zraka po uzoru na skicu iz izvora:
Radosavljević, 2004: 72

Fotografija 3.6. Dijagram - usporedba stupnja djelotvornosti solarnih kolektora, Izvor: Daniels, K., str.: 211.,

Fotografija 3.7. Projekcija instalirane snage korištenja vjetroenergije na globalnom nivou,
izvor: Global Wind Report 2023 - Global Wind Energy Council

Fotografije 3.8. (a) „*Bahrain World Trade Center*“ i (b) detalj vjetroturbine, izvor: www.planetgreen.discovery.com

Fotografije 3.9. (a,b,c), Izgradnja niskoenergetske kuće u Sarajevu, projektant druge faze Haris Bradić, dipl. ing. arh., izvođenje geotermalnih bušotina, sustav sa četiri cijevi, fotografirano: 07.11.2012.

Fotografije 3.10. Ukupno instalirana snaga do 2023. godine,
izvor: <https://geothermal-energy-journal.springeropen.com/articles/10.1186> (20.12.2024.)

Fotografija 3.11. Prirodni ciklus kretanja CO₂ u prirodi, urađeno
po izvoru: Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, M., Energy Manual, sustainable architecture, str. 56.

Fotografija 3.12. Projekt turbina ispod mora za proizvodnju električne energije morske struje, izvor: Hegger, 2008:48

Fotografija 3.13. Prva elektrana u SAD-u, koja koristi energiju valova mora za proizvodnju električne energije,
izvor: futuretimeline.net

Fotografija 3.14. Prosta šema dizalice topline, <https://magnet.rs/toplotne-pumpe-iskustva>

Fotografija 3.15. Energetske uštede primjenom rekuperacije energije unutarnjeg zraka, slika doradena po informacijama iz izvora: Hegger, M., Fuchs, M., Zeumer, M., str.: 135.

Fotografija 3.16. Shematski prikaz relacija unutar ekonomske isplativosti projekata EE, izvor: autor

Fotografija 3.17. Okolna brda grada Sarajeva, izvor: Akšamija A., (Oktobor 2024.)

Tablice:

Tablica 3.1. Otkupne cijene električne energije proizvedene u solarnim elektranama u Federaciji Bosne i Hercegovine, www.fekrk.ba,
www.oieiek.ba (15.01.2025)

Tablica 3.2. Razvoj tehnologije vjetroturbine u svijetu u razdoblju 1980. – 2002.god.

Tablica 3.3. Studija o vjetropotencijalu u BiH, 11 regija

Poglavlje 4.0

Fotografije:

Fotografija 4.1. Stambeni kompleks Begovina Stolac u Bosni i Hercegovini, izvor: www.stolacx.ba

Fotografija 4.2. Selo Lukomir na planini Bjelašnica, BiH, izvor: www.lukomir.info

Fotografija 4.3. Autohtoni oblik gradnje na planini Bjelašnica, Selo Umoljani-Gradina (26.11.2012.), autor

Fotografija 4.4. Godišnja toplinska bilanca pasivne kuće, izvor: Zbašnik S.M. str.: 30

Fotografija 4.5. „*Kranichstein Passive House*“ u Darmstadtu, Njemačka, izvor: www.passipedia.org

Fotografija 4.6. „*Zero energy house*“, kuća „*Z6 house*“, izvor: www.aiatopten.org

Fotografija 4.7. „*DOE and NREL*“ zgrada

Fotografija 4.8. i 4.9. „*P.S.62 Richmond - Net Zero Energy School*“, izvor: <https://archello.com/>

Fotografija 4.10. Poslovna zgrada Hauts-de-Seine building u Parizu, projekt po standardu, „*Energy plus building*“,
izvor: Energy + Paris Office Building by SOM - e-architect

Fotografija 4.11. Klima i oblici građevine, arh. *Ken Yeang*, izvor: Daniels, 2009: 28

Fotografija 4.12. Koncept nebodera, arh. *Ken Yeang* Izvor: www.professoratch.wordpress.com

Fotografija 4.13. Zeleni krov zgrade ASLA – „*American Society of Landscape Architects*“, izvor: www.asla.org/greenroof

Fotografija 4.14. Zeleni krov zgrade Akademije nauka Kalifornije, izvor: www.calacademy.org/academy

Fotografija 4.15. Zgrada Europske komisije prije transformacije, izvor: www.ekapija.ba

Fotografija 4.16. Zgrada Europske komisije nakon transformacije, izvor: www.escunited.com

Fotografija 4.17. Zgrada *Reichstaga* prije rušenja, izvor: <http://einestages.spiegel>

Fotografija 4.18. Zgrada *Reichstaga* danas, Izvor:, arhiv autora, fotografirano 16.08.2013.

Fotografija 4.19. UAE Paviljon, EXPO 2020 Dubai, Izvor: autor: 04.02.2024.

Fotografija 4.20. R128 House, izvor: www.wernersobek.com

Poglavlje 5.0

Fotografije:

Fotografija 5.1. zgrada BNP PARIBAS FORTIS, Brisel, izvor: <https://www.baumschlager-eberle.com/en/work/projects/projekte-details/montagne-du-parc-1/>

Fotografija 5.2. Shematski prikaz, razvoj znanosti i struke na polju energetski učinkovite ovojnice zgrade, autor

Fotografija 5.3. Prikaz u obliku dijagrama maksimalno dopuštene U-vrijednosti slojeva na ovojnicama zgrada za razdoblje od proteklih 30 godina, autor

Fotografija 5.4. Funkcionalna shema ovojnice zgrada i utjecaja na istu, autor

Fotografija 5.5. Energetska sanacija spomenika kulture, zgrada *Ernst May* u Frankfurtu, Njemačka, arhitekt *Jürgen Werner*, primijenjena VIP

Fotografija 5.6. Kristalna palača u Londonu, 1851. god., izvor: victoriancalendar.blogspot.com,

Fotografija 5.7. Idejni projekt nebodera „Stakleni neboder“, Berlin, 1922.god., izvor: Schulze, F., str.: 44.

Fotografija 5.8. Betonska kancelarijska zgrada, idejni projekt 1933. god. izvor: Schulze, F., str.: 49.

termoizolacija na fasadnoj strukturi, izvor: arhiv autora, fotografirano (21.06.2012.)

Fotografija 5.9. *Vanjski otvor Feal 85Plus, Vanjski okvir je aluminij, moguća obrada u različitim bojama kao i u teksturi koja imitira drvo. U kombinaciji sa staklom od 3 sloja je moguće u zavisnosti od odnosa površine profila i stakla dostići U-vrijednost 0,8 W/m²K ili nešto nižu.*

Fotografija 5.10. Vanjski otvor Rehau Geneo, kompozitni materijal ojačan staklenim vlaknima RAU-FIPRO®, koekstrudirani vanjski sloj cijelom duljinom iz visokokvalitetnog RAU-PVC-a za najbolju kvalitetu površine. U-vrijednost je sa ovim sistemom u zavisnosti od kvalitet stakla i broj staklenih ploha moguće dostići do 0,76 W/m²K

Fotografija 5.11. Vanjski otvor *Salamander BluEvolution*, The bluEvolution 92 profile system unites future-oriented, cutting-edge technology with modern, pragmatic design for the new generation of world-class windows. The optimised 6-chamber profile with a construction depth of 92 mm provides superior thermal insulation and excellent energy efficiency. Combined with a filigree visible width of only 118 mm, solar gains thanks to high light incidence and the environmental sustainability of 100% recyclable PVC, this is one of Salamander's systems of the future. U - vrijednost 0,71 W/m²K

Fotografija 5.12. Cijela BLUEGREEN Linija razvijena je u hrvatskoj tvrtci Troha-Dil, vlastitim znanjem, radom i pedesetgodišnjim iskustvom. Svaka sitnica promišljena je do zadnjeg detalja, a rezultati su senzacionalni. U trenutku nastajanja 2007. godine, dizajn Struktura bio je među šest najboljih prozora koji su imali Uf vrijednost od 0.7 W/m²K. Za većinu svjetskih proizvođača pasivnih prozora to je još uvijek nedostižan san.

Poglavlje 6.0.

Fotografije:

Fotografija 6.1. Odnos temperaturnih skala, shema: autor

Tablice:

Tablica br. 6.1. Koeficijent linearnog toplinskog rastezanja

Tablica br. 6.2. Specifični toplinski kapacitet nekih materijala

Poglavlje 7.0.

Fotografije:

- Fotografija 7.1. Shematski prikaz, razvoj grada Sarajeva kroz povijesno razdoblje od 7000 godina, izvor: autor
Fotografija 7.2. Gazi Husref-begova medresa, Sarajevo, izvor: arhiv autora, fotografirano (03.02.2013.),
Fotografija 7.3. Utjecaji na kreiranje energetski učinkovite zaštićene arhitekture, autor
Fotografija 7.4. Uvjeti koji trebaju biti zadovoljeni za prihvatljiv arhitektonski komfor, autor
Fotografija 7.5. Toplinski uvjeti arhitektonskog komfora, autor

Tablice:

- Tablica 7.1. Popis zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu izgrađenih u razdoblju Austrougarske monarhije u BiH, izvor: Doktorski rad Bradić, 2014.
Tablica 7.2. Popis zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu izgrađenih u razdoblju između dva svjetska rata, izvor: Doktorski rad Bradić, 2014.
Tablica 7.3. Popis zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu izgrađenih u razdoblju nakon Drugog svjetskog rata do 1970. godine., izvor: Doktorski rad Bradić, 2014.
Tablica 7.4. Popis zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu izgrađenih u razdoblju od 1970. godine do danas, izvor: Doktorski rad Bradić, 2014.

Poglavlje 8.0.

Fotografije:

- Fotografija 8.1. Pogled na poziciju zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić i grad Sarajevo – centralna zona grada, Izvor: *Google earth*, fotografija dorađena,
Fotografija 8.2. – 8.5. Pogled ovojnice JU OŠ Safvet-beg Bašagić i grad Sarajevo, Izvor: autor, fotografirano (07.07.2012.)
Fotografija 8.6. i 8.7. S Nacrt: tlocrt etaže prizemlja i južna fasada zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, digitalizirana postojeća projektna dokumentacija Sarajevo, Izvor: autor
Fotografije 8.8 i 8.9. Fizička oštećenja vanjskih otvora zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić, izvor arhiv autora, fotografirano (07.05.2012.)
Fotografije 8.10. Zgrada JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, (a) priključna stanica, (b) kupaonice, (c) rasvjeta, izvor: arhiv autora, fotografirano (07.05.2012.)
Fotografija 8.11. Termovizijska snimka servisnih ulaznih vrata s unutarnje strane u JU OŠ Safvet-beg Bašagić, Broj snimke: IR 20121212_0104.is2 (12.12.2012., 15:41) Izvor: autor
Fotografija 8.12. Termovizijska snimka sjeverne fasade s vanjske strane JU OŠ Safvet-beg Bašagić Broj snimke: IR 0121212_0106.is2 (12.12.2012., 15:43), Izvor: autor
Fotografija 8.13. Termovizijska snimka svjetlarnika s unutarnje strane u potkrovlju JU OŠ Safvet-beg Bašagić Broj snimke: IR 20121212_0119.is2 (12.12.2012., 15:52), Izvor: autor
Fotografija 8.14. Zgrada JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, učionica u etaži potkrovlja, izvor: arhiv autora, fotografirano (07.05.2012.)
Fotografija 8.15. Zgrada JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, sanitarni blok u etaži potkrovlja, izvor: arhiv autora, fotografirano (07.05.2012.)
Fotografija 8.16. transformacija načina korištenja unutarnjeg prostora i izmještanje postojeće granice, JU OŠ Safvet-beg Bašagić, izvor: autor
Fotografija 8.17. Shema modela transformacije 1a i 1b, transformacija odnosa zgrade i okruženja, urađeno na stvarnom presjeku zgrade i okruženja JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, izvor: autor
Fotografija 8.18. Shema novog energetskog koncepta Zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, izvor: autor
Fotografija 8.19. Kompleksna energetska ovojnica zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, izvor: autor
Fotografija 8.20. Prikaz novog sloja ovojnice zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, izvor: autor
Fotografija 8.21. Shematski prikaz funkcionalnog aspekta novog sloja ovojnice zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu a) nesmetan priljev sunčeve energije, b) zaštita od prevelikog priljeva sunčeve energije i c) generiranje sunčeve energije i kreiranje rezervoara toplinske energije u zimskom periodu, izvor: autor

- Fotografija 8.22. Drugi model transformacije u vidu staklenog plašta na ovojnici, potpuno transparentni dijelovi i dijelovi s integriranim fotonaponskim ćelijama, JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, (a) postojeće stanje, (b) djelomično obložena fasadna struktura, izvor: autor
- Fotografija 8.23. Drugi model transformacije JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu, aktivni stakleni plašt ovisan o osunčanju fasade, bit će aktiviran ili deaktiviran, (a) nije osunčana struktura, (b) djelomično i (c) potpuno osunčana, izvor: autor
- Fotografija 8.24. Shema: prirodno i mehaničko vjetrenje u zgradi JU OŠ Safvet-beg Bašagić u Sarajevu
- Fotografija 8.25. Shema: definiranje ključnih utjecaja na nastanak suživota arhitekture i energije
- Fotografija 8.26. Pogled na poziciju zgrade JU OŠ Saburina i grad Sarajevo – Stari grad – naselje Vratnik, Izvor: *Google earth*, fotografija dorađena
- Fotografije 8.27. Zgrada JU OŠ Saburina u Sarajevu, (a) zapadna fasada, i (b) ulazno pročelje i (c) sjeverna fasada, izvor: arhiv autora, fotografirano (08.11.2012.)
- Fotografija 8.28. Nacrt: tlocrt etaže prizemlje i zapadna fasada zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu digitalizirana postojeća projektna dokumentacija, izvor: autor
- Fotografija 8.29. Zgrada JU OŠ Saburina u Sarajevu, (a) vanjski otvori TIP2, oštećenja i (b,c) vanjski otvori ulazna vrata, izvor: arhiv autora, fotografirano 04.12.2012.
- Fotografija 8.30. Zgrada JU OŠ Saburina u Sarajevu, zatečeno stanje, (a) kupaonica za učenike, (b) tuš zona za učenike, izvor: arhiv autora, fotografirano 04.12.2012.
- Fotografija 8.31. Termovizijska snimka s vanjske strane na ulazna vrata u školu
Broj snimke: IR 20121210_0086.is2 (12.12.2012., 13:09), izvor: autor
- Fotografija 8.32. Termovizijska snimka s vanjske strane na zapadnu fasadu Broj snimke: IR 20121210_0088.is2 (12.12.2012., 13:11), izvor: autor
- Fotografija 8.33. Termovizijska snimka s vanjske strane na sjevernu fasadu, Broj snimke: IR 20121210_0090.is2 (12.12.2012., 13:14), izvor: autor
- Fotografija 8.34. Zgrada JU OŠ Saburina u Sarajevu, ulazni hol u zgradu, izvor: arhiva autora, fotografirano (20.11.2012.)
- Fotografija 8.35. Analiza mogućnosti korištenja obnovljivih izvora energije na lokalitetu zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu, nacrt: stvarni 3D presjek, izvor: autor
- Fotografija 8.36. Automatizirani dijelovi ovojnice (vanjski otvori) zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu (a) fasadna struktura je osunčana, zaštita i proizvodnja el. energije aktivirani (b) fasadna struktura nije osunčana, zaštita i proizvodnja el. energije deaktivirani, izvor: autor
- Fotografija 8.37. Novi koncept vanjskih otvora zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu, izvor: autor
- Fotografija 8.38., Shema: prirodno i mehaničko vjetrenje zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu, nacrt: stvarni presjek kroz zgradu, izvor: autor
- Fotografija 8.39. Pogled na poziciju zgrade JU OŠ Hasan Kikić i grad Sarajevo – Centar – naselje Gorica, Izvor: *Google earth*, fotografija dorađena
- Fotografija 8.40. Zgrada JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, (a) ulazno pročelje, (b) istočna fasada, (c) zapadna fasada, izvor: arhiv autora, fotografirano (24.12.2009.)
- Fotografija 8.41. Nacrt: tlocrt etaže I. kati sjeverne fasade zgrade JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, digitalizirana postojeća projektna dokumentacija, izvor: autor
- Fotografija 8.42.(a,b,c,d) Zgrada JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, originalni vanjski otvori, izvor: arhiv autora fotografirano (24.12.2009.)
- Fotografija 8.43. Zgrada JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, (a) sekundarna kotlovnica, (b) primarna kotlovnica, izvor: arhiv autora, fotografirano (24.02.2010.)
- Fotografija 8.44. Termovizijska snimka s vanjske strane na originalne prozore Broj snimke: IR 20121213_0125.is2 (13.12.2012., 9:15), izvor: autor
- Fotografija 8.45. Termovizijska snimka s vanjske strane na vanjske otvore sportske dvorane Broj snimke: IR 20121213_0128.is2 (13.12.2012., 9:17), izvor: autor
- Fotografija 8.46. Termovizijska snimka s vanjske strane na južnu fasadu Broj snimke: IR 20121213_0136.is2 (13.12.2012., 9:23), izvor: autor
- Fotografija 8.47. Termovizijska snimka s unutarnje strane na zapadnu fasadu Broj snimke: IR 20121213_0137.is2 (13.12.2012., 9:25), izvor: autor
- Fotografija 8.48. Nacrt, shematski presjek kroz zgradu, izmještanje i dodjela novih funkcija postojećoj ovojnici

- zgrade JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu, izvor: autor
- Fotografija 8.49. Modeli transformacije ovojnice, prilagodljivost položaju Sunca zgrade JU OŠ Hasan Kikić u Sarajevu (a,c) nije osunčana fasadna struktura i (b,d) osunčana fasadna struktura, izvor: autor
- Fotografija 8.50. Pogled na poziciju zgrade JU OŠ Skender Kulenović i grad Sarajevo – Novi grad – naselje Dobrinja, Izvor: *Google earth*, fotografija doradena
- Fotografija 8.51. Zgrada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, (a) zapadna fasada, (b) južna fasada (c) istočna fasada, izvor: arhiva autora, fotografirano 09.05.2012.
- Fotografija 8.52. Nacrt: tlocrt etaže prizemlje zgrade I zapadna fasada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, digitalizirana postojeća projektna dokumentacija, izvor: autor
- Fotografija 8.53. Zgrada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, (a) vanjski otvor s metalnim profilom, pozicija prema atriju, (b) detalj, izvor: arhiv autora, fotografirano 09.05.2012.
- Fotografija 8.54. Zgrada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, kotlovnica, izvor: arhiv autora, fotografirano (09.05.2012.)
- Fotografija 8.55. Termovizijska snimka s vanjske strane na sjevernu fasadu Broj snimke: IR 20121213_0139.is2 (13.12.2012., 9:47), izvor: autor
- Fotografija 8.56. Termovizijska snimka s vanjske strane na zapadnu fasadu Broj snimke: IR 20121213_0141is2 (13.12.2012., 9:51), izvor: autor
- Fotografija 8.57. Termovizijska snimka s unutarnje strane na servisna ulazna metalna vrata Broj snimke: IR 20121213_0148is2 (13.12.2012., 10:10), izvor: autor
- Fotografija 8.58. Termovizijska snimka s unutarnje strane na krovne otvore Broj snimke: IR 20121213_0149is2 (13.12.2012., 10:15), Izvor: autor
- Fotografija 8.59. Zgrada JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, centralni hol, izvor: arhiv autora, fotografirano (09.05.2012.)
- Fotografija 8.60. MODEL 2 transformacije ovojnice i korisnog prostora zgrade JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu, izvor: autor
- Fotografija 8.61. Novi vizualni identitet i funkcionalni koncepti ovojnice i okruženja zgrade JU OŠ Skender Kulenović u Sarajevu (a) Pogled na prilazno dvorište s vjetroturbinama (b) Novi aktivno korišteni vanjski prostori (c) Uzgoj autohtonog visokog rastinja i kreiranje škole u prirodi (d) Krov zgrade postaje koristan prostor (učionice u prirodi i edukacija uzgoja autohtonog bilja), izvor: autor
- Fotografija 8.62. Shematski prikaz utjecaja na uštede potrebne energije za vjetrenje i hlađenje unutrašnjeg prostora, izvor: autor

Tablice:

- Tablica 8.1. Osnovne informacije o zgradi JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
- Tablica 8.2. Geometrijske karakteristike zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
- Tablica 8.3. Toplinski gubitci proračunati pomoću *ENSI EAB softvera* zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
- Tablica 8.4. Instalirana snaga za umjetno osvjtljenje u zgradi JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
- Tablica 8.5. Osnovne informacije o zgradi JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu
- Tablica 8.6. Geometrijske karakteristike zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu
- Tablica 8.7. Toplinski gubitci proračunati putem *ENSI EAB softvera* zgrade JU OŠ Saburina u Sarajevu
- Tablica 8.8. Instalirana snaga za umjetno osvjtljenje u zgradi JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu
- Tablica 8.9. Osnovne informacije o zgradi JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
- Tablica 8.10. Geometrijske karakteristike zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
- Tablica 8.11. Toplinski gubitci proračunati putem *ENSI EAB softvera* zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
- Tablica 8.12. Instalirana snaga za umjetno osvjtljenje u zgradi JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
- Tablica 8.13. Osnovne informacije o zgradi JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
- Tablica 8.14. Geometrijske karakteristike zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
- Tablica 8.15. Toplinski gubitci proračunati putem *ENSI EAB softvera* zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
- Tablica 8.16. Instalirana snaga za umjetno osvjtljenje u zgradi JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

Dijagrami:

- Dijagram 8.1. Odnos površina i U-vrijednosti u kompletnoj ovojnici zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
- Dijagram 8.2. – 8.3. Struktura površina u ovojnici zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu

- Dijagram 8.4. Ukupne energetske potrebe zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.5. Rezultati ankete djece uzrasta devetih razreda u OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.6. Rezultati ankete djece uzrasta petih razreda u OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.7. Umanjenja U-vrijednosti na pojedinim pozicijama ovojnice zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.8. Simulacija energetske potrebe nakon izvršenih mjera transformacije zgrade (Model 1A)
JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.9. Simulacija ukupnih energetske potrebe nakon svih transformacija zgrade JU OŠ Safvet-beg Bašagić u gradu Sarajevu
Dijagrami 8.10. do 8.12. Odnosi površina i U-vrijednosti u kompletnoj ovojnici zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu
Dijagram 8.13. Ukupne energetske potrebe zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu
Dijagram 8.14. Rezultati ankete djece uzrasta do devetih razreda u OŠ Saburina u gradu Sarajevu
Dijagram 8.15. Rezultati ankete djece uzrasta do petih razreda u OŠ Saburina u gradu Sarajevu
Dijagram 8.16. Umanjenja U-vrijednosti na pojedinim pozicijama ovojnice zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu
Dijagram 8.17. Proračun energetske potrebe nakon transformacije (MODEL 1A) zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu
Dijagram 8.18. Simulacija ukupnih energetske potrebe nakon svih transformacija zgrade JU OŠ Saburina u gradu Sarajevu
Dijagram 8.19. Odnos transparentnih i netransparentnih ploha u fasadnoj strukturi zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.20. Odnos površina u kompletnoj ovojnici Zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.21. Odnos površina i U-vrijednosti u transparentnom dijelu ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.22. Odnos površina i U-vrijednosti u netransparentnom dijelu ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.23. Ukupne energetske potrebe zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.24. Rezultati ankete djece uzrasta devetih razreda u OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.25. Rezultati ankete djece uzrasta petih razreda u OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.26. Umanjenja U-vrijednosti na netransparentnim dijelovima ovojnice zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.27. Simulacija energetske potrebe nakon izvršenih mjera transformacije (MODEL 1) ovojnice zgrade
JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.28. Simulacija ukupnih energetske potrebe nakon transformacija zgrade JU OŠ Hasan Kikić u gradu Sarajevu
Dijagram 8.29. Odnos površina i U-vrijednosti, transparentni dio ovojnice, Zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.30. Odnos površina i U-vrijednosti, netransparentni dio ovojnice, Zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.31. Odnos transparentnih i netransparentnih dijelova u fasadnoj strukturi, zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.32. Odnos površina u kompletnoj ovojnici, zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.33. Ukupne energetske potrebe zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.34. Rezultati ankete djece uzrasta devetih razreda u JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.35. Rezultati ankete djece uzrasta petih razreda u JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.36. Umanjenja U-vrijednosti na vanjskim otvorima zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.37. Simulacija energetske potrebe nakon izvršenih mjera transformacije vanjskih otvora zgrade
JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu
Dijagram 8.38. Simulacija ukupnih energetske potrebe nakon svih transformacija zgrade JU OŠ Skender Kulenović u gradu Sarajevu

Poglavlje 9.0.

Tablice:

Tablica 9.1. Rezultati analize 4 odabrana primjera zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu

Tablica 9.2. Rezultati nakon transformacije 4 odabrana primjera zgrada za osnovno obrazovanje u gradu Sarajevu

BIBLIOGRAFIJA

Knjige

- 1) Altman, I., & Chemers, M. M. (1980). *Culture and Environment*. New York: Plenum Press. ISBN-10: 0306403727, ISBN-13: 978-0306403729.
- 2) Arslanagić-Mutevelić, N., (2009.), *Dermatovenerologija*, Training&Design&Publishing, Sarajevo, ISBN: 99589221413, 97899589221414
- 3) Asensio, P., (2002.), *Mies Van Der Rohe*, teNeues, Paris, ISBN: 3-8238-5581-6
- 4) Auf-Franić, H., (2004.), *Osnovne škole programiranje, planiranje i projektiranje* Golden Marketing – Tehnička knjiga, Zagreb
- 5) Bajbutović, Z., (1983.), *Arhitektura školske zgrade*, Svjetlost OOUR zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Sarajevo
- 6) Biga, L. M., Dawson, S., Harwell, A., Hopkins, R., Kaufmann, J., LeMaster, M., Matern, P., Morrison-Graham, K., Quick, D., & Runyeon, J. (2019). *Anatomy & Physiology*. Open Oregon State, Oregon State University. ISBN-13: 978-1-955101-15-8.
- 7) Bode, E., Bogner, M., (2007.), *CO₂ ugljen dioksid, proizvodnja, distribucija i primjene*, ETA Beograd, Beograd, ISBN: 86-85361-08-7
- 8) Bogner, M., Miladinović, M., (2009.), *Površinsko grejanje i hlađenje*, ETA Beograd, Beograd, ISBN: 978-86-85361-20-3
- 9) Bruck, J., (2009.), *Neue Energiekonzepte*, Beuth Verlag GmbH, Berlin, ISBN: 978-3-410-17248-2
- 10) Ching, F. D. K., & Adams, C. (2014). *Interior Design Illustrated* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. ISBN-10: 1118582184, ISBN-13: 978-1118582183.
- 11) Ching, F. D. K., & Binggeli, C. (2012). *Interior Design Illustrated* (3rd ed.). John Wiley & Sons. ISBN-10: 1118090713, ISBN-13: 978-1118090718.
- 12) Danijels, K., (2009.), *Tehnologija ekološkog građenja, Osnove i mere, Primeri i ideje*, NK Jasen, Beograd, ISBN: 978-85337-66-6
- 13) Donia, R. J., (2006.), *Sarajevo Biografija grada*, Institut za istoriju, Sarajevo, Sarajevo
- 14) Duran, S., C., (2011.), *Architecture & Energy Efficiency*, LOFT Publications, Barcelona, ISBN: 978-84-9936-206-9
- 15) Ksenofont. (1964). *Uspomene o Sokratu*. (M. N. Đurić, Prijevod). Beograd: Srpska književna zadruga.
- 16) Florida, R. (2002). *The Rise of the Creative Class: And How It's Transforming Work, Leisure, Community and Everyday Life*. New York: Basic Books. ISBN-10: 0465024777, ISBN-13: 978-0465024777.
- 17) Ford, A., (2007.), *Designing the Sustainable School*, The Images Publishing Group Pty Ltd, Victoria, ISBN: 978-186470 237 8
- 18) Gafić, M., Džeko Š., (2001.), *Olimpijske planine Sarajeva*, Turistička zajednica Kantona Sarajevo, Sarajevo, ISBN: 978-9958-9691-8-8
- 19) Gardner, H. (2022). *A Synthesizing Mind: A Memoir from the Creator of Multiple Intelligences Theory*. Cambridge, MA: MIT Press. ISBN: 978-0262045956.
- 20) Gehl, J. (2010). *Cities for People*. Washington, D.C.: Island Press. ISBN-10: 1597265737, ISBN-13: 978-1597265737.
- 21) Gelfand, L., (2010.), *Sustainable School Architecture*, John Wiley & Sons Publishing, New Jersey, ISBN: 978-0-470-44543-3
- 22) Gertis, K., (1999.), *Energieeinsparung im Altbau-Solartechnik fragwürdig?*, Bauphysik-Gebaudebestand, CCI 33, Nr.4, Stuttgart
- 23) Gifford, R. (2007). *Environmental Psychology: Principles and Practice. Optimal Environments for Optimal Health and Creativity* (4th ed.). Optimal Books. ISBN-10: 0968859431, ISBN-13: 978-0968859438.
- 24) Gipe, P. (2004). *Wind Power: Renewable Energy for Home, Farm, and Business*. Chelsea Green Publishing. ISBN: 9781931498142.
- 25) Guzowski, M., (2010.), *Towards Zero-energy Architecture, New Solar Design*, Laurence King Publishing, London, ISBN: 978-1-78067-026-3
- 26) Hadrović, A., (2004.), *Definiranje arhitektonskog prostora na modelu orijentalne kuće u Bosni i Hercegovini, Srbiji, Crnoj Gori, Kosovu i Makedoniji*, ACTA Architectonica et Urbanistica, Sarajevo
- 27) Hadrović, A., (2008.), *Bioklimatska arhitektura, traženje puta za Raj*, Arhitektonski fakultet Sarajevo, Sarajevo, ISBN: 978-9958-691-05-8
- 28) Hadrović, A., (2010.), *Arhitektonska fizika - drugo izdanje*, Arhitektonski fakultet Sarajevo, Sarajevo, ISBN: 978-9958-691-20-1
- 29) Hadrović, A., (2010.), *Studije o arhitekturi i ogled o arhitekti*, Arhitektonski fakultet Sarajevo, Sarajevo, ISBN: 978-9958-691-17-1
- 30) Hadrović, A., *Dolina rijeke Kozice, život na način samoodrživosti*, Arhitektonski fakultet Sarajevo, 2011., Sarajevo, ISBN: 978-9958-691-23-2
- 31) Hall, E. T. (1966). *The Hidden Dimension*. Garden City, NY: Doubleday. ISBN-10: 0385084765, ISBN-13: 978-0385084765.

- 32) Hatje, G., (1970.), org. *Knaurs Lexikon der modernen Architektur*, Enciklopedija moderne arhitekture, prevod: prof. Aleksandar Sekulić, dipl.ing.arh, Građevinska knjiga, Beograd
- 33) Hegger M., Fafflok C., Hegger J., Passig I., (2016), *Aktivhaus – the reference work*, Verlag D.W. Callwez GmbH&Co.KG, Minhen, ISBN: 978-3-03821-643-8
- 34) Hegger, M., Fuchs, M., Stark, T., Zeumer, M., (2008.), *Energy Manual, sustainable architecture*, Institut fur internationale Architektur-Dokumentation GmbH & Co KG, 2008., Minhen, ISBN: 978-3-7643-8830-0
- 35) Henning, M., H., (2004)., *Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings*, Spreinger-Verlag Wien New York, Wien, ISBN: 978-3-211-73095-9
- 36) Houghton, T., (2009.), *Net Zero Energy Design, a guide for commercial architecture*, Cambridge University Press, UK, ISBN: 978-1-118-01854-5
- 37) Houghton, J. (2015). *Global Warming and Climate Change*. Cambridge University Press. ISBN-10: 1107647774, ISBN-13: 978-1107647777.
- 38) Hrasnica, M., (2003.), *Arhitekt Josip Pospišil-život i djelo*, Arhitektonski fakultet u Sarajevu, Sarajevo, ISBN: 9958-9706-6-X
- 39) Ivanović, K., (1989.), *Zbirka Jugoslovenskih standarda za građevinsku fiziku*, Novinsko-izdavačka ustanova, Službeni list SFRJ, Beograd
- 40) Jacobs, J. (1961). *The Death and Life of Great American Cities*. New York: Vintage. ISBN-10: 067974195X, ISBN-13: 978-0679741954.
- 41) Jahić, E., (2012.), *Arhitektonske konstrukcije Principi, sistemi i materijali*, Internacionalni univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, ISBN: 978-9958-896-15-6
- 42) Jodido, P., (2009.), *Green, Architecture now*, Taschen GmbH, Cologne, ISBN: 978-3-8365-0372-3
- 43) Jodido, P., (2013.), *100 Contemporary Green Buildings, vol1, vol2*, Taschen GmbH, Cologne, ISBN: 978-3-8365-4191-6
- 44) Kandel, E. R., Schwartz, J. H., Jessell, T. M., Siegelbaum, S. A., & Hudspeth, A. J. (2012). *Principles of Neural Science* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education. ISBN-10: 0071390111, ISBN-13: 978-0071390118.
- 45) Kaplan, R. and Kaplan, S. (1989) *The Experience of Nature: A Psychological Perspective*. New York: Cambridge University Press. ISBN 9780521341394.
- 46) Kasumović, I., (1999.), *Školstvo i obrazovanje u Bosanskom ejaletu za vrijeme osmanske uprave*, Islamski kulturni centar, Mostar, ISBN: 9958-804-06-9
- 47) Kellert, S. R., & Wilson, E. O. (1993). *The Biophilia Hypothesis*. Washington, DC: Island Press. ISBN-10: 1559631473, ISBN-13: 978-1559631471.
- 48) Klein, R. G. (2009). *The Human Career: Human Biological and Cultural Origins*, Third Edition. United Kingdom: University of Chicago Press.
- 49) Kosorić, V., (2007.), *Aktivni solarni sistemi, primjena u materijalizaciji omotača energetski efikasnih zgrada*, Građevinska knjiga, Novi Sad, ISBN: 978-86-395-0534-9
- 50) Koštović, N., (2001.), *Sarajevo evropski Jeruzalem*, Nijazija Koštović-Bravo Public Team, Sarajevo, ISBN: 9958-718-02-2
- 51) Kreidt, H., Pohl, W., Hegger, M., (1974.), *Schulbau-Band 1 Sekundarstufe I und II*, Verlag Georg D.W. Callwey Munchen, Munchen, ISBN: 3 7667 0 312 9
- 52) Krzović, I., (2004.), *Arhitektura Secesije u Bosni i Hercegovini*, Sarajevo Publishing, Sarajevo, ISBN: 9958-21-305-2
- 53) Kurto, N., (1997.), *Sarajevo 1462. – 1992.*, OKO Grafičko izdavačka kuća d.d., Sarajevo, UDK 930.85:72“1462/1992“(497.6 Sarajevo
- 54) Labudović B., (2012.), *Osnove primjene biomase, Energetika marketing doo*, Zagreb, ISBN: 978-953-6759-58-3
- 55) Lynch, K. (1960), *The Image of the City*, Cambridge, MA: MIT Press. ISBN 9780262620017.
- 56) Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2015). *Human anatomy & physiology* (10th ed.). Pearson. ISBN-13: 978-1292096971
- 57) Marvin, J., (2009.), *Green School Primer, lessons in sustainability*, The Images Publishing Group Pty Ltd, Victoria, ISBN: 9781864703276
- 58) Montello, D. R. (2018). Behavioral and cognitive geography: Introduction and overview. In D. R. Montello (Ed.), *Handbook of Behavioral and Cognitive Geography* (pp. 3–15). Cheltenham, UK; Northampton, MA: Edward Elgar Publishing. ISBN: 978-1784717544. DOI: 10.4337/9781784717544.00008.

- 59) Moore, K. L., & Dalley, A. F. (2018). *Clinically Oriented Anatomy* (8th ed.). Wolters Kluwer Health. ISBN-10: 1496347218, ISBN-13: 978-1496347213.
- 60) Moughtin, C., Cuesta, R., Wan, C. & Simeoni, P., 1999. *Urban Design: Method and Techniques*. Oxford: Architectural Press. ISBN 978-0-7506-4102-0.
- 61) Mujezinović, N., (2009.), *Kamen-materijal kontinuiteta i izražajnih mogućnosti*, Federalno ministarstvo obrazovanja i nauke, Mostar, Sarajevo
- 62) Muravlja, M., (2000.), *Građevinski materijali*, Građevinska knjiga, Beograd
- 63) Muštović, F., (2005.), *Vjetroelektrane u Bosni i Hercegovini*, TKD Šahinpašić doo, Sarajevo, ISBN: 9958-41-115-6
- 64) Peters, P., Schwarze, D., Gunther, S., (1969.), *Die neuen Schulen*, Verlag Georg D.W. Callwey Munchen, Munchen
- 65) Pickett, S. T. A., Cadenasso, M. L., & McGrath, B. (2013). *Urban Ecology: Understanding Urban Ecosystems*. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell. ISBN-10: 0470672491, ISBN-13: 978-0470672494.,
- 66) Porter, M. E. (1985). *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York: Free Press. ISBN: 978-0684841465.
- 67) Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A. S., McNamara, J. O., & White, L. E. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press. ISBN-10: 1605353809, ISBN-13: 978-1605353807.
- 68) Radaković, M., (2007.), *Vjetroenergetika- drugo izdanje*, KOLOS RR, Beograd, ISBN: 978-86-85361-20-3
- 69) Radaković, M., (2010.), *Obnovljivi izvori energije i njihova ekonomska ocena*, AGM knjiga, Beograd, ISBN: 978-86-86363-25-1
- 70) Radaković, M., *Geotermalna energija*, AGM knjiga, 2011., Beograd, ISBN: 978-86-86363-30-5
- 71) Radonić M., (1983.), *Grejanje i vetrenje*, IRO Građevinska Knjiga, Beograd
- 72) Radosavljević, J., M., Pavlović, T., M., Lambić, M., R., (2004.), *Solarna energetika i održivi razvoj*, Građevinska knjiga, Beograd, Beograd, ISBN: 86-395-0405-9
- 73) Rapoport, A. (1990). *The Meaning of the Built Environment: A Nonverbal Communication Approach*. Tucson, AZ: University of Arizona Press. ISBN-10: 081651100X, ISBN-13: 978-0816511006.
- 74) Recknagel H., Sprenger E., Schramek E. R., (2004.), prevod sa Njemačkog jezika napravila: Čeperković Zagorka, *Grijanje i klimatizacija*, Interklima-Grafika, Vrnjačka Banja, ISBN: 86-82685-13-2
- 75) Schoch, T., (2010.), *EnEV 2009 und DIN V 18599 Wohnbau*, Bauwerk Verlag GmbH, Berlin, ISBN: 978-3-89932-137-1
- 76) Schulze, F., (1989.), *Mies Van der Rohe, Critical Essays*, The Museum of Modern Art, New York, ISBN: 0-262-19287-X
- 77) Shepherd, G. M. (2004). *The Synaptic Organization of the Brain* (5th ed.). Oxford University Press. ISBN-10: 019515956X, ISBN-13: 978-0195159561.
- 78) Shepherd, G. M. (Ed.). (2013). *Neurobiology* (3rd ed.). Oxford University Press. ISBN 978-0195393459.
- 79) Sir Houghton, J.T, (2009.), *Global Warming, the Complete briefing*, Cambridge University Press., New York, ISBN-13 978-0-511-53365-5
- 80) Smith, P.F., (2005.), *Architecture in a Climate of Change, A guide to sustainable design*, Architectural Press, drugo izdanje, Oxford, ISBN: 0 7506 65440
- 81) Squire, L. R., Berg, D., Bloom, F. E., et al. (2012), *Fundamental Neuroscience* (4. izd.), Academic Press.
- 82) Sternthal, B., Eisenberger, H., (2011.), *Die Schonsten Passivehauser, Wie Sie behaglich wohnen und dabei auch noch Energie Sparen*, Christian Brandstätter Verlag GmbH & Co KG, Wien, ISBN: 978-3-85033-536-2
- 83) Stokols, D., & Altman, I. (Eds.), (1987), *Handbook of Environmental Psychology*, New York: Wiley. ISBN 9780471889584.
- 84) Stringer, C., & Andrews, P. (2011). *The Complete World of Human Evolution* (Second Edition). London: Thames & Hudson. ISBN: 978-0500295244
- 85) Šamšalović, S., (2009.), *Toplotna pumpa, tehnologija održive proizvodnje energije*, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera Srbije (SMEITS), Beograd, ISBN: 978-86-81505-49-6
- 86) Šimetin, V., (1983.), *Građevinska fizika*, Fakultet građevinskih znanosti sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- 87) Štraus, I., (1987.), *15 godina bosanskohercegovačke arhitekture 1970.-1985.*, Svjetlost, Sarajevo, ISBN: 86-01-01127-6

- 88) Štraus, I., (1998.), *Arhitektura Bosne i Hercegovine 1945.-1995.*, OKO Grafičko izdavačka kuća d.d., Sarajevo, ISBN: 9958-43-034-7
- 89) Tattersall, I. (2012), *Masters of the planet: The search for our human origins*. New York: Palgrave Macmillan. ISBN: 978-0230108752.
- 90) Tomović, S., (2002.), *Alternativni izvori energije*, NIDD Tehnička knjiga, Beograd, ISBN: 86-325-0496-7
- 91) Uffeln v.C., (2012.), *Passive Houses energy efficient homes*, Braun Publishing AG, Minhen, ISBN: 978-3-03868-106-0
- 92) Voss, K., Musall, E., (2011.), *Net Zero Energy Buildings*, Institut fur Internationale Architektur – Dokumentation GmbH & Co. KG, Minhen, ISBN: 978-3-0346-0780-3
- 93) Wilson, E. O. (1984). *Biophilia*. Harvard University Press. ISBN 978-0674044136.
- 94) Wines, J., (2000.), *Green Architecture*, Benedikt Taschen Verlag GmbH, Koln, ISBN: 3-8228-6303-3
- 95) Zbašnik-Senegačnik M., (2009), Pasivna kuća, SUN ARH doo, Zagreb, ISBN 978-953-98906-2-7
- 96) Zeisel, J. (2006), *Inquiry by Design: Environment/Behavior/Neuroscience in Architecture, Interiors, Landscape, and Planning*. New York: W. Norton & Company. ISBN 9780393731842.

Objavljeni članci i zbornici

- 1) Andrić D., Careva K., Štulhofer A., (2013.), *Primjena aluminijskih konstrukcija u gradnji obiteljskih kuća*, „Prostor“, 21[2013] 1[45], od 170 do 181, Zagreb, UDK: 72.02:72.036:728
- 2) Aničić B., Pereković P., Tomić D., (2013.), *Kriterij uklapanja vjetroelektrana u krajobraz*, „Prostor“, 21[2013] 1[45], od 116 do 127, Zagreb, UDK: 712:719:621.311
- 3) Biluš M., (2013.), *Princip bioklimatskog pristupa projektiranju – energetska učinkovitost i održiv koncept projektiranja zgrada*, „Presjek“, 2013/9, od 125 do 134, Zagreb
- 4) Bradić, H., (2013.), *Proces projektiranja energetska učinkovitih stambenih obiteljskih zgrada*, „Građevinar“, 8/2013, od 753 do 765, Zagreb
- 5) Bradić, H.; Veršić, Z.: *Modeli transformacije zgrade Osnovne škole Saburina u Sarajevu kao posljedica zahtjeva energetske učinkovitosti*, „Prostor“, znanstveni časopis za arhitekturu i urbanizam 26(2018.) 2(56), Zagreb: 245-257, ISSN 1330-0652, izvorni znanstveni članak
- 6) Brown, D. (2016). Thermal Comfort and Energy Consumption in Steel-framed Buildings of the 19th Century. *Energy Efficiency Journal*, 9(4), 769–783. DOI: 10.1007/s12053-015-9407-3.
- 7) Brown, R. (2015). Transition to Gothic Architecture: Structural Innovations and Spatial Transformations. *Architectural Review*, 238(1429), 98-103.
- 8) Brown, S. (1968). The influence of space on social interaction. *Journal of Environmental Psychology*, 4(2), 100-114. DOI: 10.1016/0272-4944(68)90030-4.
- 9) Brown, T. C., & Duryea, M. L. (2014). The role of natural resources in supporting human health. *Environmental Health Perspectives*, 122(8), 781–788. DOI: 10.1289/ehp.1307547.
- 10) Burca, J. (2023.), *Understanding Biophilia in Buildings*, Constructive Voices.
- 11) Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18(2), 65-82. DOI: 10.1080/10630732.2011.601117.
- 12) Clark, F. (2008). Evolution of Building Systems in Medieval Europe. *Journal of Architectural History*, 31(2), 56-72. DOI: 10.1080/00138270802374999.
- 13) Cohen, J. E. (2003). *Human Population: The Next Half Century*. Science, 302(5648), 1172–1175. DOI: 10.1126/science.1088665.
- 14) Crutzen, P. J., & Stoermer, E. F. (2000). "The Anthropocene." Global Change Newsletter, dostupno na: <https://www.igbp.net/download/18.316f18321323470177580001401/1376383088452/NL41.pdf>
- 15) Doktorski rad, (2005.), *Thermische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäude aus Nutzersicht*, Hellwig, R., Tu Minhen
- 16) Feist, W., (2011.), *15th International Passive House Conference 2011.*, University of Innsbruck and Passive House Institute, Darmstadt

- 17) Gifford, R. (2014). Environmental psychology matters. *Annual Review of Psychology*, 65(1), 541–579. DOI: 10.1146/annurev-psych-010213-115048.
- 18) Grimm, N. B., Faeth, S. H., Golubiewski, N. E., Redman, C. L., Wu, J., Bai, X., & Briggs, J. M. (2016). Global Change and the Ecology of Cities. *Science*, 319(5864), 756–760. DOI: 10.1126/science.1150195.
- 19) Lang, G., (2004.), Ploderl, H., Zelger, T., Muss, C., Krauss, B., Obermayr, C., Erste Passivhaus-Schulsanierung, Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Beč
- 20) Lee, K. (2019). Flying buttresses: Innovations in structural support systems in Gothic architecture. *Structural Engineering Journal*
- 21) Lee, K. (2021). Brick Gothic Architecture in Northern Europe: Influence of Material Availability on Architectural Style. *European Architectural Heritage Review*.
- 22) Lee, K. (2022). Advancements in ironworking techniques and their impact on architectural design. *Architectural Engineering Review*.
- 23) Lee, S., & Kim, Y. (2019). Energy consumption in building facades: A comprehensive review. *Energy and Buildings*.
- 24) Liu, Y., Xue, Z., & Shi, Z. (2017). Impact of terrain relief on air quality: A case study in Beijing, China. *Atmospheric Environment*.
- 25) Lund, J. W., & Freeston, D. H. (2001). *Worldwide direct uses of geothermal energy 2000*. Geothermics, 30(1), 29–68. doi:10.1016/S0375-6505(00)00050-1
- 26) Lund, J. W., Freeston, D. H., & Boyd, T. L. (2011). *Direct utilization of geothermal energy 2010 worldwide review*. Geothermics, 39(2), 190–217. doi:10.1016/j.geothermics.2010.10.004
- 27) Mellars, P. (1996). *The Impossible Coincidence: A Single-Species Model for the Origins of Modern Human Behavior in Europe*. Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews, 5(5), 194–200. DOI: 10.1002/(SICI)1520-6505(1996)5:5<194::AID-EVAN7>3.0.CO;2-#.
- 28) Miller, J. (2023), Joseph Paxton and the Crystal Palace: A Landmark in Architectural History, *Architectural Digest*
- 29) Ovčar, J., Novak V., (2016.) Utjecaj geometrijskog oblika zgrade na transmisijeske gubitke i ukupnu energetska bilancu zgrade, Zagreb,
- 30) Patel, C. (2012), *Impact of Material Selection on Structural Integrity of Medieval Facades*, Construction Materials Review.
- 31) Patel, C. (2014), *Development of Iron-based Structural Systems in the 18th Century*, Architectural Studies.
- 32) Patel, C. (2015), *Structural Innovations in Medieval Building Facades: The Transition to Half-Timbered Construction*, Construction Materials Review.
- 33) Proksch, E., Brandner, J. M., & Jensen, J. M. (2008). The skin: an indispensable barrier. *Experimental Dermatology*, 17(12), 1063–1072. DOI: 10.1111/j.1600-0625.2008.00786.x.
- 34) Proshansky, H. M., Fabian, A. K., & Kaminoff, R. (1983). Place-identity: Physical world socialization of the self. *Journal of Environmental Psychology*, 3(1), 57-83. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(83\)80021-8](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(83)80021-8)
- 35) Rodriguez, M. (2012). Nomadic architectural concepts and their influence on medieval building practices. *Architectural Studies*, 18(2), 123-139.
- 36) Russell, J. A., & Snodgrass, J. (1987). Emotion and the environment: Mediated by goal congruence. *Environment and Behavior*, 19(2), 193–212. DOI: 10.1177/0013916587192002.
- 37) Salihbegović, A., Bradić, H., (2011.), *New materials and technologies in the proces of sustainable construction, restoration and protection of objects insipred by nature*, 4th H&mH Conference, Bosnia and Herzegovina, Sarajevo
- 38) Scott, R. (2024). Application of greenhouse construction techniques in industrial architecture of the 19th century. *Industrial Architecture Journal*, 45(3), 215-230.
- 39) Smith, A. (2005). Evolution of medieval architecture: From wall-based to open designs. *Journal of Architectural History*, 10(2), 45-62.
- 40) Smith, A., Jones, B., & Brown, C. (2018). Advancements in facade technology: A review. *Journal of Architectural Engineering*, 24(4), 321-338.
- 41) Smith, B. (2010). Early use of cast iron in architectural elements: Case study of the Lower House in London. *Construction Materials Review*, 22(3), 78-90.
- 42) Smith, J. (2019). Military architecture of the Middle Ages: Defensive strategies and structural limitations. *Journal of Military Engineering*, 33(1), 55-70.

- 43) Smith, J., & Johnson, L. (2019). Sustainable Architecture and Climate Change: A Comparative Study. *Journal of Sustainable Development*, 12(4), 45-59. DOI: 10.5539/jsd.v12n4p45.
- 44) Steemers, K., & Manchanda, S. (2010). Energy use in buildings: complex buildings, complex behavior? *Building Research & Information*, 38(5), 489-503. DOI: 10.1080/09613218.2010.499631.
- 45) Thalfeldt, M., Schneider, P., & Müller, D. (2017). Strategies for energy-efficient facade design: A comprehensive overview. *Sustainable Buildings and Energy Efficiency*, 12(4), 203-220.
- 46) Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), 420-421. DOI: 10.1126/science.6143402.
- 47) Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647), 420-421. DOI: 10.1126/science.6143402.
- 48) Wang, L. (2018). Pointed arches in Gothic architecture: Structural advantages and aesthetic impact. *Journal of Architectural Engineering*, 34(2), 112-128.
- 49) White, G. (2020). Use of materials in medieval architecture: A comparative analysis. *Architectural Review*, 45(3), 234-248.
- 50) White, G. (2021). Evolution of glassmaking techniques in the 18th and 19th centuries. *Journal of Glass Studies*, 55(4), 301-315.
- 51) Zumbur, A., Georgouli, E., Bradić, H., Žic, J., Kesar, L., Revenco, V., (2012.), *Unesco School in South-East Europe, „Sustainable Energy Governance in Unesco Designated Sites*, International Historic Towns Conference, Dubrovnik

Doktorski radovi, leksikoni i publikacije

- 1) Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). *The Benefits of Daylight through Windows*. Troy, NY: Rensselaer Polytechnic Institute, Lighting Research Center.
- 2) Bradić H. (2014). Transformacija arhitekture kao posljedica zahtjeva energetske učinkovitosti na primjeru postojećih zgrada za osnovno obrazovanje, Zagreb
- 3) Hellwig, R. (2005). *Thermische Behaglichkeit. Unterschiede zwischen frei und mechanisch belüfteten Bürogebäude aus Nutzersicht*, Hellwig, R., TÜ München.
- 4) Medicinski leksikon (1992), mrežno izdanje. Leksikografski zavod Miroslav Krleža, 2025. (13.1.2025), <https://medicinski.lzmk.hr/clanak/koza>

Pravilnici i standardi

- 1) *Državni pedagoški standardi, Republika Hrvatska*, (2008.), izdavač: Ministarstvo znanosti, obrazovanja, i športa RH, Zagreb
- 2) *Pravilnik o energetske certificiranju zgrada u FBiH*, (2010.), Službene novine Federacije Bosne i Hercegovine br. 50/10, Sarajevo
- 3) JUS U.J5.510 Metode proračuna koeficijenta prolaza toplote u zgradama, 1980.
- 4) JUS U.J5.510 Metode proračuna difuzije vodene pare u zgradama, 1980.
- 5) EN ISO 6946 Thermal resistance a and thermal transmittance (U-wall and roof)
- 6) ISO 10077-1, EN410 (U-windows)
- 7) EN ISO 13370 (U-floor and heat loss)
- 8) EN 15603 (heat capacity, collecting the areas data)
- 9) EN 15316-x-x (system and generation efficiencies, domestic hot water consumption)
- 10) EN ISO 13789, ISO 13790, EN 15603 in combination (Heat loss coefficients, Heat gains factor)
- 11) EN 15232 (automatic control and technical building management)
- 12) EN 15242 and EN 15251, ISO 13789, ISO 7726, EN 13465 in combination (infiltration, indoor and supply temperatures, setback)
- 13) EN 13465, EN 15242, EN 15251 EN 15243 in combination (ventilation, ventilation rate)
- 14) EN 15193, ISO 9488 (operation periods and schedules, lighting)
- 15) EN 15217, EN 15603, EN15316 (energy rating, EP indicators kWh/m²a, energy need energy use)
- 16) EN ISO 15927 (Climatic data)

Izvješća

- 1) Albanian Geological Survey. (2019). Earthquake Impact and Response in Albania. Albanian Geological Survey.
- 2) Albanian Institute of Geosciences, Energy, Water and Environment. (2017). Drought 2017: Impact and Response in Albania. Albanian Institute of Geosciences.
- 3) Australian Government. (2020). Australian Bushfires 2019-2020: Insights and Analysis. Australian Government.
- 4) California Department of Forestry and Fire Protection. (2019). 2018 Fire Siege Review. CAL FIRE.
- 5) Centers for Disease Control and Prevention. (2010). Earthquake and Tsunami in Haiti: Emergency Water, Sanitation and Hygiene (WASH) Response. CDC.
- 6) Croatian Firefighting Association. (2017). Wildfires in Dalmatia 2017: Overview and Impact. Croatian Firefighting Association.
- 7) European Environment Agency. (2021). Izvještaj o emisijama stakleničkih plinova. EEA.
- 8) Federal Hydrometeorological Institute, Bosnia and Herzegovina. (2012). Drought 2012: Impact and Response in Bosnia and Herzegovina. Federal Hydrometeorological Institute.
- 9) Government of North Macedonia. (2016). Floods 2016: Impact and Recovery. Government of North Macedonia.
- 10) Government of Pakistan. (2010). Floods 2010: Preliminary Damage and Needs Assessment. Government of Pakistan.
- 11) Institute of Seismology, University of Montenegro. (1979). The 1979 Montenegro Earthquake: Impact and Lessons Learned. Institute of Seismology.
- 12) International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies. (2017). South Asia: Monsoon Floods Situation Report No. 2. IFRC.
- 13) IPCC. (2018). Special Report on Global Warming of 1.5° C. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- 14) IPCC. (2018). Special Report on Global Warming of 1.5° C. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- 15) IPCC. (2019). Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- 16) IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (H. Lee & J. Romero, Eds.). IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- 17) NASA. (2020). Climate Change: How Do We Know? NASA Climate Change.
- 18) NASA. (2020). Climate Change: How Do We Know? NASA Climate Change.
- 19) National Disaster Risk Reduction and Management Council. (2014). Situation Report: Effects of Typhoon Yolanda (Haiyan). NDRRMC.
- 20) National Hurricane Center. (2005). Tropical Cyclone Report: Hurricane Katrina. NHC.
- 21) UNDRR. (2019). Economic Losses, Poverty & Disasters 1998-2017. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- 22) UNHCR. (2021). Global Trends Forced Displacement in 2020. United Nations High Commissioner for Refugees.
- 23) United Nations. (2019). World Population Prospects 2019. United Nations.
- 24) United States Geological Survey. (2005). The Sumatra-Andaman Islands Earthquake and Tsunami of December 26, 2004: Lifeline Performance. USGS.
- 25) World Bank. (2019). Izvještaj o urbanizaciji i klimatskim promjenama. Svjetska banka.
- 26) World Health Organization. (2020). COVID-19 and Climate Change. WHO.

INDEX

2

20-20-20 cilj, 71

A

Aktivna kuća, 115, 116

analiza arhitektonskog komfora, 176

Analiza oblika zgrade, 123

Anergija, 139

anergy, 69

Anorganski termoizolacijski materijali, 129

Arhitekt, 136, 180, 207, 229, 248

arhitektonska fizika

 faktor otpora, 128, 146, 243

 gustoća materijala, 129

 toplinska vodljivost materijala, 128, 143

 U-vrijednost, 104, 124, 126, 129, 144, 184, 185, 212, 221, 223, 234, 243, 254, 255, 264, 265, 270, 272, 274, 275, 283, 293

Arhitektonska fizika, 11, 16, 136, 144, 145, 153, 156, 165, 298, 334

 osnovne termodinamičke veličine, 11, 137

Arhitektonska praksa, 61, 284

arhitektonske fizike, 15, 18, 92, 101, 124, 126, 128, 129, 143, 153, 156, 169, 171, 183, 192, 220, 223, 233, 242, 249, 254, 263, 272, 285, 286, 332, 340

Arhitektonski komfor, 11, 173

arhitektonsko – energetske transformacije, 11, 156

Arhitektura, 35, 43, 47, 56, 58, 161, 281, 297, 299, 300, 334, 335

 Arhitektonski dizajn, 38, 102

 dizajn interijera, 35, 38, 288, 336

 emocionalna povezanost s okolinom, 35

 koncept "biofilije", 36, 38

prostorna organizacija, 36

Aristotel, 96

armirani beton, 122

B

Balkan, 53

BiH, 16, 17, 73, 74, 80, 82, 84, 85, 159, 161, 162, 167, 168, 169, 186, 195, 225, 292, 293, 334, 335, 336, 337

Bioklimatska arhitektura, 10, 97, 99, 298

Lukomir, 100, 292

BNP Paribas Fortis, 122

Bo Adamson, 102

Bosna i Hercegovina, 47, 61, 73, 86, 101, 167, 336

C

CHP, 91

CO₂ otisak, 151

COP, 88, 89

Čovjek, 9, 14, 22, 23, 26, 124, 128, 280

Funkcija pokrovnog sustava kože, 9, 30

Anatomija čovjeka, 22, 24, 35

Disanje, 26

Homo sapiens, 22, 23

industrijalizacija, 23

Kosti, 24

Koža, 9, 28, 30, 31, 32, 33, 125, 283

Ljudska populacija, 23

Ljudsko tijelo, 24

Mišićno-skeletni sustav, 9, 24

Nervni sustav, 9, 27

Osjetila, 9, 33

psihološki aspekt, 34

Psihološki aspekti čovjeka, 22

Respiratorni sustav, 9, 26
Složeni sustav čovjeka, 25
zglobovi, 25

D

digitalna transformacija, 284
dinamičan odnos objekta s okruženjem, 115
Diverzifikacija proizvodnje energije, 49
Dizalice topline, 89
DOE, 106, 292
Društvene institucije, 58

E

eco design, 109, 110
Ekonomska opravdanost, 10, 91
Eksergija, 139
energetska transformacija, 156, 275, 276, 284
Energetska transformacija, 284, 289, 331
energetska tranzicija, 66, 68
energetska učinkovitost, 17, 44, 60, 63, 66, 93, 104, 148, 156, 188, 198, 259, 276, 289, 340
Energetske potrebe čovječanstva, 68
energetski autonomna, 106
Energetski razredi, 101, 272
Energetski učinkovita arhitektura, 62, 97
energetsko certificiranje, 123
Energija, 10, 66, 72, 77, 84, 85, 86, 87, 115, 139, 186, 269
 Ciljevi EU, 71
 Godišnje potrebe za energijom planete Zemlje, 66
 korištenje obnovljivih izvora energije, 63, 66, 99, 105, 108, 110, 111, 112, 115, 157, 289
 Stanje energije u svijetu, 66
Energy plus arhitektura, 10, 97, 107
Entropija, 139

estetsko-oblikovne mogućnosti ovojnice, 132

Europski zeleni plan, 71

exergy, 69

F

faktor oblika, 148, 149, 172, 276

Faktor oblika, 74, 148, 182, 211, 232, 253, 271

Faktor prolaza ukupnog sunčevog zračenja kroz prozor, 147

fasada, 77, 118, 122, 123, 132, 160, 182, 199, 201, 210, 211, 221, 223, 226, 228, 229, 231, 232, 234, 245, 246, 248, 250, 253, 265, 270, 273, 277, 294, 295, 340

Fasade, 123

FERK, 73, 74

Fuller, 69, 96

G

globalna temperatura, 47

globalne emisije stakleničkih plinova, 45

građevinski materijal, 92, 118, 129

Green design arhitektura, 97

Gustoća, 137

H

higijensko tehnički uvjeti, 90, 172

Higijensko-tehnički uvjeti, 169

holistički model transformacije, 278

HVAC, 172

I

IEA, 46, 66, 72, 78, 291

Industrijalizacija, 46

industrijska revolucija, 46

Integrirani pristup transformaciji zgrada, 285

IPCC, 44, 45, 46, 47, 49, 51, 53, 55, 61, 304

IRENA, 72, 86

izgrađeni okoliš, 56, 57

izvori toplinske energije, 89

J

James Prescott Joule, 88

John Claudius Loudon, 121

Joseph Furttenbach, 171

JU OŠ Hasan Kikić, 12, 198, 229, 231, 236, 242, 243, 245, 246, 247, 248, 260, 271, 272, 274, 295, 296, 297

JU OŠ Saburina, 11, 12, 207, 209, 210, 214, 220, 221, 222, 224, 225, 228, 271, 273, 274, 294, 295, 296

JU OŠ Safvet-beg Bašagić, 11, 178, 180, 183, 191, 193, 194, 196, 197, 199, 201, 203, 204, 205, 210, 214, 219, 222, 241, 262, 271, 274, 294, 296

8.3.2. Drugi model transformacije zgrade, 12, 199, 225, 266

Prvi model transformacije, 11, 12, 194, 222, 225, 264

JU OŠ Skender Kulenović, 12, 249, 252, 253, 257, 263, 264, 266, 267, 269, 271, 273, 274, 295, 296, 297

K

Karl Gertis, 97

Kategorizacija energetske objekata, 148

Kategorizacija zgrada, 101

Ken Yeang, 111, 292

kinetičke strukture, 276

Klimatske promjene, 9, 44, 45, 46, 50, 51, 53, 59, 60, 97, 284, 339

Ekstremne vrućine, 60

Globalno zagrijavanje, 48

Pariški sporazum, 49, 61

Poplave, 52, 53

Razine mora, 50

Staklenički plinovi, 48

koeficijent grijanja, 89

koeficijent hlađenja, 89
Koeficijent prolaska topline, 143
kogeneracija, 90, 91
količina toplinske energije, 90
Kombinirani materijali, 129
Komfor, 39, 169, 173
 Fizički komfor, 39
 Kreiranje komfornog unutrašnjeg prostora, 40
 Osvjetljenje, 39, 136, 149, 172
 percepcija komfora, 173
 Psihološki komfor, 40
 Termalni komfor, 39
 ugoda unutrašnjeg prostora, 39
 unutarnji komfor prostora, 124
Koncept aktivne kuće, 115, 116
Koncept dvostruke fasade, 122
koncept ovojnice objekta, 281
korisnici prostora, 102
Korištenje energije tla, 82
Koža kao granica, 9, 28
kreiranje energetski učinkovite ovojnice, 113
Kristalna palača, 121, 293
kuća u kući, 113
Kulturno okruženje, 9, 57, 58
Kvaliteta zraka, 26, 42, 193

L

LEED, 105, 112
Ljetna projektna temperatura, 146
ljudske aktivnosti, 45, 46, 54, 59
ljudski faktor, 90, 150

M

Masa, 120, 137

Materijali s posebnom namjenom, 129

membrana između grijanog i negrijanog dijela zgrade, 123

Mies Van der Rohe, 131, 300

mikrolokalitet, 105, 108, 165

modeli transformacije, 176, 178, 274, 275, 283

N

načela korištenja energije Sunca, 102

Najveći potrošači energije, 67

Nekontrolirano korištenje energije, 109

Net Zero Energy, 106, 107, 108, 292, 298, 300

neuroarhitektura, 27

Neuroznanstvena istraživanja, 27

Niskoenergetska arhitektura, 10, 97, 101

 Energetska iskaznica, 101

NREL, 106, 107, 292

nulta emisija CO₂, 106

O

Oblici energetske učinkovitosti arhitekture, 99

Obnovljivi izvori energije, 10, 50, 70, 300

 Biomasa, 50, 72, 84, 85

 Geotermalna energija, 10, 81

 geotermija, 82

 korištenje hidroenergije, 86

 solarne elektrane, 73

 Sunce, 16, 72, 75, 90, 105, 107, 114, 242, 248, 282

 Toplotne pumpe, 87

 Vjetroenergija, 72

vjetrofarme, 77

Održiva arhitektura, 59, 99

održiva budućnost, 10, 283

Održivi materijali, 63

Održivost, 31, 96

održivosti u arhitekturi, 96

Okruženje čovjeka

 Prirodno okruženje, 9, 280

Okruženje čovjeka, 42

 Prirodno okruženje, 42, 43

 urbano okruženje, 42, 62

optimalna temperatura, 39

Organski termoizolacijski materijali na prirodnoj bazi, 129

Organski termoizolacijski materijali na umjetnoj bazi, 129

orijentacija objekta, 74

Otpor toplinskoj propustljivosti sloja, 143

Ovojnica, 10, 14, 118, 123, 124, 143, 146, 193, 197, 220, 242, 246, 282

 Struktura ovojnice, 123

ovojnica kao membrana, 74

Ovojnica zgrade, 10, 118, 124, 193, 220, 242

 5.2. Evolucija ovojnice, 10, 118

 Estetski aspekt ovojnice, 118

 generator energije, 125, 268

 granica između unutarnjeg i vanjskog prostora, 118

 Netransparentne plohe, 128

 Tehnička funkcija ovojnice, 118

P

Pandemija COVID-19, 54

Parodifuzija, 145

Pasivna arhitektura, 10, 97, 101, 102, 126

 Passive House Conference, 103, 301, 335

Prva pasivna kuća, 102
Pasivna zgrada, 102
pasivni solarni sustavi, 75
Passive House, 10, 101, 103, 104, 292, 301, 335
Paul Löbe Building, 114
Paul Wallot, 114
Paxton, 124, 131, 302
Peter von Rittinger, 88
PHPP, 104
podjele materijala, 128
postojeće zgrade, 69, 96, 101, 199, 253, 266, 277, 282, 289, 331
Povećanje emisije CO₂., 68
Povijest razvoja grada Sarajeva, 162
povijesti arhitekture, 63, 132
primarni uzrok globalnog zatopljenja, 46
Prirodna svjetlost, 39
prirodne katastrofe, 51, 53
proces transformacije zgrade, 113, 267
Prof. Dr. Wolfgang, 102
profil, 132, 255
Proizvodnja električne energije, 77
proračun faktora isplativosti, 91
proračun ukupnih energetske potrebe, 128
prostor, 6, 9, 14, 22, 25, 27, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 42, 43, 57, 58, 59, 62, 69, 74, 82, 96, 97, 98, 101, 115, 119, 120, 124, 129, 131, 145, 146, 149, 150, 158, 159, 161, 170, 171, 173, 178, 182, 186, 188, 194, 209, 218, 220, 225, 238, 241, 245, 249, 253, 257, 260, 263, 264, 267, 268, 276, 280, 282, 283, 284, 285, 288, 289, 291, 296, 329, 330, 331, 332, 335, 339
1.7. Osjećaj ugone, 9, 39
Emocionalna povezanost s prostorom, 37
Fleksibilnost prostora, 38
Ljudska percepcija prostora, 38
Pravilna organizacija prostora, 38
Socijalna interakcija, 37
Protok, 137

Protokol iz Kyota, 98

Provjetravanje prostora, 149, 172

R

R128 kuća, 116

Rapoport, 56, 57, 300

Razvoj grada Sarajeva, 157

- Osmansko razdoblje, 158

- Proces europeizacije, 158

- Razdoblje između dva svjetska rata, 159

razvoj građevinskih materijala, 119

razvoj obrazovanja, 161

Razvoj pametnih zgrada, 59

razvoj promatranja ovojnica zgrada s gledišta kretanja topline., 124

Reichstag, 114

Rekuperacija, 10, 90

relativna vlažnost zraka, 39, 145

Renzo Piano, 112

Reprogramiranje namjene prostora, 276

Resursi, 9, 50

- Biomasa i šumski resursi, 50

- Fosilna goriva, 44, 50

- Rudna bogatstva, 51

- Vodeni resursi, 50

Richard Buckminster Fuller, 69, 96

Roadmap 2050, 98, 276

RSF, 106

S

Santiago Calatrava, 116

Sindrom bolesnih zgrada, 171

Sintezno izvješće AR6, 55, 60

Sintezno Izvješće IPCC-a, 45
Sir Norman Foster, 114
smart home, 116, 150
Smart home, 150
Snaga, 78, 139
Socijalno okruženje, 9, 56
Sokratova kuća, 75
SOM, 108, 292
Specifični toplinski kapacitet, 141, 293
Specifični volumen, 137
Srednji koeficijent prolaska topline, 143, 184, 185, 232
Strategija za energetska učinkovitost, 71
strukture netransparentnih ploha, 128
Stupanj – dan grijanja, 146
Sunčeva svjetlost, 48
sustavi centralizirane kontrole kvalitete zraka, 174
sustavi korištenja sunčeve energije, 10, 74, 76, 339
sustavi ventilacije i klimatizacije, 136
Suvremeni izazovi okruženja, 9, 59

T

TARGET 20 20 20, 276
tehnološko okruženje, 58, 59, 62
Temperatura, 140, 170, 270
Temperaturna kriva, 144
tendencija rasta globalne populacije, 54, 55
Tlak, 138
Tom Hootman, 106, 107
Toplina, 139, 140, 141, 142
toplinska energija, 76, 87, 90, 114, 198, 228
Toplinska stabilnost na ljetni režim, 145
Toplinska udobnost, 119, 123

Toplinska vodljivost, 142
Toplinski most, 144, 147
Toplinski tok, 144
Toplinski uvjeti, 169, 293
Transformacija postojeće arhitekture, 113
transformacije u praksi, 11, 177
Transformirana arhitektura, 10, 113
Transparentne plohe, 130, 225
Transport energije, 141
Tranzicija, 49
trigeneracija, 91

U

Ugljični dioksid, 151
Ukupne energetske potrebe, 145, 189, 196, 203, 216, 217, 223, 225, 245, 259, 264, 266, 268, 296, 297
Ukupni toplinski gubitci/dobitci, 144
UNEP, 47
UNESCO, 16, 168, 335
UNFCCC, 61, 98
urbanizacija, 42, 55, 97
Urbano okruženje, 9, 54
USGBC, 112
ušteta energije, 14, 15, 83, 90, 113, 203

V

Vanjski prozori, 132
vizualne transformacije ovojnice, 113
Vizualni identitet, 80, 132
vjetropotencijal mikrolokaliteta, 79
vjetroturbine, 77, 78, 224, 266, 267, 291, 292
Volumen, 137, 181, 210, 232, 252, 269, 271

W

WHO, 47, 54, 304

William Thomson, 87, 88

WMO, 47, 50

World Green Building Council, 112

Z

Z6 House, 105

zadovoljavanje komfora unutarnjeg prostora, 115

zero CO₂, 104

zero emission, 14, 108

Zero Emission arhitektura, 97

zero energy, 14, 104, 105, 107

Zero Energy arhitektura, 10, 97

Zero energy house, 106, 292

zgrade za osnovno obrazovanje, 15, 90, 159, 160, 166, 171, 248, 272, 277, 331, 339

Zimska projektna temperatura, 146

znanstveni pristup projektiranju zgrada, 136



RECENZIJE _ o AUTORU

Recenzije

Prof.dr. sci Lemja **CHABBOUH AKŠAMIJA**, dipl.ing.arhitekture
Redoviti profesor Arhitektonskog fakulteta, Univerzitet u Sarajevu

Osobito značajnim smatram pregled obrazovnih objekata prvog i drugog perioda, dakle austrougarskog perioda i perioda između dva rata. Sve studije slučaja su značajne i znakovite za oblast energetske efikasnosti, a sve četiri su istovremeno dio baštinske tradicije. Spoj forme i funkcije je upravo kroz ove primjere škola značajan i za aspekt zaštite graditeljskog naslijeđa. Uzevši u obzir činjenicu da je suvremeni pristup edukaciji upravo uspostavljen sa Austrougarskom upravom i da se do danas veoma malo promijenio, autor je napravio vlastitu i vrlo prihvatljivu vremensku podjelu u kojoj je kroz studije slučaja predstavio sve četiri jasne slike obrazovnih objekata.

Ovaj rukopis za sve četiri studije slučaja prati karakteristike koje su u metodološkom smislu posložene i tretirane na isti način, pa je komparativna metoda prisutna u tekstu jedinstvena, uključujući i teoriju sistema koja se može utvrditi pažljivim čitanjem. Stavljajući u međusobnu korelaciju energiju, čovjeka i prostor ovaj rukopis nudi odgovore, ili barem započinje s odgovorima koji predstavljaju arhetipsko pitanje svakog pojedinca koji stvara svoj prostor za vlastito utočište. Smatram da su prosvjetni objekti, pored stambenih objekata upravo prostor koji predstavlja utočište najznačajnijem dijelu ljudske populacije.

Značajan naučni doprinos je i način podjele po periodima, u kojem je autor uočio da isti historijski slojevi mogu biti segmentirani na više dijelova koji su nosioci različitih karakteristika značajnih za energetske efikasnost. Naime u jednom historijskom sloju svijest o stvaranju prostora ugodnosti za boravak u njemu mijenja se kako dolazi do novih tehničko – tehnoloških dostignuća. Upravo ovakav evolutivni proces autor prati od uspostave prosvjetnih objekata u Austrougarskom periodu pa sve do zadnje faze socijalističkog perioda. S aspekta zaštite graditeljskog naslijeđa indikativnim i važnim smatram elaboraciju prva dva primjera predstavljena u studiji slučaja gdje autor obrađuje Austrougarski prosvjetni objekt, kao i drugog primjera Saburine škole koja je nastala pred sami početak Prvog svjetskog rata, a završena u period između dva rata.

Živeći i djelujući u društvu u kojem su oskudni podatci o historijskim objektima postali svakodnevnica, značajan je i doprinos snimanja i dokumentiranja koji je autor rukopisa Doc.dr.sci Haris Bradić, dipl.ing.arh. učinio u cilju sadržajnije i kvalitetnije prikazane teme.

Kako i sam autor u Zaključku knjige kaže:

“...Uz tehničke i energetske aspekte, ključno je očuvanje kulturnog identiteta prostora te stvaranje inkluzivnog okruženja koje priča priču o lokalnoj tradiciji i povijesti, a sve s dugoročnom perspektivom koja omogućuje daljnju prilagodbu budućim klimatskim, tehnološkim i društvenim promjenama. Takav sveobuhvatan pristup ne samo da transformira postojeće objekte u energetske

učinkovite i funkcionalne prostore, već arhitekturu postavlja kao ključni alat za društvene promjene, stvarajući uravnotežene, estetski privlačne i kulturno bogate životne prostore spremne za izazove budućnosti.”

Svjedočimo značajnim ugrozama koje se manifestiraju kroz brojne degradacije na objektima, osobito objektima graditeljske baštine, tako da ovaj iznimni pokušaj da se te degradacije preduprije i daju mogućnost sagledavanja zatečenog stanja, pa po tom i smjernice za daljnje djelovanje, predstavljaju u ovom slučaju naučni doprinos.

ZAKLJUČAK I MIŠLJENJE O RUKUPISU

Doc.dr.sci Haris Bradić dipl.ing.arh. već naslovom svoga djela govori o temi koja se odavno nalazi u fokusu promišljanja o arhitekturi. Transformacijom arhitekture u pravcu poboljšanja kvaliteta boravka u prosvjetnim objektima, davanje vlastitog doprinosa korištenju već postojećih objekata, prepoznavanje važnosti upravo ove arhitekture, potvrdi njene evolutivne transformacije i konačno uključivanje suvremenih tehnoloških dostignuća u procese promjena, sve su ovo teme koje ponuđeni rukopis obrađuje.

Podnaslov energija, čovjek i prostor pobliže definiraju upravo predložene transformacije arhitekture. U ovom slučaju autor se fokusira na izgrađeni ali i egzistencijalni prostor prosvjetnih objekata, međutim nudeći potpuno originalnu metodologiju to može biti bilo koja od skupina funkcionalno razvrstanih, a da se metodološki postupak može uspješno primijeniti. Upravo ovakav pristup, originalnog metodološkog postupka čini ovaj rukopis vrijednim i značajnim.

Predloženi rukopis „Transformacija arhitekture -energija, čovjek, prostor“, autora doc.dr.sci Harisa Bradića, ocjenjujem kao veoma koristan za sve one koji kroz studij arhitekture treba da prošire svoja znanja i usvoje već uočene karakteristike, kao i one koji izvan uže arhitektonske oblasti žele saznati Novosti iz oblasti energetske efikasnosti u kontekstu.

Prof.dr. sci Zoran **VERŠIĆ**, dipl.ing.arhitekture
Redoviti profesor Arhitektonskog fakulteta, Sveučilište u Zagrebu

Mišljenje recenzenta i ocjena rukopisa:

„TRANSFORMACIJA ARHITEKTURE energija, čovjek i prostor“ autora doc.dr.sci. Harisa Bradića, dipl.ing.arh. predstavlja značajnu znanstvenu publikaciju u kojoj autor na zanimljiv način pojašnjava temu neraskidive povezanosti čovjeka, energije i arhitektonskog prostora kako bi pojasnio prikaz četiri studije slučaja transformacije arhitekture u svrhu ispunjenja zahtjeva energetske učinkovitosti, ugodnosti prostor i održivosti. Kao primjeri transformacije arhitekture, proizašlih iz zahtjeva energetske učinkovitosti, analizirane su četiri postojeće zgrade za osnovno obrazovanje, izgrađenih u različitim povijesnim razdobljima u Gradu.

Školske zgrade imaju veliki društveni značaj te su vrlo specifične u smislu potrošnje energije i složenosti higijensko-tehnički zahtjeva kao i zahtjeva ugodnosti prostora što je istraživanje učinilo zanimljivim i sveobuhvatnim. Odabir zgrada iz različitih povijesnih razdoblja: austrougarskog razdoblja, razdoblja između dva svjetska rata, razdoblja od završetka Drugog svjetskog rata do 1970. godine te razdoblja od 1970. godine do danas ukazuje na mogućnost transformacije na različitim povijesnim stilovima. Energetska transformacija postojećih zgrada nije samo tehnički izazov, već nužnost koja proizlazi iz globalnih izazova klimatskih promjena, povećanih energetske potreba, održivosti i ugodnosti boravka u zatvorenim prostorima zgrada. Ključna uloga u postizanju energetske učinkovitosti ovisi o rješenju ovojnice zgrade granice između unutarnjeg prostora i vanjskog okoliša. Povijesni razvoj ovojnice, od tradicionalnih fasadnih rješenja do suvremenih inovacija u materijalizaciji transparentnih i netransparentnih ploha, pokazuje kako se ova granica može transformirati u dinamičku membranu.

Prezentirani modeli mogu poslužiti kao podloga za daljnja znanstvena istraživanja s ciljem arhitektonsko-energetske transformacije postojećih zgrada. Tema je izuzetno aktualna, a rezultati istraživanja važni su ne samo za postojeće znanstvene i stručne rasprave, već i za budući razvoj područja arhitektonske fizike, arhitektonskog oblikovanja i integracije obnovljivih izvora energije u odnosu zgrade i njezina neposrednog okruženja. Pri tome važna je i jedna od tema održivosti koje pretpostavlja kružno gospodarenje zgradama na način da se očuva postojeća struktura zgrade i dogradi, transformira za nove sadržaje, zahtjeve i potrebe.

Ovaj rad ima za cilj otvoriti put ka novom arhitektonskom pristupu koji integrira čovjeka, prostor, okruženje i energiju u jedinstvenu cjelinu. Ovaj pristup, koji je u knjizi nazvan programiranjem i projektiranjem transformacije postojeće arhitekture, pokazuje da je moguće stvoriti energetske učinkovite i suvremene objekte koji su u skladu s globalnim standardima održivosti.

Uz tehničke i energetske aspekte, ključno je očuvanje kulturnog identiteta prostora te stvaranje inkluzivnog okruženja koje poštuje lokalnu tradiciju i povijest, a sve s dugoročnom perspektivom koja omogućuje daljnju prilagodbu budućim klimatskim, tehnološkim i društvenim promjenama. Takav sve-obuhvatan pristup ne samo da transformira postojeće objekte u energetske učinkovite i

funkcionalne prostore, već arhitekturu postavlja kao ključni alat za društvene promjene, stvarajući uravnotežene, estetski privlačne i kulturno bogate životne prostore spremne za izazove budućnosti.

Iz svega navedenog sa zadovoljstvom predlažem da se znanstvena knjiga „TRANSFORMACIJA ARHITEKTURE energija, čovjek i prostor“ autora dr.sci. Harisa Bradića objavi u izdanju Arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Sarajevu.



Doc. Dr. sci. Haris **BRADIĆ**, dipl. ing. arh.
Mjesto rođenja: Sarajevo, 02. 06.1982.

OBRAZOVANJE

- *Doktorska disertacija*: Doktorirao na prvom doktorskom studiju u Republici Hrvatskoj, Arhitektonski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Hrvatska, Zagreb 2014., pod vodstvom prof. dr. sc. Hildegard Auf-Franić i prof. dr. Dražena Juračića d.i.a. Tema doktorata: *Transformacija arhitekture kao posljedica zahtjeva energetske učinkovitosti na primjerima zgrada za osnovno obrazovanje u Sarajevu*, mentor: prof. dr. sc. Zoran Veršić d.i.a.
- Ensi (Energy Saving International) – Education for energy efficiency, Oslo Norway, 2008-2010
- *Master studij*: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2001.–2006. ETSAB, Barcelona, Španija, *akademska godina*: 2004.–2005.
- *Srednje obrazovanje*: Druga gimnazija u Sarajevu, 2001.
- *Osnovno obrazovanje*: Osnovna škola: *Sarajevo, Beč, Split*.

RADNO ISKUSTVO

- Arhitektonski fakultet Univerziteta u Sarajevu, akademsko zvanje: docent (Predmeti: *Arhitektonske konstrukcije V i VI, Arhitektonska fizika I i II*)
- Suosnivač kompanije za izradu modularnih kuća EOScale pri kompaniji Bismont doo, Slovenija
- Osnivač projektantskog ureda NB atelier u Sarajevu, ured se bavi projektiranjem različitih arhitektonskih projekata u BiH i zemljama EU i energetske učinkovitosti u arhitekturi.
- ISCCGF – Zagreb, Republika Hrvatska, – međunarodna naučna konferencija o suvremenim staklenim fasadnim sistemima - Član međunarodnog znanstvenog odbora
- *Asocijacija arhitekata u Bosne i Hercegovine, Predsjednik Upravnog Odbora, mandat 2022. – 2024.*

- *Asocijacija arhitekata u Bosni i Hercegovini, Predsjednik NO, mandat 2024.-2026.*
- Suradnik akademika Zlatka Ugljena, 2./2007.–9./2007., Sarajevo. Posebno se izdvaja rad na djelima: Upravna zgrada Rijaseta Islamske zajednice sa rezidencijom reisu-l-uleme u Sarajevu, Crkva u Klepcima i Spomenik palim borcima Tuzle
- Gradska uprava grada Barcelone, 9./2004.–6./2005., Barcelona, Španjolska
- Suradnik arhitekta Manuela Ribasa Piera, 5./2005.–8./2005., Barcelona, Španjolska

ZNANSTVENO - ISTRAŽIVAČKI RAD

Knjige

- Bradić, H., *“TRANSFORMACIJA ARHITEKTURE energija, čovjek i prostor”*, Izdavač Univerzitet u Sarajevu, Arhitektonski fakultet, 2025., znanstvena knjiga, ISBN: 978-9926-490-28-7 – printano izdanje, ISBN: 978-9926-490-27-0 – elektronsko izdanje
- Bradić, H., *“Arhitektura između čovjeka i prostora”*, Izdavač Univerzitet u Sarajevu, Arhitektonski fakultet, 2022., univerzitetska knjiga, ISBN: 978-9926-490-03-4

Naučno i stručni radovi

Veći broj naučnih radova u međunarodno priznatim časopisima i zbornicima radova objavio u razdoblju od 2008. do 2025. godine. Popis nekih od radova:

- Bradić, H., PhD, (2025.) *Spaces of Synthesis: Universal Values and Regional Identity in Zlatko Ugljen's Architecture*, Pregledni znanstveni rad, *Prostor, znanstveni časopis za arhitekturu i urbanizam*, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, ISSN 1330-0652, 71/72 33 (2025) 1 (69) 1 – 182 1-6 (2025), 146-159.
- Bradić H., *Transformacija postojeće zgrade Osnovne škole Hasan Kikić u Sarajevu*, javno izlaganje i naučni rad, Treća Europska GREEN konferencija – EGC 2025, Vodice, 2025. Republika Hrvatska
- Bradić H., *Transformacija postojeće zgrade Osnovne škole Skender Kulenović u Sarajevu*, plakat i naučni rad, Treća Europska GREEN konferencija – EGC 2025, Vodice, 2025. Republika Hrvatska
- Bradić H., (2024), ISCCGF – ZAGREB 2024 – International Scientific Conference on Contemporary Glass Facades, javno prezentiran i publiciran naučni rad, tema: *Insolation as a Key Factor in the Architectural Design of Contemporary Collective Housing*, 2024. Zagreb
- Turkušić Jurić E., Bradić H., (2023), ISCCGF – ZAGREB 2023 – International Scientific Conference on Contemporary Glass Facades, javno prezentiran i publiciran naučni rad, tema: *Role of the transparent surface of the envelope in formation of the identity and functional transformation of the residential architecture from the early 20th century in Sarajevo*, Zagreb, 2023
- Čaušević A., Rustempašić N., Bradić H., *Značaj i komparacije primjene zelenih površina na krovnim strukturama ovojnice postojeće i novo projektirane arhitekture*, plakat i naučni rad, Prva Europska GREEN konferencija – EGC 2023, Vodice, 2023. Republika Hrvatska
- Bradić H., Čaušević A., Rustempašić N., *Transformacija postojeće ovojnice zidanog objekta s ciljem korištenja obnovljivih izvora energije*, plakat i naučni rad, Prva Europska GREEN konferencija – EGC 2023, Vodice, 2023. Republika Hrvatska

- Turkušić Jurić E., Bradić H., (2022.) *Between Persistence and Change - Methodological Aspects of the Corn- Markezic Villa Reuse*, Sarajevo, Vitruvio Journal, Vol. 7 No.1 (2022), naučni rad Valencia Španija, Universitat Politècnica de Valencia
- Bradić, H., PhD, Veršić, Z., PhD, (2018.) *Modeli transformacije zgrade Osnovne škole Saburina u Sarajevu kao posljedica zahtjeva energetske učinkovitosti*, Izvorni znanstveni rad, *Prostor, znanstveni časopis za arhitekturu i urbanizam*, Univerzitet u Zagrebu, Arhitektonski fakultet, Vol. 26, No. 2 (56), 244-257.
- Juračić, D., Bradić, H. (2015.) Design of Energy Efficient Architecture. 1st Prize at the Competition for design of the Faculty of Pharmacy and Biochemistry of the Zagreb University, *International Journal of Contemporary Architecture "The New ARCH"*, Vol. 2, No. 1, e13-e18.
- Uzelac Filipendin, M., Bradić, H. (2014.) The Meteorological Architecture of Philippe Rahm, *International Journal of Contemporary Architecture "The New ARCH"*, Vol. 1, No. 2, e1-e17.
- Bradić, H. (2014.) Autonomous house in Sarajevo, *International Journal of Contemporary Architecture "The New ARCH"*, Vol. 1, No. 2, 112-118.
- Bradić, H., (2014.), The Kromolj house in Sarajevo, *International Journal of Contemporary Architecture "The New ARCH"*, Vol. 1, No. 1, 58-67.
- Bradić, H. (2013.) Proces projektiranja energetske učinkovitih stambenih obiteljskih zgrada, *Građevinar*, Vol. 65, No. 8, 753-765.
- ...

NAGRADE

- Javni arhitektonski natječaj za stambeno poslovni kompleks Razvitak – Mostar. Istaknut rad, August 2025.
- Javni arhitektonski natječaj za Centralnu zgradu ministarstva unutrašnjih poslova Kantona Sarajevo sa garažom. Treća nagrada, Decembar 2024. (Autor),
- Javni arhitektonski natječaj za Islamski centar u naselju Luke, grad Visoko. Treća nagrada, Decembar 2024. (Autor),
- Pozivni arhitektonski natječaj, idejni projekt stambeno poslovnog naselja, prva nagrada – usvojeno rješenje, Visoko 2023. (Autor),ž
- Pozivni arhitektonski natječaj, Idejni projekt stambeno-poslovnog kompleksa Nadžarići Sarajevo, pozivni arhitektonski natječaj, Sarajevo, 2023. autor, rad uvršten među prva dva istaknuta te javno prezentiran,
- Dobitnik BIG SEE Award 2019 – stambena arhitektura, Projekat Vikendica Rakovica Sarajevo, link: <https://bigsee.eu/rakovica-weekend-house-by-neufeld-bradic-architecture-bosnia-and-herzegovina/>.
- II nagrada za *Idejno rješenje Javne garaže sa tržnim centrom u Gradačcu, Javni konkurs August 2017*, autor.
- V nagrada za *Idejno rješenje Odgojno-obrazovnog kompleksa Središće u Zagrebu, Zagreb 2015.*, član autorskog tima prof. dr. sc. Dražena Juračića.
- I nagrada za *Idejno rješenje FBF zgrade, Zagreb 2014.*, član autorskog tima prof. dr. sc. Dražena Juračića, link: <http://www.d-a-z.hr/hr/vijesti/rezultati-natjecaja-za-zgradu-farmaceutsko-biokemijskog-fakulteta-u-zagrebu,2800.html>.
- I nagrada na raspisanom studentskom natječaju za *Rješenje urbanističkog kompleksa u Gračanici* od strane AFS-a i firme Širbegović, 2003. god.
- I nagrada na konkursu *Centralnog spomen-obilježja šehidima, palim borcima i civilnim žrtvama rata općine Gradačac*, autorstvo zajedno s arhitektom Adnanom Begovićem d.i.a., realizacija, 2008.

EDUKACIJE / USAVRŠAVANJE

- Obuka za energetske certifikatore pri ENSI Energy *Saving International AS*, u razdoblju 2007.–2009., Oslo, Norveška.
- UNESCO School in South-East Europe, *Sustainable Energy Governance in Unesco Designated Sites*, Dubrovnik, Hrvatska, 29. 9. – 5. 10. 2012.
- Delegacija Bosne i Hercegovine za energetske učinkovitost, Frankfurt, Njemačka, juni 2012.
- Hrvatski forum o održivoj gradnji 2007./2009.
- 11th Passive House Conference, Innsbruck, Austrija, 2011.

JAVNA PREDAVANJA

- Učesnik Panela: EU PANEL „Architecture of Tomorrow: Green Building Today“ na Treća Europska GREEN konferencija – EGC 2025, Vodice, 2025. Republika Hrvatska, Moderator: Prof.dr. Mirna Habuda - Stanić
- Pozivni predavač na FORUM SHARE Inside Architecture – Living – Working - Hospitality, organizator Share-Architects, Tema: Arhitektura u praksi, Maj 2025., Bukurešt,
- Moderator izložbe posvećene akademiku Zlatku Ugljenu, *ka transcedentnom*. Izložba je organizirana u sklopu Festivala kulture „Slovo Gorčina“, Juli, 2024., Stolac
- Predsjedavajući na međunarodnoj konferenciji SHARE Talks Sarajevo 2024 u organizaciji Share-architects, Juni 2024., Sarajevo
- Pozivni predavač na 14. internacionalnom forumu Arhitektura i tehnologija, organizator Share-Architects, Tema: Arhitektura u okruženju, čovjek – okruženje – prostor, dizajn i praksa., Maj 2024., Budimpešta
- Javno predavanje na Arhitektonskom fakultetu u Sarajevu, Predmet: projektiranje objekata turizma i ugostiteljstva, Jan., 2024.
- Javno predavanje na Arhitektonskom fakultetu u Sarajevu, Predmet: Visoki objekti u arhitekturi, Okt., 2023.
- Pozvani predavač na internacionalnom forumu Share Sarajevo, organizator Share-Architects, Sarajevo, Juni 2024., Sarajevo
- Naučna konferencija Sfera 2022, pozvani predavač, Tema: značaj transparentnih ploha u arhitektonskom projektiranju – primjeri iz prakse, Mart 2022., Sarajevo
- Naučna konferencija Sfera 2021, pozvani predavač od strane firme Baunit doo Sarajevo, Tema: od ideje do realizacije, Sarajevo BiH.
- Javno predavanje na Ajman Universitet, Ujedinjeni Arapski Emirati, tema: Islamska arhitektura u BiH, April 2022.
- Javno predavanje na Arhitektonskom fakultetu Univerziteta u Sarajevu, Katedra za Arhitektonsko projektiranje, Januar, 2019. Sarajevo
- Energetski efikasne zgrade, CETEOR, pozvani predavač, Sarajevo, Januar, 2018.
- Naučno-stručna konferencija *Sfera 2017.*, tema: Pasivna ili aktivna kuća, Mostar, BiH.
- Pozvani predavač ispred kompanije Wienerberger, Mart 2017., Grude
- Energetski dani na Arhitektonskom fakultetu u Sarajevu, organizator *Tondach-Wienerberger*, April 2013.
- Dani energetske efikasnosti u Sarajevu, SAGRA, April 2013., Sarajevo
- Energetski dani Prijedor, Prijedor, Oktobar, 2012., Prijedor
- Obuka za energetske certifikatore u FBiH, predavač pri centru CETEOR u Sarajevu, 2010./2013.
- Obuka za energetske certifikatore u FBiH, predavač pri institutu INZA u Sarajevu, 2010./2011.

PROJEKTI

Bosna i Hercegovina, Hrvatska i Sjeverna Makedonija

- Redizajn / Niskoenergetska kuća „Mehmedbašić“, Stolac 2007., realizirano 2009., autor
- Projekt / Spomen-obilježje općina Gradačac, Gradačac, 2007., realizirano 2009., autor
- Projekt / Sportski kompleks „Nišići“, Sarajevo, ideja 2009., autor
- Projekt / Pasivna kuća „Ilidža“, Sarajevo, ideja 2009., autor
- Projekt / Niskoenergetska kuća „Sanokos“, Makedonija, 2010., realizirano 2012., autor
- Projekt / Niskoenergetska kuća „Kromolj“, Sarajevo, 2011., realizirano 2012., autor
- Projekt / Zavod „Mehmedbašić“ Sarajevo, 2011., realizirano 2011., autor
- Projekt / „Aviohangar“, Sarajevo, ideja 2012., autor
- Projekt / Niskoenergetska stambeno-poslovna zgrada „Čobanija“, Sarajevo, 2012., realizirano 2017., autor
- Projekt / Energetski autonomna kuća „A-S“, Sarajevo, ideja, 2012., autor
- Projekt / Pasarela „Šićki brod“, Tuzla, ideja 2012., autor
- Projekt / Niskoenergetska stambeno-poslovna zgrada „Čekaluša“, Sarajevo, ideja, 2012., autor
- Projekt / Enterijer stana „Sloga“, Sarajevo, 2012., realizirano 2012., autor
- Projekt / Niskoenergetska vikend-kuća „Hadžići“, Sarajevo, ideja, 2013., autor
- Projekt / Niskoenergetska kuća „*Morkan*“, Hrvatska, ideja 2013., autor
- Redizajn / Niskoenergetska vikend-kuća „Miševići“, Sarajevo, ideja 2013., autor
- Projekt / Apartmani „Miris Lipe“, Sarajevo, ideja 2014., autor
- Natječajni rad, „Hotel Aspalathos“, Split 2015., autorstvo s doc. dr. Zoranom Veršićem, Sveučilište u Zagrebu, Arhitektonski fakultet
- Projekt / Niskoenergetska vikend-kuća „Rakovica“, Sarajevo, 2015., realizirano 2016., autor
- Idejni projekt nebodera s nultom emisijom CO₂, „The green one“, Sarajevo, ideja 2015., autor
- Projekt privatnog bazena „Konoid OB“, Sarajevo, 2015., realizirano 2017., autor
- Idejni projekt ureda webportala klix.ba, Sarajevo, ideja 2016., autor
- Idejni projekt Centra za rekreaciju Nišići, Sarajevo, ideja 2016., autor
- Idejni i glavni projekt cjelokupnog interijera stambeno-poslovnog objekta Čobanija, Sarajevo, ideja 2016., autor
- Idejni projekt stambenog kompleksa OB31 u Sarajevu, projekt se sastoji od 6 zasebnih stambenih jedinica povezanih u jednu arhitektonsku cjelinu, ideja 2019, autor
- Projekt / Niskoenergetska kuća u Istri, Zabrč, Hrvatska, ideja, 2019., autor
- Pozivni natječaj, hotel u Grudama BiH, investitor: kompanija Violeta, ideja 2020., autor
- Projekt / 4 Houses Poljine – 4 vile u Sarajevu, 2020., realizacija u tijeku, autor
- Projekt / dizajn interijera s rekonstrukcijom privatne vile u Sarajevu – investitor: prof. dr. Mirsad Kacila, realizirano, Sarajevo, 2020., autor
- Projekt / dizajn interijera – Penthouse stan, Importanne Centar, realizacija u pripremi, Sarajevo, realizirano 2020., autor

- Projekt stambene zgrade s apartmanima, Jahorina – naselje šator, BiH, ideja, 2020., autor
- Projekt / rekonstrukcija i interpolacija stambene vile Corn-marketzić u Sarajevu, nacionalni spomenik BiH, Sarajevo, 2022, - realizacija u toku, Autor
- Natječajni rad za firmu Unioninvest dd Sarajevo, stambeni kompleks, Sarajevo 2022, Autor
- Idejni i izvedbeni projekt kuće Sagržije u Sarajevu, Sarajevo 2023, Autor
- Idejni projekt Stambene zgrade u Sarajevu, Sunulah Efendije, Sarajevo, ideja 2023, Autor
- Idejni projekt stambeno-poslovnog kompleksa Nadžarići Sarajevo, pozivni arhitektonski natječaj, Sarajevo, 2023. autor, rad uvršten među prva dva istaknuta,
- Idejni projekt stambeno poslovnog naselja, Visoko 2023., autor, pozivni arhitektonski natječaj, prva nagrada – usvojeno rješenje, realizacija u toku,
- Idejni projekat stambene zgrade u Sarajevu, ul. Šejh mehmedova 2023, realizacija u toku, autor

Republika Austrija

- Glavni i izvedbeni projekt stambene zgrade Obstgartenweg, Austrija, Beč, 2017., realizirano, glavni projektant
- Glavni i izvedbeni projekt stambene zgrade Klosterneuburg, Austrija, Klosterneuburg, 2017., realizirano, glavni projektant
- Idejni projekt stambene zgrade *Melangasse*, Austrija, Beč, 2018., ideja, *autor*
- Idejni i glavni projekt stambene vile *Melangasse*, Austrija, realizacija u toku, Beč, 2020.–2022., *autor*

Savezna Republika Njemačka

- Idejni i izvedbeni projekt stambeno-poslovnog objekta u Heilbronn Wartbergstrasse/Weinsbergerstrasse, Njemačka, 2016., realizirano, autor
- Idejni i izvedbeni projekt stambene zgrade, Bad Friedrichshall, Offenauerstrasse, Njemačka, 2017., planirana realizacija: 2021., realizirano, autor
- Idejni i izvedbeni projekt stambene zgrade, Kochersteinsfeld, Njemačka, 2017., planirana realizacija: 2021., realizirano, autor
- Idejni projekt stambeno-poslovne zgrade, Bad Friedrichshall, Hauptstrasse, Njemačka, 2018., idejni projekt, autor
- Idejni i izvedbeni projekt stambeno-poslovne zgrade, Bad Friedrichshall, Neunstaderstrasse, Njemačka, 2018. idejni projekt, autor
- Idejni i izvedbeni projekt stambeno-poslovne zgrade, Kocher am Stein, Lobenbacherstrasse/Kurmeinzstrasse, Njemačka, 2018. realizirano, autor
- Idejni i izvedbeni projekt stambeno-poslovne zgrade (kompleks od 6 zgrada), Bad Friedrichshall, Rainstrasse-Bachstrasse, Njemačka, 2018., idejni projekt, autor
- Idejni i izvedbeni projekt stambene zgrade (kompleks od 5 zgrada), Oedheim, Auweg-Degmannerstrasse, Njemačka, 2020., idejni projekt, autor

Republika Slovenija

- Idejni i izvedbeni projekt modularnih kuća za kompaniju „Eoscale modular home“, www.eoscale.com, Slovenija, 2023/2024, Autor



SAŽETAK _ SUMMARY

SAŽETAK

Klimatske promjene i energetska nepredvidivost postavili su arhitekturu pred nove izazove, zahtijevajući redefiniranje odnosa između čovjeka, prostora i energije. Ova knjiga istražuje ključne aspekte arhitektonske transformacije u kontekstu energetske učinkovitosti, uz poseban naglasak na zgrade za osnovno obrazovanje.

Prvi dio knjige bavi se čovjekom kao korisnikom prostora. Razmatra se kako anatomska i psihološka struktura čovjeka oblikuju percepciju prostora, te na koji način dizajn može utjecati na emocije, socijalne odnose i kognitivne procese. Analiziraju se osjetila i njihova uloga u interakciji s prostorom, kao i stvaranje harmoničnog okruženja koje doprinosi osjećaju ugone.

Drugi dio fokusira se na prostor i okruženje, istražujući međusobni odnos prirode, društva i tehnologije. Obrađuju se teme klimatskih promjena, resursa, prirodnih katastrofa i urbanog okruženja, pri čemu se posebno analizira kulturni i tehnološki utjecaj na oblikovanje prostora. Naglasak je stavljen na suvremene izazove okoliša te potrebu za održivim rješenjima inspiriranim poviješću i prirodnim procesima.

Treći dio knjige posvećen je energiji – njezinoj povijesti, sadašnjem stanju i održivoj budućnosti. Analizira se globalna energetska situacija, pri čemu se posebna pažnja pridaje obnovljivim izvorima energije. Razmatraju se pasivni i aktivni sustavi korištenja sunčeve energije u arhitekturi, kao i potencijali energije vjetra, vode, biomase, geotermalne energije i energije okolnog zraka. Također se istražuju složeni sustavi energetske učinkovitosti, uključujući rekuperaciju energije unutarnjeg zraka i kogeneraciju.

Četvrti dio bavi se arhitekturom u kontekstu energetske nepredvidivosti, analizirajući različite oblike energetski učinkovite arhitekture. Obrađuju se koncepti bioklimatske arhitekture, niskoenergetskih i pasivnih kuća, *Zero Energy* i *Energy Plus* arhitekture te zelene arhitekture. Naglašava se i koncept *Active House* pristupa, koji uključuje integraciju naprednih energetskih rješenja u suvremene građevine.

Peti dio knjige posvećen je ovojnici objekta kao "koži prostora". Razmatraju se njezina funkcija, povijesni razvoj i suvremene inovacije u materijalizaciji. Objašnjava se značaj fasadnih sustava u postizanju unutarnjeg komfora, pri čemu se analiziraju transparentne i netransparentne ovojnice te primjeri učinkovitih vanjskih otvora.

Šesti dio donosi temeljne pojmove iz arhitektonske fizike i njihove primjene u dizajnu energetski učinkovitih zgrada. Obrađuje se kako termodinamika, prijenos topline i regulacija mikroklimе unutar zgrade mogu doprinijeti stvaranju optimalnih uvjeta za boravak korisnika.

Sedmi dio knjige konkretizira istraživanje na primjeru grada Sarajeva i zgrada za osnovno obrazovanje. Objašnjava se urbanistički razvoj grada kroz povijesne graditeljske faze, a potom analizira arhitektonsko stanje školskih zgrada u kontekstu higijensko-tehničkih uvjeta, komfora unutarnjeg prostora i energetskih zahtjeva.

Osmi dio predstavlja ključnu studiju knjige – analizu energetske transformacije postojećih školskih zgrada kroz četiri detaljne studije slučaja. Kroz analize postojećih ovojnica, energetske potrebe zgrada i rezultate termovizijskih ispitivanja, istražuju se konkretni modeli energetske obnove. Svaka studija slučaja uključuje ankete korisnika, analizu postojećeg stanja i prijedloge transformacije, s posebnim naglaskom na ventilaciju, optimizaciju fasada i povećanje energetske učinkovitosti.

Zaključni dio knjige sažima metodologiju istraživanja i njezin znanstveni doprinos. Naglašava se važnost redefiniranja ovojnice školskih zgrada kako bi se postigla energetska učinkovitost, ali i osigurao kvalitetan boravak za učenike i nastavnike. Ključni rezultat

istraživanja su preporuke za arhitektonsku transformaciju postojećih obrazovnih objekata, pri čemu se ovojnica sagledava kao dinamična membrana koja omogućuje kontrolirano upravljanje protokom energije između unutarnjeg i vanjskog prostora. Ova knjiga nudi sveobuhvatnu analizu odnosa između čovjeka, prostora i energije, predstavljajući konkretne modele arhitektonske i energetske transformacije s ciljem postizanja održivog razvoja.

Ključne riječi

Energetska učinkovitost, emisija CO₂, transformacija arhitekture, čovjek, ovojnica, energija, okruženje, arhitektonski identitet.

SUMMARY

Climate change and energy unpredictability have placed architecture at a crossroads, requiring a redefinition of the relationship between humans, space, and energy. This book explores key aspects of architectural transformation in the context of energy efficiency, with a particular focus on school buildings.

The first part of the book examines humans as users of space. It discusses how anatomical and psychological structures shape spatial perception and how design influences emotions, social interactions, and cognitive processes. It analyzes the role of sensory perception in spatial interaction and explores the creation of harmonious environments that contribute to overall well-being.

The second part focuses on space and the environment, exploring the interplay between nature, society, and technology. Topics covered include climate change, resource availability, natural disasters, and urban environments, with a special emphasis on how cultural and technological influences shape space. The discussion highlights contemporary environmental challenges and the need for sustainable solutions inspired by history and natural systems.

The third part of the book is dedicated to energy—its past, present, and sustainable future. It provides an in-depth analysis of the global energy landscape, with a particular focus on renewable energy sources. The discussion covers passive and active solar energy systems in architecture, as well as the potential of wind, water, biomass, geothermal energy, and ambient air energy. Additionally, it explores advanced energy efficiency mechanisms, including indoor air heat recovery and cogeneration.

The fourth part examines architecture in the context of energy unpredictability, analyzing various forms of energy-efficient architecture. It discusses bioclimatic architecture, low-energy and passive house concepts, *Zero Energy* and *Energy Plus* architecture, and green architecture. The *Active House* concept is also explored, emphasizing the integration of advanced energy solutions into contemporary buildings.

The fifth part of the book is dedicated to the building envelope as the "skin of space." It explores its function, historical development, and contemporary innovations in materialization. The significance of façade systems in achieving indoor comfort is analyzed, including transparent and opaque building envelopes and examples of efficient external openings.

The sixth part introduces key concepts of architectural physics and their applications in the design of energy-efficient buildings. It discusses how thermodynamics, heat transfer, and indoor climate regulation contribute to creating optimal conditions for building occupants.

The seventh part of the book focuses on Sarajevo and its school buildings as a case study. It examines the city's urban development through different historical construction phases and analyzes the architectural condition of school buildings, particularly in relation to hygiene, technical standards, indoor comfort, and energy performance.

The eighth part presents the core study of the book—an analysis of the energy transformation of existing school buildings through four detailed case studies. By analyzing the existing envelopes, energy demands, and thermographic assessments, the study evaluates specific models for energy retrofitting. Each case study includes user surveys, existing condition analyses, and proposed transformation models, with particular attention to ventilation strategies, façade optimization, and energy efficiency improvements. The final part of the book summarizes the research methodology and its scientific contribution. It underscores the importance of redefining school building envelopes to achieve both energy efficiency and enhanced indoor comfort for students and teachers. The key outcome of the research is a set of recommendations for transforming school buildings, emphasizing that the building envelope should function as a dynamic membrane capable of controlling energy flow between indoor and outdoor environments. This book provides a comprehensive analysis of the interrelationship between humans, space, and energy, presenting concrete models for architectural and energy transformation aimed at achieving sustainable development.

Keywords

Energy efficiency, CO₂ emissions, transformation of architecture, man, envelope, energy, environment, architectural identity

TRANFORMACIJA ARHITEKTURE

Energija, čovjek i prostor

Haris **BRADIĆ**

Sarajevo, 2025



Sarajevo _ 2025